

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KALIP KAPLAMALARI

Müh. Berk ÖLÇER

**F.B.E. Metalurji ve Malzeme Müh. Anabilim Dalı
Malzeme Programında Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Savunma Tarihi:

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mustafa ÇİĞDEM
Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Adem BAKKALOĞLU
: Prof. Dr. Fevzi YILMAZ

İSTANBUL, 2006

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KALIP KAPLAMALARI

Müh. Berk ÖLÇER

**F.B.E. Metalurji ve Malzeme Müh. Anabilim Dalı
Malzeme Programında Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Savunma Tarihi:

Tez Danışmanı	: Prof. Dr. Mustafa ÇİĞDEM	
Jüri Üyeleri	: Prof. Dr. Adem BAKKALOĞLU	
	: Prof. Dr. Fevzi YILMAZ	

İSTANBUL, 2006

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ.....	IV
KISALTMA LİSTESİ.....	V
ŞEKİL LİSTESİ.....	VI
TABLO LİSTESİ.....	IX
ÖNSÖZ.....	X
ÖZET.....	XI
ABSTRACT.....	XII
1. GİRİŞ.....	01
2. METAL-KALIP ARAYÜZEYİNDE ISI TRANSFERİ.....	04
2.1 Isı Transfer Mekanizmaları.....	04
2.1.1 Kondüksiyon.....	04
2.1.2 Konveksiyon.....	07
2.1.3 Radyasyon.....	08
2.2 Metal-Kalıp Arayüzeyinin Özelliği.....	09
2.3 Metal-Kalıp Sisteminde Isı Transfer Dirençleri.....	10
2.3.1 Kalıp.....	12
2.3.2 Döküm	15
2.3.3 Metal-Kalıp Arayüzeyi.....	15
2.4 Katılma Sırasında Arayüzeyde Isı Transferini Etkileyen Faktörler.....	16
2.4.1 Kalıp Kaplamaları.....	16
2.4.2 Uygulanan Basınç.....	18
2.4.3 Döküm Kompozisyonu.....	18
2.4.4 Sıvı Metal Isısı.....	18
2.4.5 Kalıp Malzemesi.....	19
2.4.6 Kalıp Sıcaklığı.....	19
2.4.7 Döküm Yüzey Pürüzlülüğü.....	19
2.4.8 Katılmış Döküm Yüzeyinin Topografik Özellikleri.....	20
3. KALIP KAPLAMALARI.....	22
3.1 Kaplama Bileşenleri	25
3.1.1 Dolgu Maddeleri.....	25
3.1.2 Taşıyıcılar.....	26
3.1.3 Bağlayıcılar.....	27
3.1.4 Çözelti Ajanları.....	27
3.1.5 Katkılar.....	28
3.2 Kaplama Üretimi ve Hazırlanması.....	28
3.3 Kaplama Seçimi.....	33
3.4 Uygulama Teknikleri.....	33
3.5 Genel Uygulama Alanları.....	35

4.	DENEYSEL ÇALIŞMA.....	39
4.1	Kaplama Malzemesi	39
4.1.1	Bentonit.....	42
4.1.2	Diatomit	47
4.2	Döküm Türü ve Malzemesi.....	54
4.2.1	KGDD.....	54
4.3	Yüzey Analizi.....	56
4.4	Mikroyapı Analizi.....	56
4.4.1	Zımparalama.....	57
4.4.2	Parlatma ve Dağlama.....	57
4.4.3	Görüntü Analizi.....	57
4.4.4	Grafit Karakterizasyonu.....	57
4.4.5	Ferrit-Perlit Yüzdesi.....	58
4.5	SEM Analizi.....	58
5.	SONUÇLAR.....	59
5.1	Yüzey Analizi.....	59
5.2	Mikroyapı Analizi.....	71
6.	DEĞERLENDİRMELER.....	75
	KAYNAKLAR.....	78
	ÖZGEÇMİŞ.....	83

SİMGE LİSTESİ

Q	Birim zamanda geçen ısı miktarı
A	Isı geçişi yönünde dik yüzey alanı
k	Isı iletim katsayısı
dT/dx	Isı geçişi yönündeki sıcaklık gradyanı
q'	Taşıyım ısı akış miktarı
h	Isı transfer katsayısı akışkan özelliklerine ve akışkan hızına bağlıdır.
T_s	Yüzey sıcaklığı
T_∞	Serbest akışkan sıcaklığı
σ	Stefan-Boltzmann sabiti
hc	Isı transfer katsayısı
k	Gazın ısısal iletkenliği
d	Boşluğun kalınlığı
V_s	Katılaşmış hacim
t_f	Toplam soğuma zamanı
B	Kalıp ve metal şartlarına bağlı sabit
c	Döküm
m	Kalıp
T	Döküm sıcaklığı
T_f	Katılaşma sıcaklığı
T_o	Orijinal kalıp sıcaklığı
T_{mi}	Metal-kalıp arayüzeyindeki sıcaklık
h_c	Kondüksiyon ısı transfer katsayısı
h_r	Radyasyon ısı transfer katsayısı
L_t	Ölçülen mesafe
L_c	Ölçülen arabirim
R_a	Ortalama yüzey pürüzlülüğü
R_z	Verilen pikin uç noktaları arasındaki mesafenin ortalaması
R_{max}	Verilen pikin uç noktaları arasındaki en yüksek mesafe

KISALTMA LİSTESİ

AFS	American Foundry Society
ASM	American Society of Materials
BCIRA	Bristish Cast Iron Research Association
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
EPA	Enviromental Protection Agency.
INCO	International Nickel Company
KGDD	Küresel grafitli dökme demir
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
SDAS	İkincil dentrit kol aralığı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Devamlı rejim ısı iletimi.....	05
Şekil 2.2	Zamana bağlı kondüksiyon.....	06
Şekil 2.3	Levha içerisinde zamana bağlı sıcaklık basamakları.....	06
Şekil 2.4	Konveksiyon ile ısı transferi.....	07
Şekil 2.5	Akış çizgilerinin hareketi.....	08
Şekil 2.6	Metal-kalıp arayüzeyi.....	09
	a) Sıvı metal-kalıp arayüzeyinde oluşan ilk katılaşma bölgeleri,	
	b) Rijit katı tabaka oluşumu sonucu azalan kalıp-katılaşan metal kontağı.	
Şekil 2.7	Isı uzaklık profiline bağlı temas yüzeyleri.....	11
Şekil 2.8	Bir kalıpta katılaşan metalde ve çevresinde ısı transferine bağlı olarak değişen sıcaklık profilleri.....	12
Şekil 2.9	Farklı alaşımların farklı kalıplarda soğuma zamanları.....	14
Şekil 2.10	Kalıp hatlarının kalıptan ısı transferi üzerine etkisi.....	15
Şekil 2.11	Kaplamalı kalıptan ısı transferi.....	17
Şekil 2.12	Kalıp yüzey pürüzlülüğünün arayüzey ısı transfer katsayısına etkisi.....	20
Şekil 3.1	Kalıp yüzey ve köşelerinde oluşan farklı hava boşlukları.....	24
Şekil 3.2	Kaplama tankları.....	31
Şekil 3.3	Kaplama tankının şematik görünüşü.....	32
Şekil 3.4	Kuru kaplama tekniğiyle uygulanan toz kaplama malzemesi.....	34
Şekil 3.5	Yetersiz kaplama uygulaması.....	37
Şekil 3.6	Hatalı gömlek (gaz boşluğu + kat oluşumu)	37
Şekil 3.7	Hatasız üretilmiş gömlek.....	38
Şekil 4.1	Bentonit-diatomit kaplama yapısı.....	40
Şekil 4.2	Bentonit-diatomit kaplama yapısı.....	40
Şekil 4.3	Bentonit-diatomit kaplama yapısı.....	41
Şekil 4.4	Bentonit-diatomit kaplama yapısı.....	41
Şekil 4.5	Bentonit tozu SEM görüntüsü.	44
Şekil 4.6	Bentonit tozu SEM görüntüsü.	45
Şekil 4.7	Bentonit tozu SEM görüntüsü.	45
Şekil 4.8	Bentonit tozu SEM görüntüsü.	46
Şekil 4.9	Bentonit tozu EDS analiz değerleri.....	46
Şekil 4.10	Kaplama yapımında kullanılan bentonit malzemesi.....	47
Şekil 4.11	Kaplama yapımında kullanılan diatomit malzemesi.....	49

Şekil 4.12	Diatomit tozu SEM görüntüsü.....	51
Şekil 4.13	Diatomit tozu SEM görüntüsü.	51
Şekil 4.14	Diatomit tozu SEM görüntüsü.	52
Şekil 4.15	Diatomit tozu SEM görüntüsü.	52
Şekil 4.16	Diatomit tozu SEM görüntüsü.	53
Şekil 4.17	Diatomit tozu SEM görüntüsü.	53
Şekil 4.18	Diatomit tozu EDS analiz değerleri.....	54
Şekil 4.19	Kaplama yapılmış kalıp.....	55
Şekil 4.20	Yüzey analizlerinin gerçekleştirildiği cihaz.....	56
Şekil 4.21	Mikroyapı analizi için kullanılan cihaz.....	57
Şekil 4.22	SEM cihazı.....	58
Şekil 5.1	Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplamasız)	60
Şekil 5.2	Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 1, 500 µm.)	60
Şekil 5.3	Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 1, 1000 µm.)	60
Şekil 5.4	Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplamasız)	61
Şekil 5.5	Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 2, 500 µm.)	61
Şekil 5.6	Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 2, 1000 µm.)	61
Şekil 5.7	Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplamasız)	62
Şekil 5.8	Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 3, 500 µm.)	62
Şekil 5.9	Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 3, 1000 µm.)	62
Şekil 5.10	Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplamasız)	63
Şekil 5.11	Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 4, 500 µm.)	63
Şekil 5.12	Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 4, 1000 µm.)	63
Şekil 5.13	Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplamasız)	64
Şekil 5.14	Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 5, 500 µm.)	64
Şekil 5.15	Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 5, 1000 µm.)	64
Şekil 5.16	Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplamasız)	65
Şekil 5.17	Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 6, 500 µm.)	65
Şekil 5.18	Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 6, 1000 µm.)	65
Şekil 5.19	Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplamasız)	66
Şekil 5.20	Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 7, 500 µm.)	66
Şekil 5.21	Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 7, 1000 µm.)	66
Şekil 5.22	Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplamasız)	67
Şekil 5.23	Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 8, 500 µm.)	67
Şekil 5.24	Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 8, 1000 µm.)	67

Şekil 5.25	Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplamasız)	68
Şekil 5.26	Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 9, 500 µm.)	68
Şekil 5.27	Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 9, 1000 µm.)	68
Şekil 5.28	Döküm makro görüntüsü (Kaplama 1)	69
Şekil 5.29	Döküm makro görüntüsü (Kaplama 2)	69
Şekil 5.30	Döküm makro görüntüsü (Kaplama 3)	69
Şekil 5.31	Döküm makro görüntüsü (Kaplama 4)	69
Şekil 5.32	Döküm makro görüntüsü (Kaplama 5)	70
Şekil 5.33	Döküm makro görüntüsü (Kaplama 6)	70
Şekil 5.34	Döküm makro görüntüsü (Kaplama 7)	70
Şekil 5.35	Döküm makro görüntüsü (Kaplama 8)	70
Şekil 5.36	Döküm makro görüntüsü (Kaplama 9)	71
Şekil 5.37	Döküm makro görüntüsü (Kaplamasız)	71
Şekil 5.38	(1) nolu kaplama kullanılan döküme ait mikroyapılar.....	71
Şekil 5.39	(2) nolu kaplama kullanılan döküme ait mikroyapılar.....	72
Şekil 5.40	(3) nolu kaplama kullanılan döküme ait mikroyapılar.....	72
Şekil 5.41	(4) nolu kaplama kullanılan döküme ait mikroyapılar.....	72
Şekil 5.42	(5) nolu kaplama kullanılan döküme ait mikroyapılar.....	72
Şekil 5.43	(6) nolu kaplama kullanılan döküme ait mikroyapılar.....	73
Şekil 5.44	(7) nolu kaplama kullanılan döküme ait mikroyapılar.....	73
Şekil 5.45	(8) nolu kaplama kullanılan döküme ait mikroyapılar.....	73
Şekil 5.46	(9) nolu kaplama kullanılan döküme ait mikroyapılar.....	73
Şekil 5.47	Kaplamasız döküme ait mikroyapılar.....	74

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1	Hammaddeler ve üretimde belirlenmesi gereken özellikler.....	29
Tablo 3.2	Kaplama üretiminde göz önünde bulundurulması gereken parametreler.....	30
Tablo 3.3	Üretiminden sonra yapılması gereken testler.....	30
Tablo 3.4	Kaplama üretimi veya dışarıdan tedarik edilmesinin avantajları.....	31
Tablo 3.5	Kaplama malzeme bileşimleri.....	36
Tablo 3.6	Döküm özellikleri.....	36
Tablo 3.7	Döküm parametreleri.....	36
Tablo 4.1	Kaplama bileşimleri.....	42
Tablo 4.2	Bentonit kimyasal kompozisyonu	43
Tablo 4.3	Bentonitin bazı spesifik özellikleri.....	43
Tablo 4.4	Bentonitin mineral yapısı	44
Tablo 4.5	Kaplamada kullanılan bentonitin kimyasal analiz değerleri.....	47
Tablo 4.6	Diatomitin bazı spesifik özellikleri.....	48
Tablo 4.7	Diatomitin genel kimyasal bileşimi.....	48
Tablo 4.7	Kaplamada kullanılan diatomitin kimyasal analiz değerleri.....	50
Tablo 4.8	Sıvı metal kimyasal bileşimi.....	54
Tablo 5.1	Kaplama bileşimleri.....	59
Tablo 5.2	Yüzey pürüzlülüğü değerleri (Kaplama 1)	59
Tablo 5.3	Yüzey pürüzlülüğü değerleri (Kaplama 2)	60
Tablo 5.4	Yüzey pürüzlülüğü değerleri (Kaplama 3)	61
Tablo 5.5	Yüzey pürüzlülüğü değerleri (Kaplama 4)	62
Tablo 5.6	Yüzey pürüzlülüğü değerleri (Kaplama 5)	63
Tablo 5.7	Yüzey pürüzlülüğü değerleri (Kaplama 6)	64
Tablo 5.8	Yüzey pürüzlülüğü değerleri (Kaplama 7)	65
Tablo 5.9	Yüzey pürüzlülüğü değerleri (Kaplama 8)	66
Tablo 5.10	Yüzey pürüzlülüğü değerleri (Kaplama 9)	67
Tablo 5.11	Görüntü analizi yöntemiyle elde faz yüzdeleri ve grafit özellikleri	74

ÖNSÖZ

Metalurji sektöründe döküm ve döküm ürünlerinin çok önemli ve vazgeçilmez bir yeri vardır. Türkiye döküm sektörü ülkemizi ilk sıralarda temsil eden bir sanayi alanıdır. Ülkemiz dünyanın 28. büyük ekonomisi durumunda iken döküm sektörümüz Dünya’da 14. ve Avrupa’da ise ilk 5 içerisinde yer almaktadır. Her üretimde olduğu gibi dökümde de hatalı parçaların ortaya çıkması kaçınılmazdır. Hata oranı, parça boyut ve biçimi, malzeme ile döküm uygulamalarına bağlı olarak %30’a kadar çıkabilir. Üretimin değişik aşamalarından kaynaklanabilen döküm hataları, parça, model, kalıp tasarımı, döküm sırasında ve bitirme işlemlerinde hatalar, yanlış malzeme seçimi gibi değişik nedenlerle ortaya çıkabilir. Kalıp kaplamaları döküm prosesinden bağımsız şekilde düşünülemez. Döküm sektöründe kalıp kaplamaları sistem içerisinde sistemler olarak yerini almaktadır. Bu çalışma ile dökümde kullanılan kaplama malzemeleri ve bunların, döküm yapısı, sağlamlığı ve maliyeti üzerine etkileri anlatılmaya çalışılmıştır.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca bana her türlü yardımda bulunan ve çalışmayı yöneten Sn. Prof. Dr. Mustafa ÇİĞDEM’e, lisans ve yüksek lisans öğrenimimde bilgi ve görüşleri ile yol gösteren Sn. Prof. Dr. Fevzi YILMAZ’a, birikimi ve bilgileriyle destek veren Met. Yük. Müh. Ahmet SELÇUK’a, deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesinde her türlü imkanı sağlayan Es Döküm’e, deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesinde yardım eden arkadaşlarım Met. Müh. Özgür Cevher ve Met. Müh. Ahmet Güleç’e ve bu araştırmanın yapılmasında ve tezin hazırlanmasında emeği geçen herkese teşekkür eder, çalışmanın tüm ilgililere yararlı olmasını dilerim.

Berk ÖLÇER

ÖZET

Günümüzün artan rekabetçi ortamında yüksek kalite, düşük maliyet, zamanında ve istenen miktarda teslimat üreticileri rekabetçi kılan dört unsur olarak ortaya çıkmıştır. Döküm prosesi çeşitli sebeplerden dolayı metal şekillendirme proseslerinin içerisinde en önemlisidir. Döküm prosesi metal şekillendirmede %90 veya daha fazla oranda kullanılmaktadır. Birçok girdisi olan girdilerin etkileşimleri sonucu çıktının özelliğini etkileyen, birçok değişken faktörü içinde barındıran döküm sektörü için problemleri anlayıp çözüm üretmek oldukça karmaşık bir hal almaktadır.

Kum ve metal kalıba dökümde, kalıp kaplamaları önemli girdilerinden birisidir. Kalıp kaplamaları kalıp duvarlarına uygulanması gereken malzemeler olup genellikle alümina, zirkon ve silika esaslı çözeltilerden oluşurlar. Kalıp kaplamaları, katılaşmış metal tabakası oluşana kadar kalıp ile sıvı metal arasında bariyer görevi sağlamak amacıyla uygulanırlar. Buna ek olarak sıvı metalin erken katılaşmasını önlemek, katılaşma hızı ve yönünü kontrolü ve dolayısıyla döküm kusursuzluğu ve yapısını kontrol etmek, kalıp malzemesinin termal şokunu azaltmak, sıvı metalin kalıba yapışmasını önlemek gibi nedenlerden dolayı kullanılırlar. Ergimiş metalin sıcaklığı ve kullanılan kalıp kaplamasının kalınlığı katılaşma üzerine büyük etkilere sahiptir. Bu iki parametre de katılaşmayı önemli ölçüde etkiler ve döküm yapısını değiştirir.

Bu çalışmada günümüzde sıkça kullanılan bentonit ve diatomit karışımı kaplamalar kullanılmıştır. Bu kaplama malzemesinin ve farklı kalınlıkta uygulamalarının katılaşma ve metal-kalıp arayüzeyine etkileri araştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kalıp kaplamaları, metal-kalıp arayüzeyi, katılaşma.

ABSTRACT

There are three main features come up in today's high competitive market conditions. These are high quality, low cost and on time delivery with demanded quantity. The casting process is known to be the most important process among forming processes and used more than 90 %. It is quite complicated to understand and to solve the problems of casting process including many variables and inputs which are affecting the final output.

Mold coatings are one of the most important inputs in both die and sand casting. Mold coatings which are containing alumina, zircon and silica based solutions, applied to mold walls. These coatings create a barrier between the molten metal and the surfaces of the mold while a skin of solidified metal is forming. Additionally, mold coatings are used to prevent premature freezing of the molten metal and affect the rate and direction of solidification in order to control the casting's soundness and structure. Also it minimizes thermal shock by preventing the soldering of molten metal to the mold. Thickness of mold coating and superheat of melt have considerable effects on solidification and modification casting structure.

In this research, the mixture of bentonite and diatomite which is used frequently in these days, was analyzed. The effects of coating materials as thickness on solidification and as metal-mold interface were studied.

Keywords: Mold coatings, metal-mold interface, solidification.

1. GİRİŞ

Döküm endüstrisi endüstriyel gelişmenin bir endeksi veya diğer bir deyişle bir ülkenin ekonomik seviyesinin bir göstergesi olarak bilinir. Hatta imalatın yapıldığı her yerde döküm de yapılmaktadır. Döküm endüstrisinin en belirgin özelliklerinden biri olarak çok hızlı gelişimi gösterilebilir. Özellikle son 25 yıl içindeki gelişimin bu endüstrinin teknik yapısını tamamen değiştirdiğini söylemek mübalağa olmayacaktır.

Döküm sektörü ürünlerine, çeşit, boyut, kalite açısından bakıldığında sayılarla ifade edilemeyecek bir durum ortaya çıkar. Ayrıca döküm sektörü ürünleri imalat sektörlerinin temel ve çok önemli girdilerini oluşturur. Döküm sektörü bu hali ile sanayi sektörünün % 90'ın üzerindeki değerleri içeren imalat sanayinin ara malı üreten imalat sanayi kavramı içerisinde yer almaktadır. Ancak döküm sektörü ürünleri olduğu gibi veya çoğu zaman diğer imalat yöntemlerinin de pek çoğunun uygulanması ile sonuç ürüne dönüştürerek sanayi sektörünün önemli girdilerini veya ürünlerini oluştururlar. Bu açıdan olaya bakıldığında döküm sektörü ürünleri geniş bir yelpaze aralığında yer alan tüm sektörlerle ilgili olmaktadır. Ancak yoğunluklu olarak ve kitlesel ilgi incelendiğinde döküm sektörü ürünlerinin daha ziyade madeni eşya ve konstrüksiyon, taşıt araçları gibi dayanıklı tüketim malları imalat sanayi ile temel sanayi dalları olan enerji, madencilik ve ara malı üreten toprak, seramik, demir çelik, demir dışı metal, kimya gibi yoğunlukla imalat sanayi alanı ile inşaat ve ulaştırma sektörlerinde kullanıldığı görülür. Diğer taraftan toplumların ekonomik gelişmesinin sanayi sektörünün gelişimi ile paralellik arz ettiği hatta daha ileri ekonomik seviyelere ulaşabilmek için özellikle yatırım ve dayanıklı tüketim malları üretim seviyeleri ile tüketim miktarlarının arasında daha da önemli bir bağıntı mevcuttur. Bu alanda yer alan ürünler katma değeri en yüksek olan ve yüksek teknoloji, bilgi, araştırma-geliştirme ve yeniliklere açık durum arz ederler.

Döküm endüstrisinin ve malzemelerindeki gelişmeler, büyük ölçüde artan mekanizasyon ve otomasyon sonucunda ortaya çıkmıştır. Bu endüstriyel gelişmeler sırasında bazı hata ve problemlerin varlığı da söz konusudur. Kalite kontrol, döküm hatalarının önlenmesi ve çare bulunması faaliyetini ifade eder. Tercih edilen problemin veya hatanın oluşmadan önce önlenmesidir. Bu, her tür kalite kontrol programının nihai hedefidir. Proseste, hatayı doğru teşhis etmek ve bunun sonucunda gelecekte hatanın yeniden oluşumunu önlemek

için uygun metotları yerleştirmek gereklidir. Aksi takdirde red veya hurda, tekrar işleme, fazla taşlama ya da temizleme gerektiren ve döküm üretimine kar getirmeyen işlemlerle karşılaşabılır.

Metalik malzemeden döküm yoluyla üretilmiş bir mamulde, kullanılan metal veya alaşımının dökülebilirliği işlenebilirliği, kaynaklanabilirliği, yüzeyinin metalik veya metalik olmayan malzemelerle kaplanabilirliği gibi mühendislik özelliklerinin yanı sıra ürünün mukavemeti, tokluğu, ısıya, korozyona dayanımı gibi özelliklerde tamamıyla döküm mikro yapısı ile malzemenin iç yapısına (metalografik yapı) göre oluşmaktadır. Belirli kimyasal bileşime sahip seçilmiş metal veya alaşımların döküm sonrası oluşacak makro ve mikro yapılarının istenen özellikler ortaya çıkarabilmesi (bileşim, ergime tekniği, rafinasyon, gaz giderme veya deoksidasyon, inokülasyon, döküm sıcaklığı, katılaşma kinetiği gibi) metalurjik faktörlerin hassas ve çabuk kontrollerini gerektirir. Bu faktörleri etkileyen model, kalıp, maça, döküm sıyırma, temizleme ve ısıl işlemler gibi proseslerdeki değişimlerinde çok yakından izlenmesi ve kontrolleri gerekli olmaktadır.

Her üretimde olduğu gibi dökümde de hatalı parçaların ortaya çıkması kaçınılmazdır. Hata oranı, parça boyu ve biçimi, malzeme ile döküm uygulamalarına bağlı olarak % 30'a kadar çıkabilir. Üretimin değişik aşamalarından kaynaklanabilen döküm hataları, parça, model, kalıp tasarımı, döküm sırasında ve bitirme işlemlerinde hatalar, yanlış malzeme seçimi gibi değişik nedenlerle ortaya çıkabilir.

Artan otomasyon ve mekanizasyon, döküm endüstrisinin ve malzemelerinin sürekli gelişimini beraberinde getirmektedir. Üretim prosesleri ve imalat sırasında istenilen sıfır hata hemen hemen imkansızdır. Hatalı ve hurda parçaların oluşması da olasıdır. Önemli olan minimum hata ile çalışmaktır. Hataları minimuma indirmenin ilk yolu hatayı iyi analiz etmektir.

Döküm parametreleri, kullanılan aparatlar, dökümhane temizliği ve koşulları, eğitimli işçi, kalıpçı veya dökümcü, üretilen ürün üzerinde aktif rol oynar. Sadece birindeki problem dahi hatalı parçaya neden olabilir. Kalıp duvarlarına uygulanan kalıp kaplamaları da üretimde meydana gelebilecek hatalarda rol sahibidir. Kaplamanın doğru seçilmesi ve kullanılması çok önemlidir. Kaplama işlemi dökümün toplam maliyetinin sadece % 0,5'ine eşittir. Diğer yandan kaplama işleminin yanlış yapılması ya da yanlış seçimi toplam maliyetin %5–10'una varan zarara yol açar. Kötü veya yanlış kaplamalar dökümdeki toplam zararı %50'nin üzerine çıkartılabilir.

Kalıp kaplamaları metal döküm endüstrisinde kullanılmak üzere özel olarak formüle edilmiş boyalar olarak düşünülebilir. Günümüzde döküm kalitesini ve kalıp ömrünü arttırmak için dökülecek metal bileşimi, döküm sıcaklığı, döküm şekline bağlı olarak kullanılan çok çeşitli tipte kaplamalar mevcuttur. Refrakter kaplamalar döküm prosesinin bir parçasıdır. Kaplama işlemi, döküm prosesinden bağımsız bir şekilde düşünülemez. Kaplama kullanımı hata oluşumu ve temizleme maliyetlerini düşürmektedir. Hata oluşumunu önlemenin yanı sıra kaplamalar kalıp ömrünü arttırıcı etkiye sahiptirler. Buna bağlı olarak ileride ortaya çıkabilecek diğer maliyetler azaltılmış olur.

2. METAL-KALIP ARAYÜZEYİNDE ISI TRANSFERİ

2.1 Isı Transfer Mekanizmaları

Isı transferi sıcaklık farkından dolayı sistem ve çevresi yada maddeler arasında meydana gelen enerji akışıdır. Madde alışverişi olmaksızın sadece sıcaklık farkından dolayı meydana gelen bu enerji geçişi, ısı transferi olarak tanımlanır (Eckert ve Drake, 1971). Termodinamiğin ikinci kanunun sonucuna göre; ısı sıcak bir sistemden daha soğuk bir sisteme kendiliğinden akar. Isı geçişi üç şekilde meydana gelmektedir;

- a. Kondüksiyon (Isı iletimi)
- b. Konveksiyon (Isı taşınımı)
- c. Radyasyon (Isı ışıınımı)

Herhangi bir ısı geçişi olayı bu üç şeklin birisi ile herhangi ikisi ile yada üçü ile birlikte gerçekleşebilir (Ede, 1967).

Demir dışı malzeme dökümünde, meydana gelen enerji sıvı alaşımdan kalıba genel olarak kondüksiyon ile transfer edilir. Ayrıca sıvı metalin konveksiyonu ısı transferinde ve makro segregasyonda önemli bir rol oynar. Radyasyon ile ısı transferi ise yüksek yüzey sıcaklıklarında ve hassas döküm prosesinde önemlidir (Kayıkçı, 1999).

2.1.1 Kondüksiyon ile Isı Transferi

Kondüksiyon ile ısı transferi zamana bağlı (kısa süreli) ısı iletimi ve devamlı rejim olarak iki bölüme ayrılabilir. Bir döküm prosesinde zamana bağlı ısı iletimi daha baskındır (Kayıkçı, 1999).

Bir cisim içerisinde sıcaklık basamağı meydana geldiğinde, yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru enerji akışı meydana gelir. Eğer sıcaklık zamana bağlı olarak değişmiyorsa sistem devamlı rejim olarak adlandırılabilir (Kreith ve Black, 1980). İçinde sıcaklık değişimi olan bir boyutlu levha göz önüne alındığında, birim alandan iletim ile geçen ısı miktarı, ısıнын geçiş yönündeki sıcaklık gradyanı ile orantılıdır (Şekil 1). Buna göre;

$$Q = kA \frac{(T_1 - T_2)}{L} \quad (2.1)$$

Q : Birim zamanda geçen ısı miktarı

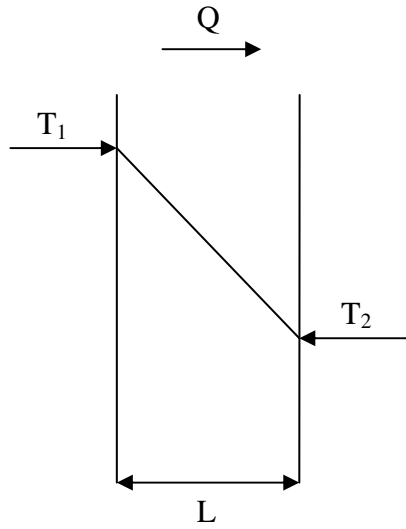
A : Isı geçişi yönünde dik yüzey alanı

k : Isı iletim katsayısı

dT/dx : Isı geçişi yönündeki sıcaklık gradyanı

(-) : Eksi işareti ısı geçişi düşük sıcaklığın yönüne doğru olduğundan geçen ısı miktarını pozitif yapmak için konulur.

İletim ile ısı transferini ilk ifade eden J.B. Fourier olduğundan denklem 2.1 Fourier ısı iletim kanunu olarak adlandırılır.

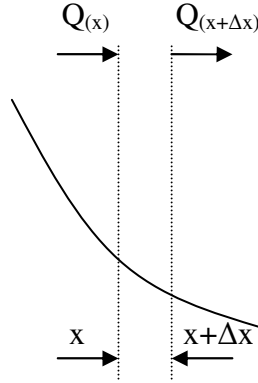


Şekil 2.1 Devamlı rejim ısı iletimi (Kreith ve Black, 1980).

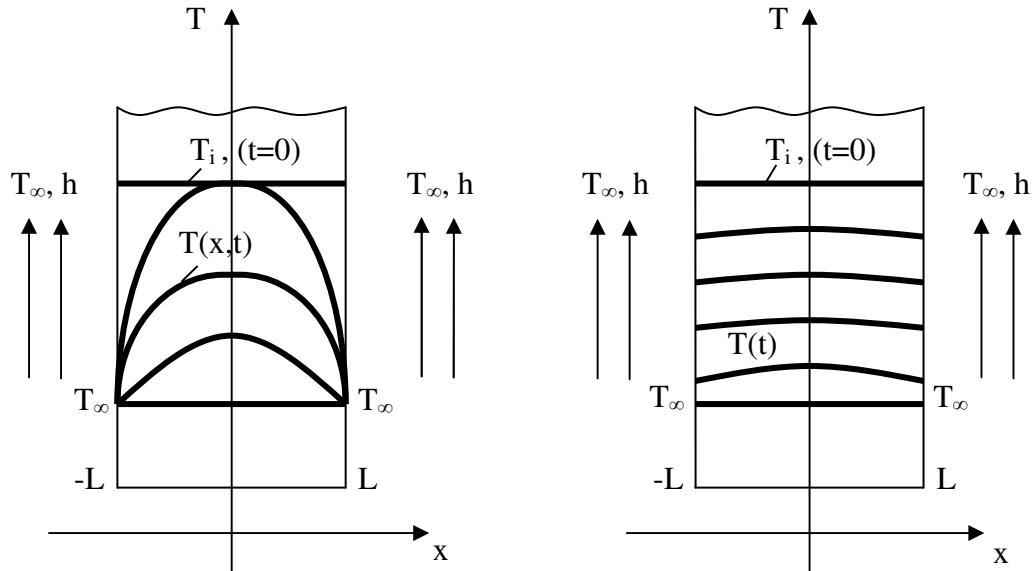
Bununla beraber ısı akışındaki değişimi zamanla farklılık gösteriyorsa bu durum zamana bağlı ısı iletimidir ve sıcaklık profili lineer olmayan bir şekilde değişim gösterir. Şekil 2.2 zamana bağlı değişimi göstermektedir.

Zamana bağlı ısı iletimi, cismin içindeki sıcaklık basamağının ihmal edilip edilmemesine göre iki şekilde incelenebilir. Sıcak bir levha ani olarak soğuk bir akışkan içerisine daldırıldığında, levha içinde zaman göre değişken bir sıcaklık değişimi meydana gelir. Başlangıçta ($t = 0$) cismin sıcaklığı T_1 ve akışkan sıcaklığı T_∞ olması halinde bu değişim genel olarak Şekil 2.3a'daki gibi gerçekleşir. Eğer levha ince ise yada ısı iletim katsayısı çok yüksek ise, levha

içerisinde x yönündeki sıcaklık basamağı ihmal edilebilir. Herhangi bir t anında cismin her noktasının aynı sıcaklıkta olduğu kabul edilebilir. Bu durum ısı iletim katsayısı yüksek olan küçük parçalarda görülür (Şekil 2.3b) (Incropera ve DeWitt., 2002).



Şekil 2.2 Zamana bağlı kondüksiyon (Kayıkçı, 1999).



Şekil 2.3 Levha içerisinde zamana bağlı sıcaklık basamakları (Incropera ve DeWitt., 2002).

2.1.2 Konveksiyon ile Isı Transferi

Rasgele moleküler hareketten dolayı olan enerji transferiyle birlikte akışkanın makroskopik hareketinden dolayı enerji transferi gerçekleşir (Şekil 2.4). Taşınım ile ısı transferi Newton soğuma kanunu ile formüle edilir;

$$q' = h (T_s - T_\infty) \quad (2.2)$$

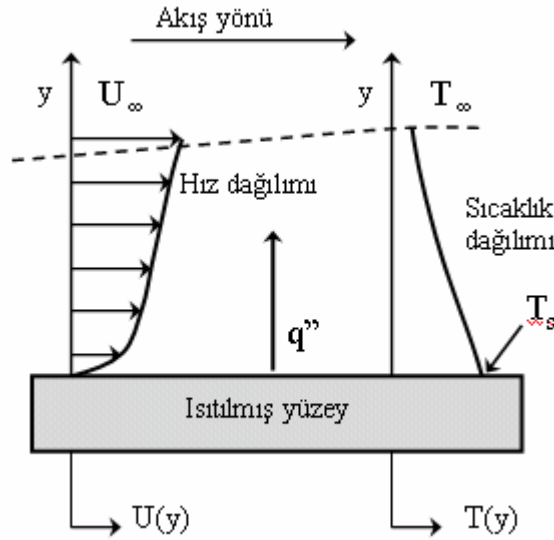
Burada;

q' : Taşınım ısı akış miktarı

h : Isı transfer katsayısı akışkan özelliklerine ve akışkan hızına bağlıdır.

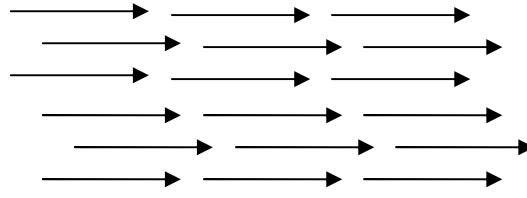
T_s : Yüzey sıcaklığı

T_∞ : Serbest akışkan sıcaklığı

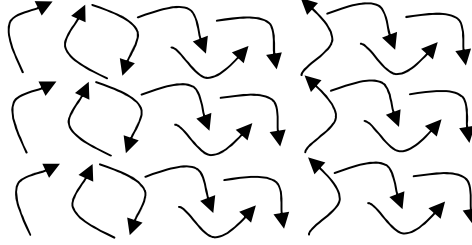


Şekil 2.4 Konveksiyon ile ısı transferi

Taşınım ile ısı transferinde iki mekanizma etkilidir. Basınç farkından yada vantilatör veya pompa vasıtasıyla meydana gelen akışa zorlanmış taşınım denir. Zorlanmış taşınım laminar yada türbülanslı olabilir (Şekil 2.5). Akışkan içindeki sıcaklık farkının meydana getirdiği, yoğunluk farkından dolayı oluşan akışa doğal taşınım denir. Doğal taşınım da laminar veya türbülanslı olabilir (Incropera ve DeWitt., 2002).



Laminer



Türbülanslı

Şekil 2.5 Akış çizgilerinin hareketi (Incropera ve DeWitt., 2002).

2.1.3 Radyasyon ile Isı Transferi

Sonlu sıcaklığa sahip tüm yüzeyler elektromagnetik dalgalar halinde enerji yayarlar. Farklı sıcaklıklardaki iki yüzey arasında net ısı transferi, yüzeyler arasında engelleyici bir ortam olmadığında gerçekleşir. Bu ısı transferi prosesi ışıınım (radyasyon) olarak tanımlanır. Isı ışıınımı mekanizması tam olarak bilinmemekle birlikte elektromanyetik dalga ve kuantum teorileri pek çok olayı açıklamaktadır (Kreith ve Black, 1980).

İdeal bir termal radyatör veya siyah cisim mutlak sıcaklığının dördüncü kuvveti kadar enerji açığa çıkarır. Yayılan enerji için belirli bir sınır vardır. Bu durum Stefan-Boltzmann Kanunu ile açıklanmıştır;

$$q = \sigma A T^4 \quad (2.3)$$

Burada;

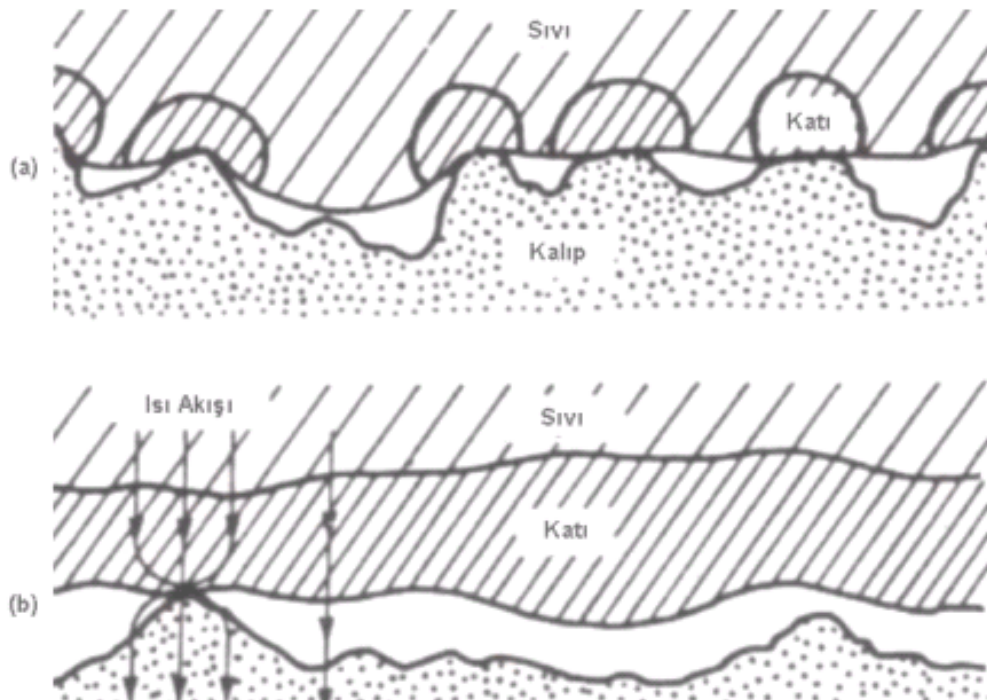
T : Mutlak sıcaklık

σ : Stefan-Boltzmann sabiti

A : Yüzey alanı

2.2 Metal-Kalıp Arayüzeyinin Özelliği

Metal ve alaşımlar kum ve/veya metal kalıp içerisinde katılaşıırken gelişen dinamik şartların anlaşılması ve kontrolü çok zordur. Sıvı metal yüksek ısı iletimli metallerde (dökme demir, bakır, çelik) hızlı bir soğuma gösterirken, kum ve seramik gibi düşük ısı iletimli kalıplarda yavaş soğuma gösterir (Yılmaz ve diğerleri, 2005).



Şekil 2.6 Metal-kalıp arayüzeyi. Sıvı döküm kalıbın tepelerinin üzerinde durur. Daha sonra döküm heterojen olarak (ısı transferi ile) çekirdekleşmeye bu temas noktalarında başlar. Bu temas sıvı metalin şeklinin bozulmasına kadar devam eder (Yılmaz ve diğerleri, 2005).

Sıvı metal daha sonra döküm yüzeyinin çoğunu kaplamaya başlar. Bu aşamadan sonra katı, pürüzlü temas noktalarından hızlı ısı transferiyle birlikte heterojen olarak çekirdeklenmeye

başlar. Bu ilk temas olayı oluşan katı tabakanın sıvı metal basıncına dayanacak yeterli mukavemete erişmesine kadar korunur (Yılmaz ve diğerleri, 2005).

Wang ve Matthys, silindirik bakır kalıp içerisinde kalay döküm (7 mm. kalınlık ve 12,7 mm. çap) ile yaptıkları çalışmada ısı transfer katsayısının tepe noktasından (0,085 sn.) nispeten sabit değere 0,23 sn. civarında düştüğünü belirtmişlerdir. Bu yazarlar ısı transfer katsayısındaki düşüşü çil yüzeyinde katı çekirdeklenmesine bağlamaktadır (Wang ve Matthys, 1994).

Ara yüzeydeki ısı transferi çeşitli bileşenlerin fonksiyonudur. Isının arayüzeydeki gaz fazdan geçişi;

$$h_c = k/d \quad (2.4)$$

ile hesaplanır.

Burada;

h_c : Isı transfer katsayısı

k : Gazın ısısal iletkenliği

d : Boşluğun kalınlığı

Dökümden hemen sonra kalıp ile döküm arasındaki ısı transferinin çok yüksektir. Ancak birkaç saniye içerisinde ısı transferi hızlı bir şekilde düşüşe geçer. Bu düşüş genellikle döküm ile kalıp arasındaki hava boşluğuna bağlıdır. Katılaşma anındaki ısı transferinin azalması ve azalma sebebi çok önemlidir (Campbell, 1999).

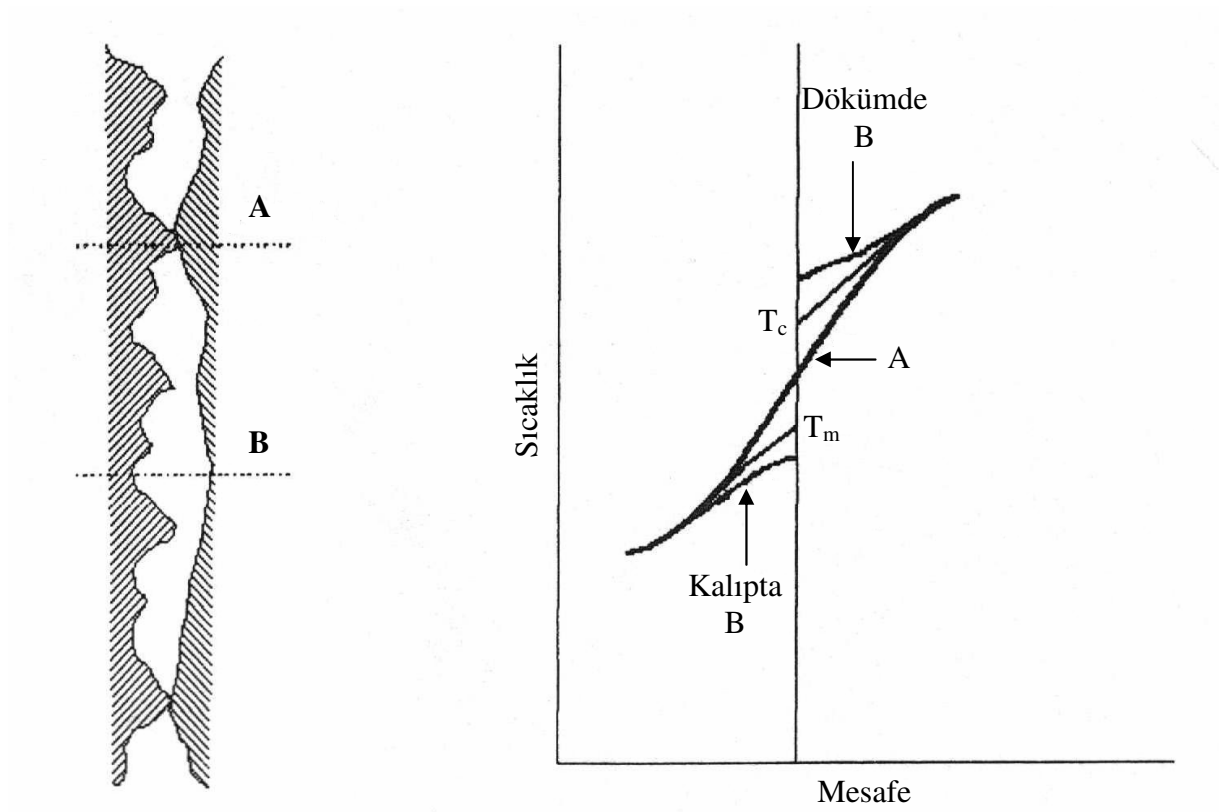
Sıvı metal-katı ve katı metal-katı temas alanlarındaki ısı akışı gaz dolu boşluklardaki ısı akışından daha yüksek olacaktır (Lau ve diğerleri, 1998). Bu olay metal-kalıp sisteminin arayüzeyinde iki farklı sıcaklık değişimi olmasına yol açacaktır. Bu olay Şekil 2.7’de şematik olarak gösterilmiştir.

2.3 Metal-Kalıp Sisteminde Isı Transfer Dirençleri

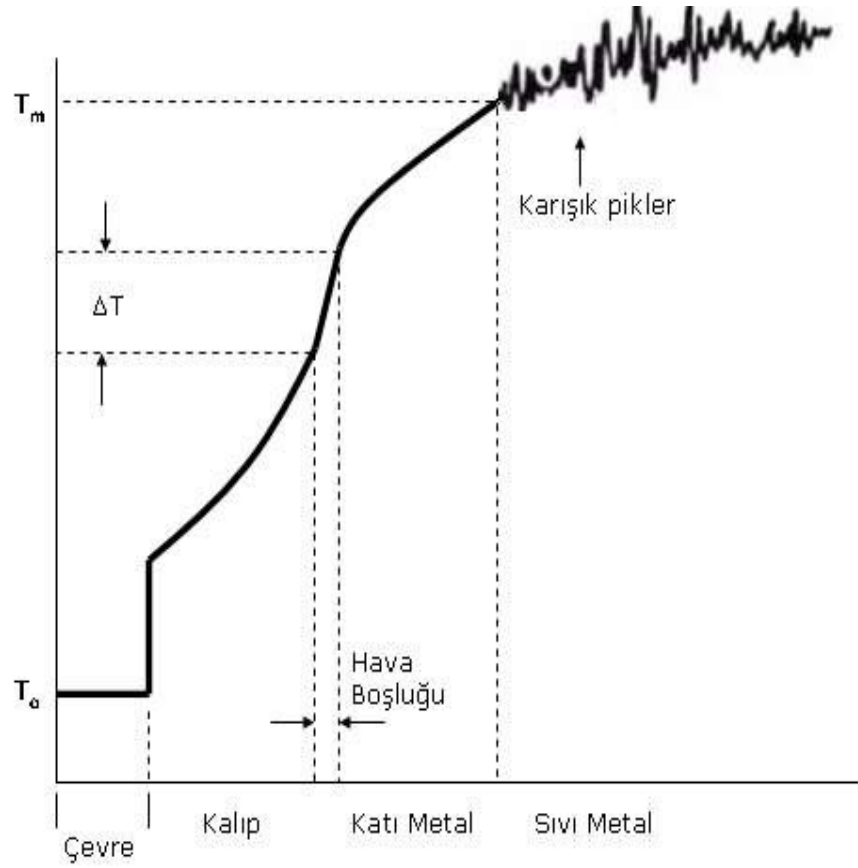
Metal ve alaşımlar kum-metal kalıp içerisinde katılaşırken, gelişen dinamik şartların anlaşılması ve kontrolü çok zordur. Özellikle savurma döküm uygulaması konuyu daha karmaşık yapar.

Sıcak sıvı metalin ve sonra da katı metalin ısını kaybetmesi zaman alır. Flemings (1974) tarafından tanımlanan ve ısı kaybını (transferini) kontrol eden direnç faktörleri aşağıda sıralanmıştır (Şekil 2.8) (Flemings, 1976);

1. Katılaşma
2. Sıvı metal veya alaşım
3. Metal-kalıp arayüzeyi
4. Kalıp
5. Kalıbın çevresi



Şekil 2.7 Isı uzaklık profiline bağlı temas yüzeyleri (Kayıkçı, 1999).



Şekil 2.8 Bir kalıpta katılaşan metalde ve çevresinde ısı transferine bağlı olarak değişen sıcaklık profilleri (Campbell, 1999).

Döküm içindeki ısı transfer dirençlerine en büyük etkiyi 2., 3. ve 4. yapar.

2.3.1 Kalıp

Kum kalıplarda yapılan dökümlerde soğuma, kalıp tarafından absorblanan ısı derecesine göre gerçekleşir. Kum kalıplar döküm ısını muhafaza eden mükemmel yalıtım malzemeleri olarak rol oynarlar (Çavuşoğlu, 1981). Hassas döküm ve sıvama kalıplar bile ısı yalıtımına bağlı olarak sıvı metalin erken soğumasını engelleme, yalıtım özelliği, akışkanlığı koruma, ince bölgelerin doldurulması gibi farklı özellikler sergilerler (Aran, 1999). Bununla beraber çok aşırı derecede soğumanın gecikmesi de döküm parçasının nispeten düşük mekanik özellikler sergilemesine yol açar. Tek yönlü şartlarda en basit duruma göre metal T_m sıcaklığında T_o sıcaklığındaki kalıba dökülür;

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha_m \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (2.6)$$

Flemnigs'e göre;

$$S = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{T_m - T_o}{\underbrace{\rho_s H}_{\text{metal}}} \right) \underbrace{\sqrt{K_m \rho_m C_m}}_{\text{kalıa}} \sqrt{t} \quad (2.7)$$

Bağıntı 2.7 yüksek iletkenliğe sahip demirdışı metaller, alüminyum, magnezyum ve bakır için doğrudur. Demir ve çelik malzemeler için elverişli değildir. Genel olarak bu malzemeler ostenit yapıda katılaşırlar ve düşük iletkenliğe sahiptirler (Davies, 1973).

Yüksek ergime sıcaklığı hızlı katılaşmayı sağlar; örneğin çelik aynı döküm demire göre daha hızlı katılaşır. Bu sonuç deneysel olarak da kanıtlanmıştır (Şekil 2.9).

$K_m \rho_m C_m$ değişik kalıp malzemelerinin absorblayacağı ısıyı belirten yararlı bir parametredir. Bu ısı difüzivitesi olarak adlandırılır. Basit şekilli parçalar için S yerine V_s/A yazılırsa bağıntı 2.9 elde edilir. Bu bağıntı Chvorinov kuralı olarak bilinmektedir;

$$\frac{V}{A} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{T_m - T_o}{\underbrace{\rho_s H}_{\text{metal}}} \right) \underbrace{\sqrt{K_m \rho_m C_m}}_{\text{kalıa}} \sqrt{t_f} \quad (2.8)$$

ve

$$t_f = B \left(\frac{V}{A} \right)^2 \quad (2.9)$$

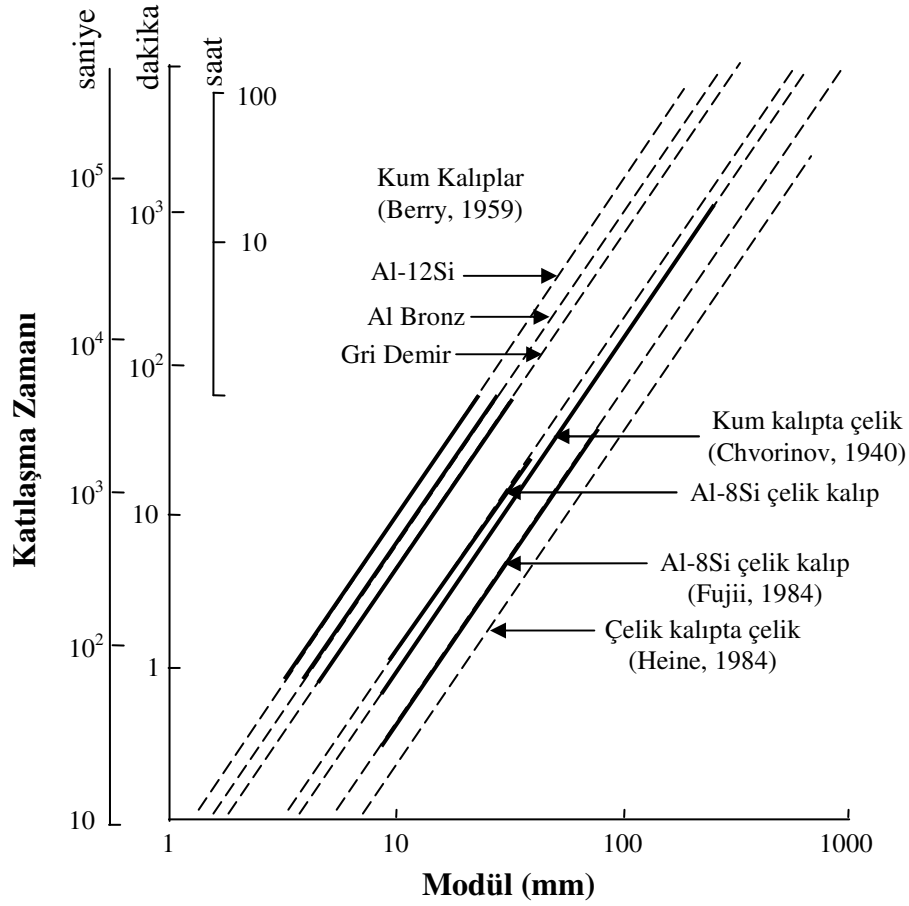
Burada;

V_s : Katılaşmış hacim

A : Metal-kalıp arayüzey alanı

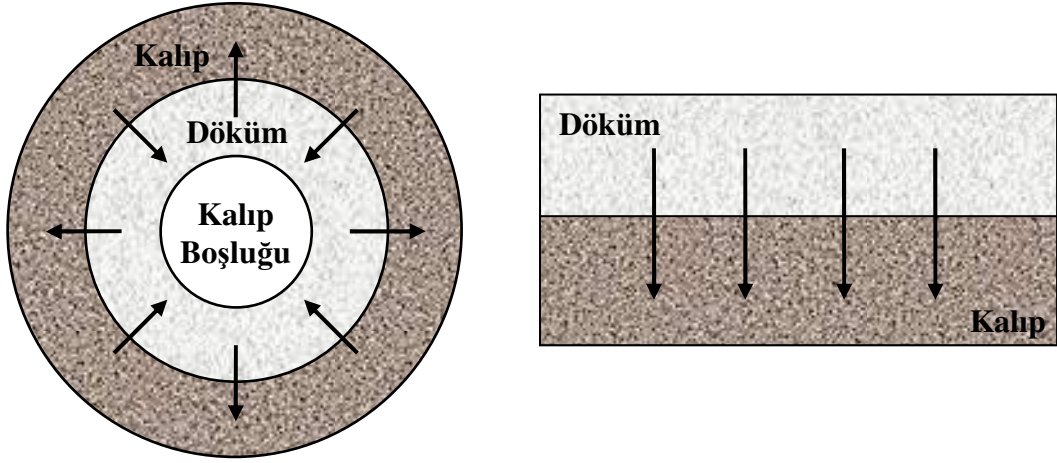
t_f : Toplam soğuma zamanı

B : Kalıp ve metal şartlarına bağlı sabit



Şekil 2.9 Farklı alaşımların farklı kalıplarda soğuma zamanları (Campbell, 1999).

Kalıp hatları ısı transferini etkileyebilir. Bu durum Şekil 2.10'da şematik olarak gösterilmiştir. Burada kalıp boşluğu kalıbın çevresine oranla ısıya daha fazla maruz kalacaktır. Konveks bir duvarda ısı akışı düzlem levhada meydana gelen ısı akışıyla karşılaştırılmaz. Kalıp boşluğuna doğru meydana gelen ısı akışı kalıp boşluğunun genişlemesi veya döküm parçasının büzülmesiyle meydana gelecek basınç artışına bağlı olarak artabilir (Kayıkçı, 1999). Yapılan deneysel çalışmalar arayüzeyde termal direncin silindirik maça etrafında soğuyan metalin katılma zamanına bağlı olarak azaldığını göstermiştir. Buna nedeni olarak maçanın genleşmesi ve metalin büzülmesine bağlı olarak meydana gelen temas basıncındaki artış gösterilmektedir (Kim ve Lee, 1997).



Şekil 2.10 Kalıp hatlarının kalıptan ısı transferi üzerine etkisi (Kayıkçı, 1999).

2.3.2 Döküm

İlk katılaşmış kabuğun kalınlaşması için parabolik zaman kanunu geçerlidir. Bu, deneysel gözlemlerle de kanıtlanmıştır. Örnek olarak dökme demirden imal edilen kalıbın içinde katılaşmakta olan çeliğin katı tabakası verilebilir. Katılaşmanın başındaki gecikmeye (Campbell, 1999);

1. Dökümden sonra sıvının türbülansı, ergime süper ısısının varlığı,
2. Yüzeyler arası direncin ısı kaybını yavaşlatması sebebiyet verir İlk olarak katılaşma hız lineer olacaktır. Ardından katılaşan metal direnci baskın hale gelecek ve parabolik ilişki gösterecektir.

2.3.3 Metal-Kalıp Arayüzeyi

Katılaşma ve soğuma devam ettikçe dökümün katılaşma büzülmesi kalıbın genişlemesinden daha büyük olabilir ve tam bir ayrılma gözlenebilir. Buna da hava boşluğu formasyonu denir. Hava boşluğu formasyonu üç faktöre bağlıdır (Ho ve Pehlke, 1985);

- a) Yüzey alanı
- b) Döküm ve kalıp malzemenin değişmesi
- c) Geometri etkisi

Hava boşluğunun oluşumu büyük ölçüde dökümün içindeki hidrostatik basınca bağlıdır. Hava boşlukları katılaşmış kabukların ince olduğu bölgelerde çekirdekleşme eğilimine girerler. Bu noktalarda döküm kalıp yüzeyindeki basınç ilk olarak sıfıra düşer. Bunun terside geçerlidir. İlk katılaşmış kabukların kalın olduğu bölgelerde döküm kalıp yüzeyinin basıncının arttığı da gözlemlenmiştir. Bu durumda gaz boşluğunun büyümesi kararsız hale gelir ve gaz kalın olan bölgelerden ayrılır (Yılmaz ve diğerleri, 2005).

Hava boşluğu basit ısısal daralma-genişleme problemidir ve bu, ara yüzey sıcaklıkları ile direkt olarak ilgilidir. Hava boşluğu sözcüğü mecazidir, çünkü bu boşluk hava hariç nerdeyse her şeyi içerir (Davies, 1973).

Hava boşluğunun (d) büyüklüğü döküm çapının (D) fonksiyonu olarak aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir;

$$d/D = \alpha_c (T_f - T) + \alpha_m (T_{mi} - T_o) \quad (2.5)$$

Burada;

- c : Döküm
- m : Kalıp
- T : Döküm sıcaklığı
- T_f : Katılaşma sıcaklığı
- T_o : Orijinal kalıp sıcaklığı
- T_{mi} : Metal-kalıp arayüzeyindeki sıcaklık

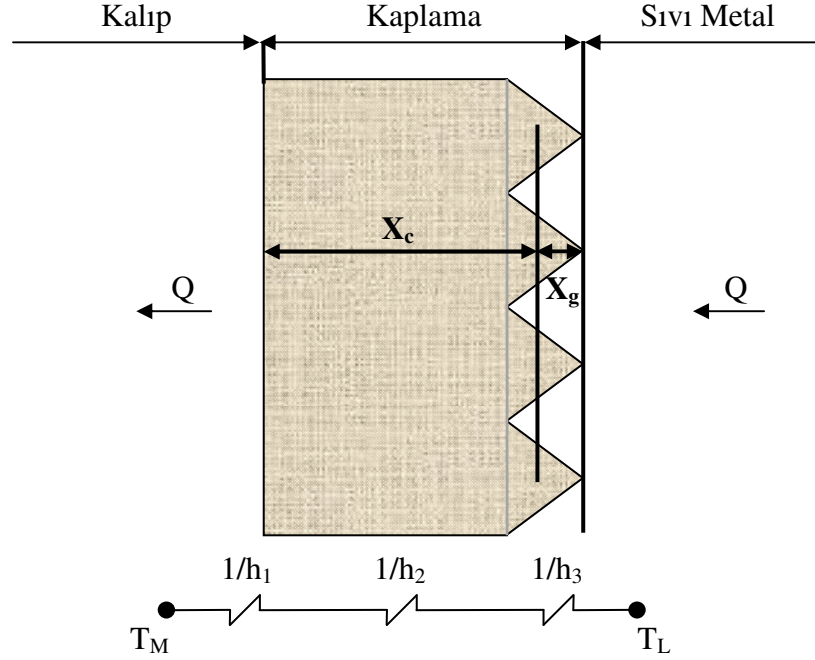
c ve m, döküm ve kalıbı simgeler. T ve T_f döküm ve katılaşma sıcaklığı, T_o orijinal kalıp sıcaklığı ve T_{mi} göstermektedir. Hava boşluğu denklemi, hava boşluğu düzeninin ne kadar basit olduğunu göstermektedir.

2.4 Katılaşma Sırasında Arayüzeyde Isı Transferini Etkileyen Faktörler

2.4.1 Kalıp Kaplamaları

Günümüzde kullanılan değişik kaplama çeşidi vardır. Bunun sebebi; metal ile kalıp yüzeyi arasında oluşabilecek lehimlenmeyi önlemek; dökümün kalıptan ayrılmasını daha kolay hale getirmek, döküm yüzeyi kalitesini arttırmak ve kalıp içine sıvı metali daha rahat vermektir

(Yılmaz ve diğerleri, 2005). Kalıp kaplamasının varlığı ısı akışında yüksek bir ısısal direnç oluşturabilir. Poroz kaplamanın kalınlığı ve yüzey pürüzlülüğünün etkileri Chiesa ve Davies tarafından araştırılmıştır. Chiesa tarafından, kaplamalı dökme demir kalıpta alüminyum döküm için ısı transfer modeli Şekil 2.11’de gösterilmiştir (Kayıkçı, 1999).



Şekil 2.11 Kaplamalı kalıptan ısı transferi (Kayıkçı, 1999).

Chiesa’ya göre kalıp-kaplama arayüzeyinde ısı transferi kondüksiyon ile sağlanmakta, kaplama-sıvı metal arayüzeyinde ise hakim mekanizmanın radyasyon ve kondüksiyon olduğu belirtilmektedir. Buna göre kaplama-sıvı arayüzeyinde iki paralel direnç gözükmemektedir (Kayıkçı, 1999).

$$\frac{1}{h_3} = \frac{1}{h_c} + \frac{1}{h_r} \quad (2.6)$$

Burada;

h_c : Kondüksiyon ısı transfer katsayısı

h_r : Radyasyon ısı transfer katsayısı

Toplam ısı transferi ise;

$$\frac{1}{h} = \frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} + \frac{1}{h_c + h_r} \quad (2.7)$$

Kalıp kaplamaları bu tezi ana konusu olduğundan bu konu Bölüm 3'te ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

2.4.2 Uygulanan Basınc

Literatürde araştırmacılara göre metal-kalıp arayüzündeki ısı transfer katsayısı arayüzdeki basıncın artışı ile birlikte artış gösterir (Kayıkçı, 1999).

Davies, metalostatik basıncın ısı transfer katsayısı üzerinde çok büyük etkisi olduğunu kanıtlamıştır. Bu basınç, katılaşma süresini de önemli ölçüde azaltır (Davies, 1973).

Yine araştırmacılara göre uygulanan dış basıncın artışıyla arayüzde termal direnç düşmektedir (Ferreira ve diğerleri, 2005).

2.4.3 Döküm Kompozisyonu

Dökme demirin döküm alaşımı olarak incelendiği deneylerde katılaşma sırasında grafitin sebebiyet verdiği hacim artışı yüzünden artan temas alanı nedeniyle ısı transfer katsayısının yükseldiği gözlenmiştir (Elliot, 1988).

Muojekwu Al-Si döküm alaşımlarında Si miktarının azalmasıyla ısı akışı ve arayüz ısı transfer katsayısının arttığını belirtmiştir. Yine buna benzer sonuçlar Michel ve Krishnan ve Sharma tarafından bulunmuştur. Michel'in çalışmalarına göre Al-6Si alaşımı Al-13Si alaşımına oranla daha yüksek arayüz ısı transfer katsayısına sahiptir. Yine Krishnan ve Sharma'ya göre LM24 alaşımı (9,5 Si – 3,58 Cu) LM6 alaşımından (11,49Si – 0 Cu) daha yüksek ısı transfer katsayısına sahiptir (Kayıkçı, 1999).

2.4.4 Sıvı Metal Isısı

Araştırmacılar yüksek ısılarda aradaki hava boşluğu kalınlığının azaldığı ve ısı transferi katsayısının arttığını gözlemişlerdir. Yüksek ısının metal sıvısının akışkanlığını arttırdığı, temas alanını büyüttüğü bunun sonucu olarak ısı transferini arttırdığı görülmüştür. Yüksek ısılarda aynı kalıp yüzeylerinden üretilen döküm yüzeylerinin daha düzgün olduğu bilinen bir

gerçekdir. Örnek olarak 0 ve 120 °C aşırı ısıtılmalı iki döküm mukayese edildiğinde yüksek döküm sıcaklığına sahip dökümde, diğerine göre yüzey pürüzlülüğünün (Ra) 2,2 mikrometreden 1 mikrometreye düştüğü ve ısı transfer katsayısının da 1,5 kat arttığı rapor edilmiştir (Campbell, 1999).

Ergimiş metalin ısısının çok olması sıvı alaşımın ısısal iletkenliğini ve sıvının var olma periyodunu artırır. Aşırı ısıtılmış sıvı aynı zamanda döküm yüzeyini de pürüzsüzleştirdiği için ısı transferini artırır. Bu, dökümün sıvı-katı temas süresi ve yüzey kalitesini de artırır. Bu olay, aynı zamanda yüzeyler arasında sıkışabilecek gazın da yüzey katılaşmadan dışarı atılmasını sağlar. Ayrıca plastik şekil değiştirme temas alanı oluşur ve plastik şekil değiştirme süresi de artar (Ferreira ve diğerleri, 2005).

2.4.5 Kalıp Malzemesi

Literatürde farklı kalıp malzemelerinin arayüzey ısı transferine etkileri belirtilmiştir. Bulunan sonuçlara göre sıvı metal dökümünü takiben düşük iletkenliğe sahip çelik kalıplar arayüzeye yakın sıcaklıkta hızlı bir artış gösterirler fakat bu artış ilerleyen zamanlarda daha yavaştır (Jorstad ve Rasmussen, 1997).

Araştırmacılara göre arayüzeyde ısı akışı zamana ve kalıp malzemesinin özelliklerine bağlıdır. Dökümün soğumasında ilk 10 saniyedeki ısı absorpsiyonunun kalıp malzemesinin hacimsel ısı kapasitesiyle orantılı olduğu ispatlanmaya çalışılmaktadır. Burada termal difüzyonun etkisi yoktur. Fakat ilerleyen kademelerde ısı akış hızı kalıp malzemesinin termal difüzyonuna daha fazla bağlıdır (Lau ve diğerleri, 1988).

2.4.6 Kalıp Sıcaklığı

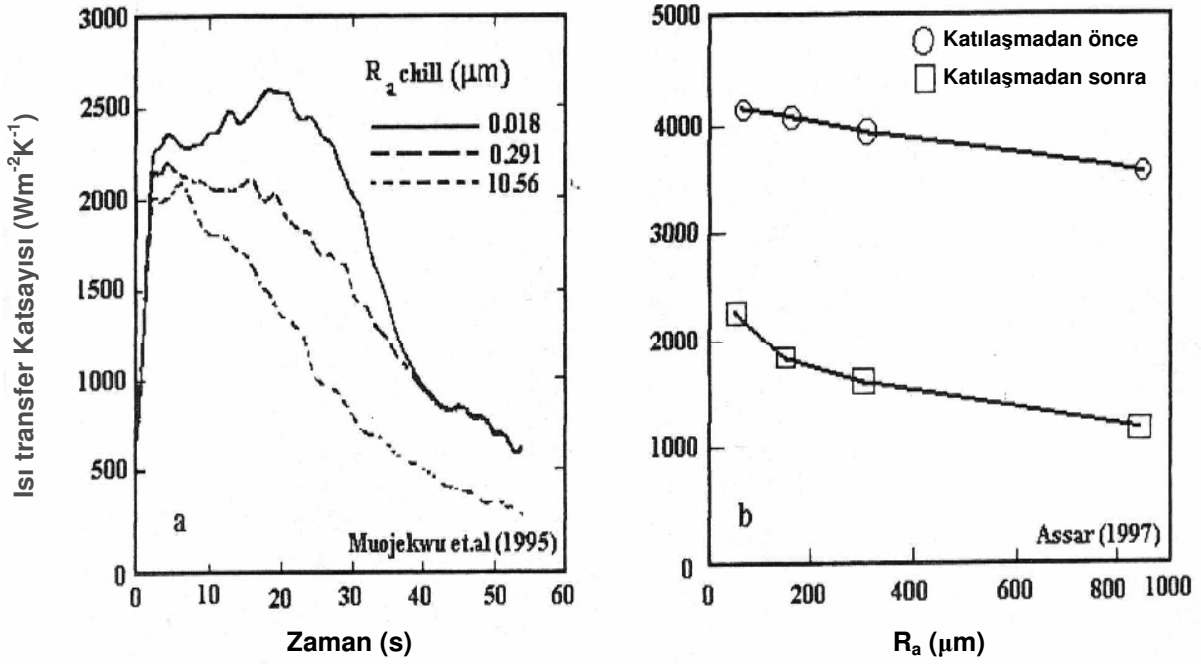
Yapılan deneylerle, kalıbın önceki ısısının 250 °C'den 150°C'ye inmesinin ısı transfer katsayısını yaklaşık olarak 2 kat artırdığı gözlenmiştir (Trovant, 1998).

2.4.7 Döküm Yüzey Pürüzlülüğü

Deneyler, kalıp yüzey pürüzlülüğünün yüksek oranda artışı (0,018 mikrometreden 10,56 mikrometreye, 500 kat) ile SDAS'nin (ikincil dendritik kol aralığı) üç kat arttığını ve döküm kabuk yüzeyi pürüzlülüğünün ise %40 arttığını göstermiştir (Kayıkçı, 1999). Kaplama döküm yüzey kalitesini artırır. İnce tane kaplamalı döküm yüzeyi düşük pürüzlülüğe sahiptir. Döküm

et kalınlığı arttıkça statik basınç arttığından dolayı yüzey pürüzlülüğü artar. Döküm sıcaklığı düştükçe ve soğuma hızı arttıkça pürüzlülük düşer (Yılmaz ve diğerleri, 2005).

Şekil 2.12’de kalıp yüzey pürüzlülüğünün arayüzey ısı transfer katsayısına etkisi grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.12 Kalıp yüzey pürüzlülüğünün arayüzey ısı transfer katsayısına etkisi (Kayıkçı, 1999).

Artan zamanla birlikte yüksek yüzey pürüzlülüğünün arayüzeyde ısı transfer katsayısını düşürdüğü görülmektedir.

2.4.8 Katılaşmış Döküm Yüzeyinin Topografik Özellikleri

Deneyler, döküm ve kalıp yüzeyi arasındaki hava boşluğu formasyonunun termal stresten doğduğunu göstermiştir. Saf kurşun dökümü, tabak şekilli paslanmaz çelik üzerinde konkav deformasyon oluşturmuştur. Bu da döküm ile kalıp yüzeyi arasında ayrılmaya sebep olur (merkezde 100 mikrometre).

Niyama ve arkadaşları, katı kabuğun deformasyon şeklinin, dökümdeki alaşımın bileşimine bağlı olduğunu göstermiştir. Örnek olarak Fe-C alaşımının katılaşması sırasında, eğer karbon

oranı %0,6'dan az veya %2,5'den fazla ise katı kabuğun deformasyonu çile doğru konveks olacaktır. Ancak karbon oranı %0,6-%2,5 arasında ise konkav olacaktır (Kayıkçı, 1999).

3. KALIP KAPLAMALARI

Kalıp kaplamaları metal döküm endüstrisinde kullanılmak üzere özel olarak formüle edilmiş boyalar olarak düşünülebilir. Hemen hemen tüm döküm kaplamaları özel olarak seçilmiş malzemelerin bir sıvı taşıyıcı içerisinde çözelti meydana getirmesiyle oluşurlar. Kalıp ve maça yüzeylerine uygulanan kaplamalar sıvı içeriğin ayrılmasıyla birlikte döküm kalitesini arttıran koruyucu tabaka özelliği sergilerler. Kalıp kaplamaları kalıp yüzeyine uygulanan sıvı metal ve kalıp arasında metal katılaşana kadar termal bariyer görevi üstlenen malzemelerdir (AFS, 2000). Kalıp kaplamaları 5 ana nedenden dolayı kullanılırlar (ASM, 1988);

- a. Dengesiz katılaşmayı önlemek,
- b. Katılaşma hızı ve oranını dolayısıyla da döküm yapısını ve kusursuzluğunu kontrol etmek,
- c. Kalıp malzemesinin termal şok direncini arttırmak,
- d. Sıvı metalin kalıba yapışmasını engellemek,
- e. Döküm hatalarını minimize etmek.

Kalıp kaplamaları genel olarak yalıtıcı ve yağlayıcı olarak iki kategoriye ayrılırlar. Bazı kaplama malzemeleri her iki özelliği de sergileyebilirler (Brown 1982). Kalıp kaplamasından beklenen özellikler bazen tek bir kaplama formülü ile elde edilemeyebilir. Kalıp ömrünün uzun olması için kaplama malzemesi korozyif özellikler taşımamalıdır. Kaplama kalıpla iyi bağ kurabilmeli ve kolayca ayrılabilmelidir. Kalıp yüzeyi sıvı metal ile direk temastan korunabilmelidir. Kalıp kaplaması inert olmalı, reaktif ve gaz üreten malzemeler bulundurmamalıdır (Jain, 1986).

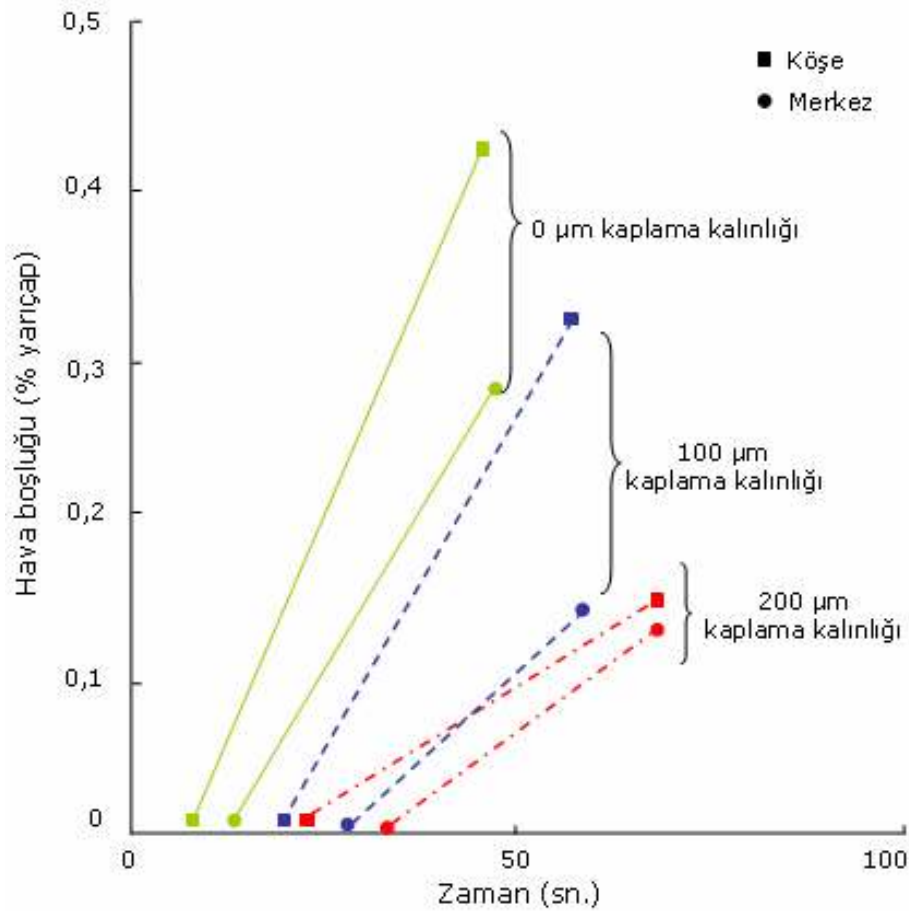
Dökülecek metal türü kaplama seçiminde birinci etkindir. Kaplamanın doğru seçilmesi ve kullanılması çok önemlidir. Kaplama işlemi dökümün toplam maliyetinin sadece % 0,5'ine eşittir. Diğer yandan kaplama işleminin yanlış yapılması ya da yanlış seçimi toplam maliyetin %5–10'una varan zarara yol açar. Kötü veya yanlış kaplamalar dökümdeki toplam zararı %50'nin üzerine çıkartılabilir. Diğer yandan yüksek kaliteli kaplamalar hataları azaltır ve zararı kabul edilebilir seviyede tutar (Stötzl, 2004).

Kaplama malzemesinin en önemli etkilerinden biri de kalıp yüzey pik sıcaklığını düşürmesidir. Doğal olarak bu sayede kalıp ömrü artacaktır. Grafit veya karbon kaplama pahalı ve kısa ömürlüdür. Kömür tozu ucuzdur, fakat onun dökümhane atmosferini bozması kullanımını sınırlamıştır. Kaplamaların ilk katılma hızını düşürmesi ve çil etkisini azaltması diğer önemli görevleridir. Kaplamalarda diğer arzu edilen durum iletim sistemlerini aşındırmamaları (jel sayesinde) ve kalıpta çabuk kurumalarıdır. Kaplama kalıba makul şiddetle yapışmalı ve döküm sonrası tamamen parça ile çıkmalıdır. Kaplama kalınlığı ve yüzey pürüzlülüğü ürüne göre değişir (Yılmaz ve diğerleri, 2005). Örneğin silindir gömleğinin dış yüzeyi pürüzlü olmalıdır ve kaplama bu amacı sağlamalıdır. Silika unu, bentonit ve diatomit en çok tercih edilen kaplama tozlarıdır. Grafit ve yüksek poroziteli zeolit ile takviye edilmiş bentonit tozları yeni kuşak kaplamalardandır. Tozların tane boyutları, bileşim ve karışım titiz şekilde ayarlanmalıdır. Grafit kaplama kuma dökümde tercih edilir. Grafit iletken olduğundan ve çok kaygan yüzey verdiği için dolayısı ile savurma dökümde tercih edilmez. Düşük çaplı savurma boru dökümlerinde sıkça görülen yüzey pinholleri iyi kaplama uygulaması ile önlenir (Janco, 1988).

Refrakter kaplamalar döküm prosesinin bir parçasıdır. Kaplama işlemi bağımsız bir şekilde düşünülemez. Pahalı maddeler son döküm maliyetini tehlikeye atmayacak şekilde kaplama içerisine ilave edilebilirler. Bu işlem iki sebepten dolayı uygulanabilir. İlk olarak, kullanılan kaplama malzemesi oranı oldukça küçüktür. Bundan dolayı kaplama malzemesinin maliyete katkısı düşük olacaktır. İkinci neden ise kaplama kullanımı hata oluşumu ve temizleme maliyetlerini düşürmektedir. Buna bağlı olarak ileride ortaya çıkabilecek diğer maliyetler azaltılmış olunur (AFS, 2000).

Stötzl'in araştırmasına göre; kalıp kaplamalar ticari isimlerle anılmakta ve kaplamanın uygulama şekli, bağlayıcısı, metal döküm türü ve özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Genellikle sulu ve alkollü seyrelticiler tercih edilir ve yoğunluk aralığı $1,1-2,4 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Tozun seyreltilme yüzdesi 12-15 mertebesinde olup kaplama maliyeti 1,4-2,3 avro/lt'dir. Kaplama hızları genellikle $2-4 \text{ m}^2/\text{dk.}$ aralığındadır. Kaplamalarda en önemli ayırıcı unsur; kaplamanın yüksek refrakterliği, iyi ayrılma, yanmama ve kükürt blokajı gibi özelliklerdir. Kükürt blokajı büyük silindirik düktil demir dökümlerinde önem kazanır. Normal kalıp kaplamada bağlayıcıdaki kükürt sıvı demire geçip magnezyum ile reaksiyona girer, dolayısıyla küresel grafit oluşumunu düşürür (Stötzl, 2005).

Günümüzde kullanılan değişik kaplama çeşidi vardır. Bunun sebebi; metal ile kalıp yüzeyi arasında oluşabilecek lehimlenmeyi önlemek; dökümün kalıptan ayrılmasını daha kolay hale getirmek, döküm yüzeyi kalitesini arttırmak ve kalıp içine sıvı metali daha rahat vermektir. (Yılmaz ve diğerleri, 2005). Kalıp kaplamasının varlığı ısı akışında yüksek bir ısısal direnç oluşturabilir. Gözenekli kaplamanın ilave izole edici bir etkisi olacağı aşıkardır. 400 mikrometre kaplamanın 200 mikrometre kaplamaya göre sadece %20 fazla izole edici olduğu görülmüştür. Yüzey kalınlığı daha fazla olan kaplamalar daha izole edicidir (Şekil 3.1) (Campbell, 1999).



Şekil 3.1 Kalıp yüzey ve köşelerinde oluşan farklı hava boşlukları. Girintili köşelerde hava boşluğu fazladır, çıkıntılı köşelerde hava boşluğu yoktur. Artan kaplama kalınlıkları katılaşmayı geciktirir ve hava boşluğu kalınlığını düşürür (Yılmaz ve diğerleri, 2005).

Davies kaplamanın kalınlığının sadece ısı transfer katsayısına etki ettiğini bulmuştur. Kaplanmış bir kalıbın ısısal iletkenliğini hesaplamada kullanılan en kritik parametrelerden biri, kaplama materyalinin termal iletkenliğidir. Gözenekli bir kaplamanın her heterojen

malzemede olduğu gibi ısı iletimi; matris yapısına ve her fazdaki termal iletkenliğe bağıdır. Gözenekli bir malzemenin termal iletkenlik özellikleri analiz edilirken; ısı kapasitesi ve radyasyon emişi de hesaba katılmalıdır (Davies, 1973).

3.1 Kaplama Bileşenleri

Kalıp kaplamalarının bileşiminde kullanılan maddeler kaplamaların çeşitli kategorilerde sınıflandırılması için kolaylık sağlarlar. Genel olarak refrakter kaplamalarda 5 farklı çeşit malzeme bileşeni kullanılır. Bunlar (AFS, 2000);

- Dolgular
- Taşıyıcılar
- Bağlayıcılar
- Çözelti ajanları
- Katkı maddeleridir.

3.1.1 Dolgu Maddeleri

Kaplama yapısının ana bileşenini dolgu malzemeleri oluştururlar. Döküm kaplamalarında kullanılan dolgu maddeleri aşağıda sıralanmıştır;

- | | |
|---------------|------------|
| - Silika | - Propolit |
| - Grafit | - Şamot |
| - Demir oksit | - Kromit |
| - Zirkon | - Müllit |
| - Mika | - Alümina |
| - Maden koku | - Kaolin |
| - Magnez | - Talk |

Bu belirtilen malzemeler tek başlarına kullanılacağı gibi birkaçı beraber karıştırılarak da kullanılabilir. Dolgu malzemesi seçimi, döküm şekli, büyüklüğü ve dökülecek alaşım türüne göre değişkenlik gösterir.

Dolgu malzemelerinin saflığı kaplamanın performansını etkiler. Örneğin kromit maddesi çeşitli türlerde bulunmaktadır ve bazıları refrakterlik özelliğini önemli derecede azaltırlar. Doğal emprüteler veya mineral üretimi sırasında ortaya çıkan safsızlıklar düzeltilemeyecek etkiler oluşturabilirler (AFS, 2000). Ayrıca zirkonyum kaplamaya refrakterlik özelliği kazandıran dolgu maddesidir. Sıvı metalin yüksek sıcaklıklarda dökülmesine izin verir ve yüzey hatalarının minimuma düşmesinde etkilidir. Uygulamalarda yüksek sıcaklığa direnç, düzgün kaplama yüzeyi ve düşük maliyet için yüksek ve düşük saflıkta zirkonyum karıştırılarak kullanılmaktadır (Skorupa, 1992).

Zirkon partikülleri kaplama yüzeyinin düzgünlüğünü artırır. Ayrıca kaplamanın mukavemetini ve ısı yalıtımını genişletir. Mika, zirkonyumdan daha ucuz, düşük termal iletkenliği sayesinde ısı yalıtım gücünü artırır (Skubou ve diğerleri, 1978).

Dolgu malzemesinin kimyası, şekli ve büyüklüğü dizayn aşamasında seçilir. Bu malzemelerin işlenmesi ve çıkarılmasındaki farklılıklar sonuçları etkileyebilir.

Bir madeni işleten iki farklı firmanın piyasaya sürdüğü malzemeler veya madenin farklı yerlerinden çıkarılan cevherler arasında farklılıklar meydana gelebilir ve bunlar üretim aşamasında kaplama performansını etkileyebilirler. Önemsiz gözükse de bu farklılıklar döküm kalitesini etkiler ve maliyeti artırırlar.

Bilinmesi gereken bir diğer hususta dolgu partiküllerinin yüzey kimyasal ve fiziksel özellikleri çözelti ajanları ve bağlayıcıların performansı üzerine şiddetli ve umulmadık etkiler yaratabileceğidir (Maeda ve Masuda, 2003).

3.1.2 Taşıyıcılar

Taşıyıcı madde seçimi genellikle kullanılacak kurutma metodu ile belirlenir. Su en popüler maddedir. Suyun bu yaygın kullanılmasının nedeni çevresel ve maliyet etkenleridir.

Yanıcı solventlerin kullanımı maliyet, güvenlik, sağlık ve emisyon problemi gibi dezavantajlarından dolayı kısıtlıdır. Bu tür maddeler genellikle özel uygulamalar için tercih edilirler (AFS, 2000).

3.1.3 Bağlayıcılar

Kalıp kaplamalarında kullanılan bağlayıcılar iki sınıfta değerlendirilirler; su bazlı ve solvent bazlı. Su bazlı sistemlerde oda sıcaklığındaki bağlar için nişasta, dekstrin ve lignin gibi malzemeler kullanılır (ASM, 1988).

Bentonit yüksek sıcaklık uygulamalarında tercih edilir. Organik olarak modifiye edilmiş bentonit yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılmaktadır. Bentonit refrakterliğe yardımcı olmakla birlikte kalıp yüzeyine adhezyonu arttırmaktadır. Bentonitin aşırı miktarlarda kullanımı kaplama mukavemetini ve ısı direncini düşürür (Brown, 1982).

Koloidal silika öncelikle refrakter bileşimde bağlayıcı görevi üstlenmektedir. Ayrıca kaplamanın kalıp yüzeyine yapışmasını sağlar. %25'i aşan miktarlarda koloidal silika kullanımı sonucunda kaplama kalıba ve/veya döküme şiddetli yapışabilir ve temizlenmeyi yada sıyrılmayı zorlaştırır (Brügger, 1979).

Yeni nesil kaplamalarda yüksek ve düşük sıcaklıklarda bağlanma özelliğini arttırmak amacıyla lateksler kullanılmaktadır (Hodgkinson, 2004).

3.1.4 Çözelti Ajanları

Refrakter partiküllerinin sıvı içerisinde dağılımı birkaç parametreye bağlıdır. Bu etkenlerden birisi sıvı viskozitesidir. Çözelti ajanları sıvı viskozitesini arttırıcı etkiye sahiptirler. Böylece partiküllerin hareket oranını azaltırlar (ASM, 1988).

Bentonit, kaolin, selüloz ve algimates su bazlı sistemlerde sıvı viskozitesini arttırmak amacıyla kullanılırlar. Organik olarak modifiye edilmiş bentonit ise solvent bazlı sistemlerde kullanılırlar (Takeo ve diğerleri, 2004).

Bilinmesi gereken en önemli noktada hangi ajan kullanımı tercih edilirse edilsin bunlar düşük konsantrasyonlarda (< %3) etkili olurlar ve taşıma sırasında veya uzun süreli depolamada çözeltinin bozulmasını, zarar görmesini engellerler (AFS, 2000).

3.1.5 Katkılar

Bazı malzemeler kaplama performansını arttırmak amacıyla eklenebilirler. Telleryum, gri dökümlerde çil etkisine sebep verebilir. Nem engelleyiciler magnezyum döküm üretiminde kullanılan kaplamalarda kullanılırlar (Cho ve Shibata, 2001).

Islatıcı ajanlar en popüler katkı maddeleridir. Çok düşük miktarlarda kullanımı bile kaplama performansında büyük etki gösterebilir. Örneğin su bazlı kaplamalar kalıbı kolay ıslatamazlar. Bu durum kötü kaplama, penetrasyon zorluğu gibi sonuçlar doğurur ve döküm esnasında kaplamada çatlamalar meydana gelir. Islatıcıların doğru miktar ve türde kullanımı bu hataları elimine edebilir.

Biocide'lar su bazlı kaplamalarda bakteri veya maya büyümesini sağlamak ve buna bağlı olarak yararlı ömrü arttırmak amacıyla kullanılırlar.

Boyalar netliği ve belirleyici ve ayırıcı özellik sağlamak gibi amaçlarla ilave edilirler (AFS, 2000).

3.2 Kaplama Üretimi ve Hazırlanması

Geçmişte dökümcüler kendi refrakter kaplamalarını yapmaktaydılar. Günümüzde bazı dökümhaneler bu uygulamayı hala sürdürmektedirler. Fakat kaplama ihtiyacı geniş anlamda dışarıdan temin edilmektedir (EPA, 1998).

Yıllar boyunca döküm prosesi gelişime tabi kalmıştır. Kaplama malzemeleri de bu gelişime ayak uydurmuşlardır. Gelişimler refrakterler, çözelti sistemleri, bağlayıcılar, taşıyıcılar ve katkı maddeleri gibi alanlarda performansın artırılması ve çevresel duyarlılık şeklinde biçimlenmiştir. Refrakter kaplamalar uzun süredir birbiriyle karıştırılmış hammaddeler olmaktan çıkmış, sistem içerisinde sistemler olarak kendilerine yer bulmuşlardır.

Hemen hemen yüzlerce kaplama hammaddesi mevcuttur. Kaplama üreticileri döküm üreticilerinin beklentilerine cevap verebilmek amacıyla bu malzemelerin testlerini ve denemelerini yapma sorumluluğuna sahiptirler. Hammaddelerin kaplama üzerine olan etkileri ve son özellikleri belirlemek amacıyla bu testler gerçekleştirilmelidir. Bu hammaddelerin kategorileri ve test edilmesi gereken özellikleri Tablo 3.1'de belirtilmiştir.

Tablo 3.1 Hammaddeler ve üretimde belirlenmesi gereken özellikler (AFS, 2000).

Ham madde	Test Edilmesi Gereken Özellik
Refrakterler	Partikül boyutu
	Saflık
	Yoğunluk
	Karbon içeriği
	pH
Bağlayıcılar	Yanma kaybı
	Bağ mukavemeti
	Viskozite
	Ergime noktası
	Çözünürlük
	Karbon içeriği
	pH
Çözelti ajanları	% Katı içeriği
	Yanma kaybı
	Viskozite
	Çözelti kabiliyeti
	Partikül boyutu
	pH
Taşıyıcılar	% Nem
	Yanma kaybı
	Saflık
	Ağırlık/lt.
Katkılar	Diğer maddelerle uyusabilirlik
	Patlama noktası
	Viskozite
	pH
	Ağırlık/lt.

Elde edilmek istenilen kaplama türüne göre kullanılan değişik üretim yöntemleri mevcuttur. Macun şeklindeki kaplamaların üretimi kısa kollu karıştırıcılarda gerçekleştirilir. Karmaşık kaplamalar genellikle yüksek hızlı karıştırıcılarda hammaddelerin yüksek kuvvetle karıştırılmasıyla üretilirler. Toz kaplamalar çeşitli yollarla elde edilebilirler. Toz kaplama

üretiminde genel uygulama kuru malzemenin üniform dağılım sağlayacak şekilde öğütülmesiyle elde edilmesidir (AFS, 2000).

Kaplama malzemeleri üretilirken Tablo 3.2’de sıralanan parametreler göz önünde bulundurulmalıdır.

Tablo 3.2 Kaplama üretiminde göz önünde bulundurulması gereken parametreler (AFS, 2000).

-
- Kullanılan malzemelerin ağırlığı
 - Kullanılan malzemelerin sıcaklığı
 - İlave şekli
 - İlave zamanı
 - Karıştırma zamanı
 - Karıştırma hızı
 - Viskozite
-

Kaplama üretimi tamamlandıktan sonra üretimden önce olduğu gibi üretilen ürünün çeşitli testlerden geçmesi gerekmektedir. Tablo 3.3’te bu uygulamalar verilmiştir.

Tablo 3.3 Üretiminden sonra yapılması gereken testler (AFS, 2000).

-
- Viskozite
 - Baume yoğunluğu
 - % Katı oranı
 - Görünüm
 - pH
 - Ağırlık/lit.
-

Dökümhaneler için kaplama üretiminin veya dışarıdan tedarik edilmesinin çeşitli avantajları vardır. Bunlar Tablo 3.4’te karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 3.4 Kaplama üretimi veya dışarıdan tedarik edilmesinin avantajları (AFS, 2000).

Alınan Ürün	Yapılan Ürün
- Kanıtlanmış ürün kalitesi. - Hammaddelerin arıtılmış olması. - Karıştırma ve hazırlamada zaman ve maddi kazanım. - Araştırma yatırımına gerek olmaması. - Satıcıdan teknik bilgi ve deneyim aktarımı.	- Spesifik döküm için farklı bileşim belirleyebilme. - Çeşitli hammadde ve dökümler için deney imkanı. - İhtiyaç olunan miktarın tedarikçiler tarafından sağlanamaması.

Kaplama hammaddeleri genel olarak toz formunda satın alınırlar ve bunlar Şekil 3.2’de gösterilen karıştırıcı tank sistemlerinde kullanıma hazırlanırlar. Düzgün dizayn edilmiş karıştırma üniteleri refrakter kaplamanın hazırlanması için gereklidir.



Şekil 3.2 Kaplama tankları.

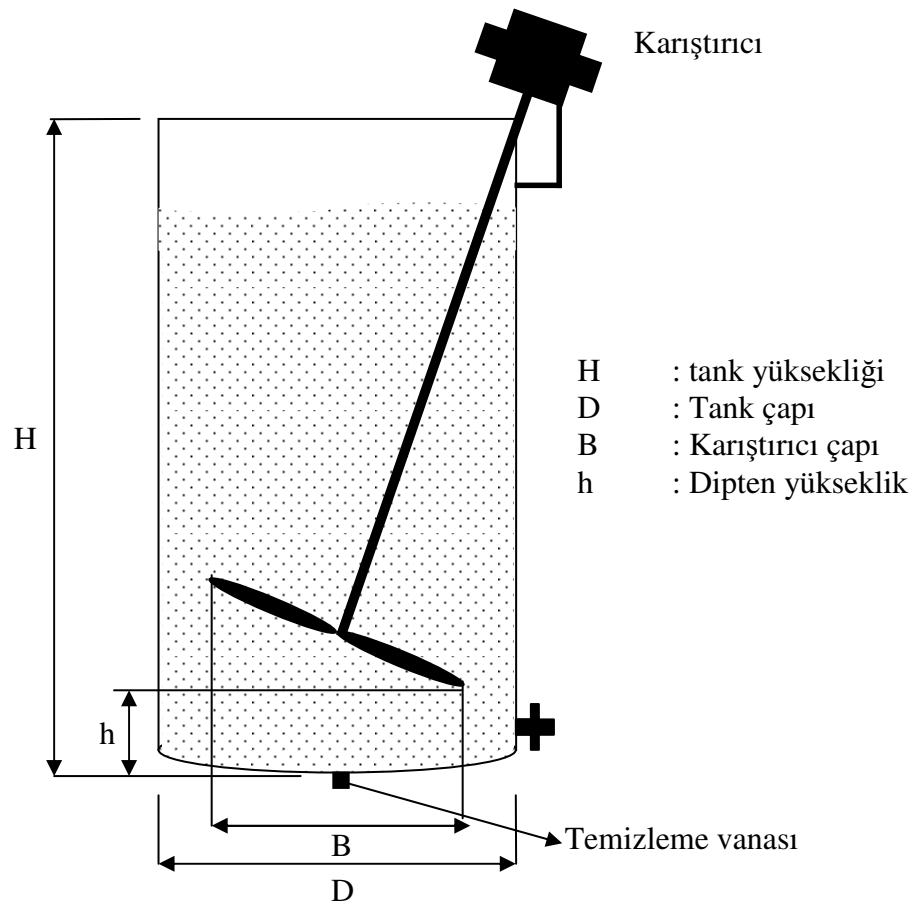
Tüm kaplama malzemeleri kullanımdan önce karıştırılmaya ihtiyaç duyarlar. Hazırlama tankı uygulama tankından bağımsız olmalıdır. Sistemin detaylı olması gerekmez. Şekil 3.3’de 55 galonluk bir karıştırma sisteminin şematik görünüşü verilmiştir.

Karıştırma tank sisteminde seçilmesi gereken malzeme paslanmaz çelik olmalıdır. Tankın dibi konkav şekilde dizayn edilmelidir. Kaplama malzemesinin boşaltılacağı valf yada boru tankın alt yüzeyinden yuksekte olmalıdır. Sistemin efektifliği açısından tank dizaynında çeşitli oranlar göz önünde bulundurulmalıdır (AFS, 2000);

Tank yüksekliği / tank çapı = 1,5 – 2,0

Tank çapı / karıştırıcı çapı = 2,0 – 3,0

Karıştırıcının alt yüzeyden yüksekliği / tank çapı = 1,0 – 1,5



Şekil 3.3 Karıştırma tankının şematik görünüşü (AFS, 2000).

3.3 Kaplama Seçimi

Kalıp kaplaması ile çözülmeye çalışılan problem kaplama seçiminde önemli bir parametredir. Normal olarak genellikle kaplama kullanımına metal penetrasyonu, katlanma oluşumu, porozite ve çözülmeye çalışan diğer problemler yol açar. Fakat sadece buna göre bir seçim yapmak yanlış olacaktır. Kaplama malzemesinin bütünüyle başarı gösterebilmesi için oldukça geniş bir gereksinim listesi vardır.

Refrakter özellikler gibi ergime noktası, boyut, şekil, termal iletkenlik, termal genleşme ve reaktivite hataların giderilmesi için değerlendirilmelidir (ASM, 1988).

Dökülecek metal ve alaşımın türü kaplama seçiminde etkilidir. Metal veya alaşım döküm sıcaklığını ve dolayısıyla gerekli refrakter kaplamanın servis sıcaklığını belirler. Alaşımın soğuma karakteristiği de refrakter kaplamanın özelliğini ne kadar muhafaza etmesi gerektiğini belirleyen bir unsurdur. Kaplama seçiminde alaşımın kimyasal davranışı da bilinmelidir. Örneğin silika bazlı kaplamalar mangan çeliği için yapılacak döküm uygulamalarında kullanılamaz (AFS, 2000).

Kaplama seçiminde etkili diğer önemli bir faktörde dökülecek parça boyutlarıdır. Büyük dökümler yüksek ve orta sıcaklığa uzun süre dayanabilecek kaplamalara ihtiyaç duyarlar. İnce bölgelerde ise düşük termal iletkenliğe sahip kaplamalara ihtiyaç duymaktadır. İnce ve kalın kesitlerden oluşan dökümler refrakter seçiminde problem oluşturur (Hodgkinson, 2004).

3.4 Uygulama Teknikleri

Kaplama performansı bakımından uygulama tekniği oldukça önemlidir. Kaplamalar, temiz kalıp yüzeylerine uygulanmalıdır.

Kalıp kaplamaları kalıp duvarlarına, yaş (wet) ve kuru (cold) olmak üzere iki şekilde uygulanmaktadır (Yılmaz, 2003). Kaplama malzemesinin kuru olarak uygulanması yaygın olmayan kaplama yöntemidir. Şekil 3.4'te kuru teknikte kullanılan kaplama tozu örneği gösterilmiştir. Bu teknikte kaplama malzemesi döküm esnasında sıvı metalden önce uygulanmaktadır.



Şekil 3.4 Kuru kaplama tekniğiyle uygulanan toz kaplama malzemesi (silis unu).

Kaplamanın çözelti olarak uygulanmasında beş temel yöntem esastır. Bunlar;

- a. Fırça ile uygulama
- b. Sıvama tekniği
- c. Sprey
- d. Daldırma
- e. Akış halinde kaplamadır.

Bu teknikler arasında yaygın olarak kullanılan teknik sprej tekniğidir. Kaplama malzemesi basınç yardımıyla kalıp yüzeyine püskürtülmekte ve düzgün pürüzsüz kaplama yüzeyi elde edilmektedir.

Fırça ile uygulama tekniği oldukça düzgün yüzeyler verebilir. Fakat bu yöntemde fırça izi kalması muhtemeldir. Sıvama tekniği uzun zaman alması ve deneyimli eleman gerektirmesi nedeniyle tercih edilen bir yöntem değildir.

Sprej tekniği en yaygın kullanılan yöntem olmakla birlikte hızlı ve üniform kaplama kalınlığı elde edilmesi açısından önemlidir.

Daldırma tekniği kompleks şekilli parçaların kaplanmasında kullanılan yöntemdir. Bu teknikte kaplanacak parçanın daldırma banyosunda tutulma zamanı önem taşır ve minimum

seviyede tutulmalıdır. Daldırma banyosunda parçanın fazla tutulması sonucu aşırı kaplama kalınlıkları elde edilir ve bu döküm yapısını etkileyecektir.

Akış altında kaplama tekniği ise kaplanacak parça sayısını fazla olması durumunda, fazla sayıda parçanın kısa sürede kaplanmasını sağlamaktadır. Bu teknik spreyci ve daldırma kadar olmasa da uygun kaplama kalınlıkları verebilmektedir (AFS, 2000).

3.5 Genel Uygulama Alanları

Refrakter kalıp kaplamaları kuma dökümden kalıcı kalıpta gerçekleştirilen dökümlere kadar çeşitli döküm tekniklerinde kullanılmaktadır.

Sürekli döküm ve santrifüj döküm tekniğinde kalıp kaplamaları önemli rol üstlenirler. Sürekli döküm tekniğinde yalıtım veya kalıp yüzeyinin aşırı ısınmaması, dökümün kalıptan rahat sıyrılması, kalıp malzemesinin aşınmaması gibi başlıca etkenlerden dolayı kaplamalar kullanılmaktadır. Talk, kalsine edilmiş kil ve grafit en çok tercih edilen malzemelerdir (Brügger, 1979).

Santrifüj döküm tekniğinde kalıp kaplamaları, kalıp duvarlarına uygulanması gereken malzemeler olup genellikle alümina, zirkon ve silika esaslı çözeltilerden oluşurlar (Janco, 1988). Santrifüj dökümlerde silika esaslı kaplama uygulamaları başta pinhol (iğne ucu porozitesi) adı verilen gaz boşluğu oluşumunu önler. İlave olarak, metalin kalıba yapışmasını engelleme, dökümün sıyrılmasını kolaylaştırma, döküm yapısını iyileştirme ve kalıp ömrünü artırma gibi faydalar da sergiler. Ergimiş metalin sıcaklığı ve kullanılan kalıp kaplamasının kalınlığı katılaşma üzerine büyük etkilere sahiptir. Bu iki parametre de katılaşmayı önemli ölçüde etkiler ve döküm yapısını değiştirir. Koruyucu kaplamanın gaz geçişini sağlayacak poroz yapıya sahip olması istenir (Yılmaz ve diğerleri, 2005).

Santrifüj döküm gömlek ve boru üretiminde kalıp kaplamaları iki farklı teknikte kalıp yüzeyinde uygulanmaktadır. Gömlek üretiminde kaplama çözeltisi kalıba uygulanırken boru üretiminde toz kaplama malzemesi kullanılmaktadır.

Santrifüj döküm gömlek üretiminde yapılan bir çalışmada denenilen iki farklı kaplama malzemesi bileşimi Tablo 3.5'te, döküm özellikleri Tablo 3.6'da ve döküm parametreleri Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.5 Kaplama malzeme bileşimleri (Yılmaz ve diğerleri, 2005).

Kaplama 1	Kaplama 2
0,8 kg. bentonit 8 lt. su	0,8 kg. bentonit 8 lt. su
+	+
12 kg. diatomit 33 lt. su	12 kg. diatomit 25 lt. su, 8 lt. koloidal silika
*Bentonit,% 80 SiO ₂ (kristalli), D = 12-20 µm.; Diatomit,%91 SiO ₂ , %3 Al ₂ O ₃ , D=1-50 µm.; Koloidal silika amorf, D = 12 nm.	

Tablo 3.6 Döküm özellikleri (Yılmaz ve diğerleri, 2005).

Özellik	Değer
Kalıp iç çapı	91,5
Döküm iç çapı	55
Et kalınlığı	18,25
Döküm ağırlığı	61
Döküm boyu	1990

*Ölçü birimi mm., ağırlık birimi kg.

Tablo 3.7 Döküm parametreleri (Yılmaz ve diğerleri, 2005).

Özellik	Değer
Sıvı metal sıcaklığı	1450 °C
Kalıp sıcaklığı	240 °C
Kaplama süresi	80 sn.
Kaplamada kalıp dönme hızı	400 dev./dk.
Kaplama kalınlığı	0,4-0,7 mm.
Dönme hızı	1200 dev./dk.
Döküm hızı	2,5 kg./sn.
Sıvı+katı metalin kalıpta kaldığı süre	220 sn.

Yapılan deneyler sonucunda kaplama malzemesinin ince granül taneli olması durumunda yüzey kalitesinin iyi fakat kalıptan sıyrmanın zor olduğu tespit edilmiştir (Kaplama 2). Brown'a göre de kaplama içerisindeki koloidal silika oranı kaplamanın döküme ve/veya kalıba yapışmasını sağlamaktadır. Kalın taneli kaplamada ise yüzey kalitesi nispeten kötü fakat dökümün kalıptan sıyrılması kolay gerçekleşmiştir (Kaplama 1). İnce granül taneli kaplama malzemesi soğumayı geciktirmiştir. Kalın granül tanelerine hapsolan su döküm

yüzey kalitesine etkilemekte ve gaz boşluğu oluşum tehlikesine yol açmaktadır (Yılmaz ve diğerleri, 2005).

Yetersiz kaplama uygulamaları sonucunda dökümün kalıba yapışması, kat oluşumu ve gaz boşluğu oluşumu gerçekleşebilir. Şekil 3.5, 3.6 ve 3.7’de hatasız ve hatalı gömlekler gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Yetersiz kaplama uygulaması.



Şekil 3.6 Hatalı gömlek (gaz boşluğu + kat oluşumu).



Şekil 3.7 Hatasız üretilmiş gömlek.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde yapılan deneysel çalışmalarla birlikte izlenen yöntem, kullanılan malzemeler ve araçlar anlatılacaktır.

Deneysel çalışmada bileşimler değiştirilerek 9 farklı kaplama bileşimi, 0, 500 ve 1000 µm. gibi farklı kaplama kalınlıklarında denenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmada kaplama etkisini incelemede üç değişken kullanılmıştır. Bunlar;

1. % Bağlayıcı miktarı (Bentonit)
2. % Dolgu miktarı (Diatomit)
3. Kaplama kalınlığı

Kum kalıba sfero döküm denemeleri yapılmış ve bu dökümler sonucunda döküm mikroyapısı, küre sayısı, küreselleşme oranı, % ferrit-perlit oranı ve yüzey pürüzlülüğü test edilerek farklı kaplama bileşimlerinin, farklı kalınlıklarda uygulanması sonucu katılaşma ve yüzey gelişimi üzerine olan etkileri araştırılmıştır.

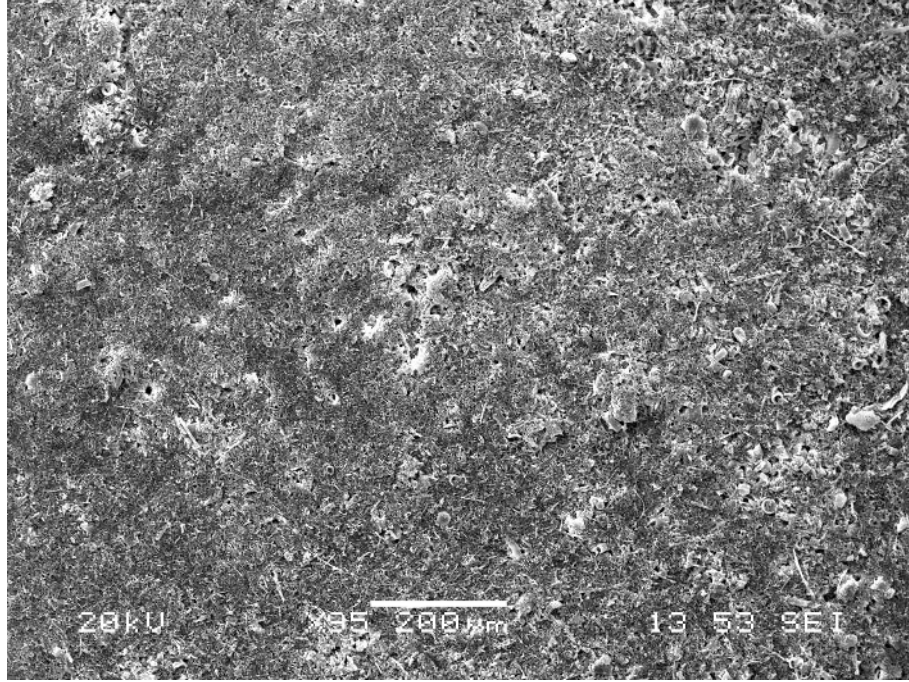
4.1 Kaplama Malzemesi

Kaplama malzemesi olarak bentonit ve diatomit sulu çözeltisi kullanılmıştır. Bentonit malzemesi taşıyıcı, bağlayıcı ajan olarak seçilmiştir. Dolgu malzemesi olarak ise diatomit malzemesi kullanılmıştır. % bileşimler değiştirilerek oluşturulan 9 farklı bileşim aşağıda Tablo 4.12’de verilmiştir.

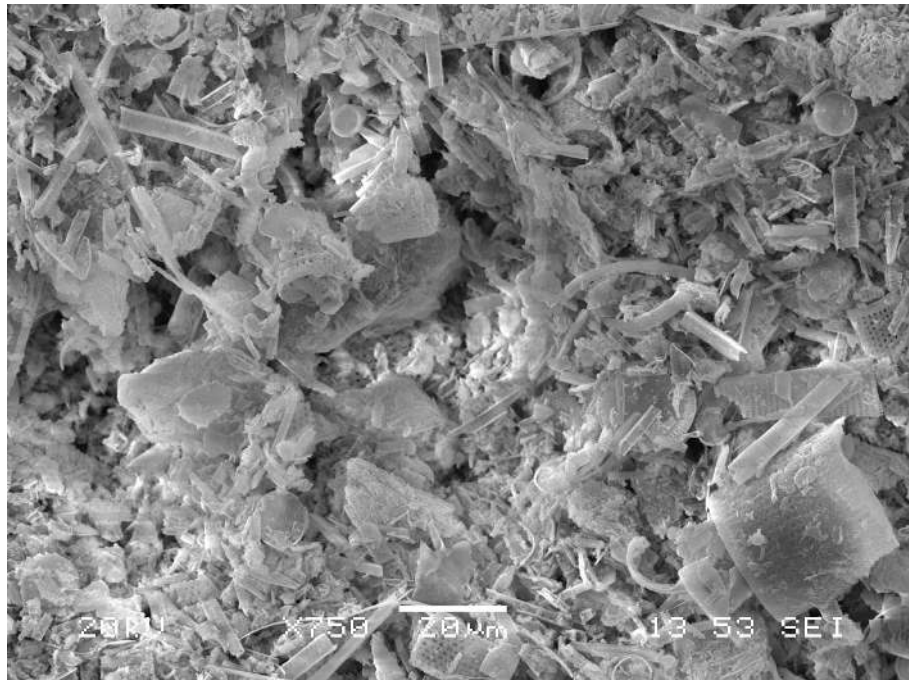
Kaplamada bentonit malzemesi taşıyıcı, bağlayıcı olarak tercih edilmiştir. Bentonitin uygun miktarda kullanılması kaplamanın kalıba adhezyonunu arttırmaktadır. Bentonitin aşırı miktarlarda kullanımı kaplamanın mukavemetini ve ısı direncini azaltmak gibi olumsuz etkiler gösterebilir. Genel olarak bentonit kullanımı % ağırlık olarak %0,5-6 arasında olmakla beraber bentonit miktarı % 1-4 arasında kullanılmaktadır. Bu çalışmada bentonit malzemesi %1, %2 ve %3 oranlarında kullanılmıştır.

Kaplamada diatomit malzemesi ısı yalıtıcı olarak tercih edilmiştir. Genel olarak diatomit kullanımı %15-25 arasında değişmektedir. Bu çalışmada da diatomit miktarı %15, %20 ve %25 oranlarında kullanılmıştır.

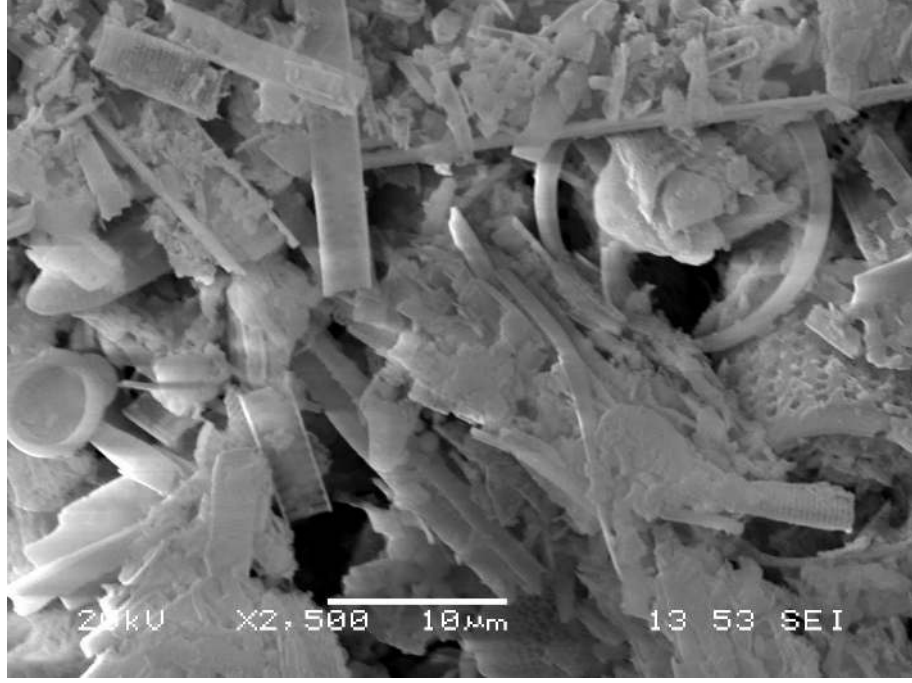
Kullanılan kaplama malzemesinin taramalı elektron mikroskopunda (SEM) alınan görüntüleri Şekil 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'te verilmiştir.



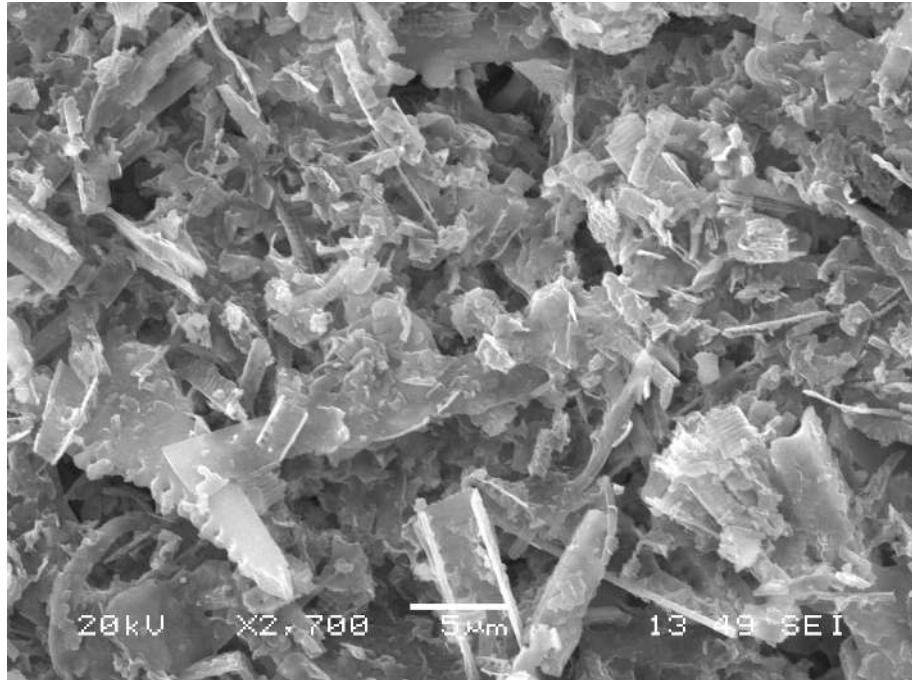
Şekil 4.1 Bentonit-diatomit kaplama yapısı



Şekil 4.2 Bentonit-diatomit kaplama yapısı



Şekil 4.3 Bentonit-diatomit kaplama yapısı



Şekil 4.4 Bentonit-diatomit kaplama yapısı

Tablo 4.1 Kaplama bileşimleri

Bentonit Miktarı (%)	Diatomit Miktarı (%)
1	15
	20
	25
2	15
	20
	25
3	15
	20
	25

* Balans su

Bentonit Miktarı (gr)	Diatomit Miktarı (gr)	Su (ml)
2	30	168
	40	158
	50	148
4	30	166
	40	156
	50	146
6	30	164
	40	154
	50	144

4.1.1 Bentonit

Bentonit, sanayi, tarım, madencilik ve mühendislik jeolojisiinde kullanılan çok yönlü bir kildir. Volkanik kil veya tuf gibi camsı volkanik gercin kimyasal ayrışmasıyla ve başlıca montmorillont (smektit) grubu minerallerden oluşan bentonit kısmen koloidal silisten ibaret, yumuşak, şekillenebilir, açık renkli bir kil taşıdır. Montmorillont mineralinden ibaret olan bentonit, çoksa su emip şişen, ticari olarak katalist, boya, plastik dolgu gibi alanlarda

kullanılan toprağımsı bir madendir. Ca, Na ve Na-Ca montmorillonitlerden oluşmasına göre bentonitin jeolojik özellikleri değişmektedir. Örneğin Na ve Na-Ca bentonitler sondaj, demir tozu peletlemesi gibi işlemlerde kullanılırken Ca bentonitler ağartma vb. işlerde kullanılmaktadır (DPT, 2001).

Bentonit başlangıçta Amerika Wyoming'de Ford-Benton yakınlarında bulunmuştur. Kolloidal özellik gösteren, plastisitesi yüksek olan bir kil çeşididir. Amerika'da bentonit adı altında tanınmıştır. Daha sonra Fransa'nın Montmorillon bölgesinde de aynı kil bulunduğundan bu kil mineraline montmorillonit adı verilmiştir. Bentonitle birlikte kuvars, mika, feldspat, pirit ve diğer bazı mineraller bulunur. Tablo 4.2, 4.3, 4.4'te sırasıyla bentonitin genel kimyasal kompozisyonu, spesifik özellikleri ve mineral yapısı verilmiştir. Kil mineralinin bir çeşidi olan bentonitin genel kimyasal formülü;

$(\text{Na,Ca}) (\text{Al,Mg})_6 (\text{Si}_4\text{O}_{10})_3 (\text{OH})_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 'dur.

Tablo 4.2 Bentonit kimyasal kompozisyonu (www.bensan.com.tr)

Madde	% Oran
SiO ₂	61-63
Al ₂ O ₃	17-18
Fe ₂ O ₃	3-4
CaO	2,5-3,0
Na ₂ O	1,8-2,6
K ₂ O	0,5-1
MgO	4-5
Yanma kaybı	6-6,5

Tablo 4.3 Bentonitin bazı spesifik özellikleri (www.bensan.com.tr)

Özellik	Değer
Kuru Mukavemet	3100 - 3200 g/cm ²
Şişme İndeksi	22 - 25 (2gr/100ml)
Jelleşme Katsayısı	25-30
Sinter Sıcaklığı	1050-1060 °C
Likit Limit Değeri	430 - 480 g
Gaz Geçirgenliği	200 cm ³ /s
Metilen Mavisi Adsorbsiyonu	80 - 87 ml/g

Tablo 4.4 Bentonitin mineral yapısı (www.bensan.com.tr).

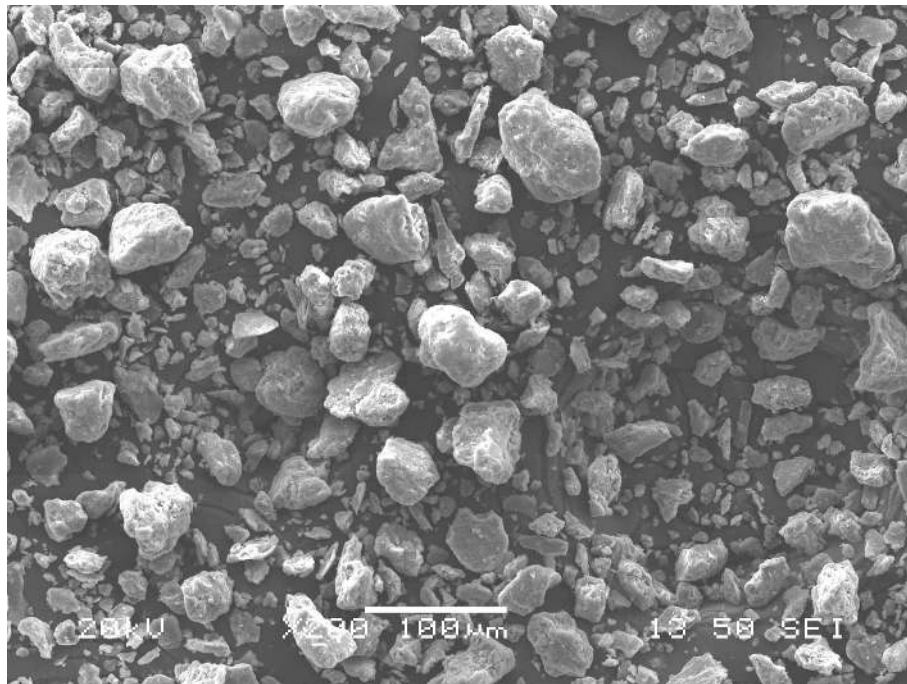
Mineral	%
Montmorillonit	92 - 95
Kalsit	1 - 2
Feldspat	1 - 3
Quartz	<1
Kristabolit	-

Kimyasal özelliklerine göre başlıca iki gruba ayrılır;

- Sodyum Bentoniti: Genelde ağırlıklı olarak sondaj bentoniti ve döküm bentoniti şeklinde işlenir ve kullanılır.
- Kalsiyum Bentoniti: Özellikle ağartma toprağı olarak işlenir ve kullanılır

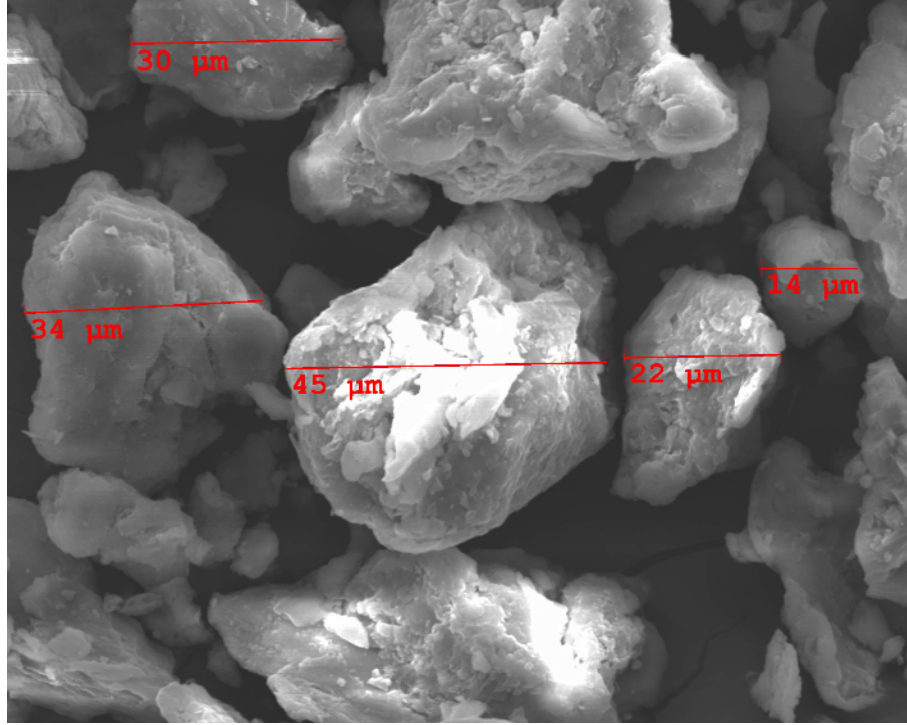
Kalsiyum bentoniti su ile temasta kendi hacminin 2-3 katı kadar şişer ancak bu oran sodyum bentonitinde 8-10 kata kadar ulaşabilmektedir. Rengi beyaz, gri, sarı, pembe ve yeşil olabilir. İyonlaşma kapasitesi yüksektir. Yoğunluğu 2,6 gr/cm³'tür.

Bentonit, döküm kumu ve paletleme, sondajlarda, seramik, gıda (ağartma işleminde (yağ sektöründe), berraklaştırma işleminde (şarap, meyve suyu, bira)), ilaç, boya, kağıt, lastik, gübre sanayi, yangın söndürücülerde ve katalizör olarak birçok dalda kullanılmaktadır (DPT, 2001).

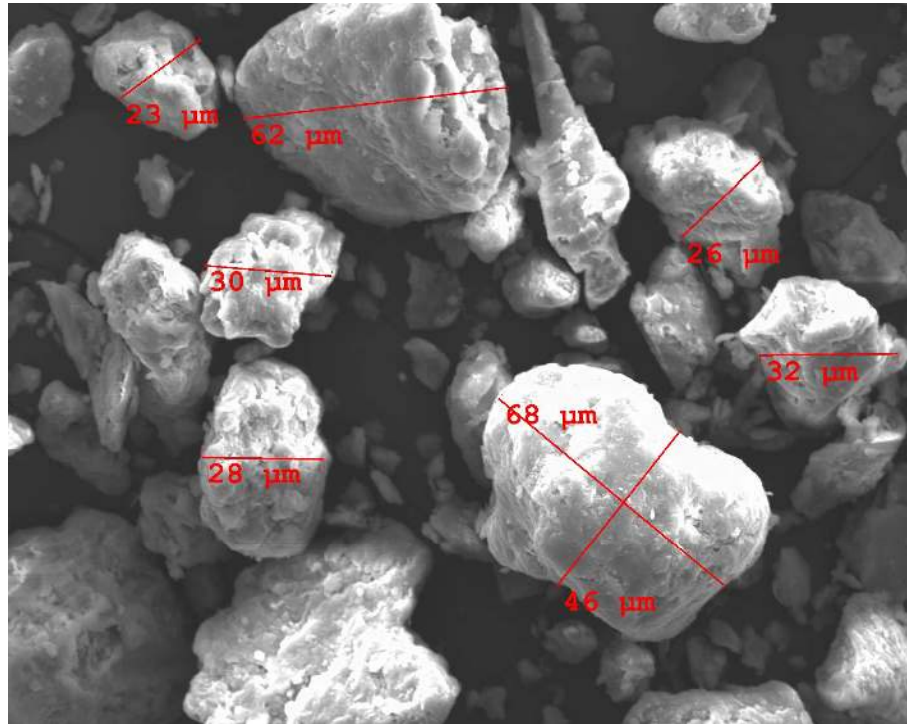


Şekil 4.5 Bentonit tozu SEM görüntüsü.

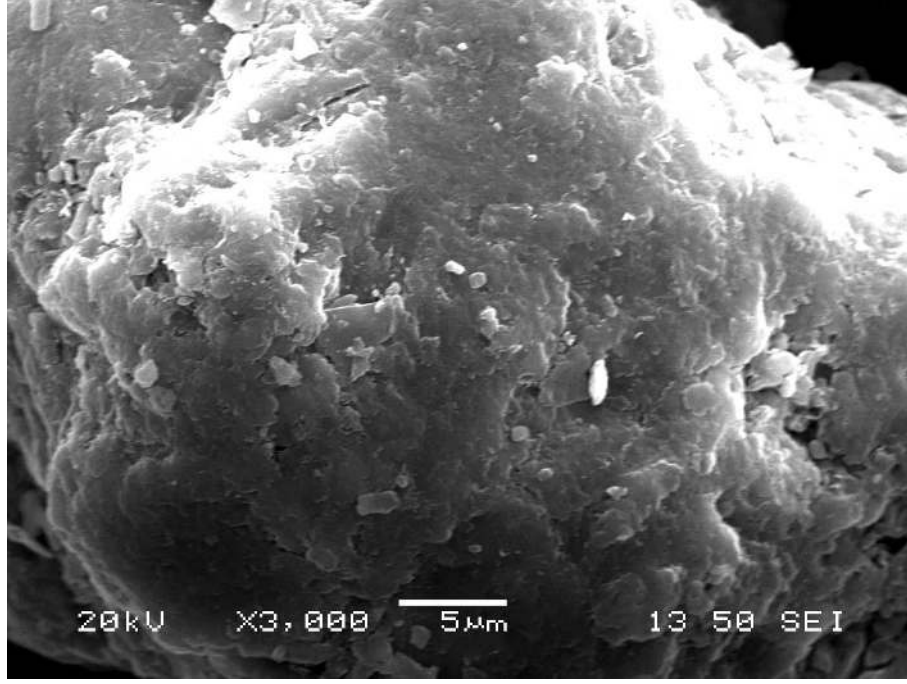
Deneysel çalışmada kullanılan bentonitin taramalı elektron mikroskopunda (SEM) alınan görüntüleri Şekil 4.5, 4.6, 4.7, 4.8’de verilmiştir. Kullanılan bentonitin ortalama tane boyutu 35 μm . olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.6 Bentonit tozu SEM görüntüsü.

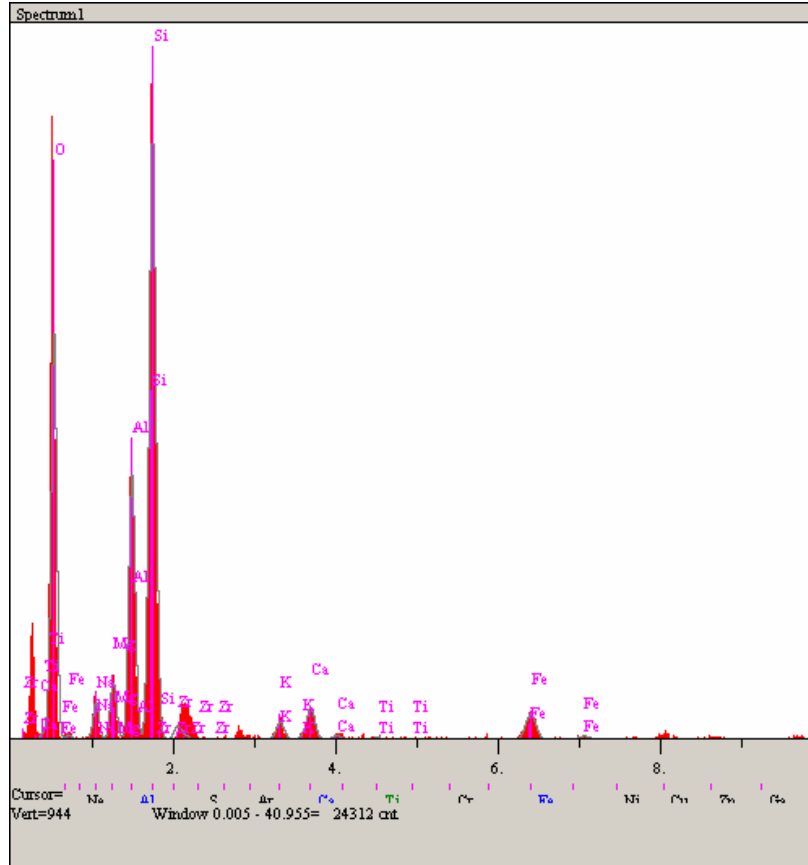


Şekil 4.7 Bentonit tozu SEM görüntüsü.



Şekil 4.8 Bentonit tozu SEM görüntüsü.

Kaplama malzemesinde bağlayıcı olarak kullanılan bentonitin kimyasal analiz değerleri Şekil 4.9 ve Tablo 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Bentonit tozu EDS analiz değerleri

Tablo 4.5 Kaplamada kullanılan bentonitin kimyasal analiz değerleri

Element	% Oran
O	57.228
Na	2.144
Mg	2.352
Al	9.420
Si	21.905
K	0.810
Ca	1.583
Ti	0.134
Fe	3.161
Zr	1.263



Şekil 4.10 Kaplama yapımında kullanılan bentonit malzemesi

4.1.2 Diatomit

Diatomit, algler sınıfından su canlıları olan diatomların silisli kabuklarının birikimiyle oluşmuş fosil karakterli bir sedimanter kayadır. Diatom içinde yaşadığı çevre suyundan temin ettiği silisten yapılmış kabuk veya kavkı içinde yerleşmiş çok küçük bir protoplazmadır. Geniş ve sığ havzalar, çok sayıda suda erimiş silis ve temiz sular, gelişmesini sağlayan ve hızlandıran faktörlerdir. Sayıları 16.000'e ulaşan farklı diatom çeşitleri tatlı sularda, denizlerde ve hafif tuzlu sularda gelişmektedirler. Ölen diatomların dibe çöken kabukları

birikerek diatomit yataklarını oluşturmaktadır. Çok aktif diatom kolonileri yılda birkaç milimetre kalınlık yaratacak bir çökelme hızına ulaşabilmektedir. Diatomlar ilk defa 65-135 milyon yıl önce Kretase çağında çok büyük miktarlarda ulaşmışlar ve bugün ticari değeri olan yatakların çoğunu ise Miyosen çağında (7-27 milyon yıl önce) meydana getirmişlerdir.

Tablo 4.6 Diatomitin bazı spesifik özellikleri (www.reade.com).

Özellik	Değer
Yüzey alanı	10-20 m ² /g
Yağ absorpsiyonu	120 g/100g yağ
Su absorpsiyonu	%86-240
Partikül boyutu	(1-8) (2-40) (0,7-125) µm
pH	7,0
Kırılma indeksi	1,43
Yaş ağırlık	256-336 kg/m ³
Kuru ağırlık	128-320 kg/m ³
Porozite	65-85

Tablo 4.7 Diatomitin genel kimyasal bileşimi (www.supersorb.com.au)

Bileşim	%
SiO ₂	86-92
Al ₂ O ₃	3,8-4,0
Fe ₂ O ₃	1,2-1,5
P ₂ O ₅	0,2-0,3
TiO ₂	0,2
CaO	0,5-0,8
MgO	0,6
Na ₂ O+K ₂ O	1,0-3,3
Yanma kaybı	0,2-3,6

Diatom kavkısı amorf silis (SiO₂ x nH₂O) yapısındadır. Rezervler, oluşma ortamını yapısı ve şartlarına bağlı olarak, genellikle kil, volkanik kül, kum ve organik kalıntılar ihtiva ederler. Ticari değere sahip kayaçların % 86-94'ünü silis, geri kalan kısmını ise alüminyum, demir ve içerikteki kilden gelen alkaliler tanımlar.

Diatomun opal sertliği 4,5-6,0 arasında olmakla birlikte kayacın sertliği 1,5'ten fazla değildir. Genellikle gevşek yapılı ve hafif olup rengi beyazdan açık bej, gri ve koyu kahverengiye kadar değişebilir. Absorpsiyon kabiliyeti yüksek olup ağırlığının üç katı su emebilir. En önemli özelliklerinden birisi de % 85-90'lık bir porozite sağlayan yüksek gözenekli yapısıdır (DPT, 2001).

Isıl iletkenliği 100-300 °C'de 0,08 Kkal/m².°C.s ve yukarısında ise 0,11 Kkal/m².°C.s seviyesindedir. Diatomit birçok kimyasal maddeye karşı inert olup yalnız yüksek sıcaklıkta kuvvetli bazlardan ve asit olarak ta sadece HF'ten (hidroflorik asit) etkilenir (Antonides, 1997).

Diatomite ait kimyasal kompozisyon ve bazı spesifik özellikler Tablo 4.6 ve 4.7'de verilmiştir.



şekil 4.11 Kaplama yapımında kullanılan diatomit malzemesi

Diatomitin başlıca kullanım alanları;

- Filtre yardımcı malzemesi
- Dolgu malzemesi
- İzolasyon malzemesi
- Aborbent
- Aşındırıcı ve yüzey temizleyici
- Katalizör taşıyıcı
- Hafif yapı malzemesi

Diatomitin % 85-90 gözeneklilik derecesine sahip bir doku meydana getirebilecek özel yapısı, kimyasal inertliği ve steril özelliği nedeniyle en çok tüketildiği ve ikame ürünlere göre hemen hemen rakipsiz olduğu kullanım alanı, süspansiyon halindeki katı tanecikleri sıvılardan ayırmak amacıyla uygulanan filtrasyon işlemleridir.

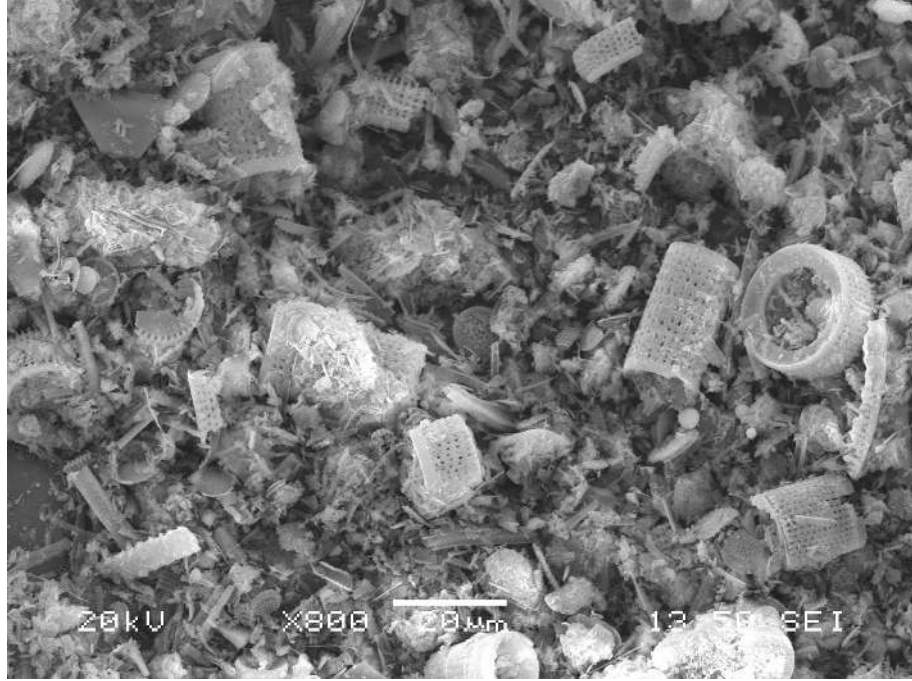
Diatomit ürünlerinin ikinci büyük kullanım alanı fonksiyonel dolgu işlemleridir. Burada kullanılan dolgu malzemesi son ürünü özelliklerini geliştirerek performansını arttırmaktadır. Bu amaç için diatomitin hafiflik, dayanıklılık, kimyasal inertlik, ısı-ses-elektrik izolasyon kabiliyeti, yüksek gözeneklilik ve emicilik özelliklerinden yararlanılmaktadır. Ayrıca diatomitin fonksiyonel dolgu işlemi için kullanıldığı en önemli uygulamalar boya, plastik, lastik, kağıt, ilaç, kozmetik ve kimya sanayileridir (Antonides, 1997).

Bazı diatomit çeşitleri % 94'e ulaşan silis içeriğine sahiptirler. Bu sebeple kimyasal reaksiyonların büyük çoğunluğuna karşı ilgisizdirler. Bu sebeple diatomit ürünleri hem katalizör taşıyıcısı hem de izolasyon elemanı olarak kullanılırlar. Katalizör taşıyıcı uygulamasının en önemli örnekleri hidrojenasyon prosesindeki nikel katalizörler ve sülfürik asit üretimindeki vanadyum katalizörleridir. Ayrıca çimentoda su muhtevası fazlalığını giderme ve homojeniteyi kontrol etmek amacıyla kullanılabilir. Betona %3 oranında diatomit ilavesinin betonun basınç direncini %20, çekme direncini ise %10 oranında arttırdığı gözlenmiştir (DPT, 2001).

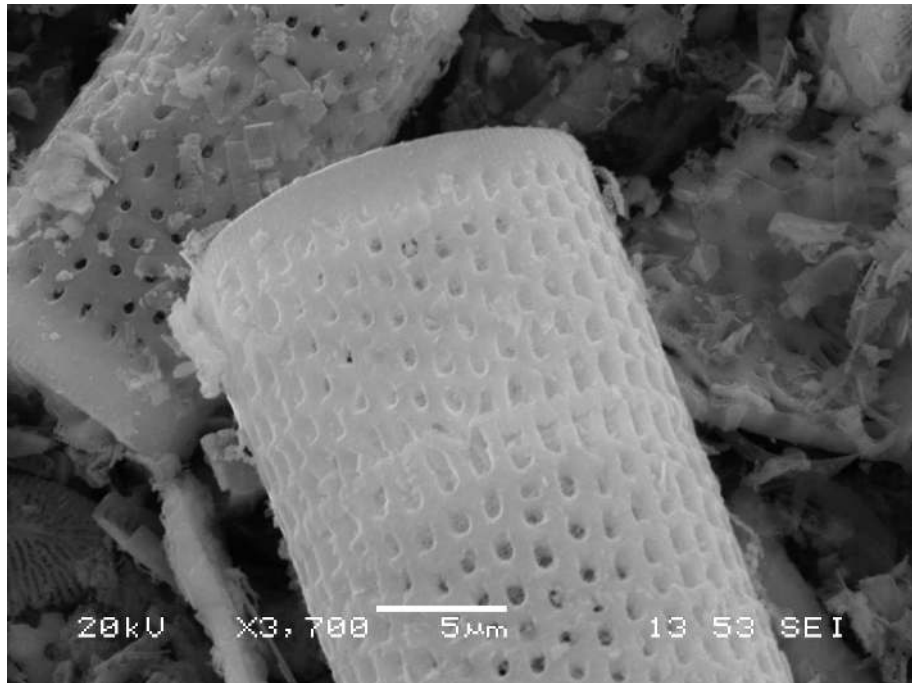
Deneyisel çalışmada kullanılan diatomitin taramalı elektron mikroskopunda (SEM) alınan görüntüleri ve EDS değerleri Şekil 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 4.17 ve 4.18'de verilmiştir. Kullanılan diatomitin tane boyutu 18 µm. ve çapı 16 µm. olarak belirlenmiştir. Ayrıca kaplamada kullanılan diatomitin kimyasal analiz değerleri Tablo 4.7'de belirtilmiştir.

Tablo 4.7 Kaplamada kullanılan diatomitin kimyasal analiz değerleri

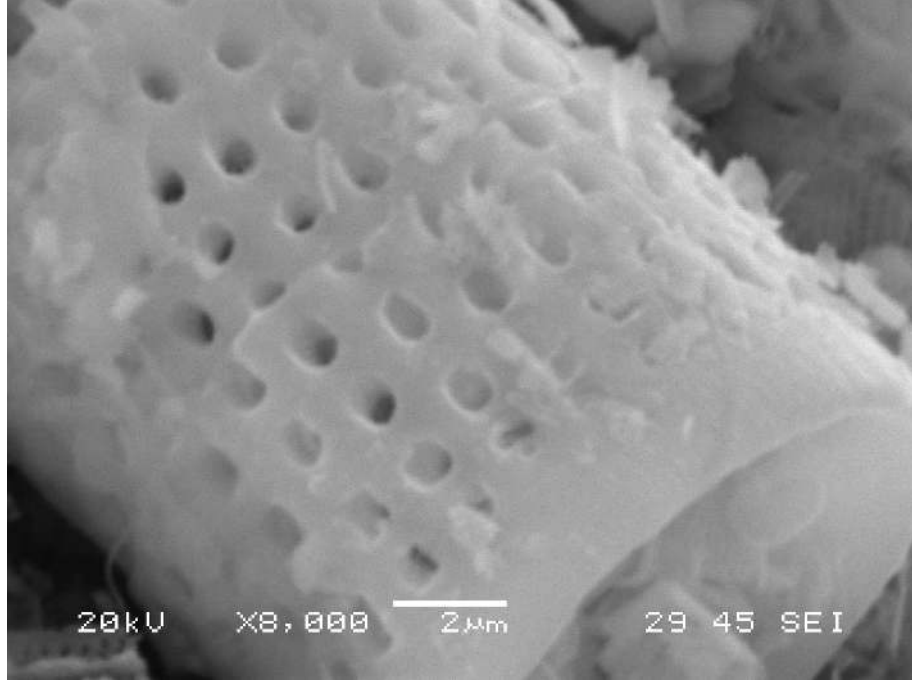
Element	%	Element	%
O	61.010	Ti	0.409
Na	0.366	Fe	0.932
Al	1.908	Zr	1.048
Si	34.327		



Şekil 4.12 Diatomit tozu SEM görüntüsü



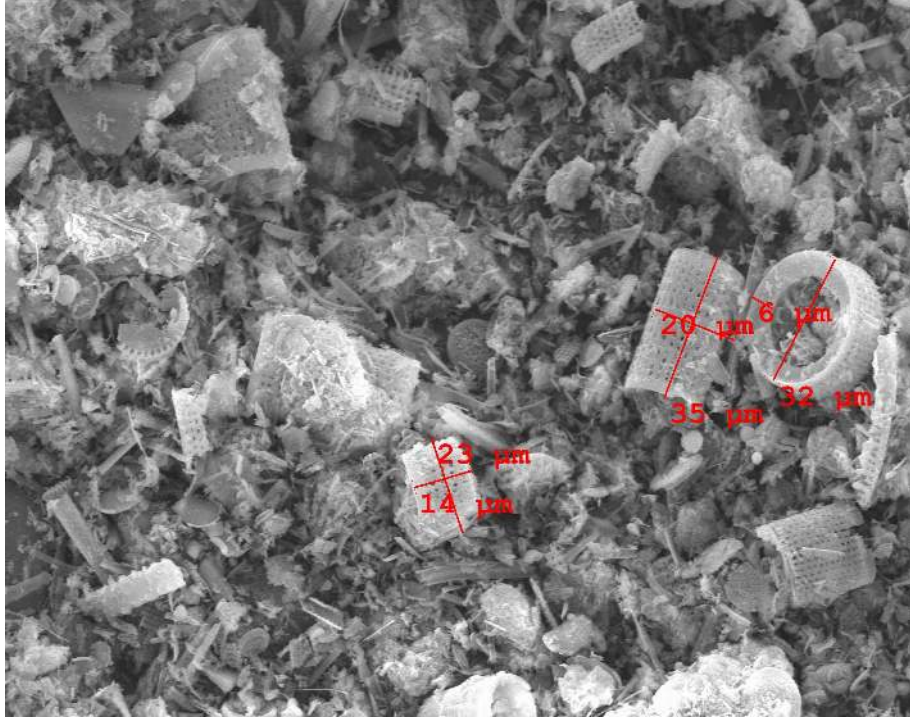
Şekil 4.13 Diatomit tozu SEM görüntüsü



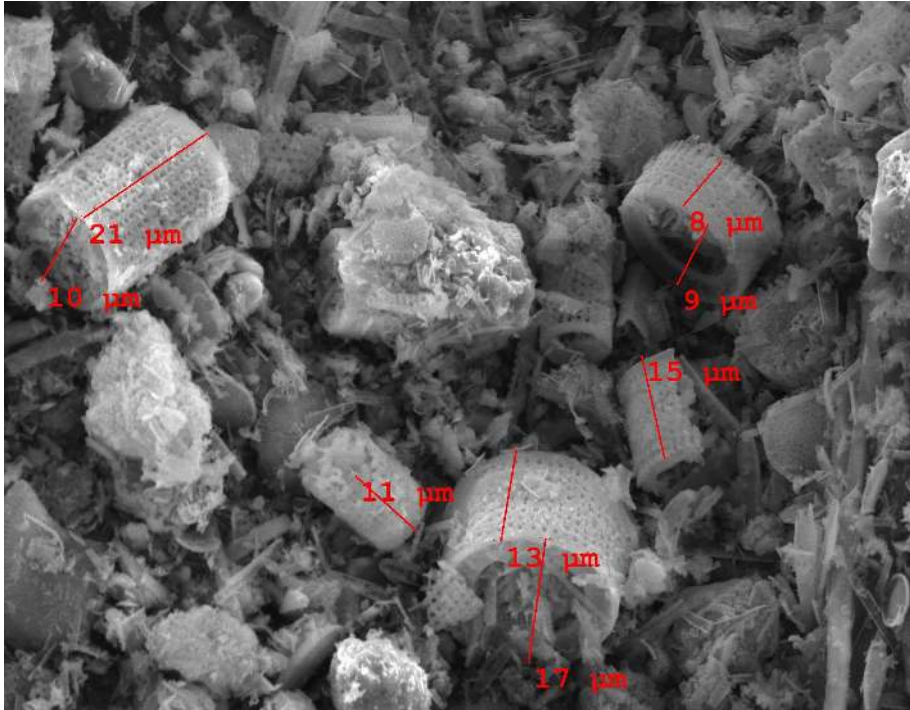
Şekil 4.14 Diatomit tozu SEM görüntüsü



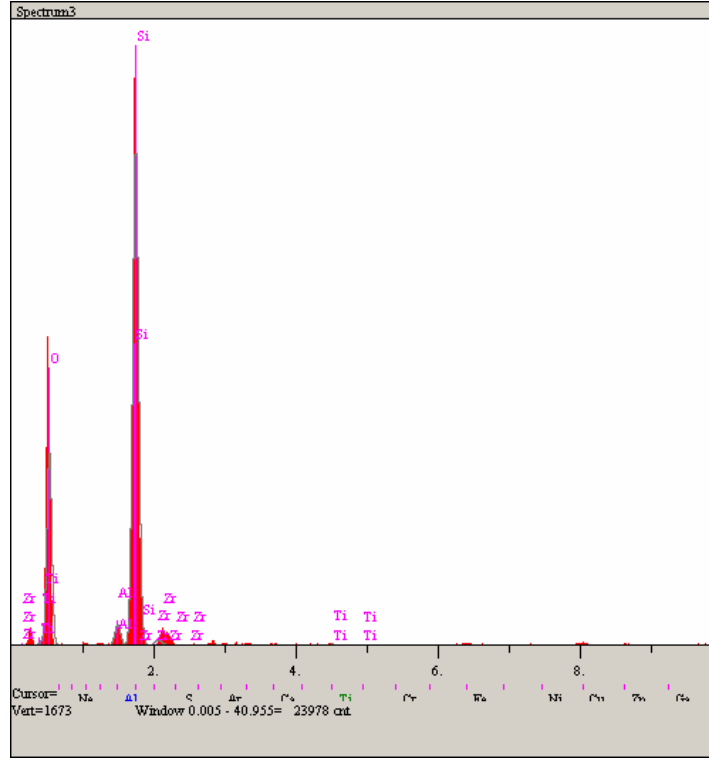
Şekil 4.15 Diatomit tozu SEM görüntüsü



Şekil 4.16 Diatomit tozu SEM görüntüsü



Şekil 4.17 Diatomit tozu SEM görüntüsü



Şekil 4.18 Diatomit tozu EDS analiz değerleri

4.2 Döküm Türü ve Malzemesi

Yapılan deneyler KGDD ile gerçekleştirilmiştir. Dökümü yapılan malzeme 3 cm. çapında 6 cm. uzunluğunda silindirik dökümlerdir. Dökümde kullanılan sıvı metalin kimyasal bileşimi Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8 Sıvı metal kimyasal bileşimi

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mg	Ti
3,63	2,45	0,14	0,032	0,011	0,039	0,023	0,048	0,036	0,017

4.2.1 KGDD

Küresel Grafitli Dökme Demir, birbirinden bağımsız olarak British Cast Iron Research Association (BCIRA) ve International Nickel Company (INCO) tarafından geliştirilmiş ve ilk defa 1948 yılında Amerikan Dökümcüler Birliği’nin Philadelphia’daki yıllık toplantısında döküm endüstrisi için yeni bir malzeme olarak tanıtılmıştır.

Mühendislik malzemeleri içinde küresel grafitli dökme demirlerin özel yeri, başka hiçbir demir esaslı malzemenin KGDD’in sahip olduğu mekanik özellikleri ve dökülebilirlik özelliğini bir arada sağlayamamasından ileri gelmektedir.

Küresel grafitli dökme demir, çeliğine benzer bir matris içinde dağılmış küre şekilli grafitlerden oluşan bir yapıya sahiptir. Yapı açısından gri dökme demirden ayrıcalığı grafitlerin şeklidir. Küresel grafitli dökme demirin mekanik özellikleri grafit şekli ve büyük ölçüde matris yapısı tarafından etkilenmektedir. Küresel grafitli dökme demirler, gri dökme demirin başlıca avantajları (düşük ergime derecesi, iyi akışkanlık ve dökülebilme, mükemmel işlenebilme ve iyi kesme mukavemeti) ile çeliğin mühendislik yönünden avantajlarına (yüksek mukavemet, tokluk, süneklik, sıcak işlenebilme ve sertleşebilme) birleştiren yeni bir malzeme veya dökme demirler ailesi içinde yeni bir grubu oluşturmaktadır (Ölçer, 2004).



Şekil 4.19 Kaplama yapılmış kalıp.

Küresel grafitli dökme demir bütün kesit ölçülerinde üretilebilir. Bununla birlikte sünek çok ince kesitler üretmek her zaman mümkün olmaz. İnce kesitler sünekliliği geliştirmek için ısıtılma işlemi ihtiyaç duyarlar. İnce kesitlerde keskin kenarlardan ve karbürlerden kaçınmak için çok dikkat gerektirir. Çelik ve temper dökme demir ile karşılaştırıldığında hasız döküm yapmak daha kolaydır. Kalıplamada ve dökümde de çok dikkat gereklidir. Küresel grafitli dökme demir Mg ve arada Ce içeren bir katkı elemanı ile düşük kükürlü sıvı dökme demir işlemi vasıtasıyla üretilir. Genellikle Si içeren aşılama ile dökümden önce veya döküm esnasında aşılır. Ticari işlem uygulamalarında çok değişiklikler vardır. Genelde bileşim alanı gri dökme demire benzerdir (Şen, 2004).

KGDD'in katılaşması bütünü ile ötektik dönüşüm tarafından belirlenir. Küresel grafitli dökme demirde ötektik katılaşması, lamel grafitli ötektikten daha yüksek sıcaklıkta başlar. Bu durumda küre şekilli grafit bir ostenit kabuğu ile örtülüdür ve yalnız bir faz (ostenit) ötektik sıvı ile temas halindedir. Bu tip katılaşmaya neoötektik denilmektedir. Her bir grafit küresi ve ostenit kabuğu bir hücre olarak kabul edilebilir. Grafit kürelerinin büyüebilmesi

için karbonun ostenit kabuğundan içeriye doğru yayınması gerekir. Bunun sonucu katılaşma olayı gri dökme demirinkine nazaran daha yavaş olmaktadır (Ölçer, 2004).

4.3 Yüzey Analizi

Elde edilen döküm parçalarının yüzey pürüzlölükleri Mahr Perthometer cihazı tarafından test edilmiştir (şekil 4.20). Tüm parçalarda üç ayrı bölgede bu işlem uygulanmış ve bu değerlerin ortalaması malzemenin yüzey pürüzlölüğü olarak alınmıştır.



şekli 4.20 Yüzey analizlerinin gerçekleştirildiği cihaz.

4.4 Mikroyapı Analizi

Dökülen malzemelerden, malzemenin yüzeyini ve merkezini kapsayacak şekilde numuneler çıkarılıp zımparalama ve parlatma işlemlerini takip eden bir sıra ile numuneler mikroyapı analizi için Struers marka cihaz ile hazırlanmıştır (şekil 4.21).



Şekil 4.21 Mikroyapı analizi için kullanılan cihaz

4.4.1 Zımparalama

Hazırlanan numuneler sırasıyla 120-240-320-400-600-800-1000'lik zımpara kağıtları ile orta disk hızı yüksek basınç ile zımparalanmıştır. 1000'lik zımparadan sonra numuneler alkol ile temizlenip kurutularak parlatma işlemine geçilmiştir.

4.4.2 Parlatma ve Dağlama

Parlatma işlemi 1µm. elmas pasta ile orta hızda gerçekleştirilmiştir. Bu işlemde sonra numuneler %2'lik nital ile yaklaşık 10 sn. dağlandıktan sonra incelemeye alınmıştır.

4.4.3 Görüntü Analizi

Hazırlanan analiz numuneleri görüntüleri analiz cihazında kaydedilmiştir. Daha sonra yazılım paketi yardımıyla farklı fazların alanları, grafit sayısı ve bu parçaların küreselliği belirlenmiştir.

4.4.4 Grafit Karakterizasyonu

Grafitlerin şekli, sayısı ve alansal yüzdesi, parlatılmış numuneler üzerinde görüntü analiz yazılımı alanın büyütülmesi yada eşiklenmesini kullanarak 100X büyütmedeki mikroyapı fotoğraflarında gerçekleştirilmiştir. Görüntü analizi yazılımında küresellik aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Küresellik} = (\text{Çevre}^2 / 4\pi \times \text{Alan} \times 1.064)$$

Burada;

Çevre : Grafit parçacık çevresi

Alan : Grafit parçacık alanıdır

Küresellik yüzdeleri her bir kürenin küresellik değerleri hesaplandıktan sonra 0,65 değeri üzerindeki küresel diğerleri küresel olmayan grafit olarak kabul edildikten sonra küresel olanların toplam grafit sayısına oranlanmasından sonra hesaplanmıştır. Küresellik yüzdeleri üç ölçümde elde edilmiş değerlerin ortalamasıdır.

4.4.5 Ferrit ve Perlit Yüzdesi

Dağlanmış numunelerde ferrit bölgesi açık renkte olmasından dolayı alan yüzdesini yani ferrit yüzdesin belirlemek kolaydır. Ferrit yüzdesi üç ölçümün ortalaması alındıktan sonra bir alanın yüzdesi olarak her numune için belirlenmiştir. Perlit yüzdesi ise ferrit ve grafit yüzdelерinin toplamının 100 değerinden çıkarılması ile hesaplanmıştır.

4.5 SEM Analizi

Deneysel çalışma sonucunda taramalı elektron mikroskobu kullanılarak kaplama yapısı incelenmiştir. Gresham Sirius markalı cihazda kaplama bileşimini oluşturan bentonit ve diatomit malzemelerinin tane boyutu ölçülmüş ve analizleri yine elektron mikroskobunda gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22 SEM cihazı

5. SONUÇLAR

Deneysel çalışma 9 farklı kaplama türü için farklı kaplama kalınlıklarında 21 döküm parçası üretilerek gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler verilecektir. Tablo 5.1’de kaplama bileşimleri sınıflandırılmıştır.

Tablo 5.1 Kaplama bileşimleri

Kaplama No	Kaplama
1	% 1 Bentonit - % 15 Diatomit
2	% 1 Bentonit - % 20 Diatomit
3	% 1 Bentonit - % 25 Diatomit
4	% 2 Bentonit - % 15 Diatomit
5	% 2 Bentonit - % 20 Diatomit
6	% 2 Bentonit - % 25 Diatomit
7	% 3 Bentonit - % 15 Diatomit
8	% 3 Bentonit - % 20 Diatomit
9	% 3 Bentonit - % 25 Diatomit

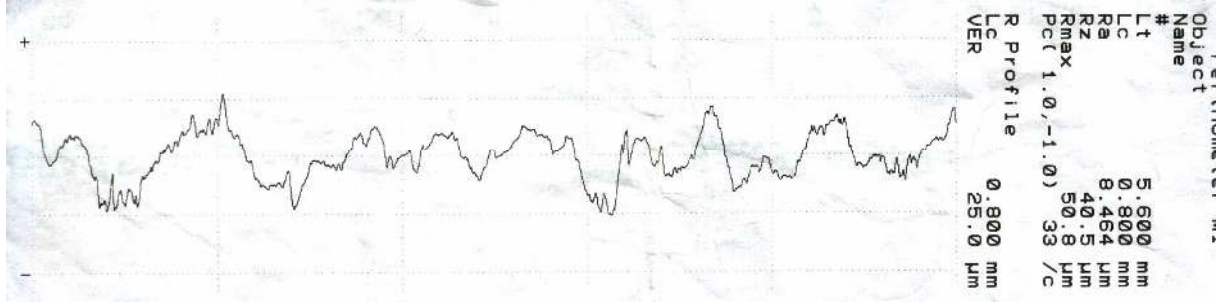
5.1 Yüzey Analizi

Döküm parçalarından elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri ve grafikleri gruplandırılarak aşağıdaki tablo ve şekillerde verilmiştir.

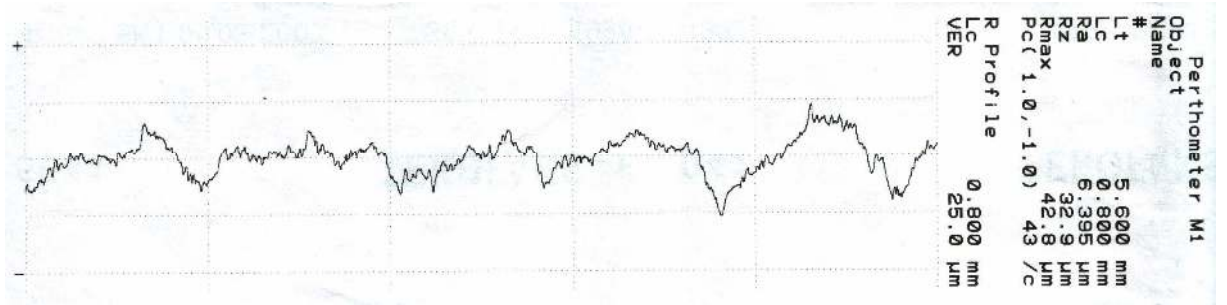
1 nolu kaplama ile yapılan dökümlerin yüzey pürüzlülüğü sonuçları Şekil 5.1, 5.2, 5.3 ve Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2 Yüzey pürüzlülüğü değerleri (Kaplama 1)

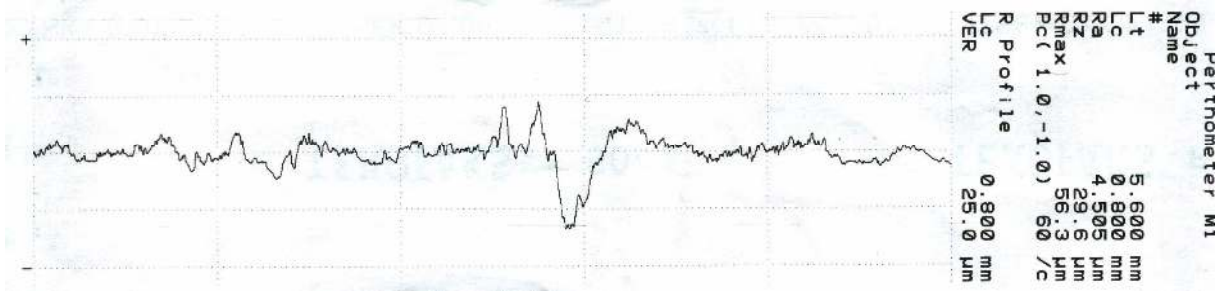
Kaplama Kalınlığı (μm)	L_t	L_c	R_a	R_z	R_{max}
0	5,600	0,800	8,464	40,5	50,8
500	5,600	0,800	6,395	32,9	42,8
1000	5,600	0,800	4,505	29,6	56,3



Şekil 5.1 Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplamasız)



Şekil 5.2 Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 1, 500 µm.)

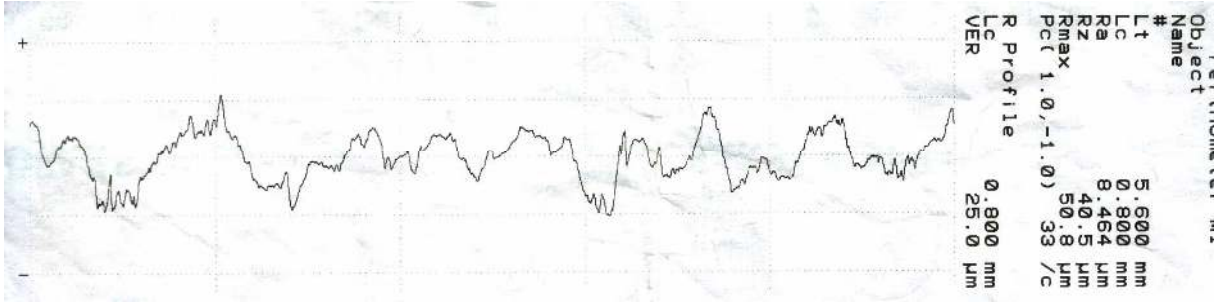


Şekil 5.3 Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 1, 1000 µm.)

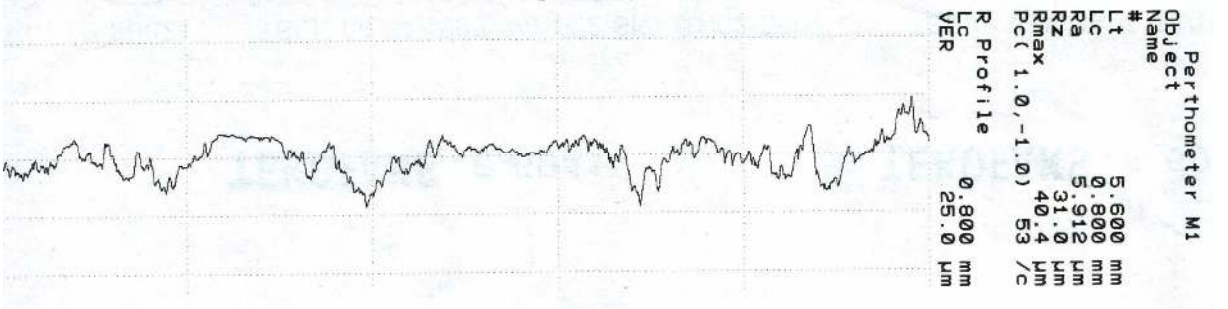
2 nolu kaplama ile yapılan dökümlerin yüzey pürüzlülüğü sonuçları Şekil 5.4, 5.5, 5.6 ve Tablo 5.3’de verilmiştir.

Tablo 5.3 Yüzey pürüzlülüğü değerleri (Kaplama 2)

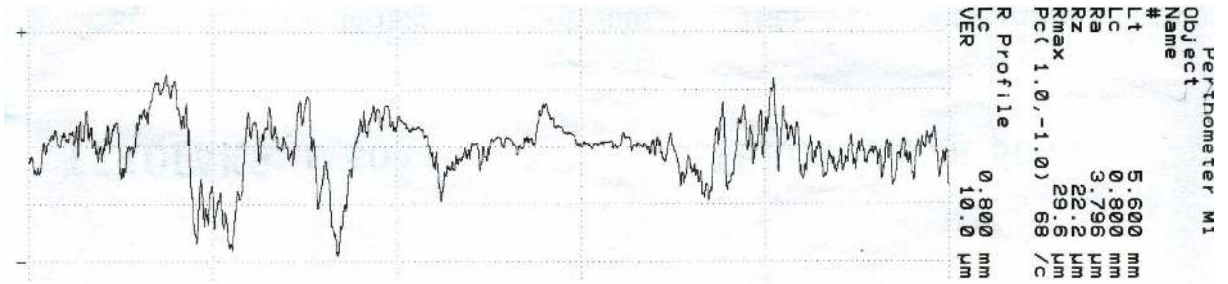
Kaplama Kalınlığı (µm)	L_t	L_c	R_a	R_z	R_{max}
0	5,600	0,800	8,464	40,5	50,8
500	5,600	0,800	5,912	31,0	40,4
1000	5,600	0,800	3,796	22,2	29,6



Şekil 5.4 Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplamasız)



Şekil 5.5 Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 2, 500 µm.)

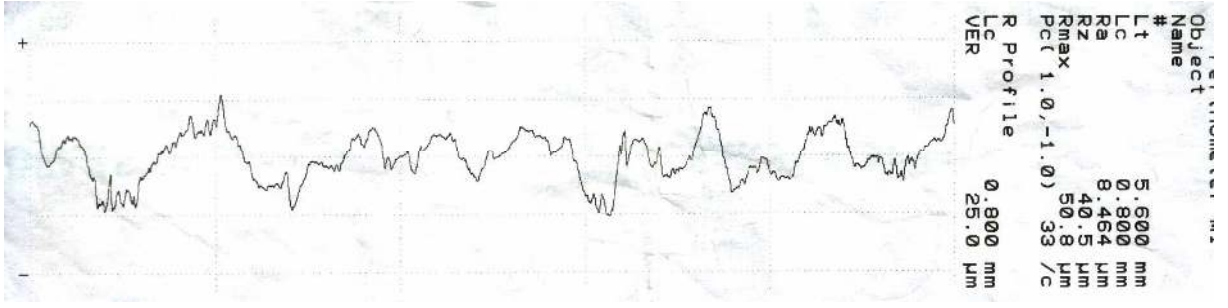


Şekil 5.6 Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 2, 1000 µm.)

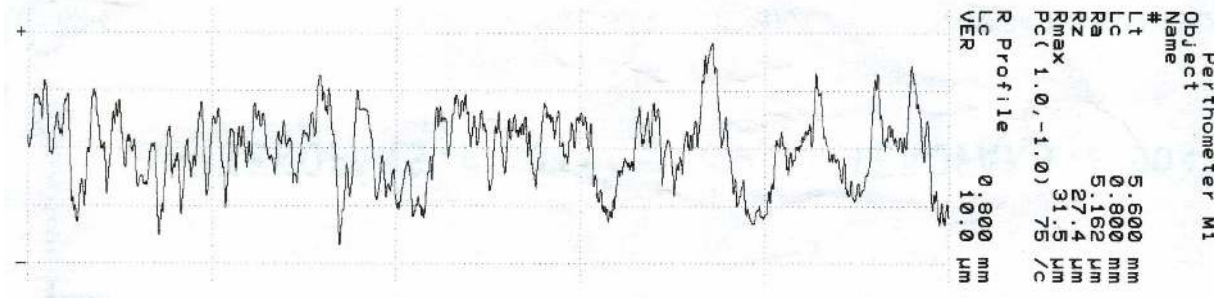
3 nolu kaplama ile yapılan dökümlerin yüzey pürüzlülüğü sonuçları Şekil 5.7, 5.8, 5.9 ve Tablo 5.4’de verilmiştir.

Tablo 5.4 Yüzey pürüzlülüğü değerleri (Kaplama 3)

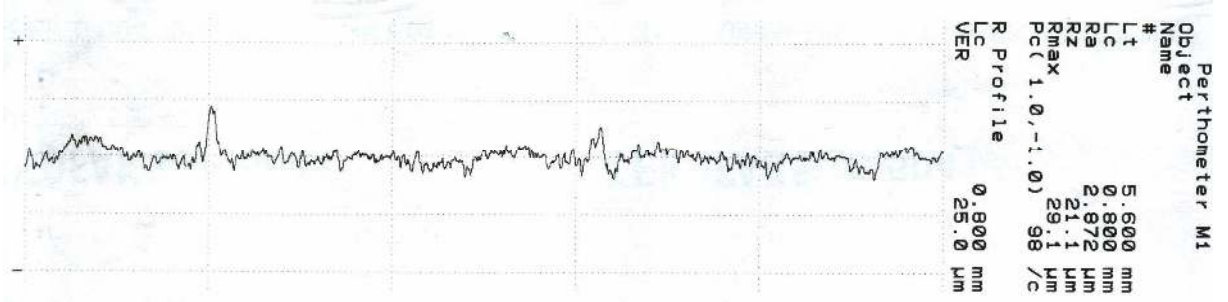
Kaplama Kalınlığı (µm)	L _t	L _c	R _a	R _z	R _{max}
0	5,600	0,800	8,464	40,5	50,8
500	5,600	0,800	5,162	27,4	31,5
1000	5,600	0,800	2,872	21,1	29,1



Şekil 5.7 Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 0)



Şekil 5.8 Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 3, 500 µm.)

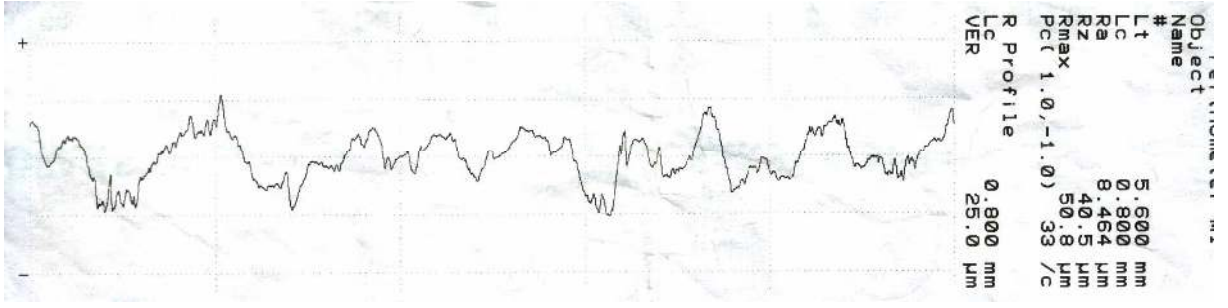


Şekil 5.9 Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 3, 1000 µm.)

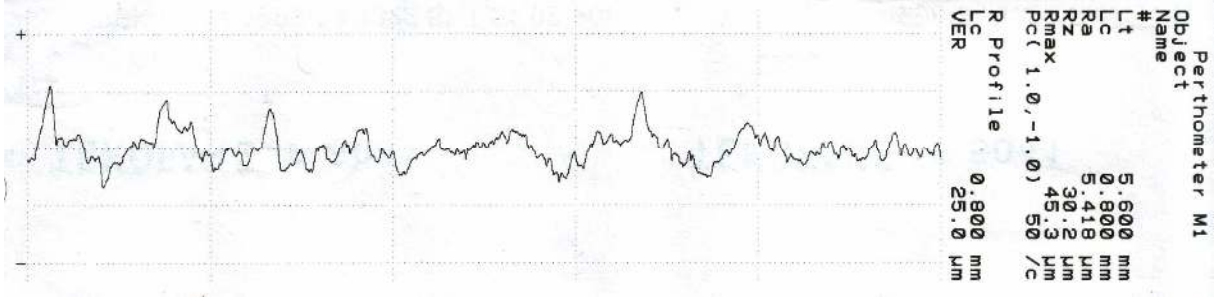
4 nolu kaplama ile yapılan dökümlerin yüzey pürüzlülüğü sonuçları Şekil 5.10, 5.11, 5.12 ve Tablo 5.5’de verilmiştir.

Tablo 5.5 Yüzey pürüzlülüğü değerleri (Kaplama 4)

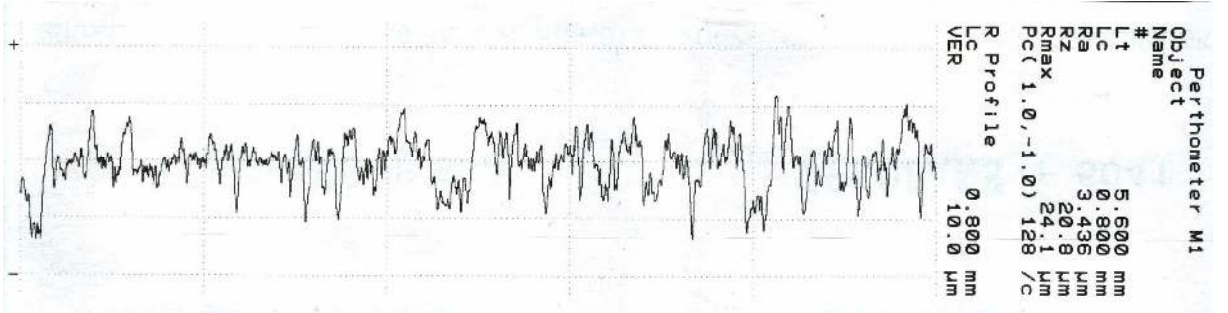
Kaplama Kalınlığı (µm)	L _t	L _c	R _a	R _z	R _{max}
0	5,600	0,800	8,464	40,5	50,8
500	5,600	0,800	5,418	30,2	45,3
1000	5,600	0,800	3,436	20,8	24,1



Şekil 5.10 Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplamasız)



Şekil 5.11 Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 4, 500 μm.)

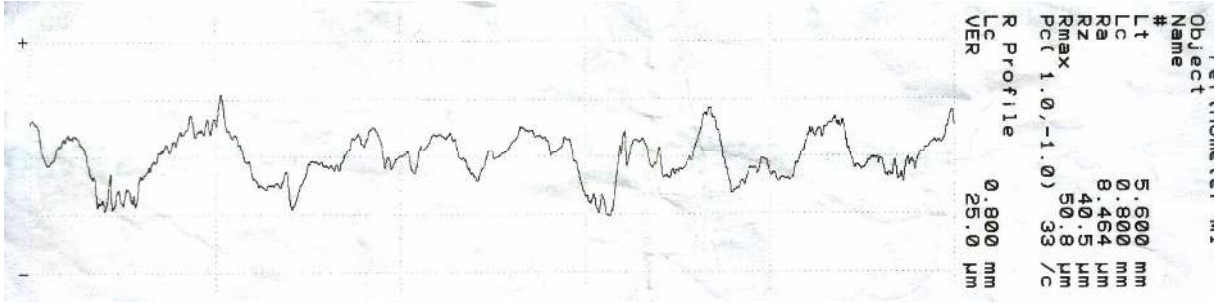


Şekil 5.12 Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 4, 1000 μm.)

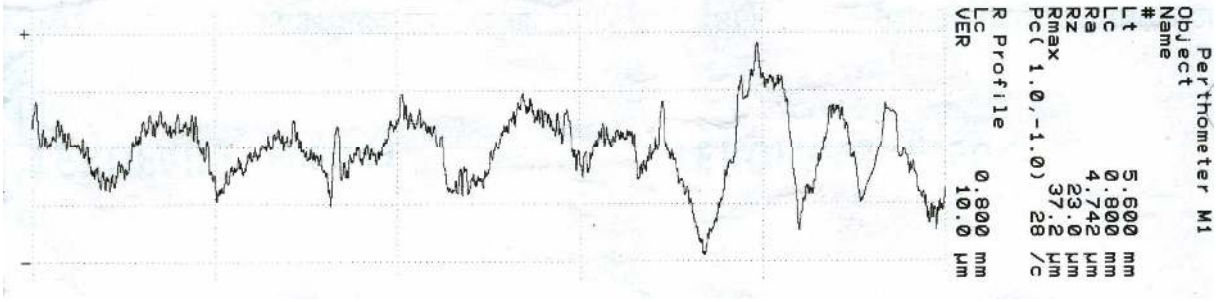
5 nolu kaplama ile yapılan dökümlerin yüzey pürüzlülüğü sonuçları Şekil 5.13, 5.14, 5.15 ve Tablo 5.6'de verilmiştir.

Tablo 5.6 Yüzey pürüzlülüğü değerleri (Kaplama 5)

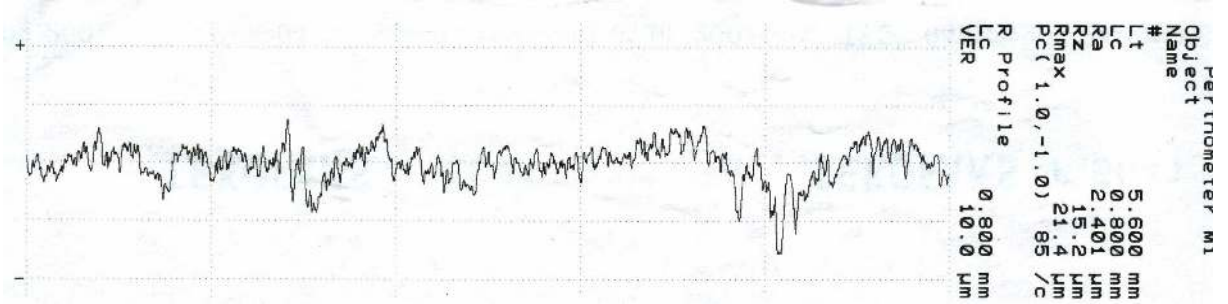
Kaplama Kalınlığı (μm)	L _t	L _c	R _a	R _z	R _{max}
0	5,600	0,800	8,464	40,5	50,8
500	5,600	0,800	4,742	23,0	37,2
1000	5,600	0,800	2,401	15,2	21,4



Şekil 5.13 Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplamasız)



Şekil 5.14 Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 5, 500 μm .)

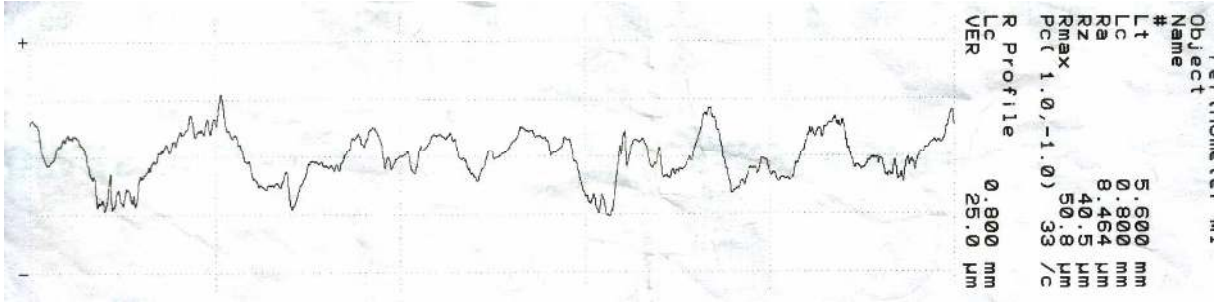


Şekil 5.15 Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 5, 1000 μm .)

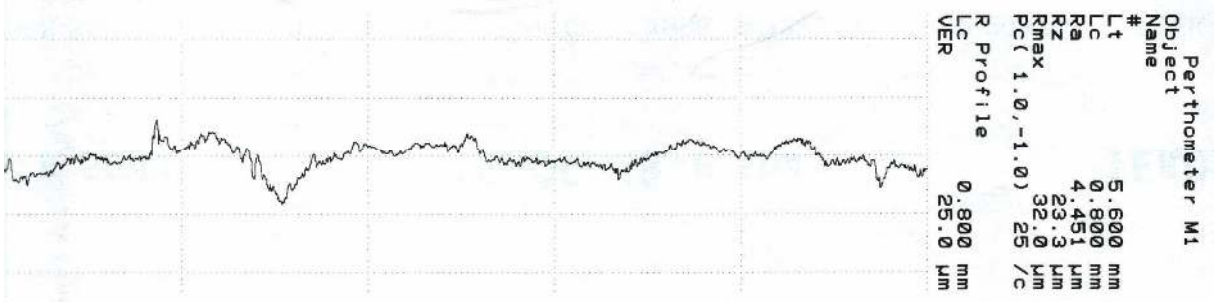
6 nolu kaplama ile yapılan dökümlerin yüzey pürüzlülüğü sonuçları Şekil 5.16, 5.17, 5.18 ve Tablo 5.7’de verilmiştir.

Tablo 5.7 Yüzey pürüzlülüğü değerleri (Kaplama 6)

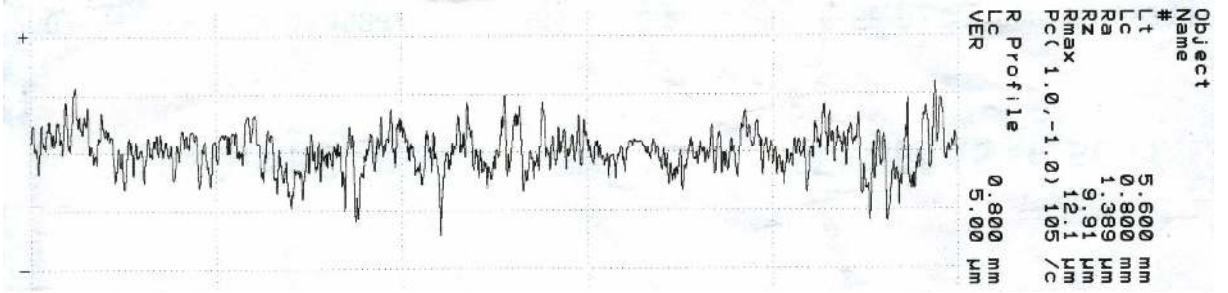
Kaplama Kalınlığı (μm)	L_t	L_c	R_a	R_z	R_{max}
0	5,600	0,800	8,464	40,5	50,8
500	5,600	0,800	4,451	23,3	32,0
1000	5,600	0,800	1,389	9,91	12,1



Şekil 5.16 Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 0)



Şekil 5.17 Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 6, 500 μm.)

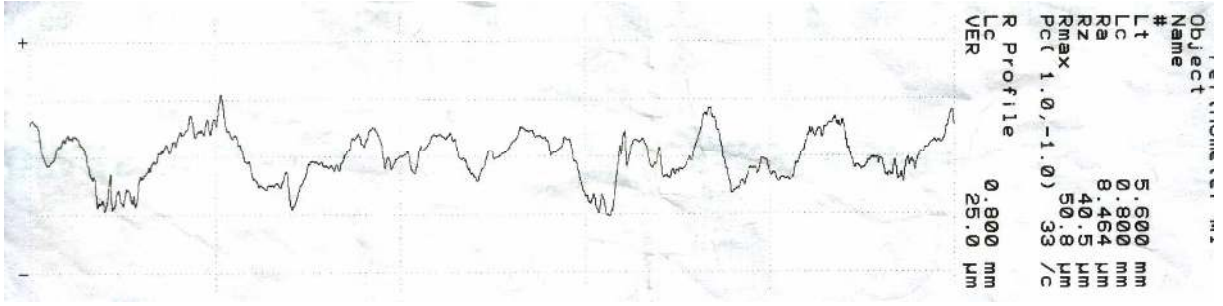


Şekil 5.18 Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 6, 1000 μm.)

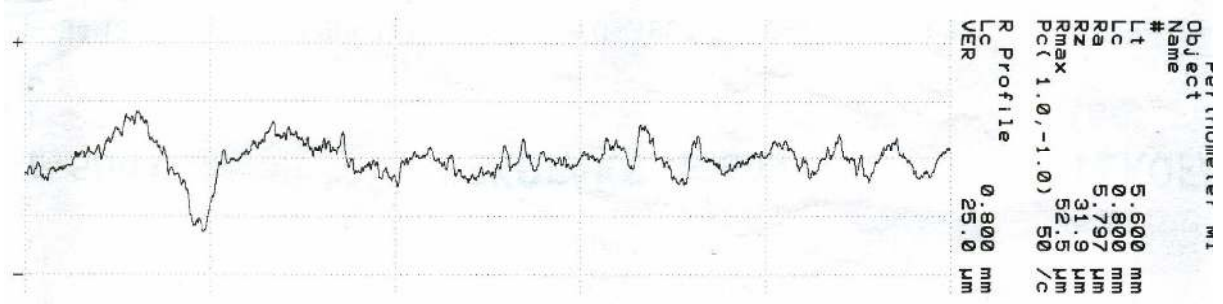
7 nolu kaplama ile yapılan dökümlerin yüzey pürüzlülüğü sonuçları Şekil 5.19, 5.20, 5.21 ve Tablo 5.8’de verilmiştir.

Tablo 5.8 Yüzey pürüzlülüğü değerleri (Kaplama 7)

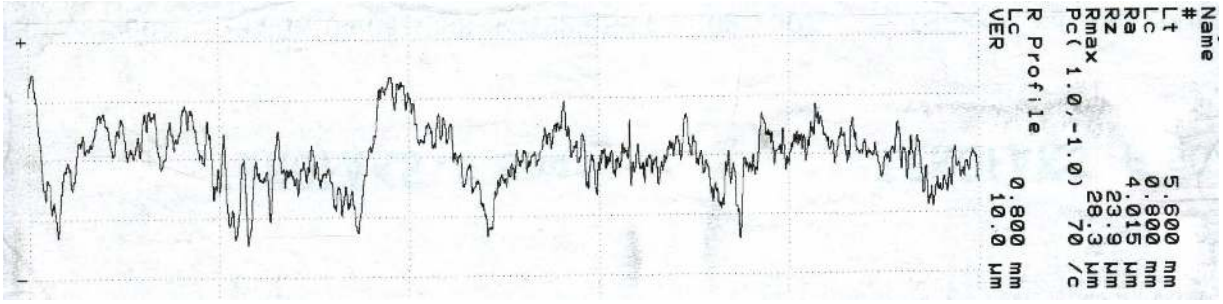
Kaplama Kalınlığı (μm)	L _t	L _c	R _a	R _z	R _{max}
0	5,600	0,800	8,464	40,5	50,8
500	5,600	0,800	5,797	31,9	52,5
1000	5,600	0,800	4,015	23,9	28,3



Şekil 5.19 Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplamasız)



Şekil 5.20 Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 7, 500 µm.)

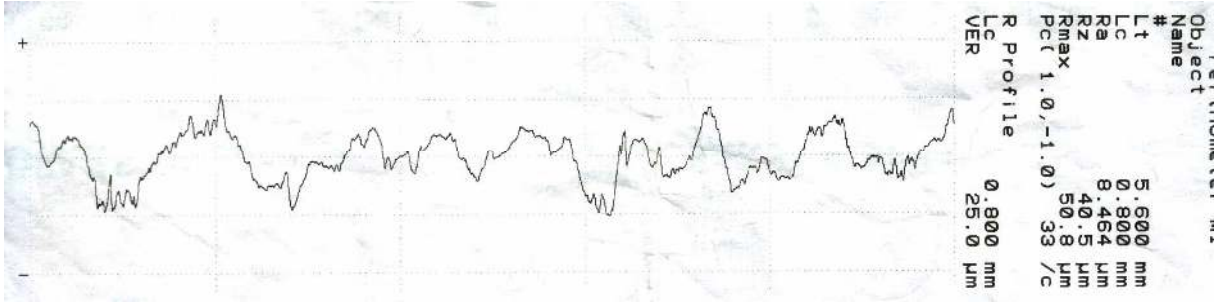


Şekil 5.21 Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 7, 1000 µm.)

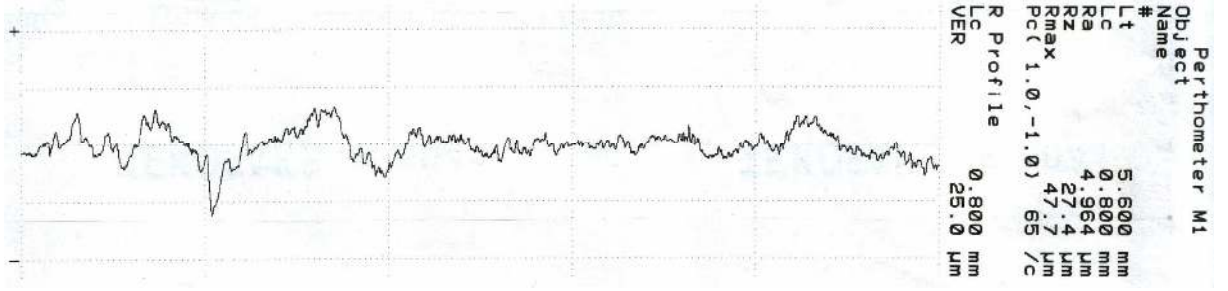
8 nolu kaplama ile yapılan dökümlerin yüzey pürüzlülüğü sonuçları Şekil 5.22, 5.23, 5.24 ve Tablo 5.9’de verilmiştir.

Tablo 5.9 Yüzey pürüzlülüğü değerleri (Kaplama 8)

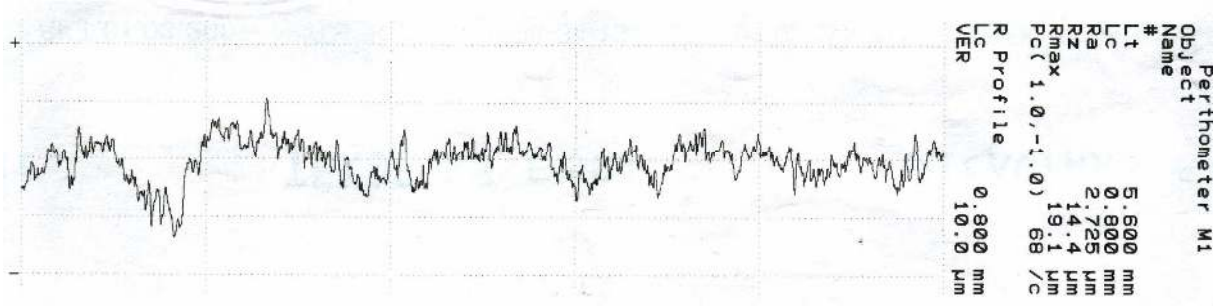
Kaplama Kalınlığı (µm)	L_t	L_c	R_a	R_z	R_{max}
0	5,600	0,800	8,464	40,5	50,8
500	5,600	0,800	4,964	27,4	47,7
1000	5,600	0,800	2,725	14,4	19,1



Şekil 5.22 Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplamasız)



Şekil 5.23 Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 8, 500 μm.)

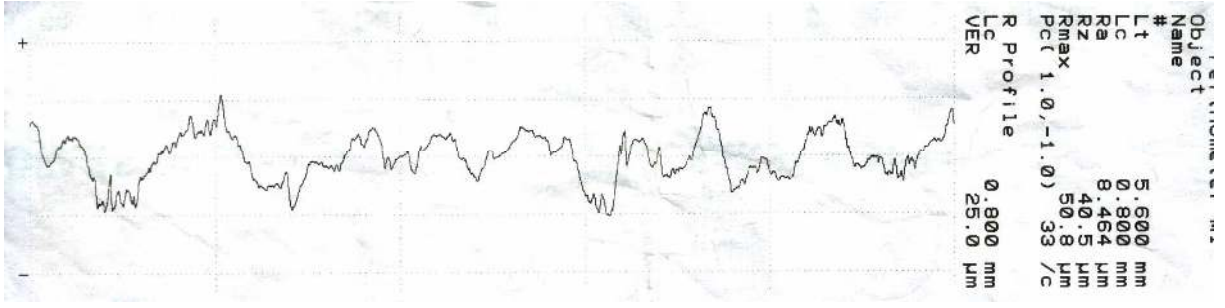


Şekil 5.24 Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 8, 1000 μm.)

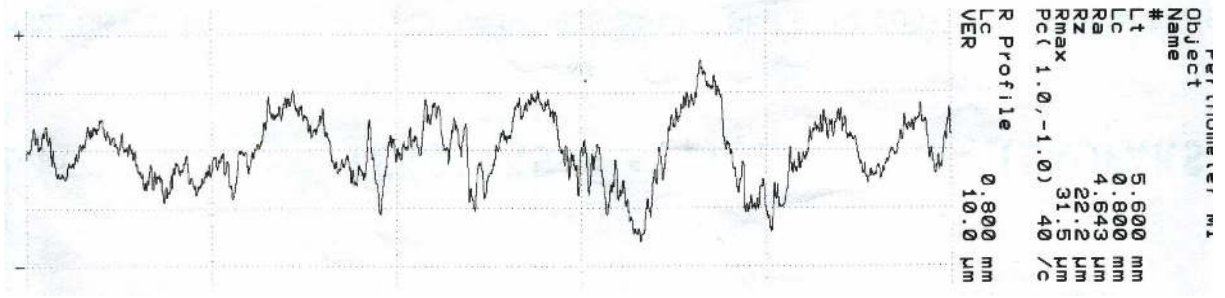
9 nolu kaplama ile yapılan dökümlerin yüzey pürüzlülüğü sonuçları Şekil 5.25, 5.26, 5.27 ve Tablo 5.10'de verilmiştir.

Tablo 5.10 Yüzey pürüzlülüğü değerleri (Kaplama 9)

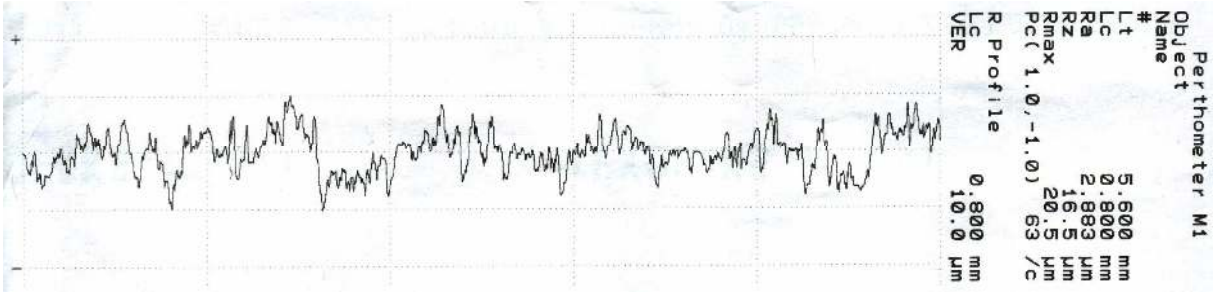
Kaplama Kalınlığı (μm)	L_t	L_c	R_a	R_z	R_{max}
0	5,600	0,800	8,464	40,5	50,8
500	5,600	0,800	4,643	22,2	31,5
1000	5,600	0,800	2,883	16,5	20,5



Şekil 5.25 Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplamasız)

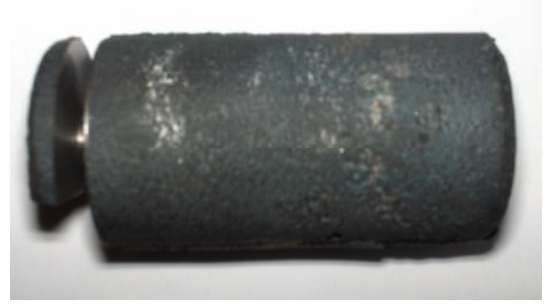


Şekil 5.26 Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 9, 500 µm.)



Şekil 5.27 Yüzey pürüzlülüğüne ait grafik (Kaplama 9, 1000 µm.)

1 nolu kaplama kullanılan döküme ait makro görüntüler yapılar Şekil 5.28’de, 2 nolu kaplama kullanılan döküme ait makro görüntüler yapılar Şekil 5.29’da, 3 nolu kaplama kullanılan döküme ait makro görüntüler yapılar Şekil 5.30’da, 4 nolu kaplama kullanılan döküme ait makro görüntüler yapılar Şekil 5.31’de, 5 nolu kaplama kullanılan döküme ait makro görüntüler yapılar Şekil 5.32’de, 6 nolu kaplama kullanılan döküme ait makro görüntüler yapılar Şekil 5.33’te, 7 nolu kaplama kullanılan döküme ait makro görüntüler yapılar Şekil 5.34’te, 8 nolu kaplama kullanılan döküme ait makro görüntüler yapılar Şekil 5.35’te, 9 nolu kaplama kullanılan döküme ait makro görüntüler yapılar Şekil 5.36’da, kaplamasız döküme ait makro görüntüler yapılar Şekil 5.37’de gösterilmiştir.



Şekil 5.28 Döküm makro görüntüsü (Kaplama 1)



Şekil 5.29 Döküm makro görüntüsü (Kaplama 2)



Şekil 5.30 Döküm makro görüntüsü (Kaplama 3)



Şekil 5.31 Döküm makro görüntüsü (Kaplama 4)



Şekil 5.32 Döküm makro görüntüsü (Kaplama 5)



Şekil 5.33 Döküm makro görüntüsü (Kaplama 6)



Şekil 5.34 Döküm makro görüntüsü (Kaplama 7)



Şekil 5.35 Döküm makro görüntüsü (Kaplama 8)



Şekil 5.36 Döküm makro görüntüsü (Kaplama 9)

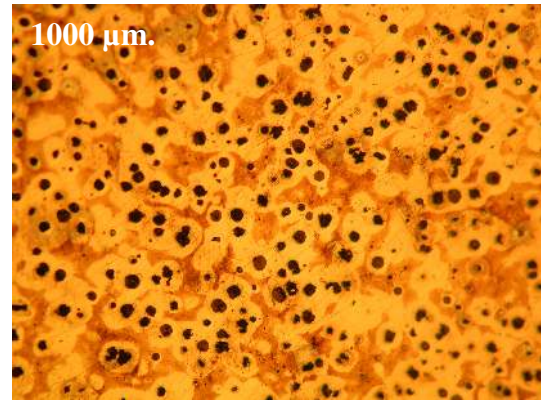
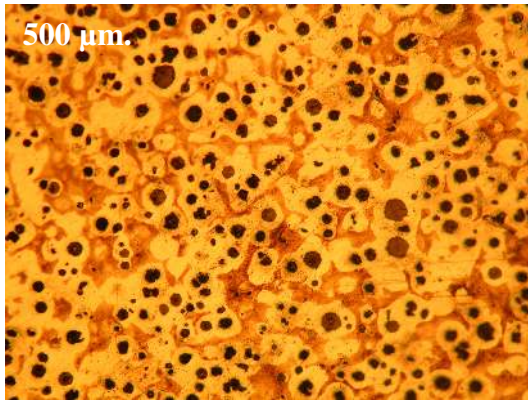


Şekil 5.37 Döküm makro görüntüsü (Kaplamasız)

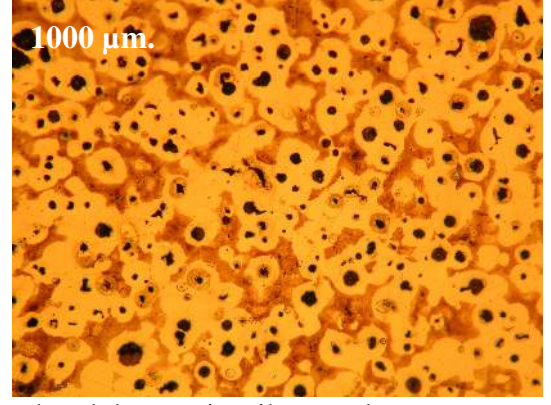
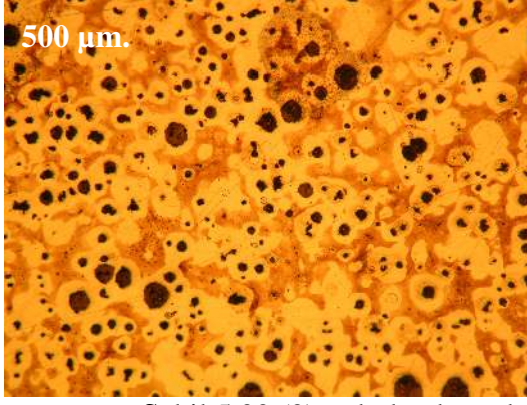
5.2 Mikroyapı Analizi

Bu bölümde üretilen döküm parçalarının farklı kaplama gruplarında mikroyapıları, grafit karakterizasyonu ve faz dağılımları verilecektir.

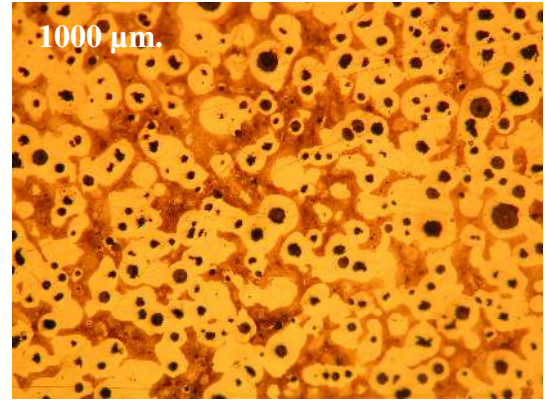
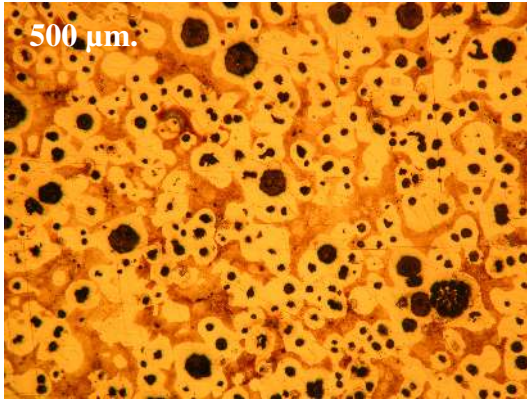
1 nolu kaplamaya ait mikroyapılar Şekil 5.38’de, 2 nolu kaplamaya ait mikroyapılar Şekil 5.39’da, 3 nolu kaplamaya ait mikroyapılar Şekil 5.40’da, 4 nolu kaplamaya ait mikroyapılar Şekil 5.41’de, 5 nolu kaplamaya ait mikroyapılar Şekil 5.42’de, 6 nolu kaplamaya ait mikroyapılar Şekil 5.43’te, 7 nolu kaplamaya ait mikroyapılar Şekil 5.44’te, 8 nolu kaplamaya ait mikroyapılar Şekil 5.45’te, 9 nolu kaplamaya ait mikroyapılar Şekil 5.46’da ve kaplamasız döküme ait mikroyapılar Şekil 5.47’de gösterilmiştir.



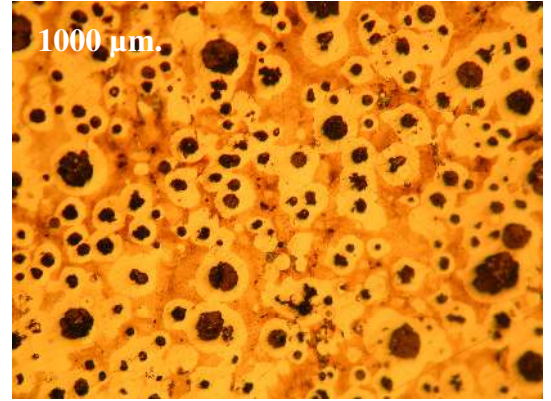
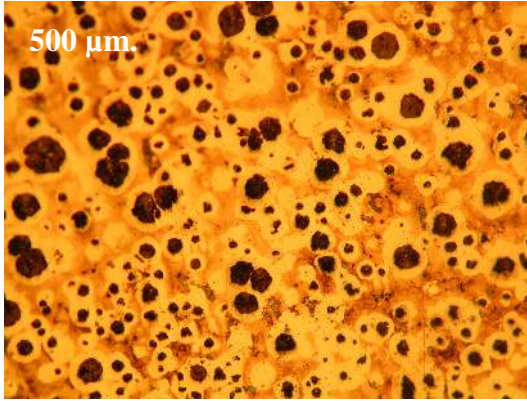
Şekil 5.38 (1) nolu kaplama kullanılan döküme ait mikroyapılar.



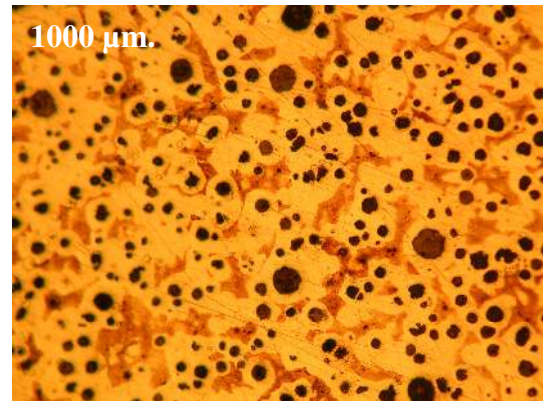
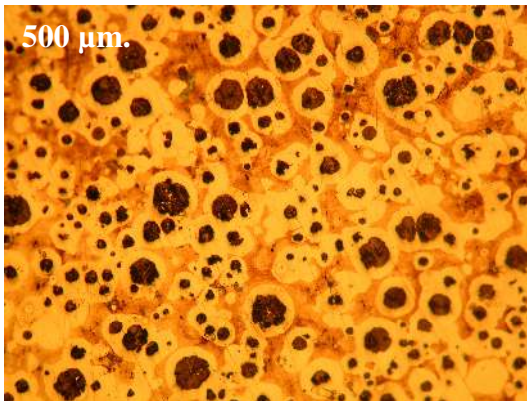
Şekil 5.39 (2) nolu kaplama kullanılan döküme ait mikroyapılar.



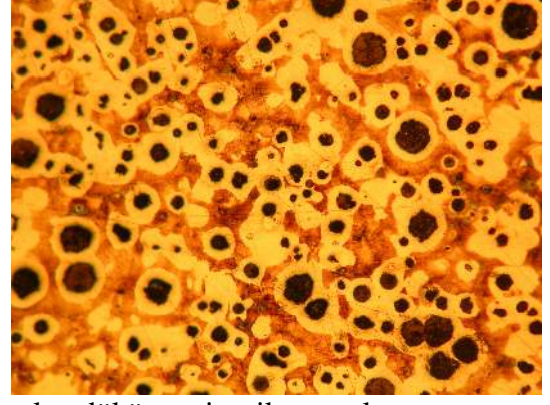
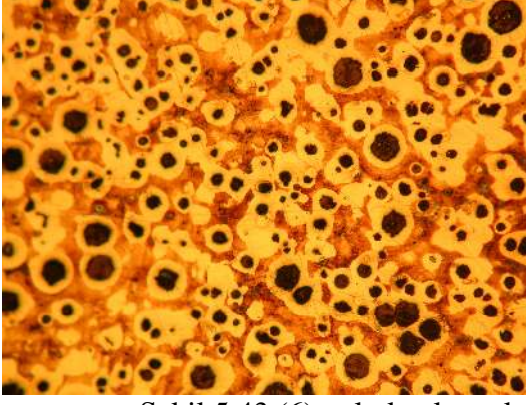
Şekil 5.40 (3) nolu kaplama kullanılan döküme ait mikroyapılar.



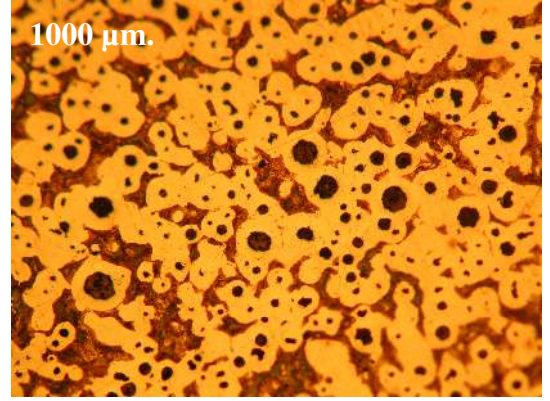
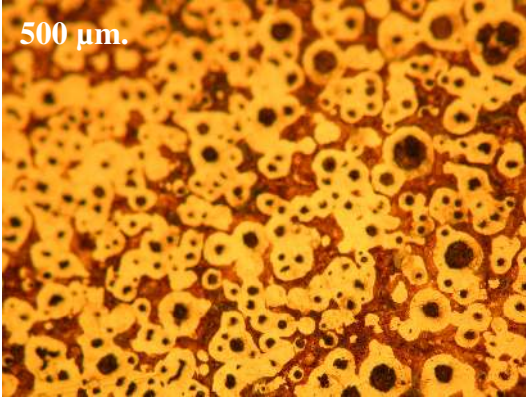
Şekil 5.41 (4) nolu kaplama kullanılan döküme ait mikroyapılar.



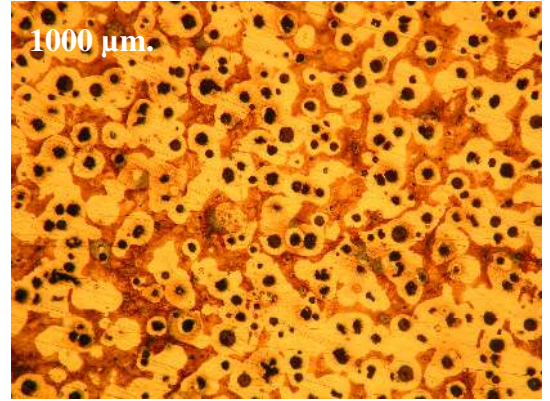
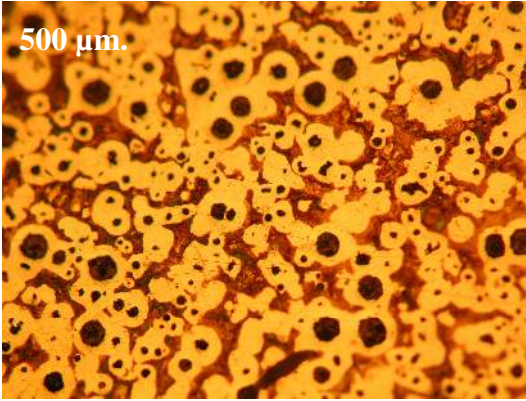
Şekil 5.42 (5) nolu kaplama kullanılan döküme ait mikroyapılar.



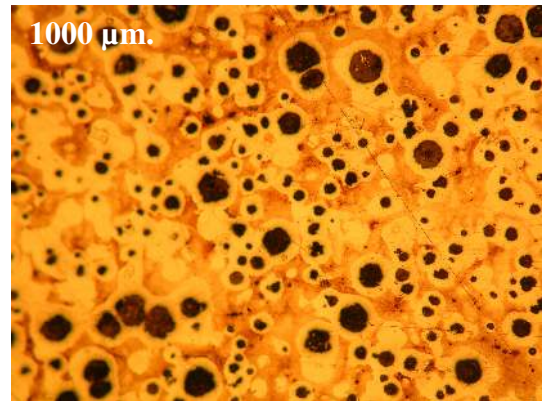
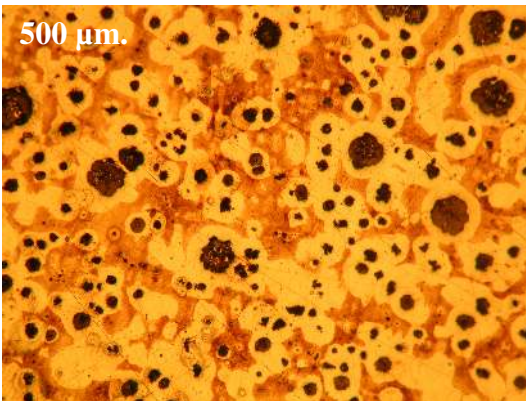
Şekil 5.43 (6) nolu kaplama kullanılan döküme ait mikroyapılar.



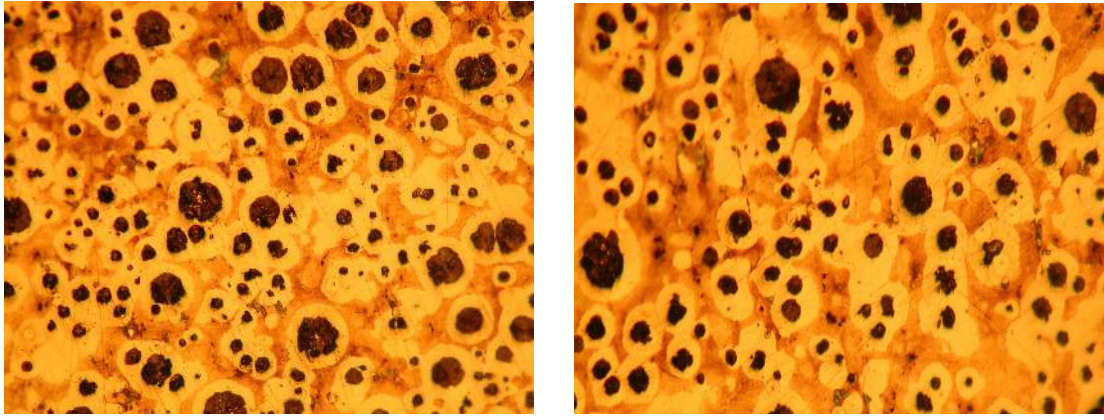
Şekil 5.44 (7) nolu kaplama kullanılan döküme ait mikroyapılar.



Şekil 5.45 (8) nolu kaplama kullanılan döküme ait mikroyapılar.



Şekil 5.46 (9) nolu kaplama kullanılan döküme ait mikroyapılar.



Şekil 5.47 Kaplamasız döküme ait mikroyapılar.

Tablo 5.11’de görüntü analizi yöntemiyle elde edilen faz yüzdeleri ve grafit özellikleri verilmiştir.

Tablo 5.11 Görüntü analizi yöntemiyle elde faz yüzdeleri ve grafit özellikleri

Kaplama No	Kaplama Kalınlığı	% Ferrit	% Perlit	% Grafit	Küre Sayısı	Küresellik
	Kaplamasız	53,456	43,204	3,34	728	93,86
1	500	52,351	44,559	3,09	705	94,73
	1000	53,248	43,532	3,22	670	95,32
2	500	62,710	34,360	2,93	557	93,12
	1000	61,029	35,821	3,15	594	94,33
3	500	53,140	43,790	3,07	601	94,88
	1000	53,750	42,890	3,36	615	95,37
4	500	46,653	49,787	3,56	569	97,6
	1000	47,256	48,834	3,91	543	95,7
5	500	69,437	26,493	4,07	592	95,9
	1000	60,293	34,347	5,36	585	96,2
6	500	53,437	41,443	5,12	532	97,2
	1000	54,120	40,450	5,43	525	96,4
7	500	56,431	39,359	4,21	578	95,2
	1000	57,660	37,810	4,53	560	94,7
8	500	51,439	45,081	3,48	625	94,68
	1000	50,788	45,072	4,14	603	95,70
9	500	51,621	43,509	4,87	570	94,71
	1000	52,770	43,310	3,92	557	94,36

6. DEĞERLENDİRMELER

Yapılan deneysel sonuçlar sonucunda kalıp kaplamalarının farklı bileşimlerde farklı oranlarda döküm malzeme yüzeyini geliştirdiği kanıtlanmıştır. Kaplama malzemesinin katılma hızına etkisi ve izolasyon etkisi çok fazla olmamıştır.

Kullanılan kaplama bileşimlerinde bentonit malzemesi taşıyıcı, bağlayıcı olarak tercih edilmiştir. Bentonitin uygun miktarda kullanılması kaplamanın kalıba adhezyonunu arttırmaktadır. Bentonitin aşırı miktarlarda kullanımı kaplamanın mukavemetini ve ısı direncini azaltmak gibi olumsuz etkiler gösterebilir. Bunu bağlı olarak, %2 bentonite kadar kaplama yüzeyi gelişmiştir. % 2 bentonit içeriğinden sonra döküm parçalarının yüzey gelişimi bozulmaya başlamıştır. Artan bentonit miktarı belli bir yüzdeye kadar yararlı olmakta ve %2'den sonra kaplama yapısını bozmaktadır. Bentonitin yaptığı bu etki literatürle uyumaktadır.

Kaplama bileşiminde diatomit malzemesi ısı yalıtıcı olarak tercih edilmiştir. 3 farklı oranda kullanılan diatomit miktarına göre diatomit miktarı arttıkça yüzey gelişmektedir. En iyi yüzey kalitesi her bentonit grubu için en yüksek diatomit oranlarında elde edilmiştir. Döküm yüzeyleri %200-600 oranında gelişim göstermiştir.

Mikroyapı analizleri ele alındığında ise kaplama malzemesinin katılaşmaya etkisi çok fazla olmamıştır. Grafit küreleri incelendiğinde literatürde parça modülüne göre olması gereken küre sayısı 800-400 aralığındadır. Yapılan incelemelerde küre sayıları 550-750 arasında değişmektedir. Küresel grafitli dökme demirin küre sayısı istenilen mekanik özellikleri başarmak için önemli faktörlerden birisidir. Katılma esnasında soğuma hızı küre sayısında önemli bir etkiye sahiptir. Genel olarak konuşulursa hızlı soğuma hızı daha yüksek küre sayısı ile sonuçlanır. Bu bilgi ile deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar uyumaktadır. Yüksek oranda diatomit yani yalıtıcı katkı içeren kaplamalarda küre sayıları daha düşük bulunmuştur. Küre sayısı arttıkça grafit çapı azalmıştır. Yine küre sayısı 500 µm. kaplamada 1000 µm. kaplamaya göre daha fazla bulunmuştur. Bazı durumlarda bunun tersi bir durum gözlenirse de genel olarak elde edilen sonuçlar uyumludur.

Yüksek soğuma hızında dönüşüm kinetiğine göre perlitin çekirdeklenmesi ve büyümesi daha kolay olmalıdır. Matris yapısı küre sayısına, bileşime ve kalıp bozmaya göre değişim gösterebilir. Elde edilen sonuçlarda nispeten yüksek soğuma hızına sahip olduğu düşünülecek ince kaplama kalınlığı ve daha az yalıtıcı katkının olduğu kaplama ile yapılan dökümlerde daha fazla perlit yüzdesi elde edilmiştir. Fakat bu oran çok büyük miktarlarda değildir. Buna karşın yukarıda bahsedilen genelleme yapılabilir.

Dökümlerde oluşan pinholler daha çok iğne ucu porozitesi veya kenar kabarcığı olarak tanımlanır. Dağınık ve bozulmuş silindir şeklinde ortaya çıkan pinholler tüm döküm yüzeyi üzerine yayılırlar. Yüzeyin hemen altında oluşan pinholler mekanik işlemle sonra görülürken, diğerleri çıplak gözle rahatlıkla seçilebilirler. Pinholler daha çok katılaşmanın geliştiği arayüzeyden kaynaklandığından dolayı bu bölge yapısı ve özelliği önem kazanır. Hem metal hem de kalıbın iyi ısı iletkenliği sağladığı durumlarda ısı transfer direnci azdır. Hızlı katılaşma gelişir ve pinhol dahil çok sayıda yüzey hatası oluşur. Yüzey kaplama uygulanmalıdır. Kalıp kaplaması uygulanmadığı zaman çarpılma, ayrılma ve hava boşluğu oluşumu görülür. Ultrason deneyini de kapsayan çalışmalar yüzeyle ilgili sadece 2 saniye boyunca işe yarar bilgi vermiştir. Bu zaman aralığında döküm ile kalıp arasındaki maksimum temas alanı yaklaşık %10 olarak saptanmıştır. Daha sonra, döküm katılaştıkça bu alan %1'e kadar iner. Kalıp ile döküm yüzeyini ayıran bölgenin çarpılması (deforme olması) bu zaman aralığında olur. Döküm yüzeyi ile kalıp arasında birkaç tepe noktası dışında bir temas kalmaz. Termal stres yüzünden döküm yüzey şekilleri bozulabilir ve kırılabilir. Metal ve kum kalıpta iyi kaplama uygulaması ile bu olumsuzluklar kısmen veya tamamen giderilebilir.

Kaplamasız döküm uygulamasında pinhol oluşumu ve yüzey hataları gözlenmiştir. Kaplama kullanılmış numunelerde bu hatalar minimuma indirilmiştir. Bu sonuçlarda yukarıdaki bilgiyle örtüşmektedir ve kaplamanın etkisini kanıtlamaktadır.

Döküm sektörü ürünlerine, çeşit, boyut, kalite açısından bakıldığında sayılarla ifade edilemeyecek bir durum ortaya çıkar. Ayrıca döküm sektörü ürünleri imalat sektörlerinin temel ve çok önemli girdilerini oluşturur. Döküm sektörü bu hali ile sanayi sektörünün %

90'ın üzerindeki değerleri içeren imalat sanayinin ara malı üreten imalat sanayi kavramı içerisinde yer almaktadır.

Günümüzde döküm kalitesini ve kalıp ömrünü arttırmak için dökülecek metal bileşimi, döküm sıcaklığı, döküm şekline bağlı olarak kullanılan çok çeşitli tipte kaplamalar mevcuttur. Refrakter kaplamalar döküm prosesinin bir parçasıdırlar. Kaplama işlemi, döküm prosesinden bağımsız bir şekilde düşünülemez. Kaplama kullanımı hata oluşumu ve temizleme maliyetlerini düşürmektedir. Kaplama kullanımının sonucunda tekrar işleme, fazla taşlama ya da temizleme gerektiren hatta red veya hurda gibi döküm üretimine kar getirmeyen işlemlerle karşılaşabilinilir.

KAYNAKLAR

American Foundry Society, (2000), “ Mold and Core Coatings Manual”, AFS, Illionis.

American Foundrymen's Society, (1974), “Analysis of Casting Defects”, AFS, Des Plaines.

American Society of Materials, (1988), “Metal Handbook: Casting”, Vol. 15, Metals Park, Ohio.

Aran A., (1999), “Metal Döküm Teknolojisi”, Birsen, İstanbul.

Brown W.F., (1982), “ Coating Compositions For Metal Casting Molds”, United States Patent, Patent No: 4319925, Colony.

Brügger G., (1979), “Process For Applying A Coating to A Centrifugal Casting Mold”, United States Patent, Patent No: 4150709, Werksgelande.

Cho J.W. ve Shibata H., (2001), “Effect of Solidification of Mold Fluxes on The Heat Transfer in Casting Mold”, Journal of Non-Crystalline Solids, Volume 282, Issue 1, 110-117.

Campbell J., (1999), “Castings”, Butterworth-Heinemann, Oxford.

Çavuşoğlu N.E., (1981), “Döküm Teknolojisi I”, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Davies G.J., (1973), “Solidification And Casting”, Applied Science Publishers Ltd., London.

DPT, (2001), VIII. Kalkınma Programı ÖİK Raporu, Ankara.

Eckert E.R.G, Drake R.M., (1971), “Analysis of Heat and Mass Transfer”, McGraw Hill, New York.

Ede A.J., (1967), "An Introduction to Heat Transfer: Principles and Calculations", Pergamon Press, Oxford.

Elliot R., (1988), "Cast Iron Technology", Butterworth, London.

EPA, (1998), "Profile of The Metal Casting Industry", United States Enviromental Protection Agency.

Ferreira I.L., Spinelli J.E., Pires J.C. ve Garcia A., (2005), "The Effect of Melt Temperature Profile on The Transient Metal/Mold Heat Transfer Coefficient During Solidification", Materials Science and Engineering: A, Volume 408, Issues 1-2, 317-325.

Flemings M.C., çev. Başaran M., (1976), "Döküm ve Katılaştırma Tekniği", İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Flinn R.A., (1963), "Fundamentals of Metal Casting", Addison-Wesley Pub. Co., Reading.

Ho K. ve Pehlke, R.D., (1985), "Metal-Mold Interfacial Heat Transfer", Metallurgical Transactions B (Process Metallurgy), Volume 16B, Issue 3 , September 1985, 585-594.

Hodgkinson N., (2004), "Improved Ductile Iron Casting Quality Through Optimized Coating Technology", Ductile Iron News, Issue 1, Ductile Iron Society, Ohio.

Incropera F.P., DeWitt D.P., (2002), "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", J.Wiley, New York.

Jain P.L., (1986), "Principles of foundry technology", Tata McGraw Hill, New Delhi.

Janco N., (1988), "Centrifugal Casting", American Foundrymen's Society, Des Plaines.

Jorstad J.L., Rasmussen W.M., (1997), "Aluminum Casting Technology", AFS, Illionis.

Kayıkçı R., (1999), “Metal-Mould Contact and Heat Transfer During Casting Solidification”, University of Manchester, Manchester.

Kim T. ve Lee Z., (1997), “Time-Varying Heat Transfer Coefficients Between Tube-Shaped Casting and Metal Mold”, International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 40, Issue 15, 3513-3525.

Kotzin E.L., (1981), “Metalcasting and Molding Processes”, American Foundrymen's Society, Des Plaines.

Kreith F., Black W.Z., (1980), “Basic Heat Transfer”, Harper & Row, New York.

Lau F., Lee W.B., Xiong S.M. ve Liu B.C., (1998), “A Study of The Interfacial Heat Transfer Between An Iron Casting and A Metallic Mould”, Journal of Materials Processing Technology, Volume 79, Issues 1-3, 25-29.

Maeda Y ve Masuda J, (2003), “Release Agent For Die Casting”, United States Patent, Patent No: 6635606, Fukui.

Mirbagheri S.M.H., Esmaeileian H., Serajzadeh S., Varahram N. ve Davami P., (2003), “Simulation of melt flow in coated mould cavity in the casting process”, Journal of Materials Processing Technology, Volume 142, Issue 2, 493-507.

Ölçer B., (2004), “Santrifüj Döküm”, Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Adapazarı.

Ölçer B., (2004), “Küresel Grafitli Dökme Demir Üretimi”, Mühendislik Projesi, Sakarya Üniversitesi, Adapazarı.

Skorupa J.S., (1992), “Refractory Coating Composition”, United States Patent, Patent No: 5155070, Highland.

Skubou M.J., Spiwak J.J. ve Hanesworth R.F., (1978), “Mold and Core Wash”, United States Patent, Patent No: 4096293, Columbus.

Skubou M.J., Spiwak J.J. ve Hanesworth R.F., (1978), “Mold and Core Wash”, United States Patent, Patent No: 4096293, Columbus.

Stone D.T. ve Thomas B.G., (1999), “Measurement and Modeling of Heat Transfer Across Interfacial Mold Flux Layers”, Canadian Metallurgical Quarterly, Volume 38, Issue 5, 363-375.

Stötzel R., Bodur A., (2005), “Importance of Paint Use”, 12th International Metallurgy-Materials Congress and Fair, 28th Sept-02nd Oct 2005, İstanbul.

Stötzel R., (2004), “Improved Performance By Engineered Coatings”, Proceedings of 66th World Foundry Congress, Vol 1, 22-25 Eylül 2004, İstanbul, 469-475.

Şahin H.M., Kocatepe K., Kayıkçı R. ve Akar N., (2006) “Determination of Unidirectional Heat Transfer Coefficient During Unsteady-State Solidification at Metal Casting–Chill Interface”, Energy Conversion and Management, Vol. 47, Pages 19-34.

Şen Ö., (2004), “Dökme Demirlerde Isıl Analiz Yöntemiyle Yapı Belirlenmesi”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Takeo A., Mamabu M., Kouriki Y., Shoichi N., Masahiro M. ve Sadahiro S., (2004), “Mold Releasing Agent For Centrifugal Casting Mold.”, United States Patent, Patent No: 6699312, Wako.

Trovant M. ve Argyropoulos S.A., (1998), “The Implementation of A Mathematical Model to Characterize Mold Metal Interface Effects in Metal Casting”, Canadian Metallurgical Quarterly, Volume 37, Issues 3-4, 185-196.

Yılmaz F., (2003), “İçme-Atık Su ve Gaz Dağıtım Şebekelerinde Dökme Demirler ve Düktil Demir Uygulamaları”, İSKİ Yayını, İstanbul.

Yılmaz F., Ölçer B., Cevher Ö., (2005), “Savurma Dökümde Kalıp Kaplamaları”, 12th International Metallurgy-Materials Congress and Fair, 28th Sept-02nd Oct 2005, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi : 29.11.1982

Doğum Yeri : Adapazarı

Ortaöğrenim : 1993-2000 Hendek Atike Hanım Anadolu Lisesi

Lisans : 2000-2004 Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans : 2004-2006 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Müh. Anabilim Dalı Malzeme Programı

Yayınlar;

1. ÖLÇER B., AKINCI A., YILMAZ F.; **“Düktil Demir Boru Üretimi”**, Metal-Makine Dergisi, Yıl 17, Sayı 148, s. 248-252, Temmuz-Ağustos 2004, İstanbul.
2. YILMAZ F., ÖLÇER B., CEVHER Ö.; **“Savurma Dökümde Kalıp Kaplamaları”**, 12th International Metallurgy-Materials Congress and Fair, 28th Sept-02nd Oct 2005, İstanbul.