

152974

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİK ARK OCAĞI BACA TOZLARININ
SİNERLENME ÖZELLİKLERİ VE PLAZMA
KAPLAMADA DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metalurji Mühendisi Burhan Dinç

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME MÜH.
Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Recep ARTIR**

EYLÜL 2004

152974

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİK ARK OCAĞI BACA TOZLARININ
SİNERLENME ÖZELLİKLERİ VE PLAZMA
KAPLAMADA DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metalurji Mühendisi Burhan Dinç

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME MÜH.

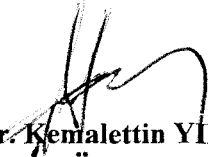
Bu tez 20/09/2004 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.



Yrd. Doç. Dr. Recep ARTIR
Jüri Başkanı



Prof. Dr. Cuma BİNDAL
Üye



Prof. Dr. Kemalettin YILMAZ
Üye

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmam sırasında yardımlarını esirgemeyen çok sevdiğim aileme minnettarım. Tüm çalışmalarım boyunca engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım sevgili hocam Yrd. Doç. Dr. Recep Artır' a teşekkür ederim. Çalışmalarım sırasında sürekli olarak bana destek veren Ersan Demir ve Ebubekir Cebeci' ye, Araştırma görevlileri Serdar Arslan' a, Mediha İpek' e, Őükran Demirkıran' a ve Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümü hocalarına teşekkür ederim. Tez çalışmalarım sırasındaki yardımlarından dolayı İnş. Y. Müh. Dr. Sedat Sert' e, Y. Orhan Sancaktar' a, Bülent İlan' a ve diğer emeği geçenlere teőekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım boyunca bana desteklerini esirgemeyen Adapazarı ve Erenler Belediyeleri Hal Tesisleri İşletme Birliği çalışanlarına teşekkür ederim. Bu alışma sırasında çevirileriyle bana yardımlarını esirgemeyen sevgili ağabeyim Elektrik Y. Müh. Hilmi Din' e de teşekkür ederim.

Burhan DİN

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
ELEKTRİK ARK OCAKLARI.....	5
2.1 Elektrikli Ergitme Fırını.....	5
2.1.1 Elektrik ark ocakları.....	5
2.2 Ark Ocaklarının Sınıflandırılması.....	6
2.2.1 Astarlarına göre sınıflandırma.....	6
2.2.1.1 Asit astarlı ark fırınları.....	6
2.2.1.2 Bazik astarlı ark fırınları.....	7
2.2.2 Oluşturulan arka göre sınıflandırma.....	8
2.2.2.1 Endirekt ark fırınları	8
2.2.2.2 Direkt ark fırınları.....	8
2.3 Ark Ocaklarının Genel Yapısı.....	10
2.3.1 Elektrik ark ocaklarında ergitme işlemi.....	11
2.3.1.1 Toz yayılımı (Emisyonu)	13
2.3.1.2 Genel olarak toz oluşumu ve kazanılması.....	13

2.3.1.3	Demir üretiminde oluşan toz ve çamurlar.....	15
2.3.1.4	Toz tutucular.....	15
2.3.1.4.1	Genel bilgiler.	15
2.3.1.4.2	Siklonlar.....	16
2.3.1.4.3	Elektrostatik çöktürücüler.....	18

BÖLÜM 3.

E.A.O. BACA TOZLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	20
3.1 Demir Çelik Üretimindeki Atıklar.....	20
3.2 E.A.O. Baca Tozlarının Değerlendirilmesi.....	21
3.3 Waelz Oksit.....	22
3.4 Alkali Liçi.....	24

BÖLÜM 4.

PLAZMA PÜSKÜRTME YÖNTEMİ	25
4.1 Plazmanın Tanımı ve Oluşumu.....	25
4.2 Plazma Gazları.....	31
4.2.1 Azot.....	32
4.2.2 Hidrojen.....	32
4.2.3 Argon.....	32
4.2.4 Helyum.....	33
4.3 Plazma Püskürtme Sistemi.....	33
4.3.1 Güç ünitesi.....	34
4.3.2 Gaz besleme ünitesi.....	34
4.3.3 Toz besleme ünitesi.....	35
4.3.4 Plazma püskürtme tabancası.....	35
4.4 Kaplamaların Oluşumu.....	36
4.4.1 Partikül taşınımı.....	36
4.4.2 Plazmada partikül hareketi.....	37
4.4.3 Erimiş malzeme ile ortam atmosferinin etkileşimi.....	37
4.4.4 Partiküllerin ana malzemeye çarpması.....	37
4.4.5 Sprey esnasında kaplama malzemesinin fiziksel ve kimyasal dönüşümü.....	38

BÖLÜM 5.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	39
5.1 Çalışma Programı.....	39
5.2 Hammadde Temini ve Hazırlanması.....	39
5.3 Altlık Malzemelerinin Yüzeyinin Hazırlanması.....	41
5.4 Karışımın Hazırlanması ve İlaveler.....	42
5.5 Al ve Cam Tozu İlavesi.....	43
5.6 Plazma Sprey Kaplama Sistemi ve Kaplama İşlemi.....	43
5.7 Kaplamaların Karakterizasyonu.....	44
5.7.1 Kaplanmış numunelerin mikroyapı incelemesi için hazırlanması.....	44
5.7.2 Kaplama kalınlıklarının ve yüzey pürüzlülüklerinin ölçülmesi.....	45
5.7.3 Optik mikroyapı incelemesi.....	45
5.7.4 Kaplamaların bağ mukavemetinin incelenmesi.....	55
5.8 Sinterlenmiş Numunelere Uygulanan İşlemler.....	57
5.8.1 Hammadde temini.....	57
5.8.2 Deneylerde kullanılan cihaz ve ekipmanlar.....	57
5.8.3 Deneyin akış çizelgesi.....	61
5.8.4 Numune hazırlama işlemleri.....	62
5.8.4.1 Tozun hazırlanması.....	62
5.8.4.2 Şekillendirme.....	62
5.8.4.3 Kurutma ve pişirme.....	63
5.8.4.4 Deney numunelerine uygulanan testler.....	64
5.8.4.5 Sinterlenmiş numunelerin optik mikroskopla mikroyapı incelemesi.....	72
5.8.4.6 Sinterlenmiş numunelere uygulanan XRD çalışması....	89
5.8.4.7 Sertlik ölçümü.....	94

BÖLÜM 6.

SONUÇLARIN İRDELENMESİ.....	96
6.1 Baca Tozunun Karakterizasyonu ve Toz Hazırlama.....	96
6.2 Kalsinasyon.....	97
6.3 Şekillendirme ve Pelet Basım.....	97

6.4	Kurutma.....	97	
6.5	Sinterleme.....	98	
6.6	Bulk Yoğunluk ve Porozite Ölçümü.....	98	
6.7	Su Emme Testi.....	98	
6.8	Optik Mikroyapı İnceleme Sonuçları.....	99	
6.9	Sertlik Ölçümü.....	99	
6.10	Plazma Kaplama Sonuçlarının İrdelenmesi.....	100	
BÖLÜM 7.			
GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....			101
7.1	Deneysel Çalışmaların Genel Sonuçları.....	101	
7.2	Öneriler.....	103	
KAYNAKLAR.....			104
ÖZGEÇMİŞ.....			106

SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

- EAO : Elektrik ark ocağı
EAF : Elektrik ark fırını
BT : Baca tozu
DTA : Diferansiyel termal analiz
 h_0 : Presleme sonrası numunenin yüksekliği
 h_k : Kurutma sonrası numunenin yüksekliği
 h_p : Pişirme sonrası numunenin yüksekliği
 W_k : Kurutma sonrası numunenin ağırlığı (gr)
 W_p : Pişirme sonrası numunenin ağırlığı (gr)
 W_d : 24 saat suda bekletilme sonrası numune ağırlığı (gr)
 W_k : 110 °C' de kurutma sonrası numune ağırlığı (gr)
 d_k : Bulk yoğunluk

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1	Elektrik ark fırının çalışma prensibi.....	5
Şekil 2.2	Ark ocaklarının genel görünümü.....	11
Şekil 2.3	Genel siklon dizaynı ve boyutları.....	17
Şekil 2.4	Siklon seperatör.....	18
Şekil 2.5	Elektrostatik çöktürücü.....	19
Şekil 3.1	Berzelius Waelz tesisinde uygulanan akım şeması.....	22
Şekil 4.1	Nötral bir atomun şematik gösterimi.....	27
Şekil 4.2	Diatomik moleküllerin disasyasyonu.....	28
Şekil 4.3	İyonizasyon ve plazma gazının oluşumu.....	28
Şekil 4.4	Plazma ışımındaki sıcaklık dağılımı.....	29
Şekil 4.5	a) Argon, b) Azot plazmasındaki sıcaklık dağılımı.....	30
Şekil 4.6	Plazma püskürtme sisteminin bileşenlerinin şematik olarak gösterimi.....	34
Şekil 4.7	Plazma püskürtme tabancası.....	36
Şekil 4.8	Plazma alevinde toz partiküllerin deformasyonu ve ana malzeme ile bağlanması.....	38
Şekil 5.1	EAO baca tozu tane boyut dağılımı.....	39
Şekil 5.2	EAO baca tozunun DTA analiz eğrisi.....	40
Şekil 5.3	%100 Baca tozu kaplanmış 1040 çeliğinin optik mikroyapısı.....	46
Şekil 5.4	%100 Baca tozu ile kaplanmış 1040 çeliğinin optik mikroyapısı....	46
Şekil 5.5	%100 Baca tozu ile kaplanmış 1040 çeliğinin optik mikroyapısı.....	47
Şekil 5.6	%100 Baca tozu ile kaplanmış 1040 çeliğinin optik mikroyapısı.....	47

Şekil 5.7	%100 Baca tozu ile kaplanmış 8620 çeliğinin optik mikroyapısı.....	48
Şekil 5.8	%100 baca tozu ile kaplanmış 8620 çeliğinin optik mikroyapısı.....	48
Şekil 5.9	%100 Baca tozu ile kaplanmış 8620 çeliğinin optik mikroyapısı.....	49
Şekil 5.10	%80 Baca tozu + %20 Al tozu ile kaplanmış 1040 çeliğinin optik mikroyapısı.....	49
Şekil 5.11	%80 Baca tozu + %20 Al tozu ile kaplanmış 1040 çeliğinin optik mikroyapısı.....	50
Şekil 5.12	%80 Baca tozu + %20 Al tozu ile kaplanmış 1040 çeliğinin optik mikroyapısı.....	50
Şekil 5.13	%80 Baca tozu + %20 Al tozu ile kaplanmış 8620 çeliğinin optik mikroyapısı.....	51
Şekil 5.14	%80 Baca tozu + %20 Al tozu ile kaplanmış 8620 çeliğinin optik mikroyapısı.....	51
Şekil 5.15	%80 Baca tozu + %20 Al tozu ile kaplanmış 8620 çeliğinin optik mikroyapısı.....	52
Şekil 5.16	%80 Baca tozu + %20 cam tozu ile kaplanmış 1040 çeliğinin optik mikroyapısı.....	52
Şekil 5.17	%80 Baca tozu + %20 cam tozu ile kaplanmış 1040 çeliğinin optik mikroyapısı.....	53
Şekil 5.18	%80 Baca tozu + %20 cam tozu ile kaplanmış 1040 çeliğinin optik mikroyapısı.....	53
Şekil 5.19	%80 Baca tozu + %20 cam tozu ile kaplanmış 8620 çeliğinin optik mikroyapısı	54
Şekil 5.20	%80 Baca tozu + %20 cam tozu ile kaplanmış 8620 çeliğinin optik mikroyapısı.....	54
Şekil 5.21	%80 Baca tozu + %20 cam tozu ile kaplanmış 8620 çeliğinin optik mikroyapısı.....	55
Şekil 5.22	Kaplanmış çeliklerin makro görüntüsü.....	56
Şekil 5.23	Kalsinasyon fırını (Hareaus).....	57
Şekil 5.24	Numune presleme cihazı (Dartec).....	58
Şekil 5.25	Sinterleme fırını (Lenton).....	59
Şekil 5.26	Optik mikroskop (Olympus).....	60
Şekil 5.27	Vickers sertlik cihazı.....	60
Şekil 5.28	Numune üretimi ve testlerin akış diyagramı.....	61
Şekil 5.29	%Ağırlık kaybı ve sinterleme sıcaklığı arasındaki ilişki.....	66
Şekil 5.30	Numune çapı ve toplam boyutsal değişme arasındaki ilişki.....	66

Şekil 5.31 Numune yüksekliği ve toplam boyutsal değişme arasındaki ilişki...	67
Şekil 5.32 Bulk yoğunluk ve sinterleme sıcaklığı arasındaki ilişki.....	70
Şekil 5.33 Porozite ve sinterleme sıcaklığı arasındaki ilişki.....	70
Şekil 5.34 %Su emme ve sinterleme sıcaklığı arasındaki ilişki.....	72
Şekil 5.35 900 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	73
Şekil 5.36 900 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	74
Şekil 5.37 900 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	74
Şekil 5.38 900 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	75
Şekil 5.39 900 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	75
Şekil 5.40 900 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	76
Şekil 5.41 900 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	76
Şekil 5.42 900 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	77
Şekil 5.43 1000 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	77
Şekil 5.44 1000 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	78
Şekil 5.45 1000 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	78
Şekil 5.46 1000 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	79
Şekil 5.47 1000 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	79
Şekil 5.48 1000 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	80
Şekil 5.49 1000 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	80
Şekil 5.50 1000 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	81
Şekil 5.51 1100 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	81
Şekil 5.52 1100 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	82
Şekil 5.53 1100 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	82
Şekil 5.54 1100 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	83

Şekil 5.55	1100 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	83
Şekil 5.56	1100 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	84
Şekil 5.57	1100 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	84
Şekil 5.58	1100 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	85
Şekil 5.59	1200 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	85
Şekil 5.60	1200 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	86
Şekil 5.61	1200 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	86
Şekil 5.62	1200 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	87
Şekil 5.63	1200 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	87
Şekil 5.64	1200 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	88
Şekil 5.65	1200 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	88
Şekil 5.66	1200 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.....	89
Şekil 5.67	900 °C 'de 1 saat sinterlenen EAF baca tozunun XRD patterni.....	90
Şekil 5.68	900 °C 'de 2 saat sinterlenen EAF baca tozunun XRD patterni.....	91
Şekil 5.69	1000 °C 'de 1 saat sinterlenen EAF baca tozunun XRD patterni.....	91
Şekil 5.70	1000 °C 'de 2 saat sinterlenen EAF baca tozunun XRD patterni.....	92
Şekil 5.71	1100 °C 'de 1 saat sinterlenen EAF baca tozunun XRD patterni.....	92
Şekil 5.72	1100 °C 'de 2 saat sinterlenen EAF baca tozunun XRD patterni.....	93
Şekil 5.73	1200 °C 'de 1 saat sinterlenen EAF baca tozunun XRD patterni.....	93
Şekil 5.74	1200 °C 'de 2 saat sinterlenen EAF baca tozunun XRD patterni.....	94
Şekil 5.75	Sertlik ve sinterleme sıcaklığı arasındaki ilişki.....	95

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1	Ark ocaklarının güçlerine göre sınıflandırılması.....	9
Tablo 2.2	Ark ocaklarının oluşturulan arka göre sınıflandırılması.....	9
Tablo 2.3	Karbon ve düşük alaşım çelikleri üreten tesislerde baca tozu bileşimi.....	13
Tablo 2.4	Paslanmaz çelik, özel alaşımlar üreten tesislerde baca tozu Analizi.....	14
Tablo 3.1	EAO tozlarını değerlendirmeye yönelik yöntemler.....	23
Tablo 4.1	Plazma gazlarının temel fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	31
Tablo 5.1	Elektrik ark fırını baca tozu analizi.....	41
Tablo 5.2	Altlık malzemelerin kimyasal bileşimleri.....	41
Tablo 5.3	Toz karışımlarının bileşimleri.....	42
Tablo 5.4	Kaplama işleminde kullanılan sprej parametreleri.....	43
Tablo 5.5	Deney sonucunda elde edilen kaplama kalınlıkları.....	45
Tablo 5.6	Yüzey pürüzlülük değerleri.....	45
Tablo 5.7	Kaplanmış numunelerin bağ mukavemeti sonuçları.....	55
Tablo 5.8	Deney numunelerinin kod numaraları.....	63
Tablo 5.9	Deney numunelerinin %kuruma, %, pişme, %toplam boyutsal değişiminin çapa ve yüksekliğe göre hesaplamaları.....	65
Tablo 5.10	Deney numunelerinin %ağırlık kaybı.....	65
Tablo 5.11	Bulk yoğunluk ve görünür gözenek yüzdeleri hesaplamaları.....	69
Tablo 5.12	Deney numunelerinin %su emme testi sonuçları.....	71
Tablo 5.13	XRD 'de tespit edilen fazlar.....	90
Tablo 5.14	Deney numunelerinin sertlik değerleri.....	94

ÖZET

Anahtar Kelimeler : EAO, Baca Tozu, Yeniden Değerlendirme, Plazma Kaplama, Sinterleme

Elektrik Ark Ocağı (EAO) baca tozları bileşimlerinde önemli ölçüde Fe , Zn , Pb ve diğer Cd , Cl, F vb. gibi elementleri içerir. Bu baca tozları çevre korumacıları ve dünya çapında geliştirilmeye çalışılan çevre koruma yasaları tarafından zehirli atık olarak kabul edilmekte, çevre ve insan sağlığı açısından tehdit edici olarak değerlendirilmektedir.

Türkiye'deki EAO'lı tesislerde yılda 15 milyon ton çelik üretildiğine göre ton çelik başına 15 kg EAO baca tozu oluştuğu ve bu tozun da (225000 ton) % 20 Zn içerdiği varsayılacak olursa, tozdaki Zn potansiyeli 45000 tondur. Bu da Türkiye çinko ihtiyacının önemli bir kısmını karşılamaktadır.

Bu bilgiler ışığında EAO'lı özel bir tesisten temin edilen baca tozlarının geri dönüşümü amacıyla yapı malzemesi olarak değerlendirilip değerlendirilemeyeceği konusunda bir çalışma yapılmıştır. Çalışma 2 ayrı proje şeklinde yapılmıştır. İlk projede bu tozların plazma kaplama tozu olarak değerlendirilmesi araştırılmış olup, 2 ayrı çelik türüne yapılan kaplamalarda EAO baca tozunun bir plazma kaplama tozu olarak kullanılabileceği tespit edilmiş, optik mikroyapıları incelenmiş ve kaplamaların bağ mukavemeti ölçülmüştür.

Tez çalışmasının 2. aşamasında ise baca tozlarının seramik bir malzeme olarak değerlendirilmesi hedeflenmiş olup bu amaçla tozlar şekillendirilerek sinterlenip sinterlenemeyeceği araştırılmıştır. Çalışma sonucunda tozların katkısız sinterlenebildiği görülmüş olup farklı sıcaklıklarda sinterleme sonrası elde edilen malzeme bulk yoğunluk, porozite, su emme, sertlik testleri ile karakterize edilmiştir. Ayrıca optik mikroskop ile yapılan mikroyapı incelemesi ile sinterlemenin sıcaklık ve süre arttıkça ilerlediği tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre EAO baca tozlarının sinterlenerek diğer seramik ürünlere göre (özellikle seramik yapı malzemeleri) karşılaştırılabilir sonuçlar elde edilebileceği tespit edilmiştir.

SINTERING PROPERTIES OF ELECTRIC ARC FURNACE FILTER DUST AND ITS UTILISATION IN PLASMA COATING

SUMMARY

Keywords: EAF, Filter Dust, Recycling, Plasma Coating, Sintering

Filter dust is one of the Electric Arc Furnace's (EAF) wastes, which contains considerable amount of Fe, Zn, Pb and other elements such as Cd, Cl, F. This waste is considered as hazardous material all over the world by the environmental agencies. Besides it is also classified as treating waste against human health and the environment.

Steelmaking plants with EAF produce 15 millions tons of steel per year in Turkey of which 15 kg waste (equals to 225.000 ton) dust extracted per ton of steel from the EAF's operation. This filter dust contains 20 % of zinc. Considering the steelmaking figures it may be said that zinc potential of filter dust as is around 45.000 tons that meets most of the domestic zinc demand.

In the light of all this facts, the aim of this study is to evaluate the possibility of utilisation and recycling of steel fly ash waste in the manufacturing of ceramic material and as a plasma coating starting powder. Filter dust was supplied from a domestic steel plant producing steel with EAF.

In the first work, it was attempted to utilise steel fly ash as plasma coating powder on two different steel substrate. The result was satisfactorily and coating was accomplished.

Plasma coated samples were characterised by bonding strength and microstructure was investigated by optical microscopy

In the second step, waste powder was pressed into pellets without any sintering promoters and fired at various sintering temperatures and sintering soaking time. Characterisation of the sintered pellets were performed including XRD, apparent porosity, bulk density, water absorption, hardness tests and microstructural features after firing were also examined by optical microscopy.

It was concluded that EAF filter dust could be used as plasma coating powder. Increasing sintering temperature and time could improve its sintering and physical properties. Consequently, sintering properties of EAF filter dust was determined to be comparable with building ceramics.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde toplumların gelişmişlik ölçülerinden birisi olarak kabul edilen çelik ürünlerin kullanım miktarı , toplumların milli gelirleri ile doğrudan ilişkilidir. Bu açıdan çelik ürünlerin kullanım oranındaki artış toplumların sanayileşme yönündeki ilerlemeleri ve milli gelirlerindeki artışı sağlayan önemli bir göstergedir [1].

Dünyada günümüzde yaklaşık olarak 800 milyon ton/ yıl çelik üretilmektedir. Bu miktarın yaklaşık %70'i cevherden başlayarak üretim yapan entegre demir-çelik tesislerinde , %30'u hurda kullanarak üretim yapan elektrik ark fırınlı (EAO) tesislerinde üretilmektedir [2].

Türkiye'de 2000 yılı itibariyle kamu ve özel sektöre ait çelik üretimi 17.000.000 ton olarak gerçekleştirilmiştir. Söz konusu üretimin %65'lik bölümü elektrik ark ocaklı tesisler , %35'lik bölümü ise entegre tesisler tarafından yapılmıştır.

EAO yöntemi doğrudan hurda değerlendirmeye yönelik olduğundan bu teknolojinin yaygınlaşmasını teşvik eden unsurlardan biri olan ve giderek gelişen otomotiv endüstrisinin , eskiye kıyasla daha az dayanıklı mal üretmesi ve moda akımlarının her yıl milyonlarca aracın ekonomik ömürlerini tamamlamadan otomobil mezarlıklarına gönderilmesidir. Bu açıdan bakıldığında EAO baca tozları ikincil kaynaklı çelik üreticileri için sürekli önem kazanan tekno – ekonomik bir perspektif açacaktır. Otomotiv sanayinde korozyona dayanım için çelik saçların galvanizleme işlemi ile Zn ile kaplanması ve böyle otomobillerin hurdaya ayrıldıklarında çıkan yüksek Zn içerikli hurda önemli bir çevre problemini de beraberinde getirmektedir [3]. EAO'nda çelik üretim sürecinde önemli miktarda çok ince boyutlu oksit tozlarının açığa çıktığı ve bu tozların değişik biçimlerde çevreye atıldığı bilinen bir gerçektir. Çıkan tozlar genelde üretim esnasında fırına yüklenen hurdanın kalitesine ve bileşimine bağlı olmakta ayrıca üretim yapılan çeliğin cinsine göre de [4] fırından

fırına değişiklik göstermektedir. Olaya ekonomik açıdan bakılacak olursa EAO baca tozları bileşimlerinde önemli ölçüde Fe , Zn , Pb , Cd , Cl , F vb. gibi elementleri içerir. Bu baca tozları çevre korumacıları ve dünya çapında geliştirilmeye çalışılan çevre koruma yasaları tarafından zehirli atık olarak kabul edilmekte , çevre ve insan sağlığı açısından tehdit edici olarak değerlendirilmektedir. Toplanarak veya toz halinde açık araziye atılan ve zaman içinde bir yığın oluşturan baca tozları , çok ince partiküllü olmaları nedeniyle kolayca uçuşabilmekte ve içerdikleri ağır metallerin suda çözünebilir tuzlar oluşturması yoluyla da taban sularını zehirleyebilmektedir. Bu tozlardaki metallerin çeşitli işlemler sonucu yeniden kazanılması ve metalik demirin yeniden fırına geri döndürülmesi , hem ekonomi açısından hem de çevre ve insan sağlığı açısından göz ardı edilmemesi gereken bir durumdur. Ancak ülkemizde çevre ve insan sağlığı kavramları henüz tam anlamıyla yerleşmemiş olduğu için bu atıklar doğal çevreye veya atmosfere bırakılmaktadır.

EAO'nın kullanımından meydana gelen toz miktarı , fırından çeliği alma süreleri arasında sıvı çelik miktarının yaklaşık 1.3 – 1.8'i kadardır. Bu tozlardaki en büyük metalik değeri oluşturan çinkonun oranı, işlenen galvanizli hurdanın payına göre %7 – 40 arasında değişmektedir [4].

Türkiye'deki EAO'lı tesislerde yılda 15 milyon ton çelik üretildiğine göre ton çelik başına 15 kg EAO baca tozu oluştuğu ve bu tozun da (225000 ton) %20 Zn içerdiği varsayılacak olursa, tozdaki Zn potansiyeli 45000 tondur. Bu da Türkiye çinko ihtiyacının önemli bir kısmını karşılamaktadır.

Bugüne kadar EAF baca tozlarının çevre ve insan sağlığına zarar vermeden değerlendirilmesi için;

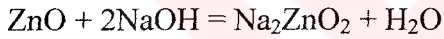
EAF tozunun çevreye zarar vermeden çimento yapıcı silikat bağlayıcı ilavesi ile atılması

1-Tozdaki demiri geri kazanabilmek ve çevreye atmamak için tozun geri çevrimi ve bir sonraki işlem kademesi için daha yüksek kalitede toz üretimi [5].

2-Tozdan metal değerinin ekonomik kazanımı için geri kazanımı ve artığın zehirliliğinin giderilmesi [5].

Bu bakış açısından hareket ile günümüzde hakim teknolojisinde EAF baca tozlarını değerlendirmek üzere pirometalurjik ve hidrometalurjik uygulamalar geliştirilmiştir. Tozların doğrudan sıcak – asidik liğle değerlendirilmesi , bünyede bulunan yüksek demir ve diğer bileşenler açısından çalışma zorluğu ve tam bir Zn/Pb ayrımı yapmayı önlemektedir. Pirometalurjik yöntemler (waelz, HIR, HRT, SKF plazma vb.) kontrollü redüksiyonla (Zn + Pb) O tozu veya metalik Zn üretimine yöneliktir. Bu yöntemlerde tozlardaki çinko %95 , kurşun ise %90 verimle kazanılmaktadır.

Hidrometalurjik yöntemlerde ise en etkini AMAX veya SERH proses adı altında uygulanan kostik liçidir.



reaksiyonu ile sodyum çinkat olarak çözeltiye alınan çinko, sodyum plumbat halindeki kurşunun yine çinko ile sementasyonundan sonra elektrolit olarak kazanılmaktadır [6].

EAO ile elik üretimde ortaya çıkan baca tozlarının 5 mikron ve daha üzerine tutacak şekilde elektro filtreler kullanılmaktadır.

Ağır metaller içeren EAO baca tozu sağlığa zararlı olacağı düşüncesi ile açıkta depolanması veya biriktirilmesi evre bakanlığı tarafından yasaklanmış olup, sızdırmaz torbalar içerisinde yeraltına gömülmektedir.

Ancak geliştirilen bir proses ile baca tozu içerisinde kazanılması mümkün olan çinko metalinin bir ürün olarak elde edilmesinin yanı sıra 1300 °C sıcaklıkta sinterleme sonucu içindeki zararlı elementleri ve gang mineralleri suda çözünmeyen ve genelde metal bileşiklerden oluşan granüle malzemenin yol inşaatlarında dolgu veya stabilize yol malzemesi olarak kullanımında olumlu sonuç alınmış olup sağlığa veya çevreye zararlı bir etkisi tespit edilmemiştir [7].

Görüldüğü gibi ark ocakları baca tozu tamamı çevre sağlığını etkilemeksizin önemli değer ihtiva eden çinko metali kazanımından sonra yol inşaatlarında dolgu veya stabilize malzeme olarak kullanılmak suretiyle ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır. Sonuç olarak bu atığın yeniden değerlendirilmesi ile hem çevre sağlığı hem de yeraltı su kaynakları bu zararlı maddeden arıtılarak tüm canlı türleri için zarar vermeyecek ve faydalı bir hale dönüştürme gerçekleştirilecektir.

Yukarıda bahsedilen yeniden kazanma veya değerlendirme metodları haricinde peletleme yoluyla toprakta çözünme hızını veya yeraltı sularına karışma ihtimalini toplama ve yüzey alanının azaltarak zararı kısmen engelleme işlemleri de yapılmaktadır.

Çünkü Zn çok hızlı olarak topraktan yer altı sularına ve oradan da içme sularına karışabilen çok aktif ağır metallere birisi olması sebebiyle sadece insan sağlığını değil tabiatta veya sularında yaşayan canlı türlerini de tehdit eden bir metaldir [8].

Bu çalışmada EAO baca tozlarının direkt olarak çevreye atılması ve bunun da çevre ve insan sağlığı açısından zararlarını önleyebilmek amacıyla alternatif bir değerlendirme sahası olan seramik endüstrisinde yapı malzemesi ve çeliklerde kaplama malzemesi olarak değerlendirilip değerlendirilemeyeceği araştırılmıştır. Böylece çevreye zarar verme ihtimali olan bu atığın katma değeri olan bir ürün ve fonksiyonel bir kaplama başlangıç hammaddesi olması yoluyla değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

BÖLÜM 2. ELEKTRİK ARK OCAKLARI

2.1. Elektrikli Ergitme Fırını

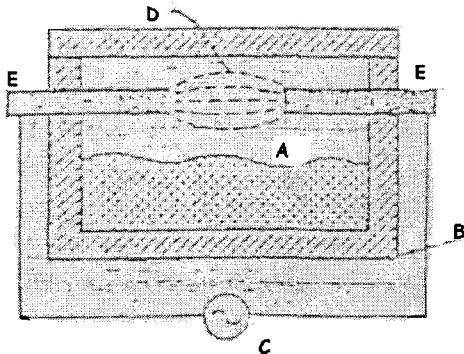
Elektrik enerjisi kullanarak ısı elde edilen tüm fırınlar olarak tanımlanabilir. Bu fırınlar fosil yakıtların (kömür, petrol, doğalgaz vb.) yanmasıyla, doğrudan ısı üreten fırınlardan farklıdır. Elektrik fırınları elektrik enerjisi ısı enerjisine dönüştürerek, katı maddelerin (özellikle metallerin) ergime noktalarına ve daha yüksek sıcaklıklara ısıtılmaları için kullanılır. Endüstride geniş kullanım alanı olan üç ayrı tipte elektrik fırınları vardır.

- Elektrik Direnç Ocakları
- Elektrik Ark Ocakları
- Elektrik Endüksiyon Ocakları

Ergitme fırınlarının görevi, belli ağırlıktaki ve bileşimdeki metali, istenen ergime hızı ile, ekonomik verimlilik ile ergitip döküm sıcaklığına erdirmektir.

2.1.1. Elektrik ark ocakları

Ark ile metal ergitmenin prensibi ilk defa 1880 yılında İngiltere’de Sör William Siemens tarafından açıklanmıştır. Daha sonraları bu teknoloji gelişerek bugüne kadar gelmiştir [1].



A : Isıtılacak ya da ergitilecek metal veya malzeme.

B : Refrakter fırın astarı

C : Direnç

D : Elektrik

E : Elektrot

Şekil 2.1. Elektrik Ark Fırının Çalışma Prensibi [1]

Aralarında belli aralık bulunan iki iletken ucun, diğereine elektrik akımı geçerken bir ark akımı meydana gelir. Bu olay sonucu yüksek ısı ortaya çıkar. Bu ısıdan yararlanarak yapılan ocaklara “ELEKTRİK ARK OCAKLARI” denir. Arkın meydana gelmesinde elektrotlar kullanılır.

Elektrik enerjisi, ilk oluşan elektrik arki ile dönüşerek ısı meydana gelir. İlk elektrot arasında bağlayıcı bir g temin edilir. Ark yüksek sıcaklıkta (yaklaşık 3700 C) gerçekleşir ve burada ısı radyasyonla iletilir. Elektrot malzemesi olarak genellikle yüksek sıcaklığa dayanabilen grafit elektrotlar kullanılır. Ark fırınları, elik alaşımlarının, ferro alaşımların ve diğer maddelerin ergitilmesinde kullanılır. Bunun için çalışma sıcaklığı 100–3000 C arasında değişir. Şekil 2.1’de ark fırınının çalışma prensibi verilmiştir [1].

2.2. Ark Ocaklarının Sınıflandırılması

2.2.1. Astarlarına göre sınıflandırma

elik döküm endüstrisinde kullanılan elektrik ark fırınları astar yapısı göz önüne alınarak bazik ve asidik astarlı ark fırınları olmak üzere ikiye ayrılır.

2.2.1.1. Asit astarlı ark fırınları

Asit curuf esas olarak silis ile doyurulmuş demir manganez silikattır. Pratikte daima oksitleyici asit curuf altındaki rafinasyon işlemi başta Mn ve Si olmak üzere oksitlenebilen metaller ve C’nun oksitlenerek çıkışının kontrolünden ibarettir. Çünkü asit curuftaki P ve S dengeli değildir. Bu asit prosesinin kullanılmasını etkileyen bir faktördür.

Asit karakterli astar kullanılan direkt elektrik ark fırınları parça döküm üretimi açısından önem arz eder. Bunun sebebi aşağıdaki Şekilde sıralanabilir :

- 1-Yüksek ergitme hızı ve düşük kapasiteli elik üretiminin çabukluğu (1 – 10lt).
- 2-Bu fırınlardaki refrakter maliyetinin diğer proseslerden daha az olması [1].

3-Özellikle küçük dökümhanelerde çalışma esnekliğinin yüksek olması.

4-Parça dökümler için maksimum akıcılığın sağlanması amacıyla yüksek sıcaklıkta çalışabilmesi.

5-Asit cürufun viskoz olması ve boşaltma esnasında kontrol edilebilmesi.

Asit prosesin en önemli dezavantajı P ve S' ün tam olarak metalden arıtılamamasıdır. Bu nedenle fırına şarj edilecek hurdalar dikkatle seçilmelidir. Ayrıca alaşım elementlerinin yüksek oranda tekrar edilmesi mümkün değildir.

2.2.1.2. Bazık astarlı ark fırınları

Bazık cüruf çok kompleks bir sistemdir. Bazık curuf hem oksitleyici hem de redükleyici olarak kullanılır. Bazık cürufun esası kalsiyum silikattır (CaO.SiO_2). Bazıklık oranı ise CaO ile silisyumun oksitlenmesiyle meydana gelen veya şarjdan gelen SiO_2 arasındaki oranıdır. Bu genellikle 2.5 / 1 veya 4.5 / 1 dir. Bundan başka bazık cürufta refrakterden gelen Mg ve Al ile cürufa ilave edilen CaF_2 (fluspat) vardır. Oksitleyici curuf şarjdan gelen demirin 2 değerli oksidi ile 3 değerli oksidi arasındaki orana bağlıdır. Bu oksitler redükleyici cürufta azdır. Bu oksitler yerine redükleyici eleman olarak %2,5' a kadar serbest C, CaC_2 , serbest Si ve bazen Al bulunur. MnO ve Cr_2O_3 ' ün redükleyici elemanların ilavesiyle oksitlenerek geçmesi mümkündür. Bu dönüşüm olarak bilinir. Daha genel olarak redükleyici elemanlar oksit curuf (1. Cüruf) alındıktan sonraki yeni cüruf karışımına ilave edilir. Buna çift curuf sistemi adı verilir.Çift curuf sistemi düşük C' lu az alaşımli çeliklerin üretiminde kullanılır. Ergitmeden itibaren sağlanan oksitleyici atmosferde fosfor ve oksitlenebilen empürite metaller birinci cürufta tasfiye edilir. Daha sonra redükleyici altında katkı maddeleri ilavesiyle ikinci cüruf yaparak S tasfiye edilir.

Bu yöntemle çalışmanın sağladığı avantajlar şunlardır :

- P ve S' nin çok iyi tasfiyesi sağlanır.
- Son analiz kontrol altında tutulabilir.
- Alaşım elementlerinin oksitlerinin redüklenmesi mümkündür [1].

- Deoksidan maddelerin ilavesiyle oksijen miktarı minimum seviyeye indirilebilir.
- İstenmeyen bazı elementlerin oksitlenerek cürufa alınması mümkündür [1].

2.2.2. Oluşturulan arka göre sınıflandırma

2.2.2.1. Endirekt ark fırınları

Bu tipteki fırınlarda ark elektrotlar arasında meydana gelir. Buna serbest ark adı verilir. Ark oluşumu ile meydana gelen ısı ile maddenin sıcaklığı yükseltilerek, yeterince bir sıcaklık değerine ulaşıncaya ergime gerçekleşir. Bu şekilde çalışan fırınlara “ Endirekt Ark Fırınları” denir.

Endirekt ark fırınları; bakır, bakır alaşımları (bronz, pirinç) ve diğer demir dışı, düşük ergime sıcaklığına sahip metallerin ergitilmeleri için kullanılır. Daha çok küçük kapasitede çalışırlar (0.75 ton kapasiteyi geçmez).

Elektrotların özellikleri; yüksek iletkenliğe sahip mekanik kuvvetlere, oksidasyona, yüksek sıcaklıklara dayanabilmeleri ve yüksek bükülme mukavemetine sahip olmalarıdır. Şekil 2.2’de ark ocaklarının genel yapısı görülmektedir [1].

2.2.2.2. Direkt ark fırınları

Direkt ark fırınlarında ark elektrot ile curuf veya metal arasında oluşur. Akım metalden geçerek diğer elektrota ulaşır. Uygulamada genellikle üç fazlı sistemler kullanılır. Üç elektrotun her biri bir faza bağlıdır. Metal banyosu ise nötr noktası olur. Küçük fırınlar için geliş voltajı 2300 V, büyük fırınlar için 1500 voltur. Bu geliş voltajı trafo ile 200 – 500 V civarına indirilir. Voltaj arttıkça refrakter problemi artmaktadır. Direkt ark fırınları elektrotların yerleştiriliş tarzına göre ikiye ayrılır.

1-Seri Ark : Ocak içine daldırılan elektrotlardan birinden metal banyosuna geçen akım banyodan diğer elektrotlara atlayarak ark oluşur [1].

2-Tekil Ark : Elektrik akımı ocağa daldırılan elektrottan metal banyosuna, banyodan da tabandaki elektrota atlayarak oluşur.

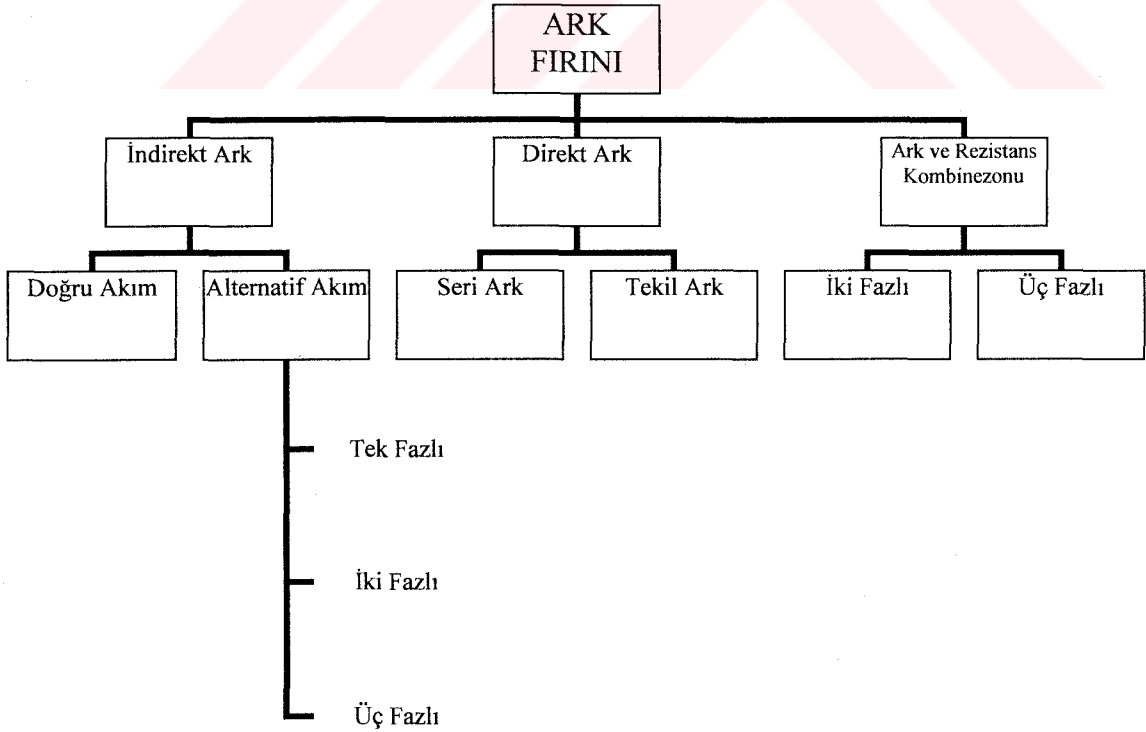
Ayrıca ark fırınlarında kullanılan elektriğin cinsine göre; doğru akım ile çalışanlar, alternatif akım ile çalışan (tek, çift, tri fazlı) ocaklar olarak ikiye ayrılırlar. Endüstride kullanılan ark fırınları genellikle direkt ark tipi, seri ark yapan üç elektrotlu ocaklardır [1].

Tablo 2.1’de Güçlerine göre ark ocaklarının sınıflandırılması yapılırken, Tablo 2.2’de ise ark ocaklarını oluşturan arka göre sınıflandırılması görülmektedir.

Tablo 2.1. Ark Ocaklarının Güçlerine Göre Sınıflandırılması [2]

	<u>Kw/sıvı çelik/ton</u>	<u>Kw/°C (m³)</u>	<u>Kw/fırın</u>
Olağan güç	110 – 170	175 – 300	650 – 950
Yüksek güç	180 – 235	320 – 420	975 – 1300
Çok yüksek güç	270 – 500	530 – 1530	300 – 1900

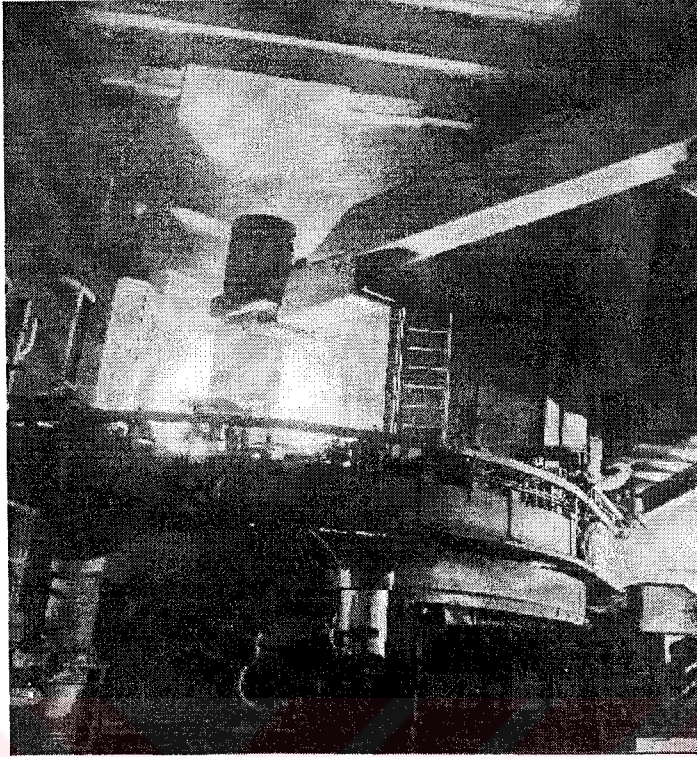
Tablo 2.2. Ark ocaklarının oluşturulan arka göre sınıflandırılması [2]



2.3. Ark ocaklarının genel yapısı

Ark ocakları genellikle konik veya silindirik şekilde dizayn edilirler. Duvar kalınlıkları fırının büyüklüğüne göre değişir. Küçük fırınlarda 22.5 – 29 cm, büyük fırınlarda ise 30 – 60 cm arasında değişir. Fırının altında ve üstünde şarj ve boşalma için kapaklar vardır. Fırınların altında bulunan ağır yapılı düz dişli düzeni ile fırının ileri ve geri hareket etmesi sağlanır. Dişliler öyle yerleştirilmiştir ki ocağın ağırlık merkezi öne ve arkaya yatırmalar sırasında şarj ile birlikte yatay olarak değişir. Fırının öne veya arkaya doğru eğilmeleri, elektrik veya hidrolik olarak sağlanır. Çeşitli voltajlar sağlamak için motorla çalışan bir voltaj ayar düzeneği vardır. Ark fırınlarında voltaj inişli çıkışlı olduğu için, kuvvetli bir konstrüksiyona ve sargılar arasında iyi bir izolasyona gerek vardır. Sistemde bulunan transformatörün görevi ark oluşması için gerekli enerjiyi sağlamaktır [1].

Elektrotlar , grafitten yapılırlar. Her iki tip elektrotlar ise antrasit petrol koku ve ara madde olarak kullanılan taştan yapılırlar. Kömür ve kok, toz olarak alınıp, taş ile karıştırılarak bir silindir içinde preslenir. Daha sonra eğer karbon elektrot yapılacaksa 800 °C'ye kadar ısıtılarak birkaç gün pişirilir. Sonra yavaş yavaş soğutulur. Grafit elektrotlar yapılacaksa direkt rezistansla 2000 °C ısıtılıp bu sıcaklıkta 4–6 gün bekletilerek 20-30 gün yavaş soğutulur. Elektrotların özellikleri; yüksek iletkenliğe sahip mekanik kuvvetlere, oksidasyona, yüksek sıcaklıklara dayanabilme ve yüksek bükülme mukavemetine sahip olmalarıdır. Şekil 2.2'de ark ocaklarının genel yapısı görülmektedir [3].



Şekil 2.2. Ark ocaklarının genel görünümü [3]

2.3.1. Elektrik ark ocaklarında ergitme işlemi

Elektrik ark ocaklarında daha çok hurda metaller ergitilmektedir. Bunlar her türlü hurda olabilir. Ergitme işlemi şöyle olmaktadır:

Ergitilecek hurda ocağa doldurulur. Bu arada fırın duvarını, oluşacak arkın radyasyonundan korumak için elektrotlar hızlı bir şekilde hurda içine daldırılır. Elektrik akımı verilmeye başlanarak, bu akım elektrotlardan birinin ucundan hurda metal üzerine geçerken ark meydana gelir. Hurda metal içinden geçen akım diğer elektrota atlayarak yeni bir ark oluşturur. Bu sırada açığa çıkan yüksek ısı ile şarjın sıcaklığı yükselir ve bir süre sonra ergime olayı gerçekleşir.

Ergitme sırasında katkı maddelerinin ilavesi yapılır. Bu katkı maddeleri genellikle şu maddelerden oluşmaktadır:

CaO, CaCO₃, CaF₂, Fe-Mn, Fe-Si, Fe-Cr bu maddeler değişik oranlarda konularak istenen ürünün bileşimi ayarlanır [1].

Ergitme hızı hurdanın yoğunluğu ile ters orantılıdır. Tabii olarak da yoğun hurdanın ergime hızı düşük, az yoğun hurdanın ergime hızı ise yüksek olacaktır. Ark ocakları kesikli sisteme göre çalışır. Bir kova dolusu hurdanın ergimesi bitince ark atık fırın duvarlarına zarar vermeye başlar. Bu arada ark düşürülerek ergiyen metaller boşaltılır.

Sonra fırına taze hurda beslemesi yapılarak ergitme işlemine aynı şekilde devam edilir. Hurdanın, fırına beslemeden önce ön ısıtma işlemine tabi tutulması ergime süresini düşürür.

Elektrik ark fırınlarında ergitme işleminin yapılmasının avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz [1].

1-Metalin sıcaklığı dikkatle ve büyük bir hassasiyet ile kontrol edebilme ve gerektiği zaman derhal değiştirebilme imkanı vardır.

2-Fırın duvarı refrakter malzeme olduğu için, hasar yok denecek kadar az olmaktadır.

3-Daha geniş sınırlar içinde oksijen potansiyeline sahip fırın atmosferini kontrol edebilme kolaylığı vardır.

Ergitmede karşılaşılan sorunlardan birisi elektrotların kırılmasıdır. Kırılmanın sebebi ise; fırına beslenen hurdaların çok büyük parçalar halinde olmaları halinde ve içerisinde fazla miktarda iletken olmayan maddelerin bulunmasıdır.

Ergitmede karşılaşılan diğer bir sorun ise metal bileşimlerinde meydana gelebilecek değişimlerdir. Bunun sebebi ise beslenen hurda içerisinde, ergitme süresince kullanılan cihazlarda; kum, pas, korozyon yapıcı maddelerin bulunmasıdır [1].

2.3.1.1. Toz yayını (Emisyonu)

Bu kısımda genel olarak ark ocaklarından toz oluşmasından bahsedilecektir. Daha sonra, demir çelik üretim tesislerinde tozların oluşması ve bileşimleri hakkında bilgi verilecektir [1].

2.3.1.2. Genel olarak toz oluşumu ve kazanılması

Tüm elektrikli ergitme fırınlarında az ya da çok mutlaka tozlar oluşmaktadır. Bu tozların bileşimleri özellikle fırına beslenen hurdanın bileşimine bağlı olarak değişir. Örnek olması bakımından EAF baca tozlarının bileşimleri Tablo 2.3. ve Tablo 2.4.'te verilmiştir [1].

Tablo 2.3. Karbon ve Düşük Alaşım Çelikleri üreten tesislerde baca tozu bileşimi [1]

ELEMENT	AĞIRLIK(%) *	ARALIK (%)
Al	0.25	0.9-0.5
Ca	4.19	1.85-10
Cd	0.15	0.03-0.15
Cr	0.22	0.06-0.58
Cu	0.23	0.06-0.32
K	0.66	0.06-1.12
Mg	1.68	0.77-2.93
Mn	3.29	2.46-4.6
Mo	0.02	<0.02-0.08
Na	0.99	0.29-2.31
Ni	0.04	0.01-0.12
Pb	2.02	1.09-3.81
Zn	18.3	11.12-29.6
Fe(top)	31.3	24.9-46.9
Fe (+3)	29.7	20.5-42.8
Fe (+2)	1.46	<0.01-3.96
Fe (0)	0.09	<0.02-0.34
Cr (+6)	0.01	<0.01-0.02
Si	1.81	1.35-2.49
Cl	1.11	0.51-2.36
F	0.41	0.01-0.88
P	0.03	0.01-0.08

Tablo 2.4. Paslanmaz Çelik ,Özel Alaşımlar Üreten Tesislerde Baca Tozu Analizi [1]

ELEMENT	AĞIRLIK (%) **	ARALIK (%)
Al	0.4	0.2-0.6
Ca	3.91	1.76-6.93
Cd	0.4	0.006-1.79
Cr	5.88	2.01-10.1
Cu	0.62	0.09-1.26
K	2.07	0.8-5.07
Mg	3.78	1.78-4.74
Mn	3.72	2.36-4.59
Mo	1.08	0.37-1.46
Na	2.12	0.47-4.6
Ni	1.69	0.15-3.34
Pb	0.52	0.23-0.78
Zn	4.58	1.77-6.22
Fe (top)	27	22.2-35.5
Fe (+2)	4.47	0.53-5.9
Cr (+)	0.1	<0.01-0.17
Si	3.38	2.54-3.92
Cl	0.81	0.47-1.17
F	2.48	1.36-4.83
P	0.02	0.01-0.04

* 7 Tesisin Aritmetik Ortalaması

** 4 Tesisin Aritmetik Ortalaması

Bu tablolarda karbon ve düşük alaşımlı çelikleri ile paslanmaz çelik ve özel alaşımlı çelik üreten tesislerden çıkan tozların bileşimleri ayrı ayrı verilmiştir.

Tablo 2.3.'e bakacak olursak karbon ve düşük alaşımlı çelik tesisleri tozlarının çinko ve kurşun içeriği, paslanmaz çelik ve özel alaşımlı çelik tesisleri tozlarının çinko kurşun içeriğinden fazla olduğu görülmektedir [1].

Karbon ve düşük alaşım çelik tesisleri tozları %18,3 Zn, %2,02 Pb içermesine rağmen, paslanmaz çelik ve özel alaşım çelik tesisleri tozları %4,8 Zn, %0,52 Pb içermektedir.

Elektrik ark fırını içerisine yüklenen hurdanın ortalama olarak %1-2'si toz ya da duman halinde fırını terk etmektedir. Toz partikülleri genellikle küresel şekilli olup büyüklüğü 0.1 ile 10 µm arasında değişir. Ancak çoğunlukla 1 mikrondan küçük büyüklükte bulunur.

Tozlar içerisinde yüksek miktarda demir içermesi sebebiyle manyetik özellik gösterirler. Manyetik malzemenin ortalama ağırlık fraksiyonu %25 civarındadır. Fakat daha fazla oranda da olabilmektedir.

Çinko oksit genellikle manyetik olmayan fraksiyon içinde bulunur. Partikül büyüklüğünün azalması ile çinko oksit miktarı önemli ölçüde artar. Kurşun miktarı da küçük partiküllerde fazla bulunmaktadır. Kurşun genellikle, zengin demir partiküllerinin yüzeyinde toplanır [1].

2.3.1.3. Demir üretiminde oluşan toz ve çamurlar

Fırınlardan çıkan tozları bir yerde toplamak için genellikle bir siklon sisteminden faydalanılır. Eğer siklon sistemi kuru olarak çalışıyorsa, alt kısmından toz olarak alınır. Ancak siklon sistemi yaş teknoloji ile çalışıyorsa, tozlar çamur haline gelerek siklonların altından çamur olarak alınır.

2.3.1.4. Toz tutucular

2.3.1.4.1. Genel bilgiler

Gaz ile taşınan katıları geri kazanmak, bir yüzeyde toplayarak veya akışkan yatakta ayırmak mümkündür. Endüstride gazlar ile taşınan tozların ayrılmasında genellikle siklonlar kullanılır. Bunun yanında özellikle küçük toz partiküllerinin [1]

ayrılmasında elektrostatik filtreler de kullanılır. Tozları gazlardan ayırmanın amacını şu şekilde sıralayabiliriz:

- 1-Hava kirliliğinin kontrol edilmesi.
- 2-Tozların insan sağlığına olan zararlarını yok etmek.
- 3-Üretim miktarını arttırmak.
- 4-Kurutma ve ergitme ile tozların içerisinde bulunan değerli metalleri geri kazanmak.

Gaz içerisindeki toz partikülleri iki tipte sınıflandırılabilir:

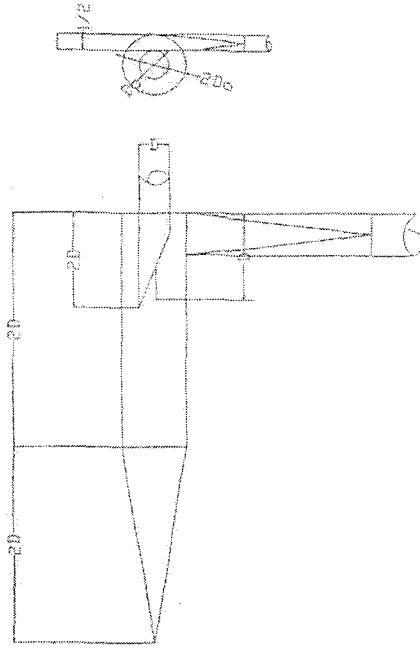
- 1 mikrondan büyük partiküllere sahip tozlar.
- 1 mikrondan küçük partiküllere sahip tozlar (tozların büyük bir kısmı bu sınıfa dahildir).

Tozlar genellikle maddenin mekanik olarak dağıtılmasından oluşur. Bir toz toplama sisteminde temel operasyonları şu şekilde sıralayabiliriz:

- 1-Toplam filtre yüzeyi üzerinde, tortular ile gaz akımından taşınan toz partiküllerin taşınması.
- 2-Yüzey üzerinde tortuların toplanması.
- 3-Geri kazanmak için yüzeyden tortuların kaldırılması.

2.3.1.4.2. Siklonlar

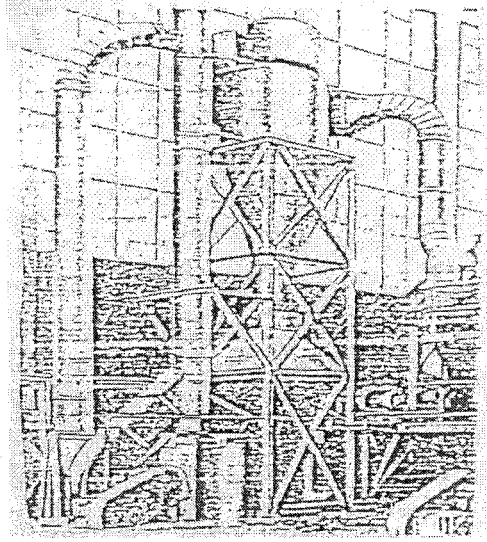
En geniş tipte kullanılan, toz toplama ekipmanları siklonlardır. Siklonlarda; santrifüj sistemi yardımı ile hem tanecik büyüklüğünü hem de tanecik yoğunluğunu esas alarak ayırma işlemi gerçekleştirilir. Siklonlar, toz yüklü gazların girdiği silindirik ve alt kısmı konik olan bir sıyırma odasından oluşmaktadır. Şekil 2.3.'te en genel bir siklon ve boyutları gösterilmiştir [1].



Şekil 2.3. Genel Siklon Dizaynı ve Boyutları [1]

Siklonlar gaz akımını girdaba dönüştüren, hareket etmeyen parçaları ile sabit bir cihazdır. Toz yüklü gaz, silindirik kısmın üstüne yakın bir yerden, yan taraftan teğetsel olarak cihaza girerler. Santrifüj kuvvet etkisiyle gaz akımı içerisinde bulunan toz partikülleri duvar çeperlerine doğru giderek yerçekimi etkisiyle siklonun tabanında toplanırlar ve kurtarılamayan çok ince tozlar silindirik kısmın üzerinden cihazı terk ederler. Besleme akımından temiz gaz çıkış borusuna toz geçişini önlemek için gaz çıkış borusu besleme seviyesinin altına kadar indirilmelidir [1].

Siklonlar ilk defa 1885 yılında Knicker Bucker şirketi (A.B.D) tarafından, toz ayrılması amacı ile kullanılmıştır. Geleneksel siklonlar 600-915 mm çapta olmalarına rağmen daha geniş çapta dizayn edilmeleri mümkündür. Siklonlar 5 mikrondan büyük partiküllerin tutulmalarında kullanılır. 200 mikrondan daha büyük partiküllerin ayrılması işleminde çok daha uygun bir şekilde çalışırlar. 1000 °C'nin üzerinde ve 50700 kPa (500 atm)'dan yüksek basınçlarda da siklonları kullanma imkanı vardır. Ayrıca siklonlar bir sıvı içerisinde süspansiyon halinde bulunan katı taneciklerin ayrılmasında da kullanılır. Ancak siklonların kullanıldığı en geniş alan bir gaz akımı içerisinde bulunan tozların ayrılması işlemidir. Siklonun endüstriyel ölçüde kullanımı Şekil 2.4.'te gösterilmiştir [1].



Şekil 2.4. Siklon Seperatör [1]

2.3.1.4.3. Elektrostatik çöktürücüler

Elektrostatik çöktürücüler, özellikle siklonlarda tutulamayan ince tozların tutulmasında daha fazla verimle çalışmaktadır.

Çöktürücü içerisindeki partiküller, elektrik alan etkisi ile yüklenerek, zıt yükün olduğu tarafa hareket ederler ve o bölgede toplanırlar. Çöktürücüler düşük basınç değerlerine sahip olmaktadır (250 pascal'ı geçmez).

Elektrostatik çöktürücülerde daha yüksek enerji kullanarak verim arttırılabilmektedir. Bu tip elektrostatik filtreler özellikle çimento fabrikalarında kullanılmaktadır [1].

İlk elektrostatik çöktürücü 1907 yılında Cottrel çöktürücü adı ile kullanılmaya başlanılmıştır. Basit bir elektrostatik çöktürücü Şekil 2.5.'te görülmektedir.

Elektrostatik çöktürücülerin avantaj ve dezavantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz:

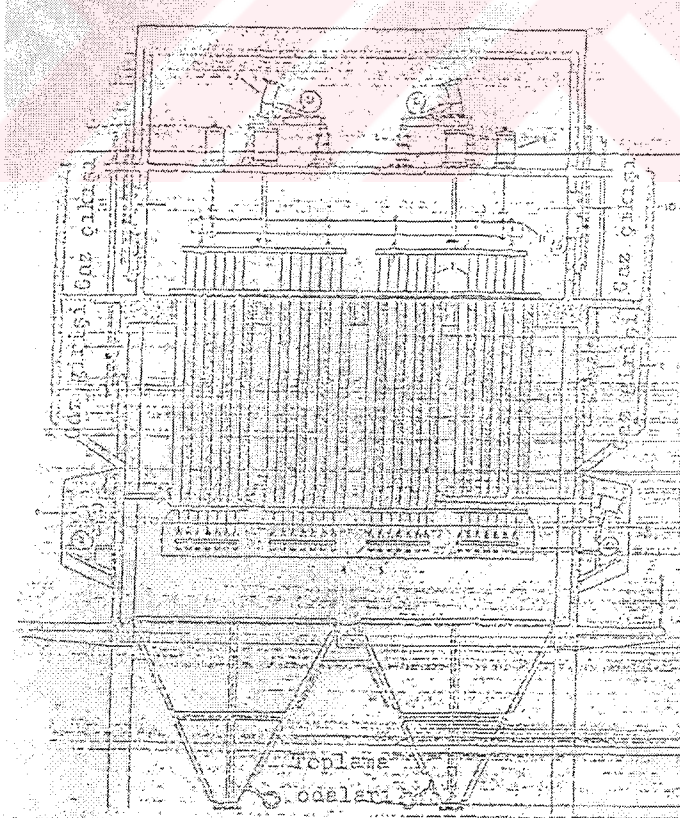
Avantajları

- 1-Son derece yüksek toz toplama verimine ulaşmak mümkün olmaktadır.
- 2-Tozları kuru bir şekilde kazanmak mümkündür [1].

- 3-Basınç düşüşü azdır.
- 4-Tamir masrafı düşük olmakta ve sürekli operasyonlar için dizayn edilebilmektedir.
- 5-Yüksek basınçlarda (150 psi) ya da vakum altında çalıştırılabilirler.
- 6-Yüksek sıcaklıklarda (704 °C – 1300 °C) çalıştırılabilirler.
- 7-Yüksek gaz çıkışı hızlarında çalışabilirler.

Dezavantajları

- 1-İlk yatırım maliyeti yüksektir.
- 2-Operasyon şartlarının değişmesi ile çok çabuk etkilenmektedir (partikül akışı, sıcaklık, toz bileşimi vb.).
- 3-Tesis için geniş alan gerekmektedir.
- 4-Yanabilen gaz ve partiküller beslendiği zaman patlama tehlikesi olabilir.
- 5-Yüksek voltaj olması sebebiyle personelin korunması için özel tedbir alınması gereklidir.
- 6-Personelin bilgilendirilmesi gereklidir [1].



Şekil 2.5. Elektrotatik Çöktürücü [1]

BÖLÜM 3. E.A.O BACA TOZLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1. Demir Çelik Üretimindeki Atıklar

Dünyadaki çevre yönetim sistemlerinin gelişmesiyle birlikte demir-çelik üreticisi ülkelerde çevrenin korunmasına yönelik yasal ve teknolojik çalışmalar giderek yoğunluk kazanmaktadır. Gelişmiş ülkelerden ABD'de hava ve su kirliliğinin kontrolü konusundaki yasal zorunluluklar, hava ve su kirliliğine yol açan kirleticilerin önemli ölçüde azalmasına yol açmıştır. Ton çelik başına ortaya çıkan toz emisyonu önemli miktarda azalmış ve tesislerde ortaya çıkan atık suyun %95'den fazlası yeniden kullanılmaya başlamıştır.

ABD'deki yeni yatırımların %15'ini çevresel koruma sistemlerinin geliştirilmesi ve kurulması yönündeki harcamalar olmaktadır. Benzer durum Batı Avrupa ve Japonya'da da mevcuttur. Özellikle Japonya'da son 20-25 yılda kurulan demir-çelik tesislerinin tamamı çevre kirliliği önlemlerini kuruluş aşamasında almıştır.

Demir-çelik endüstrisinin önemli çevre sorunları oluşturmaktadır. Özellikle en önemli çevre sorunları cevherden son ürüne üretim yapan entegre demir-çelik tesislerinden ortaya çıkmaktadır. Kok ve sinter tesislerinde çevre koruma kanunlarına uygunluk sağlanmasına rağmen çevre koruma önlemlerinden dolayı ortaya çıkan atıkların çevre kanunlarına uygun şekilde depolanması için ayrılan bütçeler, üretim maliyetlerinin yükselmesine neden olmuştur.

*Sinter tesislerindeki Nox ve SO_x emisyonları.

*Kok fabrikalarındaki emisyonlar.

*Yüksek fırın çamurlarının işlenmesi.

*Bazik oksijen fırını (BOF) çamurlarının işlenmesi.

*Haddemele atıklarının işlenmesi [9].

*Elektrik ark fırını (EAF) tozlarının işlenmesi.

*Asitleme hattı sıvı atıklarının işlenmesi.

*Demir-çelik üretimi cürufları.

*Atık yağlar ve gresler.

Yakın zamana kadar demir-çelik üretiminden ortaya çıkan cüruflar, tozlar ve çamurlar "ATIK" olarak nitelendirilmekteydi. Ancak bu terim günümüzde yeniden kullanım oranının gün geçtikçe artması nedeniyle "Yan Ürün" olarak değiştirilmiştir. Tipik bir entegre demir çelik tesisinde ton mamul başına 420 kg atık ortaya çıkmakta ve bunun büyük çoğunluğunu cüruflar, tozlar ve çamurlar oluşturmaktadır. Günümüzde entegre demir-çelik tesislerinde ortaya çıkan atıkların bertaraf edilmesi veya yeniden kullanılabilmesi için ton çelik başına 20\$ harcama yapılırken, mini çelik tesislerinde 5–10\$ harcama yapılmaktadır. Aşağıdaki tabloda uluslar arası demir çelik enstitüsü (IISI) tarafından yapılan mini çelik ve entegre demir-çelik tesislerinde ortaya çıkan önemli atıkların ortaya çıkış miktarı ve yeniden kullanım oranlarına istatistiksel çalışma gösterilmiştir [9].

3.2. E.A.O Baca Tozlarının Değerlendirilmesi

Elektrik ark fırını (EAF) baca tozlarından çinko, kurşun ve diğer metallerin geri kazanılması dünyada bir çok tesiste farklı prosesler uygulanarak gerçekleştirilmektedir. Çok az ülkede elektrik ark fırını baca tozlarında mevcut demir dışı elementler değerlendirilmekte ve artığın yüksek oranda demir içermesinden dolayı fırınlara geri şarj edilmektedir. Zehirli elementleri çevreye atıldığında veya stoklandığında doğa düzenini bozucu ve zaman içinde toprağa zarar verici özellikteki ağır metalleri içeren EAF tozları, demir oksitleri CaO, SiO₂, Al₂O₃, MgO gibi gang elementlerini, çinko ve kurşunun metalik oksitlerini içerir [5].

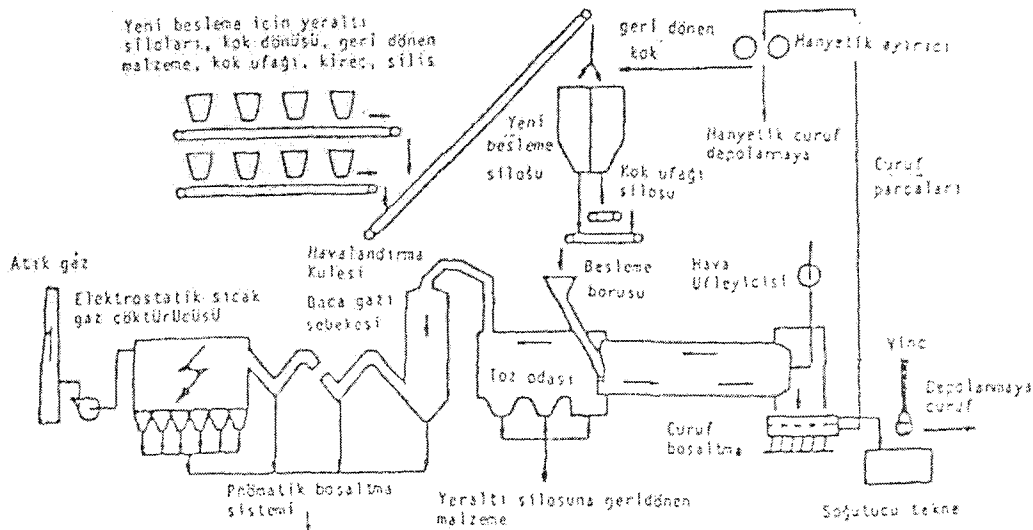
E.A.O baca tozlarından değerli metallerin kazanılması için pirometalurjik ve hidrometalurjik yöntemler geliştirilmiştir. Özellikle son yıllarda dünyada Waelz tesislerinde Zn ihtiva eden E.A.O baca tozlarının zenginleştirilmesi yaygın olarak kullanılmaktadır [2].

EAF baca tozlarının değerlendirilmesi ile ilgili literatürde çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmaların bir kısmı baca tozlarının vitrifikasyonu ve cam seramik olarak üretilmesi ile ilgili olup Barbieri ve diğerleri [7] tarafından yapılan çalışmada baca tozundan çeşitli camlar üretilmiş olup bu camlara yapılan bazı katkı ve ısıl işlemlerle cam seramiğe değişim incelenmiştir.

Elektrik ark ocağı baca tozlarıyla ilgili diğer bir çalışmada ise Pleino ve arkadaşları [10] baca tozunun vitrifikasyonunu incelemiştir. Baca tozu yan elementler (Cr,Pb,Zn,Cu) içermektedir. Çözünürlük testlerinin sonuçları, bu elementlerin baca tozunda çevre sağlığı açısından limitlerini aştığını göstermektedir. Bundan ağır metaller kararlı hale getirilmeden sıradan çöp alanına atılamaz. Bu çalışmada, EAF baca tozlarının camlaşması çalışılmış olup. Ağır metallerin camlaştırma ile etkisiz hale getirilmesi sağlanarak karakterize edilmiştir.

3.3 Waelz Oksit

Oksitli cevherlerin en önemli pirometalurjik zenginleştirme metodu Waelz prosesidir. %10–20 Zn tenörlü oksitli Zn cevheri Waelz prosesi ile zenginleştirildikten sonra elde edilen konsantreden (%55–65 Zn tenörlü Waelz oksit) liç ve elektroliz metodu ile yüksek kaliteli Zn üretilmektedir. E.A.O. baca tozlarını değerlendirmeye yönelik pirometalurjik ve hidrometalurjik yöntemler Tablo 3.1’de görülmekte ve Şekil 3.1’de de Waelz tesisi akım şeması yer almaktadır.



Şekil 3.1 Berzelius Waelz Tesisinde Uygulanan Akım Şeması [11]

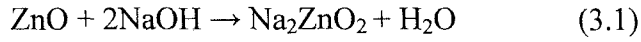
Tablo 3.1. EAO Tozlarını Değerlendirmeye Yönelik Yöntemler [2]

METOT	KARAKTERİSTİĞİ	AVANTAJI	ÖNEMLİ DEZAVANTAJ	GELİŞME DURUMU	KURUM
Alevli flaş Siklon Metodu	*Oksijenli düşey siklon *Nihai reaksiyonlar için alevli yatay ocaklar vardır.	*Hareketli parça olmayışı *Diğer hammaddelere uygunluğu *Fe'in tekrar kullanımı *Tüketilen enerjinin geri kazanımı	*Yatırım maliyeti yüksek *Sisteme oksijen verilmesi	Teknik çapta	*Coptop *KHD/Alm *Sirosmelt/Avu. *Lurgi/Alm
Alev flaş reaktörü metodu	*1600 °C'de oksijenli düşey flaş reaktörü	*Basit ve kompakt oluşu *Hareketsiz hiçbir parçasının olmaması *Tozların işlemsiz şarj edilebilme imkanı *Di oksit içeren artuk yapıların kullanımı	*Sisteme oksijen verilmesi *Fe'in değerlendirilmemesi	Deneme üretimi	*Horsehead/Resource Develop./ ABD
Waelz prosesi	*Döner fırında metali redüksiyon ile uçurma	*Teknik açıdan mükemmelliği *Fe'in redüklenip yeniden şarj edilebilir olması	*Fazla enerji tüketimi *Tozların peletleme zorunluluğu *Onarım masrafının yüksek olması	İmalat çapta	*Benzelius/Alm *Nippon Kokan/Jap. *HTR/Jap. *Kawasaki/Jap. *Sumitomo/Jap. *Nuovasamim / Ita. *Zinc corp.Of ABD
Plazma metodu	*Metalik Zn+Pb üretebilen bir plazma reaktörü	*Direkt olarak metal kazanımı *Yüksek hacim-zaman verimi *Baca gazının enerji kaynağı olarak kullanılması	*Yüksek yatırım maliyeti *Fazla enerji tüketimi *Tozdaki Zn miktarının %17 den büyük olması gerekir	Teknik ve deneme işletme çalışmaları	*Plasma Dust ./SKF /İsveç *Plasmacan / Kanada *Tetronic /Can. *Howden group / Kanada *Alleg heng lutlum / ABD *Tibur howdan Inc./ Kanada *Elkem / Nor.
Alkali liçi	*Sulu NaOH ile liç *Zn tozu ile Pb sementasyonu *Çinkonun elektrolitik kazanımı	*Zn / Pb ayrımı	*ZnFe ₂ O ₄ 'ün çözünmemesi *Düşük hacim/zaman birimi	Yarı endüstriyel	*Canmet / Kanada *Promozing/Fra. *Questor Eng. Ltd/İng. *Cebedeau/Bel.
Kostik Füzyon	*NaOH ile ergitme veya suyla liç	*ZnFe ₂ O ₄ çözünürlüğü	*İlave pirometalurjik işlem	Laboratuvar çapta	*BSW(Braubach/Alm)

Pirometalurjik yöntemler (Waelz , SKF plazma vb.) kontrollü reaksiyonlar (Zn+Pb)O tozu veya metalik Zn üretimine yöneliktir. Bu yöntemlerde tozlardaki çinko %95, kurşun ise %90 verimle kazanılmaktadır.

3.4. Alkali Liçi

Hidrometalurjik yöntemlerde ise en etkin AMAX veya SERH prosesi adı altında uygulanan kostik liçidir.



Reaksiyonu ile sodyum çinkat olarak çözeltiliye alınan çinko, sodyum plumbat halindeki kurşunun yine çinko ile sementasyonundan sonra elektrolitik olarak kazanılmaktadır. Kostik liçte de çinko ferrit çözünmeden kalmaktadır. Bu nedenle ekstrasyon verimlerini % 80 – 90 civarına çekmek için liçten önce 700 – 800 °C sıcaklıkta yapılacak bir ön redüksiyonla ferrit yapısını $\text{ZnO} + \text{Fe}_3\text{O}_4$ halinde dekompoze etmek şarttır [12].

BÖLÜM 4. PLAZMA PÜSKÜRTME YÖNTEMİ

4.1. Plazmanın Tanımı ve Oluşumu

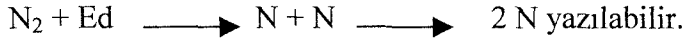
Langmuir, yaklaşık yüz yıl önce iyonize olmuş gazı plazma adını verdiğinden beri plazma üzerine birçok deneysel ve kuramsal araştırma yapılmıştır. Plazma maddenin dördüncü hali olarak kabul edilir ve pozitif (+) ve negatif (-) yüklü parçacıkların birlikteki hareketliliklerinin tamamıdır. Pozitif yükle, daha çok kısmen ya da tamamen iyonize olmuş atomlar belirtilir. Her yüklü parçacığın bulunduğu iyonize olmuş sistemlere plazma denilmez. Plazmanın en önemli özelliklerinden biri; sanki yüksüz olmasıdır. Artı ve eksi elektrik yüklü parçacıklar birbirinden bağımsız hareket ederken, sistemin bütünüyle sanki yüksüz olmasıdır. Bunun yanı sıra, bir sistemin plazma olabilmesi için birim hacim içinde yeteri kadar plazma yoğunluğu bulunması gerekir. Sistem yüksüzlükten uzaklaştıkça plazma tarafından da uzaklaşır. [13]

Bilim dünyasında, yakın bir zamana kadar maddenin fiziksel olarak katı, sıvı ve gaz hali olmak üzere, birbirinden farklı özelliklere sahip üç halinden bahsedilmektedir. Bilim ve teknolojinin gelişmesi ile maddenin dördüncü hali olan plazma bulundu ve günümüzde değişik amaçlarla kullanılmaya başlanmıştır.

Plazma, içerisinde iyon, elektron, uyarılmış atom, foton, nötral atom veya molekül içeren bir karışımdır.

Bilindiği gibi bir atom, ortada (+) yüklü bir çekirdek ve bunun çevresinde belirli yörüngelerde bulunan (-) yükler yani elektronlar içerir. Plazma karışımını meydana getiren elemanlar şöyle özetlenebilir [14]:

Nötral atom veya nötral molekül; içerisinde pozitif yük sayısı, negatif yük sayısına eşit olan atom veya moleküllerdir. Proton sayısı, elektron sayısına eşit olan atom veya moleküllerdir. Nötral bir moleküle, o elemente ait disasyasyon enerjisi (E_d) kadar veya daha fazla enerji verilirse, bu molekül atomlarına ayrışır, yani disose olur. Bu olaya disasyasyon denir. Örneğin; azot molekülü için:

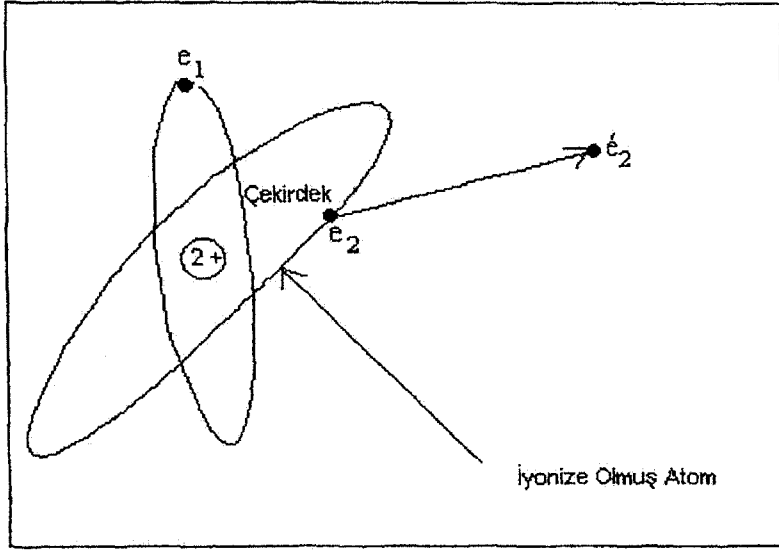


İyon; içerisindeki (+) yük sayısı, (-) yük sayısından fazla olan atomdur. Nötral bir atoma, o elemente ait iyonizasyon enerjisi kadar veya daha fazla enerji verilirse, bu atom en az bir elektronunu kaybeder ve iyon haline geçer yani iyonize olur. Bu olaya iyonizasyon denir.

Foton; enerji yüklü ışın parçasıdır.

Uyarılmış atom; üzerine iyonizasyon enerjisinden daha küçük bir enerji almış, elektron kaybetmemiş bir atomdur. İyonizasyon enerjisinden daha az bir enerji verildiğinde, elektronlar atomdan kopmaz, sadece yörünge değiştirirler. Elektronlarından biri veya birkaçı yörünge değiştirmiş bu tip atomlara uyarılmış atom denir [14]

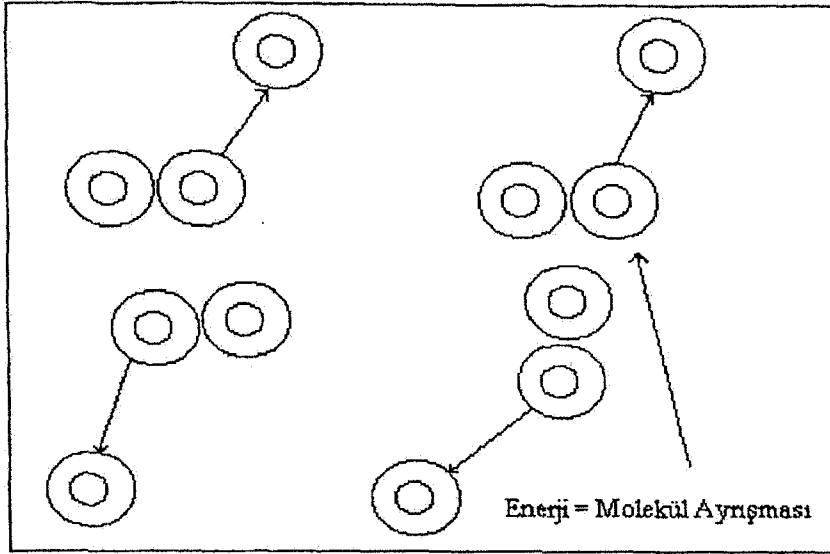
Plazma, malzemenin buharının normal gaz halinden daha yüksek bir enerji seviyesine yükseldiği hali ifade etmektedir. Normal gazlar ayrı moleküllerden oluşurken plazma parçalanmış ve ayrılmış aynı moleküllerden oluşur. Yani plazma, içerisinde pozitif iyon, uyarılmış ve nötral atom, molekül, serbest elektron ve foton bulunan, gaz durumundan daha yüksek enerji düzeyine yükseltilmiş malzemelerin buharıdır. Bir cm^3 plazmada yaklaşık 10^9 ile 10^{11} yüklenmiş partikül mevcuttur. Şekil 4.1.'de gösterilen nötr bir atom, çekirdek etrafında dönen, pozitif elektrik yüklü iki elektrona sahiptir [15,16,17,18].



Şekil: 4.1. Nötral bir atomun şematik gösterimi [19]

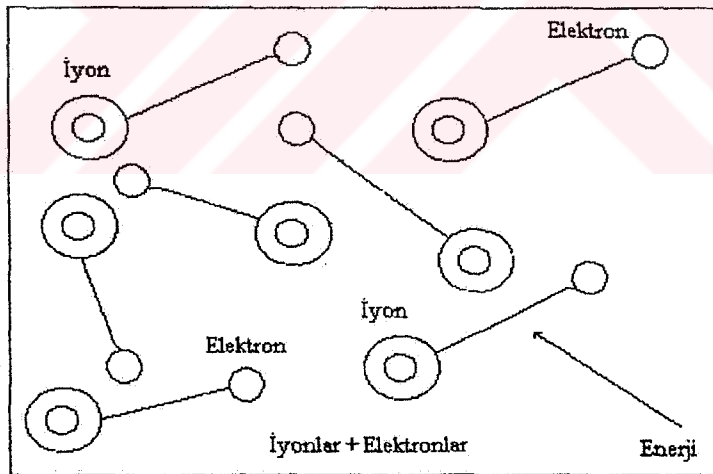
Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi bu atomda iki pozitif elektrik yükü vardır ve çekirdek etrafında dönen iki elektronla nötr haldedir. Bu durumdaki atoma yeterince enerji uygulanırsa en azından bir elektron yörüngesinin dışına atılmış olur. Bu işlem için gerekli enerji ise, o atom için iyonizasyon enerjisi olarak isimlendirilir.

İki veya daha fazla nötr atomun birleşmesi molekül olarak adlandırılır ve tek bir parça olarak kabul edilir. Bu ise diatomik gazlar dediğimiz azot veya hidrojen gibi gazlardaki durumu ifade etmektedir. Şekil 4.2.'de ise azot gibi diatomik gaz moleküllerinin ayrıştığı 4 molekül görülmektedir. Yeterli enerji uygulanırsa, moleküller gerilerinde atom bırakacak şekilde ayrılırlar ve bu olay disosiyasyon olarak tanımlanır.



Şekil: 4.2. Diatomik moleküllerin disasyasyonu [20]

Daha fazla enerjinin uygulanması ile bu atomlardan en az bir elektron ayrılarak Şekil 4.3 'teki durum oluşur. Böylece atomlar iyonize edilmiş olurlar ve sonuç gaz plazma olarak adlandırılır.

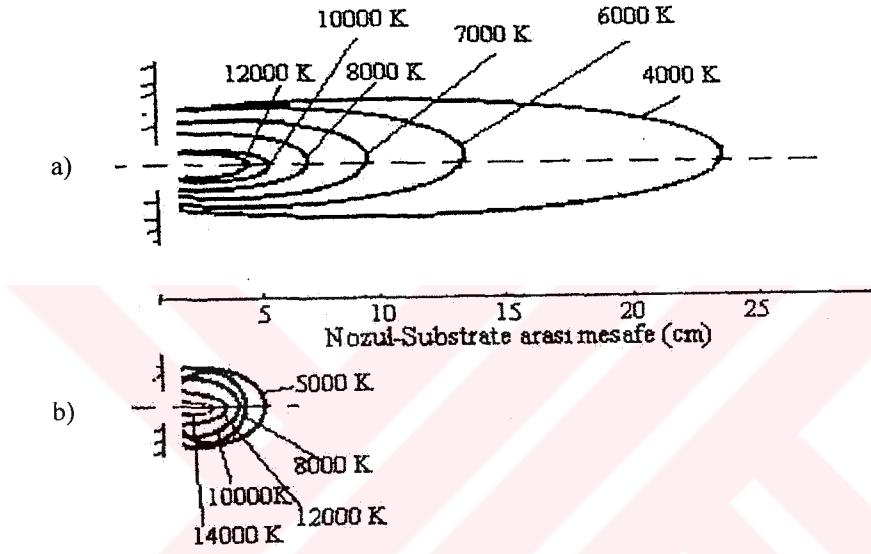


Şekil: 4.3. İyonizasyon ve plazma gazının oluşumu [21]

Argon ve Helyum gibi tek atomlu gazların plazma oluşturma mekanizmasını açıklayan bu model, N_2 ve H_2 gibi iki veya daha fazla nötr atoma sahip gazlara da uygulanabilir. N_2 ve H_2 gibi diatomik gazlarda iki nötr atomun birleşmesi ile oluşmuş moleküller mevcuttur. Böyle bir sisteme dışarıdan yeterli bir enerji uygulanması durumunda molekül bağı parçalanır ve ayrılan atomlar birbirinden uzaklaşır. Bu olaya molekül ayrışması adı verilir. Molekül ayrışmasıyla oluşan

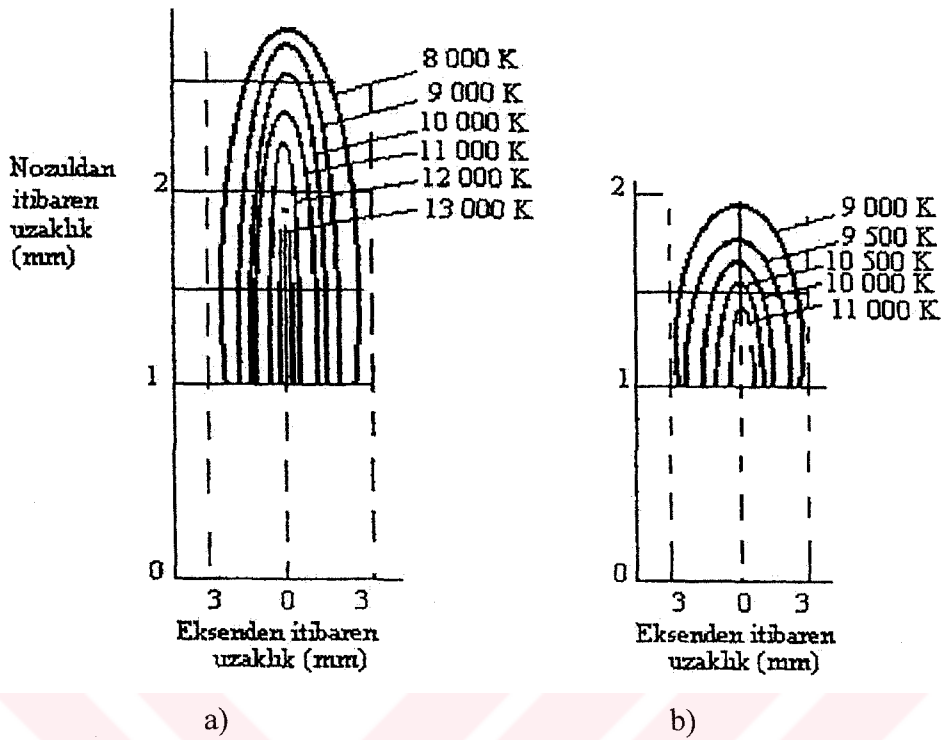
atomların iyonlaşması ile plazma gazı oluşturulur. Plazmanın tümü elektriksel olarak nötrdür [18].

Plazma ışınının sıcaklığı plazma tabancası çalışma parametrelerine ve plazma gazının cinsiyle etkilenebilen iyonizasyon derecelerine bağlı olmaktadır. Plazma ışınındaki tipik sıcaklık dağılımı Şekil 4.4' te gösterilmiştir.



Şekil: 4.4. Plazma ışınındaki sıcaklık dağılımı a) Laminer akış, b) Türbülanslı akış [16]

Argon ve azot gazları kullanılarak elde edilen ışınlarının sıcaklıklarının mukayesesi Şekil 4.5.'te verilmiştir. Plazma ışının hızı, taşıyıcı gazın akış hızının artmasıyla önemli derecede etkilenir ve böylece plazma sıcaklığı ve hızı azalır. Modern plazma torcunun daha yüksek hızlara çıkartılması amaçlanmaktadır. Plazma ışını yüksek sıcaklıklarla birlikte oldukça yüksek hızla beslenen tozları ergitmek ve püskürtmek için uygulanmaktadır. Sonuçta ergimemiş partiküller altlığa çarptırılarak kaplama oluşturulmaktadır [16].



Şekil: 4.5. a) Argon, b) Azot plazmasındaki sıcaklık dağılımı [16]

Plazmanın iki önemli avantajı vardır: Birincisi oldukça yüksek sıcaklık, ikincisi maddelere daha iyi ısı transferi sağlamasıdır. Isıtıcı ortam ile ısıtılan malzeme arasındaki sıcaklık farkı ne kadar yüksek ise ısıtma hızı da o derece yüksek olmaktadır. Plazma içindeki parçacıkların hızlarının yüksek oluşu nedeniyle, özellikle elektronlar, elektrik ve ısı iletiminde esas rolü oynarlar. Aynı elektriksel yüke sahip olmakla beraber elektronlar, (+) yüklü iyonlardan kütleye daha küçüktür ve üzerlerine etkiyen kuvvet eşittir.

Plazma ortamı yüksek sıcaklık ve enerji yoğunluğuna sahiptir. Plazmanın sıcaklığı ve enerji yoğunluğu, plazma ekseninde maksimum olup, radyal yönde dışarı doğru değerler hızla azalır. Plazmayı magnetik olarak sıkıştırmak, dolayısıyla enerji yoğunluğunu ve sıcaklığını yükseltmek mümkündür. Plazma anizotropiktir, yani özellikleri farklı doğrultularda değişir ve elektrik ve manyetik alandan etkilenir [19,21].

Bu proses yüksek ısı transferi sağlamasına rağmen plazma püskürtme tabancası ile elde edilen termal enerjinin ancak %3-5'i kaplanacak olan malzemenin ergitilmesinde kullanılır [19,21].

4.2. Plazma Gazları

Plazma gazının fonksiyonu, malzemeyi ısıtmak, parçacıkların hareketini hızlandırmak ve kaplama yüzeyine taşımaktır. Ayrıca parçacıkların etrafını sarma ve atmosferin kimyasal etkisinden sıcak yüzeyi koruma görevi de vardır. %5-25 oranında azot karıştırılan hidrojen atmosferik oksijen ile yanarak iyi bir koruyucu görevi sağlamaktadır. Plazma tabancasındaki gaz ortamı; plazma oluşumunu, elektrotları oksitlenmeye karşı koruma ve soğumasını sağlamaktadır. Plazma püskürtme kaplama teknolojisinde kullanılan gazlar, farklı ısı kapasiteleri, farklı iyonlaşma özelliği gösterdiklerinden dolayı önemlidir. Azot, argon, hidrojen ve helyum gazları kullanılmaktadır. Plazma gazları tek tek kullanılabildikleri gibi çoğunlukla belli oranlarda karışımlar halinde kullanılırlar. Burada amaç, plazma alevinin entalpisini ve hızını arttırmaktır. Tablo 4.1.'de plazma gazlarına ait temel fiziksel ve kimyasal özellikler verilmiştir.

Tablo: 4.1. Plazma gazlarının temel fiziksel ve kimyasal özellikleri [16]

Özellikler	Plazma Gazları			
	Argon	Helvum	Azot	Hidrojen
Relatif Mol Ağırlığı, gr	39.944	4.0002	28.016	2.0156
Spesifik Ağırlık: 0°C. 100 Pa	1.783	0.1785	1.2505	0.0898
Termal iletkenlik Katsayısı, 0°C	0.01633	0.14363	0.0238	0.1754
Spesifik Isı Kapasitesi, 20°C	0.511	5.233	1.046	14.268
İyonizasyon Potansiyeli (V) İlk	15.7	24.05	14.5	13.5
Son Kademe	27.5	54.1	29.4	
Sıcaklık (K)	14000	20000	7300	5100
Ark Voltajı (V)	40	47	60	62
Ark Girişi (kW)	-	50	65	120

Plazma püskürtme yönteminde, kullanılan gazlar tek veya çift atomludur. Tek atomlu gazlar argon ile helyum, çift atomlu gazlara ise azotu örnek verebiliriz ve bu gazlar plazma püskürtmede en çok kullanılan gazlardır. Tek atomlu gazlarda çok yüksek sıcaklıklar elde edilir. Çok atomlu gazlar daha da yüksek ısı içeriğine sahiptirler. Bu

çift atomlu gazlar iyonlaşma için gerekli enerjiyi açığa çıkarırlar ve ayrıca ayrışma için gerekli enerjiyi de sağlamaktadır. Gazın seçimi plazmanın niteliklerini kapsamaktadır. Plazma gazlarının uygun seçimi sonucunda gazların kalitesiyle plazma nozulu ve elektrotunun ömrü üzerinde önemli etkisi vardır. Kullanılacak gazlarda şu özelliklerde aranmaktadır; çok düşük bir rutubet ve oksijen oranına sahip olmaları gerekir. Ayrıca plazma püskürtme işleminde kuru gazlar önerilmekte ve çığ noktası maksimum -60°C olmalıdır. Gazların oksijen içeriği %0,3'ü geçmemelidir [18].

4.2.1. Azot

Kaplama prosesinde kullanılan azotun disasyasyonu 5000°K 'de başlar ve 9000°K 'de %95 tamamlanırken, iyonlaşması ise 8000°K 'de başlayıp $10000-23000^{\circ}\text{K}$ 'de bitmektedir. 7000°K 'nin üzerindeki sıcaklıklarda, azot plazması diğer gazların plazmasından daha fazla ısıya sahiptir. Azot gazı entalpisinin yüksek olmasından dolayı daha yoğun kaplamalar üretilmesine imkân sağlamaktadır.

4.2.2. Hidrojen

Diğer taraftan plazma gazı olarak yaygın bir şekilde kullanılan hidrojenin, disasyasyonu 2000°K 'de başlayıp tamamı 6000°K 'de tamamlanmaktadır. Hidrojen 25.000°K 'de tamamen iyonize olmaktadır. Hidrojen'in disasyasyonu azottan düşük ve termal kondüktivitesi ve ark voltajı diğer gazlardan daha yüksektir. Ancak hidrojen plazmasının sıcaklığı diğer gazlardan daha düşüktür.

4.2.3. Argon

Argonun iyonlaşması 5000°K 'de başlar ve 22000°K 'de tamamlanmaktadır. Ar, He gibi bir atomlu gazların entalpisi, H_2 , N_2 gibi iki atomlulardan daha düşüktür. Plazma haline kolay geçtiği için argon gazı tercih edilmektedir. Ayrıca stabil ark sağlar ve daha düşük çalışma voltajı gerektirmektedir [18]

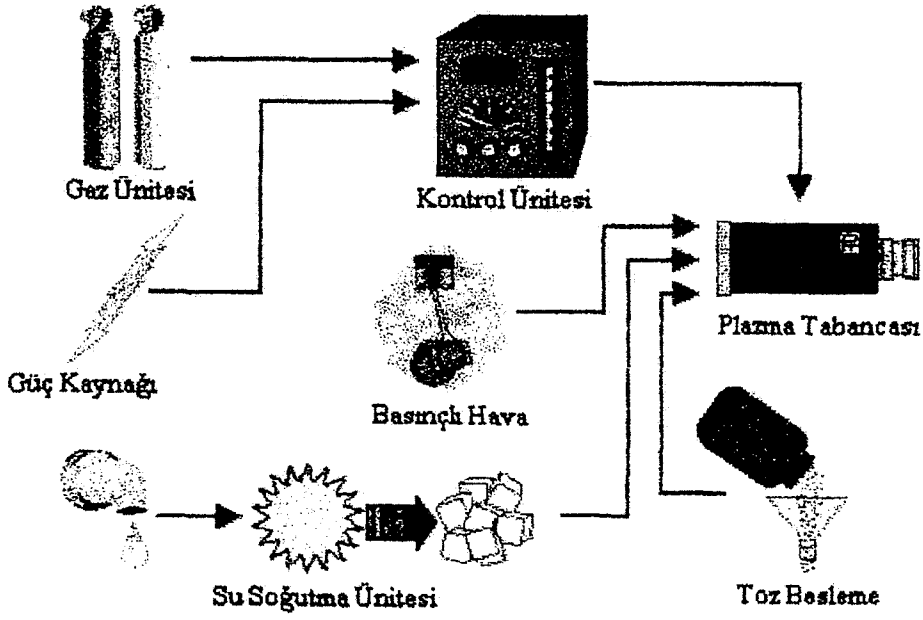
4.2.4. Helyum

Plazma sıcaklığını arttırmak ve transfer özelliklerini geliştirmek amacıyla helyum gazı ikincil gaz olarak kullanılmaktadır. Sürekli bir şekilde doğru akım boşalmasını sağlamak için 20–80 kW arasında değişen güç üniteleri kullanılmaktadır. Helyum gazı yardımcı gaz olarak argon ile birlikte kullanılır. Ark voltajını arttırmaya yönelik bir gazdır [18].

4.3. Plazma Püskürtme Sistemi

Plazma püskürtme yöntemi ile kaplama işleminin gerçekleştirildiği sistem; güç ünitesi, gaz besleme ünitesi, toz besleme ünitesi ve püskürtme tabancasından meydana gelmektedir. Bu yöntemde DC elektrik arkı, nozul ile elektrot arasında oluşur. Soy gaz (genellikle argon) veya gaz soy gaz karışımları ile gücü ark bölgesine gönderilir ve elektrik arkı ile ısıtılır. Gaz karışımı, yaklaşık olarak 8000°C'ye kadar ısınarak iyonize hale gelir. Böylece, yüksek sıcaklık plazma hüzmesi tabancasının nozulundan çıkar. Bu sistemde, seramik tozları plazma alevine, taşıyıcı gaz yardımıyla süspanse halinde beslenir. Yüksek sıcaklığın etkisiyle ergiyen tozlar, kaplama yapılacak yüzeye hızla çarparak katılaşmaktadır.

Plazma püskürtme sonunda elde edilen kaplamaların yapısı, ince ve tabakalıdır. Bazı kaplamalarda ise hızlı katılaşma sonucu amorf yapı elde edilmektedir. Şekil 4.6'da plazma püskürtme sisteminin bileşenleri şematik olarak gösterilmektedir [17].



Şekil: 4.6. Plazma püskürtme sisteminin bileşenlerinin şematik olarak gösterimi [17]

4.3.1. Güç ünitesi

Sitemde kullanılan güç, kaplamaların kalitesine etki etmektedir. İlk zamanlar kullanılan plazma püskürtme sisteminin gücü 40 kW iken daha sonra sırasıyla 80,120 ve 220 kW'lık güç üniteleri kullanılmaya başlamıştır. 80 kW'lık güce sahip olan konvansiyonel sistemler yerini daha verimli ve güçlü sistemlere bırakmıştır. Güç ünitesinin kaplama özelliklerine etkisi, katottan yayılan serbest elektronların hızının, anot ile olan potansiyel farkına bağlılığından dolayıdır. Bu durumda plazma gazı çarpma etkisi ile iyonize olur. Üflecin ucundan çıkan kaplama tozları daha hızlı olarak yüzeye çarpar ve yoğun bir kaplama elde edilmesine imkân vermektedir.

4.3.2. Gaz besleme ünitesi

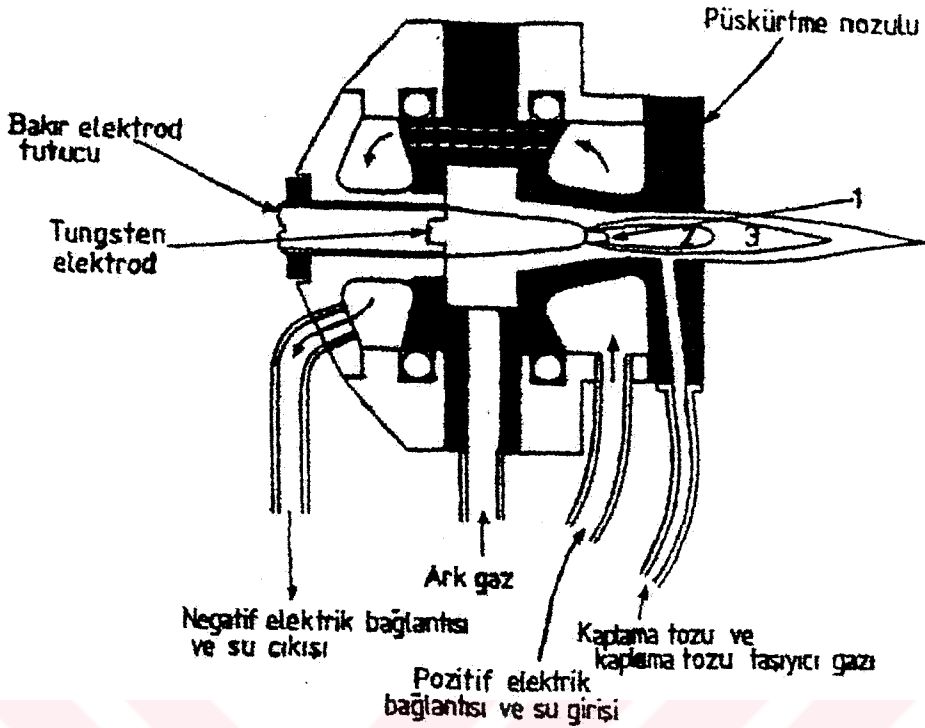
Plazma püskürtme kaplama teknolojisinde kullanılan gazlar, farklı ısı kapasiteleri ve iyonlaşma özelliği gösterdiklerinden önemlidirler. Azot, argon, hidrojen ve helyum gazları plazma püskürtme kaplama yönteminde kullanılmaktadır. Plazma gazının fonksiyonu püskürtülen malzemeyi, parçacıkları hızlandırarak kaplama yüzeyine taşımaktır. Plazma gazının ısı ve sıcaklığı; ark akımı, plazma gazın akışı, gazların karışım oranı, özellikleri ve nozulun cinsine göre kontrol edilmektedir [18].

4.3.3. Toz besleme ünitesi

Ulaşılan yüksek proses sıcaklıkları sayesinde plazma sprey yöntemleri, hemen hemen sınırsız bir spektrumla fonksiyonel yüzey kaplama tabakalarının üretimine imkan sağlar. Kaplamada kullanılan farklı malzeme ve farklı boyutlu tozlar, kimyasal bileşimlerine, tane boyutuna ve kullanım alanlarına göre sınıflandırılır. Plazma tozları sinterleme, sol-jel, mikro peletleme vb. farklı yöntemlerle üretilmektedir. Kaplama tozlarının özellikleri, sprey tabakalarının mikro yapısına ve mekanik özelliklerine etki etmektedir.

4.3.4. Plazma püskürtme tabancası

Anod olarak saf bakır ve katod olarak %2 toryumlu tungstenin kullanıldığı tabancada plazma, bu iki elektrod arasındaki elektrik arkında plazma gazlarının iyonizasyonu ile elde edilir. Doğru akım elektrik arkı genelde anod-katod teması ile ateşlenir. Uygulamada nötr plazma gerektiği için, anod boş bir nozul şeklinde dizayn edilmiş ve ark devresinin nozul içinde tamamlanması sağlanmıştır. Kullanılan plazma gazları, katodun etrafından ve aynı zamanda nozul görevini gören anodun içerisinden geçirilmektedir. Katod boyunca verilen plazma gazı, bu ark içerisinde ısıtılmakta ve plazma sıcaklığına erişen gaz nozul anottan plazma alevi olarak püskürtülmektedir. Bu sistemde, seramik tozlar plazma alevine, taşıyıcı gaz yardımı ile süspanse halinde beslenir. Yüksek sıcaklığın etkisi ile eriyen tozlar, kaplama yapılacak yüzeye süpersonik bir hızla çarparak katılır. Püskürtme tabancasında katod, anod ve cidar eksenlerinin birbirine çakışacak şekilde dizayn edilmesi gereklidir. Ayrıca izolasyonların ve cidarların direkt olarak plazma ile teması önlenmelidir. Plazmaya beslenen plazma gazları ve kaplama tozları plazma eksenine göre simetrik beslenmelidir. Ark akımı ve voltajı; anot/katod dizaynı, gaz akış hızı ve gaz bileşimi gibi değişkenlere bağlı olarak belirlenmektedir. Şekil 4.7'de plazma püskürtme tabancasının şekli görülmektedir [18].



Şekil: 4.7. Plazma püskürtme tabancası [17,19]

4.4. Kaplamaların Oluşumu

Plazma kaplamaların oluşum prosesi, sprey tabakalarının özelliklerini etkileyen birkaç kademededen meydana gelir. Plazma alevinin yüksek ısı ve kinetik enerjisi, kullanılan tozun eritilmesini ve ana malzemeye doğru hareketini mümkün kılar. Plazma tabacasına tozun gönderilme biçimi ile tozun şekli ve granülitesi, belli bir hızdaki partiküllerin hareketini etkiler. Plazma alevi ile erimiş malzeme ve ortam atmosferi arasındaki etkileşim; partiküllerin fiziksel olarak erime ve kimyasal olarak dönüşüm şeklini etkiler [18].

4.4.1. Partikül taşınımı

Taşınım özellikleri, toz partiküllerinin şekli ve boyutuyla belirlenir. Toz boyut dağılımı mümkün olduğunca üniform, şekli ise küresel olmalıdır. Çünkü plazma alevinde daha ince tozlar buharlaşmaya, büyük tozlar ise tam olarak erimemeye neden olurlar. Sprey tozlarının tamamen eriyebilmesi için ancak plazma tabancasının anot ile katodu arasındaki ark bölgesine beslenmeleri gerekir. Bugün için kullanılan

sistemlerin büyük bir kısmında toz, reaktif olmayan bir gaz vasıtasıyla, nozul dışında plazma alevine radyal olarak enjekte edilmektedir.

4.4.2. Plazmada partikül hareketi

Plazma alevinin eksenine dik olarak enjekte edilen bir toz partikülü birçok faktörün belirlediği bir hareket mekanizmasına sahiptir. Ana malzemeye doğru hareket halindeki partikül alevi, belli açılı konik bir şekle sahiptir. Bu açı; plazma alevine partiküllerin beslenme hızının, partikül boyutunun, plazma alev hızı ile dağılımının bir fonksiyonudur. Ayrıca plazma tabancasıyla ilgili olan tabanca tipi toz besleyici ve ark randımanı gibi faktörlerde partiküllerin plazma alevindeki hareket mekanizmasını etkiler.

4.4.3. Erimiş malzeme ile ortam atmosferinin etkileşimi

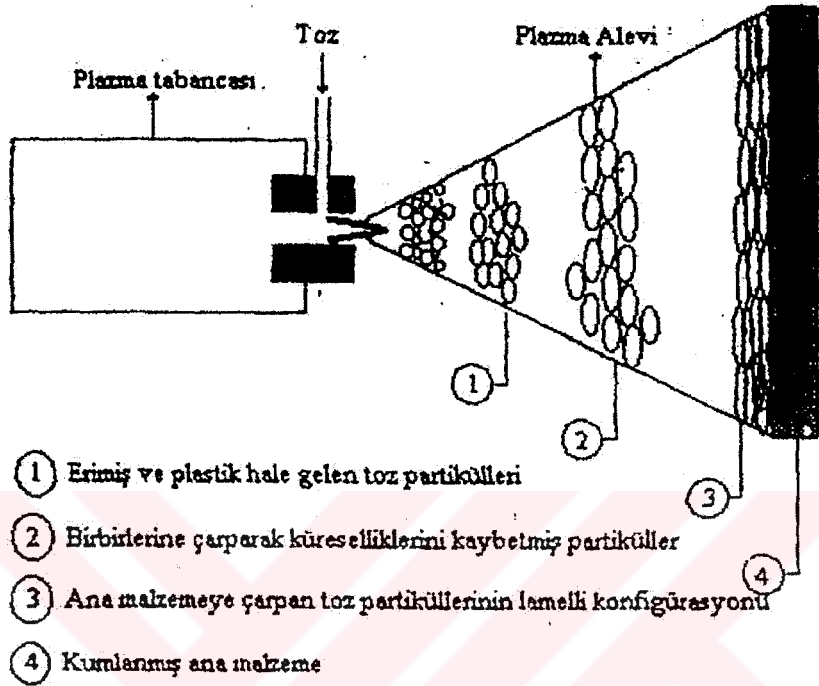
Plazma alevine beslenen toz partikülleri, alevin ısı ve kinetik etkilen sayesinde erir ve ana malzeme yüzeyine püskürtülür. Plazma alevinden toz partikülüne ısı transfer mekanizması, çok kompleks bir olaydır ve bugüne kadar tam olarak anlaşılammıştır. Plazma alevinde eriyen toz partikülleri, yüksek kimyasal aktiviteye sahiptirler. Dolayısıyla partiküller ile ortam atmosferini oluşturan gazlar arasında gaz adsorbsiyonu, kimyasal etkiler, oksit tabakalarının oluşumu ve difüzyon prosesleri gibi birçok karşılıklı etkileşim mekanizması söz konusudur.

4.4.4. Partiküllerin ana malzemeye çarpması

Plazma alevindeki erimiş partiküller ana malzeme yüzeyine çarptığı zaman, kinetik enerjileri ısı ve deformasyon enerjisine dönüşür. Partiküller ana malzemeyle temas ettiklerinde, ısılarını yüzeye aktarır hızla soğur ve katılaşırlar. Partiküllerin o andaki davranışları sıcaklıklarına, hızlarına ve soğuma oranlarına bağlıdır.

Plazma alevindeki hareket esnasında yüzey gerilimi nedeniyle küresel şekle sahip oldukları düşünülen erimiş partiküller, ana malzeme yüzeyine çarptıklarında ısı ve kinetik enerjilerini kaybederek deforme olurlar ve sonra 5–15 mm kalınlığında [18]

lameller şeklinde katılırlar. Bu durum Şekil 4.8'de plazma alevinde toz partiküllerinin deformasyonu ve ana malzeme ile bağlanması şeklinde gösterilmiştir.



Şekil: 4.8. Plazma alevinde toz partiküllerin deformasyonu ve ana malzeme ile bağlanması [18]

4.4.5. Sprey esnasında kaplama malzemesinin fiziksel ve kimyasal dönüşümü

Plazma alev sıcaklığının çok yüksek olması ile mevcut fiziksel ve kimyasal prosesler erimiş malzeme de birçok dönüşüme neden olur.

Kaynama noktaları ergime noktalarına yakın malzemeler, güçlükle püskürtülebilir. Örneğin; MgO parçalanır ve oluşan ürünler kolayca gaz haline geçer. Polimorfik malzemeler ise, allotropik dönüşüm gösterirler ve çok hızlı soğuma nedeniyle metastabil halde bulunurlar [18].

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Çalışma Programı

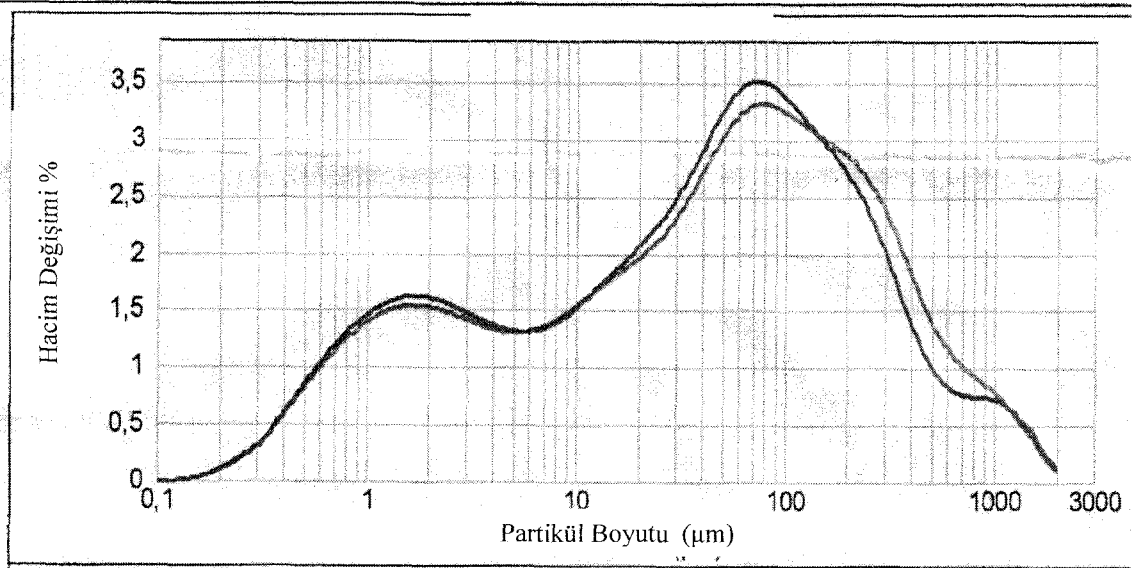
Bu çalışmada elektrik ark ocağı baca tozlarının 2 farklı alan da değerlendirilebilirliğinin araştırılması amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Bunlar;

a)EAO baca tozunun plazma sprey kaplama teknolojisinde kaplama tozu olarak kullanılabilirliği.

b)EAO baca tozunun sinterlenmesi ve özelliklerinin incelenmesi.

5.2. Hammadde Temini ve Hazırlanması

Elektrik Ark Ocağı baca tozu Yazıcı (Diler) Demir Çelik Fabrikasından Dilovası Gebze'den temin edildi. Baca tozunun alındığı haliyle orijinal tane boyut dağılımı Şekil 5.1' de verilmiştir.



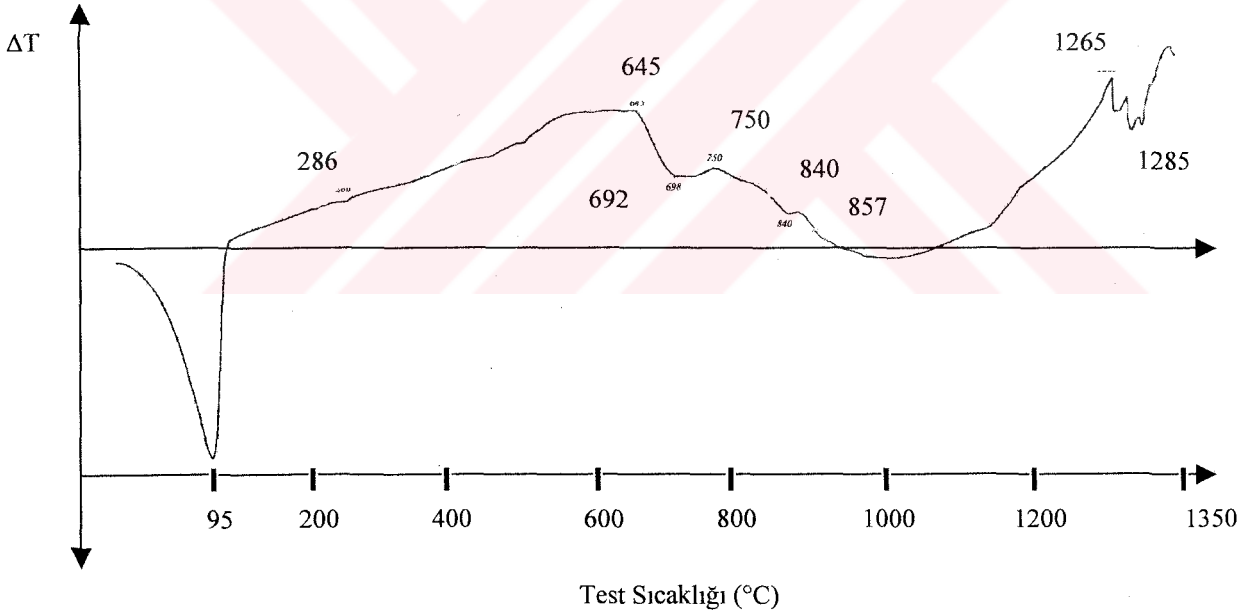
Şekil 5.1. EAO baca tozu tane boyut dağılımı

Baca tozu önce halkalı değirmende 2 dakika kadar öğütülerek boyutları küçültüldü. Tozlar nemlenmeye çok müsait olduklarından hemen topaklanmasından dolayı öğütülen tozları elemenden önce tozların elekten geçmesini kolaylaştırmak için etüvde (80-100°C)'de bir gece bekletildi. Sonra bu tozlar 75µm elekten geçirilerek plazma kaplamalarda ve seramik üretiminde kullanılacak tozlar elde edildi. Bu tozlarla aşağıda detayları verilecek olan 2 ayrı deney çalışması uygulandı. Bunlar;

a) 2 farklı çelik türüne farklı bileşimlerde 6 adet plazma kaplama yapıldı.

b) 4 ayrı sinterleme sıcaklığında (900,1000,1100 ve 1200 °C) ve 2 ayrı sinterleme süresinde (1 ve 2 saat) seramik üretildi.

Şekil 5.2'de ise Elektrik ark fırını baca tozunun 1350 °C' de 10 derece/dak. test edilen DTA eğrisi görülmektedir.



Şekil 5.2. EAO baca tozunun DTA analiz eğrisi

Tablo 5.1'de Gebze 'den temin edilen elektrik ark fırını baca tozunun XRF analizi görülmektedir.

Tablo 5.1. Elektrik ark fırını baca tozu analizi

Oksit/element	w/o	Element	w/o	Element	w/o
Fe ₂ O ₃	53,74	Fe	37,618	C	2,48
ZnO	8,866	Zn	7,115	S	0,77
PbO	4,187	Pb	3,887	P	0,384
MnO	2,825	Mn	2,189	Cr	0,315
SiO ₂	6,12	Si	---	Cu	0,181
CaO	5,267	Ca	---	Ba	0,052
K ₂ O	4,946	K	---	Sn	0,040
MgO	1,319	Mg	---	Cd	0,029
Al ₂ O ₃	1,056	Al	---	As	0,015
TiO ₂	0,097	Ti	---	Sb	0,012
Kızdırma Kaybı	6,94			V	0,007

5.3. Altlık Malzemelerin Yüzeylerinin Hazırlanması

Kaplama tabakası özelliklerine etki eden önemli parametrelerden biri yüzey hazırlamadır. Plazma sprey kaplamalarda altlık malzeme ile kaplama tabakası arasındaki bağlanma çoğunlukla mekanik karakterli olduğu için, kaplama öncesi ana malzeme yüzeylerinin hazırlanması yani pürüzlendirilmesi çok önemli bir işlemdir.

EAO baca tozunun kaplanacağı altlık malzeme olarak AISI 1040 ve sementasyon çeliği AISI 8620 seçildi. Dikdörtgenler prizması şeklinde olan altlık malzemenin özellikleri Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Altlık malzemelerin kimyasal bileşimleri

Çelik cinsi	Bileşim (w/o)
1040	0,40-0,50 C, 0,15-35 Si, 0,50-0,80 Mn, 0,035 S, 0,035 P
Sementasyon çeliği 8620	0,17-0,23 C, 0,20-0,35 Si, 0,6-0,9 Mn, ,0,035 S, 0,035 P 0,35-0,65 Cr, 0,15-0,25 Mo, 0,40-0,70 Ni

Çeliklerden yaklaşık 4 cm² kesitli (2 cm x 2 cm) kalınlığı 1 cm olan her bir kaplama bileşimi için 1 adet kaplama numunesi olmak üzere toplam 6 adet kesildi.

yüzeğe iyi tutunmasını sağlamaktı. Her numune tek tek taşlandıktan sonra zımparayla yüzey daha pürüzsüz hale getirildi. Önce 60'lık zımparadan sonra parlatma için 240-320-400-600 ve en son 800 giritlik SiC zımparadan geçirilip numuneler parlatıldı. Kaplamadan 2 saat önce numuneler ultrasonik temizleme yöntemiyle 20 dakika temizlendi.

Bunun nedeni malzemelerin üzerindeki yağ ve pas tabakalarını almaktır. Hazırlanan numuneler elektrikli kurutma makinesi ile kurutuldu.

Yağ, pas, kirden arındırılmış ve kurutulmuş olan ana malzeme yani altlık malzeme yüzeyleri aşındırıcı malzeme olan 16 - 20 giritlik Al₂O₃ ile kuşlanarak kaplanacak yüzeyin pürüzlendirilmesi sağlanmıştır. Kuşlama basıncı tüm numuneler için sabit tutulmuştur. Maksimum yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesi için kuşlama esnasında kuşlama tabancası metal yüzeyine 90° lik açıyla tutulmuştur.

5.4. Karışımın Hazırlanması ve İlaveler

Plazma spreğ kaplama prosesinde kaplama kalitesine etki eden faktörlerden biri de kaplamada kullanılan tozlardır. Toz morfolojisinin kaplama yoğunluğu ve yapısı üzerine önemli etkisi vardır. Kaplama kalitesinin kontrol altında tutulmasının istendiği durumlarda tozların karakterizasyonu iyi yapılmalıdır. Kaplama öncesi en önemli ve en son kademe olan bu bölümde tozlar elle çevrilen bir mikserde 10 dakika süreyle karıştırıldı. Hazırlanan toz karışımları Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3. Toz Karışımlarının bileşimleri

Birinci Karışım	İkinci Karışım	Üçüncü Karışım
% 100 E.A.O. Baca Tozu (50 gr.)	% 80 (40 gr.) E.A.O. Baca Tozu	% 80 (40 gr.) E.A.O. Baca Tozu
-	+ % 20 (10 gr.) Al tozu	+ % 20 (10 gr.) Cam tozu

5.5. Al ve Cam tozu ilavesi

Her bir kaplama için 100 gr lık tozun hazırlanmasına karar verilerek mekanik öğütmenin negatif etkilerinden olan porlu kaplamayı gidermek için % 20 mikronize Al. metal tozu ve $-75\mu\text{m}$ pencere camı tozu ilavesi yapıldı.

5.6. Plazma Sprey Kaplama Sistemi ve Kaplama İşlemi

Tozlar hazırladıktan sonra numuneleri kaplama yapabilmek için 8 mm'lik inşaat çubuklarına kaynaklandı. Sonra numunelere kumlama yapıldı ve kumlamadan sonraki yüzey pürüzlülüğü ölçüldü. Kaplama işlemleri METCO firması tarafından üretilen Sakarya Üniversitesi Plazma Kaplama Laboratuvarlarındaki atmosferik plazma sprej kaplama sistemi kullanılarak yapılmıştır. Manuel sistemde 40 kW'lık güce sahip ünite ve 3 MBN tipinde plazma sprej tabancası kullanıldı. Püskürtme parametreleri üretici firmanın tavsiye değerlerine göre ayarlandı. Kaplama sırasında ark akımı 500 amper, ark voltajı 65- 70 Volt arasında seçildi ve bu değerler sabit tutuldu. Kaplama prosesinde primer gaz olarak argon, sekonder gaz olarak da hidrojen kullanıldı. İlgili proseste kullanılan sprej parametreleri Tablo 5.4. 'te verilmiştir.

Tablo 5.4. Kaplama işleminde kullanılan sprej parametreleri

Kaplama Malzemesi	EAO baca tozu , EAO baca tozu + Al, EAO baca tozu +Cam tozu
Kaplama Sistemi	Manuel, Atmosferik Plazma Sprej Sistemi
Altlık	1040 ve sementasyon çeliği 8620
Plazma Tabanca Tipi	3 MBN
Kumlama	16-20 gritlik Al_2O_3
Voltaj (V)	65 – 70
Akım (A)	500
Primer Gaz (Ar) (l / dak.)	100
Sekonder Gaz (H_2) (l / dak.)	15
Toz İtici Gaz (Ar) akışı (l / dak.)	40
Sprej Mesafesi (cm)	15-17,5 cm
Reed Role Indicator	180

5.7. Kaplamaların Karakterizasyonu

Plazma sprey kaplama yöntemiyle üretilen takviyeli ve takviyesiz kaplamaların karakterizasyonu çerçevesinde; Metalografik Çalışma, Kaplama Kalınlığı Ölçümü, Yüzey Pürüzlülüğü tespitine yönelik çalışmalar yapılmıştır.

5.7.1. Kaplanmış numunelerin mikroyapı incelemesi için hazırlanması

Plazma ile kaplanan numunelerin mikroyapı incelemesi için yan kesitten kaba zımparalama ve parlatma işlemi yapıldı. Parlatma kalitesini artırmak için su+alümina süspansiyonu kullanılarak istenen yüzey parlatması elde edildi.

1040 ve sementasyon çeliği üzerine Al tozu içermeyen ve %20 Al tozu ve %20 cam tozu içeren baca tozu esaslı kaplama tozları kullanılarak kaplamalar yapılmıştır. Kaplama kalınlığı, kaplama yüzeyi ve kaplama kalitesi metalografik incelemelerle belirlenmiştir.

Bu işlem, yarı otomatik bir cihazda sırasıyla 600, 800, 1000 ve 1200 gritlik SiC zımparalar kullanılarak yapılmıştır. Her bir zımparalama kademesinden sonra numune yüzeyleri su ile iyice yıkanmıştır.

Parlatma işlemleri yarı otomatik, su beslemeli parlatma cihazında sabit dönme hızıyla yapılmış ve parlatma kumaşı olarak parlatma keçesi, parlatma sıvısı olarak 3-1 μm ' lik elmas pasta kullanılmıştır. Parlatılmış numunelere herhangi bir dağlama işlemi uygulanmamıştır.

Parlatılmış numunelerin metalografik incelemesi Olympus BHM - 3 13U tipi optik mikroskopla yapılmış ve elde edilen mikroyapılar aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

Parlatılan numunelerin kaplama kalınlıkları ölçülerek sonuçlar 5.7.2. de verilmiştir.

5.7.2. Kaplama kalınlıklarının ve yüzey pürüzlülüklerinin ölçülmesi

Aşağıdaki Tablo 5.5'te kaplama kalınlıkları, Tablo 5.6' da ise kaplama öncesi ve kaplama sonrası elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir.

Tablo 5.5. Deney sonucunda elde edilen kaplama kalınlıkları

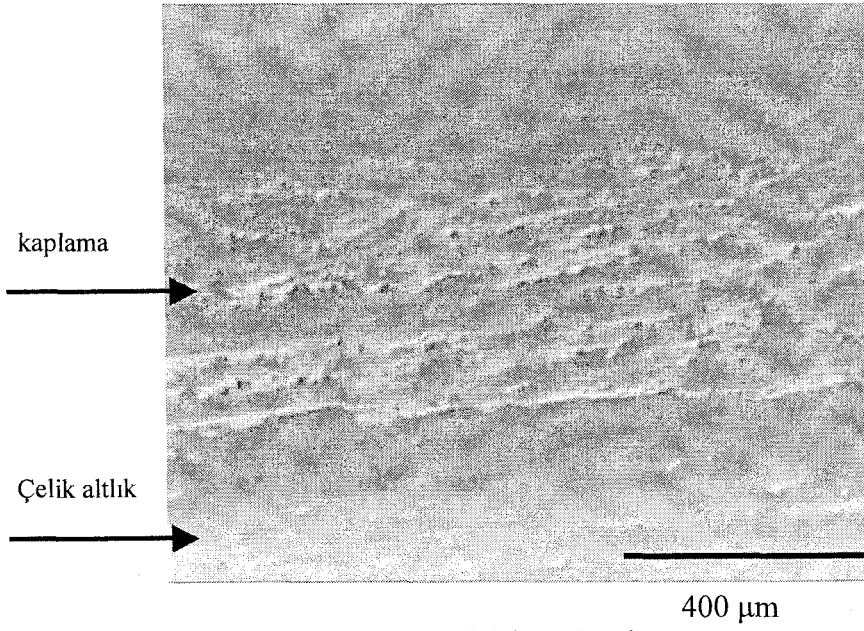
Kaplama tozu	Çelik türü	Kaplama kalınlığı (mikron)
%20 cam tozu+%80 baca tozu.	1040	33,8
%20 cam tozu+%80 baca tozu.	8620	31,9
%20 Al. tozu +%80 baca tozu.	1040	24,2
%20 Al. tozu +%80 baca tozu.	8620	35,1
%100 baca tozu.	1040	53,4
%100 baca tozu.	8620	32,8

Tablo 5.6. Yüzey pürüzlülük değerleri

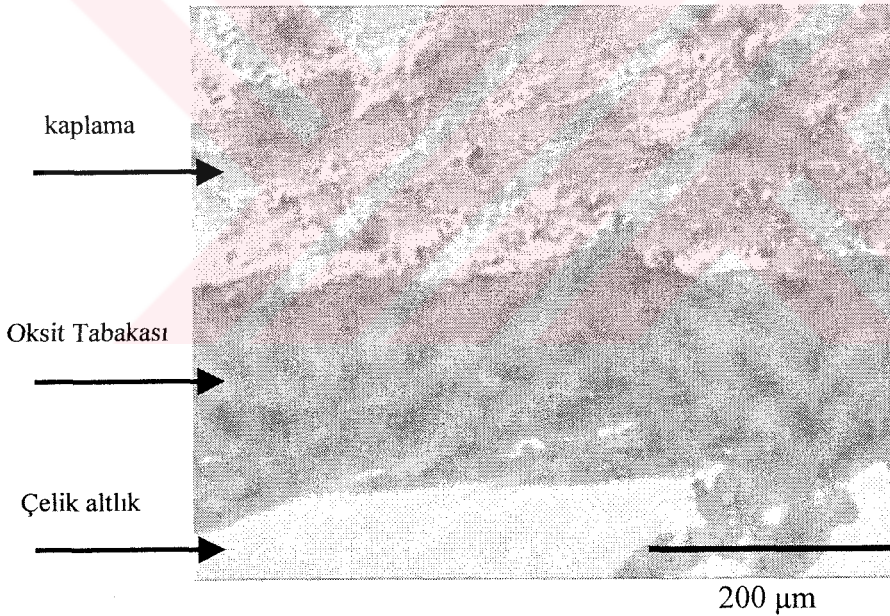
Kullanılan toz karışımı	Pürüzlülük değeri	Kullanılan Kaplama Altlığı			
		Kaplama Öncesi		Kaplama Sonrası	
		1040	8620	1040	8620
%100 BT	Ra	4,02	3,72	8,78	8,31
	Rz	26,9	23,0	46,9	42,2
	Rm	33	32,7	59,6	60,2
%20Al + %80BT	Ra	3,79	5,67	7,17	8,06
	Rz	23,1	33,2	37,2	44,4
	Rm	26,3	45,4	42,9	63,9
%20 cam tozu+%80 BT	Ra	5,84	4,48	12,1	10,9
	Rz	34,6	25,0	63,1	55,7
	Rm	45,5	30,4	88,0	93,1

5.7.3. Optik mikroyapı incelemesi

Şekil 5.3'te %100 baca tozu ile kaplanmış 1040 çeliğinin optik mikroyapısı görülürken Şekil 5.4'te ise yine aynı tozla kaplanmış 1040 çeliğinin optik mikroyapısı görülmektedir.

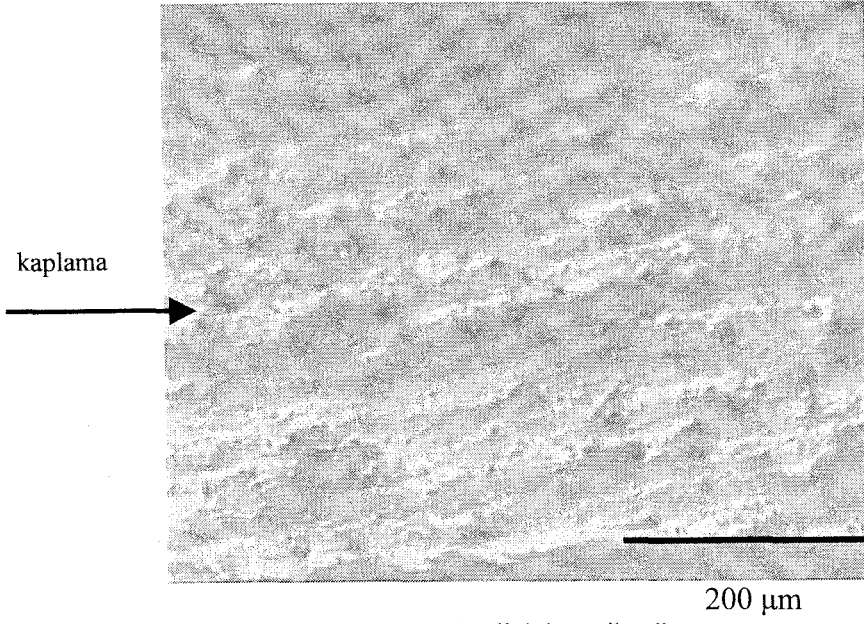


Şekil 5.3. %100 Baca tozu kaplanmış 1040 çeliğinin optik mikroyapısı

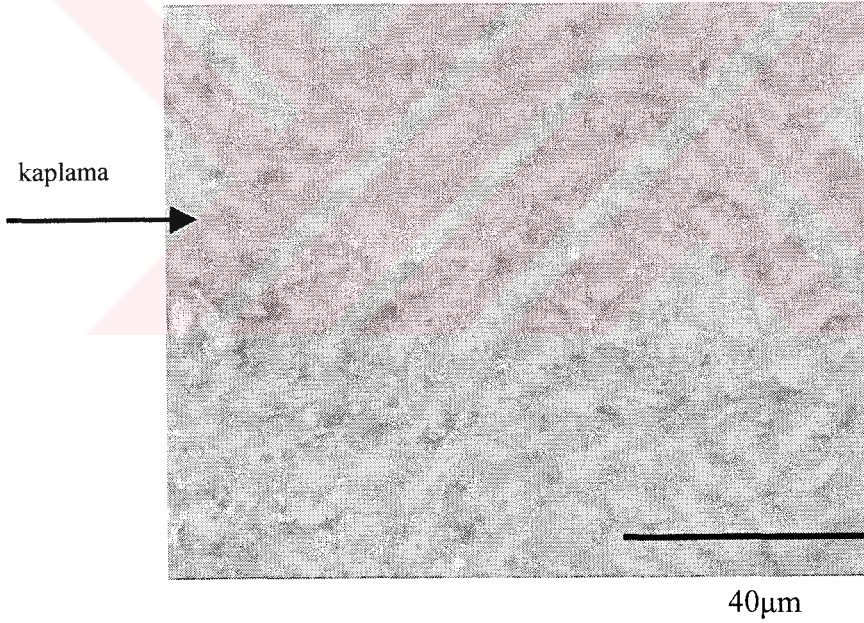


Şekil 5.4. %100 Baca tozu ile kaplanmış 1040 çeliğinin optik mikroyapısı

Şekil 5.5'te %100 baca tozu ile kaplanmış 1040 çeliğinin optik mikroyapısı görülürken Şekil 5.6'da ise aynı çeliğin yine aynı tozla kaplanmış olan optik mikroyapısı görülmektedir.

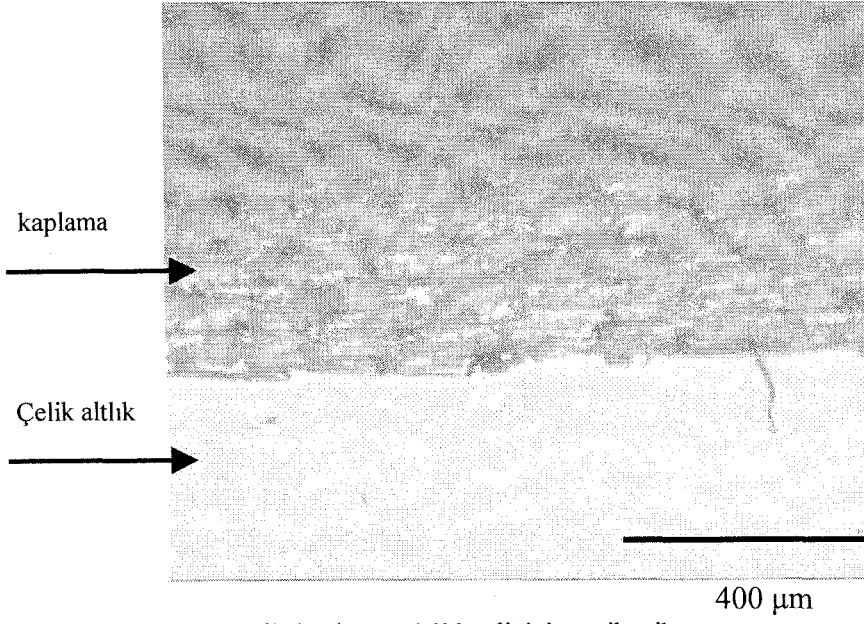


Şekil 5.5. %100 Baca tozu ile kaplanmış 1040 çeliğinin optik mikroyapısı

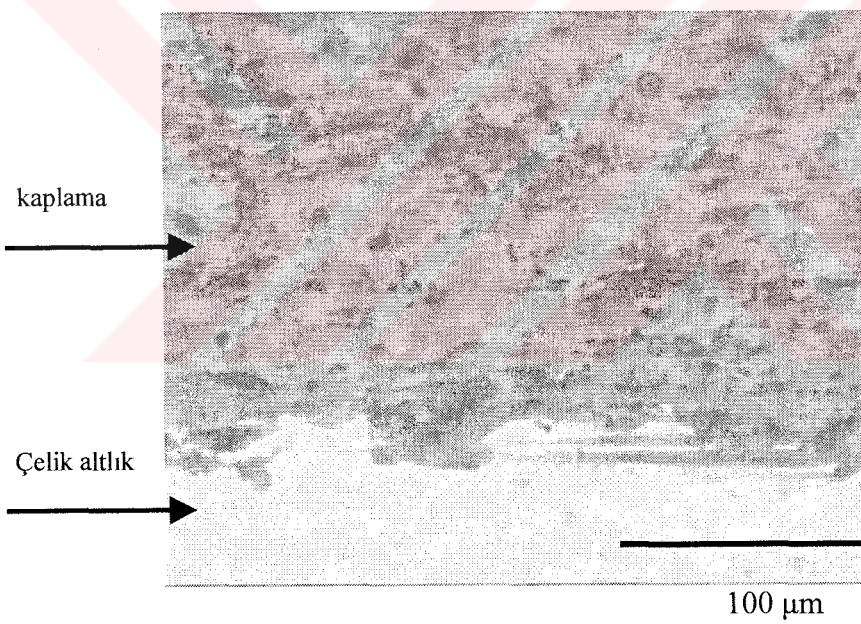


Şekil 5.6. %100 Baca tozu ile kaplanmış 1040 çeliğinin optik mikroyapısı

Şekil 5.7'de %100 Baca tozu ile kaplanmış 8620 çeliğinin optik mikroyapısı görülürken Şekil 5.8'de ise aynı çeliğin yine aynı tozla kaplanmış optik mikroyapısı görülmektedir.

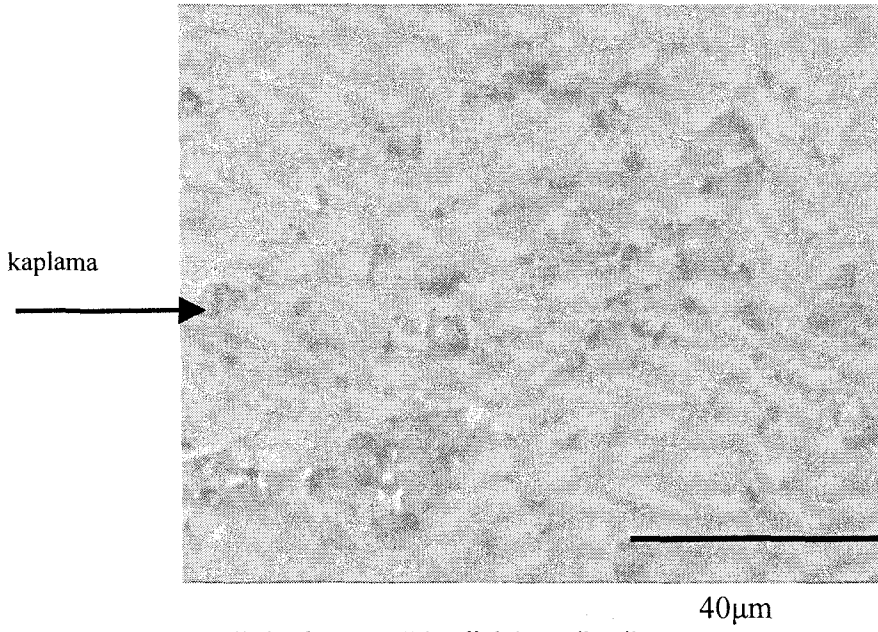


Şekil 5.7. %100 Baca tozu ile kaplanmış 8620 çeliğinin optik mikroyapısı

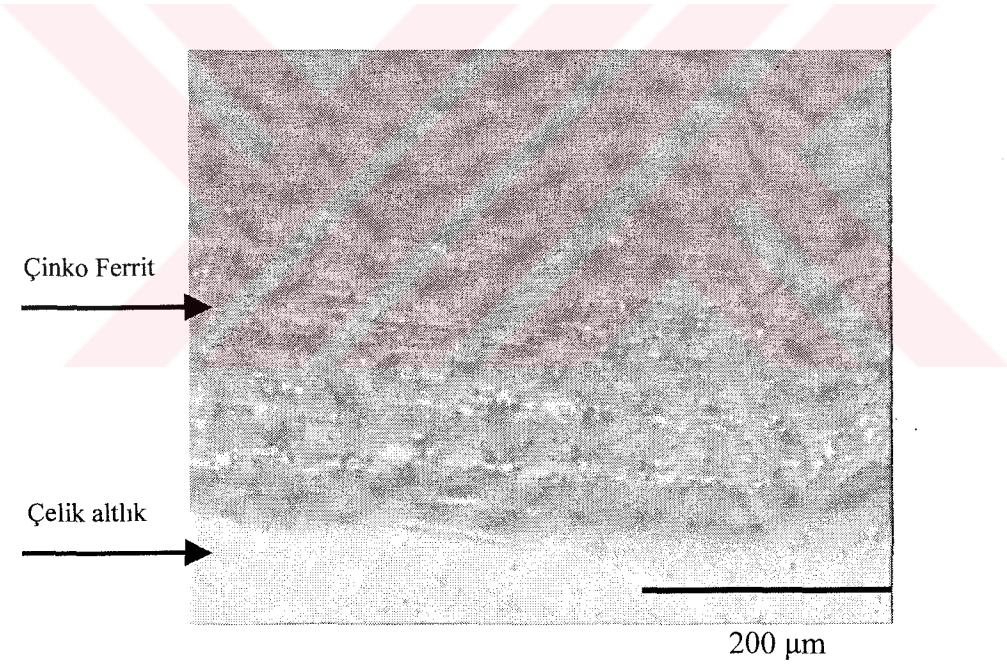


Şekil 5.8. %100 baca tozu ile kaplanmış 8620 çeliğinin optik mikroyapısı

Şekil 5.9'da %100 Baca tozu ile kaplanmış 8620 çeliğinin optik mikroyapısı görülürken Şekil 5.10'da ise %80 baca tozu + %20 Al tozu ile kaplanmış 1040 çeliğinin optik mikroyapısı görülmektedir.

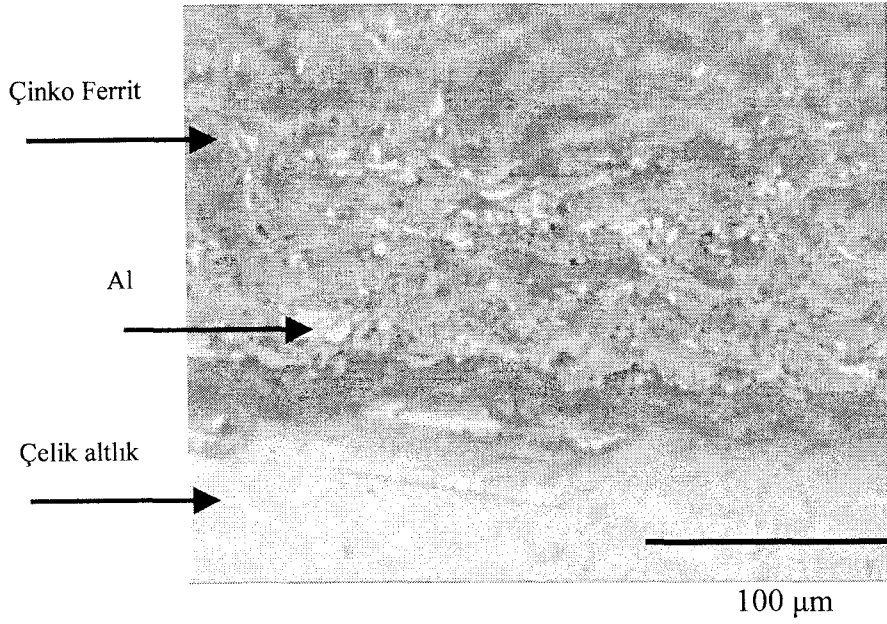


Şekil 5.9. %100 Baca tozu ile kaplanmış 8620 çeliğinin optik mikroyapısı

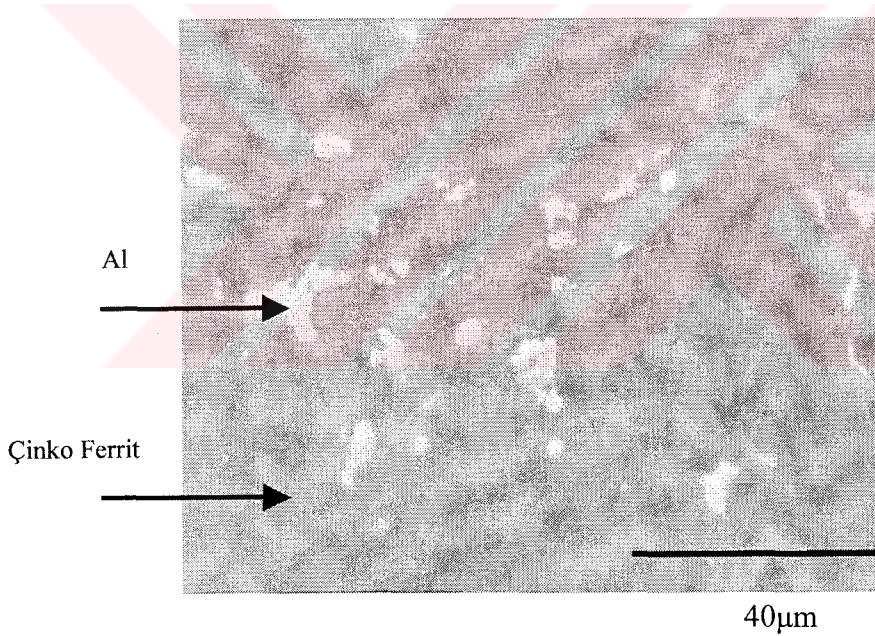


Şekil 5.10. %80 Baca tozu + %20 Al tozu ile kaplanmış 1040 çeliğinin optik mikroyapısı

Şekil 5.11'de %80 Baca tozu + 20 Al tozu ile kaplanmış 1040 çeliğinin optik mikroyapısı görülürken Şekil 5.12'de ise aynı çeliğin aynı toz karışımı ile kaplanmış optik mikroyapısı görülmektedir.

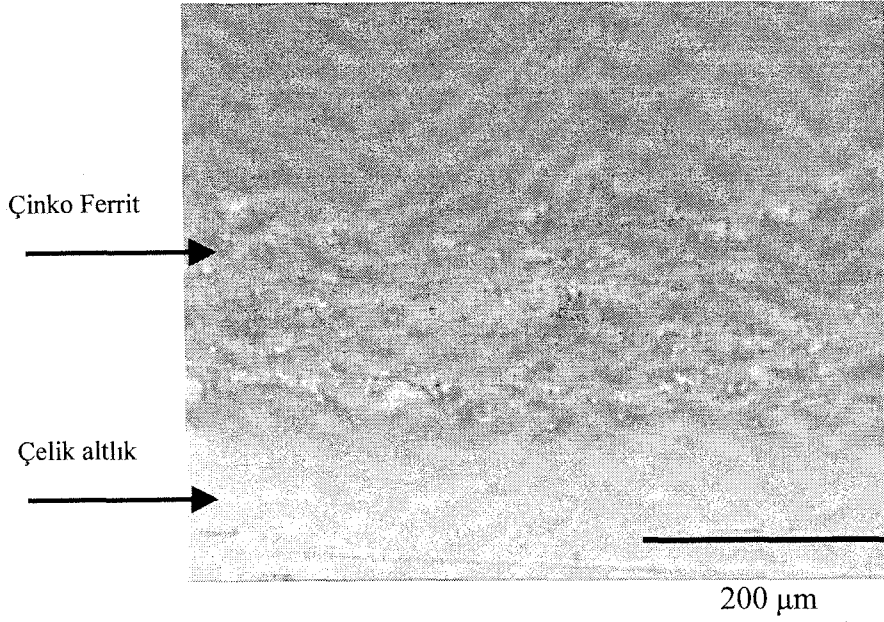


Şekil 5.11. %80 Baca tozu + %20 Al tozu ile kaplanmış 1040 çeliğinin optik mikroyapısı

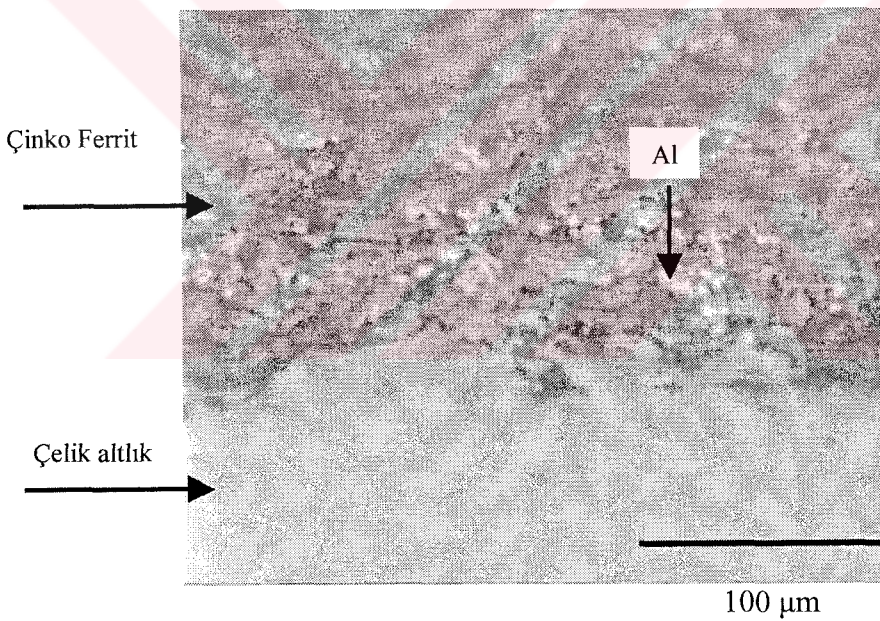


Şekil 5.12. %80 Baca tozu + %20 Al tozu ile kaplanmış 1040 çeliğinin optik mikroyapısı

Şekil 5.13'te %80 Baca tozu + %20 Al tozu ile kaplanmış 8620 çeliğinin optik mikroyapısı görülürken Şekil 5.14 'te aynı çeliğin yine aynı toz karışımı ile kaplanmış optik mikroyapısı görülmektedir.

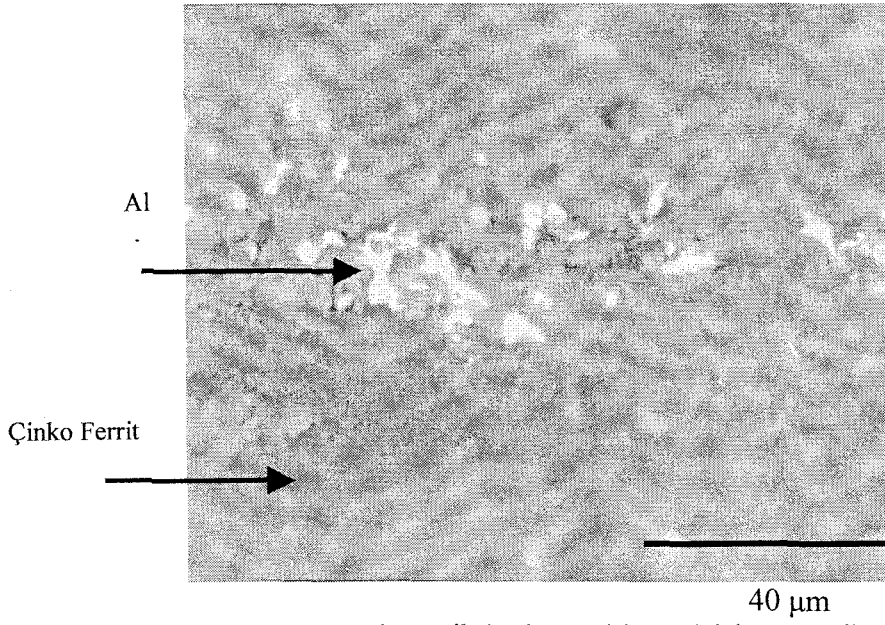


Şekil 5.13. %80 Baca tozu + %20 Al tozu ile kaplanmış 8620 çeliğinin optik mikroyapısı

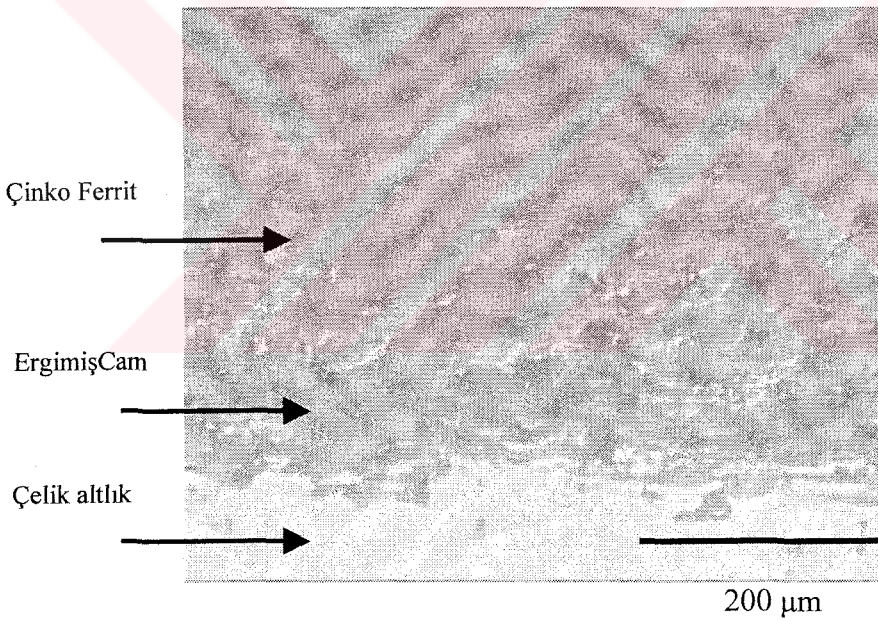


Şekil 5.14. %80 Baca tozu + %20 Al tozu ile kaplanmış 8620 çeliğinin optik mikroyapısı

Şekil 5.15'te %80 Baca tozu + %20 Al tozu ile kaplanmış 8620 çeliğinin optik mikroyapısı görülürken Şekil 5.16'da ise %80 Baca tozu + %20 cam tozu ile kaplanmış 1040 çeliğinin optik mikroyapısı görülmektedir.

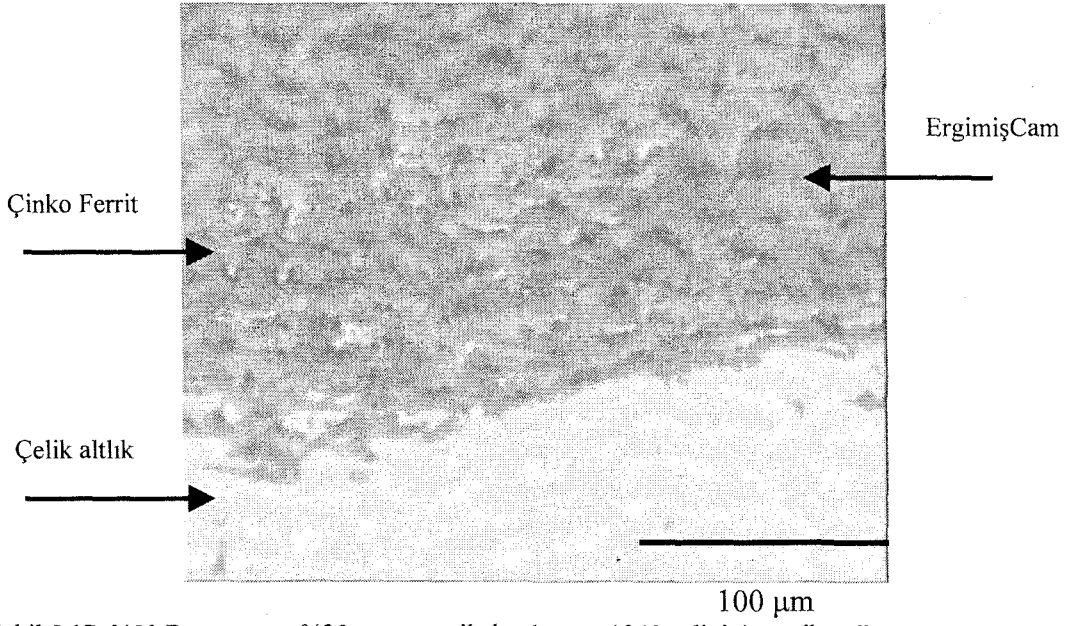


Şekil 5.15. %80 Baca tozu + %20 Al tozu ile kaplanmış 8620 çeliğinin optik mikroyapısı

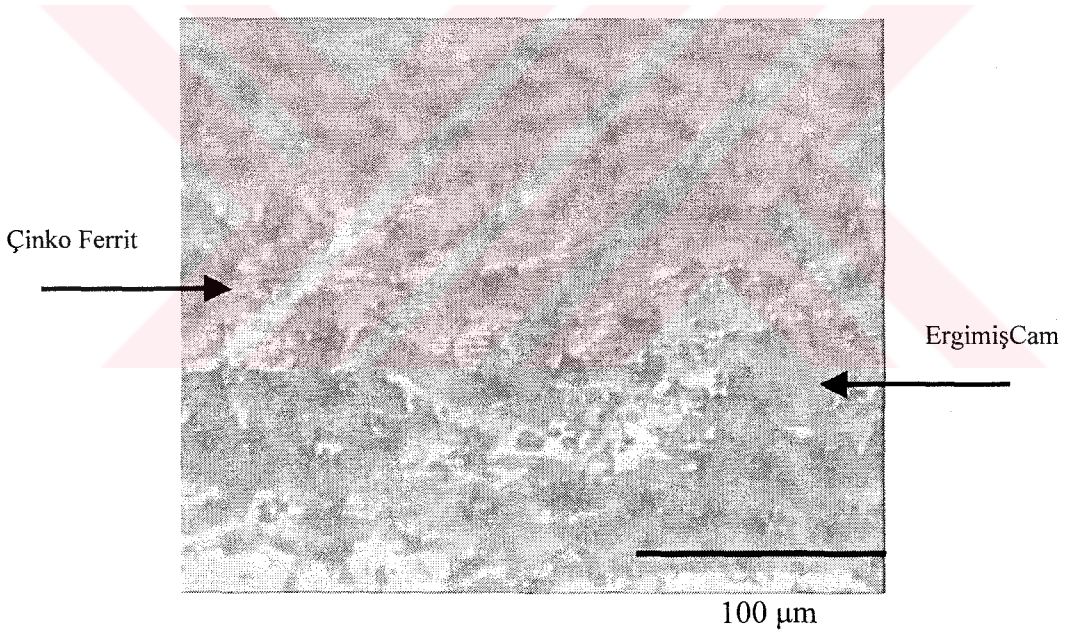


Şekil 5.16. %80 Baca tozu + %20 cam tozu ile kaplanmış 1040 çeliğinin optik mikroyapısı

Şekil 5.17'de %80 Baca tozu + %20 cam tozu ile kaplanmış 1040 çeliğinin optik mikroyapısı görülmektedir. Şekil 5.18'de ise aynı çeliğin aynı toz karışımı ile kaplanmış optik mikroyapısı görülmektedir.

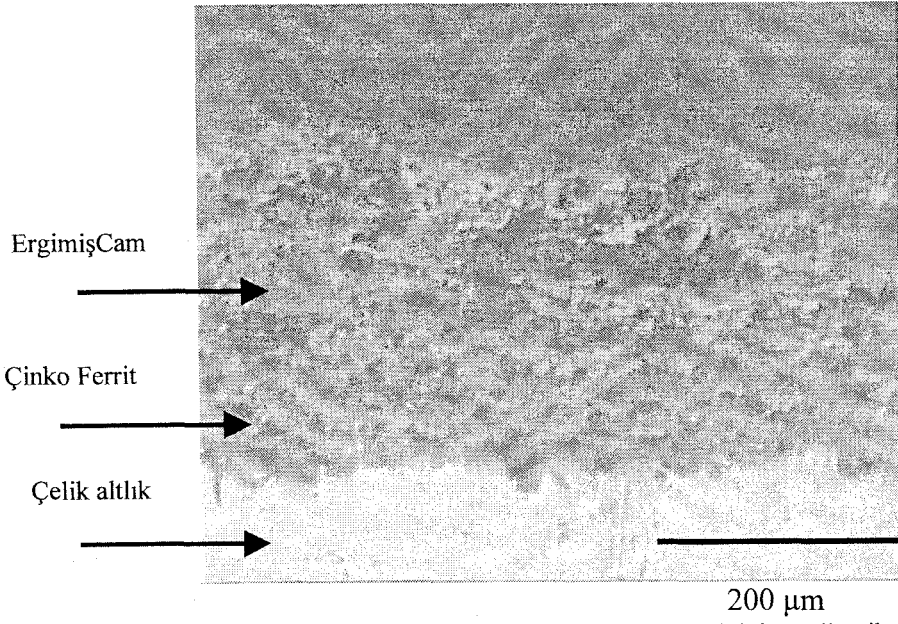


Şekil 5.17. %80 Baca tozu + %20 cam tozu ile kaplanmış 1040 çeliğinin optik mikroyapısı

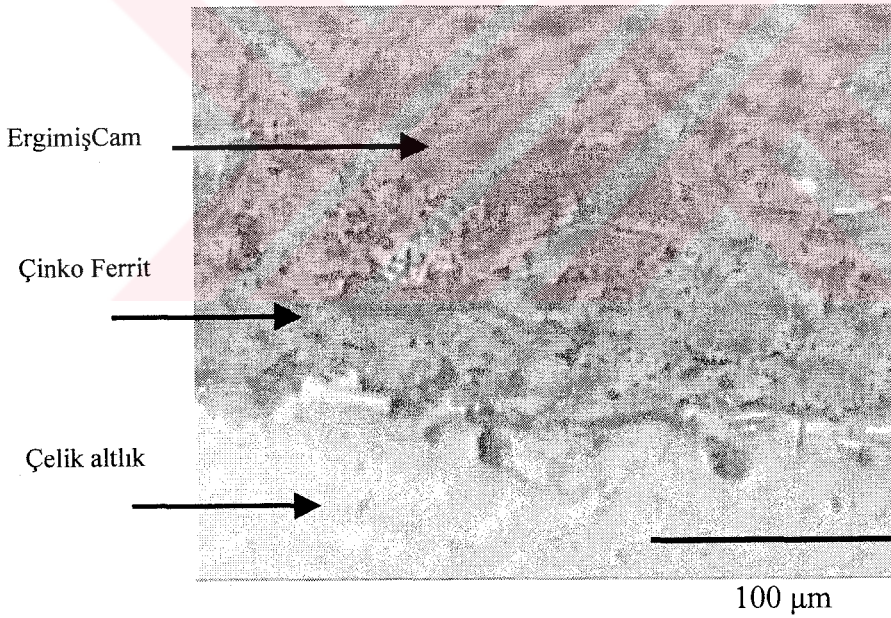


Şekil 5.18. %80 Baca tozu + %20 cam tozu ile kaplanmış 1040 çeliğinin optik mikroyapısı

Şekil 5.19'da %80 Baca tozu + %20 cam tozu ile kaplanmış 8620 çeliğinin optik mikroyapısı görülürken, Şekil 5.20'de ise aynı çeliğinin aynı toz karışımı ile kaplanmış optik mikroyapısı görülmektedir.

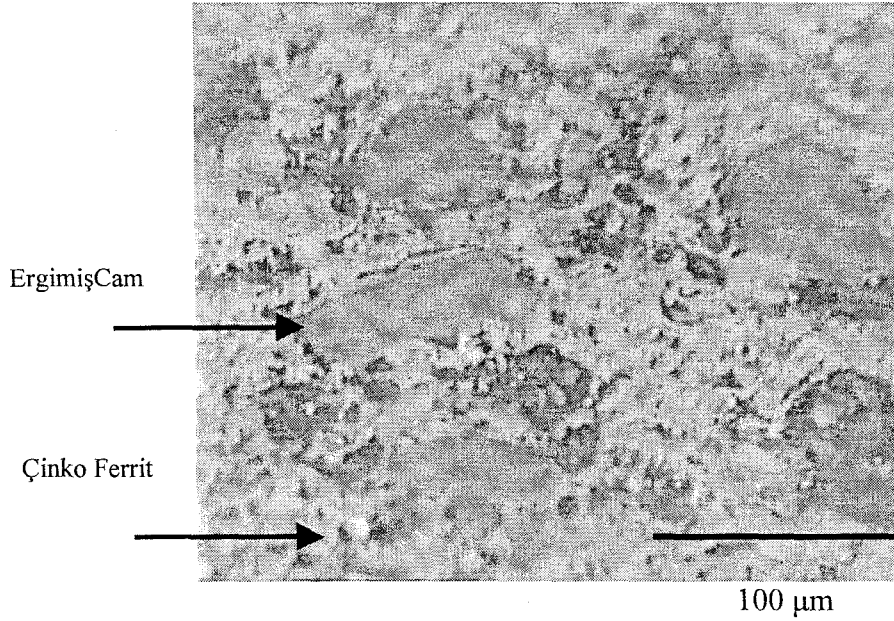


Şekil 5.19. %80 Baca tozu + %20 cam tozu ile kaplanmış 8620 çeliğinin optik mikroyapısı



Şekil 5.20. %80 Baca tozu + %20 cam tozu ile kaplanmış 8620 çeliğinin optik mikroyapısı

Şekil 5.21'de %80 Baca tozu + %20 cam tozu ile kaplanmış 8620 çeliğinin optik mikroyapısı görülmektedir.



Şekil 5.21.%80 Baca tozu + %20 cam tozu ile kaplanmış 8620 çeliğinin optik mikroyapısı

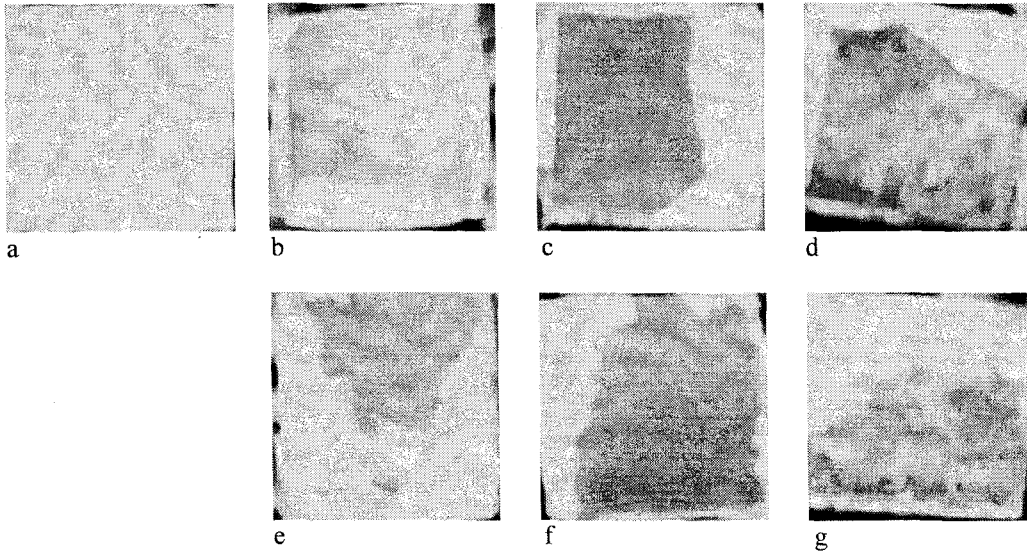
5.7.4. Kaplamaların bağ mukavemetinin incelenmesi

Plazma kaplanmış olan çelik malzemenin bağ mukavemetini ölçmek amacıyla aşağıda detayları verilen deneysel çalışma yapılmıştır.

Bağ mukavemeti testi ASTM Standart Test Method C., 633-679 'e göre yapıldı. Bağ mukavemetini ölçmek amacıyla önce referans iki çelik yapıştırıldı. Yapışkanın bağ mukavemeti test edildi. Daha sonra kaplanmış malzemeler çekme cihazı Dartec ile her iki yönden çekilerek test edildi. Bağ mukavemeti sonuçları Tablo 5.7' de verilmiştir. Şekil 5.22'de ise kaplanan çeliklerin makro görüntüleri görülmektedir.

Tablo 5.7. Kaplanmış numunelerin bağ mukavemeti sonuçları

Kaplanan Çelik Aıtlık	Kaplama Tozu Bileşimi	Bağ Mukavemeti (kN)	Kohezyon (Kaplama) (cm ²)	Adhezyon (Boş alan) (cm ²)
1040	%100 BT	2,8	6,33	2,67
8620	%100 BT	2,5	6,59	2,41
1040	%80 BT+%20 Al tozu	7,3	2,80	6,20
8620	%80 BT+%20 Al tozu	6,9	3,06	5,94
1040	%80 BT+%20 Cam tozu	6,0	5,11	3,89
8620	%80 BT+%20 Cam tozu	5,2	5,73	3,27



Şekil 5.22. Kaplanmış çeliklerin makro görüntüsü a- Yapıştırıcı ve çelik, b- %80 Baca tozu + %20 Al tozu 1040 çeliği, c- %80 Baca tozu + %20 Cam tozu 1040 çeliği, d- %100 Baca tozu 1040 çeliği, e- %80 Baca tozu + %20 Al tozu 8620 çeliği, f- %80 Baca tozu + %20 Cam tozu 8620 çeliği, g- %100 Baca tozu 8620 çeliği

Yapılan bağ mukavemeti testi sonucunda en iyi sonucun Al ilaveli tozla yapılan kaplama sonucu elde edildiği görüldü. Referans numunenin kopma mukavemeti yaklaşık 2,5-2,8 kN' iken özellikle Al tozu ile kaplanan çeliğin kopma mukavemeti 6,9-7.3 kN civarında olduğu görülmektedir. Cam tozu ise 5,2-6,0 kN arasında bir bağ mukavemeti ile daha düşük bir performans göstermiştir. Ayrıca Şekil 5.22'ye bakıldığında Al tozu ile kaplanan numunelerde kopma sırasında kaplamanın Cam tozu ilaveli numunelere göre daha az zarar gördüğü tespit edilmiştir

Bu sonuçla ilgili olarak Al. metali cam tozuna göre daha düşük bir ergime sıcaklığına sahip olduğu için ıslatma açısı da daha düşük olmaktadır. Düşük ıslatma açısına sahip olan malzeme numune üzerine daha iyi yayılma sağlamakta ve daha iyi bir yapışma sağlamaktadır. Bu da kaplama işlemi yapılan üç bileşimdeki toz karışımlarından Al. ilaveli numunelerle yapılan kaplama işleminin işlevsel bakımdan daha kullanılır olduğu sonucu elde edilmiştir.

5.8. Sinterlenmiş Numunelere Uygulanan İşlemler

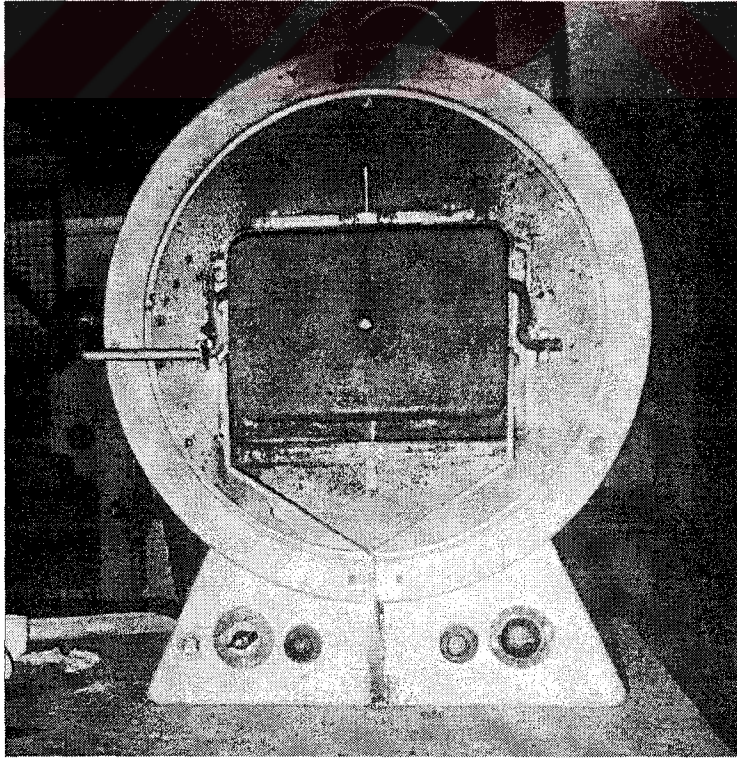
5.8.1. Hammadde temini

Deneyel çalışmalarda kullanılan Elektrik ark fırını baca tozu özel sektöre ait Diler Çelik A.Ş. Gebze fabrikasından temin edilmiştir. EAF baca tozunun analiz sonucu Tablo 5.1' de gösterilmiştir.

5.8.2. Deneylerde kullanılan cihaz ve ekipmanlar

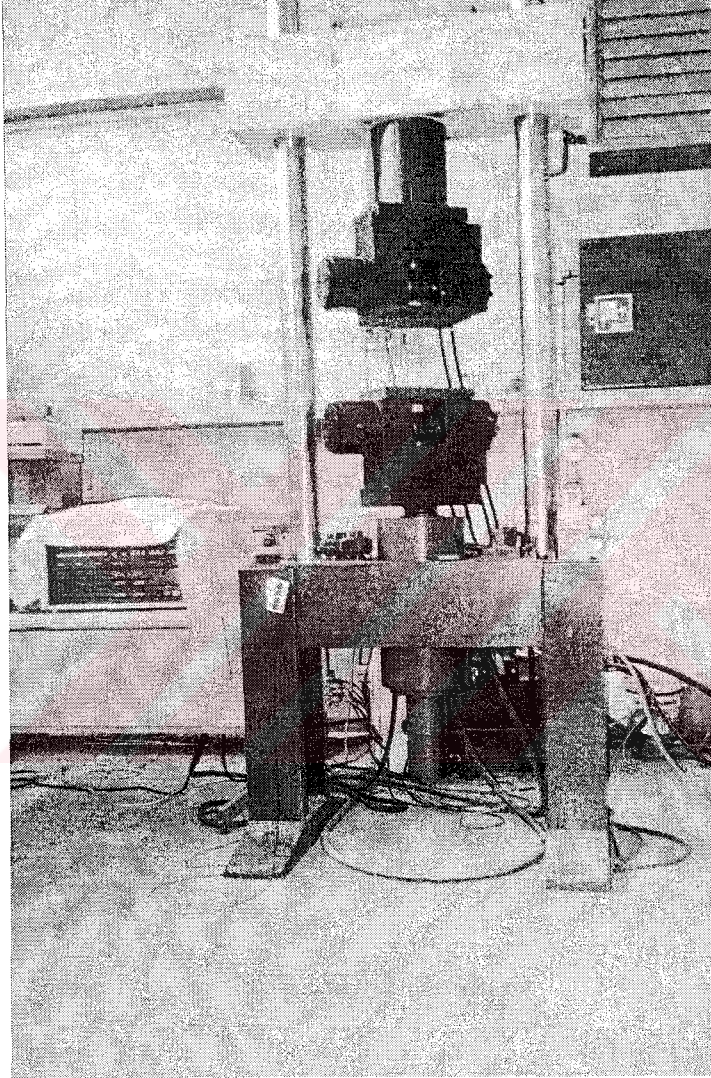
Deney numunelerinin hazırlanmasında Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme mühendisliği laboratuvarında bulunan çeşitli ekipmanlardan yararlanılmıştır. Temin edilen elektrik ark fırını baca tozu önce 110°C'de etüvde kurutulmuş ardından Octagon 200 Test Sieve Shaker eleme cihazında 100 mikron altına elenmiştir.

Ardından elde edilen bu toz 500 °C de 2 saat aşağıda Şekil 5.23'te görülen W.C.Hareaus Hanau fırınında kalsine edilmiştir.



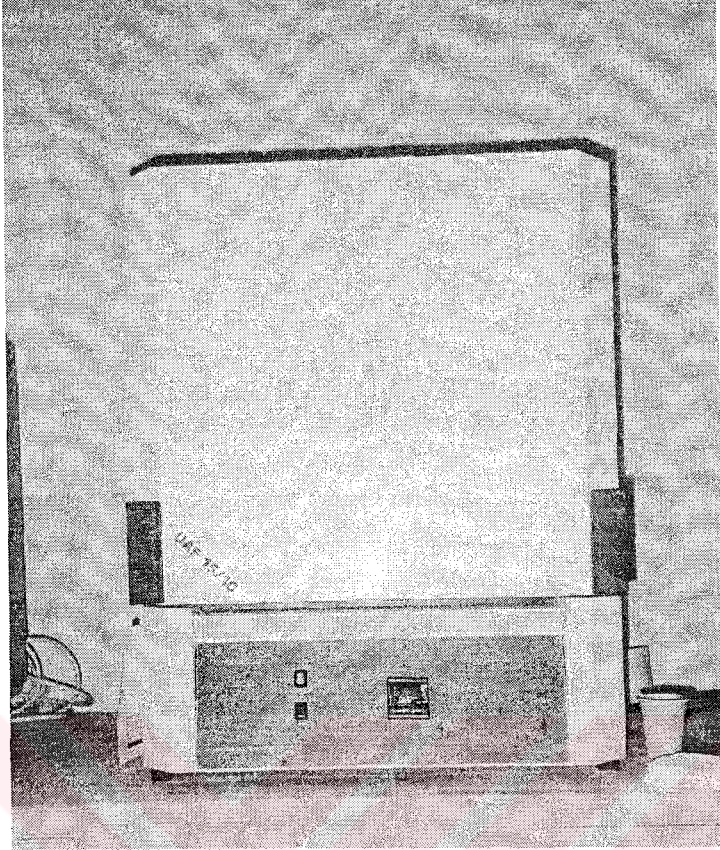
Şekil 5.23. Kalsinasyon fırını (Hareaus)

Numunelerin hazırlanabilmesi için 20 mm çapında 1040 çeliğinden bir adet kalıp yaptırılmış deneme sonucu bu kalıp bozulmuştur en uygun basma kuvveti sağlanana kadar bu denemeler devam etmiştir. Uygun kuvvetin tespitinden sonra Dartec çekme cihazında toplam 32 adet numune basılmıştır. Basma işlemlerinin yapıldığı Dartec çekme ve basma cihazı Şekil 5.24' te görülmektedir.



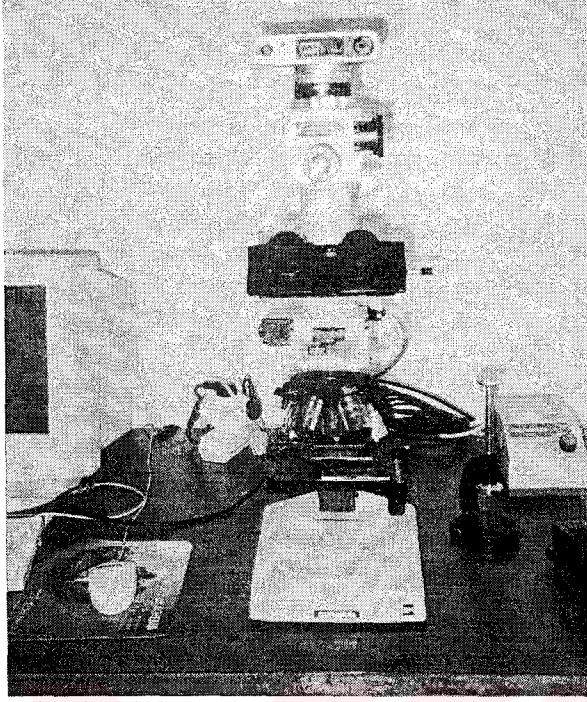
Şekil 5.24. Numune presleme cihazı (Dartec)

Kurutulan numuneler Lenton fırınında 900 °C, 1000 °C, 1100°C, 1200°C' de 1 ve 2 saat sinterlenmiştir. Lenton fırını Şekil 5.25' te görülmektedir.

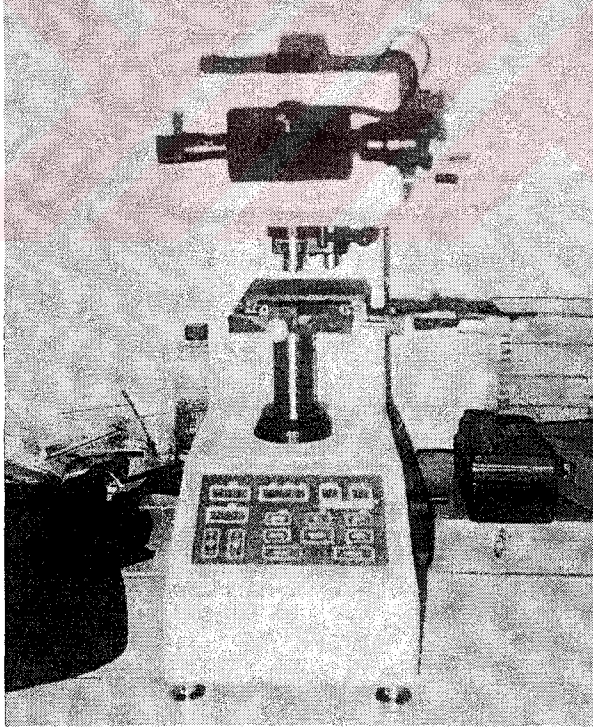


Şekil 5.25. Sinterleme Fırını (Lenton)

Sinterlenen numunelerin optik incelemelerinin yapılabilmesi için zımpara ve parlatma işlemleri için çeşitli zımpara ve parlatma solüsyonları kullanılmıştır. Optik inceleme ise Şekil 5.26' da görülen mikroskop tarafından gerçekleştirilmiş ve aynı düzenekte mikroyapıları çekilmiştir. Şekil 5.27'de ise numunelerin sertliklerinin ölçüldüğü Vickers sertlik cihazı görülmektedir.



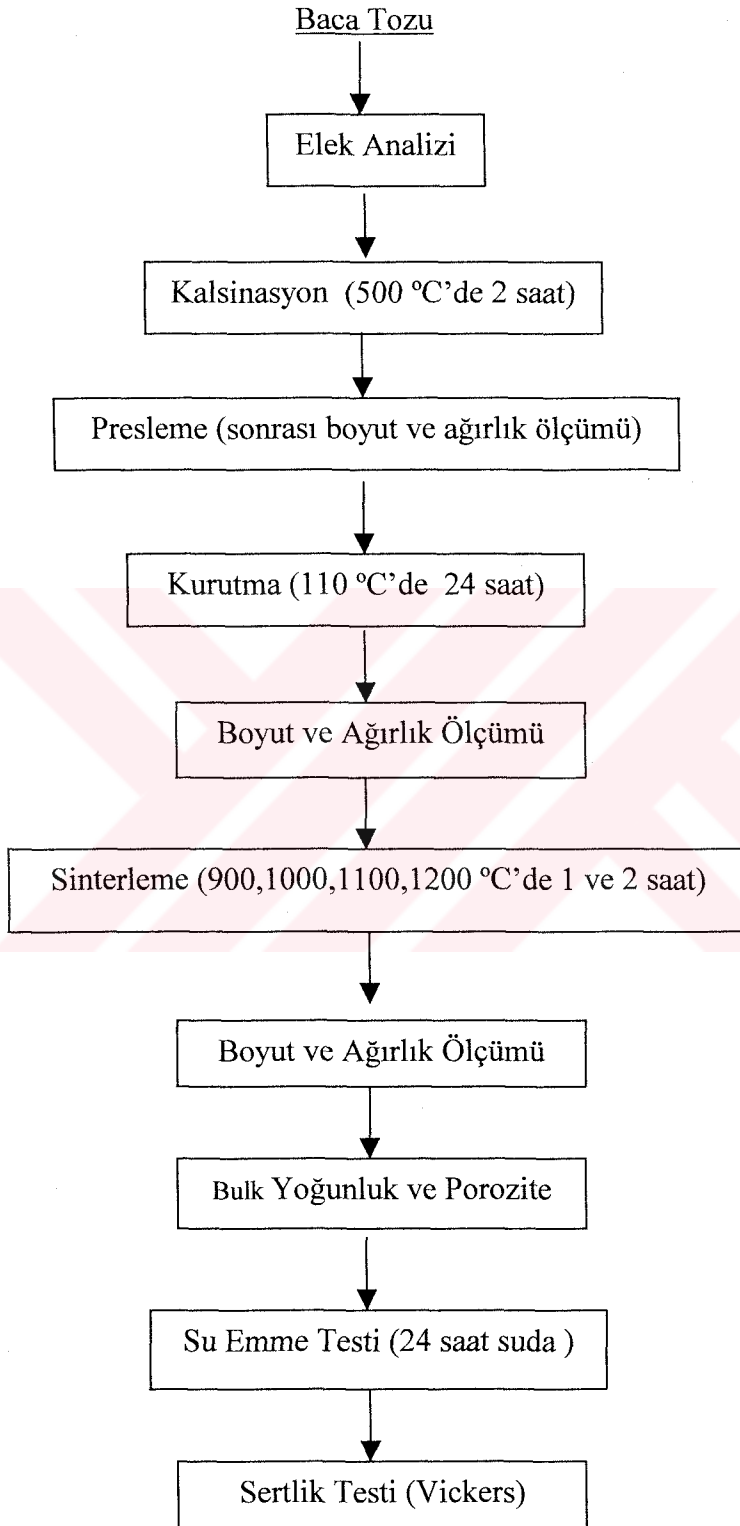
Şekil 5.26. Optik Mikroskop (Olympus)



Şekil 5.27. Vickers Sertlik Cihazı

Şekil 5.28’de numune üretimi ve testlerin akış diyagramı görülmektedir.

5.8.3. Deneyin akış çizelgesi



Şekil 5.28. Numune üretimi ve testlerin akış diyagramı

5.8.4. Numune Hazırlama İşlemleri

5.8.4.1. Tozun hazırlanması

Yapılan deneysel çalışmalarda Tablo 5.1' de analizi görülen Gebze' den temin edilen Elektrik ark fırını baca tozu kullanılmış olup bu tozlar önce 500 °C de 2 saat süreyle kalsinasyon işlemine tabi tutulmuştur. Kalsinasyon işlemi W.C. Heraeus Hanau fırınında gerçekleştirildi. Kalsinasyon öncesi ve sonrası tozun ağırlığı tartılmış ve meydana gelen ağırlık kaybı tespit edilmiştir. Daha sonra bu tozlar Octagon 200 model eleme cihazındaki işleminden önce bir havanda öğütülmüştür. Ardından sırasıyla 212, 150, 100 mikronluk elekler üst üste konulmuş ve eleme işlemi tamamlanmıştır. Eleme işleminde takribi 30-40 gram kadar toz kullanılmış ve bu işlem için yaklaşık 10 dakika ile kifayet edilmiştir. Elekten geçirilen tozlar ayrı ayrı ve hava almayacak şekilde muhafaza altına alınmıştır. Bu çalışmada kullanılan toz 100 mikronluk, yani -100 diye tabir edilen elek altı tozun kullanılmasında karar kılınmıştır.

5.8.4.2. Şekillendirme

Hazır hale getirilen toz Gec Avery hassas elektronik tartım cihazında 10 gramlık tartımları yapılmıştır. Ardından 20 mm çapında çelik kalıpta Dartec çekme-basma cihazında 75 MPa basınç uygulanarak preslenmiştir. Presleme işleminden önce ağırlık tartımı yapılan tozun şekil alabilmesi için bir miktar su ilavesi (yaklaşık % 5-7) yapılarak nemlendirilmiştir. İlk etapta 12 numune preslenmiş ancak ihtiyaç hasıl olduğundan 12 adet numune daha aynı yöntemle preslenmiştir. Presleme işlemi yapılan tüm numunelere daha sonra diğer işlemlerde kolaylık sağlaması ve karıştırılmaması amacıyla birer kod numarası verilmiştir. Tablo 5.8' de numunelerin kod numaraları verilmiştir.

Tablo 5.8. Deney numunelerinin kod numaraları

Kod numarası	Sinterleme süresi (Saat)	Sinterleme sıcaklığı (°C)
EAFBT-1	1	900
EAFBT-2	2	900
EAFBT-3	1	1000
EAFBT-4	2	1000
EAFBT-5	1	1100
EAFBT-6	2	1100
EAFBT-7	1	1200
EAFBT-8	2	1200

5.8.4.3. Kurutma ve pişirme

Presleme ile şekillendirilen numunelerin ağırlıkları tartılmış, yükseklik ve çaplarının ölçüleri alınmıştır. Presleme sırasında numunelerin şekillenmesi için bir miktar su ilavesi yapıldığından 110 °C de 24 saat boyunca etüvde kurutma işlemine tabi tutulmuştur.

Bu işlemle numunelerdeki fiziksel suyun uzaklaştırılması sağlanmıştır. Kurutulan numuneler hassas tartı cihazında tartılmış ve yeniden ağırlık, çap ve yükseklik ölçüleri alınmış ve daha sonra sinterleme işlemi amacıyla fırınına koyulmuştur.

Sinterleme işlemi sırasıyla 900, 1000, 1100, 1200 °C de ve 1 saat süreyle gerçekleştirilmiştir. Ardından aynı sıcaklık ve aynı şartlar altında 2 saat olarak tekrarlanmıştır. Sinterleme işlemi tamamlandıktan sonra numuneler hemen fırın içerisinden çıkartılmamış, fırın kendi haline bırakılmış ve oda sıcaklığına soğuyunca içerisinden alınmıştır. İşlemi tamamlanan numunelerin yeniden ağırlık, çap ve yükseklik ölçüleri alınmıştır.

5.8.4.4. Deney Numunelerine Uygulanan Testler

Kurutma ve pişme küçülmesi hesaplamaları

Preslenip kurutulan ve sonrasında sinterlenen tüm numunelerin her işlem öncesi ağırlık, çap ve yükseklik ölçüleri tespit edilmişti. Bu tespitler sonucunda; numunelerin kuruma, pişme küçülmeleri için ayrı ayrı çapa ve yüksekliğe göre hesaplamalarının yapılacağı yöntemler ile ağırlık kaybının hesabının yapılacağı yöntemler aşağıda gösterilmiştir.

$$\text{Kuruma küçülmesi (\%)} (\text{çapa göre}) = [(d_o - d_k) / d_o] * 100$$

d_o = Kalıplama sonrası çap

d_k = Kurutma sonrası çap

$$\text{Kuruma küçülmesi (\%)} (\text{yükseklığe göre}) = [(h_o - h_k) / h_o] * 100$$

h_o = Kalıplama sonrası yükseklik

h_k = Kurutma sonrası yükseklik

$$\text{Pişme küçülmesi (\%)} (\text{çapa göre}) = [(d_k - d_p) / d_p] * 100$$

d_k = Kurutma sonrası çap

d_p = Pişme sonrası çap

$$\text{Pişme küçülmesi (\%)} (\text{yükseklığe göre}) = [(h_k - h_p) / h_k] * 100$$

h_k = Kurutma sonrası yükseklik

h_p = Pişme sonrası çap

$$\text{Toplu boyutsal değişme (\%)} (\text{çapa göre}) = [(d_o - d_p) / d_o] * 100$$

d_o = Kalıplama sonrası çap

d_p = Pişme sonrası çap

$$\text{Toplu boyutsal değişme (\%)} (\text{yükseklığe göre}) = [(h_o - h_p) / h_o] * 100$$

h_o = Kalıplama sonrası yükseklik

h_p = Pişme sonrası yükseklik

Numunelerin kurutulması ve pişirilmesi sırasında bünyeden uçucu maddelerin uzaklaşması ve ortamdan bazı gazların çıkması sonucu ağırlıklarda azalmalar meydana gelir ve bu ağırlık kaybı olarak adlandırılır. Aynı hesaplama mantığıyla ağırlık kaybı da aşağıdaki gibi formülize edilebilir. Aynı diğer formüllerde olduğu gibi kurutma ve pişme sonrası olarak ayrı ayrı adlandırılabilir burada sadece toplam ağırlık kaybının formülasyonu verilmiştir.

$$\text{Ağırlık kaybı (\%)} = [(W_k - W_p) / W_k] * 100$$

Tablo 5.9’da numunelerin %kuruma, pişme ve %toplam boyutsal değişme oranı görülmekte Tablo 5.10’ da ise sinterleme sonrası oluşan ağırlık kaybı görülmektedir.

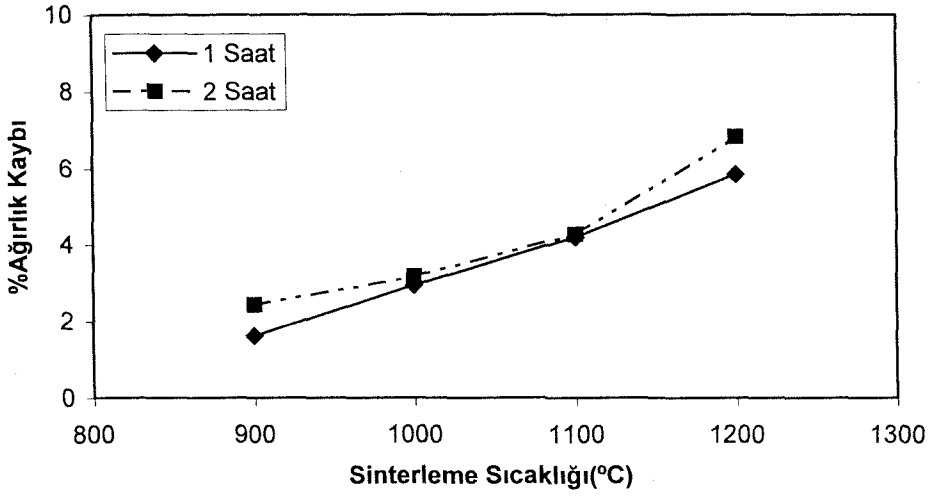
Tablo 5.9. Deney numunelerinin %kuruma, %, pişme, %toplam boyutsal değişme hesaplamalarının çapa (d) ve yüksekliğe (h) göre hesaplamaları

Numune Kodu	Sıcaklık (°C)	Süre (h)	% Kuruma küçülmesi		% Pişme küçülmesi		% Toplam boyutsal değişme	
			d	h	d	h	d	h
EAFBT-1	900	1	0,2475	0,4830	0,2481	0,4855	0,4956	0,9685
EAFBT-2	900	2	0,2475	0,4855	0,7444	0,4878	0,9915	0,9733
EAFBT-3	1000	1	0,5089	0,6804	2,2228	2,4653	2,7317	3,1457
EAFBT-4	1000	2	0,5226	0,6954	2,7277	3,9756	3,2503	4,6710
EAFBT-5	1100	1	0,7389	0,7807	8,4156	5,1207	9,1545	5,9014
EAFBT-6	1100	2	0,8926	0,8854	8,5858	5,3414	9,4784	6,2268
EAFBT-7	1200	1	1,4926	1,2192	8,81	6,58	10,302	7,7992
EAFBT-8	1200	2	1,6926	1,4982	9,05	6,77	10,742	8,2682

Tablo 5.10. Deney numunelerinin %ağırlık kaybı

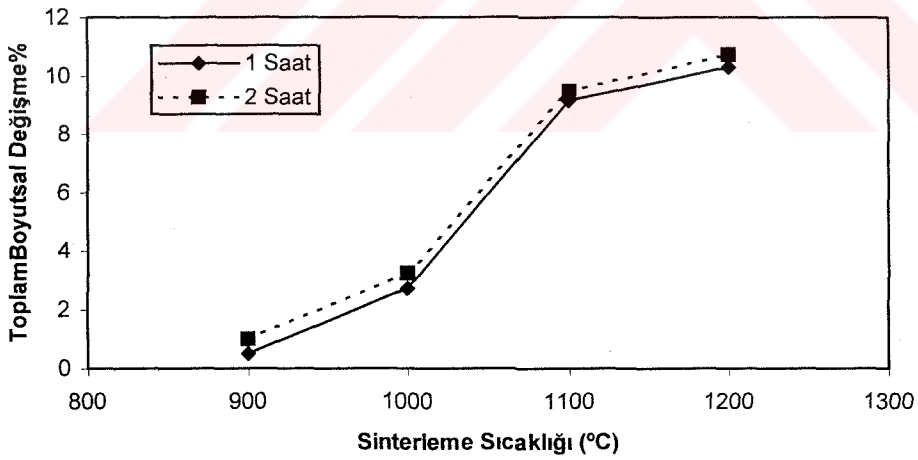
Numune kodu	Sinterleme sıcaklığı (°C)	Sinterleme süresi (Saat)	Ağırlık kaybı (%)
EAFBT-1	900	1	1,6175
EAFBT-2	900	2	2,4270
EAFBT-3	1000	1	2,9403
EAFBT-4	1000	2	3,1683
EAFBT-5	1100	1	4,1956
EAFBT-6	1100	2	4,2743
EAFBT-7	1200	1	5,8516
EAFBT-8	1200	2	6,8227

Şekil 5.29'da %Ağırlık kaybı ve sinterleme sıcaklığı arasındaki ilişki görülmektedir.

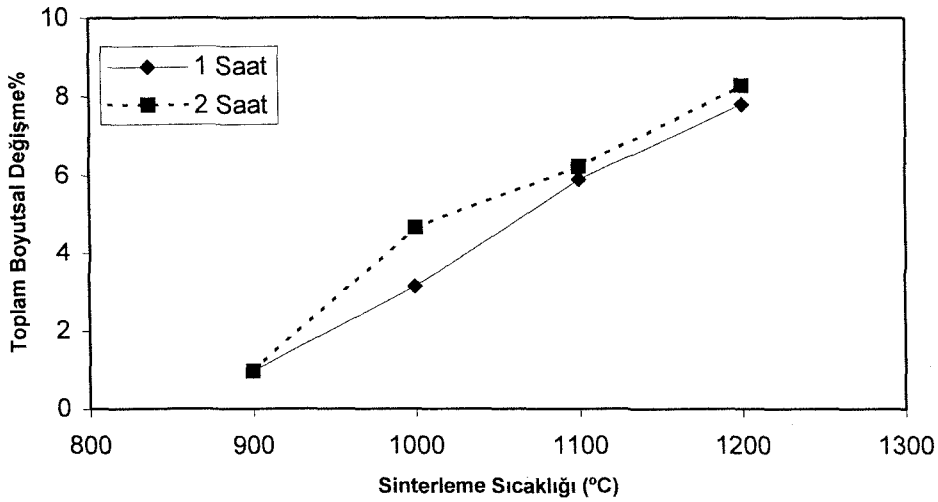


Şekil 5.29. %Ağırlık kaybı ve sinterleme sıcaklığı arasındaki ilişki

Şekil 5.30'da numunelerin çaplarında meydana gelen toplam boyutsal değişme sinterleme sıcaklığı ile olan ilişkisi görülmekte Şekil 5.31'de ise yine numune yüksekliği ve toplam boyutsal değişme arasındaki ilişki görülmektedir.



Şekil 5.30. Numune çapı ve toplam boyutsal değişme arasındaki ilişki



Şekil 5.31. Numune yüksekliği ve toplam boyutsal değişme arasındaki ilişki

Şekillendirilen numunelerde bol miktarda çeşitli şekillerde poroziteler mevcuttur. Özellikle şekillendirme için katılan sudan dolayı ve numunenin içerdiği fiziksel sudan dolayı bu poroziteler kurutma sonrası ortaya çıkmaktadır. Kurutma sonrası numunelerin gösterdiği küçülme 0,24 ila 1,69 arasında değiştiği görülmektedir. Numunedeki bu küçülmenin sebebi bünyedeki fiziksel suyun uzaklaşması sebebiyle olduğu gayet açıktır. Aynı şekilde pişme küçülmesi oranlarına bakıldığında da 0,24 ila 9,05 arasında değiştiği görülmektedir. Sinterleme sırasında atomlar arasında hareketlilik başlamakta bazı taneler tamamen ortadan kalkmakta bazı taneler ise büyümektedir. Bunun sebebi ise difüzyondur. Sinterleme yüksek sıcaklıkta daha hızlıdır, çünkü hareketlendirilmiş atomların kullanılabilir köşelerin miktarı artmıştır. Sinterleme sıcaklığının artması ve sinterleme süresinin de artması durumunda atomlar arasında daha fazla hareketlilik olacağı ve atomlar arası bağların daha da fazlalaştığı bünyedeki partiküllerin birbirleriyle daha iyi bağlandıkları gözlenir. Numunelerimizde görüldüğü sinterleme sıcaklığı arttıkça pişme küçülmesinin de arttığı görülmektedir.

Toplam boyutsal değişme; kuruma ve pişme küçülmelerinin toplam miktarını göstermekte ve 0,49 ila 10,74 arasında değiştiği görülmekte ve bunun sebebi de yukarıda anlatıldığı gibi sinterleme sıcaklığının artmasıyla ilişkili olduğu görülmektedir. Kuruma sırasında plastiklik özelliği sağlayan fiziksel su uzaklaşmakta

pişme sırasında diğer elementlerin buhar fazına geçerek uzaklaştığı düşünülmektedir.

Artan sinterleme sıcaklığı ile birlikte ağırlık kaybı miktarlarında artış gözlemlenmektedir. Bu duruma neden olarak fiziksel ve uçucu elementerin uzaklaşması ve parçalanma reaksiyonları olması muhtemeldir. Sinterleme sıcaklığı 900 °C iken ağırlık kaybı 1,61 iken 1200 °C' deki ağırlık kaybının 6,82 olduğu görülmektedir. Yani sinterleme sıcaklığı arttıkça ağırlık kayıpları da artmaktadır.

Porozite ve yoğunluk

Porozite en genel manada malzeme içinde var olan boşluk veya gözenekler olarak tanımlanabilmektedir. Seramik ve refrakter malzemelerdeki porozite yüzdesinin ölçülmesi öncelikle boşluk ve porların oranlarının bilinmesi ve termal ve mekanik özelliklere etki ettiği için önemlidir. Genelde rastlanan porozite türleri;

a- Açık porozite : Malzeme yüzeyi ile bağlantısı olan veya yüzeye açık gözenekler bu şekilde kabul görmektedir.

b- Kapalı porozite : Tamamen malzeme içinde kalan ve dış atmosferle bir bağlantısı olmayan gözenekler bu gruba girmektedirler.

Porozite ve yoğunluk testi şu şekilde gerçekleştirilir. Bu test öncelikle su ile reaksiyona girmeyen tuğla, seramik vb. malzemelere uygulanmaktadır. Eğer elimizde bulunan numunelerimiz kuru değilse bu numuneler etüvde 110 °C' de 24 saat süreyle kurutulup hassas bir şekilde tartımı yapılmalıdır. Buradaki ilk tartıma W_a adı verilir.

Kuru halde tartılan numuneler tercihen bir beher cam içerisine konulur. Numunelerin yarısına gelecek şekilde kaba su doldurulur ve 5 dakika bekletilir. Kap bir ısıtıcı üzerine konularak ısıtılır. Suyun kaynama noktasına geldiğinde numunelerin tümü su içerisinde kalacak şekilde kaba su ilavesi yapılır. Ardından 5 dakika kadar beklenir. Numuneler kabın içinden alınarak bir ipe bağlanır ve teraziye

asma işlemi yapılarak, su içerisinde tartılır. Bu tartım W_b olarak isimlendirilir. Burada tartım sonrası elde edilen değerler suyun kaldırma kuvvetinden dolayı ilk değerlerden daha düşük olacaktır.

Bu işlemin ardından numuneler su içerisinde çıkarılır, yüzeydeki aşırı ıslaklıklar kaba bir kağıt ile alınır. Pamuk, bez, peçete ya da kağıt mendil türü maddeler suyu emici olduklarından ve numune içindeki suları emeceklerinden dolayı kullanılmaları mahzurludur. Su içerisinde çıkarılan numuneler hafifçe kurulur ve son tartım normal olarak havada yapılır ve bu işlem sonrası ağırlık W_c olarak isimlendirilmektedir. Aşağıda bu işlemlerle ilgili bazı terimlerin açıklaması ve kullanılan formüller görülmektedir.

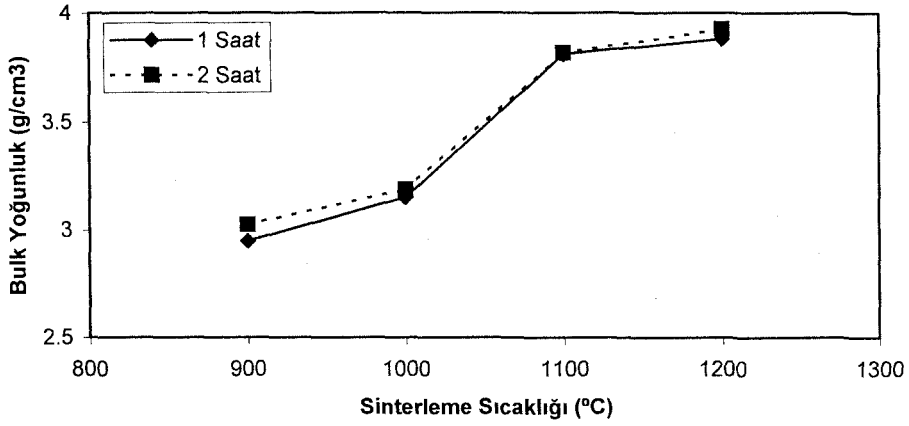
%Görünür gözenek yüzdesi: $[(W_c - W_a) / (W_c - W_b)] * 100$

Bulk yoğunluk : $W_a / (W_c - W_b)$

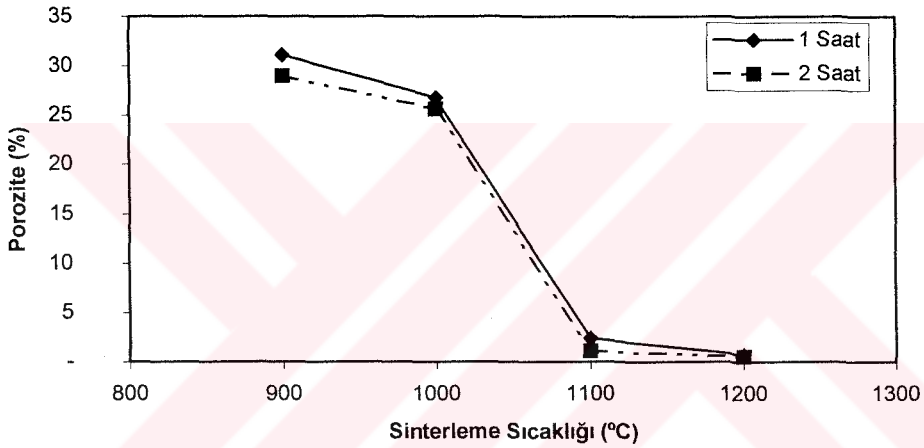
Tablo 5.11. Bulk yoğunluk ve Görünür gözenek yüzdeleri hesaplamaları

Sinterleme şartları	Numune kodu	Bulk Yoğunluk (g/cm^3)	Görünür gözenek (%)
900 °C 1 saat	EAFBT-1	2,947	31,11
900 °C 2 saat	EAFBT-2	3,025	29
1000°C 1 saat	EAFBT-3	3,153	26,8
1000°C 2 saat	EAFBT-4	3,188	25,57
1100°C 1 saat	EAFBT-5	3,813	2,42
1100°C 2 saat	EAFBT-6	3,816	1,065
1200°C 1 saat	EAFBT-7	3,882	0,71
1200°C 2 saat	EAFBT-8	3,925	0,54

Şekil 5.32’de bulk yoğunluk sinterleme sıcaklığı, Şekil 5.33’te ise görünür gözenek sinterleme sıcaklığı arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 5.32. Bulk yoğunluk ve sinterleme sıcaklığı arasındaki ilişki



Şekil 5.33. Porozite ve sinterleme sıcaklığı arasındaki ilişki

Sinterleme sıcaklığı arttıkça malzemedeki sinterleme daha da artacaktır. Bunun sonucunda da taneler birbirlerine daha çok yaklaşacak ve malzemedeki gözenek miktarı da azalacaktır. Gözenek miktarının azalmasıyla da bulk yoğunluğun artması muhtemeldir. Yapılan sinterleme çalışmaları sırasında da sinterleme sıcaklığı arttıkça gözenek miktarının azaldığı bulk yoğunluğun arttığı görülmektedir. 900°C' de gözenek miktarı %31, bulk yoğunluk ise 2,94 ken 1200 °C' deki gözenek miktarı 0,54, bulk yoğunluk ise 3,92' dir. Yani sinterleme sıcaklığı arttıkça malzemede pozitif bir katkı sağlandığı gözlenmiştir.

Su emme testi

Elektrik ark fırını baca tozundan elde edilen numunelerin su emme özelliğinin tespit edilmesi amacıyla yapılan işlemdir. Bu test şu şekilde gerçekleştirilir.

110 °C ' de kurutulan numunelerin önce ağırlık tartımı yapılmıştır. Bu ilk tartım sonrası ağırlık W_k ' dir. Ardından numuneler bir beher içerisinde tamamen su içerisinde kalacak şekilde konarak su içerisinde 24 saat süreyle bekletilmiştir.. Su içerisinde çıkarılan numuneler aynı porozite testinde olduğu gibi emici olmayan bir kağıtla kabaca silinir. Bekletmeden ağırlıkları tartılır. Bu tartım sonrası ağırlık W_d ' dir. Bu işlem sonucu su emme miktarı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Su emme} = [(W_d - W_k) / W_k] * 100$$

W_k = 110 °C' de kurutma sonrası ağırlık (gr)

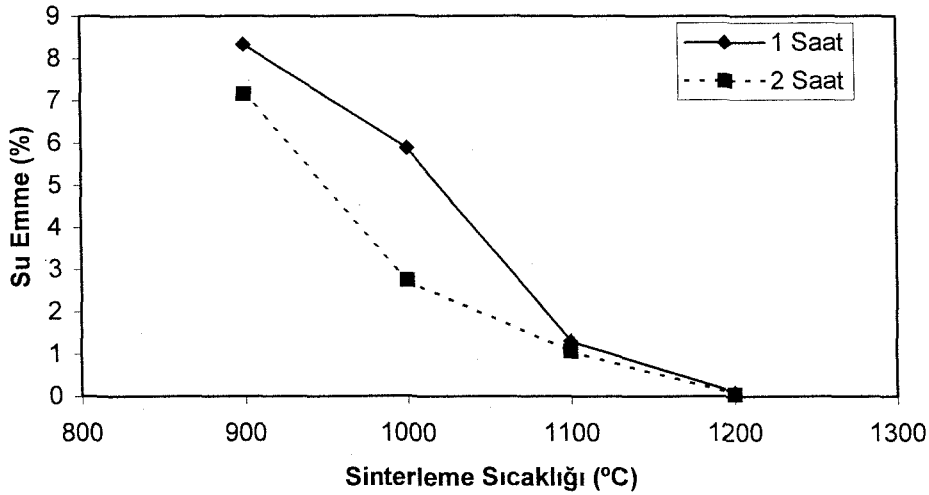
W_d = 24 saat suda bekletme sonrası ağırlık (gr)

Tablo 5.12' de 1 ve 2 saatlik sinterleme sürelerinde 900,1000,1100,1200 °C sinterleme sıcaklığında işlem gören numunelerin %su emme testi sonuçları görülmektedir.

Tablo 5.12. Deney numunelerinin %su emme testi sonuçları

Sinterleme sıcaklığı (°C)	Numune Kodu	Sinter süresi (saat)	Su emme (%)
900	EAFBT-1	1 saat	8,33472
900	EAFBT-2	2 saat	7,15449
1000	EAFBT-3	1 saat	5,87799
1000	EAFBT-4	2 saat	5,75
1100	EAFBT-5	1 saat	1,29683
1100	EAFBT-6	2 saat	1,06233
1200	EAFBT-7	1 saat	0,0924
1200	EAFBT-8	2 saat	0,0521

Şekil 5.34' te numunelerin %su emme testinin, sinterleme sıcaklığıyla ve sinterleme süreleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 5.34. %Su emme ve sinterleme sıcaklığı arasındaki ilişki.

Sinterleme sıcaklığının artmasıyla su emme miktarındaki azalma açıkça görülmektedir. Bunun sebebi numunelerdeki gözeneklerle doğru orantılıdır. Artan sıcaklık ile bünyedeki porozite miktarının azalması, boşlukların doldurulmasıyla taneler birbiriyle daha sıkı temas halinde olacaklarından su emme miktarında azalma meydana gelmiştir. 900 ve 1200 °C' lerdeki su emme miktarlarına bakılacak olursa 8,33'ten 0,05'e doğru bir iyileşme görüldüğü ortadadır.

5.8.4.5. Sinterlenmiş numunelerin optik mikroskopla mikroyapı incelemesi

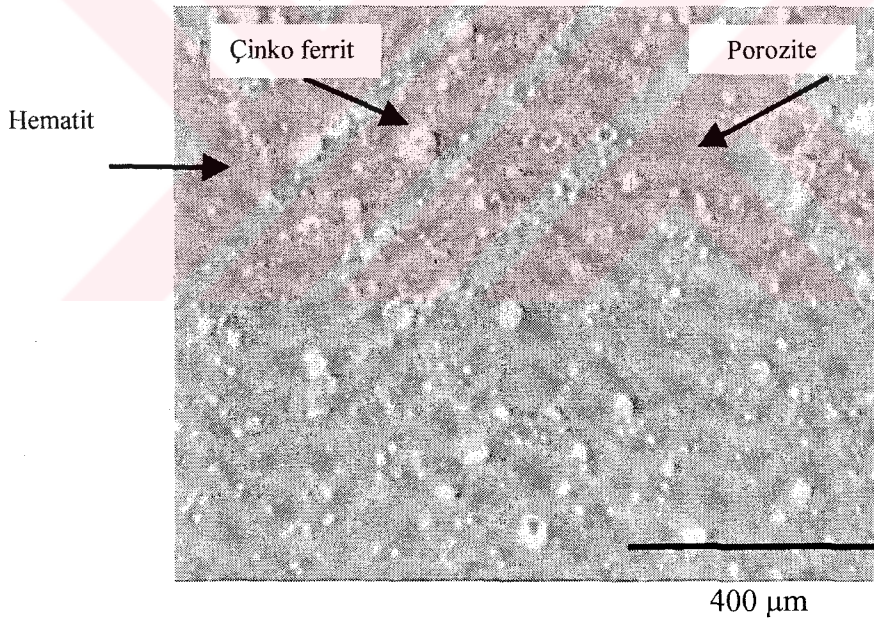
Numune hazırlama için numuneler elle zımparalama ve parlatma için yeterli büyüklüğe sahip olduklarından kalıba alınmadan direkt olarak kullanılmışlardır.

Zımparalama : Hazır hale getirilen numuneler sırasıyla 180, 240, 320, 400, 600, 800, 1000 SiC zımparalar ile yeterli miktarda zımparalanır. Yeterli miktardan kasıt her zımparalama işlemi sırasında oluşturulan deformasyon çizgilerinin diğer kademelerde giderilmesidir. Her kademe değişikliğinde bir önceki kademenin yönü 90 derece olarak değiştirilir ve bu deformasyon çizgilerinin giderilmesi sağlanır.

Aslında en iyi sonuç otomatik parlatma cihazında sağlanmaktadır. Zımparalama işleminde numunelerden çeşitli sebeplerle kopmalar, dağılmalar olduğundan zımparalanan yüzeylerde oluşacak çizikler ve deformasyonların önlenmesi için su da açık olmalıdır. Zımparalama sonrası yüzey temizliği için suya hassas numuneler asetonla temizlenebilir eğer böyle bir risk oluşmamışsa distile su veya çeşme suyu yeterlidir. Parlatma için ise kadife çuha üzerine 0,1 mikronluk alümina tozu süspansiyonu ile çalışılarak 5 dakika parlatma yapılmıştır.

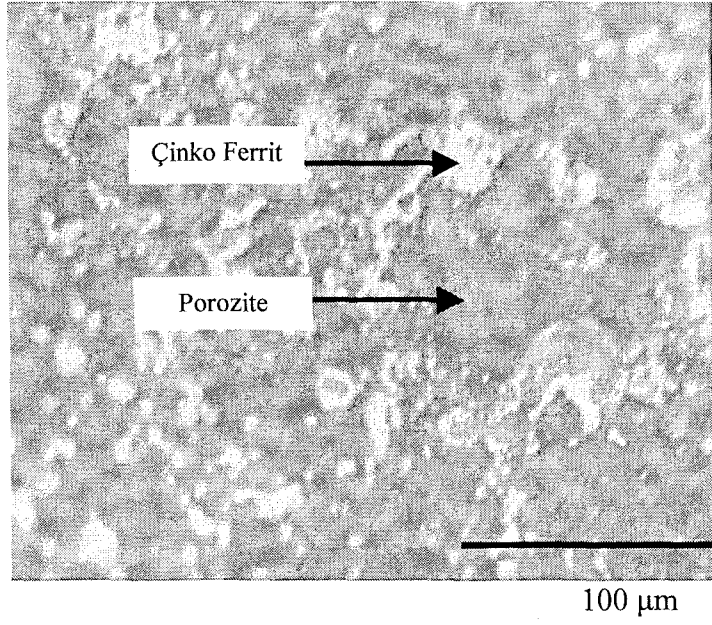
Sinterleme işlemleri 900, 1000, 1100, 1200 °C'de gerçekleştirilmiş olan numunelerin zımparalama ve parlatma işlemi tamamlandı. Dağlama yapılmadan Olympus optik mikroskopunda çekilmiş optik mikroyapıları aşağıda gösterilmiştir.

Şekil 5.35'de 900 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı görülmektedir.

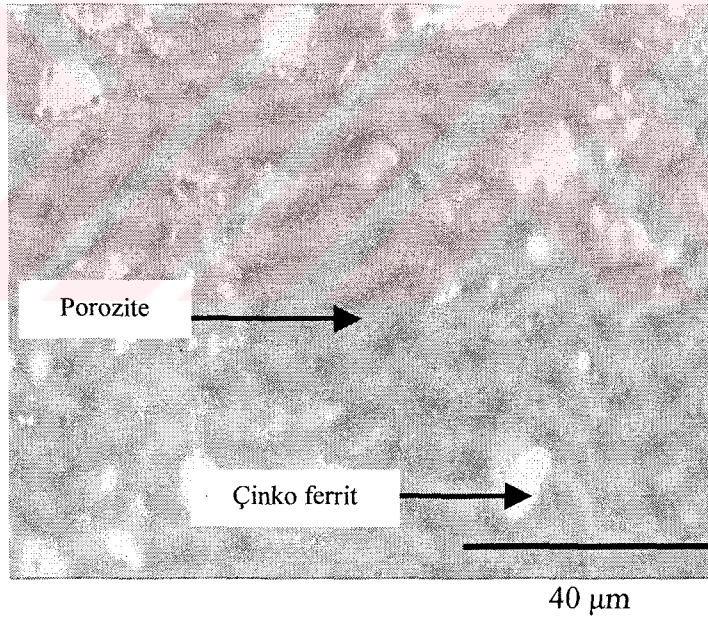


Şekil 5.35. 900 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı

Şekil 5.36'da 900 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı görülürken, Şekil 5.37'de ise 900 °C de aynı numunenin yine 1 saat sinterlenmiş haldeki optik mikroyapısı görülmektedir.

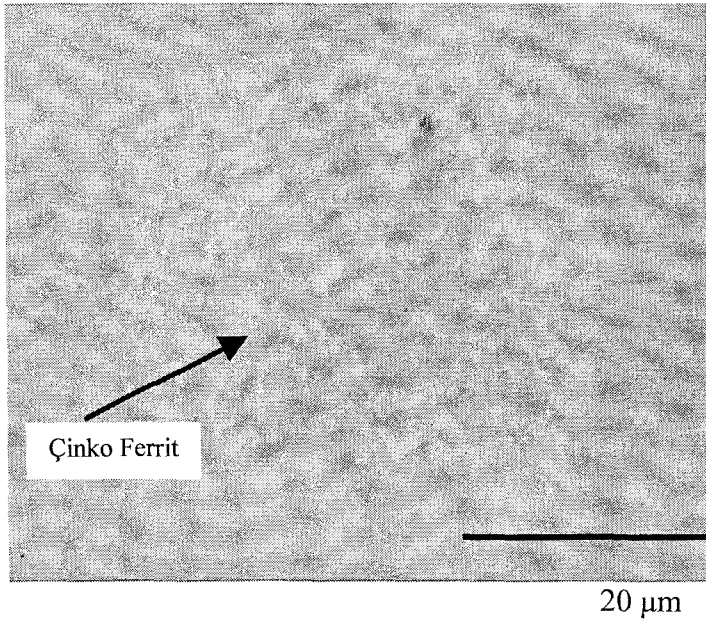


Şekil 5.36. 900 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı.

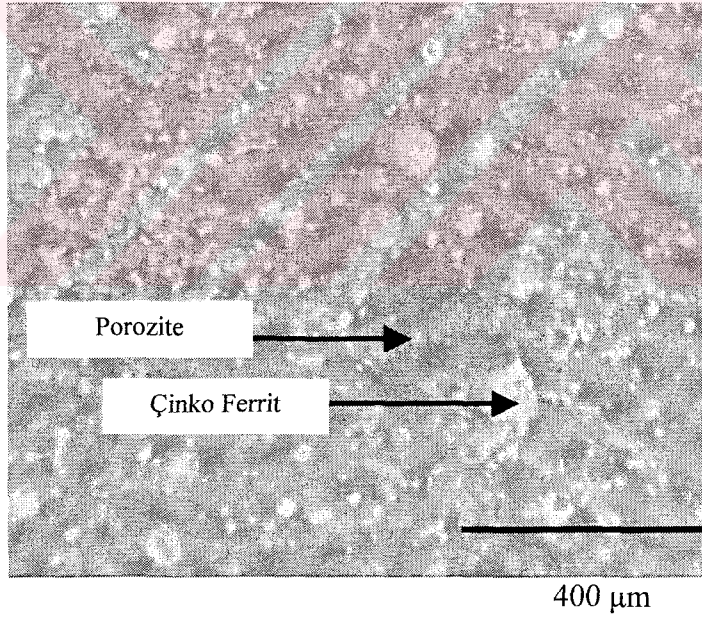


Şekil 5.37. 900 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı

Şekil 5.38'de 900 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı görülürken, Şekil 5.39'da ise 900 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı görülmektedir.

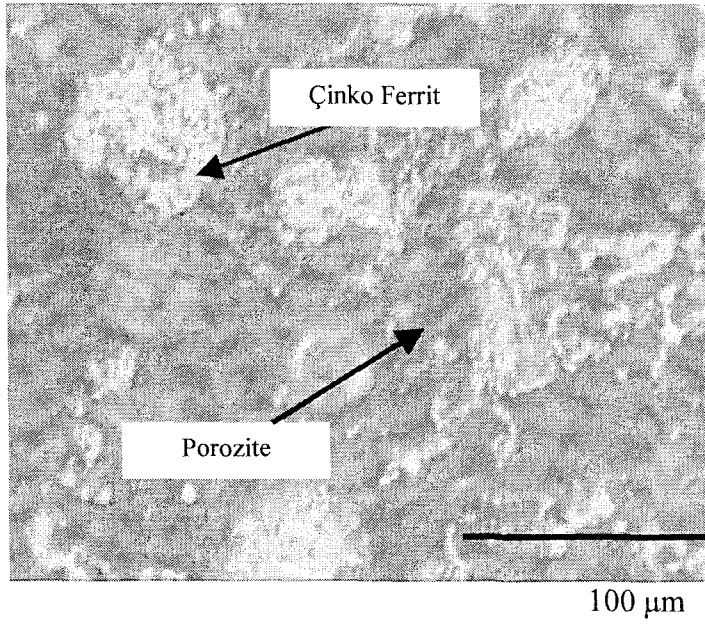


Şekil 5.38. 900 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı

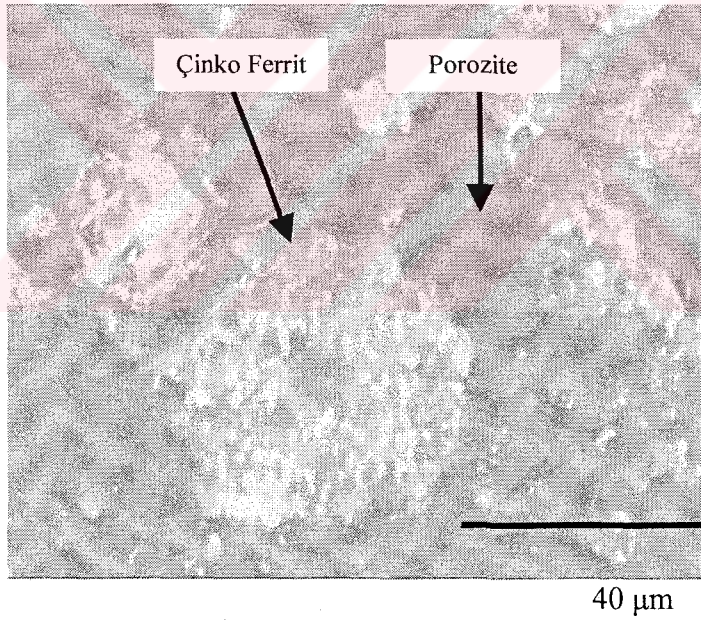


Şekil 5.39. 900 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı

Şekil 5.40'ta 900 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı görülmekte, Şekil 5.41 'de de aynı tozun 900 °C de 2 saat sinterlenmiş optik mikroyapısı görülmektedir.

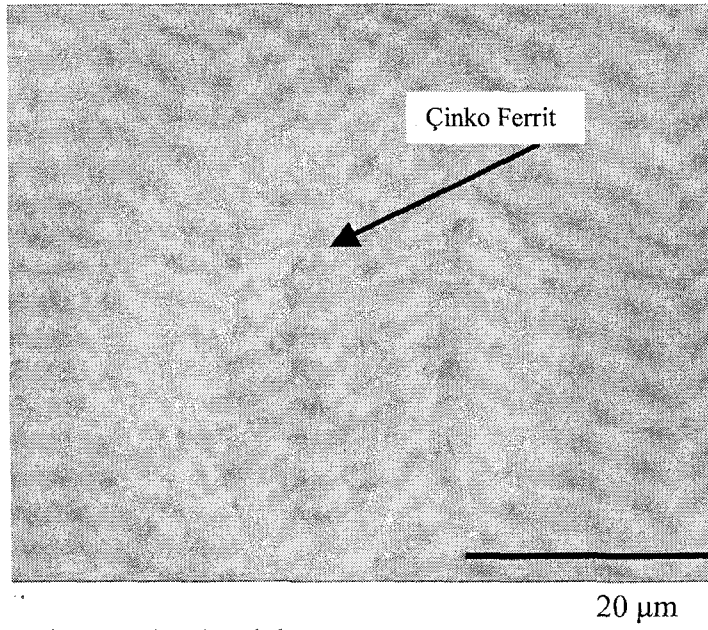


Şekil 5.40. 900 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı

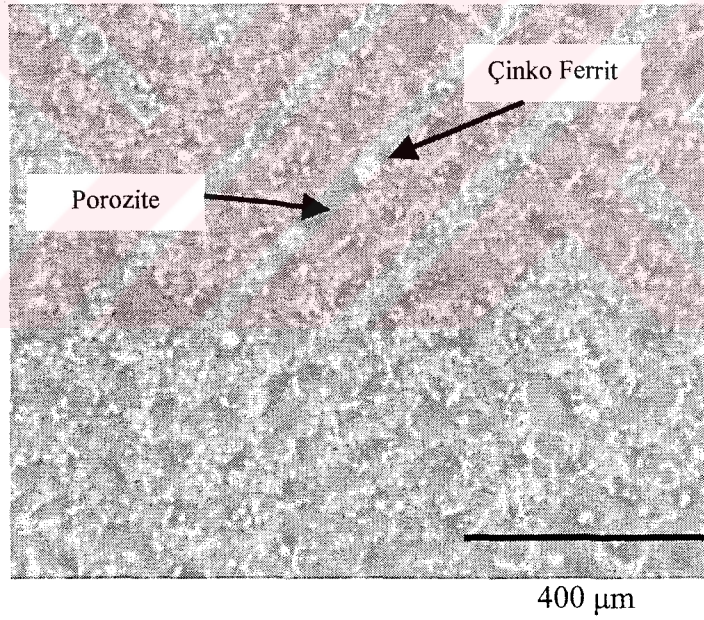


Şekil 5.41. 900 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı

Şekil 5.42'de 900 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı görülürken Şekil 5.43 'te 1000 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı görülmektedir.

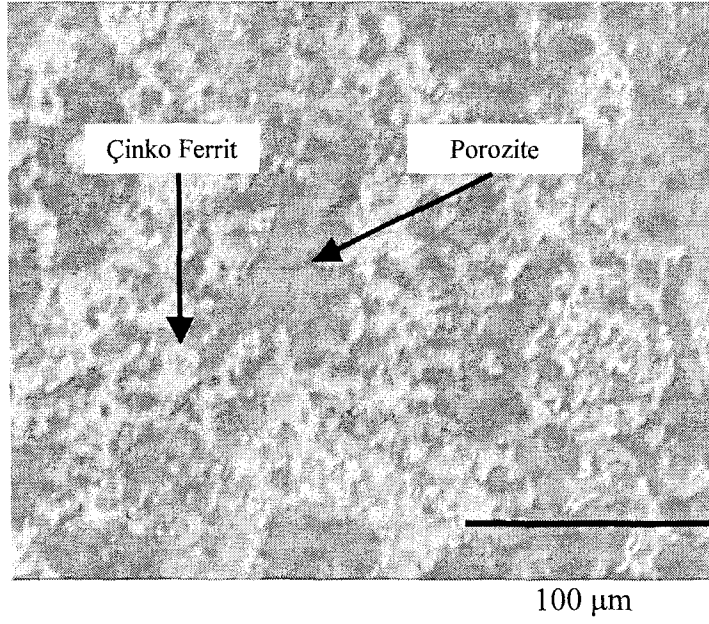


Şekil 5.42. 900 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı

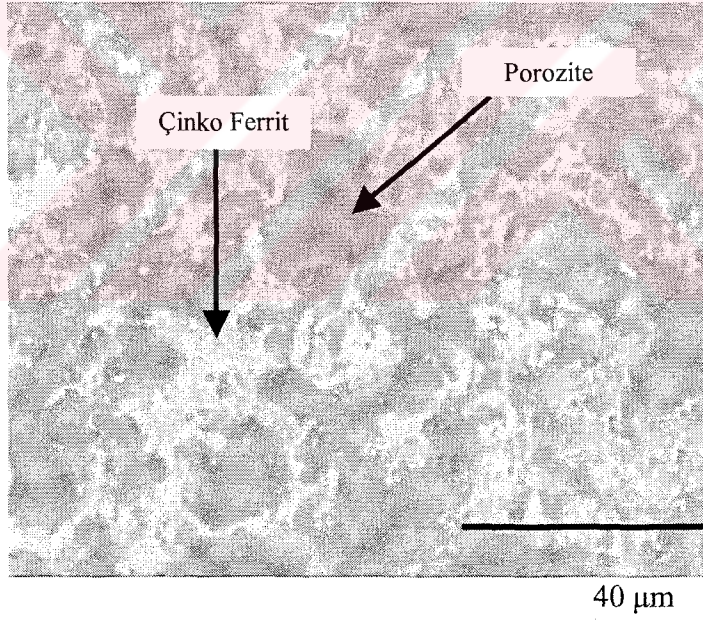


Şekil 5.43. 1000 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı

Şekil 5.44' te 1000 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı görülüyor. Şekil 5.45 'te de yine aynı baca tozunun 1000 °C de 1 saat sinterlenmiş haldeki optik mikroyapısı görülmektedir.

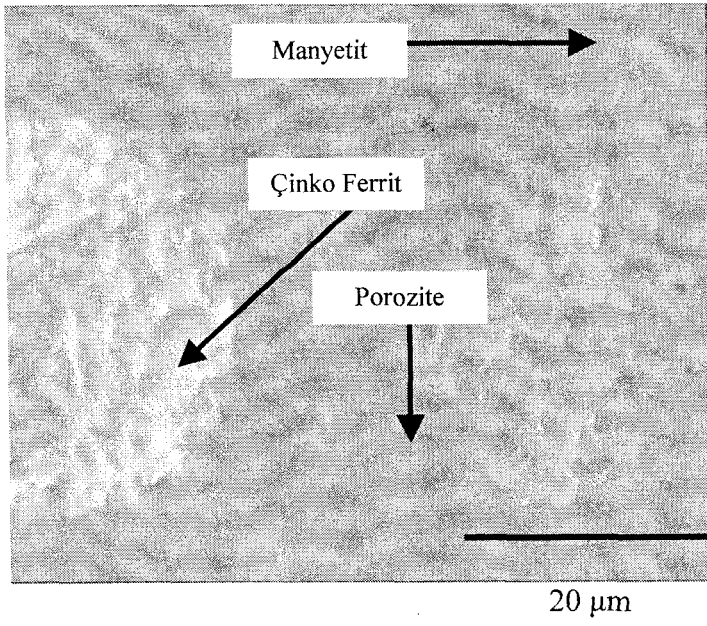


Şekil 5.44. 1000 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı

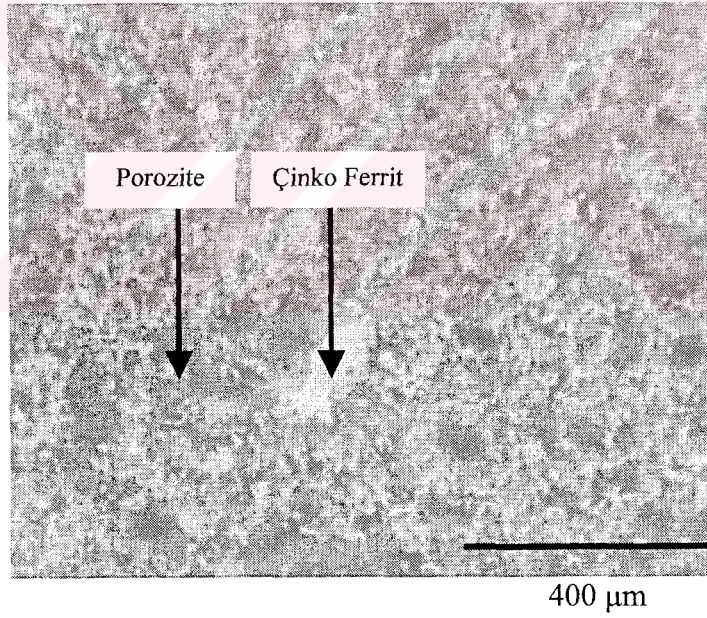


Şekil 5.45. 1000 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı

Şekil 5.46 'da 1000 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı, Şekil 5.47' de ise 1000 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı görülmektedir.

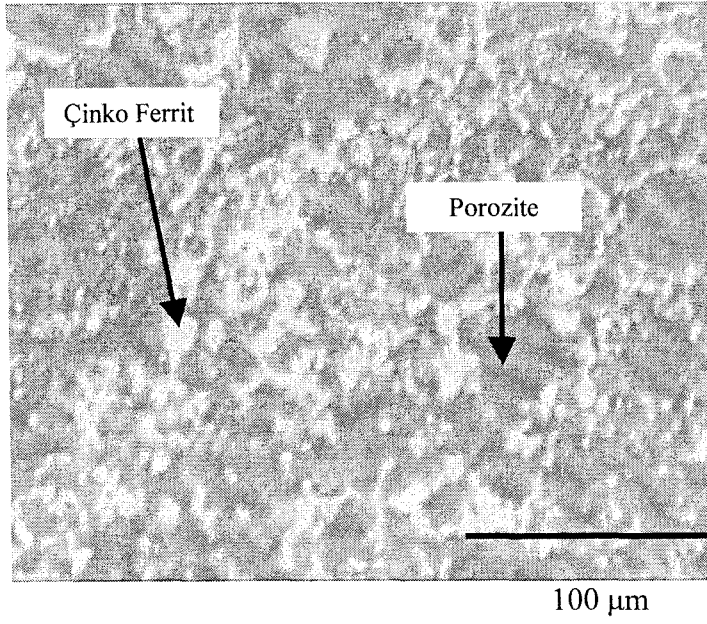


Şekil 5.46. 1000 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı

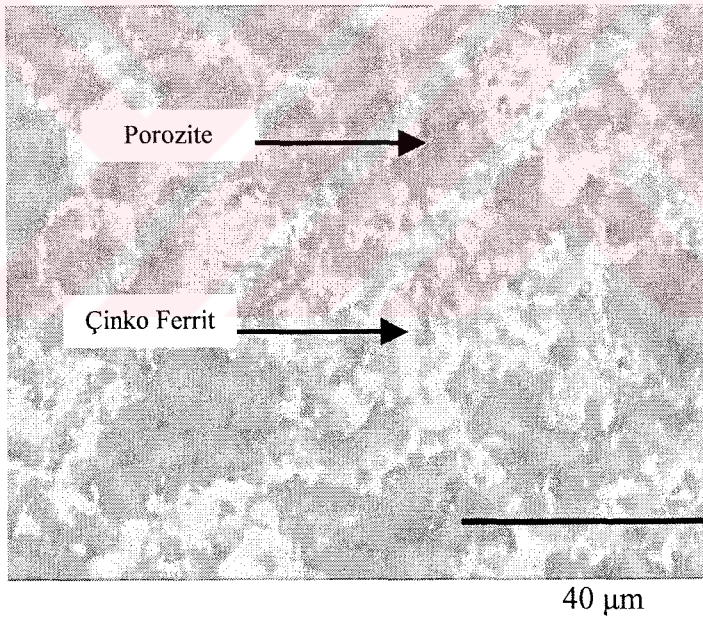


Şekil 5.47. 1000 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı

Şekil 5.48'de 1000 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı görülmektedir. Şekil 5.49'da ise aynı baca tozunun aynı sıcaklıkta 2 saat sinterlenmiş optik mikroyapısı görülmektedir.

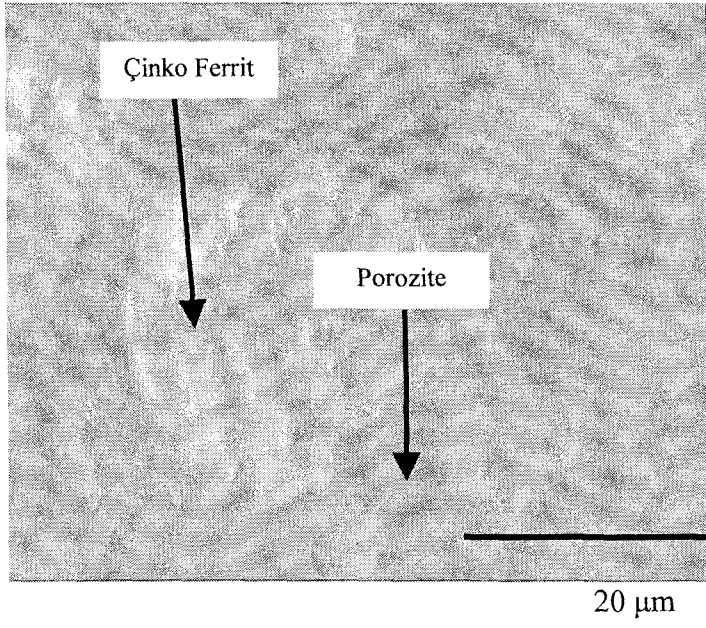


Şekil 5.48. 1000 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı

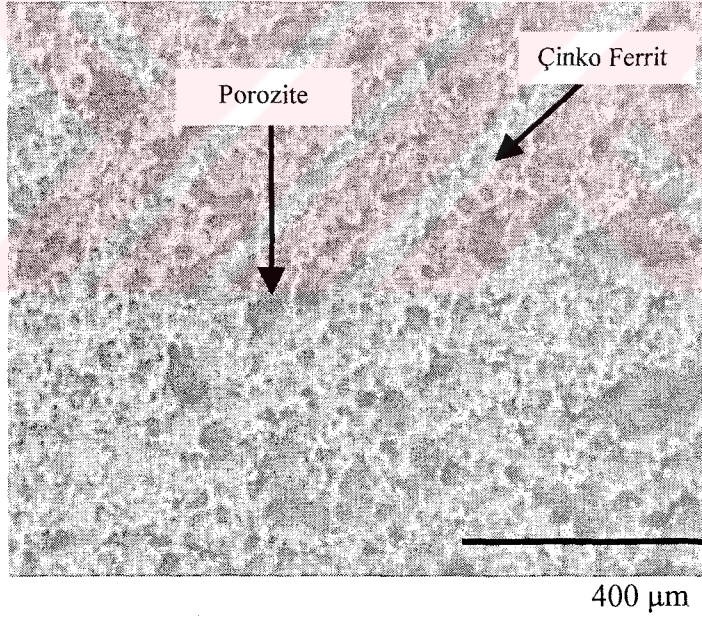


Şekil 5.49. 1000 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı

Şekil 5.50'de 1000 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı görülmekte iken Şekil 5.51 'de ise 1100 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı görülüyor.

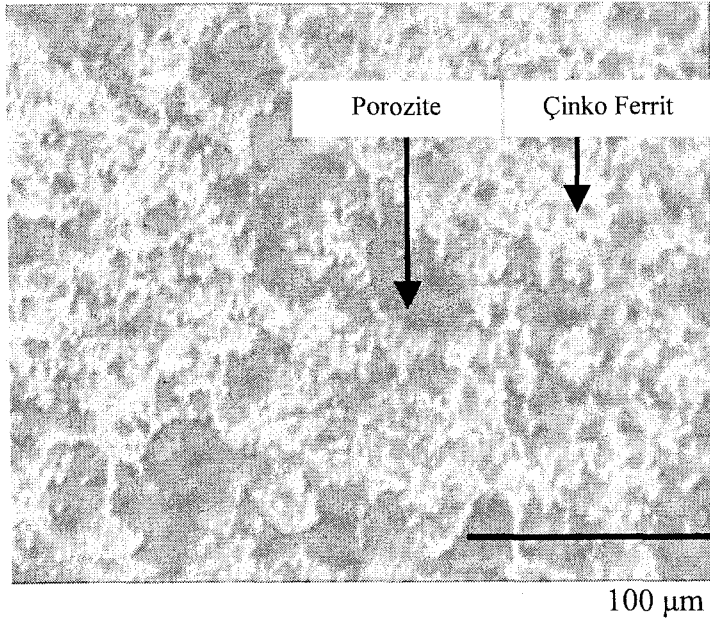


Şekil 5.50. 1000 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı

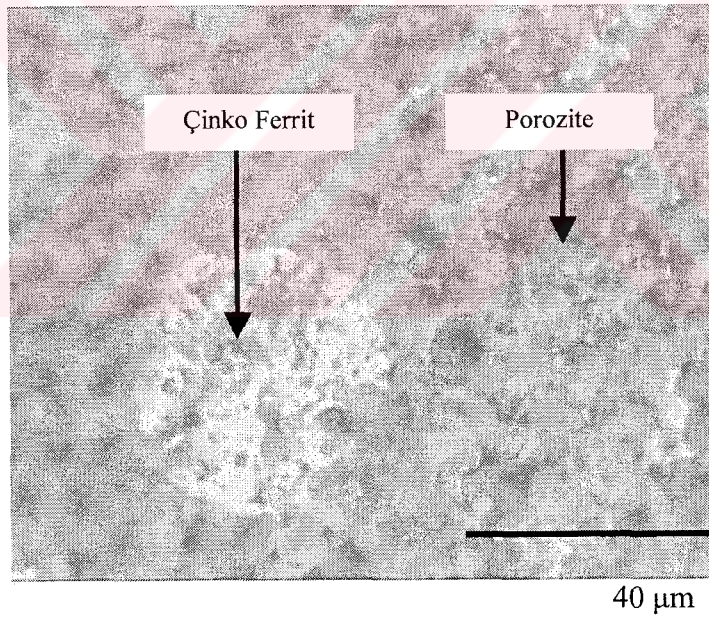


Şekil 5.51. 1100 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı

Şekil 5.52' de 1100 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı görülmekte Şekil 5.53'te yine 1100 °C de ve yine 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı görülmektedir.

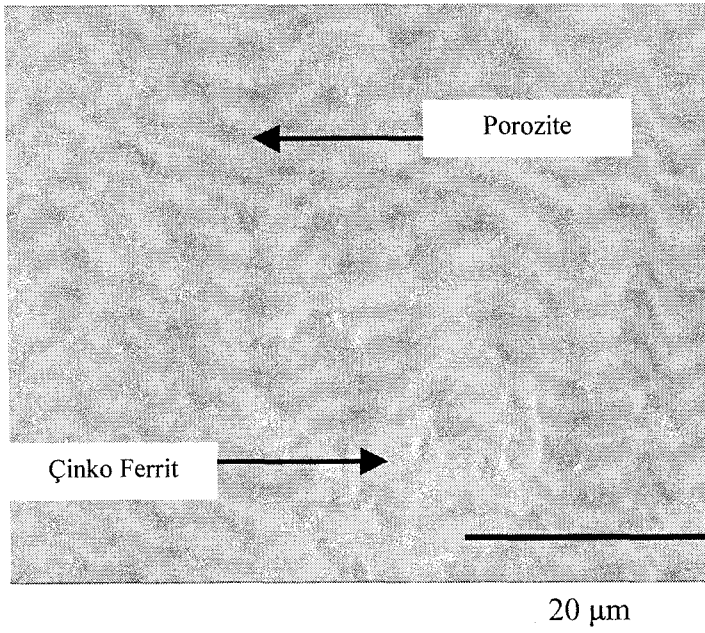


Şekil 5.52. 1100 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı

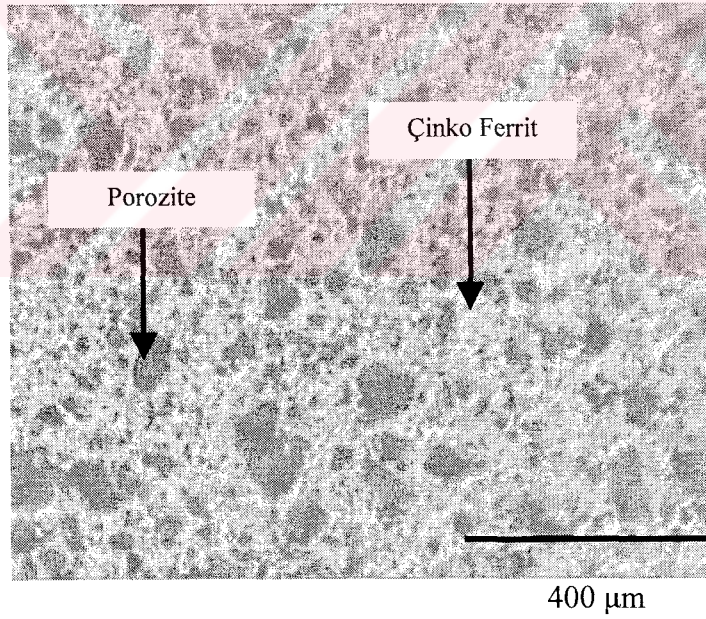


Şekil 5.53. 1100 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı

Şekil 5.54' te 1100 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı görülmektedir Şekil 5.55' te ise 1100 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı görülüyor.

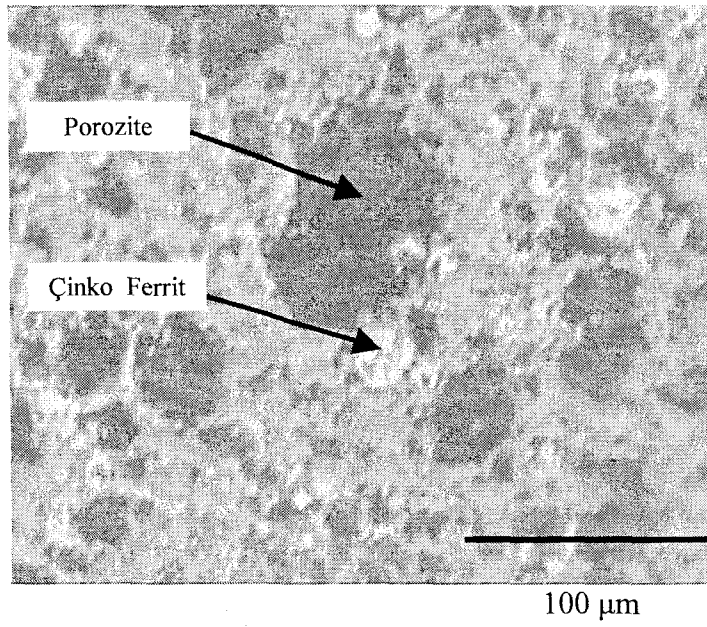


Şekil 5.54. 1100 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı

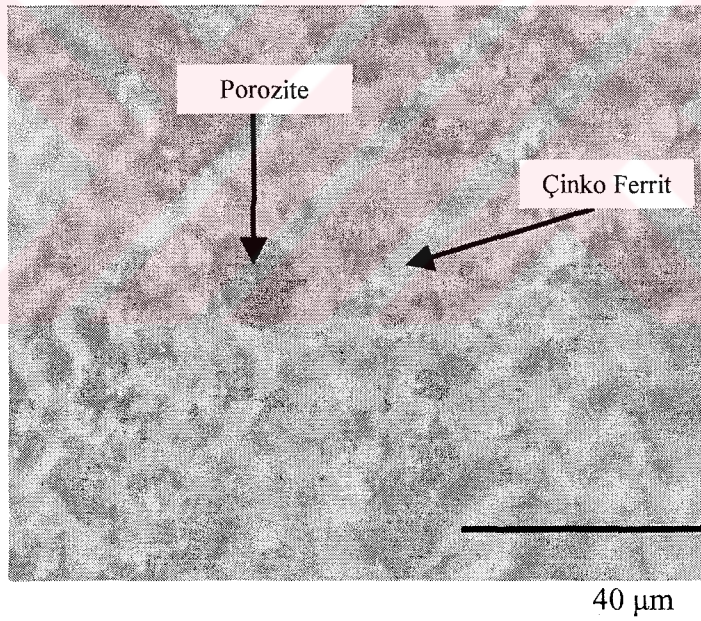


Şekil 5.55. 1100 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı

Şekil 5.56' da 1100 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı Şekil 5.57' de ise yine aynı sıcaklık ve aynı sürede sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı görülmektedir.

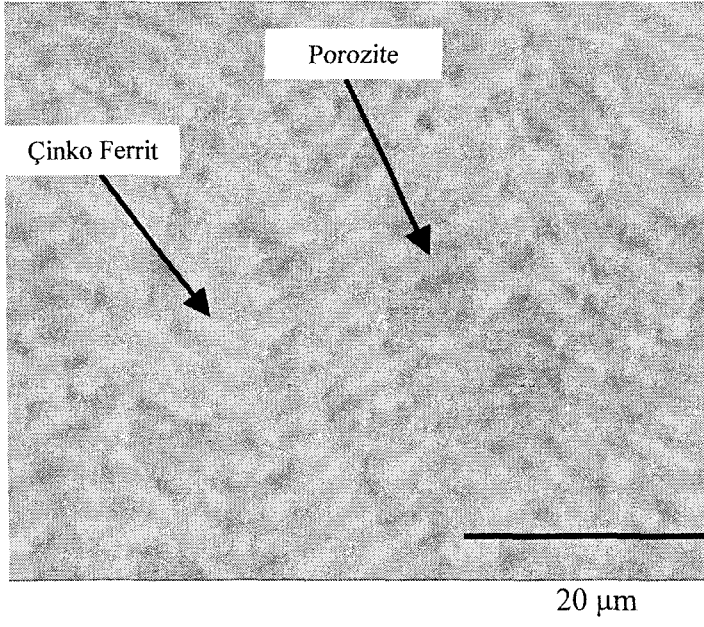


Şekil 5.56. 1100 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı

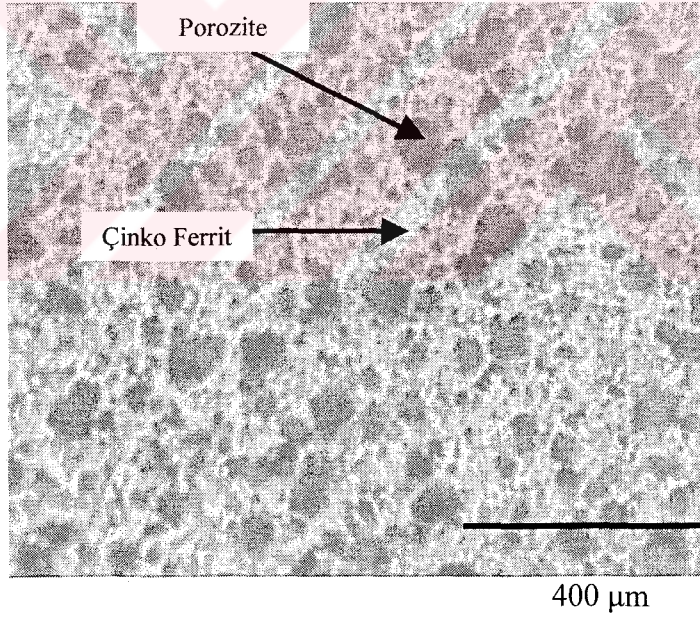


Şekil 5.57. 1100 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı

Şekil 5.58' de 1100 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı görülür. Şekil 5.59' de ise 1200 °C de 1 saat sinterlenmiş baca optik tozunun mikroyapısı görülmektedir.

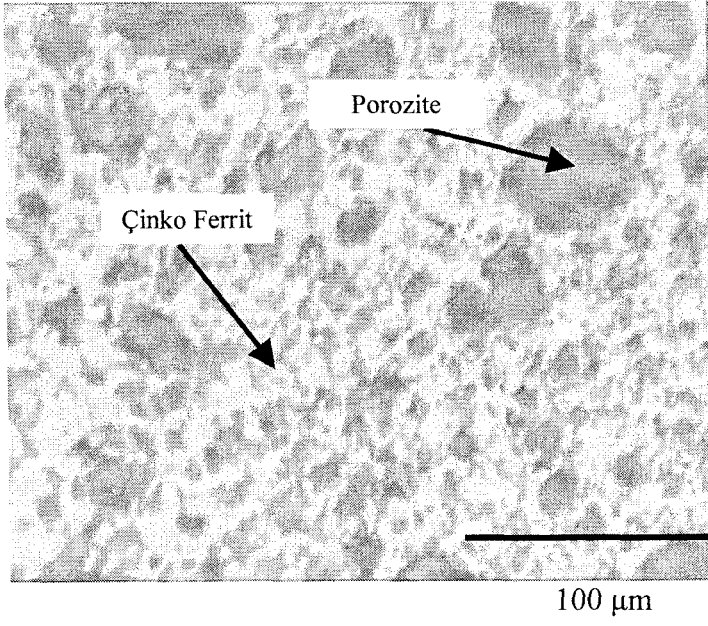


Şekil 5.58. 1100 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı

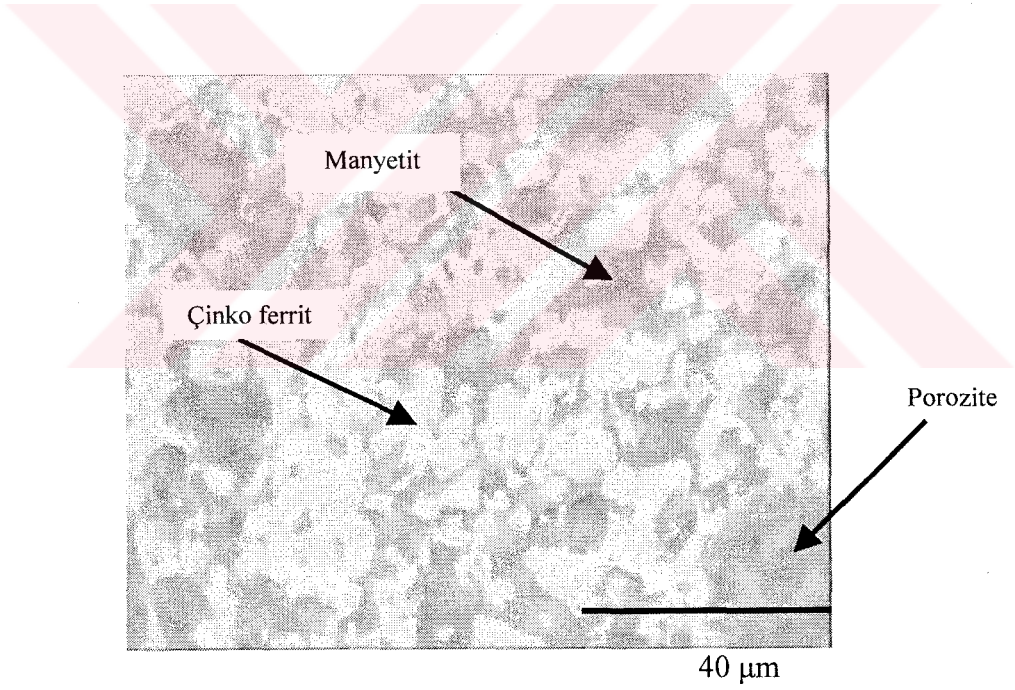


Şekil 5.59. 1200 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı

Şekil 5.60' ta 1200 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı görülürken Şekil 5.61' de ise aynı şartlar altında sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı görülmektedir.

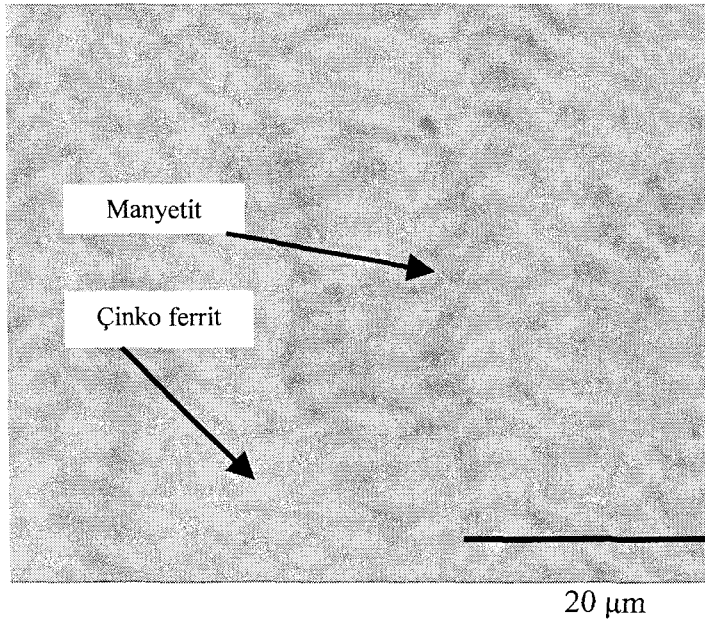


Şekil 5.60. 1200 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı

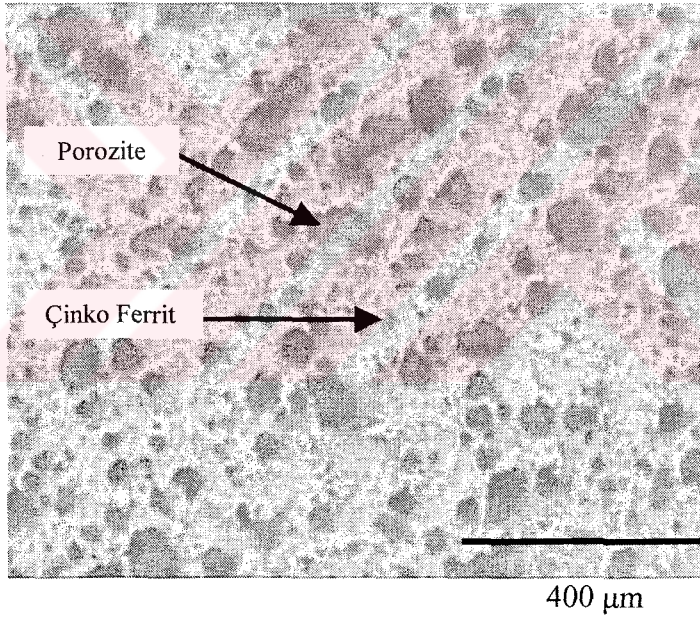


Şekil 5.61. 1200 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı

Şekil 5.62' de 1200 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı, Şekil 5.63' te 1200 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı görülmektedir.

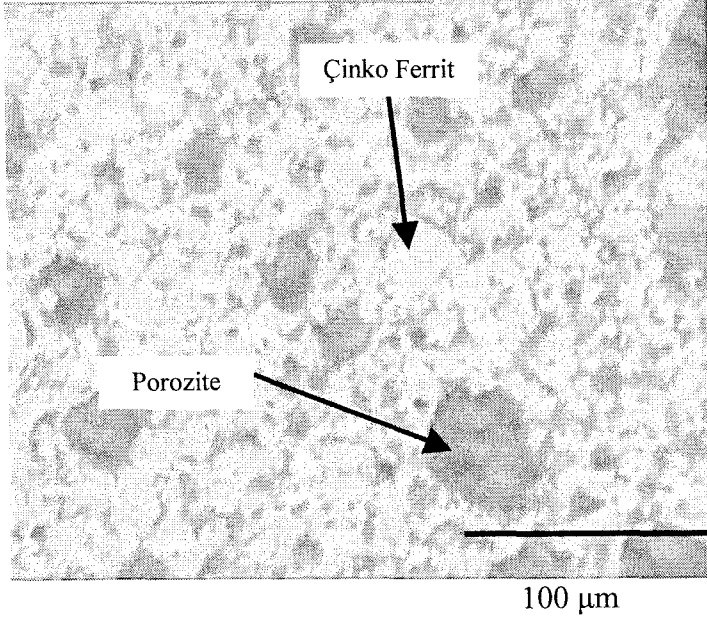


Şekil 5.62. 1200 °C de 1 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı

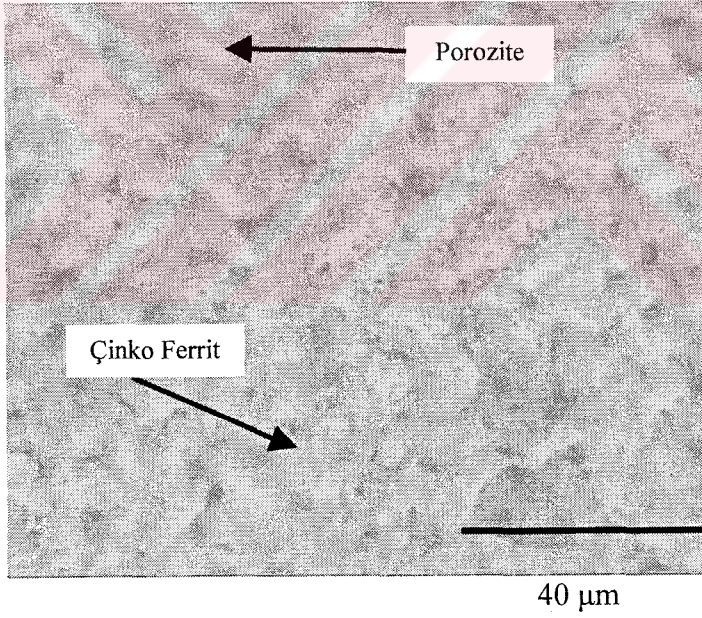


Şekil 5.63. 1200 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı

Şekil 5.64' te 1200 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun mikroyapısı görülüyorken Şekil 5.65' te yine aynı şartlarda sinterlenen baca tozunun mikroyapısı görülmektedir.

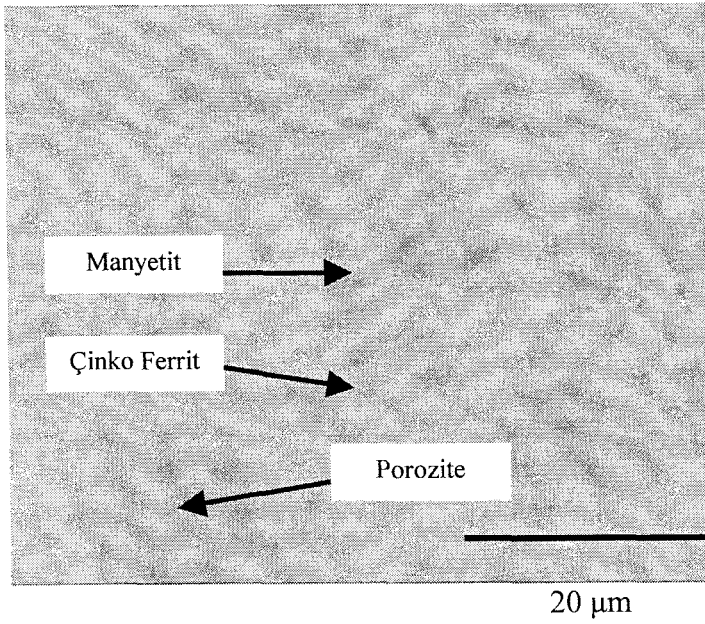


Şekil 5.64. 1200 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı



Şekil 5.65. 1200 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı

Şekil 5.66' da 1200 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı görülmektedir.



Şekil 5.66. 1200 °C de 2 saat sinterlenmiş baca tozunun optik mikroyapısı

Optik mikroskopi ile yapılan inceleme sonucunda yukarıda belirtilen genel olarak sinterleme sıcaklığı ve süresindeki artış neticesinde gözlenen mikroyapılardan yoğunluk artışı ve porozite azalması tespit edilmiştir. Ayrıca maksimum 1200°C derecede sinterlenen numunelerin 1300 °C gibi daha yüksek sıcaklıkta sinterlenmesi sonucunda yoğunluğun daha da arttırılabileceği düşünülmektedir.

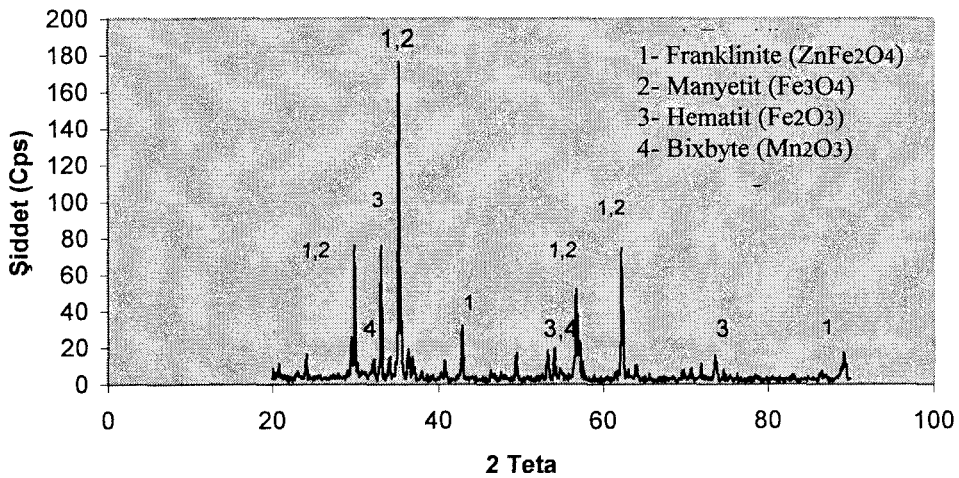
5.8.4.6. Sinterlenen numunelere uygulanan XRD çalışması

900, 1000, 1100, 1200 °C' lerde 1 ve 2 saatlik sürelerde sinterlenen numuneler ortadan kesilerek toz haline getirildi. 75 mikronluk elekten geçirilen elek altı toz Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü XRD laboratuvarında XRD analizine tabi tutuldu. Tablo 5.13'de XRD sonucunda oluşan pikler görülmektedir.

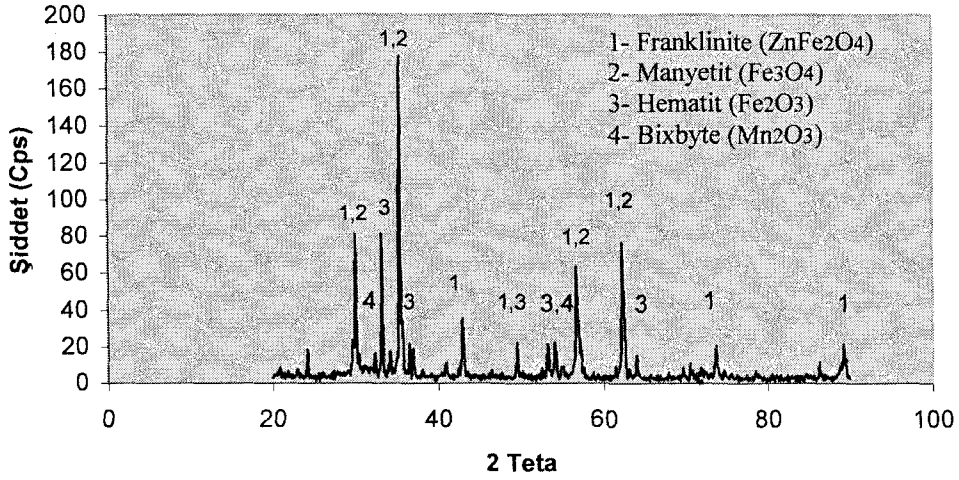
Tablo 5.13. XRD 'de tespit edilen fazlar

Numune	Sinterleme Şartları		XRD' de Tespit Edilen Fazlar
	Sıcaklık (°C)	Süre (sa)	
EAFBT-1	900	1	Franklinite,Hematit, Manyetit, Bixbyite
EAFBT-2		2	Franklinite,Hematit, Manyetit, Bixbyite
EAFBT-3	1000	1	Franklinite,Manyetit, Manganez oksit
EAFBT-4		2	Franklinite,Manyetit, Manganez oksit
EAFBT-5	1100	1	Franklinite,Manyetit, Manganez oksit
EAFBT-6		2	Franklinite,Manyetit, Manganez oksit
EAFBT-7	1200	1	Franklinite, Manyetit
EAFBT-8		2	Franklinite, Manyetit

Şekil 5.67' de 900 °C 'de 1 saat sinterlenen EAF baca tozunun XRD patterni görülürken Şekil 5.68' de 900 °C 'de 2 saat sinterlenen EAF baca tozunun XRD patterni görülmektedir.

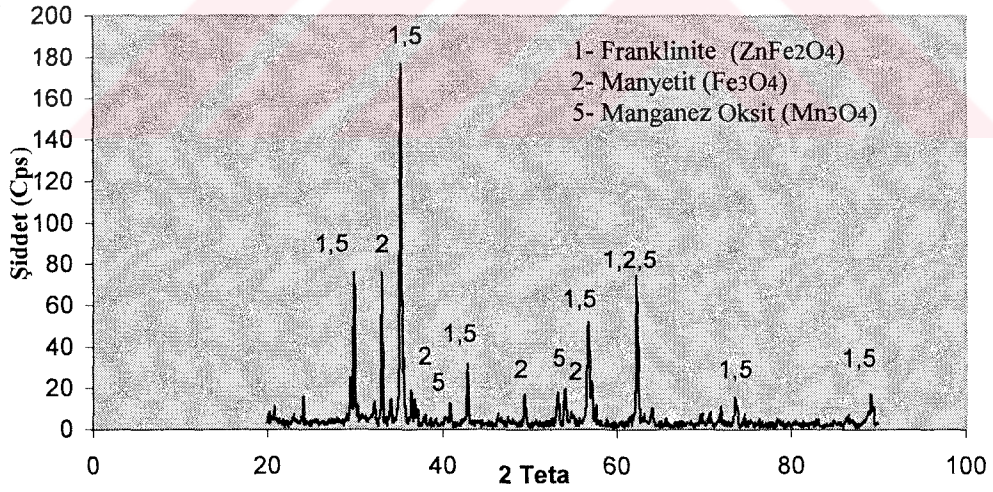


Şekil 5.67. 900 °C 'de 1 saat sinterlenen EAF baca tozunun XRD patterni

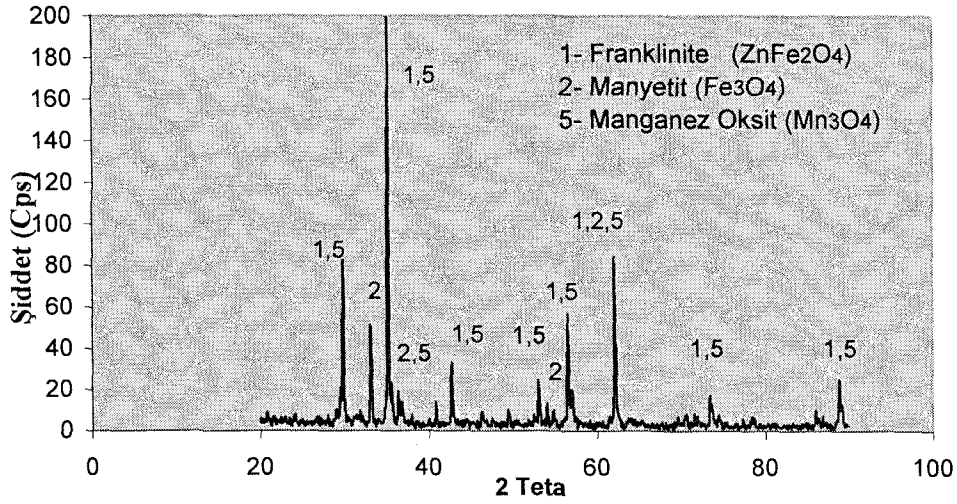


Şekil 5.68. 900 °C 'de 2 saat sinterlenen EAF baca tozunun XRD patterni

Şekil 5.69' da 1000 °C 'de 1 saat sinterlenen EAF baca tozunun XRD patterni, Şekil 5.70' te ise 1000 °C 'de 2 saat sinterlenen EAF baca tozunun XRD patterni görülmektedir.

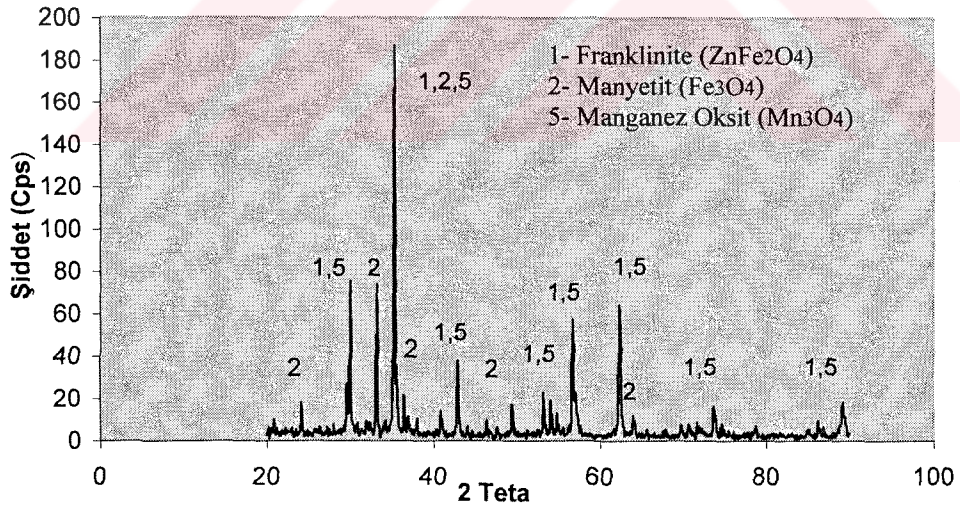


Şekil 5.69. 1000 °C 'de 1 saat sinterlenen EAF baca tozunun XRD patterni

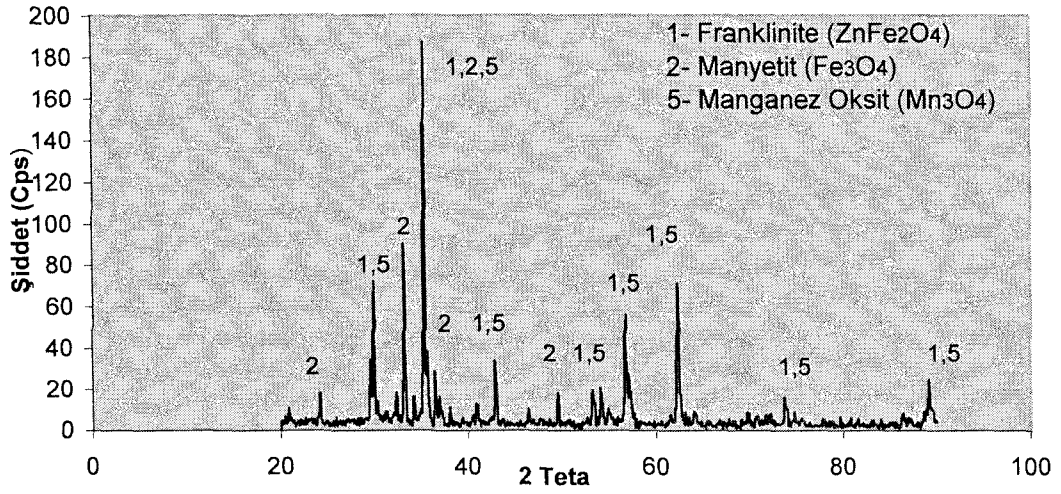


Şekil 5.70. 1000 °C 'de 2 saat sinterlenen EAF baca tozunun XRD patterni

Şekil 5.71' de 1100 °C 'de 1 saat sinterlenen EAF baca tozunun XRD patterni, Şekil 5.72' de ise 1100 °C'de 2 saat sinterlenen EAF baca tozunun XRD patterni görülmektedir.

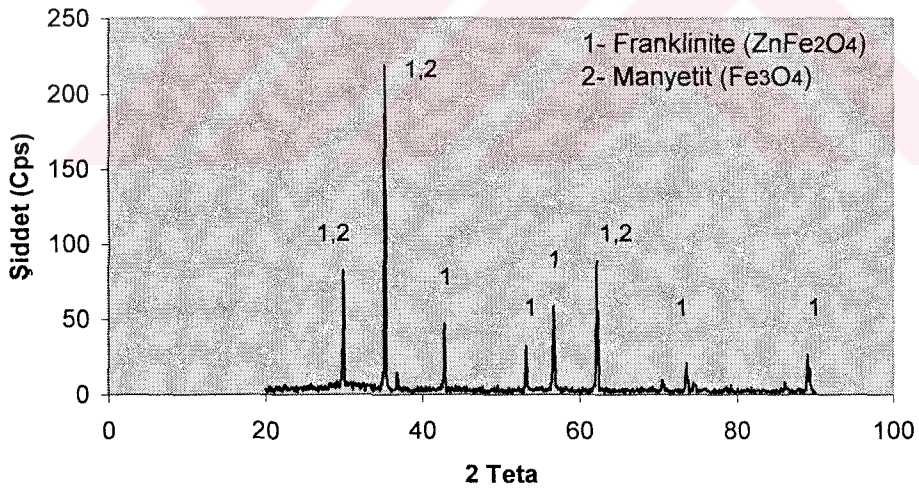


Şekil 5.71. 1100 °C 'de 1 saat sinterlenen EAF baca tozunun XRD patterni

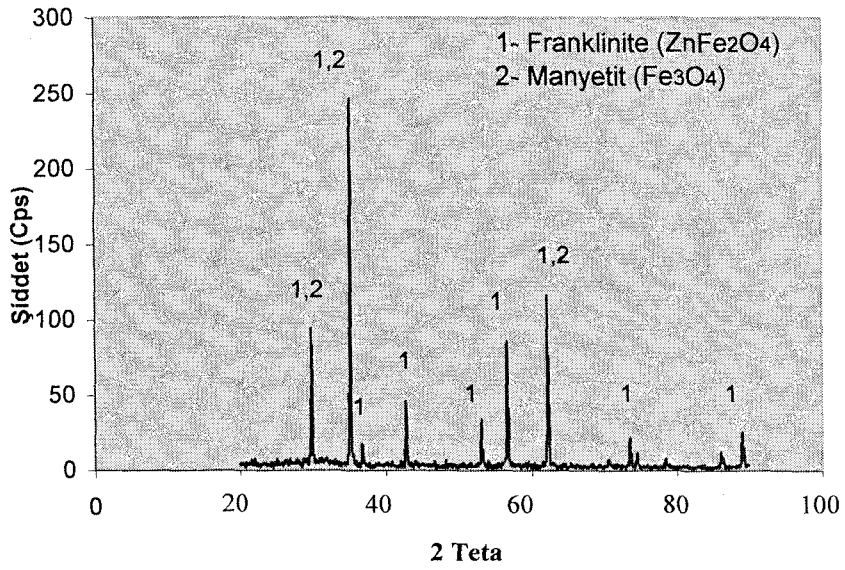


Şekil 5.72. 1100 °C 'de 2 saat sinterlenen EAF baca tozunun XRD patterni

Şekil 5.73' te 1200 °C'de 1 saat sinterlenen EAF baca tozunun XRD patterni, Şekil 5.74' te ise 1200 °C'de 2 saat sinterlenen EAF baca tozunun XRD patterni görülmektedir.



Şekil 5.73. 1200 °C' de 1 saat sinterlenen EAF baca tozunun XRD patterni



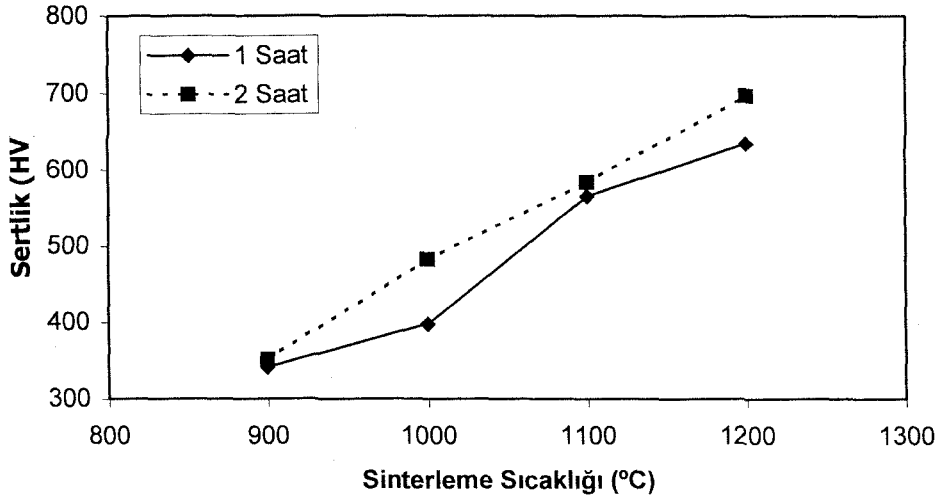
Şekil 5.74. 1200 °C 'de 2 saat sinterlenen EAF baca tozunun XRD patterni

5.8.4.7. Sertlik ölçümü

Deney numunelerine uygulanan sertlik alma işlemi Vickers sertlik alma cihazında 200 gram yük altında 10 saniye süre ile gerçekleştirilmiştir ve aşağıda Tablo 5.14 'te elde edilen sertlik değerleri ve bu değerlere ilişkin grafik ise Şekil 5.75'te görülmektedir.

Tablo 5.14. Deney numunelerinin sertlik değerleri

Numune kodu	Sinterleme şartları	Sertlik değeri (Vickers)
EAFBT-1	900 °C 1 saat	340,85
EAFBT-2	900 °C 2 saat	351,25
EAFBT-3	1000°C 1 saat	397,25
EAFBT-4	1000°C 2 saat	482,35
EAFBT-5	1100°C 1 saat	565,12
EAFBT-6	1100°C 2 saat	584,0
EAFBT-7	1200°C 1 saat	634,4
EAFBT-8	1200°C 2 saat	696,4



Şekil 5.75. Sertlik ve sinterleme sıcaklığı arasındaki ilişki

Yukarıdaki grafikte Tablo 5.14 ve Şekil 5.75'ten görüldüğü gibi 900 °C 1 saat sinterlenen numunenin sertliği 340,85 vickers olduğu aynı sıcaklıkta 2 saat sinterlenen numunenin sertliğinin ise 351,25 vickers olduğu aynı şekilde özellikle 1200 °C 'de 1 saat sinterlenen numunenin sertliğinin 634,4 vickers aynı sıcaklıkta 2 saat sinterlenen numunenin sertliği ise 696,4 vickers olmuştur. Özellikle artan sinterleme sıcaklığıyla birlikte sertliğin önemli miktarda arttığı açıktır. Sertlik değerlerinin iyileşmesi, sinterleme sıcaklığının artmasıyla birlikte numunede meydana gelen yoğunluk artışı ve porozitenin azalmasıyla ilişkilidir. Sonuç olarak sinterleme sıcaklığının artmasıyla birlikte numunede sertlik artmaktadır.

BÖLÜM 6. SONUÇLARIN İRDELENMESİ

Bu bölümde deneysel çalışmalarda bulunan sonuçlar verilerek tartışılacaktır.

6.1. Baca Tozunun Karakterizasyonu ve Toz Hazırlama

Numuneler toz halden şekillendirme ile pelet haline dönüştürülürken baca tozlarının nem tutma (hidroskobik) özelliğine sahip olduğu gözlemlendi. Bundan dolayı özellikle plazma kaplama öncesi tozların toz besleme haznesine yapışmaması ve akışkan olması için sürekli olarak kurutucuda bekletilmesi ya da hava almayacak kapalı bir ortamda (desikatörde) saklanması gerektiği tespit edildi. Bunun sebebi baca tozları elektrofiltre ile tutulduğundan çok ince tane boyutuna sahiptirler. Şekil 5.1' den de görülebileceği gibi ortalama tane boyutu 100 mikronun altındadır. Yani yüzey alanı oldukça büyüktür. Bu da kolayca nemlenmesine yol açan bir faktördür.

Baca tozunun termal karakterizasyonu ve davranışının belirlenmesi için yapılan DTA analizinde gözlenen ilk pik 95 °C de endotermik pik olup fiziksel suyun buharlaşmasını göstermektedir. 645 °C 'e doğru yükselen egzotermik pik ise bünyede bulunan karbonun yanması ile oluşmaktadır. Daha sonraki 698 °C endotermik piki ise bünyedeki kükürdün yanması neticesinde oluştuğu düşünülmektedir.

750 °C deki egzotermik pik ise bünyedeki serbest Pb ve Zn gibi metallerin oksitlenmesiyle oluşabilir. Bu sıcaklıktan sonra gözlenen ve aşağıya doğru endotermik pik verecek şekilde ilerleyen pik ise hematitin magnetite dönüşmesiyle 840 °C ile yaklaşık 1000 °C aralığında gerçekleşmektedir.

1000 °C sonrasında ise çinkoferrit oluşumu başladığından egzotermik bir pik gözlenmekte ve bu oluşum 1265 °C'e kadar devam etmektedir. Daha sonraki piklerin iniş ve çıkışlı bir hal alması ve özellikle 1285°C de büyük bir pik göstermesi

bu aralıkta bir kaç değişik reaksiyon ürününün oluştuğunu göstermekte olup mevcut çalışmada en yüksek 1200 °C 'e kadar sinterleme ve XRD analizi yapıldığından bu fazların tespiti mümkün olamamıştır.

6.2. Kalsinasyon

Peletlerin sinterleme sonrası daha düşük poroziteye sahip olabilmesi için ön kalsinasyon işlemi yapıldı

500 °C de 2 saatlik kalsinasyon sonucu ortalama % 13.9 kadar ağırlık kaybı olduğu gözlemlendi. Bu ağırlık kaybının sebebi baca tozu bileşiminde bulunan ve düşük sıcaklıkta buharlaşan ve okside olabilen kurşun, karbon ve kükürt gibi elementler ile bünyede bulunan fiziksel suyun buharlaşmasıdır. Böylece sinterleme esnasında oksitlenerek veya buharlaşarak geriye porozite artışına neden olabilecek elementler kalsinasyon ile sistemden uzaklaştırılarak daha yoğun malzeme elde edilmesine çalışılmıştır.

6.3. Şekillendirme ve Pelet Basımı

Tozların pelet haline dönüştürülmesinde her hangi bir güçlkle karşılaşılmadı. 75 MPa yük uygulanması yani şekillendirme basıncı kalıpta herhangi bir deformasyon meydana getirmemiştir. Ayrıca baca tozlarından pelet basımı sırasında baca tozun ihtiva ettiği nemden kaynaklanan fiziksel su içeriğinden dolayı su ilave edilmeden kuru presleme gerçekleştirilmiştir.

6.4. Kurutma

Şekillendirme sonrası yapılan kurutma işlemi sonucu, peletler de herhangi bir çatlama ve dağılma gözlenmedi. Kurutmada negatif bir olayın olmaması ön kalsinasyon işleminin yapılarak kurutma davranışının kararlı hale getirilmesinden kaynaklanmıştır.

6.5. Sinterleme

Sinterleme sonrasında artan sıcaklığa paralel olarak % pışme küçülmesi, % ağırlık kaybı ve boyut değişimi (küçülmesi) olarak gözlendi. Pışmede uygulanan süre arttıkça boyut ve ağırlık azalmasının arttığı tespit edildi. Bu davranışın sebebi sinterleme mekanizması olarak baca tozu bileşiminde bulunan SiO_2 ve K_2O oksitlerinin teşvik ettiği sıvı faz sinterlemesidir. Sıvı faz sinterlemesinden dolayı bağımsız taneler bir biriyle oluşan sıvı faz nedeniyle kimyasal olarak birleşerek birbirlerine yaklaşmakta ve poroziteler azalmaktadır. Her iki oksitin varlığı aynı zamanda sinterleme sıcaklığı ve zamanını azaltmakta olup daha ekonomik sinterleme yapılmasını sağlamaktadır.

6.6. Bulk Yoğunluk ve Porozite Ölçümü

Sinterleme süresi ve sıcaklığı arttıkça bulk yoğunluğun arttığı ve porozite yüzdesinin azaldığı gözlenmiştir. Bu davranış genelde sinterlenen tüm malzemelerde gözlenen bir davranış olup yoğunluk artışı ve porozite azalmasının sinterleme esansında oluşan reaksiyon ürünleri ve sıvı fazların yoğunluk artışına ve porozite azalmasına yol açtığı düşünülmektedir.

6.7. Su Emme Testi

Su emme testi sonucunda sinterleme sıcaklığı 900-1200 °C aralığında arttırıldıkça ve sinterleme süresi 1 saatten 2 saate çıkarıldığında yoğunluğun arttığı porozite yüzdesinin düştüğü bunun bir yansıması olarak da su emme miktarlarında azalma olduğu gözlenmiştir. Bu azalmanın nedeni ise sinterleme sonucu mikroyapıda oluşan reaksiyon ürünleri ve sıvı fazların yol açtığı yoğun mikroyapıdır. Genel olarak bakıldığında yapı seramiklerinde su emme değerinin %1 'in altında olması istendiğinden, 1200 °C ve üzeri sinterlenen numunelerin bu özelliği sağladığı tespit edilmiştir.

6.8. Optik Mikroyapı İnceleme Sonuçları

Optik mikroskop ile yapılan inceleme sonucunda yukarıda belirtilen ve genel olarak sinterleme sıcaklığı ve süresindeki artış neticesinde gözlenen mikroyapıdaki yoğunluk artışı ve porozite yüzdesinin azalması resimlerden de tespit edilmiştir. Ayrıca maksimum 1200°C derecede sinterlenen numunelerin 1300 °C gibi daha yüksek sıcaklıkta sinterlenmesi sonucunda yoğunluğun daha da arttırılabileceği düşünülmektedir.

Optik mikroyapıda 900 ve 1000 °C de gözlenen mikroyapıda aynı fazlar gözlenmiş olup bu fazlar beyaz olan faz çinko ferrit ve daha koyu olan faz ise hematit olarak belirlemiştir. Mikroyapıda her iki faza göre Porozite daha koyu renkte olan ise porozite olarak belirlemiştir. 900 ile 1000 °C de sinterlenmiş ve aynı büyütmede her iki mikroyapı karşılaştırıldığında porozitenin azaldığı ve çinko ferrit fazının yapıda arttığı gözlenmiştir. Bu tespit XRD sonuçları ile uyum içerisindedir. 1000°C ve üzerindeki sıcaklıklarda ise hematit magnetite dönüştüğü için açık gri bir fazın belirgin halde tespit edilmiştir (Şekil 5.35, 5.39 5.43 ve 5.47)

1100 °C de ise gittikçe artan çinko ferrit fazının bir sonucu olarak (bu faz baca tozunu oluşturan bileşimin en yüksek yüzdede bulunan Fe_2O_3 ve ZnO in birleşmesinden oluşmaktadır) yoğunlaşma artmakta ve porozitenin azaldığı gözlenmektedir.

1200 °C de ise çinko ferrit fazı yapıda belirgin bir şekilde artış göstermiş olup yoğunlaşmada artış gözlenmiştir (Şekil 5.59 ve 5.63). Çinko ferrit fazının artışı XRD analizi ile uyum göstermektedir (Şekil 5.73 ve 5.74). Daha yüksek büyütmelelerde ise çinko ferrit fazının arasında magnetit fazının da kısmen yer aldığı ve yapıyı daha da yoğun hale getirdiği gözlenmiştir (Şekil 5.62 ve 5.66).

6.9. Sertlik Ölçümü

Şekil 5.75 de görüldüğü gibi sinterleme sıcaklığının ve süresinin artmasıyla numune sertliğinin de arttığı görülmektedir. Bunun sebebi XRD analizlerinde tespit edilen

sekonder (reaksiyon ürünü) bileşiklerden olan Franklinit ($ZnFe_2O_4$) olduğu düşünülmektedir. Ayrıca başlangıç tozunda bulunmayan fakat sonradan hematitin oksidasyonu ile ortaya çıkan magnetit (Fe_3O_4) fazının da sert bir faz olmasından dolayı genel olarak sertlik artışına katkıda bulunabilir. Artan sıcaklık ve süre ile yukarıda belirtilen her iki fazında 1100 °C öncesi XRD de şiddet değerleri artmakta olup, 1200 °C den sonra ise, yine hakim faz olarak, franklinit'in XRD de şiddet değerini artırmakta olup sertlik değerini artırmada önemli rol oynamaktadır.

6.10. Plazma Kaplama Sonuçlarının İrdelenmesi

Baca tozlarının ortalama tane boyutunun 100 mikron ve daha düşük olması nedeniyle boyut küçültme işlemi yapılmasa dahi plazma kaplama başlangıç hammaddesi olarak yani plazma kaplama tozu olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

Tablo 5.7 ve Şekil 5.22 den de görüldüğü üzere cam tozu ve Al metali ilavesinin gerek mikroyapının iyileştirilmesi ve porozitenin azaltılması açısından ve gerekse bağ mukavemetini artırılması açısından faydalı olduğu tespit edilmiştir.

Baca tozuna Al tozu ve cam tozu karıştırılarak kaplama yapılmıştır. Al tozu ilaveli kaplamalar cam tozu ilaveli kaplamalara göre daha iyi bir performans göstermiştir. Al tozu ilaveli kaplamaların daha iyi sonuç vermiş olmasının nedeni, Al metali cam tozuna göre daha düşük bir ergime sıcaklığına sahiptir ve ıslatma açısı da daha düşüktür. Düşük ıslatma açısına sahip olan malzemeler numune üzerine daha iyi yayılma sağlayarak boşlukları daha iyi doldurmakta ve daha iyi bir yapışma sağlamaktadır. Sonuç olarak Al tozu ilaveli kaplamalar daha iyi sonuç vermiştir.

Yapılan kaplama çalışmaları sonucunda porozite açısından yapılan mikroyapı incelemesine göre baca tozuna cam tozu ilavesi ile yapılan kaplama ile Al tozuna göre daha yoğun bir kaplama elde edildiğini gözlenmiştir. Fakat cam tozunun amorf yapısından dolayı gevrek bir malzeme özelliği göstermesinden dolayı kaplamada poroziteyi iyi doldurması rağmen bağ mukavemeti açısından Al tozuna göre daha düşük değerler vermiştir.

BÖLÜM 7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Deneysel Çalışmaların Genel Sonuçları

Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen genel sonuçların yorumları aşağıda verilmiştir.

A) EAO baca tozunun plazma kaplama tozu olarak değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar sonucunda elde edilen genel sonuçlar.

1- EAO fırını baca plazma kaplama tozu olarak kullanılabilceği gösterilmiştir.

2- Al ve cam tozu ilavesi ile daha az poroziteli bir kaplama elde edilmiştir.

3- Genelde kaplamaların mikroyapısı incelendiğinde altlık-kaplama ara yüzeyinin iyi bir bağlanma gösterdiği gözlenmiştir.

4- Baca tozlarının rutubet içeren bir yapısı olduğundan akıcılığı zayıf olmakta ve genelde cam veya Al ilaveli baca tozu ile yapılan kaplama kalınlığı daha ince olmuştur. % 100 EAO baca tozu ile yapılan kaplama kalınlığı ortalama 43,1 mikron iken Al ilaveli baca tozunda ise ortalama kaplama kalınlığı 29,6 mikron ve cam tozu ilaveli baca tozunda 32,8 mikron olarak bulunmuştur.

5- Cam tozu ve Al metali ilavesinin gerek mikroyapının iyileştirilmesi ve porozitenin azaltılması açısından ve gerekse bağ mukavemetini artırılması açısından faydalı olduğu tespit edilmiştir.

6-Al tozu ile cam tozunun birbiri ile karşılaştırılmasında ise Al tozu ilavesinin cam tozuna göre daha iyi performans gösterdiği gözlenmiştir.

Sonuç olarak EAO baca tozlarının plazma kaplama çelik bir altlık malzeme yüzeyine kaplanabileceği gösterilmiş olup yumuşak ve ergimesi kolay bir metal olan Al tozu ilavesi ile ve ergimesi baca tozuna göre kolay bir toz olan cam tozu ilavesi ile daha az porlu fakat tabaka kalınlığı daha az kaplama yapılabileceği tespit edilmiştir.

Yapılan kaplama çalışmaları sonucunda porozite açısından yapılan mikroyapı incelemesine göre baca tozuna cam tozu ilavesi ile yapılan kaplama ile daha yoğun bir kaplama elde edildiğini gözlenmiştir.

Ayrıca baca tozlarının ortalama tane boyutunun 100 mikron ve daha düşük olması nedeniyle boyut küçültme işlemi yapılmasa dahi plazma kaplama başlangıç hammaddesi olarak yani plazma kaplama tozu olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

B) EAO baca tozunun seramik bir ürün olarak değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar

1- EAO baca tozunun katkısız sinterlenebileceği tespit edilmiş olup sinterleme sıcaklığı ve süresinin artması ile bulk yoğunluğun, toplu küçülmenin ve sertliğin arttığı buna mukabil porozite ve su emme değerlerinin azaldığı gözlenmiştir.

2- Elde edilen sonuçlara göre EAO tozlarının seramik bir ürüne dönüştürülebileceği tespit edilmiş olup elde edilen malzeme özelliklerine bakarak; bu atık tozların katma değeri olan bir mühendislik seramiği üretiminde kullanılabilceği söylenebilir.

3- Baca tozlarının ortalama tane boyutu 100 mikronun altında olduğu için hiçbir öğütme ve eleme yapmadan direk olarak seramik ürün eldesi için kullanılabilir.

4- Bu çalışmada en yüksek sinterleme sıcaklığı olan 1200 °C baz alındığında genel olarak elde edilen toplu küçülme, porozite, su emme, bulk yoğunluk ve sertlik değerlerinin seramik ürünlerde beklenen ve arzu edilen değerlere yaklaştığı veya karşılaştırılabilir olduğu gözlenmiştir.

Tüm sonuçlar dikkate alınarak değerlendirme yapılacak olursa EAO baca tozlarının içerdiği çevre ve insan sağlığına zararlı ağır ve toksik metallerin sinterleme yoluyla bir ürüne dönüştürülmesi veya plazma kaplama prosesinde kullanılması yoluyla hem zararlarının bertaraf edilmesi hem de yeniden değerlendirilmesi yoluyla katma değeri olan bir ürüne dönüştürülmesinin mümkün olduğu sonucuna varılmıştır.

7.2. Öneriler

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda EAO baca tozlarının yeniden değerlendirilmesinin mümkün olduğu tespit edilmiş olup gelecekteki araştırmalar için aşağıdaki öneriler yapılabilir.

- a) Bu çalışmada EAO baca tozları hiçbir sinterleme katkısı olmadan sinterlenmiştir. Sinterleme sıcaklığını düşürücü etki yapabilecek bazı oksit veya ilavelerle sinterlemenin daha ekonomik ve daha düşük sıcaklıkta yapılabilirliği araştırılabilir.
- b) Plazma ile kaplanmış yüzeylerin korozyon ve aşınma davranışları bu çalışmanın devamı olarak incelenebilir.
- c) Bu çalışmada optik mikroskopla mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Daha detaylı bir mikroyapı incelemesi için SEM kullanılarak plazma kaplanmış yüzeylerin incelemesi yapılabilir.
- d) Aynı şekilde ve sinterlenmiş mikroyapının ve elde edilen fazların incelemesi daha detaylı olarak SEM de yapılabilir.
- e) Sinterlenmiş numunelerin için de en yoğun olan 1200 °C de sinterlenen malzemenin aşınma , kırılma tokluğu ve diğer mekanik özellikleri incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] ÇİZMECİOĞLU, Z. , ARTIR, R. “Elektrik Ark Ocağı İle Çelik Üretiminde Teknolojik Gelişmeler” 4. Metalurji Kongre ve Sergisi Cilt 1 , sayfa 129-14,1986
- [2] TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası “Elektrik Ark Ocağın Tozlarından Çinko Kazanımı Üzerine Görüşler” Metalurji Dergisi , sayı 93 , sayfa 61-64 , Aralık 1994
- [3] KARAGÖZ, İ. , “Elektrik Ark Ocakları Baca Tozlarının Değerlendirilmesi” Bitirme Ödevi , SAÜ Müh. Fak. Metalurji Mühendisliği , Haziran 1994
- [4] DUMAN, İ. , DIKEÇ, F. “Elektrik Ark Fırını Baca Tozları : Ekolojik Sorun ve Ekonomik Değer” Metal Dünyası Dergisi , sayfa 62-63 , Şubat 1994
- [5] KIRDAR, A., A., “Elektrik Ark Fırını Baca Tozlarının Hidrometalurjik Değerlendirilmesi” Yüksek Lisans Tezi , İTÜ-1991
- [6] Metoks Madencilik Metalurji Zn Oksit Tesisleri Fizibilite Raporu Kasım 2001
- [7] BARBIERİ, L., CORRADI , A. , LANCELOTTI, I., “Thermal and Chemical Behaviour of Different Glasses Containing Steel Fly Ash and Their Transformation into Glass-Ceramics” , www.elsevier.com/locate/jeurceramsoc , 2002
- [8] [http:// www.staffs.ac.uk/schools/sciences/consultancy/cet/sef/](http://www.staffs.ac.uk/schools/sciences/consultancy/cet/sef/)
- [9] SÜRME, D.; Demir-Çelik atıklarının Değerlendirilmesi ve Liç Çamurundan Bakır Geri Kazanımı. SAÜ 2001 Bitirme tezi.
- [10] PELINO, M., KARAMANOV, A. , PISCIELLA, P., CRISUCCI, S., ZONETTI, D., “Vitrification of electric arc furnace dusts “, Waste Management, Dec 2002
- [11] AÇMA, E., “Çinko İçerikli Hammaddelerin Değerlendirilmesi” Metalurji Dergisi , Sayı 93 , Sayfa 55-60 , Aralık 1994.
- [12] ÖZŞEKER, A., “Etibank Kıрма Boraks İşletmesi Atıklarının Seramik Sırı Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması”Yüksek Lisans Tezi SAÜ, Mayıs 1998
- [13] ÖKSÜZ, L., “Plazma Gerçeği”, Bilim ve Teknik Dergisi, pp. 75, Şubat, 2001.
- [14] ÇİMEN, M. Ş., AKKUŞ, A., “Plazma ile yüzey kaplama”, Kaynak Teknolojisi I. Ulusal Kongresi, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 13-15 Kasım, Bildiriler Kitabı, s. 155-164, 1997.

- [15] SMART, R.F., CATHERALL, J.A., "Plasma Spraying", Mills & Boan Limited, London, 1972.
- [16] MATEJKA, D., BENKO, B., "Plasma Spraying of Metallic and Ceramic Materials" John Willey & Sons, Czechoslovakia, 1989.
- [17] STEL, F., TOPLAN, N., YILMAZ, F., "Termal Sprey Kaplama Teknikleri", IV. Seramik Kongresi, s. 697-703, Eylül, Eskişehir, 1998.
- [18] INGHAM H.S., SHEPARD, A.P., "Metco Flame Sprey Handbook", Metco Inc., New York , USA, 1965.
- [19] OTERO, E., PARDO, A., HERNAES, J., PEREZ, F.J., "The Hot Corrosion of In-57 Superalloy in $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-V}_2\text{O}_5$ Melt Eutectic" Madrid, Spain.
- [20] GEÇKİNLİ, E.A., "İleri Teknoloji Seramikleri" İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 1998.
- [21] Adhesion or Cohesive Strength of Flame Sprayed Coatings ASTM Standart Test Method C., 633-679, 1980.

ÖZGEÇMİŞ

23.06.1973 Adapazarı doğumludur. İlk, orta, lise, tahsilini Adapazarı'nda tamamladı. 1995 yılında Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümüne kayıt yaptırdı. Aynı bölümden 1999 yılında Metalurji Mühendisi unvanı ile mezun oldu. 2000-2001 yılları arasında Eser Müşavirlik Mühendislik A.Ş.'de Adapazarı doğalgaz projesiyle ilgili olarak görev yaptı. 2001 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans öğretimine başladı. Halen Adapazarı Büyükşehir Belediyesi'nde görev yapmaktadır.