

**TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMİŞ AA2014 ALÜMİNYUM
ALAŞIMININ MİKROYAPISAL KARAKTERİZASYONU VE AŞINMA
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

Sedat TOMRUK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2010

Sedat TOMRUK tarafından hazırlanan TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMİŞ AA2014 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ MİKROYAPISAL KARAKTERİZASYONU VE AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd.Doç.Dr. Bülent BOSTAN

.....

Tez Danışmanı, Metal Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metal Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Süleyman TEKELİ

.....

Metal Eğitimi A.D., Gazi Üniversitesi

Yrd.Doç.Dr. Bülent BOSTAN

.....

Metal Eğitimi A.D., Gazi Üniversitesi

Yrd.Doç.Dr. Ahmet GÜRAL

.....

Metal Eğitimi A.D., Gazi Üniversitesi

Yrd.Doç.Dr. Hakan DİLİPAK

.....

Talaşlı Üretim A.D., Gazi Üniversitesi

Yrd.Doç.Dr. Recep ÇALIN

.....

Otomotiv A.D., Kırıkkale Üniversitesi

Tarih: 22/01/2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Sedat TOMRUK

**TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMİŞ AA2014 ALÜMİNYUM
ALAŞIMININ MİKROYAPISAL KARAKTERİZASYONU VE AŞINMA
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Sedat TOMRUK

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2010

ÖZET

Bu çalışmada; ticari AA 2014 alüminyum alaşımına ait, gaz atomizasyon yöntemiyle üretilmiş, ortalama boyutu 95 µm olan alaşım tozları kullanılmıştır. Daha sonra bu tozlar preslenip, ısıtma işlemi, yaşlandırma ısıtma işlemi ve aşınma işlemlerine tabi tutulmuştur.

Tozlar 800 MPa presleme basıncında, tek yönlü soğuk pres de standart numune haline getirilmiştir. Preslenen numuneler 550 °C’de 2-24 saat aralığında ısıtma işlemi tabi tutulmuştur. Daha sonra ısıtma işlemi ve yaşlandırma süresine bağlı olarak aşınma davranışları incelenmiştir.

Isıtma işlemi ve yaşlandırma ısıtma işlemi uygulanan numunelerin sertlikleri tespit edilerek, yaşlandırma süresinin sertliğe olan etkileri belirlenmiştir. Isıtma işlemi süresinin artması ile yaşlandırma ısıtma işlemi süresinin de artmaya başladığı gözlemlenmiş ve buna bağlı olarak da sertlik değerlerinde belirgin artış meydana gelmiştir.

600 °C’de 2,6,8 gün ısıtıl işlem uygulanmış numunelerin aşınma kayma mesafesine bağılı olarak aşınma kayıpları ilk 400 m kayma mesafesine kadar ısıtıl işlem zamanının artmasıyla daha az olduğı tespit edilmiştir. 400 m’nin üzerinde en az aşınma kaybı 6 gün ısıtıl işlem görmüş numunelerde gerçekleşmiştir.

,

Bilim Kodu : 710.1.092
Anahtar Kelimeler : Toz Metalurjisi, Gaz Atomizasyon, Yaşlandırma Isıl İşlemi
Sayfa Sayısı : 85
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Bülent BOSTAN

**INVESTIGATION OF WEAR BEHAVIOURS AND MICROSTRUCTURAL
CHARACTERIZATION OF AA2014 ALUMINIUM ALLOY WITH
POWDER METALLURGY METHOD
(M. Sc. Thesis)**

Sedat TOMRUK

**GAZI ÜNİVERSİTESİ
İNSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

JANUARY 2010

ABSTRACT

In this study alloy powders, which have average size of 95 μm and have been produced with gas atomisation method belonging to the commercial AA 2014 aluminium alloy, have been used. After that these powders have been pressed and heat treated, aging heat treated and have been undergone wear process.

Powders have been turned into samples in the one way cold press under 800 MPa press pressure. Pressed samples have been heat treated between 2 and 24 hours at 550°C. After that wear behaviours have been investigated depending on the time of heat and aging treatment.

The effects of aging time on hardness have been determined by confirming the hardness of samples applied heat treatment and aging heat treatment. It has been observed that as the time of heat treatment increases, the time of aging heat treatment increases and depending on that it has been an incredible increase on the values of hardness.

The samples applied heat treatment in 2,6,8 days at 600 °C have been confirmed that wear losses depending on the wear slide distance are less with time increases of heat treatment until the first 400 m slide distance. It has been realized that the least wear loss over 400 m has been on the samples heat treated 6 days.

Science Code : 710.1.092

Key Words : Powder Metallurgy, Gas Atomisation, Aging Heat Treatment

Page Number : 85

Adviser : Assist. Prof. Dr. Bülent BOSTAN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmasına başlamama, tez çalışmalarımın devam etmesine, çalışmalarımın sonuçlanması için de her türlü desteği veren. Kıymetli zamanından ve bilgilerinden faydalandığım değerli hocam, Yrd. Doç. Dr. Bülent BOSTAN'a çok teşekkür ediyorum.

Deneysel çalışmalar sırasında yardımını aldığım başta Prof. Dr. Süleyman TEKELİ, Yrd. Doç. Dr. Ahmet GÜRAL, Yrd. Doç. Dr. Dursun ÖZYÜREK hocalarıma teşekkür ederim. Çalışmalarım süresince de emeklerini ve zamanlarını harcayarak bana bilgi ve desteklerini sunan Hakan GÖKMEŞE ve Sinan AKSÖZ'e, yine bu süreçte yardımlarını aldığım, Alper AYTAÇ ve Mustafa TÜRKAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bende büyük emekleri olan, benim için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan anne ve babama, tezin hazırlanması sırasında gösterdikleri hoşgörü, sabır, fedakârlık ve desteklerinden dolayı eşime ve biricik kızım Nida Elif ve biricik oğlum Yusuf Ziya'ya teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xvi
SİMGELERVE KISALTMALAR.....	xviii
1.GİRİŞ.....	1
2. TOZ METALURJİSİ.....	3
2.1. Toz Üretim Teknikleri.....	5
2.1.1. Mekanik yöntemler.....	7
2.1.2. Kimyasal yöntemler.....	9
2.1.3. Elektroliz yöntemi.....	11
2.1.4. Atomizasyon yöntemi.....	11
2.2. Presleme.....	17
2.3. Sinterleme.....	22
2.4. Yaşlandırma.....	26
2.4.1. Alüminyum alaşımlarına uygulanan yaşlandırma ısı işlemi.....	26
2.4.2. Yaşlandırma ısı işlem aşamaları.....	27
2.5. Aşınma.....	33
2.5.1. Aşınma analizi.....	34
2.5.2. Aşınma mekanizmaları.....	35

Sayfa

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	38
3.1. Giriş.....	38
3.2. Malzeme.....	38
3.3. Test Numunelerinin Hazırlanışı.....	40
3.3.1. Toz karışımının hazırlanması.....	40
3.3.2. Tozların preslenmesi.....	40
3.3.3. Tozların sinterlenmesi.....	41
3.3.4. Yaşlandırma ısı işlemi.....	42
3.4. Karakterizasyon İşlemleri.....	43
3.4.1. Yoğunluk ölçümleri.....	43
3.4.2. Metalografik çalışmalar ve mikro yapı incelemeleri.....	43
3.4.3. Sertlik ölçümleri.....	44
3.4.4. Aşınma deneyleri.....	45
3.4.5. SEM ve EDS incelemeleri.....	46
4. DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA.....	47
4.1. Tozların Parçacık Boyut Analizi.....	47
4.2. Tozların Preslenmesi.....	48
4.3. Yoğunluk Sonuçları.....	48
4.4. Tozların Presleme Sonrası Isıl İşlem Uygulanması ve Isıl İşlem Süresinin Etkilerinin Tespiti.....	50
4.5. Sertlik Sonuçları.....	53
4.6. Yaşlandırma Isıl İşlemi Sonrası Numunelerin SEM Görüntüleri	54

	Sayfa
4.7. Isıl İşlem ve Yaşlandırmaya Bağlı Olarak Değişen EDS Sonuçlarının İncelenmesi	56
4.8. Makro Sertlik Sonuçları.....	65
4.9. Aşınma Sonuçları.....	69
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	78
KAYNAKLAR.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	85

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. AA 2014 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi.....	39
Çizelge 4.1. AA2014 tozunun elek dağılımı.....	47
Çizelge 4.2. AA2014 tozunun kümülatif elek dağılımı.....	48
Çizelge 4.3. Isıl işlem öncesi ve sonrası yoğunluk değişimleri.....	49

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen parçaların kullanım alanları.....	3
Şekil 2.2. Toz metalurjisi prosesinin şematik gösterimi	5
Şekil 2.3. Toz metal parçaların üretim aşamaları.....	6
Şekil 2.4. Bilyalı öğütme.....	8
Şekil 2.5. Mekanik alaşımlama yöntemi.....	9
Şekil 2.6. Kimyasal yöntemle demir tozu üretimi	10
Şekil 2.7. Elektroliz ile toz üretimi.	11
Şekil 2.8. Düşey gaz atomizasyon ünitesi.....	12
Şekil 2.9. Su atomizasyon işlemi	13
Şekil 2.10. Döner disk atomizasyon yöntemi	15
Şekil 2.11. Döner elektrot atomizasyon yöntemi.....	15
Şekil 2.12. Vakum atomizasyon yöntemi.....	16
Şekil 2.13. Ultrasonik gaz atomizasyonu	17
Şekil 2.14. Örslü presleme tek hareketli sıkıştırmanın en basit şekli	18
Şekil 2.15. Çift hareketli sıkıştırma ile sıkıştıran zımba	19
Şekil 2.16. Yüzer dişi kalıplı presleme ile çift hareketli zımba etkisi oluşturma.....	19
Şekil 2.17. a) Çift yönlü soğuk preslemenin şematik gösterimi b) Presleme basıncına bağlı toz ve kalıp etkileşimi.....	20
Şekil 2.18. Bakır tozundan sıkıştırılmış silindirlerde sabit yoğunluk çizgileri. Çizgiler g/cm^3 olarak gösterilmiş olup, tek ve çift hareketli sıkıştırmalarda boy ve yarıçapa göre çizilmiştir.....	21
Şekil 2.19. Çift-küre sinterleme modeli.....	23

Şekil	Sayfa
Şekil 2.20. Boyun çapı X olan iki küresel parçacığın sinterleme profili Küre çapı D ve boyunun dairesel profilinin yarıçapı P'dir. (X = boyun çapı, D = parçacık, P = boyun yarıçapı).....	24
Şekil 2.21. Sinterlemede gözenek yapısındaki değişimi.....	25
Şekil 2.22. Sinterlemenin son aşamasında gözenek izolasyonu ve küreselleşmesi.....	26
Şekil 2.23. Çözündürme ve yaslandırma aşamalarını içeren çökeltme sertleşmesini gösteren şekil.....	28
Şekil 2.24. Çözünen atomun çözen atom içerisindeki dağılımı.....	28
Şekil 2.25. Kendisini çevreleyen matris ile uyumlu çökelti.....	31
Şekil 2.26. Kendisini çevreleyen matris ile uyumsuz çökelti.....	32
Şekil 2.27. Çökeltiiler arasında oluşan yarım halka şeklindeki dislokasyonlar.....	32
Şekil 2.28. Aşırı büyük çökeltiilerin dislokasyonlar tarafından kesilmesi.....	33
Şekil 3.1. Presleme kalıbının ön görünüşü ve katı modeli.....	41
Şekil 4.1. 550 °C de ısıt işleml sonrası yoğunluk değışimi.....	50
Şekil 4.2. Farklı ısıt işleml sürelerindeki sertlik değeri.....	54
Şekil 4.3. 550 °C'de 4 saat ısıt işleml uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 1. analiz	58
Şekil 4.4. 550 °C'de 4 saat ısıt işleml uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 1. analiz.....	59
Şekil 4.5. 550 °C'de 4 saat ısıt işleml uygulanmış numunenin genel EDS sonuçları.....	59
Şekil 4.6. 550 °C'de 4 saat ısıt işleml uygulanmış ve yaşlandırılmış numunenin SEM görüntüsündeki 1. analiz.....	60
Şekil 4.7. 550 °C'de 4 saat ısıt işleml uygulanmış ve yaşlandırılmış numunenin SEM görüntüsündeki 2. analiz.....	61
Şekil 4.8. 550 °C'de 4 saat ısıt işleml uygulanmış ve yaşlandırılmış numunenin genel EDS sonuçları.....	61

Şekil	Sayfa
Şekil 4.9. 550 °C’de 12 saat ısıtıl işlem uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 1. analiz.....	62
Şekil 4.10. 550 °C’de 12 saat ısıtıl işlem uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 2. analiz.....	63
Şekil 4.11. 550 °C’de 12 saat ısıtıl işlem uygulanmış numunenin genel EDS sonuçları.....	63
Şekil 4.12. 550 °C’de 4 saat ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşlandırılmış numunenin SEM görüntüsündeki 1. analiz.....	64
Şekil 4.13. 550 °C’de 4 saat ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşlandırılmış numunenin SEM görüntüsündeki 2. analiz.....	65
Şekil 4.14. 550 °C’de 12 saat ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşlandırılmış numunenin genel EDS sonuçları.....	65
Şekil 4.15. 550°C de 4 saat ısıtıl işlem yapılmış numunenin yaşlanma sonrası sertlik değerleri.....	67
Şekil 4.16. 550°C de 8 saat ısıtıl işlem yapılmış numunenin yaşlanma sonrası sertlik değerleri.....	67
Şekil 4.17. 550°C de 12 saat ısıtıl işlem yapılmış numunenin yaşlanma sonrası sertlik değerleri.....	68
Şekil 4.18. 550°C de 24 saat ısıtıl işlem yapılmış numunenin yaşlanma sonrası sertlik değerleri.....	68
Şekil 4.19. 550 C’de 4, 8, 12 ve 24 saat ısıtıl işlem sonrası yaşlandırılan numunelerin sertlik değerleri.....	69
Şekil 4.20. 600 °C’de 2,6,8 gün ısıtıl işlem uygulanmış numunelerin aşınma kayma mesafesine bağlı olarak aşınma kayıpları grafiği.....	70
Şekil 4.21. 550 °C’de 2 ve 4 saat ısıtıl işlem uygulanmış numunelerin aşınma kayma mesafesine bağlı olarak aşınma kayıpları grafiği.....	73
Şekil 4.22. 550 °C’de 2 ve 4 gün ısıtıl işlem uygulanmış, 12 ve 16 saat yaşlandırılmış numunelerin aşınma kayma mesafesine bağlı olarak aşınma kayıpları grafiği.....	76

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Küresel şekilli gaz atomize kalay tozlarının genel yüzey görüntüleri.....	14
Resim 3.1. Düşey gaz atomizasyon ünitesi.....	39
Resim 3.2. 2–20 Ton arası presleme basıncındaki pres.....	40
Resim 3.3. Leica marka optik mikroskop.....	44
Resim 3.4. JOEL JSM–5600 model taramalı elektron mikroskobu ve EDS bağlantısı.....	46
Resim 4.1. 550 °C’de farklı sürelerde ısıtılma işlem görmüş numunelerin optik mikroskop görüntüleri	51
Resim 4.2. 550 °C’de farklı sürelerde ısıtılma işlem görmüş numunelerin, farklı büyütme ölçeklerindeki SEM görüntüleri.....	52
Resim 4.3. 550 °C’de farklı sürelerde ısıtılma işlem görmüş ve yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri	55
Resim 4.4. 550 °C’de 4 saat ısıtılma işlem uygulanmış numunenin EDS için SEM görüntüsü.....	58
Resim 4.5. 550 °C’de 4 saat ısıtılma işlem uygulanmış ve yaşlandırılmış numunenin EDS için SEM görüntüsü.....	60
Resim 4.6. 550 °C’de 12 saat ısıtılma işlem uygulanmış numunenin EDS için SEM görüntüsü.....	62
Resim 4.7. 550 °C’de 12 saat ısıtılma işlem uygulanmış ve yaşlandırılmış numunenin EDS için SEM görüntüsü.....	64
Resim 4.8. 600 °C’de 2 gün ısıtılma işlem uygulanmış numunenin aşınma yüzeyi.....	71
Resim 4.9. 600 °C’de 6 gün ısıtılma işlem uygulanmış numunenin aşınma yüzeyi.....	72
Resim 4.10. 600 °C’de 8 gün ısıtılma işlem uygulanmış numunenin aşınma yüzeyi.....	72
Resim 4.11. 550 °C’de 2 saat ısıtılma işlem uygulanmış numunenin aşınma yüzeyi.....	74
Resim 4.12. 550 °C’de 4 saat ısıtılma işlem uygulanmış numunenin aşınma yüzeyi.....	75

Resim	Sayfa
Resim 4.13. 550 °C’de 2 saat ısıtım uygulanmış ardından 16 saat yaşlandırılmış numunenin aşınma yüzeyi.....	76
Resim 4.14. 550 °C’de 4 saat ısıtım uygulanmış ardından 12 saat yaşlandırılmış numunenin aşınma yüzeyi.....	77

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılan bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
Al	Alüminyum
Ar	Argon
Cu	Bakır
CuAl₂	Alüminyum bakır
Fe	Demir
H	Hidrojen
Mg	Magnezyum
N	Azot
Ni	Nikel
Sn	Kalay
Ti	Titanyum
W	Wolfram
Zn	Çinko
Zr	Zirkonyum
Kısaltmalar	Açıklama
EDS	Elektron Dispersion Spektrometre
G.Ü.T.E.F.	Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi
İKK	İşlem Kontrol Kimyasalı
MPa	Megapaskal
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TM	Toz Metalurjisi

1.GİRİŞ

Toz metalurjisi (T/M) en basit tanımıyla, ortalama tane boyutu 150 μm 'den daha küçük, katı ve toz formundaki metal, alaşım veya seramiğin, şekli ve özellikleri önceden belirlenmiş bir parçaya dönüştürülmesi sürecidir. Geleneksel T/M işlemleri genel olarak toz üretimi, tozların tutulabilir bir "preform" halinde şekillendirilmesi ve partiküller arasında difüzyonun gerçekleşmesini sağlamak amacıyla ergime derecesi altındaki bir sıcaklığa kadar ısıtmak suretiyle sinterlenmesi aşamalarından oluşur [1].

Toz metalurjisi bilinen en eski şekillendirme yöntemidir. İlk insanlar doğada saf haliyle bulduğu metalleri eritemediğinden onları çekiçle döverek birleştirmeyi gerçekleştirmişlerdir [2].

Otomotiv sanayinde meydana gelen büyük gelişmeler T/M yöntemlerini de birlikte büyütüştür. 1940'lı yıllarda toz metal ürünü olarak en çok bakır esaslı kendinden yağlamalı yataklar üretilmiştir. 1950'li yıllardan itibaren demir ve çelik tozlarından üretilen dişliler, kamlar ve çeşitli şekiller piyasaya egemen olmaya başlamıştır. 1960'larda tam yoğun T/M gereçler üretilmeye başlanmıştır.

Dünya T/M piyasası yıllık %12 oranında genişlemektedir. En çok kullanılan metal tozu %85 ile demir-çelik tozudur. İkinci sırada da %6-7 ile bakır alaşımları gelir [3].

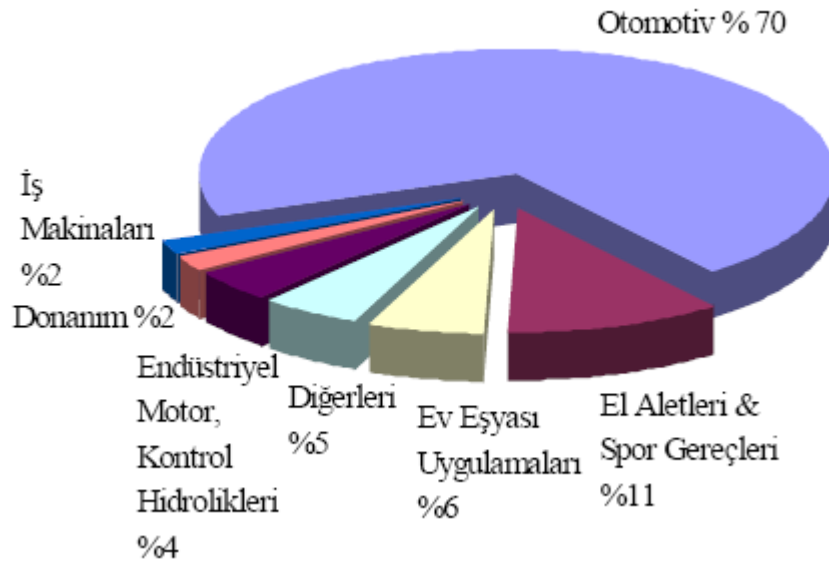
T/M metodu ile yüksek üretim hızlarında, istenilen boyutsal toleranslarda ve özelliklerde parçalar üretilabilmektedir. Yöntemin geleneksel metal üretim tekniklerine göre ekonomik olması nedeniyle toz metalurjisi ile üretim yöntemi, ülkemizde de gün geçtikçe gelişmektedir. Günümüzde ülkemizin toplam demir bazlı sinterlenmiş malzeme üretimi 3.000 ton civarında olup, bu üretim yöntemiyle başta otomotiv sektörüne olmak üzere, dayanıklı tüketim malları sektörüne, elektronik ve savunma sanayine ve diğer birçok sektöre yönelik parça üretimi yapılmaktadır [4,5].

Toz metalurjisi prosesleri kullanılarak üretilen tüm yapısal parçalarda %100 teorik yoğunluklara erişilmek istenir. İstenilen bu değerlere ulaşmak başlangıç toz özelliklerine, kullanılan proses parametrelerine ve en çok da kullanılan sinterleme koşullarına bağlıdır. Tüm koşullar ne kadar ideal olursa olsun uygun seçilmeyen sinterleme parametreleri düşük teorik yoğunluklu parçalar sunar. Yüksek teorik yoğunluklu parçaların elde edilmesinde en çok kullanılan sinterleme tekniği sıvı faz sinterleme tekniğidir. Bu teknikte yüksek teorik yoğunluklu ve buna bağlı olarak üstün mühendislik özelliklere ulaşan parçalar elde edilebilir. Başlangıç tozları içerisine katılan düşük miktardaki ilaveler, sinterleme esnasında yapı içerisinde sıvı faz oluşturarak sinterleme mekanizmasını hızlandırırlar. Oluşan sıvı faz yapıyı daha sıkı hale getirerek yoğunluk değerlerinin artmasına sebep olur. Yapı içerisinde oluşan sıvı faz sadece yoğunluk değerlerini arttırmaz aynı zamanda da sıvı fazın karakteristiğine bağlı olarak parçanın mühendislik özellikleri farklılık gösterir [6,7].

Bu tez çalışmasında AA 2014 tozları Gaz Atomizasyon yöntemi ile üretilmiş ve elde edilen tozlara presleme, sinterleme, yaşlandırma ısı işlemi ve aşınma uygulanmıştır. Toz üretiminde kullanılan atomizasyon ünitesinde yüksek saflıkta argon gazı kullanılarak tozlar üretilmiştir. Farklı basınçlarda preslenen numunelerde birleşme mekanizmaları ve ısı işlem sonrası yapısal değişiklikler incelenmiştir. Isıl işlem uygulanan numunelere yaşlanma işlemi uygulanarak, ısı işlem süresinin yaşlanmaya olan etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır. Isıl işlem uygulanan ve yaşlandırılan numunelere aşınma işlemine tabi tutulmuştur. Böylece ısı işlem süresinin ve yaşlanmanın aşınmaya olan etkileri tespit edilmiştir. Yaşlandırma ile sertlik kontrolleri yapılarak yaşlanma süresinin sertliğe olan etkileri kontrol edilmiştir. Yoğunluk değişimleri ve bu değişimlere etki eden faktörler incelenmiştir. Tüm bu tespitlerde; toz boyut analizi, optik mikroskop, SEM, EDS ve XRD kullanılarak yapılmıştır.

2. TOZ METALURJİSİ

Toz metalurjisi yöntemi, kompleks şekilli parçaların yüksek kalite ve düşük boyutsal toleransta üretimine olanak sağladığı için diğer metal üretim tekniklerine göre avantajlı bir işlemdir. Bu nedenle toz metalurjisi yöntemi ile üretilen malzemelerin pazar payları hızlı bir şekilde artmakta ve bu malzemeler bir çok sektörde kullanım alanı bulmaktadır. Şekil 2.1’de toz metalurjisi yöntemi ile üretilen malzemelerin kullanım alanları verilmektedir. Toz metalurjisi sektörünün en büyük müşterisi % 70 pay ile otomotiv sektörüdür. El aletleri ve spor gereçleri sektörü ise, % 11’lik payla ikinci sırayı almaktadır .

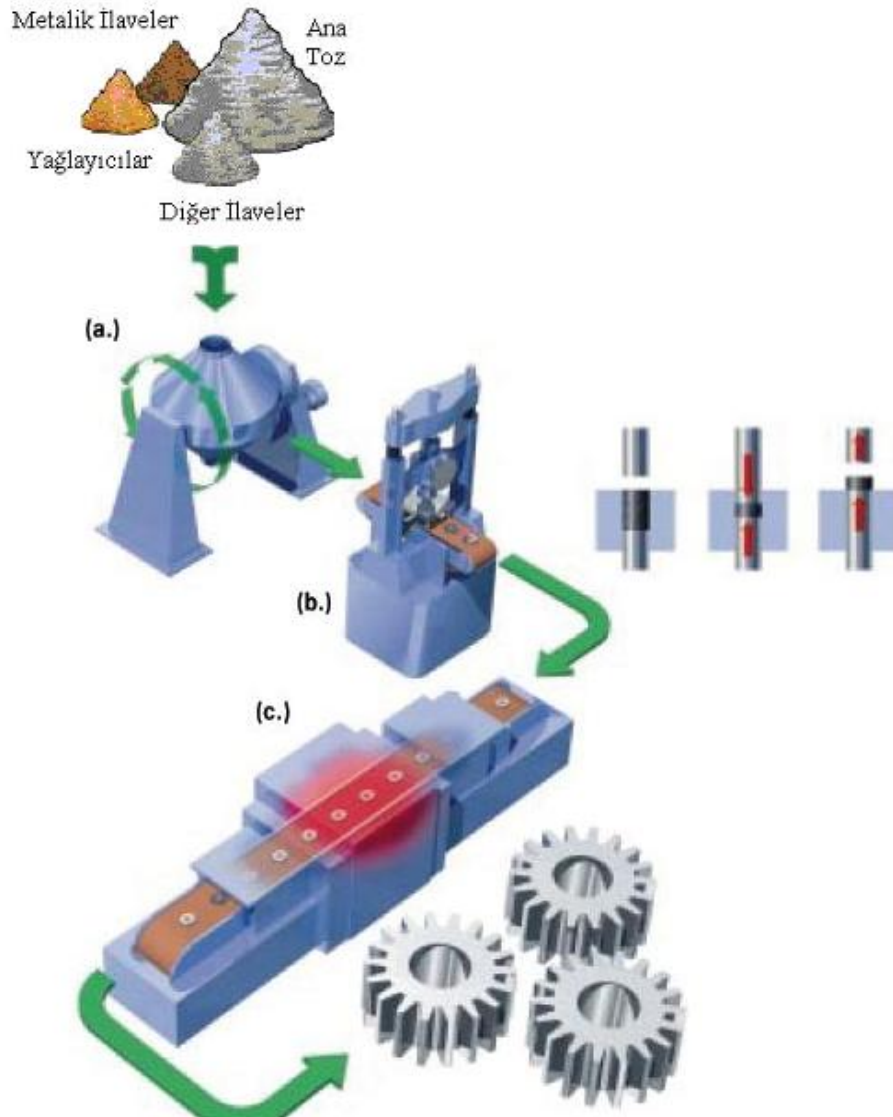


Şekil 2.1. Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen parçaların kullanım alanları [8].

Metal tozları, saf metallerin veya alaşımların 01-1000 μm tane boyutlarında olan farklı parçacıklar olarak tanımlanır. Parçacıklar gözenekli metal filtrelerde kullanıldığı gibi küçük küreler şeklinde veya boya pigmentlerinde kullanılmakta olup küçük tabakalar şeklinde de olabilir. Ayrıca T/M parçacıkların sinterlenmesi ve preslenmesinde kullanılan parçacıklar düzensiz şekilli olabilir. Bu parçacıklar genellikle dentritler veya fiberler şeklindedir. Sıcak izostatik presleme tekniklerinin kullanılmasıyla parçacıklar tam olarak yoğun yapı formunda birleşirler [9].

Toz metalurjisinin başlangıç aşaması tozun üretilmesidir. Toz, boyutu 1 mm' den daha küçük, ince olarak bölünmüş katıdır. Bir tozun en önemli özelliği, onun yüzey alanının hacmine oranının göreceli olarak yüksek olmasıdır. Tozlar katı ve sıvı arası, ortada bir davranış sergilerler. Örneğin tozlar, yer çekimi altında kapları veya ölü boşlukları doldurmak için akacaktır. Bu anlamda tozlar sıvı gibi davranırlar. Aynı zamanda tozlar bir gaz gibi sıkıştırılabilirler. Böylece bir metal tozu, bir katıdan beklenen özelliklere kolayca ulaştırılabilir [10].

Toz metalurjisinin temel kademeleri; metal tozlarının üretimi, tozların karıştırılması, toz karışımlarının preslenmesi, sinterleme ve isteğe bağlı olarak sinterleme sonrası son işlemler olmak üzere 5 adımdan oluşmaktadır. Şekil 2.2'de toz metalurjisi işleminin şematik gösterimi verilmektedir. İlk olarak demir tozu, alaşım elementleri ve yağlayıcı karıştırılarak homojen bir karışım elde edilir. Bileşimi ayarlanan toz karışımı istenilen boyutlarda preslenerek şekillendirilir. Bu işlem esnasında, uygulanan pres basıncına bağlı olarak toz kütlelerinin hacmi % 50'den fazla azalmaktadır. Şekillendirilen parçaların sinterlenmesi; koruyucu ve indirgeyici bir atmosferde, 20 – 40 dakika sürede, 1393 – 1403 K uygun sıcaklıkta yapılmaktadır. Boyutsal kararlılık arttırmak için ikinci bir presleme ve sinterleme de uygulanabilir. İsteğe bağlı olarak diğer yöntemlerle üretilen çelik parçalarda olduğu gibi taşlama, yüzey işleme, kaplama, yüzey sertleştirme gibi son işlemler uygulanarak nihai ürün piyasaya sunulur [8, 11].



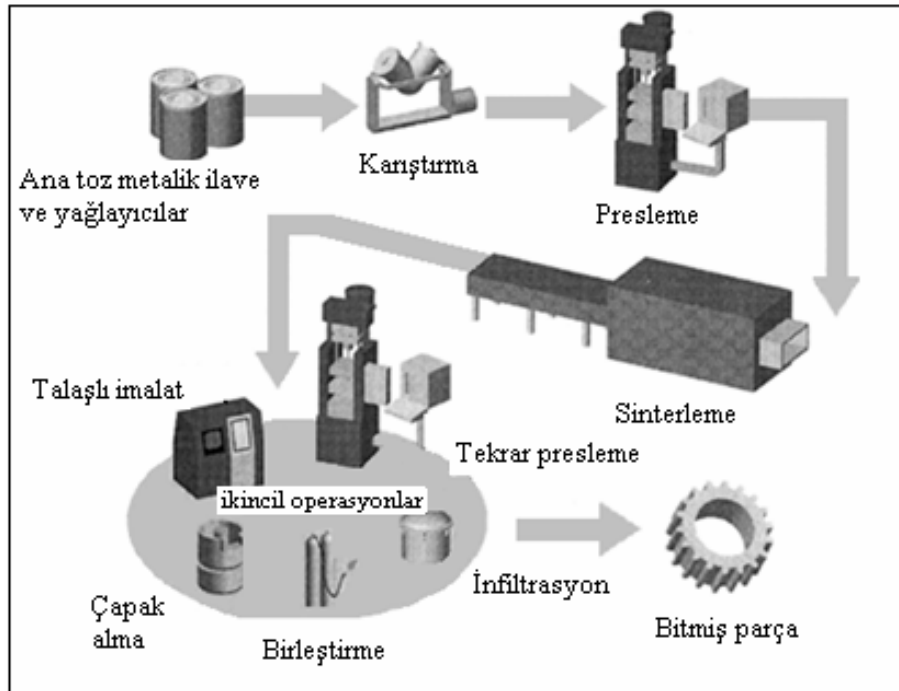
Şekil 2.2. Toz metalurjisi prosesinin şematik gösterimi [8].
(a) Karıştırma, (b) Presleme, (c) Sinterleme

2.1. Toz Üretim Teknikleri

Metal tozlarının imalinde kullanılan teknikler, tozların birçok özelliklerini tayin eder. Tozun geometrik şekli üretim yöntemine bağlı olarak küreselden, karmaşık şekle kadar çok farklı olabilmektedir. Tozun yüzey durumu da üretim yöntemine göre değişiklik göstermektedir [12].

Gerekli boyut, şekil ve paketleme özelliklerine sahip metal tozunu güçlü, mükemmel ve yüksek performanslı bir şekle dönüştüren toz metalurjisinde temel basamaklar, toza şekil verilmesi veya sıkıştırma işlemi ve sinterleme yolu ile tozların ısı birleştirilmesidir [10]. Ancak T/M parçalarının üretiminde genel olarak beş aşama mevcuttur [13]:

1. Toz hazırlama
2. Soğuk presleme
3. Sinterleme
4. Yağ emdirme ve kalibrasyon (gerekli hallerde)
5. Tam yoğunluk işlemleri



Şekil 2.3. Toz metal parçaların üretim aşamaları [14].

Şekil 2.3’de görüldüğü gibi, ana toz, metal ilaveler ve yağlayıcılar bir karıştırıcı içerisinde karıştırılarak sıkıştırılır. Sıkıştırma işlemi bir kalıp içerisinde yapılır ve oluşturulan şekil sinterlenerek gerekli mukavemete kavuşturulur.

Böylece bu uygulama, bir tozun şeklini, özelliklerini ve yapısını bitmiş bir ürüne dönüştürür. Gerekğinde elde edilen ürün ikincil işlemlere tabi tutulur.

Metal tozlarının kalitesi üretim tekniklerine bağlıdır [15]. Malzemelerin çoğu, uygun bir teknik kullanılarak toz haline getirilebilir. Uygun teknikler arasında tercih yapılırken, üretim tekniğinin ekonomik olması önemli bir husustur. Bir çok toz üretim tekniği arasından, ticari olarak şu teknikler kullanılmaktadır [10, 12]:

1. Mekanik yöntemler
2. Kimyasal yöntemler
3. Elektroliz yöntemi
4. Atomizasyon yöntemleri

2.1.1. Mekanik yöntemler

Mekanik yöntemler talaşlı üretim, öğütme ve mekanik alaşımlama olmak üzere üç grupta incelenebilir.

Talaşlı Üretim

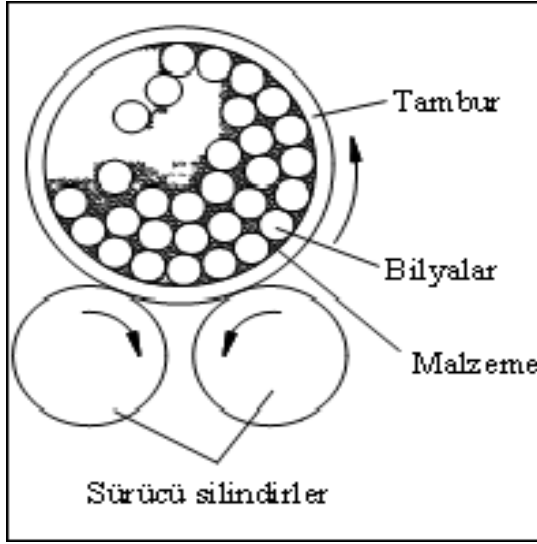
Bu yöntemle tornalama, frezeleme ve taşlama gibi talaş kaldırma teknikleri kullanılarak çok iri ve karmaşık tozlar üretilir. Üretilen tozlar, öğütülerek ince tozlar haline getirilebilir. Toz özelliklerinin kontrolündeki zorluk, oksitlenme, yağlanma, kir tutma ve diğer malzeme hurdaları ile karışarak kirlenme problemleri olabilir. Yüksek karbonlu çelik tozları bu yöntemle üretilir [16].

Öğütme

Bir metal tozu üretim tekniği olmakla birlikte, diğer tekniklerle üretilmiş tozların kırılması için de kullanılan öğütme, en çok bilyalı değirmenlerde yapılmaktadır. Kırılgan malzeme tozlarının üretiminin yapıldığı bu yöntemde, temel prensip

parçalanacak malzeme ile sert bir cisim arasında bir darbe meydana gelmesini sağlamaktır.

İçinde büyük çaplı sert ve aşınmaya karşı dayanıklı bilyaların bulunduğu kaba, öğütülecek metal, önceden kaba bir biçimde kırılmış olarak yerleştirilir. İri taneli öğütülecek malzeme öğütücü kap içinde büyük çaplı, sert ve aşınmaya karşı dayanıklı bilyalar ile birlikte döndürülerek veya titreştirilerek darbe etkisiyle çok küçük tozlara dönüşür (Şekil 2.4).

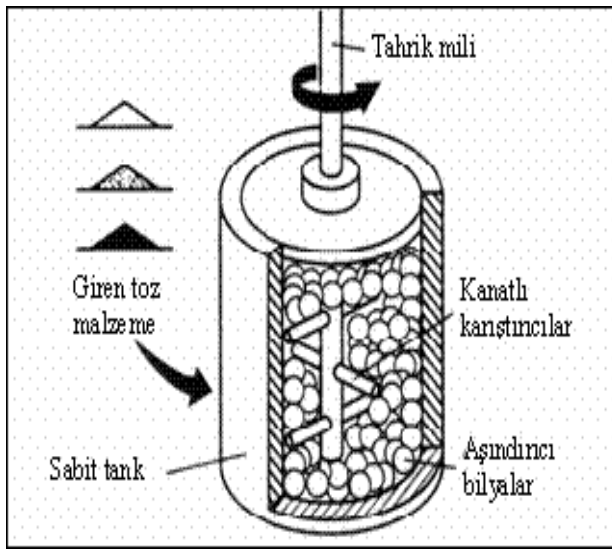


Şekil 2.4. Bilyalı öğütme

Öğütülen malzeme gevrek ise bilyalarla çarpışmanın etkisiyle çok küçük tozlara döşür. Öğütülen malzeme sünek kaba tozlardan oluşuyorsa, bilyaların çarpışması sonucunda tozlar şekil değiştirerek yassılaşırlar ve ancak aşırı sertleşmesi sonucunda gevrekleşerek daha küçük toz parçalarına bölünebilirler. Öğütme işleminin su, alkol ve heptan gibi bir hidrokarbon sıvı içinde gerçekleştirilmesi öğütme süresinin kısaltılmasının yanında daha ince tozlar üretilmesini de sağlar [17].

Mekanik alaşımlama

Mekanik alaşımlama (MA) yüksek enerjili atritör kullanılarak yapılan bir düşük sıcaklık sentezleme yöntemidir. Bu yöntemde iki yada daha fazla elementel toz birbiri içerisinde belli oranda karıştırılarak atritör içerisine konur ve mekanik alaşımlama işlemine tabi tutulur (Şekil 2.5) [18].



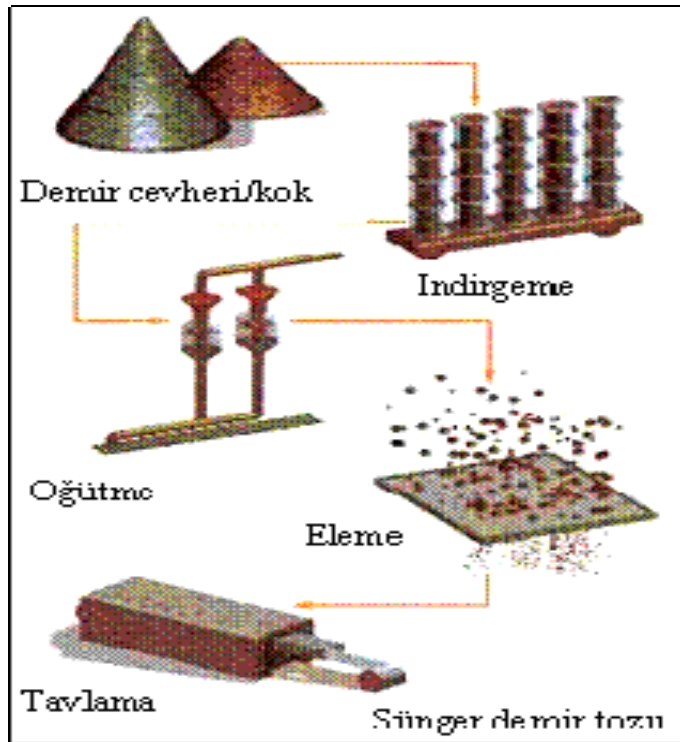
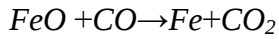
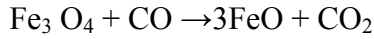
Şekil 2.5. Mekanik alaşımlama yöntemi [16]

Genellikle kompozit malzeme tozları üretilir. Bu işlemde amaç değirmen içerisinde bilyelerle metal tozlarının ezilerek, kırılarak ve tekrar kaynaklanarak yapılan bir kompozit toz işlemidir. İşlem sonunda, metal tozlarını birbirine olabildiğince yedirilerek, istenilen oranlarda kompozit toz kıvamına getirilir [19].

2.1.2. Kimyasal yöntemler

Metal tozlarının bir çoğu kimyasal tekniklerle üretilebilir. En çok kullanılan yöntem ise, oksitlerin CO veya H₂ gibi indirgeyici gazlarla kimyasal olarak indirgenmesidir [10]. Demir, bakır, tungsten, molibden, nikel ve kobaltın oksitlerinden indirgeme yoluyla tozların üretilmesi, çok bilinen endüstriyel yöntemlerdir.

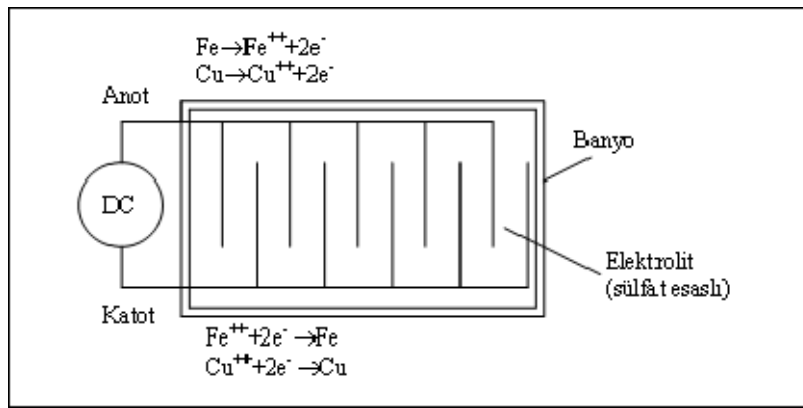
Kimyasal yöntemle üretilen sünger-demir tozu bu yöntemin önemli bir uygulama örneğidir. Sünger demir, demir oksit cevherinin uygun nitelikte indirgeyici elemanlara indirgenerek süngerimsi bir kütleye dönüştürülmesiyle elde edilir. Magnetit ($Fe_3 O_4$) , kok ve kireç taşı ile karıştırılır ve seramik kaplara doldurulur. Karışım seramik kaplar içerisinde 1260 °C sıcaklıktaki fırınlarda 68 saat bekletilir [20]. Kireç taşı kükürdünü absorbe eder. İndirgemenin tamamlanması ile sünger demir elde edilir. Elde edilen sünger demir külçeleri yüksek sıcaklıkta (1260 °C) birbirine kaynaklanmış tozlardan oluştuğundan öğütülerek istenilen tane büyüklüğüne getirilir. Şekil 2.6’de kimyasal yöntemle demir tozu üretimi görülmektedir [15].



Şekil 2.6. Kimyasal yöntemle demir tozu üretimi [16].

2.1.3. Elektroliz yöntemi

Elektroliz yöntemiyle, oksitlerden oluşan tozlar katoda akım vermek suretiyle elektrolitik banyoda çökertilir ya da iyi kırılabilme özelliğinde katot da toplanır (Şekil 2.7). Banyo teknesi kurşun kaplıdır. Elektrolitik olarak bakır sülfat ve sülfirik asit kullanılır. Anot bakır katod ise antimuanlı kurşundur [15]. Elektroliz yöntemi ile genel olarak bakır tozları imal edilir.



Şekil 2.7. Elektroliz ile toz üretimi.

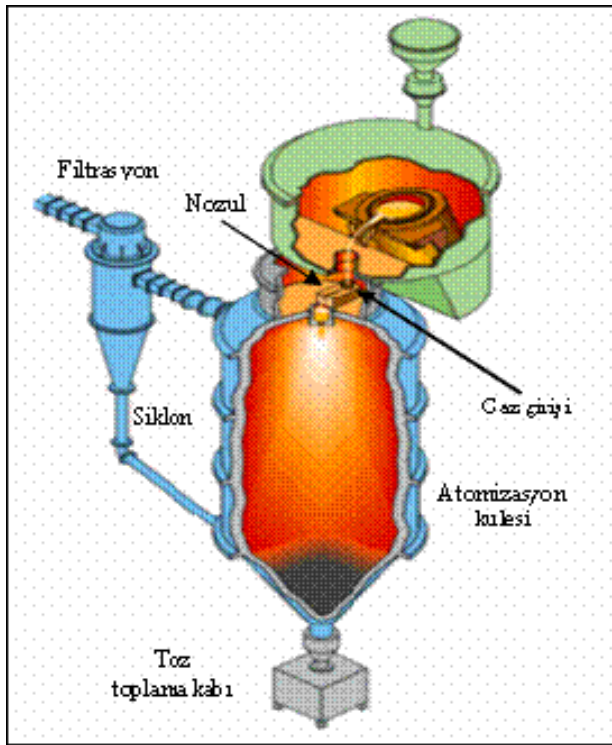
Elektroliz yönteminde, elektrolitik banyoda çökertilen veya katotta toplanan metal kolaylıkla öğütülerek ince toz haline getirilir ve üretilen tozlar yıkanarak elektrolitten iyice temizlenir [20]. Kurutma asal gazlar altında yapılarak oksitlenme önlenir. Elektroliz sırasında oluşan parçacıklar dendritik bir yapı gösterirlerse de daha sonraki işlemlerle bu yapı kaybolur. Elektrolitik tozların en büyük avantajı yüksek saflıkta olması, dolayısıyla iyi sıkıştırılabilme özelliklerine sahip olmalarıdır [16].

2.1.4. Atomizasyon yöntemi

Atomizasyon, bir sıvı demetinin farklı boyutlardaki çok sayıda damlacıklara ayrılmasıdır. Temel prensip, bir potanın dibindeki delikten akmakta olan ergimiş metalin üzerine yüksek basınçlı gaz veya sıvı püskürtülmesidir (Şekil 2.8).

Hava, azot ve argon sıklıkla kullanılan gazlardandır ve su ise çok sık tercih edilen sıvıdır. Burada gaz veya sıvı, ergiyik haldeki metal demetini farklı boyutlarda çok sayıda damlacıklara ayırır. Damlacıklar daha sonra katılaşıp metal tozlarını oluştururlar. Bu üretim yöntemi üç ana bölüme ayrılır:

- Ergitme
- Atomizasyon
- Katılaşma ve soğuma

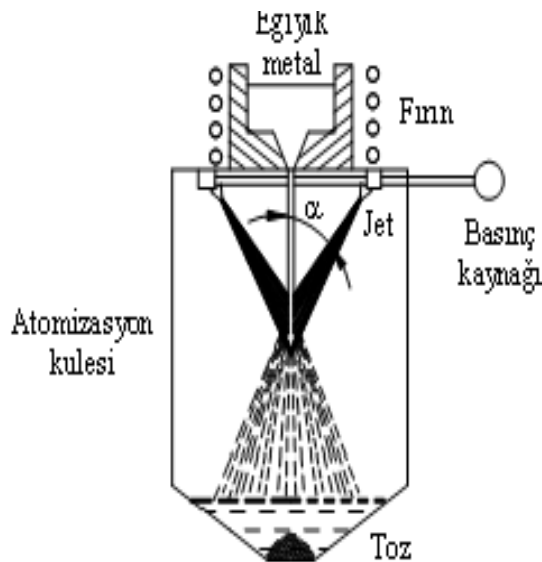


Şekil 2.8. Düşey gaz atomizasyon ünitesi.

Bu işlemlerden sonra çoğu zaman yüzey oksitlerinin azaltılması, gazlardan uzaklaştırma ve toz boyutu dağılımı gibi ürünün istenen niteliklere getirilmesi için ek işlemler yapılmaktadır. Metal tozlarının üretiminde yaygın olarak kullanılan atomizasyon yöntemleri paslanmaz çelik, pirinç, demir, alüminyum, çinko, kalay ve kurşun gibi metal ve alaşımları için oldukça iyi sonuçlar vermektedir.

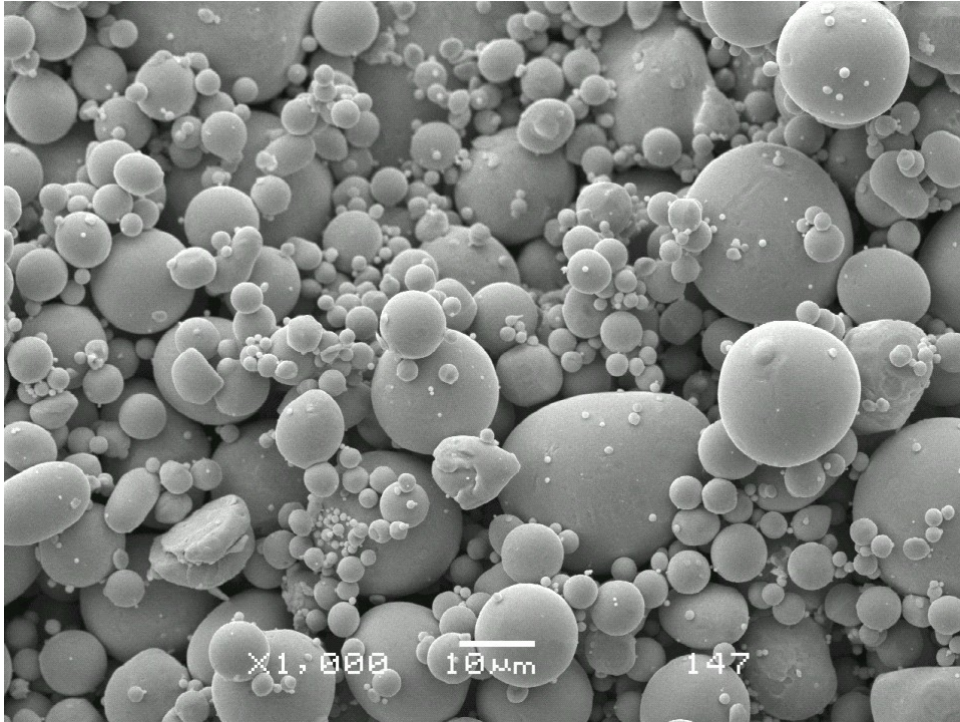
Ayrıca atomizasyon yöntemi, alüminyum ve alaşımlarının tozlarının üretiminde en yaygın ve en ekonomik olan yöntemidir. Atomizasyon yöntemlerinden su atomizasyonu, sıvı metalin su jeti ile parçalanması, gaz atomizasyonu ise gaz jeti ile parçalanması olarak tanımlanır. Tipik bir suyla atomizasyon tankı Şekil 2.9'de görülmektedir. Çevresel olarak yerleştirilmiş olan memelerde oluşan basınçlı su jetleri sıvı metali keserek parçalar. Oluşan damlacıklar tankın dibine doğru hareket ederken soğuyarak katılaşırlar ve dibe çökelirler. Su çok iyi bir soğutucu olduğundan, suyla atomizasyon tankları kısadır (1m civarında). Gazla atomizasyonda benzeri şekilde oluşur. Ancak gazlar iyi soğutucu olmadıklarından gazla atomizasyon tankları 6 m den uzundur.

Ayrıca atomizasyon yöntemleri, alüminyum ve alüminyum alaşım tozlarının ticari miktardaki üretimlerinde en yaygın ve en ekonomik olan yöntemlerdir. Ancak Al aşırı reaktif ve yumuşak olmasından dolayı, oksitlenme ve sıvama aşılması gereken temel sorunlar olarak ortaya çıkmaktadır. Kısaca, işlem sırasında değirmeni soğutma, koruyucu atmosfer ve alüminyumun yapışmasını önleyici organik bağlayıcıların kullanılması ile beraber yeni üretim tekniklerinin geliştirilmesi gerekmektedir [19].



Şekil 2.9. Su atomizasyon işlemi

Gaz atomize tozlar küresel veya küresele yakın şekillidirler (Resim 2.1). Bu yöntemle üretilen tozların tane boyutu 20 – 300 μm arasındadır. Su atomize tozlar genel olarak karmaşık şekilli olup, bu tozların sıkıştırılabilirlikleri ve sıkıştırılma sonrası ham mukavemetleri yüksektir. Su atomizasyon yöntemiyle elde edilen tozların ortalama tane boyutu 30 – 1000 μm arasındadır.



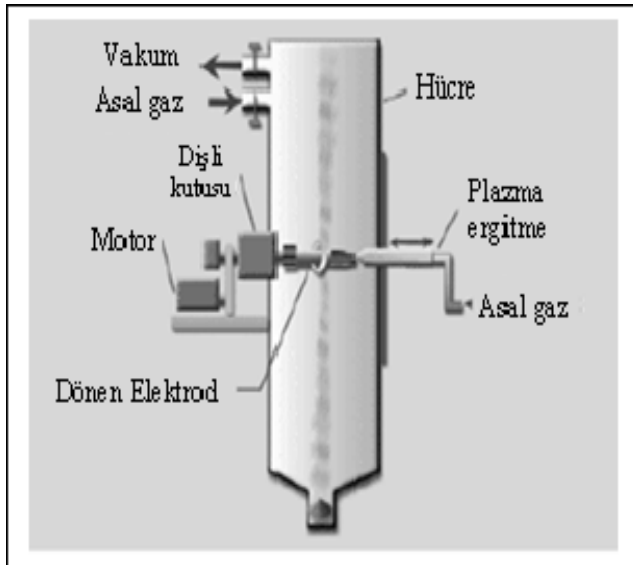
Resim 2.1. Küresel şekilli gaz atomize kalay tozlarının genel yüzey görüntüleri.

Ergiyik metalden merkezkaç kuvveti vasıtasıyla toz üretilmesi olarak bilinen santrifüj atomizasyon yönteminde, sıvı metal dönen bir disk üzerine akıtılır (Şekil 2.10). Disk üzerindeki set ve yarıklara çarpan sıvı metal parçalanarak şekildeki gibi saçılır. Saçılan parçacıklar soğutularak katılaşmaları sağlanır [21, 22].



Şekil 2.10. Döner disk atomizasyon yöntemi .

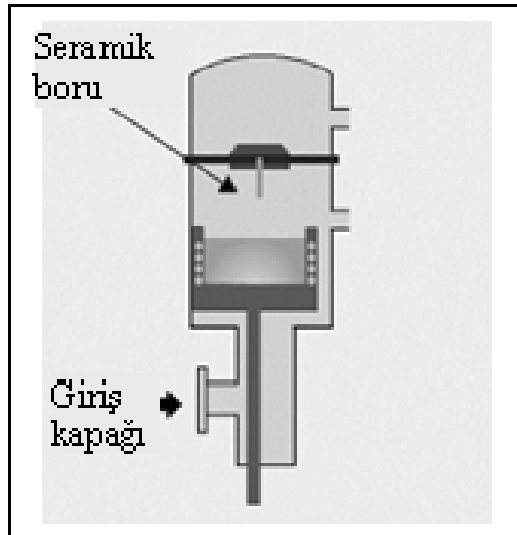
Döner elektrot kullanılarak yapılan santrifüj atomizasyon yöntemi ise, dönmekte olan elektrotun ergiyen ucundaki sıvı metal damlalarının atomize olması esasına dayanır [23]. Uzay çalışmalarında kullanılan aşırı temiz ileri titanyum alaşımları ve vücut protezleri için gerekli kobalt, krom ve titanyum alaşım tozları döner elektrot yöntemiyle üretilmektedir [12]. Şekil 2.11’de döner elektrot atomizasyon yöntemi gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Döner elektrot atomizasyon yöntemi.

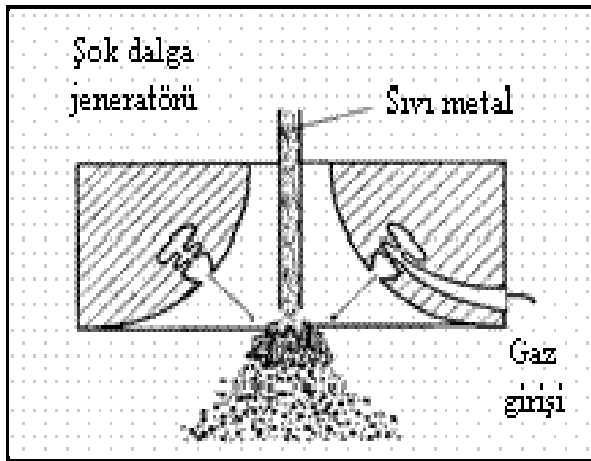
Döner elektrot kullanılarak yapılan santrifüj atomizasyon yönteminde tozu elde edilecek metalden yapılmış elektrot ile ergimeyen tungsten elektrot arasında ark oluşturulur. Ergiyen elektrotun döndürülmesiyle, elektrik arkı altında oluşan damlacıklar savrulur ve tankta toplanır. Oksidasyonu önlemek için toz toplama tankı helyum, argon gibi asal gazlarla doldurulur. Döner elektrot yöntemiyle kobalt, krom ve titanyum alaşım tozları üretilmektedir.

Vakum atomizasyonu yöntemi, basınçlı gaz altındaki sıvı metale ani olarak vakum uygulanması sonucu gazın genleşmesi ve metalin atomize olmasıyla gerçekleştirilen bir metottur. Bu yöntemde, Şekil 2.12’de görüldüğü gibi silindirik bir tankın alt kısmında sıvı metal potası, üst kısmında da vakum atomizasyon odası bulunmaktadır. Vakum altındaki sıvı metal önce belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılır, bundan sonra bu bölüme hidrojen gazı doldurulur. Potadaki sıvı metalde hidrojen gazı çözündükten sonra potayı yukarı taşıyan mil, potayı yukarı iterek seramik boruyu potaya daldırır. Üst kısımda vakum olduğu için sıvı metal memeden geçerek parçalanır. Böylece metal ve alaşımlarından ince küresel tozlar üretilir.



Şekil 2.12. Vakum atomizasyon yöntemi

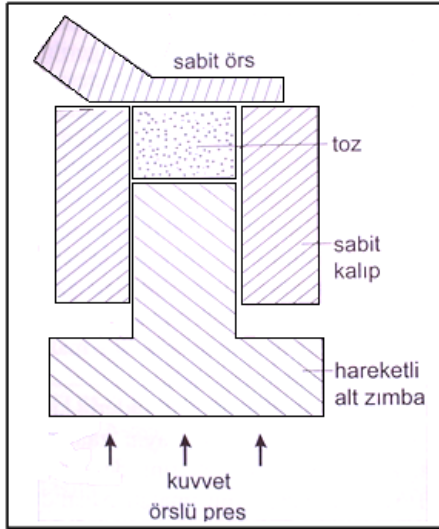
Ultrasonik gaz atomizasyon yönteminde ise, yüksek basınçlı gaz rezonans boşluklarının birinden diğerine ivmelendirilerek ultrasonik ses dalgaları oluşturulur (Şekil 2.13) ve yüksek katlılaşma hızına bağlı olarak çok ince ve küresel şekilli tozlar üretilir. Atomizasyon yöntemleriyle bir tozun ortalama boyutu, toz boyutu dağılımı, toz şekli, yüzey kompozisyonu da dahil olmak üzere kimyasal bileşimi ve mikroyapısı kontrol edilebilir. Bu temel özellikler, tozların ve bitmiş parçaların görünür yoğunluk, sıkıştırılabilirlik ve tokluk gibi özelliklerini belirler. Bunların yanı sıra, atomizasyon yöntemlerindeki yüksek toz üretim hızı, ekonomik olarak bir üstünlüktür. Her atomize partikül bir ön alaşım veya küçük bir kütük gibidir ve her partikülde bileşim aynıdır [16].



Şekil 2.13. Ultrasonik gaz atomizasyonu

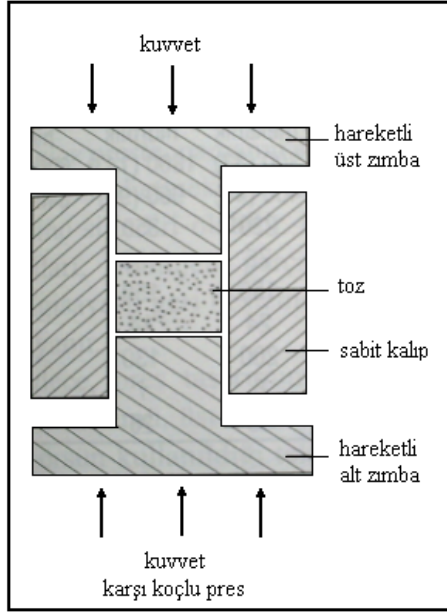
2.2. Presleme

Presleme; tozun kalıp boşluğuna beslenmesi, toza basınç uygulanması ve ham parçanın kalıptan çıkartılması işlemlerinden oluşur. En basit olanı; dişi ve alt erkeğın sabit kalarak, üst erkeğın ilerlemesi ile yapılandır. En basit halde tek zımba hareket eder, alt zımba ve dişi kalıp sabittir. Düz parçalarda üst zımbanın yerine sabit bir plaka konarak presleme yapılabilir ve buna örs tipi presleme denir. Bu presleme tekniğı şematik olarak Şekil 2.14’de gösterilmiştir. Burada alt zımba, tozu bir plakayla üst kısmı kapatılmış dişi kalıp içinde sıkıştırmaktadır. Örs tipi presleme, basit parçaların çok sayıda üretimi için kullanılmaktadır [24].

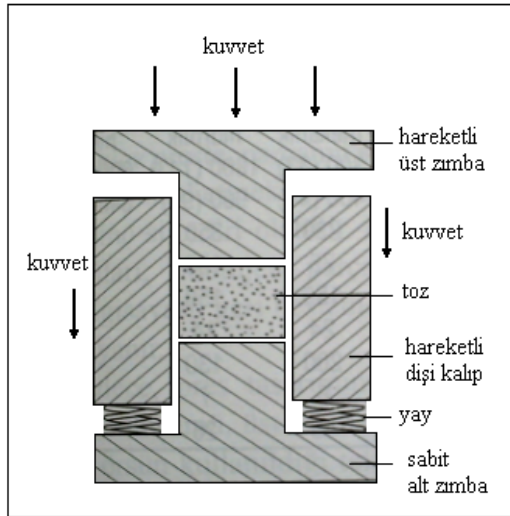


Şekil 2.14. Örslü presleme tek hareketli sıkıştırmanın en basit şekli [24]

Kalıpta sıkıştırmanın çoğu en az iki presleme hareketi ile yapılmaktadır. Genellikle alt ve üst zımbalar dişi kalıp merkezine doğru hareket eder. Bu hareketler Şekil 2.15 de çift hareketli pres için gösterilmiştir. Presleme sırasında her iki zımba da dişi kalıbın merkezine doğru hareket eder. Çıkartma için alt zımba parçayı dişi kalıbın üstüne iter. Çok kullanılan bir alternatif ise sabit bir alt zımba ve yüzer (hareketli) dişi kalıp ile yapılan preslemedir. Üst zımbaya basınç uygulandıkça, dişi kalıp duvarlarındaki sürtünme kuvveti, dişi kalıbın bir yaya karşı hareketlenmesine sebep olur. Böylece, sabit olan alt zımba dişi kalıbın merkezine doğru relatif hareket yapmış olur. Kavram Şekil 2.16’de gösterilmiştir. Çıkartma için dişi kalıbın sabit zımbaya doğru hareketlenmesi gerekir [24].



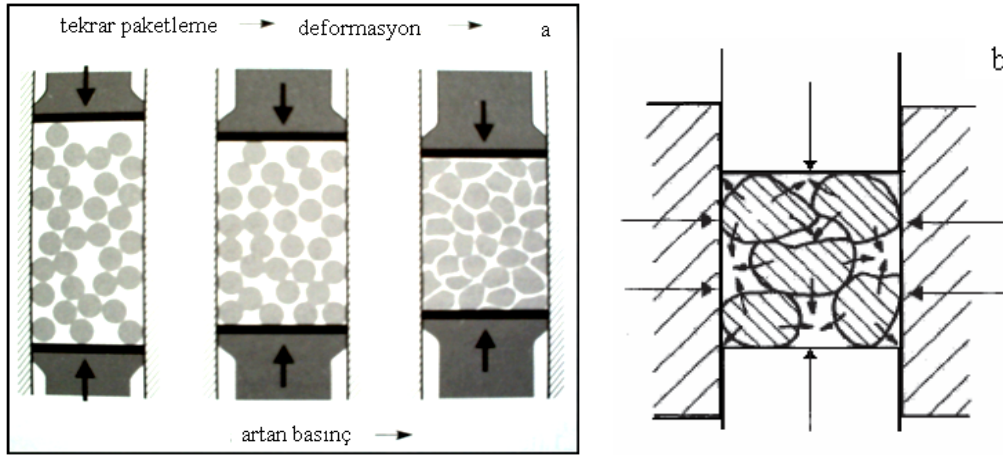
Şekil 2.15. Çift hareketli sıkıştırma ile sıkıştıran zımba [24].



Şekil 2.16. Yüzer dişi kalıplı presleme ile çift hareketli zımba etkisi oluşturma [24].

Yüksek performanslı tam yoğunlukta mamul üretmek için hızlı katılaştırılmış tozlar, şerit malzemeler veya MA uygulanmış tozlar kullanılabilir. Hızlı katılaştırılmış veya MA ile üretilmiş tozların birleştirilmesinde genellikle, sıcak presleme, sıcak haddeleme, sıcak dövme ve izostatik presleme kullanılır. Tüm bu işlemler preslenecek malzeme türüne bağlı olarak soğuk şartlarda veya oda sıcaklığının üstünde yapılabilir. Ancak, bazı soğuk şartlarda presleme basıncının yüksek olması

kullanılan kalıp ve malzemeye uygun olmayabilir [25]. Şekil 2.17’te çift yönlü preslemede basıncın artması ile tozlara uygulanan basıncın etkisi gözlemlenmektedir.



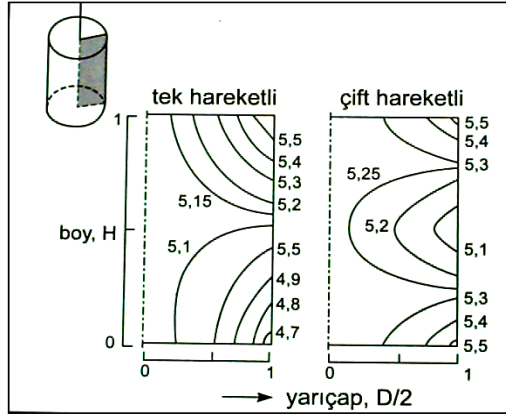
Şekil 2.17. a) Çift yönlü soğuk preslemenin şematik gösterimi [24]

b) Presleme basıncına bağlı toz ve kalıp etkileşimi [25].

Kalıp içerisine doldurulan tozlar basıncın etkisi ile sıkışır ve deforme edilebilme özelliğine bağlı olarak son şeklini alır. Genellikle, soğuk presleme aşamalarında tam yoğun kütle elde etmek için, tozların sıkışabilirliğini ve akışkanlığını artıran yağlayıcılar kullanılabilir. Kullanılan bu yağlayıcılar, kalıptan kütlenin çıkarılmasını kolaylaştırır, tozlar arasında sürtünmeyi azaltır ve enerji kayıplarını minimuma indirir. Bazı işlem kontrol kimyasalları hem MA sırasında hem de presleme aşamasında işlevsel rol oynar. Kullanılan bazı yağlayıcıların sinterleme sonrası gözenekliliğe ve istenmeyen kimyasal tepkimelere yol açması başlıca problemlerdir. Bu nedenle kullanılan kimyasalların malzemeye uygunluğu önemlidir. Sıcak presleme işlemine tabi tutulan numunelerin yoğunlukları, soğuk olarak üretilmiş olanlara göre daha iyidir. Aynı zamanda sıcak işleme tabi tutulan malzemelerin, sinterleme süresi ve sıcaklıkları aşağılara çekilebilir [25].

Soğuk presleme teorisine bakıldığında, kullanılan presleme çeşidine göre (tek taraflı zımba, yüzer kalıp, izostatik presleme, titreşimli presleme vb.) mamul malzeme yada ham yoğunluklarında farklılıklar oluşmaktadır. Şekil 2.18’de gözlemlendiği gibi tek yönlü kalıbın eş basınç eğrileri ile, çift yönlü kalıp karşılaştırılmıştır. Gözlemlendiği

gibi çift taraflı preslemede, presleme yüzeylerinin iki tarafında da presleme sonrası yoğunluklar aynı ancak tek taraflı preslemede presin bastığı nokta ile sabit kısımdaki yüzey arasında yoğunluk farkı vardır. Preslenen yüzeyin alt kısımlarına doğru inildikçe yoğunluk giderek azalmaktadır.



Şekil 2.18. Bakır tozundan sıkıştırılmış silindirlere ait sabit yoğunluk çizgileri. Çizgiler g/cm^3 olarak gösterilmiş olup, tek ve çift hareketli sıkıştırılmalarda boy ve yarıçapa göre çizilmiştir [24].

Son yıllarda soğuk presleme metotlarıyla elde edilen tozlara ilave edilen sıvı faz sinterlemesi sağlayıcı elemanlarla ve yüzey işlem metotlarıyla yoğunluk artışı sağlanmıştır. Yüksek presleme basınçlarında bilhassa Al, Ni, Fe, Cu gibi tozların %99 yoğunluğu sağlanmıştır. Ancak 0,3 GPa varan bu presleme basınçlarında, presleme yapılacak kalıbın ve basma parçasının iyi tasarlanmış olması gerekir. Bu işlemler için genellikle T15 gibi yüksek hız çelikleri kullanılır. Basınç değerlerinin artırılmasının zorunlu olduğu durumlarda (4,5 GPa) karbür esaslı malzemelerin kullanılması gerekebilir. Ancak dikkat edilecek hususların başında kalıbın birkaç kullanımdan sonra aşınması ve/veya yapı içerisine girmesi gelir. Soğuk preslemede diğer bir problem de, tozun deforme olabilirliğine ve akışkanlığına bağlı olarak kaptaki yoğunluk dağılım profilidir. Presleme yapılacak toz miktarının ve kalıp tasarım hesaplarının yapılmasında, bu dağılım profili de göz önünde bulundurulmalıdır. Bunlara ilave olarak, soğuk presleme-sinterleme sonrası tam yoğunluğa ulaşmak için deformasyon, çift presleme, çift sinterleme ve ekstrüzyon gibi işlemler de yapılabilir [25].

2.3. Sinterleme

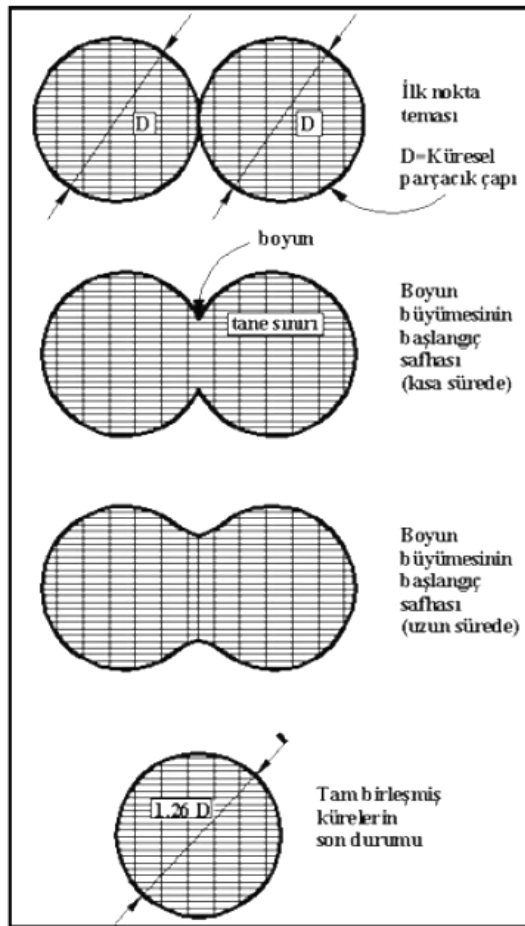
Preslenerek sıkıştırılan tozlar, ergime sıcaklığının altındaki bir sıcaklığa kadar ısıtılarak difüzyon yolu ile kimyasal bağlanmasını sağlamak ve böylece gözenek miktarını azaltma işlemine tozların sinterlenmesi denir [26]. Ergime sıcaklığının altındaki bir sinterleme işlemi sayesinde TM parçalarına çalışma şartlarında mukavemet kazandırılabilir.

Tek bileşenli sistemlerde sinterleme sıcaklığı genellikle metalin ergime sıcaklığının 2/3 veya 4/5 alınarak tespit edilirken, birden fazla bileşenli sistemlerde ise sinterleme sıcaklığı, ergime sıcaklığı düşük olan bileşenin ergime sıcaklığının üzerinde, ergime sıcaklığı yüksek olan bileşenin ergime sıcaklığının altında seçilir. Sinterleme süresi kullanılan malzemeye göre değişir. Sinterleme süresi ile sinterleme sıcaklığı arasında ters orantılı bir ilişki vardır. Sinterleme sıcaklığı yükseldikçe sinterleme süresi azalır [27].

Sinterlemeyi etkileyen pek çok faktör vardır. Bunlar; toz boyutu, sıcaklık, alaşım elementleri, ham yoğunluk, sinterleme atmosferi, vb. Sinterleme mekanizmasının etkin olabilmesinde en önemli etken preslenecek ve sinterlenecek tozların yüzeyinde oksit veya sinterlemeyi olumsuz etkileyecek tabakaların oluşmamasıdır. Eğer oksit tabakaları oluşmuşsa ve presleme sırasında kırılmamışsa sinterleme hiç olmaz ya da çok verimsiz gerçekleşir [25].

Sinterleme, yüksek sıcaklıkta atomların yayınımları ve küçük parçacıkların yüzey enerjisinin azalmasıyla gerçekleşir. Toz üretiminde malzeme yüzeyine belli bir enerji verilerek yüzey alanı veya yüzey enerjisi oluşturulur. Sinterleme ile bu yüzey enerjisi giderilir. Birim hacimdeki yüzey enerjisi parçacık boyutu ile ters orantılıdır. Bu nedenle, daha yüksek özgül yüzey alanına sahip olan küçük boyuttaki parçacıklar daha yüksek enerjiye sahiptir ve daha hızlı sinterlenir. Fakat yüzey enerjisinin tamamı sinterlemeye harcanmaz [24].

Sinterleme işleminde, yüksek sıcaklıklarda parçacıklar birbirine kaynaşır. Katı hal atomik geçiş olaylarının görüldüğü sinterleme işlemi, ergime noktasının altındaki sıcaklıklarda uygulanmasına rağmen birçok durumda sıvı-faz oluşumu gerçekleşir. Mikro boyuttaki kaynaklaşma, parçacıkların birbirine temas ettiği noktalarında yapışma boyunlarının büyümesi şeklinde oluşur. Bu şekildeki boyun büyümesi toz özelliklerinin değişmesine de neden olur. Sinterleme işlemi esnasında, nokta teması ile başlayan, ara parçacık bağının gelişmesi ile devam eden mekanizmaya çift-küre sinterleme modeli denmektedir (Şekil 2.19). Bu modelde, parçacık teması sonucunda oluşan boyun büyümesiyle yeni tane sınırı oluşur. İki parçacık ilk çapın 1.26 katı olan bir son çapla tek bir parçacık oluşturacak şekilde birleşir.

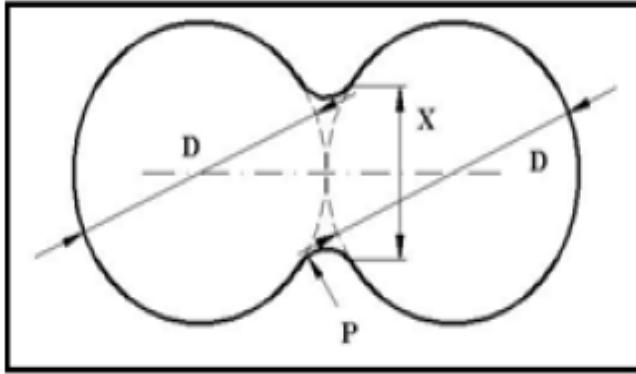


Şekil 2.19. Çift-küre sinterleme modeli [28].

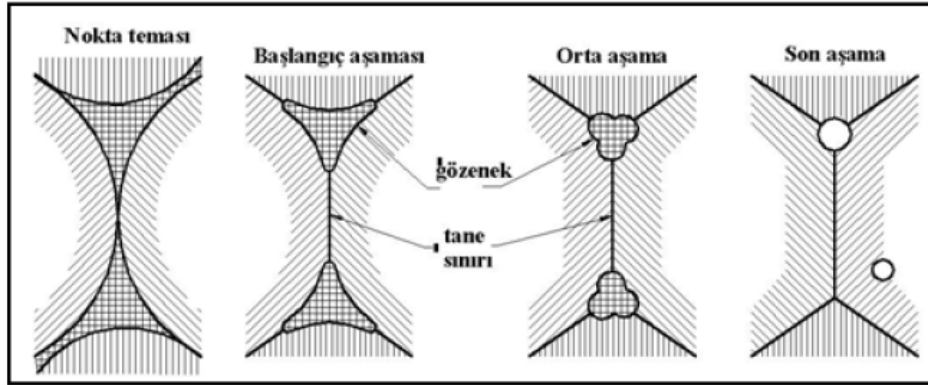
Sinterleme esnasında numunede bazı aşamalar oluşmaktadır. Bunlar;

- Sinterleme esnasında yağlayıcılar giderilir
- Oksitlerin indirgenmesi olur (Fırın atmosferindeki indirgeyici gazlar sayesinde)
- Difüzyon oluşur: Tozlar arası atomsal yayılım sonucu kaynaklaşma
- Gözenek küreselleşmesi ve küçük gözeneklerin kaybolması
- Yoğunlaşma: Sinterlenmiş parça yoğunluğu ham parça yoğunluğundan yüksek
- Ayrıca sinterleme esnasında (yağlayıcıların, bağlayıcıların giderilmesi ve bazı alaşım elementlerinin buharlaşması nedeniyle) kütle kaybı olabilir.

Sinterleme sırasında atom hareketi görülmez, ancak hacim değişimleri meydana geldiğinden, işlem genelde bu değişimler ile izlenir. Boyun büyümesi bunlardan bir tanesidir. Sinterlemenin temel ölçülerinden biri, Şekil 2.20 de tanımlandığı gibi boyun büyüklük oranıdır. X/D , boyun çapının parçacık çapına oranıdır [24]. Şekil 2.21 de ise sinterleme işlemi esnasında parçacıklar arasındaki bağlar ve gözeneklerdeki değişimler şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.20. Boyun çapı X olan iki küresel parçacığın sinterleme profili. Küre çapı D ve boyunun dairesel profilinin yarıçapı P'dir. (X = boyun çapı, D = parçacık, P = boyun yarıçapı) [24].



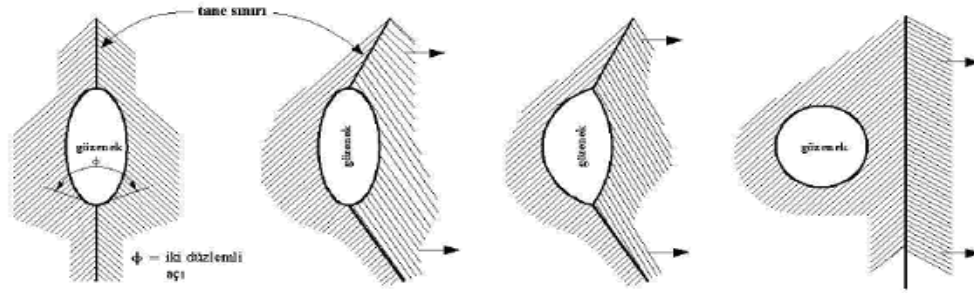
Şekil 2.21. Sinterlemede gözenek yapısındaki değişimi [24].

Sinterleme sonrası malzemelerin mekanik ve tüm işlevsel özelliklerine en etkin sonuç parça içerisinde oluşan boşluk ya da gözenek miktarıdır. Her ne kadar bu oluşumlarda presleme basıncı ve malzemenin özellikleri etkinse de, sinterleme sonrası gözeneklilik miktarı da çok önemlidir. Sinterleme sırasında her ne kadar ebatlarda değişiklik istenmese de, boşlukların giderilmesi için katı transfer işlemlerinin olması beklenir. Bunlar; hacimsel difüzyon, tane sınırı difüzyonu, plastik akış ve sıvı akışı şeklindedir [25].

Sinterleme ilerledikçe, gözenek-tane sınırı etkileşimi üç şekil alabilir:

- Gözenekler tane sınırlarında kalarak tane büyümesini engeller,
- Gözenekler hareket eden tane sınırları tarafından sürüklenerek tane büyümesini yavaşlatır.
- Tane sınırları gözeneklerden koparak ayrılır.

Son durumda, tane içinde izole edilmiş gözenekler oluşur ve yoğunlaşma ilerlemez. Tipik sinterleme sıcaklıklarında, malzemelerin çoğu orta veya aşırı düzeyde tane büyüme hızları gösterir. Yüksek sıcaklıklarda, Şekil 2.22’de gösterildiği gibi tane sınırı hareketi gözenekten ayrılmaya yol açar. Düşük sıcaklıklarda, tane büyümesi yavaş olduğundan gözenekler tane sınırına bağlı kalır. Gözenek hareketi yüzey yayını ve buharlaşma-yoğunlaşma ile mümkündür. Sonuç olarak, sinterlemede mikro yapı gelişiminin ana belirleyicisi sıcaklıktır [24].



Şekil 2.22. Sinterlemenin son aşamasında gözenek izolasyonu ve küreselleşmesi [24].

Son zamanlarda tam yoğun malzeme elde etmek için sıkça kullanılan bir metotta sıvı faz sinterlemesidir. Bu işlemde, katı fazların yanı sıra sıvı faz da oluşur. Sıvı faz difüzyon hızını büyük ölçüde artırarak parçacıklar arası bağ oluşum hızını artırır. Bu oluşum gözenek yapısını, mukavemeti, iletkenliği, manyetik özellikleri korozyon dayanımını büyük oranda etkiler [29].

Sinterleme işleminde en önemli parametrelerden biri de sinterleme atmosferidir. Sinterleme için gerekli olan atmosfer prensip olarak parçaların ve fırının oksitlenmesini önlemek, yüzey oksitlerini indirgemek, fırında buharlaşan yağlayıcı gazları dışarı atmak ve demir karbon alaşımlarında olduğu gibi blok parçanın bileşimini kontrol etmek için kullanılır. Endüstride, genellikle oksitlenmeyi minimuma indirmek için koruyucu atmosfer olarak Ar, H veya N gazları kullanılır [18].

2.4. Yaşlandırma

2.4.1. Alüminyum alaşımlarına uygulanan yaşlandırma ısı işlemi

Yaşlandırma ısı işlemi, yumuşak ve sünek matriste; ince, sert ve matrisle uyumlu çökeltilerin oluşumunu sağlamak için uygulanır [15]. Matris içinde uygun şekilde dağılan çökeltiler, dislokasyon hareketlerini engelleyerek, alaşımların mukavemet değerlerinde artışa neden olurlar. Yaşlandırma ısı işlemi ile, bakır alaşımlarının,

martenzitik paslanmaz çeliklerin ve ısıtıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımlarının, sertleşmesi sağlanır ve dayanımları artırılır. Yaslandırma ısıtıl işlemi, üç asamadan meydana gelmektedir;

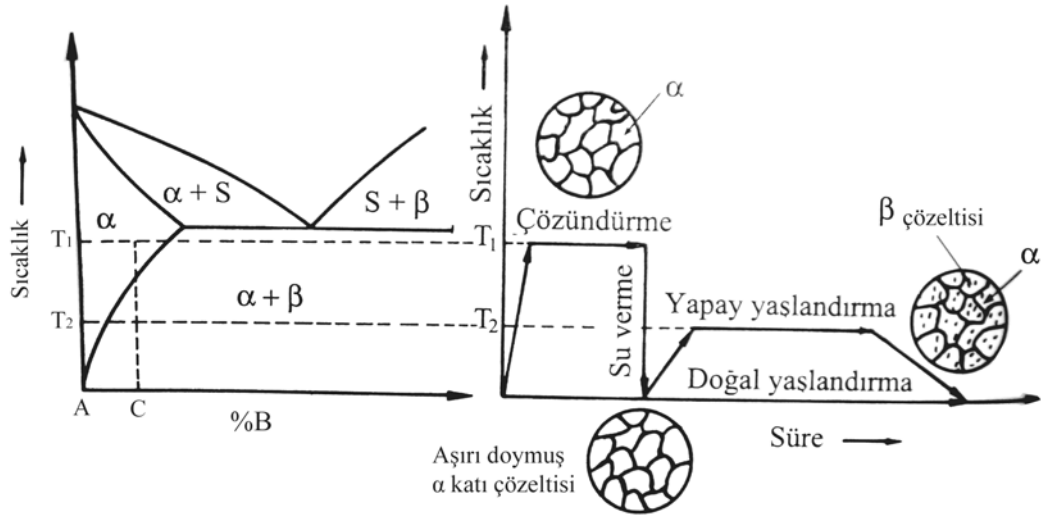
2.4.2. Yaşlandırma ısıtıl işlem aşamaları

Solüsyona alma ısıtıl işlemi (Çözündürme)

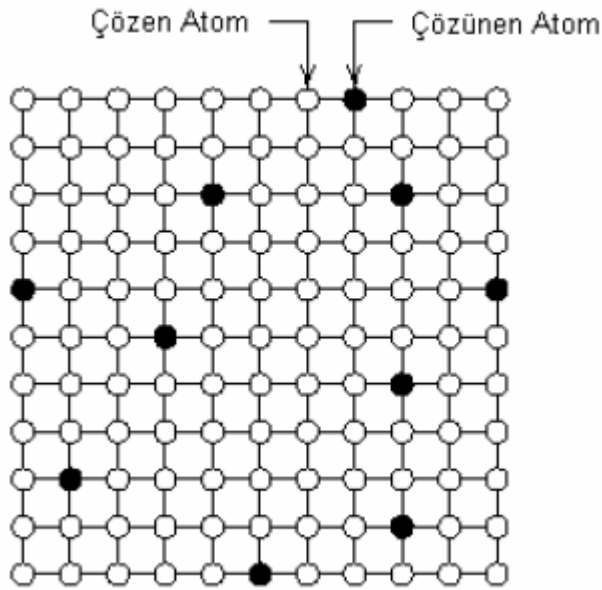
Sıvı durumda her oranda, katı durumda ise kısmen çözünen yapıya sahip bir alaşım (Şekil 2.23), tek fazlı bir yapı (α) elde etmek amacıyla, alaşımın faz diyagramında belirtilen, solvüs sıcaklığının üzerinde, T1 sıcaklığına kadar (Şekil 2.23) ısıtılır ve bu sıcaklıkta alaşımdaki bütün fazların (α ve β) tek faz içinde çözünmesi sağlanıncaya kadar bekletilir. Bekleme süresi, alaşımların yapısına göre değişiklik gösterir. Alaşımlara uygulanan bu işleme çözündürme uygulaması veya solüsyona alma ısıtıl işlemi denir [30].

Su verme

Su verme işlemi, solüsyona alma ısıtıl işlemi ile elde edilen tek fazlı (α) katı çözeltilisini, çökeltilerin oluşmasına izin vermeyecek şekilde, T1 sıcaklığından süratle soğutmaktan ibarettir (Şekil 2.23). T1 sıcaklığındaki malzemenin, ani olarak bir akışkan içerisinde soğutulması nedeni ile, aşırı doymuş bir yapı elde edilir. Aşırı doymuş yapı, malzeme içinde bulunan çözenin (Şekil 2.24) (örneğin alüminyum alaşımlarında alüminyum, magnezyum alaşımlarında magnezyum), denge koşullarında, alaşım elementinin çözebileceği miktardan daha fazla madde çözmesi anlamına gelir ve kararsız bir durumdur. Kararlı bir yapının oluşması, orta dereceli dayanıma ve önemli oranda sünekliğe sahip bu yapının yaşlandırılması ile mümkündür. Su verme işleminden sonra ısıtılarak gerçekleştirilen yaşlandırmaya yapay yaslandırma, oda sıcaklığında kendiliğinden olan yaşlandırmaya ise doğal yaslandırma adı verilir [30].



Şekil 2.23. Çözündürme ve yaslandırma aşamalarını içeren çökelme sertleşmesini gösteren şekil [30].



Şekil 2.24. Çözünen atomun çözen atom içerisindeki dağılımı.

Çökelme sertleşmesi

Solüsyona alma ısıl işleminde elde edilen, orta dereceli dayanıma ve önemli oranda sünekliliğe sahip aşırı doymuş yapının mukavemet değerleri, çökelme sertleşmesi ile daha da arttırılabilir. Yaşlandırmanın ilk aşamasında, aşırı doymuş yapı içerisindeki

fazlalık atomları kümeleşir ve ilerleyen aşamalarda, çekirdekleşme mekanizmasının etkin hale gelmesiyle, β fazının (çökteller) çekirdeklerini oluşturur (Şekil 2.23) [30].

Çökelme sertleşmesinin oluşumu, matris içinde, çözünen atomların meydana getirdiği uyumlu çöktelleri oluşmasına bağlıdır (Şekil 2.25). Uyumlu bir çökelti oluştuğunda, çökelti kafesinin atom düzlemleri ile matris kafesinin düzlemleri arasında süreklilik oluşur. Süreklilik oluşumu, çökelti etrafında geniş bir gerilme alanı oluşturur ve bu alan içerisinde geçen dislokasyonların hareketleri zorlaşır [31].

Malzeme mukavemetinin artmasında önemli etki çökelti veya çözünen atom gruplarının uyumlu veya uyumsuz olmasına bağlıdır. Guinier-Preston (GP) bölgesi olarak bilinen çözünen atomların çöktelleri kristal ve mikro yapıda değişiklik nedeniyle malzeme özelliklerinde önemli ölçüde etkili olurlar. GP bölgesinin boyutu, şekli ve dağılımı; alışımın kimyasal bileşimi, uygulanmış olan mekanik ve ısı işleme bağlıdır. GP bölgeleri X ışınları ile tanımlanabilirken bazı durumlarda elektron mikroskopları ile görülebilir. Çözen ve çözünen atom boyutlarının birbirine yakın olduğu durumlarda GP bölgeleri küresel şekildedir (Örneğin; Al-Ag ve Al-Zn sistemleri). Ancak atom boyutları arasında ki fark büyükse (Örneğin; Al-Cu sistemi) GP bölgesi disk şeklinde olur. GP bölgeleri yaklaşık $100 \text{ \AA}$ çapında $10-15 \text{ \AA}$ yüksekliğinde olup açıkça yeni bir faz veya yeni bir kristal yapı oluşturmaktan ziyade matris kafesinde distorsiyona uğramış bir bölge oluştururlar. Bu tür oluşum tamamen dengeli bir yapı oluşturduğundan mikro yapıda önemli bir değişim olmadan ürettikleri geniş deformasyon ve dislokasyon hareketlerini kısıtlayan gerilme alanlarını oluşturmalarından dolayı malzemenin mekanik özelliklerini artırır [32].

Aluminyum alaşımına uygulanan yaşlandırma ısı işleme esnasında çeşitli bölgeler oluşmaktadır. Bu bölgeler GP1, GP2 (θ^{11}), θ^1 ve θ bölgeleri olarak sıralanmaktadır. Aluminyum-bakır içeren alaşımların çoğunda GP1 bölgeleri (100) düzlemleri boyunca aluminyum matris kafes yapısıyla uyumlu zengin bakır içeren yaklaşık $100 \text{ \AA}$ uzunluğunda ve birkaç atom kalınlığında bakır atomları kümeleri şeklindedir. Bakır atomunun atomik yarıçapı aluminyumunkinden küçük olduğundan ($r_{\text{Al}} = 0,143 \text{ nm}$, $r_{\text{Cu}} = 0,128 \text{ nm}$) GP1 bölgesinin çevresindeki matris düzlemi bakır katmanına

doğru yaslanır. Gerold tarafından tarif edilen GP1 bölgesi sadece bakır atomları içeren ve elastik distorsiyon bölgeleri tarafından çevrelenen tek katmanlı plakalar şeklindedir. Fontain ise %50 Cu, %50 Al olduğunu belirtmiştir. Hono bakırca zengin olan bölgelerin sadece %25 ile %45 arasında bakır içerdiğini savunmuştur. Shu' ya göre difüzyonla oluşan ilk GP bölgeleri GP1 bölgelerini veya doğrudan GP' bölgelerini oluşturur. Fujita ve Lu tarafından yapılan çalışmada GP1 bölgelerinin oluşumunun yeni mekanizmasında ve θ^1 fazına dönüşümünde GP1 bölgelerindeki Cu miktarı ve devamındaki yapılarda bakırca en zengin olan bölgelerde %50 Cu, bu düzleme yakın olan bölgelerde %25 bakır bulunmaktadır [33,34].

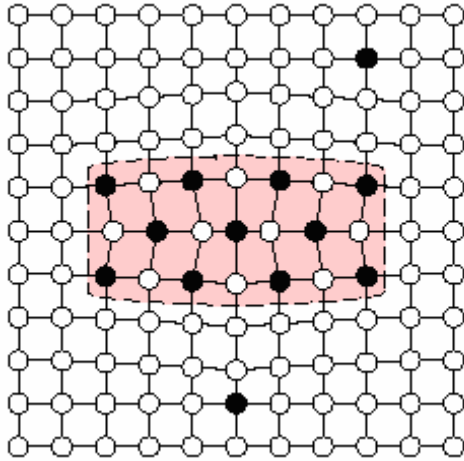
GP2 (θ^{11}), GP1 bölgelerinden daha kalın (θ 150 Å) ve daha geniş (θ 150 Å) çapta tetragonal kristal yapılı disk şeklinde çökelen parçacıklardan oluşur. GP2 bölgelerinde Al ve Cu atomları Cu_2Al_5 bileşiği kapsayan bir yapı meydana getirirler. 130 °C' de ikinci çökeltme veya 210 °C' de birinci çökeltme olarak görülür. Oda sıcaklığında Al %2 Cu alaşımı GP2 ihtiva eder.

Gerilme yaşlandırması uyumlu çökelti mesafelerinin düzenlenmesini kontrol etmede en önemli yöntemlerden biridir. Çökeltilerin anizotropik dağılımı yaşlandırma esnasında gerilim uygulayarak belirlenebilir ve bu anizotropik dağılımı iki fazlı malzemenin anizotropik davranış göstermesini sağlar. Örneğin bir Al-Cu alaşımındaki çökeltide tetragonal uyumlu θ^1 matrisin (100) düzlemine paralel 6 değişken düzleme sahiptir. Al-Cu alaşımlarının yaşlandırılmasındaki ana amaç θ^1 çökeltilerini elde etmektir. θ^1 çökeltileri Al-Cu alaşımlarının dayanıklılığını etkileyen ikinci fazdadır. Bu çökelti fazı tetragonal yapıya sahiptir ve θ^1 fazı ile Al matrisi arasında $\langle 001 \rangle_{\theta^1} \langle 001 \rangle_{\text{Al}}$ yönünde bir çok uyumsuzluk vardır. Bu uyumsuzluk çökeltinin morfolojisine ve değişik yönlerde düzlemlerin oluşmasını belirlemede özel bir önem arz eder.

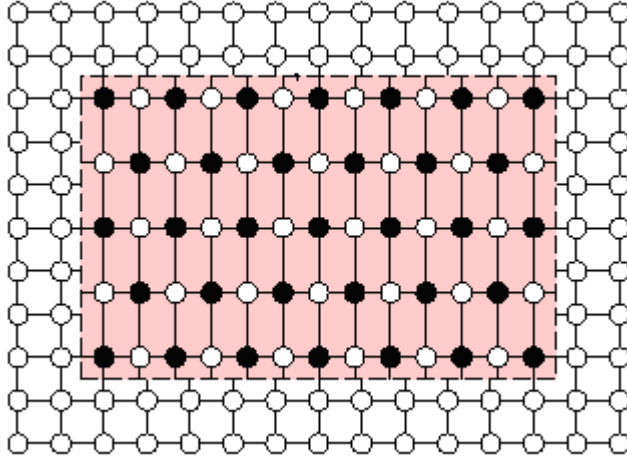
Al-Cu alaşımında, çökelti fazı (θ^1) tetragonal kristal yapıya sahiptir. $A_{\theta^1} = 4,04 \text{ Å}$ ve $c_{\theta^1} = 5,80 \text{ Å}$ matrisin $A_{\text{Al}} = 4,049 \text{ Å}$ dur. Bu θ^1 fazı ve matris Al arasındaki yapısal farklılık düzensiz çökelti oluşumuna sebep olur.

Yaşlandırma ısı işleminin sayesinde elde edilen maksimum özellikler θ^1 bölgesinde elde edilir. Isıl işleme devam edildiğinde çökeltilerin boyutları ve dağılımı ideal olmaktan çıkarak komşu çökeltilerle birleşip aşırı derecede büyürler. Bu durumda oluşan bölgeler θ bölgeleri olarak bilinmektedir [35].

Alaşımın matris yapısı ile uyumlu çökeltiler, dislokasyon hareketlerine engel olarak, alaşımın sertliğini ve mukavemetini önemli ölçüde arttırırlar. Ancak, aşırı yaşlandırma durumunda, çökeltiler daha da büyüyerek, matristen bağımsız olarak kendi kristal yapılarını oluşturur ve kendisini çevreleyen matris ile uyumsuz bir yapı meydana getirirler (Şekil 2.26). Bu durumda malzemenin mukavemet değerlerinde düşüş görülür.

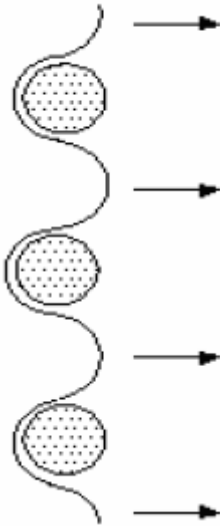


Şekil 2.25. Kendisini çevreleyen matris ile uyumlu çökelti.



Şekil 2.26. Kendisini çevreleyen matris ile uyumsuz çökelti.

Buna ilave olarak, çökelme sertleşmesinde, alaşımın sertliğini ve dayanımı arttıran bir diğer etken ise, çökelti boyutlarıdır. Yaşlandırma zamanı arttırıldığında, çökelti boyutları büyüyerek aralarındaki mesafe azalır ve bu ise dislokasyon hareketlerini engelleyerek sertlikte artışa neden olurlar (Şekil 2.27). Çökelti boyutları aşırı derecede artar ise, dislokasyonlar çökeltiyi kesebilir (Şekil 2.28) ve bu durumda sertlikte düşüşe neden olur.



Şekil 2.27. Çökelti arasında oluşan yarım halka şeklindeki dislokasyonlar [36].



Şekil 2.28. Aşırı büyük çökeltilerin dislokasyonlar tarafından kesilmesi [36].

2.5. Aşınma

Dünyadaki hammadde ve enerji kaynaklarının sınırlı oluşu, enerji ve malzeme tasarrufu sağlamaya yönelik yapılan çalışmaların önemini arttırmaktadır. Bu yüzden eş çalışan sistemlerde sürtünme ve aşınmanın kontrol altına alınmasıyla ilgili çalışmaların önemi de her geçen gün artmaktadır.

DIN normunda “kullanılan malzemelerin yüzeylerinden, daha çok mekanik olarak etkileyen enerjiler ve mekanik etkenler ile küçük parçacıkların ayrılması sonucu oluşan istenmeyen şekil değişikliği” olarak tarif edilen aşınmanın, zamanla yalnız bir malzeme kaybı sonucu istenmeyen şekil değişikliğinden ibaret olmadığı, hatta malzeme kaybı olmaksızın oluşan şekil değişikliğinin de aşınma kavramı içine girdiği anlaşılmıştır. Tam tersine bazı durumlarda kontrollü olarak malzeme kaybının faydalı olacağı ve bu yüzden söz konusu malzeme kaybının aşınma kavramı içinde ele alınamayacağı vurgulanmıştır.

Yüzey bölgesindeki şekil değişikliği (plastik deformasyon), malzeme değişikliği (sürtünme oksidasyonu) veya mekanik etkenlerle parça ayrılması da aşınmanın türlerindendir.

Aşınma hızı ve sürtünme katsayısı bir malzeme özelliği değil, bir tribolojik sistem özelliğidir. Triboloji; birbiri üzerine kuvvet uygulayarak birbirine göre hareket halinde olan yüzeylerin ve bunlarla ilgili bilim ve tekniğin adıdır. Bu sistem; sürtünme çifti, yükleme ve hareket şekilleri ile çevre faktörlerinden oluşan bir bütün halinde göz önüne alınması gereken bir sistemdir [37].

2.5.1. Aşınma analizi

Aşınmanın belirlenmesinde, tribolojik sistemi meydana getiren temel unsurların bilinmesi gerekmektedir. Bir tribolojik sistemde genel olarak bulunabilecek 6 temel unsurdan hepsi veya bazıları aşınma olayına iştirak edebilir. Bu unsurlar şunlardır:

Temel sürtünme elemanı:

Fiziksel/kimyasal özellikleri ve durumu, yüzey yapısı, şekli tamamen belirli ve aşınması özel ilgi ile incelenen katı cisimdir.

Karşı sürtünme elemanı:

Katı cisim, sıvı veya gaz olabilir. Karşı sürtünme elemanı ile temel sürtünme elemanı bir “aşınma çifti” oluştururlar.

Ara madde:

Temel sürtünme elemanı ile karşı sürtünme elemanı arasında katı, sıvı, gaz, buhar veya bunların karışımı şeklinde bir cisim bulunabilir. Mesela; yüzey arasına girmiş kum taneleri veya aşınma esnasında yüzeylerden kopan parçacıklar da ara madde olarak düşünülebilir.

Çevre:

Aşınma esnasında, kullanılan malzemenin özelliğine bağlı olarak, aşınma miktarının optimum değerde olabilmesi için ortam şartları uygun olmalıdır.

Yükleme:

Etki eden yükün (kuvvetin) büyüklüğü, şekli (statik, dinamik, darbeli, titreşimli vs.), doğrultusu ve zamana göre değişimi yüklemeyi meydana getirir.

Hareket:

Temel sürtünme elemanınin karşı sürtünme elemanına göre izafî hareketinin cinsi (kayma, yuvarlanma, çarpma vs.), büyüklüğü, doğrultusu ile verilen bir etkidir. Aşınmanın meydana gelmesinde aşınma miktarının belirlenmesinde hareket süresi belirli bir unsurdur. Bu faktörlerden birinin değişmesi aynı zamanda diğer faktörleri de değiştireceğinden sistem üzerinde kompleks bir etki doğacaktır [37].

2.5.2. Aşınma mekanizmaları

Bir tribo sistem içerisinde oluşan aşınma olayına mikro düzeyde bakıldığında beş çeşit aşınma mekanizmasından söz edilebilir [38].

1. Adheziv aşınma
2. Abrasiv aşınma
3. Tribooksidasyon (reaksiyon tabakası aşınması)
4. Yüzey bölgesi yorulması
5. Ablativ aşınma

Bir triboloji sistemde bu mekanizmaların hepsi veya birkaçı bir arada bulunabilir. Bu nedenle aşınma olayını bir sistem bütünlüğü içinde düşünmek daha doğru bir yoldur.

Adheziv aşınma:

Aşınma bileşenlerinin en önemlilerinden biri olan adhezyon, sürtünme elemanlarının temas yüzeylerinde yüksek mekanik gerilmeler sonucu mikro kaynak bölgelerinin oluşması esasına dayanır.

Yüzey pürüzlülüğü nedeni ile gerçek temas yüzeyi geometrik yüzeyin çok küçük bir parçası olması nedeni ile mikro-temas bölgelerindeki mekanik gerilmeler büyük boyutlara ulaşır. Çoğu zaman malzemenin akma sınırını aşan bu gerilmeler, plastik deformasyona ve yüzeydeki oksit tabakasının parçalanması sonucu ana eleman ile

karşı eleman arasında vander waals kuvvetleri nedeni ile oluşan mikro soğuk kaynaklaşmalara yol açarlar. Karşılıklı köprüler şeklindeki bu kaynaklaşmalar sistem içinde var olan kayma hareketleri ile kırılır ve hızlı bir malzeme kaybına yol açar [38]. Aşırı yükleme veya yağlama yetersizliği, meydana gelen “yatak sarma” adı verilen olay adhesiv aşınmaya iyi bir örnektir.

Adhesiv bağın oluşumu yüzey sertliği tarafından etkilenir. Yüzey sertliği azaldıkça yük altındaki deformasyon artacak, yüzey film tabakası daha kolay hasar görecektir. Bu sonuç ise yüzeyler arasındaki adhesiv bağın güçlenmesine yol açacaktır [39].

Abrasiv aşınma:

Sürtünme çiftlerinden daha sert olanının karşı sürtünme elemanı içerisine yüzey pürüzlülüğü mertebesinde girerek, izafi hareket esnasında çizmesi ve mikro talaşlar kaldırması olayıdır. Aynı etkiler karşı sürtünme elemanı yerine, daha önce elemanlardan ayrılan aşınma parçacıkları tarafından da yapılabilir. Bu bakımdan, çoğu zaman soğuk deformasyon sonucu sertleşmiş aşınma parçacıkları uzaklaştırılmayan ya da metalik veya seramik çevre tozlarından korunmayan teknik sistemlerde çok yüksek bir aşınma beklenmektedir. Abrasiv aşınma mekanizmasının diğer aşınma mekanizmalarından farkı, kısa sürtünme süreçlerinde bile kendisini göstermesidir [38].

Temas eden sürtünme yüzeylerinin sertlik ve elastikiyet modüllerinin farklılığı gibi, aynı sertlikte olsalar bile temas yüzeylerinin şekilleri arasındaki fark da (eğrilik yarıçapı, açı vs.) yüzey üzerindeki mekanik yırtılmalara yol açar.

Tribooksidasyon (reaksiyon tabakası aşınması):

Tribooksidasyonla, sürtünme çiftlerinin temas yüzeylerinde tribolojik zorlanmalar sonucu oluşan reaksiyonlar kastedilir. Bu reaksiyonlar oksijenle sınırlı değildir. Kükürt, klor ve fosfor gibi elementlerin sürtünme oksidasyonu ile hızlandırılan reaksiyonları da tribooksidasyon içinde incelenir. Tribooksidasyon, abrasiv aşınmanın

ön plana geçmediği sürtünme şartlarında aşınma miktarını artıran en önemli bileşenidir. Fakat birçok hallerde, çok zararlı olan adhesiv aşınmaya, reaksiyon tabakası oluşturmak sureti ile engel olma yoluna gidilebilir [38].

Özellikle kimyasal maddelerin bulunduğu ortamlarda çalışan makine elemanlarının yüzeyleri bu maddelerle reaksiyona girerek ince fakat sert bir oksit veya benzeri tabakanın oluşmasına neden olurlar. Yağlarda bulunan bazı maddeler nedeni ile de aynı sonuç ortaya çıkmaktadır. Değişken yüke maruz yüzeylerde bu sert tabaka kırılır ve sert parçacıklar düşerek aşınmayı meydana getirirler. Temiz kalan temas yüzeylerinde reaksiyonun bir sonucu olarak tekrar sert bir tabaka oluşur ve olay bu şekilde devam eder [40].

Yüzey bölgesi yorulması:

Bu aşınma tipi, esas itibari ile yüzey bölgesini tekrarlı tribolojik yüklemeye maruz kalması sonucu ortaya çıkmaktadır. Tribolojik zorlanmalar mekanik gerilmeleri de beraberinde getirdiği için zamana veya yüzey bölgesine göre tekrarlı bir sürtünme olayı mikro çatlakların oluşmasına veya büyümesine, sonuçta aşınma parçacığı olarak da malzeme kopmasına yol açar. Bu özelliğinden dolayı yorulma aşınması, birçok aşınma prosesine katılan bir bileşendir.

Uygulamada özellikle dişli çarkların çalışan yüzeyleri, bilyeli rulman yatakları veya kam mekanizması ile yuvarlanma hareketi yapan parçaların yüzeylerinde, çok küçük çukurların (Pitting) meydana gelmesi şeklinde ortaya çıkar.

Ablativ Aşınma (Difüzyon):

Sürtünme sırasında açığa çıkan ısı nedeni ile yüzey sıcaklığının yükselmesi durumunda, sürtünme yüzey bölgesinden atom veya moleküllerin çevreye yayılması ve karşı sürtünme elemanı içine girmesi (difüzyon) şeklinde oluşan bir aşınma mekanizmasıdır [38].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Giriş

Yapılmış olan tez çalışmasında dövme alaşımı olan AA2014 malzemesi, gaz atomizasyon yöntemi kullanılarak 5-30 bar basınç değerleri arasında toz üretimi sağlanmıştır. Üretim esnasında parametre olarak basınç değerleri ve sıcaklık değerleri değiştirilerek optimum şartlar bulunmuş ve tozların tümü aynı şartlar altında üretilmiştir.

Daha sonraki aşamada üretilen tozlar Tava ($<53\mu\text{m}$) – $3360\mu\text{m}$ elek aralığındaki cihaz yardımı ile sınıflandırılmıştır. Deneysel çalışmalarda $100\mu\text{m}$ altı tozlar kullanılmıştır. Elde edilen tozlar üzerinden yapılan çalışmalar doğrultusunda, farklı presleme basıncı ve sinterleme süreleri test edilerek tüm deneylerde kullanılacak olan standart deney numuneleri üretilmiştir.

Bu çalışma esnasında karakterizasyon olarak bulmuş olduğumuz uygun değerlerin mikroyapı üzerindeki etkilerini belirlemek için, Optik Mikroskop, SEM ve EDS analizleri yapılmıştır.

3.2. Malzeme

Kullanılan tozlar G.Ü.T.E.F. Döküm A.B.D.'de bulunan gaz atomizasyon ünitesinde (Resim 3.1) üretilmiştir. Elde edilen tozlarda, kullanılan argon gazının yüksek saflıkta olmasından dolayı tozlarda oksitlenme yüzeylerinin düşük olduğu söylenebilir. Yapılan çalışmada 20 bar basıncındaki yüksek saflıktaki argon gazından elde edilen tozlar kullanılmıştır. Kullanılan tozların boyut analizleri Gazi Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümündeki Malvern Mastersizer E Version 1,2 b, boyut analizi cihazında yapılmıştır. SEM görüntüleri sayesinde, boyut analizi cihazında karşılaşılabilecek boyutsal sorunların olup olmadığı araştırılmıştır.



Resim 3.1. Düşey gaz atomizasyon ünitesi

1.Ergitme ünitesi 2.Atomizasyon kulesi 3.Toz toplama ünitesi 4.Siklon
5.Fan 6.Basınçlı gaz ünitesi 7.Sıcaklık kontrol ünitesi

Gaz Atomizasyon Yöntemi ile üretilen tozun kimyasal bileşimi Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. AA 2014 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi

İÇERİK	Al	Cu	Si	Mn	Mg	Fe	Zn	Cr	Ti
% ORAN	93,5	4,06	0,6	0,57	0,56	0,47	0,106	0,03	0,01

3.3. Test Numunelerinin Hazırlanışı

3.3.1. Toz karışımının hazırlanması

Üretilen tozlar ilk olarak elek analizi ile boyutlandırılması yapılmıştır. Daha sonra elde edilen bu tozlar Gazi Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Eğitimi bölümündeki Malvern Mastersizer E ver 1,2, b, cihazı ile toz boyut dağılımı tespit edilmiştir. Bu toz boyutları SEM incelemeleri ile de ileriki aşamalarda tane boyutu açısından tekrar incelenmiştir.

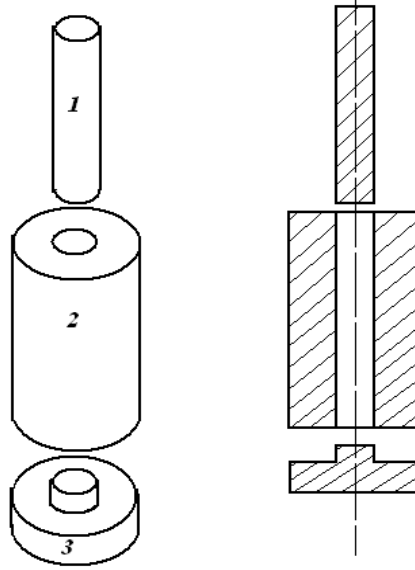
3.3.2. Tozların preslenmesi

Tozlar, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi bölümü Malzeme Anabilim Dalındaki 2-20 ton arasında basma-çekme yapabilen cihaz ile preslenmiştir.



Resim 3.2. Deney numunelerinin preslendiği cihaz

Standart deney numunelerinin üretilmesi için presleme işlemi Şekil 3.1’de görülen 10 mm çapındaki tek yönlü pres ile yapılmıştır. Kullanılan kalıp içi ve zımbası sertleştirilmiş çelikten yapılmıştır. Kalıp çok sayıda presleme için uygun şekilde üretilmiştir. Presleme işlemi için 1 g toz numunesi kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Presleme kalıbının ön görünüşü ve katı modeli

1. Hareketli zımba 2. Kalıbın ana gövdesi 3. Sabit altlık

3.3.3. Tozların sinterlenmesi

Sinterleme işlemi için ise G.Ü.T.E.F. Malzeme Anabilim Dalındaki SFL (sc 1206 model) marka yatay fırın kullanılmıştır.

Sinterleme işleminin yapılabilmesi için fırın içerisinde sıcaklık değerinin homojen olması gerekmektedir. Bunun için sinterleme yapılacak olan sıcaklık değerinde fırın içerisindeki homojen bölgenin tespit edilmesi gereklidir. Bundan sonra sinterleme işleminden hemen önce fırın içerisindeki homojen sıcaklık bölgesi ısı çifti yardımıyla sıcaklığın değişmediği aralık elde edilmiştir. Bu işlem sonrasında sinterleme yapılacak olan sıcaklık ile ısı çifti yardımıyla yapmış olduğumuz sıcaklık değeri arasında 16°C bir fark olduğu gözlemlenmiştir. Daha sonraki çalışmalar için bu sıcaklık farkı gözetilerek fırın sıcaklığında gerekli düzenlemeler yapılmıştır.

Sinterleme için önemli olan bir diğer faktörde sinterleme fırınında kontrollü atmosfer oluşturulmasıdır. Kullanılan gazın saflığını artırmak açısından, fırın içerisinde HABAŞ firmasından temin edilen %99.9 saflıktaki Argon gazı kullanılmıştır. 450–500 °C arasında, içerisinde bakır talaşı bulunan tüpten Ar gazı geçirilmiştir. Arıtma fırını içerisindeki bakır talaşı arıtma işlemi sırasında belli periyotlarda değiştirilmiştir. Değiştirme işlemi bakır talaşının oksitlenmesi ve numunelerin ısıtılma işlem sonrası yüzeyin meydana gelen oksitlenmenin tespit edilmesi sonrasında gerçekleştirilmiştir.

3.3.4. Yaşlandırma ısıtma işlemi

Yaşlandırma ısıtma işlemi 520 °C sıcaklıkta 2 saatlik süre sonrasında numuneler suya atılarak su verme işlemi gerçekleştirilmiştir. Su verilen numunelere daha sonra 150 °C’de yaşlanma işlemi uygulanmıştır. Yaşlandırma işlemi numunelere 2 saat, 4 saat, 8 saat, 12 saat, 16 saat, 20 ve 24 saat olarak yapılmıştır. Yaşlandırılan numunelerin sertlik ölçümleri için G.Ü.T.E.F. Malzeme Laboratuvarındaki Instron Wolpert GmbH Testor marka makro sertlik cihazı kullanılmıştır. Makro sertlik cihazında yük olarak 5 HV kullanılmıştır. Yaşlandırma işleminde yaşlandırılan numuneler suda su verilerek soğutulmuşlardır. Numunelerin hepsinde aynı işlem ve parametreler gerçekleştirilerek oluşabilecek hatalar en aza indirilmeye çalışılmıştır.

Sertlik ölçümlerinde 4 saat, 8 saat, 12 saat ve 24 saatteki 550 °C’de sinterlenmiş numuneler kullanılmıştır. Yaşlandırılmış numunelerde yaşlandırma süresi belirlenirken süreye bağlı olarak önce sertlik artmaktadır. Sertliğin düşmeye başladığı nokta, yaşlanmanın bittiği nokta olarak alınmaktadır. Sertliğin düşmeye başladığı sürenin üzerindeki sürelerde yaşlandırma işlemi son bulmuştur ve bu süreler temel alınmaktadır. Yaşlandırma işleminin sonlandırılması sertlikteki değişimler baz alınarak yapılmıştır.

3.4. Karakterizasyon İşlemleri

3.4.1. Yoğunluk ölçümleri

Presleme işlemine tabii tutulan numunelerin yoğunluk ölçümleri yapılmıştır. Bu yoğunluk, numunenin ham yoğunluğu olarak alınmıştır. Ham yoğunluğu belirlenmiş olan numuneler daha sonra sinterleme işlemine tabii tutulmuştur. Bu aşamadan sonra elde edilen yoğunluk ise sinterlenmiş yoğunluk olarak tespit edilmiştir. Numunelerin yoğunluk ölçümlerinde etkili olan parametrelerden kütle tespiti, hassasiyeti 0,001 mg. olan dijital terazi ile yapılmıştır. Numune yoğunluk ölçümündeki diğer bir parametre olan numune yüksekliği mikrometre ile ölçülmüştür. Bu şekildeki ölçümler esas alınarak, numunelerin yoğunlukları matematiksel hesaplamalar yoluyla ham yoğunluk ve sinterlenmiş yoğunluk olarak deneysel çalışmalarda kullanılmıştır.

Yoğunluk kontrolünü yapabilmek için diğer bir yoğunluk tespit yöntemi olan Arşiment prensibi kullanılmıştır. Ancak ölçümler sonucunda Arşiment prensibi ile yukarıda bahsedilen yöntem arasında fark olmadığı gözlemlenmiştir. Bu sebepten dolayı yoğunluk ölçümünde arşiment prensibi kullanılmamıştır.

3.4.2. Metalografik çalışmalar ve mikro yapı incelemeleri

Presleme ve sinterleme işlemlerinden sonraki işlem, elde edilen numunelerin metalografik olarak incelenebilmeleri için, sırasıyla zımparalama, parlatma ve dağlama işlemleri uygulanmıştır. Öncelikli olarak zımparalama işleminde, 200, 400, 600, 800 ve 1200 μm lik zımparalar kullanılmıştır. Zımparalama sonrasında numunler, 6 ve 3 μm keçeler yardımıyla parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Parlatılan numunelerin faz dağılımını kontrol edebilmek için alüminyum dağlayıcısı olan Keller Reagent çözeltisi kullanılmıştır. Keller Reagent (2ml HF %48, 3ml HCl, 5ml HNO₃, 190ml Saf H₂O) dağlayıcı sisteminde dağlanarak metalografik olarak incelenmiştir.



Resim 3.3. Leica marka optik mikroskop

Metalografik incelemeler yapılırken GÜTEF Metal Eğitimi Bölümü Malzeme Anabilim Dalı laboratuvarlarında bulunan Leica (Resim 3.3) ve Optik Mikroskoplar kullanılmıştır. İnceleme yapılırken genellikle X50, X100 ve X200 büyütmelemlerden yararlanılmıştır. Optik mikroskopta yapılan incelemeler daha sonra yapılan SEM incelemeleri için bir ön hazırlık niteliği taşımaktadır.

3.4.3. Sertlik ölçümleri

Sertlik ölçümlerinde mikrosertlik ve makro sertlik olmak üzere iki sertlik ölçüm yöntemi kullanılmıştır. Mikrosertlik genellikle toz numunelerin sertliklerinin ölçülmesinde ve tane sertliklerinin ölçümünde kullanılırken, makrosertlik ölçümleri sinterleme ve yaşlanma sonrası çökelek oluşumu ve aşırı yaşlanma gibi temel mekanizmaların tespiti ve sertlik profilinin çıkarılması amaçlı yapılmıştır.

Sertlik ölçümleri G.Ü.T.E.F. Metal Eğitimi Bölümü Malzeme Anabilim Dalındaki SHIMADZU Micro Hardness Tester cihazında Vickers cinsinden yapılmıştır. Kullanılan cihaz mikrosertlik cihazı olup uygulanan yük 0,1 kg'dır. Deney numunelerinin sonuçlarının güvenilirliğini sağlamak için bir numuneden en az 5

farklı bölgeden sertlik sonucu alınmıştır. Preslemeden kaynaklanabilecek farklılıklardan dolayı kullanılan tek yönlü zımbanın yükün uygulandığı yönden sertlikler ölçülmüştür.

Makro sertlik ölçümleri G.Ü.T.E.F. Metal Eğitimi Bölümü Malzeme Anabilim Dalındaki INSTRON WOLPERT DIATESTOR 7551 Model cihazda Vickers cinsinden yapılmıştır (HV5). Numunelerde sertlik uygulamalarında en az 3 ve gerekli tespitin yapılamadığı durumlarda 6 tane farklı noktadan sertlik ölçümü alınmıştır. Sertlik ölçümlerinde numunelerin preslenen bölgeleri alınarak işlemler arasındaki farklılıklar giderilmeye çalışılmıştır.

3.4.4. Aşınma deneyleri

Deney numunelerine uygulanan ısı işlemler ve sonrası yaşlandırma ardından Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Döküm Eğitimi Anabilim Dalında bulunan aşınma cihazı kullanılarak aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri kuru ortamda yapılmıştır. Sadece ısı işlem uygulanmış numunelere 15 N yük uygulanırken ısı işlem sonrası yaşlandırılmış numunelere 30N yük uygulanmıştır. Bu yükler altında numuneler 400, 800 ve 1200 m kayma mesafelerinde sürtünme ve ağırlıkça kayıpları hesaplanarak sonuçlara ulaşılmıştır. Aşınma yüzeylerine ait görüntüleme işlemleri 1200 m ardından yapılmıştır. Numunelerdeki yoğunluk artışı ve buna bağlı olarak da sertliğin artması gösterilebilir. Farklı sıcaklık ve sürelerde uygulanan ısı işlemlerin ardından yapılan tüm aşındırma işlemleri sonrası elde edilen aşınma kayıpları grafiklere dönüştürülmüştür. Aşınma kayıpları ve sertlik ilişkileri deneyler sonrası irdelenmiştir.

3.4.5. SEM ve EDS incelemeleri

Numunelerin tane boyutlandırılması sinterleme sonrası yapıdaki gözenek oluşumları ve yaşlandırma sürelerinin etkilerinin tespiti için Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) incelemeleri G.Ü.T.E.F. Metal Eğitimi Bölümü Malzeme Anabilim Dalındaki Joel JSM-5600 model cihaz (Resim.3.4) ile yapılmıştır. Sinterleme öncesi ve sonrası malzemede oluşan oksitlenme, yapı farklılıkları, tane boyutlarının belirlenmesi gibi yapısal farklılıklar kontrol edilmeye çalışılmıştır.



Resim 3.4. JOEL JSM–5600 model taramalı elektron mikroskobu ve EDS bağlantısı

EDS incelemeleri ise toz numunelerinde yönlü katılaşmanın kontrolünde, sinterleme ve yaşlanma sonrasında ise yapı içerisindeki farklı fazların tespitinde kullanılmıştır.

4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Tozların Parçacık Boyut Analizi

Toz boyut analizleri numunelerin preslenebilirlik davranışında ve aynı zamanda tanelerin boyutlandırılmasında etkili olup, AA2014 toz malzemesi için ortalama elek dağılımının 95 μm olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 4.1 de görüldüğü gibi boyutlandırma sonrası en ufak toz dağılımı 0,50 μm olduğu ve en büyük toz dağılımının ise 600 μm olduğu gözlemlenmektedir.

Çizelge 4.1. AA 2014 tozunun elek dağılımı

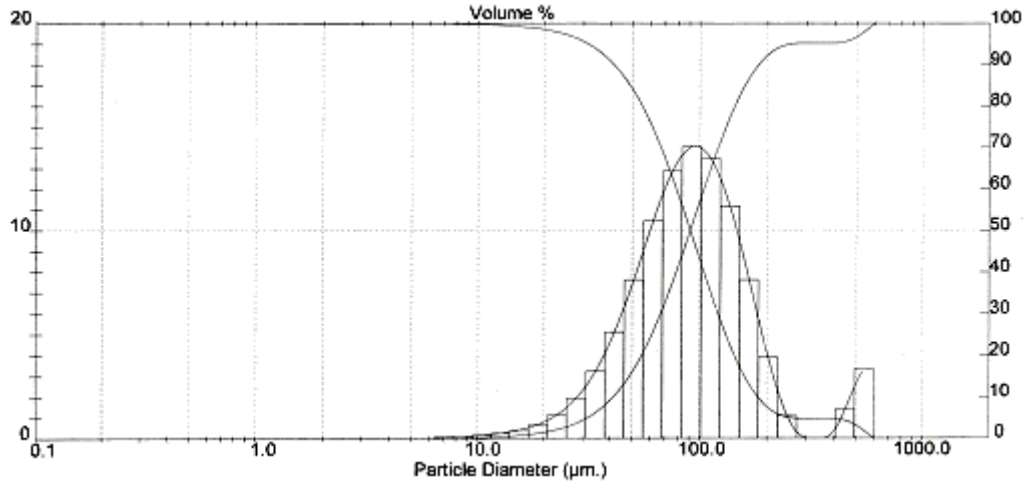
Presentation: 20HD Polydisperse model		Volume Result		Focus = 300 mm.	
Residual = 0.528 %		Concentration = 0.285 %		Obscuration = 24.86 %	
d (0.5) = 90.66 μm		d (0.1) = 41.28 μm		d (0.9) = 181.83 μm	
D [4, 3] = 115.21 μm		Span = 1.55		Mode = 95.43 μm	
Sauter Mean (D[3,2]) = 72.64 μm				Density = 1.00 gm. / c.c.	
Specific Surface Area = 0.0828 sq. m. / gm					

Size (Lo) μm	Result In %	Size (Hi) μm	Result Below %
0.50	0.00	1.32	0.00
1.32	0.00	1.60	0.00
1.60	0.00	1.95	0.00
1.95	0.00	2.38	0.00
2.38	0.00	2.90	0.00
2.90	0.00	3.53	0.00
3.53	0.00	4.30	0.00
4.30	0.00	5.24	0.00
5.24	0.00	6.39	0.00
6.39	0.08	7.78	0.08
7.78	0.10	9.48	0.17
9.48	0.16	11.55	0.33
11.55	0.26	14.08	0.59
14.08	0.41	17.15	1.00
17.15	0.67	20.90	1.67
20.90	1.14	25.46	2.81

Size (Lo) μm	Result In %	Size (Hi) μm	Result Below %
25.46	1.93	31.01	4.74
31.01	3.23	37.79	7.97
37.79	5.13	46.03	13.10
46.03	7.61	56.09	20.71
56.09	10.43	68.33	31.15
68.33	12.85	83.26	44.00
83.26	14.03	101.44	58.03
101.44	13.46	123.59	71.49
123.59	11.15	150.57	82.63
150.57	7.63	183.44	90.27
183.44	3.90	223.51	94.17
223.51	1.07	272.31	95.24
272.31	0.02	331.77	95.25
331.77	0.02	404.21	95.27
404.21	1.37	492.47	96.65
492.47	3.35	600.00	100.00

Elek dağılımı kontrol edildiğinde ortalama elek dağılımının 3 ile 4 elek dağılımı arasında değiştiğinden ortalama elek dağılımının istenilen elek aralığında olduğu tespit edilmiştir. 3 ile 4 elek dağılımına sahip tozlar preslenme kabiliyeti açısından uygun olduğu bilinmektedir. Presleme basıncının istenilen değerlerde olması ise daha sonraki deneysel çalışmalarda işlemlerin daha aktif olmasını sağlamaktadır.

Çizelge 4.2. AA2014 tozunun kümülatif elek dağılımı



4.2. Tozların Preslenmesi

Presleme işlemleri, 800 MPa basınç altında tek yönlü presleme yapan kalıpta gerçekleştirilmiştir. Daha sonra preslenmiş olan bu numuneler sinterleme işlemine tabii tutulmuştur. Sonrasında ise metalografik incelemeler için gerekli işlemler yapılmıştır. Metalografik incelemeler için optik mikroskop ve SEM görüntüleri alınmıştır.

Presleme işleminde uygun presleme basıncını bulabilmek için farklı presleme basınçları denenerek uygun presleme basıncı tespit edilmeye çalışılmıştır. Al'nin özgül ağırlığı $2,70 \text{ g./cm}^3$ preslemeler sonrası teorik yoğunluğa yaklaşılmaya çalışılmıştır. Kullanmış olduğumuz AA 2014 alaşımı % 4 civarında bakır içermektedir. Bu yüzden alaşımın yoğunluğu $2,75 \text{ g/cm}^3$ olarak alınmıştır.

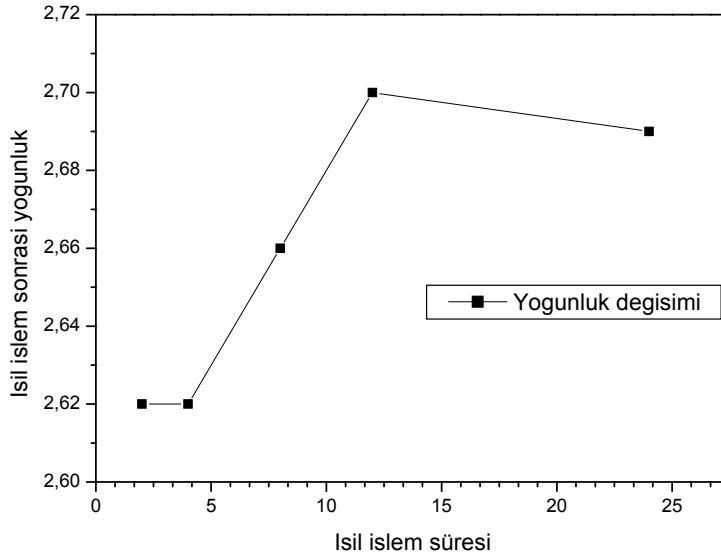
4.3. Yoğunluk Sonuçları

Yoğunluk ölçümleri ısıt işlem öncesi ve sonrasındaki yoğunluk değişimlerini belirlemek için ısıt işlem sıcaklığı ve sürelerine bağlı olarak ölçülmüştür. Yapılan yoğunluk ölçümleri, mikrometre kullanılarak hacim hesabı üzerinden yapılmıştır.

Çizelge 4.3’de ısıtıl işlem öncesindeki ve sonrasındaki yoğunluklar gösterilmiştir. Çizelge 4.3’de ve Şekil 4.1’de gözlemlendiği gibi 550 °C’de farklı sürelerde ısıtıl işlem uygulanan numunelerde, ısıtıl işlem süresinin artışı ile yoğunluklarında da belli bir artış tespit edilmiştir. Bu yoğunluk artışı 12 saat ısıtıl işlem sonrasında sabitleşmeye başlamaktadır. Toz metalurjisi yöntemleri ile tam yoğun parça üretimi ikincil işlemler veya sıvı faz sinterleme ile mümkündür. Bu bağlamda kullanılmış olduğumuz AA 2014 malzemesinin teorik yoğunluğunun 2,75 g/cm³ civarında olduğunu göz önüne aldığımızda yoğunluğun % 98 civarına kadar çıktığı görülmektedir. Bu da ikincil işlemler olmaksızın yoğunluk açısından oldukça yüksek bir noktadır. Isıtıl işlem süresi olarak 2 saat, 4 saat, 8 saat, 12 saat ve 24 saat kullanılmış olup, bu sürelerde yoğunluklarındaki değişimleri kontrol edilmeye çalışılmıştır.

Çizelge 4.3 Isıtıl işlem öncesi ve sonrası yoğunluk değişimleri

Numune Kodu	Isıtıl İşlem Sıcaklığı (°C)	Isıtıl İşlem Süresi (saat)	Isıtıl İşlem Öncesi Yoğunluk (g/cm ³)	Isıtıl İşlem Sonrası Yoğunluk (g/cm ³)
Numune 1	550	2h	2,77	2,62
Numune 2	550	4h	2,76	2,62
Numune 3	550	8h	2,75	2,66
Numune 4	550	12h	2,74	2,7
Numune 5	550	24h	2,73	2,69



Şekil 4.1. 550°C de ısıt işlem sonrası yoğunluk değişimi

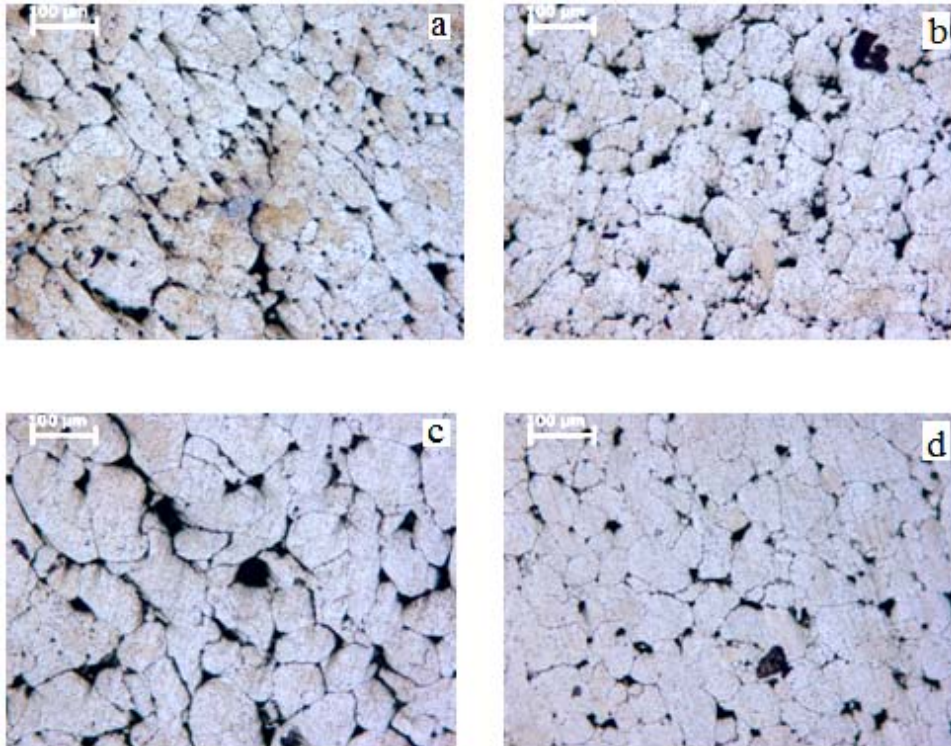
4.4. Tozların Presleme Sonrası Isıl İşlem Uygulanması ve Isıl İşlem Süresinin Etkilerinin Tespiti

Numunelerin ısıt işlemlerine geçişte önemli rol oynayan presleme basıncının da yüksek değerlerde olması, tozların temas yüzeyinin artmasına neden olmuştur. Temas yüzeylerindeki değişiklikler de ısıt işlem sürelerini değiştirmekle birlikte yoğunluk değişimlerinde de ciddi farklılıklar oluşturabilmektedir. Bunların oluşumunu engelleyebilmek açısından presleme basıncının tespiti önemli rol oynamıştır.

Presleme sonrası tozların ısıt işlemleri atmosfer kontrollü fırında 550°C' de yapılmıştır. Bu sıcaklık değerine bağlı olarak 2, 4, 8, 12 ve 24, 48 ve 96 saat olmak üzere farklı ısıt işlem süreleri kullanılarak, tane yapısı ve gözenek oluşumuna ısıt işlem süresinin etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır. Isıt işlem sıcaklığı ve süresi temel alınarak, ısıt işlem öncesi ve sonrasındaki yoğunluklar hesaplanmış ve uygun ısıt işlem süresi tespit edilmeye çalışılmıştır. Isıt işlem sonrası yoğunlukların, sinterleme pratiği göz önünde bulundurulursa artış olması beklenirken, yapılan

alışmalar neticesinde belli bir ısıı işlem süresine kadar yoğunlukta azalma olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni olarak ise, alaşımların içerisindeki alaşım elementleri etkisine bağlı olarak, bu alaşım elementlerinin faz içerisinde bir şişme etkisi meydana getirdiği ve böylece de yoğunlukta bir azalma meydana geldiği olarak düşünülmektedir.

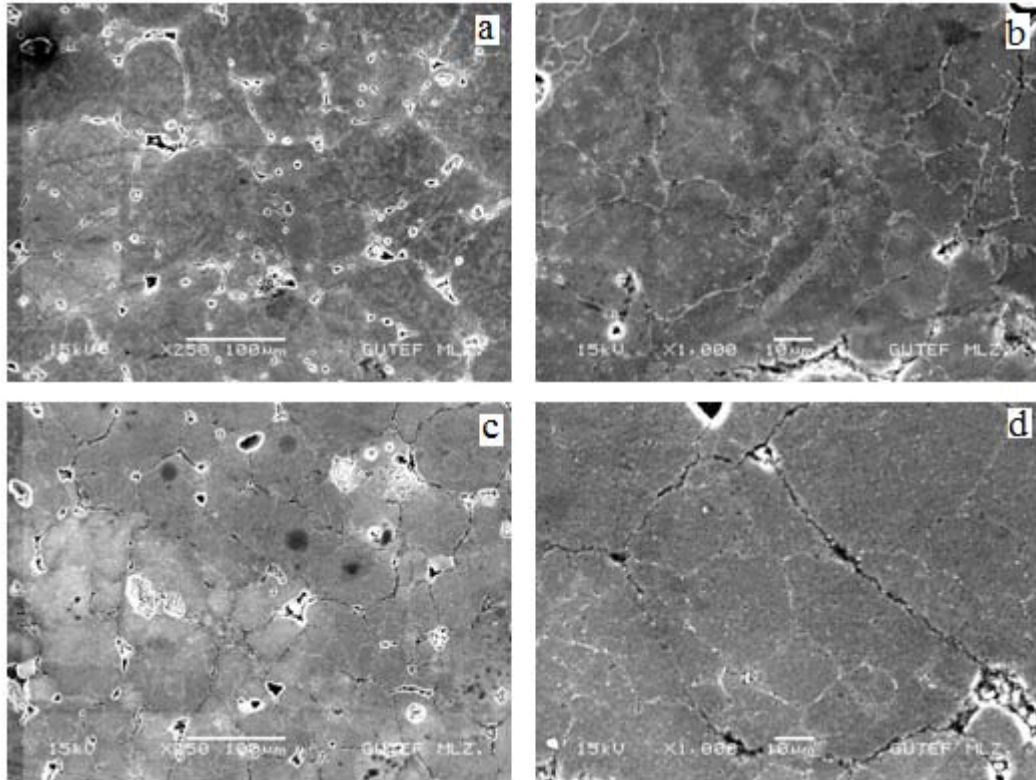
Isıl işlem ile birlikte numunelerde oluşan faz değişimlerinin kontrolü için (2 saatten 24 saate kadar olan srelerdeki) optik mikroskop görüntüleri incelenmiştir. İnceleme sonrasında 4 saat ısıı işlem uygulanan numunenin kontrolünde gözeneklerin tane sınırlarının bulunduğu nadiren de tane içerisinde bulunduğu gözlemlenmiştir (Resim 4.1 a). Srenin artmasıyla birlikte tane sınırları ve içerisindeki gözenekliliklerin birleşmeye başladığı ve genel itibariyle tane sınırlarında yoğunlaştığı gözlemlenmiştir (Resim 4.1 b,c,d).



Resim 4.1. 550°C’ de farklı sürelerde ısıı işlem görmüş numunelerin optik mikroskop görüntüleri a) 4 saat, b) 8 saat, c) 12 saat, d) 24 saat

Resim 4.1 d’de görüldüğü gibi ısıtıl işlem süresinin 24 saat gibi yüksek sürelerle çıkmasıyla birlikte daha öncesinde yapılan düşük sürelerdeki ısıtıl işlem uygulamalarına göre gözeneklerin tamamı tane sınırlarına doğru yöneldiği ve resim incelendiğinde sinterleme teorisine göre ısıtıl işlemin bu süre için yeterli olduğu tespit edilmiştir.

Farklı sürelerde ısıtıl işlem görmüş numunelerin, farklı büyütmelerdeki çekilmiş olan SEM görüntüleri incelendiğinde (Resim 4.2), sinterleme teorisi daha güzel anlaşılmaktadır. Resimler üzerinden yapılan incelemelerde, gözlemlendiği gibi sürenin artmasıyla birlikte, düşük ısıtıl işlem süresi ve yüksek ısıtıl işlem süresine bağlı olarak, gözenekler tane sınırlarına yönelmiştir.



Resim 4.2. 550 °C’de farklı sürelerde ısıtıl işlem görmüş numunelerin, farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri
a) 4 saat X250, b) 4 saat X1000, c) 24 saat X250, d) 24 saat X1000

4.5. Sertlik Sonuçları

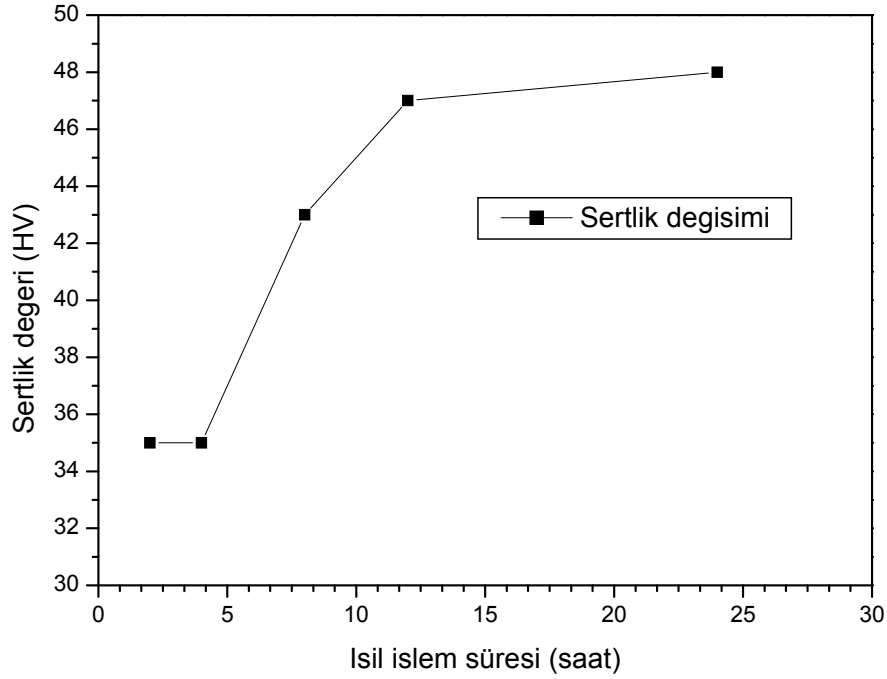
Sertlik sonuçları, tozların sertliklerinin, yaşlandırma öncesinde ısıtım işlem sıcaklığı ve süresine bağılı olarak oluşturulan numunelerin sertlik değerlerinin belirlenmesinde mikro sertlik cihazı kullanılmıştır.

Yapılan çalışmalar doğrultusunda sertlik sonuçlarının ısıtım işlem sıcaklığı ve süresine bağılı olarak nasıl değiştiğı ve devamında yaşlanma ile birlikte nasıl etkilendiğı hususunda sertlik üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışılan toz boyutları çok küçük değer aralıklarında olduğundan mikro sertlik cihazında yapılmasının uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu cihazda sertlik testinin yapılması için kullanılan yük ise HV 0,1kg olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.2’de 550°C de 2 saat, 4 saat, 8 saat, 12 saat ve 24 saat farklı sürelerde ısıtım işlem görmüş numunelere ait sertlik değerleri gösterilmiştir. Isıtım işlem süresinin artması ile birlikte sertlikte de bir artış gözlemlenmektedir. Sürenin yüksek seviyelere çıkması ile sertlik değeri sabitleşmeye başlamaktadır. Burada sertlik değerlerinin artmasının nedeni, sinterleme ile birlikte yapı içerisinde bulunan mikro ve makro gözenekliliklerin ısıtım işlem ile birlikte tane sınırlarına yönelmesi ve tanelerin birleşerek yeni taneler oluşturması olarak düşünülmektedir.

Sertlik sonuçları incelendiğinde presleme basıncının, ısıtım işlem süresinin ve sıcaklığının aynı zamanda yaşlanmanın da sertlik değerleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu söylenebilir.

Mikro sertliğin tane üzerindeki sertliklerden alınmış olması çalışmanın devamında yaşlandırma açısından yeterli olmayacağından, numunelerin yaşlandırma sonrası makro sertlik ölçümleri de yapılmıştır.



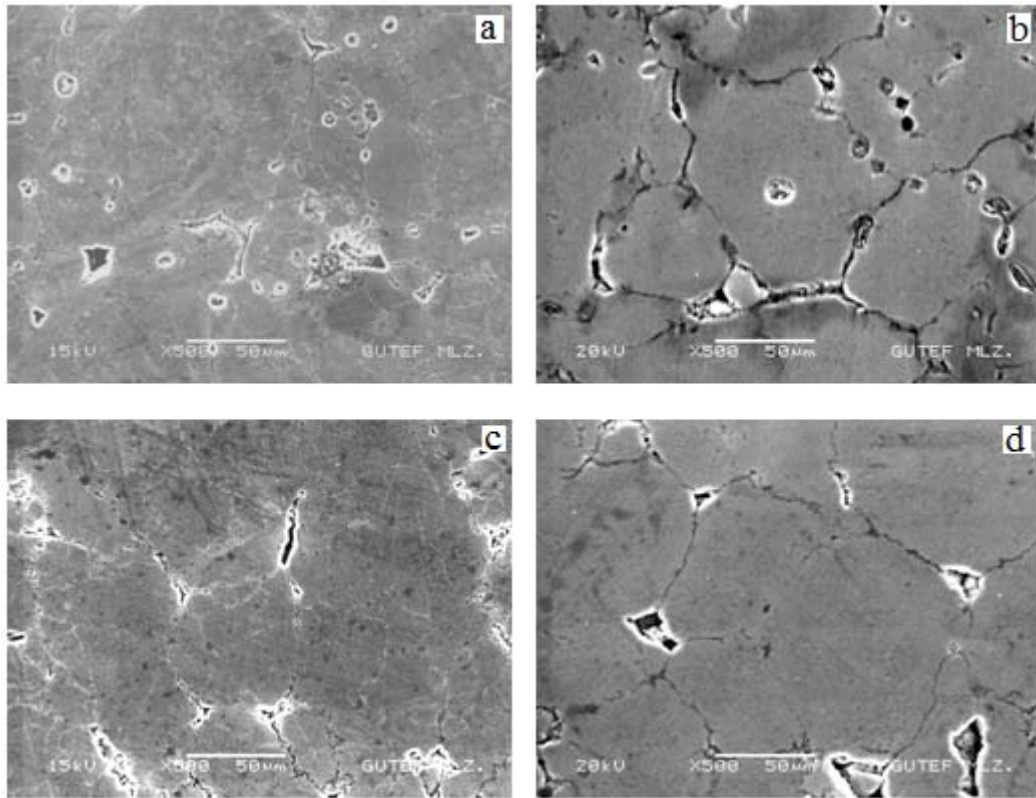
Şekil 4.2. Farklı ısıt işlem sürelerindeki sertlik değerleri

4.6. Yaşlandırma Isıl İşlemi Sonrası Numunelerin SEM Görüntüleri

Öncelikli olarak 2 ile 24 saat ısıt işlem uygulanmış numunelere, yaşlandırma süresinin ve ısıt işlem sürelerinin etkilerini tespit edebilmek için, numunelere ısıt işlem sonrasında yaşlandırma işlemi uygulanmıştır.

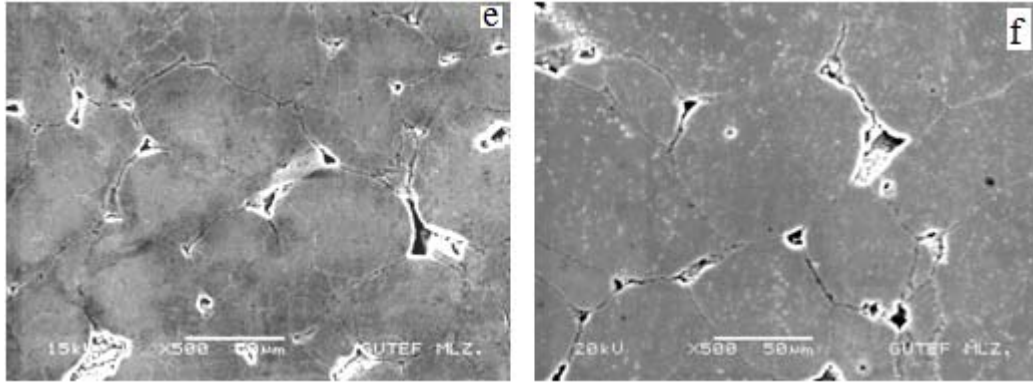
Yaşlandırma işleminin süresinde olan değişiklikler, numunelere uygulanan ısıt işlem süresine bağlı olarak farklılıklar meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu sonucu ise 4 saat ısıt işlem görmüş numuneye 12 saatlik yaşlandırma işlemi uygulanırken, 12 saat ısıt işlem görmüş numune için yaşlandırma süresi 20 saat olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar makro sertlik deney sonuçlarında irdelenmiştir. Aradaki bu fark gösteriyor ki ısıt işlem süresinin artmasıyla birlikte numunelerin yaşlandırma sürelerinde de gerçekleşen bir artışın olduğu gözlemlenmiştir.

Resim 4.3 a’da 4 saat ısıt ısıt işlem sonrasındaki numunenin SEM görüntüsü ve Resim 4.3 b’de 4 saat ısıt işlem sonrasında yaşlandırma ısıt işlemi ile elde edilen SEM görüntüsü mukayese edildiğinde, gözenekliliklerin genellikle değişmediği gözlemlenirken, ısıt işlem süresinin artması ile birlikte gözenekliliklerin tane sınır bölgelerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir (Resim 4.3 c, Resim 4.3 e). ısıt işlem süresinin artması ile birlikte, yaşlandırma ısıt işlemi uygulandığında, tane sınırlarında belirginleşen gözeneklerin değişmediği ancak Cu fazının ise ana faz yapı içerisinde homojen bir şekilde dağılım gösterdiği EDS analizleri ile de desteklenerek, SEM görüntüsü üzerinde tespit edilmiştir (Resim 4.3 d, Resim 4.3 f).



Resim 4.3. 550°C’ de farklı sürelerde ısıt işlem görmüş ve yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri

- a) 4 saat ısıt işlem b) 4 saat ısıt işlem ve yaşlandırılmış c) 8 saat ısıt işlem d) 8 saat ısıt işlem ve yaşlandırılmış e) 12 saat ısıt işlem f) 12 saat ısıt işlem ve yaşlandırılmış



Resim 4.3. (Devam)550°C’ de farklı sürelerde ısıt işlem görmüş ve yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri
 a) 4 saat ısıt işlem b) 4 saat ısıt işlem ve yaşlandırılmış c) 8 saat ısıt işlem
 d) 8 saat ısıt işlem ve yaşlandırılmış e) 12 saat ısıt işlem f) 12 saat ısıt işlem ve yaşlandırılmış

4.7. Isıl İşlem ve Yaşlandırmaya Bağlı Olarak Değişen EDS Sonuçlarının İncelenmesi

Bu bölümdeki Element Dağılım Haritalaması (EDH) analizleri, işlem görmemiş tozlara, presleme sonrası ısıt işlem uygulanmış olan numunelere ve yaşlandırma sonrasındaki numunelere uygulanmıştır. SEM görüntüsü üzerinden farklı bölgelerde yapılan EDS analizleri sayesinde numune içerisinde fazlardaki farklılıklar tespit edilmeye çalışılmıştır.

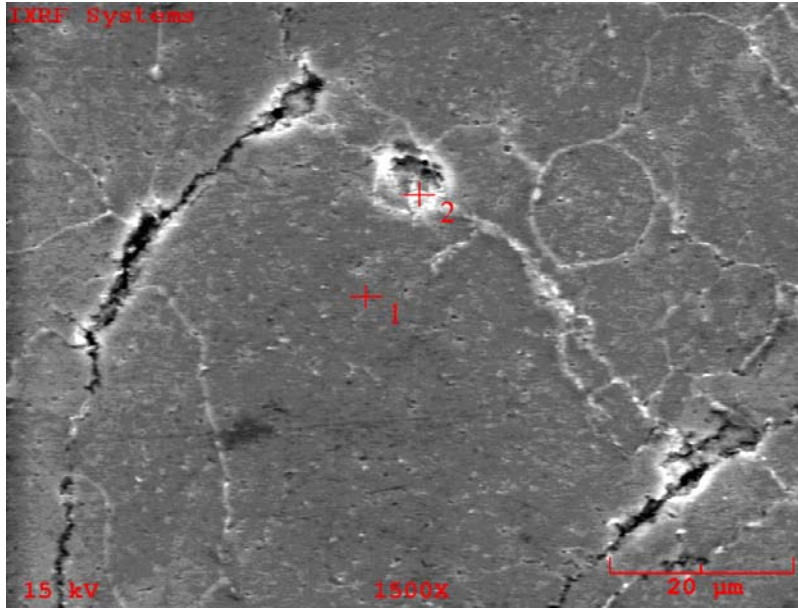
EDS analizi yapılırken numunelerin genelinde yapılan incelemelerde Al, Cu, C, ve O gibi elementlerin bölgesel dağılımları ve yoğunlaşma bölgeleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Yapılan EDS çalışmalarında belli bir atom çapının altındaki elementlerin (O, C, H v.b.) analizleri tam olarak cihaz tarafından yapılamamaktadır. Bu sebepten, bazı analizler sırasında bu elementlerin bulunamaması durumunda, var olmadıkları var sayılarak, göz ardı edilmişlerdir.

EDS incelemeleri, numuneler üzerinden çekilen resimler üzerinde farklılıklar gösteren bölgelerde yapılarak, resmi çekilen numuneler üzerinde oluşması muhtemel yapılar tespit edilmiştir. Resim 4.4 ve Resim 4.6’da 550 °C’de 4 ve 12 saat ısıt işlem uygulanmış numunelerin SEM görüntüsü üzerinde belli bölgelerde analizler

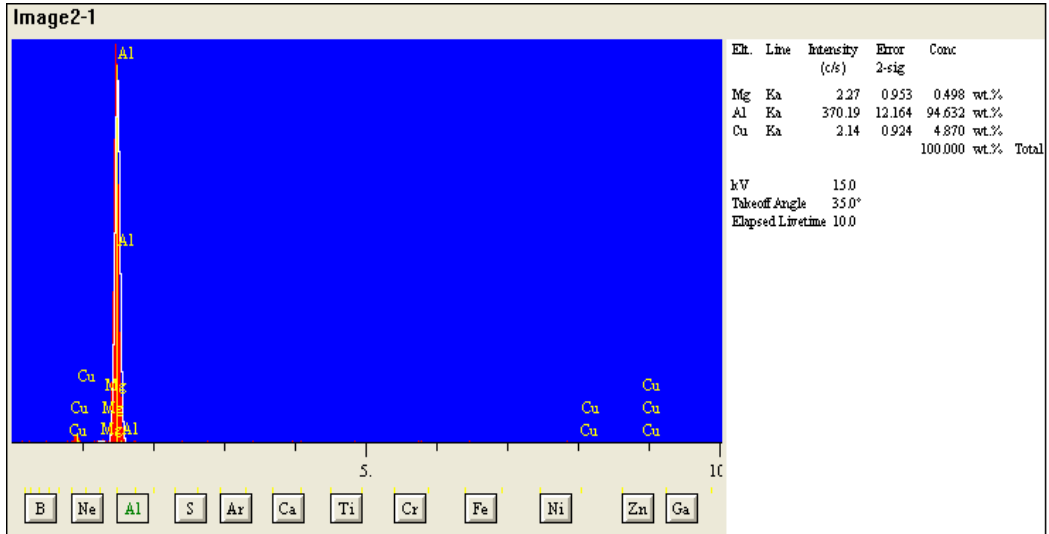
yapılmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde SEM üzerindeki 1. noktanın EDS sonuçlarına bakıldığında ana matris olan Al ve Cu'ya rastlanılmış ve eser miktarda da magnezyuma rastlanılmıştır (Şekil 4.3, Şekil 4.9). Cu miktarı irdelendiğinde, normalde yaklaşık olarak 4 olması gerekirken Şekil 4.3'deki bakır oranlarına bakıldığında 4,870 gibi bir değer çıktığı gözlemlenmiştir. SEM üzerindeki 2. noktanın inceleme sonuçlarında (Şekil 4.4, Şekil 4.10), yine Cu miktarının normalin üzerinde olduğu ve Resim 4.4.'deki 2. noktada görülen beyaz bölgelerin oksitce zengin bölgeler olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar ile Şekil 4.5 ve Şekil 4.11'de incelendiğinde SEM üzerindeki 2. noktanın analizinden de yola çıkılarak oksitli bölgelerin genellikle tane sınırlarında yoğunlaşmaya başladığı tespit edilmiştir.

Bu sonuçlar ile Cu'nun genellikle ana faz içerisinde ve oksitlerinde genellikle ana faz yapısına göre nispeten daha sıcak bölgeler olan tane sınırlarında yoğunlaştığı gözlemlenmiştir.

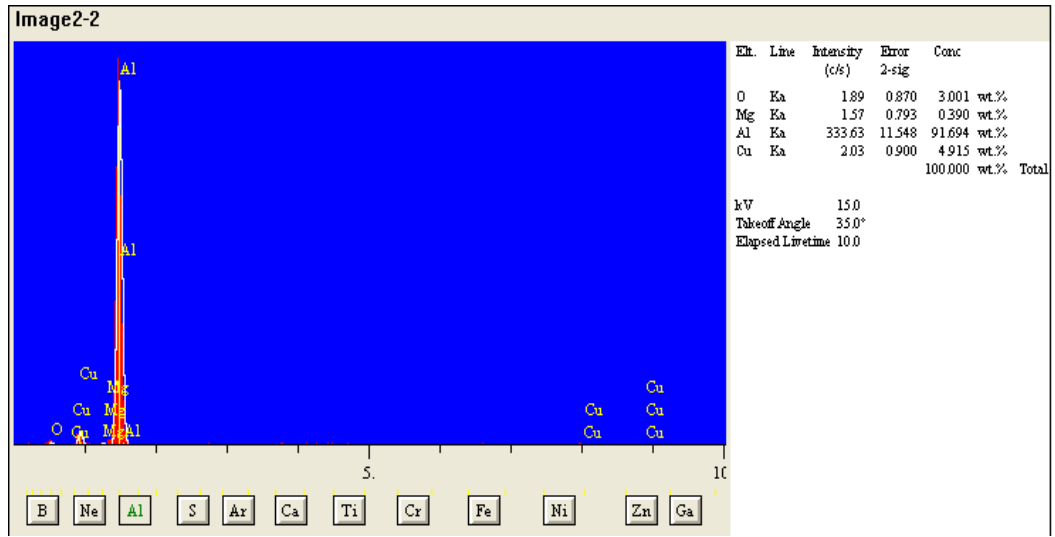
Numunelerin 4 ve 12 saatlik ısıtılma işlem sonrasında yaşlandırma uygulandığında yapılan incelemeler üzerindeki SEM görüntüsünde, EDS analizleri ısıtılma sonrası analiz ile karşılaştırılmaya çalışılmıştır (Resim 4.5, Resim 4.7). Böylece ısıtılma süresinin ve yaşlandırmanın fazlardaki element dağılımlarına etkileri tespit edilmiştir (Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14). Bu incelemeler neticesinde de ısıtılma sonrasında Cu genellikle çok küçük partiküller halinde olduğundan, SEM görüntüsünde belirginliği yokken, yaşlandırma ısıtılma işlemi ile birlikte bakır fazının θ' 'den θ'' 'e dönüşmesi ile bakır fazının büyüyerek tane içerisinde belirgin bir şekil halini aldığı gözlemlenmiştir (Resim 4.7). Bu bölgeler ise SEM görüntüsü üzerinde bulunan beyaz ve faz içerisinde düzgün bir şekilde dağılım gösteren fazlardır.



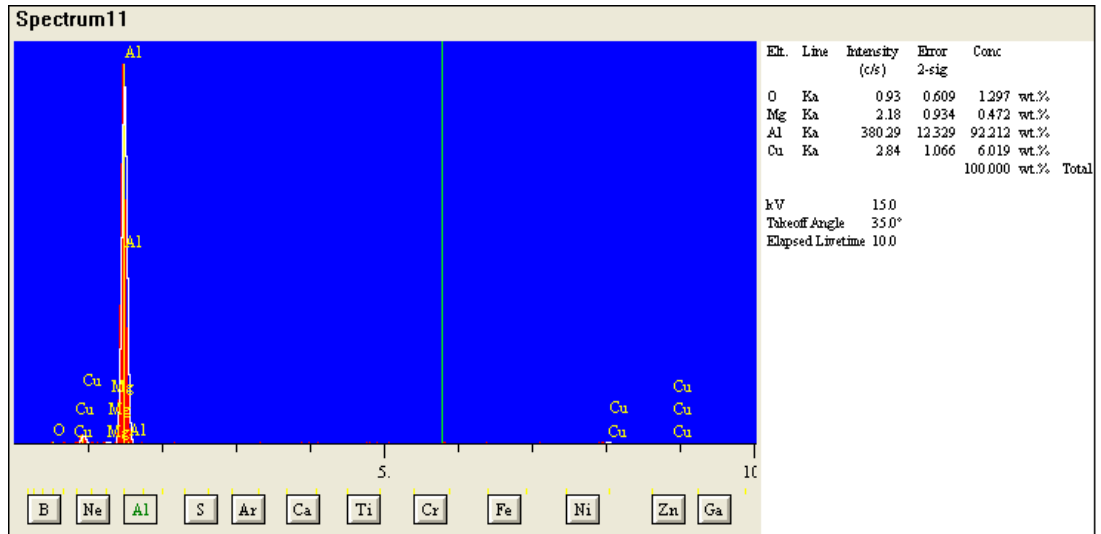
Resim 4.4. 550 °C’de 4 saat ısıtıl işlem uygulanmış numunenin EDS için SEM görüntüsü



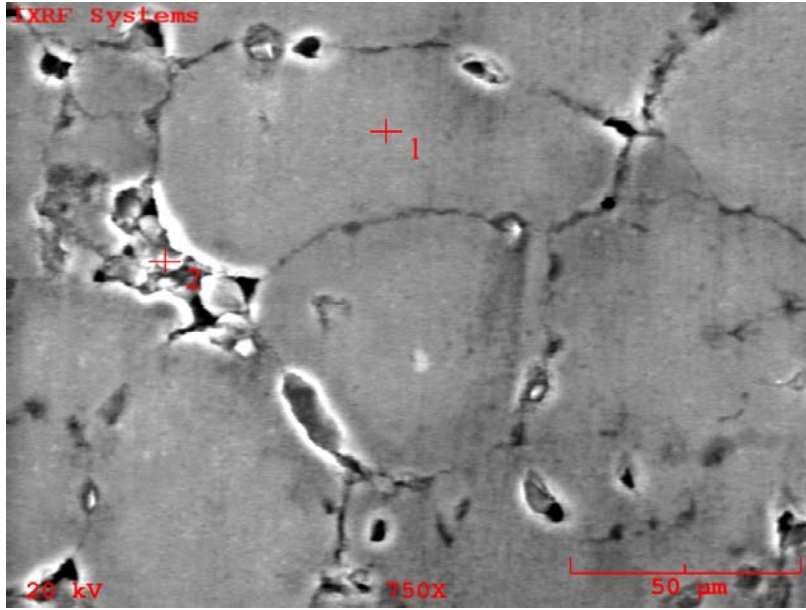
Şekil 4.3. 550 °C’de 4 saat ısıtıl işlem uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 1. analiz



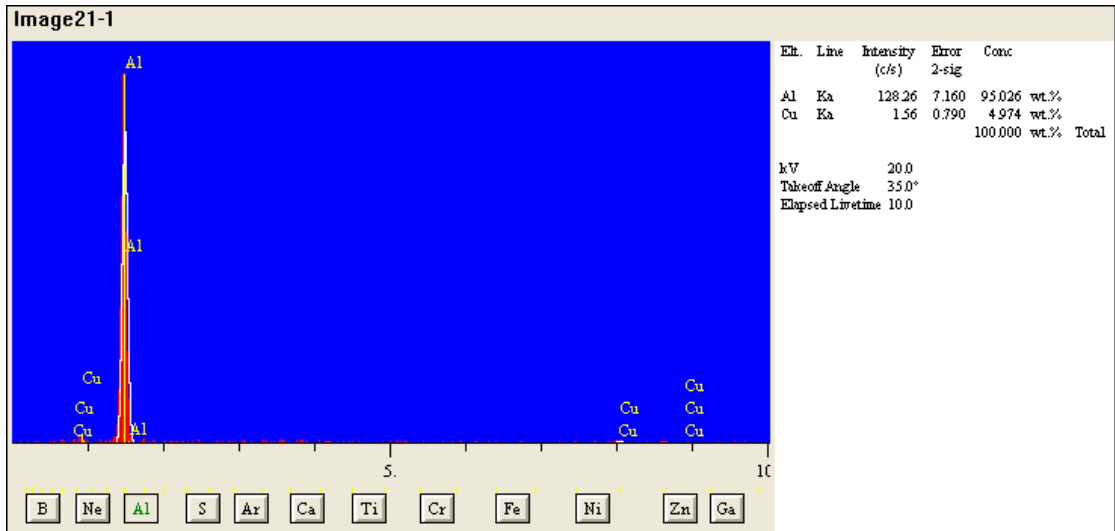
Şekil 4.4. 550 °C’de 4 saat ısıtıl işlem uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 1. analiz



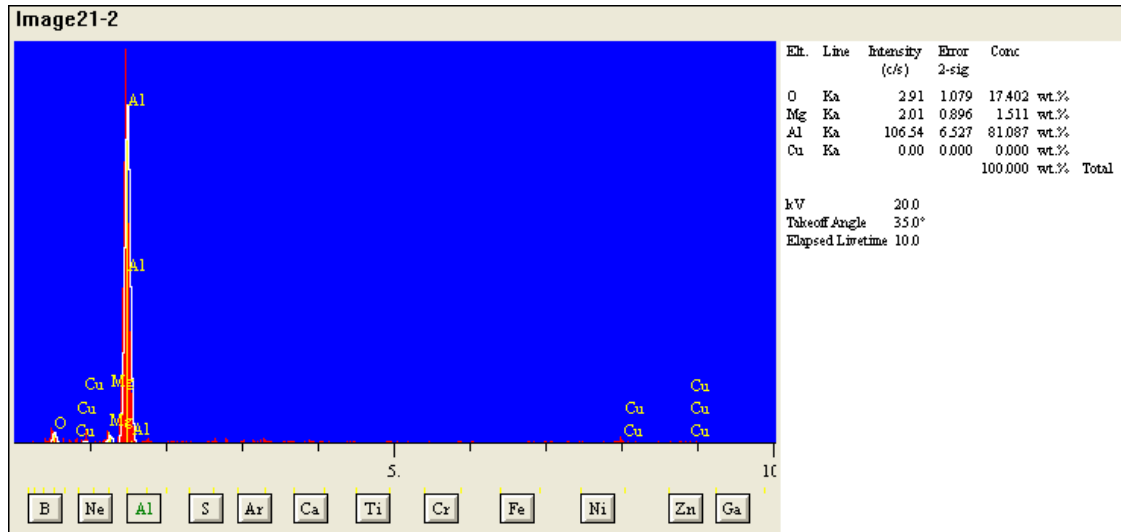
Şekil 4.5. 550 °C’de 4 saat ısıtıl işlem uygulanmış numunenin genel EDS sonuçları



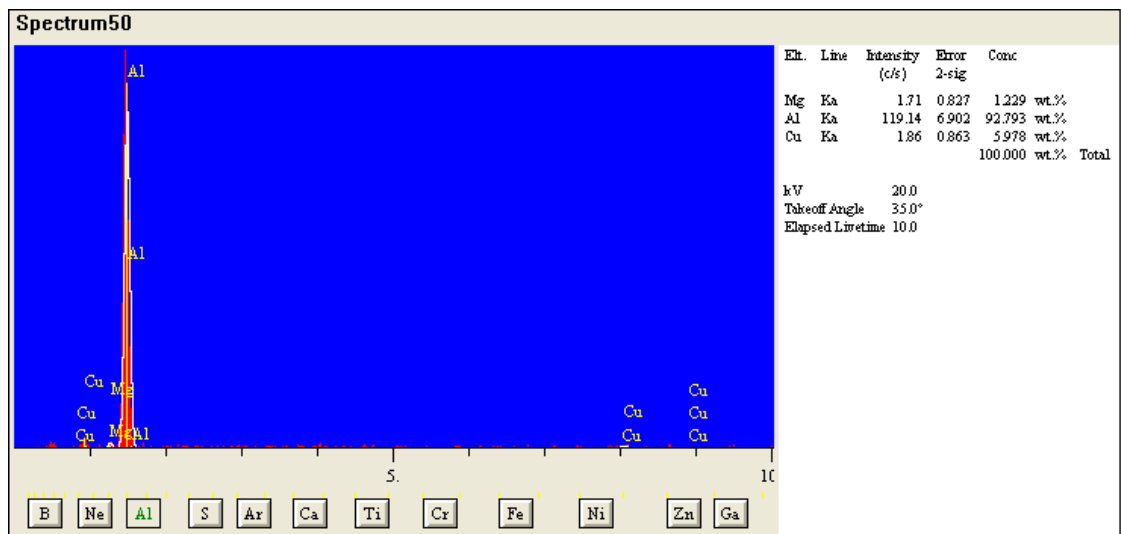
Resim 4.5. 550 °C’de 4 saat ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşılandırılmış numunenin EDS için SEM görüntüsü



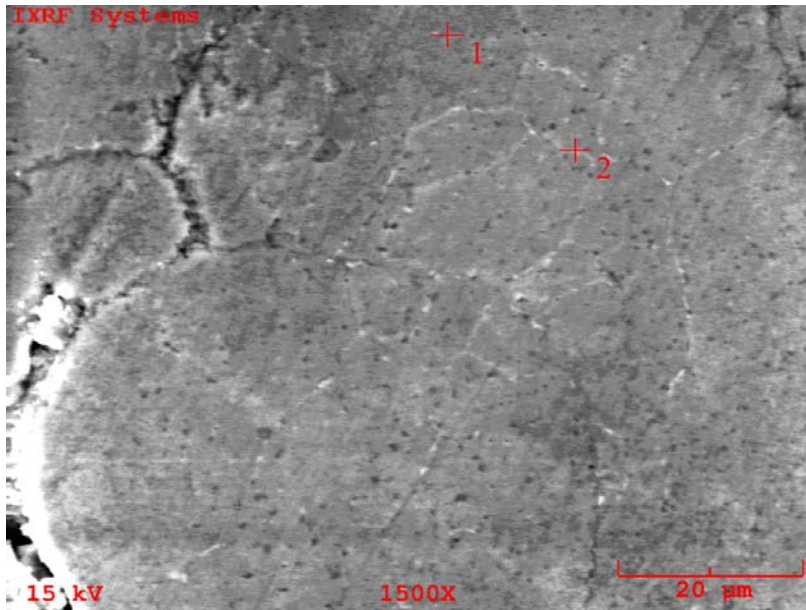
Şekil 4.6. 550 °C’de 4 saat ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşılandırılmış numunenin SEM görüntüsündeki 1. analiz



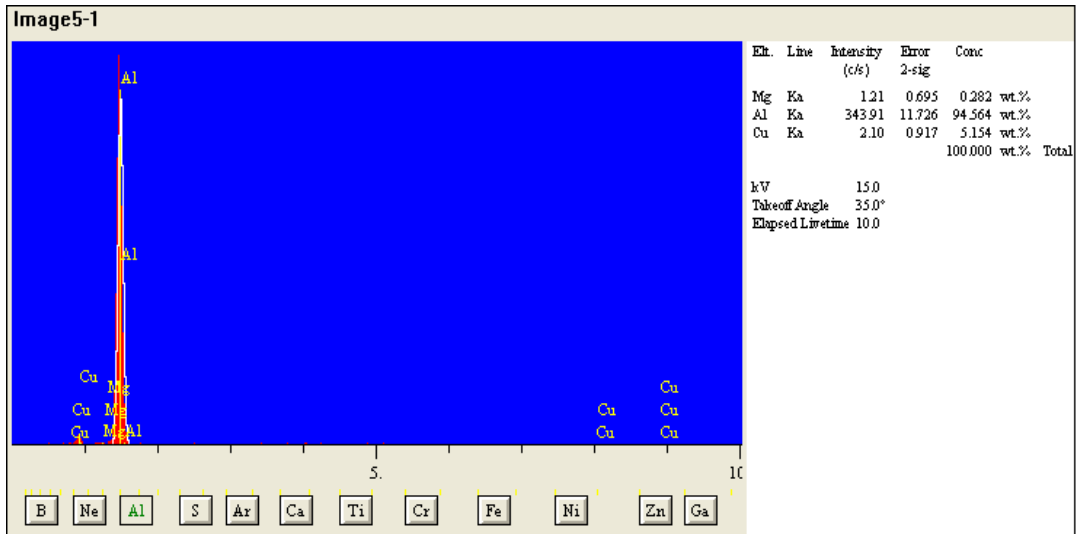
Şekil 4.7. 550 °C’de 4 saat ısıt işlem uygulanmış ve yaşlandırılmış numunenin SEM görüntüsündeki 2. analiz



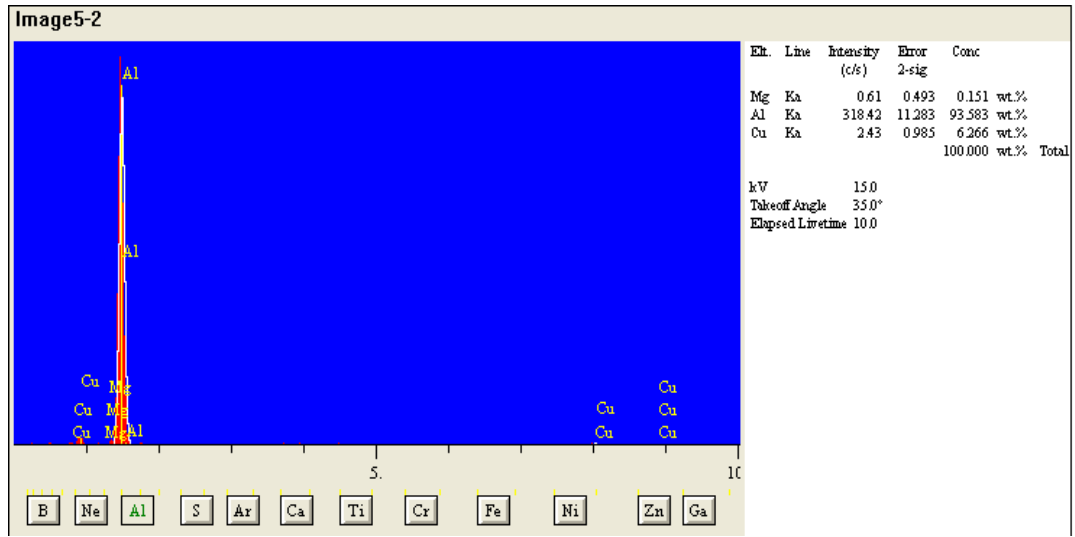
Şekil 4.8. 550 °C’de 4 saat ısıt işlem uygulanmış ve yaşlandırılmış numunenin genel EDS sonuçları



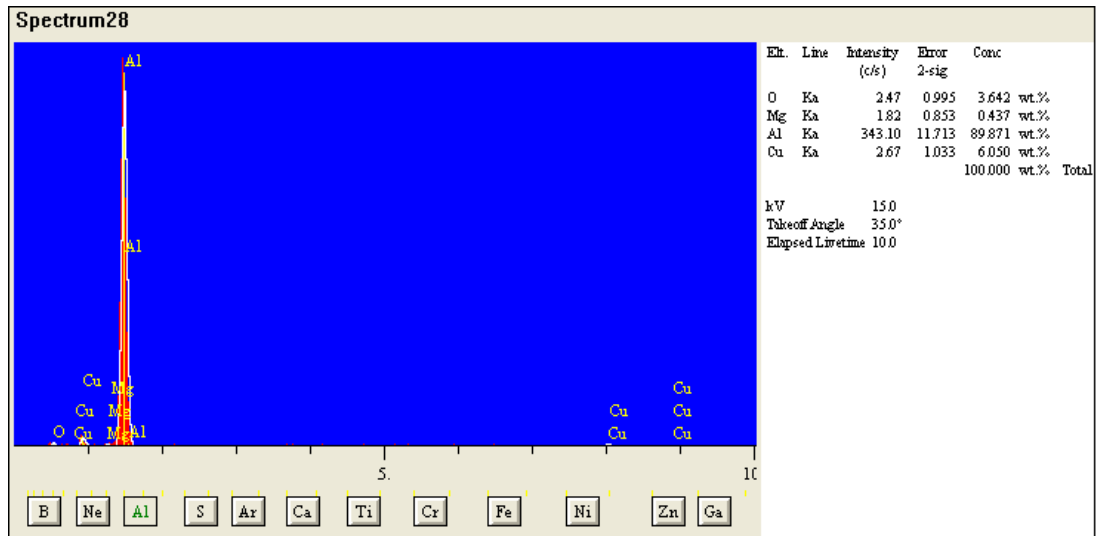
Resim 4.6. 550 °C’de 12 saat ısıtıl işlem uygulanmış numunenin EDS için SEM görüntüsü



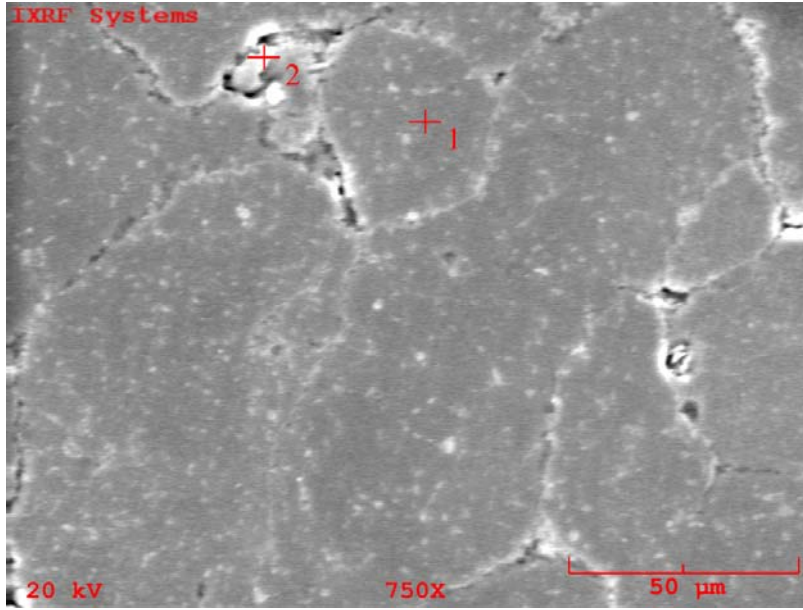
Şekil 4.9. 550 °C’de 12 saat ısıtıl işlem uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 1. analiz



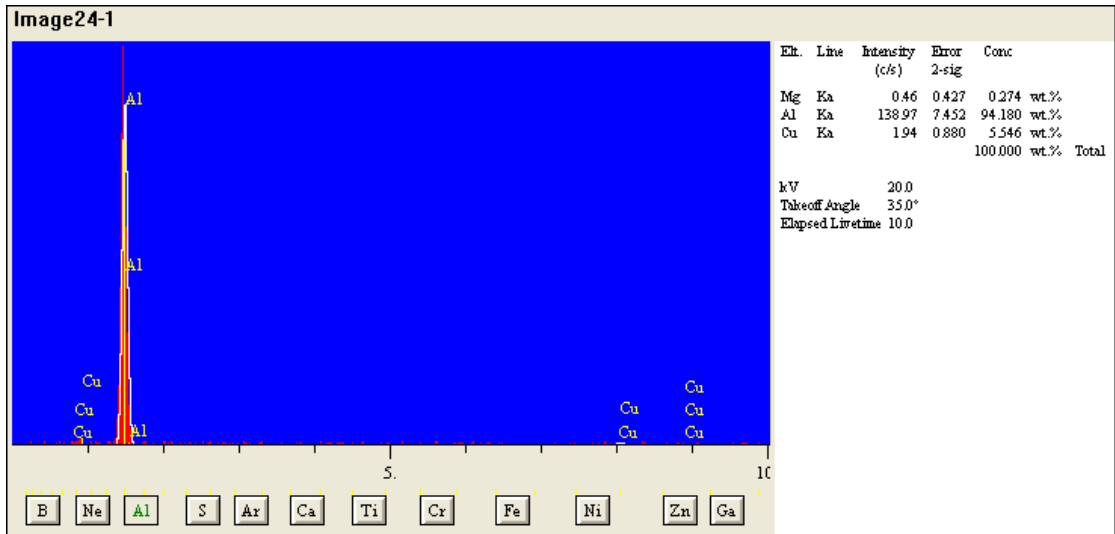
Şekil 4.10. 550 °C’de 12 saat ısıtıl işlem uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 2. analiz



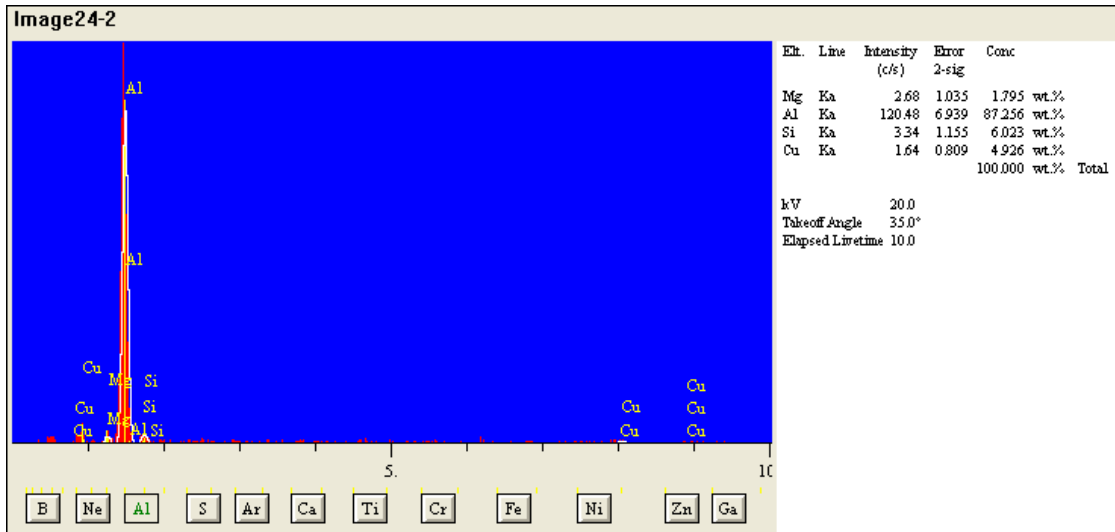
Şekil 4.11. 550 °C’de 12 saat ısıtıl işlem uygulanmış numunenin genel EDS sonuçları



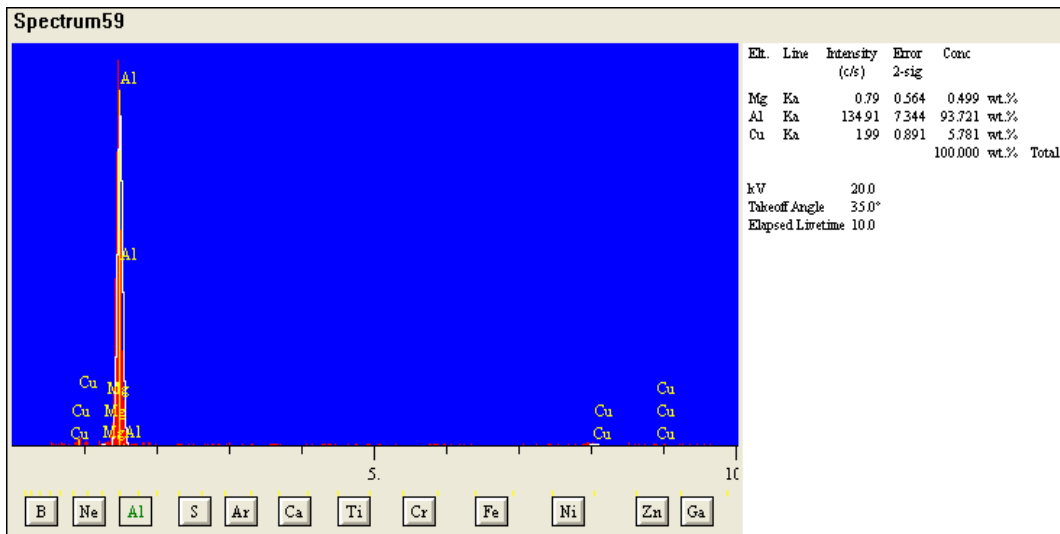
Resim 4.7. 550 °C’de 12 saat ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşılandırılmış numunenin EDS için SEM görüntüsü



Şekil 4.12. 550 °C’de 4 saat ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşılandırılmış numunenin SEM görüntüsündeki 1. analiz



Şekil 4.13. 550 °C’de 4 saat ısıt işlem uygulanmış ve yaşılandırılmış numunenin SEM görüntüsündeki 2. analiz



Şekil 4.14. 550 °C’de 12 saat ısıt işlem uygulanmış ve yaşılandırılmış numunenin genel EDS sonuçları

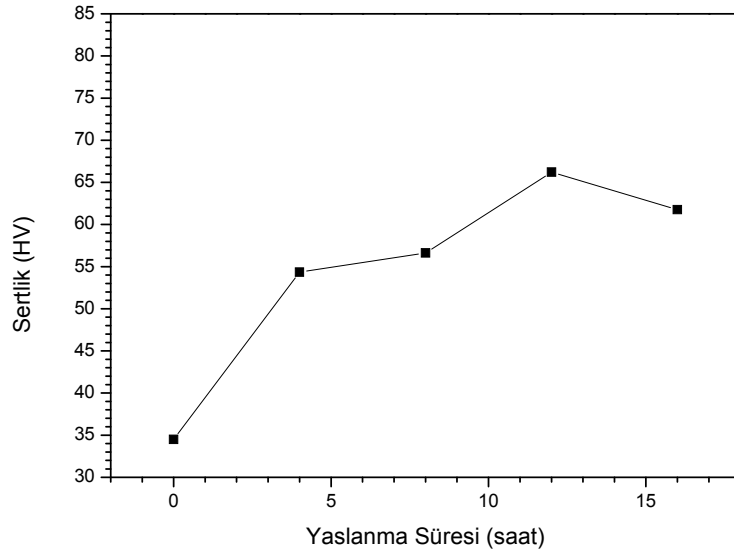
4.8. Makro Sertlik Sonuçları

Makro sertlik ölçümleri, yaşlanma süresinin etkileri ve meydana getirdiği sertlik değişimlerini tespit etmek için yapılmıştır. Mikro sertlik ile belirlenemeyen tane sınırlarındaki ve tane içlerindeki çökeltilerin etkilerini, makro sertlik yardımıyla tespit edilebilmektedir.

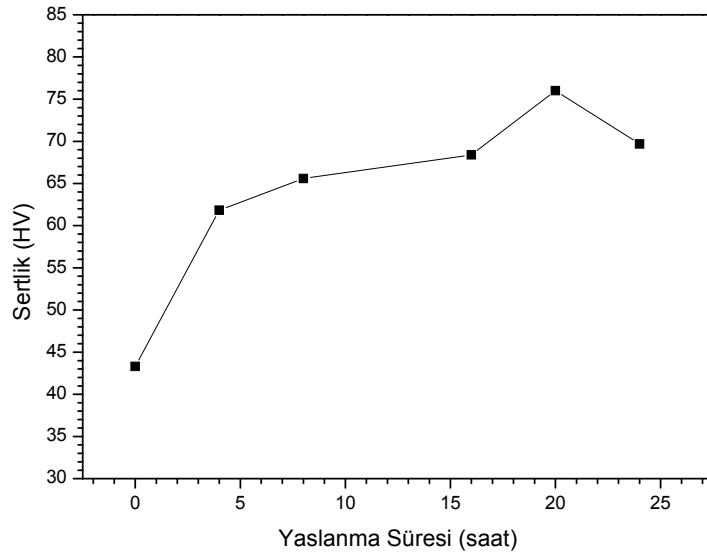
Şekil 4.15’de gözlemlendiği gibi preslenmiş AA2014 malzemesinden üretilen 550 °C’de 4 saat ısıtıl işlem uygulanmış numuneye 520 °C’de çözündürme işlemi uygulanmış ve suda soğutulmuştur. Daha sonra çözündürülen bu numuneler 4, 8, 12, 16, 20 ve 24 saat 150 °C ‘de yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Yaşlandırma uygulanan numunelere her yaşlandırma süresi sonunda sertlik testi yapılarak, zamana bağlı olarak sertlik sonuçları tespit edilmiştir.

Şekil 4.16’de gözlemlendiği gibi ısıtıl işlem sonrası sertlik değeri 43 iken yaşlanma süresine bağlı olarak sertlik değeri giderek artmaktadır. 20 saat yaşlandırma sonrasında sertlik değeri düşmeye başlamaktadır. Bu da yaşlandırma işleminde aşırı yaşlandırma kısmını geçtiğimizi ve sertlik değerinin bu noktadan sonra düşmeye başlayacağını göstermektedir. En yüksek sertlik değeri ise Şekil 4.16’de yaklaşık olarak 75 HV değerine ulaştığı gözlemlenmektedir. Numunelere uygulanan ısıtıl işlem süresinin artmasıyla birlikte sertlik değerlerinin ve yaşlanma süresinin arttığı gözlemlenmektedir.

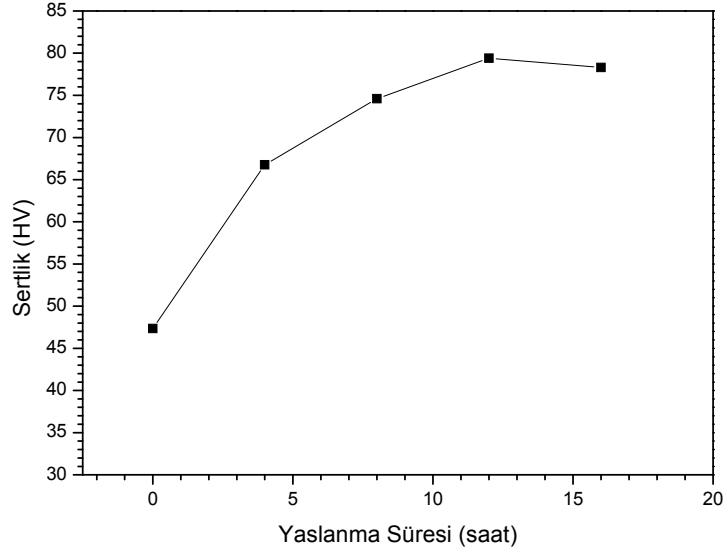
Şekil 4.18’de gözlemlendiği gibi yaşlanma işlemi ile birlikte sertlik artmaktadır. 24 saat ısıtıl işlem sonrasındaki sertlik değeri 4, 8 ve 12 saat ısıtıl işlem sonrasındaki sertlik değerinden daha yüksektir (Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17). Yaşlanma sonrası en yüksek sertlik değerinin de 4 ve 8 saat ısıtıl işlem uygulanan numunelerin yaşlanma sonrası sertlik değerlerinden daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca 24 saat ısıtıl işlem sonrası yaşlandırma işleminde en yüksek sertlik değerinde kalma zamanı, daha düşük sürelerde ısıtıl işlem uygulanan numunelere göre daha uzun olduğu gözlemlenmektedir. Burada ısıtıl işlem süresinin artışı ile birlikte yaşlanma zamanına bağlı olarak sertlik artışında da artırıcı etki yaptığı tespit edilmiştir.



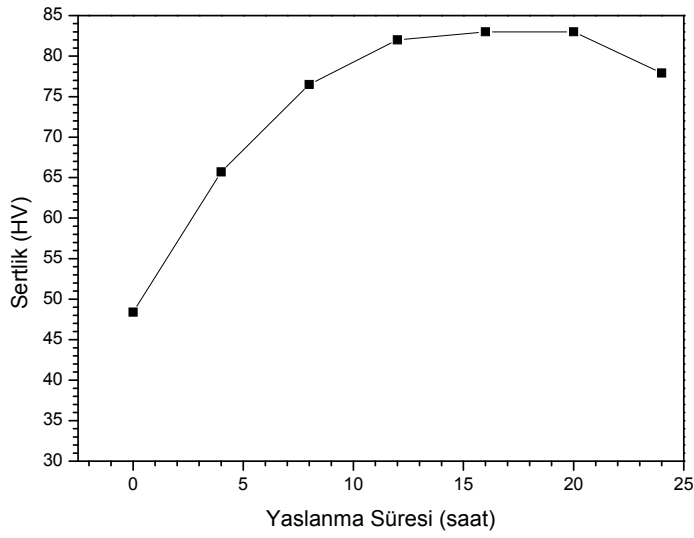
Şekil 4.15. 550°C de 4 saat ısıtıl işlem yapılmış numunenin yaşlanma sonrası sertlik değerleri



Şekil 4.16. 550°C de 8 saat ısıtıl işlem yapılmış numunenin yaşlanma sonrası sertlik değerleri

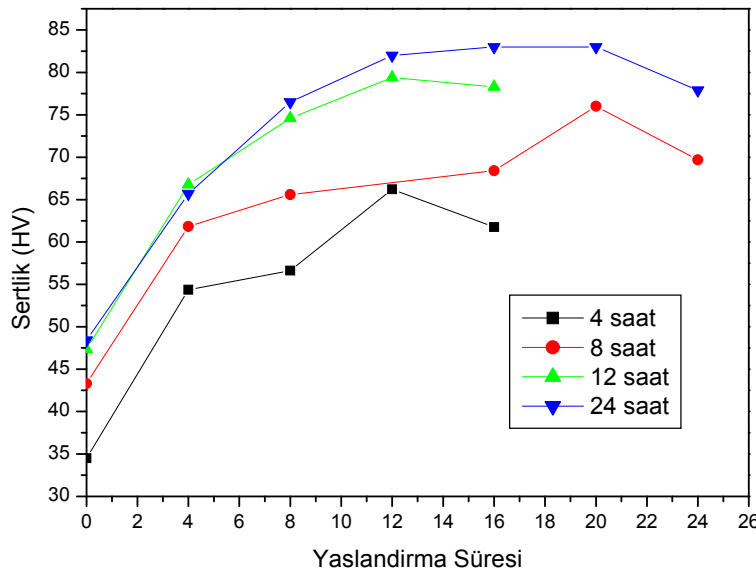


Şekil 4.17. 550°C de 12 saat ısıtılmış numunenin yaşlanma sonrası sertlik değerleri



Şekil 4.18. 550°C de 24 saat ısıtılmış numunenin yaşlanma sonrası sertlik değerleri

Sertlik değerlerinin genel olarak incelenebilmesi için bütün sertlik değerleri tek bir grafikte birleştirilmiştir. Şekil 4.19 incelendiğinde ısıtma işlem süresinin artması ile birlikte, yaşlandırma süresinin ve sertlik değerlerinin nasıl arttığı daha kolay gözlemlenmektedir. Bunun sonucu olarak ısıtma işlem süresinin artması ile birlikte en yüksek sertlik değeri elde edilebilmiştir. Bu sertlik değerleri yaşlandırma ısıtma işlemi ile de yüksek sertliğe ulaşılmış ve doğrusal orantılı olarak artmaktadır.

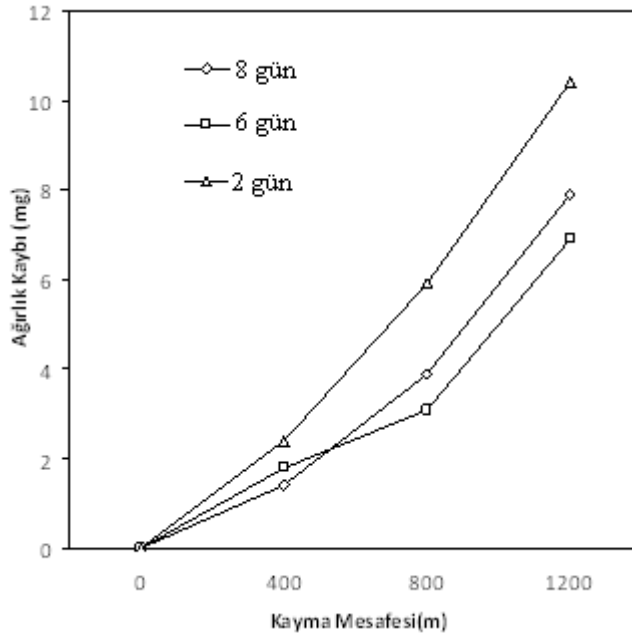


Şekil 4.19. 550 °C’de 4, 8, 12 ve 24 saat ısıtma işlem sonrası yaşlandırılan numunelerin sertlik değerleri

4.9. Aşınma Sonuçları

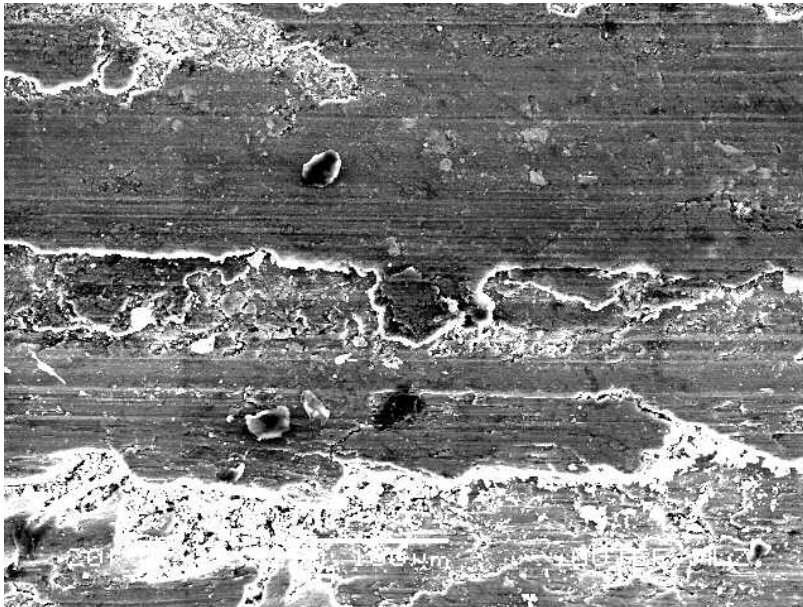
Bu çalışmada, aşınma deneyleri kuru ortamda, 600 °C’de 2,6,8 gün ısıtma işlem uygulanmış numunelerde ve 550 °C’de 2 ve 4 saat ısıtma işlem uygulanmış numunelerde 15 N yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir. 550 °C’de 2 gün ısıtma işlem uygulanmış ve ardından 16 saat yaşlandırılmış numunede ve yine aynı sıcaklıkta 4 gün ısıtma işlem uygulanmış ve ardından 12 saat yaşlandırılmış numunede 30 N yük uygulanarak aşınma deneyleri gerçekleştirildi. Yaşlandırılmış numunelerin sertliklerinin daha yüksek olması nedeniyle aşınma yükü daha fazla uygulanmıştır.

Şekil 4.20’de 600 °C’de 2,6,8 gün ısıtıl işlem uygulanmış numunelerin aşınma kayma mesafesine bağlı olarak aşınma kayıpları verilmiştir. İlk 400 m kayma mesafesine kadar, bu numunelerin aşınma kayıplarının ısıtıl işlem zamanının artmasıyla daha az olduğu görülebilir. Bunun muhtemel nedeni ısıtıl işlem zamanının artmasıyla numunelerdeki yoğunlaşmanın artması ve buna bağlı olarak da sertliğin artması gösterilebilir. Bu numunelerde 400 m kayma mesafesinden sonra en az aşınma oranı 6 gün ısıtıl işlem uygulanmış numunede olduğu görülmektedir. Oysaki 400 m kayma mesafesi öncesinde en az aşınma oranı en uzun ısıtıl işlem süresi uygulanan numunede gerçekleşmişti. Bu numunede aşınma kaybının daha az çıkmasına muhtemel nedenler ya kuru sürtünmeden dolayı numune yüzeyindeki oksilenmeye (Al_2O_3 filmi) bağlı olarak ya da Al alaşımları gibi bazı yumuşak ve YMK yapıları malzemelerde aşınma yükü altında iken plastik deformasyona bağlı olarak sertliğin yüzeyde bölgesel olarak artması gösterilebilir.

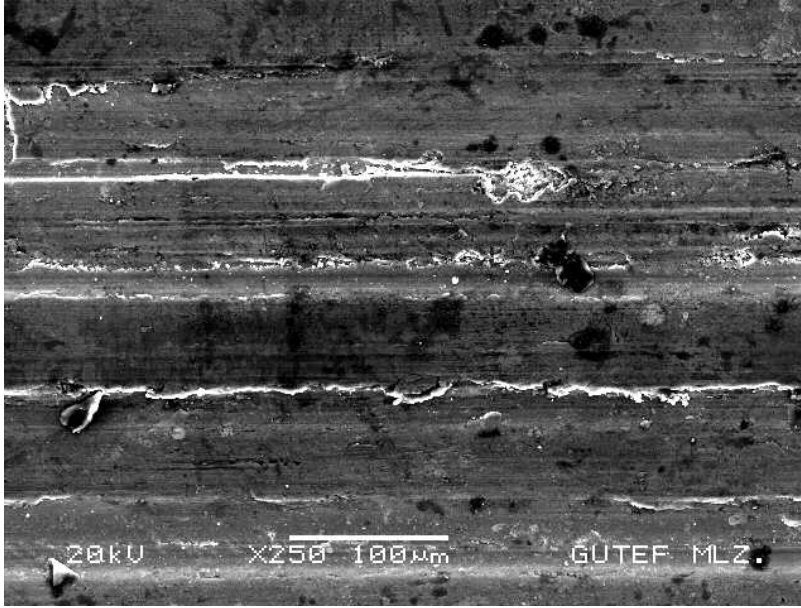


Şekil 4.20. 600 °C’de 2,6,8 gün ısıtıl işlem uygulanmış numunelerin aşınma kayma mesafesine bağlı olarak aşınma kayıpları grafiği

Resim 4.8, Resim 4.9 ve Resim 4.10'da 600 °C'de 2,6,8 gün ısıtıl işlem uygulanmış numunelerin 1200 m kayma mesafesi sonrası aşınma yüzeyleri sırasıyla verilmiştir. Resim 4.8'de 2 gün ısıtıl işlem uygulanmış numunenin aşınma yüzeyi incelendiğinde kütle kayıplarının çok daha fazla olduğu derin aşınma izlerinden açıkça görülebilir. Bu numunede kütle kayıpları adhesiv aşınma mekanizmasına bağlı olduğu aşınma izlerindeki sünek yırtılmalardan anlaşılmaktadır. Resim 4.9'da 6 gün ısıtıl işlem uygulanmış numunenin aşınma yüzeyi incelendiğinde ise kütle kayıplarının çok az olduğu anlaşılmaktadır. Aşınma yüzeyindeki aşınma izleri daha düz ve çok derin olmadığı görülmektedir. Aynı zamanda özellikle toz metalurjisi yöntemiyle üretilen malzemelerde yüzeye açık gözeneklerin aşınma esnasında kopan çok küçük parçacıkların yüzeye açık gözenekler tarafından tutulması da aşınma kayıplarının daha az olmasına neden olabilir. Resim 4.10'da 8 gün ısıtıl işlem uygulanmış numunenin aşınma yüzeyi incelendiğinde 6 gün ısıtıl işlem uygulanmış numunenin aşınma yüzeyine göre daha fazla 2 gün ısıtıl işlem uygulanmış numunenin aşınma yüzeyine göre daha az olduğu görülmektedir. Isıl işlem süresinin artmasına rağmen aşınma kayıplarının yeniden artmasına neden olarak aşınma esnasında kopan büyük boyutlu parçaların yüzeye daha derin hasar verdiği düşünülebilir.



Resim 4.8. 600 °C'de 2 gün ısıtıl işlem uygulanmış numunenin aşınma yüzeyi



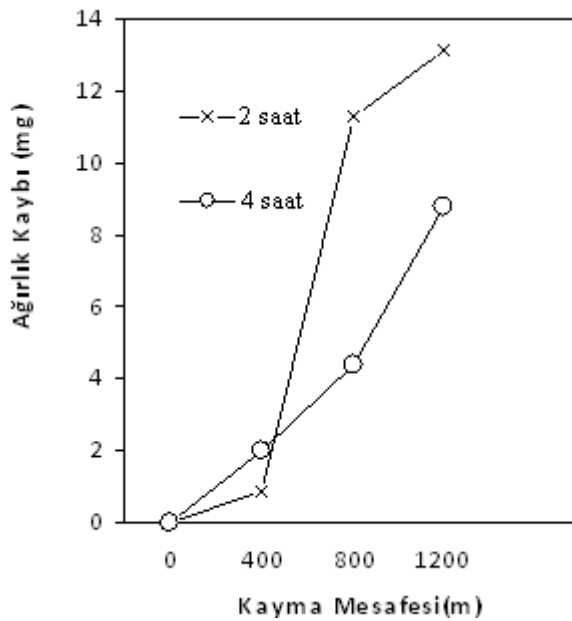
Resim 4.9. 600 °C’de 6 gün ısıtıl işlem uygulanmış numunenin aşınma yüzeyi



Resim 4.10. 600 °C’de 8 gün ısıtıl işlem uygulanmış numunenin aşınma yüzeyi

Şekil 4.21de 550 °C’de 2,4 saat ısıtıl işlem uygulanmış numunelerin aşınma kayma mesafesine bağlı olarak aşınma kayıpları verilmiştir. İlk 400 m aşınma mesafesine kadar 550 °C’de 4 saat ısıtıl işlem uygulanmış numunenin aşınma kaybının 550°C’de 2 saat ısıtıl işlem uygulanmış numuneye oranla daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun muhtemel nedeni 600 °C’de ısıtıl işlem uygulanmış numunelerde de olduğu

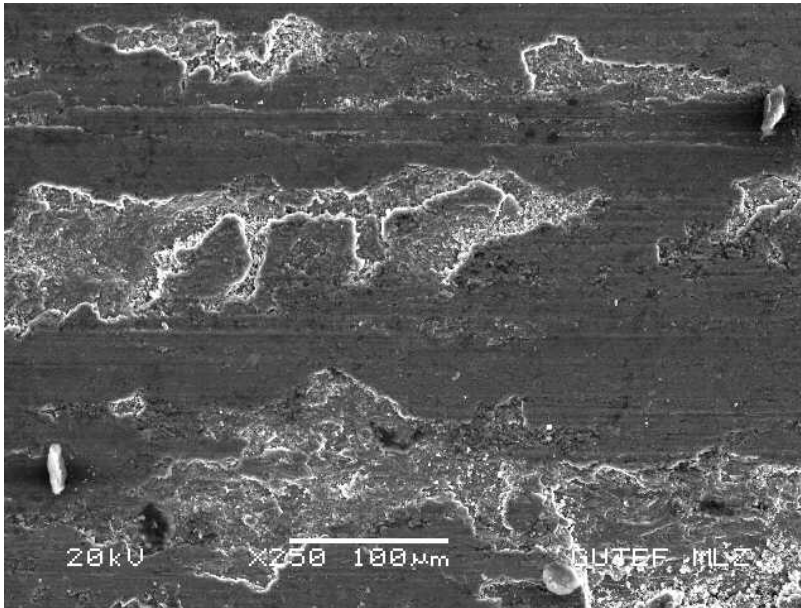
gibi 550 °C’de 2 saat ısıtıl işlem uygulanmış numunelerde aşınma sürtünmesi esnasında sıcaklık artmasıyla birlikte yüzeyde alüminyum oksit katmanının oluşmasına bağlanabilir. Toz metal malzemelerde oksitlenme eğilimleri sahip olduğu gözenek oranına ve yoğunlaşma parametresine bağlıdır. Bu numunelerde olduğu gibi daha düşük sıcaklık ve daha düşük ısıtıl işlem süresine bağlı olarak yüzeye açık gözenek miktarı daha da artacaktır. Buna bağlı olarak en az ısıtıl işlem süresine sahip bu numunede daha fazla yüzeye açık gözenek olması daha muhtemel olduğundan yüzeyde aşınmayı azaltan Al_2O_3 filmi oluşmuş olabilir. Bu mesafeden sonra 550 °C’de 2 saat ısıtıl işlem uygulanmış numunenin aşınma kaybının 550°C’de 4 saat ısıtıl işlem uygulanmış numuneye oranla daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum yine ısıtıl işlem süresinin düşük olmasına bağlanabilir.



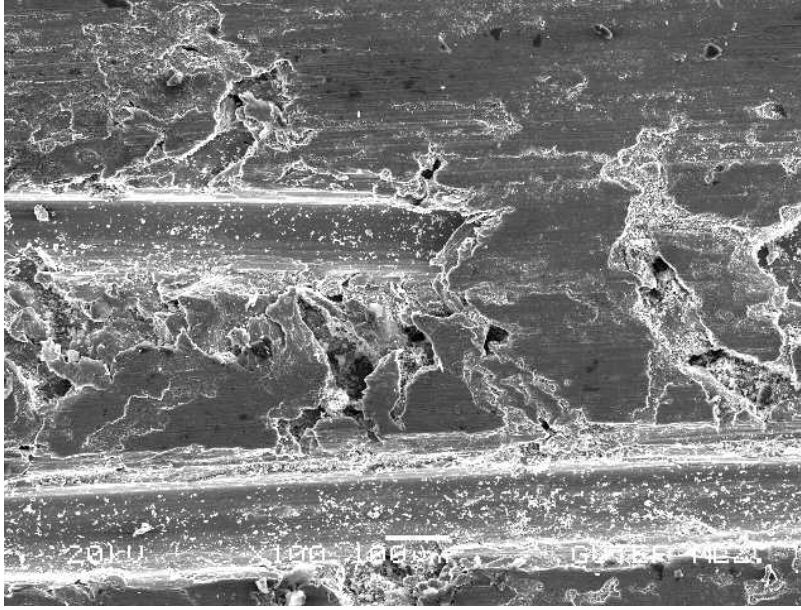
Şekil 4.21.550 °C’de 2 ve 4 saat ısıtıl işlem uygulanmış numunelerin aşınma kayma mesafesine bağlı olarak aşınma kayıpları grafiği

Resim 4.11’de 550 °C’de 2 saat ısıtıl işlem uygulanmış numunenin aşınma yüzeyi incelendiğinde Resim 4.12’deki aynı sıcaklıkta 2 saat ısıtıl işlem uygulanmış numunenin aşınma yüzeyine göre daha az aşınma izlerinin olduğu görülmektedir. Oysaki 2 saat ısıtıl işlem uygulanmış numunede aşınma kaybı daha fazla olduğu görülmektedir. Bu ters durum, toz metal malzemelerin aşınmasında sıklıkla görülen aşınma esnasında kopan küçük parçaların yüzeye açık gözenekler tarafından tutulmasından kaynaklandığı düşünülebilir. Muhtemelen 4 saat ısıtıl işlem uygulanmış numunelerde kopan parçacıkların da çok daha düşüktür.

Her iki numunede aşınma kaybının 600 °C’de ısıtıl işlem uygulanmış numunelere oranla çok daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Bu sonuçlar, aşınma özellikleri bakımından malzeme üretim aşamasında uygulanan ısıtıl işlem sıcaklığı ve süresinin yetersiz olduğunu ortaya koymaktadır.

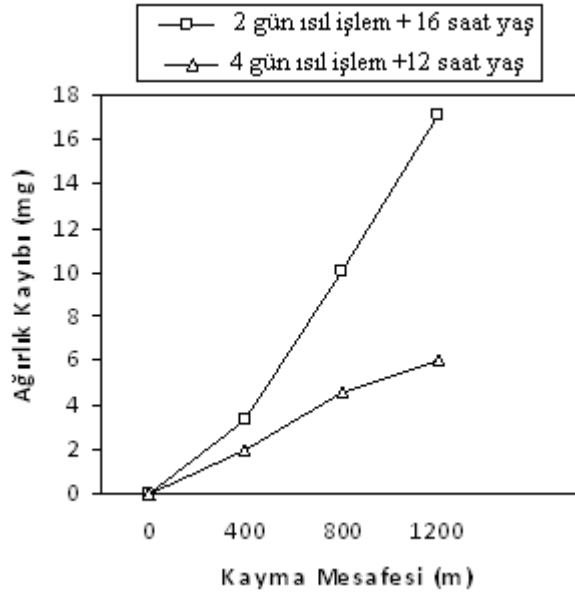


Resim 4.11. 550 °C’de 2 saat ısıtıl işlem uygulanmış numunenin aşınma yüzeyi

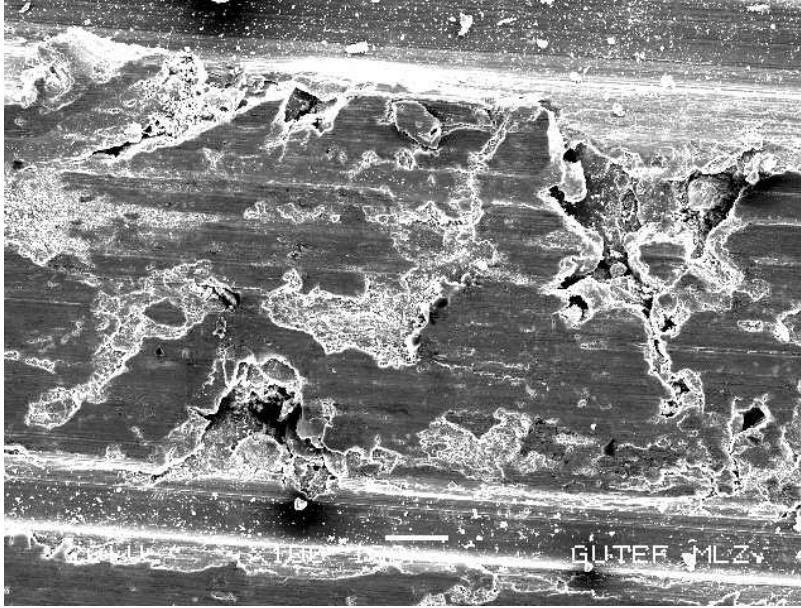


Resim 4.12. 550 °C’de 4 saat ısıt işlem uygulanmış numunenin aşınma yüzeyi

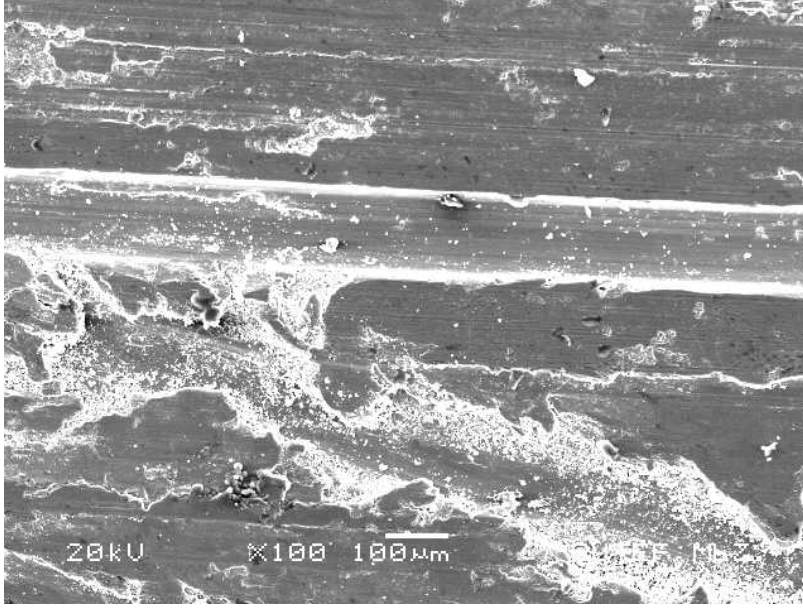
Şekil 4.22’de 550 °C’de 2 gün ısıt işlem uygulanmış ardından 16 saat yaşlandırılmış ve 550 °C’de 4 gün ısıt işlem uygulanmış ardından 12 saat yaşlandırılmış numunelerin aşınma kayma mesafesine bağlı olarak aşınma kayıpları verilmiştir. 550 °C’de 2 gün ısıt işlem uygulanmış ardından 16 saat yaşlandırılmış numunenin aşınma kayıplarının tüm aşınma mesafelerinde 550 °C’de 4 gün ısıt işlem uygulanmış ardından 12 saat yaşlandırılmış numuneye oranla daha fazla olduğu görülmektedir. Bu sonuç, yaşlandırma süresinden ziyade ısıt işlem sürelerinin aşınma davranışlarına daha etkili olduğunu göstermektedir. Resim 4.13 ve 4.14’de bu numunelerin aşınma yüzeyleri incelendiğinde 550 °C’de 2 gün ısıt işlem uygulanmış ardından 16 saat yaşlandırılmış numunenin yüzeyinde çok daha fazla kütle kaybı olduğu görülmektedir. Bu numunede aşınma kaybı daha çok adhesiv mekanizmaya bağlı olarak kopmalar şeklinde gerçekleşmiştir (Resim 4.13). 550 °C’de 4 gün ısıt işlem uygulanmış ardından 12 saat yaşlandırılmış numunenin aşınma yüzeyinde ise daha az aşınma izlerinin varlığı görülmektedir (Resim 4.14). Bu numunede aşınma izleri daha çok sünek sıvanma şeklinde kendini göstermiştir. Bu sıvanma etkisinden dolayı fazla bir kütle kaybı olmamıştır.



Şekil 4.22. 550 °C’de 2 ve 4 gün ısı işlem uygulanmış, 12 ve 16 saat yaşlandırılmış numunelerin aşınma kayma mesafesine bağlı olarak aşınma kayıpları grafiği



Resim 4.13. 550 °C’de 2 saat ısı işlem uygulanmış ardından 16 saat yaşlandırılmış numunenin aşınma yüzeyi



Resim 4.14. 550 °C’de 4 saat ısıt işlem uygulanmış ardından 12 saat yaşlandırılmış numunenin aşınma yüzeyi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; Üretilen AA2014 tozları preslenerek standart deney numuneleri üretilmiştir. Numuneler daha sonrasında 550 °C’de (2-96 saat) sinterleme ısı işlemine tabi tutulmuştur. Bu numunelere 4 – 24 saat ve 520 °C’de yaşlandırma ısı işlemi uygulanmıştır. Üretilen numunelerin mikro analizleri optik mikroskop, SEM’de yapılmıştır ve EDS analizleri alınmıştır.

Üretilen numunelerin sertlik, yoğunluk, gözeneklilik ve aşınma testleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

AA2014malzemesine presleme, ısı işlem, yaşlandırma ve aşınma işlemleri sonrası yapılan analizler ile elde edilen sonuçlar ana başlıklar halinde şöyle sıralanabilir:

1. Gaz atomizasyon yöntemi kullanılarak elde edilen tozların ortalama tane boyutları, boyut analizi ile 95 µm olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bu tozlar daha sonra yapılacak olan presleme, sinterleme ve yaşlandırma ısı işlemi açısından gerekli boyut aralığında olduğu daha sonraki işlemler ile belirlenmiştir.
2. Presleme basıncının daha sonraki işlemlerde kullanılabilmesi için uygun presleme basıncı tespit edilmiştir. Deneyler esnasında farklı presleme basıncındaki numunelerin sinterleme ve sonrası işlemlerde uygun olmadığı tespit edilmiştir. Uygun presleme basıncı olarak yaklaşık 800 MPa kullanılmıştır.
3. Presleme sonrasında numunelerin kalıp içerisinden çıkartılırken uygulanan hız değerlerinin yavaş olması durumunda, presleme ile oluşan aşırı deformasyon yoğunlaşmasının, numunenin kalıp içerisinden ilk çıkan bölgesinden çatlaması ile deformasyon etkisini yok etmeye çalışmaktadır. Bu da ısı işlem sonrasında kuma gibi istenmeyen etkilere neden olmaktadır.

4. Isıl işlem sıcaklığı ve süresinin sertlik ve yapı içerisindeki gözeneklilik oluşumunda direk etki ettiği belirlenmiştir. Gözeneklerin ısıtılma süresinin artması ile birlikte tane sınırlarına doğru yönelmiş ve sinterleme teorisindeki gibi birleşerek küresel bir hal almaya başlamıştır. Bu koşulların sağlanması için uygun ısıtılma süresi 24 saat olarak belirlenmiştir.
5. Isıl işlem sonrasında yoğunluk azalması tespit edilmiştir. Isıl işlem ile birlikte yoğunlukta yapı içerisinde bulunan (bakır gibi) şişme etkisi gösteren malzemelerin yoğunluğu düşürdüğü tahmin edilmektedir.
6. Sabit sıcaklıkta yapılan (550 °C) ısıtılma süresinin artması ile birlikte sertlik değerlerinin de önemli derecede artış olduğu belirlenmiştir. Isıl işlem süresinin artması ile sertlikte de bir artış meydana gelmekte ancak yüksek sürelerle çalışıldığında sertlik değeri sabitleşmektedir.
7. Isıl işlem süresinin artması ile birlikte doğru orantılı olarak yaşlandırma ısıtılma işlemi sonrası sertlik değerleri kaydedilmiştir. Yaşlandırma ısıtılma süresinin uygulanan ısıtılma süresine bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Farklı ısıtılma süresinin yaşlandırma ısıtılma süresini etkilediği belirlenmiştir.
8. 600 °C’de 2,6,8 gün ısıtılma uygulanmış numunelerin aşınma kayma mesafesine bağlı olarak aşınma kayıpları ilk 400 m kayma mesafesine kadar ısıtılma zamanının artmasıyla daha az olduğu tespit edilmiştir. 400 m’nin üzerinde en az aşınma kaybı 6 gün ısıtılma görmüş numunelerde gerçekleşmiştir.
9. Numunelerin aşınma deneylerinde sıklıkla karşılaşılan sıcaklık artışına bağlı oksit oluşumunun, aşınma kayıplarını etkilediği tespit edilmiştir. Benzer şekilde artan aşınma mesafelerine bağlı olarak gerçekleşmesi muhtemel olan aşınma kayıpları mesafe arttıkça doğrusal bir artış göstermemiştir.
10. Artan ısıtılma sıcaklığı ve zamanı toz numunelerin gözenek miktarını etkilediği bilinen bir sonuçtur. Aşınmada bu etki mesafeye bağlı olarak açığa çıkan

gözeneklerin aşınan parçacıkları tutarak sanki aşınma miktarında bir düşüş varmışçasına bir etki yaptığı gözlemlenmiştir.

Bu konu ile ilgili bundan sonraki çalışmalarda şunlar yapılabilir:

1. Farklı bir yaşlandırılabilir toz malzeme kullanılarak aynı parametreler üzerinden gidilebilir. Böylece farklı toz malzemelerin yapı ve özelliklere etkileri tespit edilebilir.
2. Isıl işlem sıcaklığının yüksek seviyelere çıkılarak, ısıl işlem sıcaklığının yapı ve özelliklere etkileri belirlenebilir.
3. Bu çalışmada tek yönlü soğuk pres kullanılmış olup, optimum şartlar açısından tozların preslenme işlemleri için, çift presleme ve yüksek basınçlarda presleme yapılarak, presleme işleminin daha sonraki aşamalara etkileri kontrol edilebilir.
4. Numunelerin direnç ölçümleri yapılarak, presleme ve ısıl işlem parametrelerinin dirence olan etkileri araştırılabilir.
5. Yapılan bu çalışmada mekanik özellikler açısından yalnızca sertlik testi kullanılmıştır. Diğer mekanik özelliklerin tespit edilebilmesi için farklı mekanik testlere başvurulabilir.
6. Kullanılan toz malzeme içerisine, kompozit malzeme gibi takviye elemanları eklenerek, daha sonraki süreçlerden yararlanılarak yapı ve özellikler üzerindeki etkileri geliştirilebilir.
7. Isıl işlem süreleri ve sıcaklıkları artırılarak benzer aşınma testlerini daha düşük yükler altında yapılmasıyla sonuçların daha iyi irdelenebileceği söylenebilir.
8. Yaşlanma mekanizmasının ve makro sertlik ilişkisinin irdelenmesi açısından aşırı yaşlanma sürecinin ve doğal yaşlanma etkileri araştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Thümmeler F., Oberacker R., “An Introduction to Powder Metallurgy”, *Cambridge University Press*, ISBN 0-901716-26-X, (1993).
2. Ersümer, A., “Toz Metalurjisi Sert Metal Sinterleme”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Matbası*, İstanbul, 1-2, (1970).
3. Sarıtaş, S., “Toz Metalurjisi Dergisi”, Türkiye, 36-47, (1995).
4. NARASIMHAN, K.S., “Sintering of powder mixtures and growth of ferrous powder metallurgy”, *Materials Chemistry and Physics*, 56 – 65, 67, (2001).
5. SARITAŞ, S., “PM gathers pace in Turkey”, *Uluslararası Katılımlı 2.Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı Bildiri Kitabı*, 15 – 17 Eylül 1999, ODTÜ, Ankara, 369 – 372, (1999).
6. MADAN D.S., “Enhanced Sintering and Property Improvement in Ferrous P/M Compacts”, *The International Journal of Powder Metallurgy*, 27 (33): 9- 345, (1991).
7. MADAN, D.S.; GERMAN, R.M., “Quantitative Assessment of Enhanced Sintering Concept”, *Powder Metallurgy*, 33, 45-52, (1990).
8. HÖGANAS - A.B., “*Höganäs handbook for machining guidelines*”, 65-70, (1996).
9. Ünlü, N., Çavuşoğlu, L., “Toz Metalurjisinin Yaygın Kullanım Alanları”, Metal Dünyası, Teknik Yazı, İstanbul, 12-13, (1995).
10. German, R.M., “Powder Metallurgy Science 2nd edition”, *Metal Powder Industries Federation*, USA, 16-20, 76-90 (1984).
11. KALPAKJIAN, SCHMID, “Processing of powder metals, ceramics, glass, and superconductors, Manufacturing Engineering and Technology”, *Printice-Hall*, Chapter 17, syf., 3, (2001).
12. Lawley, A., “Atomization: The production of metal powders” *Metal Powder Industries Federation*, Princeton, New Jersey, USA, 21-33, 100-106 (1992).
13. Uslan, İ., “Gaz atomize alüminyum tozlarının özelliklerine üretim değişkenlerinin etkisinin araştırılması”, Doktora tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 4, 58-65, 69-71, 82-100 (1999).
14. Aydın, M., “Gaz atomizasyon yönteminde yeni bir nozul tasarımı ve tozüretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya, 1-48 (2005).

15. Alier, A.J., Losada, A., “Characteristics of atomized powders”, *Powder Metallurgy Int.*, 21(5): 15-19 (1985).
16. Internet: **Dumlupınar Üniversitesi**, “Toz Üretimi”,
http://mf.dumlupinar.edu.tr/~runal/toz/tozuretimi/powder_product.html
17. Sarıtaş, S., “Toz Metalurjisi-Bileşik Gereçler-Seramikler”, Makina Mühendisliği El Kitabı, *Makina Mühendisler Odası Yayınları*, 1: 64-115 (1994).
18. Akoral, E., “Toz metalurjisi yöntemi ile Al-SiC kompozit malzeme üretimi ve işlenebilirliğinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa, 43-48, (2003).
19. Türker, M., Özdemir, T. A., Ögel, B. ve Yavuz, A., “Al-SiC tozlarının mekanik alaşımlama değirmeninde öğütme zamanının kompozit toz yapısına etkisinin araştırılması” , *Uluslararası Katılımlı 2. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı*, ODTÜ, Ankara, 425-431 (1999).
20. Sarıtaş, S., “Toz Metalurjisi, "Makina Müh. El Kitabı”, *MMO*, 2.Baskı, I.Cilt, 2/64-2/82 (1994).
21. Baksan, B., Gürler, R., “Toz metalurjisinin savunma sanayiinde uygulanması”, *Osmangazi Üniversitesi Metalurji Enstitüsü*, Eskişehir, 1-15 (2003).
22. Pandey, O.P., Ojha, S.N., “Production and characterization of rapidly solidified powders of Al-Si alloys”, *Powder Metallurgy Int.*, 23(5): 291-295 (1991).
23. Champange, B., Angers, R., Fiset, M., “Characteristics of powders produced by rotating electrode process”, *Metal Powder Report*, 39: 267-270 (1984).
24. Bostan, B., “Alüminyum-Karbon Tozlarının Mekanik Alaşımlama ve Sonrası İşlemlerle Al_4C_3 Sentezlenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-35 (2003).
25. German, Randall M., “Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri”, 05, Prof.Dr. Süleyman SARITAŞ, Prof.Dr. Mehmet TÜRKER, Doç.Dr. Nuri DURLU, *Türk Toz Metalurjisi Derneği Yayınları*, Ankara, 1-100, (2007).
26. Sümer, M., “Mekanik Alaşımlama İle Üretilen Fe-Fe₃ Kompozit Malzemede Mekanik Özelliklerin Araştırılması”, Yüksek Lisans tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 13-21 (2003).

27. Benjamin, J. S., “Mechanical Alloying”, *A Perspective*, Proc. Conf. Of. New Materials By MA Technigues E. D. By E. Arzt and L. Shultz, Calw-Hirasu, 3-37, (1988).
28. German, R.M., “ Powder Metallurgy Science, 2nd edition”, *Metal Powder Industries Federation*, U.S.A., 58-64 (1994).
29. Arslan, F., “Sıvı faz sinterlemesi”, *1. Ulusal toz Metalurjisi Konferansı*, 16-17 Eylül, 551-558, (1996)
30. Savaşkan, T., “Malzeme Bilgisi ve Muayenesi”, *Derya Kitabevi*, Trabzon, 285, (1999).
31. Askeland, D.R., “Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri”, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 364, (1998).
32. Doğan, M., “Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İSTANBUL, (1989).
33. Karlık, M., Juffrey, B. and Belliot, S., “The copper content of guineier – Preston (GP1) zones in Al – 1.84 At. % Cu alloy”, *Acta Metallugica*, Great Britain 46 (5), 1817-1825, (1998).
34. Lı, O.Y., Chen, L.Q., “Computer Simulation of Stress – Oriented Nucleation and growth of θ^1 Precipitates in Al-Cu Alloy”, *Acta Metallugica*, Department of Materials Science and Engineering, The Pennsylvania State University, USA, 2573-2585, (1997).
35. Alüminyum, “American Society For Metals”, Metal Park, Ohio , 1:317, (1967).
36. Ashby, M.F.and Jones, D.R.H, “*Engineering Materials 2*”, Pergamon, Great Britain, 369, (1994).
37. Aktaş, H., “Alüminyum Matrisli Al₂O₃ Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Alaşımlama Yöntemiyle Üretimi ve Kuru Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, ANKARA, 45-46, (2007).
38. Demirci, A.H., “Ötektoidaltı Çeliklerin Yeni İmal Edilen Bir Sürtünme-Aşınma Deney Standında Isıl İşlemlere Bağlı Olarak Aşınma Davranışlarının İncelenmesi ve Optimizasyonu”, Doçentlik Tezi, *Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, İzmir, 8- 44 (1982).
39. Bowden, F. B. Tabor, D., “Friction and Lubrication of Solids”, *Oxford at the Clarendon Pres*, London, 544 (1964).

40. Okay, F., “PVD yöntemi ile TiN kaplı östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin adhesiv aşınma davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 76 (2006).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : TOMRUK Sedat
 Doğum tarihi ve yeri : 15.12.1969 / YOZGAT
 Medeni hali : Evli-2 Çocuklu
 Nüfusa kayıtlı olduğu yer : YOZGAT
 Uyruğu : T.C.
 Telefon : 0 506 628 89 62 – 0 533 341 91 62
 e-mail : sedattomruk@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Gazi Üni. (Döküm Öğretmenliği)	2002
Lise	Aktaş End.Mes.Lisesi	1987
Ortaokul	Kayaş Ortaokulu	1984
İlkokul	Köşklüdere İlkokulu	1980

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2007-2009	Köşklüdere İÖO	Okul Müdürü
2006-2007	Karaşar İ.H.T. YİBO	Okul Müdürü
2005-2006	Kusunlar İÖO	Müdür Yardımcısı
2000-2005	Karahacılı İÖO	Okul Müdürü
1998-2000	Karahacılı İÖO	Sınıf Öğretmeni
1997-1998	Kocatepe Beğendik	Bölüm Şefi
1995-1997	Siirt Orduevi(Askerlik Görevi)	Muhasip Yedek Sub.
1993-1995	Bilkent Merkez Kafeterya	İşletme Müdürü

Yabancı Dil

İngilizce