

## İÇİNDEKİLER NO

## SAYFA

İÇİNDEKİLER		I
ŞEKİLLER LİSTESİ		IV
ÇİZELGELER LİSTESİ		IX
TEŞEKKÜRLER		X
ÖZET		XI
ABSTRACT		XII
1.	GİRİŞ	1
2.	TOZ METALURJİSİ	4
1.1.	Toz Metalurjisinin Kullanıldığı Alanlar	5
2.1.1.	Toz Metalurjisinin Zorunlu Kullanıldığı Alanlar	7
2.1.2.	Toz Metalurjisinin Tercihen Kullanıldığı Alanlar	7
2.1	Toz Metalurjisi Yönteminin Sınırları	8
2.2	Toz Metalurjisi Ürünlerinin Özellikleri	8
2.3	Toz Metalurjisi Ürünleri	9
2.3.1	Otomotiv Sanayi	9
2.3.2	Takım Çelikleri	9
2.3.3	Sert Metaller	9
2.3.4	Kaymalı Yataklar	10
2.3.5	Gözenekli Metaller ve Filtreler	10
2.3.6	Sürtünme Elemanları	10
2.3.7	Elektrik ve Manyetik Alanlar	10
2.3.8	Askeri Uygulamalar	10
2.3.9	Medikal Uygulamalar	10
2.5.	Toz Metalurjisi Ürünlerinin Avantaj ve Dezavantajları	11
2.5.1.	Avantajları	11
2.5.2	Dezavantajları	12
2.6.	Toz Metalurjisi Parçaların İşlenebilirliği	13
2.6.1	Toz Metalurjisi Parçaların İşlenmesini Zorlaştıran Unsurlar	14
2.6.2	Kalıntıların Etkisi	14
2.6.3	Mikroyapı ve Kimyasal Kompozisyonun Etkisi	14
2.7.	Metal Tozların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	15
2.8.	Tozların Preslenmesi	16
2.9.	Preslemede Görülen Olaylar	17
2.9.1.	Sıcakta Presleme	19

2.9.2 .	Sıcakta Preslenen Cisimlerin Özellikleri	19
3.	TOZ ÜRETİMİ	21
3.1.	Öğütme	21
3.2.	Bakır ve Demirin Elektrolizi	22
3.3.	Kimyasal İndirgeme	22
3.4.	Atomizasyon	22
3.5.	Diğer Üretim Yöntemleri	24
3.6.	Demir Tozu Üretimi	25
3.6.1.	Toz Özellikleri	25
4.	ISIL İŞLEMLER	28
4.1.	Sinterleme	28
4.1.1	Tek Bileşenli Sistemlerin Sinterlenmesi	32
4.2.	Borlama	37
4.2.1.	Borlama Yöntemleri	38
4.2.1.1.	Katı Ortamda Borlama	39
4.2.1.2.	Sıvı Ortamda Borlama	40
4.2.1.3.	Gaz Ortamda Borlama	40
4.2.2.	Borür Tabakasının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	41
4.2.3.	Borlanabilen Malzemeler	42
4.3.	Hızlı Soğutma (Su Verme)	43
4.4.	Temperleme	43
4.5.	Sementasyon	44
4.5.1.	Sementasyon Çelikleri	45
4.5.2.	Gaz Sementasyon	45
4.5.3.	Sementasyon Uygulanmış Parçalara Su Verilmesi	46
4.6.	Azotlama (Nitrürleme)	47
4.6.1.	Gaz Nitrürleme	47
4.6.2.	Sıvı Nitrürleme	48
4.7.	Karbonitrasyon İşlemi	49
4.8.	Buharlama (Bilinçli Oksitleme)	51
4.9.	Doğrudan Sertleşebilen Çeliklerde Yüzey Bölgesi Sertleşmesi	51
4.9.1.	Alevle Yüzey Sertleştirme	52
4.9.2.	Daldırma İle Yüzey Sertleştirme	52
4.9.3.	İndüksiyon İle Yüzey Sertleştirme	53
4.9.4.	Lazer Işınları İle Yüzey Sertleştirme	53
4.9.5 .	Elektron Işınları İle Yüzey Sertleştirme	53
4.10.	İnfitrasyon	54
4.11.	Yağ Emdirme	54

5.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	55
5.1.	Malzemeler	56
5.1.1.	Numunelerin Hazırlanması	58
5.1.2.	Numunelerin Preste Basılması	59
5.2.	Numunelerin Isıl İşlemleri	61
5.2.1.	Sinterleme	61
5.2.2.	Borlama Isıl İşlemi	62
5.2.3.	Karbonitrürasyon Isıl İşlemi	63
5.3.	Mekanik Deneyler	64
5.3.1.	Üç Noktadan Eğme Deneyi	64
5.3.2.	Üç Noktadan Eğme Numuneleri	66
5.3.3.	Mikro sertlik ölçümleri	79
5.3.4.	Tabaka Kalınlıkları	81
5.3.5.	Metalografik inceleme	86
5.3.5.1.	Optik Mikroskop Fotoğrafları	87
5.3.5.1.1.	Borlanmış Numunelerin Fotoğrafları	88
5.3.5.1.2.	Karbonitrürlenmiş Numunelerin fotoğrafları	90
5.3.5.1.3.	Buharlanmış Numunelerin fotoğrafları	92
5.3.6.	SEM Görüntüleri	94
6.	SONUÇLAR	101
7.	KAYNAKLAR	103

## ŞEKİLLER LİSTESİ

<b>Şekil 2.1.</b> Toz metal parçaların araba içindeki dağılımı	7
<b>Şekil 3.1.</b> Bilyaların Malzemeyi öğütmesi	21
<b>Şekil 3.2.</b> Bakır ve Demirin Elektrolizi	21
<b>Şekil 3.3.</b> Düşey gaz atomizasyon ünitesi	23
<b>Şekil 3.4. a)</b> İndirgeme ile demir tozu üretimi	24
<b>Şekil 3.4. b)</b> Atomizasyon ile demir ve çelik tozu üretimi	24
<b>Şekil 3.5.</b> İndirgenmiş "Sünger demir" tozu	26
<b>Şekil 3.6.</b> Atomize demir tozu	26
<b>Şekil 4.1.</b> Metalse bir tozun yoğunluğunun sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişimi	33
<b>Şekil 4.2.</b> Orta ve yüksek sinterleme sıcaklıklarda, sinterleme zamanı ve yoğunluğunun artması arasındaki bağıntı	33
<b>Şekil 4.3.</b> Sinterlenmiş numunelerin yoğunluklarının granülometre'ye bağlı olarak Değişimi	34
<b>Şekil 4.4.</b> Brinell sertliğinin sinterleme sıcaklığının fonksiyonu olarak değişimi	36
<b>Şekil 4.5.</b> Normal tavlı metali ile karşılaştırarak, çeşitli basınçlar altında sıkıştırıldıktan sonra sinterlenen plastik metal tozlarının Brinell sertliklerinin sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişimi	36
<b>Şekil 4.6.</b> Çekme deneyi ve kalıbı	37
<b>Şekil 4.7.</b> Ekabor-1 ile borlanmış Ck 45 çeliğinin tabaka kalınlığının zaman ve sıcaklıkla değişimi	42
<b>Şekil 5.1.</b> Hassas tartı ( sartorius BL 2105 )	58
<b>Şekil 5.2.</b> Karıştırıcının tornada karıştırma esnasındaki fotoğrafı	59
<b>Şekil 5.3.</b> Toz Metalurjisinde Karıştırma teknikleri	59
<b>Şekil 5.4.</b> Hidrokar marka tek taraflı hidrolik pres	60
<b>Şekil 5.5.</b> Deneyde kullanılan kalıbın fotoğrafı	60
<b>Şekil 5.6.</b> Elde edilen numunelerin görüntüsü	61
<b>Şekil 5.7.</b> Sıkıştırma sonucu elde edilen numuneler	61
<b>Şekil 5.8.</b> Deneylerde kullanılan sinterleme fırını ( Tozmetal A.Ş. )	62
<b>Şekil 5.9.</b> Sinterleme esnasında fırınların iç görüntüleri	62
<b>Şekil 5.10.</b> Deneyde kullanılan borlama kutuları	63
<b>Şekil 5.11.</b> Katı borlama işleminin yapılışı (şematik)	63
<b>Şekil 5.12.</b> Buharlama makinesini kontrol paneli	64
<b>Şekil 5.13.</b> Buharlamanın yapıldığı fırın	64
<b>Şekil 5.14.</b> Üç noktadan eğme cihazında kullanılan aparat	65
<b>Şekil 5.15.</b> Shimadzu (10 Ton) marka Çekme cihazı	65
<b>Şekil 5.16.</b> Borlalama yapılmış 1 ile 20 numaralar arasındaki numunelerin %Çökme miktarı-%Grafit grafiği	66
<b>Şekil 5.17.</b> Borlalama yapılmış 21 ile 40 numaralar arasındaki numunelerin (bu numunelerin Şekil16'deki numunelerden farkı içlerinde %1 oranında Al katılmıştır.)	

%Çökme miktarı-%Grafit grafiği	66
<b>Şekil 5.18.</b> Buharlama yapılmış 1 ile 20 numaralar arasındaki numunelerin %Çökme miktarı-%Grafit grafiği	67
<b>Şekil 5.19.</b> Buharlama yapılmış 21 ile 40 numaralar arasındaki numunelerin (bu numunelerin Şekil 18'deki numunelerden farkı içlerinde %1 oranında Al katılmıştır.) %Çökme miktarı-%Grafit grafiği	67
<b>Şekil 5.20.</b> Karbonitrürasyon yapılmış 1 ile 20 numaralar arasındaki numunelerin %Çökme miktarı-%Grafit grafiği	68
<b>Şekil 5.21.</b> Karbonitrürasyon yapılmış 21 ile 40 numaralar arasındaki numunelerin (bu numunelerin Şekil 20'deki numunelerden farkı içlerinde %1 oranında Al katılmıştır.) %Çökme miktarı-%Grafit grafiği	68
<b>Şekil 5.22.</b> Borlama yapılmış 1 ile 20 numaralar arasındaki numunelerin Max. Gerilme değerleri-%Grafit grafiği	69
<b>Şekil 5.23.</b> Borlama yapılmış 21 ile 40 numaralar arasındaki numunelerin (bu numunelerin Şekil 28'deki numunelerden farkı içlerinde %1 oranında Al katılmıştır.) Maximum gerilme-%Grafit grafiği	69
<b>Şekil 5.24.</b> Buharlama yapılmış 1 ile 20 numaralar arasındaki numunelerin Max. Gerilme-%Grafit grafiği	70
<b>Şekil 5.25.</b> Buharlama yapılmış 21 ile 40 numaralar arasındaki numunelerin (bu numunelerin Şekil 30'deki numunelerden farkı içlerinde %1 oranında Al katılmıştır.) Maximum gerilme-%Grafit grafiği	70
<b>Şekil 5.26.</b> Karbonitrüleme yapılmış 1 ile 20 numaralar arasındaki numunelerin Max. Gerilme-%Grafit grafiği	71
<b>Şekil 5.27.</b> Karbonitrüleme yapılmış 21 ile 40 numaralar arasındaki numunelerin (bu numunelerin Şekil 32'deki numunelerden farkı içlerinde %1 oranında Al katılmıştır.) Maximum gerilme-%Grafit grafiği	71
<b>Şekil 5.28.</b> Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; %0,2 Grafite sahip 1 ile 20 numaraları arasındaki numunelerin %Cu değişimleri- Max. Gerilme grafiği	72
<b>Şekil 5.29.</b> Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; %0,2 Grafite ve %1 Al'a sahip 21 ile 40 numaraları arasındaki numunelerin %Cu değişimleri- Eğme dayanımı grafiği	72
<b>Şekil 5.30.</b> Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; %0,4 Grafite sahip 1 ile 20 numaraları arasındaki numunelerin %Cu değişimleri- Eğme dayanımı grafiği	73
<b>Şekil 5.31.</b> Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; %0,4 Grafite ve %1 Al'a sahip 21 ile 40 numaraları arasındaki numunelerin %Cu değişimleri- Eğme dayanımı grafiği	73
<b>Şekil 5.32.</b> Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; %0,6 Grafite sahip 1 ile 20 numaraları arasındaki numunelerin %Cu değişimleri- Eğme dayanımı grafiği	74
<b>Şekil 5.33.</b> Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; %0,6 Grafite ve %1 Al'a sahip 21 ile 40 numaraları arasındaki numunelerin %Cu değişimleri- Eğme dayanımı grafiği	74
<b>Şekil 5.34.</b> Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; %0,8 Grafite sahip 1 ile 20 numaraları arasındaki numunelerin %Cu değişimleri- Eğme dayanımı grafiği	75
<b>Şekil 5.35.</b> Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; %0,8 Grafite ve %1 Al'a sahip	

21 ile 40 numaraları arasındaki numunelerin %Cu değişimleri- Eğme dayanımı grafiği	75
<b>Şekil 5.36.</b> Mikro sertlik cihazı (Future – Tech FM – 700 markalı cihaz)	76
<b>Şekil 5.37.</b> Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; %1 Cu'ya sahip 1 ile 20 numaraları arasındaki numunelerin %Grafite oranlarına göre tabaka kalınlığı grafiği	78
<b>Şekil 5.38.</b> Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; %1 Cu ve %1 Al'a sahip 21 ile 40 numaraları arasındaki numunelerin %Grafite oranlarına göre tabaka kalınlığı Grafiği	79
<b>Şekil 5.39.</b> Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; %2 Cu'ya sahip 1 ile 20 numaraları arasındaki numunelerin %Grafite oranlarına göre tabaka kalınlığı grafiği	79
<b>Şekil 5.40.</b> Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; %2 Cu ve %1 Al'a sahip 21 ile 40 numaraları arasındaki numunelerin %Grafite oranlarına göre tabaka kalınlığı grafiği	80
<b>Şekil 5.41.</b> Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; %3 Cu'ya sahip 1 ile 20 numaraları arasındaki numunelerin %Grafite oranlarına göre tabaka kalınlığı grafiği	80
<b>Şekil 5.42.</b> Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; %3 Cu ve %1 Al'a sahip 21 ile 40 numaraları arasındaki numunelerin %Grafite oranlarına göre tabaka kalınlığı grafiği	81
<b>Şekil 5.43.</b> Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; %4 Cu'ya sahip 1 ile 20 numaraları arasındaki numunelerin %Grafite oranlarına göre tabaka kalınlığı grafiği	81
<b>Şekil 5.44.</b> Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; %4 Cu ve %1 Al'a sahip 21 ile 40 numaraları arasındaki numunelerin %Grafite oranlarına göre tabaka kalınlığı grafiği	82
<b>Şekil 5.45.</b> Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; %6 Cu'ya sahip 1 ile 20 numaraları arasındaki numunelerin %Grafite oranlarına göre tabaka kalınlığı grafiği	82
<b>Şekil 5.46.</b> Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; %6 Cu ve %1 Al'a sahip 21 ile 40 numaraları arasındaki numunelerin %Grafite oranlarına göre tabaka kalınlığı Grafiği	83
<b>Şekil 5.47.</b> İy yapı fotoğraflarının alındığı mikroskop	84
<b>Şekil 5.48.</b> Borlanmış 12 (%3 Cu + %0,8 Grafite + %96,2 Fe) numaralı numunenin iy yapı görüntüsü	85
<b>Şekil 5.49.</b> Borlanmış 12 (%3 Cu + %0,8 Grafite + %96,2 Fe) numaralı numunenin iy yapı görüntüsü	85
<b>Şekil 5.50.</b> Borlanmış 20 (%6 Cu + %0,8 Grafite + %93,2 Fe) numaralı numunenin iy yapı görüntüsü	86
<b>Şekil 5.51.</b> Borlanmış 40 (%6 Cu + %0,8 Grafite + %1Al + %92,2 Fe) numaralı numunenin iy yapı görüntüsü	86
<b>Şekil 5.52.</b> Nitrülenmiş 17 (%6 Cu + %0,2 Grafite + %93,8 Fe) numaralı numunenin iy yapı görüntüsü	87
<b>Şekil 5.53.</b> Nitrülenmiş 17 (%6 Cu + %0,2 Grafite + %93,8 Fe) numaralı numunenin iy yapı görüntüsü	87
<b>Şekil 5.54.</b> Nitrülenmiş 29 (%3 Cu + %0,2 Grafite + %1 Al + %95,8 Fe) numaralı	87

numunenin içyapı görüntüsü	88
<b>Şekil 5.55.</b> Nitrülenmiş 35 (%4 Cu + %0,6 Grafit + %1 Al + %94,4 Fe) numaralı numunenin içyapı görüntüsü	88
<b>Şekil 5.56.</b> Buharlanmış 9 (%3 Cu + %0,2 Grafit + %96,8 Fe) numaralı numunenin içyapı görüntüsü	89
<b>Şekil 5.57.</b> Buharlanmış 31 (%3 Cu + %0,6 Grafit + %1 Al + %95,4 Fe) numaralı numunenin içyapı görüntüsü	89
<b>Şekil 5.58.</b> Buharlanmış 31 (%3 Cu + %0,6 Grafit + %1 Al + %95,4 Fe) numaralı numunenin içyapı görüntüsü	90
<b>Şekil 5.59.</b> Buharlanmış 40 (%6 Cu + %0,8 Grafit + %1 Al + %92,2 Fe) numaralı numunenin içyapı görüntüsü	90
<b>Şekil 5.60.</b> Kırılma numunelerinin görüntüsünün alındığı Sem cihazı	91
<b>Şekil 5.61.</b> Borlanmış 17 numaralı parçanın sem'de 500 kat büyütülmüş hali	91
<b>Şekil 5.62.</b> Borlanmış 17 numaralı parçanın sem'de 1000 kat büyütülmüş hali	92
<b>Şekil 5.63.</b> Borlanmış 31 numaralı parçanın sem'de 500 kat büyütülmüş hali	92
<b>Şekil 5.64.</b> Borlanmış 31 numaralı parçanın sem'de 1000 kat büyütülmüş hali	93
<b>Şekil 5.65.</b> Buharlanmış 17 numaralı parçanın sem'de 500 kat büyütülmüş hali	93
<b>Şekil 5.66.</b> Buharlanmış 17 numaralı parçanın sem'de 1000 kat büyütülmüş hali	94
<b>Şekil 5.67.</b> Buharlanmış 31 numaralı parçanın sem'de 500 kat büyütülmüş hali	94
<b>Şekil 5.68.</b> Buharlanmış 31 numaralı parçanın sem'de 1000 kat büyütülmüş hali	95
<b>Şekil 5.69.</b> Karbonitrülenmiş 17 numaralı parçanın sem'de 500 kat büyütülmüş hali	95
<b>Şekil 5.70.</b> Karbonitrülenmiş 17 numaralı parçanın sem'de 1000 kat büyütülmüş hali	96
<b>Şekil 5.71.</b> Karbonitrülenmiş 31 numaralı parçanın sem'de 500 kat büyütülmüş hali	96
<b>Şekil 5.72.</b> Karbonitrülenmiş 31 numaralı parçanın sem'de 1000 kat büyütülmüş hali	97

## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
<b>Çizelge 2.1.</b> Sıcakta sıkıştırılmış bakır ve demirin çekme mukavemetinin adi sıcaklıkta sıkıştırıldıktan sonra sinterlenmiş olanlarıkiyle mukayesesi	20
<b>Çizelge 4.1.</b> Bazı sinterleme fırınlarının sıcaklık limitleri ve tatbikat sahaları	31
<b>Çizelge 4.2.</b> Fe <sub>2</sub> B ve FeB'nin bazı özellikleri	38
<b>Çizelge 4.3.</b> Katı ortam borlamasında kullanılan maddelerin bazı özellikleri	39
<b>Çizelge 4.4.</b> Sıvı ortam borlamasında kullanılan ana bor kaynakları ve özellikleri	40
<b>Çizelge 5.1.</b> Deney Numunelerinin içerikleri (%Ağ.)	55
<b>Çizelge 5.2.</b> Bakır tozlarının özellikleri	57
<b>Çizelge 5.3.</b> Grafit tozunun özellikleri	57
<b>Çizelge 5.4.</b> Demir tozunun özellikleri	58
<b>Çizelge 5.5.</b> Isıl işlem sonucunda oluşmuş tabakayla bu tabakanın sınır çizgisi arasında oluşmuş sertlik değerlerinin ortalaması alınarak, yaptığımız ısıl işlemlere göre karşılaştırılması	77
<b>Çizelge 5.6.</b> Isıl işlem sonucunda oluşmuş tabakanın sınır çizgisi etrafında oluşmuş sertlik değerlerinin ortalaması alınarak, yaptığımız ısıl işlemlere göre karşılaştırılması	77
<b>Çizelge 5.7.</b> Isıl işlem sonucunda oluşmuş tabakanın sınır çizgisinin altında oluşmuş sertlik değerlerinin ortalaması alınarak, yaptığımız ısıl işlemlere göre	



## TEŞEKKÜR

İlk olarak akademik hayatım boyunca çalışmalarımın sıkıntılılarına benimle birlikte katlanan değerli aileme sonsuz teşekkürler. Yüksek lisans tezim boyunca benim için, hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan ve tezimin her aşamasında çok büyük emekleri olan saygıdeğer Hocam Yrd. Doç. Dr. Enver ATİK beye teşekkür ve şükranlarımı sunarım. Çalışmalarımda bana her konuda yardımcı olan Sayın Doç. Dr. Cevdet MERİÇ hocama teşekkürü bir borç bilirim. Araş. Gör. Selda AKGÜN ve Araş. Gör. Bekir Sadık ÜNLÜ'ye teşekkürler. Aynı zamanda üniversitesi'ndeki laboratuvar çalışmalarımda yardımını esirgemeyen Ayça ŞENTÜRK, Şafak TURAN, Yiğit OK, Göktuğ ÖZKİRİŞÇİ ve Aykut DAĞ arkadaşlarıma teşekkür ederim. Numunelerin sinterlenmesinde yardımlarını esirgemeyen TOZMETAL A.Ş.'den sinter planlama ve imalat müdürü Aytaç ATAŞ Bey'e ve proses kontrolden Sekan KILIÇ Bey'e teşekkür ederim.

## ÖZET

Bu çalışmada toz metal demir tozları, farklı oranlara da değişik tozlarla karıştırılmıştır. Bu karıştırılan tozlar alüminyumsuz ve alüminyumlu olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Bu iki grup kendi arasında aynı oranda karıştırılmış ve sinterlenmiştir. Gruplara borlama, sementasyon, nitrüleme, buharlama ısı işlemleri yapılmıştır.

Bu iki grupta ki tozlar hassas terazide tartılmış, karıştırıcının içine konulmuş, 25 dev/dak devirde tornada karıştırılmıştır. Tek taraflı preste 75 ton basınç altında 10mm 10mm 55mm boyutunda briketler halinde basılmıştır.

Bu basılan numuneler Tozmetal A.Ş. 'de sinterlenmiştir. Numunelere borlama, sementasyon ve buharlama ısı işlemleri yapılmıştır. Bu iki grup kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Bu numunelere 3 nokta eğme, mikro sertlik ölçümü ve tabaka kalınlıklarının belirlenmesi deneyleri yapılmıştır. İç yapı özellikleri, aşınma ve kırık yüzeyleri ışık mikroskobu ve SEM ile tespit edilmiştir. Yapılan tüm bu deneyler neticesinde ;

Bakır oranındaki artış ile çekme mukavemetinde artış ve de çökme miktarında da azalma olduğu görülmüştür. Üç nokta eğme deneyi sonucunda genelde %3 bakır içeren numunelerimizin mekanik özelliklerin değerleri yükselmiştir.%3 bakır içeren numuneler ise sertlik değerlerinde en iyi sonucu vermiştir.

Numunelerimize yapılan ısı işlemlerden dolayı numunelerin iç yapılarında değişiklikler olmuştur.

## ABSTRACT

In this project powder metal iron powders mixed with different ratios of different powders. This mixed powders are separated two groups being with aluminum powders and without aluminum powders. These two groups between each others same ratios. These processes were applied these groups: boroning, cementation, nitriding and treating with steam.

These powders in these groups were evaluated on sensitive scale, were put in mixer and were mixed at 25 rot/min rotation at lathe. These powder were pressed with 10mm 10mm 55mm briquette forms in one way press under 75 ton pressure.

These pressed samples were sintered at Tozmetal A.Ş.. The boroning, cementation and treating with steam heat treatment processes were applied to the samples. Samples were compared between each other : the three point bonding, micro hardness and layer thickness determination experiments were applied to those samples. Inner structural properties, wear and crack surfaces of the samples were examined by SEM.

By the increase of copper rate there is an increase in rolled resistance and decrease in breaking extended. As a result of 3 point bonding experiment our samples' , which content %3 copper, mechanical properties are increased. Samples which content %3 copper give us the best result.

There are changes in the inner structure of our samples because of the heat treatment on our samples.

## ÖZET

Bu çalışmada toz metal demir tozları, farklı oranlara da değişik tozlarla karıştırılmıştır. Bu karıştırılan tozlar alüminyumsuz ve alüminyumlu olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Bu iki grup kendi arasında aynı oranda karıştırılmış ve sinterlenmiştir. Gruplara borlama, sementasyon, nitrüleme, buharlama ısı işlemleri yapılmıştır.

Bu iki grupta ki tozlar hassas terazide tartılmış, karıştırıcının içine konulmuş, 25 dev/dak devirde tornada karıştırılmıştır. Tek taraflı preste 75 ton basınç altında 10mm 10mm 55mm boyutunda briketler halinde basılmıştır.

Bu basılan numuneler Tozmetal A.Ş. 'de sinterlenmiştir. Numunelere borlama, sementasyon ve buharlama ısı işlemi yapılmıştır. Bu iki grup kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Bu numunelere 3 nokta eğme, mikro sertlik ölçümü ve tabaka kalınlıklarının belirlenmesi deneyleri yapılmıştır. İç yapı özellikleri, aşınma ve kırık yüzeyleri ışık mikroskobu ve SEM ile tespit edilmiştir. Yapılan tüm bu deneyler neticesinde ;

Bakır oranındaki artış ile çekme mukavemetinde artış ve de çökme miktarında da azalma olduğu görülmüştür. Üç nokta eğme deneyi sonucunda genelde %3 bakır içeren numunelerimizin mekanik özelliklerin değerleri yükselmiştir.%3 bakır içeren numuneler ise sertlik değerlerinde en iyi sonucu vermiştir.

Numunelerimize yapılan ısı işlemlerden dolayı numunelerin iç yapılarında değişiklikler olmuştur.

## ABSTRACT

In this project powder metal iron powders mixed with different ratios of different powders. This mixed powders are separated two groups being with aluminum powders and without aluminum powders. These two groups between each others same ratios. These processes were applied these groups: boroning, cementation, nitriding and treating with steam.

These powders in these groups were evaluated on sensitive scale, were put in mixer and were mixed at 25 rot/min rotation at lathe. These powder were pressed with 10mm 10mm 55mm briquette forms in one way press under 75 ton pressure.

These pressed samples were sintered at Tozmetal A.Ş.. The boroning, cementation and treating with steam heat treatment processes were applied to the samples. Samples were compared between each other : the three point bonding, micro hardness and layer tickness determination experiments were applied to those samples. Inner structural properties, wear and crack surfaces of the samples were examined by SEM.

By the increase of copper rate there is an increase in rolled resistance and decrease in breaking extended. As a result of 3 point bonding experiment our samples' , which content %3 copper, mechanical properties are increased. Samples which content %3 copper give us the best result. There are changes in the inner structure of our samples because of the heat treatment on our samples.

## 1. GİRİŞ

Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen demir esaslı makine parçalarının kullanımı endüstri de gittikçe yaygınlaşmaktadır. Toz metalürjisi çeşitli üretim süreçlerini kullanarak farklı boyut ve şekil paketlenme özelliğine sahip metal ve alaşım tozlarını dayanıklı, hassas ve yüksek performanslı parçalara dönüştüren modern bir üretim yöntemidir. Üretilen parça türü göz önünde bulundurulduğunda üretilen parçaların büyük çoğunluğu otomotiv endüstrisi tarafından kullanılmaktadır. Bu parçalar düşük karbonlu demir tozlarından yapıldıkları için genellikle ısıtma işlemi yapılmadan sinterlenmiş halde kullanılmaktadır.

Tozmetal ile kendi kendine yağlamalı yatak burçları, metalik filtreler, metal ve metal olmayan elemanların alaşımı, süreli mıknatıslar, röle kontakları, elektrik ampullerindeki teller, tel çekme kalıplarının ağız yüzükleri, petrol kuyularındaki toprağı delmek için kullanılan matkap uçları, freze çakıları, torna kalemlerinin uçlarında kullanılan sert uçlar (Elmas uçlar), sürtünmeye çalışan yataklar, dişliler, pompalar ve daha pek çok alanlarda kullanılmaktadır.

Malzemedeki gözenekler gerilme biriktirici olarak hareket edebilirler, ancak gözeneklerin şekil ve büyüklükleri değiştirilerek yorulma mukavemeti geliştirilebilir. Mikroyapının homojen veya heterojen olması da yorulma performansına etki eder. Kimyasal bileşim, yüzey kalitesi, kalıcı gerilmeler ve dış çentikler yorulma mukavemetine etki eden diğer faktörlerdir (Saritaş. 2002).

Fosfor, kükürt ve bor gibi sıvı faz oluşturan elementlerin alaşım elementi olarak katılması gözeneklerin kapanmasına ve kalanların da küreleşmesine yol açar. Yüksek sıcaklıkta pişirme de gözenek miktarını azaltır ve küreselleşmeye yol açar (Germen. 1996).

İçyapı ve özellikler bakımından belirli bir durumu elde etmek üzere, malzemenin solüdü sıcaklığının altında uygun sıra ve süre ile ısıtılıp soğutulmasına ısıtma işlemi denir. İşlem sırasında ortamın etkisi ile, örneğin karbonlama ve nitrürlemede olduğu gibi, çeliğin kimyasal bileşimi de değişebilir (Güleç. 1995).

Isıl işlemler genellikle metallere uygulanır ve ısıtma işlemleri ile metallerin mikro yapıları değiştirilir. Mikro yapının değişimi, bilhassa mekanik özelliklerde önemli değişiklikler meydana getirir. Metalden istenen mekanik özelliği sağlamak için uygun ısıtma ve soğutma işlemleri yapılır (Can. 2004).

Toz metal parçaların özelliklerini iyileştirmek (değiştirmek) veya parçaların yüzeylerinde tabakalar oluşturmak için toz metal parçalara ısıtma işlemleri gerçekleştirilir. Uygulanan ısıtma işlemleri sonucunda parçanın iç yapısında değişiklikler meydana gelir. Bu değişiklikler parçanın mekanik özelliklerinde farklılıklar oluşturmasını sağlar.

Buharlama ısıtma işlemi (bilinçli oksitleme) numunelerin kazan tipi fırınlarda 600 – 650 °C sıcaklıkta 180 – 200 °C sıcaklıktaki su buharını yaklaşık 10 atm basınç ile verilmektedir. Bu sayede demir parçaların yüzeyinde Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> tabakası oluşturmaktadır. Bu literatürde bilinçli oksitlendirme diye de adlandırılmaktadır. Demirin bu oksidi diğer oksitlerine karşı koruyucu bir görev yerine getirirken yüzeydeki açık gözenekleri de kapatarak parçanın yüzey sertliğini arttırmaktadır. Diğer ısıtma işlem yöntemlerinde ise parçalar dolu malzemelerle aynı prosese tabi tutulmaktadır. Tek farklılık sinter parça gözenekli yapısı sebebiyle ortamdaki koruyucu, karbürleyici ya da nitrürleyici atmosferi daha çabuk tüketmektedir. Bu sebeple atmosferdeki gaz potansiyelinin sürekli takip edilmesi ve atmosferin beslenmesi gerekmektedir.

Karbonitasyon işlemi toz metal parçalarda uygulanabilen, sementasyon ve nitrasyon işlemlerinin kombinasyonudur. Karbon ve azot aynı anda ve yüksek miktarlarda çeliğe nüfuz ettirilir. Azot, A sıcaklığını çok düşürdüğünden, sementasyonun azot difüzyonu ile aynı zamanda düşük sıcaklıkta yapılması gereklidir. Ostenit sahası henüz 650 - 700 °C sıcaklıklarında mevcudiyetini koruduğundan, azot difüzyonunun hızlı olabildiği bu sıcaklıklarda, ostenite karbon difüzyonu da yapılabilir.

Yağda ve sıcak banyodaki daha yavaş soğumalar, gerilmelerin de azaltılmasını sağlar. Ardından yapılan havada soğutma ile de cidarda martensit oluşturulur. Karbonitasyonda özellikle, çelikte azotun dışında alaşım elementi varsa, yüksek miktarda artık ostenit kalabileceğine dikkat etmek gereklidir. Bu durum, sıfırın altındaki sıcaklıklarda derin soğutmayla düzeltilebilir. Azotça aşırı doymuş difüzyon bölgesi ise yaşlanma olayı ile oda sıcaklığında sertleşir.

Bilinen ama yaygın olamayan borlama yöntemi ise; birçok metal malzemelerin yüzeyine sertleştirmek için kullanılır, sürtünmeye maruz eş çalışan sinterlenmiş demir esaslı makine parçalarına da uygulanabilir. Sert ve sürtünme katsayısı oldukça düşük, uygun tribolojik şartlarda yüksek aşınma dayanımına sahip bir yüzey elde edilmesini sağlayan borlama ile ayrıca birçok korozif ortama da dayanım sağlanabilmektedir (Atik. 2002).

Genel olarak bor ve bileşiklerinin en çok kullanıldığı tüketim alanları cam yünü, diğer camlar, yalıtım ürünleri, ateşe dayanıklı eşya, borosilikat camlar, sabun ve deterjanlar, porselen, emaye, sır (glazür), uçak ve otomotiv endüstrisi, tarım, metalurji, nükleer uygulama, inşaat, tekstil, ilaç ve

kozmetik, fotoğrafçılık, yüksek enerji yakıtları, aşındırıcılar, elektrik aygıtları, refrakter, elektro kaplama banyoları, boyalar ve daha birçok uygulamalarla ilgilidir (Yılmaz. 2004).

Borlama ile yüzey sertleştirme işlemlerine göre çok sert, sürtünme kat sayısı düşük, korozyon direnci yüksek yüzey tabakası elde edilebilmesinin yanında alaşımsız çeliklere de uygulanabilmesi bu işlemin önemini ortaya çıkartmaktadır (Atik. 1997) .

Bütün malzemelerde olduğu gibi demir esaslı toz metal parçalarda da korozyon önemli problemlerin başında gelmektedir. Bunların çözümü birkaç yöntem ile çözülmektedir. Bunların bir bölümü elektronik kalıplamalar almaktadır, ayrıca akımsız nikel AN kalıplama metodu da çözüm için ayrı bir yöntemdir (Matık. ve diğerleri, 2005).

Uygulamalarda sık kullanılan kendi kendini yağlayan toz metal yataklar demir ve bakır esaslı yataklardır. Daha yüksek mekanik özellikler elde etmek için toz metal yataklar karıştırılarak üretilmektedir (Ünlü. 2004).

Bu çalışmada, makine parçası üretiminde en çok kullanılan demir tozları ve bunlara karıştırılan bakır, grafit ve alüminyum tozlarıyla toz metalürjisi yöntemiyle aynı presleme basıncında, tek eksenli preste ve soğuk presleme yöntemi ile numuneler üretilmiştir. Demir tozları; bakır tozları (% 1 - 4 ve 6), grafit tozları (% 0,2, 0,4, 0,6, 0,8) ve alüminyum tozları (% 1 Al'lu veya karışımın içerisine hiç Al konmamıştır.) ile belirli kombinasyonlar uygulanarak farklı numuneler oluşturulmuştur. Bu oluşturulan numunelere yağlayıcı olarak çinko streat konulmuştur. Bu konulan çinko streat sinterleme sırasında buharlaşarak uçmaktadır.

Üretilen numunelere aynı şartlarda sinterleme uygulanmıştır. Daha sonra toz metal parçalara uygulanan bilinçli oksitleme ve karbonitrürasyon gibi bilinen klasik ısıl işlemler uygulanmıştır. Ayrıca bu toz metal numunelere, halen pek çok uygulamada yaygın olmayan, borlama ısıl işlemi yapılmıştır. Bütün bu işlemlerin parçalar üzerindeki etkileri incelenmiştir.



## 2.TOZ METALURJİSİ

Toz metalürjisi çok küçük partikülleri birbirine bağlayarak parça haline getirme işlemidir. Daha geniş bir ifade ile toz metalürjisi, toz şeklindeki malzemelerin preslenmesi ve ardından yüksek sıcaklıkta sinterlenmesi ile parça imalatını kapsamaktadır. Toz metalurjisi yöntemini biraz daha açacak olursak; ince partikül şeklindeki saf metaller, alaşımlar, karbon, seramik ve plastik malzemeler birbirleriyle karıştırılarak basınç altında şekillendirilirler. Daha sonra bu parçalar ana bileşenin ergime sıcaklığının altında bir sıcaklıkta sinterlenerek partiküllerin temas yüzeyleri arasında kuvvetli bir bağ oluşturulur ve böylece istenilen özellikler elde edilir. Toz metalürjisi küçük, karmaşık ve boyutsal hassasiyeti yüksek parçaların seri imalatına son derece uygundur. Malzeme kaybı çok azdır, belirli derece porozite (gözenek) ve geçirgenlik elde edilir.

Metal tozlarının boyutları mikron mertebesindedir. Presleme işlemi oda sıcaklığında ve bazen de yüksek sıcaklıklarda yapılır. Toz metalürjisi ile üretilen parçaların büyük bir kısmında elde edilen boyutsal hassasiyet ve yüzey kalitesi talaşlı işlem gibi ekstra operasyonlara olan gereksinimi ortadan kaldırmaktadır.

Toz metalurjisi yöntemiyle parça üretimi günümüzde çok yaygın olarak kullanılmakta olup, giderek bilinen klasik üretim yöntemlerine alternatif olmaktadır. Bu yöntemde işlem sırası toz şeklindeki malzemelerin preslenerek ön şekillendirilmesi, takiben yüksek sıcaklıklarda ve koruyucu atmosfer ortamında sinterlemesinden oluşmaktadır. Sinterleme sırasında preslenmiş tozlar yayınma ile bağlanarak parçanın dayanımının artması sağlanır. Bu yöntem ile kaliteli bir üretim sağlanabilmesi için kaliteli metal tozlarına ihtiyaç vardır. Metal tozlarının boyutları mikrometre mertebesindedir. Presleme işlemi oda sıcaklığında ve bazen de yüksek sıcaklıklarda yapılır. Sinterlenmiş parçaların yoğunluğunu, boyut ve biçim hassasiyetini arttırmak amacıyla yeniden presleme uygulanabilir. İstenirse yeniden presleme sonrasında sinterleme işlemi tekrarlanarak hem presleme sırasında oluşan artık gerilmeler giderilir, hem de yayınma bağı kuvvetlendirilir. Bazı durumlarda sinterlenmiş parçalara plastik şekil verme yöntemleri de uygulanabilir. Toz metalurjisi ile üretilen parçaların büyük kısmında elde edilen boyutsal hassasiyet ve yüzey kalitesi talaşlı işlem gibi ilave işlemlere olan ihtiyacı ortadan kaldırmaktadır.

Başka bir açıdan, toz metalurjisi kompozit malzeme üretim yöntemlerinden biridir. Kompozit malzeme üretiminde ana kütleyi oluşturan matris, sürekli, süreksiz, elyafla yada toz taneleri bir güçlendirici ile takviye edilir.

Toz metalurjisi sıvı fazda hiç çözünmeyen elementlerden mekanik alaşımlama ile yüksek dayanımlı parça üretimine imkan verdiği gibi, mıknatıs, filtre, kesici takım uçları, kontaktörler,

kendinden yağlamalı yataklar vb. birçok özel doku ve yapıdaki parçalarında en uygun üretim yöntemidir (Yılmaz. 2004).

## 2.1. Toz Metalurjisinin Kullanıldığı Alanlar

Tozmetal ile kendi kendine yağlamalı yatak burçları, metalik filtreler, metal ve metal olmayan elemanların alaşımı, süreli mıknatıslar, röle kontaktları, elektrik ampullerindeki teller, tel çekme kalıplarının ağız yüzükleri, petrol kuyularındaki toprağı delmek için kullanılan matkap uçları, freze çakıları, torna kalemlerinin uçlarında kullanılan sert uçlar (Elmas uçlar), sürtünmeye çalışan yataklar, dişliler, pompalar ve daha pek çok alanlarda kullanılmaktadır. Aşağıda toz metal uygulama alanları hakkında bazı uygulama alanları verilmiştir.

**a) Biçimlendirilebilir Wolfram:** Wolfram çok yüksek sıcaklıklarda ergir. Bu nedenle klasik yöntemlerle biçimlendirmek mümkün değildir. Dr. W.D. COOLIGE, Wolfram oksidi hidrojen atmosferinde redükledikten sonra elde ettiği tozu preslemek ve sonra sinterlemek suretiyle tel çekme makinelerinde istenilen incelikte tel haline getirmiştir.

Ergime sıcaklığı yüksek olan molibden, titanyum da aynı yolla biçimlendirilmektedir.

**b) Kendi kendini Yağlayan Yatak Burçları:** Demir, Bakır, Kalay, Grafit ve stearik asit belirli oranlarda karıştırılarak preslenir. Presleme basıncı düşük tutulur. Presleme işleminden sonra sinterlenir. Sinterleme esnasında parça içindeki kalay ergir. Stearik asit yanar. Kalayın ergimesi ile hem boşluklar oluşur ve hem de ergiyen kalay bakırla kuvvetli bir bağ meydana getirir. Stearik asitin yanması ile bir boşluk daha meydana gelir ve bu boşluklar ile grafit işleminden sonra vakum altında yağ emerek yağlama için gereken yağı depolamış olurlar. Bu şekilde üretilen burçlar içinde dönen milin oluşturduğu çekim gücü ile yağ sürünen yüzeylere akar. Sürtünme olmayınca, yağ gelişi de durur. Burada ancak sürtünmenin olduğu anlarda yağ sarfedildiği için burçlara emdirilmiş olan yağ uzun süre hizmet vermeye yeter.

Bu tip yatak burçlarına sementasyon da yapılabilir. Sementasyon yapılan makine elemanları yağ pompaları, dişliler, çamaşır makinesi yatakları, çeşitli yatak, burç ve sürtünme yüzeylerinde kullanılmaktadır.

**c) Elektrik kontaktları:** Elektrik kontaktlarında ve elektrik direnç kaynak elektronlarında, elektrik iletkenliği fazla olan bakır ile gümüş, wolfram, molibden ve nikel tozları karıştırılarak preslenir, sinterlenir ve kullanılır.

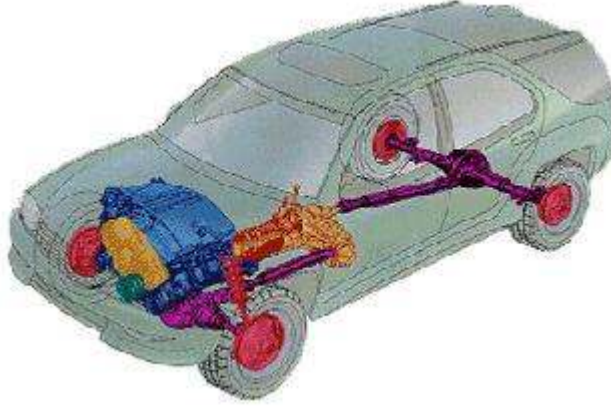
**d) Sürekli (Daimi) Mıknatıslar:** Alüminyum, nikel ve kobalt tozlarının %97 yoğunlukta karıştırılarak preslenmesi sonucunda çok ince yapılı ucuz daimi mıknatıslar elde edilir.

**e) Sert Karbür (Elmas) Kesici Uçlar:** Yüksek kesme hızına sahip sert maden uçlarının, freze çakıları, kaya delme ve petrol kuyusu delme matkaplarının yapımında toz metalden faydalanılmaktadır. Sert maden uçlar pahalı olduğu için küçük parçalar halinde yapılır ve kullanılacakları elemana sert lehimle lehimlenirler. Sert Karbür uçlarda Wolfram Karbür, Titan Karbür ve Tantalum Karbür tozları kullanılır. Karbür tozlarının birbirlerine birleşmesini sağlamak için Kobalt tozları ilave edilir. Genel olarak kobalt miktarı % 15 den az olmakla beraber darbeli çalışan yerlerde % 20'ye kadar çıkabilir. Tel çekme kalıplarının ağızlarındaki çekme yüzükleri toz metalle elde edilir ve karbürleri kullanılır. Sert Karbür malzemelerin yapımında yalnız başına Wolfram Karbür tozu ve birleştirici olarak da kobalt tozu kullanıldığı zaman, kesici olarak kullanılacaksa aşınma ve yanma görülür. Wolfram karbür ile % 40 kadar titan karbür veya tantalum karbür kullanılırsa aşınma ve yanma azalır. Yüksek oranda titan veya tantalum karbür tozları kullanıldığı zaman elde edilen sert uçlar son işleme takımları olarak kullanılır. Birleştirme maddesi oranı azaldıkça tokluk azalır ve sertlik artar. Genellikle birleştirme maddesi olan kobalt oranı %313arasındadır.Genel amaçlar için kullanılan sert uçlarında % 94 WC, %6 Co bulunur. Bu alaşımdaki sert uçlar dökme demir ve demir olmayan metallerin işlenmesinde kullanılır.Çeliklerin işlenmesinde % 82 WC, %8 C ve %10Co kullanılır.

**f) Sürtünme Plakaları Yapımında:** İnce bakır plakalar üzerine bakır, kalay, silisyum, grafit ve kurşun tozlarının preslenmesi ile elde edilmektedir. Bu plakalar sinterlenerek 0,3 mm kalınlığında sürtünme diskleri elde edilir. Bu diskler fren ve kavramalarda, havacılıkta uçak iniş takımlarında kullanılmaktadır.

**g) Jeneratör Kömürleri :** Bakır ve grafit tozları, preslenerek yağlama özelliğine sahip ve elektrik iletkenliği üstün bir malzeme elde edilir. Bu malzeme jeneratörlerde kullanılır.

**h) Metalik Filtreler:** Presleme basıncı ayarlanarak % 50'ye kadar hava boşluğu bırakabilen ve içlerinden geçecek ek sıvı gazların süzülmesini temin edecek filtreler de toz metal ile elde edilebilirler (Baydur.1984).



**Şekil 2.1.** Toz metal parçaların araba içindeki dağılımı (Ersümer,A. 1970).

### 2.1.1. Toz Metalurjisinin Zorunlu Kullanıldığı Alanlar

Bazı malzeme veya parçalarda bulunması istenen özellikler, ancak T/M ile sağlanabilir. Örneğin;

- Eritilmesi çok zor olan, şekillendirilebilme özelliği de sınırlı olan refrakter malzemeler (W, Mo, Ta, Nb),
- Hem sert hem de tok karma malzemelerin üretimi (tok bir matris ile bağlanmış sert karbürlerden oluşan kesici uçlar) gibi,
- Yatak burçları, metalsel filtreler gibi gözeneklilik istenen parçalar,
- Değişik bileşenlerin özelliklerinin değişmeden yan yana bulunması istenen parçalar (elektrik kontaktlarında bakır ve grafit),
- Biri erime sıcaklığında iken, diğerinin gaz fazında olduğu bileşenler içeren alaşımlar (Fe, Co, Ni, Zn, Cd, Sn, Pb,...) (Başaran. 2003).

### 2.1.2. Toz Metalurjisinin Tercihen Kullanıldığı Alanlar

Bu durumda toz metal klasik yöntemlerin yanında bir alternatiftir ve ancak ekonomik olması halinde uygulanır.

- Yüksek saflıktaki parçaların üretiminde,
- Plastik şekil vermenin ve talaş kaldırmanın zor olduğu, döküm yöntemiyle üretilen malzemelerde.
- Pahalı malzemeden üretilen ve hurdaya ayrılan malzeme miktarının az olması istenen parçalarda,
- Başka yöntemlerle üretimi zor olan küçük parçalarda,
- Toleranslarının hassas yüzey kalitesinin yüksek olması istenen ve yıllık üretimi ekonomik üretim miktarının üzerinde olan parçalarda (Başaran. 2003).

## 2.2. Toz metal Yönteminin Sınırları

Demir, bakır, demir-bakır, demir-karbon, demir-bakır-karbon, piring, bronz, paslanmaz çelik, nikel ve alaşımları çok kullanılan bazı toz metal malzemelerdir. Bunların dışında metal dışı malzemeler (örneğin; oksitler, karbürler v.s.) metal tozlarla birlikte kullanılabilir. Toz metal ile üretilen parçaların büyük çoğunluğuna ısıtma işlemi uygulanabilir, demir esaslılarda ise semantasyon yapılabilir.

Toz metal, parça veya yarı mamul ürünlerin üretimi için kullanılan metal işleme yöntemlerinden biridir (Lawley, 1992). Bazı metallerin ergime sıcaklıklarının çok yüksek olması ve bu sıcaklıklara ulaşamaması gibi bazı özelliklerin ancak toz metal ile sağlanabilmesi süper alaşım ve sert metaller gibi önemli malzemelerin bu yöntem ile üretilmesi toz metal yöntemini zorunlu kılan başlıca nedenlerdir (Turan. ve diğerleri, 1994). Malzeme kullanım oranının % 100'lere ulaşabilmesi sayesinde kritik hammadde kayıplarının en az düzeye indirilmesi, aynı parçadan çok sayıda üretim söz konusu olduğunda en iyi uygulanabilen bir yöntem olması, boyut kontrolü ve şekil karmaşıklığı en bariz avantajlarıdır.

Presleme ve sinterleme ile demir ve birçok diğer metalde teorik yoğunluğun ancak % 80 ine ulaşılabilir. Yeniden presleme ile teorik yoğunluğun % 90'ı veya daha üstüne çıkarılabilir. Elde edilebilen en büyük yoğunluk ayrıca parçanın boyutları ile biçimine bağlıdır (Yılmaz. 2004).

## 2.3. Toz Metalurjisi Ürünlerinin Özellikleri

Toz metal ürünlerinin özellikleri toz tanelerinin şekli, boyutu, bileşimi, yağlayıcı tipi, pres basıncı, sinterleme sıcaklığı ve süresi, bitirme işlemleri ve benzeri gibi çok sayıda değişkene bağlı olduğundan özellikler hakkında genel bilgi vermek zordur. Ürünlerin yoğunlukları geniş bir aralıkta değişirken, çekme mukavemetleri 70 MPa ila 1250 MPa arasındadır. Genellikle mekanik özelliklerin yoğunluğu yoğunluğa büyük bir bağımlılık göstermektedir; tokluk, süneklilik ve sürünme direncinin bağımlılığı, mukavemet ve sertlikten daha yüksektir. Düşük mukavemetli metallerden üretilen toz metal ürünlerin mekanik özellikleri dövme ürünlerinkine eşdeğerdir. Yüksek mukavemetli toz eldesi için ilave edilen alaşım elementi oranı kritik bir oranın ötesinde arttırılmaya devam edilirse, eşdeğer dövme ürünlerine göre özelliklerinde dikkate değer oranlarda azalma meydana gelir. Daha yüksek yoğunluklu parçaların üretimi için yüksek kapasiteli presler veya sıcak izostatik presleme yöntemi kullanılır. Böylece elde edilen toz ürünlerin özellikleri dövme ürünlerinin özelliklerine yaklaşır. % 100 yoğunluğa ulaşılması ve çok ince tane boyutunun sağlanması halinde ise toz parçaların özellikleri dövme ürünlerinin üzerine çıkar (Yılmaz. 2004).

Mekanik özelliklerinin yanı sıra fiziksel özelliklerde, toz metal parçalar porozite oranından etkilenir. Korozyon direnci, artan porozite oranı ile birlikte azalır. Elektrik, ısı ve mağnetik özellikler de izafi yoğunlukla birlikte değişir. Öte yandan porozite, ses ve titreşim söndürme özelliği arttırmaktadır. Bu nedenle toz metalürjisi ürünlerinin önemli bir kısmı porozitenin sağladığı avantajları kullanmak üzere dizayn edilmiştir (Çalışkan. 2000).

## **2.4. Toz Metalürjisi Ürünleri**

Toz metal üretim teknikleri çok esnek olup, teknik olarak geniş imkanlar sağlamaktadır. Bilinen bütün metal ve karışımlar parça üretimi için istenilen bileşimi verecek şekilde hazırlanabilir. Toz metal ile üretilmiş parçalar veya metal tozlarının kullanım alanları oldukça çeşitlidir (şahin. ve diğerleri, 2002).

### **2.4.1. Otomotiv Sanayi**

Talaşlı imalat gerektirmeyen toz metal parçaların çoğu otomotiv sanayinde kullanılmaktadır. Toz metal yöntemi ile üretilen elemanlarda % 50 maliyet düşüşü sağlanmıştır. Japon Toz Metal Derneği'ne göre otomotivde toz metal parçaları; en çok motor, vites kutusu ve şaside kullanılmaktadır. Bunlardan başka amortisör pistonu, zincir dişlileri, kam mili, krank mili, yataklar, biyel kolu, mandallar ve daha yüzlerce parça toz metal yöntemi ile talaşsız üretilmektedir.

### **2.4.2. Takım Çelikleri**

Toz metal yöntemi ile üretilen takım çelikleri dökümlle üretilen takım çeliklerine göre daha tok ve uzun ömürlüdürler. Bu üstünlüğün sebebi dökümlle üretilen çelikler belirli bölgede toplanıp irileşirken toz metal çelikte çok ince ve homojen olarak dağılmaktadır.

### **2.4.3. Sert Metaller**

Sert metaller sadece toz metalürjisi ile üretiliyorlar. Ana bileşiminde tungsten karbür sert faz, ısıya dayanıklı kobalt fazları ile bağlanır. Karbür ve metal sinterlendiği zaman karbür taneleri birbirine kobalt ile bağlanır.

#### **2.4.4. Kaymalı Yataklar**

Kendi kendini yağlayan kaymalı yataklar, toz metalinin 1920'lere kadar uzanan en eski uygulamasıdır. Hala toz metal uygulamalarının en büyük bölümünü oluşturan parçalardaki gözenekler yağ deposu olarak çalışır. Mil dönmeye başlayıp ısınınca yağlar mile doğru akarak yağlanmayı sağlar.

#### **2.4.5. Gözenekli Metaller ve Filtreler**

Kullanılması gerekli toz uygulamaya göre değişmektedir. En çok bronz, paslanmaz çelik, nikel, titanyum ve alüminyum tozları kullanılmaktadır (Şahin. ve diğerleri, 2002).

#### **2.4.6. Sürtünme Elemanları**

Metal esaslı sürtünme elemanları; uçak, tank, iş makineleri ve büyük preslerin frenleri ve debriyaj balataları gibi ağır hizmet uygulamalarında kullanılır. Isıyı iletici toz olarak bakır ve kalay, sürtünme sağlayıcı olarak silisyumkarbür ya da alümina kullanılır.

#### **2.4.7. Elektrik ve Manyetik Uygulamalar**

Bu grubun içerisine direnç kaynağı elektrotları, tungsten ve molibden filanmanlar, elektrik kontak malzemeleri metal grafit fırçalar, süper iletkenler ve çeşitli mıknatıslar girmektedir.

#### **2.4.8. Askeri Uygulamalar**

Çeşitli silah ve mermi parçaları, ağır top mermilerinde kullanılan ve uçuş kararlılığını sağlayan döner bant, parça tesiri yapmak amacı ile tüm havan mermisi gövdeleri, ağır zırh delmekte kullanılan yüksek kinetik enerjili delicilerin içinde tungsten deliciler gibi askeriye için çok önemli askeri alanlarında kullanılırlar.

#### **2.4.9. Medikal Uygulamalar**

Toz metal medikal uygulamalarda da önemli bir yere sahiptir. Birçok medikal parça özellikle tıbbi alet ve protezler; paslanmaz çelikler, kobalt-krom alaşımları, titanyum alaşımları gibi zor işlenen malzemelerden üretilmektedir (Şahin. ve diğerleri, 2002).

## 2.5. Toz Metalürjisi Ürünlerinin Avantaj ve Dezavantajları

### 2.5.1. Avantajları

Gün geçtikçe üretimi ve kullanımı artan toz metal ürünlerinin avantajları şöyle özetlenebilir:

#### **Talaşlı işlem gereksiniminin azaltılması veya tamamen ortadan kaldırılması:**

Toz metal yöntemiyle elde edilen boyutsal hassasiyet ve yüzey bitirme kalitesi çoğu ürün veya uygulama alanı için yeterli olduğundan ilave talaşlı işleme gerek yoktur. İstisnai şekilde boyutsal hassasiyet ve yüzey kalitesinin talebi halinde ürünler basma ve boyutlandırma gibi ikinci işlemlere tabi tutulabilirler.

#### **Yüksek üretim hızları :**

Toz metal yöntemindeki bütün adımlar basittir ve otomatizasyona uygundur. İş gücü gereksinimi düşüktür, ürün homojenliği ve aynı kalitede tekrar üretilebilirlik oranı diğer yöntemlere göre daha yüksektir.

#### **Çok geniş bir bileşim aralığı :**

Bileşim açısından oldukça yüksek saflığa sahip parçalar üretilebilir. Metal ve seramikler gibi birbiri içinde çözünmeyen ve farklı karakterdeki malzemeler de bir araya getirilebilir. Katı eriyik veya çözünürlük sınırları aşılarak aşırı doymuş katı çözelti alaşımları veya yüksek alaşımlı malzemeler de elde edilebilir. Düşük ve yüksek alaşımlı veya birbiri içinde çözünmeyen toz tanelerinden meydana gelen kompozit malzemelerden üretilen parçaların makroskobik ölçekte (bir iki toz taneleri boyutu mesafelerde) bileşim homojenitesi diğer yöntemlerle üretilenlerden daha yüksektir.

#### **Özelliklerin geniş bir aralıkta değişimi :**

Toz metalürjisiyle üretilen parçaların yoğunluğu ve dolayısıyla içerdikleri gözenek oranı geniş bir aralıkta değişir. Çok yüksek oranda gözenek içeren filtreler gibi fonksiyonel amaçlı parçaların üretimi yanı sıra konstrüksiyon amaçlı yüksek mukavemetli parçalar da üretilebilir. Poroz yapılar döküm işleminde yağlayıcıların daha etkin ve istisnai bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Sürekli dökümde kalıp başlıkları içerisine yerleştirilen toz plakalar gözenekli oldukları için yağlayıcılar bu gözeneklerden sürekli olarak kalıp-ingot ara yüzeyine sevk edilebilir. Böylece yapışmaya engel olunarak hem ingotların yüzeylerin kalitesi artırılır ve hem de çalışanlar için son derece tehlikeli olan sıvı metal akıntılarının oluşumu (kanama) önlenir. Modern sıcak başlık kalıplarının üretilmesinde bu plakaların kullanılmasının diğer bir nedeni ise plakaların kalıp duvarı boyunca ısı transferini (primer soğuma) önleyerek kalıp içinde primer soğuma ile



gerçekleşen katılaşmanın ortadan kaldırılmasıdır. Böylece kalıp içindeki katılaşma kalıp altı su spreynin etkisiyle gerçekleştirilir ve ingot dökümlerdeki birbirinden farklı karakterdeki yapısal zonların oluşumu önlenir. Magnetik, aşınma ve diğer özellikler, özel bir uygulama alanının gereksinimlerini karşılayacak şekilde kontrollü olarak dizayn edilebilir (kontrollü fabrikasyonla ürünlere istenilen özellikler kazandırılabilir).

#### **Hurda miktarının azaltılması veya ortadan kaldırılması :**

Toz metalurjisi bilinen üretim yöntemleri içerisinde malzeme kaybına neden olmayan tek yöntemdir. Döküm, talaşlı işlem ve preste şekillendirmede hurda miktarı başlangıçtaki malzeme miktarının yarısına ( % 50 ) ulaşmaktadır. Hurda oranı özellikle pahalı malzemelerin şekillendirilmelerinde daha da önem kazanmaktadır. Toz metalürjisi ile bazen toplam maliyeti arttırmadan daha pahalı malzemeler kullanarak parça üretimi gerçekleştirilebilir (Çalışkan, 2000).

#### **2.5.2. Dezavantajları**

##### **Düşük mekanik özellikler :**

Çoğu kez toz metalurjisi parçalarının mekanik özellikleri döküm ve dövme ile üretilenlerin özelliklerinden daha düşüktür. Yüksek gerilmelerin söz konusu olduğu uygulama alanlarında bu parçalar kullanılamaz. Bununla birlikte ilave masrafların göze alınması halinde ürünlerin mukavemet değerleri farklı malzeme, alternatif yöntem veya ikincil işlem teknikleri kullanımıyla yükseltilebilmektedir.

##### **Nispeten yüksek kalıp maliyeti :**

Toz metal yönteminde yüksek sıcaklık, yüksek basınç ve yüksek miktarda aşınma söz konusu olduğu için kalıplar pahalı malzemelerden ve büyük kütleler halinde yapılmaktadır. Bu nedenle toz metalürjisi ile üretilecek parça sayısı en az 10000 adet olmalıdır.

##### **Yüksek malzeme maliyeti :**

Birim ağırlık esasına göre toz malzemeler dövme ve döküm malzemelerden daha pahalıdır. Ancak hurda şeklinde malzeme kaybının olmayışı ve talaşlı işlemin ortadan kaldırılması, yüksek malzeme maliyetini dengelemektedir. Toz metalürjisi daha çok birim parça başına malzeme maliyetinin yüksek olmadığı küçük parçaların üretiminde kullanılır.

##### **Dizayn sınırlamaları :**

Toz metalürjisi işlemi bazı şekillerdeki parçaların üretimi için uygun değildir. Parçalar kalıptan kolay çıkarılabilecek şekillerde olmalıdır. Kalınlık / çap oranı sınırlıdır. İnce kesitlerin eldesi zor olup parça boyutu pres kapasitelerinin belirlediği sınırlar içinde olmalıdır.

### **Parça kesiti boyunca özelliklerin değişim göstermesi :**

Yoğunluğun parça içinde bir noktadan diğer bir noktaya değişimi özelliklerin de değişimine neden olmaktadır. Bunun ana nedeni parçaların tasarımı yapılırken dizayn kriterlerine uyulmamasıdır. Üniform olmayan şekillerin toz metalürjisi ile üretilmesi halinde bu tip problemlerle karşılaşılabilir (Çalışkan. 2000).

## **2.6. Toz Metal Parçaların İşlenebilirliği**

Talaşlı işlenebilirlik veya işlenebilirlik teriminin, oldukça yaygın kullanılmasına rağmen, evrensel bir tanımı yoktur ve standart bir özellik değildir. Bunun nedeni işlenebilirliğin, doğal bir malzeme özelliği olmaması, farklı şartlarda çalışan iş parçası ve kesici takım arasındaki etkileşimin göreceli olarak değerlendirilmesinden ibaret olmasıdır. Bir malzemenin talaş kaldırmak suretiyle işlenmesi esnasında gösterdiği performans, diğer bir ifadeyle zor veya kolay işlenmesi, talaşlı işlenebilirlik özelliği olarak tanımlanır. Genel olarak en iyi işlenebilir malzeme, kendi sınıfı içerisinde, yeterli takım ömrü ve yüzey kalitesini sağlamak şartıyla birim zamanda en fazla talaş kaldırmaya izin veren malzemedir. Pratikte bir malzemenin işlenebilirliğinin nicel olarak belirlenmesi için; başta takım ömrü, yüzey kalitesi ve harcanan gücün yanı sıra, kesme kuvveti bileşenleri, kesme sıcaklığı, talaş oluşumu ile titreşim ve akustik emisyon sinyalleri gibi somut veriler kullanılmaktadır. Bu parametrelerin bir veya birkaçı kullanılarak, bir malzemenin referans bir malzemeye göre ya da kendi sınıfındaki diğer malzemelere göre nisbi işlenebilirlik indisleri belirlenir. Böylece işleme operasyonlarının verimli olabilmesi için kılavuz bilgi sağlanır.

Toz metal parçalar, dövme ve döküm parçalarla karşılaştırıldığında, daha zayıf işleme performansı ve içerdiği farklı işleme zorlukları ile son yıllarda oldukça önem kazanmıştır. Araştırmalara göre, toz metal parçaların yetersiz işlenebilirliği, aralıklı kesme teorisi, sert-inklüzyon teorisi ve ısı iletkenlik teorisi ile açıklanmaktadır. Bununla birlikte, bu teorilerde kabul edilen faktörlerin işlenebilirliğe katkısını belirlemek, bağımsız olarak değerlendirmek ve birbirinden ayırt etmek zordur. Herhangi bir malzemenin işlenebilirliği; işleme şartları (tezgah, kesici takım ve yardımcı sistemler), kesme parametreleri (kesme hızı, talaş deriliği ve ilerleme) gibi dış faktörlerin yanı sıra esas itibarıyla işlenecek malzemenin; mikro yapı, sertlik, dayanım, fiziksel özellikler, kimyasal kompozisyon ve kalıntılar gibi özelliklerine bağlıdır. Dolayısıyla malzemenin yapısını ve kimyasal kompozisyonunu etkileyen imalat yöntemi, ısı işlem ve bunlarla ilgili bütün değişkenler de işlenebilirliği etkiler. Toz metal parçaların işlenebilirliğinde de; yukarıda belirtilen, işleme şartları, kesme parametreleri ve temel malzeme özelliklerine ek olarak, tüm özellikleri etkileyen porozite ve toz metal proses değişkenleri, homojen olmayan yoğunluk ve yapı

oldukça belirleyici olmaktadır. Porozite işlemeyi olumsuz yönde etkilerken, toz metal proses değişkenleri toz karakteristiği, karıştırma, sıkıştırma, sinterleme ve ikincil işlemler, temel özellik poroziteyi direk etkilediği için oldukça önemlidir.

Yılmaz ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada, dövme ve döküm malzemelerle karşılaştırıldığında daha zor işlenebilen yaygın olarak kullanılan toz metal çelik malzemelerin işleme zorluğuna neden olan unsurlar analiz edilerek, bunlara bağlı olarak işlenebilirliği iyileştirmek için çözüm önerileri tartışılmıştır (Yılmaz. ve diğerleri, 2005). Bu unsurlar aşağıda özetlenmiştir.

### **2.6.1. Toz Metal Malzemelerin İşlenmesini Zorlaştıran Unsurlar**

Çekme dayanımı ve ısı iletkenlik, porozitenin varlığıyla önemli oranda düşer. T/M malzemelerin kötü işlenebilirliği mekanik ve fiziksel özellikleri de etkileyen, poroziteden kaynaklanmaktadır. Düşük dayanım, genellikle daha iyi işlenebilirlikle sonuçlanırken, düşük ısı iletkenliğin dezavantajı, düşük dayanımın oluşturduğu avantajı ortadan kaldırmaktadır. İlk olarak porozite, mikro düzeyde takımın kesme kenarı ile iş parçası arasındaki temasının kesintili olmasına neden olur (Asm handbook, 1998).

### **2.6.2. Kalıntıların Etkisi**

İstenmeyen metal olmayan kalıntıların varlığı, diğer malzemelerde olduğu gibi toz metal çeliklerde de kötü işlenebilirliğin nedeni olarak belirtilmektedir. İşleme süresince bu kalıntılar, takımın önünde partikül şeklinde sürüklenerek, takımın aşınmasının yanısıra parça yüzeyinde çizik ve oyukların oluşmasına neden olur (Germen.1984). Özellikle poroziteden dolayı artmış yüzey alanı, sert abraziv oksit ve karbürlerin oluşumunu kolaylaştırır. Başta sinterleme operasyonu olmak üzere ısı işlem operasyonları süresince ve sonrasında oluşan oksit ve karbür ağları, toz metal malzemelerin işlenmesini zorlaştırır (www.carboloy.com, 2005).

### **2.6.3. Mikroyapı ve Kimyasal Kompozisyonun Etkisi**

Yapısal toz metal parçalarda kullanılan toz metal çelikler, dövme çeliklerden farklı mikroyapı-özellik ilişkisine sahiptir. Toz partiküllerinin yapısından dolayı, porozite veya yoğunluk, toz metal parçanın mikrosertlik ve dayanım gibi hacimsel özelliklerini önemli derecede etkiler. Pratikte toz metal çeliklerin işlenebilirliği, mikroyapı ve alaşım elamanlarından oldukça etkilenir ve mikro yapısıyla en iyi temsil edilebilir. Yüksek karbon içeriği, ferrit içerisinde perlitin yüksek hacmini

ihtiva eden bir mikroyapı ile sonuçlanır. Bazı durumlarda mikroyapı tane sınırı sementit ( $Fe_3C$ ) ile perlitik olabilir (Yılmaz. ve diğerleri, 2005).

## 2.7. Metal Tozlarının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Metal tozlarının özelliklerini aşağıdaki gibi gruplandırabiliriz :

### A – Malzeme özellikleri

- Ergime noktası
- Plastisitesi
- Elastisitesi
- Saflığı
- Kristal yapısı
- Teorik yoğunluğu

### B-Üretime Bağlı Özellikler

- Tane yüzey durumu
- Tanenin mikroyapısı( Tane kristal yapısı )
- Kafes hata türleri ve yoğunluğu
- Tanenin içerdiği gaz miktarı
- Absorbe edilmiş gaz tabakası
- Yüzey oksit miktarı
- Reaksiyon
- Tane büyüklüğü
- Tane şekli (formu)
- Yoğunluk (porotize)

### C- Tozun Kütle Özellikleri

- Akıcılık
- Toz taneleri arası sürtünme özellikleri
- Sıkıştırılabilirlik ( preslenebilirlik )
- Toz taneleri özellikleri ( toz tane şekli )
- Ortalama toz tane büyüklüğü
- Toz tane dağılımı

- Toz özgül yüzeyi (  $m^2$  )
- Görünüş yoğunluğu
- Presleme ( vurma, vibrasyon ) yoğunluğu

#### **D- Tozun Gözeneklilik ( Porozite ) özellikleri**

- Toplam gözenek hacmi , P
- Toz taneleri arası gözenek hacmi ,  $P_1$
- Toz taneleri içindeki gözeneklerin hacmi ,  $P_2 = P - P_1$
- Toz taneleri arasındaki gözenek sayısı , n
- Ortalama gözenek büyüklüğü ,  $P_1 / n$
- Gözenek büyüklüğü dağılımı
- Gözeneklerin geometrik şekli

Burada belirtilen çok sayıda özellikten genel amaçlar için kullanılan tozlarda, kimyasal bileşim, görünüş yoğunluğu, akıcılık, tane büyüklüğü ve dağılımı ve preslenebilirlik özelliklerinin kontrollerinin yapılması yeterli olmaktadır. Ancak özel hallerde çok sayıda özelliğin muayenesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ise bu amaçla kullanılan cihazlardaki gelişmeler sayesinde mümkün olmuştur. Muayene edilen fiziksel büyüklüğün türüne göre çeşitli muayene yöntemleri ve bu yöntemlerin kullanılan cihazlarda sürekli bir gelişme mevcuttur (Yılmaz.2004).

### **2.8. Tozların Preslenmesi**

Metal tozlar, özel olarak hazırlanmış çelik kalıp içersinde basınç etkisiyle kompakt bir hale getirilir. Bu işlem için genellikle hidrolik, mekanik ve pnömatik presler kullanılmaktadır. Preslerin uyguladıkları basınç değerleri 70 ila 700 MPa arasındadır ve pratikte kullanılan basınç değerleri ise genellikle 145 - 450 MPa arasındadır. Presleri büyük bir kısmının kapasitesi 100 ton civarındadır. Son zamanlarda 200 - 300 ton kapasiteli presler yapılmıştır ve hatta 3000 tonluk bir pres üretilmiştir. Toz metalürjisi ürünlerinin kesit alanı maksimum 2000  $mm^2$  dir. Ancak yüksek kapasiteli özel preslerin kullanılması halinde bu değer 6500  $mm^2$  ye kadar çıkabilmektedir.

Presleme işlemi esnasında toz taneleri önce uygulanan kuvvet yönünde hareket ederler. Tozlar sıvı gibi akmaz; kalıp yüzeyi ile toz taneleri arasında sürtünme sonucu bir reaksiyon kuvveti gelişir. Bu kuvvet uygulanan kuvvete eşit bir değere ulaşana kadar sıkışma eksenel yönde devam eder. Daha sonra toz taneleri yatay yönde hareket ederler. Basınç bir darbe şeklinde uygulanırsa, maksimum yoğunluk zımbanın hemen altında meydana gelir ve zimba ile temas eden yüzeyden itibaren artan mesafe ile birlikte azalır. Bu yüzden ürün boyunca homojen yoğunluğun sağlanması

amacıyla basıncın homojen bir şekilde transferi nadiren mümkündür. Çift etkili presler daha homojen yoğunluk elde edilmesini ve daha kalın ürünlerin kalıplanabilmesini sağlarlar. Yoğunlaştırma veya presleme işleminde kenar duvarların sürtünmesi anahtar bir faktör olduğundan, presleme ile elde edilen yoğunluk kalıplanan parçanın kalınlığı ve genişliğinin bir fonksiyonudur. Homojen yoğunluk dağılımını sağlayabilmek için kalınlık / genişlik ( $t/w$ ) oranı 2 den küçük olmalıdır. Kalınlık / genişlik oranı 2 den büyük olan ürünlerde yoğunluk parça içinde bir noktadan diğer bir noktaya değişiklik gösterebilir (Çalışkan.2000).

## 2.9. Preslemede Görülen Olaylar

Teorik olarak düzlemsel ve temiz iki yüzeyin başlangıçta temasları sağlandığı takdirde, bu iki yüzeyin adi sıcaklıkta birleşmeleri prensip olarak mümkündür. Metallerin yüzeyinde, oksit tabakaları gibi kötü etkileri olan maddeler olmadığını farz edelim. Bu durumda kendini çekme kuvvetleri etkisinin görülebilmesi için yüzeyler arasındaki mesafenin çok küçük olması gereklidir. Adi sıcaklıkta ve yüksek basınçlar altında, iki masif metal cismin teorik olarak düzlemsel yüzeylerini atom mertebesinde temasa getirmek için, halledilmeyecek derecede zorluklarla karşılaşıldığı düşünülürse, metalsel bir tozun preslenmesinde yukarıdaki ideal durumdan ne kadar uzak bulunulduğu anlaşılır. Bunun başlıca üç nedeni vardır:

- 1-Toz partiküllerinin yüzeyleri genellikle düzensiz ve çok komplekstir. Dolayısıyla karşılıklı temas yüzeyi çok küçüktür.
- 2-Tozların saflığı imalat şekline göre çok değişir; ayrıca partiküller havada çok moleküllü oksit ve gaz tabakalarıyla kaplıdır. Bu ise çekme kuvvetlerinin etkisini engeller.
- 3-Ergime ile elde edilen bir metal yüzeyini çevreleyen atom tabakasının yapısı, içinde bulunan bir kristalin dış tabakasındakinden genellikle tamamen farklıdır. Ayrıca taneler arasındaki birim gerçek temas alanına karşılık gelen kohezyon kuvveti ve ergime ile elde edilmiş bir metal kristalitlerin arasındakinden farklı ve genellikle daha küçüktür.

Metalsel bir tozdan, basınç etkisi altında katı cisim elde edebilmek, basınç yardımıyla yüzeysel kuvvetlerin hiç olmazsa bir kısmından faydalanmak demektir. Fakat bu gibi hallerde mekanik kuvvet çok ufaktır. Buna sebep yukarıda izah edilen üç faktörün tamamen yok edilememesidir. Preslemenin etkileri şöyle sıralanabilir:

- 1-Toz partiküllerinin toplam temas yüzeyi, karşılıklı yaklaşma sonucu artar.
- 2-Basınç etkisi altında, birçok taneler birbirleriyle sürtünür. Bu ise birçok noktada oksit ve gaz tabakalarının yüzeylerinin temasını sağlar.

3-Toz tanelerinin karşılıklı sıkıştırılmaları çok kısa süreli lokal sıcaklık yükselmelerine sebep olarak atomların temas yüzeyinde yeni ve kısmi bir organizasyon sağlanır (atom hareketleri, sıcakta birleşme).

Soğukta presleme ile elde edilmiş parçaların mekanik kuvvetleri basınçtan başka tozun plastik özelliklerine de bağlıdır. 30 lt/cm<sup>2</sup> lik basınçla, kompakt bakır yoğunluğunun % 95 ila 97 sine erişerek, yüksek mukavemetli çubuklar elde edilebilir. Buna karşılık, redükleme ile elde edilmiş volfram tozuna çok yüksek basınçlar uygulansa bile teorik yoğunluğun sadece % 65 ila 75 kadarı elde edilebilir. Aynı zamanda bir volfram çubuğun mukavemeti çok az olduğundan, parçalanmaması için çok dikkatli davranmak gerekir. Sünek sinterlenmiş kaba volfram tozu kullanılırsa, bu volfram partiküllerinin plastisiteleri daha büyük olduğundan, daha mukavemetli cisimler elde edilir.

Presleme esnasında iki ideal durum düşünülebilir: elastik deformasyon ve plastik deformasyon. Birinci halde, tozun ideal elastikliğine ilave olarak şu hipotezleri yapılabilir: toz mümkün olduğu kadar ince ve çok muntazam, basit şekilli, parlak yüzeyli partiküllerden ibarettir; presleme tek taraftan, çelik bir matris içinde, ortalama bir basınçta yapılmaktadır; basınç yavaş yavaş artmaktadır. Bu ideal şartların gerçekleşmesiyle, basınç kalıp içinde, sıvı içindeki hidrostatik bir basınç gibi, muntazam olarak dağılır. Böylece maksimum yoğunluk elde edilir. Çekme kuvvetleri, toz partiküllerinin atomsal temasta oldukları noktalara tesir ederler. Presin hareketli pistonu civarında yoğunluk daha büyüktür. Kalıbın titreşmesi de bir avantaj teşkil eder. Partiküllerin tuğla gibi üst üste yığılmalarının iyi olmadığı yerlerde, özellikle bazı partiküller basıncı bir kubbenin taşları gibi taşıyorsa, bu kubbe altında birçok boşluklar vardır. Yoğunluğun bu düzensizliği göz önüne alınmazsa, yukarıda izah edilen ideal presleme usulünde toz partikülleri hiçbir plastik deformasyona maruz kalmazlar. Bu çok basit limit bir hal olduğundan, hiçbir sıvı faz görülmediği kabul edilirse, sonradan yapılacak ısıtma esnasında ortaya çıkacak sinterleme olayları (billurlaşma gibi) da çok basit olacaktır.

İkinci limit hal yukarıdakilere zıt şartlarda görülür. Toz partikülleri kaba, yüzeyleri gayri muntazam, kompleks ve dantelli, toz çok plastik ve basınç çok yüksekte, partiküllerin tuğla gibi muntazam olarak dizilmesiyle yoğunlukta düzgün bir artış sağlanamaz. Elemanter partiküllerin plastik deformasyonu daha önem kazanır, çünkü yoğunluğun artması partiküllerin birbirlerine yaklaşabilmelerine bağlıdır. Partiküllerin kohezyonu, çekme kuvvetlerinin bazı noktalarda değil, fakat bölgelerde tesir etmesiyle ve hacimli parçaların kaba olarak tuğla gibi dizilmeleriyle elde edilir. Bütün bunlardan, bu gibi cisimlerin yüksek mekanik mukavemetlerinin sebebi anlaşılmaktadır. Sinterleme esnasında görülen olaylar, bilhassa billurlaşma olayları (yeniden

billurlaşma) tabii ki daha karışıktır. Toz partiküllerinin iç kararsızlıklarına sebep olan faktörler de rol oynar (Çalışkan.2000).

### **2.9.1. Sıcakta Presleme**

Ergime sıcaklıkları düşük olan metal tozlarının iyi sıkıştırılabilme özellikleri ve yüksek sıcaklıkta sinterleme üzerinde elde edilen deneysel sonuçlar, ergime sıcaklıkları yüksek metallerin sinterleme ve preslemesinin yüksek sıcaklıkta bir tek işlemle yapılmasını düşündürmüştür. Bu işleme sıcakta presleme ve basınç altında sinterleme denilir.

Sıcakta presleme tekniği pratikte sadece sert alaşımdan tel çekme haddelerinin ve sinterlenmiş masif yatakların imalinde önemli bir rol oynar. Fakat elde edilen özelliklerin daha iyi olması sebebiyle, başka sinterlenmiş maddelerin imalatında da bu usulün kullanılması mecburiyeti hasıl olmaktadır (Yılmaz. 2004).

### **2.9.2. Sıcakta Preslenen Cisimlerin Özellikleri**

Sıcakta preslenen parçalar normal olarak sinterlenmiş parçalara nazaran daha serttir. Numunelerin direkt veya endirekt olarak elektrik akımıyla ısıtılmış grafit bir matris içinde, iki grafit pistonla, 80 ila 300 kg/cm<sup>2</sup> basınç altında iki taraftan sıcak olan preslenmeleri, normal sinterlemeye nazaran çok daha kısa bir zamanda gerçekleştiği görülmüştür. Sıcakta presleme toz tanelerinin çok kompakt bir bütün haline gelmesini ve gözeneksiz bir yapı elde edilmesini sağlar. Matris yüzeyinin sıcaklığı optik bir pirometre ile ölçülerek işlem sıcaklığı tespit edilir, seçilecek sıcaklık kullanılan basıncın fonksiyonudur. Matris yüzeyinde ışımaya sebebiyle büyük bir ısı kaybı olduğundan numune parçanın sıcaklığı 150 °C ile 200 °C kadar daha yüksektir. Sıcakta presleme sıcaklığı ile basınç arasındaki bağıntı hakkında, uygun şartlarda tespit edilmiş olan şu bilgiler verilebilir: 1350 °C ile 1400 °C arasındaki sıcaklıklar için basınç: 105 kg/cm<sup>2</sup> ; 1400 °C den yüksek sıcaklıklar için, basınç: 70 kg/cm<sup>2</sup>.

Bu, sıcaklık tesirinin basıncın yerini tutabileceği (veya tersi) manasına gelmez. Fakat, optimum özellikleri haiz sert alaşımların elde edildiği sıcaklık ve basınç değerleri arasında bir bağıntı olduğu aşikardır. Basınç altında sinterlenmiş sert alaşımların sertlik, eğme mukavemeti, tokluk ve kesme kapasitesi değerleri aynı malzemelerin soğukta preslendikten sonra sinterlenmeleri halinde elde edilecek değerlerden genellikle daha yüksektir. Presleme ve sinterleme şartlarının aynen tekrar elde edilebilmesi güç olduğu gibi matris malzemesinde de zorluklarla karşılaşılması kesme aletleri için sert alaşım plakeleri imalinde sıcakta presleme usulünün yaygın olarak kullanılmasını önlemiştir. Normal yollardan imal edilmiş (volfram karbür ve kobalt) sert



alaşımlarının Rockwell A 92, sıcakta preslenmiş sert alaşımlarınki ise Rockwell A 95,6 olarak bulunmuştur. Sert alaşımların grafit kalıplar içinde aynı zamanda sinterlenme ve preslenmeleriyle maksimum sertlik elde edilir. Sertliğin artması şu şekilde izah edilir: Sıcakta presleme esnasında daha büyük yoğunluk elde edilir; diğer taraftan biraz da kobalt numuneden çıkar (böylece diğer metotlarla elde edilenlere nazaran daha az kobalt ihtiva eder). Aşağıdaki Çizelge bu şartlar altında sinterlenmiş demir ve bakırın mekanik mukavemetinin ne kadar iyileştiğini göstermektedir (Yılmaz. 2004).

**Çizelge 2.1.** Sıcakta sıkıştırılmış bakır ve demirin çekme mukavemetinin adi sıcaklıkta sıkıştırıldıktan sonra sinterlenmiş olanlarıkiyle mukayesesi:

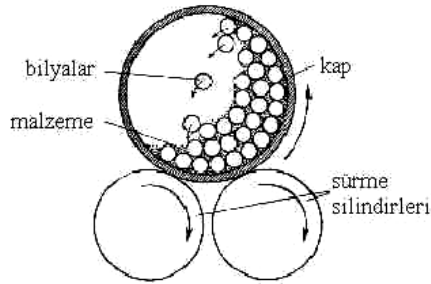
Sıcakta sıkıştırma veya sıkıştırma sıcaklığı (°C)	Adi sıcaklıkta sıkıştırdıktan sonra sinterlenen malzemenin çekme mukavemeti (kg/mm <sup>2</sup> )		Sıcakta sıkıştırıldıktan sonra çekme mukavemeti (kg/mm <sup>2</sup> )	
	Cu	Fe	Cu	Fe
610	14,2	4,2	26,3	19,7
715	13,2	6,6	24,1	27,3
810	12,3	11,5	23,5	34,6
920	10,2	14,7	22,3	39,4

### 3. TOZ ÜRETİMİ

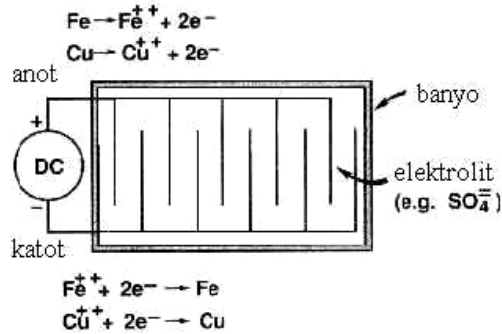
Hemen hemen bütün malzemeler toz haline getirilebilir, fakat tozları üretmek için seçilen yöntemler malzeme özelliklerine bağlıdır. Öğütme, elektroliz, kimyasal indirgeme ve atomizasyon dört ana toz üretim yöntemidir. Bu üretim yöntemlerine ilave olarak, bazı seçilmiş malzemeler için özel toz üretim teknikleri de kullanılır. Endüstride kullanılan tozların % 60'dan fazlası atomizasyon yöntemi ile üretilmektedir.

#### 3.1. Öğütme

Metaller arası bileşikler, demir alaşımları, demir-krom, demir-silisyum v.b. gibi kırılgan malzemeler mekanik olarak bilyalı değirmenlerde öğütülürler.(Şekil 3.1) Fakat öğütme işlemi bir çok sünek metal için uygun değildir; çünkü bu metaller kolayca kırılmazlar. Sünek tanecikler kırılma yerine birbirleri ile soğuk olarak kaynaklanır ve daha büyük tanecik oluştururlar. Günümüzde öğütme işlemi alüminyum gibi sünek metallere pul toz üretiminde de kullanılır. Bu durumda, soğuk kaynaklanmayı ve yapışmayı engellemek için yağlayıcılar kullanılır.



Şekil .3.1. Bilyaların Malzemeyi öğütmesi ([http://www.turktoz.gazi.edu.tr/ttmd\\_tr.htm](http://www.turktoz.gazi.edu.tr/ttmd_tr.htm)).



Şekil .3.2. Bakır ve Demirin Elektrolizi ([http://www.turktoz.gazi.edu.tr/ttmd\\_tr.htm](http://www.turktoz.gazi.edu.tr/ttmd_tr.htm)).

### 3.2. Bakır ve Demirin Elektrolizi

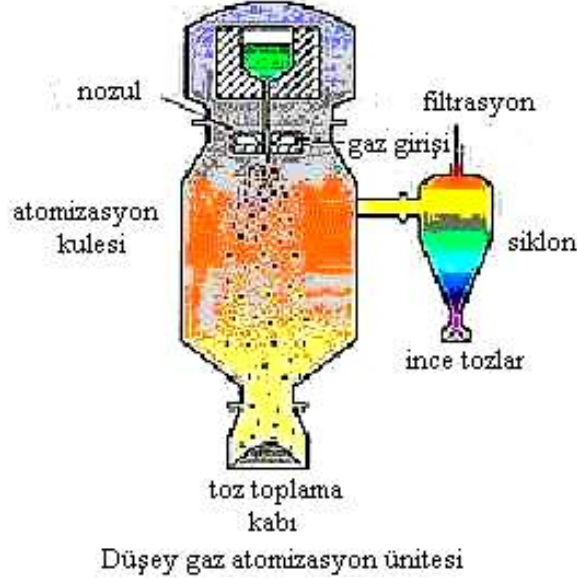
Elektrolitin kimyasal bileşimi ve mukavemeti, sıcaklık, akım yoğunluğu gibi şartları (Şekil 3.2.) uygunca seçerek, bir çok metal sünger veya toz durumunda katot üzerinde biriktirilebilir. Daha sonraki işlemler olarak, yıkama, kurutma, indirgeme, tavlama ve öğütme gerekli olabilir. Bu yöntemle üretilen metallerin başında bakır gelir, aynı zamanda krom ve magnezyum da bu yöntemle üretilebilir. Elektrolitik tozlar çok saftırlar.

### 3.3. Kimyasal İndirgeme

Demir tozlarının üretiminde bu metot çok kullanılmaktadır. Bu yöntemde seçilen cevher öğütülür, kokla karıştırılır, karışım indirgemenin olduğu sürekli fırından geçirilir ve kek şeklinde sünger demir elde edilir. Sünger demir daha sonra öğütülür, metalik olmayan malzemelerden ayrılır ve elenir. Tozların saflığı ham malzemelere bağlıdır. Düzensiz süngerimsi tanecikler yumuşaktır ve kolayca preslenebilir ve böylece ham mukavemeti iyi olan ürünler oluşur. Benzeri şekilde refrakter metaller de oksitlerinin hidrojenle indirgenmesiyle üretilirler.

### 3.4. Atomizasyon

Bu işlemde ergimiş metal küçük damlacıklara parçalanır ve damlacıklar birbirleri ile veya katı yüzeyle temasa geçmeden hızlıca soğutulur. Ana fikir, ergimiş metali yüksek enerjili gaz veya sıvı çarpmasına maruz bırakarak sıvı metali daha küçük parçalara ayırmaktır. Hava, azot ve argon en çok kullanılan gazlardır. Su ise sıvılar içinde en çok kullanılanıdır. Nodulun tasarım ve geometrisi, atomize eden akışkanın basıncı ve hacmi, sıvı metalin akış çapı gibi birçok parametreyi değiştirerek toz boyutu dağılımını kontrol etmek mümkündür. Tanecik şekli ise katılma hızı ile belirlenir, düşük soğutma kapasiteli gazlar için küresel şekilden yüksek soğutma kapasiteli su için karmaşık şekle dönüşür. Genelde bu toz üretim metodu ergitilebilen tüm malzemeler için uygulanabilir ve ticari olarak demir, takım çelikleri, alaşımlı çelikler, bakır, pirinç, bronz, alüminyum, kalay, kurşun, çinko ve kadmiyum tozlarının üretilmesinde kullanılır. Krom içeren alaşımlar gibi kolayca oksitlenen metallerde atomizasyon argon gibi asal gazlar yardımıyla gerçekleştirilir. Atomizasyon, alaşımı oluşturan tüm metallerin ergimiş durumda tamamen alaşımlandığı için, özellikle alaşımların toz halinde üretilmesinde faydalı bir yöntemdir.(Şekil 3.3.) Böylece her toz taneciği aynı kimyasal bileşime sahip olur.



**Şekil 3.3.** Düşey gaz atomizasyon ünitesi (Saritaş. ve diğerleri,1995;  
[http://www.turktoz.gazi.edu.tr/ttmd\\_tr.htm](http://www.turktoz.gazi.edu.tr/ttmd_tr.htm)).

Ayrıca, artan oranlarda uygulama alanı bulan diğer birçok atomizasyon yöntemleri vardır. Bunlardan en önemlisi santrifüj atomizasyonudur, ergimiş metalin damlacıkları yüksek hızda dönen bir diskten fırlatılırlar. İki çeşit santrifüj atomizasyonu vardır. Bunlardan birinde, bir kap içindeki ergiyik metal, ergiyik metalin damlacıklara ayrılması için, uygun bir hızda düşey eksen etrafında döndürülür veya bir metal demeti dönen bir disk veya koni üzerine akıtılır. Diğerinde ise, bir metal çubuk yüksek hızda döndürülür ve serbest uçuşa elektron ışını veya plazma arkı vb. ile ergitilir. Bu ikinci tip işlem, Döner Elektrot Atomizasyonu olarak bilinir ve çubuk düşey veya yatay eksende döndürülebilir. Bu uygulamanın önemli bir üstünlüğü, atmosfer kontrollü bir ortamda, hatta vakumda bile çalışabilmesi, böylece çok reaktif olan metallere ait temiz tozlar üretilmesidir.

Atomizasyon işleminde ergimiş metal küçük damlacıklara parçalanır ve damlacıklar birbirleri ile veya katı yüzeyle temasa geçmeden hızlıca soğutulur. Ana fikir, ergimiş metali yüksek enerjili gaz veya sıvı çarpmasına maruz bırakarak sıvı metali daha küçük parçalara ayırmaktır. Hava, azot ve argon en çok kullanılan gazlardır. Su ise sıvılar içinde en çok kullanılanıdır. Nodulun tasarım ve geometrisi, atomize edilen akışkanın basıncı ve hacmi, sıvı metalin akış çapı gibi bir çok parametreyi değiştirerek toz boyutu dağılımını kontrol etmek mümkündür ([http://www.turktoz.gazi.edu.tr/ttmd\\_tr.htm](http://www.turktoz.gazi.edu.tr/ttmd_tr.htm)).

Hemen hemen bütün malzemeler toz haline getirilebilir, fakat tozları üretmek için seçilen metotlar malzeme özelliklerine bağlıdır. Öğütme, elektroliz, kimyasal indirgeme ve atomizasyon dört ana

toz üretim metodudur. Bu üretim metotlarına ilave olarak, bazı seçilmiş malzemeler için özel toz üretim teknikleri de kullanılır. Endüstride kullanılan tozların % 60'dan fazlası atomizasyon yöntemi ile üretilmektedir (Sayın.2005).

### 3.5. Diğer Üretim Yöntemleri

Nikel karbonilde olduğu gibi, bazı durumlarda kimyasal bileşiğin ısıl ayrışması kullanılır. Karbonil işlemi ilk olarak nikeli rafine etmek için geliştirilmiştir. Bu yöntemde ham metal basınç altında karbonil oluşturmak için karbon monoksit ile reaksiyona girer. Karbonil reaksiyon sıcaklığında gazdır ve sıcaklığın yükselmesi ve basıncın azalması ile ayrışır. Aynı işlem demir için kullanılır ve karbonil demir tozları yüksek saflık istenen durumlarda kullanılır. Yakın zamanda enjeksiyon kalıplama için ince tozlara olan talep, karbonil işleminine hız vermiştir. Tipik karbonil demir tozunun boyutu 1-5  $\mu\text{m}$ 'dir. Isıl ayrışma için diğer bir örnek, platin amonyum klorür tuzunun ısıtılması sonucu üretilen süngerimsi platin tozlardır. Sherritt Gordon işleminde nikel tozlar basınç altındaki nikel tuzlarının çözeltisinin hidrojen ile indirgenmesi ile üretilirler (Şekil 3.4.).



**Şekil 3.4.** a) İndirgeme ile demir tozu üretimi .....b) Atomizasyon ile demir ve çelik tozu üretimi (Sarıtaş. ve diğerleri, 1995).

### 3.6. Demir Tozu Üretimi

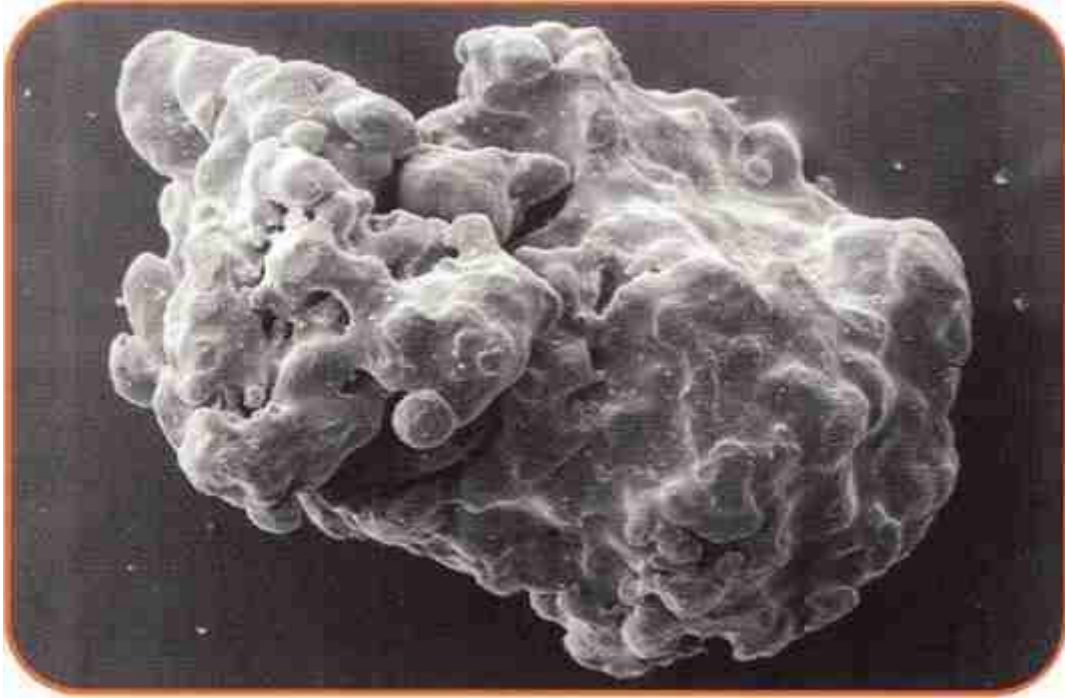
Toz metal endüstrisinde en çok kullanılan toz demir tozudur. Oksidinden indirgeyerek üretme en eski demir tozu üretme yöntemidir. İsveç sünger demir yöntemi Höganäs tarafından İsveç'te 1900'lu yıllarda geliştirilmiştir. Yöntem katı halde ve 1260 °C'de gerçekleşir. Magnetitçe zengin cevher öğütülerek kok ve kireçtaşı ile karıştırılır, ve seramik tüplere doldurulur. Seramik tüpler fırın arabalarına yüklenir ve uzun fırın içinden 68 saatte geçerler. Şema, üretimin aşamalarını açıklamaktadır. Öğütmeden sonraki tavlama işlemi hidrojen gazı altında 870 °C'de gerçekleşir. Sonuç toz, sünger görünümündür.(Şekil 3.5) Atomizasyon yöntemi de demir ve özellikle çelik tozu üretmek için kullanılır.(Şekil 3.6) Demirin atomizasyonu için su kullanılır, ancak çelik için su veya alaşımın içeriğine göre asal gazlar kullanılır. Su ile atomize edilmiş demir ve çelik tozları yüzeylerindeki oksidi indirgemek ve basılabilirliklerini geliştirmek için 900 °C'de indirgeyici gaz altında tavlanylabilir.

#### 3.6 1. Toz Özellikleri

Sinterlenmiş parçaların özellikleri toz boyutu, boyut dağılımı ve yüzey şartları gibi toz özellikleri tarafından etkilenir. Tozların görünür yoğunluğu, yani preslenmemiş ve yerleşmemiş tozların verilen hacminin kütlesi, önemli bir parametredir. Görünür yoğunluk tozlardaki boşluk derecesi ve toz şeklinin bir fonksiyonudur. Toz seçimi çeşitli zıt toz özellikleri arasında pazarlık yaparak gerçekleşir. Mesela toz şeklinin karmaşılaşması ve gözenekliliğin artması görünür yoğunluğu düşürür. Görünür yoğunluğun düşmesi ise presleme aşamasında hacim azalmasını artırır ve böylece soğuk kaynak miktarını artırır. Neticede daha yüksek ham mukavemetli parça elde edilmiş olur. Parçanın sinterlenme verimi de soğuk kaynak miktarının artmasından dolayı artacaktır. Belirli bir basınçta elde edilen yoğunluk, basılabilirlik de önemli bir toz özelliğidir. Düşük basılabilirliğe sahip tozlar çok yüksek basınca, yüksek kapasiteli preslere ve daha dayanıklı kalıplara ihtiyaç duyarlar. Kalıp içerisindeki tozların paketlenme verimliliği toz boyut dağılımına geniş ölçüde bağlıdır. Büyük tozlar arasında oluşan boşluklar küçük boyuttaki tozlar ile doldurulabilir.



**Şekil 3.5.** İndirgenmiş "Sünger demir" tozu (Ersümer.1970;  
[http://www.turktoz.gazi.edu.tr/ttmd\\_tr.htm](http://www.turktoz.gazi.edu.tr/ttmd_tr.htm) ).



**Şekil 3.6.** Atomize demir tozu (Ersümer. 1970; [http://www.turktoz.gazi.edu.tr/ttmd\\_tr.htm](http://www.turktoz.gazi.edu.tr/ttmd_tr.htm)).

Tozların saflığı da çok önemlidir. İzin verilebilecek yabancı madde düzeyi büyük oranda maddelerin tamamının yapı ve durumuna bağlıdır. Mesela, demir içinde birleşmiş karbon varlığı sertleşmeye yol açar, böylece sıkıştırma esnasında daha yüksek basınca ihtiyaç duyulur. Fakat serbest karbon, presleme operasyonu esnasında yağlayıcı olarak davrandığı için bir avantajdır. Pek çok metal tozunun ince bir oksit tabakası ile kaplı olması presleme işlemine fazla etkili olmaz. Çünkü tozlar arası sürtünme ile bu tabaka kolayca yırtılır ve açığa çıkan metal yüzeyler hemen soğuk kaynak olurlar. Ancak bu oksitlerin sinterleme aşamasında indirgenmeleri yüksek mukavemet için şarttır.



## 4. ISIL İŞLEMLER

Toz metal yöntemiyle üretilen parçalar, kullanım yerinin gerektirdiği şartları sağlamak üzere ısı işleme tabi tutulabilir, bu ısı işlemler ve özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

Yüzeyi sert ve aşınmaya dayanıklı, buna karşın sünek bir çekirdek arzu edildiğinde, çeliklerde yalnızca yüzeyin sertleştirilmesine gidilir. Bunun için, yüzeyde belirli bir derinliğe kadar sertleşme sağlayan yöntemler geliştirilmiştir.

Yüzeyin sertleştirilmesinde normal şartlarda yeterli düzeyde sertlik elde edilemeyen çeliklerin yüzeyine karbon verilerek sertleştirme yapılabilir (sementasyon ve sertleştirme ) veya yüzeyden sertlik artırıcı element atomları nüfuz ettirilebilir (nitürasyon) . Ayrıca iyi sertleşebilme kabiliyetine sahip çeliklerin yüzeyinde, arzu edilen sertleşme derinliğine kadar olan kısmı ostenitleştirme sıcaklığına ısıtılarak ve ardından ani soğutma ile yalnızca bu bölgenin sertleştirilmesi yapılabilir (alevle yada indüksiyonla yüzey sertleştirme). Yaygın olarak kullanılan bu yöntemlerin dışında, yüzeye çelik püskürterek, baskı parlatması yaparak, özel haddeleme uygulayarak soğuk şekillendirme ile de yüzey sertliği artırılabilir. Yüzeyin kaynakla, püskürtmeyle ya da galvanik kaplama (kromlama) ile kaplanmasıyla da yüzeyde sert tabaka oluşturmak mümkündür (Topbaş.1995). Toz metal parçaların üretiminde ısı işlemlerden önceki ilk aşma sinterlemedir.

### 4.1.Sinterleme

Soğukta presleme veya yığma ile elde edilen parçalar itinalı bir ısı işleme tabi tutulmalıdır. Bu ısı işlem veya sinterleme, toz partiküllerinin mekanik olarak tuğla gibi dizilmeleri ve yapışmalarıyla metalsel bir parça veya kompakt bir alaşım vermelidir. Tek bileşenli sistemlerde genellikle sinterleme sıcaklığı olarak metalin mutlak ergime sıcaklığının 2/3 ile 4/5 i alınır; birden fazla bileşenli sistemlerde ise sinterleme genellikle ergime sıcaklığı en düşük olan bileşenlerin ergime sıcaklığının üstünde yapılır. Gözenekli bronzlar ve bronzlara benzeyen alaşımlar 600 °C ile 800 °C arasında, demir grubu metallerin alaşımları ise 1000 °C ile 1300 °C arasında, sert alaşımlar 1400 °C ile 1600 °C arasında, refrakter metaller (molibden, volfram, tantal) 2000 °C ile 2900 °C arasında sinterlenirler. Sinterleme sıcaklığı gibi, sinterleme süresi de kullanılan malzemeye göre değişir. Elmas alaşımları ve refrakter metaller için yarım saatten az bir zaman çoğu halde yeterlidir. Sert alaşımlar ve mıknaş alaşımlarında olduğu gibi birçok hallerde de birkaç saat süren bir sinterleme tatbik edilmelidir. Sinterleme zamanı ve sıcaklığı arasında basit bir bağıntı vardır. Sinterleme sıcaklığı yükseldikçe sinterleme zamanı kısalır; aksine olarak alçak bir sinterleme sıcaklığı sinterleme zamanının uzamasına sebep olur.

Sinterleme sıcaklığının 1050 °C civarında olması halinde nikel-krom veya demir-krom-alüminyum rezistanslı elektrik fırınları kafi gelir. 1350 °C ye kadar silit çubuklu fırınlar kullanılır. Daha yüksek sıcaklıklar için (1000 °C ile 1600 °C) molibden rezistanslı fırınlar, 1800 °C ve daha yüksek sıcaklıklar için ise yüksek frekanslı veya kısa devreli karbon tüplü fırınlar kullanılır. Karbon tüplü fırınlar, karbon monoksit varlığının zararlı tesirleri olmadığı hallerde kullanılır. Molibden, volfram, tantal gibi refrakter metallerin sinterlenmesinde 2000 °C lik sıcaklık bile yeterli gelmediğinden, bu metaller hidrojen dolu sinter çantaları içinde sinterlenirler. Burada sinterlenecek parçadan akım geçirilir. Harcanan güç sinterlenen parçanın ergimesi için gerekenden %10 kadar daha azdır. Sinterlenen malzemenin oksitlenmesini önleyecek tedbirler alındığı taktirde gazla ısıtılan fırınlardan da faydalanılabilir.

Aşağıda sinterlenen malzemeler için tatminkar sonuçlar veren fırınlara örnekler verilmiştir:

Demir veya bronz gözenekli yataklar için: Nikel-krom, demir-alüminyum, molibden ve silisyum karbürü fırınlar.

Sert alaşımlar için : Kısa devreli karbon tüplü fırınlar, vakumlu yüksek frekans fırınlar veya A.B.D. de molibden rezistanslı özel fırınlar.

Sinter mıknaşlar ve elmas alaşımları için: Molibden rezistanslı fırınlar veya kısa devreli karbon tüplü fırınlar.

**a) Mufalı fırınlar:** 600 °C ile 1050 °C arasında mufalı fırınlar kullanılır. Bu fırında rezistans spiral şeklinde olup malzemeyi her taraftan aynı zamanda ısıtmaktadır. Kalorifüj o şekilde olmalıdır ki fırın içindeki sıcaklık farkları birkaç dereceden az olsun. Dolayısıyla, ısı başlıca ışınma yoluyla iletiğinden bilhassa masif parçaların sinterlenmesinde, sıcaklığın yükselmesi yavaş olmalıdır. Isıtma esnasında oksijen ve karbondioksit bulunmamalıdır. Çoğu kere en uygun koruyucu gaz hidrojenidir. İstisnai hallerde işlem vakumda da yapılabilir.

**b) Potalı fırınlar:** Bu tip fırınlar mufalı fırınların özel bir modelidir. Bu fırının ısıtılması halka şeklinde molibden rezistanslarla sağlanmaktadır. Bu tip fırınlar bilhassa 1050 °C ile 1400 °C arasında kullanılırlar.

Mufalı ve potalı fırınların mahzurları, devamlı çalışmamları ve dolayısıyla her yüklemde fırına depo edilmiş ısının kaybolmasıdır. Soğumayı hızlandırmak için fırından çıkan koruyucu gaz bir soğutucudan geçirildikten sonra tekrar fırına yolları.

**c) Çanlı fırın:** Yukarıda sözü edilen fırınlara nazaran birçok teknik avantajlara sahiptir. Bilhassa 600 °C ile 1100 °C arasında kullanılan bu fırın başlıca bir temelinden bir refrakter ara-çanından ve bir ısıtma çanından meydana gelir. Çanı bir nikel-krom veya demir-krom-alüminyum sargılarını haizdir. Isıl işlemde önce, içine sinterlenecek parça konmuş, sızdırmazlık önlemleri alınmış, ara-çana koruyucu gaz sevk edilir. Sinterleme sonunda ısıtma çanı kaldırılıp, önceden yüklenmiş başka bir ara-çan üzerine yerleştirilebilir. Bu şekilde, ısıtma çanı içinde depo edilmiş olan ısı enerjisinin kaybolması önlenir.

**d) Sürekli fırınlar:** Sürekli fırınların kullanılması daha iyi bir ısı verim sağlar. Bu fırınlarda, rezistanslar doğrudan doğruya rezistanslı bu fırınlarla 1000 °C ye kadar olan sinterleme sıcaklıklarına erişilebilir. Molibdenli rezistanslarda sıcaklık 1500 °C ye kadar çıkabilir. Isı iletimi direkt ışınma yoluyla olur. Molibden'in yüksek ergime sıcaklığı sebebiyle (2700 °C), rezistanslar muhtemel bir fazla ısınmaya çok daha az hassastırlar. İlk zamanlarda, fabrikalarda 220 voltluk normal gerilim kullanıldığından ve molibdenin öz-direnci de küçük olduğundan rezistansların kesitleri küçük olmaktadır. 20 ila 40 voltluk gerilimlerin kullanılması kısa ve kesiti büyük spiral rezistansların kullanılmasını mümkün kılmıştır. Böylece molibden rezistanslı fırınların kullanılmasında önceleri rastlanan zorluklar yenilmiştir oldu. Bu fırınlar çok garantilidir. 1500°C gibi sıcaklıklar için dahi rezistanslar birkaç sene dayanır. Bir sürekli fırın şu şekilde çalışır : Sinterlenecek malzeme demir veya grafit sepetlere konur. Bu sepetler fırına bir uçtan girer ve özel bir tertibatla ısıtma bölgesine sevk edilirler. Bu esnada hidrojen de diğer uçtan sevk edilir. Bu şekilde ısıtma bölgesinden gelen sinterlenmiş malzemenin soğutulması sağlanırken aynı zamanda da koruyucu gazın ön ısıtılması yapılmış olur.

**e) Gaz dolaşımıyla çalışan tesisat:** Kullanılması koruyucu gazın ekonomik olarak kullanılmasını sağlar. Koruyucu gaz, bir yıkayıcıdan geçtikten sonra, bir soğutucuda, bir yoğuşma yoluyla su buharından ayrılır. Kondansör yerine özel kurutma tesisatı da kullanılabilir. Gaz dolaşımı bir pompa aracılığıyla sağlanır. Fırının yüklenmesi esnasında, soğuma bölgesinde sinterlenmiş malzemenin oksidasyonla parlaklığını kaybetmesine sebep olabilecek bir miktar hava devreye girer. Bu sebeple havadaki oksijeni, paladyum ve platin esaslı katalizörler ihtiva eden kontaklı fırınlarda yakmak gerekir. Meydana gelen su buharı da elimine edilmelidir. Kontaklı fırının, kondansör ve kurutucudan önce olması bu sebeptendir. Sinterleme atmosferinin azotça bir miktar zenginleştirilmesi genellikle olumsuz bir etki yapmaz. Fırının yüklenmesi ve boşaltılması esnasında kaybolan koruyucu gaz miktarı kadar devreye sokulması yeterlidir.

Sürekli fırınlarda yapılan sinterleme, malzemeye büyük bir düzenlilik sağlar. Bu ise sert alaşımlar ve daimi mıknatıslar için çok önemlidir.

Laboratuvarlarda kullanılan tesisatta silit spiraller veya çubuklarla dıştan ısıtılan, yatay porselen veya alüminen bir tüp vardır. Böylece 1250 °C ile 1350 °C arasında sıcaklıklara kolaylıkla erişilebilir.

**f) Kısa devreli karbon tüplü fırınlar:** Sert alaşımları 1350 °C ile 1550 °C arasındaki sıcaklıklarda sinterlemek için kullanılırlar. Bütün sürekli çalışan fırınlarda olduğu gibi, burada da ısı enerjisinin kullanılması ve malzemenin intizamlılığı süresiz çalışan fırınlardan üstündür.

**g) Vakumda çalışan karbon tüplü fırınlar:** Bu fırınlar vakum altında da çalışabilir; fakat bu taktirde çalışma sürekli olmaz. Tüp şeklindeki iletkenin uçları ısı kaybına karşı ekranlarla muhafaza edilmişlerdir. Bu suretle bütün tüp boyunca üniform bir sıcaklık elde edilir. Bu ekranlar genellikle volfram veya molibdenden yapılmıştır.

**h) Yüksek frekanslı endüksiyon fırınları:** Yüksek frekanslı endüksiyon fırınları 1500 °C ile 2000 °C arasında yapılan sinterlemeler için kullanılır. Vakumda sinterleme yapabilmek için bu fırınlar sızdırmaz bir odada tertiplenebilir.

**ı) Özel fırınlar:** Refrakter metallerin hazırlanması (molibden 2700 °C, tantal 3000 °C, volfram 3400 °C), tozun presleme ile çubuk haline sokulması ve bu çubukların Jull tesiri ile ergime noktaları civarında ısıtılmalarından ibarettir.

Volfram-bakır, volfram-gümüş ve molibden-gümüş alaşımlarının hazırlanmalarında birçok özel fırınlar düşünülmüştür. Bu metaller genellikle sinterlenmiş, gözenekli bir volfram veya molibden iskeletinin ergimiş bakır veya gümüşe daldırılmasıyla hazırlanır. Daldırma işlemi potalı veya fıçılı, baskül hareketi yapan fırınlarda yapılır. Bileşenlerin ayrılmasına veya boşluklar meydana gelmesine mani olmak için potalı fırınlar, elde edilen alaşımın daldırma bölgesinden bir soğutma odasına geçmesini sağlayan bir tertibatı haizdir. Daldırma ameliyesi genellikle bir koruyucu gaz altında (hidrojen), 1300 °C ile 1700 °C arasında yapılır. Çizelge 4.1. de fırın tipleri ve uygulama alanları özetlenmiştir.

**Çizelge 4.1.** Bazı sinterleme fırınlarının sıcaklık limitleri ve tatbikat sahaları

Fırın tipi	Sıcaklık °C	Tatbikat sahaları
Muflalı fırın	600-1050	Gözenekli yatakların ve demir esaslı alaşımların sinterlenmesi
Çanlı fırın	1100 kadar	Gözenekli yatakların, demir esaslı alaşımların ve büyük parçaların sinterlenmesi
Potalı fırın	1050-1400	Metalsel tozlarla imal edilmiş büyük blok veya parçaların sinterlenmesi

Sürekli fırın	a)1100 kadar (Ni-Cr) lu b)1500 kadar (Mo) li c)1000-1500 (gaz) lı	Gözenekli yatakların, makine parçalarının, mıknatıs alaşımlarının, saf metallerin, psödo-alaşımların Sinterlenmesi
Silit çubuklu fırın	1250-1350	Araştırma işlerinde kullanılan parçaların sinterlenmesi
Karbon tüplü fırın	2000 kadar	Sert alaşımların, psödo-alaşımların, metalsel karbürlerin sinterlenmesi
Yüksek frekanslı fırın	3000 kadar	Sert alaşımların, metalsel karbürlerin, sert mamullerin sinterlenmesi
Sıcak kompresyonlu ve basınç altında Sinterleme tesisatlı Fırınlr	a)600 kadar b)800 kadar c)1500 kadar	Psödo-alaşımların, yatak alaşımlarının, demir esaslı alaşımların, sert alaşımların ve elmas alaşımların Sinterlenmesi

#### 4.1.1. Tek Bileşenli Sistemlerin Sinterlenmesi

Sıcaklığın yükselmesiyle çekme kuvvetlerinin aktiviteleri artarken, sinterlemeyi zorlaştıran etkiler de ortadan kalkar. Ayrıca sıcaklığın artması billurlaşma şartlarını da uygun hale getirir. Adı sıcaklıkta, toz partiküllerinin gerektiği kadar plastik olmamaları, yüzeylerinde gaz ve oksit tabakalarının mevcudiyeti, partiküller arasındaki temasın mükemmel olmaması, presleme esnasında toz içinde zararlı gazlar bulunması, sinterlemenin yüksek sıcaklıkta yapılmasını zorunlu kılar. Yukarıda sözü geçen zararlı unsurlar önemli değişiklikler gösterirler ve tozun hazırlanma şartlarına büyük ölçüde bağılırlar. Bu sebeple tozun sinterlemeden önce tabi olduğu işlemler çok önemlidir

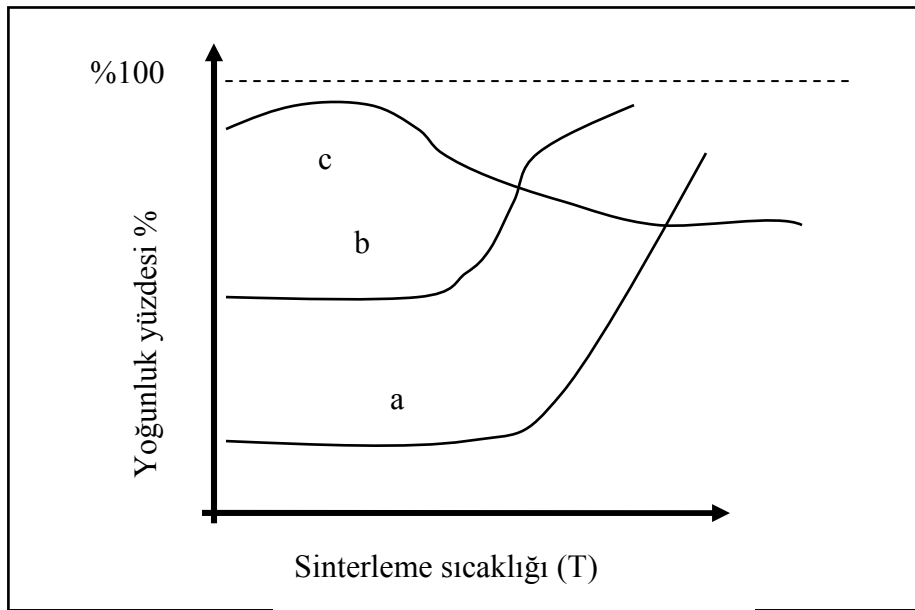
Gümüş, bakır, kurşun, alüminyum, magnezyum komprimerlerinin mukavemeti 150 °C ile 300 °C arasında artarak değiştiği görülmüştür. Bu artış sinterlemenin başladığını gösterir. Aynı malzemedeki iki yüzey sadece basınç etkisiyle, birbiri üzerine tatbik edildiği takdirde, belirli bir sıcaklığın üzerinde bu iki yüzeyin aderansı yüksek değerler alır. Bu sıcaklığa aderans sıcaklığı denir ve sinterleme başlangıcı sıcaklığı olarak kabul edilebilir (demir için 550 °C, nikel için 600 °C , volfram için 1250 °C).

### Sinterleme şartlarının fiziksel ve mekanik özelliklere etkisi:

#### a) Yoğunluk, Gözeneklilik, Kendine Çekme:

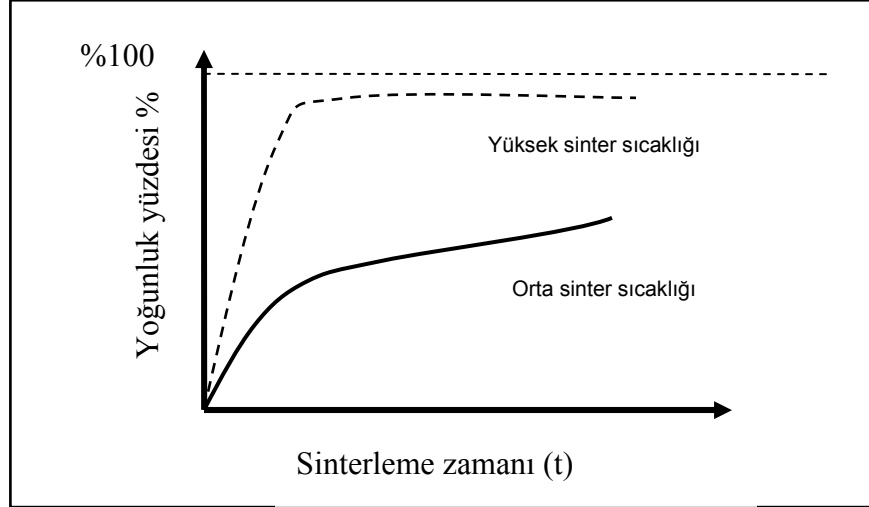
Sinterleme müddetinin yoğunluk ve kendini çekmeye tesirine gelince, yoğunluk artmasının büyük kısmı nispeten kısa bir zamanda meydana geldikten sonra artış azalır. Sinterleme sıcaklığı ne kadar yükselirse, kendini çekmenin büyük kısmı da o kadar kısa zamanda meydana gelir; yani yüksek sıcaklıklarda zamanın tesiri gittikçe azalır (Şekil 4.1.).

Basınç ve sinterleme sıcaklığı ve müddetinden ayrı olarak kullanılan tozun tane büyüklüğü de yoğunluk ve kendini çekmeye büyük ölçüde tesir eder.



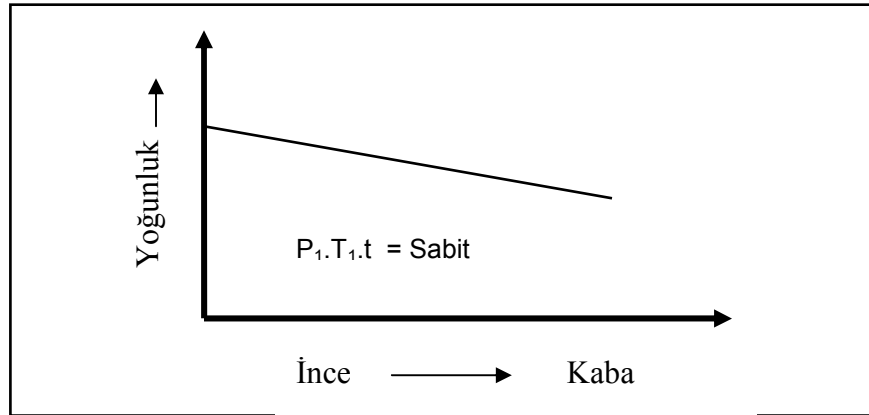
**Şekil 4.1.** Metalsel bir tozun yoğunluğunun sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişimi (Şematik).

- Sıkıştırılmamış.
- Orta basınç altında sıkıştırılmış (takriben 5 t/cm<sup>2</sup>).
- Yüksek basınç altında sıkıştırılmış (takriben 30 t/cm<sup>2</sup>).



**Şekil 4.2.** Orta ve yüksek sinterleme sıcaklıklarında, sinterleme zamanı ve yoğunluğunun artması arasındaki bağıntı (Şematik).

Aynı bir metalin değişik tane büyüklüklerindeki tozlarını aynı basınç altında presledikten sonra elde edilen numunelerin, aynı şartlar altında değişim kanunu bulunur (Şekil 4.3.).



**Şekil 4.3.** Sinterlenmiş numunelerin yoğunluklarının granülometre'ye bağlı olarak değişimi (Şematik).

#### b) Sinterleme şartlarının fiziksel ve mekanik yapısı:

Sinterleme sıcaklığı, basınç ve atmosferdeki gibi sinterleme şartlarının, sinterlenmiş maddelerin sertlik, mekanik mukavemet, elektrik iletkenliği gibi özelliklerine etkisi incelenmeden önce, tanelerin hızla büyüme olayının araştırılması gerekir. Tanelerin büyümesi bazı hallerde mekanik mukavemet, sertlik, çökme miktarı, yoğunluk gibi özelliklere oldukça fazla etki eder. Plastik metal tozlarının, mutlak ergime sıcaklıklarının 2/3 ile 3/4'ü arasındaki belirli sıcaklıklarda ısıtılmasıyla tanelerin çok büyüdüğü görülmüştür. Tane büyümesinin başlangıç sıcaklığı presleme basıncından bağımsızdır. Bu olaya tanelerin ani büyümesi denir ve ilk olarak redükleme ile elde edilmiş ince bakır tozlarında görülmüştür edilmiştir.

Az miktarda istenmeyen kayıpların bir sıvı faz meydana gelmesine ve dolayısıyla bir billurlaşmaya sebebiyet verip vermediklerini anlamak için, bunu takip eden saflaştırmalara tabi tutulmuş bakır tozu üzerinde deneyler yapılmıştır.

Hiçbir soğuk ön-işleme tabi tutulmamış tozlarda, tane büyümesi normal yeniden kristalleşme sıcaklıklarında meydana gelmektedir. oysa 520 °C' de yarım saat sinterlenmiş numuneler soğuk deformasyona tabi tutulduğu takdirde, tane büyümesi sıcaklığı, tane büyümesi sıcaklığı, soğuk deformasyonun şiddetine göre, 720 °C'den 420 °C'nin altına kadar düşmektedir. Böylece sentetik metelsel malzemelerin tane büyümeleri, ergime ile elde edilmiş metallerin yeniden kristalleşme sahasına getirilmiştir. Bunların sonucu olarak şunlar söylenebilir:

1-Presleme basıncının yüksek olması tane büyümesinin başlangıç sıcaklığını çok düşürür; çok yüksek basınçla elde edilen taneler orta basınçlarda elde edilenlerden daha küçüktürler.

2- Tanelerin büyüme başlangıcına ait sıcaklıklar, ergitilerek elde edilen demirin yeniden kristalleşme diyagramında görülen sıcaklıklara nispeten daha yüksektirler.

Farklı tane büyüklüklerinde ve farklı şekillerde hazırlanmış bakır tozlarının sinterlenmesiyle elde edilmiş cisimlerin özellikleri ve sinter mamullerinin yapılarını tayin eden faktörler incelenerek sinterlemeden sonra elde edilen yapının dört faktöre bağlı olduğu anlaşılmıştır.

1-Temel tozun bünyesi (tane büyüklüğü, saflık, yüzey durumu);

2-Sinterleme sıcaklığı;

3-Sinterleme süresi;

4-Sinterleme atmosferi

Sinterlenmiş cisimlerin yeniden kristalleşmesi, elektrolitik olarak elde edilen metelsel tabakalara, sıvı bir fazdan elde edilmiş kristal şekillere, ergime ile elde edilmiş mekanik deformasyona uğramış bazı metallerin durumuna çok benzer. Mesela, adi sıcaklığa kadar soğutulmuş dökme alüminyumun ergime sıcaklığının hemen üzerinde bir sıcaklığa çıkarılmasıyla taneler büyümektedir. Dökümden sonra işlem görmemiş nitalden mamul deney parçalarında, 1300 °C'de hidrojen içinde ısıtıldıktan sonra tanelerin büyümesi ve tane sınırlarının yer değiştirmesi gözlenmiştir edilmiştir.

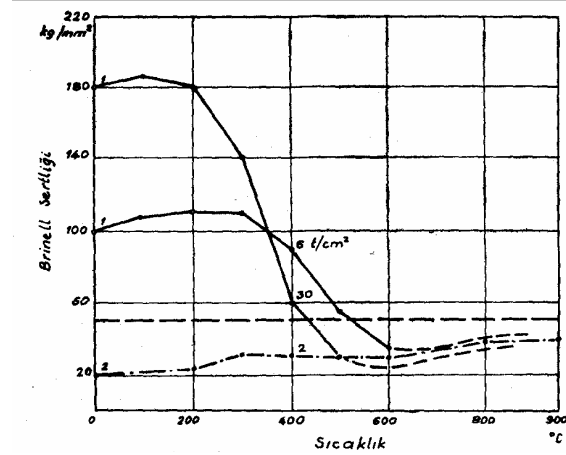
Sinterlenmiş metallerin yapı durumları üzerinde elde edilmiş sonuçlar bir araya toplanırsa, termodinamik bakımdan kararsız toz partiküllerinden meydana gelmiş ve özel bir ısı işlemi tabi



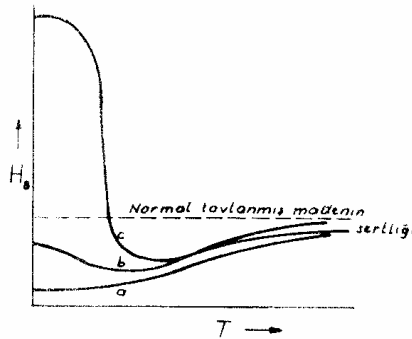
tutulmuş kristal şekillerinde daima tane büyümesi ve tane sınırlarının yer değiştirmesi olayları gözlenir; bu olaylara “yüzeyin yeniden kristalleşmesi” veya dolayısıyla “tanelerin yeniden billurlaşması” denir. Kristali meydana getiren toz tanelerinde daima var olan iç gerilmelerinden ayrı olarak, bilhassa yüksek bir presleme için, ilaveten “lifler-arası distorsiyonlar” olabilir. Bu distorsiyonlar “mekanik olarak veya deformasyonla yeniden kristalleşme” olayını doğururlar. Sinter mamullerin büyük kısmı için, sinterleme atmosferinin iştirak ettiği kimyasal reaksiyonlar yeniden billurlaşma esnasında tane büyümesine yardım ederler.

### c)Sertlik:

Brinell sertliğinin sinterleme sıcaklığının fonksiyonu olarak değişimi Şekil 4.4. ve 4.5.'de gösterilmiştir. Plastik metal esaslı (mesela bakır) ve yüksek basınç altında elde edilmiş komprimelerin sertliği yüksektir. Basıncın alçak olması halinde, sertlik sinterleme sıcaklığının artması sertliğin düşmesine sebep olur. Bu düşüş plastik bir metal olan bakır için nikel nazaran daha fazladır.



Şekil 4.4. Brinell sertliğinin sinterleme sıcaklığının fonksiyonu olarak değişimi (Çiğdem.1996).



Şekil 4.5. Normal tavlı metali ile karşılaştırarak, çeşitli basınçlar altında sıkıştırıldıktan sonra sinterlenen plastik metal tozlarının Brinell sertliklerinin sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişimi (Çiğdem.1996).

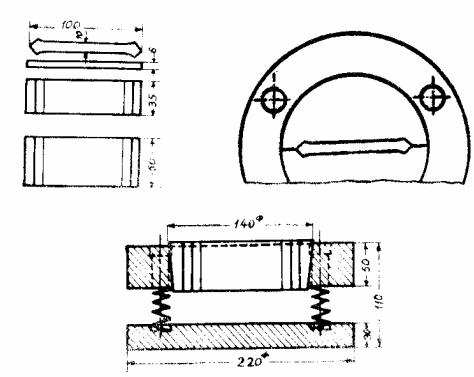
#### d) Mekanik Özellikler:

Çekme mukavemetinin ve kopma uzamasının ölçülmesi için özel bir çubuk kullanılması önerilir (Şekil 4.6.).

a. Alçak basınç ( $2-3^t/cm^2$ )

b. Orta basınç ( $6-8^t/cm^2$ )

c. Yüksek basınç ( $20-30^t/cm^2$ )



Şekil 4.6. Çekme deneyi ve kalıbı (Çiğdem.1996).

Yüksek sıcaklık bölgesinde, kristalleşmeden dolayı sinterleme olayı şiddetlenir. Yüksek basınçların kullanılmasıyla yüksek mukavemetler elde edilir.

Bakırın mukavemeti yüksek sıcaklıkta bir maksimumdan geçtikten sonra biraz azalır; bu maksimum, sinterleme sıcaklıklarında tanelerin süratle büyümesine bağlıdır.

#### e) Elektrik İletkenliği:

Farklı basınçlar altında preslenmiş karbonil nikel tozunun öz direncinin değişimi görülmektedir. Öz dirençlerin ölçülmesi deney parçalarının soğumasından sonra oda sıcaklığında yapılmıştır. Sıcaklığın artmasıyla elektrik direnci önce süratle, yüksek sıcaklıklarda ise daha yavaş azalır. Öz direnç ayrıca alçak sıcaklıkta elde edilen numuneler için, deney parçasının hazırlanmasında kullanılan basıncın küçüklüğü nispetinde artar.

## 4.2. Borlama

Bor'un en çok kullanım alanı metal endüstrisidir. Bor saf şekilde metalurjik reaksiyonlarda bir oksijen giderici ve gaz giderici olarak kullanılır. Bor'un diğer önemli uygulama şekilleri, bazı özel alaşımlarda, yarı iletkenlerin yapımında, kataliz aracı olarak, aşındırıcılarda (abrasive'lerde),

metaller ve seramiklerde kuvvetlendirici unsur, ayrıca nükleer reaktörlerin konstrüksiyonunda yüksek-yoğunluklu betona bir katkı maddesi olarak, uranyum-grafit pillerinde bir kontrol aracı olarak nötronları absorblamak için (bor çeliği veya  $B_4C$  şeklinde) dir. Bor'un birçok önemli bileşikleri üretilmekte ve çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

Ferrobör alaşımları  $Fe_2B$ ,  $FeB$  gibi metaller arası bileşiklerden oluşmaktadır. Fe – B ikili faz diyagramına göre 1534 °C de ergiyen demir ve 2200 °C de ergiyen borun oluşturduğu sistemde, % 8.83 B içeren tetragonal kafese sahip  $Fe_2B$  ve % 16.2 B içeren ortorombik kafese sahip  $FeB$  fazları oluşmaktadır (Ullmanns,1974). 1149°C sıcaklık ve % 3.8 Bor bileşiminde bir ötektik nokta oluşmaktadır (Sarper. 2004; Atik.1997; Matuschka.1980; Selçuk.1994; Bozkurt.1984).

Çizelge 4.2.'de borlu tabakayı meydana getiren  $Fe_2B$  ve  $FeB$  bileşiklerinin bazı özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 4.2.**  $Fe_2B$  ve  $FeB$ 'nin bazı özellikleri (Matuschka.1980; Selçuk.1994).

Özellik	$Fe_2B$	$FeB$
Ergime noktası (°C)	1390	1550
Mikro Sertlik (HV)	1600-2000	1600-2400
Uzama Katsayısı (1000 °C)	$8 \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}K$	$10-16 \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}K$
Termal İletkenlik (1000 °C)	0.2-0.3 W/(cm °C)	0.1-0.2 W/(cm °C)
Curi Noktası (°C)	742	325
Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	7.00	6.3
Kristal Sistem	Tetragonal hacim merkezli	Ortorombik
Kafes Parametreleri (Å)	a:5.078, b:4.249	a:4.053, b:5.495, c:2.496

1975 yılında ferrobör alaşımlarının üstün manyetik özelliklerinin bulunması, bu alaşımların elektrik sektöründe büyük kullanım alanı bulmasına neden olmuştur. Özellikle % 3 B, % 5 Si içeren demir esaslı alaşımların, amorf metal (metalik cam) olarak sac haline getirilerek trafolarla kullanılabilmesi, konvensiyonel tane yönlenmiş silisyumlu saclara göre 1/3 oranında çekirdek kayıplarını azaltmıştır (Yücel.1992).

#### 4.2.1. Borlama Yöntemleri

Borlama termokimyasal bir yüzey sertleştirme yöntemi olup, esas olarak metal yüzeyine bor atomu difüzyonu olarak tanımlanabilir. Borlama teknik olarak oldukça geliştirilmiştir. Bor atomları ısı enerjisi etkisiyle metal yüzeyine yayınırlar ve esas metal atomlarıyla uygun borürler oluştururlar. Aynı zamanda yaygın şekilde sert ve aşınma direnci fazla tabakalar elde etmede kullanılmıştır. Bu işlem bor atomlarının metalik malzemelerin yüzeyinden içeriye doğru difüzyonu

ile olmaktadır. İnce tabakalı Fe borür ( $Fe_2B$ ) fazı özellikle endüstriyel uygulamalar için istenmektedir.

Dolgu malzemesi ve deoksidantlar ise borlama esnasında oksijeni tutarak redükleyici bir ortam oluştururlar ve borlama malzemesinin ana malzemeye yapışmasını önlerler. Borlama işlemi esnasında kullanılan yöntem, borlama malzemesinin bileşimi, borlanacak malzeme cinsi, işlem süresi ve işlem sıcaklığı elde edilen tabakaya etki eden faktörlerdir. Genel olarak çelik borlama ortamında 850 – 1000 °C sıcaklıkta 2 - 8 saat bekletilerek borlama gerçekleştirilir. Borlama dört ana grupta incelenmektedir. Bunlar; katı, sıvı, gaz ve pasta halinde bor verici gereç ile yapılan borlama ortamlardır (Sarper.2004).

#### 4.2.1.1. Katı Ortamda Borlama

Borlama işlemine tabi tutulacak malzeme, toz halindeki bor verici ortam içinde genellikle 900 – 1000 °C sıcaklıkta 4-10 saat bekletilerek borlama işlemi gerçekleştirilir. Bir tür kutu sementasyona benzeyen bu yöntem, soy gaz atmosferinde yapılabileceği gibi sıkı kapatılmış kutularda olmak şartı ile normal atmosferde de yapılabilir. Borlanacak yüzeylerin etrafında elde edilmek istenen borür tabakasının özelliklerine göre tozların tane büyüklükleri 5-10 µm olmalıdır.

Borlama ortamının ana bileşeni bor karbür ( $B_4C$ ), amorf bor ve ferro-bor olup bunların fiziksel özellikleri Çizelge 4.3.' de verilmiştir.  $B_4C$  diğerlerine göre ucuz olduğundan tercih edilir.

Ana borlayıcı kaynağa ilave olarak  $NH_4Cl$ ,  $BaF$ ,  $NaBF_4$ ,  $NH_4F$ ,  $Na_2CO_3$ ,  $KBF_4$  ve  $Na_2AlF_6$  gibi aktivatörler kullanılır.

**Çizelge 4.3.** Katı ortam borlamasında kullanılan maddelerin bazı özellikleri (Bozkurt.1984).

Malzeme	Molekül ağırlığı	Teorik Bor Miktarı (%)	Ergime Sıcaklığı (°C)
Amorf Bor	10.82	95 – 97	2050
Ferro-Bor	-	17 – 19	-
Bor karbür	55.29	77.28	2450

Borlama işlemi sonucu oluşan  $Fe_2B$  ve  $FeB$  fazları arasındaki ısıl genleşme farklılıkları nedeni ile yüzeyde çatlamlar meydana gelir. Bu durum bazı endüstriyel uygulamalar için borlamayı kabul edilemez kılar. Bu olumsuz etkiyi yok etmenin çaresi oluşan fazlardan birini azaltmak yada ortadan kaldırmaktır. Bu faz  $FeB$  fazıdır. Katı ortam borlamasının kullanılması bu sonucu mümkün hale getirmiştir. H. P. Kehler tarafından bor kaynağı olarak  $B_4C$ , aktivatör olarak  $KBF_4$ ,

deoksidant ve dolgu malzemesi olarak SiC kullanılmıştır. Bu sayede tek fazlı (Fe<sub>2</sub>B) borür tabakalar yada FeB oranının önemli ölçüde azaldığı tabakalar elde edilmiştir (Göy.1984).

\*Katı borlamanın avantajları:

- Sistem ucuzdur.
- Özel teknik gerektirmez.
- Kolay elde edilebilir.
- Toz terkibi değiştirilebilir.
- Minimum ekipman ve düşük maliyet olarak sıralanabilir.

\*Dezavantajları:

- Borun dağılması her yerde eşit değil (Pengxun. 1992).

#### 4.2.1.2. Sıvı Ortamda Borlama

Bor verici ortam sıvıdır. Borlanacak malzeme, 800 – 1000 °C sıcaklıktaki bu ortamda 2 - 6 saat bekletilerek bor yayılımı gerçekleştirilir.

**Çizelge 4.4.** Sıvı ortam borlamasında kullanılan ana bor kaynakları ve özellikleri.

Malzeme	Formül	Molekül Ağırlığı	Teorik Bor Miktarı (%)	Ergime sıcaklığı (°C)
Boraks	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> .10H <sub>2</sub> O	381.42	11.35	-
Susuz Boraks	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	201.26	21.50	741
Meta bor asidi	HBO <sub>2</sub>	43.83	24.69	-
Sodyum bor florid	NaBF <sub>4</sub>	109.81	9.85	-
Borik oksit	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	69.64	31.07	450
Bor karbür	B <sub>4</sub> C	55.29	78.28	2450

Sıvı ortama elektrik akımı (elektroliz) uygulanarak da borlama işlemi yapılabilir. Buna göre sıvı ortamdaki borlama “elektroliz” ve “normal sıvı ortam borlaması” olmak üzere ikiye ayrılır.

#### 4.2.1.3. Gaz Ortam Borlaması

Gaz ortam borlamasında kullanılan maddelerin çoğu oldukça hassastır. Bunlar; BFe<sub>3</sub>, BCl<sub>3</sub>, B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, (C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>)<sub>3</sub>B dir. Bunlardan di boran (B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), H<sub>2</sub> ile beraber uygulandığında çok olumlu sonuçlar alınabilmektedir. Gaz ortamında borlamanın avantaj ve dezavantajlarını incelersek;

- Avantajları:

Gaz sirkülasyonunun bir sonucu olarak borun daha çok yayılması,  
Katı borlama işlemine göre gelişmiş sıcaklık kararlılığı ve elde etme kolaylığı.

- Dezavantajları:

Trimetil bor ( $\text{CH}_3$ )<sub>3</sub>B ise; borlama ile birlikte C yayılımına da neden olarak tabaka kalitesini bozar.  
Tesisatı pahalıdır.

Ortam zehirlidir.

Patlama tehlikesi büyüktür.

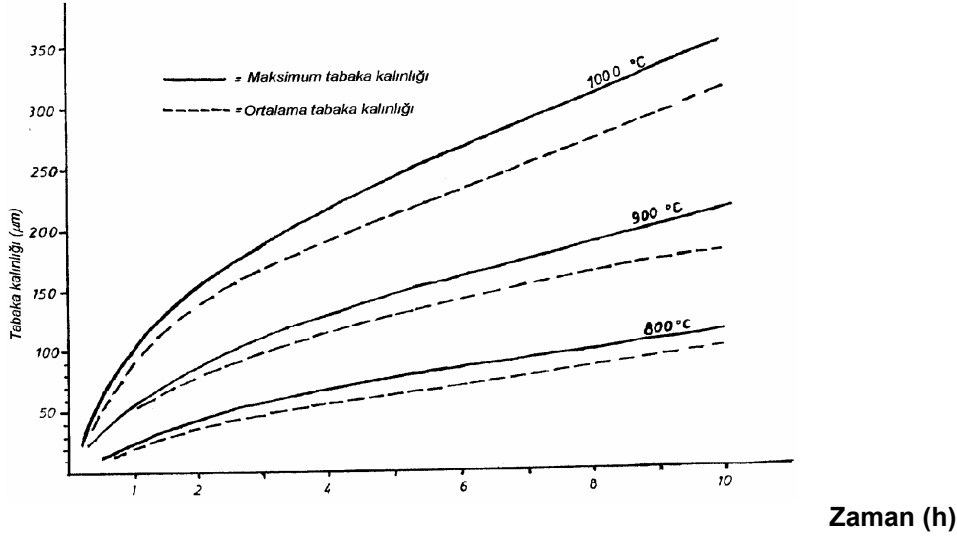
Bu dezavantajlar gaz ortamda borlama uygulamasını sınırlamaktadır.

#### **4.2.2. Borür Tabakasının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri**

Borlanan malzemenin cinsi, borlayıcı ortamın bileşimi, işlem şekli, sıcaklık ve süre borür tabakasının kalınlığına etki eden faktörlerdir. Teorik olarak tabaka kalınlığı sınırsızdır. Bu durum ancak işlem sıcaklığı ve süresinin artmasıyla mümkündür. İşlem sıcaklığının Fe-B denge diyagramındaki ötektik sıcaklığın (1149 °C) altında olması gerekir. Bu sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklarda bölgesel erimeler meydana gelerek malzeme yüzeyini bozabilir [44]. Zaman faktörü ise ekonomik açıdan belli bir değeri aşmayacaktır. Şekil .4.7.'de Ck 45 çeliği ve Ekabor-1 borlayıcısı kullanılarak yapılan çalışmada tabaka kalınlığının zaman ve sıcaklıkla değişimi görülmektedir.

Tabaka kalınlığını sınırlayan bir diğer faktör de kırılgenliktir. Tabaka kalınlığı arttıkça kırılgenliği de artacağı için özellikle çift fazlı tabakalarda kalınlığın fazla olmaması gerekmektedir (Fictl.1981).

Çelik esaslı malzemeler için kullanım şartlarına göre 20-200 µm tabaka kalınlığı uygundur. Kırılgenlik yönünden alaşımlı çeliklerde 100 µm, alaşımsız çeliklerde 200 µm kalınlığa, hatta darbesiz aşınmaya maruz parçalarda su vermemek kaydıyla 400 µm kalınlığa çıkılabilmektedir. Borlama sıcaklığının artması tabaka kalınlığının arttırmasına ilaveten poroziteyi de arttırarak tabakanın gevrekliğine yol açar (Selçuk.1994).



**Şekil .4.7.** Ekabor-1 ile borlanmış Ck 45 çeliğinin tabaka kalınlığının zaman ve sıcaklıkla değişimi (Matuschka.1980).

### 4.2.3. Borlanabilen Malzemeler

Bütün demir esaslı malzemeler, örneğin yapı çelikleri, sementasyon çelikleri, ıslah çelikleri, takım çelikleri, çelik döküm, gri dökme demir, T/M malzemeler borlama için uygundur. Demir esaslı malzemelere ek olarak başka element ve bileşikleri de borlamak mümkündür [47]. Borlama işlemi gerek toz, gerekse diğer yöntemlerle üretilen bütün ferro alaşımlara uygulanabilmektedir. Refrakter metaller (W, Ta, Mo, Zr, Hf, Nb), karbürler (özellikle Co ile bağlı WC) ve Ni esaslı alaşımlara başarılı bir şekilde uygulanarak özel yapıda borlu tabakalar elde edilebilmektedir. Ti ve Ti esaslı alaşımlara bor yayını ile aşınmaya dayanıklı TiB<sub>2</sub> tabakası elde edilebilmektedir (Krzyminski. et al,1973). Titanyum ve titanyum alaşımlarının borlanması tercihen 1000-1200 °C arasındaki sıcaklıklarda yapılmalıdır. Titanyum ve refrakter metaller üzerinde oluşan borür tabakasının sertlik değeri nikel ve kobalt üzerinde oluşan tabakaya göre çok yüksektir (Sinha.1982).

Yeni geliştirilen yöntemlerle Cu ve alaşımlarına da uygulanabilmektedir. Fakat düşük ergime sıcaklığına sahip Zn ve Al'a uygulanamamaktadır (Bozkurt.1984). Bahsedilen malzemelerin borlama işlemleri demir esaslı malzemelerin borlanmasından farklı değildir (Matuschka.1980).

### 4.3. Hızlı Soğutma (Su Verme)

Su verme işlemi toz metal parçalara da uygulanabilmektedir. Bir metal alaşımının dönüşüm bölgesinin üstünde ve içindeki bir sıcaklığa kadar ısıttıktan sonra bu sıcaklıktan kritik soğuma hızına göre bir ortamda soğutma işlemidir toz metal çelik parçalara su verme yolu ile çekirdeğe kadar sertleşme elde edilebilmesi için parçanın ostenit bölgesine kadar ısıtılması gerekmektedir. Yalnız tozun özelliğine göre bu sertleşme çekirdeğe kadar sağlanamayabilir.

Su verme (soğutma) işlemi, parçanın bileşimi ve kesit kalınlığına bağlı olmak üzere suda, salamura, yağda, tuz banyosunda ve havada yapılabilir. Tam sertlik elde edebilmek için parça hızla soğutulabilmelidir. Fakat aşırı hızla soğutma çatlaklara sebep olacağından, üretim şartlarına göre çok yüksek kapasiteli bir soğutma sistemi de sakıncalıdır. Parçanın dış yüzeyinde elde edilen sıcaklığı iç kısımda da elde etmek için sıcaklık altında parça bekletilir ve böylece parçanın her yerinde aynı sertlik elde edilmiş olur. Su verme işlemi ile ostenitik sıcaklıkta karbon katı eriyik içinde tamamen çözülmüştür. Ostenitleştirmemizin sebebi demir atomunun kristal yapısının içine karbonun tamamen yerleşmesini sağlamaktadır. Ostenit bölgesine kadar ısıtılması sonra bu sıcaklıktan hızlı soğutulması gerekir. % 0,25-0,3 karbon içermelidir. Su verme ortamının sıcaklığı martenzit oluşum sıcaklığının altında olmalıdır.

Su verme sonucunda martenzitik yapı elde edilir. Martenzitik yapının mikroskop altında iğneli bir yapısı vardır. İğneler kabalaştıkça malzemenin kırılabilirliği artar (Monson et al, 1963).

Su verme neticesinde mekanik özellikler şu şekilde değişir:

1. Malzemenin çekme mukavemeti artar,
2. Sertlik artar,
3. Elastik sınırı artar,
4. Uzama azalır,
5. Süneklik azalır,
6. Kesit büzülmesi azalır,
7. Kırılabilirlik artar

### 4.4. Temperleme (Menevişleme)

Toz metal parçalara uygulanan bir diğer ısı işlemi temperlemedir. Sertleştirme işlemi sonucunda elde edilen martenzitik yapı sert ve gevrek olup ostenitin martenzite dönüşümü esnasında oluşabilecek istenmeyen özellikleri önlemek için menevişleme yapılır. Menevişleme (temperleme) işlemi ile sertlik ve kırılabilirlik özelliği düşer, tokluk özelliği artar.



Menevişleme işlemi, çelik parçaların A3, A2, Ac, Ar altındaki bir sıcaklığa kadar ısıtılıp o sıcaklıkta bir süre bekletildikten sonra soğutulması işlemidir. Meneviş sıcaklığına bağlı olarak mekanik özellikler değişir. Meneviş sıcaklığı artarken sertlik düşer, tokluk artar. Menevişleme sıcaklığına bağlı olarak mikroyapı da farklılık gösterir. 200 °C meneviş sıcaklığına kadar martenzitin dağılmış görünümü koyudur ve siyah martenzit adını alır. Bu sıcaklığa kadar yapılan menevişleme işleminde martenzitin tetragonal kristal yapısı bozularak karbür ve düşük karbonlu martenzit oluşur. Bu durumda çelik yüksek sertliğe sahip olmasına rağmen gerilmelerin büyük kısmı ortadan kalkmıştır. 230-400 °C aralığındaki menevişleme sonucu, karbür sementite, düşük karbonlu martenzit hacim merkezli ferrit yapıya ve eğer sertleştirme sonucu artık ostenit kalmış ise bu da alt beynite dönüşür. Sertleştirme işleminden sonra bünye ve dolayısıyla mekanik özellikler meneviş süresine, çelik cinsine ve ısıtılma amacına bağlı olarak değişir. Özellikle martenzit ve artık ostenitteki değişimler menevişleme sonucu ortaya çıkar

Menevişleme işleminin 400-650 °C aralığında yapılması halinde sementit taneleri büyür. Bu tanelerin birikerek büyümeleri, matriksi oluşturan ferrit yapısının belirginleşmesine neden olur. 650 °C 'nin üzerinde yapılan menevişleme işlemi sonucu küresel sementit taneleri elde edilir. Menevişleme sonucu elde edilen mikro yapılara menevişlenmiş martenzit denir. Isıtılan malzeme oda sıcaklığında soğutulur. Temperleme süresi 30 dakika ile 2 saat arasında değişir (Sisko.1957).

#### **4.5. Sementasyon**

Sementasyon işlemi toz metal parçalar içinde uygulanabilen bir ısıtılma yöntemidir. Bir çelik için karbürizasyon (Sementasyon) işleminde tipik olarak % 0.1-0.2 karbon içeren az karbonlu bir çeliğin yüzeyi karbonca zenginleştirilir. Karbürleşmiş yüzey katmanının karbon içeriği yaklaşık % 0.8-1 C'na yükseltilir. Çeliğin YMK ostenitik yapıda olduğu üst dönüşüm sıcaklığı olan A üzerindeki sıcaklıklarda çeliğe karbon ilave edilir. Çelik, ostenitte karbon arayer katı eriyebilirliğinin iyi olduğu ostenitik şartlarda olmalıdır. Demirde karbon eriyebilirliği Fe-C alaşımlarında sıcaklıklardaki artışla birlikte 723 °C'de yaklaşık % 0.8'den 1148 °C'de yaklaşık % 2'ye yükselir. 723 °C'nin altında HMK ferritte karbon çok düşük bir eriyebilirliğe (yaklaşık % 0.002 maksimum) sahiptir ve bu nedenle de Sementasyon bu sıcaklığın altında mümkün değildir.

Sementasyonda 790 °C'ye (1400 °F) kadar düşük ve 1095 °C'ye (2000 °F) kadar yüksek sıcaklıkların kullanılabilmesine rağmen sementasyon genellikle 850-950 °C (1550-1750 °F) arasında yapılır. Yüksek sıcaklık sınırlaması öncelikle fırın ekipmanlarının sınırlılıklarından kaynaklanmaktadır. Sementasyondan sonra çalışılan parçaya genellikle yüzeyde martensitik bir yapı oluşturmak için su verilir. Bu nedenle sementasyon uygulamasında yüzeyi sertleştirilmiş ve

iç kısmı tipik olarak az karbonlu bir çeliğin dayanım, süneklik ve tokluğuna sahip olan bir çelik üretilir.

Endüstride sementasyon işlemi aşınma, temas ve eğilme yorulmasına karşı yüzey direncinin gerekli olduğu dişliler, yataklar ve şaftlar gibi makine parçalarına yaygın olarak uygulanır. Sementasyon işlemi aşınma ve yorulma direncine ilaveten iyi kırılma tokluğunun gerekli olduğu ağır iş dişlilerine de uygulanır (William.1957).

#### **4.5.1. Sementasyon Çelikleri**

Sementasyon için çeliklerin seçimi, karbon ve alaşım içeriğine, tane büyüme özelliklerine, işlenebilirlik ve maliyet gibi pek çok değişkenlere bağlıdır. Yaklaşık % 0,2 karbon içeren sade karbonlu düşük alaşımlı çeliklerin her ikisi de en çok yaygın olan sementasyon çelikleridir. Sade karbonlu çelikler kullanılan parçanın çarpılmasının kritik olmadığı ve iç kısmın yüksek dayanım gerektirmediği yerler için yeterlidir. Sementasyon çelikleri için en yaygın alaşım elementleri nikel (% 0,5-3,5), krom (% 0,4-1,4) ve molibdendir (% 0,1-0,3). Kükürt içeren çelikler işlenebilirlik yeteneğini arttırmak için kullanılır. Karbürlü çelikler uzun süreli yüksek sıcaklık sementasyon işlemi sırasında ostenitik tane irileşmesini önlemek için alüminyumla deokside edilmiş olmalıdır.

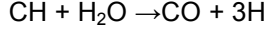
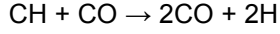
Sade karbonlu çeliklerin iç kısmı genellikle nispeten düşük dayanımlı ferrit+perlitik mikro yapıdan oluşur. Küçük miktarda Ni, Cr ve Mo içeren düşük alaşımlı çelikler iyileştirilmiş dayanım ve tokluğa sahip olan az karbonlu martensitik iç yapılar oluşturur. Düşük alaşımlı çelikler iyileştirilmiş sertleşebilirliklerinden dolayı hızlı soğuma sırasında daha az çarpılma ve çatlama eğilimi gösterirler. Alaşımlı çelikler de genellikle iyileştirilmiş yorulma direncine sahiptirler (William.1957).

#### **4.5.2. Gaz Sementasyonu**

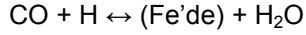
Gaz sementasyonunda iş parçası karbon içeren hidrokarbonlar, metan, etan ve propan gibi gazlarla temas halinde ısıtılır. Sementasyon gazları, küçük miktarda karbondioksit (CO) hidrojen (H) ve su (H<sub>2</sub>O) ile beraber başlıca azot (N) ve karbon monoksitten meydana gelen taşıyıcı gaz endotermik seyreltilerdir. Bu gazlardan N asaldır ve sadece seyreltici olarak davranır. Taşıyıcı gaz çelik yüzeyine sağlanan karbon miktarını kontrol etmek için hizmet verir ve is kalıntı oluşumunu önler.

Sementasyonda ilgili olan reaksiyonlar tanı olarak bilinmemekle beraber oluşan reaksiyonların aşağıdaki reaksiyonlar olduğu sanılmaktadır. İlk olarak metan veya propan gaz karışımlarının

zenginliği aşağıdaki gibi yavaş bir reaksiyonla, sementasyon işleminde karbon için özellikle kaynak sağlar.



Bu reaksiyonlar CO ve H<sub>2</sub>O'nun yoğunluklarını azaltır ve CO ve H miktarını artırır. Daha sonra da CO birikim etkisini azaltarak baştan başa aşağıdaki tersinir reaksiyonla elik yüzeyine difüzyonunu sağlar.



Sementasyon sırasında karbon potansiyelinin kontrolü taşıyıcı gazın sabit akışının korunması ve hidrokarbonca zengin gaz akışını değiştirmekle sağlanır. Gaz sementasyonunun sıvı ve katı sementasyon işlemlerine göre üstün bir avantajı yakın işlem kontrolünün yapılabilmesidir (William.1957).

#### 4.5.3. Semantasyon Uygulanmış Parçalara Su Verilmesi

Karbrlenmiş parçalarda sertleştirilmiş bir yüzey katmanı oluşturmak için genellikle ostenitik şartlardan su verilir. Direk su vermenin maliyeti iş parçasını oda sıcaklığına su verme ve daha sonra da su vermeden önceki ostenitik bölgeye tekrar ısıtmadan daha azdır. Bu nedenle maliyeti azaltmak için çoğu gaz karbürlenmiş parçalar oda sıcaklığına soğutulmaksızın direk olarak yaklaşık Sementasyon sıcaklıkları 925 C (1700 F) veya 845 C'den (1550 F) su verilir. Sıcaklıkta 925 C'den 845 C'ye (1700-1550 F) düşme, sementasyon sıcaklığını düşürmekle, iş parçasını fırının düşük sıcaklık bölgesine taşımakla veya iş parçasını bir başka fırına transfer etmekle sağlanır (William.1957).

#### 4.5.4. Semantasyon Uygulanmış Parçaların Temperlenmesi

Pek çok karbürlenmiş ve sertleştirilmiş parçaların kullanımı çatlama ve yontulmaya karşı kritik değilse bu parçalar temperleme yapılmaksızın hizmete konur. Diğer taraftan pek çok karbürlenmiş parçalara 150-190 C (300-315 F) sıcaklık aralıklarında düşük sıcaklık temperleme

işlemi yapılır. Çünkü bu sıcaklık aralıklarında sertlik çok fazla azalmaz, tokluk ve çatlama karşı direnç hafifçe artar (William.1957).

#### **4.6. Azotlama ( Nitrüleme)**

Karbonlamaya benzer şekilde çeliğin yüzeyine azot difüzyonu yapılır. Çelik içine giren azot sert ve kararlı nitrür bileşikleri oluşturur. Azotlama işlemi gaz ve sıvı ortamında yapılabilir. Azotlama işlemi, çeliğin yüzey sertliğini artırmak, pullanma ve aşınma dayanımını artırmak, yorulma dayanımını artırmak, korozyon dayanımını artırmak ve yüksek sıcaklıklarda sertlik kaybını azaltmak için uygulanır. Azotlama işlemi yapıldıktan sonra hızlı soğutma gerekmediği için parçanın çarpılması söz konusu olmaz.

Alüminyum, krom, vanadyum, volfram ve molibden elementleri, nitrüleme sıcaklığında nitrür bileşikleri oluşturdukları için bu alaşım elementlerini içeren alaşımlı çelikler nitrülemeye elverişlidir. Ayrıca molibden elementi temper gevrekliği riskini azaltır. Nikel, bakır, silisyum, mangan gibi elementlerin etkisi çok azdır. En kuvvetli nitrür oluşturan % 0.85-1.5 allüminyum içeren çeliklerdir. Alaşımsız karbonlu çeliklerin gaz ortamında nitrülenmesi, kırılgan bir kabuk oluşumundan dolayı uygun değildir.

Sertleşebilen tüm çelikler nitrülemeden önce sertleştirilmeli ve nitrüleme sıcaklığının üzerinde menevişlenmelidir. Bu şekilde sert nitrür tabakasının altı sağlamlaştırılmış olur ve nitrür tabakasının pullanma riskini azaltır. Nitrüleme yapılmadan önce yüzeyin iyice temizlenmesi gerekir.

Sertlik derinliği sementasyona göre daha azdır. Sementasyon ile elde edilen yüzey sertliği 850-900 HV ise nitrüleme ile 1200 HV' ye ulaşır ki bu da daha iyi aşınma dayanımı oluşturur.

Martenzit mikroyapısı sıcaklıkla bozulur; fakat nitrüleme ile oluşan mikroyapılar, sıcaklıkla bozulmaz ve yumuşamaz. Nitrüleme işlemi sıcak ortamlarda çalışan parçalar için önemlidir. Sıcak ortamlar için geliştirilmiş olan sıcak iş takım çelikleri, sertleştirildikten sonra son şekil verilir ve nitrüleme yapılabilir. Nitrüleme işlemi esnasında sertliklerinde herhangi bir azalma olmaz. Bu şekilde yüzeyi sert ve aşınma dayanımı iyi, sıcakta sertliği bozulmayan parçalar üretilebilir.

##### **4.6.1. Gaz Nitrüleme**

Gaz nitrürasyonunda, azot verici olarak genellikle amonyak kullanılır. Nitrürasyon sıcaklığı 495-565 °C arasında değişir. Gaz nitrürasyonun iki kademedeyi yapılması daha iyi netice vermektedir.

Birinci kademedede % 15-30 ayrıışmış amonyak altında, ikinci kademedede % 65-80 ayrıışmış amonyak altında yapılır. Nitrürasyon sıcaklığı 495-525 °C arasında yapılması durumunda, amonyağın ayrıışma oranı % 15-30 dur ve yüzeyde azotça zengin kırılğan beyaz tabaka oluşur. Sıcaklığın 550-565 °C olması durumunda amonyağın ayrıışma oranı % 65-80 aralığındadır. İki kademedede nitrürasyon sıcaklık değiştirmeden de yapılabilir. İkinci kademenin yüksek sıcaklıkta yapılması daha derin kabuk verir, fakat yüzey sertlik değeri biraz düşük olur.

#### 4.6.2. Sıvı Nitrürleme

Sıvı ortam olarak tuz banyoları kullanılır. Çalışma sıcaklıkları gaz nitrürlemedeki gibidir. Nitrürleme için gerekli olan azot siyanürden elde edilir.

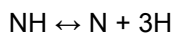
Nitrürleme, çelikler ferritik (HMK) şartlarda iken belirli sınıflardaki çeliklerin yüzeyine atomik yapıda azot (N) ilave ederek yapılan bir yüzey sertleştirme işlemidir. İşlem sıcaklığı genellikle işlem gören çelik tipine ve arzu edilen derinliğe bağımlı olarak 1-100 saat süreyle 495-595 °C'ler (925-1100 °F) arasındadır. Bu şartlar altında alüminyum krom, molibden ve vanadyum gibi alaşım elementleri içeren çeliğin yüzeyinde veya yakınında nitrürler oluşur. Nitrürleme sıcaklığında alaşım nitrürlerinin oluşumu sertleşme etkisi sağlar.

Çeliklerin yüzeyinin nitrürlenmesi için prensip nedenler:

1. Yüksek bir yüzey sertliği sağlamak,
2. Aşınma direncini ve sürtünerek ısınma özelliklerini iyileştirmek,
3. Yorulma ömrünü uzatmak,
4. Nitrürleme sıcaklığına kadar yüzeye ısı direnci sağlamak.

Nitrürleme, işlemi çeliği östenitik sıcaklıklara ısıtmayı ve ardından martensit oluşturmak için su vermeyi gerektirmediği ve nispeten düşük sıcaklıklarda yapılabilirdiği için iş parçasında Sementasyon veya geleneksel su verme ve temperleme işlemlerinden daha az çarpılma deformasyonu oluşur. Bu nedenle nitrürleme nitrürleme esnasında hacim değişiklikleri nispeten küçüktür. Çünkü östenitten ferrite dönüşüm yoktur.

Tipik bir gaz nitrürleme düzenlemesinde amonyak gazı kullanılır. Amonyak gazı aşağıdaki reaksiyona göre çelik yüzeyine ayrıışır.



Üretilen atomik, azot sıcaklık ve azot konsantrasyonuna bağımlı olarak çelik yüzeyine emilir, çelik yüzeyinin altında çok sayıda farklı demir nitrürleri oluşur. Başarılı nitrürleme için çelik yüzeyinde

devamlı taze amonyak gazı sağlayan gaz akışı varlığının kontrolü gereklidir. Aşırı azot sağlanması çelik yüzeyinde kalın demir nitrürler katmanının (beyaz katman) oluşumuna neden olabilir. Bu katman çok kalın olursa taşlama ile uzaklaştırmak zorunda kalınabilir.

Nitrürlenmiş katmanlar Sementasyon ile üretilen katmanlardan daha serttir ve nitrüleme sıcaklıklarına kadar oldukça dengelidir. Nitrürlenmiş çelikler mükemmel aşınma, sarma ve sürtünme ısınması direncine sahiptir ve özellikle temas halinde hareket eden parçalar arasında sürtünme ile oluşan ısıya karşı direnç için tasarlanırlar. Nitrüleme ile yüzeyi sertleştirilmiş parçalar, kam millerini, dişlileri, delme parçalarını, iğleri, dişli çarkları ve buhar valflerini içerir (William.1957).

#### 4.7. Karbonitrürasyon İşlemi

Karbonitrasyon işlemi toz metal parçalarada uygulanabilen, sementasyon ve nitrasyon işlemlerinin kombinasyonudur. Karbon ve azot aynı anda ve yüksek miktarlarda çeliğe nüfuz ettirilir. Azot, A sıcaklığını çok düşürdüğünden, sementasyonun azot difüzyonu ile aynı zamanda düşük sıcaklıkta yapılması gereklidir. Ostenit sahası henüz 650-700 °C sıcaklıklarında mevcudiyetini koruduğundan, azot difüzyonunun hızlı olabildiği bu sıcaklıklarda, ostenite karbon difüzyonu da yapılabilir. Bu sıcaklıktan hızlı soğutma yapılırsa, martensitik yapıya da ulaşılabılır. Bu sıradan azot içermeyen çekirdek A sıcaklığına ulaşmadığından, çekirdek sertleşmesi olmaz. Bunu anlamı, böylesi bir kombinasyon yüksek sıcaklıkta menevişlenmiş ıslah çeliklerinin sementasyonunda kullanılabilir. Bu yöntemle, normal sementasyonla sertleşmeye nazaran daha iyi özellikte çekirdek yapısına ulaşılır. Çekirdekte dönüşümün engellenmesi, dönüşümle hacim değişmesi olmaması nedeniyle, ısıtmada daha az deformasyon anlamına gelir. Bir diğer kazanç da, azotun perlit kademesindeki maksimum dönüşüm hızını azaltmasıdır. Böylece, alaşımız çeliklerde de yağda sertleştirme yapılabilir, ayrıca sıcak banyoda sertleştirme de mümkündür.

Yağda ve sıcak banyodaki daha yavaş soğumalar, gerilmelerin de azaltılmasını sağlar. Sıcak banyo kullanıldığında, banyo sıcaklığı Ms sıcaklığının hemen üzerinde seçilerek, çekirdekte ara kademe (beynit) dönüşümü sağlanabilir ve bu arada cidar ostenitik olarak kalır. Ardından yapılan havada soğutma ile de cidarda martensit oluşturulur. Karbonitrasyonda özellikle, çelikte azotun dışında alaşım elementi varsa, yüksek miktarda artık ostenit kalabileceğine dikkat etmek gereklidir. Bu durum, sıfırın altındaki sıcaklıklarda derin soğutmayla düzeltilebilir.

Karbonitrasyon sonucunda yeni elde edilecek yapı, seçilen sıcaklık değerine çok bağımlıdır. Sertleştirmeden önce en dış cidar tabakası sementit, nitrür ve karbonitrür, geçiş bölgesi ise yüksek miktarda azot ve karbon içeren ostenitten oluşur. Sıcaklık ne kadar yüksek ise, karbonu

ve azotu zenginleşmiş bölge o kadar kalın teşekkül eder ve o kadar da çok sementit çökeler. Yükselen sıcaklık, difüzyon hızını artırır ve cidardaki karbon miktarını yükseltir. Yüksek sıcaklıklarda artan difüzyon hızına karşın, azot en dış bölgeye yerleşir ve çekirdek yönünde difüzyonu engeller ve azaltır. Düşük sıcaklıkların daha az deformasyona yol açması, çekirdek dönüşümünün olmaması gibi avantajları nedeniyle, işlemden yüksek sıcaklıklar pek tercih edilmez. Gaz nitrürasyona karşılık olarak, düşük sıcaklıkta yapılan banyo karbonitrasyon'a identik sayılabilecek, banyo nitrasyondan daha kısa olan işlem sürelerinde (yaklaşık 570 °C sıcaklıkta 1 ila 3 saat), alaşımız çeliklerde bile iyileştirilmiş aşınma direncine ulaşır. Bu işlem, siyanatın (CNO) parçalanmasıyla serbest kalan karbonun kısmen bağlantı tabakasına yerleştiği (karbonitrür teşekkülü) ve bu tabakanın dayanımı ve sertliğini yükselttiği, siyanür (çok zehirli) ve siyanat içeren tuz banyolarında gerçekleştirilir. Banyo karbonitrür tabakasının gözeneği azdır ve karşı malzemeye nazaran çok daha az aşınma eğilimi gösterirler. Ancak, pek az kalınlıklarından dolayı (yaklaşık 10 ila 20 µm) banyoda nitrürasyon yapılmış parçaların yüzey baskılarına karşı dayanımı azdır. Alaşımız çelikler banyo nitrürasyon işleminden sonra, mümkün olduğu kadar su içerisinde ani soğutulurlar. Böylece, azotça aşırı doymuş difüzyon bölgesi, yaşlanma olayı ile oda sıcaklığında sertleşir.

Eğer işlem aynı sıcaklık ve süre içerisinde, örneğin propan ya da hava gazı gibi karbon verici maddeler içeren amonyak atmosfer içerisinde (gaz karbonitrasyon) gerçekleştirilirse, banyo nitrasyon tabakasında sözü edilen yapıdaki bir tabaka, benzer özellikli olarak elde edilir. Bu yöntem banyo nitrasyona nazaran, daha iyi ayar edilebilirlik, zehirli tuzlardan çevrenin kirlenmemesi ve işlem yapılan parçalarda sonradan temizlik gerektirmemesi gibi üstünlüklere sahiptir.

590 °C sıcaklığının altında karbonitrasyon uygulanmış parçalarda, özellikle bağlantı bölgesinde aşınma dayanımında oldukça yükselme olur. Bundan dolayı, alaşımız çeliklerin kullanılması, yalnızca yapı elemanlarında ve takımında belirli özellikler gerektiğinde zorunlu olur. Örneğin, meneviş sıcaklıkları yaklaşık olarak karbonitrasyon sıcaklığı düzeyinde olan sıcak iş takım çeliklerinde ve hız çeliklerinde, ince bir bağlantı tabakasıyla aşınma direncinde ilave bir iyileşmeye ulaşılır.

Eğer karbonitrasyon işlemi Fe-N ve Fe-FeC sistemlerinin ötektoid sıcaklıkları arasında, yani 590 ila 723 °C sıcaklıkları arasında yapılırsa, düşük sıcaklıklarda olduğu gibi demir yüzeyinde bağlantı tabakası teşekkül eder.

Fakat, difüzyon bölgesinde azotun ferrite nazaran daha fazla olan çözülebilirliği ile ostenitte dönüşüm olur ve böylece sertleşme yapılabilir. Bu durumda, daha önce de belirtildiği gibi

çekirdekte azot artışı olmadığından dönüşüm olmaz. Karbonitrasyon sıcaklığından martensitik yapı için ani soğutulmuş dönüşürülen difüzyon bölgesi, bağlantı tabakası üzerinde koruyucu etki meydana getirir. Aşınma dayanımı da iyileşen bağlantı bölgesiyle, düşük sıcaklıklarda yapılan karbonitrasyona nazaran daha yüksek yüzey basınçlarına da dayanım sağlanır. Orta sıcaklık karbonitrasyon sertleşmesi olarak tanımlanan bu yöntem, pratikte yaklaşık olarak 660 ile 780 °C arasında uygulanır ve yüksek sıcaklık (723 °C 'nin üstü) sahasında çekirdek malzemesinde de kısmi dönüşüm meydana gelir.

#### **4.8. Buharlama ( Bilinçli Oksitleme)**

Parçalara kazan tipi fırınlarda 600 – 650 °C sıcaklıkta 180 – 200 °C sıcaklıktaki su buharını yaklaşık 10 atm basınç ile verilmektedir. Bu sayede demir parçaların yüzeyinde Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> tabakası oluşturmaktadır. Bu literatürde bilinçli oksitlendirme diye de adlandırılmaktadır. Demirin bu oksidi diğer oksitlerine karşı koruyucu bir görev yerine getirirken yüzeydeki açık gözenekleri de kapatarak parçanın yüzey sertliğini arttırmaktadır. Diğer ısı işlem yöntemlerinde ise parçalar dolu malzemelerle aynı prosese tabi tutulmaktadır. Tek farklılık sinter parça gözenekli yapısı sebebiyle ortamdaki koruyucu, karbürleyici ya da nitrürleyici atmosferi daha çabuk tüketmektedir. Bu sebeple atmosferdeki gaz potansiyelinin sürekli takip edilmesi ve atmosferin beslenmesi gerekmektedir.

Isıl işlem tipik olarak 500 °C'nin üstünde atmosfer ihtiva eden buharda, çeliklerdeki mavi-siyah Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> yapışkan yüzey oksidinin büyümesi için kullanılır (Germen.1997).

Bu işlem sadece demir esaslı parçalara uygulanabilir. Parçaları 550 °C kadar ısıtarak ve onları su buharına maruz bırakarak dış yüzeylerinde ve iç bağlantılı boşluklar boyunca ince bir Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> tabakası oluşturulur. Buharlama işlemi korozyon mukavemeti, sertlik, basmaya karşı dayanım ve aşınma dayanımında artışa sebep olur.

#### **4.9. Doğrudan Sertleşebilen Çeliklerde Yüzey Bölgesi Sertleşmesi**

Bunun için, esas itibarıyla kısa zaman aralığında ve yoğun ısı verilerek parçanın sadece yüzey bölgesinin ısıtılması (ve ostenit bölgesine getirilmesi) ve hemen, hızlı soğutulmuş ( $V_s \geq V_{kr}$ ) da sadece (ısıtılan derinlikte) yüzey bölgesinin sertleştirilmesi amaçlanır. Bu işlemlerde yüzey bölgesinin kompozisyonunu değiştirmeye gerek yoktur, su verme ile sertleştirme işlem ve mekanizmaları aynen geçerlidir. Bu grup işlemler esasen, beklentilere yetebilecek düzeyde (%C $\geq$ 0.3) karbon içeren tüm Fe- esaslı malzemelere uygulanabilir (yüzey bölgesinde martenzit oluşumu, karbon oranına göre sertlik artış beklentilerine cevap verecektir).



İşlemler yüzey bölgesini yoğun ısıtma şekillerine göre isimlendirilirler :

- 1- Alevle sertleştirme
- 2- Daldırma ile sertleştirme
- 3- İndüksiyonla sertleştirme
- 4- Elektron ışınlarıyla ve lazer ışınlarıyla sertleştirme

#### **4.9.1. Alevle Yüzey Sertleştirme**

Uygulama kolaylığı ve ekonomikliğı ile tercih edilen bir yöntemdir. Gaz (asetilen veya hava gazı ve oksijen karışımı) alevi ile sertleştirilecek yüzey bölgesi hızlıca ısıtılır ve iç bölgelerde ısı dağılımına fırsat vermeden hızlı soğutulur.

Sertleşme derinliğı alevin sıcaklığına ve ısıtma süresine bağlıdır. Büyük boyutlu parçalarda genellikle alev başlığı sertleştirilen yüzey bölgesini tarayacak şekilde sabit hızla gezdirilir; hareket yönüne göre zıt yönde, sabit bir uzaklıkta alev başlığına bağlı ve parça yüzey geometrisine uygun bir soğutma başlığından su püskürtülerek, sürekli ve tekrarlanabilir hızlı soğutma gerçekleştirilir (seri üretimde ise çoğu kez her iki başlık da sabit tutularak, parça sabit bir hızla, alevden suya doğru hareket ettirilir).

İşlemin küçük işletmelerde düşük yatırımlarla veya bireysel ihtiyaçlar için “göz kararı” uygulamalara açık olduğu kadar, tam otomatik olarak seri üretimlerde ve büyük boyutlu parçalarda (takım tezgahlarında kızak yollarının sertleştirilmesi gibi) uygulaması söz konusudur. Sertleştirmede derinlik ( $\Delta h$ ) –ayarlı- hassasiyeti yüksek değildir.(genellikle  $\Delta h \geq 1\text{mm}$ ). Bu yöntem uygulanacak çeliklerin kritik soğuma hızını düşürecek alaşım elementlerini mümkün mertebe az oranda içermesi “sadece yüzey bölgesi sertleştirilmesi” bakımından önemlidir.

#### **4.9.2. Daldırma İle Yüzey Sertleştirme**

Ostenitleştirme sıcaklığı üzerine ( 1000 ÷ 1200 °C ) getirilmiş tuz veya metal banyosu içerisine, yüzey sertleştirilecek parça daldırılarak hızlı ısıtma yapılır.

Isıtma banyosunda kısa bir süre tutulan parça hemen soğutma banyosuna daldırılır. Sertleşme derinliğinin ayarı hassas değildir. İstenilen incelikte sertleştirilmiş yüzey bölgesinin üretimi zordur; işlem uygulanacak çeliklerin mümkün mertebe az oranda alaşım elementleri içermesi (alevle yüzey sertleştirme yönteminde olduğu gibi) gerekir.

### 4.9.3. İndüksiyon İle Yüzey Sertleştirme

Mil, dişli çark veya yürek mekanizmaları gibi değişik kesitlere sahip parçaların çevresine, yüzey profiline uygun şekillendirilen bir makara (indükleyici) vasıtasıyla çok yüksek frekansla değişen bir manyetik alan oluşturulur. Değişen manyetik alan çelik parçalarda indüksiyon akımı üretir. Frekans ne kadar yüksek olursa indüksiyon akımı o kadar yüzeye yakın bölgede cereyan eder.

Çelik parça malzemesinin kendisi bir direnç oluşturmuş olarak ısı iletimine gerek kalmadığı için indüksiyon akımı geçen yüzey bölgeleri çok hızlı ısınır. Sertleştirilmiş yüzey bölgesi, indüksiyon akımı üretim derinliğine bağlı olarak, frekans ne kadar yüksek olursa o kadar ince olacaktır. İndüksiyonla yüzey sertleştirme yöntemi düzenek ve işleyiş olarak alevle sertleştirmeye benzer, sadece ısıtma başlıkları farklıdır.

### 4.9.4. Lazer Işınları İle Yüzey Sertleştirme

Yüzey bölgesi sertleştirmelerinde ısı kaynağı olarak lazer ışınlarının kullanıldığı ileri bir teknolojidir. Bu amaçla öncelikle CO<sub>2</sub>-Lazer ışını, uygun dalga boyundan dolayı kullanılır.

Lazer ışınlarıyla yüzey bölgesine gönderilen ısı yoğun olduğu için bölge sıcaklığı - sahasına çok çabuk çıkarılır ve çok ince bir tabaka ostenitlenmiş olur. Işın kesilir kesilmez ince tabaka halinde ısıtılmış bölge iç kısımlar tarafından aniden soğutulur. Malzemeye su verilmiş olu; ayrı bir soğutma ve su verme düzeneğine gerek yoktur.

### 4.9.5. Elektron Işınları İle Yüzey Sertleştirme

Yüzey tabakasının çok ince ve sınırlı bir bölgede sertleştirilebilmesi lazer ışınlarıyla olduğu gibi ışık huzmesi haline getirilebilen ve odaklanabilen, yine aynı şekilde yüksek enerjili Elektron ışınlarıyla da mümkündür.

Yöntemin uygulanışı lazerle sertleştirmeye benzer. Önemli farkı işlemin bir vakum odasında uygulanması gereğidir. Bu durum uygulamaya pahalılık ve uygulama sınırlılığı getirir. Buna karşılık vakum altında, yüksek sıcaklıkta, mevcut oksidasyondan arınmış parlak bir metalik yüzey elde edilir. Lazerle yüzey sertleştirmedeki gibi parça kendi yüzey bölgesini soğutabilir. Ayrı bir temperlemeye ihtiyaç duyulmaz.

En fazla 50 mm genişlikte taramalarla yüzey bölgesi bu yöntemle hassas ayarlanabilir, 0,3 ÷ 1.5 mm derinlikte bir sertliğe kavuşturulabilir.

#### 4.10. İnfiltasyon

Parça içerisindeki birbirleri ile bağlantılı gözenekler, ana metalin sinterleme sıcaklığından daha düşük bir ergime sıcaklığına sahip bir alaşımla doldurulur. Mesela, bakır esaslı alaşımlar sinterleme esnasında demir esaslı parçalara sızarlar. İnfiltasyon işlemi parçaları sızdırmaz yapar ve mekanik özelliklerde artışa sebep olur. Ancak boyut hassaslığı azalır. İnfiltasyon işlemi bazı ısıtma işlemleri kolaylaştırır. Mesela, birbirine bağlı gözenek kalmadığı için yüzey sertleştirme işleminde sertlik derinliği kontrolü kolaylaşır.



Şekil 4.13. İnfiltasyon ve Yağ emdirme teknikleri (Onaran. ve diğerleri,1986).

#### 4.11. Yağ Emdirme

Sinterlenmiş parçalara yağ ve diğer metalik olmayan malzemeler emdirilerek korozyona karşı koruma artırılır. Kendi kendine yağlamalı yataklar, sinterlenmiş gözenekli yataklara yağ emdirilmesi sonucu ve sadece toz metal yöntemi ile üretilir.

## 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Demir tozunun içerisinde, bakır tozu ve grafit tozu farklı oranlarda koyulmuştur. Numunelerden 20 ile 40 arasında olanlara % 1 oranında alüminyum koyulmuştur. Ayrıca yağlayıcı olarak da % 0,8 oranında çinko streat kullanılmıştır. Bu çinko streat tozu ısıtma işlemleri sırasında kaybolmaktadır, çinko streat sadece yağlayıcı olarak kullanılmaktadır. Deney numunelerinin içerikleri Çizelge 5.1.'de verilmiştir.

**Çizelge 5.1.** Deney Numunelerinin içerikleri (%Ağ.).

Numunelerin Numaraları	1. Takviye ( Cu )	2. Takviye ( Grafit )	3. Takviye ( Al )	
1	%1	%0,2	% 0 Al	+ Geri Kalan Fe
2	%1	%0,4		
3	%1	%0,6		
4	%1	%0,8		
5	%2	%0,2		
6	%2	%0,4		
7	%2	%0,6		
8	%2	%0,8		
9	%3	%0,2		
10	%3	%0,4		
11	%3	%0,6		
12	%3	%0,8		
13	%4	%0,2		
14	%4	%0,4		
15	%4	%0,6		
16	%4	%0,8		
17	%6	%0,2		
18	%6	%0,4		
19	%6	%0,6		
20	%6	%0,8		
21	%1	%0,2	% 1Al	
22	%1	%0,4		
23	%1	%0,6		
24	%1	%0,8		

25	%2	%0,2	% 1 Al	+ Geri Kalan Fe
26	%2	%0,4		
27	%2	%0,6		
28	%2	%0,8		
29	%3	%0,2		
30	%3	%0,4		
31	%3	%0,6		
32	%3	%0,8		
33	%4	%0,2		
34	%4	%0,4		
35	%4	%0,6		
36	%4	%0,8		
37	%6	%0,2		
38	%6	%0,4		
39	%6	%0,6		
40	%6	%0,8		

Her malzemedden ve her deney için 4'er adet numune basılmıştır.

### 5.1. Malzemeler

Kullanılan toz malzemeleri; demir (Fe), bakır (Cu), grafitir. Yağlayıcı olarak da çinko streat kullanılmıştır. Kullanılan bu tozlar Toz Metal A.Ş. şirketinden temin edilmiştir. Toz Metal A.Ş. şirketinden alınan tozların özellikleri Çizelge 5.2., 5.3. ve 5.4. de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Bakır tozlarının özellikleri.

Cust Ord No:		MMP Ord No: 10350			
Weight	: 500	kgs	, Drums	: 1-10	
		SPECIFICATION		RESULT	
		MIN	MAX	%	
<u>GRANULOMETRY</u>					
B.S.S. MESH	MICRONS				
85	> 180		0.0	0.0	
100	> 150		0.5	0.3	
150	> 106			12.5	
200	> 74			19.1	
300	> 53			19.8	
350	> 45			11.6	
-350	< 45	30.0	40.0	36.7	
<u>PHYSICAL PROPERTIES</u>					
Apparent Density	g/cc	2.55	2.75	2.69	
Flow	secs		30	26	
<u>CHEMICAL ANALYSIS</u>					
Copper	%	99.00		99.74	
Oxygen	%		0.15	0.08	

Çizelge 5.3. Grafit tozunun özellikleri.

CHEMICAL ANALYSIS	TEST RESULTS	SPECIFICATIONS		ISSUE: 002
		MIN	MAX	
Analysis from supplier				
Moisture	0,05 %		0,20 %	
Ash	3,2 %		4,0 %	
C	96,8 %	96,0	%	
S	0,07 %		0,20 %	
<u>PHYSICAL PROPERTIES</u>				
Analysis from supplier				
+100 Micron	0,005 %		0,005 %	
10 % Below (Sympatec)	2,5 Micron		3,0 Micron	
50 % Below (Sympatec)	5,9 Micron	5,5	7,0 Micron	
90 % Below (Sympatec)	11,1 Micron		13,0 Micron	
99,99 % Below (Sympatec)	17,4 Micron		25,0 Micron	

**Çizelge 5.4.** Demir tozunun özellikleri.

CHEMICAL ANALYSIS	TEST RESULTS	SPECIFICATIONS		ISSUE: 010
		MIN	MAX	
H <sub>2</sub> -loss	0,11 %		0,30 %	
C	< 0,01 %		0,02 %	
Fe			BASE	
<b>PHYSICAL PROPERTIES</b>				
Apparent density	2,42 g/cm <sup>3</sup>	2,35	2,50 g/cm <sup>3</sup>	
Flow (Hall)	31 s/50 g		34 s/50 g	
GD (4,2 t/cm <sup>2</sup> ) (30 TSI)	6,56 g/cm <sup>3</sup>			
GD (600 MPa)	7,01 g/cm <sup>3</sup>	6,92	g/cm <sup>3</sup>	
<b>SIEVE ANALYSIS ( MICRONS )</b>				
+212	0,0 %		0,0 %	
180-212	0,1 %		2,0 %	
150-180	0,9 %		BAL %	
150-212	1,0 %		7,0 %	
106-150	22,8 %		BAL %	
75-106	27,0 %		BAL %	
45-75	28,8 %		BAL %	
-45	20,4 %	15,0	25,0 %	

### 5.1.1. Numunelerin Hazırlanması

Tozmetal numuneler Çizelge 5.1. 'de verilen oranlarda hassas tartıda (Şekil 5.1.) her bir numune 37 gram olacak şekilde tartılmıştır.



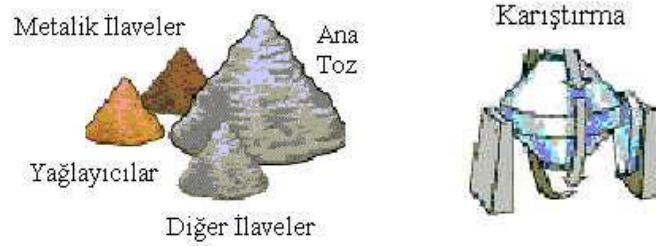
**Şekil 5.1.** Hassas tartı ( sartorius BL 2105 ).

Numunelerden homojen bir karışım elde etmek için uygun bir karıştırıcı kullanılmıştır. Bu karıştırıcı kapaklı olup toz numuneler Çizelge 5.1.'de gösterildiği şekilde hazırlanıp bu kapaklı karıştırıcının içine koyulmuştur. Numunelerin uygun bir şekilde karıştırılması için bu karıştırıcı tornaya bağlanmıştır (Şekil 5.2.). Karıştırma işlemi tornada 25 devir/dakika da gerçekleştirilmiştir. Bu karıştırma işlemi her malzeme için ortalama 20 dakika sürmüştür.



**Şekil 5.2.** Karıştırıcının tornada karıştırma esnasındaki fotoğrafı.

Metalik tozlar; yağlayıcılar ve isteğe bağlı farklı tozlar ile homojen bir karışım elde etmek için karıştırılır. Karışım içerisine genellikle % 0.5-1.5 arası yağlayıcı eklenir. Metalik stearik ve parafin en çok kullanılan yağlayıcılardır. Yağlayıcı kullanmanın ana amacı, toz kütleleri ile takım yüzeyleri ve kalıp duvarları arasındaki sürtünmeyi azaltmak, tozların sıkıştırma esnasında kaymalarını sağlamaktır. Bunlar parçanın homojen bir yoğunluğun oluşmasına yardımcı olur.



**Şekil 5.3.** Toz Metalurjisinde Karıştırma teknikleri (Şahin,S. ve diğerleri,2002).

### 5.1.2. Numunelerin Preste Basılması

Hazırlanan tozlar Hidrokar marka Konya'da üretilmiş olan tek taraflı olan hidrolik preste (Şekil 5.4.) 500MPa basılmıştır. Hidrolik pres 100 tona kadar basabilmektedir. Hidrolik pres uygulanacak olan basıncı ayarlayarak sabitlenmesini sağlar ve ayarlanan basıncı geçmemesi sağlanmıştır.





**Şekil 5.4.** Hidrokar marka tek taraflı hidrolik pres.

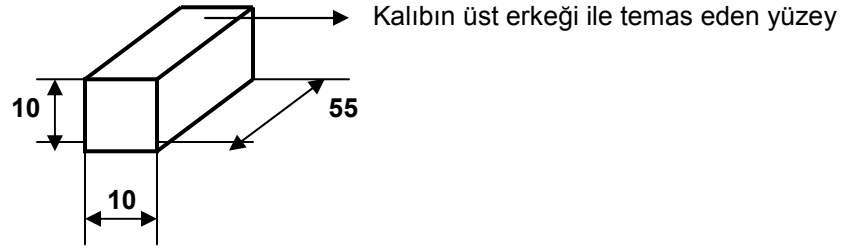
Karışım tozlar Neka Kalıp tarafından yapılan kalıbın (Şekil 5.5.) üst tarafı presin hidrolik silindirine 4 tane civata ile dört köşesinden hareket etmemesi için ve hızlı basılmasını sağlanması için bağlanmıştır, aynı zamanda da kalıbın alt tarafı da dört tarafından da sabit olarak plate'e bağlanmıştır. Plate de aynı şekilde dört tarafından prese bağlanmıştır. Bu da kalıbımızın daha az yıpranmasına ve de tozların daha hızlı bir şekilde basılmasını sağlamıştır. Numuneler 10x10x55mm boyutlarındadır (Şekil 5.6.).



**Şekil 5.5.** Deneyle kullanılan kalıbın fotoğrafı.



Şekil 5.6. Elde edilen numunelerin görüntüsü.



Şekil 5.7. Sıkıştırma sonucu elde edilen numuneler.

## 5.2. Numunelerin Isıl İşlemleri

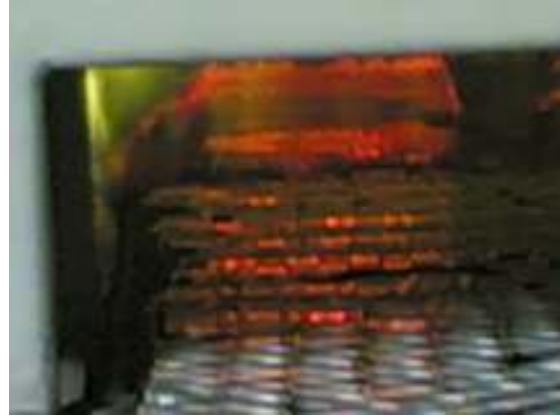
Bu numuneler önce Tozmetal A.Ş. şirketinde sinterlenmiştir. Sonra numunelerin 1/3'üne borlama (en uygun sıcaklık olan 950 C° 4 saat borlanmıştır), diğer 1/3'üne karbonitrürasyon ve geri kalanlara buharlama ( Bilinçli oksitleme) ısıl işlemleri yapılmıştır.

### 5.2.1. Sinterleme

Soğuk ve tek etkili olarak sıkıştırılmış briketler Tozmetal A.Ş. (İstanbul) Firmasının endotermik gaz ortamına sahip kontrollü sinterleme fırınında 1120 °C' de 45 dakika süreyle sinterlenmiştir. Sinterleme şartları CASIP (Computer Aided Selection of Iron Powder) Hågas (İsveç) tarafından hazırlanmış paket program yardımıyla belirlenmiştir. Sinterleme sıcaklığı ilave edilen bakır tozlarının ergime sıcaklığının üzerindedir.



**Şekil 5.8.** Deneylerde kullanılan sinterleme fırını ( Tozmetal A.Ş. ).



**Şekil 5.9.** Sinterleme esnasında fırınların iç görüntüleri.

Parçalarımızın sinterlenmesi amonyak ilaveli atmosfer ortamında gerçekleştirilmiştir.

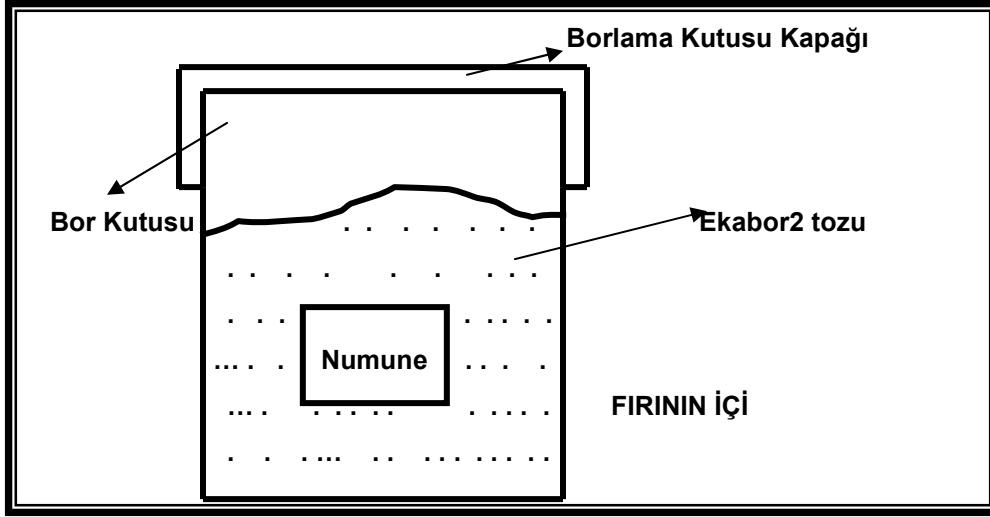
### 5.2.2. Borlama Isıl İşlemi

Çizelge 5.1.'de ki numuneler yüzey sertleştirme ısı işleme olan borlamaya tabi tutulmuştur. Borlama 40x40x110 mm ebatlarındaki ağız sıkı geçmeli kapağa sahip çelik saçtan imal edilmiş olan kutular içerisinde yapılmıştır (Şekil 5.10.).

Bor kaynağı olarak Ekabor® firmasının Ekabor 2 tozu kullanılmıştır. Numuneler 950 °C'lik ortamda 4 saat tutulmuş ve bu süre sonunda atmosfer ortamında soğutulmuştur. Borlama işlemi laboratuvarımızda bulunan HERAUS marka elektrik direnç fırınında yapılmıştır. Borlama işlem parametreleri bütün numune grupları için sabit tutulmuştur. Şekil 5.11.'de borlama işlemi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.10. Deneyde kullanılan borlama kutuları.



Şekil 5.11. Katı borlama işleminin yapılışı (şematik).

### 5.2.3. Karbonitrürasyon Isıl İşlemi

Çizelge 5.1.'de ki numunelere İstanbul'da bulunan Batı Isıl İşlem (İstanbul) firmasında başka bir yüzey sertleştirme ısı işlemi olan karbonitrürasyon işlemi yapılmıştır. Isıl işlem prosesi ilk olarak 850 °C'de 0,90 karbon ve amonyaklı ortamda 100 dakika bekletilmiştir, daha sonra 810 °C'de 30 dakika bekletilerek sertleştirme işlemi yapılmıştır. Soğutma işlemi ise 80 °C 'lik ortamda sirkülasyonlu martemperleme yağı ile yapılmıştır.

### 5.2.4. Buharlama (Bilinçli Oksitleme)

Buharlama ısı işlemi Tozmetal A.Ş. 'nin kendi bünyesinde yapmış olduğu bir ısı işlemidir. Çizelge 5.1.'de ki numunelere buharlama ısı işlemi uygulanmıştır.

Buharlama ısı işlemi gerçekleştirilirken ilk olarak oksijensiz ortamda 150 °C'de ön ısı uygulanmış ve sonra da 550 °C'de 1 saat su buharı püskürterek buharlama ısı işlemi tamamlanmıştır. Buharlama işlemi numunelerin üstünde film tabakası oluşturmuştur. Bu film tabakası malzemeyi

gevrekleştirir ve korozyon direncini arttırır. Oluşan tabakaların kalınlığı en fazla 5  $\mu\text{m}$  civarındadır. Numunenin üstüne püskürtülen buhar ile numunenin üstünde ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) demir oksit tabakası oluşmuştur.



**Şekil 5.12.** Buharlama makinesini kontrol paneli.



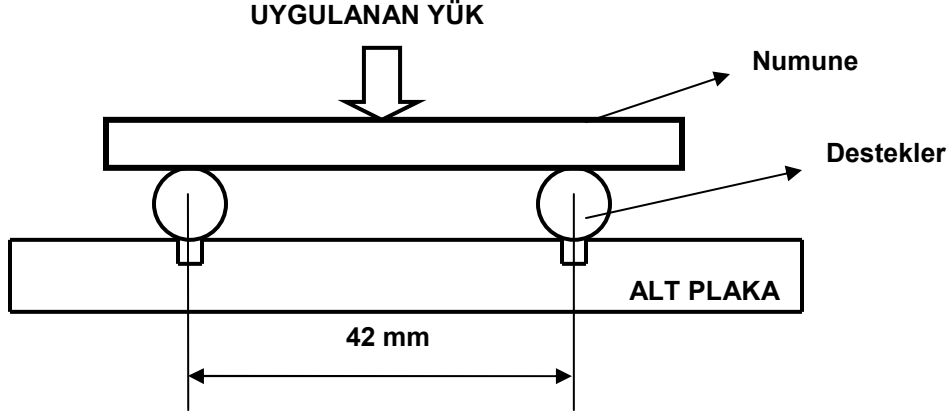
**Şekil 5.13.** Buharlamanın yapıldığı fırın.

### **5.3. Mekanik Deneyler**

#### **5.3.1. Üç Nokta Eğme Deneyi**

Üç noktadan eğme deneylerinde Şekil 5.7. de verilen briketler (numuneler) kullanılmıştır. Deneyler Shimadzu (Şekil 5.15. ) marka çekme cihazında yapılmıştır. Deneylerin standartlara

uygun gerçekleştirilebilmesi için aparatdaki destekler arasındaki mesafe 42 mm olacak şekilde ayarlanmıştır. Deneylede numuneye tekil yük uygulanmıştır. Mesnetlerde kesme gerilmesinin oluşumunu engellemek için gerekli önlem alınmıştır. Numuneler hasara uğratılıncaya kadar F kuvveti tedrici olarak artırılmıştır. Kırılmaya neden olan en büyük yük, kadrandan okunarak hesaplamalarda kullanılmıştır. Sehım miktarları ölçülmemiştir. Kırılma kuvvetleri karşılaştırılıp değerlendirilmiştir. Kırık yüzey incelemeleri için kırılmış numuneler kullanılmıştır.



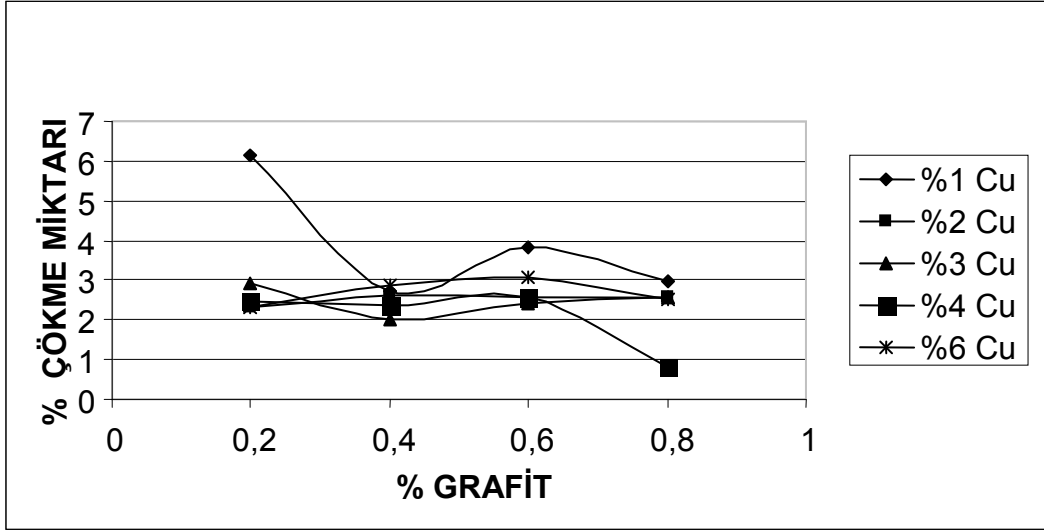
**Şekil 5.14.** Üç noktadan eğme cihazında kullanılan aparat [şematik] (Sarper.2004).



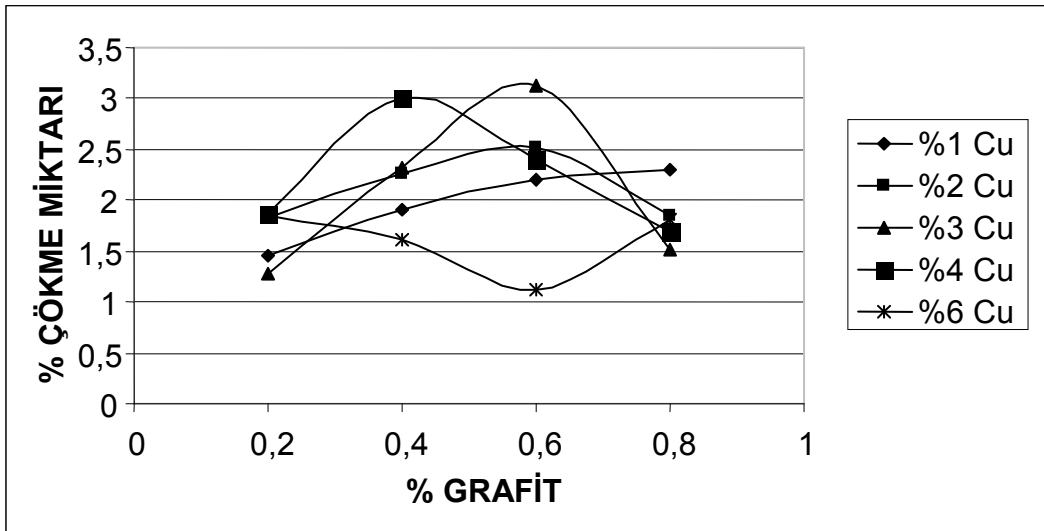
**Şekil 5.15.** Shimadzu (10 Ton) marka Çekme cihazı.

### 5.3.2. Üç Noktadan Eğme Numuneleri

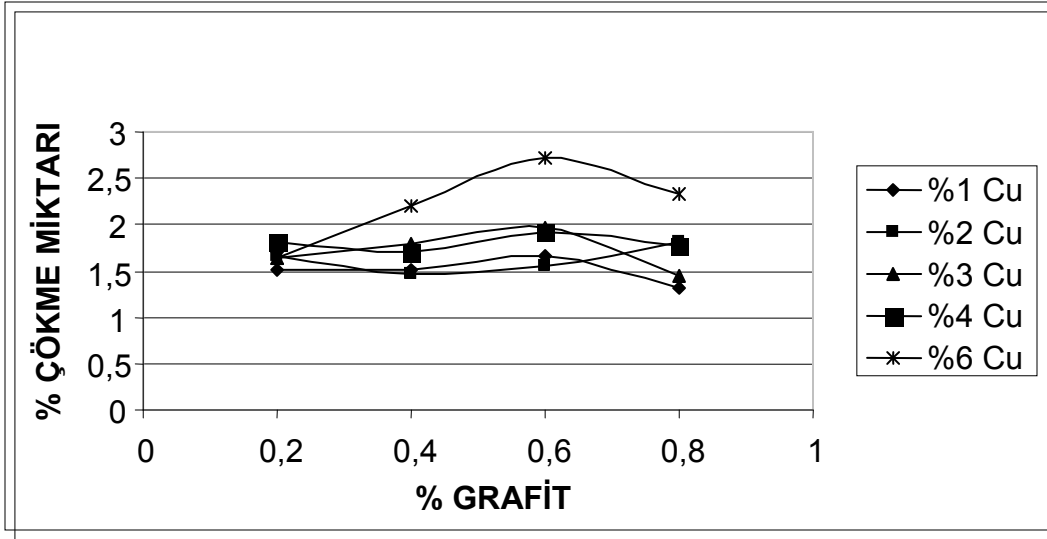
Şekil 5.6.'de verilen briketlere olduğu gibi hiçbir işlem yapılmadan üç noktadan eğme deneyleri uygulanarak eğme dayanımı değerleri tespit edilmiştir. Üç nokta eğme deneyinin sonuçları grafikler halinde Şekil 5.16 – 5.41. verilmiştir.



Şekil 5.16. Borlalama yapılmış 1 ile 20 numaralar arasındaki numunelerin % Çökme miktarı - % Grafit grafiği.

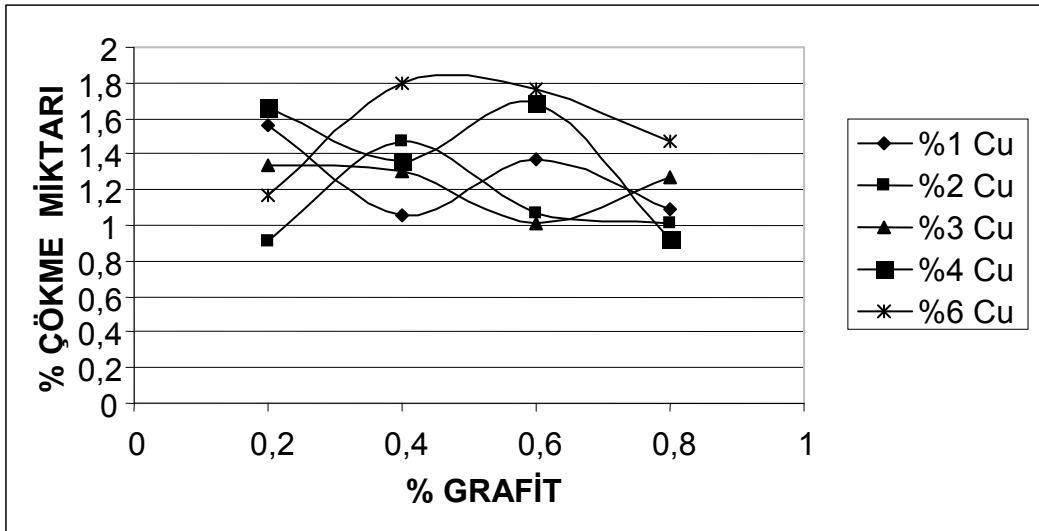


Şekil 5.17. Borlalama yapılmış 21 ile 40 numaralar arasındaki numunelerin (bu numunelerin Şekil16'deki numunelerden farkı içlerinde % 1 oranında Al katılmıştır.) % Çökme miktarı - % Grafit grafiği.



**Şekil 5.18.** Buharlama yapılmış 1 ile 20 numaralar arasındaki numunelerin % Çökme miktarı - % Grafit grafiği.

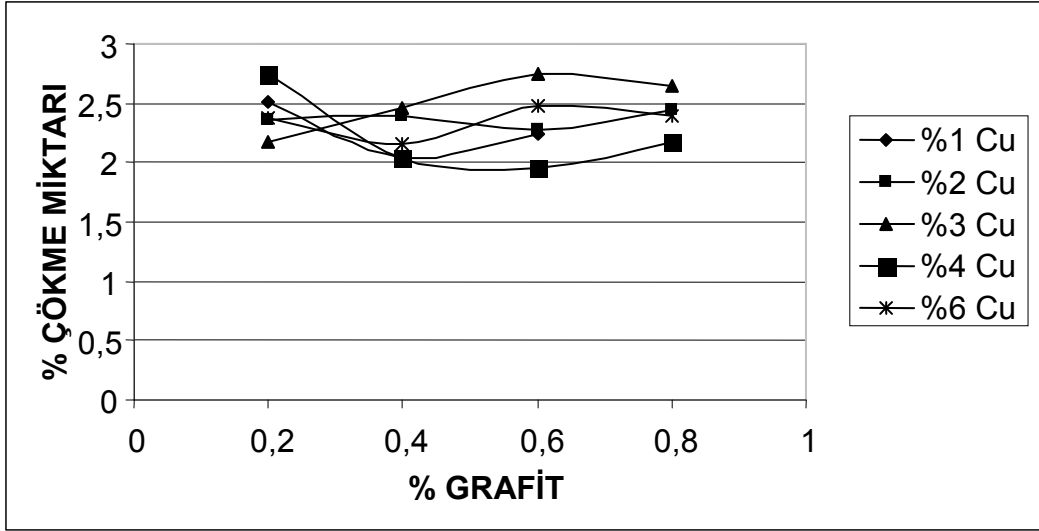
Şekil 5.18. de görülmektedir ki, buharlama yapılmış 1 ile 20 numuneler arasında ki grafit miktarı ne olursa olsun, bakır miktarının artmasıyla % Çökme miktarında belirgin olamayan bir artış görülmüştür. En belirgin fark % 6 Cu 'lı numunede görülmüştür.



**Şekil 5.19.** Buharlama yapılmış 21 ile 40 numaralar arasındaki numunelerin (bu numunelerin Şekil 5.18'deki numunelerden farkı içlerinde % 1 oranında Al katılmıştır.) % Çökme miktarı-% Grafit grafiği.

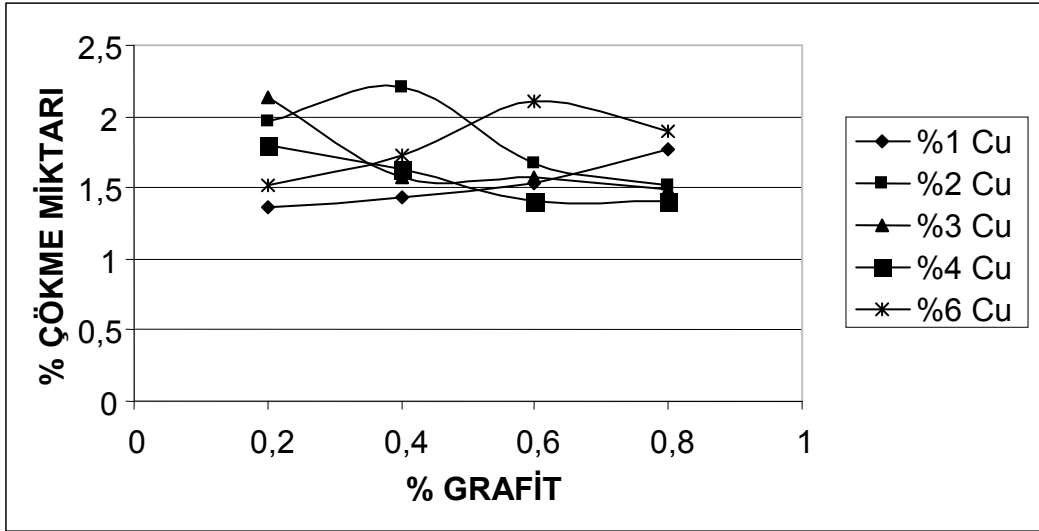
Şekil 5.18 ve 5.19.da da görüldüğü gibi buharlama yapılmış numunelerdeki % kopma uzamalarında en fazla artışlar % 6 Cu'lı numunelerde görülmüştür.



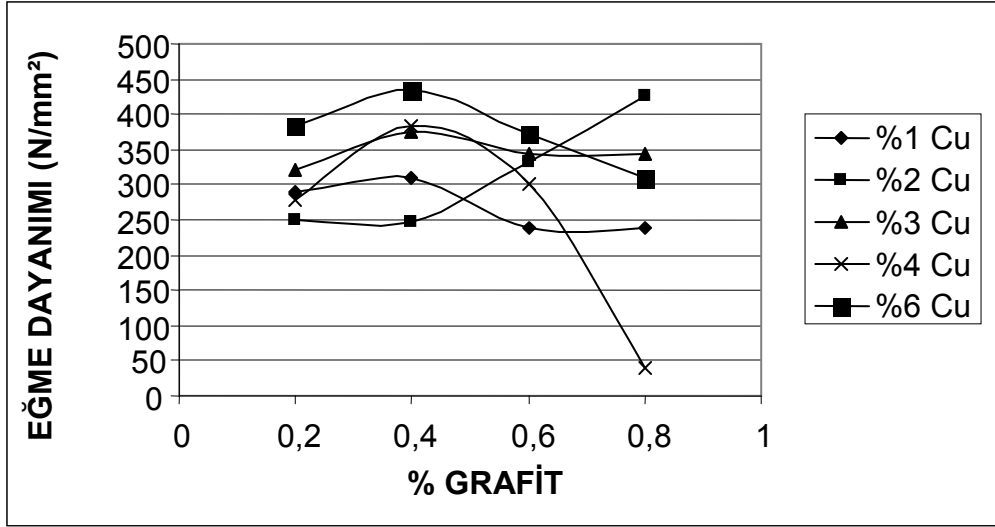


**Şekil 5.20.** Karbonitrürasyon yapılmış 1 ile 20 numaralar arasındaki numunelerin % Çökme miktarı- % Grafit grafiği.

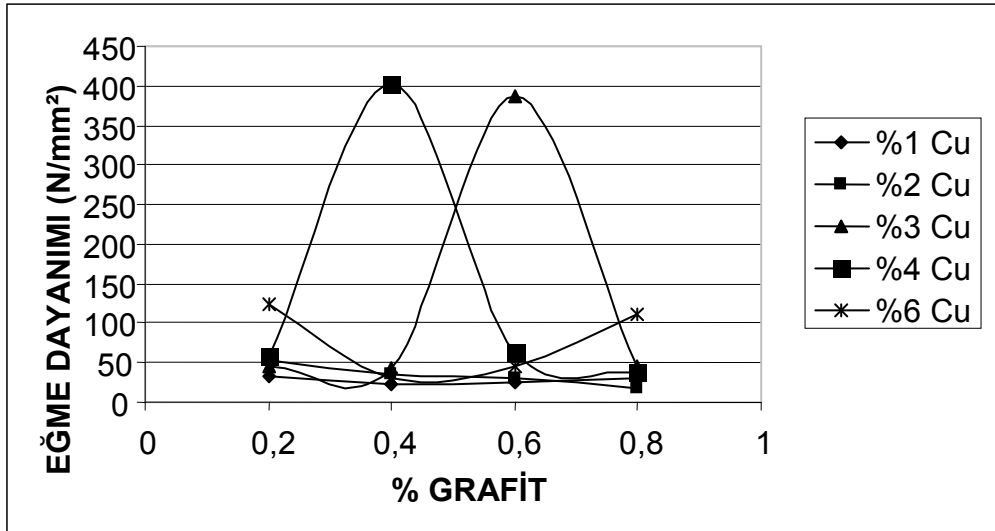
Şekil 5.20. de görülmektedir ki, karbonitrürasyon yapılmış 1 ile 20 numuneler arasında ki grafit miktarı ne olursa olsun, bakır miktarının artmasıyla % Çökme miktarında belirgin olamayan bir artış görülmüştür.



**Şekil 5.21.** Karbonitrürasyon yapılmış 21 ile 40 numaralar arasındaki numunelerin (bu numunelerin Şekil 5.20.'deki numunelerden farkı içlerinde % 1 oranında Al katılmıştır.) % Çökme miktarı - % Grafit grafiği.

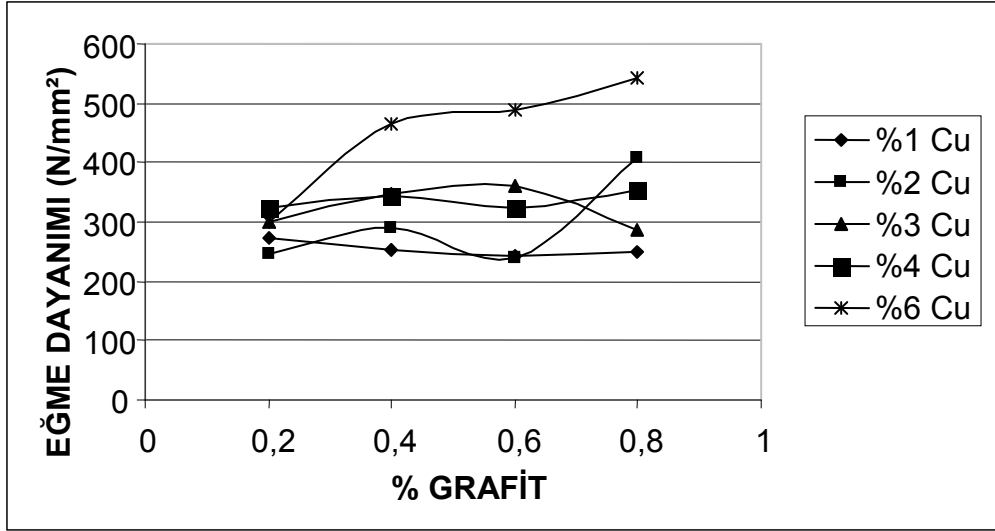


Şekil 5.22. Borlama yapılmış 1 ile 20 numaralar arasındaki numunelerin Eğme dayanımı değerleri-% Grafit grafiği.



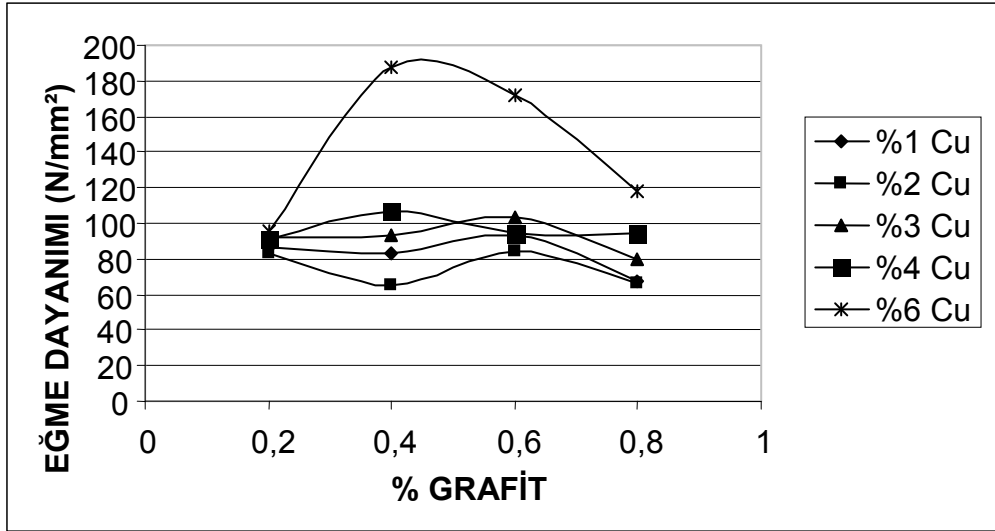
Şekil 5.23. Borlama yapılmış 21 ile 40 numaralar arasındaki numunelerin (bu numunelerin Şekil 5.22'deki numunelerden farkı içlerinde % 1 oranında Al katılmıştır.) Maximum gerilme - % Grafit grafiği.

Şekil 5.22. deki ortalama eğme dayanımı değerleri ile Şekil 5.23.' deki ortalama eğme dayanımı değerleri arasında yaklaşık 4 kat bir fark olduğu görülmektedir, her iki grafikte ki numunelerde aynı işlemler uygulanmasına karşı bu farkın oluşmasının sebebi Şekil 5.23.'de ki numunelerin içinde % 1 oranında Al katılmış olmasıdır. Numunelerin karışımı sırasında numunelerin içine katılmış olan % 1 Al miktarı eğme dayanımı miktarında yaklaşık 4 kat azalma meydana getirmiştir.



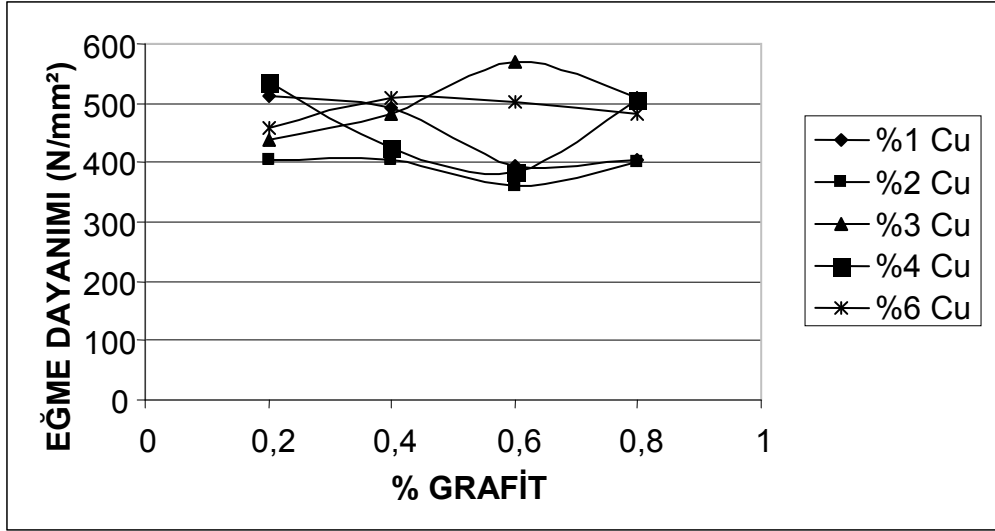
**Şekil 5.24.** Buharlama yapılmış 1 ile 20 numaralar arasındaki numunelerin Eğme dayanımı - % Grafit grafiği.

1 ile 20 numuneler arasında da 21 ile 40 numuneler arasında da olsa buharlama yapılmış numunelerin % kopma gerilmelerinde de, kopma uzamalarında da, Şekil 5.24. ve 5.25. 'de de görüldüğü gibi en belirgin artış değeri % 6 Cu'lu numunelerde görülmüştür.

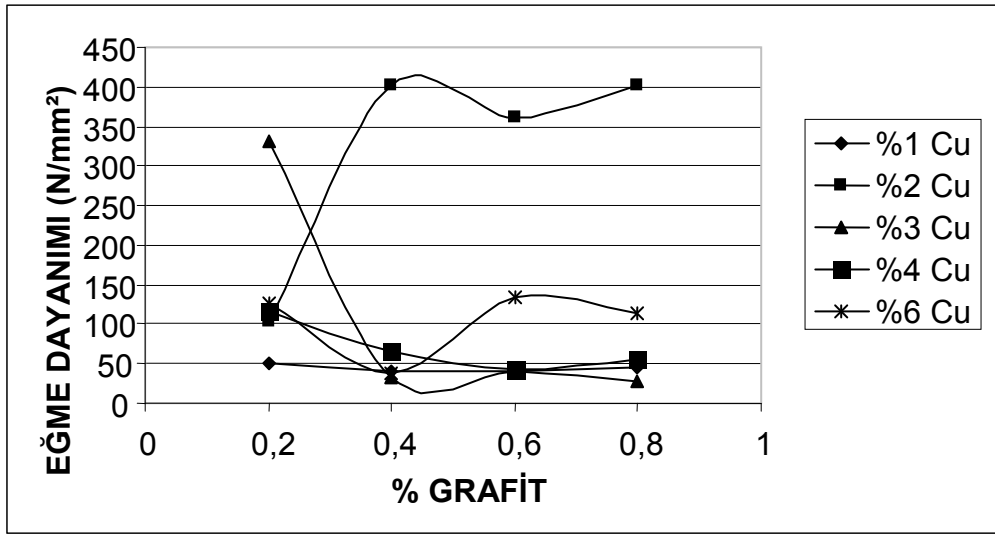


**Şekil 5.25.** Buharlama yapılmış 21 ile 40 numaralar arasındaki numunelerin (bu numunelerin Şekil 5.24'deki numunelerden farkı içlerinde % 1 oranında Al katılmıştır.) Maximum gerilme - % Grafit grafiği.

Şekil 5.24. deki ortalama eğme dayanımı değerleri ile Şekil 5.25.' deki ortalama eğme dayanımı değerleri arasında 4 kat bir fark olduğunu görüyoruz, her iki grafikte ki numunelerde aynı işlemler uygulanmasına karşı bu farkın oluşmasının sebebi Şekil 5.25.'de ki numunelerin içinde % 1 oranında Al katılmış olmasıdır. Numunelerin karışımı sırasında numunelerin içine katılmış olan % 1 Al miktarı eğme dayanımının da yaklaşık 4 kat azalma meydana getirmiştir.

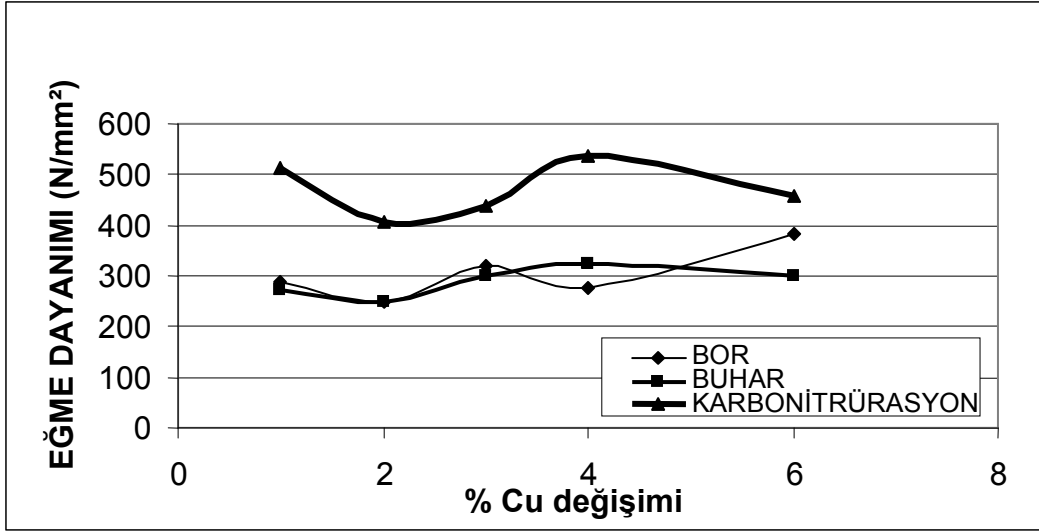


Şekil 5.26. Karbonitrüleme yapılmış 1 ile 20 numaralar arasındaki numunelerin Eğme dayanımı - % Grafit grafiği.



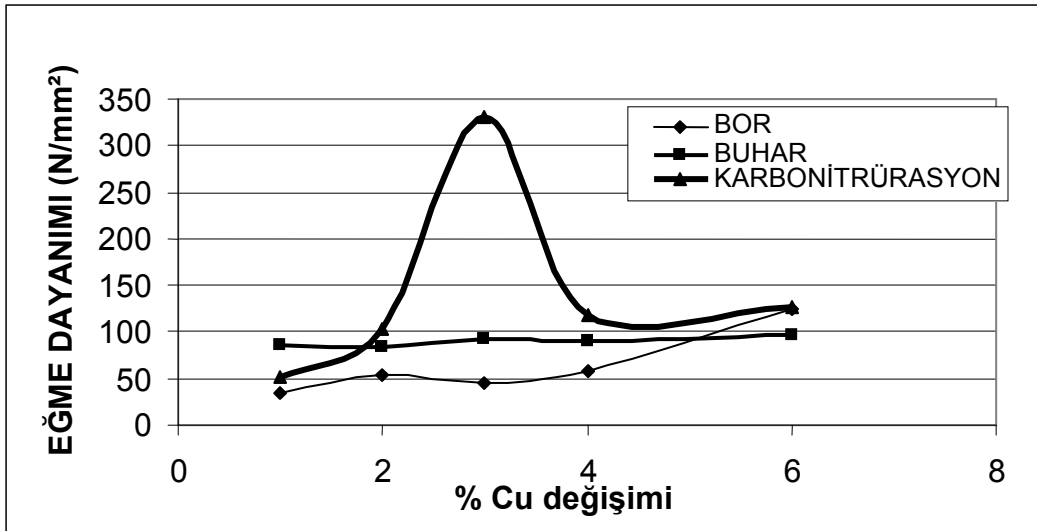
Şekil 5.27. Karbonitrüleme yapılmış 21 ile 40 numaralar arasındaki numunelerin (bu numunelerin Şekil 5.26'deki numunelerden farkı içlerinde % 1 oranında Al katılmıştır.) Maximum gerilme - % Grafit grafiği.

Şekil 5.26. deki ortalama eğme dayanımı değerleri ile Şekil 5.27.' deki ortalama eğme dayanımı değerleri arasında yaklaşık 4 kat bir fark olduğunu görüyoruz (% 4 Cu'lu numuneyi göz ardı edersek), her iki grafikte ki numunelerde aynı işlemler uygulanmasına karşı bu farkın oluşmasının sebebi Şekil 5.27.'de ki numunelerin içinde % 1 oranında Al katılmış olmasıdır. Numunelerin karışımı sırasında numunelerin içine katılmış olan % 1 Al miktarı eğme dayanımı de yaklaşık 4 kat azalma meydana getirmiştir.



**Şekil 5.28.** Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; % 0,2 Grafit'e sahip 1 ile 20 numaraları arasındaki numunelerin % Cu değişimleri- Eğme dayanımı grafiği.

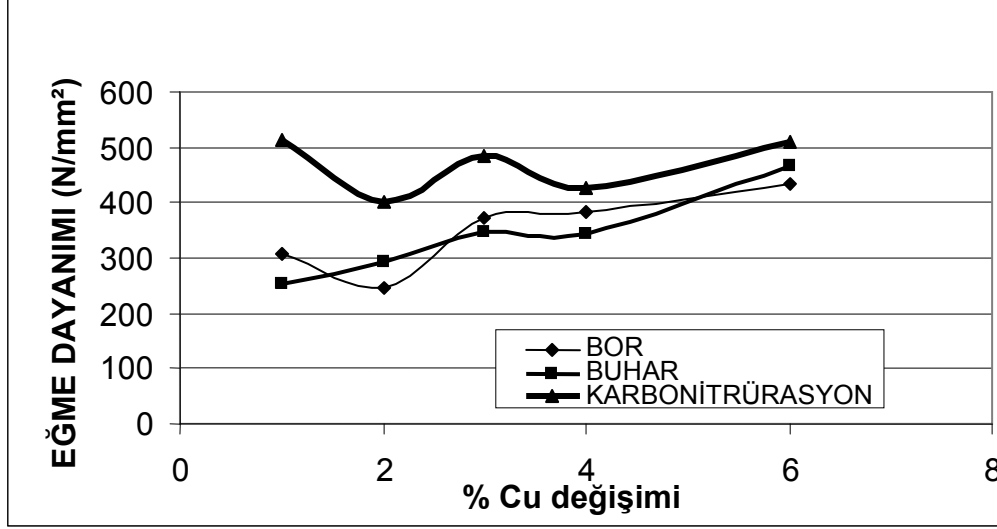
Şekil 5.28. ve 5.29. 'deki eğme dayanımı - % Cu değişimleri grafiklerindeki borlama, buharlama, karbonitrürasyon ısıl işlemlerinden, karbonitrürasyon ısıl işleminin en yüksek eğme dayanımı değerlerine çıktığı görülmüştür.



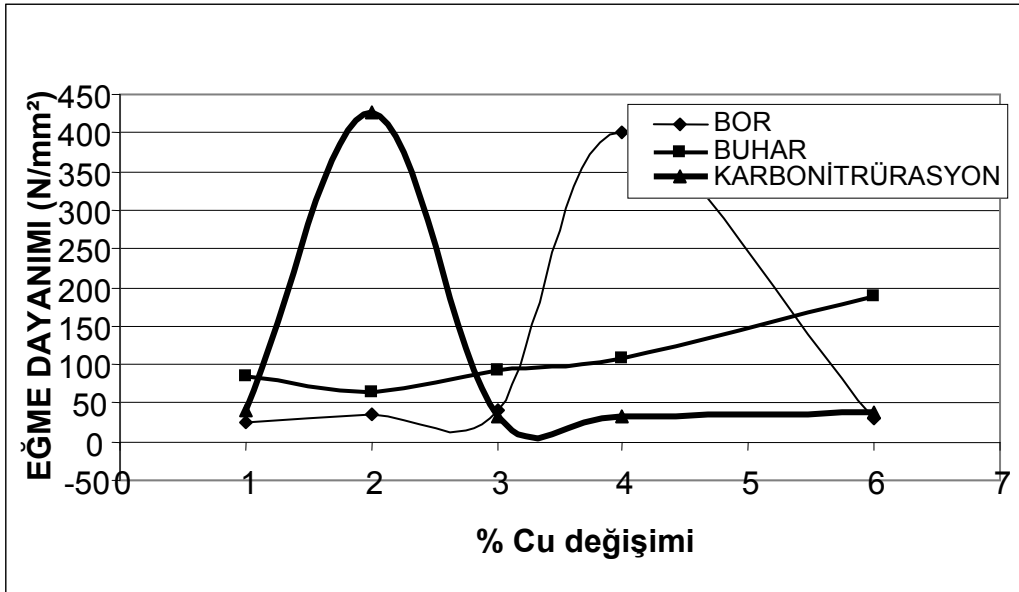
**Şekil 5.29.** Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; % 0,2 Grafit ve % 1 Al'a sahip 21 ile 40 numaraları arasındaki numunelerin % Cu değişimleri- Eğme dayanımı grafiği.

Şekil 5.28. deki ortalama Eğme dayanımı değerleri ile Şekil 5.29.' deki ortalama Eğme dayanımı değerleri arasında yaklaşık 3 kat bir fark olduğunu görüyoruz, her iki grafikte ki numunelere de

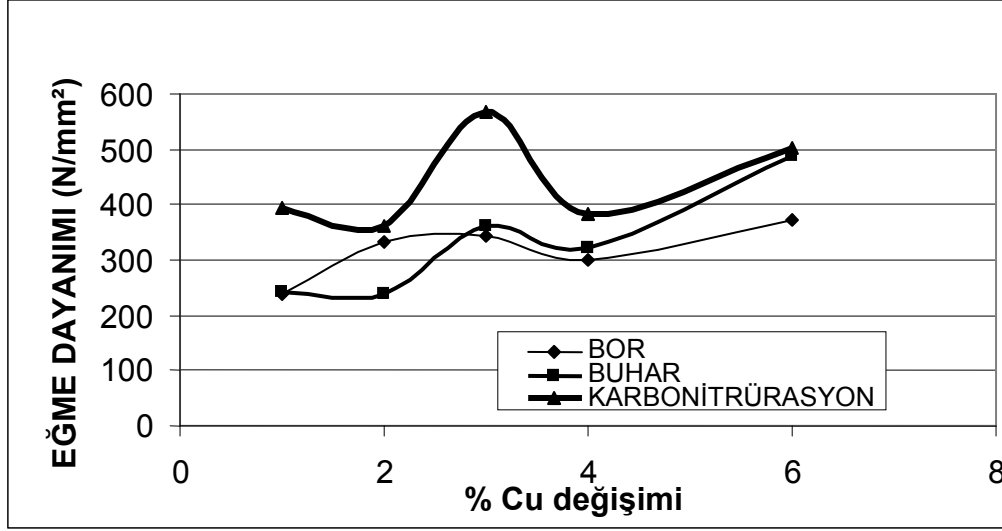
aynı işlemler uygulanmasına karşı bu farkın oluşmasının sebebi Şekil 5.29.'de ki numunelerin içinde % 1 oranında Al katılmış olmasıdır. Numunelerin karışımı sırasında numunelerin içine katılmış olan % 1 Al miktarı Eğme dayanımı da yaklaşık 3 kat azalma meydana getirmiştir.



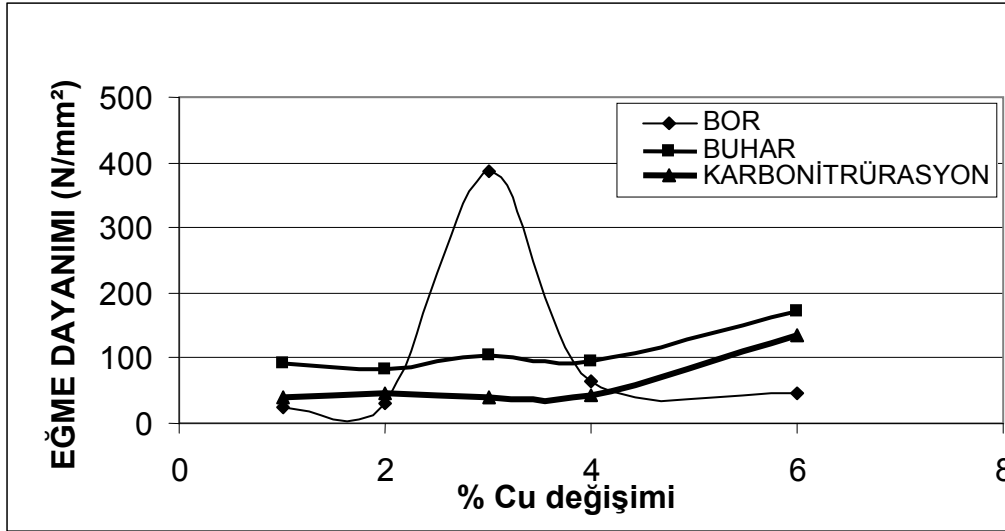
Şekil 5.30. Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; % 0,4 Grafit'e sahip 1 ile 20 numaraları arasındaki numunelerin % Cu değişimleri- Eğme dayanımı grafiği.



Şekil 5.31. Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; % 0,4 Grafit ve % 1 Al'a sahip 21 ile 40 numaraları arasındaki numunelerin % Cu değişimleri- Eğme dayanımı grafiği.

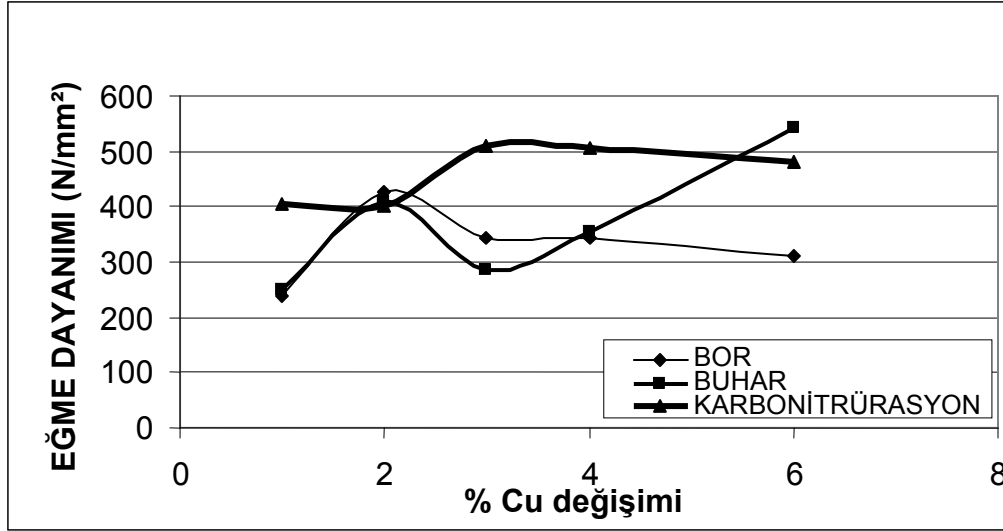


**Şekil 5.32.** Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; % 0,6 Grafit'e sahip 1 ile 20 numaraları arasındaki numunelerin % Cu değişimleri- Eğme dayanımı grafiği.

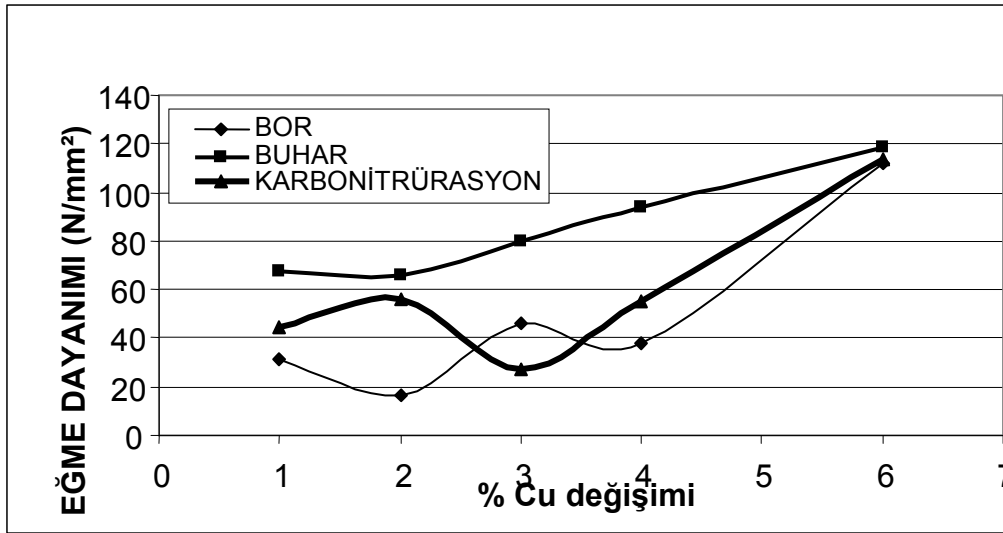


**Şekil 5.33.** Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; % 0,6 Grafit ve % 1 Al'a sahip 21 ile 40 numaraları arasındaki numunelerin % Cu değişimleri- Eğme dayanımı grafiği.

Şekil 5.33.'da olduğu gibi Şekil 5.28., 5.29., 5.30. ve 5.31. deki Eğme dayanımı grafiklerinde de % 3 Cu'lu numunelerde belirgin bir artış görülmüştür.



**Şekil 5.34.** Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; % 0,8 Grafit'e sahip 1 ile 20 numaraları arasındaki numunelerin % Cu değişimleri- Eğme dayanımı grafiği.



**Şekil 5.35.** Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; % 0,8 Grafit ve % 1 Al'a sahip 21 ile 40 numaraları arasındaki numunelerin % Cu değişimleri- Eğme dayanımı grafiği.

Şekil 5.35.'deki % 0,8 Grafit ve % 1 Al'a sahip 21 ile 40 numaraları arasındaki numunelerdeki; bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinde % 6 Cu'lu numunelerin en yüksek Eğme dayanımı değerine ulaştığını görülmektedir.

Şekil 5.34. deki ortalama Eğme dayanımı değerleri ile Şekil 5.35.' deki ortalama eğme dayanımı değerleri arasında 4 kat bir fark olduğunu görüyoruz, her iki grafikte ki numunelerede aynı işlemler uygulanmasına karşı bu farkın oluşmasının sebebi Şekil 5.35.'de ki numunelerin içinde %



1 oranında Al katılmış olmasıdır. Numunelerin karışımı sırasında numunelerin içine katılmış olan % 1 Al miktarı Eğme dayanımında yaklaşık 4 kat azalma meydana getirmiştir.

### 5.3.3. Mikrosertlik Ölçümleri

Mikrosertlik ölçümleri, numunelerin yüzeyi esas alınarak, yüzeyden içeriye doğru olmak koşulu ile 20 µm aralıklarla Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Future – Tech FM – 700 markalı cihazda ( Şekil 5.36. ) vickers uc kullanılarak 50 gram yükün 10 saniye süreyle etki ettirilmesi sonucu ölçülmüştür.



**Şekil 5.36.** Mikro sertlik cihazı (Future – Tech FM – 700 markalı cihaz).

Borlama, buharlama, karbonitrüleme ısıtma işlemleri yapılmış numuneler ısıtma işlemi görmüş yüzeyden iç kısımlarına doğru nasıl bir sertlik değişimi olduğunu görmek ve bu üç ısıtma işlemine göre karşılaştırıldı.

Isıtma işlemlerinin sonucunda bazı numuneler numaralarına göre karşılaştırıldı.

Numunelerimize her ne kadar sinterleme yapılmış olsa da, yüzey ısıtma işlemleri yapılırken borlama ısıtma işleminde 950 °C'da 4 saat, buharlama ısıtma işlemi yapılırken 550 °C'da yaklaşık 1 saat ve de karbonitrürasyon ısıtma işlemi yapılırken de ilk önce 850 °C'da 100 dakika daha sonra da 810 °C'da da 30 dakika ısıtma işlemine maruz kalırlar. Bu sebeple numunelerimizin iç yapılarında değişiklikler oluşur. Bu oluşan değişiklikleri Çizelge 5.5.- 5.7.'de sertlik değerlerinde oluşan farklılıklardan rahatlıkla anlaşılabilir.

**Çizelge 5.5.** Isıl işlem sonucunda oluşmuş tabakayla bu tabakanın sınır çizgisi arasında oluşmuş sertlik değerlerinin ortalaması alınarak, yaptığımız ısıl işlemlere göre karşılaştırılması.

Numune Numaraları	9	12	17	20	29	31	37	40
<b>Borlama Isıl İşlemi</b>	1476,3HV	1024,1HV	896,5HV	1117,4HV	685,5HV	1498,9HV	961,5HV	1289HV
<b>Buharlama Isıl İşlemi</b>	188HV	400,3HV	253,5HV	250,1HV	126,6HV	202,3HV	129HV	364,1HV
<b>Karbonit. Isıl İşlemi</b>	728,7HV	779HV	565HV	1360,6HV	427,2HV	1004,8HV	895,5HV	612,9HV

Çizelge 5.5. görüldüğü gibi ısıl işlem sonucunda oluşmuş tabakayla bu tabakanın sınır çizgisi arasındaki arada en yüksek sertlik değerlerine borlama ısıl işlemi yapılmış numunelerde görülmüştür. Oluşan sertlik değerlerine göre bir sıralama yaparsak en yüksek değerde borlama yapılmış numuneler sonra karbonitrürasyon yapılmış numuneler en son da buharlama yapılmış numuneler gelmektedir.

9, 17, 29, 37 numaralı numunelerin içinde % 0,2 oranında grafit, 12, 20, 31 ve 40 numaralı numunelerin içinde de % 0,8 oranında grafit vardır. Borlama, buharlama ya da karbonitrürasyon ısıl işlemi yapılmasına bakmaksızın içinde % 0,8 grafit bulunan numunelerin sertlik değerlerinde % 0,2 grafit içeren numunelere göre daha yüksek değerlere çıktığı görülmektedir.

**Çizelge 5.6.** Isıl işlem sonucunda oluşmuş tabakanın sınır çizgisi etrafında oluşmuş sertlik değerlerinin ortalaması alınarak, yaptığımız ısıl işlemlere göre karşılaştırılması.

Numune Numaraları	9	12	17	20	29	31	37	40
<b>Borlama Isıl İşlemi</b>	346,6HV	490,8HV	280,5HV	131,8HV	141,8HV	296,3HV	533,4HV	406,9HV
<b>Buharlama Isıl İşlemi</b>	183,6HV	186,8HV	215,7HV	267HV	161,1HV	103,5HV	204,2HV	304HV
<b>Karbonit. Isıl İşlemi</b>	654,2HV	531,7HV	234,5HV	275,1HV	427,2HV	489,4HV	565,5HV	172,5HV

Çizelge 5.6.'de ısıl işlem sonucunda oluşmuş tabakanın sınır çizgisi etrafında oluşmuş sertlik değerlerinin ortalamasında Çizelge 5.5.'e nazaran büyük düşüşler vardır. Bu düşüşün sebebi ısıl işlem sonucunda, sertliğin numunenin (difüzyondan ötürü) dış yüzeylerinde oluştuğunun

göstergesidir. Çizelge 5.6.'de sertlik değeri en yüksek değerlere karbonitrürasyon ısıl işleminde ulaşmıştır.

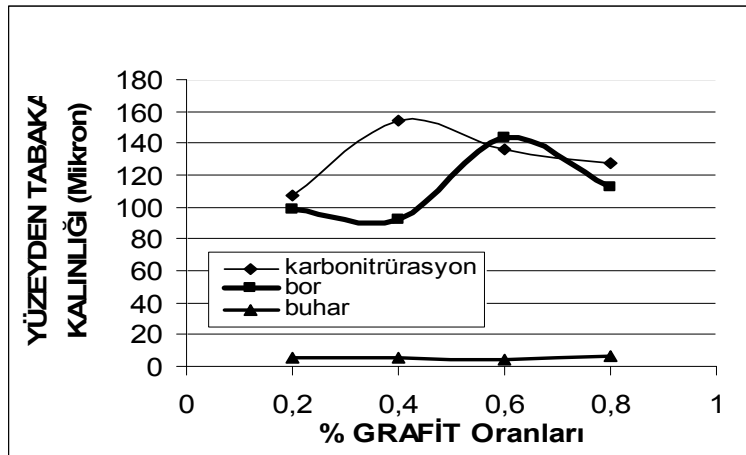
**Çizelge 5.7.** Isıl işlem sonucunda oluşmuş tabakanın sınır çizgisinin altında oluşmuş sertlik değerlerinin ortalaması alınarak, yaptığımız ısıl işlemlere göre karşılaştırılması.

Numune Numaraları	9	12	17	20	29	31	37	40
Borlama Isıl İşlemi	107,3HV	195,5HV	204,4HV	128,9HV	74HV	202,2HV	203,9HV	561HV
Buharlama Isıl İşlemi	138,6HV	111,2HV	163,3HV	285,4HV	139HV	117,3HV	148,2HV	362,2HV
Karbonit. Isıl İşlemi	200,3HV	320,8HV	556,7HV	375,4HV	127,4HV	574,4HV	565,5HV	206,3HV

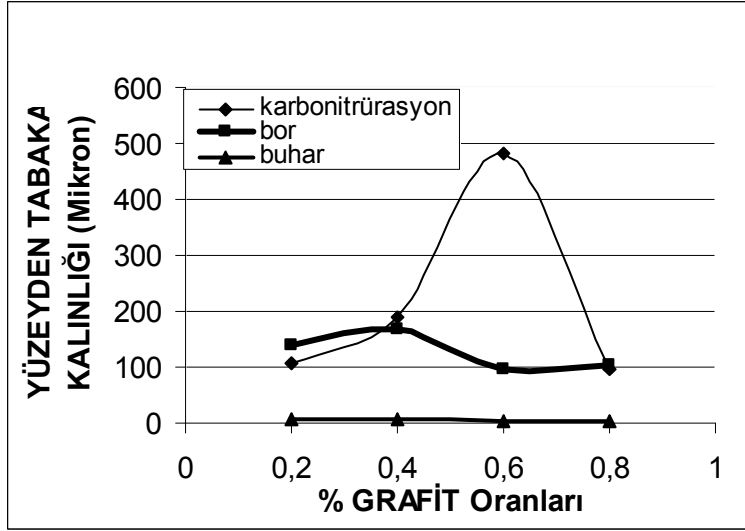
Çizelge 5.6.'deki sertlik değerinin Çizelge 5.5.'e göre daha düşük, Çizelge 5.7.'deki sertlik değerlerinin de Çizelge 5.6.'deki sertlik değerlerine göre de daha da düşük olduğunu görüyoruz. Bu değerlerde bize numunelerin kesitinde içeriye doğru inilip sertlik değerlerine bakıldığında, sertliğin içeriye doğru ölçüldüğünde sertliğin düştüğü görülmektedir.

### 5.3.4. Tabaka Kalınlıkları

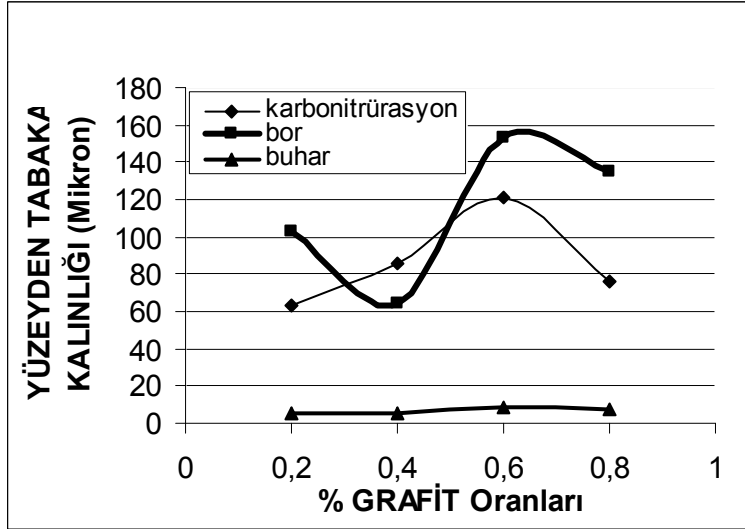
Tabaka kalınlıkları optik mikroskopta ölçülmüştür. Sonuçlar grafikler halinde Şekil 5.37. - 5.46. verilmiştir.



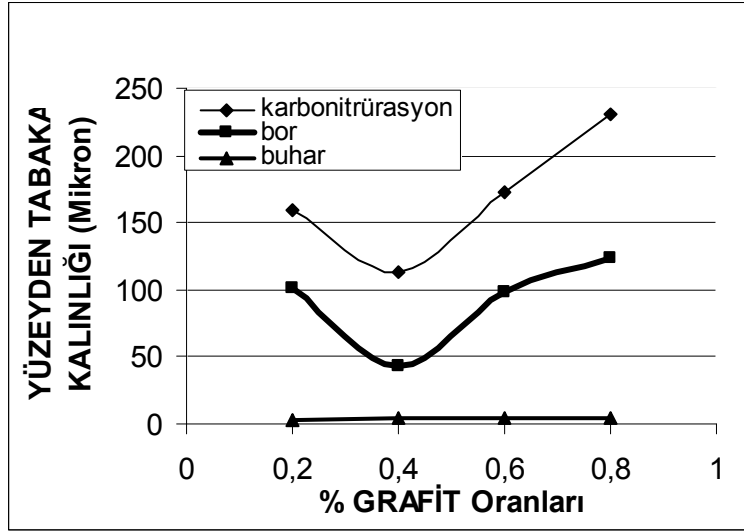
**Şekil 5.37.** Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; % 1 Cu'ya sahip 1 ile 20 numaraları arasındaki numunelerin % Grafit oranlarına göre tabaka kalınlığı grafiği.



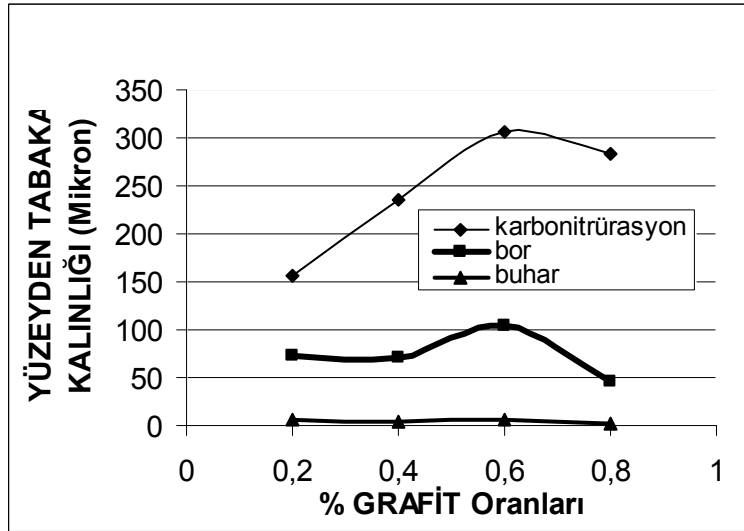
**Şekil 5.38.** Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; % 1 Cu ve % 1 Al'a sahip 21 ile 40 numaraları arasındaki numunelerin % Grafit oranlarına göre tabaka kalınlığı grafiği.



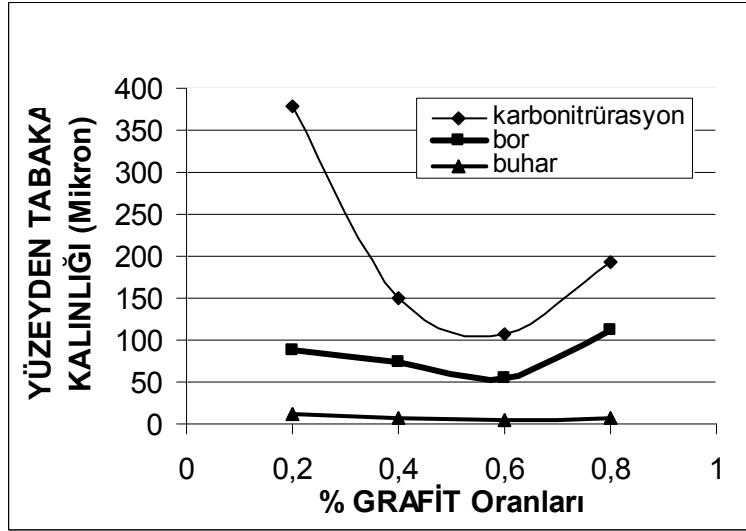
**Şekil 5.39.** Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; % 2 Cu'ya sahip 1 ile 20 numaraları arasındaki numunelerin % Grafit oranlarına göre tabaka kalınlığı grafiği.



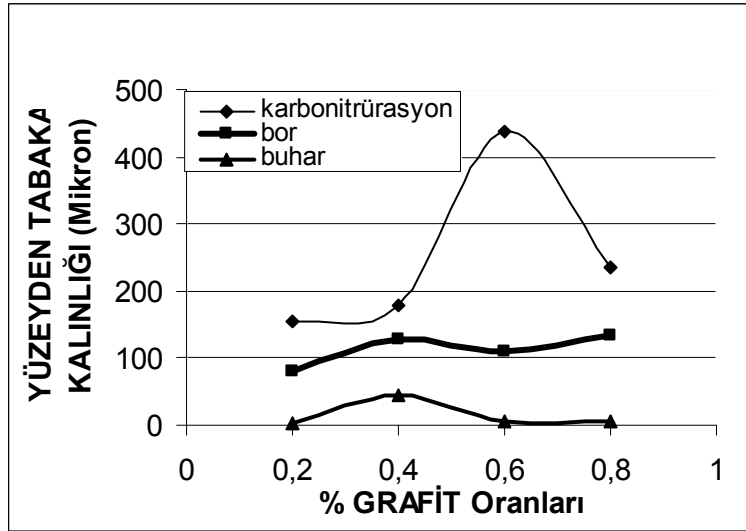
**Şekil 5.40.** Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; % 2 Cu ve % 1 Al'a sahip 21 ile 40 numaraları arasındaki numunelerin % Grafit oranlarına göre tabaka kalınlığı grafiği.



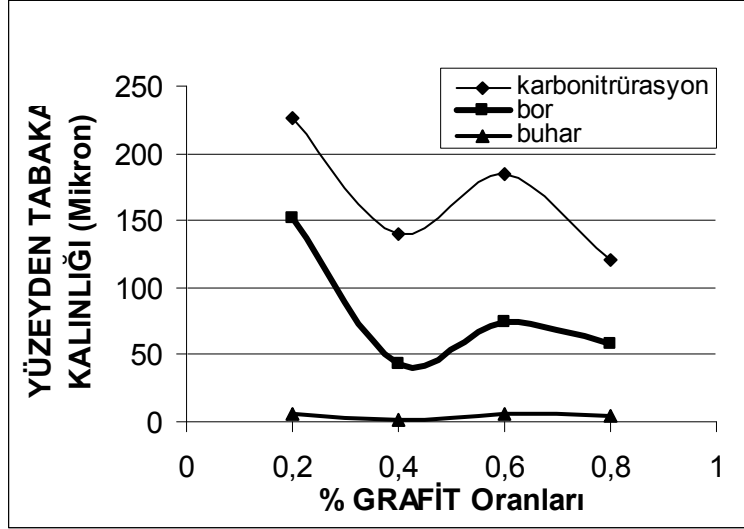
**Şekil 5.41.** Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; % 3 Cu'ya sahip 1 ile 20 numaraları arasındaki numunelerin % Grafit oranlarına göre tabaka kalınlığı grafiği.



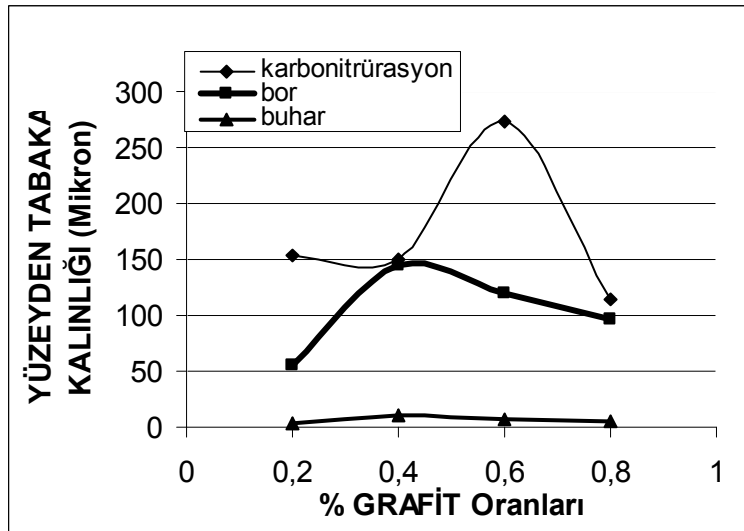
**Şekil 5.42.** Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıt işlemlerinin; % 3 Cu ve % 1 Al'a sahip 21 ile 40 numaraları arasındaki numunelerin % Grafit oranlarına göre tabaka kalınlığı grafiği.



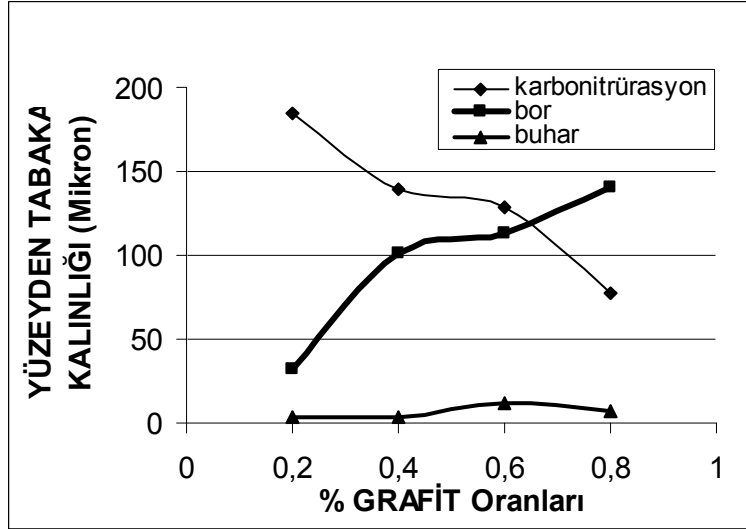
**Şekil 5.43.** Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıt işlemlerinin; % 4 Cu'ya sahip 1 ile 20 numaraları arasındaki numunelerin % Grafit oranlarına göre tabaka kalınlığı grafiği.



**Şekil 5.44.** Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; % 4 Cu ve % 1 Al'a sahip 21 ile 40 numaraları arasındaki numunelerin % Grafit oranlarına göre tabaka kalınlığı grafiği.



**Şekil 5.45.** Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıl işlemlerinin; % 6 Cu'ya sahip 1 ile 20 numaraları arasındaki numunelerin % Grafit oranlarına göre tabaka kalınlığı grafiği.



**Şekil 5.46.** Bor, buhar ve karbonitrürasyon ısıt işlemlerinin; % 6 Cu ve % 1 Al'a sahip 21 ile 40 numaraları arasındaki numunelerin % Grafit oranlarına göre tabaka kalınlığı grafiği.

Tabaka kalınlıkları Şekil 5.37.- 5.46.'da görüldüğü gibi buharlama sonucunda oluşan tabaka kalınlığı karbonitrürasyon ve borlama sonucunda oluşan tabaka kalınlıklarına göre çok düşüktür. Buharlama sonucunda oluşan tabaka kalınlıkları yaklaşık aynı değerlerdedir. Bunun sebebi buharlama (bilinçli oksitleme) ısıt işlemi sonucunda yararlı bir buhar oksit ( $Fe_3O_4$ ) tabakası oluşmasından ötürüdür. Bu oluşan buhar oksit tabakasının max. 5 µm olduğu bilinmektedir. Şekil 5.37.- 5.46.'de görüldüğü gibi buharlama sonucunda oluşan tabaka kalınlığının hepsinde 5 µm civarında olduğu görülmektedir.

Şekil 5.37.- 5.46.'de tabaka kalınlıklarının en yüksek değerlere karbonitrürasyon ısıt işlemi sonucunda oluştuğu görülmektedir.

En fazla tabaka kalınlığı değerlerini Şekil 5.36.- 5.46.'deki Çizelgelere bakıldığında Şekil 5.41.- 5.44.'de olduğunu görüyoruz. Şekil 5.41. ve 5.42.'de % 3 Cu'lu numuneler olduğunu ve de Şekil 5.43. ve 5.44.'de de % 4 Cu'lu numuneler olduğunu görüyoruz. Buradan da anlaşılacağı gibi yapılan çalışmada kullanılan numunelerden tabaka kalınlığının en fazla olduğu numuneler % 3 ve % 4 Cu içeren numunelerdir.

### 5.3.5. Metalografik İnceleme

Metalografik inceleme numuneleri aşınma, yorulma ve çekme numunelerinin bir bölümünün kesilmesi suretiyle elde edilmiştir. Numunelerin içyapı incelemelerine hazır hale getirilmesinde Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde bulunan



METKON marka cihazları kullanılmıştır. Numuneler Metkon - DIGISET 2V cihazı ile sırasıyla 240, 400, 600, 800, 1000, 1200 nolu zımparalarla parlatılmış ve son olarak alümina tozu ile yüzey ayna parlaklığına getirilmiştir.

İçyapı incelemesi görülebilmesi için hazırlanan % 2 nital (% 2  $\text{NHO}_3$ , % 98 alkol) çözeltisi ile numune yüzeyleri dağlanmıştır.

İçyapı fotoğrafları MEIJI ML7100 marka ışık mikroskobu ile çekilmiştir (Şekil 5.47.).



**Şekil 5.47.** İçyapı fotoğraflarının alındığı mikroskop.

### 5.3.5.1. Optik Mikroskop Fotoğrafları

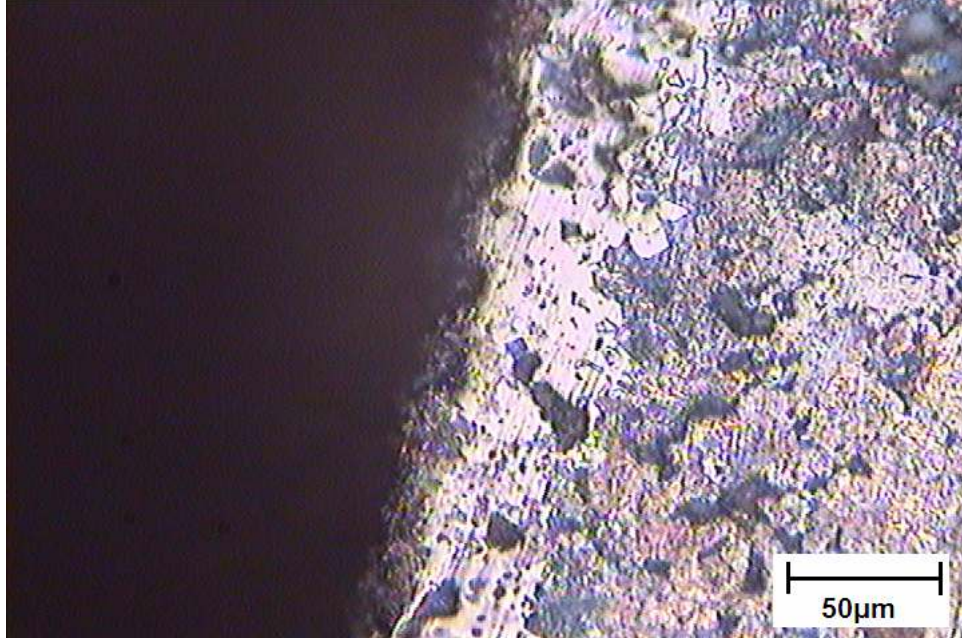
İçyapı fotoğrafları optik mikroskopta çekilmiştir ve görüntüler Şekil 5.48.- 5.59.'lar da gösterilmiştir.

Numunelerimize her ne kadar sinterleme yapılmış olsa da, yüzey ısıl işlemleri yapılırken borlama ısıl işleminde  $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'da 4 saat, buharlama ısıl işlemi yapılırken  $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'da yaklaşık 1 saat ve de karbonitrürasyon ısıl işlemi yapılırken de ilk önce  $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'da 100 dakika daha sonra da  $810\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'da da 30 dakika ısıl işleme maruz kalırlar. Bu sebeple numunelerimizin içyapılarında değişiklikler oluşur.

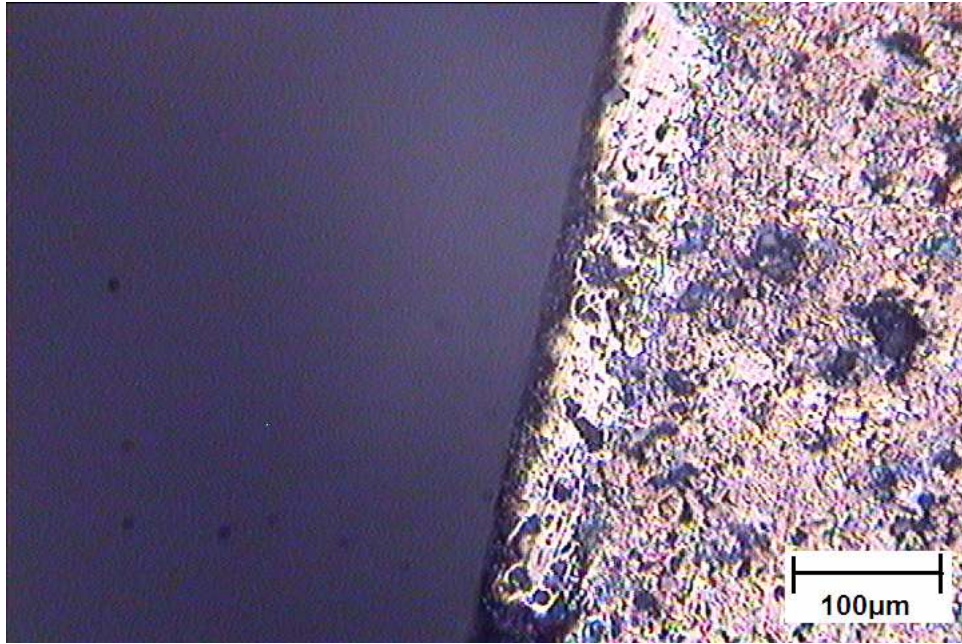
Numunelerimizin borlama, karbonitrürleme ve buharlama ısıl işlemleri neticesinde iç yapılarında oluşan farklılıkları Şekil 5.48.- 5.59.'lerde optik mikroskopta çekilmiş olan içyapı fotoğraflarında görülmektedir.

Borlama, karbonitrürleme ve buharlama ısıl işlemleri sonucunda oluşan yüzey tabakaları içyapı incelemesinde görülmüştür. Buharlama ısıl işlemi sonucunda oluşan yüzey tabakası max.  $5\text{ }\mu$  olduğu için, buharlama ısıl işleminin oluşturduğu yüzey tabakası bir çizgi gibi görülmektedir.

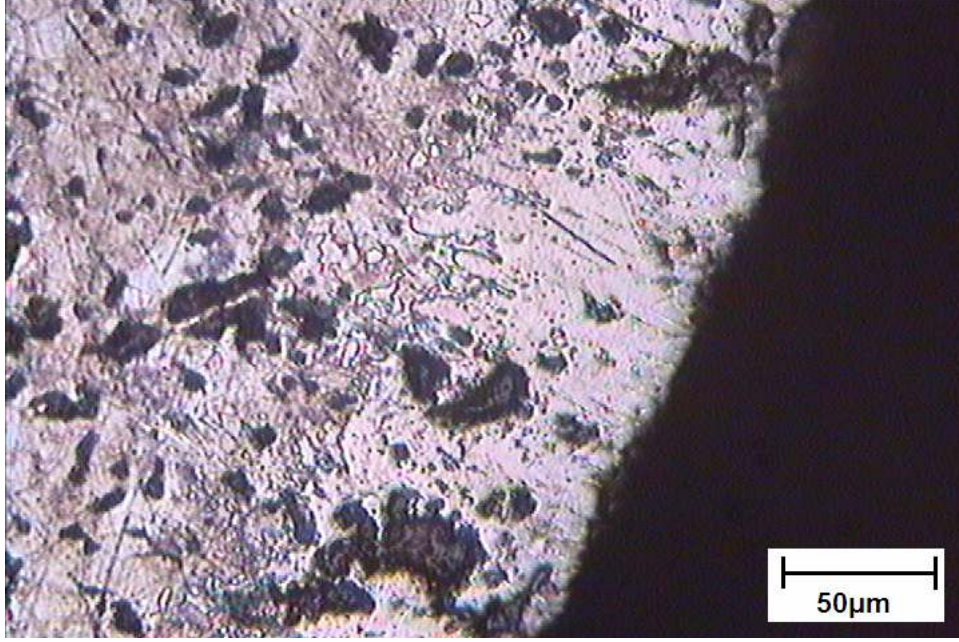
### 5.3.5.1.1. Borlanmış Numunelerin Fotoğrafları



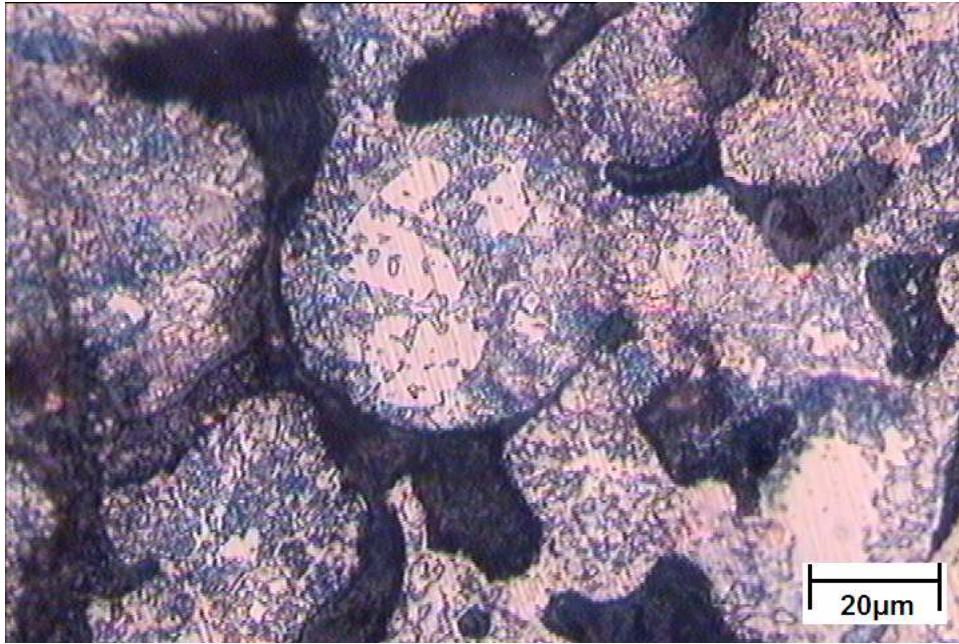
**Şekil 5.48.** Borlanmış 12 (% 3 Cu + % 0,8 Grafit + % 96,2 Fe) numaralı numunenin içyapı görüntüsü.



**Şekil 5.49.** Borlanmış 12 (% 3 Cu + % 0,8 Grafit + % 96,2 Fe) numaralı numunenin içyapı görüntüsü.

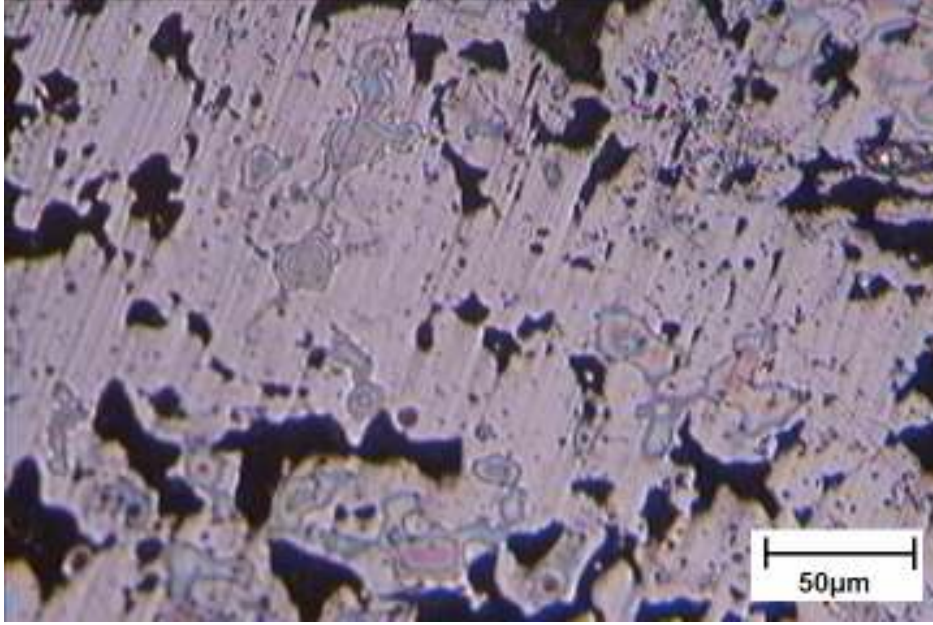


**Şekil 5.50.** Borlanmış 20 (% 6 Cu + % 0,8 Grafit + % 93,2 Fe) numaralı numunenin içyapı görüntüsü.

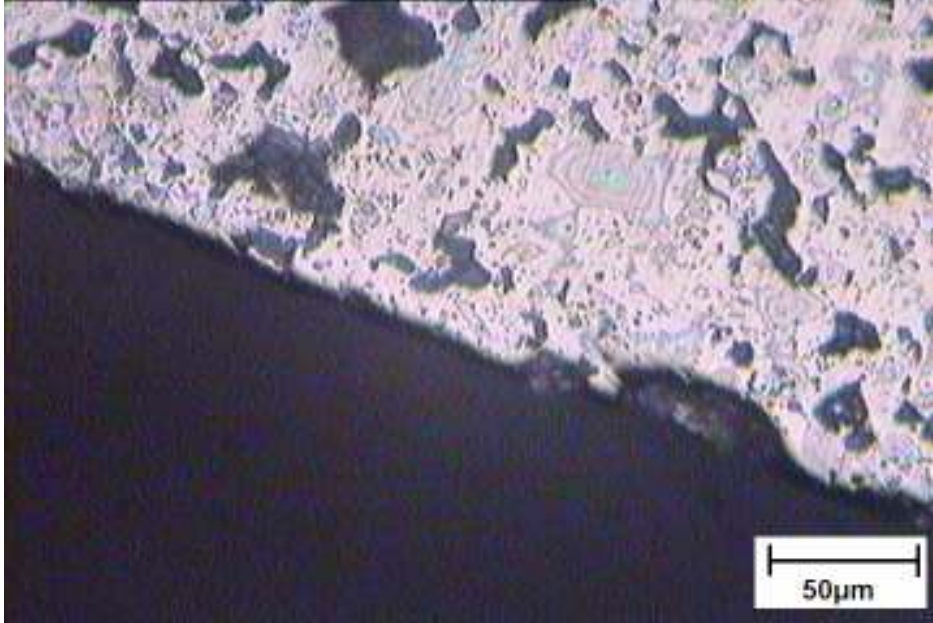


**Şekil 5.51.** Borlanmış 40 (% 6 Cu + % 0,8 Grafit + % 1 Al + % 92,2 Fe) numaralı numunenin içyapı görüntüsü.

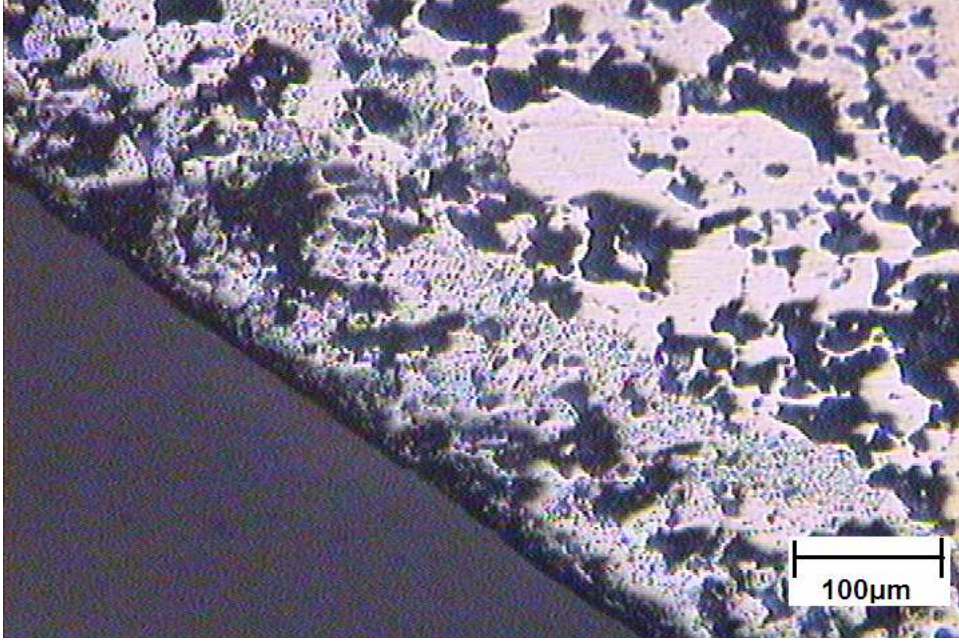
### 5.3.5.1.2. Karbonitrürlenmiş Numunelerin Fotoğrafları



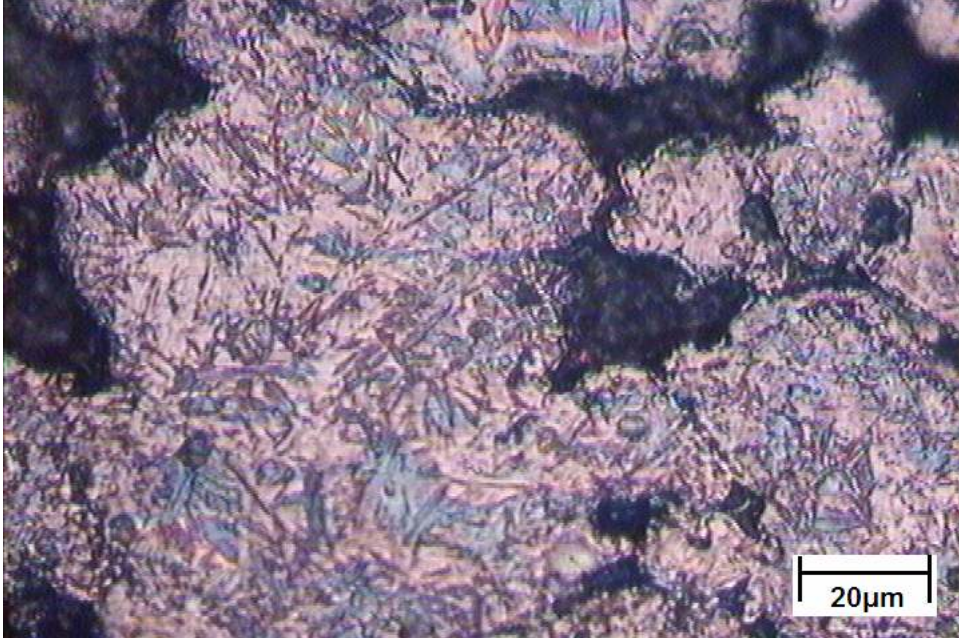
**Şekil 5.52.** Karbonitrürlenmiş 17 (% 6 Cu + % 0,2 Grafit + % 93,8 Fe) numaralı numunenin içyapı görüntüsü.



**Şekil 5.53.** Karbonitrürlenmiş 17 (% 6 Cu + % 0,2 Grafit + % 93,8 Fe) numaralı numunenin içyapı görüntüsü.

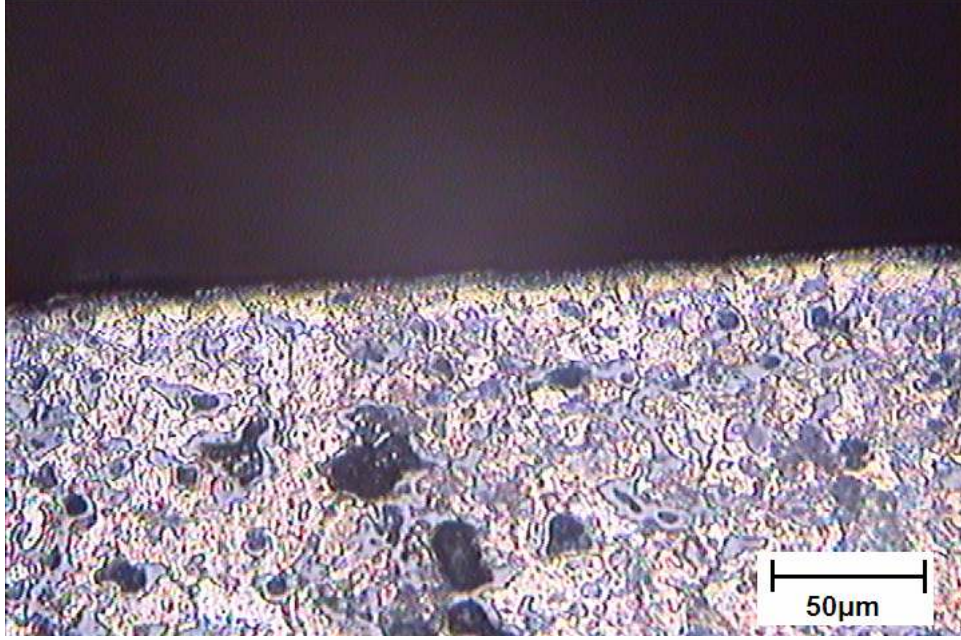


**Şekil 5.54.** Karbonitrülenmiş 29 (% 3 Cu + % 0,2 Grafit + % 1 Al + % 95,8 Fe) numaralı numunenin içyapı görüntüsü.

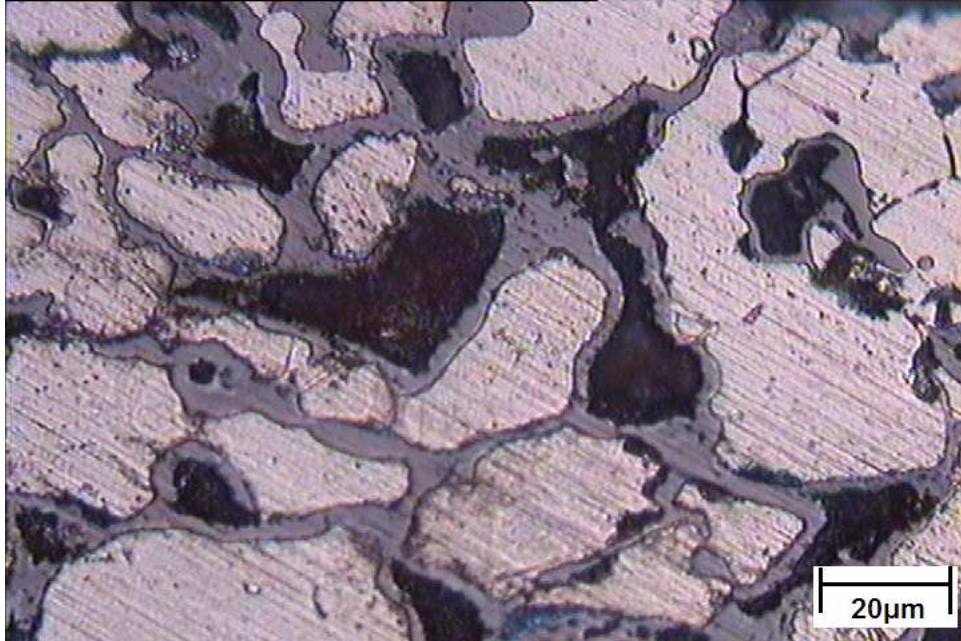


**Şekil 5.55.** Karbonitrülenmiş 35 (% 4 Cu + % 0,6 Grafit + % 1 Al + % 94,4 Fe) numaralı numunenin içyapı görüntüsü.

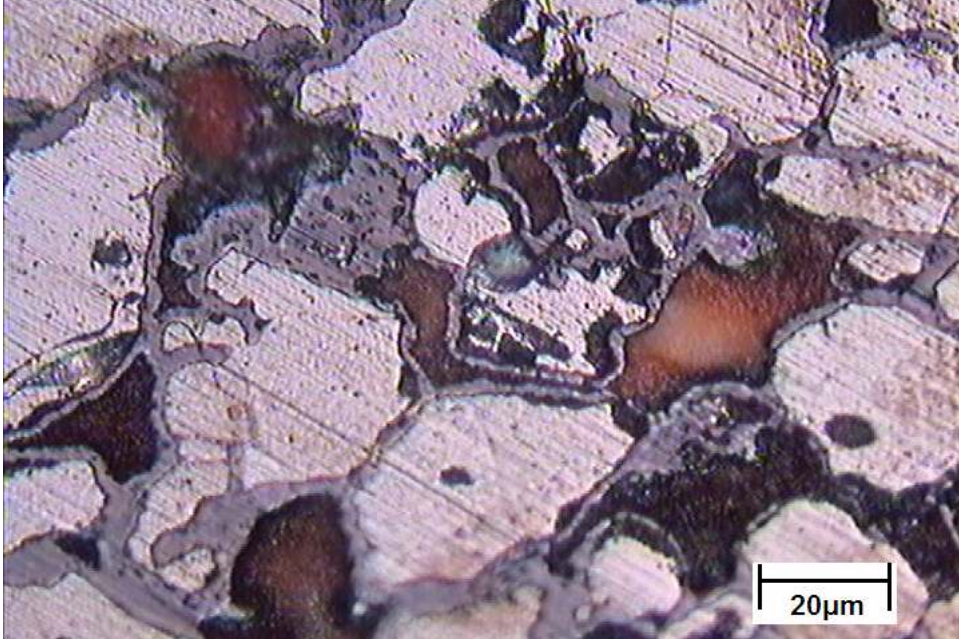
### 5.3.5.1.3. Buharlanmış Numunelerin Fotoğrafları



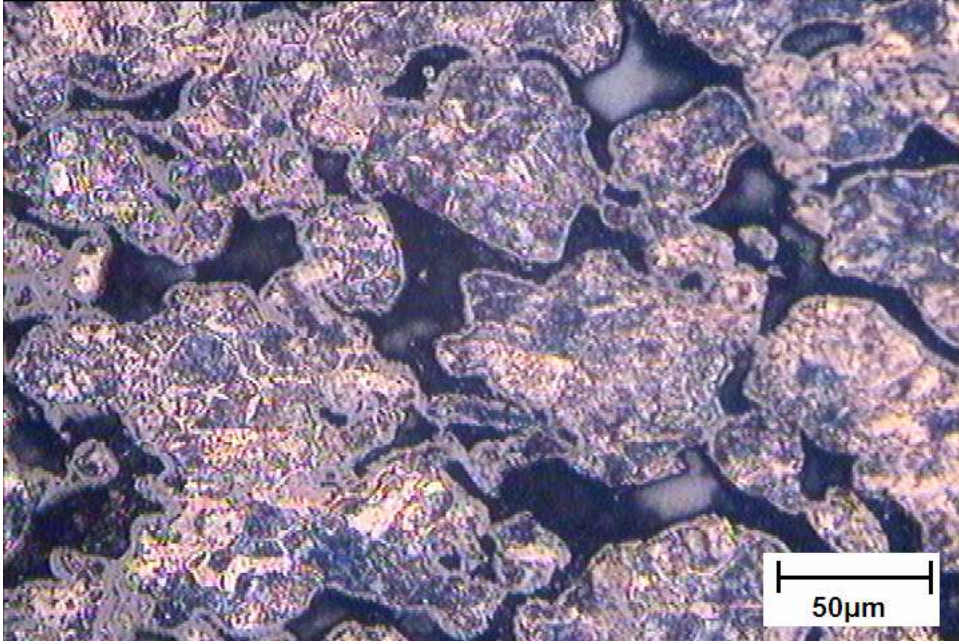
**Şekil 5.56.** Buharlanmış 9 (% 3 Cu + % 0,2 Grafit + % 96,8 Fe) numaralı numunenin içyapı görüntüsü.



**Şekil 5.57.** Buharlanmış 31 (% 3 Cu + % 0,6 Grafit + % 1 Al + % 95,4 Fe) numaralı numunenin içyapı görüntüsü.



**Şekil 5.58.** Buharlanmış 31 (% 3 Cu + % 0,6 Grafit + % 1 Al + % 95,4 Fe) numaralı numunenin içyapı görüntüsü.



**Şekil 5.59.** Buharlanmış 40 (% 6 Cu + % 0,8 Grafit + % 1 Al + % 92,2 Fe) numaralı numunenin içyapı görüntüsü.

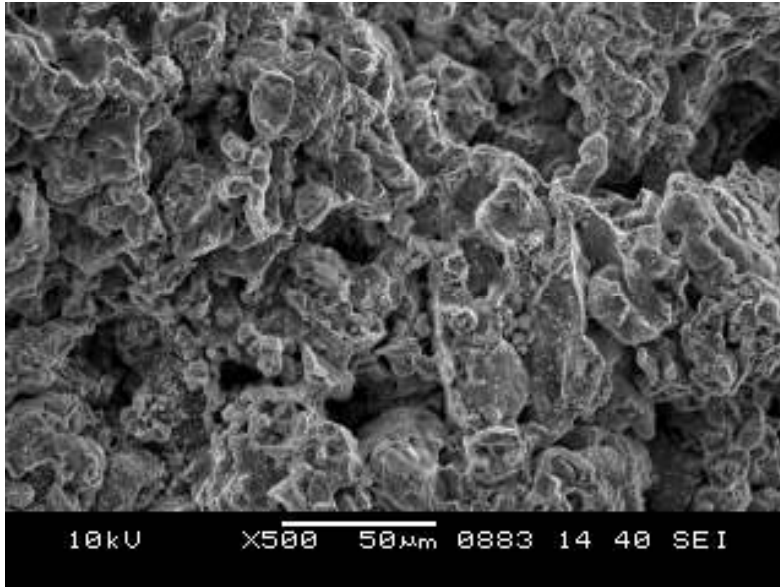
### 5.3.6. SEM Görüntüleri

SEM görüntüleri Dokuz Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde ki "JEOL JSM-6060 Scanning Electron Mikroscope" cihazında (Şekil 5.60.) yapılmıştır. SEM görüntüleri Şekil 5.61.- 5.72.'lerde gösterilmiştir.



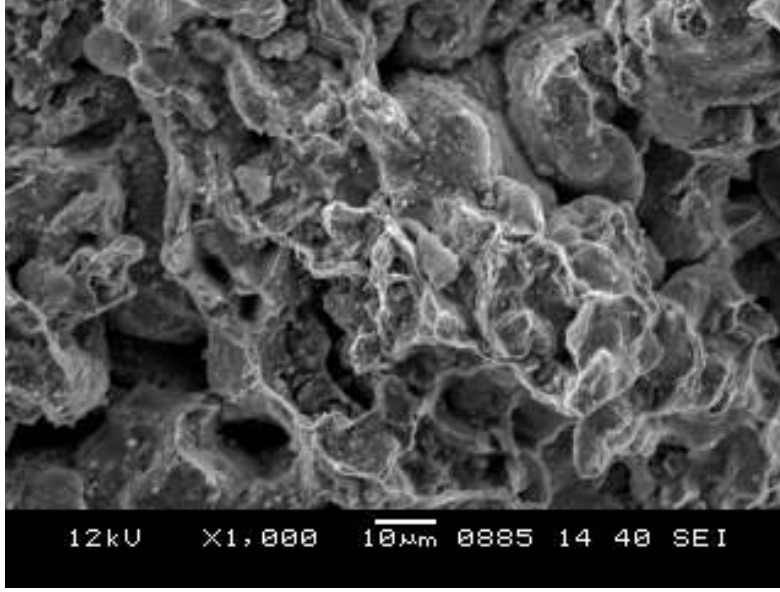
Şekil 5.60. Kırılma numunelerinin görüntüsünün alındığı Sem cihazı.

5.3.6.1. Borlanmış 17 numaralı parçanın (% 6 Cu + % 0,2 Grafit + % 93,8Fe) kırılmış yüzeyinin sem görüntüleri.



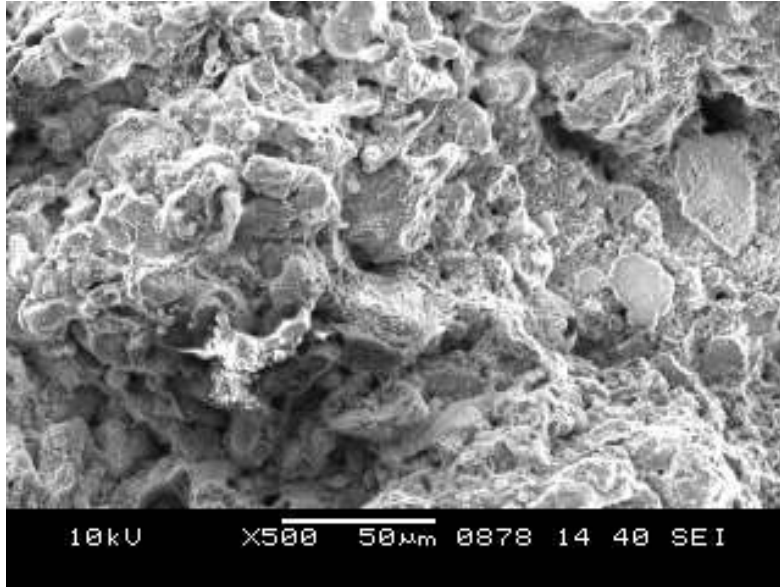
Şekil 5.61. Borlanmış 17 numaralı parçanın sem'de 500 kat büyütülmüş hali.



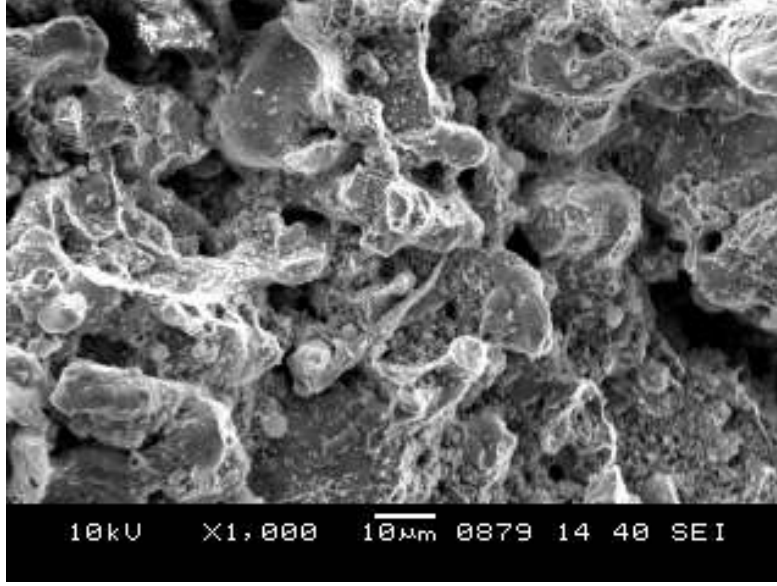


**Şekil 5.62.** Borlanmış 17 numaralı parçanın sem'de 1000 kat büyütülmüş hali.

**5.3.6.2.** Borlanmış 31 numaralı parçanın ( % 3 Cu + % 0,6 Grafit + % 1 Al + % 95,4 Fe ) kırılmış yüzeyinin sem görüntüleri.

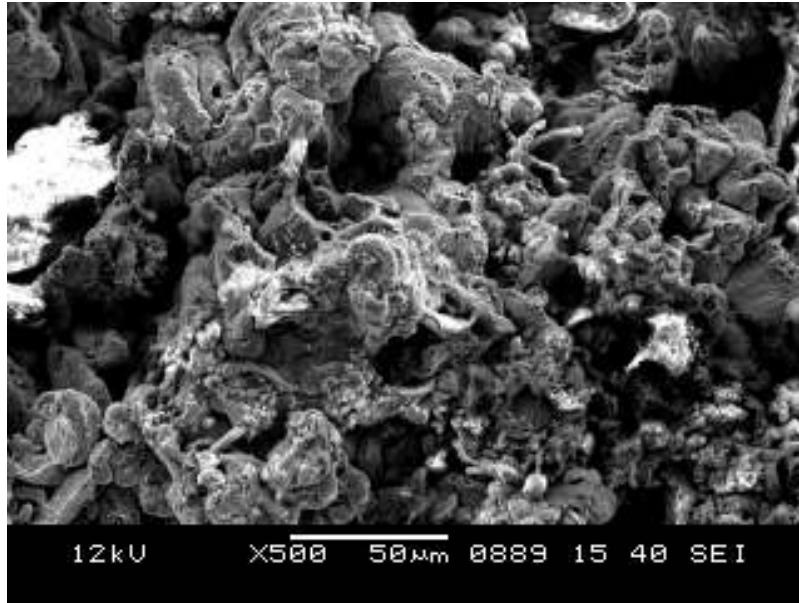


**Şekil 5.63.** Borlanmış 31 numaralı parçanın sem'de 500 kat büyütülmüş hali.



**Şekil 5.64.** Borlanmış 31 numaralı parçanın sem'de 1000 kat büyütülmüş hali.

**5.3.6.3.** Buharlanmış 17 numaralı parçanın (% 6 Cu + % 0,2 Grafit + % 93,8 Fe) kırılmış yüzeyinin sem görüntüleri.

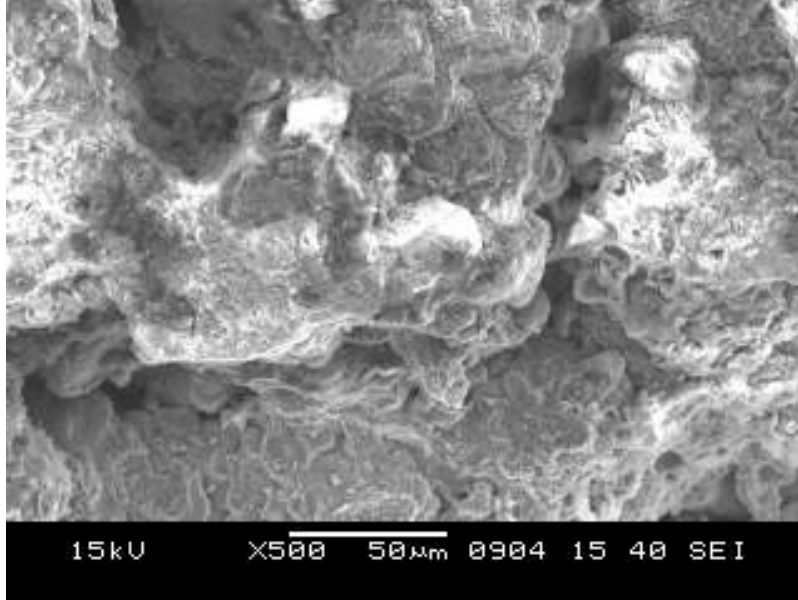


**Şekil 5.65.** Buharlanmış 17 numaralı parçanın sem'de 500 kat büyütülmüş hali.

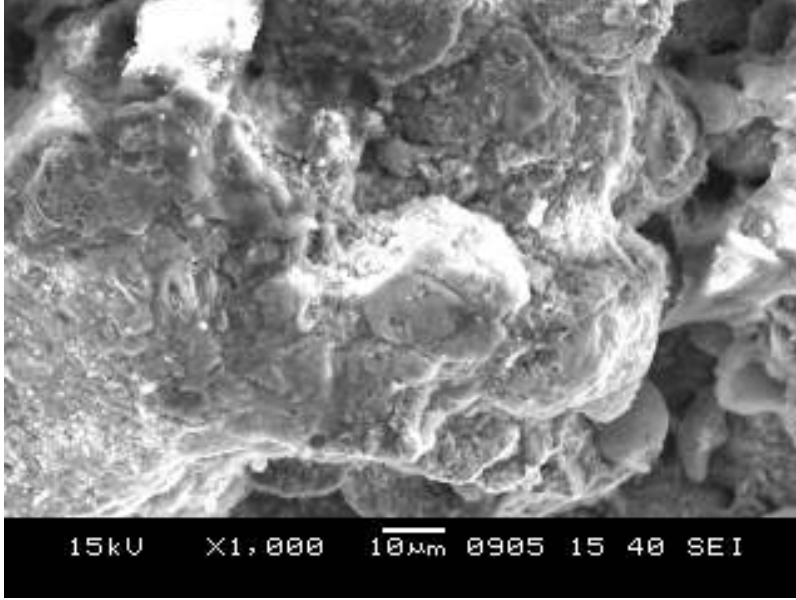


**Şekil 5.66.** Buharlanmış 17 numaralı parçanın sem'de 1000 kat büyütülmüş hali.

**5.3.6.4.** Buharlanmış 31 numaralı parçanın (% 3 Cu + % 0,6 Grafit + % 1 Al + % 95,4 Fe ) kırılmış yüzeyinin sem görüntüleri.

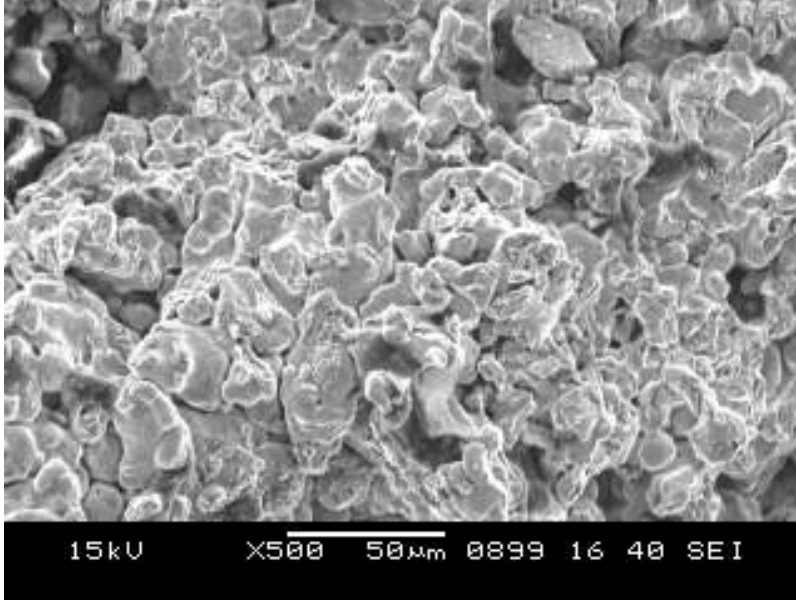


**Şekil 5.67.** Buharlanmış 31 numaralı parçanın sem'de 500 kat büyütülmüş hali.

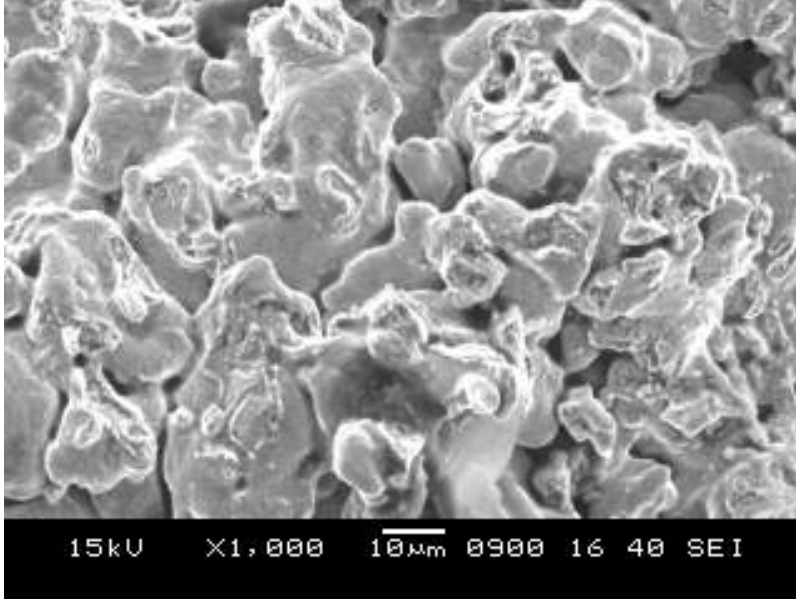


**Şekil 5.68.** Buharlanmış 31 numaralı parçanın sem'de 1000 kat büyütülmüş hali.

**5.3.6.5.** Karbonitrülenmiş 17 numaralı parçanın (% 6 Cu + % 0,2 Grafit + % 93,8 Fe) kırılmış yüzeyinin sem görüntüleri.

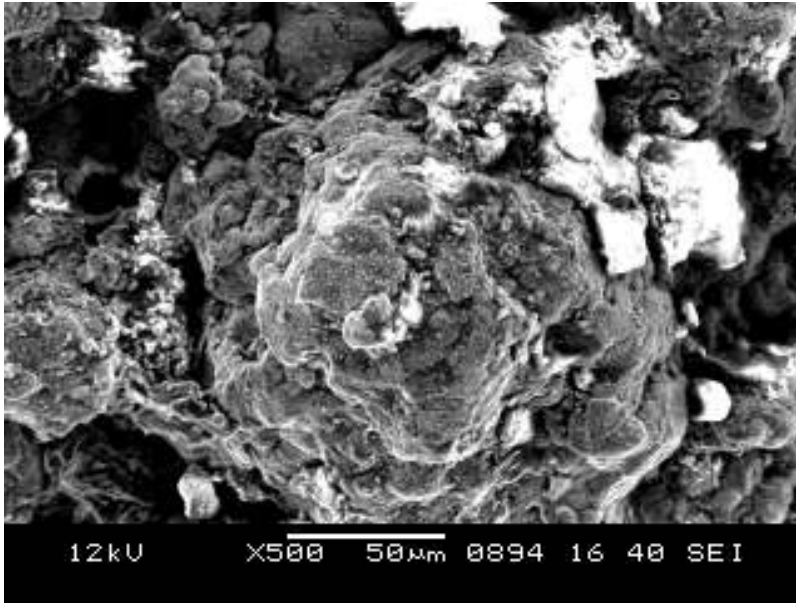


**Şekil 5.69.** Karbonitrülenmiş 17 numaralı parçanın sem'de 500 kat büyütülmüş hali.

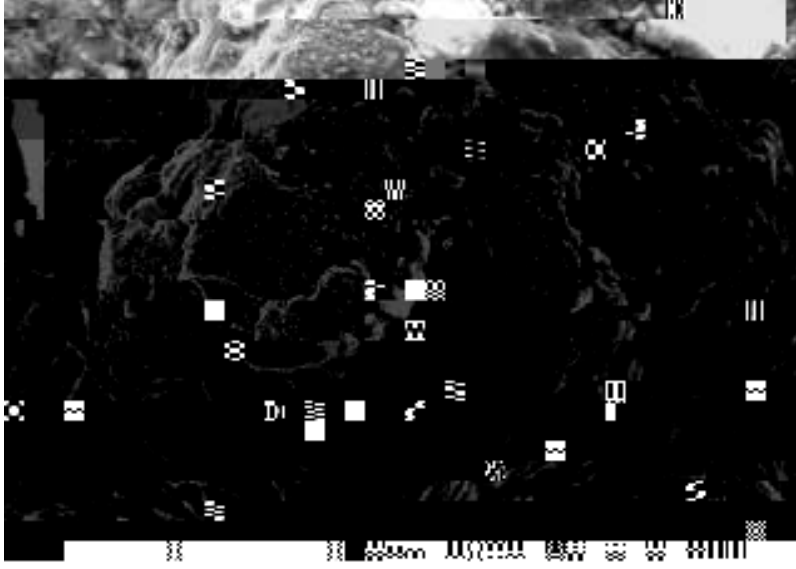


**Şekil 5.70.** Karbonitrülenmiş 17 numaralı parçanın sem'de 1000 kat büyütülmüş hali.

**5.3.6.6.** Karbonitrülenmiş 31 numaralı parçanın (% 3 Cu + % 0,6 Grafit + % 1 Al + % 95,4 Fe ) kırılmış yüzeyinin sem görüntüleri.



**Şekil 5.71.** Karbonitrülenmiş 31 numaralı parçanın sem'de 500 kat büyütülmüş hali.



**Şekil 5.72.** Karbonitrürlenmiş 31 numaralı parçanın sem'de 1000 kat büyütülmüş hali.

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada kullanılan numuneler ağırlıklarına göre oranlanarak demir tozlarının içine % 1-6 oranında bakır, % 0,2 - 0,8 oranında grafit ve numunelerimizin bir kısmına da % 1 oranında alüminyum konulmuştur. Numunelerimizin içine % 0,8 oranında çinko streat konulmuştur. Numunelerimizi homojen yapabilmek için 20 dakika süre ile karıştırılmıştır. Numuneler preste 500 MPa basınçta basılmıştır. Numunelerimizin boyutları 10x10x55mm boyutlarındadır.

Numuneler endotermik gaz ortamına sahip kontrollü sinterleme fırınında 1120 °C' de 45 dakika süreyle sinterlenmiştir. Sinterleme yapılmış numunelerimizin 1/3'üne borlama (en uygun sıcaklık olan 950 °C 4 saat borlanmıştır), diğer 1/3'üne karbonitrürasyon ( 850 °C'de 0,90 karbon ve amonyaklı ortamda 100 dakika bekletilmiştir, daha sonra 810 °C'de 30 dakika bekletilerek sertleştirme işlemi yapılmıştır. Soğutma işlemi ise 80 °C 'lik ortamda sirkülasyonlu martemperleme yağı ile yapılmıştır.) ve geri kalanlara buharlama (Bilinçli oksitleme) ısıl işlemleri (Isıl işlem gerçekleştirilirken ilk olarak oksijensiz ortamda 150 °C'de ön ısı uygulanmış ve sonra da 550 °C'de 1 saat su buharı püskürterek buharlama ısıl işlemi tamamlanmıştır,) yapılmıştır.

Bütün numunelere için üç nokta eğme mekanik deneyi, mikro sertlik ölçümleri, tabaka kalınlığı ölçümleri yapılmıştır. Numunelerimize metalografik incelemelerde yapılmıştır. Optik mikroskopta içyapı fotoğrafları çekilmiştir. Ayrıca numunelerimizin SEM görüntüleri de alınmıştır.

Numunelerimiz incelendiğinde ortaya çıkan genel sonuçlar şöyledir:

- 1- Mekanik deneyler sonucunda grafit oranında ki artış, ne çökme miktarı, ne de max. uzamada belirgin değişikliklere sebep olmamıştır.
- 2- Bakır oranındaki artış ile çekme mukavemetinde artış ve de çökme miktarında da azalma olduğu görülmüştür.
- 3- 3 nokta eğme deneyi sonucunda genelde % 3 bakır içeren numunelerimizin mekanik özelliklerin değerleri yükselmiştir.
- 4- % 6 bakır içeren numunelerin kopma uzamalarında artış görülürken, % 1-4 bakır içeren numunelerimizin çökme miktarı değerlerinde ise düşme görülmüştür.
- 5- Buharlama ısıl işlemi yapılmış Al içermeyen numunelerin(1-20 numaralı numuneler) kopma miktarı ve eğme dayanımı değerlerinde; Al içeren numunelerin değerlerine göre (21-40 numaralı numuneler) takriben 3 kat artış görülmüştür.
- 6- Borlama ve karbonitrürasyon ısıl işlemleri yapılmış Al içermeyen numunelerin(1-20 numaralı numuneler) eğme dayanımı değerlerinde; Al içeren numunelerin değerlerine göre (21-40 numaralı numuneler) takriben 3 kat artış görülmüştür.

- 7- Numunelerimize her ne kadar sinterleme yapılmış olsa da, yüzey ısıl işlemleri yapılırken borlama ısıl işleminde 950 °C'da 4 saat, buharlama ısıl işleminde yapılırken 550 °C'da yaklaşık 1 saat ve de karbonitrürasyon ısıl işleminde yapılırken de ilk önce 850°C'da 100 dakika daha sonra da 810 °C'da da 30 dakika ısıl işleme maruz kalırlar. Bu sebeple numunelerimizin içyapılarında değişiklikler oluşur.
- 8- Numunelerin sertlik değerlerine göre karşılaştırmak istersek borlama, buharlama yada karbonitrürasyon ısıl işleminde yapılmasına bakmazsınız içinde % 0,8 grafit bulunan numunelerin sertlik değerlerinde % 0,2 grafit içeren numunelere göre daha yüksek değerlere çıktığı görülmektedir.
- 9- % 3 bakır içeren numuneler ise sertlik değerlerinde en iyi sonucu vermiştir.
- 10- Buharlama ısıl işleminde sonucunda oluşan tabaka kalınlığı karbonitrürasyon ve borlama ısıl işlemleri sonucunda oluşan tabaka kalınlıklarına göre çok düşüktür. Buharlama sonucunda oluşan tabaka kalınlıkları yaklaşık aynı değerlerdedir. Bunun sebebi buharlama (bilinçli oksitleme) ısıl işleminde sonucunda yararlı bir demir oksit ( $Fe_3O_4$ ) tabakası oluşmasından ötürüdür. Bu oluşan buhar, demir oksit tabakasının kalınlığının ortalama 5 µm olarak belirlenmiştir.
- 11- Numunelerimizin borlama, karbonitrürleme ve bilinçli oksitleme (buharlama) ısıl işlemleri neticesinde içyapılarında değişimler görülmüştür.
- 12- Borlama, karbonitrürleme ve bilinçli oksitleme (buharlama) ısıl işlemleri sonucunda oluşan yüzey tabakaları içyapı incelemesinde görülmüştür.



## **7. KAYNAKLAR**

1. ASM Handbook, Vol. 16, Machining, ASM International, USA, 1998.
2. ASM Handbook, Vol. 7, Powder Metallurgy, ASM International, USA, 1998.
3. Alpugan, Z., "T/M'de Presleme Tekniği ve Nükleer Yakıt (DOZ) Üretimine Uygulanması.", TÜBİTAK, 1981.
4. Atik , E., " Çeliklerin Borlanarak Aşınma Dayanımlarının Arttırılması", mühendis ve Makina, Sayı 445 Sayfa 17-20, Şubat, 1997.
5. Atik, E., Meriç, C., Yavuz, N., "Demir Esaslı T/M Malzemelerin Borlanması" 3. Uluslararası Toz metalurjisi Konferansı, 2002.
6. Bakkaloğlu, A., "Paslanmaz Çelik Tozların Sinterlenmesi" 3. Uluslararası Toz metalurjisi Konferansı, 2002.
7. Başaran, A., " Toz Metalurjisi Parçalara Uygulanan Mekanik Yüzey İşlemlerinden Bilyalı Dövme" , Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Seminer Notu, 2003.
8. Baydur, G., "Malzeme.", Devlet Kitapları, İkinci Basılış, Sayfa No: 278-282, Milli Eğitim Basımevi,
9. Bozkurt, N., "Bor Yayınımla Çeliklerde Yüzey Sertleştirme" Doktora Tezi, İ.T.Ü., Fen Bil. Enst., İstanbul, 1984.
10. Can, A., "Tasarımcı Mühendisler İçin Malzeme Bilgisi" Pamukkale Üniversitesi, 2004.
11. Çalışkan, C., "Toz Metalurjisi" , İstanbul Teknik Üniversitesi ,Bitirme Projesi, 2000.
12. Çiğdem, M., 'İmal Usulleri', Çağlayan Kitapevi, 1996.
13. Demirci, H., "Mühendislik Malzemeleri" , Uludağ Üniversitesi, 2004.
14. Dixon, R.T.R and Clayton, A. "Powder Metallurgy For Engineers, The Mechanery Publishing Co., LONDON.1971.
15. Drar, H., "Fatigue Fracture of MnS-Containing Powder Metallurgy Steels", J.Materials Science Letters, Vol 15 ,1996.
16. Ersumer, A., "Toz Metalurjisi.", Sayfa No: 7-47, İTÜ Kütüphanesi Matbaası, Gümüssuyu İSTANBUL ,1970.
17. Fichtl, W., "Boronizing and its Practical Application" Materials in Engineering, 2:276-286, 1981.
18. Gagne, M., Chagnon, F., "Enhancing the Machinability of Powder-Forged Components", World PM Conference, Granada, Spain, 1998.
19. Germen, M., " Powder Metallurgy Science" " ASM Handbook", Vol 4 437-446 p, 1982.
20. German, R.M., "Powder Metallurgy Science", MPIF, USA, 1984.
21. German, R.M., ve Queeney, R., "Fatigue And Fracture Control For Powder Metallurgy Components" ASM Handbook ,Vol 19 , 1996 .

22. German, R.M., "Powder Metallurgy Science", The Pennsylvania State University, Vol 9 348-350 p 1997
23. Göy, Z., "Borlama" Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bil.Enst., İstanbul, 1984.
24. Güleç, Ş., ve Aran, A., "Malzeme Bilgisi" İTÜ, 1995.
25. Hoeganaes AB, "Hoganas HandBook For Sintered Components :5, Machining Guidelines", Hoeganaes AB, Sweden, 1998.
26. [http://www.turktoz.gazi.edu.tr/ttmd\\_tr.htm](http://www.turktoz.gazi.edu.tr/ttmd_tr.htm)
27. James, W.B., "Effect of Alloying Methods on Thermal Processing and Properties of Ferrous Materials " Industrial Heating Vol.59 ,1992.
28. Krzyminski, H., Kunst, H. T., "Borieren Refraktärer Metalle, Harterei Technische Mitteilungen" Vol 28 100-112 p. 1973.
29. Lawley, A., "Atomization, The Production of Metal Powders", MPIF, Princeton, 1992.
30. Madan D.S "An Update on the Use of Manganese Sulfide (MnS) Powder in Powder Metallurgy Applications " Advances in P\M MPIF ,Vol 3 1991.
31. Matık , U., Çıtak , R., "Toz metalurjisi ile Üretilmiş Demir Esaslı Parçalarda Asidik ve Bazik Akımsız Nikel Kaplama Klitesine Etkisi" Gazi Journal ,2005.
32. Matuschka, A.G., "Boronizing" Carl Hanser Verlag München, 1980.
33. Maulik, P., and Price, W.J.c., "Effect of Carbon Addition on Sintering Characteristic and Microstructure of BT 42 High Speed Steel.", Sayfa No: 30, 247, 1987.
34. Monson, C.J. and Weeks, W.R., "Metallurgy.", American Technical Society, Chiago, USA,1963.
35. Onaran, K., ve Altıntaş, S., "Malzemelerin Yapı ve Özellikleri.", İTÜ Kütüphanesi, Cilt 2, Sayı 1325, Sayfa No: 128-133, Gümüssuyu /STANBUL,1986.
36. Pengxun, Y., "Gaseous boronizing with solid boron-yielding agents" Thin Solid Films., Vol 214, 44-47 p., N-1 ,Jun 30 1992.
37. Sarıtaş, S., Varol, R., Doğan, C., "The Effect of Shot Peening on the Fatigue Properties of Steels" Euro PM 97, Proce.of Advance Structural PM Compenent Production, Munich, Germany, October 15 – 17 1995.
38. Sarıtaş , S., "Toz Metal Çeliklerin Yorulma Özellikleri" 3. Uluslararası Toz metalurjisi Konferansı 2002.
39. Sayın, E., "Toz Metal Parçalarının Isıl İşlemleri", 2005.
40. Selçuk, B., "Borlanmış AISI 1020 ve AISI 5115 Çeliklerinin Sürtünme ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi" Doktora Tezi, E. Ü. Fen Bil. Enst., Kayseri, 1994.
41. Sisko, F.T., "Engineering Metallurgy.", Pitman Publishing Company, NEW YORK, 1957.
42. Sinha, A. K., "Heat Treating" 24. Matuschka, A.G., "Boronizing" Carl Hanser Verlag München, 1980.

43. Şahin, S., Tekin, A., Kumru, N., "Toz Metalurjisi Uygulamaları" Sayı: 124, Sayfa: 76 – 79 Metal Dünyası Eylül 2003.
44. Topbaş M.A., İSTANBUL " Isıl işlemler" . 1993.
45. Turan, H., Sarıtaş, S., "Gaz Atomizasyonu ile Metal Tozu Üretimi", 6.Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, ODTÜ, Ankara. 21-23 Eylül 1994.
46. Ullmanns, "Encyklopaedia der Technischen Chemi, Bor and ferrobor" Band 8: 644 – 675, 1974.
47. Ünlü, B.S., "Kaymalı Yataklarda Tribolojik Özelliklerin ve Borlanmış Demir Esaslı Malzemelerin Yatak Olarak Kullanılabilirliğinin Belirlenmesi". 2004 C.B.Ü. Fen Bilimleri.
48. William F.SMİTH. ' Smith Structure And Properties Of Engineering Alloys' Mc Graw Hill ..Sayfa No : 312-318, 1993.
49. [www. carboloy.com/News/Technical/turningpm/default.htm](http://www.carboloy.com/News/Technical/turningpm/default.htm) 10.05.2005.
50. Yılmaz, S.S., Doktora Tezi , "Demir Esaslı T/M Parçaların Yüzey Sertleştirme İşlemlerinin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi" 2004 C.B.Ü. Fen Bilimleri.
51. Yılmaz, Y., Yalçın, B., Varol, R., "Toz metal Parçaların Talaşlı İşlenmesin de Karşılaşılan Zorluklar ve Çözüm Önerileri, 2005.
52. Yücel, O., "Kabotermik Ferrobor Üretim Parametrelerinin Optimizasyonu" Doktora Tezi, İ.T.Ü., Fen Bil. Enst., İstanbul, 1992.