

**TOZ METALURJİSİ İLE ÜRETİLEN AA2014-AL₄C₃ SİSTEMLERİNE
YAŞLANDIRMA ISIL İŞLEMİNİN UYGULANMASI VE MİKROYAPISAL
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Elif ARSLAN ATEŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2012
ANKARA**

Elif ARSLAN ATEŞ tarafından hazırlanan “TOZ METALURJİSİ İLE ÜRETİLEN AA2014-AL₄C₃ SİSTEMLERİNE YAŞLANDIRMA ISIL İŞLEMİNİN UYGULANMASI VE MİKROYAPISAL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Ahmet GÜRAL

.....

Tez Danışmanı, Metal Eğitimi Anabilim Dalı

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

Doç. Dr. Abdulmecit GÜLDAŞ

.....

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Doç. Dr. Ahmet GÜRAL

.....

Metal Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Doç. Dr. Bülent BOSTAN

.....

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Tarih: 20/09/2012

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

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

.....

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.

Elif ARSLAN ATEŞ

**TOZ METALURJİSİ İLE ÜRETİLEN AA2014-AL₄C₃ SİSTEMLERİNE
YAŞLANDIRMA ISIL İŞLEMİNİN UYGULANMASI VE MİKROYAPISAL
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

(Yüksek Lisans Tezi)

Elif ARSLAN ATEŞ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Eylül 2012

ÖZET

Gaz atomizasyon tekniği ile üretilmiş AA2014 kimyasal bileşimine uygun alüminyum alaşımı tozlarına %0-4 oranlarında Al₄C₃ tozları ilave edilmiştir. Karışım tozlar oda sıcaklığında ve 200 °C’ de 660 MPa basınç altında tek etkili olarak preslenmiştir. Tüm numuneler, 580 °C’ de 60 dk sürede Ar gazı atmosferi altında sinterlenmiştir. Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen farklı oranlarda Al₄C₃ içeren AA2014 alaşımında yaşlandırma özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla sinterlenen numuneler, 510 °C’ de 7 saat sürede çözündürülmüş ardından aşırı doymuş çözelti sağlamak amacıyla suda su verilmiştir. Numunelerin optimum yaşlandırma süresinin belirlenmesi amacıyla 190 °C’ de farklı sürelerde yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Optimum yaşlandırma şartlarının belirlenmesi için mikroyapı, makro ve mikrosertlik çalışmaları yapılmıştır. Tüm numunelerde yaşlandırma süresinin artışıyla sertlik artışı 450 dakikalık yaşlandırma süresine kadar gerçekleşirken, bu süreden sonra sertlikte genelde bir azalma görülmüştür. Al₄C₃ ilavesinin soğuk preslenmiş numunelerin yaşlandırma zamanını kısmen geciktirdiği, sıcak preslenmiş numunelerin ise yaşlandırma zamanını düşürdüğü görülmüştür. Mikroyapı incelemelerine göre Al₄C₃’ ün mikroyapıda önemli ölçüde boşluk, mikro çatlak ve ara yüzey ayrışmasına neden olduğu tespit edilmiştir. AA2014

alaşımına Al_4C_3 ' ün bu çalışmadaki metotla ilavesinin malzemenin mekanik performanslarına etkili bir katkı sağlamayacağı görülmüştür.

Bilim Kodu : 710.1.092

**Anahtar kelimeler : Toz Metalurjisi, Yaşlandırma, Metal Matriks
Kompozit Malzemeler, Alüminyum, Al_4C_3**

Sayfa Adedi : 99

Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Ahmet GÜRAL

**APPLICATION OF AGING HEAT TREATMENT TO AA2014-AL₄C₃
SYSTEMS PRODUCED BY POWDER METALLURGY AND
INVESTIGATION OF THEIR MICROSTRUCTURAL PROPERTIES
(M. Sc. Thesis)**

Elif ARSLAN ATEŞ

**GAZI ÜNİVERSİTESİ
İNSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
September 2012**

ABSTRACT

0-4 % in wt. Al₄C₃ powders were admixed to AA2014 aluminum powders produced by gas atomization technique. The mixed powders were pressed under 660 MPa pressure in single act die at room and 200 °C temperatures. The specimens were sintered at 580 °C under Ar gas atmosphere for 60 min. The aging properties in AA2014 with different Al₄C₃ ratio produced via powder metallurgy route were studied. For this purpose, the sintered specimens were solved at 510 °C for 7 hours and quenched in water media to supersaturate solid solution. To detect optimum aging times for specimens, aging processes were applied at 190 °C for different times. The microstructure, macro and microhardness studies carried out for optimal aging conditions. While the increase in hardness took place up to 450 minute aging times for all specimens, after this time, decrease in hardness were seen. It was observed that Al₄C₃ addition partially increased the aging time of the cold pressed specimens whereas it decreased that of hot pressed ones. Microstructure analyses showed that Al₄C₃ led to considerable amounts of voids, microcracks and interface decohesion. It was clear that the addition of Al₄C₃ to AA2014 alloy via the method of this study does not contribute effectively to its mechanical performances.

Science Code : 710.1.092

**Key Words : Powder Metallurgy, Aging, Metal Matrix Composite Materials,
Aluminum, Al_4C_3**

Page Number : 99

Adviser : Assoc. Prof. Dr. Ahmet GÜRAL

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım esnasında yardımını esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ahmet GÜRAL' a teşekkürlerimi sunarım. Desteklerinden dolayı Sayın Doç. Dr. Bülent BOSTAN ve Prof. Dr. Süleyman TEKELİ hocalarıma teşekkürlerimi arz ederim. Ayrıca yardım ve desteklerinden dolayı arkadaşlarım Zemzem ALTUNOK ve Aynur TOPUZ' a teşekkürlerimi iletirim. Gösterdikleri özveri ile maddi ve manevi desteklerinden dolayı babam, annem, kardeşlerim ve eşim Bilal ATEŞ' e en içten dileklerimle sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiv
RESİMLERİN LİSTESİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xix
1. GİRİŞ	1
2. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI	3
2.1. Alüminyum ve Genel Özellikleri	3
2.2. Alaşım Elementlerinin Etkileri	4
2.2.1. Bakırın etkisi	5
2.2.2. Silisyumun etkisi	6
2.2.3. Çinkonun etkisi	6
2.2.4. Magnezyumun etkisi	7
2.2.5. Manganın etkisi	7
2.3. Alüminyum- Al_4C_3 Alaşım Sistemi	8
3. TOZ METALURJİSİ	9
3.1. Giriş	9
3.2. Toz Üretimi	11
3.3. Metalik Toz Üretim Yöntemleri	12

Sayfa

3.3.1. Kimyasal yöntemle toz üretimi	12
3.3.2. Elektroliz yöntemi	14
3.3.3. Atomizasyon yöntemi	14
3.3.4. Mekanik yöntemler	16
3.4. Tozların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	17
3.5. Toz Metalurjisi Uygulama Alanları	18
3.6. Toz Metalurjisinin Avantaj ve Dezavantajları	18
3.7. Toz Karıştırma ve Yağlayıcılar	19
3.8. Presleme	20
3.8.1. İzostatik presleme	21
3.8.2. Sıcak presleme	22
3.9. Sinterleme	23
3.9.1. Sıvı faz sinterlemesi	25
3.9.2. Katı faz sinterlemesi	27
4. YAŞLANDIRMA	28
4.1. Yaşlandırma Isıl İşlemi	28
4.1.1. Çözündürme işlemi	28
4.1.2. Su verme	29
4.1.3. Yaşlandırma (Çökelme sertleşmesi)	31
5. KOMPOZİT MALZEMELER	34
5.1. Kompozit Malzemelerin Tanımı	34
5.2. Metal Matriks Kompozitler (MMK)	36
5.2.1. Alüminyum matriksli kompozitler	37

	Sayfa
5.3. Seramik Matriksli Kompozitler (SMK)	38
5.4. Polimer Matriksli Kompozitler (PMK)	39
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	40
6.1. Giriş	40
6.2. Malzeme ve Metod	42
6.3. TM Malzeme Hazırlığı	43
6.4. Tozların Preslenmesi	44
6.4.1. Soğuk presleme	46
6.4.2. Sıcak presleme	46
6.5. Sinterleme İşlemleri	47
6.6. Yoğunluk Ölçümleri	48
6.7. Yaşlandırma İşlemleri	49
6.8. Mikroyapı Çalışmaları	49
6.9. Sertlik Ölçümleri	51
7. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRME	53
7.1. Mikroyapı	53
7.1.1. Presleme işlemi sonrası mikroyapı	54
7.1.2. Sinterleme sonrası mikroyapı	55
7.1.3. Çözündürme sonrası mikroyapı	64
7.1.4. Yaşlandırma sonrası mikroyapı	69
7.2. Sertlik	74
7.2.1. Sinterleme sonrası sertlik sonuçları	78
7.2.2. Çözündürme sonrası sertlik sonuçları	79

	Sayfa
7.2.3. Yaşlandırma sonrası sertlik sonuçları.....	80
7.3. Yoğunluk.....	87
8. SONUÇLAR.....	89
KAYNAKLAR.....	91
ÖZGEÇMİŞ.....	99

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Saf alüminyumun fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	3
Çizelge 5.1. Alüminyum metal esaslı kompozit endüstrisinde belirlenen hedefler.....	37
Çizelge 6.1. AA 2014 alaşım tozunun kimyasal bileşimi.....	43
Çizelge 6.2. Yaşlandırma işlemi için belirlenen süre ve sıcaklık değerleri	49
Çizelge 7.1. Sıcak ve soğuk presleme ile üretilen numunelerin mikro sertlik (HV0,1) değerleri	75
Çizelge 7.2. Sıcak ve soğuk presleme ile üretilen numunelerdeki yaşlandırma ısıl işlemi sonrası ulaşılan makro sertlik (HV2) değerleri	78
Çizelge 7.3. 580 °C’ de sinterlenmiş numunelerin ortalama sertlik değerleri	79
Çizelge 7.4. 7 saat çözündürme sonrası sertlik sonuçları	79
Çizelge 7.5. Soğuk preslenmiş numunelerde farklı yaşlandırma süreleri sonunda ulaşılan ortalama sertlik değerleri	81
Çizelge 7.6. Sıcak preslenmiş numunelerde farklı yaşlandırma süreleri sonunda ulaşılan ortalama sertlik değerleri	82
Çizelge 7.7. Soğuk ve sıcak presleme ile üretilen numunelerin sinterleme öncesi ile sonrası yoğunluk değerleri	87

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Temel alüminyum alaşımları	5
Şekil 2.2. Al-Cu faz diyagramının alüminyumca zengin bölgesi	6
Şekil 2.3. Al-Mg faz diyagramının alüminyumca zengin bölgesi	7
Şekil 3.1. TM yöntemi ile parça eldesinin şematik gösterimi	10
Şekil 3.2. TM parçalarının endüstride kullanım alanları	11
Şekil 3.3. Üretilen olası partikül şekilleri ve tanımları	12
Şekil 3.4. Elektroliz yönteminde toz üretimi	14
Şekil 3.5. Atomizasyon yöntemi	15
Şekil 3.6. Santrifüj atomizasyon yöntemleri	16
Şekil 3.7. Mekanik öğütme yöntemi	17
Şekil 3.8. Metal kalıpta presleme	21
Şekil 3.9. Metal tozu parçalarının presleme adımları	21
Şekil 3.10. İzostatik presin şeması	22
Şekil 3.11. Şematik sıcak presleme işlemi	23
Şekil 3.12. Sinterleme işleminde tanelerin aralarında oluşan büzülme	24
Şekil 3.13. Sinterleme esnasında oluşan değişimler	25
Şekil 3.14. Sıvı faz sinterlemesi esnasında meydana gelen yoğunlaşmanın şematik olarak gösterimi	26
Şekil 4.1. Yaşlandırma ısı işlemi için sıcaklık-zaman diyagramı	28
Şekil 4.2. Çözündürme ve yaşlandırma adımlarının dahil olduğu çökeltme sertleşmesini gösteren şekil	30
Şekil 4.3. Çözünen atomun çözen atom içerisinde dağılmış hali	30
Şekil 4.4. Etrafını saran matris ile uyumlu çökelti	32

Şekil	Sayfa
Şekil 4.5. Etrafını saran matris ile uyumsuz çökelti	32
Şekil 4.6. Çökeltiiler tarafından engellenmiş dislokasyonlar	33
Şekil 4.7. Fazla miktarda büyük çökeltiilerin dislokasyonlar tarafından kesilmesi	33
Şekil 5.1. Kompozit malzemelerin değişik malzeme grupları ile bağlantısı	35
Şekil 6.1. Çalışmalarda gerçekleştirilen işlemlerin şematik özeti	41
Şekil 7.1. Takviyesiz AA 2014 alaşımının işlemler sonrası ulaşılan mikro sertlik değerlerinin karşılaştırmaları	76
Şekil 7.2. %1 Al ₄ C ₃ takviyeli numunelerin işlemler sonrası ulaşılan mikro sertlik değerlerinin karşılaştırmaları	76
Şekil 7.3. %2 Al ₄ C ₃ takviyeli numunelerin işlemler sonrası ulaşılan mikro sertlik değerlerinin karşılaştırmaları	77
Şekil 7.4. %4 Al ₄ C ₃ takviyeli numunelerin işlemler sonrası ulaşılan mikro sertlik değerlerinin karşılaştırmaları	77
Şekil 7.5. Takviyesiz sıcak (a) ve soğuk (b) preslenmiş numunelerin yaşlandırma zamanına bağlı olarak değişen sertlik grafiği	83
Şekil 7.6. %1 Al ₄ C ₃ içeren sıcak (a) ve soğuk (b) preslenmiş numunelerin yaşlandırma zamanına bağlı olarak değişen sertlik grafiği	84
Şekil 7.7. %2 Al ₄ C ₃ içeren sıcak (a) ve soğuk (b) preslenmiş numunelerin yaşlandırma zamanına bağlı olarak değişen sertlik grafiği	85
Şekil 7.8. %4 Al ₄ C ₃ içeren sıcak (a) ve soğuk (b) preslenmiş numunelerin yaşlandırma zamanına bağlı olarak değişen sertlik grafiği	86

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. TM yöntemi ile üretilen bazı ürünler	18
Resim 3.2. Sinterleme sırasında tozlarda meydana gelen boyun oluşumu	27
Resim 6.1. Düşey gaz atomizasyon ünitesi	42
Resim 6.2. Toz ağırlıklarının belirlendiği elektronik terazi	44
Resim 6.3. Toz malzemelerin şekillendirildiği kalıp	45
Resim 6.4. 160 tonluk hidrolik presleme cihazı	45
Resim 6.5. TM yöntemi kullanılarak laboratuarda üretilen numune	46
Resim 6.6. Sinterleme ve yaşlandırma ısı işlemlerinin yapıldığı fırın	47
Resim 6.7. Seramik kaplar içine yerleştirilmiş deney numuneleri	48
Resim 6.8. Zımparalama cihazı	50
Resim 6.9. Parlatma cihazı	50
Resim 6.10. Jeol 6060 LV Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	51
Resim 6.11. Sertlik ölçümlerinin yapıldığı Shimadzu HVM2 sertlik cihazı	51
Resim 7.1. Takviye tozu olarak kullanılan Al_4C_3 ' ün SEM görüntüsü	54
Resim 7.2. Soğuk presleme sonrası ham numune mikroyapısı	55
Resim 7.3. Takviye yapılmamış numunelerin sinterleme sonrası SEM mikroyapıları (a) sıcak preslenmiş, (b) soğuk preslenmiş	56
Resim 7.4. %1 Al_4C_3 takviyeli numunelerin sinterleme sonrası SEM mikroyapıları (a) sıcak preslenmiş, (b) soğuk preslenmiş	56
Resim 7.5. %2 Al_4C_3 takviyeli numunelerin sinterleme sonrası SEM mikroyapıları (a) sıcak preslenmiş, (b) soğuk preslenmiş	57
Resim 7.6. %4 Al_4C_3 takviyeli numunelerin sinterleme sonrası SEM mikroyapıları (a) sıcak preslenmiş, (b) soğuk preslenmiş	57

Resim	Sayfa
Resim 7.7. 580° C’ de 1 saat sinterlenmiş sıcak pres ile üretilmiş %1 Al ₄ C ₃ takviyeli numunenin SEM görüntüsü ile üzerindeki altı farklı bölgenin EDS analizleri	59
Resim 7.8. 580° C’ de 1 saat sinterlenmiş sıcak pres ile üretilmiş %4 Al ₄ C ₃ takviyeli numunenin SEM görüntüsü ile üzerindeki beş farklı bölgenin EDS analizleri	62
Resim 7.9. 7 saat çözündürme işlemi sonrası takviyesiz AA 2014 malzemenin SEM görüntüleri (a) sıcak preslenmiş numune, (b) soğuk preslenmiş numune	64
Resim 7.10. 7 saat çözündürme işlemi sonrası %1 Al ₄ C ₃ takviyeli malzemenin SEM görüntüleri (a) sıcak preslenmiş numune, (b) soğuk preslenmiş numune	65
Resim 7.11. 7 saat çözündürme işlemi sonrası %2 Al ₄ C ₃ takviyeli malzemenin SEM görüntüleri (a) sıcak preslenmiş numune, (b) soğuk preslenmiş numune	65
Resim 7.12. 7 saat çözündürme işlemi sonrası %4 Al ₄ C ₃ takviyeli malzemenin SEM görüntüleri (a) sıcak preslenmiş numune, (b) soğuk preslenmiş numune	65
Resim 7.13. 7 saat çözündürme sonrası sıcak presleme ile üretilen takviyesiz AA 2014 alaşımının SEM görüntüsü ile EDS analizleri	66
Resim 7.14. 7 saat çözündürme sonrası sıcak presleme ile üretilen %4 Al ₄ C ₃ takviyeli malzemenin SEM görüntüsü ve farklı bölgelerdeki EDS analiz sonuçları	68
Resim 7.15. 7,5 saat yaşlandırma işlemi sonrası saf AA 2014 malzemenin SEM görüntüleri (a) sıcak presleme ile üretilen numune, (b) soğuk presleme ile üretilen numune	69
Resim 7.16. 7,5 saat yaşlandırma işlemi sonrası %1 Al ₄ C ₃ takviyeli malzemenin SEM görüntüleri (a) sıcak presleme ile üretilen numune, (b) soğuk presleme ile üretilen numune	70
Resim 7.17. 7,5 saat yaşlandırma işlemi sonrası %2 Al ₄ C ₃ takviyeli malzemenin SEM görüntüleri (a) sıcak presleme ile üretilen numune, (b) soğuk presleme ile üretilen numune	70

Resim	Sayfa
Resim 7.18. 7,5 saat yaşlandırma işlemi sonrası %4 Al_4C_3 takviyeli malzemenin SEM görüntüleri (a) sıcak presleme ile üretilen numune, (b) soğuk presleme ile üretilen numune	71
Resim 7.19. Soğuk presleme ile üretilen saf AA 2014 malzemenin presleme işlemi sonrası mikroyapısı	72
Resim 7.20. Soğuk presleme ile üretilen saf AA 2014 malzemenin sinterleme işlemi sonrası mikroyapısı	72
Resim 7.21. Soğuk presleme ile üretilen saf AA 2014 malzemenin 7 saat çözündürme işlemi sonrası mikroyapısı	72
Resim 7.22. Soğuk presleme ile üretilen saf AA 2014 malzemenin 7,5 saat yaşlandırma işlemi sonrası mikroyapısı	72
Resim 7.23. Sıcak presleme ile üretilen %4 Al_4C_3 takviyeli numunenin sinterleme işlemi sonrası mikroyapısı	73
Resim 7.24. Sıcak presleme ile üretilen %4 Al_4C_3 takviyeli numunenin 7 saat çözündürme işlemi sonrası mikroyapısı	73
Resim 7.25. Sıcak presleme ile üretilen %4 Al_4C_3 takviyeli numunenin 7,5 saat yaşlandırma işlemi sonrası mikroyapısı	74

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
Al_4C_3	Alüminyum karbür
Al_2O_3	Alüminyum oksit
Al	Alüminyum
Cu	Bakır
Si	Silisyum
Zn	Çinko
Mg	Magnezyum
Mn	Mangan
$CuAl_2$	Alüminyum bakır
Al_2O_3	Alüminyumoksit
Fe	Demir
Ag	Gümüş
~	Yaklaşık
SiC	Silisyum karbür
C	Karbon
θ''	Yarı dengeli Al-Cu çökeltisi
GP	Guinier Preston
Kısaltmalar	Açıklama
AA	Alüminyum Alaşımı
EDS	Enerji Saçınım Analizi
G.Ü.T.F.	Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi
MMK	Metal Matriksli Kompozit
MPa	Megapaskal

Kısaltmalar**PMK****SEM****SMK****TM****Açıklama**

Polimer Matriksli Kompozit

Taramalı Elektron Mikroskobu

Seramik Matriksli Kompozit

Toz Metalurjisi

1. GİRİŞ

Malzeme üretimindeki ilerlemeler ile farklı uygulama alanlarında kullanılmak üzere değişik malzemeler geliştirilmiştir. Toz metalurjisi (TM) ile üretilenler bu değişik özellikteki malzemelerden birisidir [1]. Küçük parçaların çok sayıda ve ekonomik üretimlerinin yapıldığı TM yöntemi askeri uygulamalarda da kullanılmaktadır. Titanyum parçalar, mermi ve silah parçaları, uçak parçaları ile tutuşturucular, ateşleyiciler, aydınlatma bombaları ve dumanlar birkaç örnektir. 160 ton alüminyum tozu uzay mekiğinin gönderimi esnasında kullanılmaktadır [2].

TM teknolojisi devamlı olarak gelişmekte ve geleneksel üretim yöntemlerini farklı konuma getirmektedir. Böylece daha esnek üretim elde edilerek yaygın bir alanda yeni malzemelerin geliştirilmesi ve üretilmesi işlemi gerçekleştirilmektedir [3]. Bu yöntem, partiküllerin birbirine presleme ve sinterleme işlemleri ile bütün bir parça haline getirilmesidir [4]. Metal ve seramiklerin sinterlenmeye başladığı zaman ile TM'nin tarihteki gelişimi aynı dönemlerde olmuştur [5].

TM, modern imalat tekniği olmakla beraber ileri teknolojik malzemelerin üretilmesinde de en uygun yöntemdir [6]. Bu yöntem basit silindirik miller, yataklar, filtreler, dişli çarklar başta olmak üzere karmaşık parçaların üretimini kapsar [7]. Karmaşık şekilli parçaların yüksek kaliteli ve ekonomik olarak üretilmesi, bu tekniği ilgi çekici hale getirmektedir [8]. Elektrik ve manyetik uygulamalar, uzay sanayi, nükleer ile uçak sanayinde de TM kullanılmaktadır [3].

TM yönteminde kullanılan elementlerden birisi de alüminyumdur. Yeryüzünün % 8' lik dilimini kapsayan alüminyum, hafif metaller sınıfındandır. Silisyum ve oksijenin ardından yeryüzünde çok bileşik bulunduran bir metaldir [9]. Otomotiv ve uçak sanayindeki görevinden dolayı "stratejik" bir metal olarak kabul edilmiştir. Elektrik, elektronik, tarım, ulaştırma, inşaat, gıda ve kimya gibi sanayi kollarında alüminyum ve alaşımları sürekli artarak kullanılmaktadır [9].

Yaşlandırma ısıt işlemleri, alüminyum alaşımlarının dayanımı, aşınma direnci ve diğer mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde, kullanılan yöntemlerden birisidir. Bu işlem, endüstri ve diğer uygulamalarda en yaygın olarak kullanılan ısıt işlem yöntemidir [10]. Yaşlandırılabilen alüminyum alaşımları çoğunlukla magnezyum, bakır, silisyum, çinko ve mangan alaşım elementlerinden bazılarını ihtiva ederler [11].

Mühendislik malzemeleri olarak kompozit malzemelerin üretime başlanması ile uygulama alanları da ilerleme göstermiştir [12]. Kompozit ve termoplastik gibi malzemeler alüminyum ve diğer metallere rakip olsa da, gelişen teknoloji ile alüminyum, uçak yapımında hala ana malzeme olarak kullanılmaktadır [13]. Diğer malzeme grupları ile kıyaslandığında, kompozit malzemeler, çelik ve alüminyum gibi çok kullanılan malzemelere göre, sergilediği yüksek performans sonucunda, yararlı bir malzeme konumunda olmaktadır [12].

Metal matriksli kompozit (MMK)' ler, yüksek aşınma direnci, yüksek elastik modülü, yüksek sıcaklık mukavemeti, yüksek akma mukavemeti, düşük termal genişleme katsayısı ve yüksek basma gerilmesi gibi özelliklerinden dolayı önemli görev üstlenmişlerdir [14]. Üretim süreçleri, katkı ve matriks alaşımlarının özellikleri, katkı/matriks ara yüzeyi ve mikroyapı özellikleri MMK' lerde bulunan kompozit özelliklerinin bağlı olduğu nedenlerdir [15].

Dövme ve döküm alaşımları gibi alüminyum alaşımlarının geniş bir bölümüne ısıt işlem uygulanabilmektedir. Yaşlandırma ile dayanım artışı, ısıt işlem yapılabilir alaşımlar ile sağlanmaktadır [16]. Yaşlandırma ısıt işlemi yapılabilen Al alaşımları 2XXX Al-Cu, 6XXX Al-Mg-Si, 7XXX Al-Mg-Zn, 8XXX Al-SnLi olarak verilebilir.

Bu çalışma ile, gaz atomizasyonu ile toz haline getirilmiş AA 2014 alaşımına düşük miktarda Al_4C_3 tozu takviyesi yapılarak MMK malzeme üretimi amaçlanmıştır. Üretilen bu malzemelerde Al_4C_3 oranına bağlı olarak MMK' in yaşlandırılabilirlik özellikleri araştırılmıştır.

2. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI

2.1. Alüminyum ve Genel Özellikleri

Alüminyumun saflığı ile sıcaklığı, alüminyumun fiziksel özelliklerini büyük oranda etkiler [9]. Mühendislik uygulamalarında alüminyum kullanımını gerektiren önemli etkenler vardır [17]. Bu etkenlerden en önemlisi alüminyumun hafif olmasıdır [16]. Magnezyumdan sonraki en hafif metal Al' dur [18]. Soy metal olmamasına rağmen, Al' un yüzeyinde yoğun miktarda oksit tabakasının varlığı onu korozyon gibi kimyasal etkenlerden korumaktadır [19]. Yoğunluğu demirin üçte biri kadar olup $2,7 \text{ g/cm}^3$ tür. Ergime sıcaklığı 660°C olan Al parlak gümüş rengindedir [16]. Çizelge 2.1' de saf alüminyumun genel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.1. Saf alüminyumun fiziksel ve kimyasal özellikleri [11]

Atom Numarası	13
Atom Ağırlığı	26,97 g/mol
Özgül Isı	0,224 cal/gr (100°C)
Yoğunluk	$2,7 \text{ g/cm}^3$
Ergime Noktası	660°C
Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı	$150\text{-}300^\circ\text{C}$
Buharlaştırma Noktası	2450°C
Kristal Yapı	Yüzey Merkezli Kübik (YMK)
Elastisite Modülü	$72 \times 10^3 \text{ MPa}$
Kopma Uzaması	% 30-40
Kayma Modülü	$27 \times 10^3 \text{ MPa}$
Çekme Mukavemeti	40-90 MPa
Akma Mukavemeti	10-30 MPa
Poisson Oranı	0,33

Alüminyum geniş uygulaması olan mühendislik malzemesidir [18]. Alüminyum, demir ve çelikten sonra metal pazarındaki ikinci sırayı almaktadır [20].

Alüminyumun oksijene karşı büyük bir ilgisi vardır. Hava ile etkileşimi sonucunda, yakın bir süre içinde oksijen ile birleşerek alüminyum oksit (Al_2O_3) oluşturur. Bu özellikleri ile alüminyum korozyona karşı mukavemetini artırmaktadır [17].

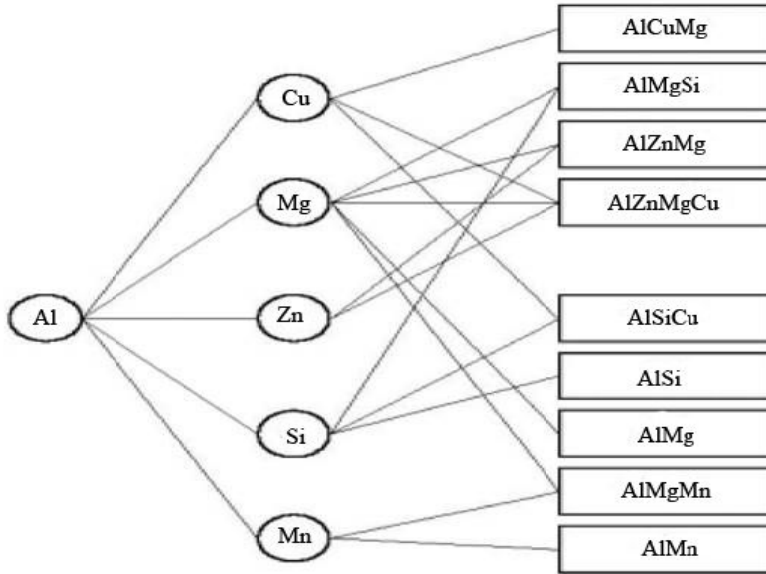
Esneklik katsayısı alüminyumun önemli mekanik özelliklerinden birisidir. Çelik yerine alüminyum kullanılacağı zaman, esnemenin çeliğe göre üç kat daha fazla olacağı bilinmelidir [21].

Alüminyum üreticileri için Avrupa Alüminyum Birliği, en büyük kullanım sektörünün taşımacılık olduğunu belirtmektedir [22]. Alüminyum alaşımlarının günümüzdeki kullanım alanları marina, uzay ve havacılık, otomotiv ve savunma sanayi olarak verilebilir [18].

2.2. Alaşım Elementlerinin Etkileri

Alüminyum alaşımları, yüksek dayanıklılığa sahip olmakla beraber ağırlıkça hafif alaşımlardır [23]. Günümüz teknolojisinde Al alaşımlarının vazgeçilmezliği bir gerçektir. Al' un kullanımı sırasında meydana gelen sorunlar alaşım elementlerinin ilavesi ve ısı işlemler yardımı ile aşılmaktadır [11, 24].

Al alaşımları içeriğinde bulunan alaşıma bağlı olarak, ergime noktaları, 482 ve 660 °C civarındadır. Al alaşımlarında hidrojen çözme, yüksek termal genişleme ve katılaşırken büzülme (çekme kaybı) diğer önemli özelliklerindendir [23]. Alüminyumun kapsadığı önemli alaşım elementleri Şekil 2.1' de verilmiştir.



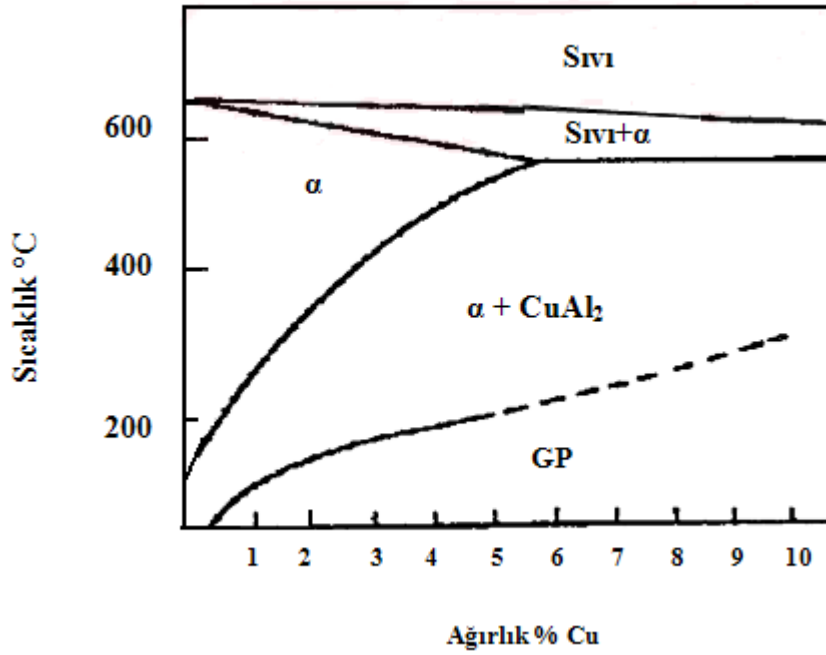
Şekil 2.1. Temel alüminyum alaşımları [17].

2XXX, 3XXX, 4XXX, 5XXX ve 7XXX serileri alaşımlar arasında en önemli ve yaygın olanlarıdır. Al içinde katı halde hiçbir elementin çözünürlüğü %100' e ulaşamaz [21].

2.2.1. Bakırın etkisi

Genel anlamda bakır, alüminyumun dayanım, işlenebilirlik ve sertlik özelliklerini iyileştirir [25]. Bakırın alüminyum içindeki çözünürlüğü Şekil 2.2' de Al-Cu faz diyagramında görüldüğü gibi sıcaklıkla beraber paralel olarak artar [21]. Bu artış Cu içeren Al alaşımlarının yaşlandırma ile sertlik özelliği kazandırılacağını göstermektedir [11]. Bakır korozyon direnci ile birlikte, dökülebilme ve sıcak yırtılma etkilerini de düşürür [25].

Şekil 2.2' de görüldüğü gibi sıcaklık 500 °C' nin üzerinde iken Al-Cu alaşımı tamamen alüminyum katı eriyiği halinde olabilir. Solvüs sıcaklığının altında ikinci bir faz olan θ çökelir. θ fazı sert ve kırılgan metaller arası CuAl_2 bileşiğidir. Bu bileşik yapıya dayanım mukavemetlenmesi kazandırır [26].



Şekil 2.2. Al-Cu faz diyagramının alüminyumca zengin bölgesi [27].

2.2.2. Silisyumun etkisi

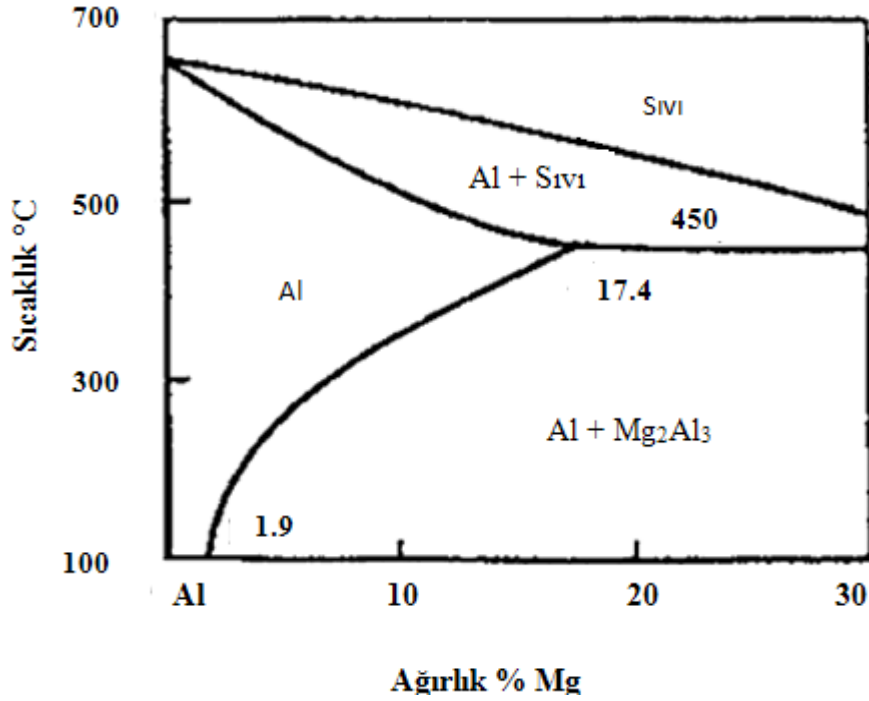
Silisyum (Si) ilavesi ile, alaşımanın korozyon direnci, akıcılık, kaynak kabiliyeti özellikleri gelişmektedir. Si' un mekanik özellikler üzerindeki etkisi, alaşımanın bileşimine ve mikroyapısına bağlıdır [18].

2.2.3. Çinkonun etkisi

Alüminyum alaşımlarına yapılan çinko (Zn) takviyesi ile alaşımanın, çekme mukavemeti haddelenebilme, işlenebilme özellikleri ile darbe mukavemetinde artış olur. Si' un çatlama eğilimini düşürmesi özelliğine rağmen, yüksek Zn ihtiva eden alaşımlar sıcak çatlama ve soğuma çekmesi olaylarına neden olurlar [18-25].

2.2.4. Magnezyumun etkisi

Magnezyum (Mg), alaşıma yüksek mukavemet ve korozyon direnci kazandırırken kaynak kabiliyetini de artırır [18-25]. Mg, Şekil 2.3' te Al-Mg faz diyagramında görüldüğü gibi Al' da önemli bir eriyebilirliğe sahip olmakla beraber katı eriyebilirlik sıcaklık düştükçe azalır pekleşme özelliği sağlar. Al-Mg alaşımlarının dayanım, iyi şekillendirilebilirlik, kaynak özelliği ve yüksek korozyon direnci gibi özellikleri mevcuttur [20].



Şekil 2.3. Al-Mg faz diyagramının alüminyumca zengin bölgesi [27].

2.2.5. Manganın etkisi

Alaşıma, ağırlık olarak %1,2 oranında Mangan (Mn) ilavesi, alaşımın yapısında meydana gelen katı eriyik mukavemetlenmesi sebebinden dolayı alaşımın mekanik özelliklerini yükseltir. Alaşımda Mn bulunması ile ince dağılımlı (MnFeAl₆) intermetalikleri oluşur ve demirin kaba olarak çökmesi engellenmiş olur. Alaşımların tokluk ve süneklik özelliklerini yükseltir [18-25].

2.3. Alüminyum- Al_4C_3 Alaşım Sistemi

Al_4C_3 ' ün Al içinde dağılması ile mukavemet kazanan malzemelerin ilk kullanımları otomobil ve uzay endüstrisinde olmuştur. Al_4C_3 ve Al_2O_3 gibi malzemelerin Al içinde meydana getirilmesi ile birçok çalışma yapılmıştır. Al içinde meydana gelen (veya oluşturulan) Al_4C_3 parçalarının çekme ve yüksek sıcaklık performansını artırdığı, yaşlanmayı yavaşlattığı ve sertliği artırdığı yapılan çalışmalarda belirtilmektedir. Ayrıca MA yöntemi ile Al içinde Al_4C_3 parçalarının üretilmesi, uygun şartların belirlenmesi ve özelliklerinin iyileştirilmesi dikkat edilmesi gereken noktalardır [28-30].

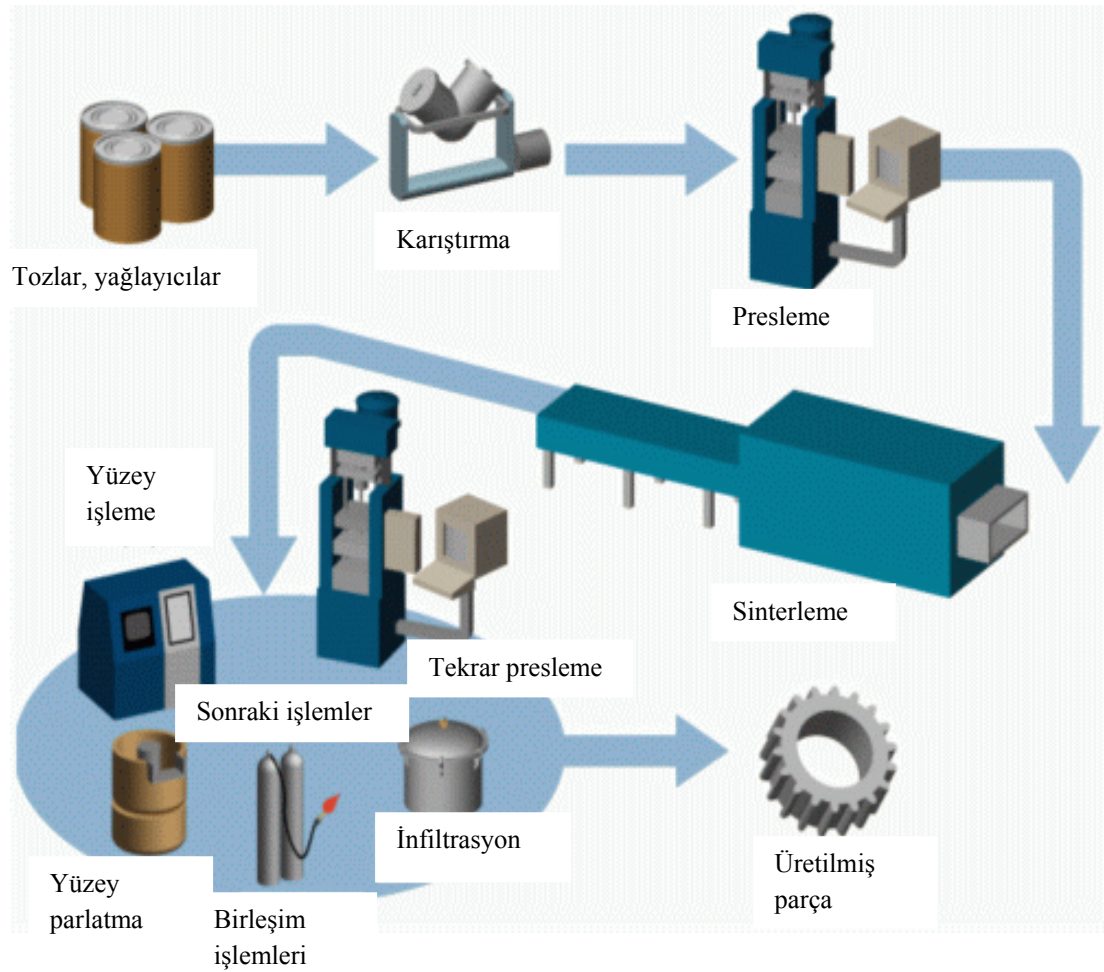
3. TOZ METALURJİSİ

3.1. Giriş

Toz metalurjisi için tarihte kayıp sanat dalı ifadesi kullanılmıştır. Böyle bir ifadenin kullanılma nedeni, çok eski yıllarda (milattan önce) uygulanmış olmasına rağmen yakın insanlık tarihine kadar unutulmasıdır [31]. TM çok eski metal biçimlendirme yöntemidir. İlk insanlar yeryüzünde doğal haliyle bulduğu metalleri ergitmeden çekiçe döverek, şekillendirmeyi başarmışlardır. M.Ö. 3000 yılında sünger demirden yapılmış farklı araç ve gereçler üretmişlerdir. 6,5 ağırlığındaki Yeni Delhi kolonu da bu üretimlerden biri olup, bu tarihi sütunun sünger demirden üretimi ve şekillendirilmesi M.Ö. 3000 yılında gerçekleşmiştir [32]. Toz metalurjisi gelişimine 18. yüzyıl ile birlikte kaldığı yerden devam etmiştir [31].

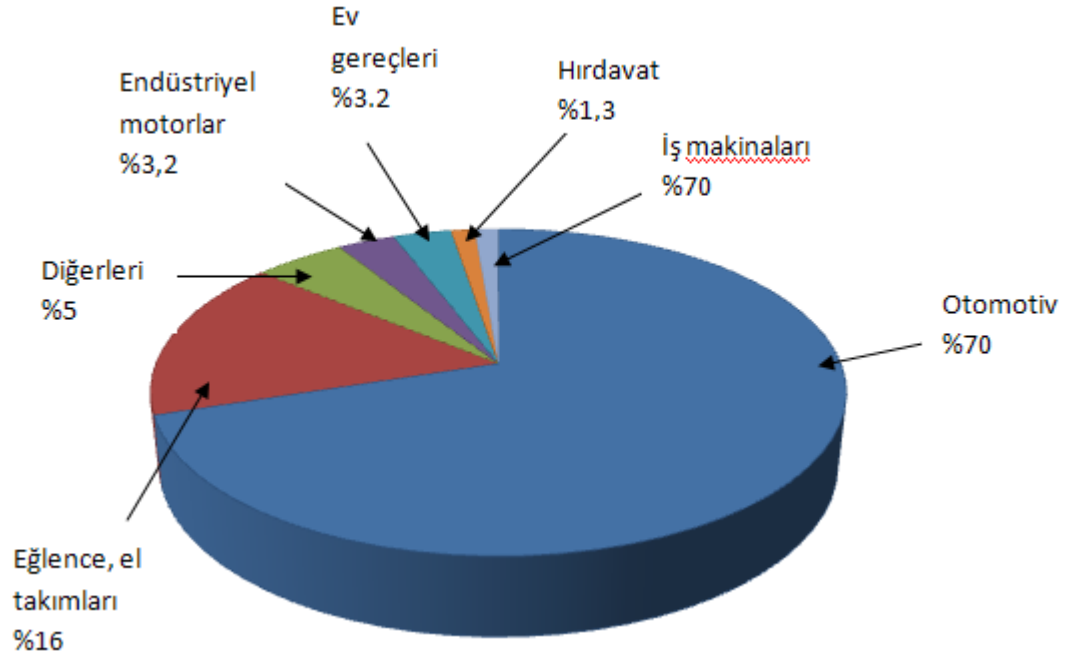
Günümüzde üretimi ekonomik sebeplere dayandığından, metal üretim sanayisinde döküm, talaşlı üretim ve dövme gibi tekniklerle üretilen parçalar, yerini TM tekniğine bırakmıştır [33]. Modern imalat tekniği olan toz metalurjisi, ileri teknolojik malzemelerin elde edilmesinde de kullanılan uygun bir üretim yöntemidir [6]. Eski Sümerler’ in alet ve silah yapımında kullandıkları “TM” teknolojik malzemelerin ekonomik ve çok sayıda üretiminin yapıldığı bir imalat şeklidir [34].

TM; değişik hacim, tip, şekil ve sıkıştırılabilme özelliğindeki tozların, yüzde ağırlık oranlarının hesaplanıp homojen olarak karıştırılması, hazırlanan karışımın şartların sağlandığı bir ortamda sıkıştırılmasıyla istenilen şekilde hacim verilerek veya forma dönüştürülerek yoğunluk elde edilmesi daha sonra mukavemet ve yoğunluğun yükseltilmesi için sinterleme yapılması esası ile parça imal etme tekniği olarak isimlendirilmektedir [35]. Şekil 3.1’ de TM yöntemiyle kullanışlı parça üretimi sırası şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1. TM yöntemi ile parça eldesinin şematik gösterimi [36].

I. Dünya Savaşının olduğu zaman diliminde, TM ile şekillendirmenin ilk uygulamaları başlamıştır. Bu yıllarda gözenekli gereçler, mıknatıslar ve elektrik lamba flamanlarının üretimi başlamış ve giderek artmıştır. TM üretim yöntemlerindeki artış, otomobil sanayindeki gelişmeler ile doğru orantılı olarak ilerleme göstermiştir. Bu yöntem ile üretilen parçaların şekil ve ağırlık bakımından cazip olmasından dolayı, endüstride bu alanda üretim ve araştırma yapan kuruluşların sayısı çoğalmıştır [37,38]. Şekil 3.2’ de TM parçalarının endüstride kullanılan pazar payları verilmiştir.



Şekil 3.2. TM parçalarının endüstride kullanım alanları [39].

3.2. Toz Üretimi

T/M' de kullanılan metal tozları 200 μm 'den küçüktür ve her geçen yıl daha da küçülmektedir [40]. Toz boyutu ve toz üretim yöntemleri, partikül şeklinin değişimine neden olmaktadır [41]. Üretim yöntemine göre tozlar, Şekil 3.3' de şematik olarak gösterildiği üzere küresel veya dendritik form gibi farklı geometrik şekiller alabilmektedirler. Toz yüzeyinin düzgün veya gözenekli olması da üretim yöntemine göre farklılık göstermektedir [42]. Şekil 3.3' de farklı toz şekilleri görülmektedir.



Şekil 3.3. Üretilen olası partikül şekilleri ve tanımları [41].

Döküm ve işlenebilirliklerinde çaba gerektiren, yüksek oranda sertlik özellikleri olan malzemelerin kullanımı TM alanındaki yenilikleri de beraberinde getirmiştir [43].

3.3. Metalik Toz Üretim Yöntemleri

Hemen hemen tüm malzemeler toza dönüştürülebilir, fakat toz elde etmek için seçilen yöntemler malzeme özelliklerine bağlıdır [44]. Metal tozu elde etmek için kullanılan birkaç yöntem vardır. Tozlardaki bazı karakteristik özelliklerin belirlenmesine yardımcı olan yöntemlerden bazıları şöyledir;

3.3.1. Kimyasal yöntemle toz üretimi

Tüm metal tozlarının üretimi genel olarak kimyasal tekniklerle sağlanabilir [3]. Partikül şekil ve boyutunun kontrolü işlem değişkenleri ile üretim parametrelerinin çeşitliliğine bağlıdır [41]. Oksit indirgeme, ayrıştırma ve ısı çöktürme bu alanda en yaygın kullanılan yöntemdir [45].

Ticari olarak kendi oksitlerinden üretimi iyi derecede yapılanlar demir, bakır, tungsten ve molibdendir [45]. Yapı olarak sünger toz adı verilen tozlar bu yöntem ile üretilir [7]. Metal hidritler ile metal karbonillerin ayrıştırılması işlemi, kimyasal yöntemlerden yaygın olarak kullanılan ayrıştırma yöntemi ile yapılmaktadır [45]. Kendi karbonillerinin çöktürülmesiyle üretilen demir ve nikel tozları kimyasal yöntemlerden ısı çöktürme ile elde edilmektedir [45].

Gaz fazı ile ayrıştırma

Bu yöntem tungsten ve molibden gibi metallerin eldesinde kullanılır. Avantajlı yanı oksit ve karbonun maliyetinin az olması, toz eldesinde gözeneklilik olanağı, oksit ve parçacıkların kontrol altında tutulmasıdır. Dezavantajı ise indirgeyici gazların yüksek maliyetli olması, oksit ile toz saflıklarının birbirleri ile olan bağlantıları ve alaşım tozlarının eldesinde yaşanan sıkıntılardır [37].

Termal ayrıştırma

Termal ayrıştırma yöntemi ile demir, nikel ve CO gazı etkisinde karbonillerini veren metallerin tozları saf, iyi dağılmış ve küresel yapıdadırlar [38].

Sıvı fazdan çökeltme

Farklı sıvılar kullanılarak kimyasal yöntemler ile metal tozu üretimi yapılabilir. Nikel toz eldesi doğrudan çökeltme ile cevherden yapılır [38].

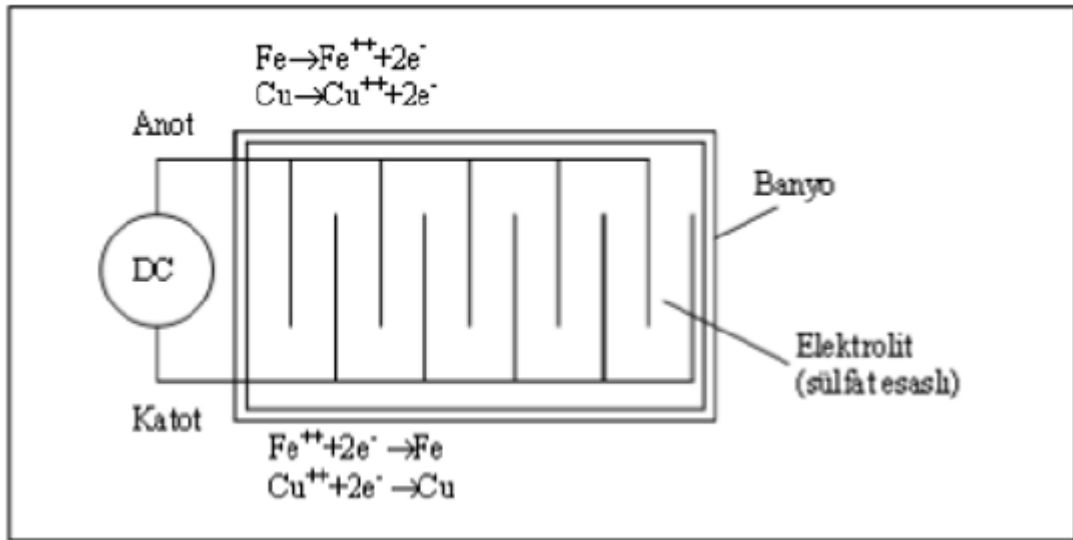
Gaz fazdan çökeltme

Reaktif metallerden ve nano ölçekli partiküllerden toz eldesi gaz bileşiklerinin meydana getirdiği kimyasal tepkimelerin sonucunda gerçekleşir. Bu yöntemin avantajı, tepkime esnasında, toz eldesinde ergitmenin ortadan kalkması ile potanın temiz kalması ve tekrar kullanılabilirliğidir [46].

3.3.2. Elektroliz yöntemi

% 94' e varan saflıkta Cu, Fe, Zn ve Ag tozlarının üretimi elektroliz yöntemi ile mümkündür [47]. Alaşım tozlarının üretilmediği bu yöntemde, dendritik yapılı saf element tozları elde edilir [38]. Elektroliz yönteminin sınırlılığı yüksek maliyetli olmasıdır [3].

Şekil 3.5' te gösterildiği gibi elektroliz yöntemi ile toz üretimi şematik olarak verilmiştir. Elektrolitik banyoda çökertilen veya katotta toplanan metal basit bir şekilde öğütülerek ince toz haline getirilir ve elde edilen tozlar yıkanarak elektrolitten temizlenir. Kurutma işlemi asal gazlar altında yapılır ve böylece oksitlenme önlenir [48].



Şekil 3.4. Elektroliz yönteminde toz üretimi [42].

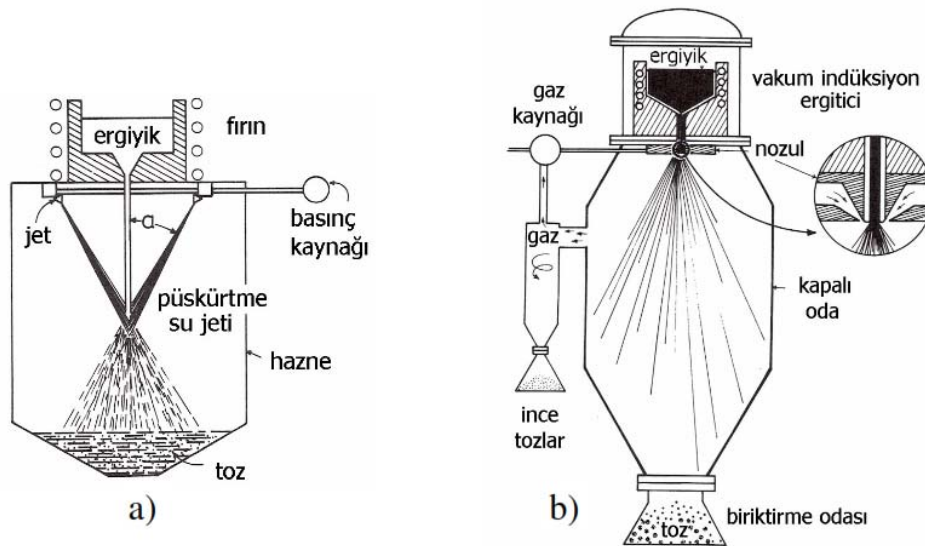
3.3.3. Atomizasyon yöntemi

Atomizasyonun mantığı, ergimiş metalin parçalanması ve birden soğutularak toz haline getirilmesi esasına dayanır. Atomizasyonun değişik metodları vardır [5]. Bunlar Şekil 3.6 ve Şekil 3.7' de gösterildiği gibi, su atomizasyonu, gaz atomizasyonu, döner disk, döner kupa, döner çark ve döner elek yöntemleridir.

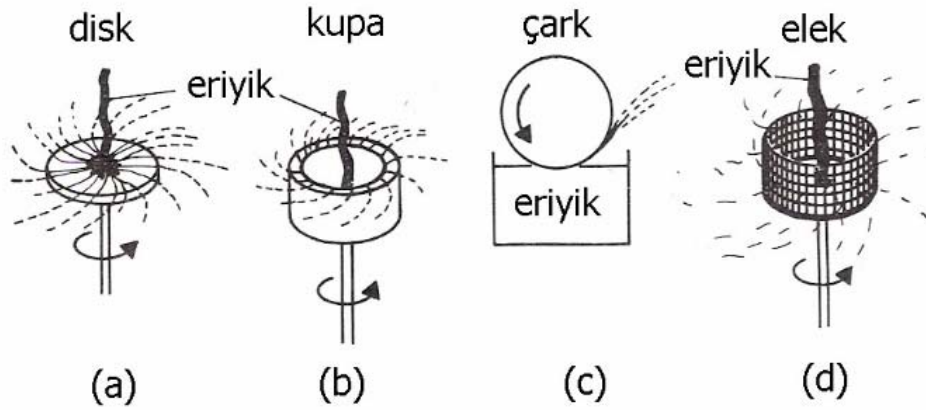
Eritme, eriyik metal damlalarını küçük boyutlara parçalama ve katılaştırma olmak üzere atomizasyon, üç kola ayrılır. Sıvı metali parçalamada hava, azot ve argon sıklıkla kullanılan gazlar olmakla beraber, tercih edilen sıvı ise sudur [49].

Ucuz ve yüksek kapasitede toz eldesi için seçilen su ve gaz atomizasyonu iki akışkan atomizasyonu olarak da isimlendirilir [50]. Gaz atomizasyonu yönteminde azot gazı kullanımı daha yaygındır. Yüksek basınçlı gaz belli bir açı ile sıvı metal huzmesine gönderilerek sıvıda belli bir dağılım oluşturulur. Yani huzmenin dağılımı ile sıvı metal damlacıkları elde edilir, yapılan bu işlem gaz atomizasyonu yöntemidir. (Şekil 3.6). Sıvı metalin akma eksenine eşit açıda iki yada daha fazla ağızlık yerleştirilir ve gaz jetleri ile sıvı metal huzmesi bir noktada kesişirler [51].

Şekil 3.7’ de verildiği gibi döner disk atomizasyon yönteminde sıvı metal dönen bir disk üzerine akar. Çanak disk, kanat disk ve düz disk bu atomizasyon yönteminde kullanılan değişik disklerdir. Sıvı metal ile disk arasındaki sürtünmenin zor kontrol edilmesi bu metodun bir problemi olmaktadır [52].



Şekil 3.5. Atomizasyon yöntemi a) Su atomizasyonu b) Gaz atomizasyonu [41].



Şekil 3.6. Santrifüj atomizasyon yöntemleri a) döner disk, b) döner kupa, c) döner çark, d) döner elek [41].

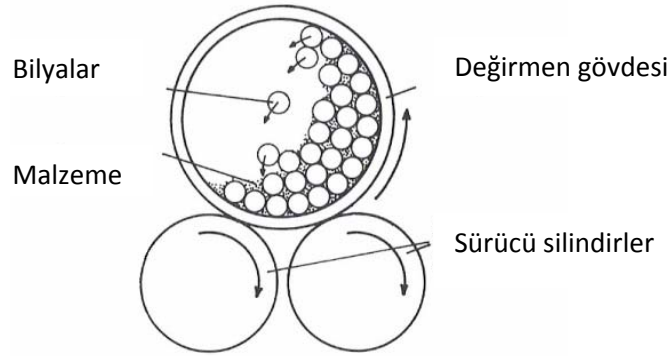
Ortalama toz boyut dağılımı, toz şekli, kimyasal bileşimi ve mikroyapının uygunluğu atomizasyon yöntemi ile üretilen tozun özelliklerindendir. Toza ait olan bu özellikler, tozun görünür yoğunluğu, akıcılık, sinterlenebilirlik gibi teknolojik özelliklerini ilgilendirir [53]. Santrifüj atomizasyon yöntemi, artan oranlarda uygulaması olan bir atomizasyon yöntemidir [41].

3.3.4. Mekanik yöntemler

Bu yöntemde en çok kullanılan metot aşınmaya karşı direnci olan ve sert bilyalar ile dönen sürücü silindirlerden oluşan bilyalı öğütücülerdir (Şekil 3.8). Bu yöntemdeki önemli nokta, sürücü silindirlerinin dönme hızıdır. Silindirlerde dönme hızı çok olur ise, bilyalar ile malzeme arasındaki santrifüj kuvvet ve relativ hareketten dolayı, silindir duvarlarına malzeme ile bilyaların sıkışmasına meydan verecektir. Fakat bu yöntemde istenilen ideal hız ile, bilya ve malzemenin bir kısmının değirmen gövdesinin üst kısmına yükselmesi ve küçük boyuttaki malzemenin aşağı düşmesi sağlanmaktadır [41].

Sert ve gevrek yapıdaki metal alaşımları ve seramikler ile, kimyasal bağları zayıf ve kayma sistemi az olan karışık kristalli yapılardan ekonomik olarak toz eldesi için mekanik yöntem kullanılır. Sünek malzeme kullanımı ile pul şeklinde toz üretimi

olacağından, bu yöntemde hemen parçalanabilen kırılgan, sert ve gevrek malzemeler kullanılır [54]. Şekil 3.8’ de bir mekanik yöntem gösterilmiştir. Metal toz üretiminde mekanik yöntemler birincil yöntem olarak sık kullanılmazlar [41].



Şekil 3.7. Mekanik öğütme yöntemi [41]

3.4. Tozların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

TM yöntemi ile elde edilen parçaların esas özellikleri, sinterleme işlemi, presleme basıncı ile tozların kimyasal ve fiziksel özelliklerine bağlıdır [45]. Tane şekli, tane boyutu, yoğunluk, akıcılık ve sıkıştırılabilirlik tozların fiziksel özelliklerindendir [55]. Şekilleri köşeli olan tozların, küresel yapıli tozlara göre sıkıştırılabilme kabiliyetleri daha yüksektir [20]. Tozların preslenmesi için tasarlanan kalıptaki boşluk boyutlarının belirlenmesi tozun görünür yoğunluğu ile ilgilidir. Demir tozlarının sahip olduğu görünür yoğunluklar gözlenebilir değışiklikler gösterirler [7]. Saflık ve kimyasal özellikler, metal esasli tozlar ile mukavemetli alaşımların imal edilebilmesinde önemli unsurlardır. Kimyasal analiz ile tayin edilebilen saflık, sinterlenmiş cisimlerin mekanik ve fiziksel özelliklerini önemli derecede etkilemektedir [56].

3.5. Toz Metalurjisi Uygulama Alanları

TM yöntemi farklı alanlarda kullanılmaktadır [7]. TM kullanım alanlarına, gözenekli gereçler, bakır esaslı kendinden yağlamalı yataklar, emdirilmiş demir tozu parçaları, çelik tozlardan imal edilen dişliler, mıknatıslar, değişik otomotiv parçaları, takım çelikleri, aşındırıcı malzemeler, iş makinesi parçaları, karbür sınıfı kesici takımlar, şarj edilebilir piller ve jet motoru parçalarının üretimi örnek olarak sunulabilir [18]. Resim 3.1’ de TM yöntemi uygulamalardan bazıları gösterilmektedir.



Resim 3.1. TM yöntemi ile üretilen bazı ürünler [57]

TM, yeni veya ileri malzeme teknolojisinin de temelidir. Bu nedenle farklı özelliklere sahip sentetik malzeme üretimi metal tozlarının karışım teknolojisi ile imkan bulmaktadır [58].

3.6. Toz Metalurjisinin Avantaj ve Dezavantajları

Fiziksel ve mekanik özelliklerin iyileşmesi (iyi işlenme kabiliyeti, tane büyüklüğü vs.) imalatla kayıpların azlığı ve ham maddenin değerlendirilmesi TM’ nin avantajlarındandır [32].

Diğer üretim yöntemleri ile karşılaştırıldığında TM' nin bazı avantaj ve dezavantajları vardır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir.

Toz metalurjisinin avantajları:

- İşçilikte ve malzeme kullanımında tasarrufludur.
- Seri üretim yapılır.
- Malzemedeki bileşim kontrol edilebilir.
- Malzemenin ham maddesi uygun fiyatlıdır [34].

Toz metalurjisinin dezavantajları:

- TM' de toleranslar talaşlı işlemlere göre kabadır.
- İlk yatırım maliyeti yüksektir. Seri üretim yapılmaz ise amortisman değerleri artmaktadır.
- Kalıp içindeki tozların akışkanlığı sınırlı olduğundan üretilecek parçanın şekli kısıtlayıcı bir etken olabilir.
- İngot halinde üretilen malzemelere göre, metal tozlarının maliyeti daha yüksektir [59].

3.7. Toz Karıştırma ve Yağlayıcılar

TM yöntemi ile parça eldesinde parçanın homojen preslenmesi, kalıptan kolay çıkarılması ve sinterleme işlemi esnasında elementlerin difüzyon ile gerekli miktarda mukavemetini oluşturmak amacı ile metal tozu içinde bulunan farklı bileşenlerin birbirleri ile karıştırılmaları gerekir [45]. Tozların karışım işlemi, üretimi yapılacak parçanın ağırlığına göre, % olarak karışımı yapılacak elementlerin ağırlıkları tespit edilerek gerçekleştirilir. Karışıma genellikle kuru toz şeklindeki yağlayıcılar takviye edilir. Parafin, metalik stearatlar, stearik asit ve çinko stearat en çok kullanılan yağlayıcılardandır. Yağlayıcı ile karışımında bulunan toz partiküllerinin temasını

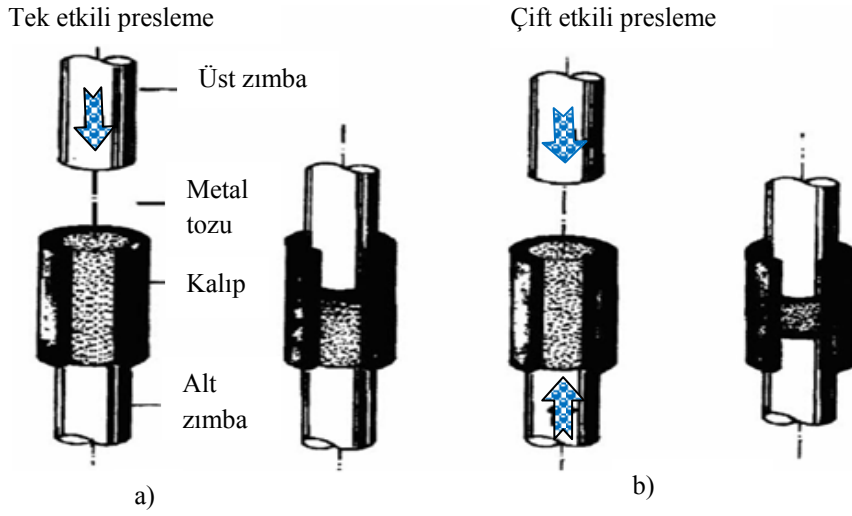
artırma amacıyla, yağlayıcı olarak kullanılacak tozun ince olması arzu edilir [7]. Etkili bir yağlayıcı kullanılarak, parçayı kalıptan çıkarma basıncı azaltılabilir [60].

Tozların preslenmesi esnasında kolay hareket etmelerini sağlamak, toz taneleri ile takım yüzey ve kalıp duvarları arasındaki sürtünmeyi en aza indirmek amacı ile yağlayıcı kullanılmaktadır [20]. Böylece parçanın tabanından tavanına kadar eşit yoğunluğa ulaşması sağlanır [60]. Yağlayıcı miktarının artırılması ile düşük basınçlarda karmaşık şekilli parçalar kalıptan çıkartılabilir [7]. Tozlara yağlayıcı ilave etmenin dezavantajları da vardır. Sinterleme ile yağlayıcılarda ayrışma olacaktır. Fırında ön ısıtma ile ayrışma ürünleri gaz halinde dışarı verilir [60].

3.8. Presleme

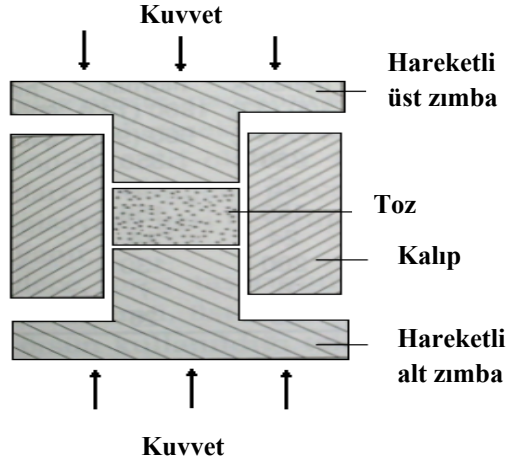
Presleme TM' nin önemli adımlarından birisidir [61]. Yüksek basınçlı kalıpta presleme ile slip döküm gibi basınçsız şekil verme yöntemleri kullanılarak TM malzemeler şekillendirilebilir [45].

Üst zımba, alt zımba ve sabitlenmiş kalıp presleme işleminde kullanılan temel pres elemanlarıdır. Tek ve çift etkili preslemeler sabit kalıp ile gerçekleştirilir (Şekil 3.9). Şekil 3.9 (a)' da verilen tek etkili preslemede kalıp ile alt zımba sabit olmakla beraber, üst zımbanın hareketi ile sıkıştırma işlemi gerçekleştirir. Şekil 3.9 (b)' de verilen çift etkili preslemede ise kalıp sabittir. Alt ve üst zımbalar sırası ile (aynı anda) aşağı ve yukarı hareket ederek metal tozlarını presleme ile biçimlendirirler [45].



Şekil 3.8. Metal kalıpta presleme (a) Tek etkili presleme, (b) Çift etkili presleme [45]

Şekil 3.10’ da şematik gösterimi verilen çift etkili presleme işleminde alt ve üst zımbalar dişi kalıp merkezine hareket halindedirler. Alt zımba malzemeyi dişi kalıbın üzerine itekler ve malzeme çıkarılır.

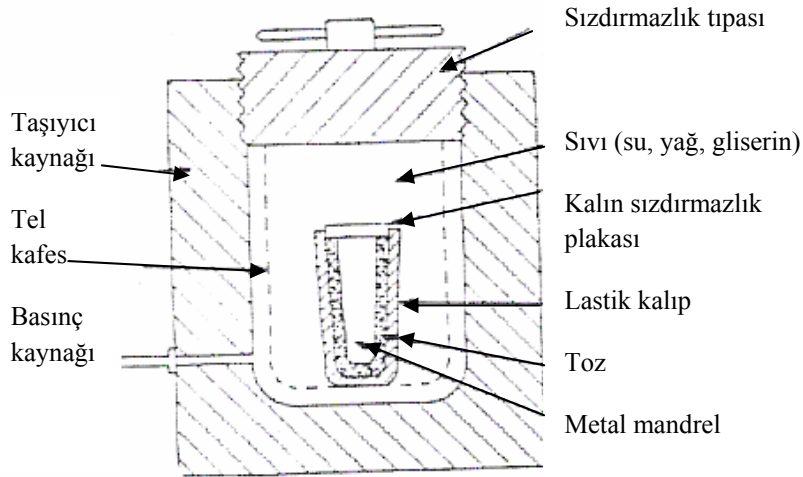


Şekil 3.9. Metal tozu parçalarının presleme adımları [62]

3.8.1. İzostatik presleme

Şekil 3.11’ de görüldüğü gibi, tozların bir akışkan yardımı ile eşit basınç uygulanarak preslenmesidir [63]. Presleme işlemi sıvı içinde ve oda sıcaklığında gerçekleştirilir [64]. Tozlar esnek kalıp içerisine konulur ve içindeki hava boşaltılır [65]. Basıncın her yönden eşit olması ve kalıp sürtünmelerinin olmamasından dolayı yoğunluk

dağılımı ile mekanik özellikleri tüm noktalarda aynıdır. Hassas parçaların üretilmemesi ve yavaş olması izostatik preslemenin dezavantajlarından [64].

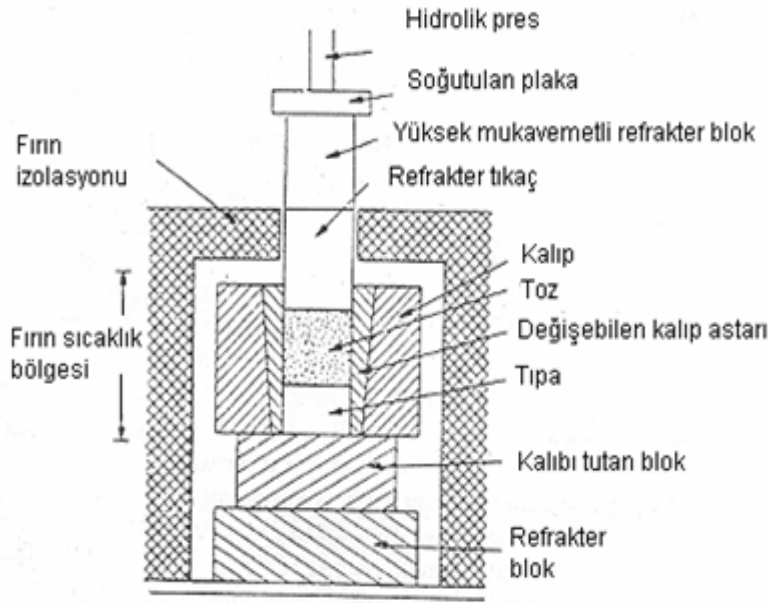


Şekil 3.10. İzostatik presin şeması [65]

İzostatik sıkıştırma yöntemi ile üretilen malzemelerin özellikleri, presleme süresi, uygulanan basınç, işlem sıcaklığı, kullanılan toz boyutu ve boyut dağılımı ile ilk paketlenme yoğunluğu işlemleri tarafından kontrol edilir [66].

3.8.2. Sıcak presleme

Isı ve basıncın buluşması ile iç gözeneklerin tamamına yakını kaybolarak elde edilen ürünler sıcak presleme işlemi ile gerçekleşmektedir [65]. Kalıp maliyetinden dolayı sıcak presleme pahalı bir işlemdir [67]. İç yapıların kontrol altında tutulabilmesi sıcak presleme (SP) ile mümkün olmaktadır [65]. Şekil 3.12' de tozların sıcak preslenmelerini sağlayan cihaz şematik olarak gösterilmiştir. Bu cihazda basınç hidrolik bir sistem ile gerçekleşir.



Şekil 3.11. Şematik sıcak presleme işlemi [65]

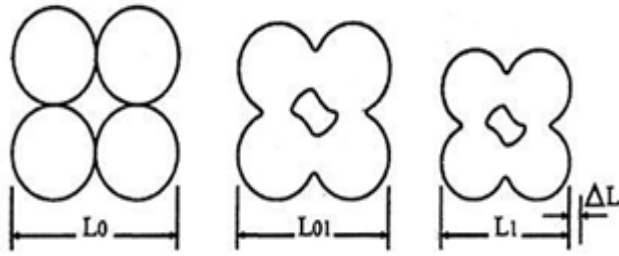
Maliyeti ve sinterleme işleminde sağladığı avantajlar sebebi ile yüksek özellikteki parçaların üretiminde tercih edilmektedir [67].

Sinterleme işlemi zor gerçekleştirilen, başka üretim yönteminin olmadığı özellikle kompozit yapıli malzemelerin elde edilmesi sıcak presleme ile yapılabilmektedir [5]. Üretim oranları karşılaştırıldığında sıcak preslemenin ürün eldesi, soğuk presleme ile sinterleme işlemlerine göre daha azdır [45].

3.9. Sinterleme

Çanak, çömlek pişirilmesi ile başlamış olan sinterleme işlemi insan tarihindeki en eski teknolojilerden birisidir. Malzeme üretiminde sinterlemenin önemi, son zamanlardaki malzeme gelişimi, malzeme sentezinin ve üretim süreçlerinin önemini arttırdıkça değer kazanmıştır. TM ya da seramik içerikli her türlü sinterlenmiş parçanın elde edilmesine müsaade etmesi modern endüstride sinterlemenin önemli ve yararlı kullanım alanlarındandır [5].

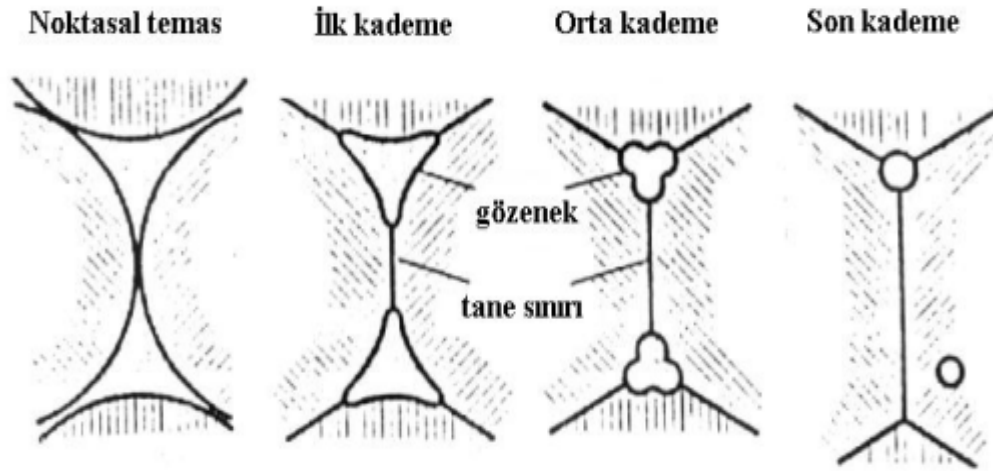
Partiküllerin yüksek sıcaklık ile birbirlerine bağlanmaları sinterleme işlemi ile gerçekleşmektedir [3]. Bir teknik terim olan ” Sinterleme” ergime sıcaklığı altında malzemelerin pişirilmesi olarak tanımlanır ve malzemenin yoğunlaşması, toz parçacıklarının birleşmesi, gözeneklerin kapanması ve malzemenin büzülerek çekmesi (Şekil 3.13) bu aşamada meydana gelir [65].



Şekil 3.12. Sinterleme işleminde tanelerin aralarında oluşan büzülme [68]

Malzemedeki gözeneklerin azaltılması ile sinterlemenin asıl görevi gerçekleşmiş olur [69]. Sinterlenen malzemenin yüksek özelliklerde olabilmesi, ancak yapısında bulunan boşluğun azalması ile mümkün olmaktadır [68]. Gözeneklerin bir araya gelip küresel hal alması sinterleme oluşumundaki tane büyümesi ile gerçekleşir. Son olarak küresel gözenekler tane sınırlarına difüzyon aşamasındadır [3].

Sinterleme işlemi gerçekleşirken partiküller arası mesafe azaldıkça gözenek yapısındaki durum Şekil 3.14’ deki gibi olur. Mesafenin azalması ile partiküllerin temas noktaları boyun şeklini alır. İlk kademenin ardından tane sınırları ve gözenek şekli sinterleme hız kontrolünde etkin görev alır. Orta kademenin başlaması ile gözenek şekli karmaşık bir hal alır ve gözenekler tane sınırlarının birbirlerine teğet olduğu noktalara yerleşir. Sinterlemenin devamı ile gözenek yarıçapı küçülür ve şekil silindirik bir hal alır [3].



Şekil 3.13. Sinterleme esnasında oluşan değişimler [3].

Sinterlemenin etkilendiği birden fazla faktör vardır. Bunlardan önemli olanları zaman, sıcaklık ve atmosferdir. Ayrıca partikül boyutu, kompakt porozitesi ve ön alaşımlama da sinterleme yöntemini etkileyen nedenlerdendir [45].

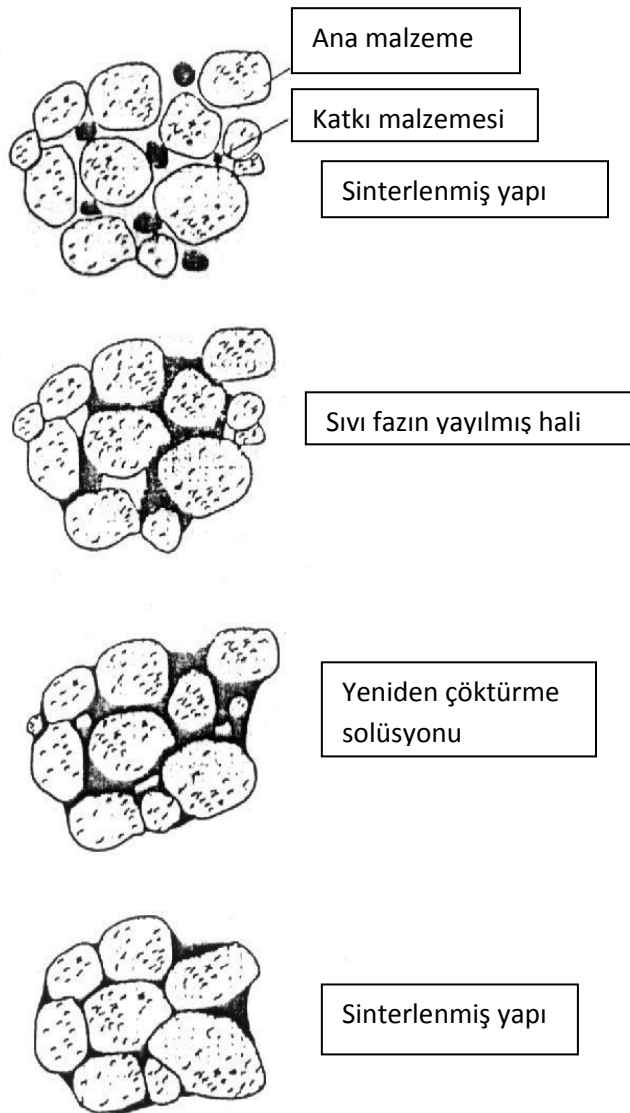
Deneysel ve teorik çalışmaların yoğun bir şekilde yapılmasına karşı, sinterleme işlemi fiziksel olarak net anlaşılmadığından, evrensel geçerliliği olan bir sinterleme teorisi yoktur. Gerçek şartlar altında, sinterlemenin birden fazla değişken parametreye bağlı olması buna sebeptir [45].

3.9.1. Sıvı faz sinterlemesi

Hızlı karıştırılmış yüksek alaşımlı ve ince taneli malzemelerin tam yoğunlukta sinterlenmeleri için sıvı faz sinterlemesi uygun yöntemdir. Sıvı miktarının yükselmesi ile sinterlenmiş yoğunluk ve çekme miktarı artar. Preslenmiş kütlede meydana gelen şekil bozukluğu ve iri taneli mikroyapı oluşumu yüksek sinterleme sıcaklıklarında sıvı faz miktarının artışından kaynaklanır [70].

Sıvı faz sinterlemenin işlem basamakları ve mikroyapı değişimi Şekil 3.15' de şematik olarak verilmiştir. Bu işlemlerde ilk önce toz karışımları bir sıvının meydana geldiği sıcaklığa kadar ısıtılır. Meydana gelen sıvı ile katı parçacıklar üzerinde sıvının neden olduğu kuvvete bağlı olarak hızla başlangıç yoğunlaşması gerçekleşir.

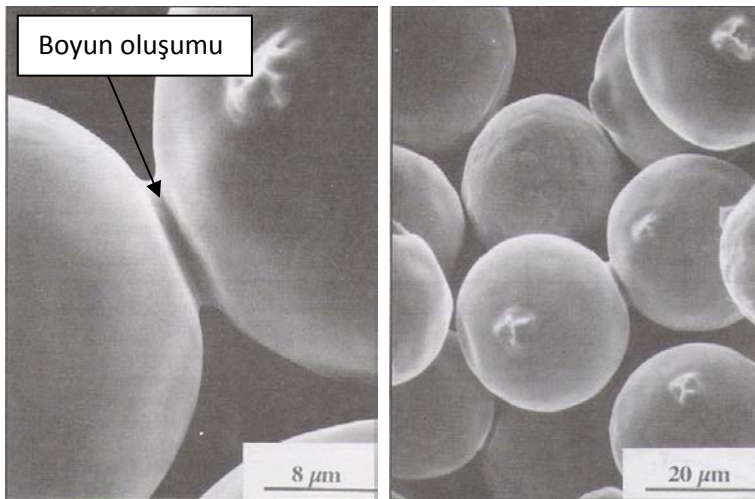
Sistem yüzey enerjisini azaltmaya çalışırken gözenekler yok edilmeye çalışılır. Malzeme içinde bu değişimler gerçekleşirken mikroyapı minimum derecedeki hareketler ile viskoz bir katı olarak görev alır. Sinterlenen yapının viskozitesindeki artış ile gözenekler en aza indirilir. Neticede yoğunlaşma hızında devamlı azalma olur [71].



Şekil 3.14. Sıvı faz sinterlemesi esnasında meydana gelen yoğunlaşmanın şematik olarak gösterimi [3]

3.9.2. Katı faz sinterlemesi

Difüzyon ile malzeme taşınması katı hal sinterlemesi ile olur [61]. Sinterleme işlemi gerçekleşirken iç yapıda sıvı faz oluşmaz ve difüzyon, yoğunluk artışı gibi olaylar katı halde kendini gösterir [72]. Katı faz sinterlemesinde mesele yayılma esasına bağlıdır. Boyun bölgesi ile tozun yüzeyi arasında meydana gelen serbest enerji veya kimyasal potansiyel fark, bu parametre için yeterli olan itici gücü oluşturur. Meydana gelen difüzyonun etkisi ile değişimler ve boyun oluşumları Resim 3.2’ de taramalı elektron mikroskobu görüntülerinde verilmiştir. Toz tanelerinin birbirlerine difüzyonu sonucu meydana gelen boyun bölgesindeki buhar basıncı düşüktür ve bu bölgeye doğru gidildikçe yayınma artmaktadır [3, 61, 67, 69].

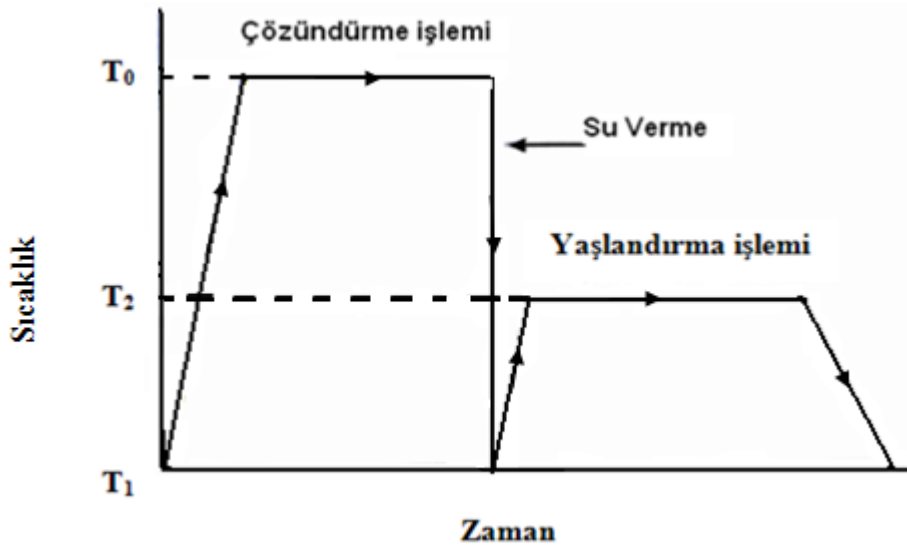


Resim 3.2. Sinterleme sırasında tozlarda meydana gelen boyun oluşumu [3]

4. YAŞLANDIRMA

4.1. Yaşlandırma Isıl İşlemi

Yaşlandırma ısııl işleminin uygulanma nedeni, yumuşak ve sünek matriste; ince, sert ve matrisle uyumlu çökeltilerin meydana gelmesini sağlamaktır [11]. Matris yapı içine dağılan çökeltiiler, dislokasyon hareket oluşumlarını kısıtlayarak, alaşımların mukavemet değerlerinde yükselmeye neden olurlar. Bakır alaşımlarının, martenzitik paslanmaz çeliklerin ve ısııl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımlarında sertleşme sağlanabilmesi ve dayanımlarının artırılması yaşlandırma ısııl işlemi ile gerçekleşir. Yaşlandırma ısııl işlemi, üç adımdan oluşmaktadır [18]. Bunlar Şekil 4.1' de verildiği gibi; çözündürme, su verme, yaşlandırma adımlarıdır.



Şekil 4.1. Yaşlandırma ısııl işlemi için sıcaklık-zaman diyagramı [11]

4.1.1. Çözündürme işlemi

Şekil 4.2' de şematik olarak gösterildiği gibi, katı durumda az miktarda sıvı durumda ise her oranda çözünebilme kapasitesi olan bir alaşım, tek fazlı yapı (α) elde etmek için diyagramda verilen solvüs sıcaklığının üzerinde, bir T_1 sıcaklığına kadar ısıtılır. Bu sıcaklık içindeyken alaşımda bulunan fazların (α ve β) bir faz içinde çözünme

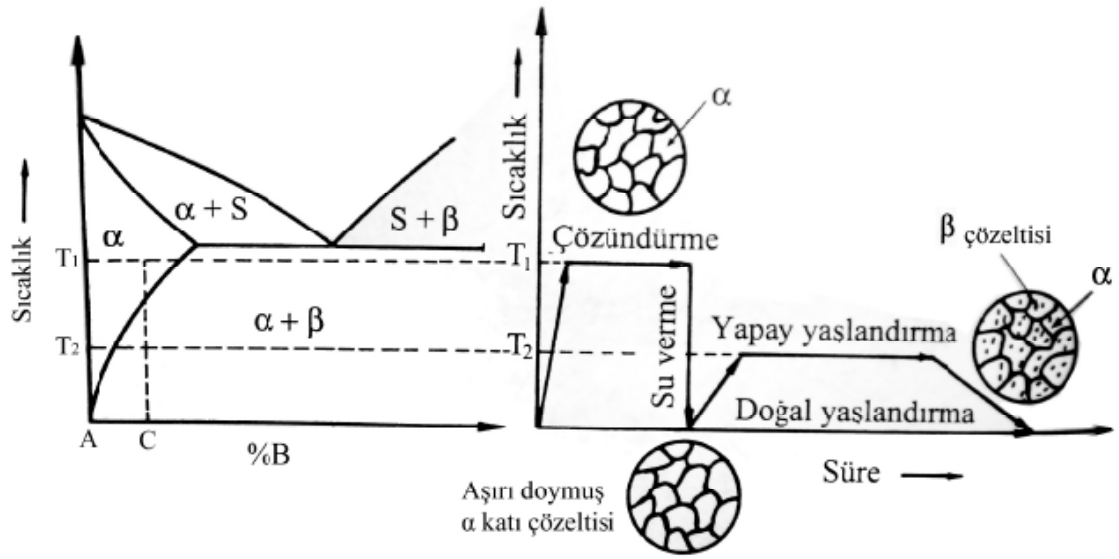
işlemi gerçekleşene kadar bekletilir. Alaşımların yapısına göre, bu bekleme zamanı değişiklik gösterir. Alaşımlar üzerinde yapılan bu işleme çözündürme uygulanması veya solüsyona alma işlemi adı verilir [73].

Çözündürme işleminde yapılmak istenen, dayanımı artıran alaşım elementlerinden en yüksek seviyede katı ergiyik içine dahil etmektir. Bu sebep ile alaşım, yükselen alaşım elementi oranıyla artan bir fazlı bölgeye dahil olma sıcaklığına ulaşıldığına emin olunan sıcaklığın yani solvüs sıcaklığının birkaç derece üzerine kadar ısıtılmalıdır. Bu esnada alaşım ötektik ergime sıcaklığından daha az sıcaklığa sahip olmalıdır [11].

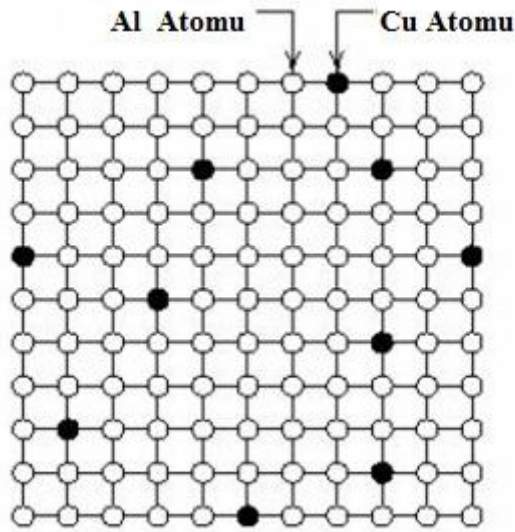
Çözündürme işlemindeki önemli adımlardan birisi de çözündürmede bekletme zamanıdır. Malzeme yapısında çözünmemiş faz kalmayacak ve homojen bir yapı meydana gelecek şekilde bu zaman ayarlanmalıdır. İnce kesitli malzemelerde düşük olan çözündürme süresi, kesit miktarının artması ile artış göstermektedir [11].

4.1.2. Su Verme

Su verme yaşılandırma ısıtıl işleminin en önemli aşaması olarak ifade edilebilir. Çözündürme işlemiyle elde edilen aşırı doymuş katı eriyiğin hızlı soğuma ile toparlanmasına fırsat vermeden oda sıcaklığına soğutularak muhafaza edilmesi su vermenin amacıdır [11]. Su verme, çözündürme işlemi ile oluşan tek fazlı (α) katı çözeltisini, çökeltilerin oluşmasına meydan bırakmayacak şekilde, T1 sıcaklığından aniden soğutmaktır (Şekil 4.2). T1 sıcaklığına sahip malzemenin, süratle bir akışkan içerisinde soğutulması sebebi ile aşırı doymuş bir yapı oluşur. Şekil 4.3' de verildiği gibi malzeme içinde bulunan çözenin denge koşullarında, alaşım elementinin çözebileceği miktardan daha fazla madde çözmesi anlamına gelen aşırı doymuş yapı kararsız bir durumdur. Kararlı bir yapının elde edilebilmesi, orta dereceli dayanıma ve yeterli miktarda sünekliğe sahip bu yapının yaşılandırılması işlemi ile olabilmektedir [73].



Şekil 4.2. Çözündürme ve yaşlandırma adımlarının dahil olduğu çökeltme sertleşmesini gösteren şekil [73].

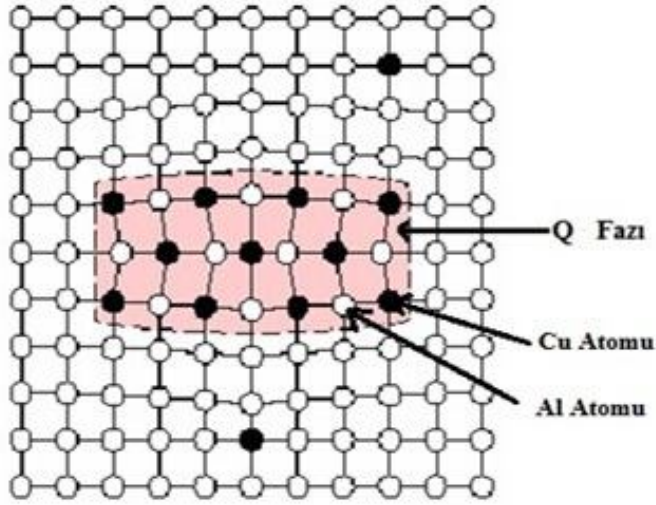


Şekil 4.3. Çözünen atomun çözen atom içerisinde dağılmış hali [11].

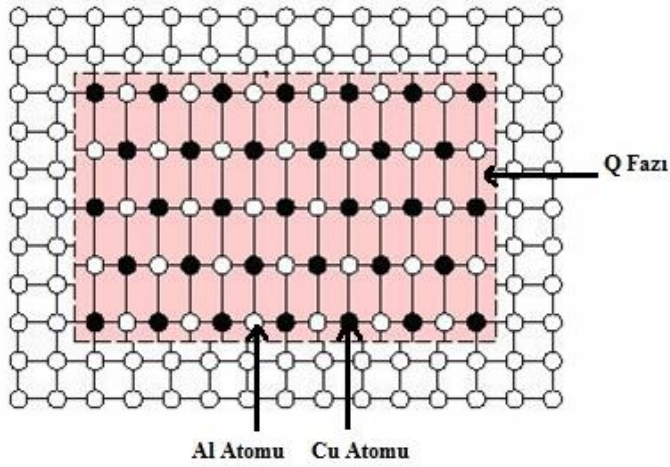
4.1.3. Yaşlandırma (Çökelme sertleşmesi)

Sadece denge diyagramlarında solvüs eğrisi bulunan alaşımlarda yaşlandırma (çökelme sertleşmesi) oluşur [11]. Aşırı doymuş yapıda bulunan fazla atomlar yaşlandırmanın ilk adımında toplanır ve zaman içinde çekirdekleşme mekanizmasının etkili bir hal alması ile, β fazının (çökelti) çekirdeklerini meydana getirir (Şekil 4.1) [73]. Matris içinde, çözünen atomların oluşturduğu uyumlu çökelti meydana gelmesi ile çökelme sertleşmesi oluşur (Şekil 4.4). Uyumlu çökelti meydana geldiği zaman, çökelti kafesinin atom düzlemleri ile matris kafesinin düzlemleri arasında süreklilik oluşur. Sürekliliğin oluşumu, çökelti etrafında büyük gerilme alanı meydana getirir ve bu alan içerisinde bulunan dislokasyon hareketleri kısıtlanır [11].

Dislokasyon hareketlerine engel olan, alaşımın matris yapısı ile uyumlu çökelti, alaşımın sertliğini ve dayanımını büyük oranda yükseltirler. Fakat aşırı yaşlandırma olduğunda, çökelti irileşir, matrise bağlı kalmadan kendi kristal yapılarını meydana getirir ve etrafını saran matris ile uyumsuz yapı oluştururlar (Şekil 4.5). Bu olay karşısında malzemenin mukavemet değerlerinde azalma görülür [18].

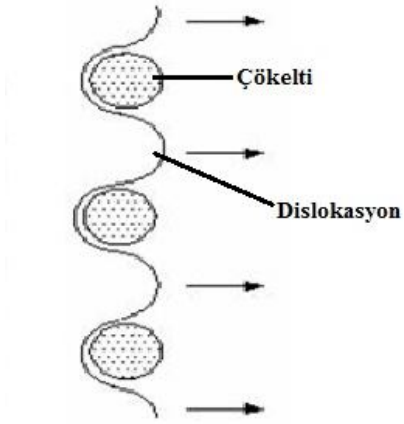


Şekil 4.4. Etrafını saran matris ile uyumlu çökelti [11].

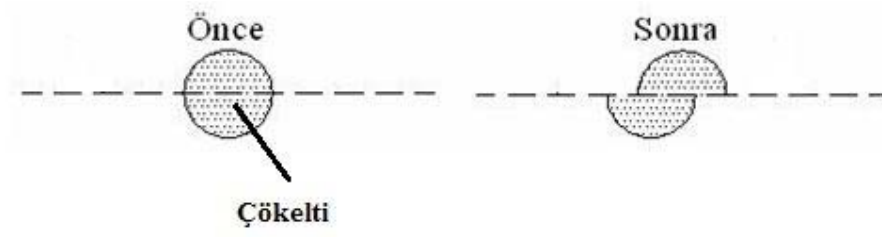


Şekil 4.5. Etrafını saran matris ile uyumsuz çökelti [11].

Ayrıca çökelti boyutları da yaşlandırmada, alaşımın sertliğini ve dayanımı yükselten etkenlerdir. Yaşlandırma süresinde artışa geçilirse, çökelti irileşerek birbirlerine yaklaşırlar ve böylece dislokasyon hareketleri kısıtlanarak sertlikte artış görülür (Şekil 4.6). Çökelti boyutları fazla miktarda büyür ise, dislokasyonlar çökeltiyi kesebilir (Şekil 4.7) ve sertlikte azalmalar meydana gelir [18].



Şekil 4.6. Çökeltiler tarafından engellenmiş dislokasyonlar [18].



Şekil 4.7. Fazla miktarda büyük çökeltilerin dislokasyonlar tarafından kesilmesi [18].

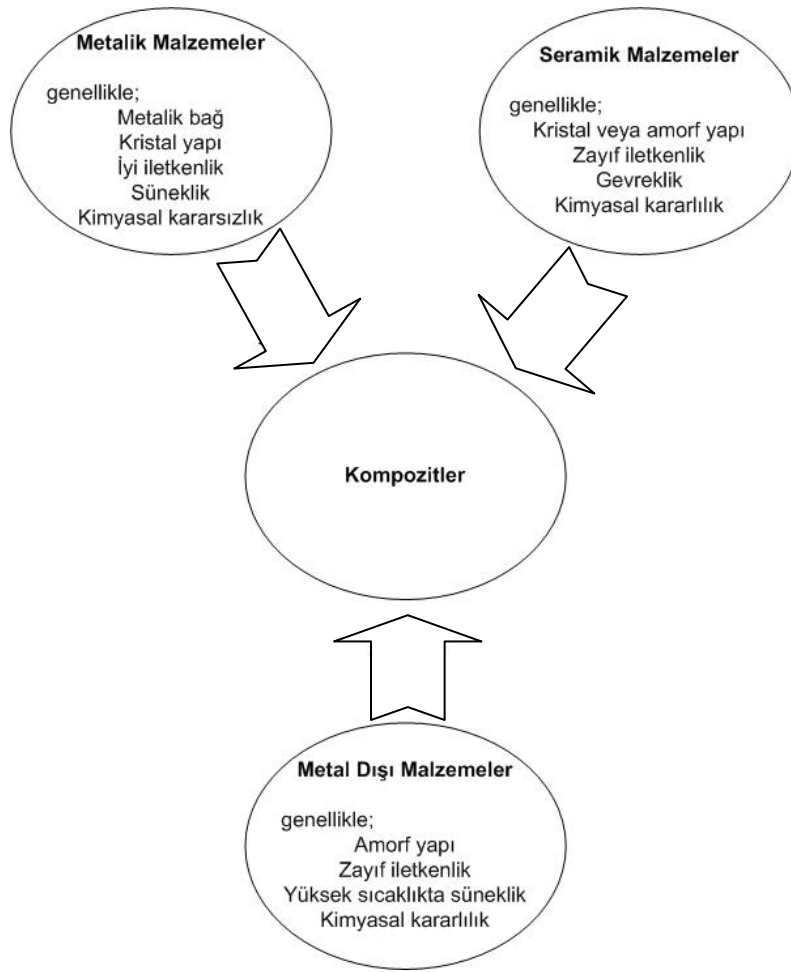
5. KOMPOZİT MALZEMELER

5.1. Kompozit Malzemelerin Tanımı

Şekil ve/veya kimyasal bileşimleri değişik, birbiri içerisinde pratik olarak çözünmeyen iki veya daha çok sayıda makro bileşenin kombinasyonundan meydana gelen malzemelere kompozit malzemeler adı verilebilir [74]. Üç boyutlu nitelikteki bu kombinasyonun oluşturulma nedeni, bileşenlerin tek başlarına sahip olmadıkları bir özelliğin elde edilmesidir. Yani başka bir ifade ile, hedeflenen doğrultuda bileşenlerinden daha üstün özellikleri içeren bir malzeme üretilmesi amaçlanmaktadır [16]. Yüksek performans özelliklerine sahip, genel olarak iyi mukavemetli malzemeler için gelişmiş kompozit terimi kullanılır.

Kompozit malzemeler, bir arada bulunan sürekli bir matriks bileşeni ihtiva eden ve daha mukavemetli takviye fazı bileşenlerinden meydana gelen malzemelerin sahip oldukları değeri belirtmek için sınırlandırılabilir. Sonuç olarak kompozit malzeme, diğer malzeme bileşenlerine göre tek başına daha iyi yapısal özellikler dengesine sahiptir [75]. Kompozit üretiminde dikkat edilecek bir hususta, kullanılan malzemelerin kolay bulunup üretilbilmesidir [76].

Kompozit malzemelerin diğer malzeme grupları ile olan bağlantısı Şekil 5.1' de verilmiştir [5].



Şekil 5.1. Kompozit malzemelerin değişik malzeme grupları ile bağlantısı

Birden fazla mühendislik uygulamalarında ideal malzeme olarak kompozit malzemeler kullanılmaktadır [12]. Endüstriyel sanayi alanına dahil olan özellikle otomotiv, uzay, denizcilik, demiryolu taşımacılığı ve spor malzemelerinin büyük bir kısmında geleneksel malzeme yerine kompozit malzeme kullanımı, günümüzde artarak devam etmektedir [77-80].

Sadece ürün eldesinde uygun fiyat-performans ilişkisi olduğu zaman kompozit malzemelerin avantajları belli olmaktadır [5].

5.2. Metal Matriks Kompozitler (MMK)

Özel uygulama alanlarında kullanımları sürekli yükselmekte olan ve günümüzde sürekli ilerleyen modern teknolojinin gereksinimlerini karşılayacak, klasik malzemeler ile karşılaştırıldığında daha iyi özellikleri olan MMK malzemeler yoğun ilgi görmektedir [81]. MMK' ler, en kapsamlı ifade ile, arzu edilen özellikleri elde etmek için, içlerinde en az biri metal olan iki veya daha fazla değişik malzemenin sistematik bileşimiyle üretilen yeni malzemelerdir [15]. Düşük yoğunluk ve ergime sıcaklığına sahip olmaları ile birden fazla seramik takviye malzemesini kolay ıslatabilmelerinden dolayı, bu alaşımlar tercih edilmektedir [82].

MMK' ler değişik yapıda takviye elemanları kullanılarak elde edilmektedirler [76]. MMK' lerin yeni malzemeler olarak ilgi noktası olma nedenleri, geliştirilmiş mekanik özellikleri ile malzeme ve enerji kazancı bakımından hafif olmalarıdır [83].

MMK' lere iyi derecede özellikler kazandıran temel noktalar şu şekilde sıralanabilir:

- Yüksek mukavemet özelliklerinin olması,
- Düşük yoğunluğa sahip olmaları,
- Yüksek elastiklik modüllerinin olması,
- Yüzey dayanıklılığının yüksek oranda olması,
- Yüksek sıcaklıklarda kullanılabilirler,
- Tekrar üretilebilir mikroyapı ve özelliklere sahiptirler,
- Sıcaklık değişimlerine veya ısıl şoka karşı az hassasiyet gösterirler,
- Elektrik ve ısıl iletkenlik özellikleri yüksek orandadır [84].

Fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı MMK' ler otomotiv ve diğer uygulamalarda kullanılan malzemelerden biri haline gelmiştir [85].

5.2.1. Alüminyum matriksli kompozitler

Alüminyum esaslı kompozitler, düşük ağırlık yüksek performanslı alüminyum merkezli malzeme sistemi sınıfı içinde yer almaktadır [86]. İyi dayanım, iyi elastiklik modülü, düşük yoğunluk, artan sıcaklıklarda çalışabilme kapasitesi, iyi aşınma direnci ve ısı genleşme katsayısının düşük olması özelliklerinden dolayı Al esaslı kompozit malzemeler tercih edilmektedir. Günümüzde birçok otomobilde piston ve silindirler, malzemenin termal genleşme katsayısının düşük olması nedeniyle Al esaslı kompozit malzemeden üretilmektedir [87]. Yakıt tüketimi, gürültü ve havaya karışan emisyon gazlarını azaltmasına yardımcı olduğundan alüminyum matriksli kompozitler taşımacılık sektöründe kullanılmaktadır [86]. Çizelge 5.1’ de alüminyum esaslı kompozitlerin kullanım amaçları verilmiştir.

Çizelge 5.1. Alüminyum metal esaslı kompozit endüstrisinde belirlenen hedefler [75]

Belirlenen kriterler	Ulaşılabilecek hedef
Maliyet	1. Alüminyum esaslı MMK’ lerin maliyetinin ¼ azaltılması 2. Alüminyum esaslı MMK’ lerin parametrelerinin ¼ azaltılması 3. Metal işleme parametrelerinin (ekstrüzyon, haddeleme gibi) maliyetinin % 50 oranında düşürülmesi 4. Alüminyum esaslı MMK malzemelerinin işlenmesinde maliyetinin % 50 oranında azaltılması
Altyapı	1. Alüminyum esaslı MMK malzeme planlayıcıları için el kitabı geliştirmek. 2. Malzeme tasarımı için malzeme-özellik veri tabanının iyileştirilmesi 3. Alüminyum esaslı MMK malzeme üretim kapasitesini 2005’ te 10 kat, 2010’ da ise 25 kat artırmak.
Pazar	
Endüstriyel/Ticari Ürünler	1. İyi özellikteki ürünler için alternatif malzemelerin var olması 2. Aşınma direncinin yüksek olması nedeni ile dökme demir ve çeliklerin yerine geçmesi
Uzay	1. Uzay denemelerinde alternatif malzemeler olarak kullanılması 2. Yapıdaki bozulma toleransı ile dayanıklılığın 2 kat artması ile Al esaslı kompozit pazarının büyümesi
Otomotiv	1. İçten yanmalı makine parçalarından çelik ve dökme demirin yerine geçmesi 2. Düşük maliyetle üretilen Al MMK malzemelerin yüksek sertlik uygulamalarında kullanılabilmesi

Üretim yöntemi, takviye malzemesi çeşiti ve oranı ile matris alaşımının türü gibi etkenler üretilen kompozit malzemenin özellikleri ile ilişkilidir [87]. Sprey döküm

metodu, sıvı metal infiltrasyon metodu, karıştırma döküm, toz metalurjisi ve sıkıştırma döküm metodu Al esaslı kompozit eldesinde kullanılan başlıca metodlardır. Üretim metodlarının tamamında ve takviye malzemesinin matris içerisinde homojen dağıtılması esas problem olarak görülmektedir [5].

5.3. Seramik Matriksli Kompozitler (SMK)

Genel olarak iyonik ya da iyonik + kovalent bağ bileşiminde olduklarından kararlıdırlar ve bu nedenle seramik malzemeler, çok sert ve kırılgan özelliktedirler [16,84]. Seramik malzemelerin gevrek olma özelliklerinden dolayı mikro çatlaklar, çentikler ve mikroyapı kusurları gerilme yığılmasına neden olduğundan düşük çekme dayanımları vardır [16]. Yüksek sıcaklıkta çalışması istenilen parçalar için genellikle SMK malzemeler kullanılır [66].

Seramiklerin iyi dayanım ve yüksek elastik modül özellikleri, metallerin süneklik ve tokluk özellikleri ile birleştirmeleri sonucunda önemli mühendislik malzemeleri ortaya çıkmıştır [76]. SMK malzemelerde Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 ve B_4C matris malzemesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [66]. Seramik zırh malzemelerinden en çok tercih edilenleri alümina, alüminyum nitrat, bor karbür ve silikon karbürdür [88]. SMK malzemelerin kullanım alanları uydularda boyutsal kararlılık istenilen malzemeler, biyomedikal malzemeler ile roket ve turbojet motorlarda egzoz çıkışları olarak verilebilir [81, 89]. Seramik fiberler ile takviye edilen seramik malzemelerin mukavemeti yükselmekle beraber, tokluk özellikleri monolitik seramiklere kıyasla 20 kata kadar yükseltilebilmektedir. Kullanılan takviye malzemesinin çatlak artışını engellemesi ve ya oluşum zamanını uzatması SMK'lerin tokluk değerlerinin yükselmesine bağlıdır. Takviye malzemesi ile karşılaşan çatlak oluşumu yön değiştirerek ilerlemesini sonlandırmaktadır [84, 89].

Seramik malzemeler termal şok direncinin düşüklüğü nedeniyle, kullanımları sırasında çevreye zarar verebilirler [84].

5.4. Polimer Matriksli Kompozitler (PMK)

Matris olarak kullanılan PMK malzemeler ile hem çalışılması kolay hem de maliyetleri düşüktür [75]. Endüstride büyük kullanım alanına sahip olan PMK' ler liflerle pekiştirilmiş malzemelerdir. Cam karbon, kevlar ve boron lifleri pekiştirici olarak kullanılmaktadır. Bu liflerin kalınlıkları arttıkça hata oluşma nedenlerinden dolayı mukavemetleri azalır. Ayrıca bu liflere, ilave edilecek bağlayıcılık özelliği olan bir malzeme ile istenilen boyutta taşıyıcılık kazandırılabilir [90].

Sıcaklık ve nem PMK' ler ile çalışılırken dikkat edilmesi gereken iki önemli noktadır. Bu iki faktörün aynı anda aktif olması durumunda PMK' lerin mekanik özelliklerinde hidro termal nedenlerden dolayı azalmalar olmaktadır [84].

Matris olarak kullanılan polimer malzemeler, termosetler ve termoplastikler olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. Termosetler yüksek sıcaklıklarda dahi sert olma özelliklerini korurlar. Termoplastikler ise düşük sıcaklıkta sert halde bulunurlar ve ısıtıldıklarında bu sertlikleri kaybolur. Termosetlere polyester ve epoksi reçine örnek verilirken, polietilen, polipropilen, polikarbonat ve naylon ise termoplastiklere örnektir [91].

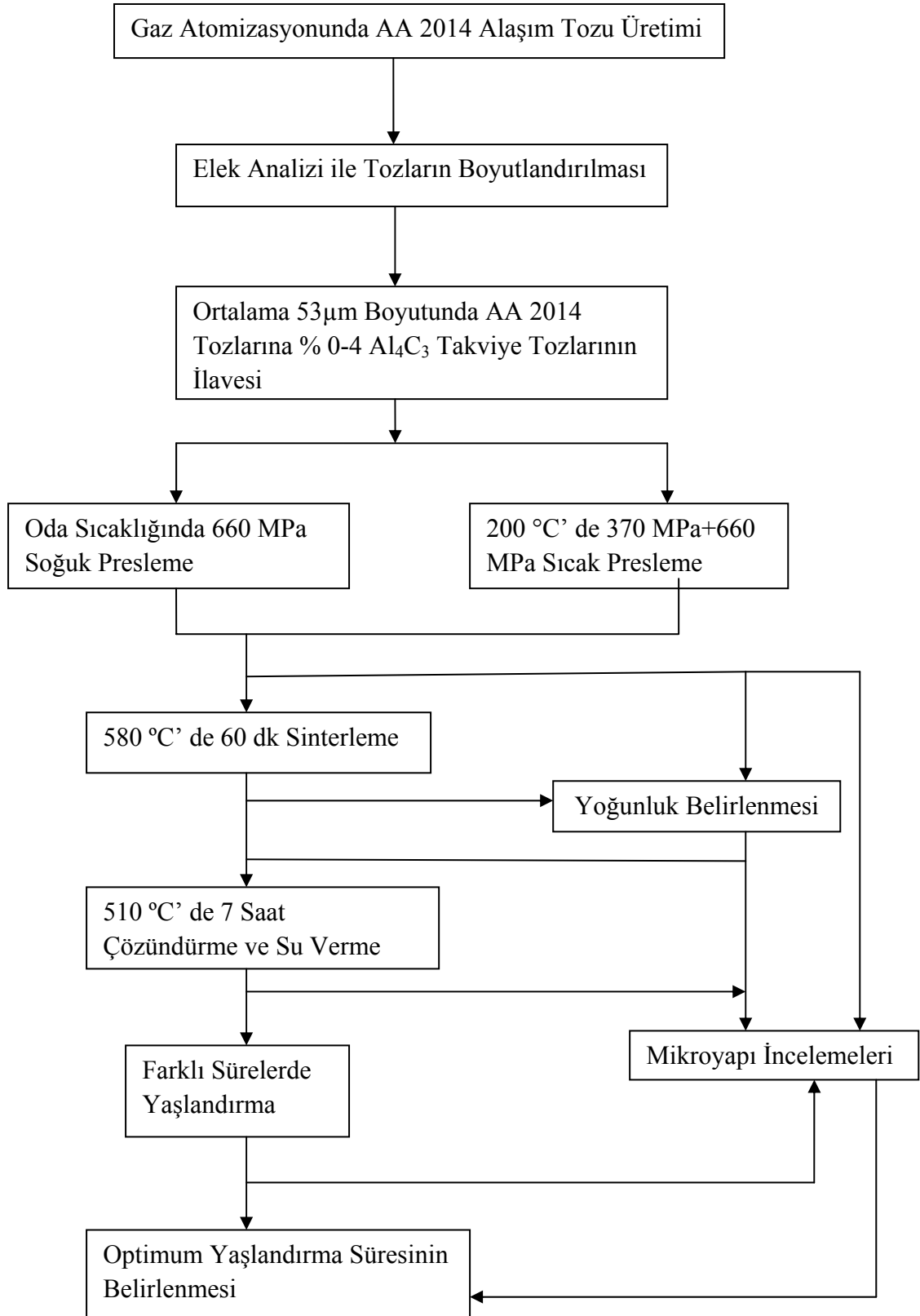
Enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon, termo oluşum, elle sıvama, tel sarma, pultrüzyon metodu, sıvı akış tekniği, kese kalıplama işlemi ve takviyeli reaksiyon PMK' lerin üretiminde en çok kullanılan yöntemlerdir [84].

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Giriş

Bu çalışmada, yapılan işlemlerin akış şeması Şekil 6.1' de gösterilmiştir. İlk önce düşey gaz atomizasyonu ünitesinde AA 2014 alüminyum alaşım tozları üretilmiştir. Üretilen bu tozlar elek analizi işlemi ile tane boyutlarına göre sınıflandırılmıştır. Deneylerde kullanılacak tozların boyutu belirlendikten sonra, AA 2014 alüminyum alaşım tozlarına (% ağırlıkça 0-1-2-4 oranlarında) Al_4C_3 tozu ilave edilmiştir. Bu karışım malzeme ile numune üretiminde sıcak ve soğuk olmak üzere iki farklı presleme uygulanmıştır. Presleme ile üretilen numunelere sinterleme uygulandı, ardından çözündürme ve yaşlandırma ısı işlemleri uygulanarak optimum yaşlandırma zamanı belirlenmeye çalışıldı. Tüm işlem basamaklarında mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. SEM ve EDS analizleri ile yapıdaki gözenek, çökelti ve alaşım elementleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Şekil 6.1' de şematik özeti verilen çalışmaların her bir basamağında belirtilen işlem şartları, her biri uzun süren çalışmalar sonunda belirlenmiştir. Bunlar toz üretimi, soğuk ve sıcak presleme basıncı ve sıcaklığı, sinterleme sıcaklığı ve süresi, yaşlandırma için kompozitin çözündürme sıcaklığı ve süresidir. Aynı zamanda bu belirlenen parametreler farklı Al_4C_3 içeren AA 2014 alaşımı için bu çalışmada sabit tutulmuş ve optimum yaşlandırma sıcaklıklarının belirlenmesi ana hedef olmuştur. Aşağıda bu çalışma basamakları ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 6.1. Çalışmalarda gerçekleştirilen işlemlerin şematik özeti

6.2. Malzeme ve Metod

Deneysel çalışmalarda kullanılan AA 2014 alüminyum alaşım tozlarının üretimi, G.Ü.T.F. Metal Eğitimi Döküm Anabilim Dalı' nda bulunan gaz atomizasyon ünitesinde gerçekleştirilmiştir (Resim 6.1).



Resim 6.1. Düşey gaz atomizasyon ünitesi (1.Ergitme ünitesi, 2. Sıcaklık ünitesi, 3.Atomizasyon kulesi, 4.Basınçlı gaz ünitesi, 5. Toz toplama ünitesi, 6. Fan, 7. Siklon)

Atomizasyon ünitesindeki AA 2014 tozlarının üretiminde Resim 6.1' de gösterilen 1 nolu ünite de alaşım önce 790 °C-810 °C aralığında ergitilmiştir. Ergitilen malzemeye 2 numaralı sıcaklık ünitesi ile sıcaklık ölçümü kontrollü olarak yapılmıştır. Bu işlemde sıvı metalin aktığı bir boru ile nozul beraber kullanılarak, ergitme ünitesi ile atomizasyon kulesi arasındaki bağlantıyı oluşturur. Sıvı hale gelmiş olan malzeme bu boru içinde ilerlerken nozul ile karşılaşarak parçalara ayrılır. Böylece sıvı parçacıkları 3 numaralı atomizasyon kulesinde yol alırken aynı zamanda bünyelerinde bulunan ısıyı kaybederek katılaşırlar. 7 numaralı siklon bölgesinde gazın geçişi ile geri dönüşümü olayları gerçekleşir ve ayrıca ince tozların tutulması

da burada olur. 5 numaralı toz toplama ünitesinde atomizasyon kulesinden düşen tozlar toplanır. Bu tozların boyutları, siklonda toplanan tozlara göre daha iridir. Argon gazının kullanıldığı 4 numaralı basınçlı gaz ünitesinde ise gazın çıkış noktasına bağlanan manometre ile basınç ayarlaması yapılmıştır. Bu tozlara daha önceki çalışmalarda [92] boyut analizi işlemi uygulanmış ve tozların üretiminden sonra gerçekleşen kimyasal bileşimi Çizelge 6.1’ de verilmiştir. Tozların kimyasal bileşim analizleri KOSGEP tarafından spektroanaliz yöntemi ile yapılmıştır.

Çizelge 6.1. AA 2014 alaşım tozunun kimyasal bileşimi

ELEMENT	Al	Cu	Si	Mn	Mg	Fe	Zn	Cr
% AĞIRLIKÇA	93,5	4,06	0,6	0,57	0,56	0,47	0,106	0,03

Elde edilen tozlar elek analizi ile boyutlandırılmış ve deneylerde ortalama 53 μm boyutuna sahip tozlar kullanılmıştır. Takviye elemanı olarak kullanılan Alfa-Aesar Ticari markalı Al_4C_3 ’ ün ortalama tane boyutu $\sim 5 \mu\text{m}$ ’ dir.

6.3. TM Malzeme Hazırlığı

Deneysel çalışmalarda kullanılan farklı oranlarda Al_4C_3 takviye tozlarının ağırlık ölçümleri G.Ü.T.F. Metal Eğitimi Bölümü Malzeme Anabilim Dalı laboratuvarında bulunan ‘Precisa XB200h marka 1/10000 hassasiyetteki elektronik terazide yapılmıştır (Resim 6.2). AA 2014 tozlarına ilave edilen Al_4C_3 oranı ağırlıkça % 1-2-4 olarak uygulanmıştır. Ayrıca birer seri numune de Al_4C_3 ilavesi yapılmadan hazırlanmıştır.

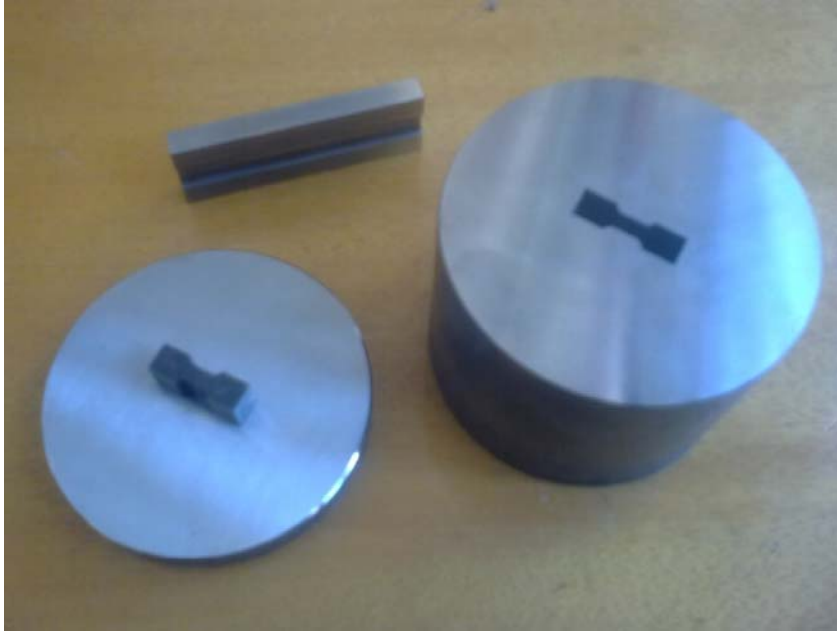


Resim 6.2. Toz ağırlıklarının belirlendiği elektronik terazi

Ağırlıkları belirlenen AA 2014 ve Al_4C_3 tozlarında homojen dağılımın sağlanması amacıyla doğrudan karıştırma yöntemi kullanılmıştır. Toz karışımları hazırlandıktan sonra presleme işlemine geçilmiştir.

6.4. Tozların Preslenmesi

Toz karışımlarına, şekil vermek amacı ile tek etkili kalıpta presleme işlemi yapılmıştır. Presleme işleminde kullanılan kalıp Resim 6.3’ de verilmiştir. Kalıp üzerine presleme basıncı ise Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Malzeme Laboratuvarlarında bulunan 160 tonluk tek etkili hidrolik bir presleme cihazında uygulanmıştır (Resim 6.4). Bu cihazda alaşımlara oda sıcaklığında soğuk ve 200 °C sıcaklıkta sıcak pres uygulanmıştır. Tüm presleme işlemlerinde toplam 660 MPa basınç uygulanmıştır.



Resim 6.3. Toz malzemelerin şekillendirildiği kalıp



Resim 6.4. 160 tonluk hidrolik presleme cihazı

Kalıpta zımbanın yüzeyleri ile kalıp duvarına yağlayıcı olarak çinko stearat uygulanmıştır. Soğuk preslemede çinko stearat ile metil alkol beraber kullanılırken, sıcak preslemede metil alkol kullanımı kalıpta hareketi zorlaştırdığı için kuru çinko stearat kullanılmıştır. Yağlayıcı ile hem numuneler kalıp içinden rahat bir şekilde

çıkarılmış, hem de tekrarlı olarak üretilen toz kütleler sonucu kalıbın zarar görmesi en aza indirilmiştir. Yapılan preslerde 660 MPa değerinde tek yönlü kuvvet uygulanmıştır. Bu değer altında üretilen numunelerde parçalanma ve kırılmalar görülmüştür. TM yöntemi kullanılarak üretilen bir numune Resim 6.5’ de görülmektedir.



Resim 6.5. TM yöntemi kullanılarak laboratuarda üretilen numune

6.4.1. Soğuk presleme

Presleme işlemine başlamadan önce zımbaların yüzeyleri çinko stearat ile yağlanmıştır. Daha sonra üst zımba kalıp boşluğuna geçirilerek, toz karışımı kalıp boşluğuna dökülmüş ve tozlar kalıp boşluğunda eşit olacak şekilde dağıtıldıktan sonra alt zımba yerleştirilmiştir. İçinde toz bulunan kalıp bu haliyle presleme cihazının uygun bölgesine yerleştirilmiştir. Presleme işlemi bittikten sonra kalıbın sadece kenarları zemine temas edecek şekilde yerleştirilmiş ve üst zımbaya kuvvet uygulanarak önce alt zımba, sonra da sıkıştırılan toz kütle kalıp içerisinden çıkarılmıştır.

6.4.2. Sıcak presleme

Soğuk preste yapılan işlemlerden farklı olarak bu aşamada yarı presleme işlemi uygulanmıştır. Sıcak prestlenen numune şu şekilde üretilmiştir; ilk olarak toz

karışımları hazırlanmış ve tozlar basılmaya hazır hale geldikten sonra yaklaşık 370 MPa pres uygulanmıştır. Bu işleme yarı presleme (ilk presleme) adı verilmektedir. İlk presleme yapıldıktan sonra ısı çifti ile tozun bulunduğu bölgenin sıcaklığı belirli aralıklarla ölçülmüştür. Sıcaklık 200 °C' yi gösterdikten sonra presleme cihazı 660 MPa basınca ayarlanmış ve tam pres yapılmıştır. Ardından aynı soğuk preste olduğu gibi alt zımba ve toz kütle kalıp içinden çıkarılmıştır. Sıcak pres işlemleri gerçekleştirilirken presleme cihazının kapağının uzun süre açık kalmamasına dikkat edilmiş ve böylece fırın sıcaklığı muhafaza edilmeye çalışılmıştır.

6.5. Sinterleme İşlemleri

Soğuk ve sıcak presleme ile üretilen TM numunelere mukavemet kazandırılması amacı ile Protherm marka fırında koruyucu Argon gaz atmosferinde sinterleme işlemi yapılmıştır (Resim 6.6).



Resim 6.6. Sinterleme ve yaşlandırma ısı işlemlerinin yapıldığı fırın

Sinterleme işlemlerinden önce numunelerin yerleştirileceği homojen sıcaklık bölgesi ısı çifti ile tespit edilmiştir. Sinterleme işlemi argon gazı altında atmosfer kontrollü olarak 580 °C de 1 saat sürede gerçekleştirilmiştir. Sinterleme sıcaklığından soğutma

hızı da 15 °C/dk olarak seçilmiştir. Numuneler tüp fırın içerisine Resim 6.7’ de gösterildiği gibi seramik kaplar ile yerleştirilmiştir.



Resim 6.7. Seramik kaplar içine yerleştirilmiş deney numuneleri

Sinterleme fırınında, koruyucu atmosfer olarak argon gazının kullanılması ile numunelerde oluşabilecek oksitlenme en aza indirilmeye çalışılmıştır.

6.6. Yoğunluk Ölçümleri

Presleme işleminden sonra yoğunluk ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlerde ilk olarak Arşimet prensibine göre çalışan hassas terazi kullanılmış fakat tozlar arası mekanik bağların oksitlenmeye bağlı olarak kırılmasından dolayı, numunelerde bir süre sonra dağılma görülmüştür. Bu nedenle numunelerin yoğunlukları, ağırlık/hacim oranı ile belirlenmiştir. Bu nedenle preslenmiş numunelerin tekrar hassas terazide ağırlıkları belirlenmiş ve et kalınlıkları ile yüzey alanı çarpımıyla hacimleri hesaplanmıştır. Yoğunlukları da ağırlık/hacim oranıyla belirlenmiştir.

6.7. Yaşlandırma İşlemleri

Yaşlandırma öncesi numunelere çözündürme ısı işlemi uygulanmıştır. Bunun için numunelerde homojen çözündürme işlemleri için gerekli süre, ön çalışmalarla belirlenmiştir. Farklı sürelerde çözündürme işlemleri sonunda 510 °C’ de 7 saat çözündürme süresi belirlenmiş ve suda hızlı soğutularak su verme işlemi yapılmıştır. Çözündürülen numuneler, 190 °C fırın içinde farklı sürelerde bekletilerek yapay yaşlandırma işlemleri yapılmıştır. Yaşlandırma işlemi süreleri 60-720 dk aralığında uygulanmıştır. Uygulanan bu yaşlandırma sürelerinden sonra, numunelerin sertlik sonuçları sürekli ölçülmüştür. Sertlik sonuçlarının zirvede olduğu nokta belirlenmeye çalışılmıştır. Yaşlandırma işlemi tamamlanmış numuneler bir sonraki kullanıma kadar -18 °C’ de vakumlu poşetlerde saklanmış ve böylece oda sıcaklığında olabilecek doğal yaşlanmadan korunmaya çalışılmıştır.

Yaşlandırma işlemi öncesi ve devamında deney numunelerine uygulanan süre ve sıcaklık değerleri özetle Çizelge 6.2’ de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Yaşlandırma işlemi için belirlenen süre ve sıcaklık değerleri

Uygulanan süre ve sıcaklık	Sinterleme	Çözündürme	Yaşlandırma
Süre	1 saat	7 saat	60 dk-720dk
Sıcaklık	580 °C	510 °C	190 °C

6.8. Mikroyapı Çalışmaları

Metalografik çalışmalar için, numuneler zımparalama ve parlatma işlemlerine tabi tutulmuşlardır. Bu işlemler G.Ü.T.F. Metal Eğitimi Bölümü Malzeme Anabilim Dalı laboratuvarında bulunan zımparalama ve parlatma cihazları ile gerçekleştirilmiştir (Resim 6.8, 6.9).



Resim 6.8. Zımparalama cihazı



Resim 6.9. Parlatma cihazı

Her bir numune 1200# (meş) SiC zımpara ile zımparalanmıştır. Zımparalama sırasında meydana gelen partiküllerin numune yüzeyinden uzaklaştırılması için numuneler yıkanarak kurutulmuştur. Zımparalanması biten numuneye, parlatma cihazında 3 μm ' lik elmas pasta ile yağlayıcı kullanılarak disk üzerinde parlatma işlemi uygulanmıştır. Parlatma sonrası numuneler yıkanarak alkol ile yüzey temizliği yapılmış ve kurutulmuştur. Bu işlemlerin ardından mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, parlatma ile gözeneklerin daha belirgin hale geldiği görülmüştür. Tane sınırları ve yapıdaki dağılımların görülebilmesi amacı ile, sadece yaşlandırma işlemi sonrası numuneler, Keller dağılayıcısı (%2,5 HNO_3 , %1,5 HCl , %1 HF , %95 Saf H_2O) 5 sn süre ile dağlanmış. Mikroyapı dönüşümleri, malzemenin homojenliği, gözenek dağılımı ve büyüklükleri Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) cihazı ile belirlenmiştir (Resim 6.10).



Resim 6.10. Jeol 6060 LV Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

EDS analizleri ile de alüminyum matris yapı içerisinde belirlenen mikro oluşum fazların ve alaşım elementlerinin dağılımları belirlenmiştir.

6.9. Sertlik Ölçümleri

Tüm işlemlerin ardından numunelerin sertlik ölçümleri, G.Ü.T.F. Metal Eğitimi Bölümü Malzeme Anabilim Dalındaki SHIMADZU HVM2 Mikro Sertlik cihazı ile yapılmıştır (Resim 6.11). Sertlik ölçümü yapılmadan önce, numunelere zımparalama ve parlatma işlemleri uygulanmıştır.



Resim 6.11. Sertlik ölçümlerinin yapıldığı Shimadzu HVM2 sertlik cihazı

Sertlik ölçümleri Vickers cinsinden (HV) olup 0,1 kg yük ile mikro, 2 kg yük ile de makro ölçümleri yapılmıştır. Yapılan sertlik değerlerindeki güvenilirliği sağlayabilmek amacı ile mikro sertliklerden en az 10, makro sertliklerden de en az 5'er adet ölçüm alınmıştır. Deney numunesinin şekil ve boyutu nedeni ile ölçümler orta bölgeden alınmıştır. Alınan bu değerlerin aritmetik ortalamaları hesaplanarak sertlik değerleri belirlenmiştir. Isıl işlemler öncesinde ve sonrasında alınan sertlik değerleri ve numunenin değişen sertlik değerleri ile yaşlandırma zamanına bağlı olarak sertlik grafikleri oluşturulmuştur.

7. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

7.1. Mikroyapı

Mikroyapı analizinde Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Presleme (sadece soğuk pres ile üretilen takviyesiz AA 2014 malzeme), sinterleme, 7 saat çözündürme ile yaşlandırma işlemlerinin ardından taramalı elektron mikroskobu ile görüntüleri sağlanmış ve bu görüntüler üzerinden de EDS analizleri ile hem alaşım element dağılımı hem de mikrofazların cinsi belirlenmeye çalışılmıştır. EDS analizleri için yüksek büyütmelerdeki görüntüler kullanılmıştır. Isıl işlem sonrası numunelere uygulanan bu analizler ile mikroyapıdaki Al, O, Cu ve C gibi alaşım elementlerinin dağılımları tespit edilmiştir.

Bu çalışmada mikroyapı incelemeleri sırası ile şu şekilde gerçekleştirilmiştir.

- Ham (ısıl işlem görmemiş) mikroyapı görüntüleme
- Çözündürme öncesi (sinterleme sonrası) mikroyapı görüntüleme
- Çözündürme sonrası (7 saat çözündürme) mikroyapı görüntüleme
- Yaşlandırma sonrası (450 dakikalık süre sonunda) mikroyapı görüntüleme

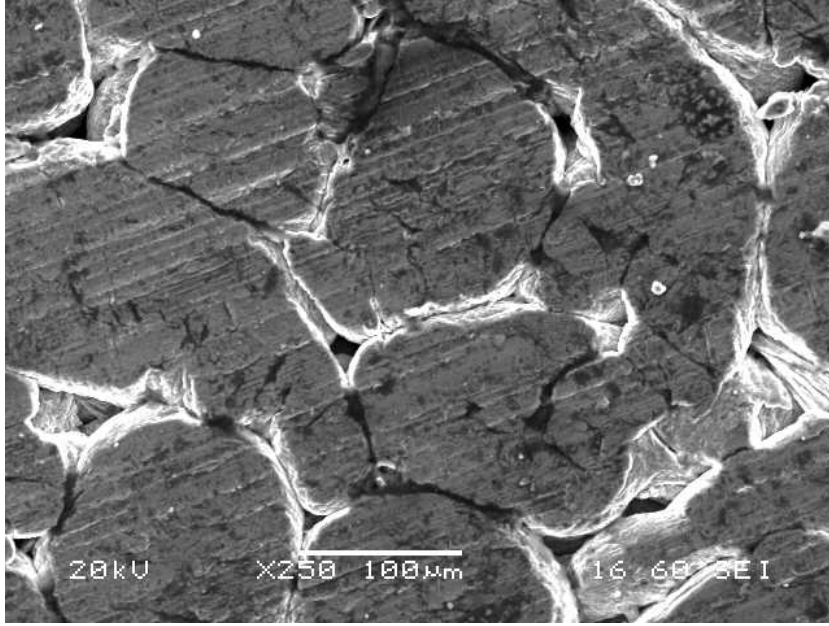
Bu mikroyapı incelemeleri ile Al_4C_3 ' ün dağılımı belirlenmiş, ısıl işlemler sonrası matris yapı ile etkileşimine bakılmıştır. Al_4C_3 ' ün toz boyutu hakkındaki bilgiye SEM ile ulaşılmış ve ortalama tane boyutu $\sim 5 \mu m$ olarak belirlenmiştir (Resim 7.1). Aynı zamanda bu mikroyapı fotoğraflarında Al_4C_3 ' ün keskin köşeli düzensiz şekilli bir yapıya sahip olduğu anlaşılmaktadır.



Resim 7.1. Takviye tozu olarak kullanılan Al₄C₃' ün SEM görüntüsü

7.1.1. Presleme işlemi sonrası mikroyapı

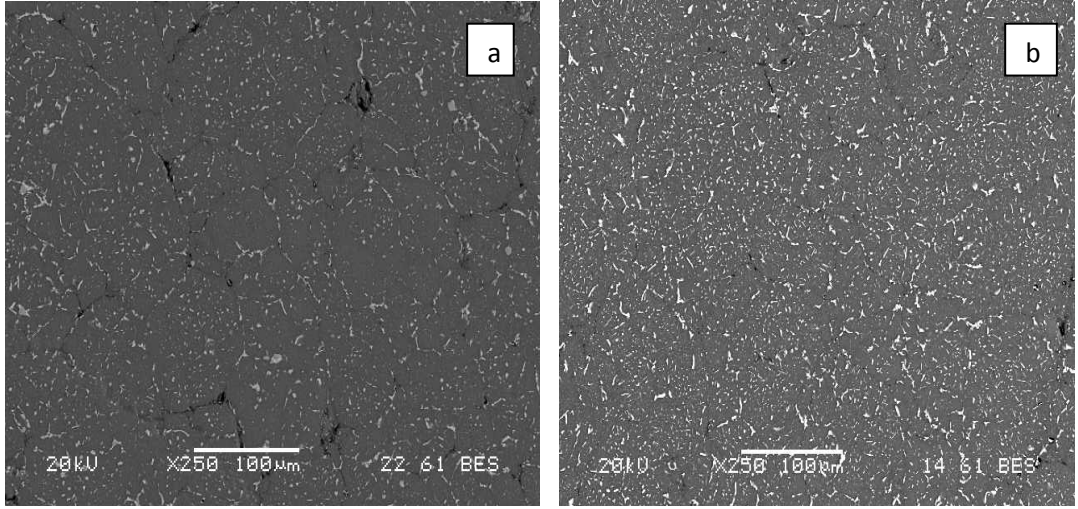
Tozlara sıcak ve soğuk olmak üzere, iki farklı presleme işlemi tek yönlü olarak uygulanmıştır. 53 μm toz boyutundaki saf AA 2014 alaşımının presleme sonrası mikroyapı görüntüsü Resim 7.2' de verilmiştir. Resimde tane sınırları belirgin halde görülmektedir. Tane içlerinde ve tane sınırlarında ise gözeneklerin varlığı söz konusudur. Aynı zamanda tane sınırlarında beklenildiği gibi bir difüzyon söz konusu olmayıp sadece mekanik bir kenetlenme mevcuttur.



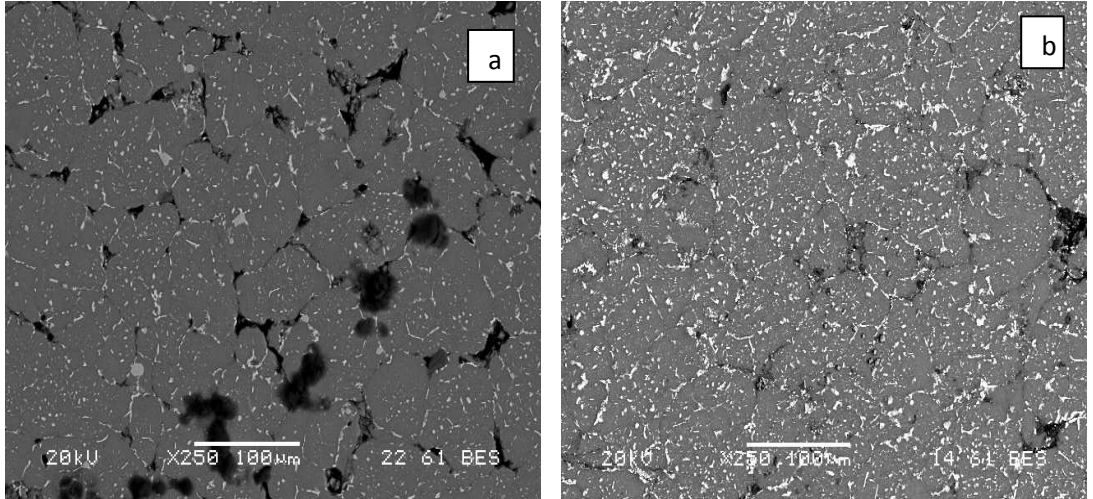
Resim 7.2. Soğuk presleme sonrası ham numune mikroyapısı

7.1.2. Sinterleme sonrası mikroyapı

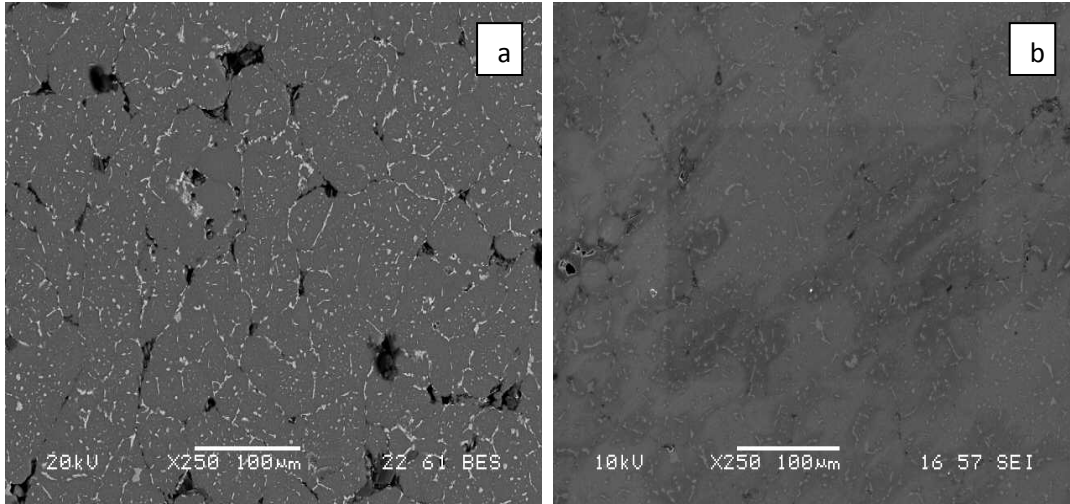
Sıcak ve soğuk presleme yöntemi ile üretilen numunelere 580 °C’ de 1 saat sinterleme işlemi uygulanmıştır. Farklı oranlarda Al_4C_3 içeren numunelerin mikroyapıları incelenmiştir. Resim 7.3-7.6’ da Al_4C_3 oranlarına göre üretilen numunelerin sinterleme sonrası mikroyapıları verilmiştir. Yüksek oranda büyütülmüş bazı görüntüler üzerinden de EDS analizleri yapılmıştır (Resim 7.7-7.8).



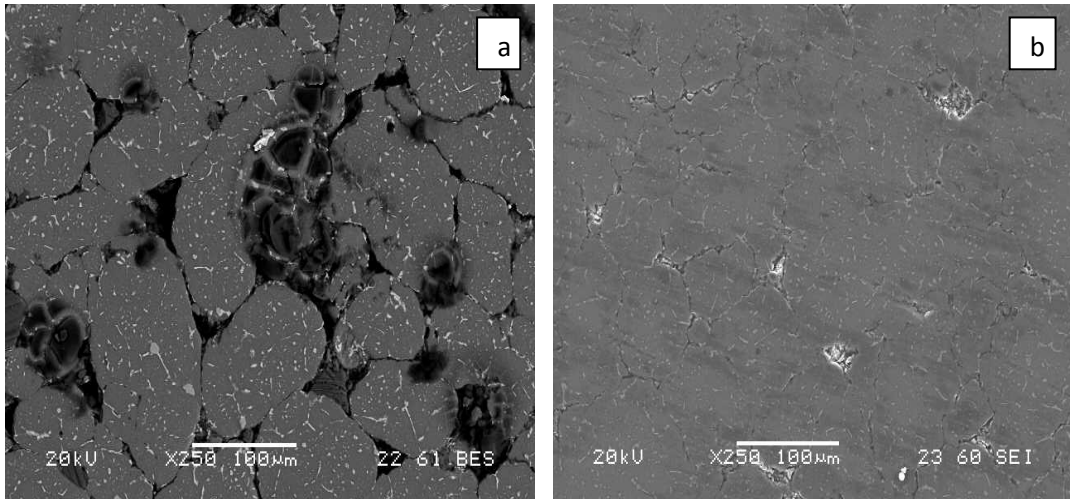
Resim 7.3. Takviye yapılmamış numunelerin sinterleme sonrası SEM mikroyapıları (a) sıcak preslenmiş, (b) soğuk preslenmiş



Resim 7.4. %1 Al_4C_3 takviyeli numunelerin sinterleme sonrası SEM mikroyapıları (a) sıcak preslenmiş, (b) soğuk preslenmiş



Resim 7.5. %2 Al_4C_3 takviyeli numunelerin sinterleme sonrası SEM mikroyapıları
(a) sıcak preslenmiş, (b) soğuk preslenmiş



Resim 7.6. %4 Al_4C_3 takviyeli numunelerin sinterleme sonrası SEM mikroyapıları
(a) sıcak preslenmiş, (b) soğuk preslenmiş

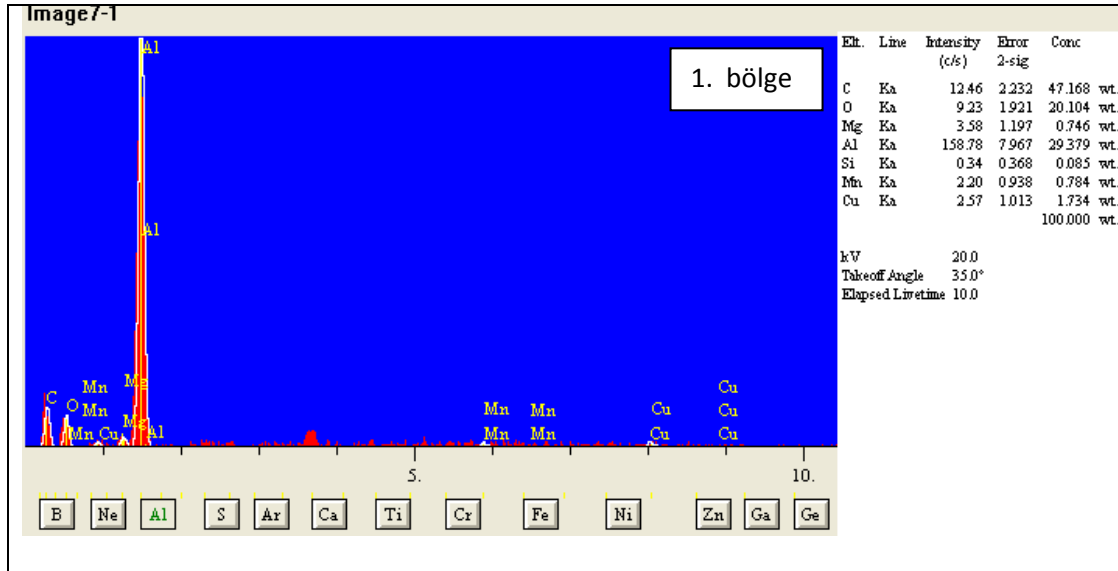
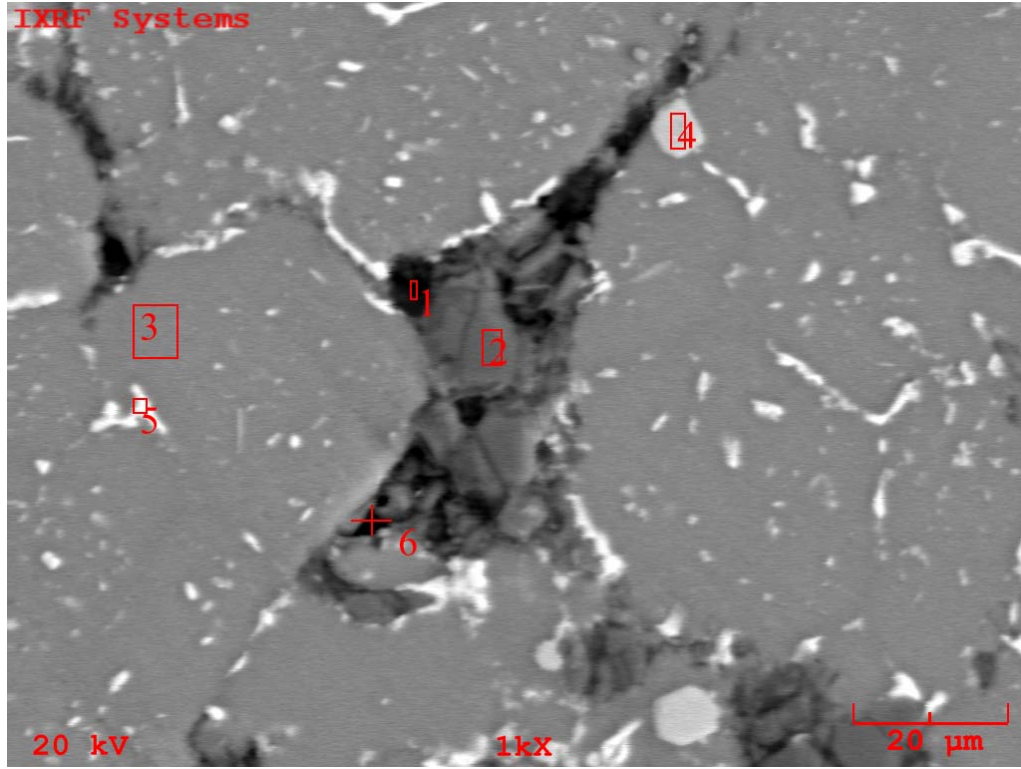
Resim 7.2’ de sinterleme öncesi ile Resim 7.3-7.6’ daki sinterleme sonrası mikroyapıları karşılaştırıldığında, sinterleme işleminin tüm numunelerde toz taneleri birleştirme işlevini yerine getirdiği boyunlaşmalar ile gözeneklerin ufalma durumundan anlaşılmaktadır. Resim 7.4-7.6’ da bulunan sıcak presleme ile üretilen numunelerde Al_4C_3 takviye malzeme miktarı arttıkça bu durum tane sınırlarını daha belirgin hale getirmiştir. Resim 7.6 (a)’ daki sıcak pres ile üretilen %4 Al_4C_3 takviyeli numunenin mikroyapı görüntüsünde, gözenekler tane sınırlarında ve geometrik şekle benzer olmakla birlikte tane sınırlarının en belirgin olduğu

numunedir. Bu durumda yapının takviye elemanını daha fazla miktarda kabul edemeyeceği anlaşılmaktadır. Resim 7.3’ de bulunan sıcak ve soğuk preslenmiş takviye yapılmamış numunelerin SEM mikroyapıları karşılaştırıldığında, soğuk presleme ile üretilen numunedeki gözenek miktarının sıcak pres ile üretilen numuneye göre daha az olduğu görülmektedir. Ayrıca soğuk preslenmiş numunede sıcak preslenen numuneye göre çökeltiler homojen dağılmış ve miktar olarak daha fazladır.

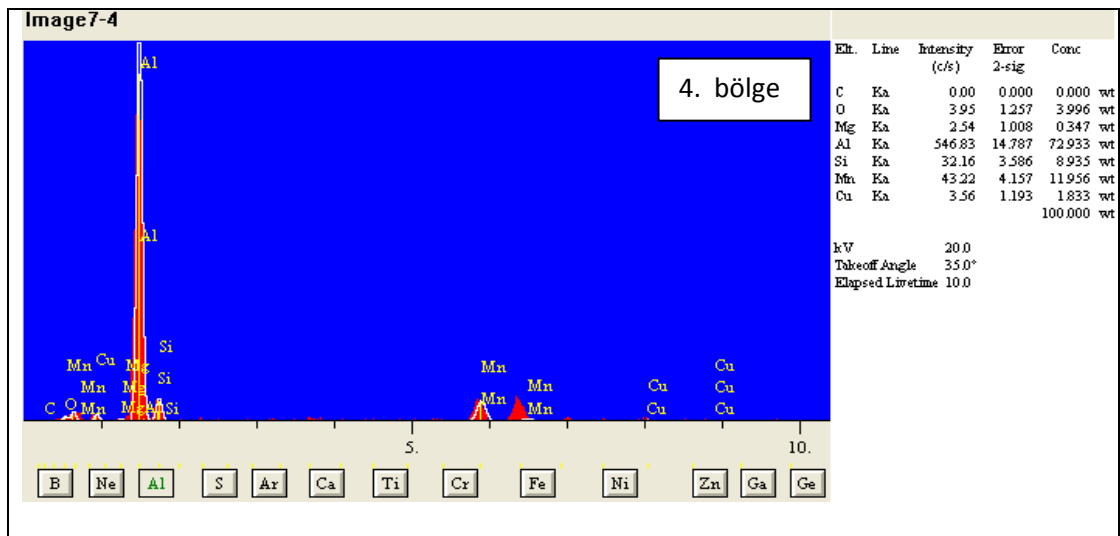
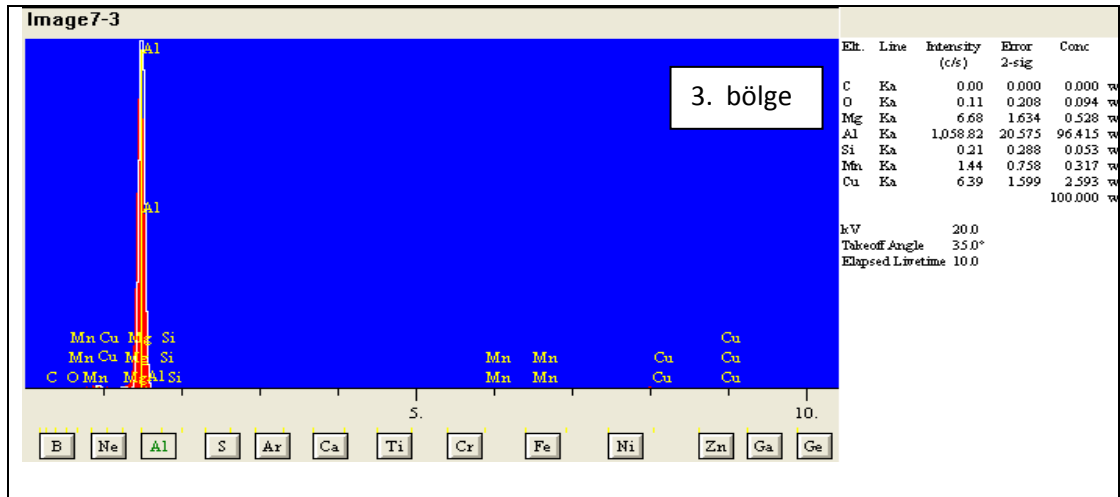
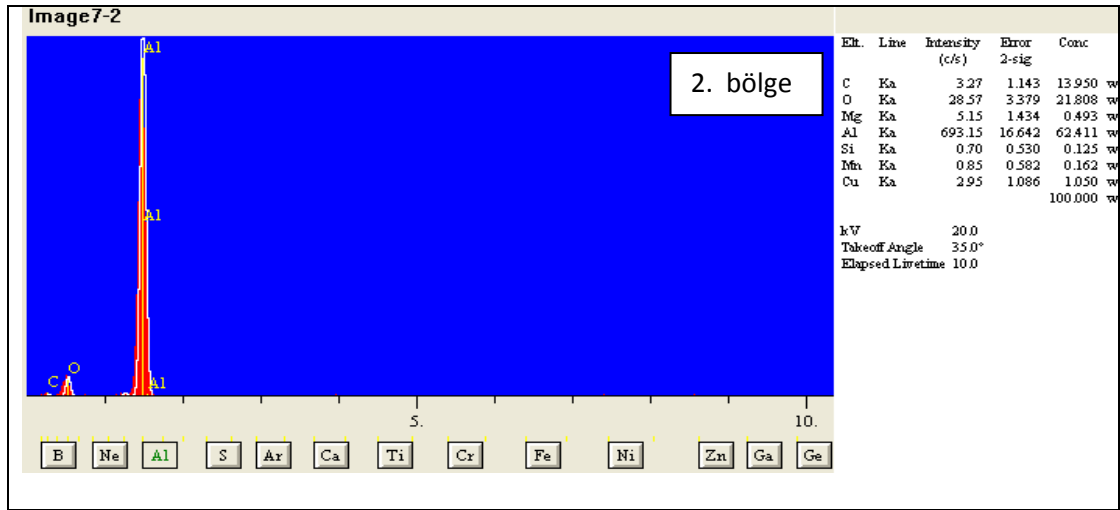
Sinterleme sonrası mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde, Al_4C_3 takviye malzeme oranı arttıkça gözenek oluşumları daha da artmış ve yapıdaki çökeltiler hem boyut olarak küçülmüş, hem de miktar olarak azalmıştır. Tane sınırlarında bulunan bu dengesel çökeltilerin miktarının azalması hem çökeltilerin zararlı etkisinin azalması hem de matris yapıda kimyasal bileşimin homojen dağılması bakımından olumludur. Ancak ilave edilen takviye elemanına bağlı olarak gözenek miktarının artması ise mekanik performansa zarar vermesi dahilindedir.

Genel anlamda sinterleme sonrası numunelerde beyaz renkli görülen çökeltiler yoğun olarak bulunmaktadır. Bu çökeltilerin EDS incelemeleri sonucu Al_2Cu bileşiği olduğu düşünülmektedir. Üretilen numunelere yüksek sinterleme sıcaklığı uygulandığı için, resimlerde yapının homojen dağılımlı olduğu görülmektedir.

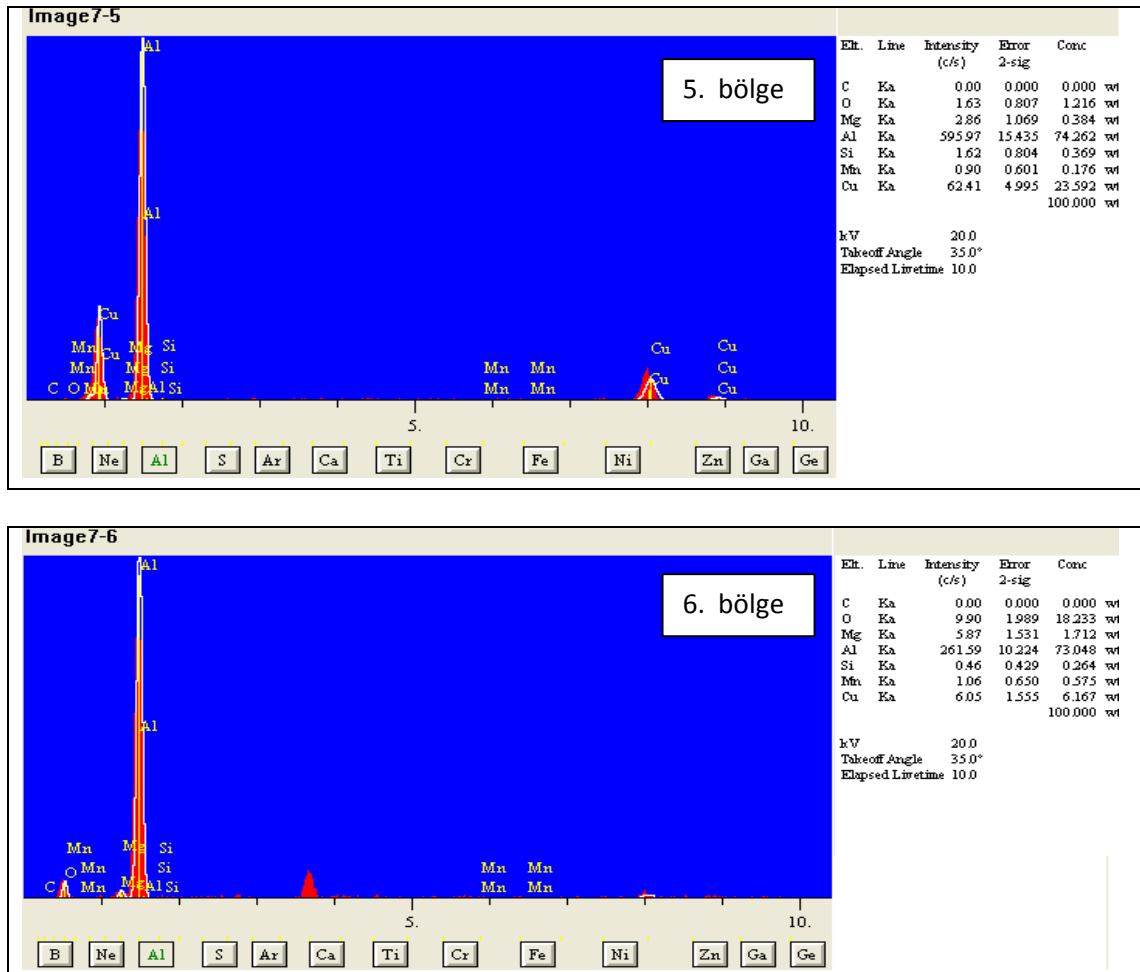
Resim 7.7’ de $580\text{ }^{\circ}C$ ’ de 1 saat sinterlenmiş, sıcak presleme ile üretilen % 1 Al_4C_3 takviyeli numunenin SEM görüntüsü üzerinden EDS analizi yapılmıştır. 1 numaralı bölgenin yüksek miktarda C içerdiği görülmektedir. Taneler arasındaki 2 numaralı gri renkli bölgede Al miktarı C ve O’ e göre daha fazladır. Bu oranlar ile Al_4C_3 tozlarının matris yapı içinde tamamen dağılmadığı ifade edilebilir. 3 numaralı analiz matris yapı üzerinden alınmış Al yoğunluklu bir bölgedir. 4 ve 5 numaralı beyaz bölgeler üzerinden yapılan analizlerde Al oranları birbirlerine yakın çıkmakla beraber fotoğrafta daha ince görünümlü olan 5 numaralı bölgede Cu miktarı %4’ ün üzerindedir. 5 numaralı bölgede ise sinterleme sonrası Al_2Cu yapısı oluşmuştur.



Resim 7.7. 580 °C’ de 1 saat sinterlenmiş sıcak presleme ile üretilmiş %1 Al_4C_3 takviyeli numunenin SEM görüntüsü ile üzerindeki altı farklı bölgenin EDS analizleri

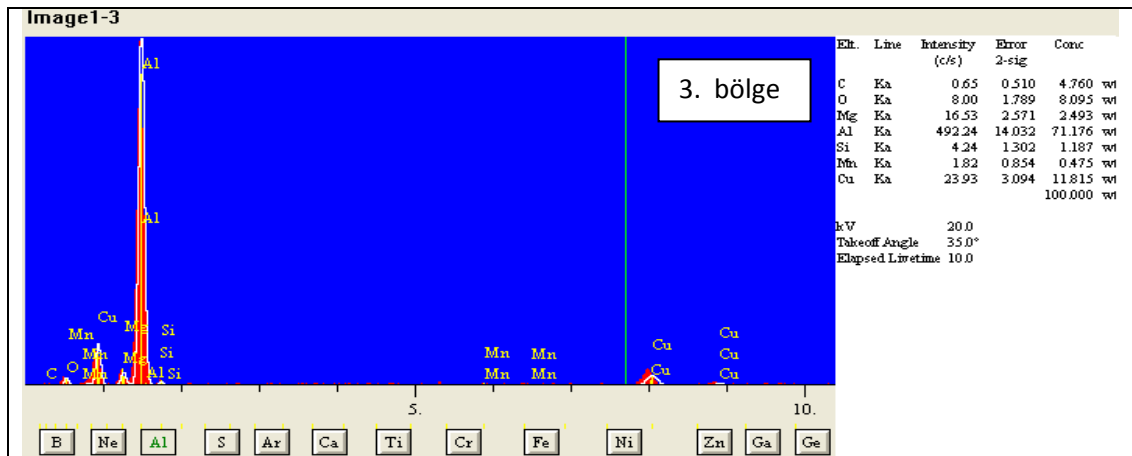
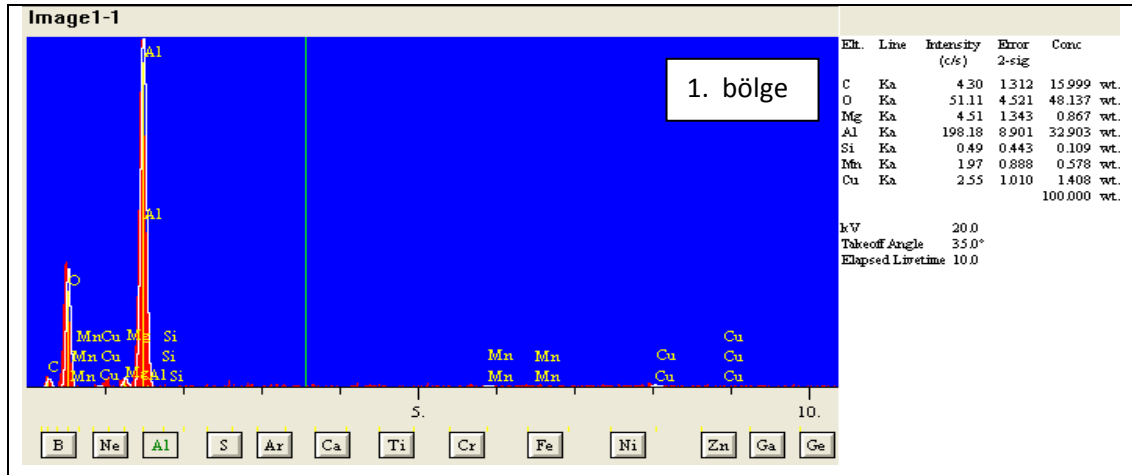
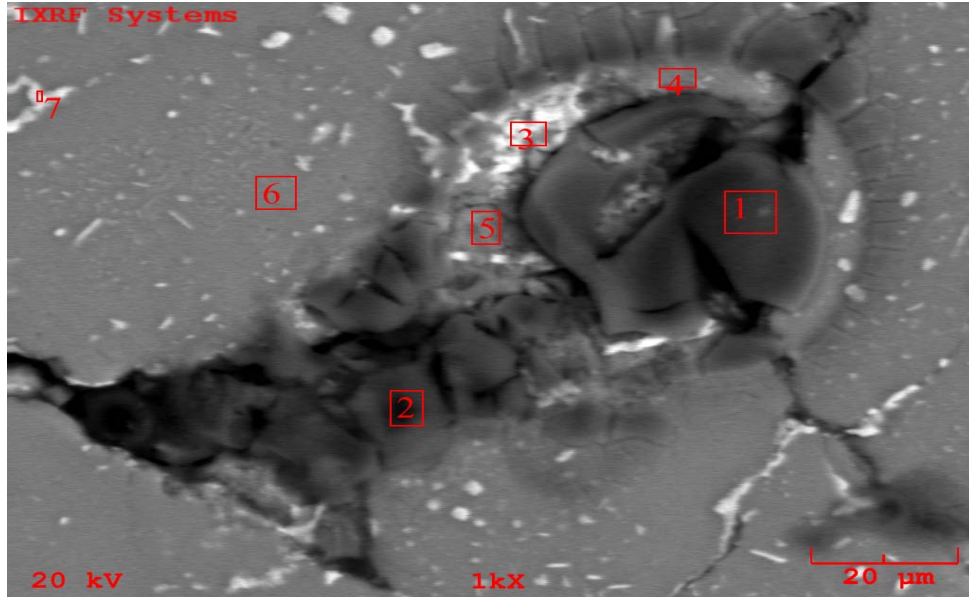


Resim 7.7. (Devam) 580 °C’ de 1 saat sinterlenmiş sıcak presleme ile üretilmiş %1 Al₄C₃ takviyeli numunenin SEM görüntüsü ile üzerindeki altı farklı bölgenin EDS analizleri

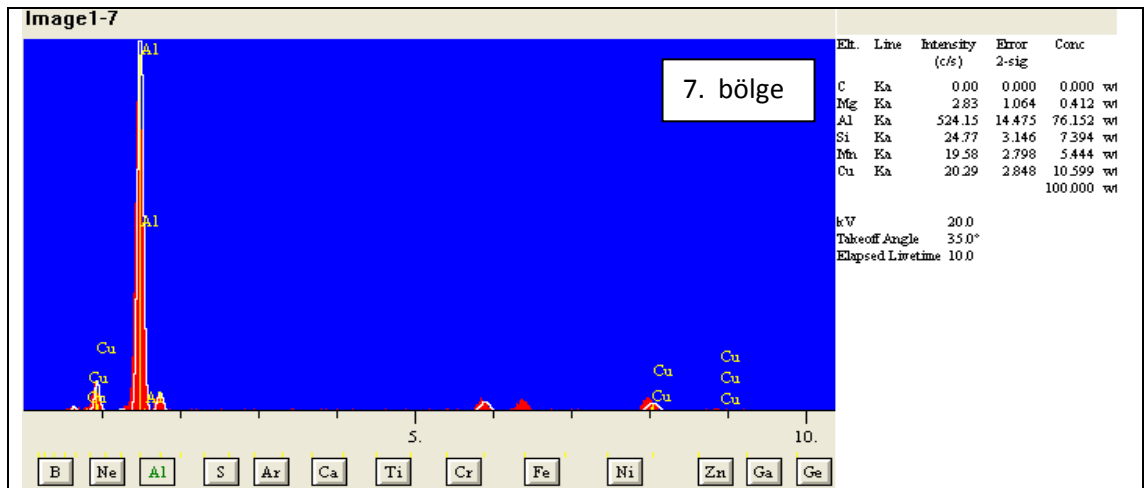
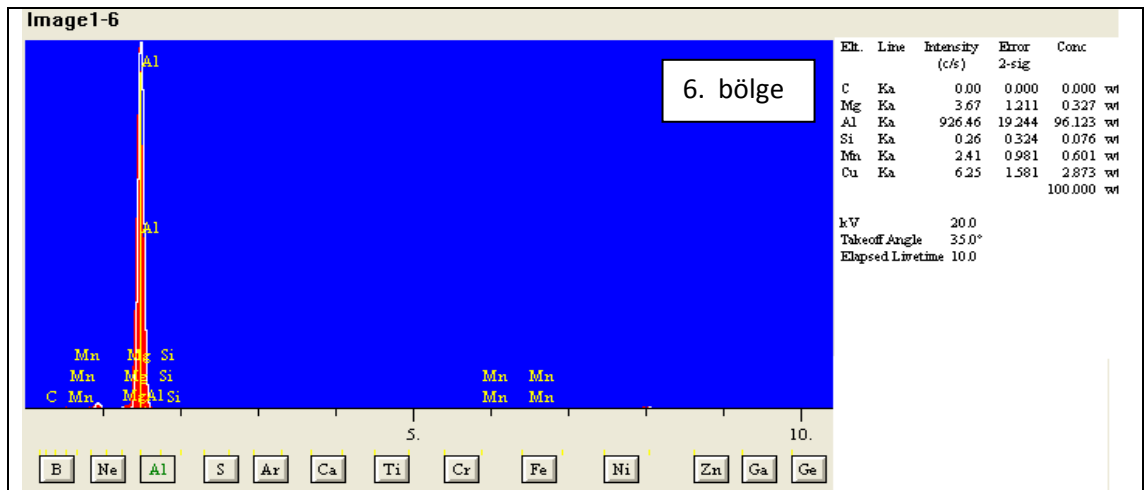
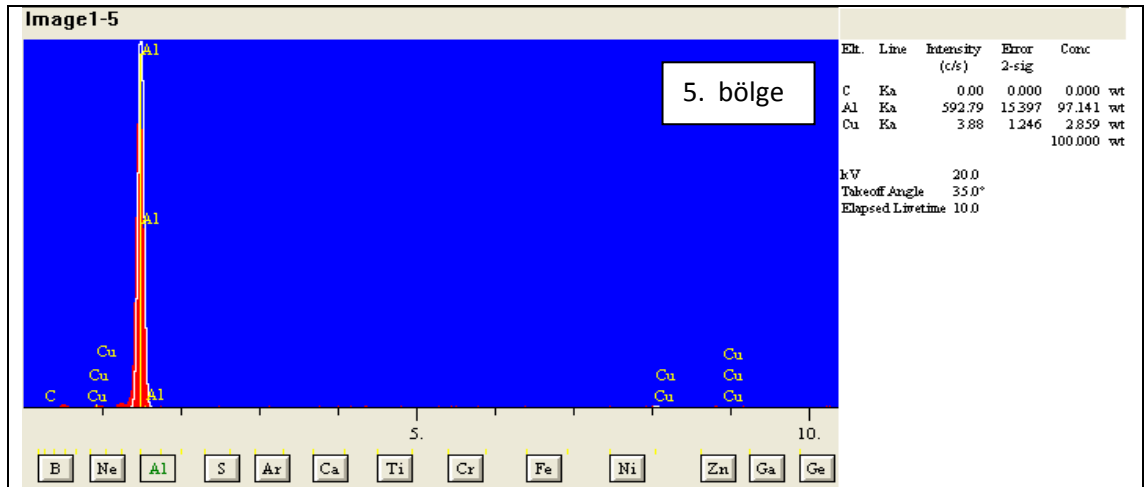


Resim 7.7. (Devam) 580 °C’ de 1 saat sinterlenmiş sıcak presleme ile üretilmiş %1 Al_4C_3 takviyeli numunenin SEM görüntüsü ile üzerindeki altı farklı bölgenin EDS analizleri

Resim 7.8’ de 580 °C’ de 1 saat sinterlenmiş sıcak presleme ile üretilmiş % 4 Al_4C_3 takviyeli numunenin SEM görüntüsü üzerinde yapılan EDS analizine göre 1 numaralı bölgede C oranı yaklaşık % 15, O oranı ise yaklaşık % 40 bulunmuştur, yani bu bölgede oksitlenmenin varlığından bahsedilmektedir. 3 numaralı bölgeden alınan EDS analizine göre Cu miktarı %11 olup C ise %4 seviyesindedir. Yüzdelik değerlere göre bu bölgede Al_4C_3 ’ ün az miktarda bulunduğu ifade edilir. 5 ve 6 numaralı bölgelerde yüksek oranda Al olmakla beraber % 2 oranında Cu elementi görülmektedir. Al miktarının fazla olması ile 7 numaralı analiz ince yapılı beyaz bölgeden (çökelti üzerinden) alınmış ve Cu miktarı yüksek çıkmıştır ve bu ise $CuAl_2$ intermetalığının göstergesidir.



Resim 7.8. 580 °C’ de 1 saat sinterlenmiş sıcak pres ile üretilmiş %4 Al_4C_3 takviyeli numunenin SEM görüntüsü ile üzerindeki beş farklı bölgenin EDS analizleri



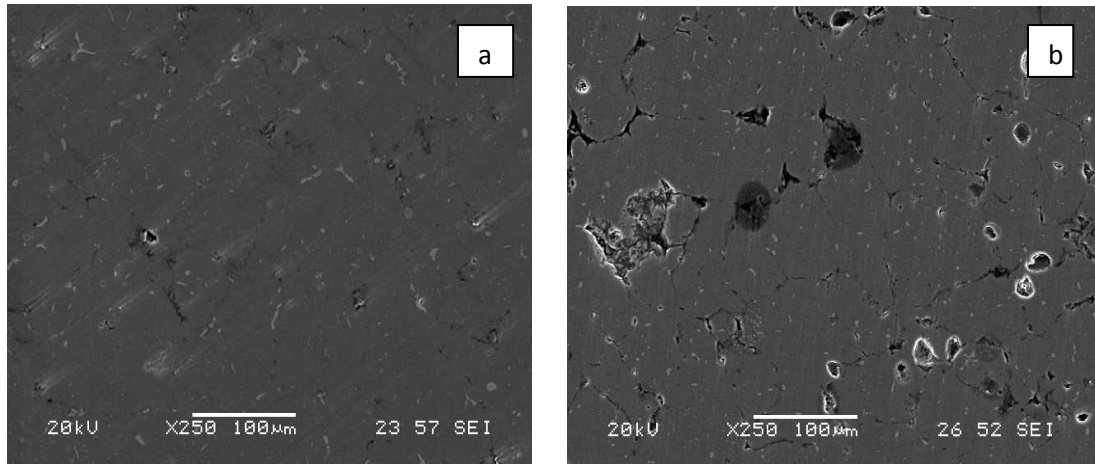
Resim 7.8. (Devam) 580 °C’ de 1 saat sinterlenmiş sıcak pres ile üretilmiş %4 Al_4C_3 takviyeli numunenin SEM görüntüsü ile üzerindeki beş farklı bölgenin EDS analizleri

Tüm deney numunelerinde alüminyum oksit oluşturma eğilimi yüksek olduğundan bu çalışmada bir problem olmuştur. Oksitlenmeyi en aza indirmek düşüncesi ile sinterlemede Argon gaz atmosfer kontrollü fırın kullanılmıştır, fakat yine de EDS analizlerinde yüksek oranda oksijene rastlanmıştır (Resim 7.8).

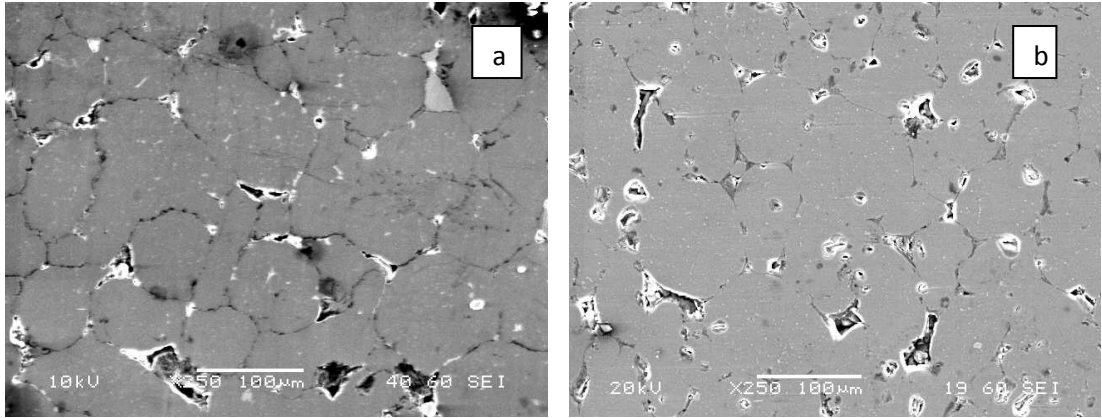
7.1.3. Çözündürme sonrası mikroyapı

Sinterleme sonrası numunelere yapılan ön çalışmalar sonucu belirlendiği üzere 7 saat çözündürme işlemi uygulanmıştır. Çözündürme zamanı numunelerdeki sertlik ve mikroyapıdaki çökelti durumları incelenerek belirlenmiştir. Şöyle ki Resim 7.3’ de mikroyapısından da görüldüğü gibi sinterleme sonrası özellikle tane sınırlarında Cu-Al intermetalik çökeltilerin varlığı söz konusudur. Sözü edilen bu çökeltilerde Resim 7.7’ deki (5. bölge) EDS analizi ile belirlenmiştir. Tane sınırlarında çözündürme öncesi, görülen beyaz renkli bu çökeltilerin 7. saat çözündürme sonunda hemen hemen ortadan kalktığı anlaşıldı (Resim 7.9). Böylece tamamen çözündürme işlemi 7 saatte gerçekleşmiş oldu.

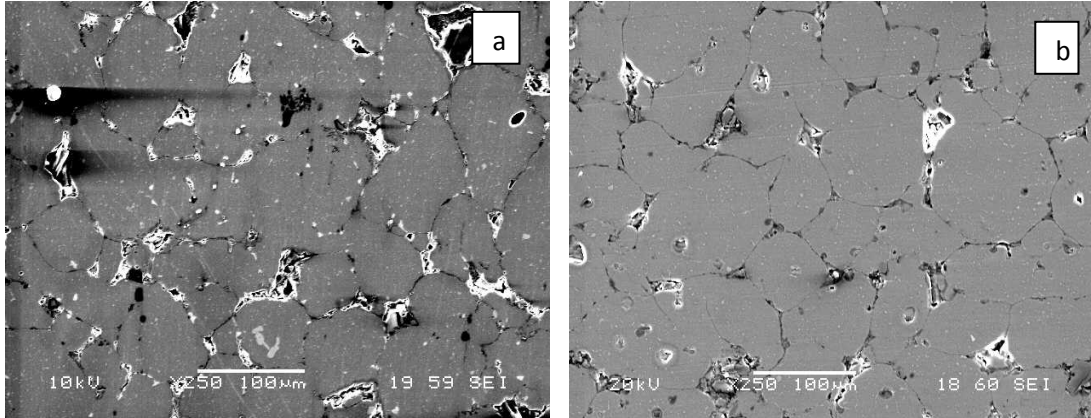
Resim 7.9-7.12’ de 7 saat çözündürme sonrası mikroyapısında gözenekler ve intermetalik içermeyen (beyaz renkli alan) tane sınırları görülmektedir. 7 saat çözündürme işlemi sonrası çökeltiler, tüm numunelerde sinterleme sonrası çökeltilere göre daha da azalmıştır.



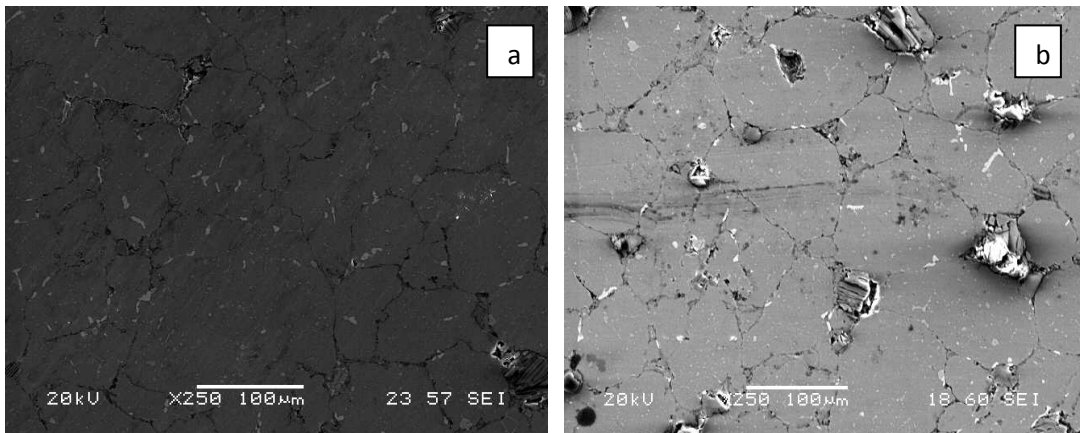
Resim 7.9. 7 saat çözündürme işlemi sonrası takviyesiz AA 2014 malzemenin SEM görüntüleri (a) sıcak preslenmiş numune, (b) soğuk preslenmiş numune



Resim 7.10. 7 saat çözündürme işlemi sonrası %1 Al_4C_3 takviyeli malzemenin SEM görüntüleri (a) sıcak preslenmiş numune, (b) soğuk preslenmiş numune



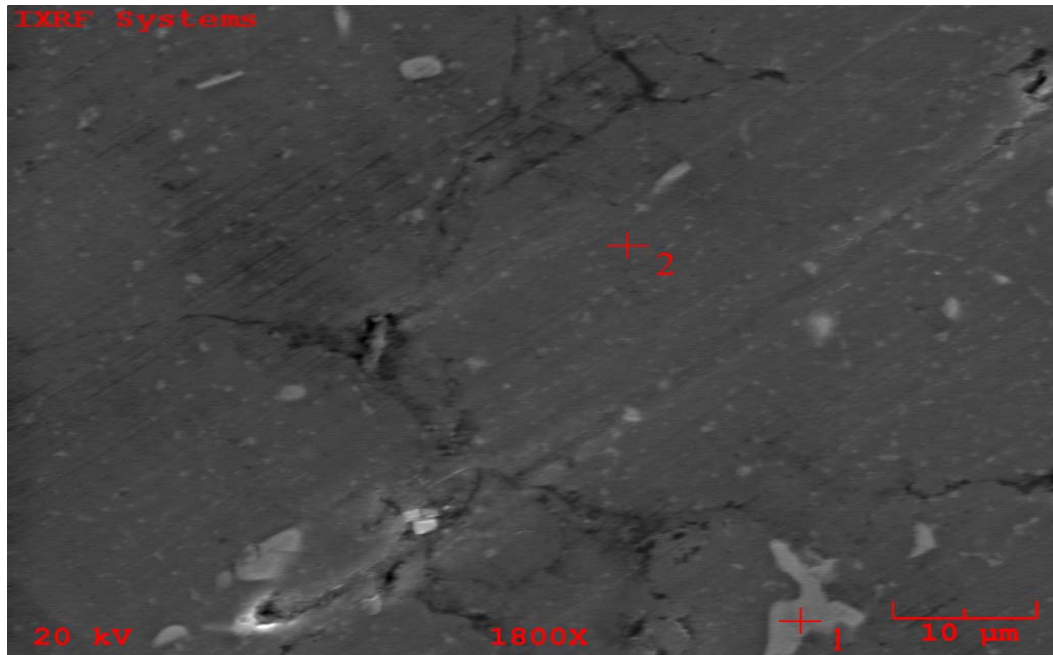
Resim 7.11. 7 saat çözündürme işlemi sonrası %2 Al_4C_3 takviyeli malzemenin SEM görüntüleri (a) sıcak preslenmiş numune, (b) soğuk preslenmiş numune



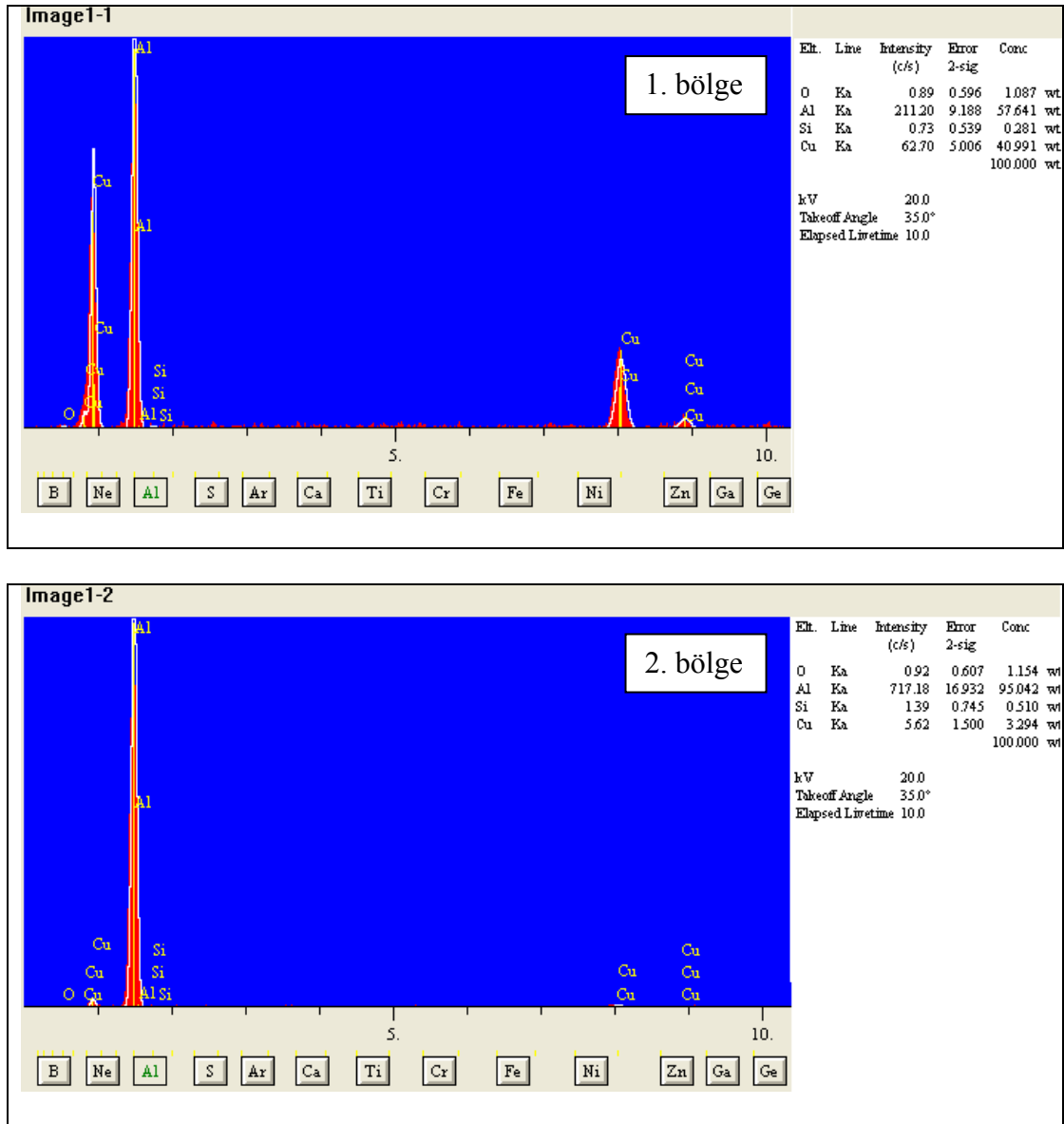
Resim 7.12. 7 saat çözündürme işlemi sonrası %4 Al_4C_3 takviyeli malzemenin SEM görüntüleri (a) sıcak preslenmiş numune, (b) soğuk preslenmiş numune

Çözündürme sonrası görüntülerde takviyeli numunelerdeki tane sınırları takviyesiz olanlara göre daha belirgindir. Bu noktada Al_4C_3 ' ün yapıdaki etkisi açıkça görülmektedir. Gözeneklilik durumu ise %1 ve %2 Al_4C_3 içeren numunelerde daha yoğundur.

Çözündürme sonrası sıcak presleme ile üretilen takviyesiz AA 2014 alaşımının yüksek büyütmedeki SEM görüntüsü üzerinden (Resim 7.13) EDS analizi yapılmıştır. Yapıdaki beyaz renkte görülen çökeltinin büyüklüğü dikkat çekmektedir. 1 numaralı analiz büyük beyaz bölge üzerinden alınmış ve yüksek miktarda Cu oranına rastlanmıştır. Bu tür çökeltilerin büyüklüğü ve oranı yaşlandırılabilen Al alaşımlarında mekanik özellik ve performans açısından son derece önemlidir.

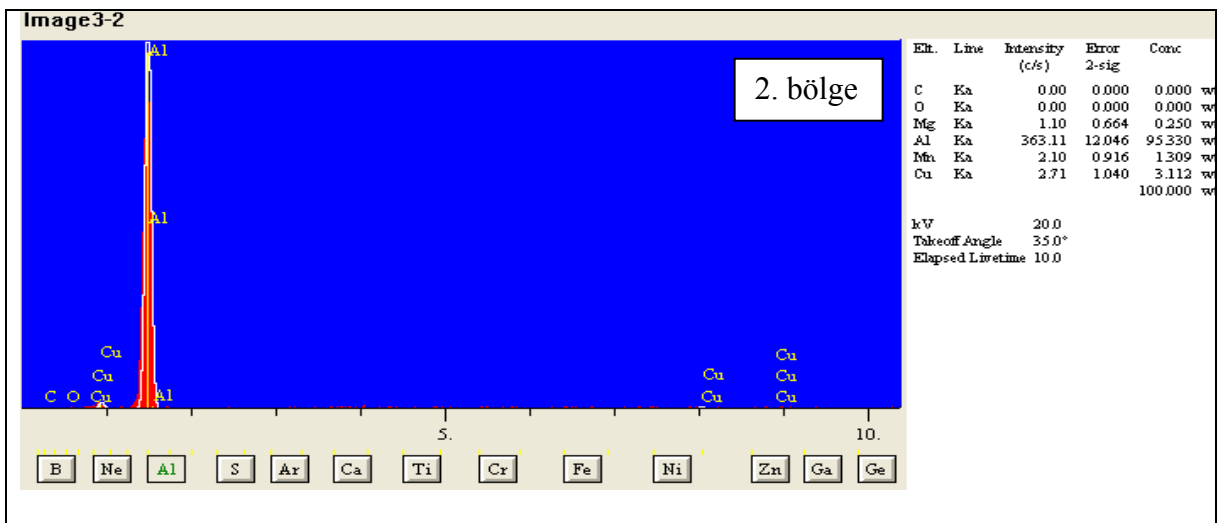
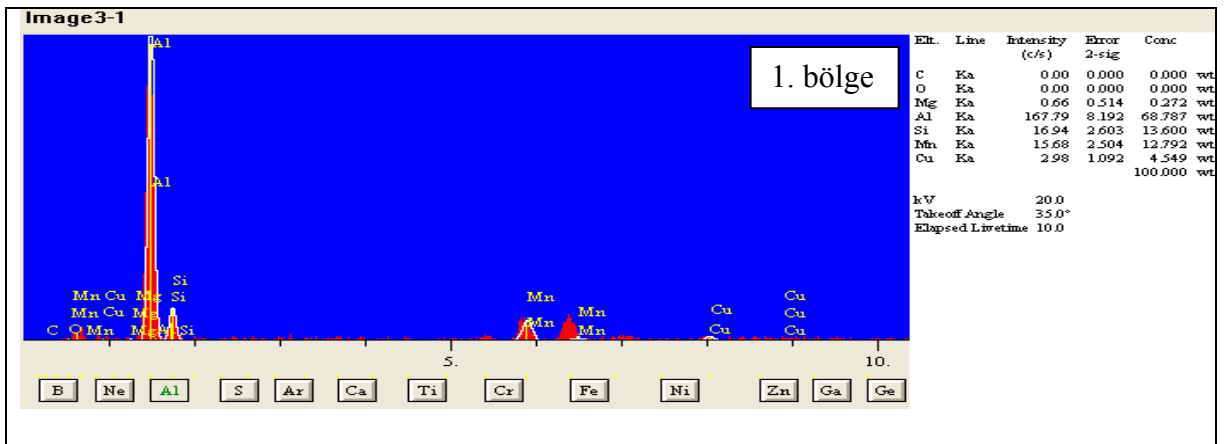
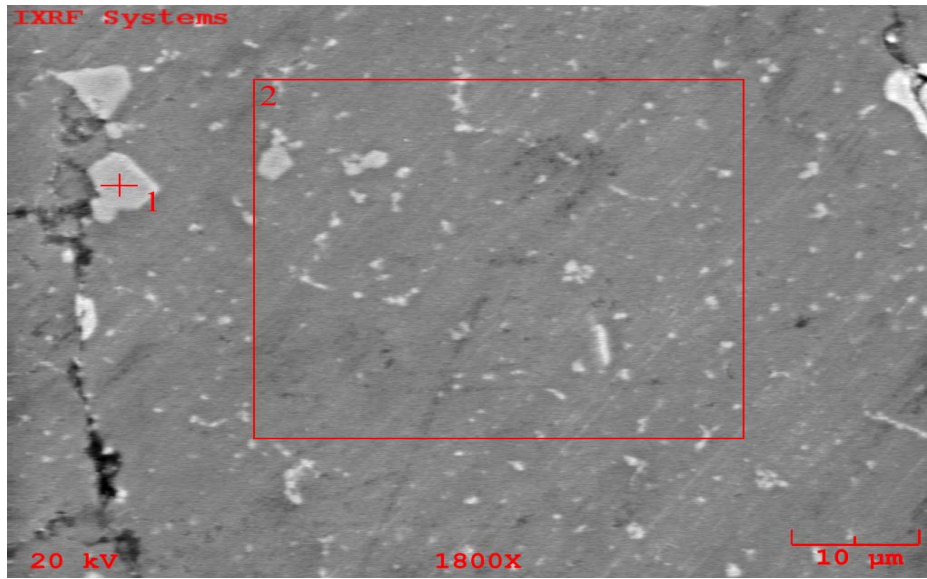


Resim 7.13. 7 saat çözündürme sonrası sıcak presleme ile üretilen takviyesiz AA 2014 alaşımının SEM görüntüsü ile EDS analizleri



Resim 7.13. (Devam) 7 saat çözündürme sonrası sıcak presleme ile üretilen takviyesiz AA 2014 alaşımının SEM görüntüsü ile EDS analizleri

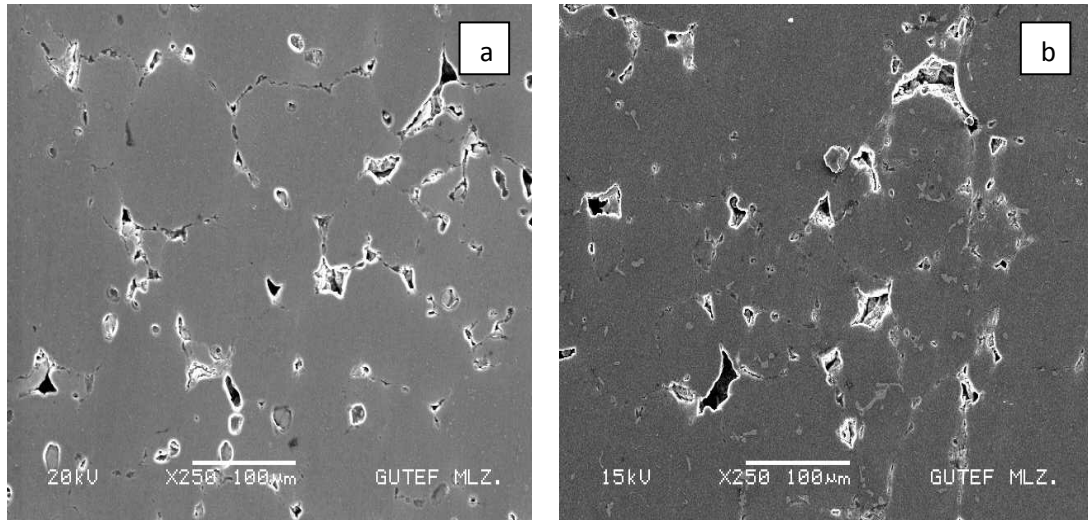
Resim 7.14' de gösterilen SEM resmi üzerinde 1 numaralı bölge üzerinden alınmış EDS sonucuna göre %4' ün üzerinde Cu bulunmakla beraber yüksek miktarda Al bulunmaktadır. 2 numaralı bir alandan yapılan EDS analizi sonucuna göre yüksek miktarda Al ile %3 Cu belirlenmiştir.



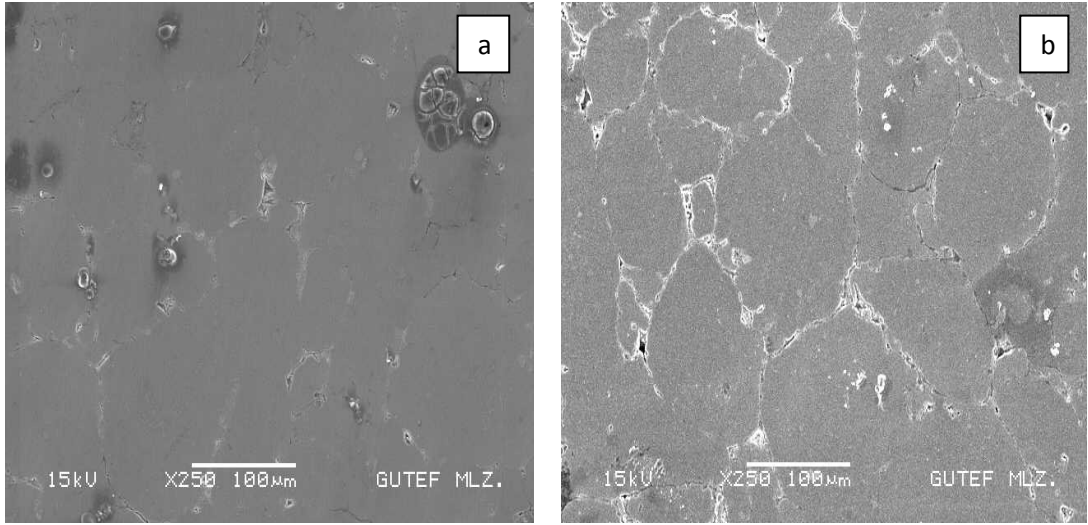
Resim 7.14. 7 saat çözündürme sonrası sıcak presleme ile üretilen %4 Al_4C_3 takviyeli malzemenin SEM görüntüsü ve farklı bölgelerdeki EDS analiz sonuçları

7.1.4. Yaşlandırma sonrası mikroyapı

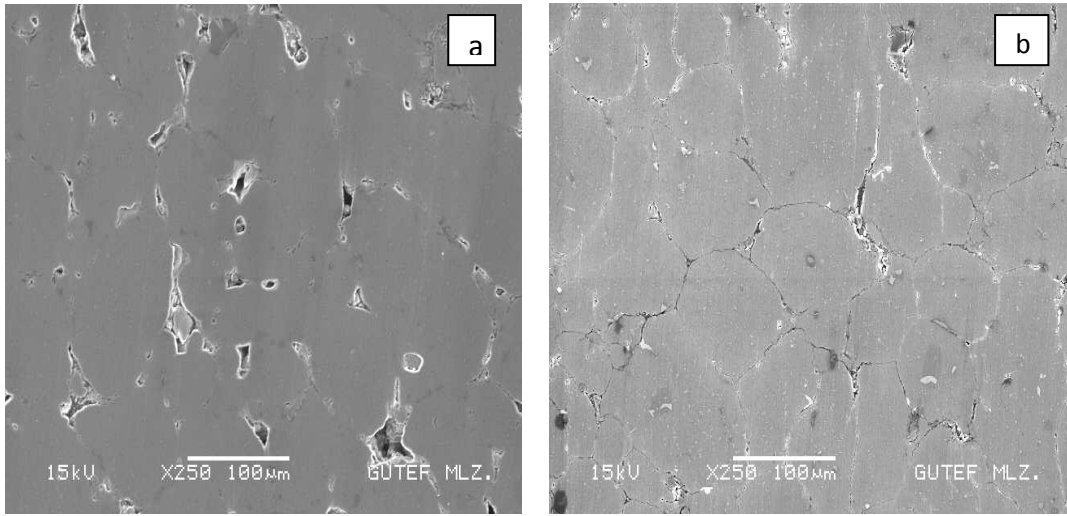
Çözündürme işleminden sonra numunelere yaşlandırma ısı işlemleri uygulanmış ve mikroyapıdaki değişimler gözlenmiştir. Yaşlandırma işlemleri 190 °C’ de 60-720 dk aralıklardaki sürelerde suni olarak yapılmıştır. Yaşlandırma işleminde mikroyapı görüntüleri almadan önce ve farklı yaşlandırma süreleri sonunda numuneler hem dağlanmış hem de sertlikleri belirlenerek yaşlandırma süreçleri tespit edilmiştir. Sıcak ve soğuk presleme yapılan numunelerin 450 dk (7,5 saat) yaşlandırma sonrası SEM görüntüleri Resim 7.15-7.18’ de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



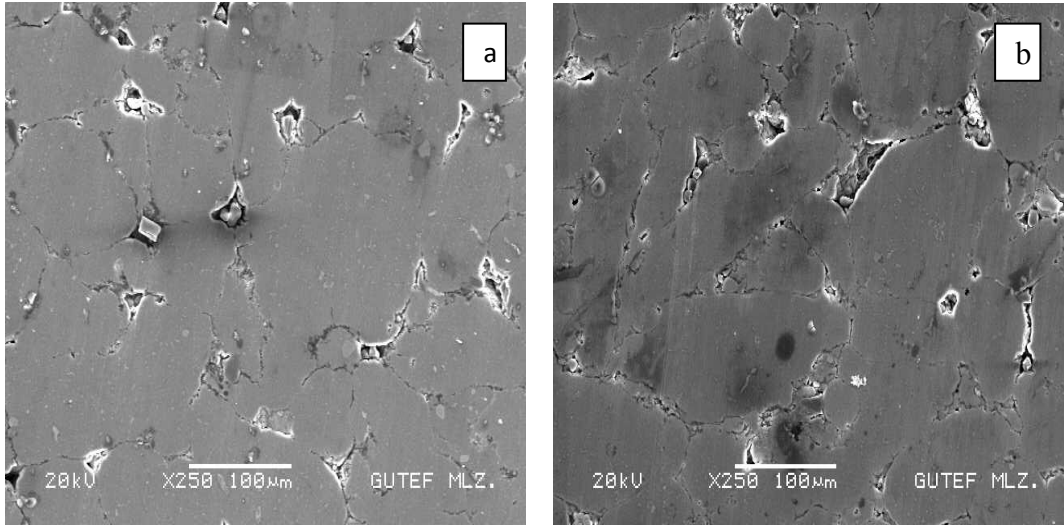
Resim 7.15. 7,5 saat yaşlandırma işlemi sonrası saf AA 2014 malzemenin SEM görüntüleri (a) sıcak presleme ile üretilen numune, (b) soğuk presleme ile üretilen numune



Resim 7.16. 7,5 saat yaşlandırma işlemi sonrası %1 Al_4C_3 takviyeli malzemenin SEM görüntüleri (a) sıcak presleme ile üretilen numune, (b) soğuk presleme ile üretilen numune



Resim 7.17. 7,5 saat yaşlandırma işlemi sonrası %2 Al_4C_3 takviyeli malzemenin SEM görüntüleri (a) sıcak presleme ile üretilen numune, (b) soğuk presleme ile üretilen numune

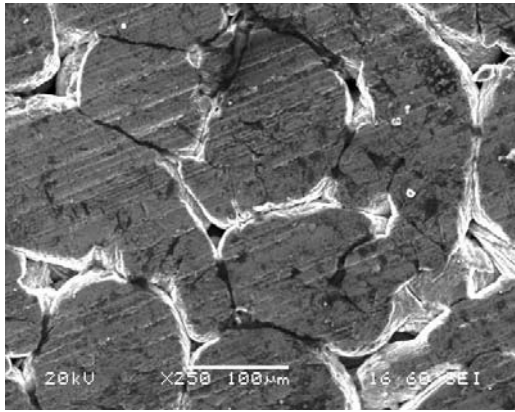


Resim 7.18. 7,5 saat yaşlandırma işlemi sonrası %4 Al_4C_3 takviyeli malzemenin SEM görüntüleri (a) sıcak presleme ile üretilen numune, (b) soğuk presleme ile üretilen numune

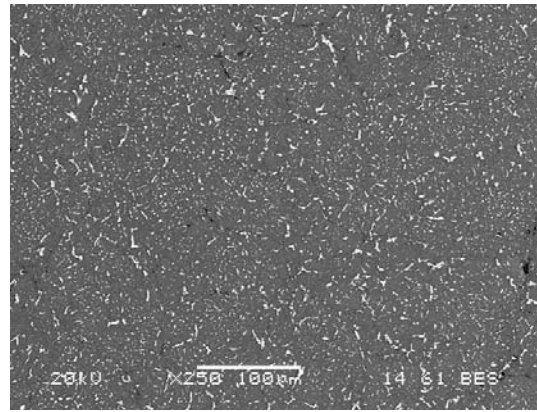
Resim 7.15’ de verilen 7,5 saat yaşlandırma işlemi sonrası saf AA 2014 malzemenin SEM görüntülerinde de görüldüğü gibi sıcak ve soğuk presleme ile üretilen numunelerde, gözenek miktarı oldukça fazladır. Ayrıca hem takviyesiz numunelerde hem de sıcak preslenmiş numunelerde tane sınırları diğer numunelere göre daha az belirgindir. Diğer bir anlamda bu numunelerde toz taneleri arasında daha iyi bir difüzyonun varlığı söz konusudur. Bu tane sınırlarının oluşumunda takviye malzemenin önemli olduğu anlaşılmaktadır. Benzer durum 7 saat çözündürme sonrası SEM görüntülerinde de mevcuttur. Resim 7.16’ da 7,5 saat yaşlandırma işlemi sonrası %1 Al_4C_3 takviyeli malzemenin SEM görüntülerinde sıcak ve soğuk presleme ile üretilen numunelerdeki gözenek miktarlarının takviyesiz numunelere göre azaldığı görülmektedir. Resim 7.17’ de 7,5 saat yaşlandırma işlemi sonrası %2 Al_4C_3 takviyeli malzemenin SEM görüntülerinde soğuk pres ile üretilen numunede tane sınırları sıcak pres ile üretilene göre daha belirgindir. Ayrıca Resim 7.16 (b)’ de verilen soğuk presleme ile üretilen numunenin tane sınırlarında bulunan beyaz bölgeler, Resim 7.17 (b)’ de verilen % 2 Al_4C_3 takviyeli numuneye göre azaldığı görülmektedir. Resim 7.18’ de ise 7,5 saat yaşlandırma işlemi sonrası %4 Al_4C_3 takviyeli malzemenin SEM görüntülerinde boşluklar ve çatlak oluşumlarına neden olan Al_4C_3 ’ ler dikkat çekmektedir. Bu durumda Al_4C_3 miktarının artması bu

alaşımında ve bu çalışmada kullanılan parametreler sonunda, metalurjik yapı bakımından olumsuz sonuç vermektedir.

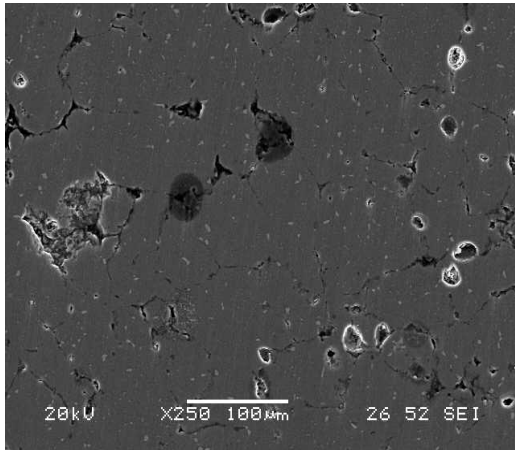
Resim 7.19, 7.20, 7.21 ve 7.22’ de verilen görüntülerde ise soğuk presleme ile üretilen saf AA 2014 malzemenin, presleme aşamasından yaşlandırma işlemlerine kadar geçen süre içinde malzemenin mikroyapısındaki değişimler görülmektedir.



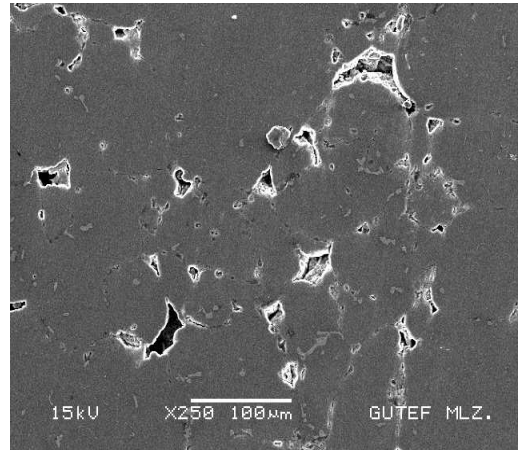
Resim 7.19. Soğuk presleme ile üretilen saf AA 2014 malzemenin presleme işlemi sonrası mikroyapısı



Resim 7.20. Soğuk presleme ile üretilen saf AA 2014 malzemenin sinterleme işlemi sonrası mikroyapısı



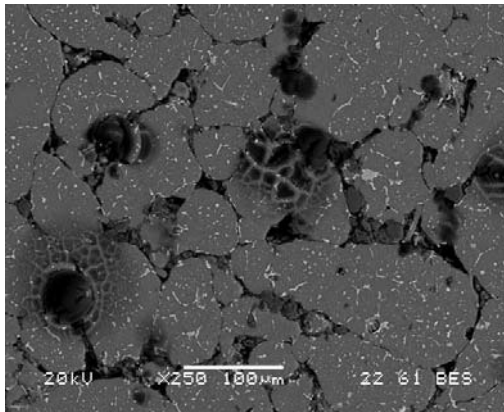
Resim 7.21. Soğuk presleme ile üretilen saf AA 2014 malzemenin 7 saat çözündürme işlemi sonrası mikroyapısı



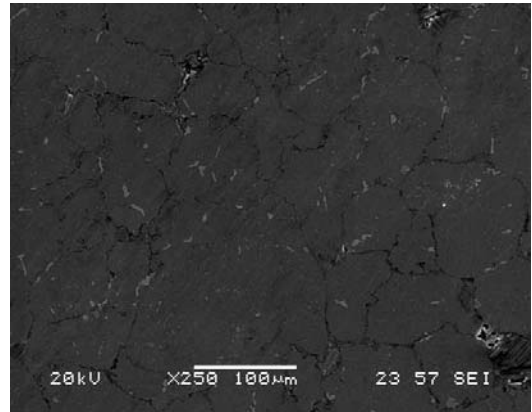
Resim 7.22. Soğuk presleme ile üretilen saf AA 2014 malzemenin 7,5 saat yaşlandırma işlemi sonrası mikroyapısı

Resim 7.19’ da presleme sonrası ısıt işlem görmemiş numunede tane sınırları net görülmektedir. Resim 7.20’ de sinterleme işlemi sonrası taneler birleşmiş ve aralarındaki sınırlar hemen hemen kaybolurken, tane sınırlarında homojen dağılımlı dengeli çökeltiler oluşmuştur. Resim 7.21’ de görüldüğü gibi çözündürme işlemi sonrası tane sınırlarındaki kararlı çökeltiler gözden kaybolmuş ve bu sınırlar arasında kısmen gözenek oluşumları başlamıştır. Resim 7.22’ de 7,5 saat yaşlandırma işlemi ile de gözenek miktar ve boyutlarında artış olduğu görülmekte, ancak yaşlandırma ile oluşan yeni yarı kararlı çökeltilerin varlığı bu büyütme oranından görülememektedir.

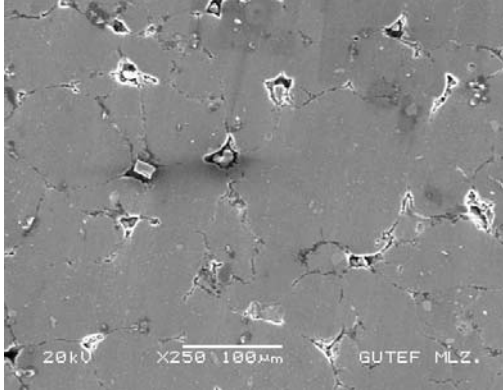
Resim 7.23-7.25’ de ise sıcak presleme ile üretilen %4 Al_4C_3 takviyeli numunenin sinterleme, 7 saat çözündürme ve yaşlandırma ısıt işlemleri sonrası mikroyapısındaki değişimler görülmektedir.



Resim 7.23. Sıcak presleme ile üretilen %4 Al_4C_3 takviyeli numunenin sinterleme işlemi sonrası mikroyapısı



Resim 7.24. Sıcak presleme ile üretilen %4 Al_4C_3 takviyeli numunenin 7 saat çözündürme işlemi sonrası mikroyapısı



Resim 7.25. Sıcak presleme ile üretilen %4 Al_4C_3 takviyeli numunenin 7,5 saat yaşlandırma işlemi sonrası mikroyapısı

Resim 7.23-7.25’ de verilen yapıların tane sınırlarının belirgin olması %4 Al_4C_3 takviyeli olmasına bağlanmaktadır. Sinterleme işlemi sonrası tane yapılarında oluşan köprüler, daha sonraki işlemlerde kaybolmuştur. Yine sinterleme işlemi ile yapıda oluşan çökeltiler 7 saat çözündürme işlemi sonrası daha da azalmıştır. 7,5 yaşlandırma işlemi sonrası yapıda gözenekler oluşmuş ve bazı gözeneklerin arasında keskin köşeli geometri yapısına sahip Al_4C_3 ’ ler görülmektedir.

7.2. Sertlik

Gaz atomizasyonu ile üretilmiş AA 2014 alaşım tozlarına farklı oranlarda Al_4C_3 tozları ilave edilmiş ve bu tozlar soğuk ve 200 °C’ de sıcak presleme ile şekillendirilmiştir. Üretilen bu kompozitin sinterleme, çözündürme ve yaşlandırma işlemlerin her birinin ardından sırası ile sertlik değişimleri belirlenerek sertlik ölçümleri boşluk ve gözenek olmayan bölgeler üzerinden yapılmıştır. Mikro sertlik değerleri, numunenin orta bölgesinden en az 10 farklı noktadan yapılmıştır. Bu ölçümlerin ortalamaları alınmış ve tüm ısıl işlemler sonrası ulaşılan sertlik değerleri Çizelge 7.1 ve Şekil 7.1-7.4’ te sırasıyla gösterilmiştir.

Sinterleme sonrası sertlik değeri yüksek olmayan bazı Al alaşımlarının yaşlandırma sonrası yüksek sertlik değerlerine çıkabileceği bildirilmektedir [93]. Yaşlandırma ısıl işlemi sonrası ölçülen sertlik değerleri 7 saat çözündürme işlemi ve sinterleme

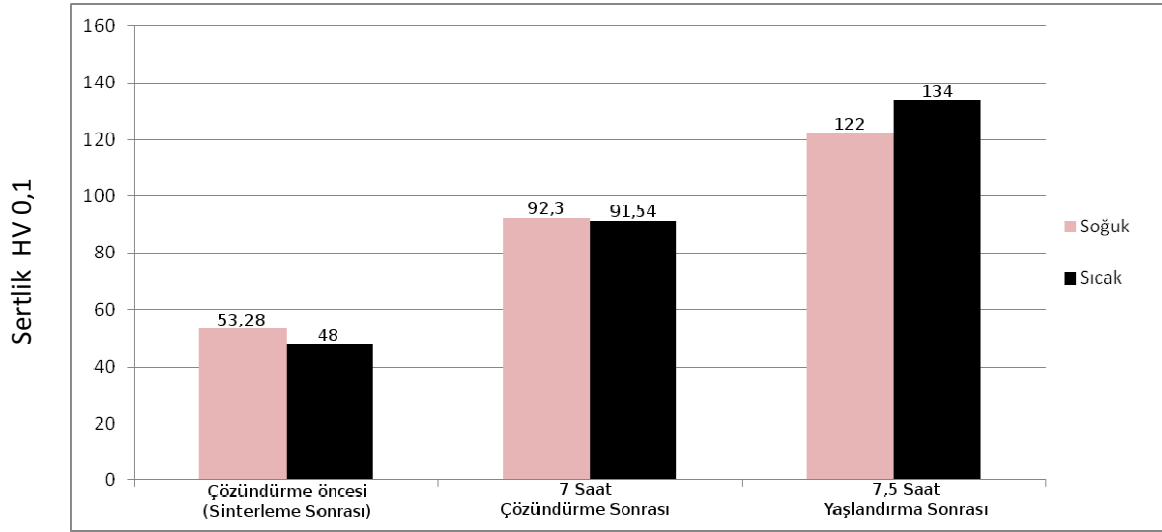
sonrası ölçülen sertlik değerlerinden daha yüksek çıkmıştır. Çizelge 7.1’ de bu durum görülmektedir.

Çizelge 7.1. Sıcak ve soğuk presleme ile üretilen numunelerin mikro sertlik (HV0,1) değerleri

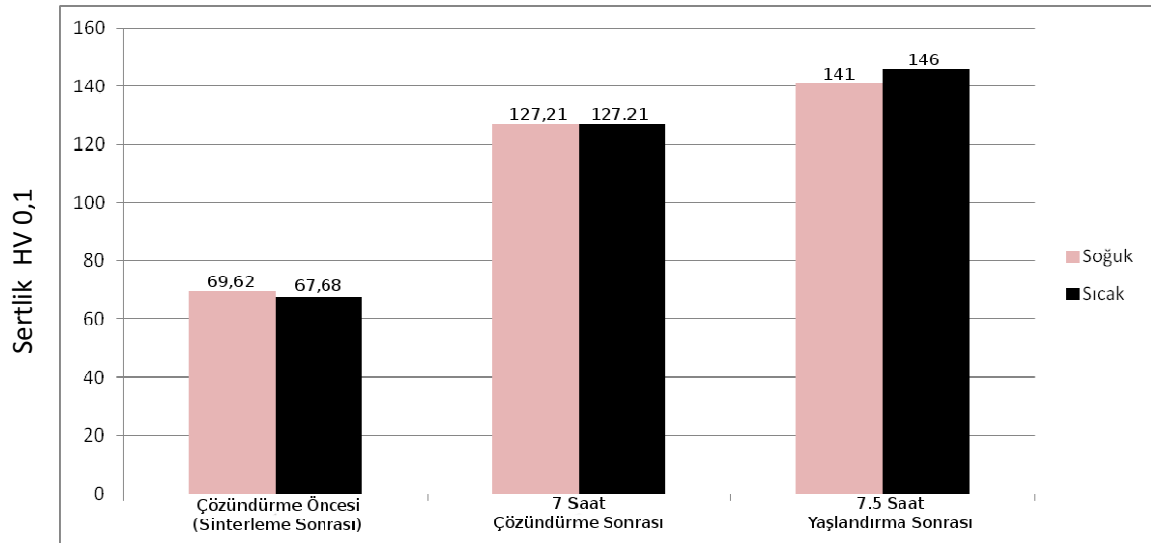
İşlem	Soğuk preslenmiş				Sıcak preslenmiş			
	% Al ₄ C ₃ oranı				% Al ₄ C ₃ oranı			
	0	1	2	4	0	1	2	4
Sinterlenmiş	53	70	71	77	48	68	66	67
Çözündürülmüş	92	127	118	111	92	127	131	89
7,5 saat yaşlandırılmış	122	141	135	123	134	146	155	133

Çizelge 7.1’ de soğuk presleme yapılan AA 2014 alüminyum alaşımında sinterleme sonrası Al₄C₃ takviyesi arttıkça, sertlik değerlerinde artış görülmektedir. Fakat diğerleri için böyle bir durum söz konusu değildir.

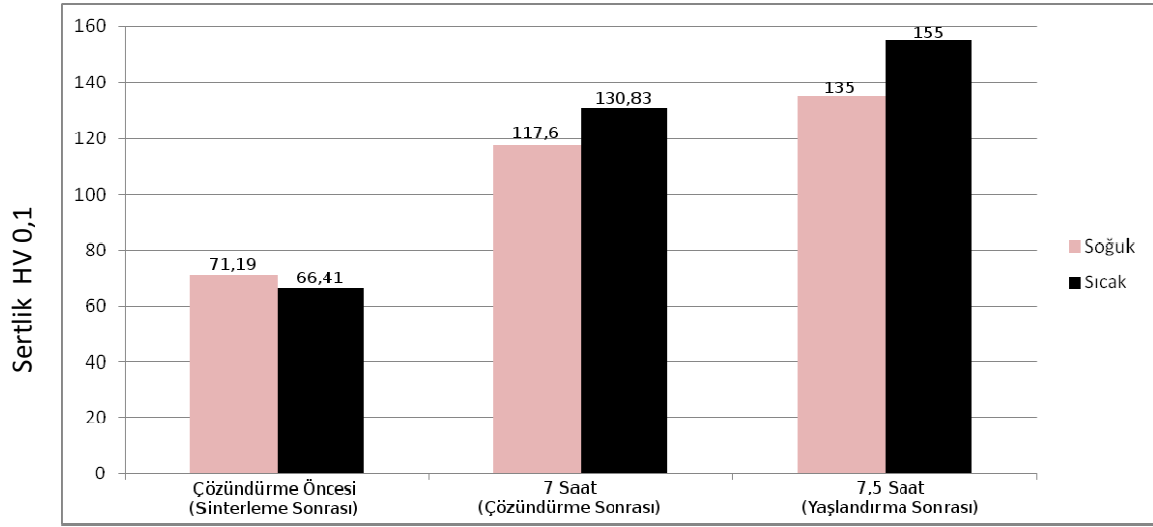
Soğuk ve sıcak presleme ile üretilen numunelerde, hem çözündürme ile hem de 7,5 saat yaşlandırma işlemlerinde Al₄C₃ miktarı en yüksek seviyeye (%4) çıktığında sertlik değerlerinde sürekli düşmeler görülmüştür. Soğuk presleme ile üretilen numunelerde ise en yüksek sertlik değerleri %1 Al₄C₃ takviyeli numunede sağlanırken, sıcak preslenen numunelerde en yüksek sertlik %2 Al₄C₃ takviyeli numunede sağlanmıştır.



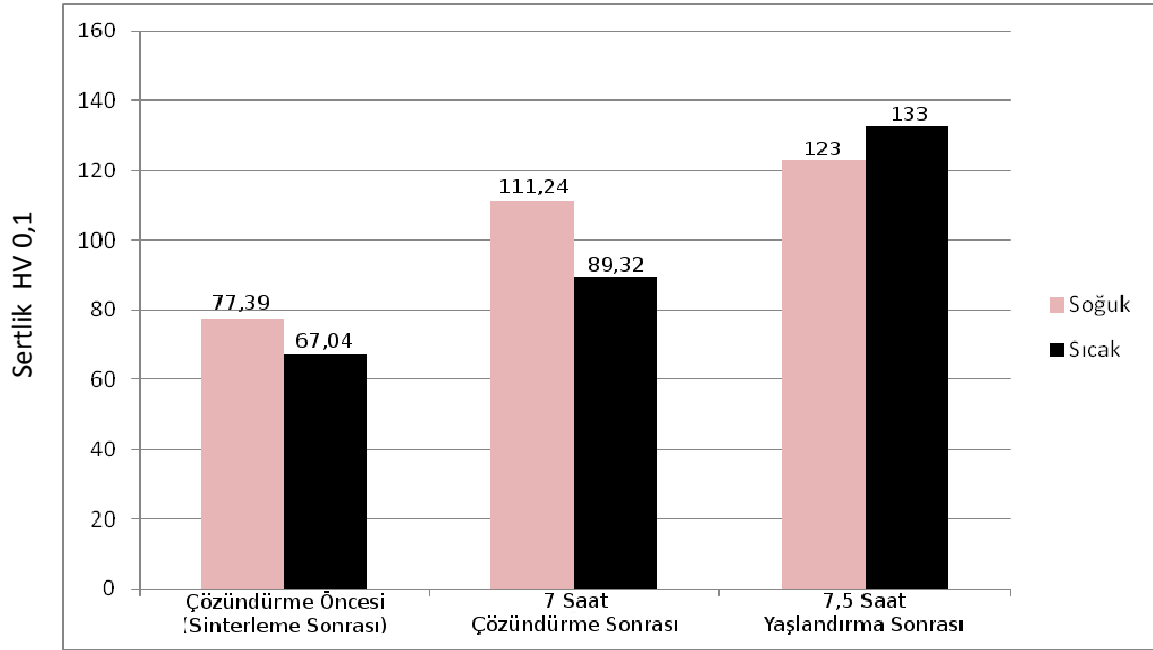
Şekil 7.1. Takviyesiz AA 2014 alaşımının işlemler sonrası ulaşılan mikro sertlik değerlerinin karşılaştırmaları



Şekil 7.2. %1 Al_4C_3 takviyeli numunelerin işlemler sonrası ulaşılan mikro sertlik değerlerinin karşılaştırmaları



Şekil 7.3. %2 Al_4C_3 takviyeli numunelerin işlemler sonrası ulaşılan mikro sertlik değerlerinin karşılaştırmaları



Şekil 7.4. %4 Al_4C_3 takviyeli numunelerin işlemler sonrası ulaşılan mikro sertlik değerlerinin karşılaştırmaları

Mikro sertlik ile tanelerin sertlik kontrolü yapılırken, makro sertlik ile de birkaç tanenin sertliği ölçülmüş ve yapı hakkında genel sonuç alınmaya çalışılmıştır. Çizelge 7.2’ de soğuk ve sıcak presleme ile üretilen %4 Al_4C_3 takviyeli numunelerin sertlik değerlerinde azalmalar görülmektedir. Bunun nedeni, Al_4C_3 takviye oranı arttıkça yapıdaki gözenek (boşluk) miktarında da artış olmasındandır.

Çizelge 7.2. Sıcak ve soğuk presleme ile üretilen numunelerdeki yaşlandırma ısı işlemleri sonrası ulaşılan makro sertlik (HV2) değerleri

	Soğuk preslenmiş				Sıcak preslenmiş			
Al ₄ C ₃ oranı	% 0	% 1	% 2	% 4	% 0	% 1	% 2	% 4
7,5 saat yaşlandırma işlemi sonrası	107	165	138	135	104	128	131	116

7.2.1. Sinterleme sonrası sertlik sonuçları

Sinterlemenin ardından tane içlerinde ve sınır bölgelerinde bulunan çökeltilerin sertlik değerleri HV 0,1 kg yük altında mikro sertlik cihazı ile belirlenmiştir. Sıcak ve soğuk presleme yapılan numunelerde sinterleme sonrası sertlik değerlerinde farklılıklar gözlenmiştir.

Çizelge 7.3 'de 580 °C' de sinterlenmiş numunelerde belirlenen mikro sertlik sonuçları verilmiştir. Soğuk presleme ile üretilen numunelerde, sinterleme sonrası ölçülen sertlik değerlerinde, ilave edilen Al₄C₃ tozunun miktarı arttıkça mikro sertlik değerlerinin de arttığı görülmektedir. Sıcak preslenmiş numunelerde ise ilave edilen Al₄C₃ tozlarından %2 ve %4' teki değerlerde %1' e göre azalma görülmüş dolayısı ile sıcak presleme yapılan numunelerin sertlik değerlerinde çok az dalgalanma olmuştur. Yine bu çizelgede soğuk presleme ile üretilen numunelerden ölçülen sertlik değerleri, sıcak presleme ile üretilen numunelere göre daha yüksek bulunmuştur. Bunun nedeni, sinterlenmiş mikroyapıda gözeneklerin durumundan kaynaklandığı düşünülmektedir (Resim 7.3-7.6). Bu mikroyapı görüntülerinde soğuk presleme ile üretilen numunelerin mikroyapı görüntüleri sıcak preslenmiş numunelerle karşılaştırıldığında, soğuk presleme ile üretilen numunelerin çökelti miktarı fazla olmakla beraber gözeneklerin de sayıca daha az olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.3. 580 °C’ de sinterlenmiş numunelerin ortalama sertlik değerleri

% Al ₄ C ₃	Mikro sertlik (HV0,1)	
	Soğuk preslenmiş	Sıcak preslenmiş
0	53	48
1	70	68
2	71	66
4	77	67

7.2.2. Çözündürme sonrası sertlik sonuçları

Çizelge 7.4’ te 7 saat çözündürme sonrası sertlik sonuçları karşılaştırıldığında bulunan değerlerin Al₄C₃ oranına doğrudan bağlı olmadığı anlaşılmaktadır. Sıcak pres ile üretilen numunelerde Al₄C₃ takviyesi arttıkça sertlik değerlerinde genellikle artış olurken daha sonra % 4 Al₄C₃ oranında belirgin bir düşme görülmektedir. Bu düşmenin nedeni AA 2014 esaslı yapının artan Al₄C₃ takviyesini yapıda istememesidir. Takviye miktarı arttıkça yapıda mekanik zayıflama görülmektedir (Resim 7.12-a).

Çizelge 7.4. 7 saat çözündürme sonrası sertlik sonuçları

% Al ₄ C ₃	Mikro sertlik (HV0,1)	
	Soğuk preslenmiş	Sıcak preslenmiş
0	92	92
1	127	127
2	118	130
4	111	89

Çizelge 7.4’ ten de görüldüğü gibi sinterleme sonrası numunelere 7 saat çözündürme işlemi uygulandığında sertlik değerlerinde artış görülmüştür.

7.2.3. Yaşlandırma sonrası sertlik sonuçları

Yaşlandırma ısıtma işleminde numunelerin orta bölgesinde mikro sertlik için 10 ve makro sertlik için 5 farklı noktalardan sertlik ölçümleri yapılmıştır. Yapılan mikro ve makro ölçümlerin aritmetik ortalamaları alınarak sertlik değerleri belirlenmiştir. Soğuk ve sıcak presleme ile üretilen, takviyesiz ve Al_4C_3 takviyeli numunelerin 60-720 dk zaman aralığında yapılan yaşlandırma ısıtma işlemleri sonucu sertlik değerleri Çizelge 7.5-7.6' da, bu değerlerin grafikleri ise Şekil 7.5-7.8' de verilmiştir.

Soğuk presleme ile üretilen numuneler 60, 120, 180, 210, 240, 300, 330, 390, 420, 450, 480, 540, 600, 615, 630, 660 ve 720 dk, sıcak presleme ile üretilen numuneler ise 60, 120, 180, 240, 300, 360, 420, 450, 480, 540, 600, 615, 630, 660 ve 720 dk sürelerde yaşlandırıldıktan sonra mikro ile makro sertlik ölçümleri belirlenerek ortalama sertlik değerleri bulunmuştur. Böylece her yaşlandırma sonunda numunelerin sertlik değerleri ölçülerek ilerleyen zamana bağlı olarak en yüksek sertliği veren yaşlandırma zamanı belirlenmeye çalışıldı. Belirlenen bu sürelerde, soğuk ve sıcak presleme yapılan numunelerde en yüksek sertlik zamanları arasında olduğu bulunmuştur. Soğuk presleme ile üretilen takviyesiz numuneler ile ağırlıkça % 1 Al_4C_3 içerikli numunelerin 420 dk sonunda, ağırlıkça % 2 Al_4C_3 içerikli numune 720 dk sonunda, ağırlıkça % 4 Al_4C_3 içerikli numune 660 dk sonunda en yüksek mikro sertlik değerine ulaşmıştır (Çizelge 7.5). Sıcak presleme ile üretilenlerde ise takviyesiz numune 600 dk, ağırlıkça % 1 Al_4C_3 içerikli numune 540 dk, ağırlıkça % 2 Al_4C_3 içerikli numune 450 dk, ağırlıkça % 4 Al_4C_3 içerikli numune 450 dk sonunda en yüksek mikro sertlik değerine ulaşmıştır (Çizelge 7.6).

Çizelge 7.6' da görüldüğü gibi sıcak presleme ile üretilen %2 ve %4 Al_4C_3 takviyeli numuneler Çizelge 7.5' de verilen soğuk presleme ile üretilenlerden süre olarak daha önce en yüksek sertlik değerlerine ulaşmışlardır. Yine Çizelge 7.5 ve Çizelge 7.6' da görüldüğü gibi, hem sıcak hem de soğuk pres ile üretilen ağırlıkça % 2 Al_4C_3 içerikli numune diğer numuneler içinde en yüksek sertlik değerine ulaşmıştır (Şekil 7.7).

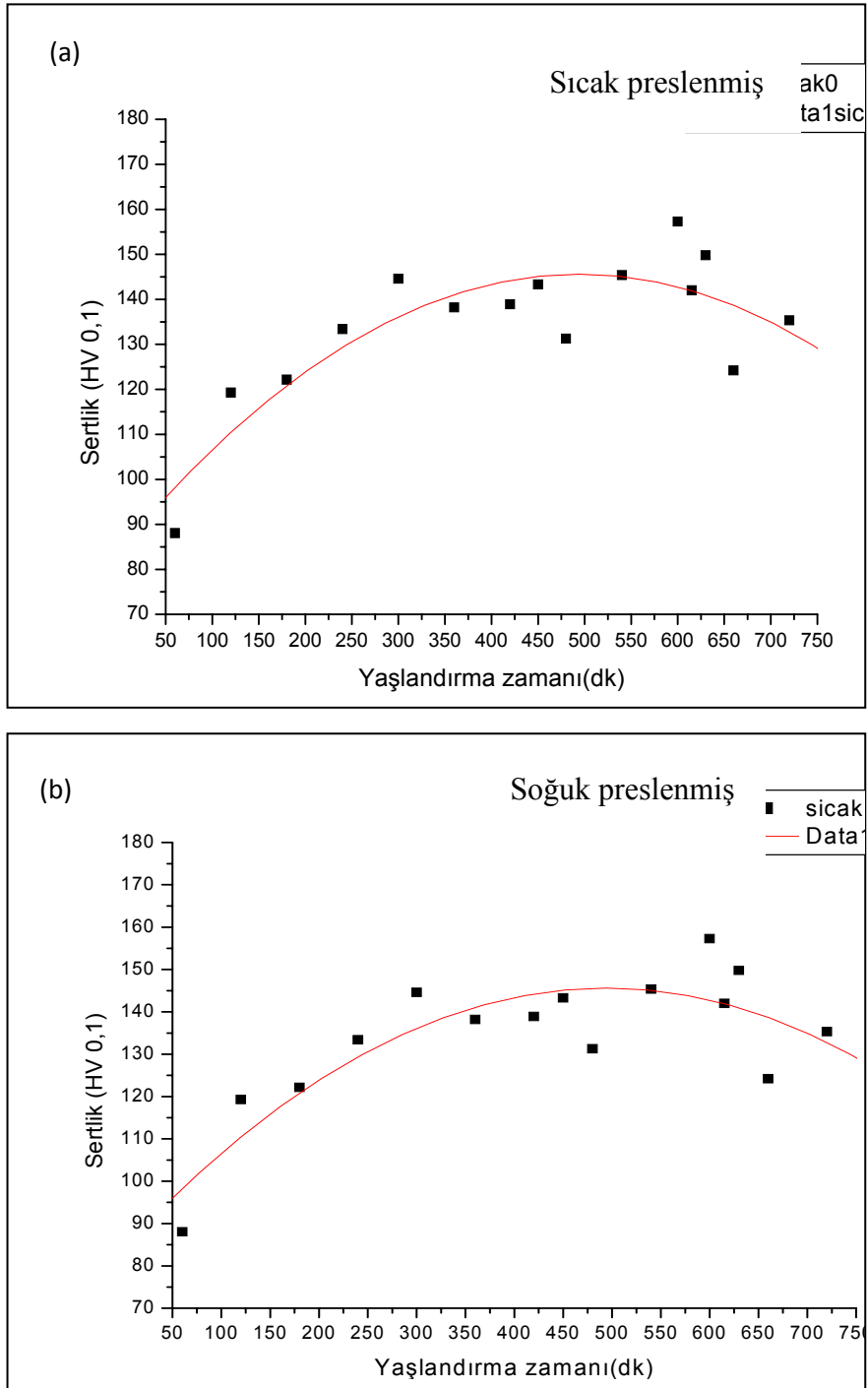
Sıcak presleme ile üretilen takviyesiz numune, sıcak presleme ile üretilen takviyeli numunelere göre en yüksek sertlik değerine daha geç bir zamanda ulaşmıştır (Çizelge 7.6).

Çizelge 7.5. Soğuk preslenmiş numunelerde farklı yaşlandırma süreleri sonunda ulaşılan ortalama sertlik değerleri

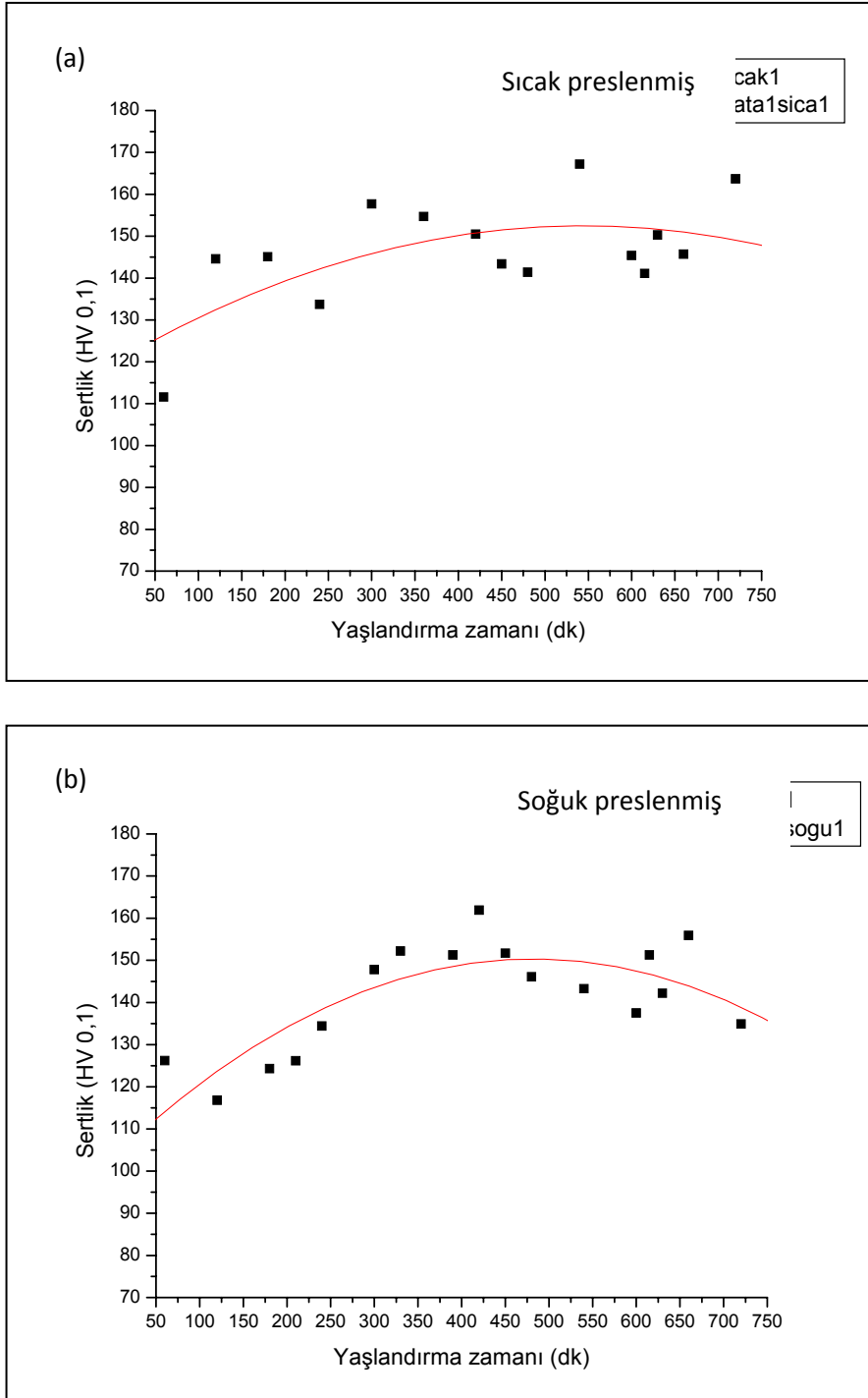
Yaşlandırma için seçilen süre (dk)	Al ₄ C ₃ oranı (ağırlıkça %)			
	0	1	2	4
60	79	126,2	116,2	95,65
120	123	116,8	110,4	99,32
180	117	124,3	112,9	108,4
210	114	126,18	122,9	108,7
240	127	134,4	126,5	118,7
300	127	147,8	128,1	113,5
330	126	152,2	134,6	123,1
390	136	151,3	138,1	119,6
420	158	161,9	146,1	121,9
450	151	151,7	140,6	129,8
480	104,92	146,1	137,3	130,8
540	109,93	143,29	140,7	129,5
600	104,85	137,49	150,5	134,3
615	126	151,3	144,2	143,4
630	135,5	142,2	133,3	135,8
660	124,23	155,9	153,8	144,2
720	124,42	134,9	165	137,2

Çizelge 7.6. Sıcak preslenmiş numunelerde farklı yaşlandırma süreleri sonunda ulaşılan ortalama sertlik değerleri

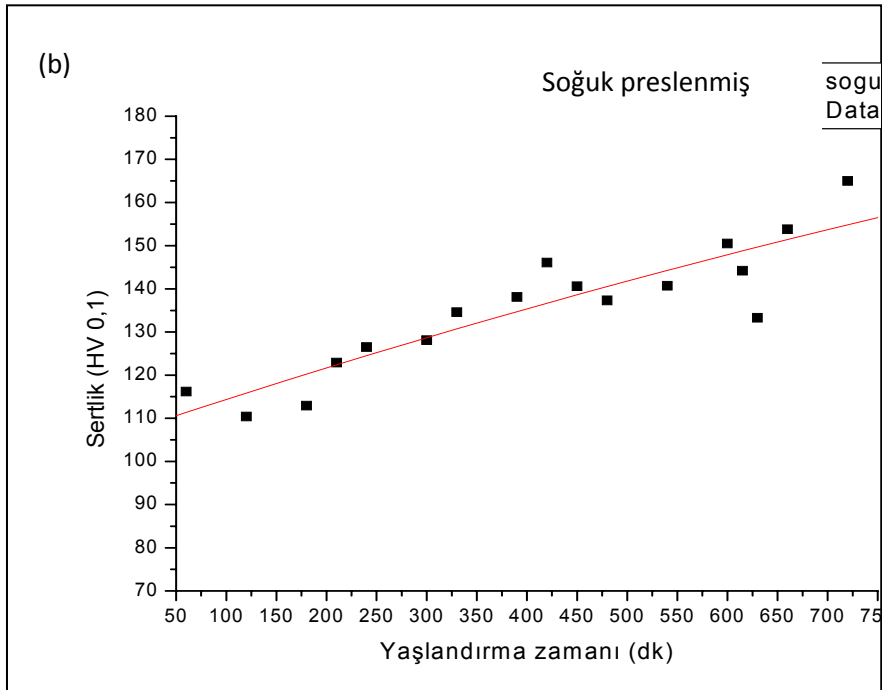
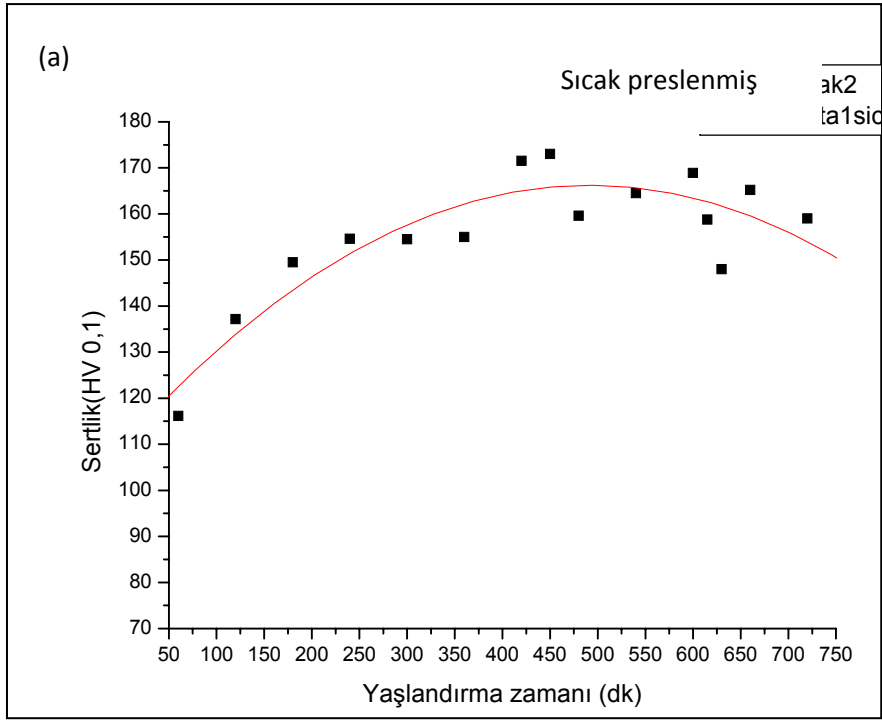
Yaşlandırma için seçilen süre (dk)	Al ₄ C ₃ oranı (ağırlıkça %)			
	0	1	2	4
60	88,06	111,61	116,14	103,96
120	119,3	144,6	137,16	112,1
180	122,16	145,1	149,5	130,2
240	133,4	133,7	154,6	124,8
300	144,6	157,7	154,5	133,8
360	138,2	154,7	155	137,7
420	138,9	150,5	171,5	138,1
450	143,3	143,36	173	148,9
480	131,3	141,4	159,6	138,7
540	145,4	167,2	164,5	133,4
600	157,3	145,4	168,9	146,9
615	142	141,1	158,8	141,4
630	149,8	150,3	148	139,2
660	124,2	145,7	165,2	134,1
720	135,34	163,7	159	139,1



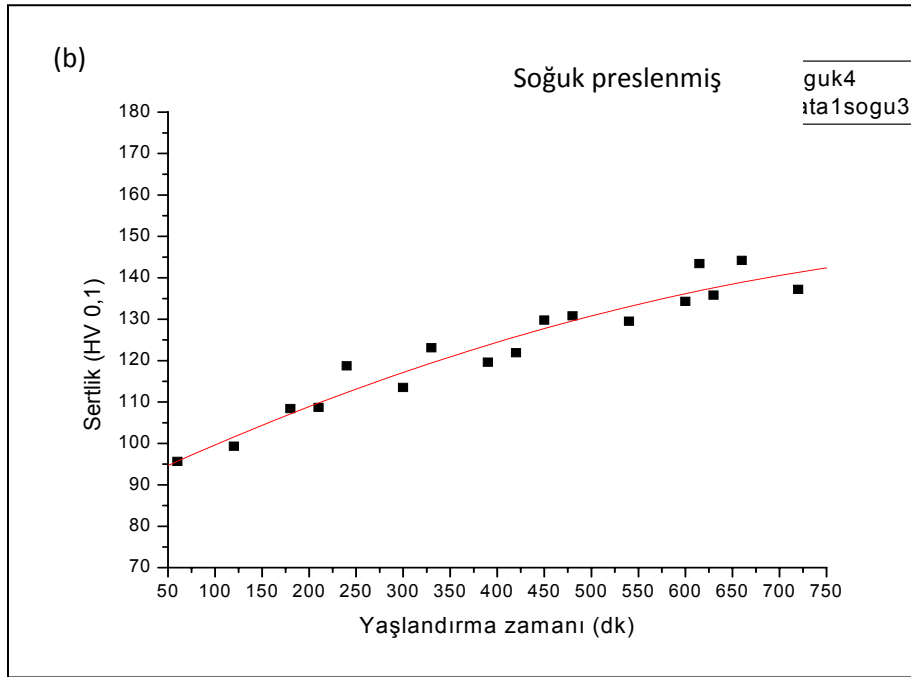
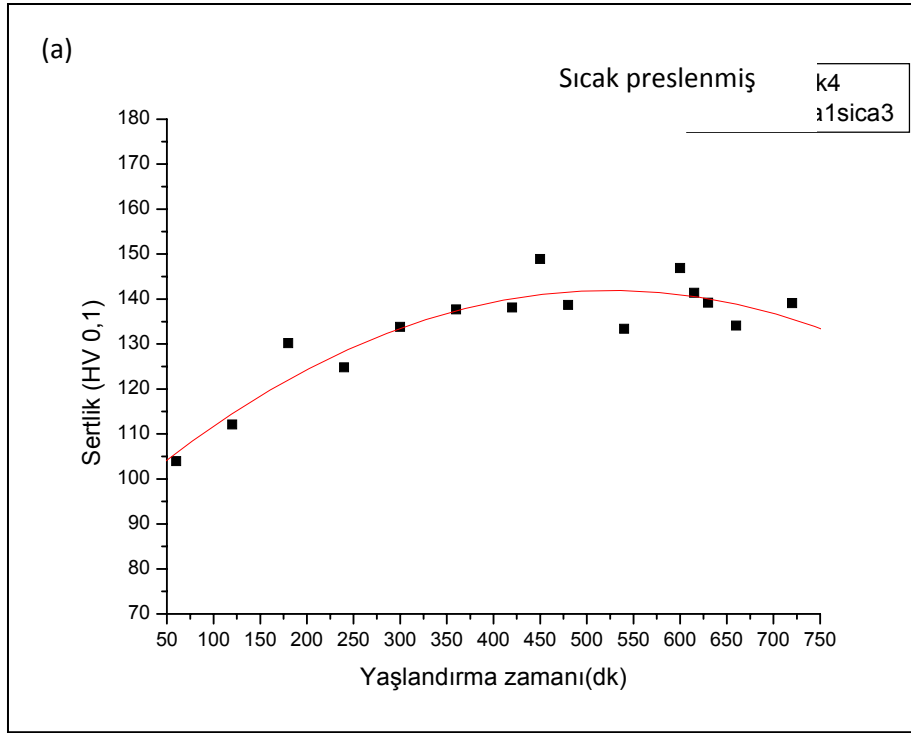
Şekil 7.5. Takviyesiz sıcak (a) ve soğuk (b) preslenmiş numunelerin yaşlandırma zamanına bağlı olarak değişen sertlik grafiği



Şekil 7.6. %1 Al_4C_3 içeren sıcak (a) ve soğuk (b) preslenmiş numunelerin yaşlandırma zamanına bağlı olarak değişen sertlik grafiği



Şekil 7.7. %2 Al_4C_3 içeren sıcak (a) ve soğuk (b) preslenmiş numunelerin yaşlandırma zamanına bağlı olarak değişen sertlik grafiği



Şekil 7.8. %4 Al_4C_3 içeren sıcak (a) ve soğuk (b) preslenmiş numunelerin yaşlandırma zamanına bağlı olarak değişen sertlik grafiği

Şekil 7.5-7.8’ de görüldüğü gibi tüm numunelerde yaşlandırma süresi arttıkça sertlikler önce artma sonra azalma eğilimi göstermişlerdir. Sertliğin azalmaya başladığı an ideal yaşlanmanın sona erdiği anlamına gelmektedir ve sertlik değeri zirvede iken yaşlandırma işlemi tamamlanmaktadır. Fakat soğuk presleme ile üretilen %2 ve %4 takviyeli numunelerin grafiklerinde sürekli artış görülmektedir. Bu iki numune ideal yaşlanma süresine ulaşamamıştır. Yapı içinde karbür parçacıklarının çökmesi ve sahip oldukları kararlı durumlarını bir süre daha korumaları nedeni ile sertlik değerleri aşırı yaşlanma bölgesini geçmiş olmasına rağmen, sertlik değeri azalmamıştır.

Literatürde [94] yaşlandırma ısısal işlemi ile numunelerdeki sertlik artışının, yaşlandırma zamanının ilerlemesine bağlı olarak kafes sistemi içinde bulunan boşlukların difüzyon etkisine olan katkıları sayesinde gerçekleşeceği bildirilmiştir. Bu boşluklar çözen atomların miktar olarak fazla olması nedeni ile GP bölgelerinin oluşumunda önemli yer teşkil etmektedir.

7.3. Yoğunluk

Yoğunluk ölçümleri sinterleme öncesi ve sonrasında yapılmıştır. Sinterleme işleminden önce belirlenen yoğunluklar ile sinterleme sonrası belirlenen yoğunluklar arasında önemli bir değişim olmamıştır (Çizelge7.7).

Çizelge 7.7. Soğuk ve sıcak presleme ile üretilen numunelerin sinterleme öncesi ile sonrası yoğunluk değerleri

Presleme yöntemi	Al ₄ C ₃ oranı (% ağırlıkça)	Sinterleme öncesi yoğunluk (g/cm ³)	Sinterleme sonrası yoğunluk (g/cm ³)
Sıcak presleme	0	2,53	2,51
	1	2,53	2,56
	2	2,54	2,55
	4	2,60	2,59
Soğuk presleme	0	2,59	2,60
	1	2,53	2,56
	2	2,57	2,56
	4	2,62	2,56

Sinterleme sonrası yoğunluklarda genel olarak bir dalgalanma söz konusudur. Sıcak presleme ile üretilen (% 1 ve % 2 Al_4C_3 içeren) numuneler ile soğuk presleme yöntemi ile üretilen (takviyesiz ve % 1 Al_4C_3 içeren) bazı numunelerin sinterleme sonrası yoğunluklarında artış olmuştur. Bu artış sinterleme sonrası yapıdaki gözeneklerin azaldığını göstermektedir. % 4 Al_4C_3 içerikli sıcak ve soğuk presleme ile üretilen numunelerin her ikisinde de sinterleme sonrası yoğunluk düşmesi görülmüştür. AA 2014 alaşımlı malzemedeki Al_4C_3 miktarının artışı bu düşmeye sebep olarak düşünülmektedir.

Literatürde sinterleme ile tanelerin boyunlaşma oluşturarak birleşmeleri ve bu nedenle gözeneklerin azalacağı için de yoğunluk artışı olacağı belirtilmiştir. Bu tez çalışmasında ise sinterleme sonrası yoğunluk değerlerinde bazı numunelerde kısmi azalma görülmüştür. Bu azalmaların nedeni presleme ve sinterleme işlemleri esnasındaki muhtemel toz kayıplarıdır.

8. SONUÇLAR

Bu çalışmada, AA2014 alaşımı tozuna ağırlıkça % 0-1-2-4 oranlarında ortalama tane boyutu $\sim 5 \mu\text{m}$ olan Al_4C_3 tozu TM yöntemi ile ilave edilerek Metal Matris Kompozit (MMK) malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Al_4C_3 tozu miktarının, sıcak ve soğuk presleme ile üretilen numuneler üzerindeki sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen bu numunelere ısıt işlemler uygulanmış ve mikroyapısı ile mekanik özellikleri hakkında bazı bilgiler edinilmiştir. Ulaşılan sonuçlar şöyledir:

- Sinterleme sonrası mikroyapı görüntüleri incelendiğinde takviye malzemenin oranı arttıkça CuAl_2 oranının arttığı tespit edilmiştir. EDS analizlerinde CuAl_2 olduğu düşünülen bölgelerde %4 ile %23 arasında Cu' a rastlanmıştır.
- Sinterleme sonrası belirlenen sertlik değerlerine göre, soğuk presleme ile üretilen numunelerin sertlik değerleri sıcak presleme ile üretilenlere göre daha yüksek çıkmaktadır. Sıcak presleme ile üretilen numunelerdeki sertlik değerlerinin düşük çıkma nedeni yapılarındaki gözeneklerin büyük boyutta ve yüksek oranda olmasından kaynaklanmaktadır.
- Sinterleme, 7 saat çözündürme ile yaşlandırma ısıt işlemleri sonrası sertlik ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında, en yüksek sertlik değerleri sıcak presleme ile üretilen % 2 Al_4C_3 içerikli numunede sağlanmıştır. Çözündürme ve yaşlandırma işlemleri sonrası ölçülen sertlik değerlerinde, % 4 Al_4C_3 içerikli numunelerde düşme olduğu görülmüştür. Matris yapı ile ara malzemenin birbirini ıslatmaması buna sebep olarak gösterilebilir. Fakat soğuk presleme ile üretilen ve sinterleme işlemi tamamlanan numunelerde, takviye malzeme miktarı arttıkça sertlik değerlerinde artış görülmektedir.
- Yaşlandırma işlemlerinden sonra sertlik değerleri önemli oranda artmıştır. Bunun sebebi yapının ısıt işlemler sonrası matris yapıya çökeltilerin homojen dağılmasıdır.

- Al_4C_3 takviyeli AA 2014 alüminyum alaşımlarında takviye oranı arttıkça üretilen numune miktarı çatlak oluşumlarına yol açmıştır. Bu da mekanik performansın düşmesine neden olabilir.
- Sıcak presleme ile üretilen numunelerin 60-450 dk yaşlandırma zaman aralığındaki ortalama sertlik değerleri soğuk preslenmiş numunelere göre daha yüksektir.
- Sertlik değerleri sırası ile sinterleme sonrası, 7 saat çözündürme sonrası ve 7,5 saat yaşlandırma sonrası ısıt işlemlerinde sürekli artış göstermiştir. Bu artışın nedeni θ'' çökeltilerinin ısıt işlemler neticesinde yapıya dayanım kazandırmasıdır.
- En yüksek mikro sertlik değerine 450 dk yaşlandırma ısıt işlemi ile % 2 Al_4C_3 takviyeli sıcak preslenmiş numunede 173 HV değerine ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Kurt, A., “Toz metal malzemelerin kaynaklanabilirliği”, *Türk Toz Metalurjisi Derneği Haber Bülteni*, 25: 4 (2003).
2. Gurganus, T. B., “Aluminum powder applications”, *Advanced Materials and Processes*, 148: 57-58 (1995).
3. German, R. M., “Powder Metallurgy Science”, *Princeton*, New Jersey, 50-184 (1994).
4. Yavuz, N., Güner, R., “Demir Esaslı Toz Metal Parçaların Elektrik Direnç Kaynağında Optimum Kaynak Şartlarının Belirlenmesi”, *Uludağ Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi Dergisi*, 7, (1) : 221-228 (2002).
5. Söyler, A. U., “Mekanik alaşımlama yöntemleri ile üretilmiş Al-Fe tabanlı SiC ve Y₂O₃ pekiştiricili kompozitlerin geliştirilmesi ve karakterizasyonu” Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü.F.B.E.*, Ocak, 11-26 (2008).
6. Sarıtaş, S., “Bir titreşimli öğütücü imalatı ve metal tozlarının öğütmeye bağlı özelliklerinin incelenmesi”, *1. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı*, 16-17 Eylül 1996, Gazi Üniversitesi, Bildiri Kitabı, Ankara, 387-396 (1996).
7. Özgün, Ö., “Toz metalurjisi ile üretilen alaşımlı çeliklerin mikroyapı ve mekanik özellikleri ” Yüksek Lisans Tezi, *S.Ü.F.B.E.*, Ağustos, 4-42 (2007).
8. Güral, A., “Ara kritik tavlama ısıl işlemlerinin düşük alaşımlı sade karbonlu toz metal çeliklere uygulanabilirliği ve mekanik özelliklere etkisinin araştırılması”, Doktora Tezi, *G.Ü. F.B.E.*, Mayıs, 4-38 (2004).
9. Büyükarıslan, S., “Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmiş alüminyum alaşımlarının mikroyapı ve mekanik özelliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *F.Ü.F.B.E.*, Mayıs, 3-11 (2006).
10. Kaçar, H., Atik, E., Meriç, C., “The effect of precipitation-hardening conditions on wear behaviours at 2024 aluminium wrought alloy” *Wear*, 236: 144-152 (2003).
11. Meyveci, A., “Yaşlandırılmış 2XXX ve 6XXX serisi alüminyum alaşımlarının aşınma davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 1-30 (2007).
12. Mazumdar, S. K., “Composite Manufacturing: Materials, Product and Process Engineering”, *CRC Pres*, London, 4-5 (2002).

13. Tufan, M., “AA6082 alüminyum alaşımlarında yaşlandırma ısı işleminin işlenebilirliğe ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **K.Ü.F.B.E.**, Karabük, 1-15 (2011).
14. Erkalfa, H., Baykara, T., Özkan, O.T.,”Silicon Carbide and Alumina Composite “Ceramics for Ceramic Foam Filters”, High performances Ceramics, **Inter ceramics**, 49, (3):170 (2000).
15. Cöcen, Ü., Önel, K. Ç, ”Metal Matriks Kompozitler”, **Metallurji Dergisi**, Ekim, 104 : 18-31 (1996).
16. Acun, S., “SiC partikül takviyeli alüminyum alaşım matrisli kompozit malzemelerde yaşlandırma işleminin mekanik özelliklere etkisi” Yüksek Lisans Tezi, **Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İzmir, 9-16, 20-29 (2007).
17. Yılmaz, E., “Etial 180 alüminyum alaşımının işlenmesinde kesici takım geometrisi ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, **S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Isparta, 4-75 (2010).
18. Öz, Ö., “Yaşlandırma ısı işleminin AA 7075 malzemeli dikdörtgen plağın burkulma yükü üzerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Zonguldak, 22-31 (2007).
19. Gürleyik, Y., Alüminyum ve Alaşımları-I, **TMMOB Mühendis ve Makine Dergisi**, 401, 27-34 (1993).
20. Yalçın, B., “Toz metalurjisi yöntemiyle imal edilen titanyum alaşımı implantların temel özelliklerinin araştırılması”, Doktora Tezi, **S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Isparta, 1-51 (2007).
21. Turbalıoğlu, K., “6063 alüminyum alaşımının düşey sürekli döküm yönteminde üretim parametrelerinin geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 5-11, 15-20 (2008).
22. Zeytin, H. K., “Otomotiv endüstrisinde alüminyum kullanımı”, **10. Uluslar arası Metalürji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı**, 77–84 (2000a).
23. Mandal, N. R., “ Aluminum Welding, 1st edition, **Narosa Publishing House**”, 1-19 (2002).
24. Sun, Y., Baydoğan, M., Çimeoğlu, H., “The effect of deformation before ageing on the wear resistance of an aluminium alloy”, **Wear**, 236: 144-152 (1999).
25. Brown, J. R. “FosecoNon-Ferrous foundryman’s handbook”, **Butterwort Heinemann**, Oxford, 11:340 (1999).

26. Donald, R., "Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri Cilt 1" Çeviri: Erdoğan, M., Askeland University of Missouri-Rolla, *Nobel Yayın*, 265-297 (1998).
27. Demircioğlu, P., "Alüminyum alaşımlarının dökümünde gaz oluşumları ve gaz giderme tekniklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi F.B.E.*, İstanbul, 6-9 (2002).
28. Kobayashi, K. F., Tachibana, N., Shingu, P. H., "Formation of amorphous Al-Cr alloys by mechanical alloying", *J. of Met. Sci.*, 25: 3149-3154 (1983).
29. Koch, C. C., Cavin, O. B., Mc Kamey, C. G., Scabrough, J.O., "Preparation of amorphous Ni₆₀Nb₄₀ by MA", *Appl. Phys. Lett.*, 43: 1017-1019 (1983).
30. Bostan, B., "Mekanik alaşımlama ve ekstrüzyon sonrası Al₄C₃ oluşumunun incelenmesi" *G.Ü. Müh. Mim. Fak. Der.* 23 (2) : 343-348 (2007).
31. Klar, E., Fesko, J. W., "Powder Metallurgy", Production of Metal Powders, Metals Handbook 9th Ed. 7, 25-51, ASM, *Ohio*, USA (1984).
32. Ersümer, A., "Toz Metalürjisi, Sert Metal/Sinterleme", *İ.T.Ü. Matbaası*, İstanbul, 1-47 (1970).
33. Koç, V., "Toz metalürjisi tekniği ile üretilen bir paslanmaz çelikte katkı elemanlarının aşınma direncine etkileri", Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi F.B.E.*, Elazığ, 1-2 (2006).
34. Yadelı, Z. N., "Proses koşullarının T/M yağ pompası rotor dişlisinin yapı ve özelliklerine etkisinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi F.B.E.*, İstanbul, 1-30 (2008).
35. Karataş, Ç., Sarıtaş, S., "Toz enjeksiyon kalıplama: bir ileri teknoloji imalat metodu", *Gazi Ünı., Müh-Mim. Dergisi*, 13 (2): 193-228 (1998).
36. Atık, E., "Demir esaslı toz metal parçaların borlamayla yüzey performansının artırılması", 4. Ulusal toz metalürjisi konferansı, 1032-1039 (2005).
37. Kurt, A., "Toz metal yatak malzemelerin özellikleri", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-81 (1992).
38. Karataş, Ç., "Toz enjeksiyon kalıplamada kurşun, demir, alümina tozlarının basılabilirliklerinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 36-45 (1992).
39. Höganäs - A.B., "*Höganäs handbook for machining guidelines*", 65-70, (1996).

40. Sarıtaş, S., "Toz Metallurjisi", *Makina Mühendisliği El Kitabı*, 2: 64-82 (1994).
41. German, R.M., "Powder Metallurgy Science", *MPIF*, USA, 278 (1984).
42. Çakır, M., "Toz metal alüminyum malzemelerin sürtünme karıştırma kaynağı ile kaynaklanabilirliği", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-21 (2007).
43. Dabrowski, J. R., Oksiuta, Z., "Poros İmplantation Material from Vitalium Alloy Powder", *Material Engineering*, 4 (200): 174-178 (2000).
44. Whittaker, D., "Ferrous P/M Components-Where from Here", *Powder Metallurgy*, 38, (2) (1993).
45. Yılmaz, N., "Demir esaslı toz metal malzemelerin talaşlı işlenebilirliği", Doktora Tezi, *S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 1-156 (2006).
46. Öveçoğlu, M. L., "Toz metalurjisi tarihsel gelişim, üretim aşamaları ve yeni eğilimler", *9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi*, İstanbul, 449-475 (1997).
47. Erden, İ. O., "Alüminyum-silisyumnitrür kompozit malzemenin difüzyon kaynağı ile kaynaklanabilirliğinin araştırılması", Y. Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 17-28 (2005).
48. Sarıtaş, S., "Toz metalurjisi-bileşik gereçler-seramikler", *Makina Mühendisliği El Kitabı*, *Makina Mühendisleri Odası Yayınları*, 1: 64-115 (1994).
49. German, R. M., "Powder Metallurgy Science", *MPIF*, USA, 203-335 (1989).
50. Onur, A., Arslan, F., "Yağ atomizasyonu yöntemiyle alüminyum alaşımı ve kalay tozu üretimi", *1. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı*, Ankara, 16-17 Eylül, 193-206 (1996).
51. Uslan, İ., Sarıtaş, S., "Gaz atomize alüminyum tozlarında soğuma hızının toz boyutu ile değişiminin araştırılması", *2. National PM Conference*, Ankara, 399-407 (1999).
52. Lee, P.W., "Powder Metal Technologies and Application", *ASM Handbook 7, ASM International*, New York/USA, 478-481 (1998).
53. Avner, S. H., "Introduction to Physical Metallurgy", 4.ed., *Published by Ankara University*, Ankara/Turkey, 605-632 (1994).
54. Ekşi, A., "Endüstriyel Teknoloji", *Metal Tozu Üretim Teknikleri*, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara, 2, 2 (1996).

55. Baksan, B., Gürler, R., “Toz metalurjisinin savunma sanayinde uygulanması”, ***Osmangazi Üniversitesi Metalurji Enstitüsü***, Eskişehir, 1-15 (2003).
56. Godfrey, T. M. T., Wisbey, A., Goodwin, P. S., Bagnall, K., “Ward-Close, C.M., Microstructure and Tensile Properties Mechanical Alloyed Ti-6Al-4V with Boron Additions”, ***Materials Science and Engineering***, A 282, 240-250 (2000).
57. Fujiki, A., “Present State and Future prospects of Powder Metallurgy Parts For Automotive Applications”, ***Materials Chemistry and Physics***, 67, 298-306 (2001).
58. Tanberk, O., “Toz Metalurjisinde Türkiye'nin Yeri”, ***9. Uluslar Arası Metalurji ve Malzeme Kongresi***, İstanbul, 229-247 (1997).
59. German, R., “The fundamental principles of powder metallurgy”, ***Powder Metallurgy***, 13-17 (1997).
60. Somunkıran, İ., “Kobalt esaslı alaşımların toz metalurjisi yöntemiyle üretimi, mikroyapı ve mekanik özelliklerinin araştırılması”, Doktora Tezi, ***F.Ü.F.B.E.***, Elazığ, 1-48 (2006).
61. Çetinkaya, Ş., “Karbon katkılı alaşımlı demir tozu peletlerinin sinterleme sonrası özellikleri”, Y. Lisans Tezi, ***İ.Ü.F.B.E.***, İstanbul, 4-23 (2005).
62. German, R. M., “Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri”, 05, Prof. Dr. Sarıtaş, S., Prof. Dr. Türker, M., Doç. Dr. Durlu, N., ***Türk Toz Metalurjisi Derneği Yayınları***, Ankara, 1-100 (2007).
63. Xu, Z. M., Loh, N. L., Zhou, W., “Hot Isostatic Pressing of Cast SiC_p Reinforced Aluminium-Based Composites”, ***Journal of Materials Processing Technology***, 67, 1-3, 131-136 (1997).
64. Ünlü, N., Çavuşoğlu, L., “Toz Metalurjisinin Yaygın Kullanım Alanları”, ***Metal Dünyası***, Teknik Yazı, İstanbul, 11-12 (1995).
65. Köksal, F., “Al-Cu-SiC ve Al-Cu-B₄C kompozitlerin sıcak presleme yöntemi ile üretimi ve aşınma özelliklerinin araştırılması”, Y. Lisans Tezi, ***S.D.Ü.F.B.E.***, Isparta, 1-51 (2004).
66. Öztürk, M., “SiC ilaveli alümina seramik kompozitler”, Yüksek Lisans Tezi, ***Sakarya Üni. F.B.E.***, Mayıs, 4-64 (2007).
67. Ögünç, H., “Sıcak presleme ile sinterlenmiş α -SiC matriksli B₄C kompozitlerinin özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, ***İ.T.Ü.F.B.E.***, Haziran, 3-36 (2006).

68. Ergün, N., “Borkarbür-silisyumkarbür kompozitlerinin reaktif sıcak presleme ile üretilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **İ.T.Ü.F.B.E.**, Mayıs, 4-22 (2006).
69. Upadhyaya, G. S., “Powder Metallurgy Technology”, **Victorire Pres**, Cambridge, 34-40 (1997).
70. Lee, J. S., Kim, T. H., Kang, T. G., “Enhanced Sintering of Microhomogeneous W- Cu Composite Powders”, **Powder Metallurgy World Congress**, Kyoto 12-15 July, 365-368 (1993).
71. Kayış, V., “Kısmi ve ön alaşımlı demir tozları içerisine katılan b ve feb ilavelerin sinterleme davranışları ve mekanik özelliklere etkisi” Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi F.B.E.**, 9-65 (2005).
72. Arslan, F., “Sıvı fazlı sinterleme”, **I. Ulusal Toz Metalurji Konferansı**, Ankara, 551-558 (1996).
73. Savaşkan, T., “Malzeme Bilgisi ve Muayenesi”, 4.Baskı, Celepler Matbaacılık-Trabzon, **Trabzon**, 130-160 (2007).
74. Demirkese, E., “Kompozit Malzemeler”, **İ. T. Ü. Kimya Fakültesi**, 1. baskı, 1-5 (1991).
75. Ekerer, F. A., “Alumina-SiC partikül destekli T/M Al-matriksli kompozitlerin üretilmesi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Y. Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Nisan, 27-40 (2007).
76. Ibrahim, I. A., Mohamed, F. A. and Lavernia, E. J., “Particulate Reinforced Metal Matrix Composites - a review” **Journal of Materials Science**, 26, 1137-1156 (1991).
77. Çiftçi, İ., “Alüminyum esaslı mmk’larda takviye oranı ve boyutunun mekanik özellikler ve işlenebilirlik üzerine etkisinin araştırılması”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 1-50 (2003).
78. İnem, B., “The Development of The Structures and Properties of Magnesium Matrix Silicon Carbide Reinforced Composites”, PhD Thesis, School of Materials, **University of Leeds**, England, 1-10 (1993).
79. Lee, H. F., Boey, F., Khor, K. A., Tan, M. J., Gan, J., Loh, N. L., “The Production of Aluminium Alloy Composites Using a Cold Isostatic Press and Extrusion Approach”, **Journal of Materials Processing Technology**, 29, 245-253 (1992).
80. Hashim, J., Looney, L., Hashmi, M. S. J., “Metal Matrix Composites: Production by Stir Casting Method”, **Journal of Materials Processing Technology**, 92-93, 1-7 (1999).

81. Akbulut, H., Durman, M., Yılmaz, F., “SiC Seramik Partikül Takviyeli Alüminyum-Silisyum Metal Esaslı Kompozitlerin Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi”, **7. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi**, Ankara, 1183-1194 (1993).
82. Mortensen, A., Cornie, J. A., Flemings, M. C., “Solidification Processing of Metal-Matrix Composites”, **JOM**, 40, 2, 12-19 (1988).
83. Agyekum, E., Ruch, W., Starke, E. A., Jha, S. C., Sanders, T. H., “Effect of Precipitate Type On Elastic Properties of Al-Li-Cu and Al-Li-Cu-Mg Alloys”, Aluminium Alloy-III, **London**, 448-454 (1986).
84. Toptan, F., “Alüminyum matrisli B₄C takviyeli kompozitlerin döküm yöntemi ile üretimi” Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 2-47 (2006).
85. Tjong, S. C., Ma, Z. Y., “Microstructural and mechanical characteristics of insitu, metal matrix composites”, **Materials Science and Engineering**, 29, 49-113 (2000).
86. Surappa, M. K., “Aluminum Matrix Composites: Challenges and Opportunities” **Sadhana**, 28, Parts 1, 2, 319-334 (2003).
87. Bedir, F., “Alüminyum Kompozitlerin Üretimi, Karakteristik Özellikleri ve Endüstriyel Uygulamaları”, Mühendis ve Makine Dergisi, **MMO Yayınları**, 47, 554-556 (2006).
88. Şenel, F., Balya, B., Parnas, L., “İleri Kompozit Zırh Malzemelerin Balistik Analizi”, SAVTEK 2004, **Savunma Teknolojileri Kongresi**, ODTÜ, Ankara, 24-25 (2004).
89. Ögel, B., "Kompozit Malzemelerde Son Gelişmeler ve İleriye Dönük Beklentiler", **9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi**, 11–15 Haz. 1997, İstanbul, 639–649 (1997).
90. Onaran, K., “Malzeme Bilimi”, **Bilim Teknik Yayınevi**, İstanbul, 56-58 (1993).
91. Altınışık, F., “Doğal kompozit malzemelerin otomotiv sanayinde kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Mersin, 3-41 (2007).
92. Gökmeşe, H., ”Gaz atomizasyonu yöntemiyle AA 2014 alaşım tozunun üretimi” Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 58-82 (2010).

93. Aksöz, S., “Al₄C₃ fazının karbon ve AA2014 tozlarından katı faz reaksiyon tekniği ile oluşturulması ve yaşlanmaya etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 80-89 (2009).
94. Cavazos, J. L., Colas, R., “Precipitation in a heat-treatable aluminium alloy cooled at different rates”, **Materials Characterization**, 47: 175-179 (2001).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ARSLAN ATEŞ, Elif
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 04.07.1985, ANKARA
Medeni hali : Evli
Cep Tel : 0 544 343 93 21
E-mail : eliffarslann@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi/Döküm Öğretmenliği	2009
Lise	Etimesgut Eryaman Lisesi (Y.D.A.)	2003

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009-2012	Gazi Üniversitesi ATAMYO	Öğr. Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce