

68906

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PİK CAM KALIP MALZEMELERİNİN METALURJİK YAPILARININ KALIP
PERFORMANSINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Met. Müh. Mehmet CİNGİ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 Ocak 1997

Tezin Savunulduğu Tarih : 05 Şubat 1997

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Kelami ŞEŞEN

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Hüseyin ÇİMENNOĞLU

Doç. Dr. Erdem DEMİRKESEN

ŞUBAT 1997

ÖNSÖZ

Tezimin her aşamasında beni olumlu fikir ve eleştirileri ile yönlendiren, tezimin oluşmasında önemli katkıları bulunan saygıdeğer Hocam, **Doç. Dr. M. Kelami ŞEŞEN**'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans Eğitimiimi başından sonuna kadar destekleyen CAMİŞ Makina ve Kalıp Sanayi A.Ş., Kalite Müdürü Sayın **Aliye SERT** ve Satınalma Şefi Sayın **Hulusi FORTA**'ya teşekkürlerimi sunarım.

Deneyisel çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen kıymetli arkadaşlarım, Araştırma Görevlisi **Fahir ARISOY** ve **Ladin ÇAMCI**'ya teşekkürlerimi sunarım.

Endüstriyel numunelerin sağlanmasında yardımcı olan Öge Metal A.Ş. nezdinde Fabrika Müdürü Sayın **Ahmet HENDEN**'e ve Aral Döküm A.Ş. nezdinde Fabrika Müdürü Sayın **Alaattin GEZEN**'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın yazılmasında büyük emekleri geçen Metalurji Yüksek Mühendisi **Cem ÇELİKER** ve CAMİŞ Makina Kalıp Sanayi A.Ş. Satınalma Memuru **Zuhal FORTA**'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Öğretim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen çok değerli **aileme** sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Şubat 1997

Metalurji Mühendisi
Mehmet CİNGİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ	ii
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	xi
BÖLÜM 1 GİRİŞ VE AMAÇ	1
BÖLÜM 2 CAM KALIPLARI	2
2.1 Cam kalıp ve aksesuar parçaları	2
2.2 Cam şişe üretim prosesleri	3
2.2.1 Üfleme ve üfleme prosesi	5
2.2.2 Pres ve üfleme prosesi	8
BÖLÜM 3 CAM KALIP MALZEMELERİ	9
BÖLÜM 4 DÖKME DEMİR MALZEMELER	11
4.1 Dökme demir çeşitleri	12
4.1.1 Gri dökme demirler	13
4.1.2 Sfero dökme demirler	16
BÖLÜM 5 DÖKME DEMİR CAM KALIP MALZEMELERİNİN SAHİP OLMASI GEREKEN ÖZELLİKLER	20
5.1 Dökme demir cam kalıp malzemelerinin genel özellikleri	20
5.1.1 İşlenebilirlik	21
5.1.2 İnce tane ve yüzey düzgünlüğü	22
5.1.3 Yoğunluk ve sıkı doku	24
5.1.4 Cam metal yapışmasının önlenmesi	24
5.1.5 Isıl çatlamaya karşı direnç	24
5.1.6 Yüzey bozulmalarına karşı direnç	26
5.1.7 Düşük ısı genleşme	26
5.1.8 Yüksek ısı iletkenlik	26
5.1.9 Büyüme ve tufalleşme	29
5.1.10 Aşınmaya karşı direnç	30
5.2 Metalurjik özellikler	32
5.2.1 Grafit	32
5.2.2 Sementit	32
5.2.3 Perlit	33

	5.2.4	Ferrit	33
	5.3	Kimyasal özellikler	34
	5.3.1	Karbon	34
	5.3.2	Silisyum	35
	5.3.3	Kükürt ve Manganez	35
	5.3.4	Fosfor	35
	5.3.5	Alaşım elementleri	36
BÖLÜM	6	DÖKME DEMİR CAM KALIP MALZEMELERİNDE ARANAN ÖZELLİKLERİN SAĞLANMASI	37
	6.1	Kokil döküm-çil derinliği	37
	6.2	Alaşım elementleri	38
	6.3	Isıl işlem	39
	6.3.1	Gerilim giderme	39
	6.3.2	Ferritleştirme tavlı	39
	6.3.3	Normalize tavlı	40
BÖLÜM	7	DÖKME DEMİR CAM KALIPLARININ KALİTE KONTROLÜNDE GÖZ ÖNÜNDE TUTULAN KRİTERLER	41
	7.1	Kimyasal bileşim	41
	7.2	Mikroyapı	42
	7.2.1	Anayapı	42
	7.2.2	Grafit	43
	7.2.3	Çil derinliği	46
	7.3	Sertlik	47
BÖLÜM	8	AŞINMA	48
	8.1	Adhesiv aşınma	48
	8.2	Abrasiv aşınma	48
BÖLÜM	9	OKSİDASYON	51
	9.1	Metallerin oksidasyonu	51
	9.1.1	Oksit tabakasının oluşumu	52
	9.2	Alaşım elementlerinin oksidasyon üzerindeki etkisi	52
	9.2.1	Karbon	53
	9.2.2	Silisyum	53
	9.2.3	Manganez	54
	9.2.4	Kükürt	54
	9.2.5	Fosfor	54
	9.2.6	Nikel	54
	9.2.7	Krom	55
	9.2.8	Molibden	55

BÖLÜM	10	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	56
	10.1	Deney örneklerinin hazırlanması	56
	10.1.1	Kalıp parçasının dökümü	56
	10.1.2	Ferritleştirme tava	57
	10.1.3	Deney örnekleri	57
	10.2	Deneylerin yapılışı	57
	10.2.1	Kimyasal analiz deneyi	57
	10.2.2	Sertlik ölçme deneyi	57
	10.2.3	Aşınma testi deneyleri	58
	10.2.4	Oksidasyon testi deneyleri	58
	10.2.5	Metallografik incelemeler	58
	10.3	Deney sonuçları	59
	10.3.1	Kimyasal analiz sonuçları	59
	10.3.2	Sertlik deneyi sonuçları	59
	10.3.3	Aşınma deneyi sonuçları	59
	10.3.4	Oksidasyon deneyi sonuçları	59
	10.3.5	Metallografik inceleme sonuçları	59
BÖLÜM	11	SONUÇLARIN İRDELENMESİ	75
BÖLÜM	12	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	79
KAYNAKLAR			
ÖZGEÇMİŞ			

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 Kalıp ve aksesuar parçaları	4
Şekil 2.2 Üfleme-üfleme prosesi akış şeması	6
Şekil 2.3 Presleme-üfleme prosesi akış şeması	7
Şekil 4.1 Grafit dağılımları	14
Şekil 4.2 ASTM grafit uzunlukları	15
Şekil 4.3 Grafit büyüklükleri ve şekilleri	18
Şekil 5.1 İri krom karbür parçacıkları	22
Şekil 5.2 Kish grafitler	23
Şekil 5.3 Bozuk yüzey ve karıncalanma	23
Şekil 5.4 Homojen “undercooled” grafitler	23
Şekil 5.5 İri boy, orta boy ve aşırı soğumuş grafitler	25
Şekil 5.6 Çelik ve dökme demirlerin ısı genleşmeleri	27
Şekil 5.7 Alaşım elementlerinin ısı iletkenliğe etkisi	28
Şekil 5.8 Grafit tipinin iletkenliğe etkisi	29
Şekil 5.9 Matriks yapısının ısı iletkenliğe etkisi	29
Şekil 5.10 Kaba grafit yapısı nedeniyle cam ile temas eden yüzeyde çukurlaşmalar	29
Şekil 5.11 Rastgele konumlu ve undercooled grafitli dökümlerin oksitlenme özellikleri	31
Şekil 5.12 Perlit yapısı	33
Şekil 5.13 Kish grafit ve yüzeyde yarattığı boşluk	34
Şekil 6.1 Aşırı soğumanın grafit yapısına etkisi	38
Şekil 6.2 C ve Si miktarlarının mikroyapıya etkisi	39
Şekil 7.1 Perlitik yapılar	43
Şekil 7.2 ASTM D tipi grafit dağılımı	43
Şekil 7.3 D türü grafit dağılımları	44
Şekil 7.4 C türü grafit dağılımları	45

Şekil 7.5	Sfero dökme demirde grafitler	46
Şekil 8.1	Adhesiv aşınma	50
Şekil 8.2	Abrasiv aşınma	50
Şekil 10.1	Sertik deney sonuçlarına ait çubuk diyagramı	62
Şekil 10.2	Aşınma testi sonuçlarına ait çubuk diyagram	63
Şekil 10.3	Oksidasyon testi sonuçlarına ait çubuk diyagram	64
Şekil 10.4	I no.lu numunenin optik mikroskopta çekilen görüntüleri	66
Şekil 10.5	II no.lu numunenin optik mikroskopta çekilen görüntüleri	66
Şekil 10.6	III no.lu numunenin optik mikroskopta çekilen görüntüleri	67
Şekil 10.7	IV no.lu numunenin optik mikroskopta çekilen görüntüleri	67
Şekil 10.8	V no.lu numunenin optik mikroskopta çekilen görüntüleri	68
Şekil 10.9	VI no.lu numunenin optik mikroskopta çekilen görüntüleri	68
Şekil 10.10	I no.lu numunenin aşınma yönüne dik ve paralel yönde çekilen optik mikroskop görüntüleri	69
Şekil 10.11	II no.lu numunenin aşınma yönüne dik ve paralel yönde çekilen optik mikroskop görüntüleri	70
Şekil 10.12	III no.lu numunenin aşınma yönüne dik ve paralel yönde çekilen optik mikroskop görüntüleri	71
Şekil 10.13	IV no.lu numunenin aşınma yönüne dik ve paralel yönde çekilen optik mikroskop görüntüleri	72
Şekil 10.14	V no.lu numunenin aşınma yönüne dik ve paralel yönde çekilen optik mikroskop görüntüleri	73
Şekil 10.15	VI no.lu numunenin aşınma yönüne dik ve paralel yönde çekilen optik mikroskop görüntüleri	74

TABLO LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1	Gri dökme demirlerin ana yapılarına göre sertlik değerleri	16
Tablo 4.2	Sfero dökme demirlerin ana yapılarına göre sertlik değerleri	17
Tablo 10.1	6 farklı cam kalıp kompozisyonu ve sertlik değerleri	60
Tablo 10.2	Kimyasal analiz, sertlik ve karbon eşdeğeri sonuçları	61
Tablo 10.3	Sertlik deney sonuçları	62
Tablo 10.4	Aşınma testi sonuçları	63
Tablo 10.5	Oksidasyon deney sonuçları	64
Tablo 10.6	Uygun cam kalıp malzemesine ait özellikler	65

PİK CAM KALIP MALZEMELERİNİN METALURJİK YAPILARININ KALIP PERFORMANSINA ETKİSİ

ÖZET

Bu çalışmada 6 farklı bileşimdeki pik kalıp malzemelerinin metalurjik yapılarının kalıp performansına etkisi incelenmiştir.

Deneylerde cam ürünün taban profilini oluşturan müldefon kalıp parçasını temsil edecek yapı ve bileşimlerde örnekler kullanmak amacıyla, bu özellikleri verecek şekilde döküm koşullarıyla dökümler gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla model dizaynından sonra cam ile temas eden yüzeyi temsil eden döküm yüzeyi 40 mm kalınlıktaki pik malzemedan dökülmüş soğutucu ile temasta olacak şekilde kum kalıba silindirik bloklar dökülmüştür. Döküm sonrası parçaların yapısını tamamıyla ferrite dönüştürmek amacıyla ferritleştirme ısı işlemi uygulanmıştır. Daha sonra kokilli yüzeyler korunarak çeşitli boyutlarda deney örnekleri talaşlı imalat ile ısı işlemi yapılmış bloklardan çıkarılmıştır. Bu örneklerle sertlik, aşınma ve oksidasyon testi uygulanmış ve metallografik yapıları incelenmiştir. Brinell Sertlik cihazında yapılan ölçümler sonucunda bileşimdeki Cr, Ni, Mo, V, Cu, Ti gibi alaşım elementlerinin miktarı arttıkça sertliğin arttığı gözlenmiştir. Farklı bileşimlerde fakat metallografik yapıları birbirine yakın örnekler üzerinde Al_2O_3 esaslı zımparada yapılan aşınma deneyi sonucunda sertlik düştüğünde aşınma direncinin de düştüğü gözlenmiştir. Aynı şekilde laboratuvar fırınında yapılan oksidasyon testi ile de fazla aşınmış olan örneklerin fazla oksitlendiği gözlenmiştir. Bileşimin karbon eşdeğeri incelendiğinde 4,3 değeri

zerindeki örneklerde karıncalanmaya yol açan iri C tipi grafitlerin olduğu gözlenmiştir. Mikro yapı incelendiğinde derin ve sık dokulu D tipi grafitte sahip örneklerin zor aşınıp zor oksitlendiği D tipi grafiti yeterince iermeyenlerin ise kolay aşınıp oksitlendiği görülmüştür. Kolay aşınan parçalarda çukurlaşmalar olmuş bunlar oksitlenme için aktif bölge meydana getirmişlerdir. Bu ise kalıp ömrünü kısaltıcı bir unsurdur.

Bu zellikler çerçevesinde diğer örneklere göre en yüksek oksidasyon direncine, yeterli sertlik ve aşınma direncine sahip Cr, Ni, Mo ve Ti elementleri ile belirli oranda alaşımlandırılan ve yeterli derinlikte ve sıklıkta D tipi grafitte sahip VI no'lu bileşim en uygun pik cam kalıp malzemesi olarak değerlendirilmiştir.



THE EFFECTS OF SIX DIFFERENT ALLOYED CAST IRONS OF METALLURGICAL STRUCTURES

SUMMARY

Molds that are use to form porison are called glass molds. The molds are placed on machines that are named as IS machine.

A material selection is made for the different mold parts based on;

- The type and shape of the article to be produced.
- Glass production machinery used
- Glass production process used

The mold material is of primary importance in mold making.

For a good mold material, the followings are the most important requirements;

- Good heat extraction properties
- Resistance to deformation
- Resistance to corrosion
- Resistance to thermal shock
- Resistance to mechanical damage
- Good machinability with a good surface finish
- Reasonable cost.

In spite of the many alternative materials e.g., stainless steel, aluminium bronze that have been tried out by the glass container manufacturers and with the exception of some particular production, Cast iron is still the only material which meets most of the requirements.

Ease of castings and ease of machining are two of the principal properties affecting the manufacture of glass mold parts and cast iron possesses both these attributes, thus contributing to it being one of the cheapest materials used for glass mold parts.

General properties for optimum glass forming:

1. Heat extraction properties :

Glass machine speeds are dependent on the rates at which heat can be extracted from the glass and hence good heat extraction properties are most essential for any mold material.

The fact that ferritic cast irons have a higher thermal conductivity than perlitic types is one of the factors which has influenced to prefer ferritic irons. For the same reason, nodular graphite cast iron is not recommended because of its lower thermal conductivity about 20 % than lamellar graphitic cast iron.

2. Ability to take a good surface finish:

Coarse graphite (A type) is detrimental to producing a high polish. For this reason cast irons are poured on chills in order to obtain a D type graphite over a thickness of 10-15 mm against the cavity of the mold. Such a close grained structure is desirable for glass molds.

More towards the outside of the molds, an A type graphite structure has to be realised, this result in a better heat conductivity and better mechanical properties of the molds.

3. Growth Resistance

The growth of the cast iron is caused by either decomposition of the perlite or by oxidation because of the fully ferritic annealed matrix of cast irons any growth depending on the volume change by breakdown of perlite is excluded.

Internal oxidation of a cast iron occurs along the graphite flakes. This is due to the fact that iron expands more when heated than graphite, this produces stresses which tend to loosen the bond between iron and carbon under rapid cyclic heating, which is the case with a mold when it is in service. This loosening of the bond between the iron and carbon makes possible the penetration of the gases and consequently oxidation. It's obvious that a fine undercooled graphite reduces this tendency to a minimum.

4. Corrosion Resistance

It is well known that a mold iron after some service is covered with an oxide layer is detrimental to the finish of the glass article and mold cleaning is necessary. In order to give optimum resistance to the oxidation, cast irons have the graphite at the surface in fine undercooled form.

5. Thermal Shock Resistance

The resistance to thermal shock is very important for cast iron, because of the temperature fluctuations at the mold surface when the mold is in operation. Cast iron with a ferritic matrix and fine undercooled graphite alloyed with titanium and molybdenum gives the most satisfactory results.

6. Machinability

A better machinability is obtained by the ferrite annealing process. After the process, there is an equal hardness all through the section of the castings.

7. Reasonable Cost

The initial cost of mold materials is obviously of for less importance than the mold cost per bottle produced. Alloyed cast iron fulfills satisfactorily the physical requirements of a mold material at a reasonable cost.

Metallurgical requirements to meet properties

Cast iron is an alloy of iron containing carbon, silicon and manganese. Alloying elements are added to increase the performance of the cast iron and these are usually nickel, chromium and molybdenum. Also, 0,25 % titanium may be added to promote the formation of the fine flake graphite structures necessary at the glass contact surface to resist premature breakdown. A typical acceptable structure at the glass contact surface consist of ASTM type D graphite flakes of size 7-8 in a ferritic matrix. However, the graphite will coarsen progressively through a series of

structures to coarse type A flakes of size 3-5 at the back of the mold section. A fine graphite structure has a lower thermal conductivity than a coarse graphite structure.

The presence of alloying elements is necessary to achieve optimum resistance to fire cracking and surface breakdown.

In this study, the effects of six different alloyed cast irons of metallurgical structures are examined.

Samples that are cast and heat treated are used in experiments. Chemical analysis, hardness, wear and oxidation test are applied to the samples.

The results obtained from these experiments are indicated as follows.

1. As the alloying elements eg. Cr, Ni, Mo, V, Ti increase, in different compositions, hardness, wear and oxidation resistance are also increased.
2. As the Ti and Ni quantities increase, chill depth and the density of D type graphite in ferritic matrix increases.
3. When carbon equivalent value is over 4,3, there is coarse C type graphite in microstructure.
4. In fast solidifying samples, chill depth gets deeper and deeper and fine D type graphite is found in microstructure.
5. As the D type graphite gets thinner in microstructure, wear and oxidation resistance increases.

6. When microstructure includes only B and C type graphite, oxidation resistance decreases considerably.
7. In order to have sufficient resistance to wear and oxidation in cast iron glass mold materials, they have to include optimum quantities of Cr, Ni, Mo, Ti.
8. For the high resistance of wear and oxidation, matrix should include 95 % ferrite and at the glass contact surface, there should be D type graphite ASTM 7-8 having a depth of 10-12 mm, towards the inside D+A type graphite ASTM 4-6 and A type graphite ASTM 3-5. These are the most suitable glass mold materials because of including smooth and bright mold surfaces and high thermal conductivity.



BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Cam kalıp imalatında çeşitli malzemeler kullanılmaktadır. Bunlar ısı iletkenlikleri, aşınma ve oksidasyon dirençleri, sertlikleri, boyutsal kararlılıkları, talaşlı imalat kolaylıkları, imalat prosesleri göz önünde tutularak seçilmektedir. Örneğin soğutma sisteminin yoğun olduğu proseslerde malzemenin iletkenliğinin çok fazla önemi yoktur.

Bu malzemeler içersinde dökme demirler gerek ucuzluk gerekse kalıpta aranan diğer özellikleri nedeniyle kalıp malzemesi olarak cam sanayinde en çok kullanılan malzemelerdir.

Günümüzde yüksek devirde imalatın yapıldığı cam fabrikalarında buna cevap verecek en uygun malzemenin seçilmesi gerekmektedir. Bunun için bir malzemenin cam kalıbı olarak kullanılabilirliğini belirlemede kimyasal bileşim, sertlik, mikro yapı, aşınma ve oksidasyon direnci kriterleri göz önünde tutulur.

Cam kalıbı olarak en çok Cr, Ni, Mo, Ti, V, Cu alaşım elementleriyle alaşımlandırılan pik malzemeler kullanılmaktadır. Bu alaşım elementleri pahalı ve yüksek miktarda olmalarının bazı sakıncaları olduğundan optimum kalıp özelliklerini sağlayacak şekilde optimum oranda ilaveleri yeterlidir.

Bu çalışmada en uygun alaşımlı pik cam kalıp malzemesini seçebilmek amacıyla 6 farklı bileşime ait dökümü ve ısı ışılemi yapılmış örneklerin sertlik, oksidasyon, aşınma dirençleri ve mikro yapı özellikleri karşılaştırılmış ve sonuçlar irdelenmiştir.

BÖLÜM 2. CAM KALIPLARI

Ergimiş camın, şişe üretimi için şekillendirildiği kalıplara cam kalıbı adı verilir. Cam ambalaj şekillendirme işlemlerinde IS makineleri kullanılmaktadır. IS makineleri kol olarak isimlendirilen ve birbirinin aynı olan ünitelerin yan yana gelmesinden oluşan tam otomatik makinelerdir. Makinaya iletilen damlanın şekillendirilmesi üretilen ürünün dar veya geniş ağızlı olmasına göre üfleme-üfleme veya pres-üfleme tekniği kullanılarak sağlanır [1].

2.1. Cam Kalıp ve Aksesuar Parçaları

Şişe imalinde kullanılan makinelerde (IS Makinası) çeşitli imalat prosesleri vardır. Bu proseslerde şişe imal eden kalıp ve aksesuar parçaları kullanılmakta olup, bunların görevleri aşağıda belirtilmiştir.

Üfleme-Üfleme prosesinde kullanılan kalıp parçaları:

Ebüşör	:Hazırlayıcı kalıp parçasıdır. Hazırlık formunu oluşturur.
Huni	:Damlanın ebüşör merkezine düşmesini sağlar.
Tampon	:Birinci görevi yerleştirme havasını vermek, ikinci görevi parizonun dibini yapmaktır.
Müldebak	:Kafa yapıcı kalıp parçasıdır.
Ring	:Ürünün ağız yüzeyini yapar.
Mandren	:Ağız delici kalıp parçasıdır.
Kovan	:Mandrene yataklık eder.

Süflaj Başlığı	:Parizonu şişirip finisörün şeklini alması için gerekli havayı vermeye yarar.
Finisör	:Tamamlayıcı kalıp parçasıdır. İç forması ürünün dış şekline sahiptir.
Müldefon	:Dip yapıcı kalıp parçasıdır.
Alıcı Maşa	:Şişeleri kalıp finisör içinden almaya yarar [1].

Şekil 2.1. de Cam Kalıp ve Aksesuarları gösterilmiştir.

2.2. Cam Şişe Üretim Prosesleri

Şişe imlatında kullanılan makinaların en gelişmiş sürekli makina, IS makinasıdır. Bu makina tam otomatik olup, proses düz bir hat üzerinde geliştirilir. Kalıplar sabit olup, açılıp kapanır.

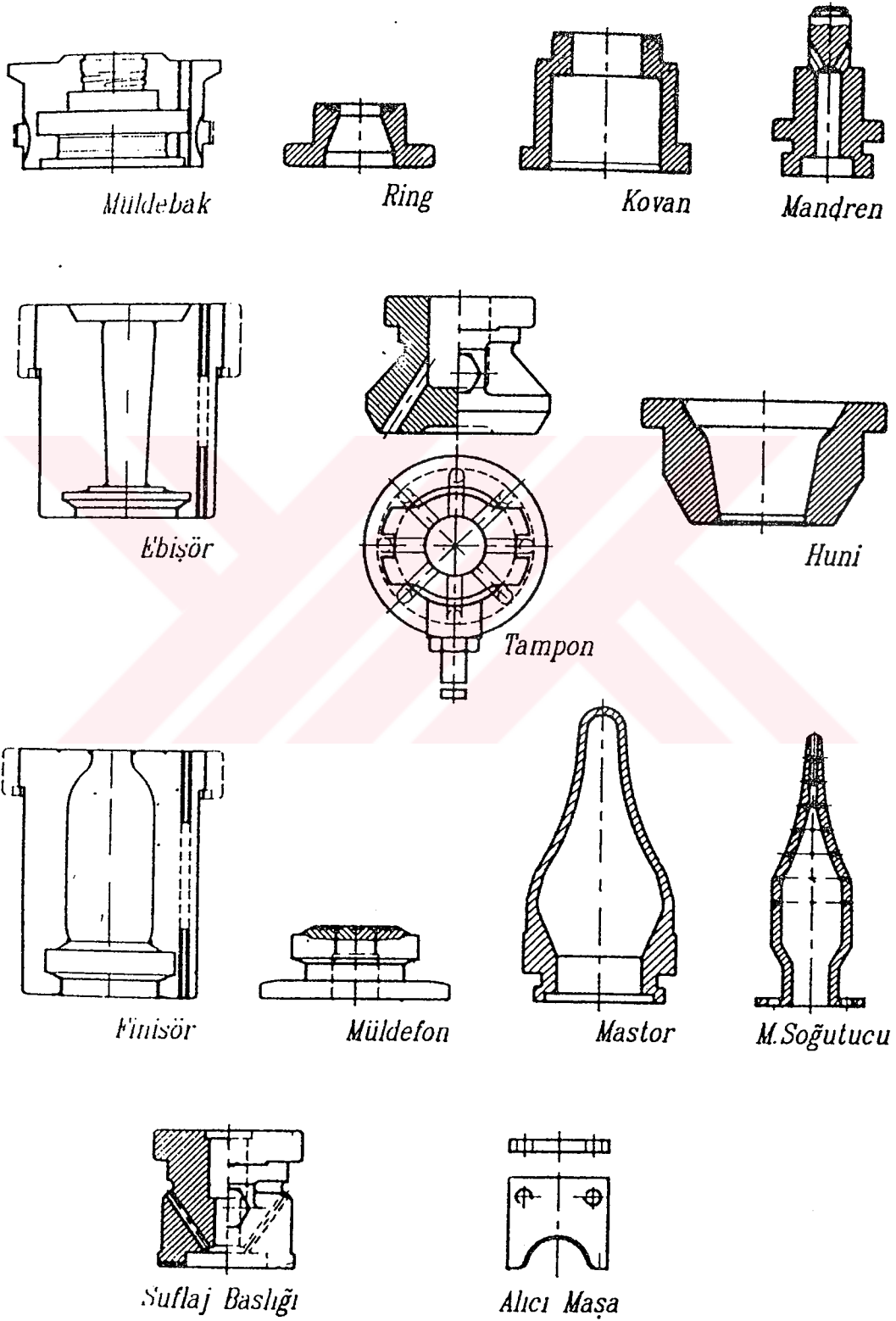
Cam şişe üretiminde kullanılan en yaygın prosesler;

A. Üfleme ve Üfleme Prosesi

B. Pres ve Üfleme Prosesi

Genel bir kural olarak üfleme ve üfleme prosesi dar boyunlu mamüllerin üretiminde, pres ve üfleme prosesi ise geniş ağızlı mamüllerin üretiminde uygulanır. Her iki prosesin genel prensipleri aşağıda verilmiştir [1].

KALIP PARÇALARI

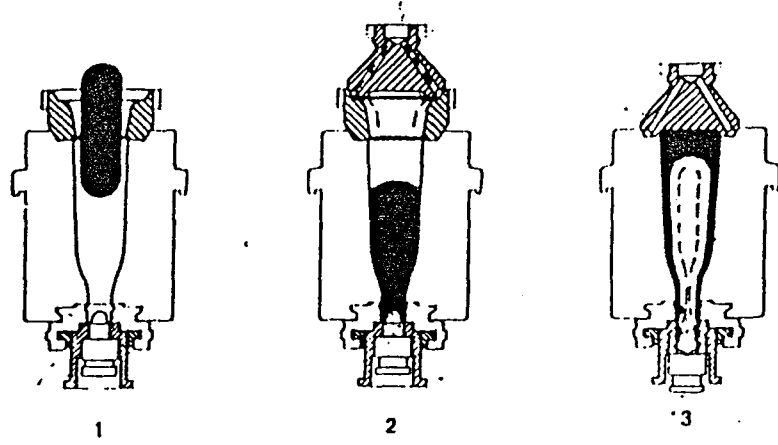


Şekil 2.1. Kalıp ve Aksesuar Parçaları

2.2.1. Üfleme ve Üfleme Prosesi

1. Cam damlası feederden ebüşöre yüklenir yada iletilir. Damla kalıba yukarıdan yüklenir. Ebüşörün üzerindeki açıklık tampon ile kapatılır.
2. Sonra tampondaki deliklerden verilen basınçlı hava camı kalıbın ring kısmına doğru iterek şişe ağzının tam teşekkülü için yerleştirilir. Ring kalıbının merkezinde içeri doğru bir mandren bulunur., bu parça şişe ağzının kapalı kalmamasını sağlar, çapı; şişe ağzının iç çapı ve kafanın et kalınlığını belirler.
3. Mandren geri çekilir ve basınçlı hava camı tampona karşı geriye doğru şişirir. Ebüşör kalıbın iç boşluğu parizon adı verilen mamulün taslak şeklini oluşturur.
4. Ebüşör kalıbı açılır ve parizon finisör kalıbına transfer edilmek üzere hala müldebak tarafından tutulmaktadır. Transfer metodu makina tipine göre farklıdır. Ancak her durumda yükleme aşamasından finisör kalıbına transfer arasında bir yerde, parizon; şişe kafası (Ring) yukarıda olacak şekilde 180 derece çevrilir.
5. Önce finisör kalıbı parizonun etrafında kapanır, müldebak açılır ve parizon finisörün tepesine oturan kafanın (Ring) alt kısmı ile tutularak finisör içinde asılı kalır. Parizon burada asılı iken parizonun yüzeyi ana cam gövdesinden ısı transferi ile tekrar ısınır.
6. Süflaj başlığı finisörün üzerine gider, üfleme tüpü parizonun boynundan aşağı doğru iner ve basınçlı hava ile camı, üfleme kalıbının duvarlarına doğru şişirir.
7. Süflaj başlığı kalkar ve finisör açılır. Alıcı maşa üfleme kalıbı dışında ve dip tablası üzerinde duran şişeyi kaldırarak plaka üzerine nakleder buradan da makina konveyörüne transfer edilir. Finisörden konveyöre transfer metodu makina tipine göre farklıdır. Ancak her durumda şişelerin üzerinden yeterli miktarda ısıyı almak için bazı soğutma şekilleri uygulanır. Şöyle ki; makinadan tavlama fırınına transfer esnasında deforme olmayacak kadar soğutulur. Şekil 2.2 de üfleme-üfleme prosesinin akış şeması görülmektedir.

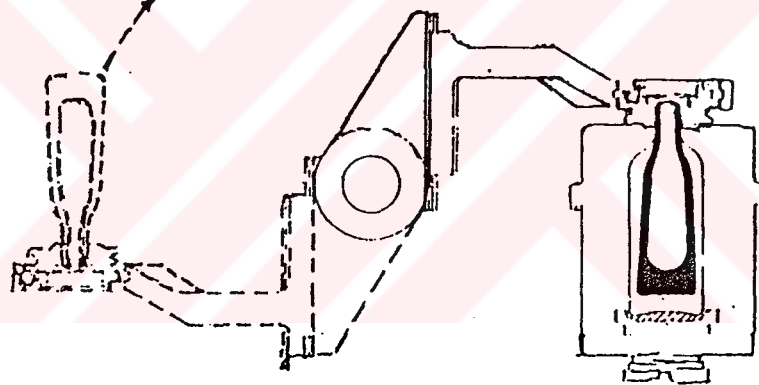
ÜFLEME - ÜFLEME PROSESİ



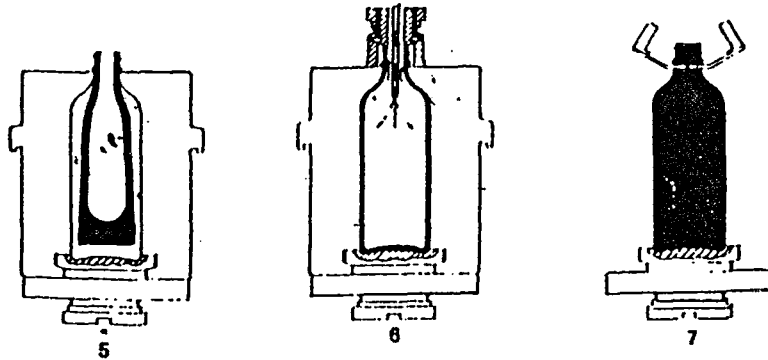
Yükleme

Yerleştirme havası

Perşaj havası

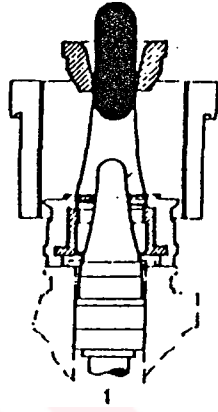


Ebişör'den Finisör'e transfer

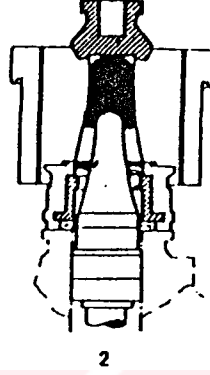
Tekrar ısınma
(Reheat)Süflaj havası
vakumlu şekillendirmeFinisör'den çıkarma
(Takeout)

Şekil 2.2. Üfleme-Üfleme Prosesi Akış Şeması

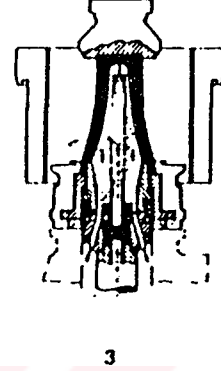
PRESLEME - ÜFLEME PROSESİ



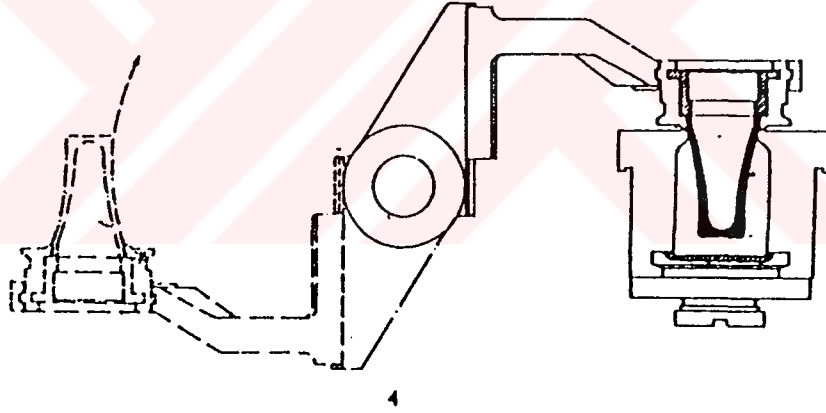
Yükleme



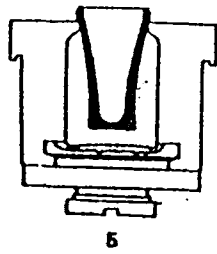
Presleme



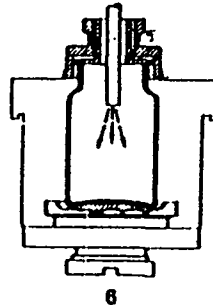
Parizon



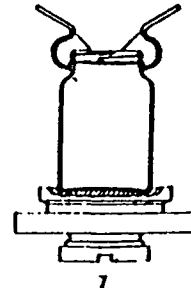
Ebişör'den Finisör'e transfer



Tekrar ısıtma
(Reheat)



Süflaj havası
vakumlu şekillendirme



Finisör'den çıkarma
(Takeout)

Şekil 2.3. Presleme-Üfleme Prosesi Akış Şeması

2.2.2. Pres ve Üfleme Prosesi

Bu proste de bir ebüşör ve finisör kalıbı kullanılır. Cam makinaya aynı yöntem ile yüklenir ve ebüşörün üstü tampon vasıtası ile kapatılır. Ancak parizon üfleme yerine soğutmalı bir mastör vasıtası ile preslenerek şekillendirilir. Mastör ebüşöre ring merkezinden girer. Presleme işleminden sonra mastör geri gelir ve proses, üfleme-üfleme prosesindeki gibi devam eder. Şekil 2.3 de pres-üfleme prosesinin akış şeması görölmektedir [1].



BÖLÜM 3. CAM KALIP MALZEMELERİ

Kalıpların imalinde kullanılan dökümler genellikle yüzey parlaklıkları, ısıl şoka dayanıklılıkları, aşınma ve oksidasyona dirençleri ile talaşlı imalat kolaylığı düşünülerek oluşturulan alaşımlardır.

Dökme demirler gerek ucuzluk gerekse aranan özellikleri içermeleri sebebiyle cam kalıp sanayinde en çok kullanılan malzemelerdir.

Kullanım yerlerine göre cam kalıp malzemeleri şöyle sıralanabilir.,

a. Gri Dökme Demirler (Alaşımlı pik döküm)

Tüm kalıp parçalarında kullanılabilen uzun dayanımları olan malzemelerdir.

b. Sfero Dökme Demirler

Isıl iletiminin düşük olmasından dolayı sadece ebüşör, tampon, mandrende kullanılmaktadır.

c. Paslanmaz Çelik:

Paslanmaz çelikler ısıya karşı mukavemetin ön planda olduğu kalıp parçaları için tercih edilir. Örneğin mastör gibi ısı karşısında dayanıklılık gerektiren parçalarda kullanılır. Ancak bunların ısıl iletkenlikleri çok düşük olup çeşitli soğutma sistemleri kullanılır [1].

d. Aluminyum Bronzu:

Bu alaşımlar özellikle bakırın yüksek iletkenliğinden faydalanmak amacıyla tercih edilirler. Şişe imalatında yüksek devir yakalayabilmek amacıyla müldebak gibi kalıp parçalarında kullanılır.



BÖLÜM 4. DÖKME DEMİR MALZEMELER

Dökme demirler, temelde çelikler gibi demir-karbon alaşımlarıdır. Bunların çeliklerden farkı içerdikleri karbon oranının fazla olmasıdır. Dökme demirlerde %2 ile %6.67 arasında karbon bulunabilir, ancak endüstride kullanım alanı bulan birçok dökme demirde %2.5-4.5 arasında karbon vardır. Bileşiminde % 3-4 karbon içeren bir demir-karbon alaşımında %2 kadar karbon, demir içinde çözünebilir; bundan fazlası ise ya sementit olarak adlandırılan demir-karbür (Fe_3C), yada yalın karbon olan grafit olarak çökelir [2].

Dökme demirlerde karbonun sementit yada grafit olarak bulunmasını sağlayan birkaç etmen vardır.

- Yüksek sıcaklık
- Yavaş soğumalar
- Yüksek % C ve % Si, grafit oluşumuna yol açar. Buna karşılık,
- Düşük sıcaklıklar
- Hızlı soğumalar
- Düşük % C ve % Si, sementit oluşumunu hızlandırır.

Dökme demirlerin bileşimindeki yüksek karbon ve silis, onların kolay dökülebilir alaşımlar olmasını sağlar. Erime sıcaklıkları çeliğinkinden çok daha düşüktür. Eriyik dökme demir, eriyik çelikten çok daha akışkandır. Grafitin yoğunluğu düşük olduğundan, katılaşma sırasında dökme demirlerin yapısında grafit oluşması, katılaşma ile gelen hacim değişmesini (çekme) azaltır ve bu nedenle de karmaşık biçimli parçaların dökümünü

kolaylaştırır. Buna karşılık dökme demirler dövme yada haddeleme işlemleri için yeterince sünek değildir.

Dökme demirlerin önemli özelliklerinden biri bileşimlerindeki karbondur. Karbon iç yapıda grafit oluşturduğunda dökme demirin talaşlı işlenebilirliği artar, titreşimleri söndürür ve aşınma yüzeylerinde yağlama görevi görür.

Karbon ister grafit ister karbür olarak bulunsun, dökme demirin anayapısı (matris) değişik türde olabilir. Bazılarında anayapı tümünden ferrit (α -fazı) olur ve düşük karbonlu çeliklerde olduğu gibi kolaylıkla talaşlı işlem uygulanır. Dökme demirlerde ferrit, yapısında silis de çözüldüğünden, talaşlı işlemler sırasında yapışma göstermez.

Dökme demirlerin her bir anatüründe bir dizi alttürler vardır. Bunların mekanik özellikleri çok farklılıklar gösterir. Bu farklılıklar değişik mikroyapıya sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Dökme demirlerin iç yapıları döküm şartlarının ayarlanması ve/veya ısıtım işlemi ile değiştirilebilir, fakat grafit oluştuktan sonra ısıtım işlemleri ile değiştirilemez. Buna göre, dökme demirlerde anayapı; ferritik (α -fazı), perlitik (α +Fe₃C faz karışımı) ve bunların çeşitli oranlarda karışımı olabilir, ya da ısıtım işlemleri sonucu (su verme v.s.) beynitik ve martensitik olabilir [3].

4.1. Dökme Demir Çeşitleri

Dökme demirler parça döküm olarak kullanılan, yüksek karbonlu, yüksek silisli Fe-C, Si alaşımlarıdır. Bunların bileşimlerine ve iç yapılarına göre 4 temel türü vardır [4].

Gri Dökme Demirler: Yüksek karbonlu, yüksek silisli ve iç yapılarında **yapraksı** grafit içeren, genel mühendislik uygulamalarına uygun dökme demirlerdir. Darbe dirençleri ve süneklik özellikleri çok azdır.

Sfero Dökme Demirler (Küresel Grafitli Dökme Demirler): Mg ya da Ce katımlarıyla, katılaşma sırasında oluşan grafitleri küresel biçim almış ya da yumrulaşmış olan sünek dökme demirlerdir.

Temper Dökme Demirler: Beyaz dökme demirlerin, ısıtma işlemi uygulanmasıyla iç yapılarındaki sementitin yumru grafitte dönüştüğü ve süneklik kazanmış dökme demirlerdir.

Cam kalıplarında, beyaz ve temper dökme demirlerin kullanım alanı olmadığı için, burada, Gri ve Sfero dökme demirler üzerinde durulacaktır [4].

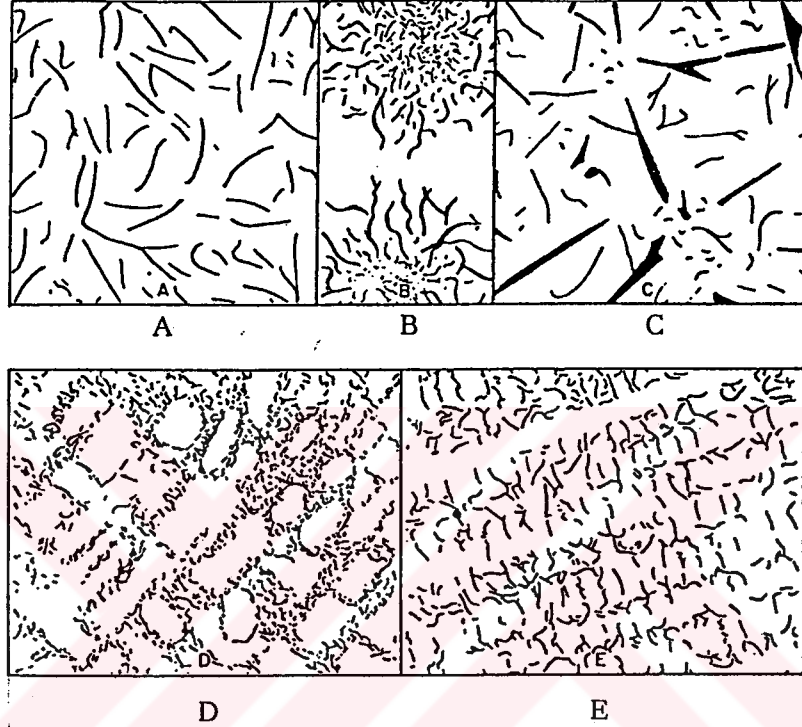
4.1.1. Gri Dökme Demirler

Gri dökme demirler iç yapılarında yapraksı grafit içeren dökme demirlerdir. Bileşimlerindeki toplam karbon %2-4 arasındadır; en az %1 Si bulunur. Uygulama alanının gereklerine göre istenen özellikler, gerek anayapı gerekse yapraksı grafitlerin büyüklük, biçim ve dağılımını ayarlayarak elde edilir [2].

Cam kalıp malzemesi olarak gri dökme demirlerde dikkat edilmesi gereken en önemli noktalar grafit büyüklük ve dağılımı ile anayapıdır. Endüstride rastlanabilecek gri dökme demirlerdeki grafit dağılımları Şekil 4.1. de gösterilmiştir. Cam kalıplarında temas yüzeyinde hızlı soğuma sonucu oluşan D türü grafit kalıbın dış kısmında ise daha yavaş soğumadan kaynaklanan A tipi grafitlerin oluşumu istenir [2].

Buna göre kalıplarda, cam ile temas eden yüzeyde “D” türü bir grafit dağılımı bulunması gerekir. “Undercooled” (aşırı soğumuş) olarak da tanımlanan bu grafit dağılımı, iyi bir yüzey düzgünlüğü elde etmek ve oksitlenme direncini arttırmak için gereklidir. “C” türü bir grafit dağılımı ve

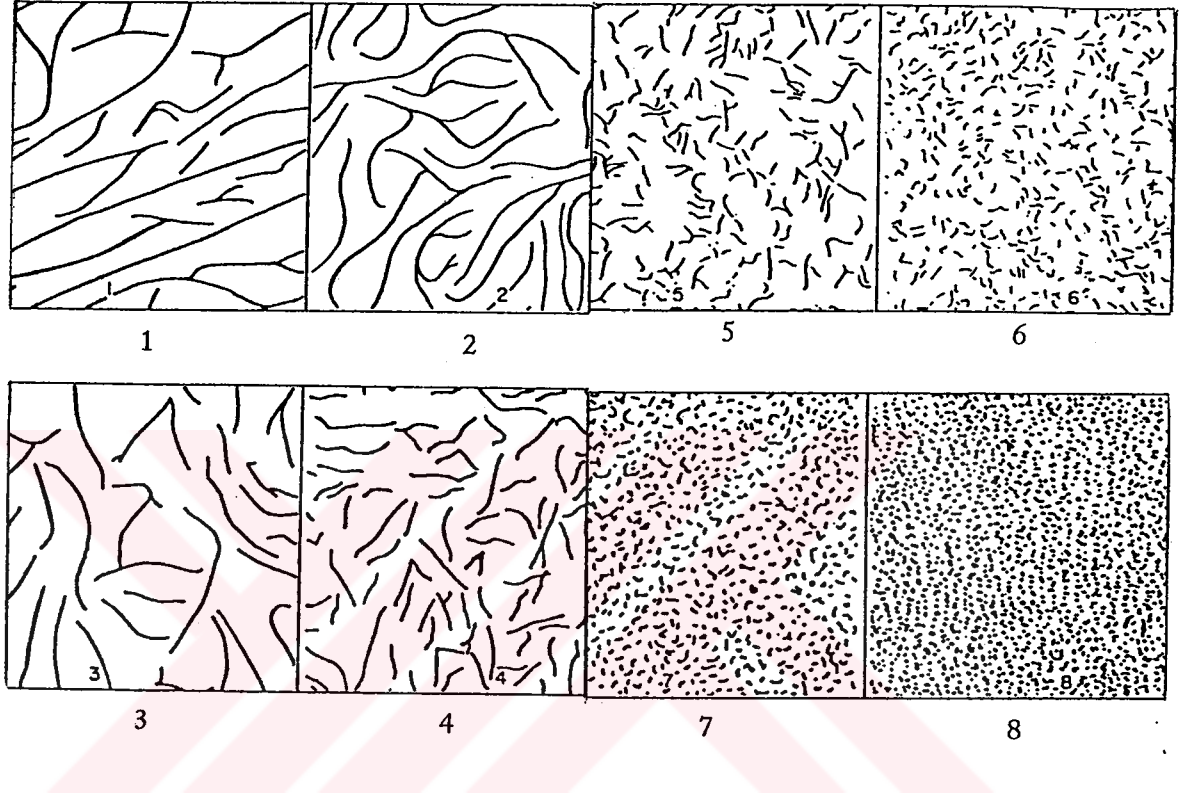
bunun içinde bulunan aşırı büyük grafitler (kish grafitler) yüzey pürüzlülüğü ve karıncalanma meydana getirirler [2].



Şekil 4.1. Grafit Dağılımları (100x-ASTM) [2].

Yüzey düzgünlüğü açısından, gri dökme demirlerde bulunan yapraksı grafit boylarının da önemi vardır. Kalıplarda cam-metal temas yüzeyinde grafit boylarının ASTM 7-8 olması gerekir (Şekil 4.2).

Gri dökme demirlerin ısı iletkenlikleri ve ısı ıl genleşme katsayıları çeliklerinkine yakındır. İç yapıda grafit bulunması sönme özelliğini, elektrik öz direncini, mıknatıs özelliklerini ve korozyon direncini oldukça etkiler.



Şekil 4.2. ASTM Grafit Uzunlukları. Büyütme:100 [2].

Gri dökme demirler zamanla boyutsal olarak değişirler. Perlit, grafit ve ferrite dönüşerek genişlemeye yol açar. Yüksek sıcaklıklarda grafit oksitlenerek yine genişlemeye yol açar. Sıcaklık 400°C altındaysa bu dönüşümler ciddi bir sorun yaratmaz.

Dökme demir cam kalıplarında ana yapının ferritik olması istenir. Bu, iyi bir ısı iletkenlik, işleme kolaylığı ve yüksek sıcaklıktaki boyutsal değişimler açısından önemlidir.

Gri dökme demirler ana yapılarına göre Tablo 4.1 de verilen sertlik düzeylerine erişebilirler [2].

Tablo: 4.1. Gri Dökme Demirlerin Ana Yapılarına Göre Sertlik Değerleri

ANA YAPI	SERTLİK HB
Feritik	110-140
Perlitik (%30-40)	140-190
Perlitik (%60ve yukarısı)	250
Martensitik	600

Gri dökme demirlerin tokluğu çok düşüktür. Şok yüklemeler altında kullanılamazlar. En üstün özelliklerinden biri aşınma dirençleridir. İç yapılarındaki grafit, metal-metal yüzeylerin sürtünmesinde yağlama görevi görür.

Bazı uygulamalarda, çeşitli alaşım elementleriyle (Cr, Ni, Ti, Mo, V, vb.) dökme demirlere birtakım mekanik ve fiziksel özellikler kazandırılabilir. Ancak malzemeye bu özellikler kazandırılırken kullanım yerine uygunluğunun doğru bir biçimde saptanması gerekir [4].

4.1.2. Sfero Dökme Demirler

Nodular, küresel ya da sünek dökme demir olarak da bilinen sfero dökme demirlerin gri dökme demirlerden tek farkı içerdikleri grafitin küresel bir biçimde olmasıdır. Grafitlerin küresel bir biçimde olması, sfero dökme demirlere, daha fazla tokluk ve daha iyi mekanik özellikler sağlar [5].

Bu malzemenin toplam karbon miktarı gri dökme demirlerle aynıdır. Katılaşma sırasında grafitlerin küresel biçimde oluşmasını sağlayan, dökümden önce potaya ilave edilen Mg ya da Ce gibi elementlerdir. Bu elementlerin kükürde karşı ilgileri çok fazla olduğundan, küreleştirme işleminin iyi bir şekilde yapılabilmesi için eriyik metalin kükürt oranının % 0.015'in altında olması gerekir.

Dökülmüş malzemenin yapısındaki ferrit ve perlit miktarları, dökümün kimyasal bileşimi ile soğuma hızına bağlıdır. En fazla %10 perlit içerenler, ferritik sfero dökme demir olarak adlandırılır [5].

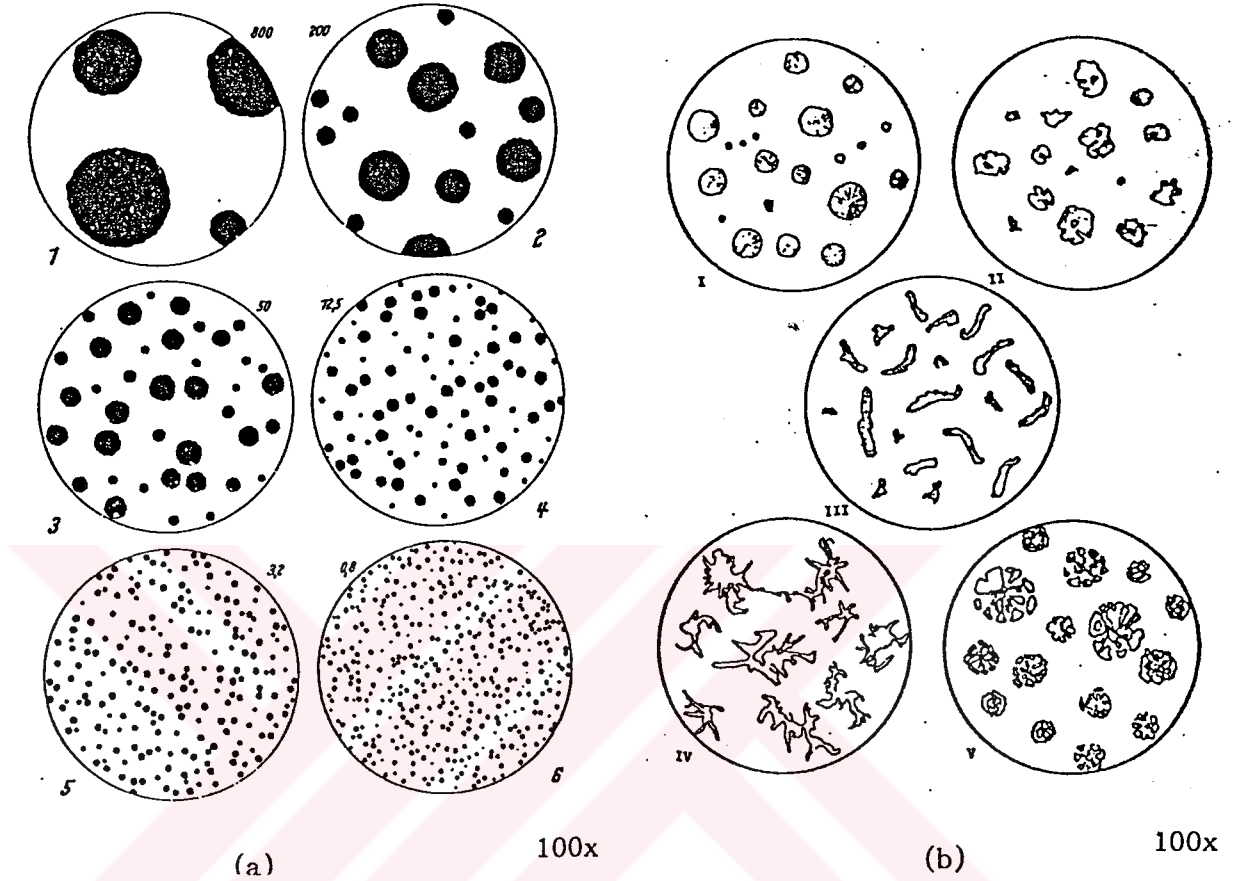
Sfero dökme demirler ana yapılarına göre Tablo 4.2. de verilen sertlik değerlerine erişebilirler [2].

Tablo 4.2. Sfero Dökme Demirlerin Ana Yapılarına Göre Sertlik Değerleri

ANA YAPI	SERTLİK HB
Ferritik	130
Ferritik (alaşımlı)	210
Perlitik	200
Perlitik (alaşımlı)	275
Martensitik	320
Östenik	130-160

Çoğunlukla mastörlerde kullanılan sfero dökme demirler, gri dökme demirlere göre daha iyi oksitlenme direnci, ısı şok direnci ve mekanik özelliklere sahiptirler. En önemli dezavantajları ise, gri dökme demirlerden %20 daha düşük ısıl iletkenliğe sahip olmalarıdır. Bu yüzden ısıl iletkenliğin önemli olduğu kalıp parçalarında malzemenin bu özelliğini dikkate almak gerekir [2].

Sfero dökme demirlerin standartlaştırılmasında belirli bir alana düşen kürecik sayısı ve bunların şekilleri esas alınmıştır (Şekil 4.3.) [6].



Şekil 4.3. a) Grafit Büyüklükleri; b) Grafit Şekilleri; ASTM-A247, Büyütme 100 [6].

Grafit küreciklerin, büyüklüklerinin, kalıp imalatı sırasında son parlatma ile oluşan yüzey düzgünlüğü açısından büyük önemi vardır. Dış yüzeyde, parlatma ya da imalat sırasında, grafitler koparak yüzeyde boşluk bırakırlar. Yüzeyden kopan grafitlerin bıraktığı boşluklara cam girmesi ile, boşlukların büyümesi, yırtılma, oksitlenme gibi sorunlar ortaya çıkar ve cam mamul kalitesinde kötüleşme görülür. Bu yüzden yapıdaki grafit küreciklerinin büyüklükleri ASTM 5-6 olmalıdır (Şekil 4.3.a.). Aşılama (inoculation) ve kokil döküm, grafit küreciklerini küçültmede ya da birim alana düşen sayılarını arttırmada en sık kullanılan yöntemlerdir [2].

Kalıpların imalatı sırasında, yetersiz Mg ilavesi, kükürt fazlalığı ya da diğer bazı nedenlerden grafit şekilleri bozuk ve küreleşmemiş olabilir. Bu durumda yapıda Şekil 4.3.b de gösterilen grafit şekillerinden birini ya da karışımlarını görmek mümkündür. Şekil 4.3.b de I. Tür tercih edilendir. Yapıda II. Türün bulunması mekanik özellikler üzerinde çok az etki yapar. Yüzde 10'a kadar III. Tür, geri kalan I. ve II. Tür kabul edilebilir sınırlar içindedir. IV. ve V. türler istenmeyen şekillerdir ve mekanik özellikleri büyük ölçüde düşürürler [2].

Grafitlerden ayrı olarak, ana yapının (matriks) gri dökme demirlerde anlatıldığı şekilde ferritik olması gerekir. Gri dökme demirlere göre düşük ısı iletkenliğe sahip sfero dökümler perlitik yapıya sahipse ısı iletkenlik daha da düşer [2].

BÖLÜM 5. DÖKME DEMİR CAM KALIP MALZEMELERİNİN SAHİP OLMASI GEREKEN ÖZELLİKLER

Şişe imalatı sırasında kalıplar aşınmaya, oksidasyona, genleşmeye, camın korozyif etkisine maruz kalırlar. Bu nedenle kalıp malzemelerinin uniform metal yapısı, düşük ısı genleşme, ısı şoklarına mukavemet, düşük oksidasyon, aşınma ve camın korozyif etkisine dayanıklılık göstermesi gerekmektedir [1].

Ancak cam kalıplarında aranan malzeme özellikleri arasında bazı çelişkiler mevcuttur. Örneğin iyi işlenebilirlik özelliği için düşük sertlik, şişe imalatı sırasında aşınmanın az olması için yüksek sertlik, parlak bir yüzey sağlamak için yüksek perlit oranı, iyi bir ısı iletkenlik ve hacimsel büyümenin önlenmesi için minimum perlit oranı, karıncalanmayı önlemek için küçük grafit boyları, ısı iletkenliği yükseltmek için büyük grafit boyları istenir. Bütün bu özellikleri bir arada sağlayacak bir malzeme bulmak olanaksızdır, ayrıca sorunun ekonomik yanında gözden uzak tutulmamalıdır. Bu çerçevede pik kalıp malzemesinin özelliklerinin bir optimizasyon sonucunda oluşan spesifikasyonlar çerçevesinde değerlendirilmesi gerekmektedir [7].

5.1. Dökme Demir Cam Kalıp Malzemelerinin Genel Özellikleri

Dökme demir kalıp malzemelerinin aşağıdaki özellikleri optimum oranlarda içermesi gerekir [8].

1. İşlenebilirlik
2. İnce tane ve yüzey düzgünlüğü

3. Yoğunluk ve sıkı doku
4. Cam metal yapışmasına karşı direnç
5. Isıl çatlamaya karşı direnç
6. Yüzey bozulmalarına karşı direnç
7. Düşük ısı genleşme
8. Yüksek ısı iletkenlik
9. Büyümeye ve tufalleşmeye karşı direnç
10. Aşınmaya karşı direnç

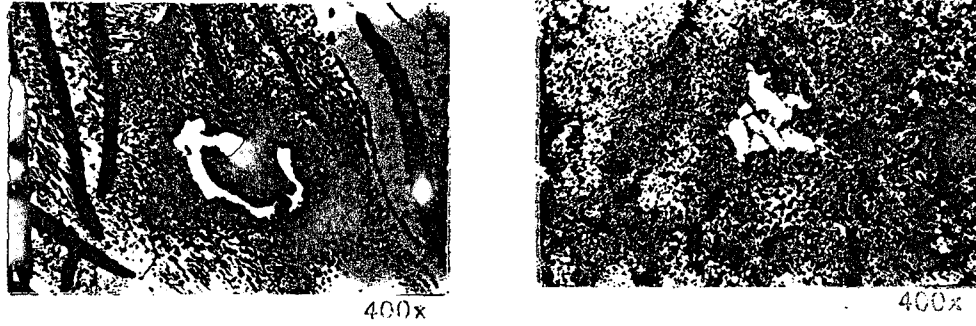
5.1.1. İşlenebilirlik

Döküm cam kalıplarından beklenen en önemli özellik, yüksek kalitede, hızlı ve kolay işlenebilme özelliğidir. Bu yüzden dökümlerin, curuftan iyice arındırılmış olması ve döküm boşlukları, karınca vb. içermemesi gerekmektedir. Kokil dökümler, ince taneli ve sıkı dokulu yapılar daha iyi işlenebilirlik özelliğine sahiptir. Diğer dökümler, göreceli olarak daha sert olup, kalıp maliyetini %100 etkileyebilirler.

Döküm parçaların maliyetini belirlemede 2 önemli nokta vardır. Bunlar kullanılan hammadde ve işlemedir. İşleme maliyeti, bazı durumlarda ham döküm maliyetini de aşmaktadır. Camla temas eden yüzeyde çok iyi parlatma isteyen özellikle gravürlü kalıplarda çok uzun süreler tutan işleme maliyetleri, kalıp maliyetini belirleyici en önemli etken olmaktadır.

Cam şişe üreticileri açısından kısa süreli imalatlarda, işlenebilirliği yüksek, daha az sert olan ucuz dökümleri kullanmak, uzun süreli imalatlarda ise işlenebilirliği düşük fakat imalatlarda uzun süre kalabilecek olan kalıpların kullanılması uygun yöntem olabilir. Bu nedenle çeşitli kalıpların, dayanma sürelerinin bilinmesi gerekmektedir.

Büyük ölçüdeki sertlik değişimleri, birçok durumda işleme problemlerine yol açar (Şekil 5.1.). Bu durum dökümlerde büyük sert fazların, çoğunlukla Fe_3C ya da krom karbürlerin bulunması ile ortaya çıkar.



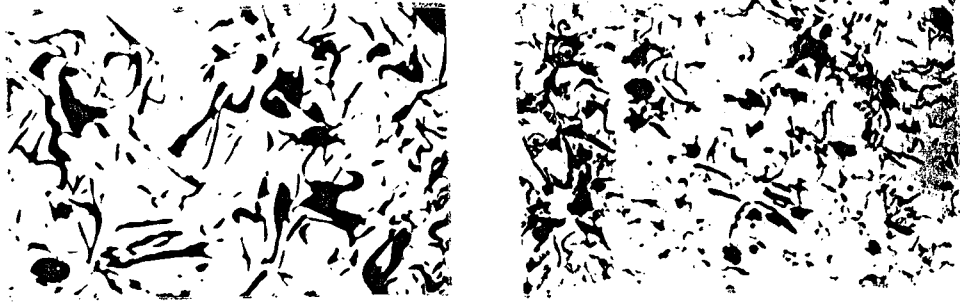
Şekil 5.1. İri krom karbür parçacıkları (Beyaz yerler) [2].

İç yapıda homojen olarak dağılmış karbürler işleme sırasında sorun yaratmaz. Fakat, katılaşma sırasında oluşmuş iri demir karbür ya da erimemiş alaşım elementleri (Fe-Cr vb.) işlemeyi zorlaştırırlar, hatta olanaksız kılarlar [2].

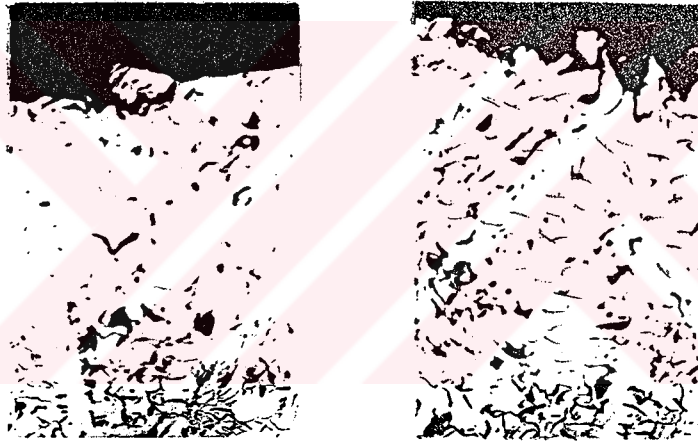
5.1.2. İnce Tane ve Yüzey Düzgünlüğü

İnce taneli dökümler, daha düzgün yüzey elde etme, daha yüksek dayanıklılık gibi özelliklere sahiptir. Çil dökümler, bu açıdan cam kalıp malzemesi olarak avantajlıdır. Düzgün bir yüzey elde etmek için grafitlerin büyüklük ve dağılımlarının da çok büyük önemi vardır [4].

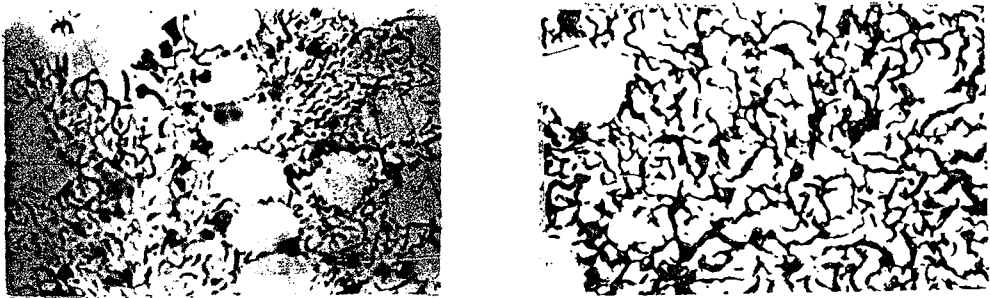
Büyük iri taneli ve kış grafitler (Şekil 5.2.), pürüzlü, bozuk yüzey (Şekil 5.3.a.) ve karıncalanma (Şekil 5.3.b.) gibi problemlerin en büyük nedenleridir. Camla temas eden yüzeyde, grafitlerin çok ufak taneli ve homojen olması (Şekil 5.4.) gerekmektedir [2].



Şekil 5.2. Kish grafitler, a) Dış yüzey, b) İç yüzey [2].



Şekil 5.3. Bozuk yüzey ve karıncalanma [2].



Şekil 5.4. Homojen "undercooled" grafitler, a) Dağlanmamış, b) Dağlanmış

İstenilen özellikte grafitler yani “undercooled” (aşırı soğumuş) grafitler, çil dökümle sağlanabilmektedir. Ancak bu çil bölgesinin derinliği de önemlidir. Çok az çil derinliğe sahip dökümler (1-2 mm) işleme sırasında yok olacağından bu bölgenin olabildiğince derine inmesi gerekmektedir.

5.1.3. Yoğunluk ve Sıkı Doku

Yoğunluğun ve sıkı dokunun kalıbın cam ile temas eden yüzeyinde her tarafta aynı olması, ısı etkenler açısından (ısı genleşme, ısı iletkenlik vs.) gereklidir. Alaşım elementlerinin çoğunun grafiti ufaltıcı etkisi vardır. Yalnız, silisyum ve karbon grafiti irileştirme etkisi yapar [8].

5.1.4. Cam Metal Yapışmasının Önlenmesi

Dökme demirlerde, cam-metal yapışmasının önlenmesi için grafit yoğunluğunun (nüfusunun) fazla olması gerekmektedir (grafitin yağlayıcı etkisinden dolayı). Çok ince D tipi grafit dağılımı, bu özellik için uygun dökümdür. Eğer yapıda işlenebilirlik bölümünde sözü edilen iri karbürler bulunuyorsa yapışma sıcaklığının demire göre daha düşük olmasından dolayı cam-metal yapışması sorun yaratabilir.

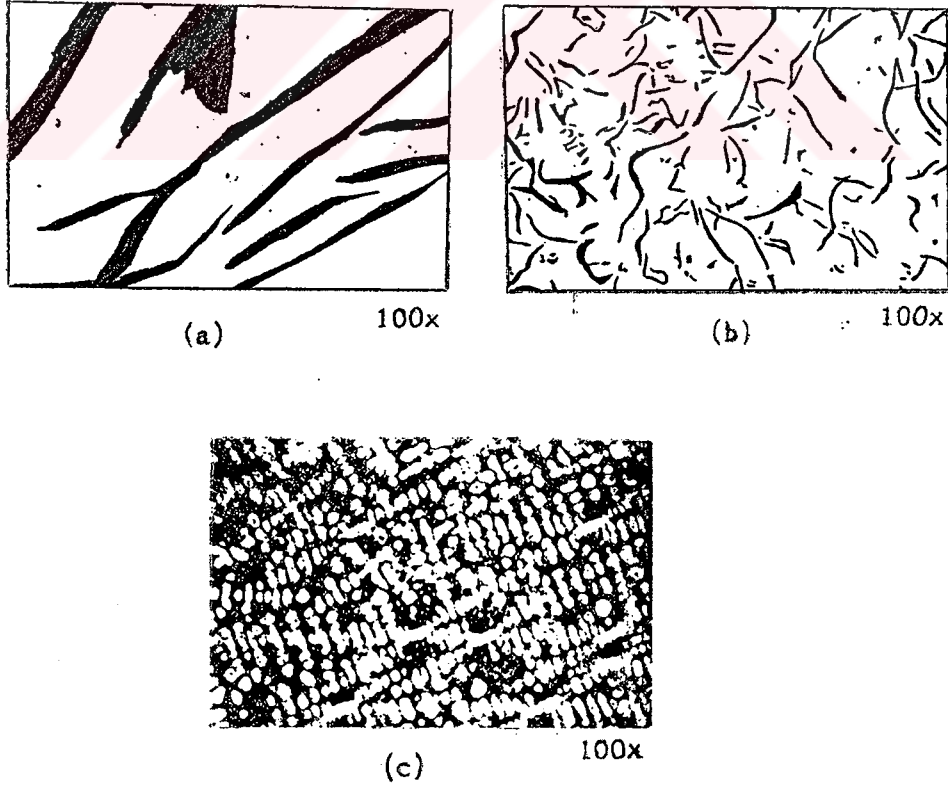
Cam ile temas eden kalıp yüzeyinin bu özellikte olmaması yapışma problemini doğurabilir. Bu ise, kalıpların daha sık yağlanmasını gerektirdiğinden mamule yansıyan yağ lekesi probleminin doğmasına neden olur [8].

5.1.5 Isıl Çatlamaya Karşı Direnç

Yüksek yoğunluktaki grafit dağılımı, cam-metal yapışmasını önlemesinin yanında, mikroskobik çatlakların, ısı çatlaklara dönüşmesini engeller. Tekrarlanan ısınma ve soğuma durumlarında, kalıplarda mikroskobik

çatlaklar oluşur. Cam damlasının kalıba teması ile oluşan ısıl şoklar, ısıl gerilim ve hemen ardından büzülme kalıbın iç yüzeyinde büyük gerilimler (Stress) yaratır. Malzeme, bu gerilimden kurtulabilmek için çatlamaya başlar. Derinlemesine ilerleyen bu çatlaklar yapıdaki grafitlerle karşılaşınca durur. Grafitlerin yoğunluğu ne kadar fazla ise çatlakların büyüme ve derine doğru ilerleyebilme olasılığı da o derece düşüktür. Şekil 5.5. büyük, orta ve aşırı soğumuş (undercooled) grafitler gösterilmiştir. Resimlerden de anlaşılacağı gibi çatlakların ilerleyebilme olasılığı aşırı soğumuş yani ASTM- D türü grafitlerde en azdır.

Grafit yoğunluğunu arttırmanın yolu boylarını küçültmek veya sayılarını arttırmaktır. Silisyumsuz demir-karbon sıvı alaşımı % 4,3 e kadar çözünmüş karbon içerir. Silisyum ilavesiyle karbonun çözünürlüğü azalır. Bu yüzden grafit yoğunluğunu silisyum azaltarak arttırmak mümkündür [2].



Şekil 5.5. a) İri grafit, b) Orta boy grafit, c) Aşırı soğumuş grafit (ASTM-D) [2].

5.1.6. Yüzey Bozulmalarına Karşı Direnç

Sıcaklık, aşınma ve korozyondan ayrı olarak yüzey bozulmaları oluşturabilir. Damla ile temas eden kalıbın iç yüzeyi ani olarak genişler. İnce taneli mikro yapı bu şok etkisine karşı yastık görevi yapar. Yüksek yoğunlukta ve yüzeye paralel bir şekilde uzanmış grafitler çatlama olaylarını azaltır. Derine doğru uzanmış taneler ise yüzey bozulmalarını azaltır [2].

5.1.7. Düşük Isıl Genleşme

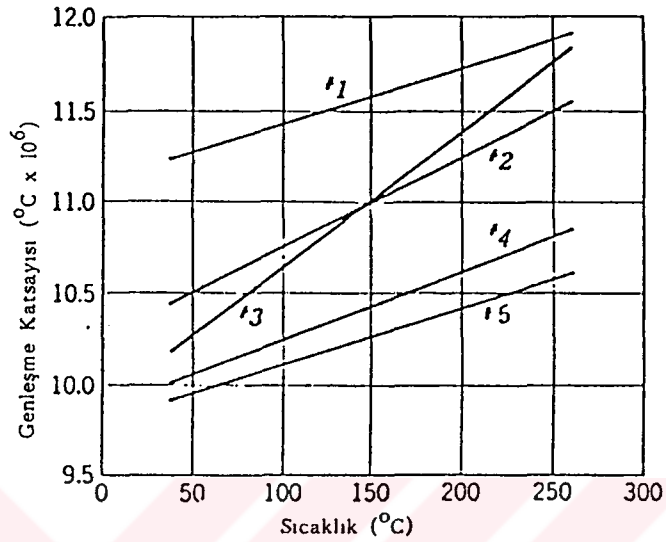
Kalıplarda, ani sıcaklık ve soğuma tesirleriyle ortaya çıkan gerilimleri azalttığı için istenen bir özelliktir. Şekil 5.6. daki çelik ve dökme demir eldelerinden anlaşılabileceği gibi karbon miktarı arttıkça genleşme azalır.

Silisyum genleşmeyi artırır, bu yüzden Si değerindeki azalma yaralı olacaktır. Düşük miktarlardaki Cr genleşmenin azalmasına yardımcı olur. % 0,3 civarında Cr, karbür oluşturduğu için genleşmeyi azaltır. Mangan ısı genleşmeyi arttırdığından düşük tutulmalıdır [2].

5.1.8. Yüksek Isıl İletkenlik

Damla tarafından kalıba verilen ısınn dışa doğru akışını sağlaması açısından önemli bir özelliktir. Genelde alaşım elementi miktarı arttıkça ısı iletkenlik azalır (Şekil 5.7). Ayrıca sıcaklığın artmasıyla ısı iletkenliğin azaldığıda bilinmektedir. Mikroyapıda bulunan fazların ısı iletkenlikleri şu şekildedir [8].

Ferit (α)	0,187 cal/cm ² /sec ^o C/cm kalınlık
Perlit (α +Fe ₃ C)	0,124 cal/cm ² /sec ^o C/cm kalınlık
Grafit	0,740 cal/cm ² /sec ^o C/cm kalınlık
Fe ₃ C	0,017 cal/cm ² /sec ^o C/cm kalınlık



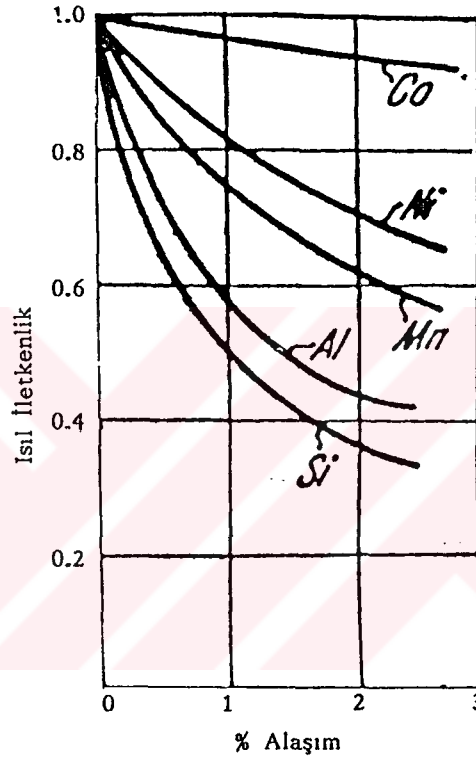
KİMYASAL ANALİZ

Örnek No.	C	Mn	P	S	Si	Mo	Ni
1. Çelik	0.20	-	-	-	-	-	-
2. Alaşımsız dökme demir	3.25	0.59	0.093	0.091	2.22	-	-
3. Molibdenli dökme demir	3.32	0.44	0.127	0.065	1.93	0.37	-
4. " " "	3.26	0.43	0.116	0.064	1.89	0.73	-
5. Nikelli dökme demir	3.14	0.40	0.126	0.080	1.99	-	1.41

Şekil 5.6. Çelik ve dökme demirlerin ısı genleşmeleri [2].

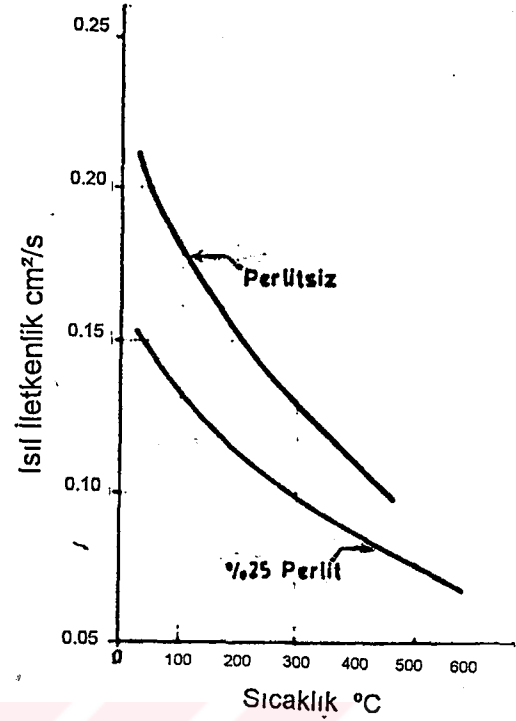
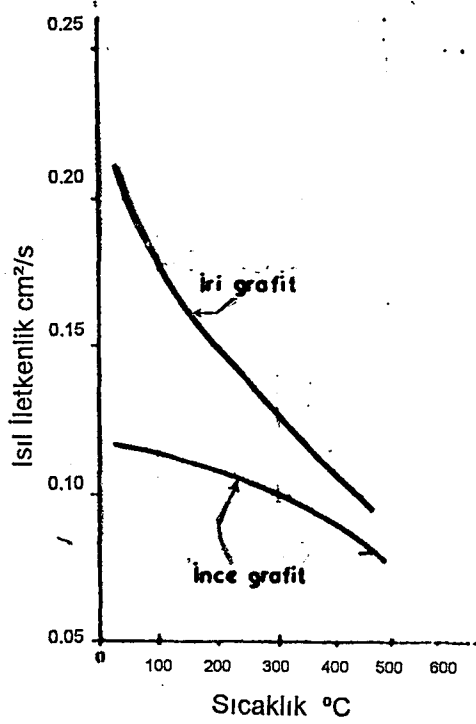
% 2'ye kadar Mn ve %1'e kadar fosfor ile silisyum ve nikel ısı iletkenliği azaltır. Silisyum ve nikelin katılaşma sırasında grafitleşmeye etkisi aynı olduğundan silisyumun % 3'e kadar nikel ile yer değiştirmesi ısı iletkenliği artırır. %1,5 Ni ve %1,5 Si ile iyi sonuçlar elde edilebilir. Kromun ısı iletkenliğe etkisi düzensizdir. Tavlanmış dökümlerin ısı iletkenlikleri, tavlanmamışlara oranla daha yüksektir [8].

Aynı zamanda matriks yapısındaki perlit miktarı arttıkça ve grafitler inceldikçe ısı iletkenlik azalmaktadır. Şekil 5.8. ve Şekil 5.9. da görüldüğü gibi 300°C de D tipi grafitin iletkenliği kalın A tipine göre % 25 daha düşüktür. Yine ferritik yapı içinde % 25 perlit bulunması aynı sıcaklıkta iletkenliği tümüyle ferritik olana göre % 25 azaltmaktadır [9].



Şekil 5.7. Alaşım elementlerinin ısı iletkenliğe etkisi [8].

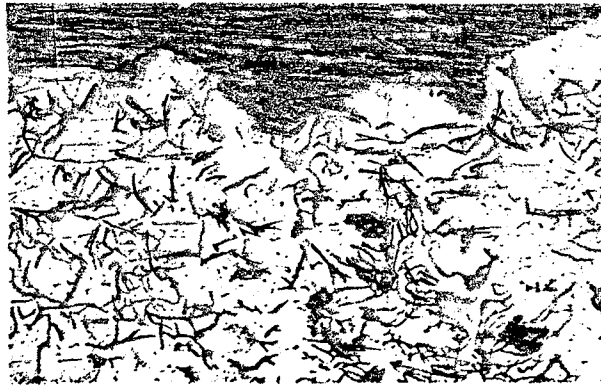
Kalıbın ısı iletkenliğini etkileyen parametreler birbiriyle çelişkilidir. Şöyleki ısı iletkenliği; yüksek karbon miktarı, kaba grafit yapısı, ferritik matriks, düşük miktarda alaşım elementi artırır ancak yüksek karbon içeriği parlaklığı azaltır, yüksek alaşım elementleri aşınma ve oksidasyona direnç sağlar. Dolayısıyla optimum oranlarda parametrelerin ayarlanmasıyla yüksek kalıp performansı elde edilebilir [7].



Şekil 5.8. Grafit tipinin iletkenliğe etkisi [9] Şekil 5.9. Matris yapısının ısı iletkenliğe etkisi [9].

5.1.9. Büyüme ve Tufalleşme

Kalıplarda büyüme ve tufalleşme olayı iç yüzeyden başlayarak derine doğru ilerler. Cam kalıbın çalışma sıcaklığı ($\sim 500^{\circ}\text{C}$), sadece cam ile temas eden yüzeyde büyüme ve tufallenme yaratır. Yüzeylerde aşınma sonucu, oksidasyon için aktif bölgeler meydana gelir. Bunlar Şekil 5.10.da görülmektedir [9].



Şekil 5.10. Kaba grafit yapısı nedeniyle cam ile temas eden yüzeyde çukurlaşmalar [9].

Pratik olarak büyüme problemi yüksek sıcaklıklarda grafitleşme ve oksitlenmenin birleşmesinden oluşur. Silisyum miktarının fazla olması büyüme problemine olumsuz etki yapar. Silisyum, karbon, nikel, titanyum, alüminyum gibi elementler grafitleşme etkisini arttırırlar. Karbonun grafitleştirme gücü silisyumun üç katı kadardır. Bu elementler için şu eşitlikler verilebilir [4].

$$1 \text{ Ni} = \frac{1}{2} \text{ Si}$$

$$1 \text{ Ni} = \frac{1}{2} \text{ Si}$$

Grafitleştirme gücü

Büyümeyi önleme etkisi

$$3,50 \text{ C} + 2,30 \text{ Si} = 3,50 \text{ C} + 1,30 \text{ Si} + 2 \text{ Ni}$$

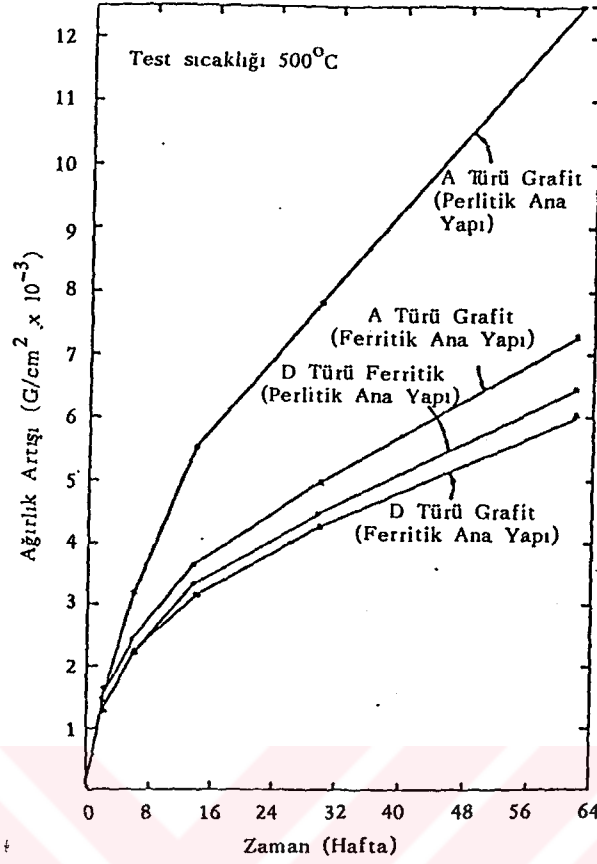
Grafitleştirme ve büyüme önleme etkisi (% 80 daha az büyüme)

Grafit dağılımının oksitlenme ve tufallenme üzerinde etkisi vardır. D türü grafit dağılımına sahip bir yapı, A türü dağılımlı yapıdan daha az oksitlenir (Şekil 5.11.) [2].

Oksidasyona karşı Cr, Ni, Mo gibi alaşım elementleri pik malzemeye ilave edilir ve yüksek aşırı soğumayla yüzeyden pul pul dökülmeleri önleyen ince taneli ve sık dokulu yapı sağlanır.

5.1.10. Aşınmaya Karşı Direnç

Cam kalıpları ya şişe imalatı sırasında yada imalat sonrası uygulanan temizleme sırasında aşınmaya maruz kalır. Temizleme kum veya çelik bilya püskürtülerek yapılmaktadır. Bu da aşınma açısından göz önünde tutulması gereken bir parametredir.



Şekil 5.11. Rastgele konumlu (ASTM-A) ve undercooled (ASTM-D) grafitli dökümlerin oksitlenme özellikleri.

Genel anlamda ferrit ve grafit miktarı arttıkça aşınmaya karşı direnç azalır, perlit miktarının artmasıyla da fazlalaşır. Burada göz önünde tutulması gereken nokta, artan sertlik ile, kalıpta diğer aranan özelliklerin (işlenebilirlik, ısıl çatlama direnci v.s.) kötüleşmesidir. Bu yüzden bir optimizasyon durumu söz konusudur (az miktardaki üretimde düşük, uzun süreli imalatta yüksek sertlikte kalıp kullanmak v.s). Alaşım elementlerinin ise hemen hepsinin sertliği arttırıcı etkisi vardır. Ancak bu elementlerin miktarları yapıda işlemeyi zorlaştıracı ölçüde sementit yada alaşım karbürleri oluşturmamalıdır [2].

5.2. Metalurjik Özellikler

5.2.1. Grafit

Gri dökme demirlerde mikroyapıda lamel şeklinde bulunur. Mekanik özellikler, yüzey düzgünlüğü, cam-metal yapışma sıcaklığı gibi birçok özelliklerle yakından ilgilidir. Kimyasal bileşim, döküm hızı, soğuma hızı gibi etkenlere bağlı olarak dağılım ve büyüklük bakımından farklılıklar gösterir. Şekil 4.1. de rastlanabilecek grafit dağılımları gösterilmiştir. Cam kalıplarda cam ile temas eden yüzeyin ASTM-D tipi dendritler arası dağılımda yada diğer adıyla, aşırı soğumuş (undercooled) olması gerekmektedir. Bu türde grafit dağılımı, yüzey düzgünlüğü, yüzey bozulmaları cam-metal yapışması, işlenebilirlik, çatlama direnci gibi özellikler açısından en uygun olanıdır. Cam kalıpların dış yüzeyinde ise A tipi grafit dağılımı olması istenmektedir. Cam ile temas eden yüzeyde C ve E tipi dağılımlardan kaçınılmalıdır. Özellikle C tipi dağılım karıncalanma olayına yol açar.

Yüzey düzgünlüğü açısından grafit dağılımının olduğu kadar grafitlerin büyüklükleri de önemlidir. Şekil 4.2 de ASTM standartına göre grafit büyüklükleri gösterilmiştir. Kalıplarda cam ile temas eden yüzeyde grafit boylarının minimum (ASTM 7-8) olması gerekmektedir.

5.2.2. Sementit

Fe_3C formülüyle bilinen demir karbürüdür, sertliği çok yüksektir (800 HB) perlitin içinde ($\alpha+Fe_3C$) lamel halde bulunur. Lamel halde bulunmayan düşük karbon, silisyum yada aşırı hızlı bir şekilde soğumanın etkisiyle oluşmuş iri sementit taneleri ise cam kalıpları için çok zararlıdır. İşlemeyi zorlaştırdıklarından ve ısı şoka dayanıksız olduklarından yapıda bulunmamaları gerekmektedir [4].

5.2.3. Perlit

Perlitin genel yapısı Şekil 5.12. de görüldüğü gibi ferrit (α) ve Fe_3C lamellerinden oluşmuştur. Perlit katılaşma sırasında 650-800°C arasında katı dönüşümle oluşur, sertliği lamellerin ince yada kalın olmasına bağlı olarak 175-330 HB arasında değişir. Hemen tüm gri dökümlerde mevcuttur ve tavlama ısı işlemi ile yok edilebilir. Isıl iletkenliği düşüktür, yüzey bozulmaları yaratabilir. Aşınma direnci yüksektir. Cam kalıplarında maksimum % 5'e kadar bulunabilir [2].



Şekil 5.12. Perlit Yapısı [2].

5.2.4. Ferrit

İçinde çok az karbon, silisyumun tamamını ve birçok alaşım elementlerini katı çözelti şeklinde barındıran α fazıdır. Silisyum miktarına bağlı olarak sertliği 90-150 HB arasında değişir. Isıl iletkenliği yüksektir. Cam kalıplarında istenen bir fazdır [10].

5.3. Kimyasal Özellikler

5.3.1. Karbon

Karbonun kalıba ısı şok direnci, ısı iletkenlik gibi avantajlar sağlamanın yanında yüzey düzgünlüğü ve oksitlenme konusunda olumsuzlukları vardır. Cam kalıplarda karbon miktarı % 3,3- 3,6 sınırlarındadır. Cam kalıp gri dökme demirlerinde, karbon eşdeğerinin % 4,3'ünün üstüne çıkmaması gerekir. Karbon eşdeğeri (C E) şu şekilde hesaplanır.

$$C E = \% C + 1/3 (\% Si + \% P)$$

Eğer karbon eşdeğeri 4,3'ün üzerine çıkarsa yapıda kish grafitler oluşur ve bu da karıncalanmaya yol açar (Şekil 5.13) [2].



400x



400x

Şekil 5.13. a) Kish grafit, b) yüzeyde yarattığı boşluk “karınca” [2].

5.3.2. Silisyum

Silisyum miktarı, karbondan daha değişkendir. Normal olarak % 1.6- 2,4 arasında değişir, fakat bu oran çoğu dökümde % 2,0- 2,4 arasındadır. En büyük özelliği Fe-C dende diyagramında, ötektik noktayı sola kaydırarak grafitleşmeye yaptığı etkidir. Mikroyapıda ferritin içinde çözünmüş olarak bulunur ve ferritin dayanıklılığını artırır [5].

5.3.3. Kükürt ve Manganez

Yapıda, mangan sülfür oluşturduğu için, bu iki element, aynı başlık altında toplanmıştır. Bileşimdeki bütün kükürdü tutması için gerekli mangan miktarı

$$\% \text{ Mn} = 1,7 \times \% \text{ S}$$

olarak hesaplanır. Yetersiz mangan miktarı, kükürdün demir ile birleşmesine yol açar ki, bu istenmeyen bir durumdur. Kükürt miktarının fazlalığı, MnS kalıntılarının fazlalığına da yol açar, bu durum yüksek sıcaklıkta yüzey bozulmalarını artırır. Cam kalıplarında kükürt miktarının maksimum 0,07 olması gerekir. Mn ve S sırasındaki diğer eşitlikler şöyledir [4].

$$\begin{aligned} \% \text{ S} \times 1,7 + 0,15 &= \% \text{ Mn, Max ferritik, min. perlitik bir yapı sağlar.} \\ 3 \times \% \text{ S} + 0,35 &= \% \text{ Mn, perlitik bir yapı sağlar.} \end{aligned}$$

5.3.4. Fosfor

Cam kalıplarında fosfor miktarı çok değişkendir (% 0,01-1,1). Yüksek fosfor miktarının cam kalıplarındaki tek avantajı Fe_3P meydana getirerek aşınma direncini artırmasıdır. Fakat işlenebilirlik, çatlama direnci gibi

özelliklerinde düşme görülür. % 0,1'in altında bir değer cam kalıpları için uygundur [2].

5.3.5 Alaşım Elementleri

Alaşım elementleri, cam kalıplarında, tufallenme, çatlama, dayanıklılık aşınma, oksitlenme, grafitin ve tanelerin küçültülmesiyle diğer bazı özellikleri iyileştirme amacıyla kullanılır. Nikel, krom, molibden gibi elementler, perlitli kararlı hale getirir, dayancı artırır, yüksek sıcaklıklarda çatlama ve kırılmaları önler. Tavlanmış ferritik bir yapıda alaşım elementleri ferrit içinde çözünerek dayancı ve sertliği artırır.

% 0,15-0,75 civarında krom bütünüyle perlitik bir yapı oluşturur. Oksitlenme direncini ve ısı direnci artırır.

Molibden özellikle yüksek sıcaklıkta deformasyonu önler, dayancın ve sertliğin artırılmasında etkindir.

Nikel grafitleşmeyi sağlar. Grafiti küçültür, perlitli daha ince hale getirir, dayancı artırır.

Bakır grafitleşmeyi sağlar, ferrit içinde çözünmüş olarak bulunur. Aşınma ve korozyon direncini artırır. Yapıda perlit oluşumuna yardımcı olur.

%0,10-0,15 vanadyum yüksek sıcaklıkta mukavemet sağlar.

% 0,25'den daha az alüminyum grafitleşmeyi ve ısı iletkenliği artırır.

% 0,05-0,25 titanyum grafitleşmeyi artırır, grafit tanelerini ufaltır. D tipi grafit oluşmasına yardımcı olur [3].

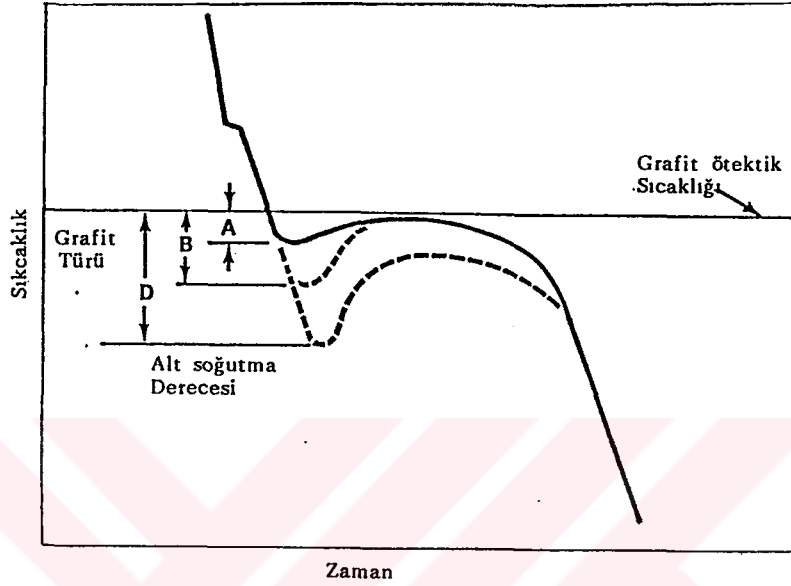
BÖLÜM 6. DÖKME DEMİR CAM KALIP MALZEMELERİNDE ARANAN ÖZELLİKLERİN SAĞLANMASI

Kalıp malzemelerinin kullanılabilirliğini belirlemedeki en önemli etkenlerden biri mikroyapısının uygunluğudur. Kimyasal kompozisyonları aynı olsa bile değişik mikroyapıya sahip kalıplar kullanım sırasında çok değişik performanslar gösterebilirler. Kalıplarda istenen mikroyapı özelliklerini sağlamak için aşağıdaki yöntemler mevcuttur [2].

6.1. Kokil Döküm-Çil Derinliği

Bu yöntemde döküm sırasında kalıp içine sıkı yapıya sahip olması istenen bölgelere metal (dökme demir) kokil konur. Ergimiş metalin kokil ile teması sonucu o yüzeyde belirli bir derinliğe kadar D tipi grafit (undercooled grafit) oluşur. Burada oluşacak çil bölgesinin ince, sıkı ve derin olması gerekir. Bu birkaç faktöre bağlıdır.

1. Çil derinliğinin parça kesitine oranı : eğer bu oran çok büyük ise yapıda sert sementitler oluşur. Oranın az olduğu durumda ise grafitler yeteri kadar ufak ve istenilen türde olmayabilir.
2. Ergitme Metodu: Çil derinliği indüksiyon fırınındaki dökümlerde kupol ocağında yapılan dökümlere göre daha derin olur.
3. Döküm sıcaklığı ne kadar yüksek ise çil derinliği o kadar fazla olur.
4. Hammadde: Çil derinliği kullanılan hammadde ile de etkilenir. İri grafit içeren pik demir, hematit gibi hammaddelerin oranı arttıkça çil derinliği azalır. Çelik hurda oranının artmasıyla da artar.
5. Aşırı soğuma (undercooling): Döküm sırasında aşırı soğuma etkisi arttıkça D tipi grafit elde etme olasılığı artar (Şekil 6.1.) [2].

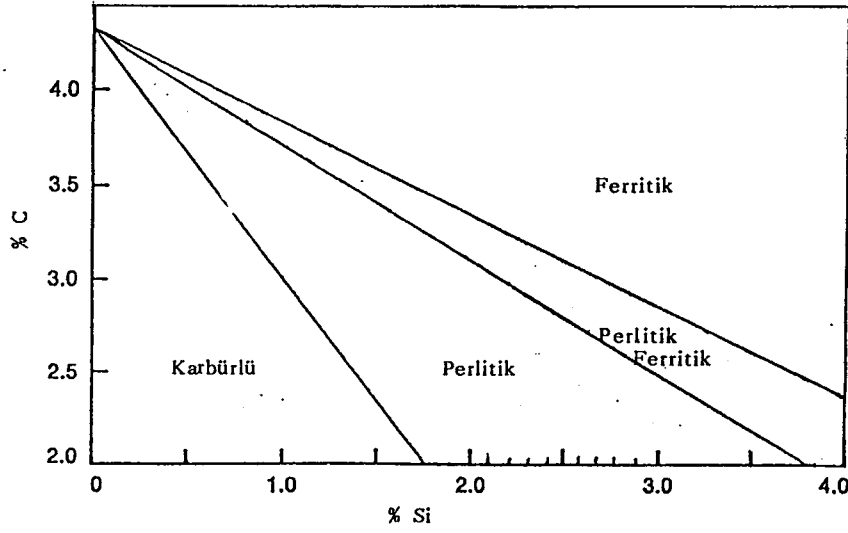


Şekil 6.1. Aşırı soğumanın (alt soğuma) grafit yapısına etkisi [2].

6.2. Alaşım Elementleri

C, Si, Mn gibi ana alaşım elementlerinin dışında diğer tüm alaşım elementleri (Cr, Ni, V, Mo, Cu, Ti) yapıda perlit oluşturmaya yatkındır.

Titanyum, yapıda D tipi grafit oluşmasını sağlar. Mikroyapıdaki ferrit ve perlit oranları ise karbon ve silis miktarları ile ayarlanabilir. Şekil 6.2. de görüldüğü gibi, yapıda ferrit oluşması için maksimum karbon ve silis değerleri gerekmektedir [2].



Şekil 6.2. C ve Si miktarlarının mikroyapıya etkisi [2].

6.3. Isıl İşlem

Dökme demirlere çoğunlukla uygulanan ısıtım yöntemleri şunlardır.

6.3.1. Gerilim Giderme:

Dökümden sonra parçaların içinde kalan gerilimleri gidermek amacıyla 550°C'ye kadar ısıtım yoluyla yapılır. Dökümlerin yapısında herhangi bir değişiklik olmaz. Gerilim giderme tavından sonra ısıtım şoklarından meydana gelen çatlamlar azalır.

6.3.2. Ferritleştirme Tavlama

Döküm parçaların 950°C da büyüklüklerine göre 9-10 saat tutulması ve çok yavaş soğutulması ile yapılır. Amaç yapıyı tamamen ferritik hale getirmektir. Bu ısıtım işlem türü, çatlama gibi kalıp sorunlarının önlenmesinde en etkili olanıdır.

6.3.3. Normalize Tavl

Yaklaşık 850°C'den dökümlerin havada veya fan havasında soğutulmasıyla yapılır. Amaç yapıdaki perliti daha ince hale getirmek böylelikle mekanik özellikleri iyileştirmektir [11].



BÖLÜM 7. DÖKME DEMİR CAM KALIPLARININ KALİTE KONTROLÜNDE GÖZ ÖNÜNDE TUTULAN KRİTERLER

Dökme demirlerin cam kalıbı olarak kullanılabilirliğini belirlemedeki en önemli üç nokta kimyasal bileşim, mikroyapı ve sertliktir. Kimyasal bileşim bir yerde mikroyapıyı tayin eder, ancak malzemenin cam kalıbı olarak kalitesini tayin ederken bu üç özellikten yalnızca birini veya ikisini kontrol etmek eksik ve hatalı olur. Çünkü aynı kimyasal bileşimdeki dökümler tamamen farklı mikroyapı ve sertlik değerlerine sahip olabilirler [7].

7.1. Kimyasal Bileşim

Dökme demir cam kalıpların genel kimyasal bileşimleri şu şekildedir.

% C 3,50-3,60

% Si 1,80-2,20

% Mn 0,6-0,80

% P max. 0,05

% S max. 0,05

Yukarıda belirtilen % aralıkları, kullanım yerlerine bağlı olarak daha da daraltılabilir. Aynı şekilde alaşım elementleri de kullanılacak yere göre belirlenir yada dökümde hiç alaşım elementi bulunmayabilir. Bu durumu tesbit etmenin en sağlıklı yolu önceden belirlenen değişik bileşimdeki (alaşım elementleri de dahil olmak üzere) kalıpların imalat sırasındaki performanslarının belirlenmesidir. Cam kalıplarında kullanılan alaşım elementleri ve sınırları genel olarak aşağıdaki gibidir [7].

% Cr 0-0,6

% Ni 0-1,5

% Mo 0-0,6

% V 0-0,15

% Ti 0-0,25

Alaşımsız, ferritik bir sfero dökme demirin kimyasal bileşimi ise şu şekildedir.

% C 3,60-3,80

% Mg 0,04-0,06

% Si 2,60-3,00

% Mn 0,10 max

% S 0,015 max

% P 0,020 max

7.2. Mikroyapı

Dökme demirlerde mikroyapıda kontrol edilecek üç nokta vardır: Anayapı (matriks), grafit şekil ve büyüklükleri, çil derinliği. Ayrıca alaşımlı dökme demirlerde oluşan karbürlerin talaşlı imalatta sorun yaratmaması için yapıda homojen bir şekilde dağılmış olması gerekir [2].

7.2.1. Anayapı

Cam kalıp yapımında kullanılan dökme demirlerin yapısındaki ferrit oranı min. % 95 olmalıdır. Perlit miktarı ise % 5'i geçmemelidir.



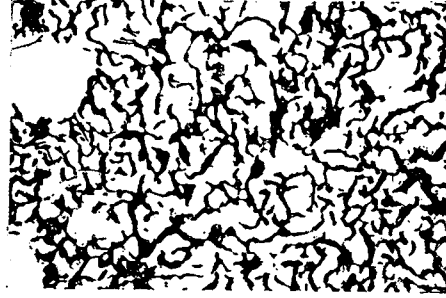
(a)

400x



(b)

400x



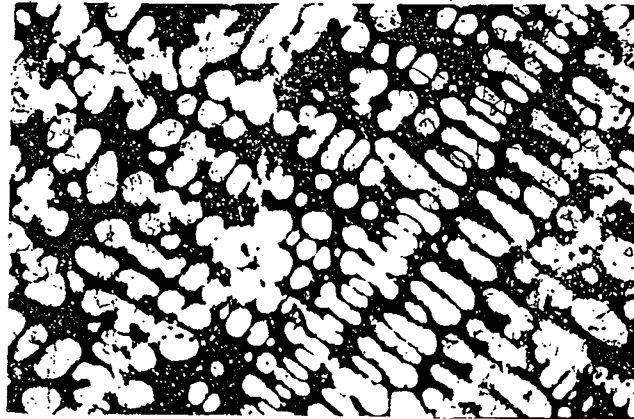
(c)

400x

Şekil 7.1. Perlitik yapılar; a) % 80 perlitik b) % 35 perlitik c) tümüyle ferritik [2].

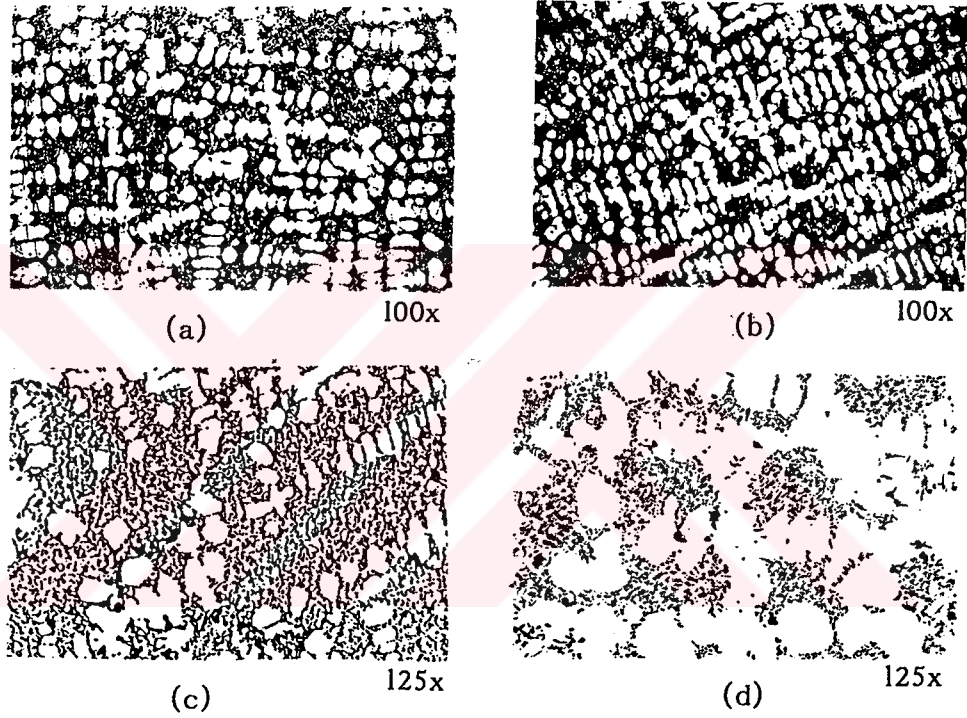
7.2.2. Grafit

Kalıplarda cam ile temas eden yüzeylerde grafitin ASTM standartına göre D tipi olması gerekir (Şekil 7.2.) [2].

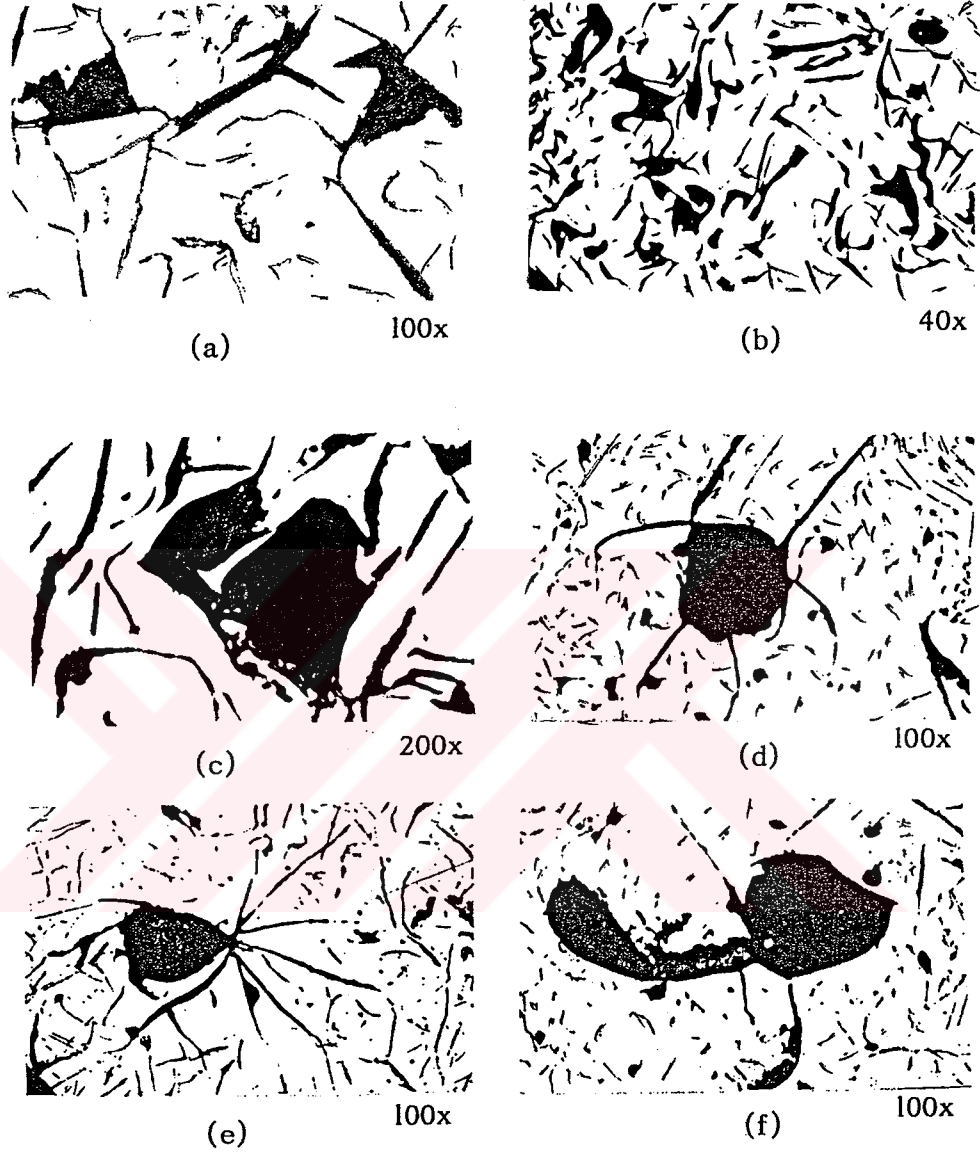


Şekil 7.2. ASTM D tipi grafit dağılımı [2].

Şekil 7.3. de değişik numunelerden alınan D türü grafit dağılımları gösterilmiştir. Şekil 7.4. de ise yapıda özellikle kaçınılması gereken C türü grafit dağılımı ile kış türü grafitler gösterilmiştir. Grafit boylarının ise karıncalanmayı önlemek ve düzgün bir yüzey elde etmek için çok küçük olması zorunludur (ASTM 7-8; Şekil 4.2.) [2].



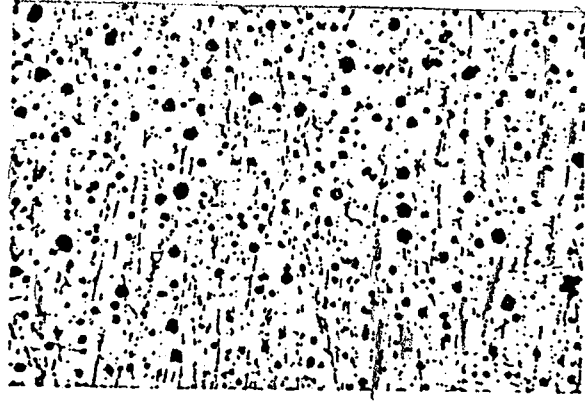
Şekil 7.3. D türü grafit dağılımları [2].



Şekil 7.4. C türü grafit dağılımı (a,b) ve Kish grafitler (c,d,e,f), (siyahlar grafit) [2].

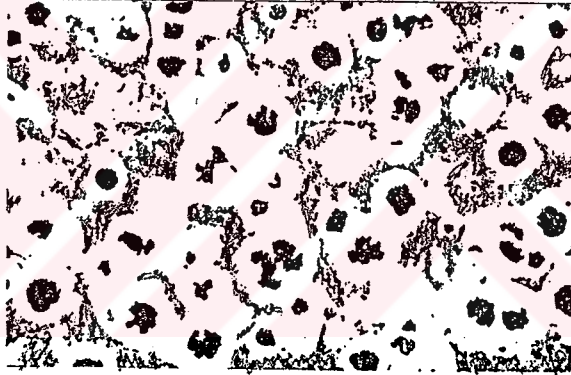
Sfero dökme demirlerde ise cam ile temas yüzeyinde bulunan grafit büyüklüklerinin ASTM standartına göre 4-6 olması gerekir (Şekil 4.3.).

Şekil 7.5. de sırasıyla kokil bölgesinden 4 ve 20 mm içeriden alınan kesitlerde küresel grafitler gözükmemektedir [2].



(a)

85x



(b)

85x

Şekil 7.5. Sfero dökme demirde grafitler a) Kokil yüzeyinden 4 mm içerdeki yapı b) Kokil yüzeyinden 20 mm içerdeki yapı [2].

7.2.3. Çil Derinliği

Çil derinliğini kalıpta kokil yüzeyinden içeri doğru D türü grafitin derinliği olarak tanımlarsak pik dökme demir cam kalıplarda enine alınan bir kesitte söz konusu derinlik şu şekilde olmalıdır.

- Cam ile temas eden yüzeyden iç kısma doğru 10-12 mm D türü grafit dağılımı
- D türünden A türüne geçiş bandı
- Kalıbın dış yüzeyinde A türü grafit dağılımı

Ayrıca sfero dökme demir cam kalıplarında işleme sonrasında cam metal temas yüzeyinde bulunan grafitlerin Şekil 7.5.a. daki gibi olması gerekir[2]

7.3. Sertlik

Dökme demir cam kalıplarındaki sertlik değeri genel olarak 3000 kg yük ve 10 mm çaplı bilya ile kokil yüzeyinin 5 mm altında 165 ± 15 HB olmalıdır [7].

BÖLÜM 8. AŞINMA

Birbirleriyle temasta olan katı yüzeyler, oksit filmler ve sınır yağlayıcıları ile korunsalar bile mekanik yüklemeler altında oksit film tabakasının bozulması ve aktif sınır yağlayıcılarının zayıf olması nedeniyle katı-katı teması meydana gelebilir. Bu temas aşınmaya sebep olur. Aşınma adhesiv aşınma ve abrasiv aşınma olmak üzere iki gruba ayrılır [12].

8.1. Adhesiv Aşınma (Yapışma ve yenme aşınması)

Şekil 8.1 de görüldüğü gibi A atomları ile B atomları arasındaki adhezyon yeteri kadar iyi ise aşınma parçaları yumuşak olan A metalinden kopar. Eğer A ve B metalleri aynı ise aşınma her iki yüzeyde de olur. Bir pürüzden kopan metal parçasının boyutu kaymanın birleşme noktasından ne kadar uzakta meydana geldiğine bağlıdır. Eğer deformasyon sertleşmesine uğramış bölge pürüze doğru ilerler ise daha iri parçaların oluşma eğiliminin artması söz konusudur, diğer taraftan temas bölgesinden uzaktaki pürüzün kesiti artarsa bu eğilim azalır [12].

Aşınma hızını en düşük seviyeye indirmek için kopan metal parçalarının her birinin boyutu mümkün olduğu kadar küçük olmalıdır. Bunun sağlanması için temas alanının küçük olması gerekir.

8.2. Abrasiv Aşınma(Yırtılma ve çizme aşınması)

Yüzeylerin kayması esnasında abrasiv aşınma parçaları genellikle pürüzlerden ayrı olarak meydana gelirler. Yağlarda oksijenin bulunması istendiğinde (kayan metaller arasında oksit film engelleri sağlamaya

yardımcı olduğundan) aşınma parçalarının oksitlenmesi söz konusu olur ve bu durumda zımpara kağıdına benzer sert oksit partikülleri meydana gelir. Şekil 8.2. de sert bir malzemenin yumuşak bir malzemeden çapak şeklinde abrasiv aşınma parçaları alışı görülmektedir. Abrasiv aşınma belli bir temas bölgesinden kopan aşınma parçaları ile sınırlanmamakta aynı zamanda sisteme dışarıdan giren kir parçacıklarının (örneğin; kum) veya (bir motorda) yanma ürünlerinin etkileriyle de olabilmektedir, bu nedenle yağların süzülmesi gereklidir [12].

Abrasiv aşınma hızı yükü azaltarak azaltılabilir. Partikül malzemeye daha az batar ve çapak alma esnasında daha az iz bırakır. Metalin sertliğinin artırılması da buna benzer etki yapmaktadır. Tekrar belirtilecek olursa, abrasiv aşınma genellikle kötüdür fakat talaşlı imalatla torna takımlarını bilemek, pirinçten yapılmış süs eşyalarını parlatmak için gereklidir.

Abrasiv aşınma üç temel gruba ayrılır. Bunlar;

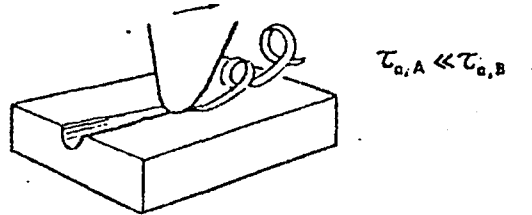
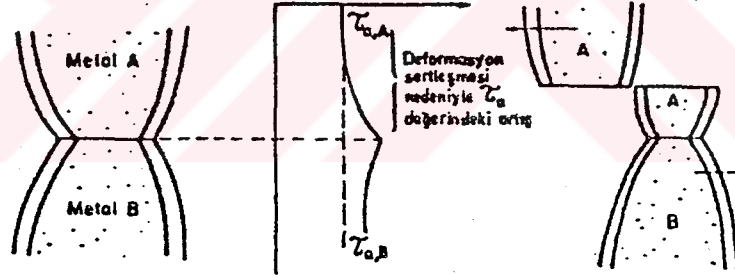
- a. Oymalı sürtünme aşınması
- b. Koparmalı sürtünme aşınması
- c. Erozyon aşınması

Oymalı sürtünme aşınması yüzeyin kütleli fiziksel deformasyonu sonucu oluşur. Bu tür aşınma sonucu metal yüzeyinden büyük parçacıklar ayrılır. Aşırı yüklemeler altında bu olay daha büyük çaplarda oluşur. Örnek olarak ağır çalışma koşullarında kullanılan kazıcı ve kırıcı gibi maden araçlarında görülen aşınma verilebilir [13].

İki yüzey kayma temasında ve aşındırıcı taneler bu iki yüzeyin arasında iken koparmalı sürtünme aşınması oluşur. Aşınmanın oluşumu yüksek yükler altında aşınma parçacıklarının kırılarak, küçük keskin köşeli parçacıklar oluşturması ve bu oluşan parçacıkların yüzeyde delme, çizme,

çatlak oluşumuna sebep vererek malzeme kaybına neden olması şeklindedir.

Erozyon aşınması ise gaz ve sıvı gibi akışkan bir ortamda bulunan aşındırıcı parçacıkların yüzeye teması sonucu meydana gelen abrasiv aşınma türüdür. Akışkan içindeki aşındırıcı parçacıkların yüzeye çarpması, metal yüzeyindeki parçacıkların kopmasına neden olur. Sıcaklık ve akış hızı erozyon aşınmasını etkileyen faktörlerdir. Erozyon ve korozyonun birlikte etkisi aşınmayı etkileyen faktörlerden biridir. Bu aşınma türüne örnek olarak gemi pervanelerinde rastlanan aşınma verilebilir. Akış durumunda olan sıvılarda ani basınç düşmesi sonucu oluşan gaz kabarcıkları da aşınmaya neden olur. Buna kavitasyon aşınması adı verilir [14].



Şekil 8.1. Adhesiv Aşınma

Şekil 8.2. Abrasiv Aşınma

BÖLÜM 9. OKSİDASYON

9.1. Metallerin Oksidasyonu

Oksidasyon yüksek sıcaklıklarda veya çevre sıcaklığında okside gaz karışımları veya sülfür, oksijen, karbon dioksit gibi oksitleyici gazlar ile metal arasında ortaya çıkan bir reaksiyondur. Bununla birlikte metal oksidasyonun en genel şekli oksijen ile birlikte oluşan oksit formasyonu ve gelişimi olarak gösterilir.

($\Delta G^\circ-T$) serbest enerji-sıcaklık diyagramlarında, hemen hemen bütün oksitlerin standart serbest enerjileri artan sıcaklıkla artmasına rağmen kararlılıkları düşmektedir. Metal yüzeylerindeki oksit filmin sıcaklık yükseldikçe kalınlaşması kinetik biliminin önemini göstermektedir. Oksit filmin oluşum hızı, metalin yüzey koşulları, zaman, sıcaklık, oksitin doğal sürekliliği veya süreksizliği, oksit içindeki gerilmeler ve uçuculuk gibi birçok faktöre bağlı olduğundan basit olarak ifade edilmesi zordur.

Oksit film ile oksit tabakası arasında açıkça görülen bir sınır ayırımı olmamasına rağmen kalınlığı $1\mu\text{m}$ 'ye ulaşan oksit tabaka film olarak ifade edilir. Kalınlığı yaklaşık 200 nm 'den daha küçük ince film oksit çekirdeğinin başlangıç kademelerini oluşturur. Oksit kalınlığı $1\mu\text{m}$ 'nin üzerinde ise oksit tabakası (scale-tufal) olarak adlandırılır bazen bu tabaka terimi yüksek oksitleyici koşullar altında oluşan kalın gözle görülebilir tufal tabakasını da tanımlamakta kullanılmaktadır [15].

9.1.1. Oksit Tabakasının Oluşumu

Yüzeyi temizlenmiş olan metalin oksidasyonun ilk kademesi oksijenin kimyasal adsorbsiyonudur. Oksijen molekülleri metal yüzeyinde adsorbe edilir, daha sonra metal atomları ile elektronlarını paylaşacak olan bu oksijen molekülleri atomik hale dönüşürler. Bu hızlı işlem adsorbe edilmiş oksijen atomlarının düzlemlerine doğru hareket eden metal atomlarında olur. Sonuç 1 nm kalınlığında kesin bir kararlılığa sahip yapışkan ve sürekli bir tabakadır. Filmin ilerlemesi oksijenin kimyasal adsorbsiyonu ile elektronların ve metal-oksijen iyonlarının difüzyonu ile devam eder. Bu kademedeki ilerleme, oksit oluşumunun bölgesel epitaksiyel ivmelenmesinin olduğu yüksek enerjili çekirdek bölgelerinde sona erer. Çekirdeğin yeterince büyümesi metalin ve oksijenin yüzey difüzyonu ile olur. Homojen kalınlıkta ideal ve sürekli bir tabaka meydana gelir..

Tane yapısı içinde farklı çekirdeklerin büyümeleri sonucu tane sınırları iyonlar için kolay difüzyon patikaları oluşturur ve daha hızlı büyüme hızı sağlanır. Birçok çekirdek sıcaklığın etkisinden ve metalin kristallografik yönelmesinden etkilenir. FeO oluşumu için maksimum sayıdaki çekirdek demir düzlemlerinin üzerinde bulunur.

Koruyucu bir oksit tabakasının oluşumu için metal yüzeyine yapışık, minimum hasarlı sürekli bir oksit filmine ihtiyaç vardır. Bu film ayrıca ısısal ve mekanik gerilimlere de dayanıklı bir yapıda olmalıdır [16].

9.2. Alaşım Elementlerinin Oksidasyon Üzerindeki Etkisi

Aşağıda çeşitli alaşım elementlerinin demirin oksidasyonu üzerindeki etkileri element bazında örneklerle açıklanmıştır.

9.2.1. Karbon

Runk ve Kim adlı bilim adamları 400°C'a varan sıcaklıklarda Fe-C alaşımlarının aynı osidasyona uğradığını gözlemlemişlerdir. İlk olarak ferrit üzerinde manyetit çekirdekleri gözükür. Oksit filminin oluşum hızı bu aşamada logaritmiktir. CO ve CO₂'nin karbür-oksit ara yüzeyinde kinetik bariyer oluşturması, sementit üzerinde yaklaşık 7 nm tane boyutlu $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ kristallerinin yönlendirilerek yaklaşık 15 nm kalınlığında bir film tabakası oluşturmasına neden olur. Oksidasyonun ilerlemesi $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ içindeki tanelerin büyümeleri $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ den $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ 'e dönüşmeleri ve tane sınırlarında migrasyon ile olur. $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ den $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ 'e dönüşümde çatlaklardan ve CO₂ kaçaklarından dolayı % 2,3 lük bir hacim azalması olur. Son olarak yüzeyde nihai manyetit oluşumu görülür. Yüzeyde oluşan manyetit tabakası karbon-oksitleri geçirmeyen bir tabaka olduğundan Fe₃O₄ tüm yüzeye yayılır. Engell ve Cablan adlı bilim adamları yüksek sıcaklıklarda (850°C) oksidasyonun başlangıç kademelerinde yüksek miktarda karbon kayıpları olmasına rağmen olayın gelişimi süresince bu kayıpların çok azaldığını hatta sıfıra düştüğünü rapor etmişlerdir [16].

9.2.2. Silisyum

Demir içine silisyum ilavesinin bir çok otorite tarafından korozyona karşı koruyucu olduğu ifade edilmiştir. Rahmev ve Tobolvski adlı bilim adamları demire % 4'e kadar silisyum ilavesinin saf oksijenli ortamlarda 750-1050°C larda O₂+H₂O veya CO₂ oluşturduğunu ve bunun da demir silikat tabakası oluşumu nedeniyle sınırda bir korozyon hızını verdiğini bulmuşlardır. Bazı gözlemciler manyetitin altında oluşan SiO₂ tabakasının metal iyonlarının dışarıya taşınımına engel olması nedeniyle korozyona karşı korumayı arttırdığını rapor etmişlerdir. Çok ince filmlerde ve oksit

tabakasındaki düşük oksijen potansiyallerinde amorf SiO_2 şebekesindeki etkileşimler ve elektronik taşıyıcılar SiO_2 gelişimini kontrol etmektedir [16].

9.2.3. Manganez

Manganez demir oksitlerde çözünebildiği ve demir kadar hareketli olduğu için manganez ilavesi havada veya oksijen içerisindeki oksidasyon hızına çok fazla etki etmez. Bununla beraber manganez oksit tabakasındaki boşlukların birleşmesini azaltarak CO/CO_2 ortamındaki oksidasyonu kontrol eder [16].

9.2.4. Kükürt

Küçük miktarlardaki kükürt ilavesiyle havada oluşan ilk oksit tabakalaşma hızına çok küçük ölçüde etki etmesine rağmen uzun periyotlarda oksit tabakasına zarar verebilmektedir. Kükürdün CO/CO_2 ortamlarda oksidasyonu olumsuz etkilediği gözlenmiştir [16].

9.2.5. Fosfor

Kükürt gibi fosforunda havada, demir alaşımlarının oksit tabakaları üzerinde çok az bir etkisi olduğu görülmüştür. Fosfor muhtemelen CO/CO_2 li ortamlarda oksidasyon direncini kontrol etmekte rol oynar. Bilim adamları fosforun ferrit üzerinde segregasyon olduğu yerlerde oksitlenme eğiliminin azaldığını bulmuşlardır [16].

9.2.6. Nikel

Demire nikel ilavesi NiO 'nun FeO içinde çözünmemesi nedeniyle oksidasyon hızını düşürür. Zamanla FeO ile alaşımın ara yüzeyindeki Ni

konsantrasyonu artar ve FeO'te demirin aktivitesinin düşmesine neden olur. Böylece oksidasyon hızı düşer ve FeO'nun kararlılığı bozulur [16].

9.2.7. Krom

Korozyon özelliklerini iyileştirmek için en yaygın olarak kullanılan element kromdur. Yüksek sıcaklıkta krom içeren dökme demirler yüksek koruyucu özelliğe sahip bir Cr_2O_3 filmi oluşturmaya müsaittir.

9.2.8. Molibden

Molibden ilavesi demirin 500-1000°C aralığında oksidasyon hızını düşürür. Maksimum etki yaklaşık %2 molibden konsantrasyonunda elde edilir. Birçok alaşım elementlerinde olduğu gibi molibden manyetit tabakası oluşumunu teşvik eder [16].

BÖLÜM 10. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Alaşımlı pik cam kalıplarının metalurjik yapılarının kalıp performansına etkisi konusunda yapılan bu çalışmada 6 ayrı bileşimde dökümü yapılan alaşımlı pik kalıp parçasının deney örnekleri kullanılmıştır.

10.1. Deney Örneklerinin Hazırlanması

10.1.1. Kalıp Parçasının Dökümü

Deneylerde cam ürünün taban profilini oluşturan müldefon kalıp parçasını temsil edecek yapı ve bileşimlerde örnekler kullanmak amacıyla, bu özellikleri verecek şekilde döküm koşulları ile dökümler gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla çil derinliği göz önünde tutularak ahşap model dizayn edilmiştir. Bu şekilde yürütülen çalışmalardan sonra, camla temas eden yüzeyi temsil eden döküm yüzeyi 40 mm kalınlıktaki pik malzemedan dökülmüş soğutucu (kokil) ile temasta olacak şekilde kum kalıba silindirik bloklar dökülmüştür.

Döküm işleminde 500 kg'lık indüksiyon fırını kullanılmıştır. Dökümün bileşimi Karabük hematit piki, çelik hurda, geri dönen yolluk ve besleyici ile ferro alaşımlar kullanılarak sağlanmıştır. Kuma kalıplama pres plakada bağlı modeller ile yapılmıştır. Dökümlerde istenen kimyasal analiz aralıkları ve sertlik değerleri Tablo 10.1 de verilmiştir.

Döküm 1430°C sıcaklıkta yapılmıştır. Kum kalıba yapılan dökümde curuf, oksit tutucu Sedex filtre kullanılmıştır. Parçalar yolluk ve besleyiciler kırıldıktan sonra, ferritleştirme tavına alınmıştır.

10.1.2. Ferritleştirme Tavı

Dökülen parçalar, karbür yapıcı alaşım elementlerinden (Cr, Mo, V) ötürü yapıda karbür içerdiklerinden, parçalarda; hem talaşlı imalatın kolaylaştırılması, hem de çalışma sıcaklığında ($\sim 500^{\circ}\text{C}$) yüksek ısı iletkenlik elde etmek amacıyla karbürlerin parçalanarak ferritik yapının elde edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla parçalar atmosfer kontrollü fırında; 100°C/saat hızla 950°C ye ısıtılmış, bu sıcaklıkta 9-10 saat bekleme sonucu 400°C ye kadar fırında soğutulup dışarı alınmıştır. Ferritleştirme tavı adı verilen bu işlemle matriks en az %95 ferrit içerecek yapıya getirilir.

10.1.3. Deney Örnekleri

Deney örnekleri olarak kokilli yüzeyler korunarak ve incelenecek konumda metallografi örnekleri, sertlik ölçme örnekleri, kimyasal analiz test örnekleri, aşınma testi örnekleri ve oksidasyon testi örnekleri, talaşlı imalat ile ısı ışılemi yapılmış bloklardan çıkarılmıştır.

10.2. DENEYLERİN YAPILIŞI

10.2.1. Kimyasal Analiz Deneyi

Değişik bileşimdeki kalıp parçalarının kimyasal analiz deneyi yüksek iletkenliğe sahip ve soğutucu etkisi gösteren özel bakır kokil kalıba dökülen numuneler üzerinde Spektrolab analiz cihazında yapılmıştır.

10.2.2. Sertlik Ölçme Deneyi

Dökülen ve ısı ışılemi uygulanan değişik bileşimdeki kalıp parçalarının kokil yüzeyinin 5 mm altından çıkarılan sertlik ölçme örneklerinde Brinell

sertlik ölçme cihazında $\phi 10\text{mm}$ 'lik bilya ve 3.000 kg yük altında sertlik değerleri ölçülmüştür.

10.2.3. Aşınma Testi Deneyleri

Dökülen ve ısıtıl işlem uygulanan altı değişik bileşimdeki pik kalıp malzemelerinin oda sıcaklığındaki aşınma davranışlarını belirlemek amacıyla aşınma deneyleri yapılmıştır. Sertlik ve mikroyapı özelliklerinin aşınma direncine etkileri incelenen bu kalıp malzemelerinin aşınma deneyleri pin. on flat aşınma cihazında 60'lık Al_2O_3 esaslı zımparada kalıp malzemelerinin kokil yüzeyleri korunarak çıkarılan $\phi 10\text{mm}$ 'lik örneklerle uygulanmıştır. Sonuçlar hacim birimi açısından üzerinden değerlendirilmiş ve birbirleriyle kıyaslanmıştır.

10.2.4. Oksidasyon Testi Deneyleri

Dökülen ve ısıtıl işlem uygulanan kalıp parçalarından kokil yüzeyleri korunarak çıkarılan dikdörtgen kesitli örnekler laboratuvar fırınında kalıbın çalışma sıcaklığı olan 500°C de 96 saat oksidasyon testine tabi tutulmuştur. Sonuçlar birim yüzeydeki ağırlık artışı açısından değerlendirilmiş ve birbirleriyle kıyaslanmıştır.

10.2.5. Metallografik İncelemeler

Bu çalışmada; dökülen ve ısıtıl işlem uygulanan kalıp parçalarının cam ile temas eden yüzeyinden itibaren çıkarılan örnekler ve aşınma testine tabi tutulan numunelerden aşınma yüzeyine dik ve paralel yönde çıkarılan örnekler bakalite alınmış, parlatılıp %2'lik nital ile dağlandıktan sonra optik mikroskopta fotoğrafları çekilmiştir.

10.3. DENEY SONUÇLARI

10.3.1. Kimyasal Analiz Sonuçları

Deney örneklerinin Spektrolab cihazından alınan analiz değerleri ve buna göre hesaplanan karbon eşdeğerleri Tablo 10.2. de verilmiştir.

10.3.2. Sertlik Deneyi Sonuçları

Deney örneklerinden ölçülen sertlik değerleri Tablo 10.3. de, çubuk diyagramlar Şekil 10.1. de verilmiştir.

10.3.3. Aşınma Deneyi Sonuçları

Deney örneklerine uygulanan aşınma testi değerleri Tablo 10.4. de, Çubuk diyagramlar Şekil 10.2 de verilmiştir.

10.3.4. Oksidasyon Deneyi Sonuçları

Dökülen kalıp parçalarını temsil eden örneklerle uygulanan 500°C deki oksidasyon deneyi sonuçları Tablo 10.5. de çubuk diyagramı ile karşılaştırmalı olarak ise Şekil 10.3 de verilmiştir..

10.3.5. Metallografik İnceleme Sonuçları

Dökülen ve ısıtıl işlem uygulanan kalıp parçalarının cam ile temas eden yüzeyinden içeri doğru çıkarılan örneklerin ve aşınma testine tabii tutulan numunelerden aşınma yüzeyine dik ve paralel yönde çıkarılan örneklerin çekilen mikro yapı fotoğrafları Şekil 10.4.-10.15 de verilmiştir.

Tablo 10.1. 6 Farklı cam kalıp kompozisyonu ve sertlik değerleri.

6 DEĞİŞİK CAM KALIP KOMPOZİSYONU											
No	C	Mn	P	S	Si	Ti	Cr	Ni	Mo	Cu	V
1	3,4-3,6	0,6-0,8	0-0,1	0,04-0,10	2,2-2,4	0,08-0,12	---	---	---	---	---
2	3,4-3,6	0,6-0,8	0-0,1	0,04-0,10	2,2-2,4	0,08-0,12	---	---	0,45-0,55	---	---
3	3,49-3,65	0,5-0,7	0-0,3	0-0,16	1,9-2,1	0,19-0,25	0-0,1	0-0,7	0,7-0,8	0-1	0,05-0,11
4	3,5-3,65	0,5-0,7	0-0,3	0-0,15	1,9-2,1	0,2-0,25	0-0,4	0-0,7	0,45-0,6	0-1	0,10-0,15
5	3,4-3,6	0,6-0,8	0-0,1	0-0,1	2,1-2,3	0,09-0,11	0-0,15	0-0,15	0,45-0,55	0-0,15	0,10-0,14
6	3,5-3,6	0,7-0,8	0-0,05	0-0,05	2,0-2,1	0,10-0,15	0,1-0,2	0,2-0,4	0,3-0,4	0-0,10	---
CAM KALIP KOMPOZİSYONLARINA AİT SERTLİK DEĞERLERİ (Brinell)											
No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6						
130 ± 10	150 ± 10	140 ± 15	167 ± 13	150 ± 5	165 ± 15						

Tablo 10.2. Kimyasal Analiz, Sertlik ve Karbon Eşdeğeri Sonuçları

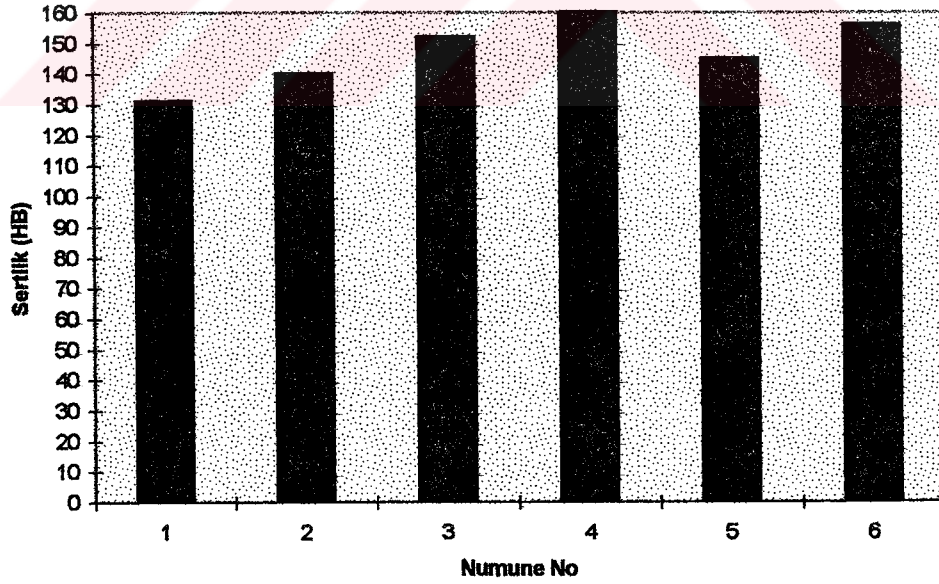
KİMYASAL ANALİZ VE SERTLİK SONUÇLARI

No	C	Mn	P	S	Si	Ti	Cr	Ni	Mo	Cu	V	SERTLİK (HB)	C- Eşdeğeri
1	3,50	0,65	0,03	0,04	2,25	0,09	-	-	-	-	-	131	4,26
2	3,57	0,72	0,02	0,05	2,23	0,11	-	-	0,43	-	-	140	4,32
3	3,66	0,63	0,02	0,03	1,98	0,18	0,06	0,30	0,67	0,15	0,10	152	4,33
4	3,63	0,68	0,04	0,04	2,01	0,19	0,15	0,54	0,61	0,38	0,14	160	4,31
5	3,58	0,73	0,02	0,02	2,21	0,07	0,13	0,12	0,42	0,09	0,11	145	4,34
6	3,51	0,69	0,03	0,03	2,12	0,15	0,19	0,38	0,41	0,12	-	156	4,22

Tablo 10.3. Sertlik Deney Sonuçları

SERTLİK TESTİ (BRINELL)	Yük 3000 kg
Numune No	Sertlik (HB)
1	131
2	140
3	152
4	160
5	145
6	156

SERTLİK DENEY SONUÇLARI

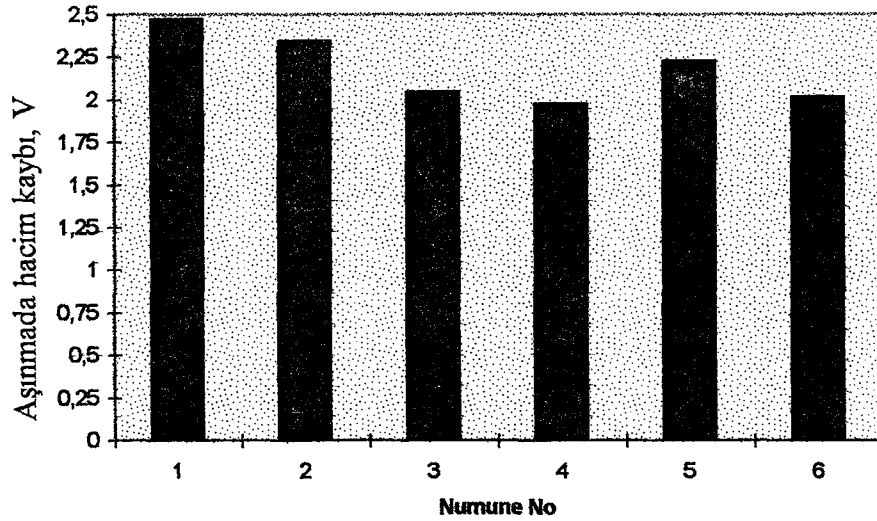


Şekil 10.1. Sertlik Deney Sonuçlarına ait Çubuk Diyagramı

Tablo 10.4. Aşınma Testi Sonuçları

AŞINMA TESTİ			Yoğunluk 7.2 gr/cm ³	
Numune No	İlk Ağırlık	Son Ağırlık		V (Hacim)
		I. Ölçüm	II. Ölçüm	
1	18,910	18,715	18,567	2,469
2	18,854	18,701	18,529	2,340
3	19,223	19,100	18,939	2,044
4	18,903	18,759	18,629	1,972
5	18,969	18,820	18,660	2,224
6	19,184	19,054	18,904	2,016

AŞINMA DENEYİ SONUÇLARI

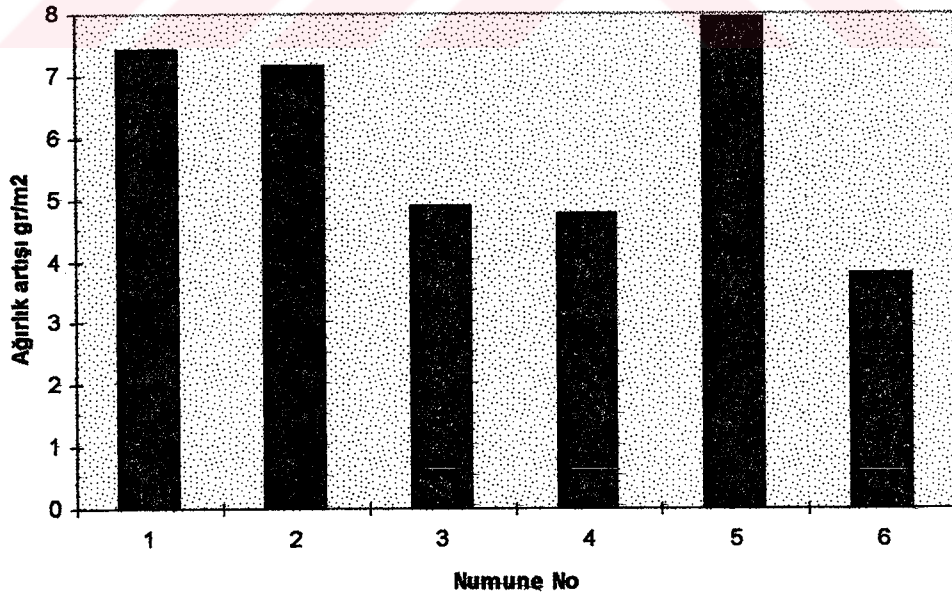


Şekil 10.2. Aşınma Testi Sonuçlarına Ait Çubuk Diyagram

Tablo 10.5. Oksidasyon Deney Sonuçları

OKSİDASYON TESTİ		TEST SICAKLIĞI 500°C
Numune No	Ağırlık Artışı gr/m ²	
1	7,42	
2	7,15	
3	4,90	
4	4,75	
5	7,95	
6	3,80	

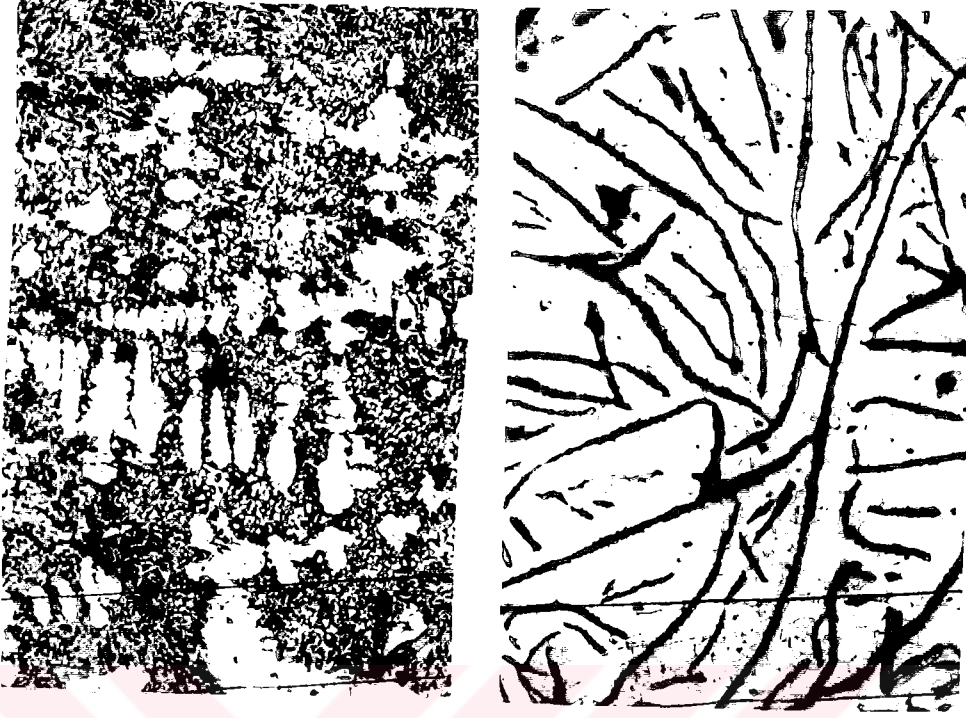
OKSİDASYON TESTİ SONUÇLARI



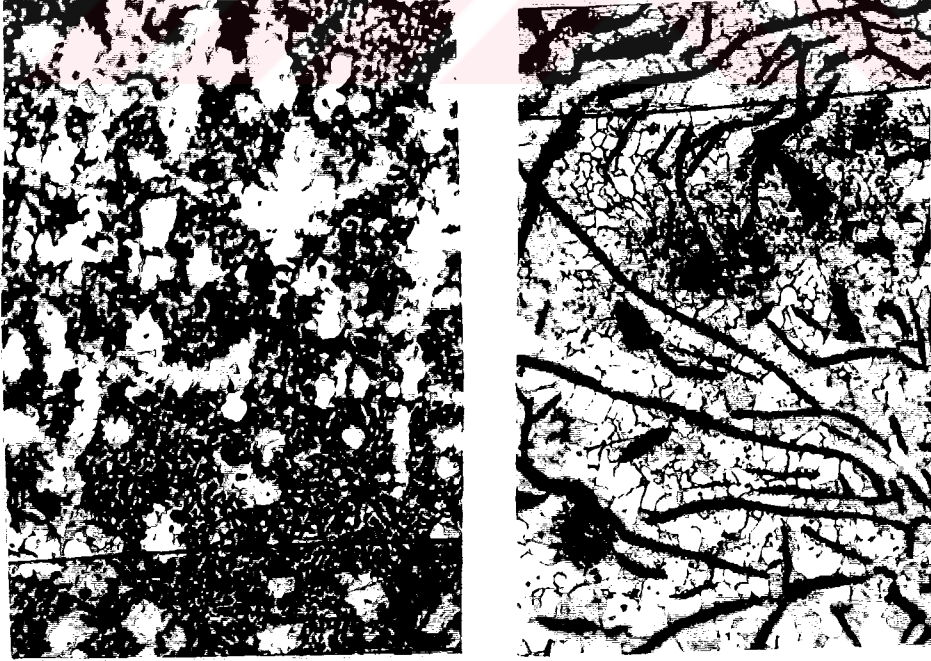
Şekil 10.3. Oksidasyon Testi Sonuçlarına Ait Çubuk Diyagram

Tablo 10.6. Uygun cam kalıp malzemesine ait özellikler

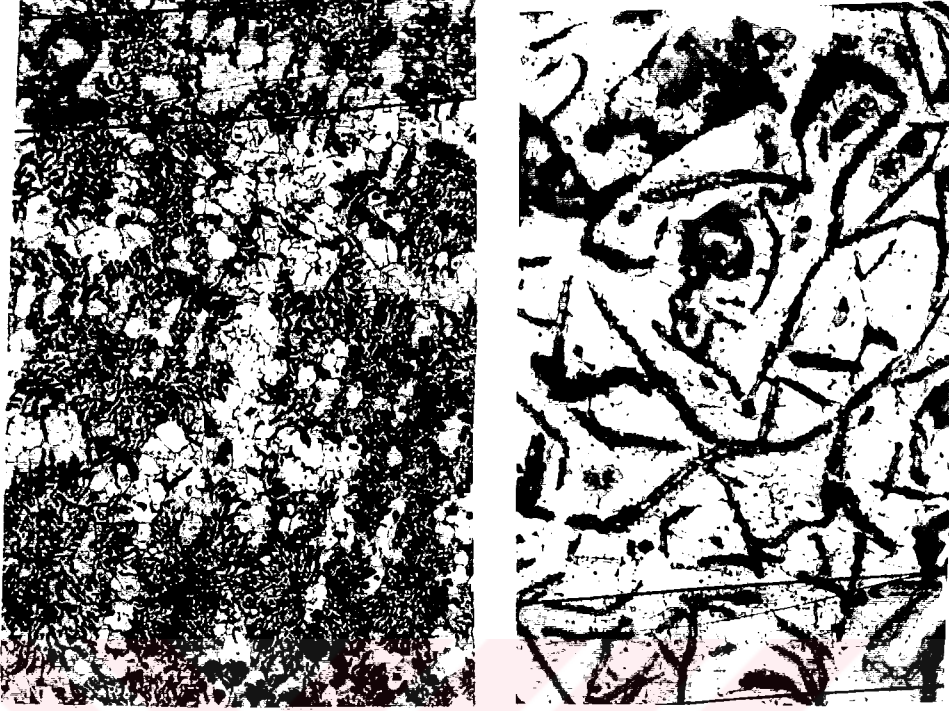
<u>KİMYASAL</u> <u>KOMPOZİSYON</u>		<u>MİKROYAPI</u>	<u>Kokil</u> <u>Yüzeyinden</u>		<u>Dış</u> <u>Yüzey</u>
			5 mm	15 mm	
C	3,50-3,60	Grafit Dağılımı ASTM	D	D+A	A
Si	2,0-2,10	Grafit İriliği ASTM	7-8	5-6	3-5
Mn	0,7-0,8	% Ferrit 95 minimum			
S	0-0,05	% Perlit 5 maximum			
P	0-0,05				
Cr	0,1-0,2	<u>KARBON EŞDEĞERİ :</u>		4,16-4,30	
Ni	0,2-0,4				
Mo	0,3-0,4				
Ti	0,10-0,15				
Cu	0-0,10	<u>SERTLİK (HB)</u>		165±15	



Şekil 10.4. I no'lu numunenin optik mikroskopta çekilen görüntüleri verilmiştir. A) Kokil yüzeyi, B) İç kısım (100X)



Şekil 10.5. II no'lu numunenin optik mikroskopta çekilen görüntüleri verilmiştir. A) Kokil yüzeyi, B) İç kısım (100X)



Şekil 10.6. III no'lu numunenin optik mikroskopta çekilen görüntüleri verilmiştir. A) Kokil yüzeyi, B) İç kısım (100X)



Şekil 10.7. IV no'lu numunenin optik mikroskopta çekilen görüntüleri verilmiştir. A) Kokil yüzeyi, B) İç kısım (100X)



Şekil 10.8. V no'lu numunenin optik mikroskopta çekilen görüntüleri verilmiştir. A) İç kısım, B) Kokil yüzeyi (100X)



Şekil 10.9. VI no'lu numunenin optik mikroskopta çekilen görüntüleri verilmiştir. A) İç kısım, B) Kokil yüzeyi (100X)



Şekil 10.10.a. I no'lu numunenin aşınma yönüne dik yönde çekilen optik mikroskop görüntüsü verilmiştir. (300X)



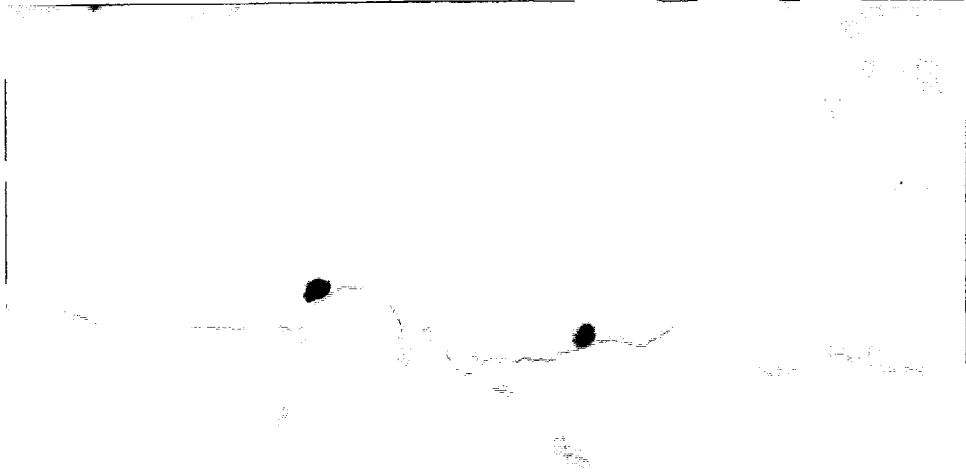
Şekil 10.10.b. I no'lu numunenin aşınma yönüne paralel yönde çekilen optik mikroskop görüntüsü verilmiştir. (300X)



Şekil 10.11.a. II no'lu numunenin aşınma yönüne dik yönde çekilen optik mikroskop görüntüsü verilmiştir. (300X)



Şekil 10.11.b. II no'lu numunenin aşınma yönüne paralel yönde çekilen optik mikroskop görüntüsü verilmiştir. (300X)



Şekil 10.12.a. III no'lu numunenin aşınma yönüne dik yönde çekilen optik mikroskop görüntüsü verilmiştir. (300X)



Şekil 10.12.b. III no'lu numunenin aşınma yönüne paralel yönde çekilen optik mikroskop görüntüsü verilmiştir. (300X)



Şekil 10.13.a. IV no'lu numunenin aşınma yönüne dik yönde çekilen optik mikroskop görüntüsü verilmiştir. (300X)



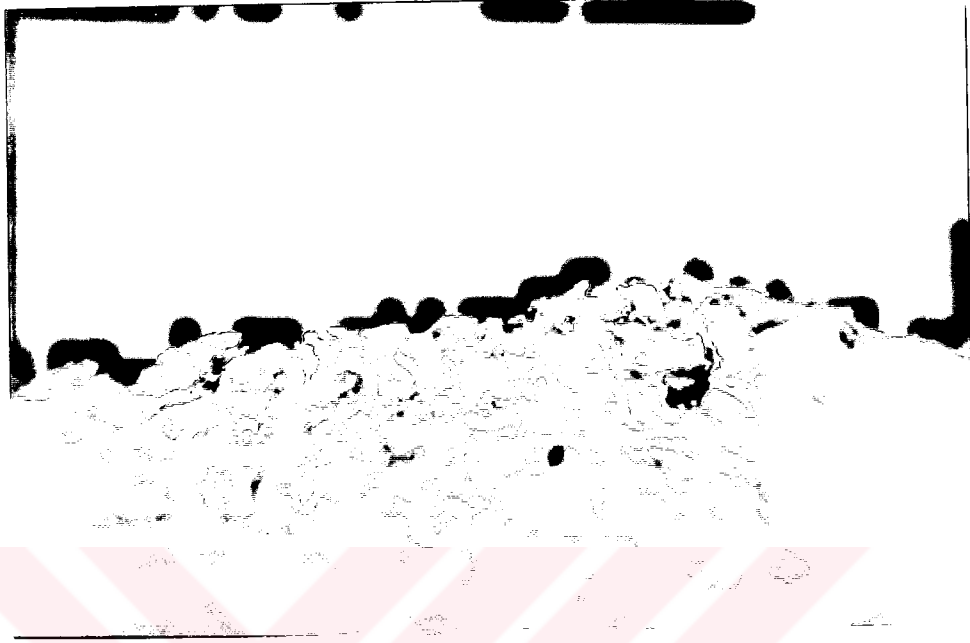
Şekil 10.13.b. IV no'lu numunenin aşınma yönüne paralel yönde çekilen optik mikroskop görüntüsü verilmiştir. (300X)



Şekil 10.14.a. V no'lu numunenin aşınma yönüne dik yönde çekilen optik mikroskop görüntüsü verilmiştir. (300X)



Şekil 10.14.b. V no'lu numunenin aşınma yönüne paralel yönde çekilen optik mikroskop görüntüsü verilmiştir. (300X)



Şekil 10.15.a. VI no'lu numunenin aşınma yönüne dik yönde çekilen optik mikroskop görüntüsü verilmiştir. (300X)



Şekil 10.15.b. VI no'lu numunenin aşınma yönüne paralel yönde çekilen optik mikroskop görüntüsü verilmiştir. (300X)

BÖLÜM 11. SONUÇLARIN İRDELENMESİ

Tablo 10.2. de gösterilen kimyasal analiz değerleri incelendiğinde I no'lu yapının alaşımsız pik, II no'lu yapının molibdenli pik, III, IV, V, VI no'lu yapıların ise değişik miktarlarda alaşım elementi içeren alaşımlı pik olduğu görülmektedir. Bu değerler sertlik açısından değerlendirildiğinde (Tablo 10.3.) en yumuşak yapının I no'lu alaşımsız pik (131 HB), en sert yapının ise IV no'lu en fazla alaşım elementi içeren alaşımlı pik (160 HB) olduğu görülmektedir. Dolayısıyla Cr, Ni, Cu, Mo gibi alaşım elementlerinin artışı ile birlikte sertlik artmaktadır.

Örnekler C eşdeğerleri açısından incelendiğinde, C eşdeğerinin 4.3 üzerine çıkmasıyla metallografik yapıda C tipi grafitlerin oluştuğu görülmektedir. Bu C tipi grafit yapısı V no'lu örnekte olduğu gibi karıncalanmaya ve beraberinde oksidasyona sebep olmaktadır (Tablo 10.2, Şekil 10.3). Ancak yeterli çil derinliği olduğu takdirde (10-12mm) talaşlı imalatta ortalama 5-6 mm talaş kaldırıldığında D tipi grafit yapısı yok edilmediği için C tipi grafitle karşılaşılmaz.

Tablo 10.4. de görülen aşınma deneyi sonuçları incelendiğinde en fazla aşınan parçanın sertliği en az olan alaşımsız pik, I no'lu parça, (2,469 cm³ hacim kaybı), en az aşınan parçanın ise en fazla alaşım elementi içeren en sert IV no'lu parça (1,972 cm³ hacim kaybı) olduğu görülmektedir. Genel olarak kalıplara aşınma direnci veren Cr, Cu, V, Ni gibi alaşım elementleri miktarı arttıkça aşınma direnci de artmaktadır.

Tablo 10.5. deki oksidasyon deneyi sonuçları incelendiğinde; en fazla oksitlenen yapıların I no 'lu alaşımsız pik, II no'lu Mo alaşımlı pik ve V no'lu alaşımlı pik, en az oksitlenenlerin ise III, IV, VI no'lu yüksek alaşım

elementi içeren yapılar olduğu görülmektedir. Buradan D tipi grafit yapısı içermesine karşın alaşım elementi içermeyen, az alaşım elementi içeren yapılar veya kokil yüzeyinde yeteri derinlikte D tipi grafitte sahip olmayan yüksek alaşımlı yapıların kolay oksitlendiği görülmektedir. Dolayısıyla Cr, Ni, Mo gibi alaşım elementleri diğer demir esaslı malzemelerde (örneğin çelik) olduğu gibi pikin de oksidasyona karşı direncini arttırmaktadırlar. Ayrıca gevşek yapıda rastgele dağılmış A tipi grafitlere nazaran ferrit içinde ağ şeklinde yer alan derin ve sık dokulu D tipi grafit yapısı zor oksitlenmektedir.

Örnekler metalografik olarak incelendiğinde şekil 10.4. de görülen I no'lu örneğin matriks yapısının %95 ferrit içerdiği, kokil yüzeyinden içeriye doğru D, D+A, A tipi grafit içerdiği, boyutunun D tipinde ASTM 5-7, A tipinde ASTM 3-5 olduğu ve titanyum miktarının az oluşu sebebiyle çil derinliğinin az (5-6 mm) olduğu görülmektedir. Bu yapıya sahip I no'lu örnek düşük sertlik değeri, düşük oksidasyon ve aşınma direnci göstermiştir. Böyle bir yapı pik cam kalıp malzemelerinde istenmez. Kalıbın ömrü çok kısadır.

Şekil 10.5. de görülen II no'lu molibden alaşım elementine sahip örneğin yapısı daha sıkı dokulu D tipi grafit içermektedir. Kokil yüzeyinden iç kısma doğru D+A, A ve az miktarda C tipi grafitte sahiptir. Yapı genelde % 95 ferritiktir. Çil derinliği daha iyi aşırı soğuma nedeniyle 6-7 mm olup D tipi bölgedeki grafit boyutu ASTM 6-8 dir. II no'lu örneğin sertlik değeri, aşınma ve oksidasyon direnci I no'lu örneğe göre daha yüksektir (Tablo 10.3-5.). Yapıdaki molibden ferriti sertleştirip kalıbın çalışma koşullarında sertlik düşüşünü ve kalıpta deformasyonu önler. Kalıbın performansını artırıcı yönde etki eder.

Şekil 10.6.da görülen III no'lu örneğin yapısı % 95 ferritiktir. Çil derinliği 7-8 mm olup ASTM 5-7 boyutlarında D tipi grafit, kokil yüzeyinden iç kısma doğru ASTM 3-5 boyutunda A ve az miktarda C tipi grafit içermektedir. Bu

örneğin sertlik değeri aşınma ve oksidasyon direnci II no'lu ya göre daha yüksektir (Tablo 10.3-5.). Yapıda bulunan Ti, Ni, Mo taneleri inceltip ferriti sertleştirirler. Bu ise mukavemeti sağlar ve kalıp ömrünü uzatır.

Şekil 10.7 de görülen IV no'lu örneğin yapısı daha sıkı dokulu ve 7-8mm derinliğinde D tipi ASTM 6-7 grafit içermektedir. Matris % 95 ferritiktir. Nikel ve bakırın yüksek oluşu sebebiyle en yüksek sertliğe sahiptir. Aynı zamanda en yüksek aşınma direnci göstermiştir (Tablo 10.3-5). Kokil yüzeyinden iç kısma doğru D+A ve A tipi ASTM 3-5 ve bir miktar C tipi grafit içermektedir. Bu yapıdaki alaşım elementleri oksitlenme direncini artırırken yüksek orandaki alaşım elementlerinin ısı iletkenlik üzerindeki olumsuz etkisi kalıbın performansını olumsuz etkiler. Ayrıca alaşım elementlerinin yüksek miktarda oluşu bileşim ve ısı ıl işlem maliyetini yükseltmektedir.

Şekil 10.8. deki V no'lu örnek titanyum miktarının düşük olması sebebiyle en az aşırı soğuma görülen yapıya sahiptir. D tipi grafit oluşumu pek sağlanamamıştır. Çil derinliği en fazla 3-4 mm dir. Matris % 90 ferritiktir. Yapıda B ve C tipi grafitler mevcuttur. Aşınma ve oksitlenme direnci kötü olan bu örneklerin cam kalıp temas kokil yüzeyinde grafit kopmaları kaçınılmazdır. Dolayısıyla aşınmayla birlikte kalıbın pürüzlülüğü artar, ürünün yüzey kalitesi düşer.

Şekil 10.9. de görülen VI no'lu örneğin yapısı %95 minimum ferrit içeren, en az 10-12 mm çil derinliği kokil yüzeyinde ve ASTM 7-8 D tipi grafit, iç kısma doğru ASTM 4-6 D+A ve ASTM 3-5 A tipi grafit içermektedir. Bileşimdeki alaşım elementleri optimum seviyede olup oksidasyon direnci en yüksek ve sertlik ve aşınma direnci ise yeteri kadar yüksektir (Tablo 10.3-5.). Bu yapı cam kalıbının ömrünü arttırdığından diğer örneklerle kıyasla tercih edilebilir bir yapı olarak değerlendirilir. Tablo 10.6. da yüksek performansla çalışabilecek uygun pik cam kalıp malzemesine ait özellikler belirtilmiştir.

Dolayısıyla matriks açısından minimum %95 ferrit içeren cam temas yüzeyinde 10-12 mm derinlikte ASTM 7-8 D tipi grafit, iç kısma doğru ASTM 4-6 D+A ve ASTM 3-5 A tipi grafit içeren yapılar yüksek iletkenlik gösterdiklerinden, pürüzsüz ve parlak yüzey verdiklerinden ve aşınma ve oksidasyona direnç gösterdiklerinden en uygun pik cam kalıp malzemesi olarak değerlendirilir.

Metallografik çalışmada aşınma yüzeyleri incelendiğinde I no'lu alaşımsız pikin ve II no'lu sadece molibden içeren pikin aşınma yüzeyine dik ve paralel yönde önemli ölçüde grafit kopmaları görülmektedir (Şekil 10.10-11.). Aşınma sonucu grafitlerin koptuğu bölgeler oksidasyon için aktif bölge meydana getirirler. Bu D tipi grafitin gerekli derinlik ve sıklıkta olmamasından kaynaklanmaktadır.

Sıkı dokulu D tipi grafitte sahip III ve IV no'lu yüksek alaşımlı piklerde aşınma oranının daha düşük olduğu ve grafit kopmalarının daha az olduğu görülmüştür (Şekil 10.12-13.). Bu yapıdaki piklerin oksitlenme direnci de yüksek olmuştur.

V no'lu yapı yüksek alaşım elementi içermesine karşın aşırı soğumanın ve dolayısıyla ağ şeklindeki D tipi grafit yapısının oluşmaması nedeniyle cam kalıbı açısından en kötü yapıdır. Aşınma testinde grafitler yüzeyden kolay kopmuştur. Bundan dolayı aşınma direnci düşüktür (Şekil 10.14.). Bu tip yapılar düşük oksidasyon direnci gösterirler.

VI no'lu yapı en mükemmel yapı olup, D tipi grafiti en derin ve sık içeren yapıdır. Grafit kopmaları aşınma ile çok önemsiz miktarda olmuştur. Böyle bir yapı yüzey bozulmalarını önleyecek bir yapı olup kalıp performansı açısından tercih edilebilir (Şekil 10.15.).

BÖLÜM 12. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6 farklı bileşimdeki pik cam kalıp malzemeleri ile yapılan deneysel çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Farklı bileşimlerde, Cr, Ni, Mo, V, Ti gibi alaşım elementlerinin miktarı arttıkça yapıların sertlik değeri, aşınma ve oksidasyon direnci artmıştır.
2. Bileşimdeki Titanyum ve nikel gibi tane küçültücü elementlerin miktarı arttıkça dökümde kullanılan, cam temas yüzeyine etki eden kokilin kalınlığına da bağlı olarak çil derinliği artmış ve ferritik yapı içinde bulunan D tipi grafitler daha yoğun şekilde yer almıştır.
3. Bileşimin karbon eşdeğeri 4,3 üzerine çıktığında yapıda iri C tipi grafitler oluşmuştur.
4. Dökümde katılaşma hızına bağlı olarak çil derinliği, oluşan D, D+A, A tipi grafitlerin boyutları değişmiştir. Hızlı katılaşan örneklerin çil derinliği daha fazla ve D tipi grafit daha sıkı olmuş, yavaş katılaşan örneklerde ise çil derinliği az ve D tipi grafit daha iri oluşmuştur.
5. Mikroyapı D, D+A ve A tipi grafitleri kalıp malzemesinin özelliklerini sağlayacak şekilde uygun boyutlarda (sırasıyla ASTM 7-8 ve ASTM 3-5 boyutlarında) ve derinlikte içerdikçe aşınma ve oksidasyon direnciyle sertlik değeri artmıştır.
6. Mikroyapı sadece B ve C tipi grafit içerdiğinde oksidasyon direnci önemli ölçüde düşmüştür.
7. Dökülmüş ve ısıtılmış uygulanmış farklı bileşimler matris yönünden genelde % 95 ferrit içerdiklerinden mekanik özellikler alaşım elementlerinin miktarına göre değişmiştir.

8. Pik cam kalıp malzemelerinin istenilen sertlik, aşınma ve oksidasyon direncine sahip olabilmesi, optimum miktarda Cr, Ni, Mo, Ti ile alaşımlandırılmasıyla mümkün olmaktadır.
9. Matriks açısından % 95 ferrit içeren, cam temas yüzeyinde 10-12 mm derinlikte ASTM 7-8 D tipi grafit içe doğru ASTM 4-6 boyutunda D+A ve en içte ASTM 3-5 A tipi grafit içeren yapılar aşınma ve oksidasyona yüksek direnç gösterirler. Bunlar pürüzsüz ve parlak kalıp yüzeyi verirler ve yüksek ısı iletkenlik gösterdiklerinden en uygun pik cam kalıp malzemesi olarak değerlendirilirler.



KAYNAKLAR

- [1] KUŞCULUOĞLU, S., "Cam Teknolojisine Giriş, II. Cilt", Eğitim Müdürlüğü, Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları AŞ., 1993.
- [2] ERİNÇ, N., "Cam Kalıp Malzemeleri (Dökme Demirler), Araştırma Müdürlüğü, Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları AŞ., 1986.
- [3] BARTON, R., "Cast iron for glass molds.", Journal of Research and Development, 1985, v.7, pp.146-156
- [4] BARTON, R., "Cast iron for glass container molds", Glass, Ağustos 1982
- [5] JOHNSON, J.L., "Investigations of materials for glass container molds", The Glass Industry, Şubat, 1959
- [6] REED, J.S., Metals handbook, ASM, vol.1, 2, 7.1983
- [7] KIRCH, R., Omco Mould data sheet, 1976.
- [8] ANGUS, H., T., "Cast iron physical and engineering properties", 1987
- [9] ENSOR, T., F., "Glass Technology", 11, 42-7, 1970

- [10] PINCUS, A., G., "Forming in the glass industry", part two, Ashlee publishing Co., 1983
- [11] ANDERSSON, O., "Improving the service properties of cast iron glass molds", Glass & Ceramic, 1985, 275-8
- [12] ÇİMENÖĞLU, H., KAYALI, S., "Malzemelerin yapısı ve mekanik davranışları", İTÜ, Kimya-Metalurji Fakültesi, Ofset Atölyesi, İstanbul, 1991.
- [13] COLANGELO, V.,J., HEISER, F., "Analysis of metallurgical failures" John Willy and Sons, New York, pp. 206-224, 1974
- [14] KOÇAK, A., "Soğuk iş takım çeliklerinin sertlik ve mikroyapı özelliklerinin aşınma davranışlarına etkileri", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Ocak, 1993
- [15] MOORE, J., J., "Chemical metallurgy", Butterworth & Co. Ltd. London, 1981, sayfa 341-355
- [16] OCAKSÖNMEZ, S., "Beton çeliklerinin oksidasyonu ve oksit tabakasının karakterizasyonu", İ.T.Ü., Yüksek Lisans Tezi, Haziran, 1996

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Cingi, 1970 yılında İstanbul'da doğdu. İlk orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 1987 yılında 50.Yıl Tahran Lisesinden mezun oldu. 1988 yılında İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji Mühendisliği Bölümünü Kazandı. 1992 yılında Metalurji Mühendisi ünvanı ile mezun oldu. 1992-1994 yılları arasında Marmara Üniversitesi, İdari Bilimler Fakültesi, Contemporary Business Management Programına devam etti. 1993 yılında İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Üretim Programında Yüksek Lisans eğitimine başladı.