

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AA2014 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ MİKRO YAPISININ
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Muzaffer GÜNGÖREN
032114103

Anabilim Dalı: Fizik
Programı: Genel Fizik
Danışman: Prof. Dr. Yusuf ATICI
EYLÜL-2015

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AA2014 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ MİKRO YAPISININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Muzaffer GÜNGÖREN
032114103

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 16 Eylül 2015

Tezin Savunulduğu Tarih : 5 Ekim 2015

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Yusuf ATICI

Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Tahsin KILIÇOĞLU

: Yrd. Doç. Dr. Fethi DAĞDELEN

:

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması boyunca, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım danışman hocam Sayın Prof. Dr. Yusuf ATICI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez numunelerinin hazırlanmasında emeği geçen Fırat Üniversitesi Fizik Bölümü öğretim elemanlarından Sayın Arş. Gör. Dr. Köksal YILDIZ ve Arş. Gör. Dr. Ünal AKGÜL'e teşekkürlerimi sunarım.

Muzaffer GÜNGÖREN
ELAZIĞ-2015

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	IX
SİMGELER LİSTESİ	X
KISALTMALAR LİSTESİ	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI	3
2.1 Alüminyumun Endüstrideki Yeri	3
2.2 Alüminyumun Özellikleri.....	4
2.3. Alüminyum Alaşimleri.....	4
2.3.1. Alüminyum Alaşımının Kodlama Sistemleri.....	4
2.3.1.1. Alüminyum 1XXX Serisi	5
2.3.1.2. Alüminyum 2XXX Serisi	5
2.3.1.3. Alüminyum 3XXX Serisi	6
2.3.1.4. Alüminyum 4XXX Serisi	6
2.3.1.5 Alüminyum 5XXX Serisi	6
2.3.1.6. Alüminyum 6XXX Serisi	7
2.3.1.7. Alüminyum 7XXX Serisi.....	7
2.3.1.8 AA2014 Alüminyum Alaşımının Özellikleri	7
3. AA2014 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ KULLANIM ALANLARI	8
3.1 Uçak Gövde Kanatlarında Kullanımı	8
3.2 Soğutma Plakaları.....	9
3.3 Otomotiv Endüstrisi	10
4. ALÜMİNYUM AA2014 ALAŞIMLARINA UYGULANAN İŞLEMLER..	11
4.1. Yaşlanma Isıl İşlemi.....	12
4.2. Çözeltiye Alma.....	13
4.3. Su Verme (Soğutma).....	15

4.4.	Yaşlanma İşlemi.....	16
5.	AA2014 ALÜMİNYUM ALAŞIM TOZLARININ KARBON İLE SENTEZLENMESİ VE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ.....	21
6.	SU SOĞUTMALI DÖNER DİSK PÜSKÜRTME YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN AA2014 ALAŞIMI TOZLARININ SOĞUTMA HIZINA PÜSKÜRTME PARAMETRELERİNİN ETKİSİ.....	25
7.	DENEYSEL İŞLEMLER	27
7.1.	Numune Dökümü	27
7.2.	Elektron Mikroskop Numunelerinin Hazırlanması	29
7.2.1.	SEM için Numune Hazırlama	29
7.2.2.	TEM için Numune Hazırlama	30
8.	BULGULAR	32
8.1.	SEM Gözlemleri.....	33
8.1.1.	A1 Numunesinin SEM Gözlemleri	33
8.1.2.	A2 Numunesinin SEM Gözlemleri	36
8.1.3.	AA2014 Alaşımının İşlenmesi Sırasında İşleme Parametrelerinin Yığıntı Katman ve Yığıntı Talaş Oluşumu Üzerindeki Etkilerinin SEM ile İncelenmesi	40
8.2.	TEM Gözlemleri.....	43
8.3.	Sertlik	47
9.	TARTIŞMA VE SONUÇLAR	49
	İLERİ ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER	51
	KAYNAKLAR.....	52
	ÖZGEÇMİŞ.....	57

ÖZET

AA2014 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ MİKRO YAPISININ İNCELENMESİ

Bu tezde, vakumlu eritme fırınında 800 °C’de eritilen ve Bridgman tipi kontrollü doğrusal katılaştırma fırınında büyütülen AA2014 alüminyum alaşımının mikroyapısı elektron mikroskopi teknikleri ile incelendi. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntülerinden, numunelerde tane küçülmesi gözlenmiştir. Fırın içerisinde mevcut olan oksijenden dolayı tane sınırlarında oksitlenmelerin olduğu görülmüştür. Yüksek sıcaklığın etkisiyle termodinamik durumlarını kaybetmelerinden dolayı tane sınırlarının bazı bölgelerinde birleşme yetersizlikleri görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: AA2014 Alüminyum Alaşımı, Mikroyapı, Elektron mikroskopisi.

SUMMARY

INVESTIGATION OF THE MICROSTRUCTURE OF AA2014 ALUMINUM ALLOY

In this thesis, the microstructure of the AA2014 aluminum alloy grown in a Bridgman type directional solidification vacuum furnace at 800 °C was investigated by electron microscopy techniques. When scanning electron microscope (SEM) images were investigated, it was observed that there is a decrease in grain size. Oxidations in grain boundaries due to the presence of oxygen in the furnace were seen. In some areas of the grain boundaries, lack of unification due to the losing their thermodynamic state at the high temperatures was observed.

Keywords: AA2014 Aluminum alloy, Microstructure, Electron microscopy.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1. Alüminyum soğutma plakası	9
Şekil 4.1. Yaşlandırma ısıl işlemi sıcaklık-zaman faz diyagramı	13
Şekil 4.2. Al- Cu faz diyagramı.....	14
Şekil 4.3. Yaşlandırma ısıl işleminde faz diyagramına göre işlem sıcaklıklarının gösterilmesi.....	15
Şekil 4.4. Al-Cu faz diyagramı ve Al % 4 Cu alaşımının çözeltiliye alma işlemi, su verme ve çökelme sertleşmesi safhalarında mikro yapı değişimleri	17
Şekil 4.5. Yaşlandırma ısıl işlemi aşamaları ve mikro yapıları.....	19
Şekil 4.6. Yaşlanma süresine bağlı olarak malzemenin sertlik veya mukavemetindeki değişimi.....	19
Şekil 4.7. Yaşlandırma sırasındaki çeşitli ara durumların gösterimi.....	20
Şekil 5.1. MA işleminde kullanılan işlem görmemiş tozlar	23
Şekil 5.2. Mekanik alaşımlanmış tozların morfolojisi.	23
Şekil 7.1. Kokil kalıba Alüminyum dökümü	27
Şekil 7.2 Grafit Eritme Potası.	28
Şekil 7.3 . Grafit Kalıptan Çıkarılmış Numune.....	28
Şekil 7.4. (a) Silindirik numunenin koordinat eksenini, (b) numunenin metal silindir üzerine reçine ile yapıştırılması.....	31
Şekil 7.5. İnceltelen numunenin lam üzerine yerleştirilmesi ve üstten görünüşü.....	31
Şekil 8.1. 450 °C’de A1 numunesinde anafaz içinde dağılmış olan yapıların genel SEM görüntüsü.	34
Şekil 8.2. 450 °C’de A1 numunesinde zımparalamaya bağlı olabileceği düşünülen yapısal bozuklukların (mikro boşluklar) SEM görüntüsü.....	34
Şekil 8.3. 450 °C’de A1 numunesinde gözlenen mikro boşlukların görünümünü detaylı olarak gösteren SEM görüntüsü.	35
Şekil 8.4. 450 °C’de A1 numunesinde gözlenen metal parçalarının leke yapısı	36
Şekil 8.5. 550 °C’de A2 numunesinde anafaz içinde dağılmış olan yapıların genel SEM görüntüsü	37
Şekil 8.6. 550 °C’de A2 numunesinde mikro yapıdaki bozulma belirtileri.	38
Şekil 8.7. 550 °C’de A2 numunesinde erime belirtileri	38
Şekil 8.8. 550 °C’de A2 numunesinde eriyen parçacıkların etrafa saçılması.	39

Şekil 8.9. 550 °C’de A2 numunesinde eriyen bölgedeki boşluk.....	39
Şekil 8.10. YT ve YK oluşmuş kesici takım görüntüsü	41
Şekil 8.11. AA2014 alaşımın kaplamasız karbür kesici takımla 200 m/dak kesme ve 0.30 mm/dev ilerleme hızında işlenmesi sonucu kesici takım üzerinde gerçekleşen YK ve YT görüntüsü	42
Şekil 8.12. AA20142 alaşımın kaplamasız karbür kesici takımla 300 m/dak kesme ve 0.30 mm/dev ilerleme hızında işlenmesi sonucu kesici takım üzerinde gerçekleşen YK ve YT yığıntı talaş görüntüsü.....	42
Şekil 8.13.(a) Kuvvetli-ışın görüntüsü, (b) zayıf-ışın görüntüsü [24].	43
Şekil 8.14. Isıl işlem uygulanmamış TEM görüntüsü.	45
Şekil 8.15. 450 °C’de ısıl işlem uygulanmış TEM görüntüsü	45
Şekil 8.16. 500 °C ’da ısıl işlem uygulanmış TEM görüntüsü.	46
Şekil 8.17. 550 °C ’da ısıl işlem uygulanmış TEM görüntüsü.	46
Şekil 8.18. 150 °C’de yapay yaşlandırılmış AA2014 alüminyum alaşımının sertlik değişimi.....	47
Şekil 8.19. 180 °C’de yapay yaşlandırılmış AA2014 alüminyum alaşımının sertlik değişimi.....	48

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Dünya Rafine Alüminyum Üretimi (Bin Ton)	3
Tablo 2.2. Saf alüminyumun özellikleri	4
Tablo 2.3. Mekanik işlem (dövme) alaşımlarının kodlama sistemi.....	5
Tablo 2.4. AA 2014 Alüminyum İşlem Alaşımının Kimyasal Bileşimi (% ağırlık)	7

SİMGELER LİSTESİ

λ	: Dalga boyu
d	: Düzlemler arası mesafe
a	: Örgü parametresi
n	: Difraksiyon derecesi
θ	: Difraksiyon açısı
\mathbf{g}	: Difraksiyon vektörü
α	: Saçılma açısı
eV	: elektron Volt
h	: Planck sabiti
E_K	: Kinetik enerji
m	: Hıza bağlı olarak değişen kütle
m_0	: Durgun kütle
M	: Büyütme oranı
L	: Erime gizli ısı
ΔT	: Alt soğuma miktarı
T_E	: Erime sıcaklığı
r	: Yarıçap
θ	: Temas (ıslatma) açısı
σ_{ka}	: Katı ile alt yüzey arasındaki ara yüzey enerjisi
σ_{sa}	: Sıvı ile alt yüzey arasındaki ara yüzey enerjisi

KISALTMALAR LİSTESİ

TEM	: Geçirmeli Elektron Mikroskopisi / Mikroskobu (Transmission Electron Microscopy / Microscope)
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskopisi / Mikroskobu (Scanning Electron Microscopy / Microscope)
EDX	: Enerji-Ayırım X-Işını Spektrometresi (Energy Dispersive X-Ray Analysis)
HREM	:Yüksek Ayırma Güçlü Elektron Mikroskopisi / Mikroskobu (High Resolution Electron Microscopy / Microscope)
STEM	: Taramalı-Geçirmeli Elektron Mikroskobu (Scanning Transmission Electron Microscope)
SE	: İkincil Elektronlar (Secondary Electrons)
BSE	: Geri Saçılan Elektronlar (Back Scattering Electrons)
EDC	: Electro-Discharging Compaction
GP	: Guinier-Preston
AA	: Alüminyum Alaşım
A1	: AA2014 1.numune
A2	: AA2014 2.numune
MA	: Mekanik Alaşımlama
YT	: Yığıntı Talaş
YK	: Yığıntı Katman
BSD	: Bilgisayarlı Sayısal Denetim
HRB	: Metal Sertlik Birimi

1.GİRİŞ

1900'lü yılların başlarında yaygın olarak kullanılmaya başlanan alüminyumun, bazı üstün özellikleri sayesinde kullanım alanı giderek artmıştır. Özgül ağırlığının düşük, elektrik iletkenliğinin yüksek, gümüş beyazı rengini açık havada uzun süre koruyabilmesi, tokluğunun yüksek olması alüminyuma sıcak ve soğuk dövülebilme yeterliliği kazandırır. Ayrıca alaşım elementi ilave edilebilmesi ve bu sayede özelliklerinin olumlu yönde gelişmesiyle kullanım alanları geniş bir alana yayılmıştır [1]. Uzay, uçak, otomobil, makine, bilgisayar endüstrisi, elektrik iletimi ve sağlık sektörü gibi alanlarda kendisine kullanım alanı bulan alüminyum alaşımları, artık günümüz teknolojisinin vazgeçilmez malzemelerinden birisi haline gelmiştir ve bu nedenlerden dolayı deney malzemesi olarak seçilmiştir. Kullanımı esasında mekanik özelliklerinin yetersizliği ve işlenebilirlik problemleri, alaşım elementleri ilave edilerek, çeşitli ısıl işlemler uygulanarak, işleme şartları geliştirilerek giderilmeye çalışılmıştır[2].

Alüminyum alaşımları; silisyum, bakır, magnezyum, çinko ve mangan ana alaşım elementlerinden birini ya da bir kaçını içerirler. Demir, krom ve titanyum gibi elementler ise düşük miktarda bulunabilirler. Özel alaşımlarda, bunları yanı sıra nikel, kobalt, kalay, kurşun ya da vanadyum bulunabilir. Alüminyum alaşımlarına ilave edilen alaşım elementlerinden Cu, Mg, Mn, Fe, Pb, Bi gibi elementler işlenebilirliklerini olumlu yönde etkilemektedirler. Ayrıca alüminyum alaşımlarına uygulanan ısıl işlemler de malzemelerin mekanik özelliklerini etkilediklerinden işlenebilirlik durumları üzerinde de etkili olmaktadır.

Malzeme bilimi alanında en önemli özellikleri kendi bünyesinde bulunduran mühendislik malzemelerinden birisi de alüminyum ve alaşımlarıdır. Alüminyum ve alaşımlarının en önemli avantajları kolay işlenebilirliği, yüksek ısıl ve elektrik iletkenliğidir. Ayrıca alüminyum ve alaşımları, düşük sertlik ve aşınma direncine sahip olmasına rağmen bu malzemeler endüstrilerde özellikle tribolojik uygulamalarda, demir ve çelikten sonra en fazla kullanılan mühendislik malzemesidir [3].

Alüminyum alaşımları, günümüz teknolojisinin vazgeçilmez malzemelerinden biri haline gelmiştir. Alüminyumun kullanımı sırasında önemli sorunlar ortaya çıkmaktadır. Özellikle mekanik özelliklerinin yetersizliği ve aşınma problemleri nedeniyle alüminyuma alaşım elementleri ilave edilmesiyle birlikte çeşitli ısıl işlemler uygulanarak, aşınma direncinin artırılmasına yönelik çalışmalar çok fazla önem kazanmıştır [4].

Alüminyum alaşımlarının dayanımı, aşınma direnci ve diğer mekanik özelliklerinin

iyileştirilmesi için kullanılan en önemli yöntemlerden biri ısıtma işlemidir. Endüstri ve diğer uygulamalarda en yaygın olarak kullanılan ısıtma işlemi, yaşlandırma ısıtma işlemidir. Bu yöntemle, ikinci faz çökeltilerinin mikro yapı içerisinde oluşması sağlanmaktadır. Oluşturulan bu fazlar, sıcaklığa ve zamana bağlı olarak malzemenin sertliğini ve mekanik dayanımını arttırmaktadır [5].

Bu çalışmada AA2014 alüminyum alaşımının mikro yapısı elektron mikroskopi teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Sıcaklık uygulamaları yapılarak farklı sıcaklık değerlerinin malzemenin mikro yapısı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

2.1 Alüminyumun Endüstrideki Yeri

Alüminyum, yeryüzünde oksijen ve silisyumdan sonra en çok bulunan üçüncü element olmasına rağmen, endüstriyel çapta üretimi 1886 yılında elektroliz yönteminin kullanılmaya başlanması ile gerçekleşmiştir [6]. Alüminyum, metal pazarında demir ve çelikten sonra ikinci sırayı almaktadır. 1900'lü yılların başlarında yaygın olarak kullanılmaya başlanan alüminyumun birçok üstün özellikleri sayesinde endüstride kullanım alanı her geçen gün artmaktadır [1,3]. Tablo 2.1'de 1996-2005 yıllarına göre alüminyumun dünyadaki üretim miktarları verilmiştir. Alüminyum; taşıt araçları, uzay mekiği, uçak, ambalaj ve paketleme, dekorasyon, iletişim, ısı yalıtımı ve daha pek çok alanda kullanılmaktadır. Alüminyum, üretiminden tüketimine kadar çevreyle dost ve geri dönüşümlü olması nedeniyle önemli bir avantaja sahiptir [7].

Tablo 2.1. Dünya Rafine Alüminyum Üretimi (Bin Ton) [8].

YIL	ABD	KANADA	FRANSA	ALMANYA	İNGİLTERE	NORVEÇ	HINDİSTAN	AVUSTRALYA	ÇİN	RUSYA	DÜNYA GENELİ
2005	2480	2894	442	662	368	1376	942	1903	7806	3647	31895
2004	2517	2592	451	668	360	1322	861	1895	6689	3594	29922
2003	2704	2792	443	661	343	1192	799	1857	5547	3478	28001
2002	2705	2709	463	653	344	1095	671	1836	4321	3348	26076
2001	2637	2583	461	652	341	1068	324	1784	3371	3302	24436
2000	3668	2373	441	644	305	1026	649	1762	2794	3247	24418
1999	3779	2390	455	634	270	1020	621	1719	2598	3146	23710
1998	3713	2374	424	612	258	996	545	1626	2335	3005	22654
1997	3603	2327	399	572	248	919	547	1490	2035	2906	21798
1996	3577	2283	380	577	240	862	531	1372	1771	2874	20846

2.2 Alüminyumun Özellikleri

Alüminyumun fiziksel özellikleri çok az miktarda da olsa diğer elementlerin ilavesinden büyük ölçüde etkilenir. Tablo 2.2’de % 99,995 saflıktaki alüminyumun özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.2. Saf alüminyumun özellikleri [9].

Atom numarası	13
Atom ağırlığı	26,97 g/mol
Kristal yapısı	Yüzey Merkezli Kübik
Yoğunluğu	2,7 g/cm ³
Erime noktası	660 °C
Yeniden kristalleşme sıcaklığı	150 °C-300 °C
Buharlaştırma noktası	2450 °C
Özgül ısısı	0,224 cal/g (100 °C)
Çekme mukavemeti	40-90 MPa
Akma mukavemeti	10-30 MPa
Kopma uzaması	% 30-40

Alüminyum korozyona dayanıklı bir malzemedir. Alüminyumun yüzeyinde oluşan kararlı Al₂O₃ tabakası korozyonu önler ve metali korur. Alüminyum saflaştıkça korozyon direnci ve iletkenliği artar. Ayrıca dayanımı soğuk işleme önemli ölçüde arttırılabilir [1,10].

2.3. Alüminyum Alaşımları

2.3.1. Alüminyum Alaşımlarının Kodlama Sistemleri

Alüminyum alaşımları ürüne şekil verme yöntemine göre mekanik işlem (dövme) alaşımları ve döküm alüminyum alaşımları olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Dört basamaklı sayısal bir tasarım sistemi olan mekanik işlem (dövme), alüminyum alaşımlarını belirlemek için kullanılır. Dört basamaklı sayısal simgenin ilk rakamı alaşımın hangi temel alaşım elementini içerdiğini gösterir. Tablo 2.3.’de gösterildiği gibi 1XXX serisi saf alüminyumu ifade eder. Son iki basamak alüminyumun saflığını gösterir. İkinci

basamak orijinal alaşımın modifikasyonunu gösterir [11].

Tablo 2.3. Mekanik işlem (dövmeye) alaşımlarının kodlama sistemi [11].

Alüminyum Alaşım Grupları	Yaşlandırılma Kabiliyeti
1XXX %99,0 veya daha fazla Al içerir.	Yaşlandırılmaz.
2XXX Cu ana alaşım elementidir.	Yaşlandırılabilir.
3XXX Mn ana alaşım elementidir.	Yaşlandırılmaz.
4XXX Si ve Cu veya Mg ana alaşım elementidir.	Eğer Mg varsa yaşlandırılabilir.
5XXX Mg ana alaşım elementidir	Yaşlandırılmaz.
6XXX Mg ve Si ana alaşım elementidir.	Yaşlandırılabilir.
7XXX Zn ana alaşım elementidir.	Yaşlandırılabilir.
8XXX Diğer elementler	-----
9XXX Yaygın olarak kullanılmayan seri	-----

Alüminyum alaşım grupları ve kullanım alanları aşağıdaki şekilde gruplandırılabilir.

2.3.1.1. Alüminyum 1XXX Serisi

1XXX Serisi ticari olarak saf alüminyum ifade eder ve en az % 99 alüminyum içerir. Bu malzemelerin, şekillendirilmesi, elektrik iletkenlikleri ve korozyon dirençleri oldukça yüksektir. 1XXX serisinin son iki rakam ise, % 99 değerinden sonraki kısmı belirlemede kullanılır. Örneğin 1100 malzemesinin % 99.00 oranında, 1050 malzemesinin % 99.50 oranında ve 1060 malzemesinin ise % 99.60 oranında saf alüminyum içerdiğini belirtir [12,13].

2.3.1.2. Alüminyum 2XXX Serisi

Alüminyum-bakır-magnezyum alaşımları, ilk olarak çökeltme sertleştirilmesi yapılabilen alaşımlardır. Çökeltme sertleştirilmesi yapılan ilk alaşım 2017 alaşımıdır. Bu alaşımlar yapı içerisinde özellikle %4 Cu, %0,6 Mg ve %0,7 Mn bulunmaktadır. Yapı içerisinde ağırlıkça bulunan %4,4 Cu, %0,5 Mg, %0,8 Mn ve %0,8 Si'li 2014 alaşımı yapay yaşlandırmaya 2017 alaşımından daha fazla tepki vermesi için daha sonra

geliştirilmiştir. Bugün en çok kullanılan Al-Cu-Mg alaşımlarından biridir. Yüksek dayanım, magnezyum içeriğini %0,5'den %1,5'e çıkarmakla elde edilmiştir. Magnezyumun, alüminyum-bakır alaşımlarına ilavesi alüminyum bakır alaşımlarında çökelti sertleşmesini oldukça hızlandırır ve yoğunlaştırır [12,13].

2.3.1.3. Alüminyum 3XXX Serisi

Alüminyum 3XXX serinin en önemli alaşım elementi manganezdır. Alaşımında, düşük oranlarda yani %1,2 oranında manganez dayanımı arttırmaktadır. Bu serideki, 3003, 3004 ve 3105 alaşımlarının, korozyon direnci ve işlenebilirliği yüksektir. 3XXX serisi alaşımlar, yaygın olarak çeşitli yapı ve çatı sistemleri ve çatı kaplamaları gibi mimari alanlarda kullanılır [12,13].

2.3.1.4. Alüminyum 4XXX Serisi

Alüminyum 4XXX serisindeki alaşımlara, silisyum ilave edilerek, kaynak ve lehimleme işlemlerinde erime noktası düşürülmekte, böylece alaşımın kaynak ve lehimleme kabiliyeti iyileştirilmektedir. Silisyumun alaşımın akıcılık özelliğini artırması nedeni ile özellikle döküm teknolojisinde, geometrisi karmaşık şekillerin üretilmesine imkân vermektedir. Alüminyum 4043 alaşımı, yaygın olarak kaynak dolgu teli olarak kullanılmaktadır [12,13].

2.3.1.5 Alüminyum 5XXX Serisi

Alüminyum 5XXX serisi, yüksek dayanım ve korozyon direnci sağlayan magnezyum elementini içermektedir. Gemi iskeletleri ve diğer denizcilik uygulamalarında, kaynak tellerinde kullanılır. Bu serideki alaşımların dayanımı magnezyum miktarının oranına göre değişir[12,13].

2.3.1.6. Alüminyum 6XXX Serisi

Alüminyum 6XXX alaşımlar, belirli oranlarda magnezyum ve silisyum içermesi nedeni ile Mg_2Si çökeltisi oluşturur. İyi derecede dayanım ve korozyon direncine sahiptir. AA6061 alaşımı ise, düşük karbon çelikleri ile kıyaslanabilecek akma dayanımına sahip, en yaygın kullanılan alaşımlardan biridir [12,13].

2.3.1.7. Alüminyum 7XXX Serisi

Bu serinin en önemli alaşım elementi çinkodur. 7XXX serisi, alüminyum–çinko–magnezyum alaşımları (örneğin 7005) ve alüminyum–çinko–magnezyum –bakır alaşımları (örneğin 7075 ve 7178) olmak üzere iki alt gruba ayrılmaktadır. Minimum çekme dayanımı 580 MPa olan 7178 alaşımı, uçak yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bakır ile desteklenen 7XXX serisi alüminyum alaşımlarının korozyon direnci, Şekil 3.2’de belirtildiği gibi 1XXX, 3XXX, 5XXX veya 6XXX serisi alüminyum alaşımlarından daha düşüktür [12,13].

2.3.1.8 AA2014 Alüminyum Alaşımının Özellikleri

Alüminyum alaşımları içinde en sert ve mekanik değerleri en yüksek olanlardan birisidir. Alaşımın ağırlıkça yüzde bileşenleri Tablo 2.4’de verilmiştir.

Tablo 2.4. AA 2014 Alüminyum İşlem Alaşımının Kimyasal Bileşimi (% ağırlık)

Element Malzeme	Al	Cu	Si	Mn	Mg	Fe	Cr	Ti
AA2014	92,792	4,82	0,816	0,654	0,61	0,221	0,057	0,041

3. AA2014 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ KULLANIM ALANLARI

AA 2014 alüminyum alaşımı gemi, havacılık, demiryolu, otomotiv, inşaat, silah ve elektrik endüstrisinde kullanılmaktadır. En sık kullanıldığı alanlardan bazıları aşağıdaki alt başlıklarda verilmiştir.

3.1 Uçak Gövde Kanatlarında Kullanımı

Uçak imalatında teknolojik farklılıkları ortaya çıkaran en önemli nedenlerden birisi; havada uçurduğumuz bir kütlenin mümkün olduğu kadar hafif olmasını sağlamaktadır. Bu koşulu sağlamak için tasarlayacağımız uçak parçasının mukavemet açısından gerekli kriterleri sağlaması yanında mümkün olan en hafif biçimde olmasını sağlamaktır. Uçak parça tasarımında yapılan malzeme seçiminde;

$$\frac{\text{Seçilen malzemenin mukavemeti}}{\text{Seçilen malzemenin yoğunluğu}} = \text{en büyük oran'ı} \quad (1)$$

(Mukavemet kg/mm²: Malzemenin 1mm² nin kopma esnasında taşıdığı yük)

(Yoğunluk kg/m³: 1m³ malzemenin ağırlığı)

sağlayan malzeme seçilmelidir. Havacılık sektöründe kullanılan ve bu oranın en büyük olduğu malzemeler alüminyum, paslanmaz çelik ve titanyumdur. Alüminyum 2014 alaşımı, çelikten 3 kat, titanyumdan 1.5 kat daha hafiftir. (1) nolu oranlamayla uçaklardaki alüminyum kullanımını yaklaşık %80 olurken, çelik kullanımını %10, titanyum kullanımını da %5 civarında olmaktadır. Çelik alaşımları yüksek mukavemet ve kullanım yerindeki hacim sınırlaması olan yerlerde, titanyum alaşımları da hafiflik ve yüksek sıcaklıkta dayanım gereken yerlerde tercih edilmektedir. Kullanılan bu malzemeler sürekli geliştirilerek veya yeni malzemeler oluşturularak (1) no'lu oranı artırmak için sürekli olarak çalışılmaktadır.

Yukarıdaki (1) no'lu oranı uçak gövdesi olarak düşündüğümüz kola ve konserve kutusuna uygularsak çelik olan konserve kutusunu alüminyuma çevirerek ağırlığımızı 3 kat azaltabiliriz (çelik malzeme yoğunluğu alüminyuma göre 3 kat fazladır). Kola kutusu alüminyum olduğu için ağırlık kazancımız olmamasına karşın piyasadaki bazı konserve kutuları malzemesi alüminyumdur. Alüminyum konserve kutu kalınlığı, kola kutusuna göre 3 kat fazla olması ağırlığı 3 kat fazla yapmaktadır.

Malzeme seçimi sonrasında tasarlanan ve imalatı yapılan uçak parçalarının montajı sonrasında (örnek: uçak gövdesi, kanat vb)

$$\frac{\text{Yapısal tasarımın mukavemeti}}{\text{Yapının ağırlığı}} = \text{en büyük oran'ı} \quad (2)$$

(2) no'lu oranlama için her kutuyu ayrı ayrı inceleyelim. Kola kutusu hafiflik açısından uçak gövdesi için çok uygun olmasına rağmen mukavemetsel değerler açısından isteklerimizi karşılamadığını düşünürsek, konserve kutusu da uçak mukavemetsel açıdan gerekli koşulları sağlasa da kutunun ağırlığı (2) no'lu oranı düşürücü etki yapmaktadır. Daha doğrusu uçak yapımız ne kadar sağlam olsa da fazla ağırlık yapının havada kalmasını güçleştirmektedir. (2) no'lu koşulu sağlamak için ideal olarak uçak gövdesini konserve kutusu kadar güçlü yapısal mukavemete getirirken, kola kutusu kadar da hafif olmasını sağlamamız gerekmektedir. İlk imalatı (prototip) yapılan uçağa laboratuvar koşullarında gelen yüklere göre deformasyon, kırılma, bükme, eğme testleri yapıp uygulanan kuvvetler ölçülür.

Ölçülen değer, tasarım değerinden büyükse uçak aşırı güvenli diğer bir deyişle ağır

Ölçülen değer, tasarım değerinden küçükse uçak yapısı zayıf

Ölçülen değer, tasarım değerine eşitse uçağımız (2) no'lu oranı en yüksek oranda sağlamaktadır.

3.2 Soğutma Plakaları

Alüminyumun AA2014 alaşımı yüksek ısı iletkenliği ve katı veya içi boş şekiller halinde çekilmesindeki veya dökülmesindeki kolaylık, malzemeyi soğutma plakaları için ideal bir malzeme haline getirmektedir. Yarıiletken elemanlar ve transformatör gövdeleri bu alandaki geniş kullanımı göstermektedir. Düşük ağırlığı, bu malzemeyi doğrudan soğutulması gereken ekipmanın üzerine monte edilmesini kolaylaştırır[15].



Şekil 3.1. Alüminyum soğutma plakası

3.3 Otomotiv Endüstrisi

Otomobillerdeki yapının kinetik enerjiyi soğurma kapasitesi, kullanılan malzemenin mekanik karakteristikleri, tasarım ve montaj şekilleriyle belirlenmektedir. Yapılan çok sayıda çarpışma testi, enerji soğurma karakteristiklerinin alüminyum kullanımıyla iyileştirilebildiğini göstermektedir. Bu sebeple alüminyum ön darbe sistemlerinde kullanım için idealdir. Tasarımla ilgili olarak uygun yerlerde ekstrüzyon yöntemiyle üretilmiş alüminyum parçalar kullanılarak montaj işlemlerinden kaçınmak ve yapıyı daha güçlü hâle getirmek mümkündür. Böylece hem %50 daha hafif hem de dayanıklılığı artmış bir yapı sağlamak mümkün olabilmektedir.

AA2014 alüminyum alaşımının yoğun olarak kullanıldığı taşıtların sahip olduğu avantajlardan biri de alüminyumun doğasından gelen ve araca kazandırdığı yapısal kararlılıktır. Aracın ani yön değiştirmesi esnasında etkiyen kuvvetler, aracın makro boyutlu burkulmalara maruz kalmasına sebep olacaktır. Şayet araç daha hafif ve kararlı bir yapıya sahip ise aracın yönünü düzeltme ihtiyacı azalacaktır.

Yukarıda bahsedilen özelliklerinin yanında AA2014 malzeme, boyasız veya kaplamasız olsa bile sudan ve yol tuzlarından kaynaklanan korozyona karşı dayanıklıdır. Görsel olmayan parçalarda çelik için gerekli olan ve ilave maliyet getiren galvanizleme, kaplama veya boyama alüminyum için gerekli olmayabilir. Alüminyum, boyanın çizilmesi veya kalkması durumunda çelik gibi paslanmaz, korozyona dirençlidir. Bazı plastik malzemeler gibi çöl sıcağı, kuzey soğuşu veya UV ışınlarının etkisi sonucunda özellikleri zayıflayarak kırılma eğilimindedir.

4. ALÜMİNYUM AA2014 ALAŞIMLARINA UYGULANAN İŞLEMLER

Isıl işlem, metallerde istenilen özellikleri geliştiren bir ısıtma işlemi veya işlemler zinciri olarak bilinmektedir. Bir diğer ifadeyle metallerin ısıtılmasını ve soğutulmasını gerektiren durumlarda ve kimyasal bileşiminde herhangi bir değişme yapmadan sadece mekanik özelliklerini istenilen şekilde olmasını sağlayan işlemler olarak tarif edilebilir [16].

Alüminyum alaşımlarına ilave edilen alaşım elementlerinin ısıl işlem uygulanması neticesinde dayanımı arttırdığı gibi bazı alaşım elementlerinin ilavesiyle de ısıl işleme tabi tutulmasına engel olmaktadır. Bu sebepten dolayı, ısıl işleme karşı gösterdikleri hassasiyete göre dövme veya dökme alüminyum alaşımları, ısıl işlem uygulanabilen veya ısıl işlem uygulanamayan alaşımlar olarak iki gruba ayrılmaktadır [1,26,27].

Isıl işlem yapılabilen alaşımların içinde bulunan elementler, yüksek sıcaklıklarda büyük ölçüde katı halde erime özelliklerine sahip olmakla beraber, düşük sıcaklıklarda katı halde eriyebilme özellikleri sınırlı kalmaktadır. Bu önemli neden alaşımın ısıl işlem yapılabilmesine imkân sağlamaktadır [3].

Alüminyum alaşımlarına uygulanan sertleştirme amaçlı ısıl işlemle sertlik artışı, ikinci faz çökeltilerinin ince ve homojen olarak matris içinde çökmesiyle sağlanır. Bu nedenle sertleştirme yöntemi “çökeltme sertleşmesi” olarak adlandırılmıştır. Demir dışı metallerin mukavemetini arttırmada kullanılan en önemli yöntemlerden birisi de çökeltme sertleşmesidir. Özellikle uçak sanayisinde kullanılan hafif alüminyum alaşımları çökeltme sertleşmesi ile sertleştirilmektedir. Bu işlem malzemenin sadece mekanik özelliklerini değil, aynı zamanda manyetik ve iletkenlik özelliklerini de etkilemektedir. Bu nedenle yaşlandırma ısıl işlemi, elektronik malzemelerin özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla da uygulanmaktadır [28].

Yaşlandırma ısıl işlemine tabi tutulabilen önemli alaşımlarından birisi de AA2014'tür. Alüminyum aslında iyi döküm ve mekanik özelliklerine sahip değildir. Bu özellikleri en iyi sağlayan elementler ise magnezyum ve silisyumdur. Alüminyum içerisine ilave edilen Mg ve Si ile ısıl işlem yapılmasını sağlamasıyla Mg_2Si çökeltilerinin oluşması sayesinde korozyon direncini ve dayanımını arttırmaktadır ve bu şekilde de aşınma direnci de artmaktadır.

Al-Mg-Si alaşımları mimari ve dekoratif uygulamalarda kullanılır. Kolay ekstrüde edilebilme özelliği, iyi yüzey kalitesi ve dayanımıyla bilinen bir alaşımdır. İngiltere'de

ekstrüzyon edilmiş alüminyum ve alaşımlarının yaklaşık olarak %50'si en çok inşaat ve bina yapılarında kullanılmaktadır [29].

Çökelme ile sertleşebilen alüminyum alaşımlarında mekanik özellikleri arttıran çökelti farklı alaşımlarda ve farklı bileşiklerden oluşmaktadır. Bunları aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

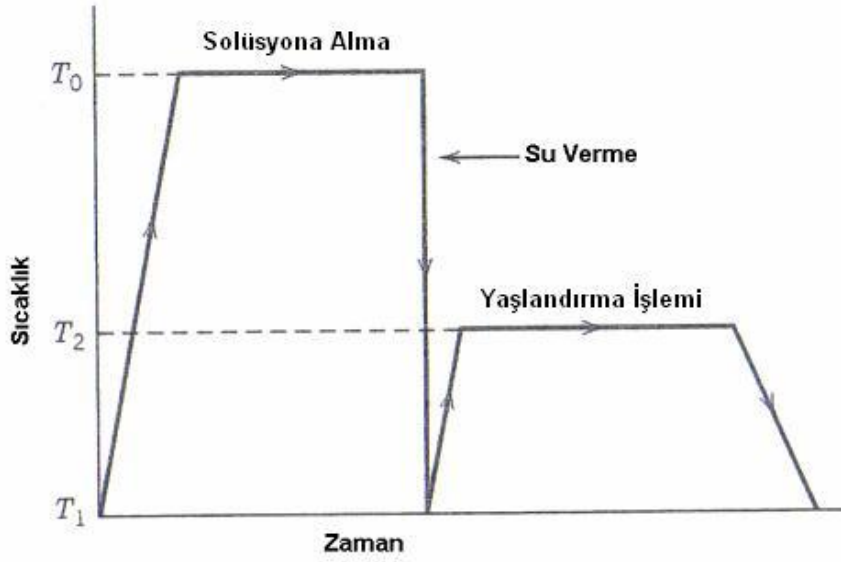
a) Al-Cu alaşımları, CuAl_2 bileşiği ile dayanım kazanır.

b) Al-Cu-Mg alaşımları, Mg'un yoğun olarak bulunduğu bileşiklerle dayanım kazanır.

c) Al-Mg-Si alaşımları, Mg_2Si bileşiği ile dayanım kazanır.

4.1. Yaşlanma Isıl İşlemi

Isıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımlarında yaşlanma ısıl işlemi, üç ana safhadan oluşmaktadır. Plastik şekil değiştirmesine ihtiyaç duyulmaksızın ve üretimi sırasındaki istenen bir kademede malzemenin sertleştirilmesi, çökelme sertleşmesi yönteminin üstünlükleri olarak özetlenebilir. Çökelme sertleşmesi, ancak denge diyagramlarında solvüs eğrisi bulunan alaşımlarda oluşur. Sadece solvüs eğrisinin sınırladığı katı eriyik bileşimlerinde meydana gelebildiğini Şekil 4.1'de açıkça gösterilmiştir. Yani alaşım elementinin çözünme miktarı sıcaklıkla artmalıdır. Çökelme sertleşmesinin aşamalarından birincisi öncelikle solüsyona alma işlemi, ikincisi su verme (soğutma), üçüncü olarak yaşlandırma işlemi olarak bilinmektedir [9]. Şekil 4.1'de yaşlandırma ısıl işleminin aşamaları gösterilmektedir.

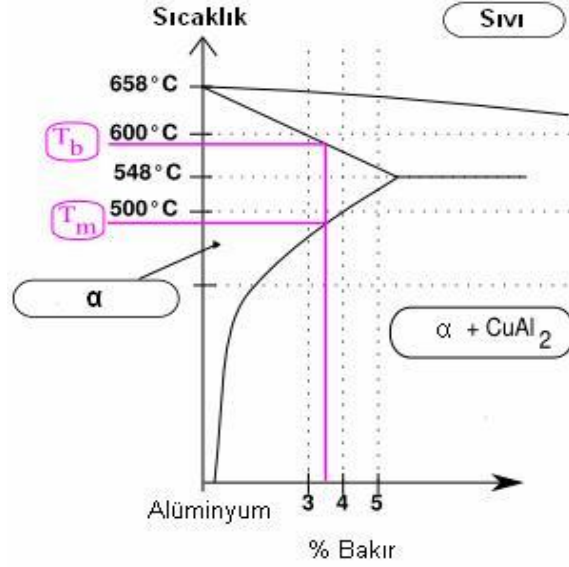


Şekil 4.1. Yaşlandırma ısıl işlemi sıcaklık-zaman faz diyagramı [31].

4.2. Çözeltiye Alma

Çökeltme sertleşmesi ile malzemenin dayanımının artırılmasında ilk aşama solüsyona alma işlemidir. Solüsyona almada amaç mukavemet artırıcı alaşım elementlerinden maksimum miktarını katı eriyik içine almaktır. Bu nedenle alaşım, artan alaşım elementi miktarıyla yükselen tek fazlı bölgeye girme sıcaklığına ulaşıldığına emin olunan sıcaklığın yani solvüs sıcaklığının birkaç derece üzerine kadar ısıtılmalıdır. Bu aşamada alaşımın ötektik erime sıcaklığından daha düşük sıcaklığa kadar ısıtılmalıdır [3].

Isıl işlem uygulanabilen alaşımlarda Şekil 4.2’de görüldüğü gibi solvüs sıcaklığı artan alaşım elementi miktarıyla birlikte daha yukarı sıcaklıklara yükselmektedir. Bundan dolayı ısıl işlem uygulanacak malzemenin kimyasal bileşimini tespit ederek çözelti ısıl işlem sıcaklığının belirlenmesi büyük faydalar sağlamaktadır.

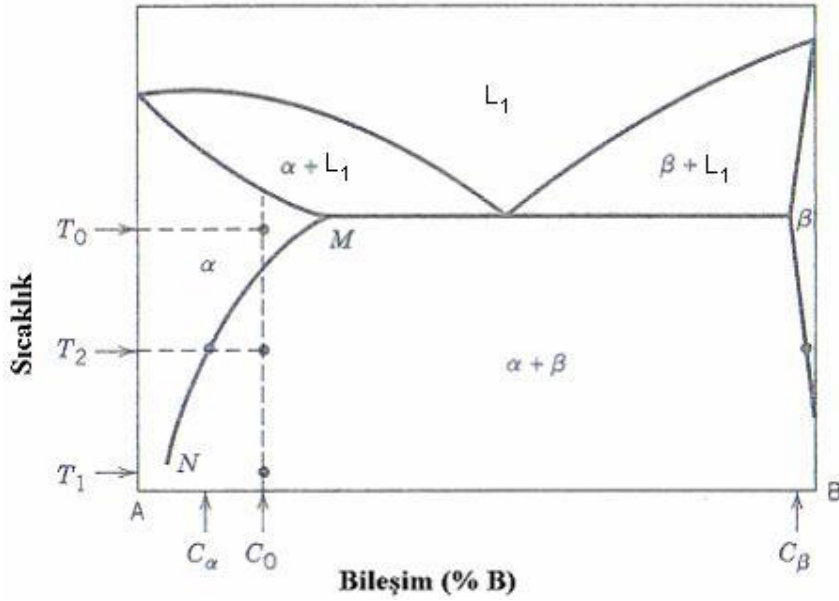


Şekil 4.2. Al- Cu faz diyagramı [32].

Eğer alaşımın ötektik erime sıcaklığı aşılsa tane sınırı erimesi meydana gelir ve malzemenin mekanik özelliklerinde azalma olur. Solüsyona alma işleminde ısıtma hızı, dikkat edilmesi gereken hususlardan biridir. Çünkü ısıtma hızı, dengesiz erimelere sebep olmaktadır. Örneğin, % 4 Cu içeren Al alaşımının Fe durumunda (döküm, sıcak işlenmiş vb.) CuAl_2 çökeltileri bulunur. Bu çökeltiler ancak uygun ısıtma hızlarında 500 °C’de çözünürken hızlı ısıtmalarda CuAl_2 ’nin birçoğu çözünmeden kalmaktadır [3].

Solüsyona alma işleminde diğer önemli nokta ise solüsyonda bekleme süresidir. Bu süre, malzeme yapısında çözünmemiş faz bırakmayacak ve homojen bir yapı verecek şekilde ayarlanmalıdır. Solüsyona alma süresi, ince kesitli malzemelerde düşük olup artan kesit miktarıyla birlikte artmaktadır [3].

Ötektik başlangıç sıcaklığının aşılmasına dikkat edilmelidir. Şekil 4.3 deki faz diyagramına göre T_0 sıcaklığından daha fazla bir sıcaklık üzerine yani ötektik erime sıcaklığı üzerine çıkılmamalıdır. Alt sıcaklık değeri ise, katı eriyiğe alma işlemlerinin tamamlandığı sıcaklıktan biraz yüksek olmalıdır. Yani T_0 sıcaklığından daha az bir sıcaklık seçilir.



Şekil 4.3. Yaşlandırma ısıtma işleminde faz diyagramına göre işlem sıcaklıklarının gösterilmesi [31].

Eğer alaşımın ötektik erime sıcaklığı aşırsa, tane sınırlarında erime oluşur ve malzeme kırılabilir olur. Eriyebilen elemanların alüminyum içinde katı eriyik halinde kalması için işlem sıcaklığı dikkatli seçilmelidir. Çözünmeyen alaşımlarının difüzyonunu engellemek ve tane büyümesine fırsat vermemek için ısıtma hızı yeterli dereceye kadar yüksek olmalıdır [1].

4.3. Su Verme (Soğutma)

Yaşlandırma ısıtma işleminin en önemli aşaması su verme işlemi olarak düşünülebilir. Su vermede amaç solüsyona alma işlemiyle oluşturulan aşırı doymuş katı eriyiğin hızlı soğuma ile toparlanmasına fırsat vermeden oda sıcaklığına soğutulmuş olarak korunmasıdır [3].

Su verilmezse katı eriyikler tane sınırlarında ve kayma düzlemlerinde çökerek şekil değiştirme kabiliyetini azaltır, taneler arası korozyon mukavemeti düşer [1,10].

Bu şekilde Şekil 4.3'deki faz diyagramına göre T_1 sıcaklığında ani olarak su verme işlemi yapılır. Çözeltiye alınan alaşımın su verilmesiyle oluşan aşırı boşluk konsantrasyonu beklenen denge difüzyonundan daha hızlı difüzyon oluşması ile çözünen atomlar toparlanarak GP (Guinier-Preston) bölgelerinin oluşmasına neden olurlar [3]. Su verme esnasında çökme olması için fırın ile su ortamı sırasındaki zaman az olmalı ve su verme

ortamının ısı absorbe etme katsayısı çok düşük olmalıdır. Pratikte su verme işlemi normal olarak azami su verme gecikmesi ve azami su sıcaklığı ile kontrol edilir. [1,10].

Malzemeler fırında su verme ortamına ister mekanik olarak isterse de otomatik olarak gönderilsin; bu süre azami su verme gecikmesini aşmamalıdır. Standart su verme gecikmesi, fırın kapısının açılmaya başlaması ile malzemenin su verme ortamına dalmasıyla biten süredir. İzin verilen maksimum zaman sıcaklık ve oda sıcaklığındaki havanın hızına ve parçaların kesitlerine bağlıdır [1,10].

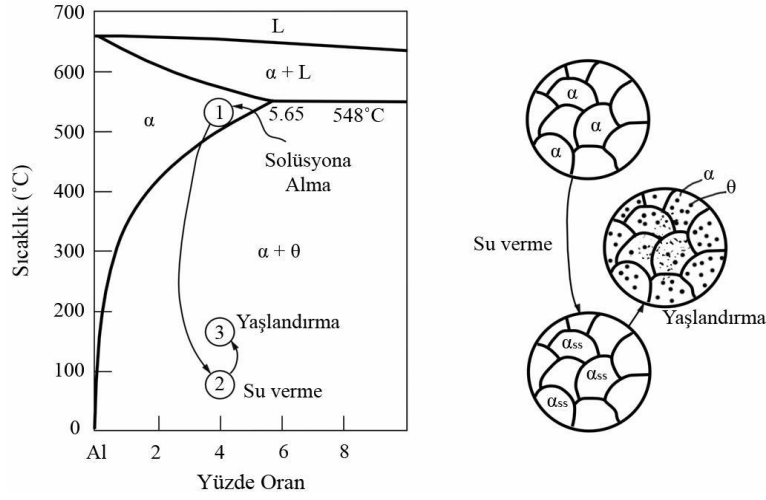
Su verme işleminde kritik faktörler, su verme aralığı ve su verme ortamıdır. Su verme aralığı fırın kapaklarının açılıp, yükün daldırılmasına kadar geçen zaman olup, mümkün olduğunca azaltılmalıdır. Su verme aralığı, 10 ila 20 saniyelik gibi sürelerde olmalıdır [1].

Genel kural olarak en iyi maksimum dayanım ve tokluk hızlı soğuma ile elde edilir. Daha hızlı su verme, çözündürme işleminin kalıcılığını daha fazla arttıracak, bu da daha sonra çökme sertleşmesinin daha etkin olarak yapılmasını sağlayacaktır. Ulaşılabilecek en yüksek dayanıma en hızlı su verme hızıyla erişilebilir [1,3].

Dayanımı artırma işlemlerinde kırılmalardan sakınmak için, dayanımı artırma işlemi mümkün olduğu kadar su vermeden hemen sonra olmalıdır. Bu işlem genellikle 24 saat içinde yapılmalıdır [1,33].

4.4. Yaşlanma İşlemi

Aşırı doymuş katı eriyiğin çözeltiye alınması ve su vermeden sonra oda sıcaklığında (doğal yaşlanma) veya denge solvüs eğrisinin altında (suni yaşlanma) bir sıcaklıkta çökelmeye alınması olayı yaşlandırma veya çökelti ısı işlemi olarak bilinir. Bir diğer ifadeyle aşırı doymuş bir katı fazdan zaman ve sıcaklık etkisiyle yeni bir fazın oluşmasına çökme sertleşmesi (yaşlanma) adı verilir. Şekil 4.4'de görüldüğü gibi solüsyona alma işleminde sonra su verme işlemi sonucunda yaşlandırma işlemi yapılmaktadır. Yaşlandırma işleminin yapılabilmesi için alaşımın hangi sıcaklıklarda yaşlandırılması gerektiği bilinmelidir. Katı eriyiğe alma ısı işleminden sonra uygulanan su verme sonucu alüminyum alaşımları, tam olarak uygun bir sertlik ve mukavemete ulaşamazlar. Bu alaşımlarda maksimum sertlik ve mukavemeti elde etmek için alaşım yaşlandırılır [1,3].



Şekil 4.4. Al-Cu faz diyagramı ve Al % 4 Cu alaşımının çözeltiye alma işlemi, su verme ve çökeltme sertleşmesi safhalarında mikro yapı değişimleri [11].

Çökelti sertleşmesinin ana mekanizması çözünen atomların uyumlu bir topluluk oluşturmasını sağlamaktır. Bu oluşum ile bir araya toplanan çözünen atomlar bir taraftan matris kristal yapısına uyum gösterirken atom boyutları arasındaki farktan dolayı büyük miktarda gerilme meydana gelir. Bu nedenle çökeltinin gerilme alanının varlığı malzemede çizgisel kusur hareketine engel olduğundan malzemeye daha fazla mukavemet veya gerilme kazandırır. Malzeme mukavemetinin artmasında önemli bir etki ise çökelti veya çözünen atom gruplarının uyumlu veya uyumsuz olmasına bağlıdır. Çökeltmenin ilk safhalarında ikinci faz tamamen oluşmakta, fakat ikinci fazınkine benzer bir kristal yapısı katı eriyikle sıkı temas halinde büyümektedir. İki yapı arasındaki atom dizilişi uygun ise katı eriyik bozuluma uğramaktadır. Bu küçük boyutlu çökelti parçacıkları ilk olarak 1938'de Guinier-Preston tarafından X ışınları ile bulunmuştur. Bundan dolayı bu ön kademe çökeltilerine literatürde GP zonları denir[11]. Guinier-Preston (GP) bölgesi olarak bilinen çözünen atomların çökeltleri kristal ve mikro yapıda değişiklik nedeniyle malzeme özelliklerinde önemli derecede etkili olurlar. GP bölgesinin boyutu, şekli ve dağılımı; alaşımın kimyasal bileşimi, uygulanmış olan mekanik ve ısıl işleme bağlıdır. GP bölgeleri X ışınları ile tanımlanabilirken bazı durumlarda elektron mikroskoplarıyla ile görülebilir. Çözen ve çözünen atom boyutlarının birbirine yakın olduğu durumlarda GP bölgeleri küresel şekildedir (Al-Ag ve Al-Zn). Ancak atom boyutları arasındaki fark büyükse (Al-Cu sistemi) GP bölgesi disk şeklinde olur. GP bölgeleri boyut itibarıyla yaklaşık 100 Å çapında 10-15 Å yüksekliğinde olup açıkça yeni bir faz veya yeni bir kristal yapı oluşturmaktan ziyade matris kafesinde değişime uğramış bir bölge oluştururlar.

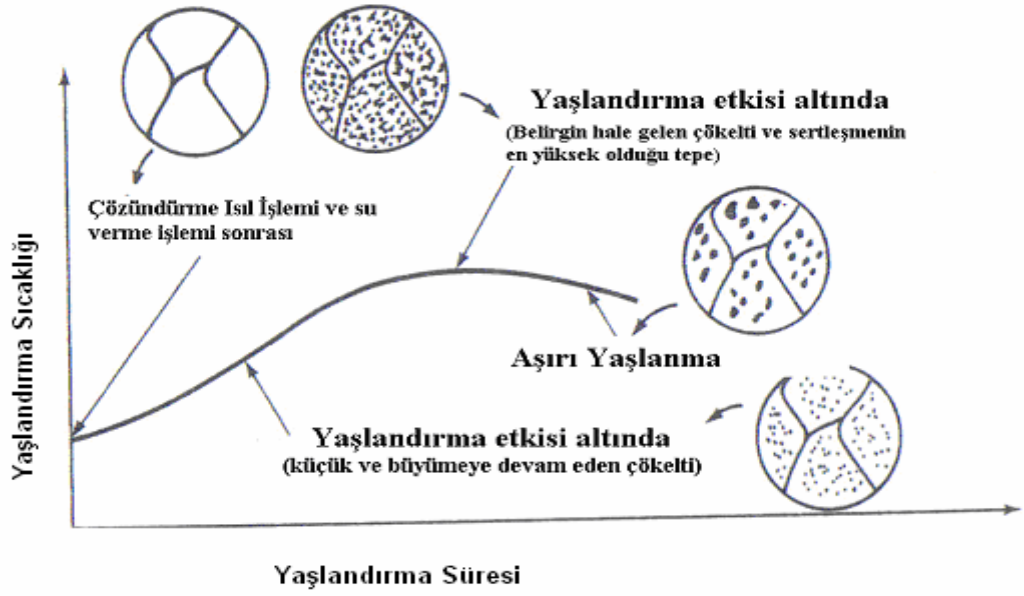
Bu tür oluşum tamamen dengeli bir yapı oluşturduğundan mikro yapıda önemli bir değişim olmadan ürettikleri geniş bir deformasyon ve çizgisel kusur hareketlerini kısıtlayan gerilme alanlarının oluşturmalarından dolayı malzemenin mekanik özelliklerini artırır [1,3].

Alüminyum alaşımlarına uygulanan yaslandırma ısıl işlemi esnasında çeşitli bölgeler oluşmaktadır. Bu bölgeler; GP-1, GP-2, θ^1 ve θ bölgeleri olarak sıralanmaktadır. Alüminyum-bakır içeren alaşımların çoğunda GP-1 bölge düzlemleri boyunca alüminyum matris kafes yapısıyla uyumlu zengin bakır içeren yaklaşık 100 Å uzunluğunda ve birkaç atom kalınlığında bakır atomları kümeleri şeklindedir. Bakır atomunun atomik yarıçapı (r) alüminyumun atomik yarıçapından küçük olması nedeniyle ($r_{Al}=0,143$ nm, $r_{Cu}=0,128$ nm) GP bölgesinin çevresindeki matris düzlemi bakır katmanına doğru yaslanır [3].

GP-2 bölgeleri GP-1 bölgelerinden daha kalın (yaklaşık olarak 150 Å) ve daha geniş (yaklaşık olarak 1500 Å) çapta tetragonal kristal yapılı disk şeklinde çökelen parçacıklardan oluşur. GP-2 bölgeleri Al ve Cu atomları Cu_2Al_5 bileşiği kapsayan bir yapı meydana getirirler [3]. Gerilme yaşlandırması, uyumlu çökelti mesafelerinin düzenlenmesini kontrol etmede en önemli yöntemlerden biridir. Çökeltilerin anizotropik dağılımı yaşlandırma esnasında gerilim uygulayarak belirlenebilir. Bu anizotropik dağılım iki fazlı malzemenin anizotropik davranış göstermesini sağlar [3].

Al-Cu alaşımında, çökelti fazı (θ^1) tetragonal kristal yapıya sahiptir. Al $\theta^1=4,04$ Å ve Cu $\theta^1=5,80$ Å 'dur. Bu θ^1 fazı ve matris (Al) arasındaki yapısal farklılık düzensiz çökelti oluşumuna sebep olur [3].

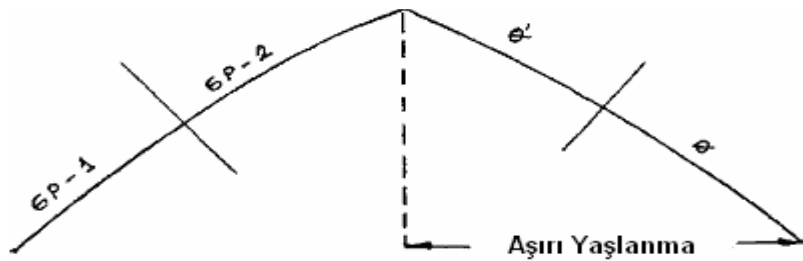
Yaslandırma ısıl işlemi sayesinde elde edilen maksimum özellikler θ^1 bölgesinde elde edilir. Isıl işleme devam edildiğinde çökeltilerin boyutları ve dağılımı ideal olmaktan çıkarak komsu çökeltelerde birleşip aşırı derecede büyürler (Sekil 4.5). Bu durumda oluşan bölgeler θ bölgeleri olarak bilinmektedir. Çökeltilerin aşırı derecede büyümesinden, çökelti arası mesafe de artmaktadır. Bu durumda oluşan çökelti arası mesafe çizgisel kusurları önleyemeyecek durumdadır. Böylece alaşım θ^1 bölgesinde kazanmış olduğu üstün özellikleri θ bölgesinde kaybeder [3].



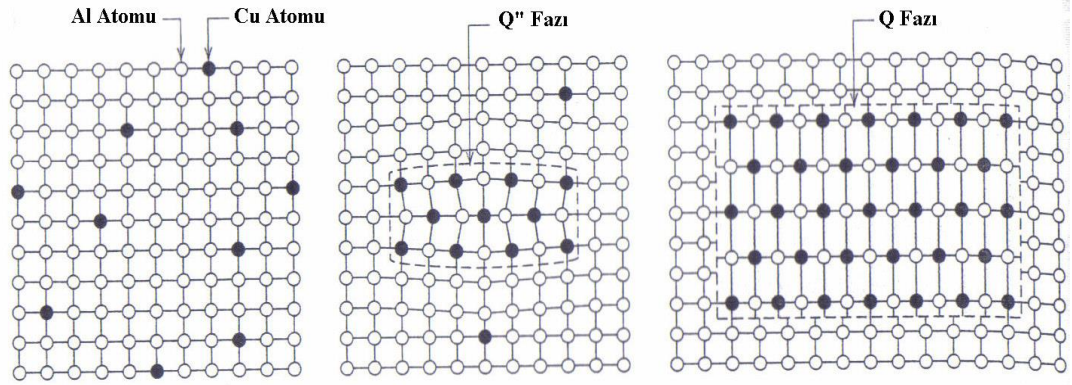
Şekil 4.5. Yaşlandırma ısıl işlemi aşamaları ve mikro yapıları [34].

Çökeltmenin başlangıcında çökelti boyutları çok küçük olduğundan deformasyon sırasında çizgisel kusurlara engel teşkil etmezler ve bu sebeple malzemenin sertliğinde önemli bir değişiklik olmaz. Fakat çökeltinin boyutları arttıkça, çökelti çizgisel kusurlar için engel teşkil ederler ve malzemenin mukavemeti artar [1].

Şekil 4.6'da görüldüğü gibi GP-1 ve GP-2 bölgelerinin oluşmasıyla malzemenin sertliğinde artış meydana gelir. Fakat yaşlanma süresi uzadıkça sertlik değerinde bir düşme meydana gelir. Bu durumda çökeltinin yapısı θ^1 veya θ^2 'dir. Yaşlanma süresinin artması ile sertlik veya mukavemette meydana gelen yaşlanmaya "aşırı yaşlanma" denir [1]. Şekil 4.7'de ise yaşlandırma ısıl işleminin nasıl olduğu görülmektedir.



Şekil 4.6. Yaşlanma süresine bağlı olarak malzemenin sertlik veya mukavemetindeki değişimi [1].



a)

b)

c)

Şekil 4.7. Yaşlandırma sırasındaki çeşitli ara durumların gösterimi. a) Çözünen atomun çözen atom içerisindeki dağılımı, b) Kendisini çevreleyen matris ile uyumlu çökelti, c) Kendisini çevreleyen matris ile uyumsuz çökelti [34].

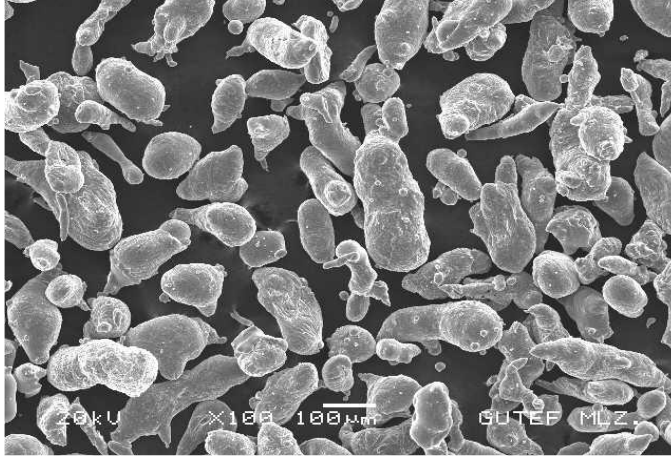
5. AA2014 ALÜMİNYUM ALAŞIM TOZLARININ KARBON İLE SENTEZLENMESİ VE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Yapı malzemelerinin verimliliğini devamlı geliştirebilmek için malzeme bilimi ve mühendislik alanındaki çalışmalar duraksamadan devam etmektedir. Mekanik, kimyasal ve fiziksel özelliklerde elde edilen gelişmelerde, kimyasal, termal, mekanik ve termo-mekanik işlem metotları yaygın olarak düzenlenip, yenilenmektedir. Bu yeni işlemler, malzemelerin tasarım ve gelişiminde “termal özelliklerini, dayanımını, sertliğini ve hafifliğini” artırmak ve geleneksel metotlarla üretilen malzemelerden daha üstün özelliklerde yeni malzemeler üretmek için kullanılmaktadır. Gelişmiş malzeme teknolojisi bu esasa dayanır [26]. Malzemelerin gelişimin ve özelliklerini artırmak veya diğer metotlar ile üretilemeyen malzeme türlerini elde edebilmek için, yeni üretim metotlarından toz metalürjisi yöntemi, günümüz endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır[27]. İleri üretim yöntemleriyle üretilmiş Al alaşım tozlarından AA2014 alüminyum alaşımında bakır, magnezyum, manganez, demir ve silisyum bulunurken, diğer alaşım elementlerinden eser miktarda bulunmaktadır [28,29].

Üretilen tozların özelliklerini artırmak için mekanik yöntemler uygulanabilmektedir. Bu yöntemlerden Mekanik Alaşımlama (MA) deneysel çalışmalarda ve sanayide kullanılmaktadır. MA işlemi önce tozların doğru oranlarda karıştırılması ile başlar ve tozlar en uygun öğütme süresi belirlenerek öğütme haznesine bilyelerle (genellikle çelik bilyeler) birlikte yerleştirilir. Bu karışım daha sonra kararlı bir duruma ulaşana kadar uygun görülen sürede öğütülür. MA işlemindeki öğütme süreci kompozisyon içerisindeki toz parçacık boyutlarının eşitlenmesi veya başlangıçtaki toz boyutlarına ulaşılmasına kadar devam edilir [30,31]. MA sürecinde oluşan yüksek enerjili parçacıklar ve soğuk kaynaklanan toz parçacıkları ilk karışım düzenini oluşturmaktadır. Tozların son mikro yapıları püskürtme yöntemi ile elde edilen tozlardan ve aynı tane boyutuna sahip hızlı katılma işlemine tabi tutulmuş tanelerden genelde daha iyidir. Bunun yanında, toz parçacıklarının devamlı olarak bilyelerin ve bilye hazne arasında çarpışmalar nedeniyle mikro yapısal gerilmeler artmakta, bu da mekanik özelliklerde iyileşme ve gelişime neden olmaktadır [32]. Toz metalürjisinde ve diğer ileri imalat yöntemlerinde, karbür ve diğer katı parçacık ilaveleri ile malzemelerin performansını artırmada önemli aşamalar kaydedilmiştir.

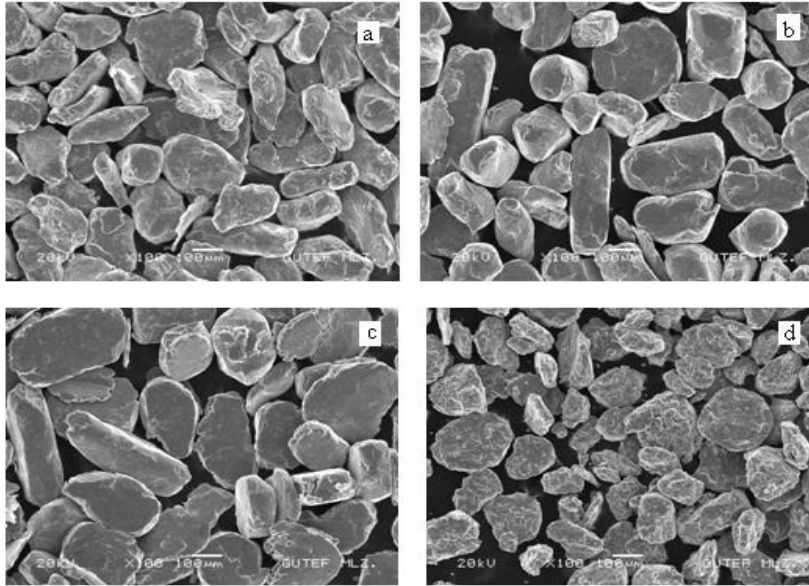
AA2014 tozları Gaz Püskürtme Yöntemi ile yüksek saflıktaki argon gazıyla 15 bar basınç altında üretilen tozlardır. MA esnasında alaşımlama sürecine etki eden hız, yağlayıcı, süre, sıcaklık gibi MA 'da etkin rol oynayan parametrelerin etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır. MA işlemi için yüksek enerjili dikey değirmen kullanılmıştır. Değirmen içerisinden yüksek saflıkta argon gazı geçirilerek toz tanelerin oksitlenmesi engellenmeye çalışılmıştır. Ön çalışmalar sonucunda 500 rpm ve 1/20 bilye toz oranının, alaşımlamanın verimliliği açısından en uygun seviye olduğu görülmüştür. Çalışmalar esnasında işlem süreçlerinin yapısal sonuçlara olan etkilerinin tespit edilebilmesi için, mikro yapı, mekanik özellik ve bunlarla ilgili çeşitli karakterizasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. MA işlemine tabi tutulan tozların karakterizasyon çalışmalarında, sırasıyla; mikroskopik incelemeler, X ışını analizleri ve toz boyut analiz yöntemi kullanılmıştır. Mikroskopik incelemeler, standart metalografik işlemler sonrası, Joel JSM-5600 model cihaz ile SEM görüntülemesi yapılmıştır.

Öğütme hızının tespiti için ön çalışmalar yapılarak uygun hız olarak 500 rpm tespit edilmiştir. MA işleminin uygunluğunun incelenmesi için çalışmalar sonrasında değirmen kolları ve hazne her seferinde temizlenerek kontrol edilmiş ve herhangi bir bozulma ve aşınma ile karşılaşılmamıştır. Buna rağmen, MA sonrası yapılan oksit dağılım haritalaması çıkarıldığında, oksit oranının düşük seviyelerde olduğu tespit edilmiştir. Daha önce saf Al ve C tozları ile yapılan bir MA çalışmasında, yağlayıcı olarak ek bir kimyasal kullanmadan alaşımlama gerçekleştirilmiştir [33,34]. Çinko stearat kullanmadan yapılan ön çalışmalarda, MA süresi olarak en fazla 2 saate kadar öğütme işlemi gerçekleştirilebilmiş, bu da öğütme için yeterli bir süre olarak görülmemiştir. Benzer şekilde, bu çalışmada başlangıç olarak MA işlemi için herhangi bir ek yağlayıcı kullanmadan AA2014 tozları karbon ile öğütülmeye çalışılmıştır. Burada, AA2014 tozlarına göre kullanılan karbon oranı sadece %2 dir. Amacı, karbür oluşturma yanında, yağlayıcı olarak da işlev gördüğünü tespit edebilmektir. Ancak, MA işlemi sırasında karbonun yağlayıcılık görevi yapmadığı, belli bir sürenin üzerinde, öğütmenin yetersiz olduğu, değirmenin kitlendiği ve yağlayıcısız kaldığı için çalışmadığı gözlenmiştir. MA işleminde kullanılan tozlar, Gazi Üniversitesi 41/2009-04 nolu proje kapsamında, Düşey Gaz Atomizasyon ünitesinde üretilmiştir.



Şekil 5.1. MA işleminde kullanılan işlem görmemiş tozlar

Şekil 5.1.'de görüldüğü gibi tozlar tipik gözyaşı damlası ve küremsi şekillere sahiptir. Şekil 5.2. a,b,c ve d'de kimyasal katkı olmadan, sadece karbon kullanımı sonrası toz şekilleri görülmektedir. Yağlayıcısız yapılan öğütme işleminde, MA işlem parametrelerinde süreye bağlı olarak tanelerin tabaka ve daha sonrasında levha haline gelmesi, kırılması ve daha sonra birleşmesi gerçekleşmeden taneler sadece kırılıp sonra tekrar birleşmişlerdir. Bu süreci yağlayıcı etkisinin yetersizliğine ve deformasyon hızının yüksekliğine bağlayabiliriz.



Şekil 5.2. Mekanik alaşımlanmış tozların morfolojisi **a)** 1 saat mekanik alaşımlanmış tozlar. **b)** 2 saat mekanik alaşımlanmış tozlar. **c)** 3 saat mekanik alaşımlanmış tozlar. **d)** 4 saat mekanik alaşımlanmış tozlar.

Şekil 5.2.a'da 1 saat MA sonrası görüntü incelendiğinde toz taneleri plaka şeklinde iken, MA süresinin artırılması ile yapıda kırılmalar (Şekil 5.2. b ve c) sonrası birleşmeler (Şekil 2 d) meydana geldiği ve oluşması beklenen pulsu yapının ortaya çıkmadan yapıda kırılmalar ve kaynaklaşmanın olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan detaylı incelemede, kırılmaların ve sonrası oluşan katmanların tabakalar halinde meydana gelmesi, beklenildiği gibi düzenli bir MA sürecinin tam olarak gerçekleşmediğini kanıtlamaktadır. MA'da kullanılan alaşım değiştiği zaman, öğütme zamanının da değiştiği bilinmektedir. [35,36].

6. SU SOĞUTMALI DÖNER DİSK PÜSKÜRTME YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN AA2014 ALAŞIMI TOZLARININ SOĞUTMA HIZINA PÜSKÜRTME PARAMETRELERİNİN ETKİSİ

Hızlı katılaştırma geleneksel döküm yöntemleriyle elde edilemeyen faz ve mikro yapıları oluşturmak amacıyla sıvı metalin 102 K/s'den daha büyük hızla soğutulması işlemi olarak tanımlanabilir [37].

Geleneksel döküm yöntemleriyle hızlı katılaştırmayı birbirinden ayıran kesin bir soğuma hızı olmamakla birlikte, genellikle 102 K/s'den büyük soğuma hızları hızlı katılaştırma olarak kabul edilmektedir. Özel şartlar altında 109 K/s gibi yüksek soğuma hızına ulaşılabildiği gibi, genellikle soğuma hızı 103-106 K/s arasındadır [38,39]. Hızlı katılaştırmanın gerçekleştirilebilmesi için sıvı metalin ısısının hızla uzaklaştırılması gerekir. Bunun için katılaştıran parçacığın en az bir boyutunun çok küçük olması gerekir.

Bu boyut bazen 10-50 mm kadar küçük olabileceği gibi, en az 102 K/s'lik soğuma hızını sağlayacak şekilde birkaç yüz mikron mertebesinde de olabilir. Özet olarak, hızlı katılaştırmanın gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan şartlar şunlardır [40]:

(a) Katılaştıran malzeme en az bir yönde küçük boyuta veya büyük bir yüzey/hacim oranına sahip olmalıdır.

(b) Dış ortamla olan ısı dengesi katılaştıran malzemedeki ısının çok kısa bir sürede alınmasına imkân vermelidir. Hızlı katılaştırma ile malzemenin içyapısında meydana gelen değişiklikler şunlardır:

1. Katılma hızı arttıkça mikro ve makro ayrışma azalır.
2. Katı haldeki çözünürlük miktarları veya sınırları genişler.
3. Alaşımın içyapısında bulunan ikincil fazların büyüklüğü, şekli ve dağılımı değişir.
4. Normal soğuma hızlarında ayrışma sonucu oluşan fazlar ortadan kalkar.
5. İçyapıda yarı kararlı fazlar oluşur. Daha sonra uygulanan ısı işlemlerle bu fazlar başka kararsız, yarı kararlı veya kararlı fazlara dönüşürler.
6. Camsı yapıda alaşımlar üretilebilir [41].

Hızlı katılaştırma yöntemleriyle toz, şerit, elyaf, lamel, pul, tel vb. şekilli ürünler elde edilir. Soğuma hızı uygulanan yöntem ve ürünün boyutlarına göre değişiklik gösterir. Döner disk püskürtmesi sıvı metal veya alaşımın yüksek hızda dönmekte olan disk üzerine akıtılıp, merkezkaç kuvvet etkisiyle parçalanarak toz elde etme işlemidir [42]. Disk üzerine

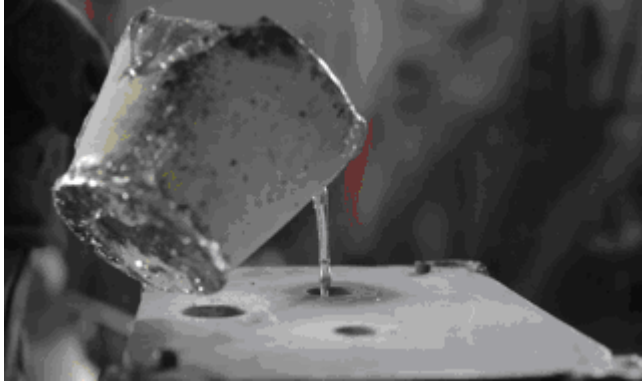
düşen sıvı metal damlacıkların katılaşması büyüklüklerine bağlı olarak disk üzerinde veya diskten savrulduktan sonra gerçekleşir [43]. Küçük boyutlu tozların yüzey/kütle oranı daha büyük olduğundan daha hızlı soğurlar. Tozların katılaşmasını hızlandırmak veya ısının süratle uzaklaştırılmasını sağlamak amacıyla katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç değişik soğutma ortamı kullanılır. Sıvı metal damlacıklarını soğutulan bir katı yüzeye çarptırarak yapılan soğutmada katı-sıvı ara yüzeyinde iletim ısı transfer katsayısı yüksek olduğundan soğuma hızı da yüksek olur [39]. Öte yandan, pek çok hızlı katılaştırma yöntemi sıvı metali ısı iletim katsayısı yüksek olan metal bir yüzeye temas ettirerek soğutma esasına dayanır. Bu sebepten, hızlı katılaştırma işleminde ısı iletim katsayısı yüksek olan bakır gibi metaller kullanılır. Hızlı katılaştırmanın olabilmesi için sıvı-katı ara yüzeyindeki ısı transfer katsayısının yüksek ve soğuyan sıvı metal filminin kesitinin ince olması gerekir [37].

7. DENEYSEL İŞLEMLER

Deneysel işlemler numune dökümünün yapılması, dökümü yapılan numunelerden TEM ve SEM numunelerinin hazırlanması olmak üzere üç bölümde incelenecektir. Bu çalışmada kullanılan AA2014 alaşımının döküm işlemleri kokil döküm metal kalıcı dökme tekniği ile Seydişehir Etibank Alüminyum İşletmesi'nde yapılmıştır.

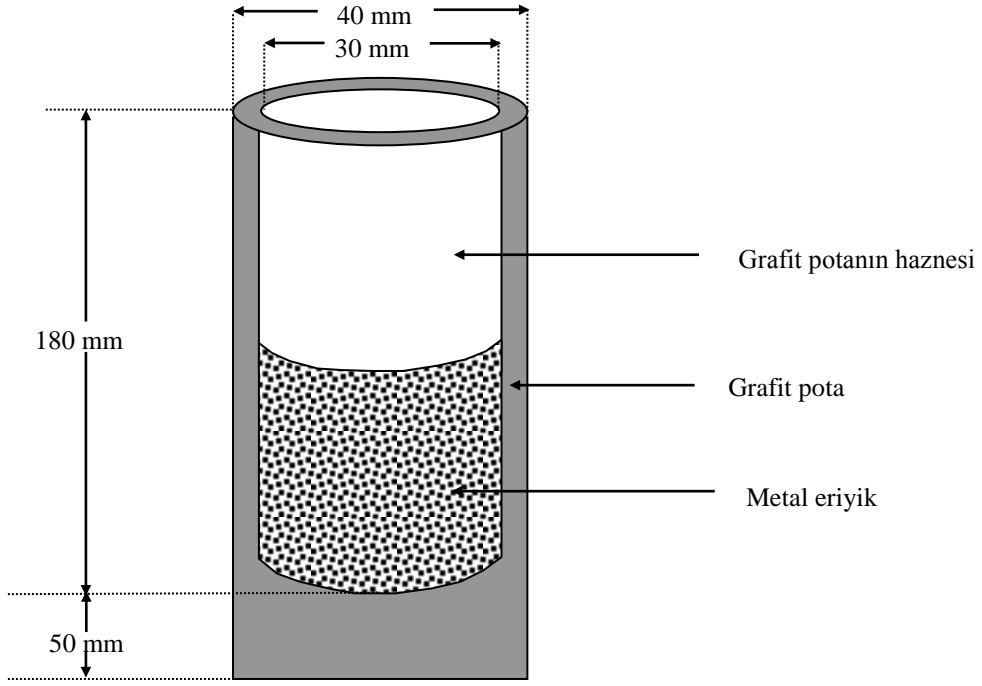
7.1. Numune Dökümü

Bu çalışmada kullanılan AA2014 alüminyum alaşımı kokil döküm metal kalıcı dökme tekniği ile yapılmıştır. Yüksek basınç altında erimiş metalin kalıp boşluğunda sıkıştırılarak şekle girmesiyle olan metal döküm işlemine kokil döküm denir. Kalıp boşluğu, şeklini içine işlenmiş ve enjeksiyon kalıba benzer olan iki sertleştirilmiş takım çeliğinden alır. Genellikle kokil döküm demir dışı metaller, özellikle çinko, bakır, alüminyum, magnezyum, kurşun, kalay ve kurşun ve kalay bazlı alaşımlarla yapılır.



Şekil 7.1. Kokil kalıba Alüminyum dökümü

AA2014 bileşimdeki alaşımların hazırlanabilmesi için ağırlıkça uygun orandaki metaller 0,1 mg'a duyarlı hassas terazi ile tartılmıştır. Dökümden önce toz formundaki metaller 30 mm çapında ve 180 mm derinliğindeki silindir şeklindeki grafit kokil potaya konulmuştur. Döküm işlemlerinde grafit pota, huni ve kalıp kullanılmasının sebebi ısı iletkenliğinin metallerinkine yakın olması, çoğu metal ile etkileşmeye girmemesi ve kolay işlenebilir bir malzeme olmasıdır. Şekil 7.2'de gösterilen eritme potası vakumlu eritme fırınına yerleştirilerek alaşım yapmaya hazır hale getirilmiştir.



Şekil 7.2 Grafrit Eritme Potası.



Şekil 7.3 . Grafrit Kalıptan Çıkarılmış Numune.

7.2. Elektron Mikroskop Numunelerinin Hazırlanması

TEM ve SEM için numune hazırlama yöntemleri birçok araştırmacı tarafından çok önemli bir çalışma olarak kabul edilmiştir. Elektron mikroskobu ile yapılan bu çalışmaların çoğunda numune çok iyi hazırlanmış olmalıdır.

Bu tez konusunun tamamını oluşturan elektron mikroskobu incelemeleri TEM ve SEM ile yapılmıştır. Bu yüzden hazırlanacak olan numunelerin elektron mikroskobu gözlemlerinde sağlıklı sonuçları verebilecek kadar iyi ve kullanışlı olması gerekir. TEM gözlemlerinde kullanılacak olan numunelerin, elektronların içlerinden rahatça geçebileceği ölçüde ince ve temiz olması gerekir. SEM gözlemlerinde kullanılacak olan numunelerin ise temiz, pürüzsüz ve düzgün yüzeylere sahip olması gerekir. Bilindiği gibi TEM gözlemlerinden faydalanılarak numunelerin içyapıları hakkında ve SEM gözlemlerinden faydalanılarak ta numunelerin yüzey yapıları hakkında detaylı ve kesin sonuçlar elde edilebilmektedir.

7.2.1. SEM için Numune Hazırlama

AA2014 alaşımlarının SEM gözlemlerinin yapılabilmesi için mekanik ve kimyasal numune hazırlama yöntemleri kullanılarak SEM numuneleri hazırlandı. SEM numunelerinin hazırlanmasında aşağıdaki adımlar takip edildi:

1. İlk önce numunelerin koordinat eksenleri belirlendi. Daha sonra ise numuneden z doğrultusunda kalın bir dilim, metal testere ve Elmas Tel Kesici (Diamond Wire Cutter) ile kesildi.

2. Kesilen numuneler Şekil 7.4.b'dekine benzer bir şekilde reçine ve silikon ile ısıtılarak yapıştırıldı.

3. Numune yüzeylerinin düzgün olmasını sağlamak için numuneler mekanik zımparalama aletinde zımpara kâğıtları kullanılarak zımparalandı. Zımparalama işlemi sırasında numune yüzeyinin ısınmasını önlemek ve numune yüzeyi ile zımpara kâğıdı arasında daha iyi bir temas sağlayabilmek amacıyla su soğutması kullanıldı.

4. Zımparalama sonucu düzgün yüzeylere sahip olması sağlanan numuneler mekanik parlatma aletinde elmas pasta (diamond paste) kullanılarak parlatıldı. Parlatma

işlemi sırasında numune yüzeyinde leke oluşmasını önlemek için zaman zaman elmas pasta ilavesi yapıldı. Mekanik parlatmanın amacı pürüzsüz numune yüzeyleri elde etmektir.

5. Yüzeyi pürüzsüz hale getirilen numunelerin yüzeylerindeki mikro yapıları açığa çıkarabilmek için kimyasal dağlama işlemine geçildi. Dağlama işlemi için 90 ml saf su ve 10 ml HF karışımı [27] kullanıldı ve bu işlem numunelerin oda sıcaklığında karışıma 2-3 dakika süreyle daldırılması ile sona erdirildi. Bazı numunelere kimyasal dağlama işlemi uygulanmadı.

6. Son olarak numuneler iyice temizlendi ve böylece SEM numuneleri hazırlanmış oldu.

7.2.2. TEM için Numune Hazırlama

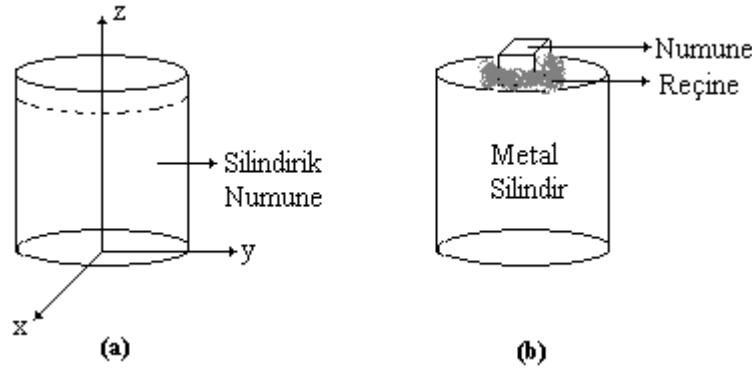
Bu tez çalışmasında kullanılan AA2014 alaşımlarının TEM incelemelerinin yapılabilmesi için düzlem-görüntü (plan-view) numune hazırlama tekniği kullanıldı. AA2014 düzlem-görüntü numunelerinin hazırlanmasında aşağıdaki adımlar takip edildi:

1. İlk önce döküm kalıbından çıkarılmış olan silindirik numunelerin Şekil 7.4.a'da gösterildiği gibi koordinat eksenleri belirlendi. Daha sonra Şekil 7.4.a'da kesikli çizgilerle gösterildiği gibi yaklaşık 2 mm kalınlığında bir dilim numuneden metal testere ve Elmas Tel Kesici (Diamond Wire Cutter (Well Walter Ebner CH 2400 Le Locle 3032-4)) kullanılarak kesildi.

2. Kesilen parça numune dilimi tekrar 2 X 2 mm boyutlarında kesildi. Bu kesme işlemi sırasında belirlenen koordinat eksenlerinin karışmamasına özen gösterildi.

3. Kesilen numuneler Şekil 7.4.b'de gösterildiği gibi metal silindirin üstüne z eksenini doğrultusunda reçine ve silikon ile ısıtılarak yapıştırıldı.

4. Yapıştırılan numuneler zımpara kullanılarak yaklaşık 0,2-0,5 mm'ye kadar inceltildi.

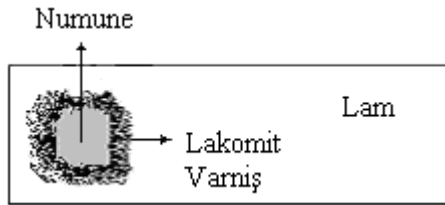


Şekil 7.4. (a) Silindirik numunenin koordinat eksenleri, (b) numunenin metal silindir üzerine reçine ile yapıştırılması.

5. İnceltilecek numuneler aseton kullanılarak temizlendi. Temizlenen numunelerin orta kısımlarının delinmesinde iki farklı yöntem kullanıldı: Bazı numunelerin orta kısımları Argon-İyon Bombardmanı yöntemi ile, bazılarının ise orta kısımları kimyasal çözeltiler kullanılarak delindi. Kimyasal çözelti yöntemiyle hazırlanacak olan numuneler bir lam üzerine lakomit varniş (kimyasal sıvımsı madde) ile Şekil 7.5’de gösterildiği gibi ortası boş kalacak şekilde yapıştırıldı. Yapıştırılan numuneler yaklaşık 1 saat kurumaya bırakıldı.

6. Kurutulan numunelerin $40 \text{ cm}^3 \text{ HCl}$, $60 \text{ cm}^3 \text{ H}_2\text{O}$ ve 0,5 g nikel klorür asit çözeltisi [59] ile orta kısımlarının delinmesi sağlandı.

7. Lam üzerinde asit ile delinen numunelerin aseton ile lamdan ayrılması sağlandı.



Şekil 7.5. İnceltilecek numunenin lam üzerine yerleştirilmesi ve üstten görünüşü.

8. Son olarak numuneler metanol içerisinde iyice temizlendi. Böylece TEM için düzlem-görüntü numuneleri hazırlanmış oldu.

Bölüm 7.2.1 ve 7.2.2’de belirtildiği gibi hazırlanan numunelerin SEM ve TEM incelemeleri Fırat Üniversitesi Elektron Mikroskop Laboratuvarı’nda (FÜEM) yapıldı. Fırat Üniversitesi’nde yapılan incelemelerde JEOL JEM-2100F ve JEOL JSM-7001F geçirmeli ve taramalı elektron mikroskopları kullanıldı.

8. BULGULAR

Alüminyum ve alaşımları dünyada demir esaslı alaşımlardan sonra ikinci sırada en önemli metal malzeme grubunu oluşturmaktadır. Sahip olduğu özelliklerin ve kullanım alanlarının başka metaller tarafından doldurulamaması Al ve alaşımlarının önemini arttırmaktadır. Günümüz teknolojisine paralel olarak Al ve alaşımları uzay ve otomotiv sanayisinde yüksek performanslı malzemeler olarak dikkate alınmaktadır.

Bu çalışmada AA2014 döküm alaşımı üzerinde çalışılmıştır. Alüminyum yüksek dayanım/özkütle oranı, mükemmel aşınma direnci ve iyi yüksek sıcaklık özellikleri sergileyen hafif bir metaldir. Genel olarak AA2014 alaşımı günümüz teknolojisi ve sanayisinde hafifliğin ve dayanımın ön planda olduğu alanlarda kullanılmaktadır ve onların sahip olduğu düşük yoğunluk, yüksek sıcaklık dayanımı ve iyi aşınma direnci gibi bazı faydalı özellikler onları mühendislik ve uzay teknolojisi uygulamaları için uygun malzeme yapmaktadır.

AA2014 alüminyum alaşımının mikro yapısı taramalı ve geçirmeli elektron mikroskopi tekniklerinin kullanılması ile incelendi. TEM ile düzlem-görüntü numuneleri incelenirken aydınlık-alan ve karanlık-alan görüntü teknikleri, elektron difraksiyon yöntemleri ve yüksek ayırma güçlü elektron mikroskopisi (HREM) görüntü tekniği kullanıldı. Düzlem-görüntü numunelerinde difraksiyona uğramadan numuneyi direkt olarak geçen elektron demetinin elektron demet ayarlayıcısı tarafından seçilmesi sonucu aydınlık-alan görüntüsü elde edildi. Bu görüntüde numunenin difraksiyona uğrayan bölgeleri karanlık, difraksiyona uğramayan bölgeleri ise aydınlık görünmektedir. Numunelerin karanlık-alan görüntüsü difraksiyona uğrayan elektronların elektron demet ayarlayıcısı tarafından seçilmesi sonucu elde edildi. Difraksiyona uğrayan demetin seçilebilmesi için ya numune belli bir açıda döndürülür ($\sim 1^\circ$) ya da numune döndürülmeden numune üzerine gelen elektron demeti yoğunlaştırıcı mercekler tarafından belli bir açıda ($\sim 1^\circ$) yolundan saptırılır. Böylece numune üzerine gelen ana elektron demeti elektron demet ayarlayıcısının dışına çarpar ve difraksiyona uğrayan demetin seçilmesi ile karanlık-alan görüntüsü elde edilir. Karanlık-alan görüntüsünde difraksiyona uğrayan bölgeler aydınlık, diğer bölgeler ise karanlık görünmektedir. Her iki görüntü yönteminde de görüntü parlaklığı veya farklılığı, elektronların numune içindeki bazı atomik düzlemlerden difraksiyona uğraması, bazı bölgelerden ise etkileşme olmadan doğrudan geçmesi sonucu oluşur.

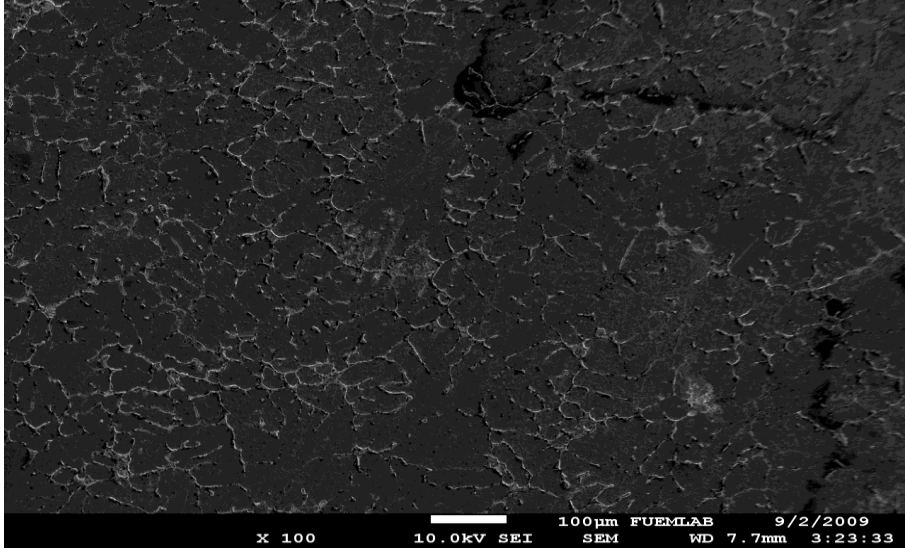
SEM gözlemleri için hazırlanan numunelerin yüzeylerinin düzgün, pürüzsüz ve parlak olması sağlandı. Numune yüzeyinde bulunan fazların net olarak ortaya çıkması için kimyasal çözeltiler ile dağlama işlemi yapıldı. SEM ile numunelerin yüzey yapılarının incelenmesinde geri saçılan elektron görüntüsü (BSE) ve ikincil elektron görüntüsü (SE) yöntemleri kullanıldı. Bu görüntü tekniğinde kullanılan elektronlar, numune üzerine gelen birincil elektronların numune ile etkileşmesi sonucu numune yüzeyinden kopan elektronlardır. Bu yüzden SE görüntüsünde kullanılan elektronların dedekte edilmesi BSE görüntüsünde kullanılan elektronların dedekte edilmesinden daha kolaydır. Yayımlanan ikincil elektronların miktarı, bir dereceye kadar malzeme yüzeyinin atom numarasına, fakat büyük ölçüde malzemenin yüzey yapısına bağlıdır.

Bulgular ve tartışma bölümü iki başlık altında ele alınmıştır. İlk olarak alaşım numunelerinin SEM gözlemleri, içyapı olarak TEM gözlemleri incelenmiştir. İncelemelerde kolaylık olması için farklı sıcaklıklarda fırınlanmış numuneler belirli kısaltmalarla temsil edilmiştir. 450 °C de fırınlanmış numune A1, 550 °C de fırınlanmış numune de A2 olarak tanımlanmıştır.

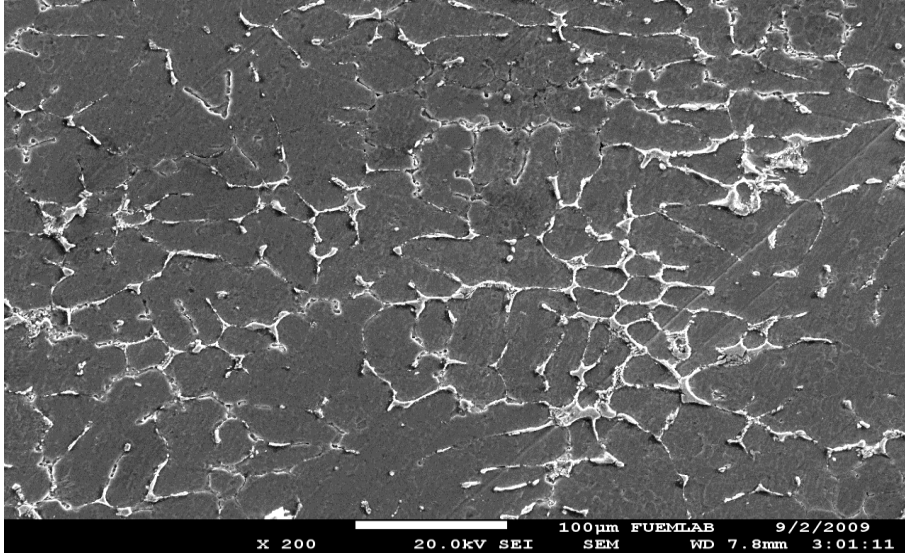
8.1. SEM Gözlemleri

8.1.1. A1 Numunesinin SEM Gözlemleri

Şekil 8.1'deki görüntü anafaz içinde dağılmış olan metaller arası bileşik parçacıklarını gösterir. AA2014 alaşımlarının SEM görüntülerinde metaller arası bileşik parçacıkların (fazların) açık, anafazın ise daha koyu bir renkte görüldüğü hali hazırda bilinmektedir. Bu nedenle Şekil 8.1'deki beyaz yapıların anafaz içinde gömülmüş olan metaller arası bileşik parçacıkları olduğu düşünülmektedir ve bu resimde bu parçacıkların çubuk (flaky) yapısında oldukları görülmektedir. Anafaz içindeki metaller arası bileşik parçacıkları veya çökeltilerin yapısal şekli döküm işlemlerine ve onların büyüme şartlarına bağlı olarak değişmektedir.

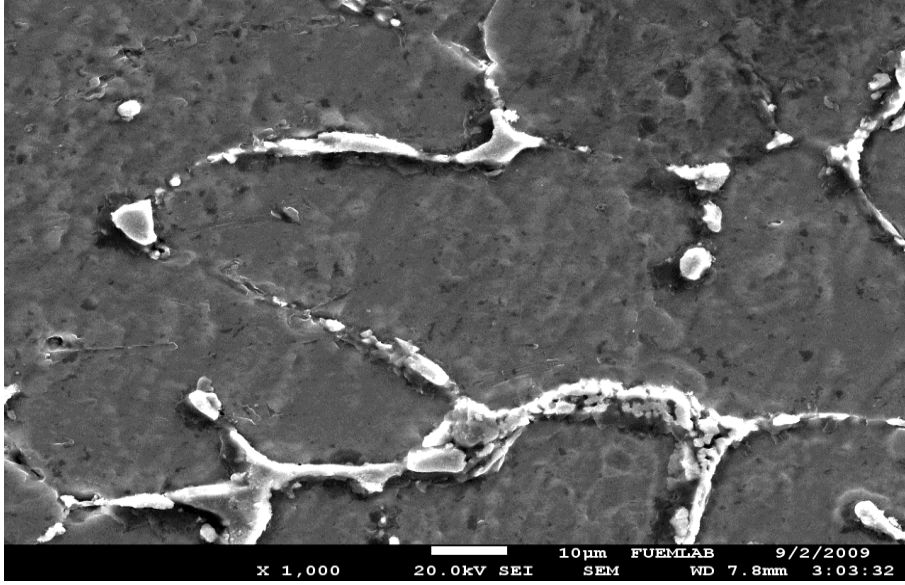


Şekil 8.1. 450 °C’de Al numunesinde anafaz içinde dağılmış olan yapıların genel SEM görüntüsü.



Şekil 8.2. 450 °C’de Al numunesinde zımparalamaya bağlı olabileceği düşünülen yapısal bozuklukların (mikro boşluklar) SEM görüntüsü.

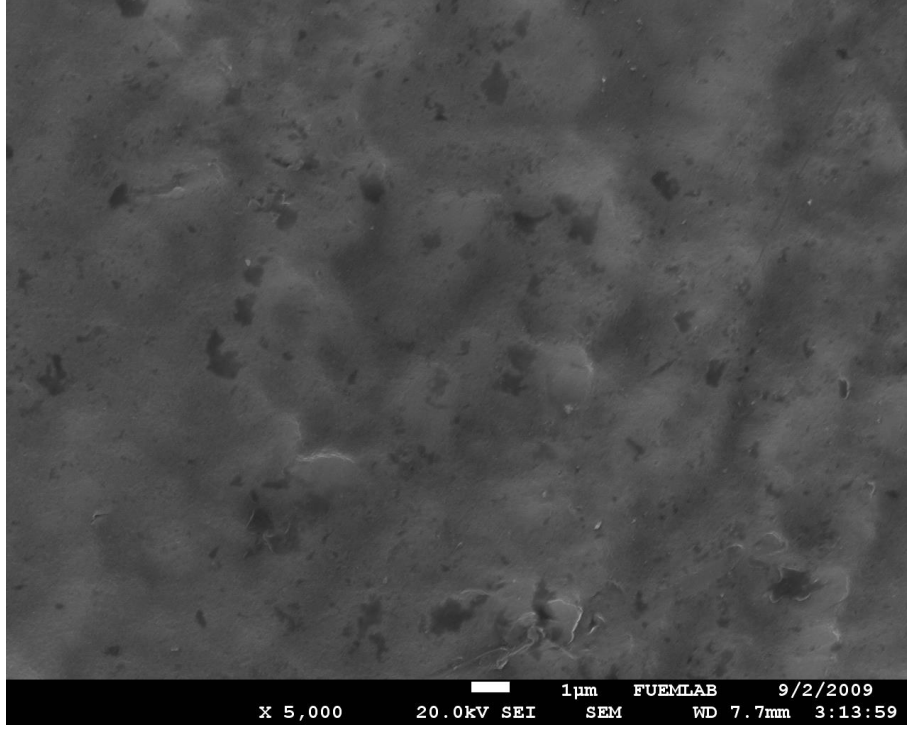
Şekil 8.2’deki daha yüksek büyütme oranına sahip görüntü incelendiğinde bazı metaller arası bileşik parçacıkların yüksek büyütmede kalın yapılı (blocky) oldukları görülür. Resimde paralel iki çizgi şeklinde görülen görüntünün zımparalamaya bağlı bir kusur olduğu düşünülmektedir.



Şekil 8.3. 450 °C’de Al numunesinde gözlenen mikro boşlukların görünümünü detaylı olarak gösteren SEM görüntüsü.

Bu yapıların daha detaylı görüntüleri Şekil 8.3’te gösterilmektedir. Burada resim üzerinde mikro boşlukların olduğu gözlenmektedir. Şekil 8.2 ile Şekil 8.3 incelendiğinde gözlenen kusurların sıcaklığa bağlı erimenin, yapısal bir kusur veya bir yüzey kirliliği olabileceği düşüncesini ortaya koymuştur, ancak analiz sonuçlarından bu bölgenin döküm şartlarına bağlı olarak oluşmuş olduğu düşünülen mikro boşluk olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca görüntü detaylı olarak incelendiğinde, mikro boşluğun merkezinde döküm sırasında erimeden kalmış olabileceği düşünülen katı halde Al tozlarına benzer olan görüntüler görülmektedir. Benzer yapılar numune yüzeyinin farklı bölgelerinde de gözlenmiştir.

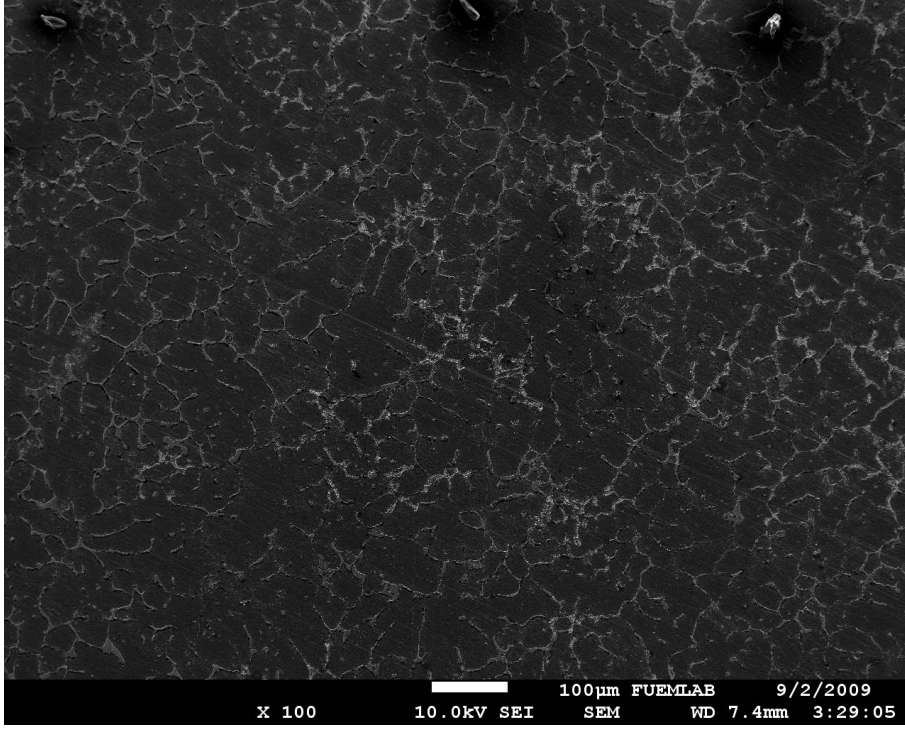
Şekil 8.3’te bazı metaller arası çubuk yapısındaki parçacıkların dentrit yapıya benzer bir görünüşte oldukları görülür. Yapılar hakkındaki detaylı görüntüler Şekil 8.4’te gösterilmektedir. Şekil 8.4’teki görüntüden, metaller arası bileşik parçacığın leke yapısında olduğu görülür.



Şekil 8.4. 450 °C’de A1 numunesinde gözlenen metal parçalarının leke yapısı

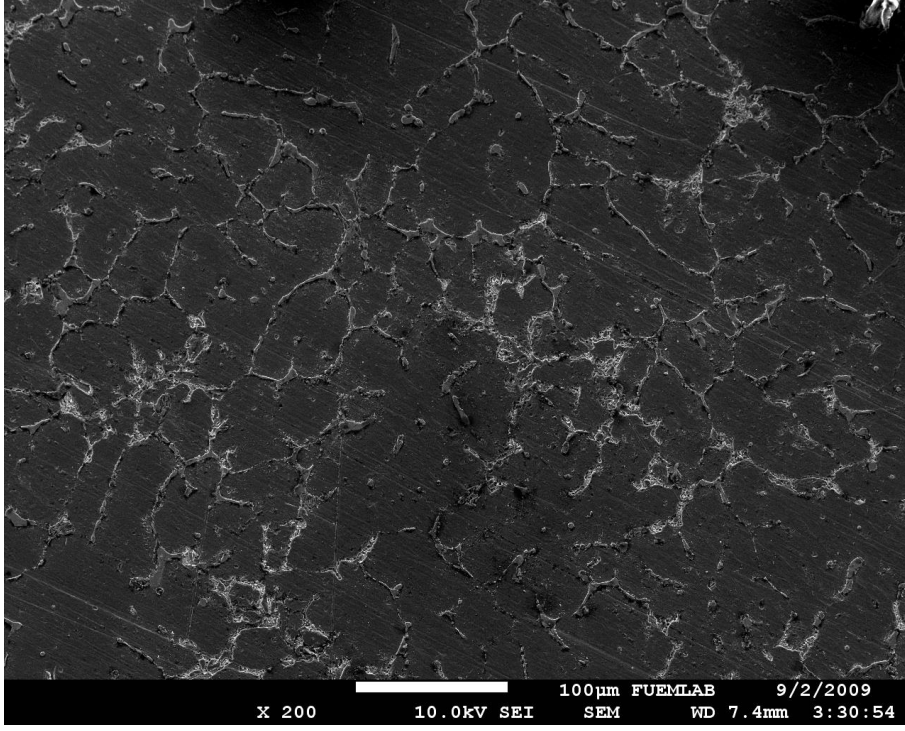
8.1.2. A2 Numunesinin SEM Gözlemleri

Şekil 8.5’te ana faz içindeki bileşik parçalarının belirginliğinin biraz kaybolduğu gözlenmiştir. Bu durumun sıcaklığa bağlı bir durum olduğu düşünülmüştür. Alaşımı oluşturan bazı metallerin eriyerek fazlar arasında dağıldığı Şekil 8.1’e bakıldığında anlaşılmaktadır.

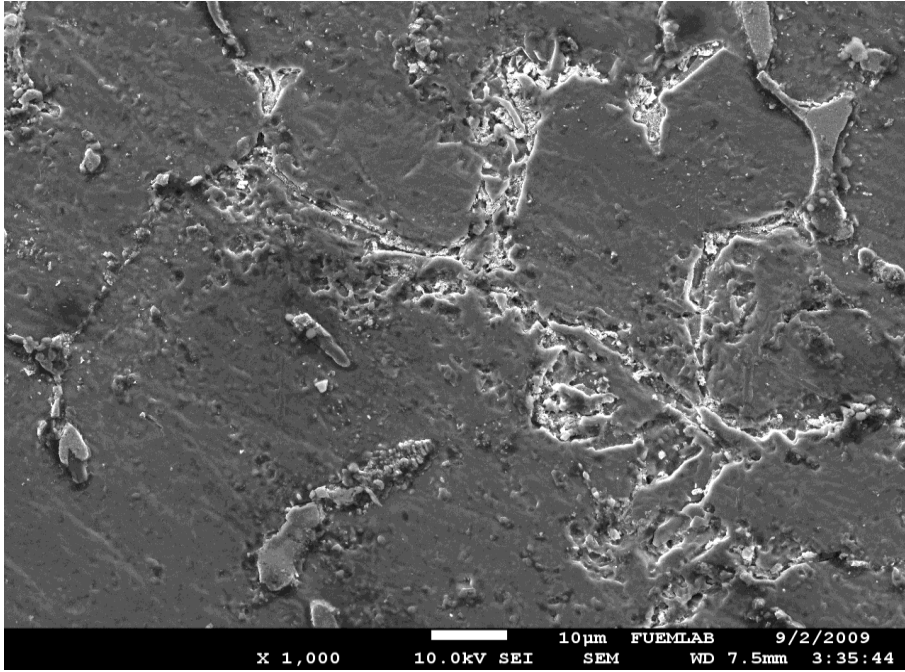


Şekil 8.5. 550 °C’de A2 numunesinde anafaz içinde dağılmış olan yapıların genel SEM görüntüsü

Şekil 8.6’da çizgilerin yüzeyce genişleyerek alüminyum tabakalarına etki ettiği gözlenmiştir. Bu durum şekil 8.5’te belirttiğimiz sıcaklığa bağlı erime tezimizi doğrulamaktadır. Ayrıca bazı yerlerde daha koyu alanlar dikkat çekmektedir. Bu alanlarda yapısal bozukluğun daha fazla olduğu gözlenmiştir. Bu durum AA2014 alüminyum alaşımının mikro yapısında bir bozulmanın başladığını göstermektedir.

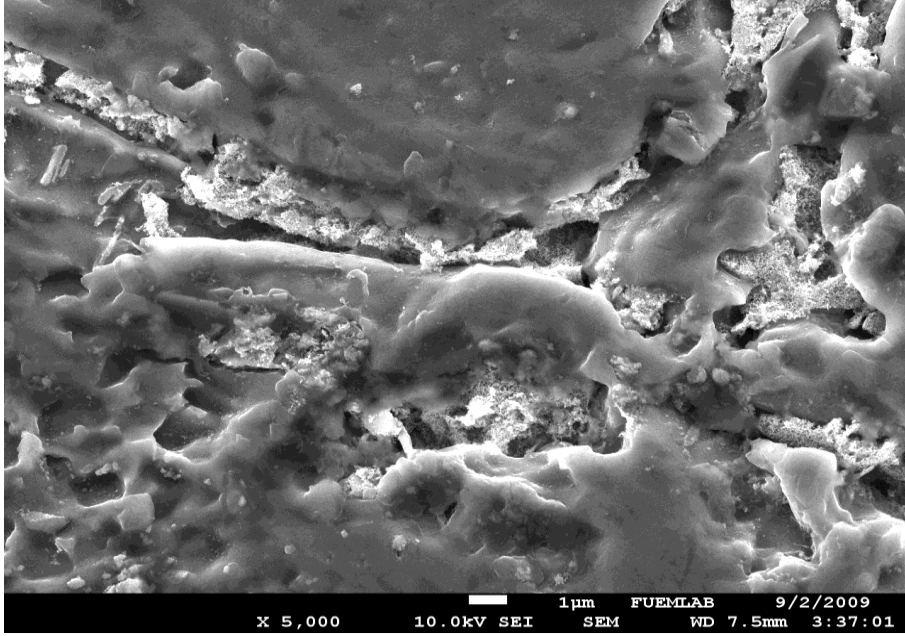


Şekil 8.6. 550 °C’de A2 numunesinde mikro yapıdaki bozulma belirtileri.

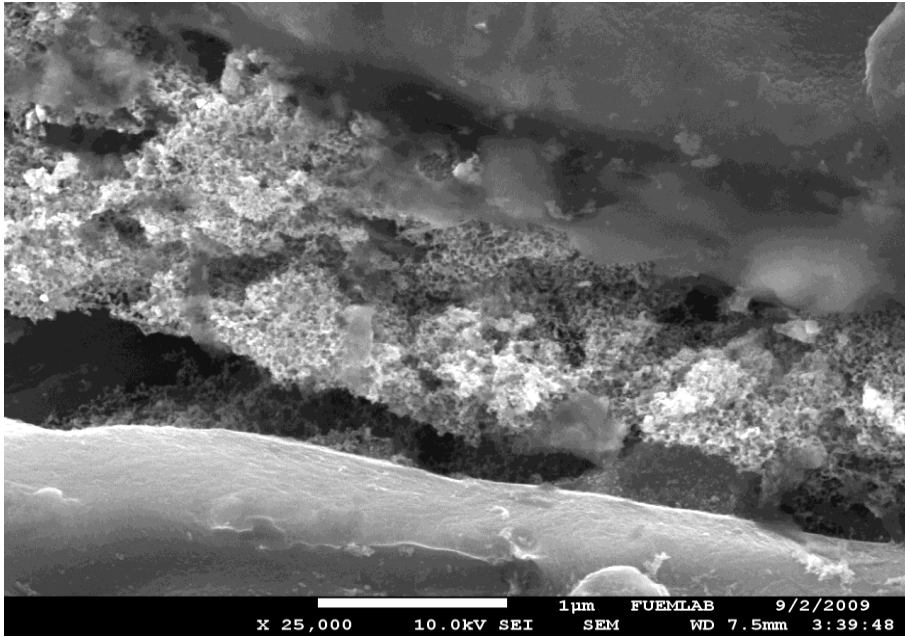


Şekil 8.7. 550 °C’de A2 numunesinde erime belirtileri

Şekil 8.7’de beyaz çizgi şekilde metal parçalarının bazı alanlarda yer değiştirdikleri gözlenmektedir. Bu durum AA2014 alaşımının sıcaklığa bağlı olarak yapısında değişiklikler meydana geldiğini göstermektedir. Bahsedilen durum Şekil 8.8 ve Şekil 8.9’da daha net gözlenmektedir.



Şekil 8.8. 550 °C’de A2 numunesinde eriyen parçacıkların etrafa saçılması.

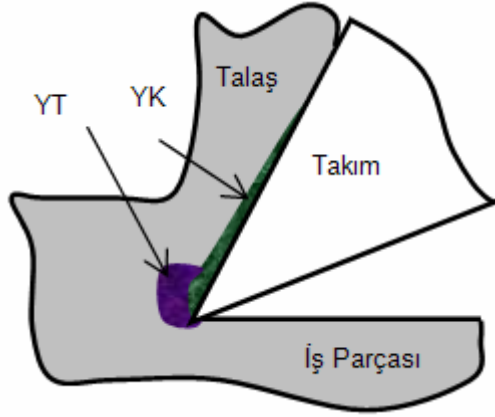


Şekil 8.9. 550 °C’de A2 numunesinde eriyen bölgedeki boşluk.

8.1.3. AA2014 Alaşımının İşlenmesi Sırasında İşleme Parametrelerinin Yığıntı Katman ve Yığıntı Talaş Oluşumu Üzerindeki Etkilerinin SEM ile İncelenmesi

AA2014 alaşımı, genellikle talaşlı imalat yöntemleriyle şekillendirilmektedir. Tornalama işlemleri talaşlı imalatın büyük bir kısmını içermektedir. İdeal talaşlı işleme özelliklerinin sağlanmasında, malzemenin mekanik özelliklerinin yanında kesme hızı ve kesici uç geometrisi gibi işleme parametreleri etkili olmaktadır [44,46]. Talaş kaldırma işlemlerinde (Tornalama) iki farklı kesme işlemi (Dik-Eğik) uygulanmaktadır. Çoğu kesme işlemleri genellikle eğik kesme işlemidir. Fakat işleme parametrelerinin etkisini belirlemek için yapılan deneysel çalışmalarda, mekanik davranışın iki boyutlu olmasından dolayı dik kesme işlemi uygulanmaktadır [47-49]. Talaşlı imalatta takım ömrü üzerinde kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü v.b gibi kriterlerin yanında, genelde takım aşınması kriter alınarak belirlenir [50,51]. Bu nedenle, kesici takımın aşınması çalışmalarında; takımın en uzun ömürle kesme yapabilmesi, araştırılması gereken en önemli konulardan biridir [52,53]. Takım aşınması, kesici kenar üzerindeki yük faktörlerinin (Mekanik, Termal, Kimyasal, Aşındırıcı) kombinasyonu sonucu meydana gelir. Yük faktörleri tek başlarına takım aşınmasının belirli bir aşamasında etkili olabilirler. Genellikle yükler ayrı olarak davranmazlar, talaş kaldırma işlemi devam ettikçe yüklerin birleşimi sinerjik olarak artar [50]. Talaş kaldırma sırasında kesme parametrelerine bağlı olarak oluşan sıcaklıklar, aşınma mekanizmalarının oluşma eğilimini artırır (Yapışma, Oksidasyon, Yorulma, Aşındırıcı, Difüzyon) [51,52]. Yapışma (Adezyon) ve difüzyon aşınması mekanizmaları, kesici takım aşınması üzerinde etkili olan mekanizmalardır [54]. Kesme sıcaklıklarının en geniş aralığında yapışma mekanizması oluşur. Yapışma aşınması, genel olarak iş parçası malzemesinin kesici takım yüzeyine eklenmesi şeklinde gerçekleşir [53-55]. Takım yüzeyine yapışan iş parçası malzemeleri, sabit (durağan) değildir ve kesme esnasında üretilen yüksek kesme kuvvetleri ile takım yüzeyinden yırtılıp (kopup) uzaklaşır ve talaş kaldırma işlemi devam ettikçe tekrar takım üst yüzeyinde talaş birikmeye başlayabilir veya kesici kenardan küçük parçaların kırılıp uzaklaşmasına sebep olabilir [54,56,57]. Talaşlı imalat işleminde, iş parçası malzemesi kesici takım üzerine iki şekilde yapışır ve kaynaklanır. Birincisi, kesici kenar üzerine iş parçasının kaynak olması, bu durum yığıntı talaş (YT) oluşumu olarak bilinen bir durumdur. Diğeri ise, iş parçasının kesici takım talaş yüzeyinde daha geniş bir alana yayılarak yığıntı katmanı (YK) olarak bilinen yapışma mekanizmasıdır.

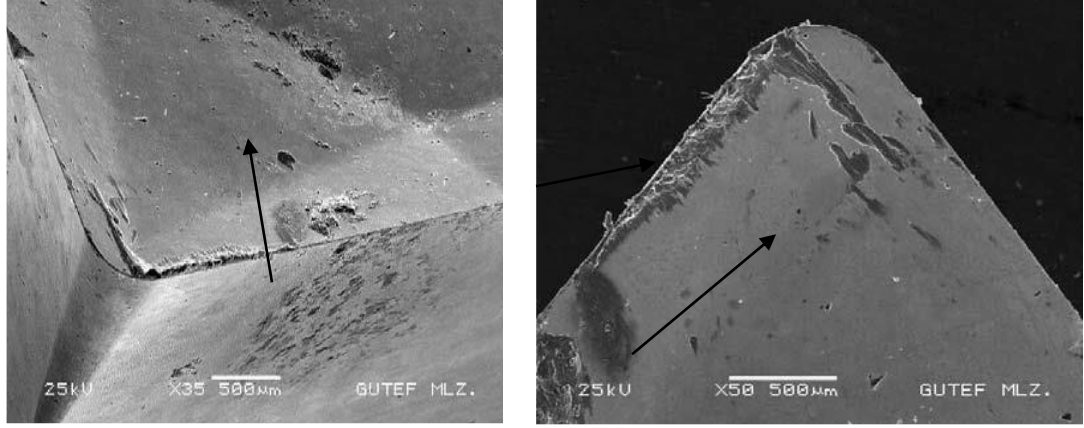
Bu olay çoğunlukla sünek malzemelerin işlenmesinde sıkça görülür. Şekil 8.10’da YT ve YK bölgeleri açıkça görülmektedir. Alüminyum alaşımların işlenmesi esnasında iş parçası malzemesi ile kesici takım arasında çok güçlü bir birleşme olduğu bilinmektedir [58]. Dolayısıyla bu malzemelerin işlenmesinde YT ve YK oluşumunun mutlaka dikkate alınması gerekmektedir.



Şekil 8.10. YT ve YK oluşmuş kesici takım görüntüsü

Kaplamasız karbür takımla dört farklı kesme hızı, beş farklı ilerleme ve sabit kesme derinliğinde AA2014 alüminyum alaşımı malzemeden talaş kaldırılmıştır. Beş farklı ilerleme değeri kullanılmasına rağmen YT ve YK’ nın en fazla görüldüğü 0.3 mm/dev ilerleme değerinde elde edilen SEM görüntüleri değerlendirilmiştir.

Şekil 8.11’de AA2014 alüminyum alaşımının 200 m/dak kesme ve 0.30 mm/dev ilerleme hızında işlenmesinde kaplamasız karbür kesici takım üzerinde oluşan YK ve YT’ın SEM fotoğrafı görülmektedir. YK kesici takım talaş yüzeyinde oluşurken YT ise kesici takım esas kesme kenarı boyunca oluşmuştur ve burun ucu yakınlarında takım talaş yüzeyine doğru devam etmektedir.

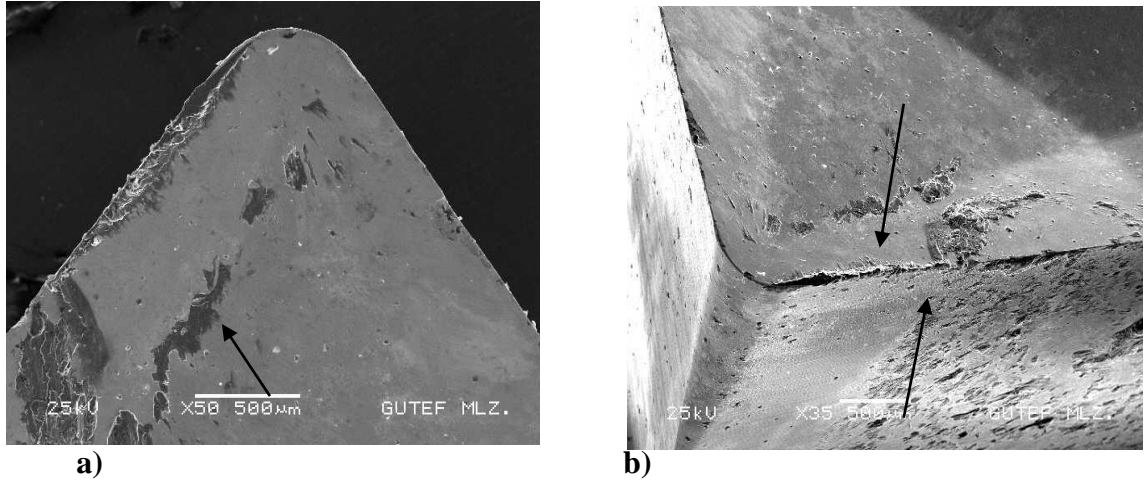


a)

b)

Şekil 8.11. AA2014 alaşımının kaplamasız karbür kesici takımıla 200 m/dak kesme ve 0.30 mm/dev ilerleme hızında işlenmesi sonucu kesici takım üzerinde gerçekleşen YK ve YT görüntüsü a) Kesici takım talaş yüzeyi x35 büyültmeli SEM görüntüsü, b) Kesici takım üç boyutlu x50 büyültmeli SEM görüntüsü.

200 m/dak kesme hızında oluşan YT, kesici takımın uç ve esas kesici kenar biçimini değiştirdiği tespit edilmiştir. Esas kesme kenarında YT ve takım talaş yüzeyinde YK oluşumu kesici takım biçimini değiştirmektedir [50-58]. 300 m/dak ve 0.30 mm/dev ilerleme hızında oluşan YK ve YT görüntüsü Şekil 6.11.b'de gösterilmiştir.



a)

b)

Şekil 8.12. AA20142 alaşımının kaplamasız karbür kesici takımıla 300 m/dak kesme ve 0.30 mm/dev ilerleme hızında işlenmesi sonucu kesici takım üzerinde gerçekleşen YK ve YT yığıntı talaş görüntüsü a) Kesici takım talaş yüzeyinin x50 büyültmeli SEM görüntüsü, b) Kesici takım üç boyutlu x35 büyültmeli SEM görüntüsü.

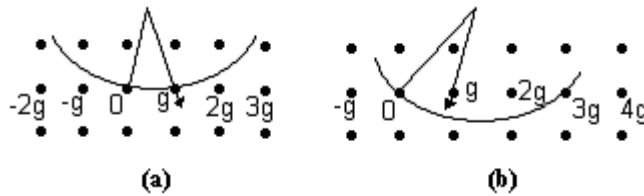
Şekil 8.12.a ve Şekil 8.12.b’de 300 m/dak kesme ve 0.30 mm/dev ilerleme hızında oluşan YK ve YT büyüklüklerinin 200 m/dak kesme ve 0.30 mm/dev ilerleme hızında oluşan YK ve YT göre azalma olduğu görülmüştür. 200 m/dak’da burun ucu yakınlarında kesici takım talaş yüzeyine doğru oluşan YT oluşumu görülmemiştir. Bu durum, kesme hızının YT oluşumu üzerinde etkili bir parametre olduğunun göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Bu husus; Rubio ve arkadaşları ile Gökkaya ve Nalbant tarafından yapılan araştırma sonuçlarına uygunluk göstermektedir [58-60].

8.2. TEM Gözlemleri

TEM ile numunelerden detaylı bilgi alınabilmesi için istenilen bölgenin aydınlık ve karanlık-alan görüntüleri alındıktan sonra o bölgenin difraksiyon deseninin elde edilmesi gerekir.

Numune içerisindeki tüm ayrıntılar, aydınlık-alan ve karanlık-alan görüntüleri ile gözlenemeyebilir. Örneğin, iki çizgisel kusurun görüntüsü üst üste gelerek tek bir çizgisel kusur gibi görünebilir. Bu görüntüleri ayırt etmek için Şekil 8.13’te gösterildiği gibi, difraksiyon doğrudan geçen demete uzak bir yerden oluşturulur. Böylece difraksiyon zayıflar ve bu şekilde elde edilen görüntüye zayıf-ışın (weak-beam) görüntüsü denir. Bu görüntünün elde edilmesi için numune çok az miktarda döndürülür. Kusurların olduğu bölgelerden elektron saçılması güçlü olurken, diğer bölgelerden zayıf olur[61].

Numune kalınlaşırsa saçılma çok olacağından görüntü oldukça karanlık olur. Numunenin görüntüsü ilk objektif mercekle tarafından 50-100 kat büyütülür. Büyütülen bu görüntü ayrıca ortada bulunan her bir mercekle tarafından 20 kat daha büyütülür. Toplam büyütme, her bir merceğin büyütmesinin çarpımı olduğundan sonuçta bir milyondan daha yukarı olan büyütme kolayca yapılabilir [62, 63].

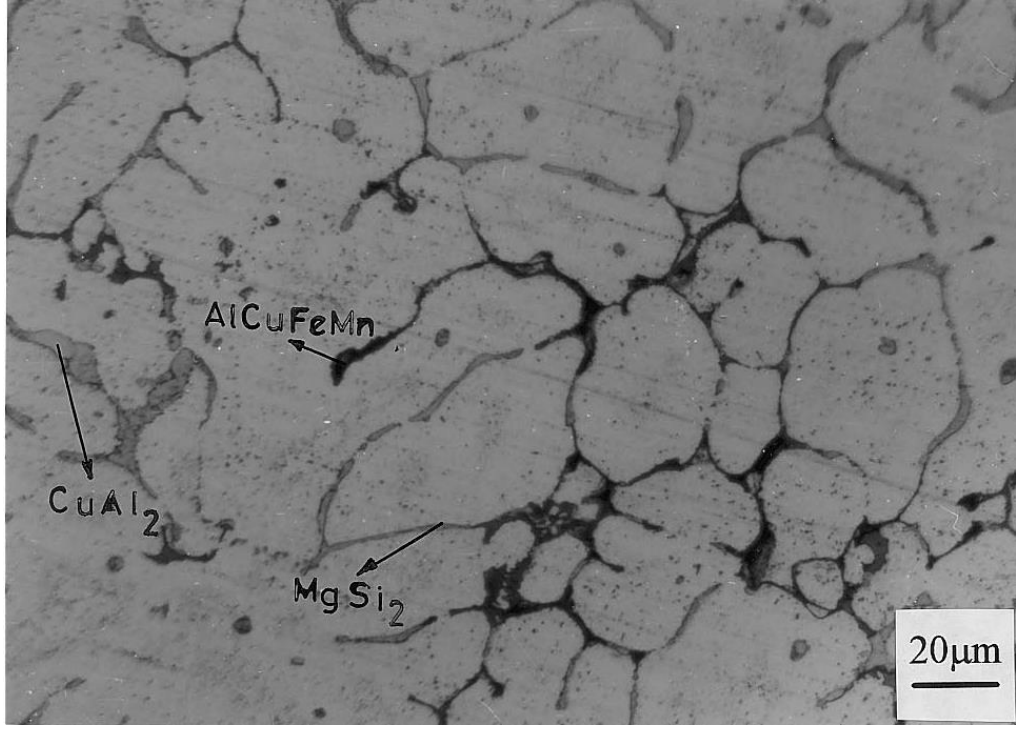


Şekil 8.13.(a) Kuvvetli-ışın görüntüsü, (b) zayıf-ışın görüntüsü [24].

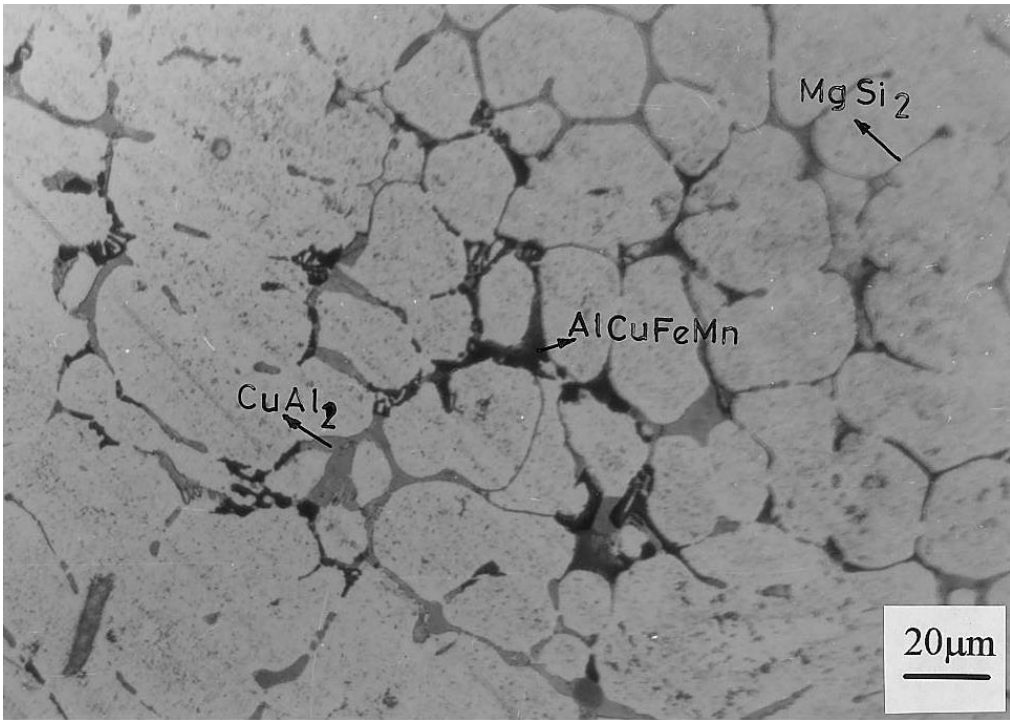
AA 2014 alüminyum alaşımına üç farklı sıcaklıkta (450°C- 500 °C- 550 °C) birer saat süreyle uygulanan ısıtma işlemi sonucunda malzeme yapısında oluşan farklılıklar incelenmiş ve sonuçlar her sıcaklık grubuna ait örnek resimler üzerinde sırasıyla açıklanmıştır. Bütün resimlerde de görüleceği üzere ikinci faz taneler genellikle tane sınırlarında toplanmıştır. Renk ve boyutlarına göre fazları şöyle sınıflandırabiliriz. [64] referans no'lu makaleye göre koyu siyah ve çin yazısı şeklinde görülmekte olan $AlFeSi$ fazı, aynı bölgede $AlFeSi$ fazı ile benzer renkte fakat toplu olarak (alan şeklinde) görülmekte olan ise $AlCuFeMn$ fazı olarak tanımlanmıştır. Parlak açık kahverengi renkte ve alan şeklinde görülen $CuAl_2$ fazı ve $CuAl_2$ 'ye benzeyen parlak açık kahverengi renkte fakat çizgi şeklinde görülmekte olan ise Mg_2Si fazı olarak tanımlanmıştır.

Isıtma işlemi uygulanmamış malzemenin içyapısı Şekil 8.14'te gösterildiği gibidir. İkinci fazlar genellikle tane sınırlarında ve toplu olarak bulunmakta ve bu tanelerde küçük oranda parçalanma olduğu görülmektedir. Bu tür yapılar döküm yapı olarak nitelendirilmektedir. 450 °C sıcaklıkta ısıtma işlemi uygulanan malzemenin içyapısı Şekil 8.15'te gösterilmiştir. Fazlar üzerinde sıcaklığın önemli bir etkisinin olmadığı resim üzerinde de açıkça görülmektedir. 500 °C sıcaklıkta yapılan ısıtma işlemine ait örnek Şekil 8.16'da görülmektedir. $CuAl_2$ ve Mg_2Si fazlarının büyük oranda parçalanarak yapıya dağıldığı, tane sınırlarında büyüme olduğu gözlenmiştir. Parçalanmayarak eski durumunu koruyan fazlarda da küreselleşmenin başladığı tespit edilmiştir.

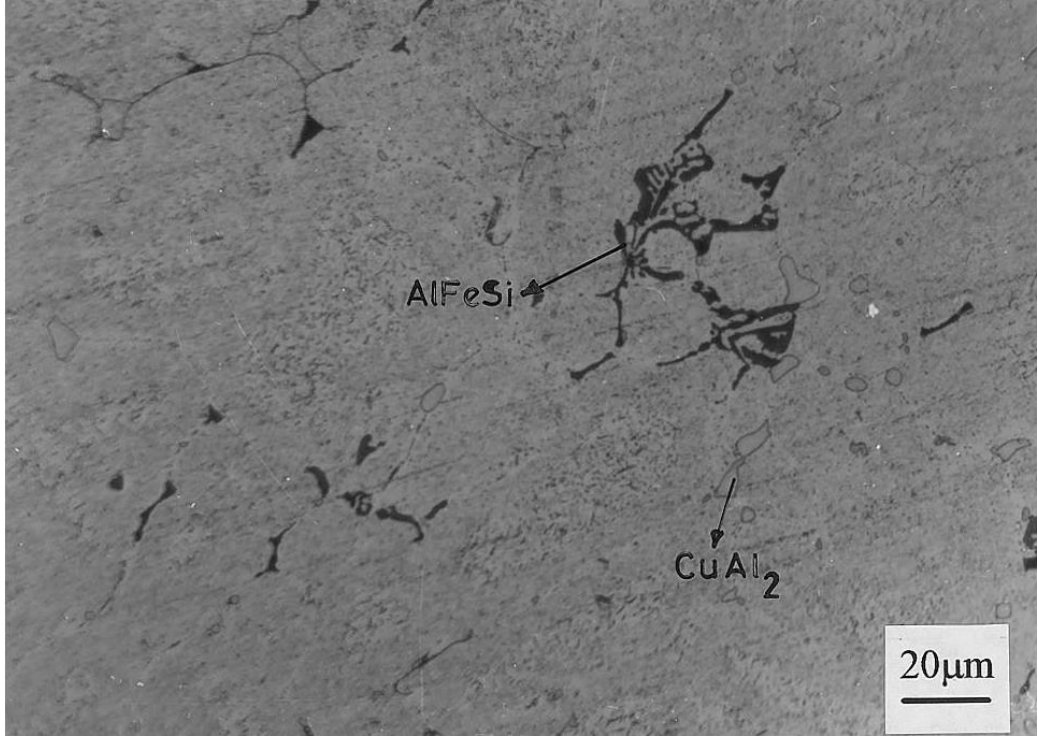
550 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen ısıtma işlemi Şekil 8.17'de gösterilmiştir. İkinci fazların çok iyi bir şekilde parçalandığı tane boyutunun maksimum boyuta ulaştığı, ötektik erimeden kaynaklandığı düşünülen büyük üçgenlerin ve bazı bölgelerde de rozete benzeyen oluşumların varlığı gözlenmiştir. Ayrıca yapıda hidrojen kaynaklanabileceği sanılan dairesel gözenekler tespit edilmiştir. Mekanik özelliklerde görülen kütüleşmenin ötektik erime nedeniyle olabileceği düşünülmektedir.



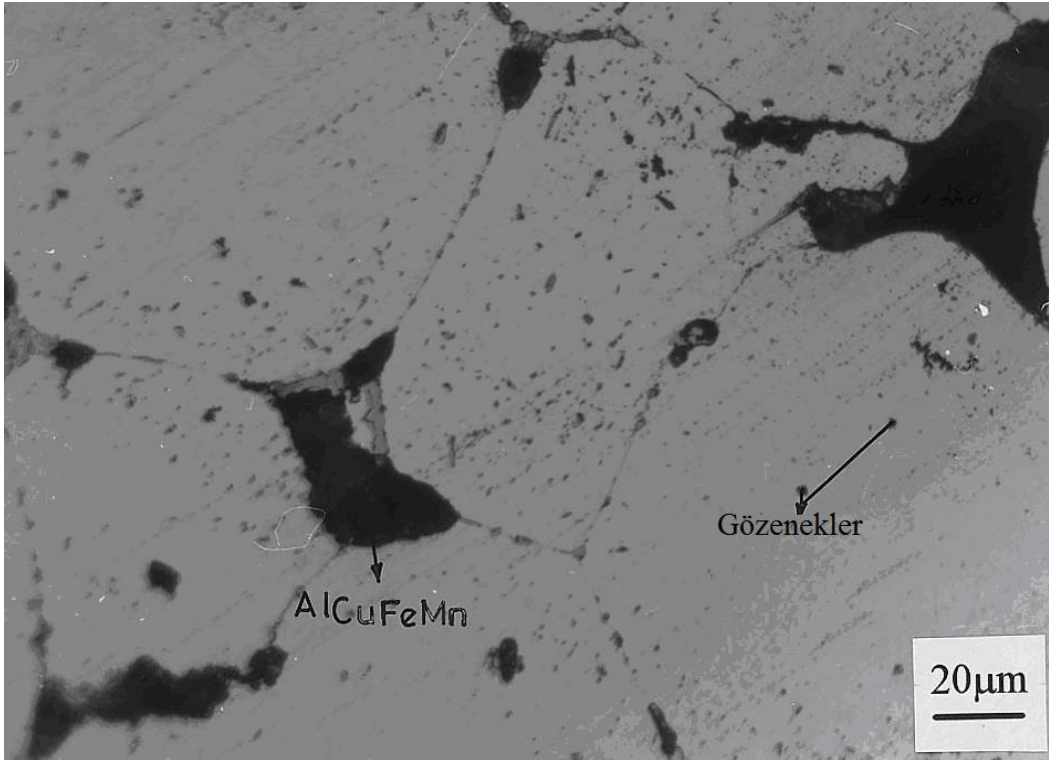
Şekil 8.14. Isıl işlem uygulanmamış TEM görüntüsü.



Şekil 8.15. 450 °C 'de ısıl işlem uygulanmış TEM görüntüsü.



Şekil 8.16. 500 °C 'da ısıl işlem uygulanmış TEM görüntüsü.



Şekil 8.17. 550 °C 'da ısıl işlem uygulanmış TEM görüntüsü.

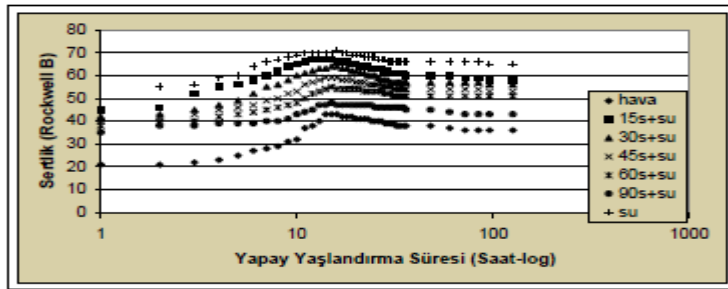
Çözeltiliye alınan malzemeler üzerinde soğutma hızının önemli etkiye sahip olduğu yapılan deneylerde gözlenmiştir. Soğutma hızındaki artış ile tane boyutu azalmış $CuAl_2$ ve Mg_2Si fazlarında ise parçalanmanın arttığı tespit edilmiştir.

İçyapının daha homojen duruma gelebilmesi için düşük sıcaklıklarında daha uzun ısıtma sürelerine gereksinim duyulurken yüksek sıcaklıklarda bu sürede kısalma olduğu görülmektedir. 450 °C ısıtma işlem sıcaklığında 1 saat bekletilen numunelerde istenilen homojen yapıya ulaşılmış ve daha uzun süreler için yapıda önemli miktarda değişime rastlanmamıştır. 500 °C sıcaklıkta yapılan ısıtma işlemde ise yine en iyi homojenizasyon süresinin 1 saat olduğu görülmektedir. Bu sıcaklıktaki 24 saatlik tutma süresinin gerek yapıda gerekse sertlikte çok küçük değişim yapabileceği saptanmıştır

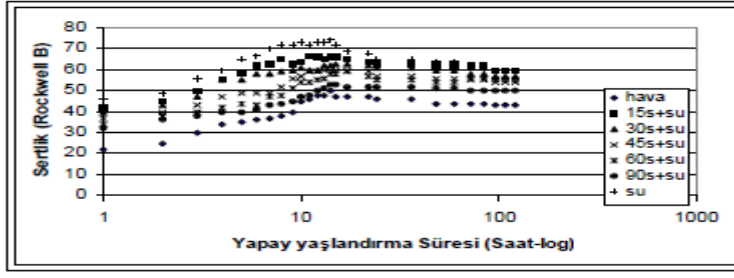
Sertlik değerleri sıcaklık ve süresindeki artış ile azalmış, soğutma hızındaki artış ile artmıştır. Görüldüğü üzere sertlik tane boyutu ve ikinci faz tanelerin yapıya dağılımı ile doğrudan ilgilidir. Daha büyük tane ve daha homojen yapı olması durumunda sertliğin en düşük değerlere düştüğü gözlenmiştir. 500 °C 'de ısıtma işlemi uygulanan malzemelerde minimum sertlik değerleri elde edilmiştir. 550 °C 'de ötektik erimeden kaynaklandığı sanılan kısmi sertleşme tespit edilmiştir.

8.3. Sertlik

AA2014 alüminyum alaşımının 150°C ve 180°C'de yapay yaşlandırılmasındaki sertlik değerlerinin değişimi Şekil 8.18 ve Şekil 8.19'da görülmektedir. Çözme işleminden hemen sonra su verilen örneklerin sertlikleri en yüksek değere ulaşmıştır[64].



Şekil 8.18. 150 °C'de yapay yaşlandırılmış AA2014 alüminyum alaşımının sertlik değişimi



Şekil 8.19. 180 °C’de yapay yaşlandırılmış AA2014 alüminyum alaşımının sertlik değişimi

AA2014 alüminyum alaşımında 150 °C’de yapılan yapay yaşlandırmada 18 saatte 70 HRB (Metal Sertlik Birimi) sertliğine, 180 °C’de yapılan yapay yaşlandırmada ise 14 saatte 71 HRB sertliğine ulaşılmıştır. Soğutma koşullarından havada bekleme süresi arttıkça sertlik değerleri azalmıştır. En düşük sertlik değerleri havada bekletilen örnekte ölçülmüştür.

Malzemenin fırından çıkartılıp soğutma ortamına daldırılıncaya kadar geçen sürede kontrolsüz çökelmeye ve dolayısıyla mekanik özelliklerin olumsuz yönde etkilenmesine neden olur. Bu bekleme süresinin uzun olması malzemenin bir süre yavaş soğumaya maruz kalmasına neden olur.

AA2014 alüminyum alaşımlarına uygulanan 150 °C ve 180 °C’deki yapay yaşlandırma işlemleri sonuçlarında yaşlandırma süresinin artmasının beklenen faydayı vermeyeceği görülmüştür.

Düşük sıcaklıklarda yapılacak yaşlandırmada tek fazlı ayrılmış bölgeler oluşur. Yüksek sıcaklıklardaki yaşlanma ise başlangıçta oluşan kümeler, ana kafesten çoğunlukla bağdaşık olmayan faz sınırları ile ayrılmış çökeltilere dönüşür. Yaşlandırma sıcaklığı arttıkça mekanik özellikler ve sertlik değerleri azalır. Çökelti fazının sıcaklık arttıkça daha belirgin bir şekilde ortaya çıktığı ve boyut olarak daha da büyüdüğü gözlenmektedir. Yaşlanma süresinin çok uzaması beklenen faydayı sağlamaz, belirli bir süre sonunda çökelti boyutu çok büyür, çökelti sayısı azalır ve malzemenin sertliği düşer.

Sıcaklığın izotermal çökeltme üzerine etkisi aşırı doyma derecesine ve yayınma hızına bağlıdır. Bu faktörler sıcaklık değiştiğinde birbirine göre ters yönde değişir, yani sıcaklığın artması ile yapıda aşırı doymuş elementlerin miktarı azalırken yayınma hızı da artar. Soğutma hızı soğutma ortamının dışında, soğutulan parçanın biçim ve kesitine de bağlıdır. Daha büyük kesitli parçalarda aynı soğutma ortamının kullanılması halinde daha farklı sonuçlar elde edilebilir[61].

9. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

1-Talaş kaldırma işleminin sonrasında işleme parametrelerinin kesici takım üzerinde YK ve YT oluşumlarına etkilerini belirlemek için kesici takımlar SEM ile incelenmiştir. Denenen sınırlar içerisinde deneme bulgularına göre elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

a-YT, kesici takımın esas kesme kenarında oluşmuştur. Kesici takım esas kesme kenarı boyunca YT oluşumu, takımın esas kesme kenarı özelliğini değiştirmiştir.

b-YK, kesici takım talaş yüzeyinde oluşmuştur. Düşük kesme hızında (200 m/dak) oluşan YT, burun ucu yakınlarında kesici takım talaş yüzeyine doğru devam etmiştir.

c-AA2014 alaşımını işlemede, denenen kesme hızları içerisinde düşük kesme hızından yüksek kesme hızlarına doğru gidildikçe YK ve YT oluşması azalmış, ancak YK ve YT oluşumu engellenememiştir.

d-AA2014 alaşımının kaplamasız karbür kesici takımla işlenmesi esnasında kesici takım üzerinde YK ve YT oluşmasını engellemek veya önlemek için 500 m/dak'dan daha yukarı kesme hızlarında deneme yapılması gerektiği söylenebilir[59].

1-Alüminyum alaşımlarının 450–500–550 °C'lerde tavlama sırasında; numunelerde tane küçülmesi ve fırın içerisinde mevcut olan oksijenden dolayı tane sınırlarında yüksek sıcaklığın etkisiyle oksitlenmiştir.

2-Alüminyum alaşımlarının alaşım elementleri, yüksek sıcaklığın etkisiyle termodinamik durumlarını kaybetmelerinden dolayı tane sınırlarının bazı bölgelerinde birleşme yetersizliği görülmektedir.

3-İçyapıyı oluşturan tane sınırları yüksek sıcaklıkların etkisi ile ince film tabakası şeklinde fırın ortamından kaynaklanan oksitlenmeler görülmektedir.

4-Tavlama işlemi saf argon gazı atmosferinde yapılsaydı, oksitlenmelerin oluşumu engellenir, içyapı hakkında daha sağlıklı sonuçlar alınabilirdi.

5- AA2014 alüminyum alaşımından alınan örneklerin katı çözültüye alınma işlemi 495 ± 3 °C'deki fırında 1 saat bekletme ile gerçekleştirilmiştir. Daha sonra örnekler; 15, 30, 45, 60, 90 saniye oda sıcaklığındaki havada tutulup, suda soğutulmuştur. Her iki malzemedden birer örnek hemen suda soğutulmuş, birer örnek de ortam sıcaklığındaki havada soğutulmuştur. 150 °C ve 180 °C'de yapay yaşlandırılan örneklerin sertlik değerleri ve içyapıları incelendiğinde:

a) Her iki alaşımda da yapay yaşlandırma sıcaklığı ne olursa olsun, en yüksek sertlik değerleri çözme işleminden sonra bekletilmeden hemen su verilen örneklerde görülmüştür. Yani; yüksek sertlik değerleri yüksek soğutma hızında elde edilmiştir.

b) Yapay yaşlandırma sıcaklığı ne olursa olsun, çözme işleminden sonraki bekleme süresi arttıkça sertlik değerleri azalmıştır.

c) AA2014 alüminyum alaşımında 150 °C’de yapılan yapay yaşlandırmada 18 saatte 70 HRB sertliğine, 180 °C’de yapılan yapay yaşlandırmada ise 14 saatte 71 HRB sertliğine ulaşılmıştır[61].

6- AA2014 alaşımının 160°C sıcaklıkta 12 saat yaşlandırılması ile en yüksek sertlik (150 BSD) ve çekme dayanımı (541 N/mm²) elde edilmiştir.

7- Minimum yüzey pürüzlülüğü, 12 saat yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış numunenin büyük talaş açılı kesici uçla işlenmesi sırasında oluşmuştur. Büyük talaş açısının, numunelerin yüzey pürüzlülüğü üzerinde mekanik özelliklerden daha etkili olduğu görülmüştür.

8- Nihai kesme hızlarında, genellikle en yüksek sertlik ve çekme mukavemetindeki numunede minimum tornalama kuvvetleri elde edilirken, düşük sertlik ve aşırı süneklığe sahip malzemede en yüksek talaş kaldırma kuvvetleri meydana gelmiştir. Ancak tornalama kuvvetlerinin düşürülmesinde talaş açısının, malzemenin mekanik özelliklerinden çok daha etkili olduğu ve büyük talaş açılı kesici uçla işlemede minimum tornalama kuvvetlerinin oluştuğu görülmüştür.

9- 550 °C sıcaklıkta ısıl işlem uygulanmış numunelerde ikinci faz tanelerde belirgin oranda parçalanma gözlenirken daha düşük sıcaklıklarda ısıl işlem uygulanmış numunelerde ikinci faz tanelerde önemsiz oranda parçalanma olduğu belirlenmiştir.

10- 450 °C sıcaklıkta yapılan ısıl işlem ile ikinci faz tanelerde en fazla parçalanma ve en iyi homojen yapı elde edilmiştir.

11-550 °C sıcaklıkta yapılan ısıl işlemde uygulanan 550 °C /saat soğutma hızında en büyük tane boyutu gözlenmiştir.

İLERİ ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER

İleri çalışmalarda, alaşım numunelerin mekanik özellikleri sıcaklık muamelesi yapılmış ve yapılmamış durumlar için incelenebilir. Numunelerin mekanik testlerden sonraki mikro yapıları ve faz bileşenleri elektron mikroskopi teknikleri (SEM ve TEM) ile incelenerek mukayese edilebilir.

KAYNAKLAR

- Dogan M., 1989, Alüminyumların Isıl işlemleri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 54 s.
- Kaçar H, Atik E and Meriç C (2003) The effect of precipitation-hardening conditions on wear behaviours at 2024 aluminium wrought alloy. *Wear*, 236: 144- 152.
- Aydın B (2002) AA2014 Alaşımında Yaslandırma Isıl işleminin işlenebilirlik Üzerindeki Etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 129 s.
- Sun Y, Baydogan M and Çimeoglu H (1999) The effect of deformation before ageing on the wear resistance of an aluminium alloy, *Wear*, 236: 144-152.
- Askeland (1994) *The Science and Engineering of Materials*. 3rd. edn., Wadsworth Publishing Company, 812 s.
- URL-1 (2007) <http://www.arslanaluminyum.com/aluNedir.asp>, 05 Haziran 2007.
- URL-2 (2007) <http://www.afsa.org.za/aluminium-and-alloys.asp>, 05 Haziran 2007
- Metals, Industrial Aluminium, Şubat 2007
- Sun Y (1998) Yaslanabilir Alüminyum Alaşımının Aşınma Davranışları. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 89 s.
- Karakıslak M (1978) Alüminyum Alaşım ve Isıl işlemleri. Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 60 s.
- Erdogan M (2001) Mühendislik Alaşımının Yapı ve Özellikleri, Cilt II, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 378 s.
- Altenpohl D G (1998) *Aluminium: Technology, Applications, and Environment*. The Aluminium Association and The Minerals, Metals Materials, Washington
- Öz Ö (2007) Yaslandırma Isıl işleminin AA 7075 Malzemeli Dikdörtgen Platin Burkulma Yüğü Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği A.B.D., Zonguldak, 54 s.
- İbrahim Sinan AKMANDOR Prof. Dr. ODTÜ Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü
Industry as a partner for sustainable development, International Aluminium Institute (IAI)

- Beton R H and Rollason E C (1958) Hardness reversion of dilute aluminium- copper and aluminium-copper-magnesium alloys. Journal Of The Institute Of Metals, 86: 77-85.
- Su S (1988) 2XXX Grubu Alasımlarda Katı Eriyige Almada Sıcaklık ve Sürenin Yaslanma Sonrası Özelliklere Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Konya, 83 s.
- Yüksel E E (1991) 7075 Alüminyum Alasımlarında Basamaklı Yaslandırma Özellikleri Kontrol _mkanları. Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 90 s.
- Çimenoglu H ve Kayalı E S (1989) Malzemelerin mekanik özellikleri, İ.T.Ü. Kimya Metalurji Fak.
- Siddiqui R A and Abdullah H A (2000) Influence of aging parametres on the mechanical properties of 6063 aluminium alloy. Journal of Materials Processing Technology, 102: 234-240.
- Ersümer A (1960) Alüminyum Alasımlarının Isıl ve Mekanik İşlemleri. İ.T.Ü. Yayını, 43.
- Callister W D Jr (2002) Materials Science and Engineering: An Introduction. 6th. edn., Wiley publishing, 848 s.
- URL3(2007)http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Diag_phase_AlCu.svg,18 Ekim 2007.
- MMO (1978) Alüminyum Isıl _slemi. Metalurji Müh. Odası Yayınları, Ankara.
- Askeland (1994) The Science and Engineering of Materials. 3rd. edn.,Wadsworth Publishing Company, 812 s.
- Suryanarayana C., “Mechanical alloying and milling”, Progress in Materials Science, 46:1-184, 2001.
- German R.M., editörler Sarıtaş S., Türker M.,Durlu N., “Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri”, Türk Toz Metalurjisi Derneği, Ankara, 2007.
- Kaçar H., Atik E., Meriç C., “The effect of precipitation-hardening conditions on wear behaviours at 2024 aluminium wrought alloy” Progress in Materials Processing Technology, 142: 762-766, 2003.
- Akar,N., “The Effect Of Reheating Temperature On The Production Of Thixotropic Structure With Sima Process In AA2024 Alloy” Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 26(2):381-388, 2011.

- Suryanarayana C., "Mechanical Alloying", Pergamon Materials Series, Volume 2 : 49-85, 1999.
- Ruiz-Navas E.M., Fogagnolo J.B., Vlasco F., Ruiz-Prieto J.M., Froyen L., "One step production of aluminium matrix composite powders by mechanical alloying", Progress in Composites, 37:2114-2120, 2006.
- Solozhenko V.L., Kurakevych O.O., "Equation of state of aluminum carbide Al₄C₃", Progress in Solid State Communications, 133: 385-388, 2005.
- Yan Z.X., Deng J., Luo Z.M., "A comparison study of the agglomeration mechanism of nano and micrometer aluminum particles", Progress in Materials Characterization, 1-8, 2009.
- Bostan, B., Özdemir A.T. and Kalkanlı A., "Microstructure characteristics in Al- Cs system after mechanical alloying and high temperature treatment", Powder Metallurgy, Vol 47.,No:1,2004.
- Bostan,B., "Examination of Al₄C₃ Formation After Mechanically Alloying and Extrusion", Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 23(2):343-348, 2008.
- Son H.T., Kim T.S., Suryanarayana C., Chun B.S., "Homogeneous dispersion of graphite in 6061 aluminum alloy by ball milling", Progress in Materials Science & Engineering, A348:163-169, 2003.
- Ray, R., Ultra Rapid Solidification Process, Metals Handbook, 9th ed., Vol.7, Ohio,1984, 47 - 51
- Bozdoğan, R., Çiğdem, M., 7175 Aluminyum Alasımının Hızlı Katılaştırılması, Metal Dünyası, Sayı 53, Ekim (1997), 43 - 51.
- Grant, N.J., Powder and Particulate Production of Metallic Alloys, Advances in Powder Technology, ASM Materials Science Seminar, Ohio, 1981, 1 - 21.
- Hsu, S.C., Chakravorty, S., Mehrabian, R., Rapid Melting and Solidification of a Surface Layer, Metallurgical Transaction B, Vol. 9B, 1978, 221-229.
- Shue, K.Y., Yeh, J.W., Liu,K.S., Centrifugal Atomization/Substrate Quenching of Rapidly Solidified Particles, The International Journal of Powder Metallurgy, Vol. 31, No: 2, (1995), 145-152.
- Patterson, R.J., Rotating Disc Atomization, Metals Handbook, 9th ed., Vol.7, Ohio, 1984, 45 - 47.

- Jones, H., Developments in Aluminium Alloys by Solidification at Higher Cooling Rates, *Aluminium*, Vol. 54, (1978), 274-281.
- Aydın, B. ve Özçatalbaş, Y., AA2014 Alaşımının İşlenebilirliğine Yaşlanma Süresinin Etkisi, 11. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, syf. 405-412, İstanbul 2002.
- Trent, E.M., *Metal Cutting*, Tanner Ltd, London 1998.
- Özçatalbaş, Y. Aydın, B., Mekanik özellik ve kesme geometrisinin aa2014 Alaşımının işlenebilme özelliklerine etkileri Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 21, No 1, 21-27, 2006
- Modern Metal Cutting”, *Practical Handbook*, Sandvik Coroman, Sweden, 1994.
- Sanchez-Carrilero, M. Sanchez-Sola, J.M. Gonzalez, J.M. Contreras, J.P. Marcos, M., “Cutting Forces Compatibility Based On A Plasticity Model. Application To The Oblique Cutting Of The AA2024 Alloy”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* Vol.42 PP.559-565, 2002.
- Şahin, Y., “Talaş Kaldırma Prensipleri”, 1. Cilt, Gazi Kitabevi, Ankara, 2003.
- Carrilero, M.S. Marcos, M., “*J. Mech. Behav. Mater*”. vol. 7 (3), pp.179-191, 1996
- Carrilero, M.S. Bienvenido, R. Sanchez, J.M. Alvarez, M. Gonzalez, A. Marcos, M., “A SEM and EDS Insight into the YK and YT Difference in the Turning Processes of AA2024 Al-Cu Alloy”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 42, pp. 215-220, 2002.
- Sanchez, J.M. Rubio, E. Alvarez, M. Sebastian, M.A. Marcos, M., “Microstructural Characterisation of Material Adhered Over Cutting Tool in the Dry Machining of Aerospace Aluminium Alloys”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 164-165, pp. 911-918, 2005.
- Sanchez, M. Marcos, M., “*Relaciones Parametricas en el Mecanizado*”, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cadiz, Cadiz, Spain, 1994.
- Kendall, L.A., “*Friction and Wear of Cutting Tools and Cutting Tool Material*, ASM Metal Handbook, Friction, Lubrication and Wear”, vol. 18, ASM International, Ohio, USA, 1995.
- List, G. Nouari, M. Gehin, D. Gomez, S. Manaud, J.P. Le Petitcorps, Y. Giro, F., “Wear Behaviour of Cemented Carbide Tools in Dry Machining of Aluminium Alloy”, *Wear*, vol. 259, pp. 1177-1189, 2005.

- Boothroyd, G., Kinght, W.A., “Fundamentals of Machining and Machine Tools”, Marcel Dekker, New York, 1989.
- Çakır, M.C., “Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri”, Vipaş, Bursa, (2000).
- Rubio, E.M. Camacho A.M., Sanchez-Sola, J.M. Marcos, M., “Surface Roughness of AA7050 Alloy Turned Bars Analysis of the Influence of the Length of Machining, Journal of Materials Processing Technology, vol. 162-163, pp. 682-689, 2005.
- Gökkaya, Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye
- Gökkaya, H. Nalbant, M., “The Effects of Cutting Tool Geometry and Processing Parameters on the Surface Roughness Of AISI 1030 Steel”, Materials and Design, Article in Pres, 2006.
- Atıcı Y., 1993, Thesis of Doctor of Philosophy, University of Bristol, Bristol UK.
- Tekin A., 1981, *Malzeme Yapı ve Muayenelerinde Elektron Mikroskoplarının Uygulanması*, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu.
- Goodhew P. J., Humphreys F. J., 1988, *Electron Microscopy and Analysis 2nd Edition*, Typeset by Alden Press, London.
- Kaçar Durmuş, Okur, Meriç, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt 9, Sayı 1, Sayfa 9-13, 2003.

ÖZGEÇMİŞ

Muzaffer GÜNGÖREN

Kovancılar Anadolu Lisesi 23850 Kovancılar/ELAZIĞ

Tel : (424) 611 58 48

Cep Tel: 0532 306 11 19

e-posta : muzaffer_gungoren@hotmail.com

Kişisel Bilgiler:

Doğum Tarihi : 02.04.1979

Doğum Yeri : Elazığ

Uyruğu : T.C.

Medeni Hali : Evli

Eğitim:

İlkokul:

1986-1987 Karakoçan- Güllüce İlkokulu

1987-1991 Kovancılar- Şenova İlkokulu

Ortaokul:

1991-1994 Karakoçan- Başyurt Ortaokulu

Lise:

1994-1997 Elazığ Mehmet Akif Ersoy Lisesi

Lisans:

1998-2002 Fırat Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Elazığ

Çalıştığı Kurumlar:

1. 2002-2004 Batman/ Sason- Ekrem Özbey İlköğretim Okulu
2. 2004-2005 Elazığ/ Kovancılar- Kemaşlı İlköğretim Okulu
3. 2005 Elazığ/ Kovancılar- Karınca İlköğretim Okulu
4. 2005-2010 Elazığ/ Kovancılar- İsmetpaşa İlköğretim Okulu
5. 2010-2015 Elazığ/ Kovancılar- Kovancılar Anadolu Lisesi