

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOKİL VE ENJEKSİYON YÖNTEMLERİ İLE
ÜRETİLEN Al-Si-Mn ALAŞIMINA ISIL İŞLEM VE
BOR İLAVESİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayşenur ÖZDEMİR

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Süleyman Can KURNAZ

Temmuz 2020

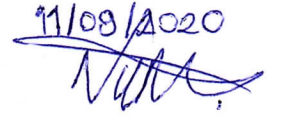
BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Ayşenur ÖZDEMİR

Tarih

11/09/2020



TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca değerli bilgileriyle yolumu aydınlatan bana farklı bir bakış kazandıran ve benden desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışmanım Prof. Dr. Süleyman Can KURNAZ'a, yüksek lisans çalışmamda branş seçimimde bana öncülük eden Prof. Dr. Şenol YILMAZ'a, deneysel çalışmalarında yardımını esirgemeyen Araş. Gör. Dr. Tuba YENER ve Araş. Gör. Dr. Şeyma Ürdem'e tez çalışmamda malzeme tedarikimi sağlayan Kalyoncu Pres Döküm ailesine ve Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Başkanı ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca her zaman manevi desteğiyle yanımda olan can dostum Billur BULGUR'a, tezimin her aşamasında yardım sağlayan Gül Nur BARUT ve Zeynep YILDIZ'a teşekkür ederim.

Belki de en özel teşekkürü hak eden bu zamana kadar bana en büyük maddi ve manevi desteklerini tüm hayatım boyunca hissettiğim her kararımın yanımda duran aileme manevi destekleri ve her zaman yanımda olan bana verdikleri güç için en içten duygularıyla çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI	3
2.1. Alüminyum Alaşımaları	4
2.1.1. Dövme alüminyum alaşımaları	5
2.1.2. Dökme alüminyum alaşımaları	6
2.2. Alüminyum Silisyum Alaşımaları	7
2.2.1. Alüminyum silisyum (Al-Si) denge diyagramı	8
BÖLÜM 3.	
ALÜMİNYUM ALAŞIM ÜRETİM YÖNTEMLERİ	12
3.1. Kokil Kalıba Döküm.....	12
3.2. Basınçlı Döküm	13
3.2.1. Yüksek basınçlı döküm.....	13
3.2.2. Alçak basınçlı döküm	15

BÖLÜM 4.

ALAŞIMLARIN ISIL İŞLEMİ.....	16
4.1. Alüminyum Alaşımlarının Sembolleştirilmesi	17
4.1.1. Temel temper tasarım sistemi	17
4.1.2. Soğuk işlem ile sertleştirilmiş alt bölümler	17
4.1.3. Isıl işlem uygulanmış alt bölümler	17
4.2. Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Isıl İşlemler	18
4.2.1. Uygulanan ısıl işlem aşamaları.....	19
4.3. Alüminyum Silisyum Alaşımlarının Isıl İşlemi	21

BÖLÜM 5.

MATERYAL VE YÖNTEM.....	25
5.1. Kullanılan Hammaddeler.....	25
5.2. Deneysel Çalışma	25
5.3. Metalografik İnceleme.....	26
5.4. Sertlik Deney	27
5.5. Çekme Deney.....	27

BÖLÜM 6.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA	28
6.1. Mikro yapı Sonuçlarının İrdelenmesi	28
6.1.1. Isıl işlemsiz mikro yapı sonuçları.....	28
6.1.2. Isıl işlemlili alaşımların mikro yapı sonuçları	36
6.2. Sertlik Deneyi	42
6.3. Çekme Deneyi	44
6.4. Kırık Yüzey Görüntüsü.....	49
6.4.1. T6 Isıl işlemlili numunelerin kırık yüzey görüntüleri.....	49
6.4.2. T5 Isıl işlemlili numunelerin kırık yüzey görüntüleri.....	53

BÖLÜM 7.

GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	56
----------------------------------	----

7.1. Genel Sonuçlar.....	56
7.2. neriler.....	56
KAYNAKLAR.....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	61

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Al	: Alüminyum
Si	: Silisyum
Mg	: Magnezyum
Ti	: Titanyum
B	: Bor
Be	: Berilyum
Zn	: Çinko
Sn	: Kalay
Sr	: Stronsiyum
TiB	: Titanyum Bor
TiAl ₃	: Titanyum Alüminat
Mg ₂ Si	: Magnezyum Silisat
AlB	: Alüminyum Bor
Al ₂ Cu	: Alüminyum Bakır
MgZn ₂	: Magnezyumdiçinko
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Alüminyum-silisyum denge diyagramı	9
Şekil 3.1. Mentşeli kokil kalıp	13
Şekil 3.2. Sıcak hazneli basınçlı döküm	14
Şekil 3.3. Soğuk hazneli basınçlı döküm	15
Şekil 3.4. Alçak basınçlı döküm.....	15
Şekil 4.1. Hayali çökme sertleşmesi ötektik faz diyagramı	19
Şekil 4.2. Yaşlandırma ısı işleminin sıcaklık-zaman şematik gösterimi	20
Şekil 4.3. GP faz oluşumunun kararlı faz oluşumunda evreleri.....	21
Şekil 4.4. Na ilavesi ile değişen Al-Si denge diyagramı	22
Şekil 4.5. Al-Mg ₂ Si denge diyagramı	24
Şekil 5.1. Çekme deney numunesi	27
Şekil 6.1. Isıl işlem uygulanmış alaşımların mikroyapı görüntüleri	29
Şekil 6.2. Isıl işlemsiz alaşımların SEM görüntüleri.....	30
Şekil 6.3. Isıl işlem uygulanmamış alaşım A map görüntüsü	31
Şekil 6.4. Enjeksiyon döküm yöntemiyle üretilmiş ısı işlemsiz C1 alaşımı	32
Şekil 6.5. Enjeksiyon döküm yöntemiyle üretilmiş ısı işlemsiz C2 alaşımı	33
Şekil 6.6. Isıl işlemsiz C1 alaşımı map görüntüsü	34
Şekil 6.7. Isıl işlemsiz C2 alaşımı map görüntüsü	35
Şekil 6.8. T6 ısı işlemleri uygulanıp 5 saat yapay yaşlandırma işlemi yapılmış numunelerin mikroyapı görüntüleri	37
Şekil 6.9. T6 ısı işlemleri 5 saat yapay yaşlandırılmış alaşımların SEM görüntüleri	38
Şekil 6.10. Alaşım A T6 ısı işlemleri 5saat yapay yaşlandırma sonrası map görüntüsü.....	39
Şekil 6.11. Alaşımların T6 ısı işlemleri 8 saat yapay yaşlandırma sonrası mikroyapı görüntüleri	40

Şekil 6.12. Alaşımın T5 ısıtılması 1 saat yapay yaşlandırma sonrası mikroyapı görüntüleri	41
Şekil 6.13. T5 ısıtılması uygulanıp 3 saat yapay yaşlandırma işlemi uygulanmış numunelerin mikroyapı görüntüleri	41
Şekil 6.14. Alaşımın T5 ısıtılması 8 saat yaşlandırma işlemi sonrası mikroyapı görüntüleri	42
Şekil 6.15. T6 ısıtılması işlemli alaşım gruplarının sertlik-yaşlandırma süre grafiği	43
Şekil 6.16. T5 ısıtılması işlemli alaşım gruplarının sertlik-yaşlandırma süresi grafiği	44
Şekil 6.17. T6 ısıtılması işlem görmüş alaşımın çekme değeri-yaşlandırma süresi grafiği.....	45
Şekil 6.18. T5 ısıtılması işlem görmüş alaşımın çekme değeri-yaşlandırma süresi grafiği	47
Şekil 6.19. T6 ısıtılması işlemi yapılmış alaşımın % uzama-yaşlandırma süresi grafiği	48
Şekil 6.20. T5 ısıtılması işlemi yapılmış numunelerin % uzama değeri- yaşlandırma süresi grafiği.....	49
Şekil 6.21. Isıtılmamış numunelerin kırılma yüzey görüntüleri.....	50
Şekil 6.22. Alaşımın T6 ısıtılmasıyla 1 saat yapay yaşlandırma sonucu kırılma yüzey görüntüleri.....	51
Şekil 6.23. T6 ısıtılması işlemi 5 saat yapay yaşlandırma ısıtılması işlemi sonucu kırılma yüzey görüntüleri	52
Şekil 6.24. Alaşımın T6 ısıtılması işlemi 8 saat yapay yaşlandırma sonucu alaşımın kırılma yüzey görüntüleri	53
Şekil 6.25. Alaşımın T5 ısıtılması işlemi 1 saat yapay yaşlandırma sonucu kırılma yüzey görüntüleri.....	54
Şekil 6.26. Alaşımın T5 ısıtılması işlemi 5 saat yapay yaşlandırma sonucu kırılma yüzey görüntüleri.....	54
Şekil 6.27. Alaşımın T5 ısıtılması işlemi 8 saat yapay yaşlandırma sonucu kırılma yüzey görüntüleri.....	55

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Alüminyum döküm sistemi için kabul edilen tasarı sistemi	7
Tablo 2.2. Kullanılan ticari alaşım sistemleri.....	10
Tablo 4.1. Temel ısıl işlem sistemi	17
Tablo 4.2. Temel soğuk işlem sistemi	17
Tablo 4.3. Isıl işlem grupları	18
Tablo 4.4. Isıl işlem uygulanabilen ve ısıl işlem uygulanamayan alaşımlar	18
Tablo 5.1. Deneysel çalışmada kullanılan alaşımların kimyasal analizleri.....	25
Tablo 6.1. T6 ısıl işlemli numunelerin yaşlandırma süresi(saati)-sertlik değerleri..	43
Tablo 6.2. T5 ısıl işlemli numunelerin yaşlandırma süresi(saati)-sertlik değerleri..	44
Tablo 6.3. T6 ısıl işlemli numunelerin yaşlandırma süresi(saati)-çekme değerleri...	45
Tablo 6.4. T5 ısıl işlemli numunelerin yaşlandırma süresi-çekme değerleri	46
Tablo 6.5. T6 ısıl işlemli numunelerin % uzama değerleri-yaşlandırma süresi (saati) değerleri	48

ÖZET

Anahtar Kelimeler: AlSi10MnMg, Kokil döküm, basınçlı döküm, ısıl işlem

Bu çalışmada; AlSi10MnMg alaşımında bor ilaveli kokil döküm işlemi ve enjeksiyonlu döküm işlemi yapılmıştır. Elde edilen alüminyum silisyum alaşımlarına ısıl işlemin etkisi incelenmiştir. Deneysel aşamada basınçlı döküm yöntemi ve kokil döküm yöntemiyle üretilmiş alaşımlara T5 ve T6 ısıl işlemi uygulayarak ısıl işlemin alaşımların mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Elde edilen sertlik, mikro yapı, çekme dayanımı sonuçlarına bakarak alaşımlara uygulanan T5 ısıl işlemi ve T6 ısıl işlemi sonucunda elde edilen numunelerinde T5 ısıl işlemi sonucu elde edilenler numunelerin çekme dayanımlarının daha yüksek değerlerde olduğu anlaşılmıştır. T5 ısıl işlemi ile mukavemet değeri yüksek, deformasyon kabiliyeti düşük alaşımların elde edildiği görülmüştür.

HEAT TREATMENT EFFECTS OF MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF Al-Si-Mn ALLOY PRODUCED BY INJECTION METHOD

SUMMARY

Keywords: AlSi10MnMg, Gravity Die Casting, Pressure Casting, Heat Treatment

In this study; In AlSi10MnMg alloy, boron added die casting process and injection molding process were performed. The effect of heat treatment on the obtained aluminum silicon alloys is investigated. In the experimental stage, the effect of heat treatment on the mechanical properties of the alloys was investigated by applying T5 and T6 heat treatment to the alloys produced by the pressure casting method and the permanent casting method.

Based on the obtained hardness, microstructure, tensile strength results, it was found that the tensile strength of the samples obtained as a result of T5 heat treatment applied to the alloys and T5 heat treatment were higher. It was observed that alloys with high strength and low deformation ability were obtained with T5 heat treatment.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Alüminyum, dünyada bulunan en bol üçüncü elementtir. Hafif olması, çeliklerin üçte biri yoğunluğa sahip olması, elektrik ve ısıyı iletmesi, korozyon direncinin iyi olması nedeniyle en çok kullanım alanına sahip bir element haline gelmektedir. Alüminyum elementi en çok tercih edilen metalik tabanlı en büyük alaşım sistemini oluşturmaktadır. Alüminyum özelliklerini arttırmak için yapı içerisine Berilyum (Be), Silisyum (Si), Magnezyum (Mg) vb. elementler ilave edilerek daha iyi mekanik ve fiziksel özelliklere sahip alaşımlar elde edilmektedir. Yapılan element ilavesi ile üçlü intermetalik gruplarının alaşım içerisinde çökmesini sağlanarak mekanik özelliklerinin artırılması amaçlanmaktadır. Elde edilen alaşımlar kendi içerisinde dövme ve dökme alaşımlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Dövme alüminyum alaşımları tel, levha, ekstrüzyon vb. üretim yöntemlerinden oluşmaktadır. Dökme alüminyum alaşımlarının üretimi kokil kalıba döküm, kum kalıba döküm ve basınçlı döküm yöntemiyle elde edilmektedir.

Üretilen alaşımların mikro yapısını ve mekanik özelliklerini iyileştirebilmek için alaşım gruplarına tane rafine edici elementler (Bor (B), Magnezyum (Mg), Titanyum Bor (TiB), Stronsiyum (Sr) vb.) ilavesi yapılmakta veya alaşımlara ısıl işlem uygulanmaktadır. İlave edilen modifiye edici elementlerin her biri mikro yapıda farklı özelliklerin elde edilmesini sağlamaktadır. Döküm yapısına ilave edilen Mg, mikro yapıda intermetaliklerin parçalanmasını sağlamaktadır. Bu yapısal değişim yanında alaşımda Mg_2Si bileşiği şeklinde alaşım içerisinde çökmesini sağlayarak alaşımın kuvvet ve sertlik artışına sebep olmaktadır. Yapı içerisine ilave edilen B elementi alaşım grubu içerisinde AlB bileşiğinin oluşmasına neden olarak tane kabalaşmasını sağlamaktadır. TiB ilavesi alaşımda Ti çekirdekleyici görevi görmektedir ve Ti_3Al bileşiğinin oluşmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda Ti ve B

elementinin bir arada olmasıyla tane rafinasyonunda tane inceltici olarak kullanılmaktadır.

Yapı değişikliğinin sağlanması ve mekanik özelliklerin değişmesi için alaşıma ısıl işlem yapılmaktadır. Isıl işlem her alaşım grubuna uygulanmamaktadır. Isıl işlem uygulanan alaşım grupları 2xxx,6xxx ve 7xxx alaşımlarından oluşmaktadır. Bu alaşım gruplarına T serisi (T5,T6 ve T7) ısıl işlemi uygulanabilmektedir. Alaşıma uygulanan ısıl işlem, alaşım veya alaşım gruplarının ısıtılarak çözeltinin oluşturulması ve birden soğutarak intermetaliklerin çökmesi şeklinde gerçekteşirilmektedir. Isıl işlem uygulanmayan alaşım grubuna alüminyum – silisyum (4xxx) alaşımı da dahil olmasına rağmen yapı içerisine Magnezyum (Mg), Sodyum (Na), Potasyum (K) vb. element ilavesi yapılarak ısıl işlem gerçekteşirilebilmektedir.

Bu çalışmada AlSi10MnMg alaşımına basınçlı döküm ve kokil döküm yöntemiyle üretilen alaşımlara T5 ve T6 ısıl işlemi uygulanmıştır. Uygulanan ısıl işlemlerin mekanik özellikler üzerine etkisi incelenmiştir. Alaşım gruplarından kokil döküm işlemi yapılan gruba T6 ısıl işlemi uygulanmış, enjeksiyonla döküm işlemi uygulanan alaşım grubuna T5 ısıl işlemi uygulanmıştır. Elde edilen numunelere çekme testi incelemesi, Brinel sertlik test incelemesi ve metalografik çalışmalar uygulanmıştır.

BÖLÜM 2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Alüminyum (Al) elementinin keşfedilmesi ve sonrasında üretiminin devam etmesi işleminde alüminyumun saf formu 1825 yılında Sir Humphry Davy in Britain tarafından tanımlanmıştır. Hans Christian Oersted of Denmark Al'un metal şeklinde üretimi gerçekleştirmiştir. İki yıl sonra Freidrich Wöhler of Germany alüminyum ve potasyumu susuz alüminyum klorid ile tepkimeye giren bir toz olarak 1845 yılında alüminyumun üretilbildiğini göstermiştir. Elde edilebilen saf Al elementinin üretimi için ilk ticari işlem Henri Sainte-Claire Deville tarafından Wöhler prosesinin bir gelişmiş şekli olarak 1854'te geliştirilmiştir. Bu üretim işlemleri sonucunda Al elementinin üretimi, üretimin ilk safhalarında çok pahalı bir element olarak piyasaya sürülmüştür. Gerçekleştirilen üretim işlemi 30-40 yıl boyunca sayısız talepler ile maliyetin azalabilmesini ve daha fazla ekonomik işleminin gerçekleştirilebilmesini sağlamıştır. Elde edilen gelişmelerde Al üretiminin gerçekleştirilmesi ve maliyetinin düşürülmesi safhasında gelişmeler kaydedilmiştir. Kaydedilen veriler Aldophe Minet (1902, 1905) tarafından yayımlanan ilginç kitap ilk Almanya'da 1902'de ve daha sonra İngiltere'de 1905'te yayımlanmıştır [1].

Keşfedilen ve çeşitli ekonomik arayışlar sonucunda Al elementinin dünya kabuğunda bulunan en bol üçüncü elementi olduğu anlaşılmıştır. Elde edilen bu özelliğinin yanında Al elementinin atom numarası 13, yoğunluğu $2,7 \text{ g/cm}^3$ olan yüzey merkezli kübik (YMK) kristal kafes yapıya sahip olduğu belirlenmiştir. Yüksek oksidasyon direnci, işlenmesinin kolay olması, ısı ve elektriği iyi iletmesi gibi özelliklere sahip olmaktadır. İlk başlarda yüksek saflıkta alüminyumun üretiminin kolay olması ve mekanik özelliklerinin iyi olması nedeniyle element ilavesiz şekliyle kullanılmıştır [1, 2, 3].

Saf Al kullanımı genellikle iletken folyolar, yarı iletkenler ve manyetik malzemeler şeklinde olmuştur. Bu kullanım alanları dışında ısıyı emen bir özelliğe sahip olması nedeniyle ısıtma sistemlerinde, hafif olması nedeniyle uçak, uzay ve çeşitli araçlarda, parlak ve şık görünümü nedeniyle mobilya ve süs eşyalarında kullanılmıştır. Her zaman saf element halinde kullanımı mevcut olmayıp Al özelliklerinin ve kullanım alanlarının artırılması için alaşım içerisinde Be, Mg, Zn, Si, Sn vb. elementler ilave ederek özellikleri geliştirilmiş ve daha geniş bir alaşım grubunun elde edilmesi sağlanmıştır [2, 3].

Alüminyuma ilave edilen Mg, Si, Ti vb. elementlerin ilavesi ile elde edilen geniş alaşım grubu yüksek mukavemeti, iyi korozyon direnci, hafif olması ve işleme kolaylığı sayesinde alaşımlardan elde edilen mekanik özellikleri artırılmış alaşımların oluşmasını sağlamaktadır. Hafifliği sayesinde büyük boyuttaki parçalar üretilebilmektedir. İşlemesinin kolay olması, sonrasında istenilen dış görünüşün elde edilmesinde kolaylık sağlamaktadır. Yüksek korozyon direnci, alaşımların oksidasyonunu geciktirmektedir. Alaşımlar ortam koşullarına kolay adapte olarak elde edilen malzemenin verimliliğinin artmasını sağlamaktadır. Elde edilen alaşıma ilave edilen element sayısı artırılabilir. Element sayısının artması alaşım içerisinde oluşan intermetalik sayısını arttırmasını sağlamaktadır. Elde edilen intermetalikler mukavemet özelliklerini arttırılmakta ve şekil verme özelliğini kısıtlamaktadır [4].

2.1. Alüminyum Alaşımları

Günümüzde alüminyum alaşımlarına baktığımızda, üretimlerinin yıllık 50 milyon ton civarında olduğu ifade edilmektedir. Alaşımların en belirgin özelliği kullanılan element yelpazesinin oldukça geniş olmasıdır. Yüksek saflıktaki alüminyumun element ilavesi ile fiziksel ve mekaniksel özellikleri geliştirilebilmektedir. Uygulanılabilen bu işlem karmaşık yapıdaki alaşımlar için önemli hale gelmektedir. Üretilen Al'e bakıldığında, 400'den fazla alüminyum alaşımı kullanıldığı bilinmektedir. Yapı içerisinde ilave edilen alaşım elementleri ile birlikte yüksek korozyon direnci, yüksek çekme mukavemeti, düşük yoğunluk vb. özelliklere sahip

olması alüminyum alaşımının özelliklerinin iyileştiğini göstermektedir [5]. Sahip oldukları bu özellikler sayesinde havacılık, otomotiv sektörü, beyaz eşya, süs eşyaları vb. yerlerde kullanıma sahip olmaktadır [6].

Alüminyum alaşımları kendi içerisinde dövme ve dökme alüminyum alaşımları olarak ikiye ayrılmaktadır. Dövme alüminyum alaşımları fabrikada üretilen ürünün şekil verme ve mekanik özellik değişimleri yapılarak elde edilen ürünlerdir. Yapılan bu işlemler dövme, haddeme, çekme ve ekstrüzyondur. Dökme alüminyum alaşımları ise ergimiş üründen istenen tarz ve boyutlarda kalıp içerisinde şekillendirilen sonrasında katılaşma işlemi yapılarak üretilen üretim yöntemidir. Uygulanılan bu işlemler kum kalıba döküm, kokil kalıba döküm ve basınçlı döküm şeklinde gerçekleştirilmektedir.

Döküm sonrasında mekanik özelliklerini değiştirebilmek için alüminyum alaşımlarına ısıl işlem uygulanmaktadır. 2xxx, 6xxx ve 7xxx alaşımlarına ısıl işlem uygulanabilirken 1xxx,3xxx,4xxx,5xxx ve 8xxx alaşımlarına ısıl işlem uygulanmamaktadır. Isıl işlem uygulanabilen alaşımlara yaşlandırma sertleşmesi yapılabilirken ısıl işlem uygulanamayan alaşımlarda yaşlandırma işlemi yapılamamaktadır. Isıl işlem görmemiş alaşımlara katı eriyik, deformasyon ve dağılım sertleşmesi yöntemleri kullanılarak özelliklerinde iyileştirme yapılabilmektedir [7].

2.1.1. Dövme alüminyum alaşımları

Alüminyum içeren ilk uygulamaların çoğu dövme alüminyum ürünlerinden oluşmaktadır. Elde edilen ürünlerin seçilmesinde, saf alüminyum veya alüminyum alaşımları kullanılmaktadır. Alüminyum birçok kullanım alanına sahip olduğundan tercih edilmektedir. Bu alaşımlar fabrika ürünlerinin son geometrik şekillerinin mekanik işlemlerle elde edilmiş ürünler olduğundan bu üretimler levha, tel, ekstrüzyon, dövme, derin çekme ve folyo üretim şeklinde olmaktadır. Isıl işlemsiz levha kullanımı en yaygın kullanılan şeklini oluşturmaktadır. Isıl işlemsiz levha kullanımı; paketlenmede, taşıma endüstrisinde, inşaat endüstrisinde yaygın bir

kullanıma sahip olmaktadır. Dövme alüminyum alaşımlarının büyük çoğunluğunu şimdilerde inşaat endüstrisi ve taşıma endüstrisi oluşturmaktadır [1, 7].

2.1.2. Dökme alüminyum alaşımları

Alüminyum alaşımları döküm işlemi yapılabilme özelliğine sahiptir. Üretim yöntemleri kum kalıba döküm, kokil kalıba döküm ve basınçlı döküm işlemlerinden oluşmaktadır. Tüm döküm yöntemleri ile alaşım gruplarına istenen özelliklerde döküm işlemi yapılabilmektedir. Sertlik ve istenen diğer özellikler ilave edilen alaşım elementi veya ısıl işlem yöntemiyle elde edilmektedir. Bu elementlere örnek olarak magnezyum, stronsiyum, bor vb. elementler verilebilmektedir.

Alaşım içerisine B ilavesi Titanyum borür (TiB) , Bor (B), Alüminyum borür (AlB) ilavesi şeklinde gerçekleştirilmektedir. Yapı içerisine ilave edilen B elementi tane rafine işleminde kullanılmaktadır. İlave edilen bileşiğin TiB olması durumunda alüminyum alaşımına eklenen titanyum çekirdekleyici görevi görmekte olup dentrit yapısının oluşumunu sağlayan $TiAl_3$ bileşiğini oluşturmaktadır. Tane rafine işleminde Ti ve B birlikte kullanımı daha iyi bir rafine oluşumuna neden olmaktadır. %5 Ti ve %1 B ilavesi tane inceltici olarak kullanılmaktadır. Yapı içerisinde Ti, TiB ve $TiAl_3$ bileşiklerini oluşturmaktadır. $TiAl_3$ bileşiğinin oluşumu daha iyi rafinasyonların oluşumunu sağlamaktadır. İlave edilen metalin B olması durumunda yapı içerisinde AlB bileşiği oluşmakta, aglomerasyon ve inklüzyon oluşumu gerçekleşmektedir [8, 9].

İlave edilen Mg elementi alaşımın sertlik ve kuvvet artışı için alüminyum silisyum (Al-Si) ısıl işlem alaşımlarının temelini oluşturmaktadır. Bakır (Cu), Nikel (Ni), Mangan (Mn) ve diğer elementleri içeren karmaşık bir yapıya sahip Al-Si alaşımları yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapı içerisinde sertlik artışını sağlayacak Mg_2Si bileşiğini oluşturmaktadır. Oluşan bu bileşik sertlik oluşumunun dışında alaşıma yüksek korozyon direnci ve iyi kaynak işlemi yapılabilme özelliği sağlamaktadır. Al-Si alaşımlarında ısıl işlem uygulanabilmesi için Mg çözünürlük sınırının %0,7'e kadar olmalıdır. Belirlenen bu sınırdan fazla Mg kullanımı, mekanik özelliklerinde (sertlik,

çekme dayanımı, akma dayanımı vb.) belirli bir değersel artma sağlamayıp yapının yumuşamasını sağlamaktadır. Genellikle Al-Si alaşımlarında magnezyum kullanımı %0,40 ile %0,70 arasında olmaktadır [8, 9].

Element ilavesi ile elde edilen alaşım gruplarının isimlendirilmesi çoğu ülkede kendi tanımlama sistemine sahip olmaktadır. Genel olarak kabul edilen tanımlama sistemi Tablo 2.1.'de gösterilmektedir.

Tablo 2.1. Alüminyum döküm sistemi için kabul edilen tasarı sistemi [8]

Diziler	Alaşımlar
1xx	>99,0% Al
2xx	Al-Cu
3xx	Al-Si-Mg, Al-Si-Cu, Al-Si-Cu-Mg
4xx	Al-Si
5xx	Al-Mg
7xx	Al-Zn
8xx	Al-Sn

Alaşım gruplarında dört haneli bir sistem kullanılmaktadır. Alaşımlarda ilişkilendirilen grup ilk hane ile belirtilmektedir. Bu alaşım grupları hem ısıl işlem uygulanabilen alaşımlardan hem de ısıl işlem uygulanamayan alaşım gruplarından oluşmaktadır. 2xx.x, 3xx.x, 4xx.x ve 7xx.x alaşım grupları ısıl işleme tabi tutulabilen alaşım grupları olmaktadır. Isıl işlem uygulanamayan alaşım gruplarında mukavemet, son tavla işleminde kaybolmaktadır. Bu gruplara soğuk şekil verme işlemi yapılmadıkça alaşımlarda mukavemet elde edilememektedir [1, 10, 11].

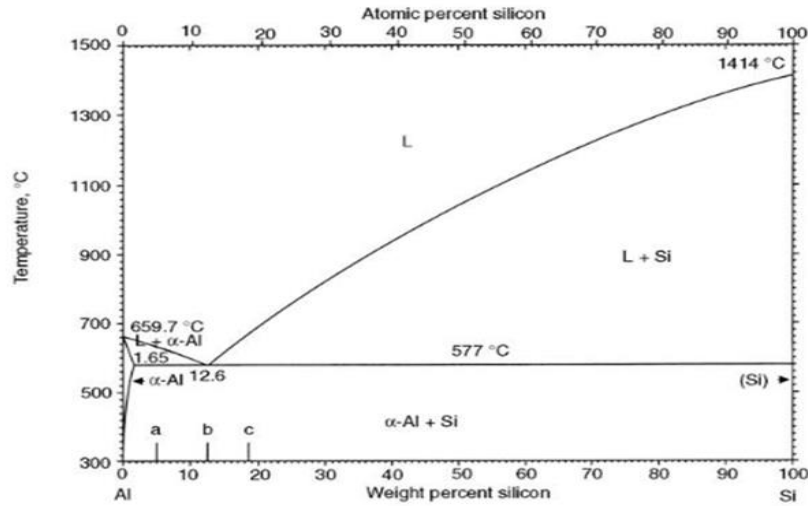
2.2. Alüminyum Silisyum Alaşımları

Alüminyum alaşımları ilave edilen alaşım elementine göre ayırt edilmektedir. 4xxx olarak ifade edilen alaşım grubuna Al-Si alaşımı adı verilmektedir. Yumuşak bir yapıya sahip olan alüminyuma silisyumun ilave edilmesiyle oluşan Al-Si alaşımında Silisyum (Si) büyük bir etkiye sahip olmaktadır. Al-Si alaşımına ilave edilen silisyum miktarı alaşımın yoğunluğunu ve termal genişleme katsayısını azaltıp, kimyasal ve mekanik özelliklerini arttırmaktadır. Si ilavesi, yüksek akışkanlık ve düşük sıcak yırtılma eğiliminin de oluşmasını sağlamaktadır. Alaşımda katılaşma

sırasında oluşan yüksek katılaşma yapısı modifiye olmamış östenitik yapının oluşmasına katkı sağlamaktadır [12]. Ötektik öncesi Al-Si alaşımları ($Si < \%12,6$) için mukavemet ve yumuşaklık düşük, döküm alaşımı akışkan yapıya sahip olmaktadır. Modifiye edici elementlerin ilavesi ile özelliklerin geliştirilmesi sağlanabilmektedir. Ötektik sonrası Al-Si alaşımlarında ($Si > \%12,6$) Si ve mikro yapının modifiye edilmesi genellikle Fosfor (P) elementinin alaşım içerisine ilave edilmesi ile sağlanmaktadır [11]. İlave edilen alaşım elementlerin dışında alaşım yapısındaki değişim döküm işlemindeki niceliklerin değiştirilmesiyle de elde edilebilmektedir. Alaşımın yavaş katılaşma işlemi intermetalik, makrosegregerasyon ve kaba ilk fazların oluşumuna neden olmaktadır. Mikro yapıda meydana gelen karakteristik özelliğe sahip değişimler alaşım grubunun kimyasal ve mekaniksel özelliklerini etkilemektedir. Bu oluşumların engellenmesi yapı içerisine alaşım element ilavesi veya ısıl işlem ile iyileştirme sağlanabilmektedir [13]. Önerilen bu iyileştirmelerin dışında döküm işleminde kullanılan döküm yöntemi ve dökümün katılaşma şekli değiştirilerek alaşımın özelliklerinde değişim sağlanabilmektedir [14]. Alaşım yapısında meydana gelebilecek bu değişimlere baktığımızda, alaşımların özellikleri; malzeme döküm özelliklerine, dökümün katılaşma şekline ve mikro yapıda oluşan değişimlere bağlı olmaktadır [15].

2.2.1. Alüminyum silisyum (Al-Si) denge diyagramı

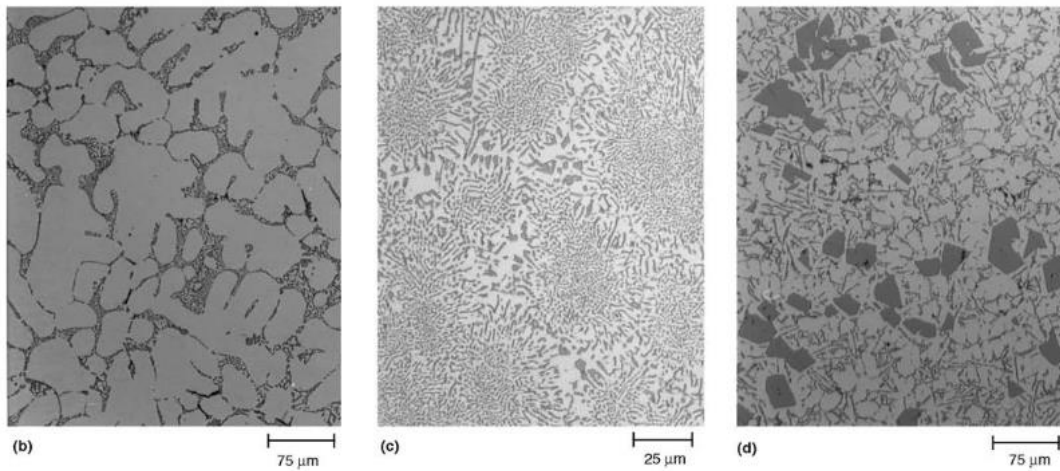
Genellikle ötektik öncesi ve ötektik sonrası olarak ayrılan Al-Si alaşım grubu yüzey merkezli kübik (YMK) yapıya sahip alüminyum ve elmas kristal yapıya sahip silisyumun birleşmesi ile oluşmuştur. Oluşan ikili denge diyagramı Şekil 2.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Alüminyum-silisyum denge diyagramı [16]

Basit bir yapıya sahip olan ikili östenitik Al-Si alaşım sisteminde aşınma direncinin artırılması için sınırlandırılmış sayıda silisyum tanelerinden oluşmaktadır. Östenitik reaksiyonu, saf alüminyum ve saf silisyumun alüminyum içerisine %5'ten %20'ye kadar silisyum ilavesi ile meydana gelmektedir. Oluşan bu yapı ile çözeltide östenitik dönüşüm meydana gelmektedir. Alüminyum çözeltisi ve saf silisyum östenitik reaksiyon ile 577,6°C'de %12,6 silisyum bileşimi ile gerçekleşmektedir. Oluşan bu östenitik oluşum diyagramı Şekil 2.2.'de gösterilmektedir [16, 17].

Al-Si alaşımı genel olarak içerisinde magnezyum, bakır, demir, çinko vb. elementleri ihtiva etmektedir. Her element alaşım içerisine farklı bileşim kompozisyonlarında bulunmaktadır. Elementlerin alaşım içerisindeki oranları katılaşma işlemi büyük bir öneme sahip olmaktadır. Bu alaşımlarında katılaşma işlemi ötektik öncesi ve ötektik sonrası katılaşma olarak ayrılmaktadır. Oluşan bu ayrıcalık alaşım grubu içerisindeki silisyum oranının %12,6'dan az olanlara ötektik öncesi, %12,6'dan fazla olanlara ötektik sonrası alaşımlar olarak adlandırılmaktadır. Her iki alaşım grubunda genel katılaşma işlemi α -Al dentrit çekirdeklerinin, intermetalik olarak bulunan $Al_{15}(Mn,Fe)_3Si_2$, $\beta-Al_5FeSi$ ve Mg_2Si ve primer Si yapılarının döküm yapısı içerisinde katılaşmasından meydana gelmektedir. Döküm sonrası oluşan mikro yapılar Şekil 2.2.'de gösterilmektedir. Oluşan bu mikro yapılarda intermetalik oluşumu yapı içerisinde bulunan çeşitli elementlere ve bunların yapı içerisinde bulunma oranlarına bağlı olarak oluşumu farklılık göstermektedir [16, 18].



Şekil 2.2. Ticari Al-Si döküm alaşımları mikroyapıları a) ötektik öncesi Al-Si(%1,65-%12,6 Si)150x b) ötektik Al-Si alaşımı (%12,6 Si) 150x c) ötektik sonrası Al-Si alaşımı (>%12,6 Si) 150x [16]

Genel olarak kullanılan alaşım sistemleri Tablo 2.2.'de gösterilmektedir. Bu alaşım gruplarına mekanik özelliklerin artırılması için modifiye edici elementlerin ilavesi veya ısıl işlem yapılmaktadır. Modifiye edici elementler kabalaşmaya eğilimde olan bileşiklerin daha küçük yapıda oluşmasını sağlamakta ve yapı içerisinde sert özelliğe sahip intermetaliklerin oluşmasını sağlayarak yapının mukavemetini arttırmaktadır. Uygulanılan ısıl işlemlerde ani soğutma işlemi alaşım içerisindeki Si tanelerinin ve intermetaliklerin daha küçük tane yapısına sahip olmasını sağlamaktadır. Hızlı soğutma işlemi mikro yapı ve mekanik özellik değişiminde çok büyük bir etkiye sahip olmayıp döküm işlemi sonrası alaşıma ilave edilen modifiye edici element ile daha iyi bir modifikasyon sağlanabilmektedir [19,20].

Tablo 2.2. Kullanılan ticari alaşım sistemleri [9]

Alloy	Composition, wt%					
	Si	Fe	Cu	Mg	Mn	Other
Hypereutectic alloys						
390.0	16-18	1.3	4-5	0.45-0.65	0.1	---
A390.0	16-18	0.5	4-5	0.45-0.65	0.1	---
B390.0	16-18	1.3	4-5	0.45-0.65	0.5	1.5 Zn
392.0	18-20	1.5	0.4-0.8	0.8-1.2	0.2-0.6	0.5 Ni, 0.5 Zn, 0.3 Sn
393.0	21-23	1.3	0.7-1.1	0.7-1.3	0.1	2-2.5 Ni
Eutectic alloys						
384.0	10.5-12	1.3	3-4.5	0.1	0.5	0.5 Ni, 3 Zn, 0.35 Sn
336.0	11-13	1.2	0.5-1.5	0.7-1.3	0.35	2-3 Ni, 0.35 Zn
339.0	11-13	1.2	1.5-3	0.5-1.5	0.5	0.5-1.5 Ni, 1 Zn
413.0	11-13	2	1	0.1	0.35	0.5 Ni, 0.5 Zn
4032	11-13.5	1	0.5-1.3	0.8-1.3	---	0.5-1.3 Ni
Hypoeutectic alloys						
319.0	5.5-6.5	1	3-4	0.1	0.5	0.35 Ni, 1 Zn
356.0	6.5-7.5	0.6	0.25	0.2-0.45	0.35	0.35 Zn
364.0	7.5-9.5	1.5	0.2	0.2-0.4	0.1	0.25-0.5 Cr, 0.15 Ni, 0.15 Sn
380.0	7.5-9.5	2	3-4	0.1	0.5	0.5 Ni, 3 Zn, 0.35 Sn
333.0	8-10	1	3-4	0.05-0.5	0.5	0.5 Ni, 1 Zn
332.0	8.5-10.5	1.2	2-4	0.5-1.5	0.5	0.5 Ni, 1 Zn
360.0	9-10	2	0.6	0.4-0.6	0.35	0.5 Ni, 0.5 Zn
383.0	9.5-11.5	1.3	2-3	0.1	0.5	0.3 Ni, 3 Zn, 0.15 Sn

Source: Ref 8, 9

Tablo 2.2.'de gösterilen alaşım grupları içerisinde A360 veya 360.0 olarak bilinen AlSi10MnMg alaşımı çok iyi işlenebilme, kalıba yapışmama, yüksek korozyon direnci, talaşlı işlenebilme, yüksek yorulma direnci, kaynak yapılabilme vb. özelliklere sahiptir. A360 alaşımı mimari, armatür, otomotiv, ışıklandırma, ev aletleri vb. birçok yerde kullanım alanı bulunmaktadır. Bu alaşım grubu 550-590°C katılaşma aralığına, 2,64 kg/dm³ yoğunluğa sahiptir. Her döküm yöntemiyle üretimi mümkün olmaktadır. İnce kesitli parçaların üretimi ve parçaların seri üretimi mümkün olduğundan genellikle basınçlı döküm yöntemiyle üretimi gerçekleştirilmektedir. Elde edilen döküm malzemesinin mekanik özelliklerinin artırılması için alaşım grubuna ısıl işlem uygulanabilmektedir. Uygulanılan ısıl işlemler genellikle T serisi (T4,T5,T6,T7) ısıl işlemler olmaktadır. Uygulanılan ısıl işlem sonrasında elde edilen mekanik özellikler Tablo 2.1.'de gösterilmektedir [21].

Tablo 2.1. Isıl işlemlenmiş AlSi10MnMg alaşımı mekanik özellikleri [21]

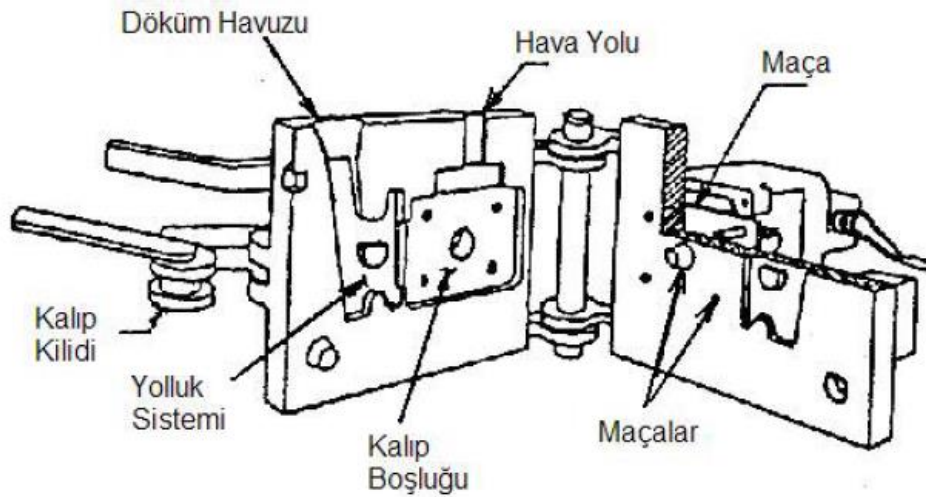
Döküm yöntemi	Isıl işlem durumu	Akma mukavemeti R _{p0.2} [N/mm ²]	Çekme mukavemeti R _m [N/mm ²]	Kırılma uzaması A [%]	Brinell-Sertlik HBW
Enjeksiyon döküm	F	120–150	250–290	5–11	75–95
Enjeksiyon döküm	T5	155–245	275–340	4–9	80–110
Enjeksiyon döküm	T4	95–140	210–260	15–22	60–75
Enjeksiyon döküm	T6	210–280	290–340	7–12	90–110
Enjeksiyon döküm	T7	120–170	200–240	15–20	60–75

BÖLÜM 3. ALÜMİNYUM ALAŞIM ÜRETİM YÖNTEMLERİ

3.1. Kokil Kalıba Döküm

Ergitilen metalin birden fazla döküm işleminin yapılabildiği kalıcı kalıp içerisine dökülmesiyle gerçekleştirilen işleme kalıcı kalıba döküm denmektedir. Bu döküm yöntemi karmaşık şekilli ve boyutları dar bir aralıkta olan parçalar için kullanılmaktadır. Döküm işleminde kullanılacak olan kalıp, malzemede gerekli olan refrakterik özelliğe sahip olmalıdır. Düşük ergime sıcaklığına sahip alaşım ve malzeme grupları için kalıp malzemesi olarak bronz kullanılmaktadır. Bu grubun dışındaki diğer malzeme grupları için dökme demir, zirkonyum veya çelik kalıplar kullanılabilir. Dökme demir ve çelik kalıp kullanımında yapı içerisinde bulunan demirin alaşım grubuna geçmemesi için kalıp zirkonyum oksit ile kaplama işlemine tabi tutulmaktadır. Zirkonyum kalıpların kullanılması durumunda sınırlı sayıda alaşımın döküm işlemini kokil kalıp yöntemiyle yapılmaktadır. Bunun nedeni dökümü yapılan malzemenin hızlı soğuma ve yüksek akışkanlığa sahip olmasının istenmesidir. İstenen bu özelliklere bakıldığında, kokil kalıba döküm yöntemi için silisyum içeren 3xxx ve 4xxx seri alaşımların uygun olduğu görülmektedir.

Kokil kalıplar, açılıp kapanabilen iki parçalı kalıplardan oluşmaktadır. Kokil kalıba döküm işleminde ergitilen metal kalıp boşluğuna dökülmektedir. Katılma işlemi gerçekleşikten sonra kalıp açılmaktadır. İstenen şekli elde edilen malzemede iç boşluğun oluşması isteniyorsa maça kullanılmakta veya istenen boşluk talaşlı imalat yöntemiyle istenilen boşluk elde edilmektedir [22, 23].



Şekil 3.1. Mentşeli kokil kalıp [22]

3.2. Basınçlı Döküm

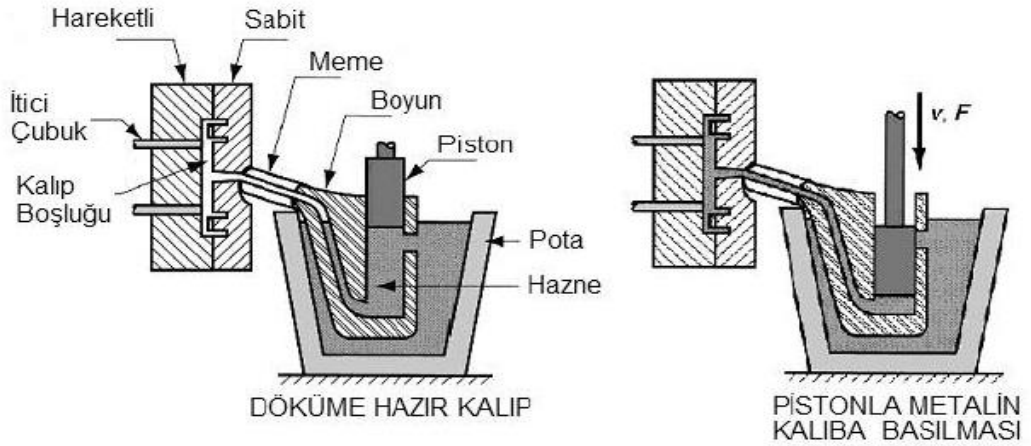
3.2.1. Yüksek basınçlı döküm

Çelikten yapılmış kalıba, yüksek basınç ile sıvı metalin doldurulması işlemine basınçlı döküm yöntemi denmektedir. Takım çeliklerinden üretilen kalıbın içerisine ergimiş metalin belirli bir kuvvet ile metalin itilmesi ve basınç yardımıyla eriğin birden soğumasını içeren işlem aşamalarından oluşmaktadır. Yüksek basınçlı döküm işleminde dökülen malzemenin hızlı bir şekilde soğuması istendiği için kalıp refrakter malzemelerle kaplanmamaktadır. Hızlı bir şekilde katılma işlemi gerçekleştiğinden ince taneli mikro yapı elde edilmektedir. Basınçlı döküm işlemi, ince cidarlı ve karmaşık şekilli malzemelerin üretimi için elverişli bir yöntem olmaktadır. Yüksek basınçlı döküm yönteminde dikkatli bir şekilde planlanmış işlem aşamalarından oluşturulması gerekmektedir. Basınçlı döküm yönteminde alaşımın ergitilme yöntemine bağlı olarak sıcak hazneli basınçlı döküm ve soğuk hazneli basınçlı döküm yöntemi olarak ikiye ayrılmaktadır.

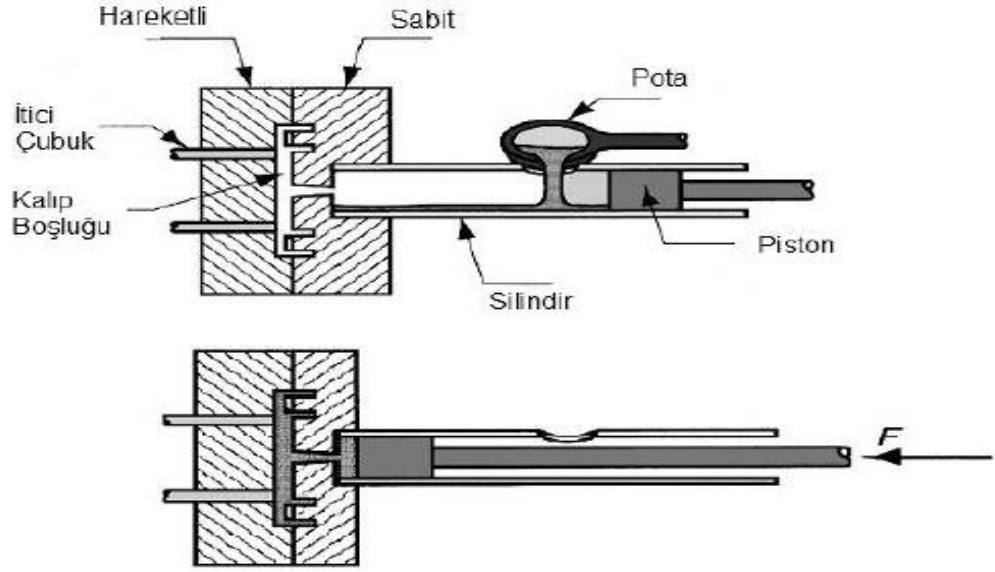
Sıcak hazneli basınçlı döküm işleminde, hazne ve piston sıvı metalin içerisindedir. Bu yöntemle ergime noktası düşük olan kalay, kurşun ve çinko vb. alaşımların döküm işlemi gerçekleştirilmektedir.

Soğuk hazneli basınçlı döküm işleminde ergime potası ayrı bir yerde bulunup sıvı metal, belirlenen pota içerisine belirli bir kap yardımı ile otomatik bir şekilde gerçekleştirilen döküm işlemidir. Bu işlem sonrasında sıvı metalin kalıp içerisine itilme işlemi gerçekleştirilmektedir.

Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile üretilen malzeme sayısı sınırlı olmaktadır. Her kalıp belirli bir üretim kapasitesine sahiptir. Hem kalıba doldurma işleminin hem de soğuma işleminin hızlı olması, eriğin iyi bir akışkanlığa sahip olması, katılaşma sırasında ve katılaşma sonrasında çatlama işleminin olmaması alaşımlarda istenen özellikler arasında olmaktadır. Bu nedenle Al-Si alaşımlarının dökümünde yüksek basınçlı döküm işlemi tercih edilmektedir. Kullanılan bu döküm yönteminin malzeme sarfiyatının az olması, üretim sayısının fazla olması, karmaşık şekilli parçaların üretimin mümkün olması, çok sayıda parça üretimi mümkün olması, az işçilikle yüksek verimliliğin elde edilmesi, pahalı kalıplara rağmen düşük maliyette döküm işleminin gerçekleştirilmesi gibi avantajlarına sahip olmaktadır. Döküm işleminde dezavantaj olarak döküm içi boşluk ve baloncuk oluşumu görülmektedir [1, 22, 23].



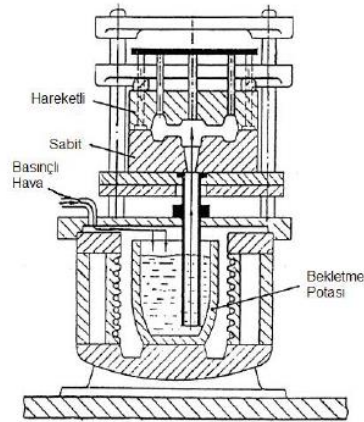
Şekil 3.2. Sıcak hazneli basınçlı döküm [22]



Şekil 3.3. Soğuk hazneli basınçlı döküm [22]

3.2.2. Alçak basınçlı döküm

Dar kalıp boşluklarına sahip kalıcı kalıba, metalin yer çekimi yardımıyla doldurulması zor olduğundan belirli bir basınca ihtiyaç duyulmaktadır. Dar kalıpların alçak bir basınç uygulanarak doldurulması işlemine alçak basınçlı döküm işlemi denilmektedir. Potada bulunan sıvı metal yüzeyine basınç uygulayıp sıvıya daldırılan dikey yolluk yardımıyla sıvı metalin yukarı çıkması işlemi gerçekleşmekte ve üst kalıbın dolması sağlanmaktadır. Sıvı metalin kalıba dökülmesi işlemi ardından metalin katılaşması ile işlem tamamlanmaktadır [22, 23].



Şekil 3.4. Alçak basınçlı döküm [22]

BÖLÜM 4. ALAŞIMLARIN ISIL İŞLEMİ

Bir standart alaşımda ısıtılmasının anlaşılabilirliği için alaşım sisteminin iyi bilinmesi gerekmektedir. Alaşım sistemi, kimyasal bileşiminin anlaşılmasını ve alaşım özelliklerinde standart bir oluşumu sağlamaktadır. Günümüzde kullanılan alaşım ve ısıtılma sistemlerinden dövme alüminyum alaşımları 1955'te alüminyum endüstrisine katılmıştır. Şimdilerde kullanılan alüminyum alaşım sisteminde ilk kullanılan alaşım sistemine göre bazı standartlar sonradan geliştirilmiştir. Bu oluşumun benzer bir yapı olarak ısıtılma işlem üreticilerinin anlayabilmesi de sağlanmıştır [10].

Uygulanılan ısıtılma işlemlerde, elde edilen mekanik özellikleri sağlayabilmek için malzemeyi ısıtılma ve soğutma ısıtılma işlem aşamalarını içermektedir. Uygulanan bu ısıtılma işlem aşamalarında alüminyum alaşımlarına ısıtılma işlem uygulandıktan sonra dövme alüminyum alaşımlarında ve dökme alüminyum alaşımlarında alaşımın sertliği artırılarak kullanım yerleri sınırlandırılmaktadır. Sertlik artışının dışında ısıtılma işlemle mekanik özelliklerde meydana getirilecek değişim, ısıtılma derecesi ve ısıtılma tutma süresine bağlı olarak da değişmektedir. Niceliklerin değiştirilmesi ile mikro yapıda oluşan reaksiyonlar, malzemeye yumuşaklık dereceleri ile mekanik özellikler farklı olmaktadır. Sonrasında uygulanan yaşlandırma ısıtılma işlemi bu alaşımlarda çökelti oluşturarak mikro yapı ve mekanik özelliklerin değişmesini sağlamaktadır. Özelliklerin değişiminde malzemeye uygulanan düşük sıcaklık işlemi, ısıtılma işlem uygulanmayan malzemelere uygulanmakta olup tavlama olarak adlandırılmaktadır [24].

4.1. Alüminyum Alaşımlarının Sembolleştirilmesi

4.1.1. Temel temper tasarım sistemi

Isıl işlem işaretleme sistemi harf ile ifade edilmektedir. Isıl işlem tasarımı sisteminde bir merkezi harf sistemi ısıl işlem sistemini ifade etmektedir. Belirtilen gruplar dışında bazı belirlenen işaretler sadece döküm yöntemiyle üretilen alaşımlara, bazı gruplar dövme yöntemiyle üretilen alaşımlara ve bazı ısıl işlem sistemleri ise her iki gruba da uygulanabilen ısıl işlem sistemlerini içermektedir. Tanımlanan tasarım sistemi Tablo 4.1.'de gösterilmektedir [7].

Tablo 4.1. Temel ısıl işlem sistemi [7]

F	Dövme haliyle kalmış (dövme mamülleri)
O	Tavlanmış,yeniden kristallendirilmiş (dövme mamülleri)
H	Sertleştirilmiş(dövme mamülleri)
W	Herhangi bir iyileştirme işlemine tabi tutulmamış düzgün olmayan temperleme işlemi ile ısıl işleme tabi tutulmuş (dövme mamüller)
T	Düzgün bir şekilde temperleme işlemi ile ısıl işleme tabi tutulmuş

4.1.2. Soğuk işlem ile sertleştirilmiş alt bölümler

Isıl işlem sisteminde kullanılan ısıl işlem sistemi, ısıl işlem sıcaklığına ve malzeme çeşitliliğine bağlıdır. Temel ısıl işlem tasarımının alt türleri bir veya daha fazla hane ile belirtilmekte olup Tablo 4.2.'de gösterilmektedir.

Tablo 4.2. Temel soğuk işlem sistemi [7]

H	Sertleştirilmiş (dövme mamüller)
H1	Yalnız sertleştirilmiş
H2	Sertleştirildikten sonra kısmi tavlanmış
H3	Sertleştirildikten sonra dengeli hale getirilmiş

4.1.3. Isıl işlem uygulanmış alt bölümler

Isıl işlem uygulanabilen alaşım gruplarının ısıl işlem uygulama şekilleri ve ısıl işlem isimleri Tablo 4.3.'te gösterilmektedir.

Tablo 4.3. Isıl işlem grupları [7]

W	Herhangi bir tane iyileştirilmesine işlemi uygulanmadan düzgün olmayan bir ısıl işleme maruz bırakılmış (dövme mamülleri)
T	Düzgün bir ısıl işlem uygulanmış
T2	Tavlanmış(dökme mamülleri)
T3	Isıl işleme tabi tutulduktan sonra soğuk dövme işlemi yapılmış(dövme mamüller)
T4	Isıl işlem uygulanmış (dövme veya dökme ile üretilmiş malzemeler)
T5	Yapay olarak yaşlandırılmış (dövme veya dökme malzemeler)
T6	Isıl işlem uygulandıktan sonra yapay yaşlandırılmış (dövme veya dökme malzemeler)
T7	Isıl işlem uygulanmış sonrasında iç yapısı düzenli hale getirilmiş (dökme malzemeler)
T8	Isıl işlem uygulanmış soğuk dövme ve sonrasında yapay yaşlandırılmış
T9	Isıl işlem uygulanmış ,yapay yaşlandırılmış sonrasında soğuk dövülmüş(dövme malzemeler)
T10	Yapay yaşlandırılmış sonrasında soğuk dövülmüş (dövme malzemeler)

4.2. Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Isıl İşlemler

Alüminyum alaşımlarının ısıl işlemi, müşteri tarafından istenen özelliklerin tasarlanması tüketici ve üretici arasında geniş bir kullanım alanını oluşturmaktadır. Bu kadar geniş bir kullanıma sahip olması alüminyumun bileşimi ve diğer metallerde bulunmayan özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Alüminyum alaşımları ısıl işlem açısından 2 gruba ayrılmaktadır. Oluşturulan grup Tablo 4.4.'te gösterilmektedir.

Tablo 4.4. Isıl işlem uygulanabilen ve ısıl işlem uygulanamayan alaşımlar [7]

Sınıflandırma	Alaşımlar
Isıl işlem uygulanmayan alaşımlar	1xxx,3xxx,4xxx,5xxx ve 8xxx alaşımları
Isıl işlem uygulanabilen alaşımlar	2xxx,6xxx ve 7xxx alaşımları

Isıl işlem alaşım grupları saf alüminyuma, alaşım elementi ilavesi ile elde edilen alaşım grubudur. Bu alaşım elementlerinin bazıları alaşıma istenen özelliklerin oluşmasına katkı sağlarken bazıları istenmeyen bileşiklerin yapı içerisinde oluşumunu sağlamaktadır. Uygulanan ısıl işlem alaşımın mukavemetini arttırmaktadır. Mukavemet artırma işlemi alaşıma uygulanan ısıl işlem alaşım içerisindeki intermetalikler ile sağlanmaktadır. Mekanik özelliklerin artmasında rol oynayan ısıl işlem derecesine bağlı olarak oluşan intermetalikler aşağıda verilmektedir [7].

Alüminyum-magnezyum-silisyum alaşım sisteminde (Mg_2Si)

Alüminyum-magnezyum-çinko alaşım sisteminde ($MgZn_2$)

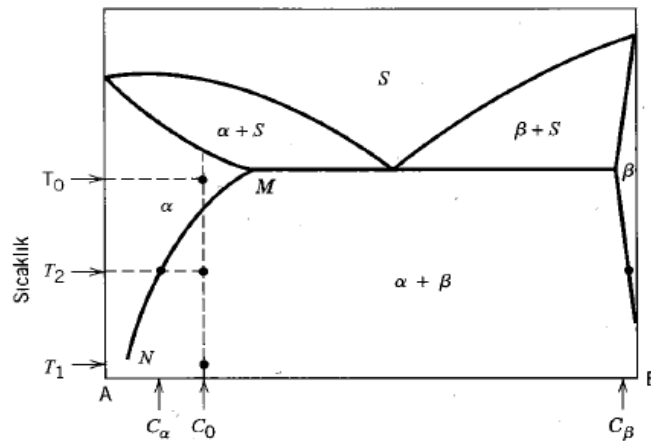
Alüminyum-Bakır alaşım sisteminde (Al_2Cu) bileşiklerinin oluşumu gözlemlenmektedir [24]

4.2.1. Uygulanan ısı işlem aşamaları

Isıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımlarına veya başka alaşım gruplarına ısı işlem belirli aşamalarla gerçekleştirilmektedir. Aşamalar halinde gerçekleşme nedeni uygulanan ısı etki ile alaşımda oluşan çeşitli fazlar ve artan sıcaklık ile birlikte elde edilen fazların oluşumunun artmasıdır. Oluşan fazlar ve faz dağılımlarının düzenlenmesi gerekmektedir. Fazların dağılımı, yapı içerisindeki element ve bileşiklere bağlı olarak değişmektedir. Bu niceliklerin dışında uygulanan sıcaklığa bağlı olarak da fazlar değişim göstermektedir.

Uygulanan sıcaklık solvüs eğrisinin ötektik bölge sıcaklık eğimi ısı işlem sıcaklık belirlenmesi için kritiktir. Belirlenen sıcaklık, sıcaklık difüzyon oranını zamanla etkilemektedir [11]. Kriter alınan bu değişimler aşamalar halinde gerçekleşmektedir. Bu aşamalar çözeltiye alma ve yaşlandırma işlemlerinden oluşmaktadır.

4.2.1.1. Çözeltiye alma

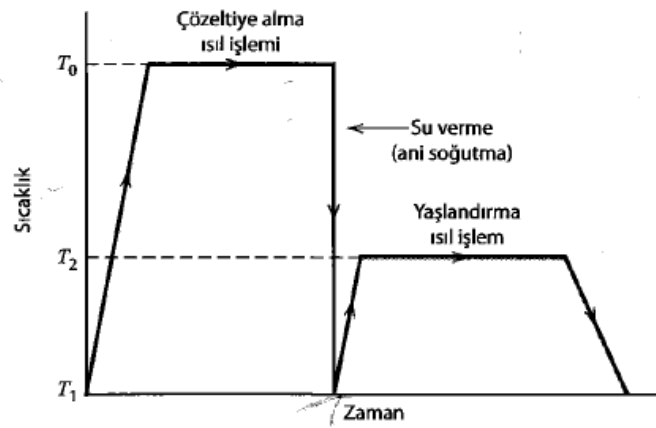


İlk aşama olan çözeltiye alma ısı işlemi C_0 bileşimine sahip bir alaşımı ele alınmaktadır. Bu işlemde, bileşimdeki alaşım β fazını tamamıyla çözdüğü α faz

bölgesinde T_0 gibi bir sıcaklığa ısıtma işlemiyle oluşmaktadır. Isıtılan bu noktada bileşik sadece α fazından oluşmaktadır. Bu ısıtma işleminden sonra β faz oluşumunun yeniden meydana gelmemesi için yüksek bir hızda ve çoğu alaşım için oda sıcaklığında T_1 sıcaklığına birden soğutulmaktadır. Bu işlem ile T_1 sıcaklığında β atomları tarafından aşırı doymuş bir α fazı elde edilmektedir. Aşamalar neticesinde oluşan alaşım yumuşak ve düşük dayanım özelliklerine sahip olmaktadır. Yayınma hızı T_1 sıcaklığında düşük olduğundan alaşım aşırı doymuş bir halde uzun süre kalabilmektedir [25].

4.2.1.2. Yaşlandırma

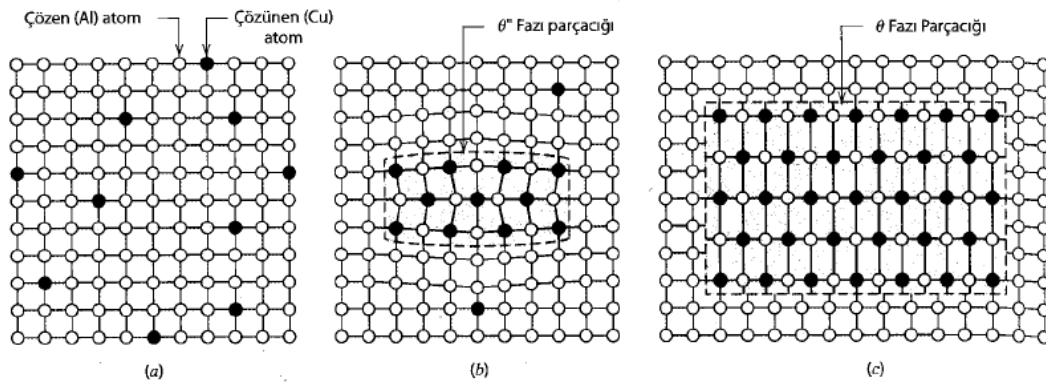
Aşırı doymuş çözelti alaşımın Şekil 4.2.'de görülen $\alpha+\beta$ faz bölgesinden T_2 ile belirtilen yayınma işleminin gerçekleştiği belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılması işlemini içermektedir. Belirtilen T_2 sıcaklığında C_β bileşiği β çökelti fazı ve α aşırı doymuş çözelti içerisinde dağılmış partiküller şeklinde oluşmaya başlamaktadır. Oluşan bu işleme yaşlandırma ısıl işlemi denmektedir. T_2 sıcaklığında belirli bir süre bekletip alaşımı oda sıcaklığında soğutma işlemine tabi tutarsak buna yapay yaşlandırma ismi verilmektedir. T_2 yaşlandırma sıcaklığı kullanılmadan oda sıcaklığında soğutularak yapılan ısıl işleme doğal yaşlandırma denilmektedir [25].



Şekil 4.2. Yaşlandırma ısıl işleminin sıcaklık-zaman şematik gösterimi [25]

Yapılan ısıl işlem aşamaları sonrasında sertlik artışı gözlemlenmektedir. Bu sertlik artışı aşırı doymuş katı çözeltilerden kuvvet artışı sağlamak için yapıda homojen

dağılmış çökeltilerden oluşmaktadır. Yaşlandırma ısı işlemi sonrasında gerçekleşen bu sertlik artışı GP solvüs bölgesinde gerçekleşmektedir. Aşırı doymuş boşluklar bu bölgedeki difüzyona izin vermektedir. Elementlerin çözeltiye geçmesiyle aşırı doymuş katı çözeltilerde çözünen bileşik kümelerini oluşturmaktadır. Oluşan bileşik kümeleri sonrasında geçiş çökeltilerini oluşturan katı çökeltiliyi meydana getirmektedir [24]. Bu işlem aşamalarında çökeltilinin yapısı içerisinde ilk çökmesi ile GP-1 bölge oluşumu gerçekleşmektedir. Çökeltilinin kalın diskler oluşumu ile GP-2 bölgelerine dönüşümü gerçekleşmekte sonrasında bölge dengeli bir θ' yapısına dönüşmektedir. Yapı içerisinde oluşan θ fazı tamamıyla yapı içerisinde çökeltmektedir. Bu dengesiz çökeltiler uyumlu çökeltilerdir. Isıl işlem sırasında bu uyumlu fazların boyutunun büyüdüğü ve alaşım dayanımının zamanla arttığı görülmektedir [25]. Yapı ile uyumlu olsa bile çökelen atom boyutları büyümekte ve buda kafes parametresinin gerilmesi ve nihayetinde sertlik artışına neden olmaktadır. Sertlik artışının oluşum aşamaları ve kafes parametre büyümesi Şekil 4.3.'te gösterilmektedir.



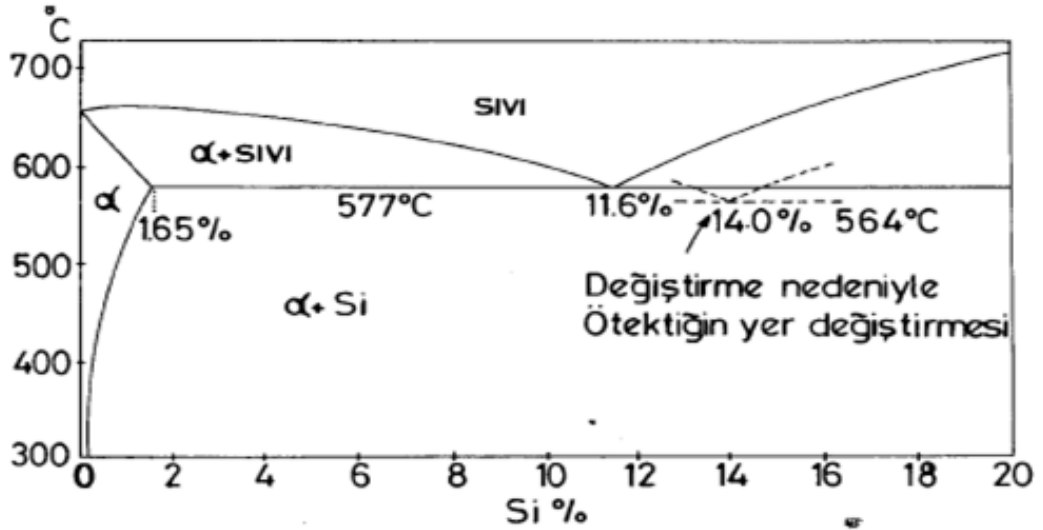
Şekil 4.3. GP faz oluşumunun kararlı faz oluşumunda evreleri a) aşırı doymuş çözelti b) çökelti θ'' faz oluşumu c) çökelen kararlı θ' kararlı faz oluşumu [25]

4.3. Alüminyum Silisyum Alaşımlarının Isıl İşlemi

Isıl işlem uygulanmayan (4xxx) alaşım grubuna ait alüminyum silisyum alaşımının yüksek mekanik özellikleri sayesinde döküm sanayisinde nitelikli özellikler elde edilmektedir. Al-Si alaşımına ısı işlem uygulanamamaktadır. Isıl işlemin gerçekleştirilebilmesi için alaşım içerisine çeşitli alaşım elementleri ilave edilmektedir. Al-Si alaşımına ilave edilen alaşım elementleri genellikle Na, Mg, P

vb. alaşım elementleri olmaktadır. Her alaşım elementi alaşımda farklı değişiklikler sağlamakta ve Al-Si alaşımlarının T serisi ısıl işleminin uygulanmasına yol ağmaktadır. İlave edilen elementlerle alaşıma kazandırdığı özellikleri kullanmak ve geniş bir kullanım alanı sağlamak için ısıl işlem uygulanmaktadır. Bu alaşım grubu genellikle %9 ile %13 arasında silisyum içeren alaşım grupları olup bazılarında az miktarda bakır ilave edilmektedir. Yapıya ilave edilen bu elementin dışında magnezyum, sodyum, fosfor vb. elementler ilavesi geręekleřtirilmektedir. İlave edilen bu elementler mikro yapı içerisinde magnezyum Mg_2Si , bakır Al_2Cu gibi bileşiklerin oluşmasını sağlayarak alaşımın yuıksek mekanik özelliklere sahip olmasını sağlamaktadır.

Döküm alaşımına az miktarda (yaklaşık %0.01) sodyum ilavesinden oluşmaktadır. Bu element ilavesi ötektik sıcaklığındaki silisyumun çökelti oluşturmasını geciktirmektedir. Bunun dışında denge diyagramını sağa kaymasını sağlamaktadır. Diyagramda oluşan değişim Şekil 4.4.'te gosterilmektedir.

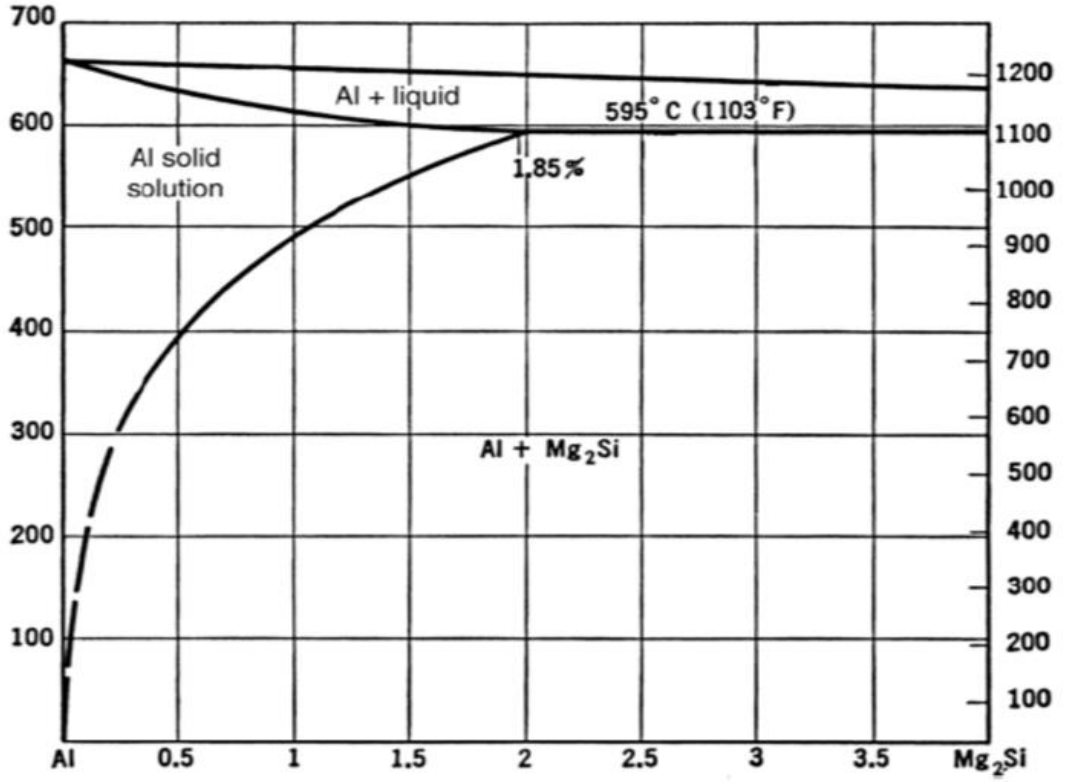


Şekil 4.4. Na ilavesi ile değişen Al-Si denge diyagramı [7]

Ötektik yapının değişmesi yapı içerisine ilave edilen Na miktarına bağlı olmaktadır. Bu ilave miktarına Na miktarına bağlı olarak Si elementince daha zengin bir bülgenin oluşumu sağlamaktadır. Bunun yanında sodyum ilavesi, ötektik bülge

sıcaklığını 30°C azalttığı görülmektedir. Anlatılan bu oluşumun dışında Al-Si alaşımında sodyum ve potasyum tuz ilavesi (%1-2) kalın parçalı malzeme üretiminde yavaş soğumayı sağlayarak ince taneli bir mikro yapının oluşmasını sağlamaktadır. Sodyum tuzu alkali metalde reaksiyon oluşumuna neden olduğundan florür bileşiği yerine sodyum (%0,01) ilave edilmektedir [7, 26].

Magnezyum ilavesi Al-Si alaşımlarında tane yapısı ve alaşımın ısıl işlem oluşumunda etkisi yüksek olmaktadır. Magnezyum ilavesi yapıda oluşan kaba tanelerinin, AlFeSi ve AlFeMnSi intermetaliklerinin parçalanmasını sağlayarak daha yüksek mekanik özelliklerin elde edilmesine neden olmaktadır. Bu oluşumun yanında yapı içerisinde Mg_2Si intermetalik oluşumunu sağlayarak intermetaliklerin mukavemet artışına neden olmaktadır. Aşağıda Şekil 4.5.'de Al- Mg_2Si denge diyagramında da görüldüğü gibi Al içerisinde Mg_2Si intermetalığının 595°'de 1,85 olduğu görülmektedir. Ötektik öncesi yapısında sıvı primer Al fazı (α -Al) yapı içerisinde bulunurken Mg_2Si alaşım içerisinde artmasına bağlı olarak sıvı fazın azaldığı görülmektedir. %13,9 Mg_2Si fazla olduğu zaman hakim olan fazın Mg_2Si olduğu anlaşılmaktadır [3].



Şekil 4.5. Al-Mg₂Si denge diyagramı [3]

Bahsedilen elementlerin dışında alaşıma fosfor ilavesi çoğunlukla ötektik sonrası alaşımlarda kullanılmaktadır. Alaşım içerisine ilave edilen fosfor ile büyük ve sert yapıya sahip intermetaliklerin parçalanması sağlanarak mikro yapıda ve mekanik özelliklerde iyileşmenin gerçekleşmesi sağlanmaktadır.

BÖLÜM 5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. Kullanılan Hammaddeler

Deneysel çalışmada ötektik öncesi AlSi10MnMg alaşımına iki farklı işlem yapılmıştır. İlk yapılan işlem grubunda Bor ilavesi yaparak kokil döküm işlemi uygulanmış ve sonrasında T6 ısıl işlemi uygulanmıştır. İkinci alaşım grubunda enjeksiyonlu döküm yöntemiyle Kalkancı Pres Döküm A.Ş.'de üretilen alaşımlara T5 ısıl işlemi yapılmıştır. Alaşımların kimyasal bileşimleri Şekil 5.1.'de gösterilmektedir.

Tablo 5.1. Deneysel çalışmada kullanılan alaşımların kimyasal analizleri

Alaşım ve Uygulanılan Isıl İşlem	%	Al	Si	Mn	Mg	B	Fe	Diğer
A-T6	AlSi10MnMg-A	88,2	10	0,58	0,39	0	0,09	0,74
B1-T6	AlSi10MnMg-B1	88,9	10	0,53	0,52	0,07	0,09	0,11
B2-T6	AlSi10MnMg-B2	88	10	0,58	0,60	0,145	0,13	0,54
B3-T6	AlSi10MnMg-B3	88,5	10	0,48	0,39	0,22	0,10	0,30
C1-T5	AlSi10MnMg-C1	88,3	10	0,69	0,20	0,0016	0,19	0,62
C2-T5	AlSi10MnMg-C2	87,6	10	0,63	0,43	0,0016	0,14	1,19

5.2. Deneysel Çalışma

Deneysel çalışmalarda ötektik altı AlSi10MnMg alaşımına iki farklı grup şeklinde işlem uygulanmıştır. Birinci işlemde AlSi10MnMg alaşımına değişik oranlarda Bor ilave edilerek T6 ısıl işlemi sonucu mikro yapı ve mekanik özelliklerdeki değişim

incelenmiştir. İkinci işlemde Kalkancı Pres Döküm A.Ş.'de üretilen AlSi10MnMg alaşımına T5 ısıtma işlemi uygulandıktan sonra mikro yapı ve mekanik özellik değişimleri incelenmiş ve sonrasında bu iki grup arasında karşılaştırma yapılmıştır. Her bir grup için AlSi10MnMg alaşımından 2 kg olacak şekilde Bor ilavesi yaparak kokil döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Alaşımların döküm işlemi, Naberthern marka döküm fırınında grafit pota içerisinde, sıvı metal sıcaklığı 700°C ve kokil kalıp sıcaklığı 180 C° olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Döküm işleminin ardından üretilen alaşımlara spektral analiz yapılmıştır. Elde edilen 4 alaşım grubunun mikro yapı, sertlik, çekme deneyi için numuneler üretilmiştir. Döküm sonrası gerçekleştirilecek T6 ısıtma işleminde çözeltiye alma işlemi Naberthern marka fırında 490°C'de 3 saat, ardından yapay yaşlandırma işlemi 160°C'de 1 saat, 3 saat, 5 saat ve 8 saat olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

İkinci grupta AlSi10MnMg alaşım grubu enjeksiyon döküm yöntemiyle Şekil 5.1'deki olacak şekilde numuneler elde edilmiştir. Elde edilen alaşımlar döküm işleminden hemen sonra su verme (T5 ısıtma işlemi) işlemi gerçekleştirilmiş sonrasında Naberthern marka fırında numunelere 160°C'de 1 saat, 3 saat, 5 saat ve 8 saat bekletme işlemi ile yapay yaşlandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Numunelerin spektral analizi incelenmiştir. Isıl işlem sonucu elde edilen numunelere mikro yapı incelemesi, sertlik ve çekme deneyi yapılmıştır.

5.3. Metalografik İnceleme

Bor ilavesi ile kokil dökümle üretilen ve sonrasında T6 ısıtma işlemi uygulanan alaşımlardan ve enjeksiyonlu döküm yöntemiyle üretilmiş sonrasında T5 ısıtma işlemi uygulanmış alaşımlardan uygun numuneler RD Grinder-Polisher marka cihazda kesilmiştir. Her bir grup için ısıtma işlemi öncesinde ve ısıtma işlemi sonrasında numune kesim işlemi gerçekleştirilmiştir. Kesilen numuneler Buehler Metaserv marka cihazda bakelite alma işlemine tabi tutulmuştur. Numuneler bakelite alındıktan sonra sırasıyla 400-600-800 ve 1200'lük zımparalarla sırasıyla zımparalanmıştır. Zımparalama işlemi bittikten sonra numune çuha üzerinde %3'lük alümina çözeltisi yardımıyla parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Parlatma işlemi bittikten sonra

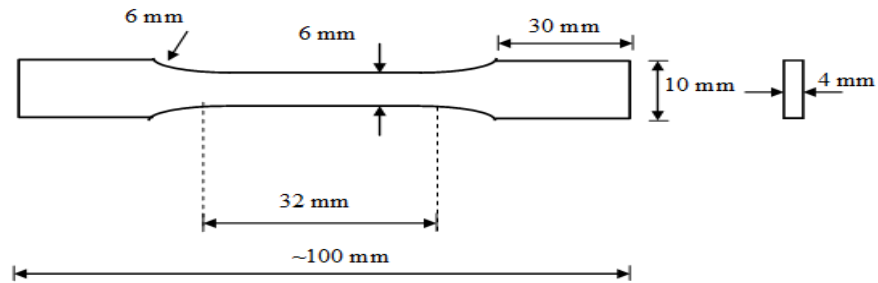
dağlama işlemi Keller çözeltisi (2ml HF + 3ml HCl + 5ml HNO₃ + 190ml Su) yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Numune hazırlama işlemi bittikten sonra Nikon Eclipse L150 cihazında optik mikroskop incelemeleri yapılmıştır. Alaşımın iç yapısına ve elementlerin dağılımına bakmak için Gresham Sirius marka SEM cihazı yardımı ile tane sınırı ve tane yapısı görüntüleri elde edilmiştir.

5.4. Sertlik Deney

Elde edilen ısıtılmış ve ısıtılmamış alaşım gruplarından uygun numuneler RD Grinder-Polisher marka cihazda kesilmiştir. Elde edilen kesme işlemi sonrası numunelere 2,5 mm bilya uç yardımıyla 62,5 kg yük uygulayarak sertlik alma işlemi Bulut Makine Brinell Sertlik Cihazı ile değerler ölçülmüştür. Sertlik alma işlemi her bir numune için beş ölçüm alınarak gerçekleştirilmiştir.

5.5. Çekme Deney

Kokil döküm yöntemiyle numune elde etmek için işlenmiştir. Elde edilen alaşım grupları Şekil 5.1.'de gösterilen ölçülere göre tornalama ve frezeleme işlemi gerçekleştirilerek numuneler elde edilmiştir. İkinci grup olan enjeksiyonlu döküm işleminde numuneler Şekil 5.1'deki ölçülerde hazırlanan kalıba döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen çekme numuneleri ASTM'ye uygun olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler Kalkancı Pres Döküm A.Ş.'de çekme testine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar sonrasında incelenerek karşılaştırılma yapılmıştır.



Şekil 5.1. Çekme deney numunesi

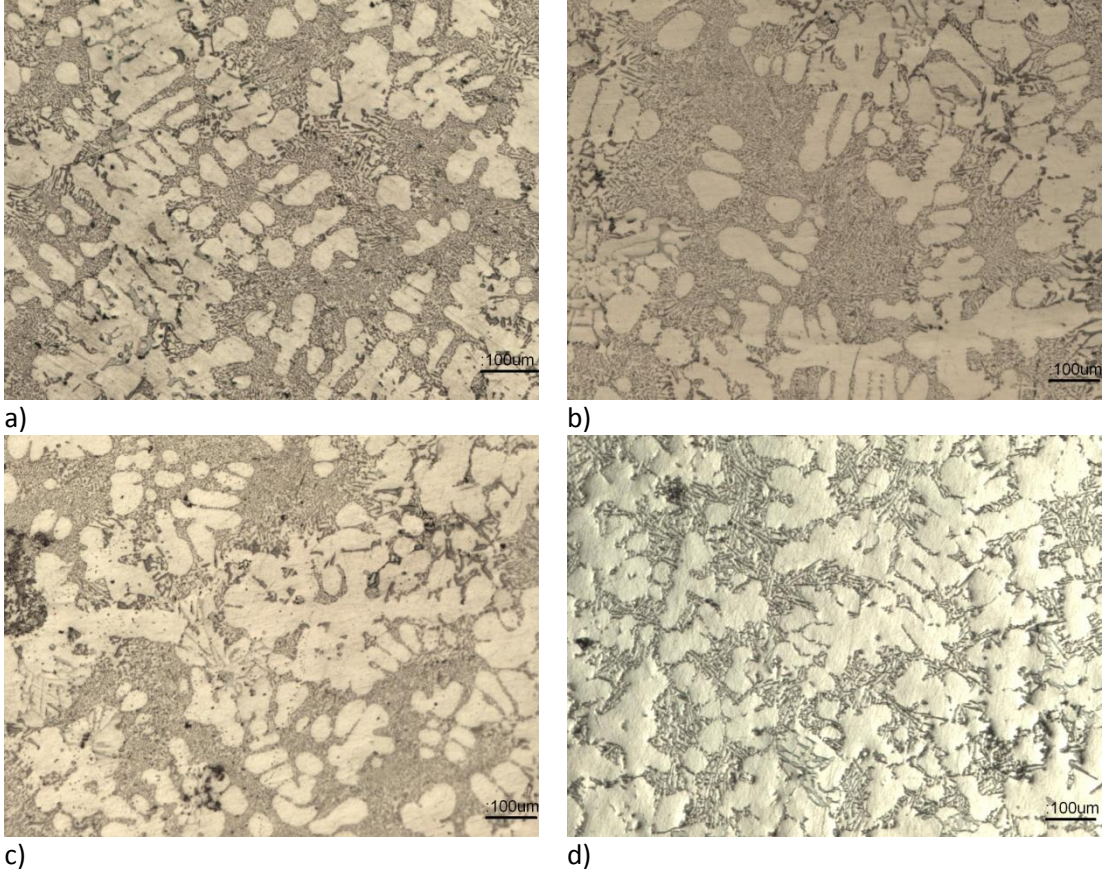
BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1. Mikro yapı Sonuçlarının İrdelenmesi

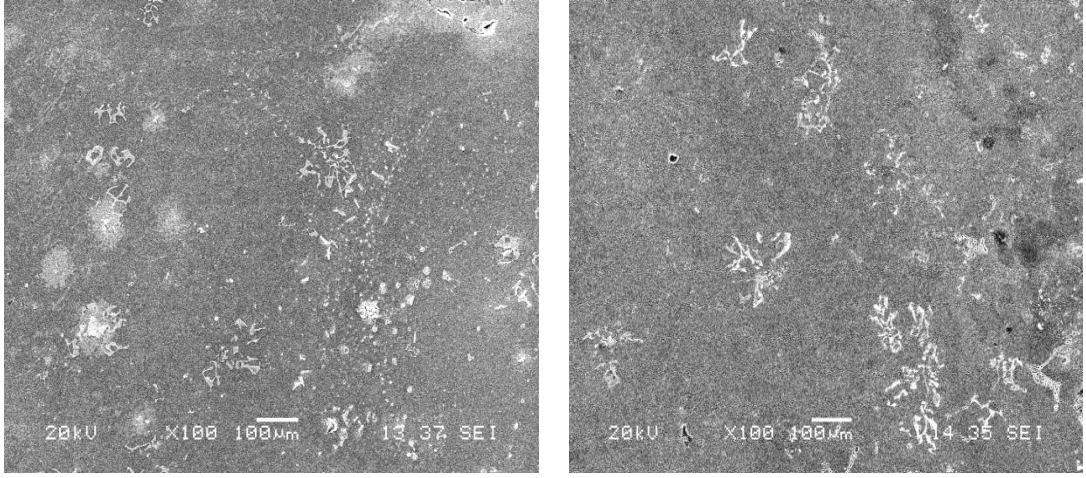
6.1.1. Isıl işlemsiz mikro yapı sonuçları

Deneysel çalışmada kokil döküm ve enjeksiyonlu döküm yöntemiyle üretilen alaşımlar sonrasında ısıl işlem uygulanmıştır. Elde edilen alaşım gruplarının mikro yapı özellikleri incelenmiştir.

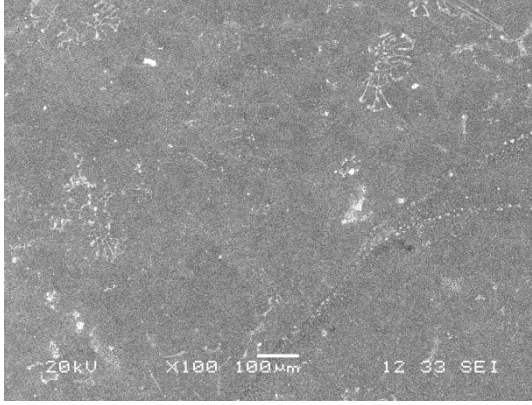
Şekil 6.1.'de çalışmada kullanılan AlSi10MnMg alaşımının Bor (B) ilaveli ve ilavesiz döküm hallerinin optik mikro yapıları gösterilmektedir. Şekil 6.1. (a)'dan alaşımın mikro yapısının α -Al dendritlerinden ve ötektik bölgeden oluştuğu anlaşılmaktadır. Ötektik bölgenin de α -Al'la birlikte Si kristalleri, Mg_2Si , AlFeSi ve $Al_{15}(Fe, Mn)_3Si$ intermetaliklerini içerdiği görülmektedir. Bununla birlikte Şekil 6.1. (b-d)'de AlSi10MnMg alaşımına üç değişik oranda B ilavesi ile yapılan dökümler sonrası elde edilen alaşımların mikro yapı görüntüleri verilmektedir. Bor ilavesinin 0.14 olduğu (B2 Alaşım) orana kadar (Şekil 6.1. (c)) ötektik yapının döküm hali yapısındaki ötektik yapısına göre ince dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. α -Al ve ötektik yapının B3 Alaşımı 0.22 B içeren (Şekil 6.1. (d)) B oranının artırılması sonucu kaba-iri yapıya dönüştüğü görülmektedir. Şekil 6.2.'de alaşım gruplarının SEM görüntüleri verilmektedir. Şekil 6.3.'de mevcut elementlerin dağılımını gösteren alan tarama analiz sonuçları gösterilmektedir. Alan tarama sonuçlarında görüldüğü gibi Al matrisi içerisinde Mg ve Si elementi döküm halinde homojen olarak dağılmış olarak bulunduğu görülmektedir. Mg elementi dışında yapı içerisinde Mn ve Fe element dağılımının olduğu fark edilmektedir.



Şekil 6.1. Isıl işlem uygulanmış alaşımların mikroyapı görüntüleri a) alaşım A b) alaşım B1 c) alaşım B2 d) alaşım B3

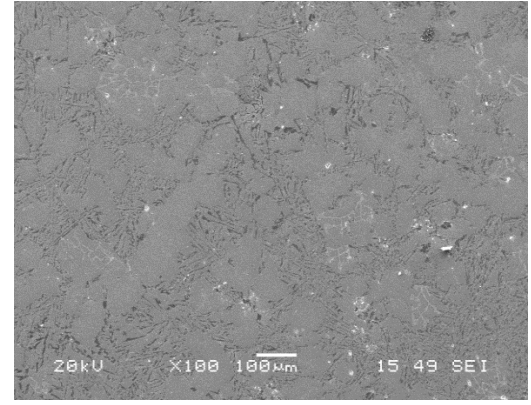


a)



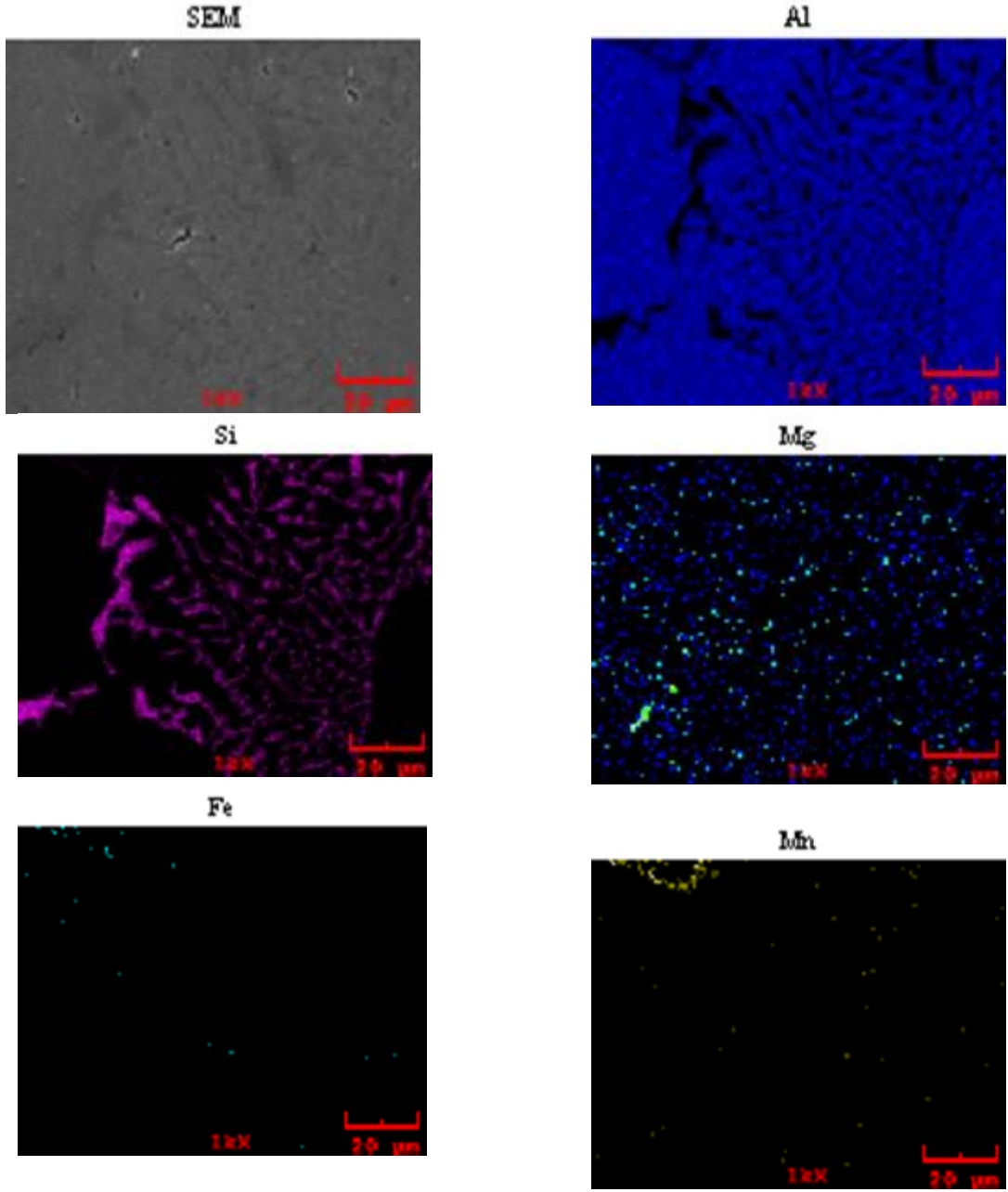
c)

b)



d)

Şekil 6.2. Isıl işlemsiz alaşımların SEM görüntüleri a) alaşım A b) alaşım B1c) alaşım B2 d)alaşım B3



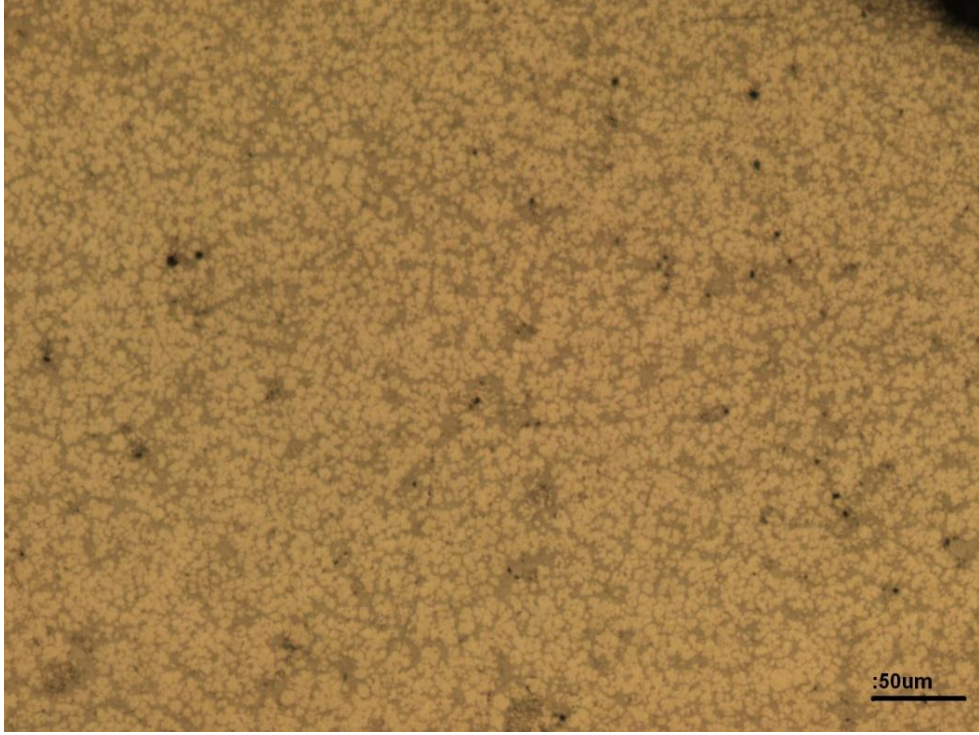
Şekil 6.3. Isıl işlem uygulanmamış alaşım A map görüntüsü

Şekil 6.4. ve Şekil 6.5.'te AlSi10MnMg alaşımının enjeksiyon döküm yöntemiyle üretilen alaşımların optik mikro yapı görüntüleri verilmektedir. Enjeksiyon döküm yöntemiyle elde edilen C1 ve C2 alaşım mikro yapıları (Şekil 6.4. ve Şekil 6.5.) α -Al dendritlerinden ve ötektik bölgeden oluşmaktadır. Ötektik bölgenin de α -Al'la birlikte primer Si kristalleri, Mg_2Si , $AlFeSi$ ve $Al_{15}(Fe,Mn)_3Si$ intermetaliklerini içerdiği görülmektedir. Şekil 6.6. ve Şekil 6.7.'de elementlerin alaşım içerisinde dağılımını gösteren alan taraması bulunmaktadır.

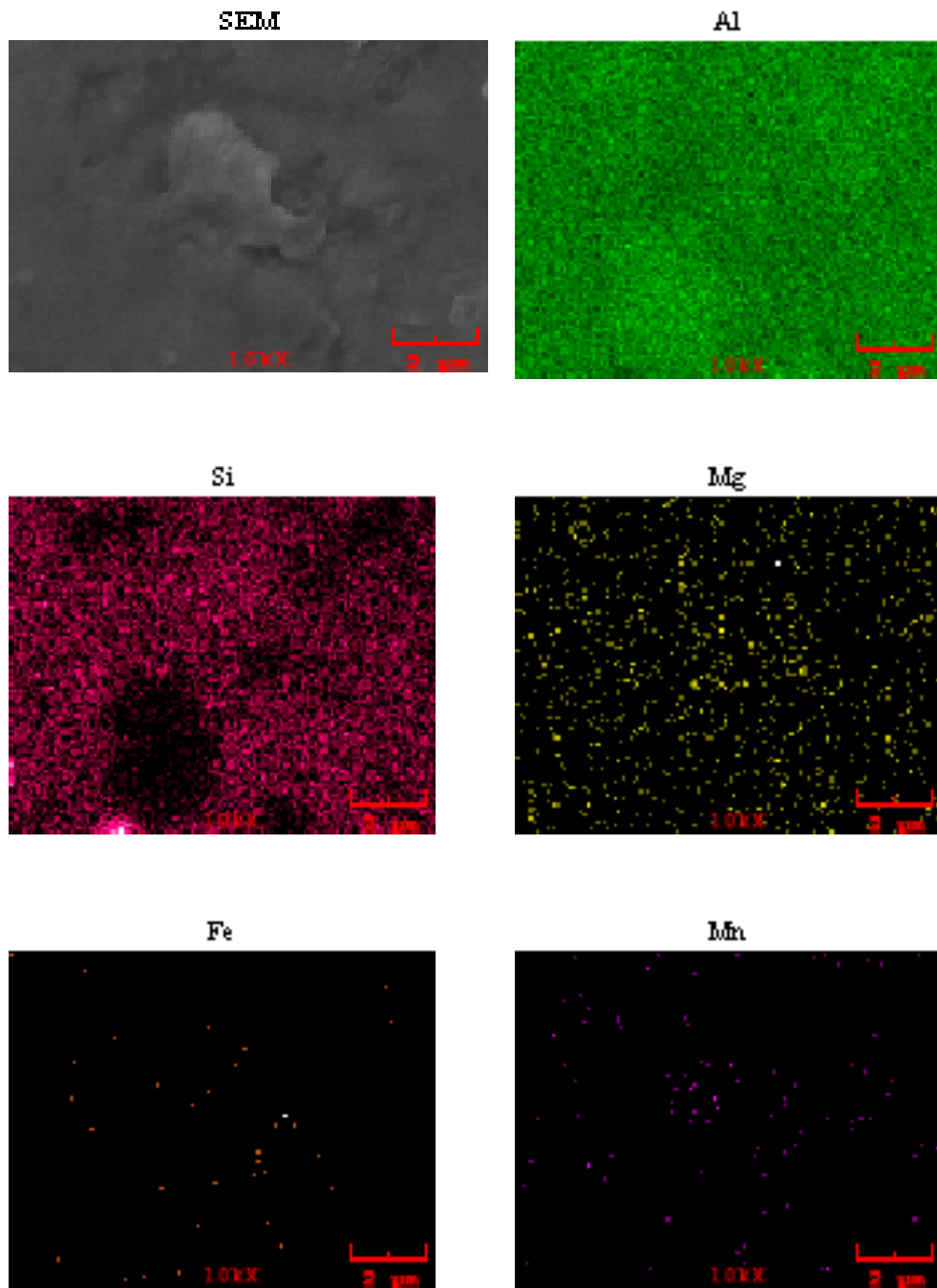
Şekil 6.5.'te ısıtılmış işlemlenmiş C2 alaşımı (0,43 Mg) optik mikro yapı görüntüsü bulunmaktadır. Optik mikro yapı görüntüsüne baktığımız zaman ilave edilen magnezyum (Mg) ilavesinin artışına bağlı olarak C1 alaşımı (0,2 Mg)'e göre (Şekil 6.4.) tane boyutunun küçüldüğü ve dentrit kolları arası mesafenin arttığı görülmektedir. Aynı zamanda AlSi10MnMg alaşımı içerisine ilave edilen Mg mikro yapı içerisinde görülen AlFeSi ve $Al_3(Fe,Mn)_3Si$ gibi sert ve alaşım özelliklerini olumsuz etkileyen intermetaliklerin parçalandığı görülmektedir. Bu mikro yapısal değişimlerin yanında optik mikro yapı içerisinde döküm yönteminden kaynaklı olarak enjeksiyon döküm yönteminde kabul edilebilir ölçüde, siyah noktalar şeklinde görülen döküm boşlukları fak edilmektedir. Şekil 6.6. ve Şekil 6.7.'ye baktığımızda magnezyum ve silisyumun alaşım içerisinde homojen olarak dağıldığı fark edilmektedir. Mg elementinin dışında yapı içerisinde Mn ve Fe elementinin var olduğu görülmektedir.



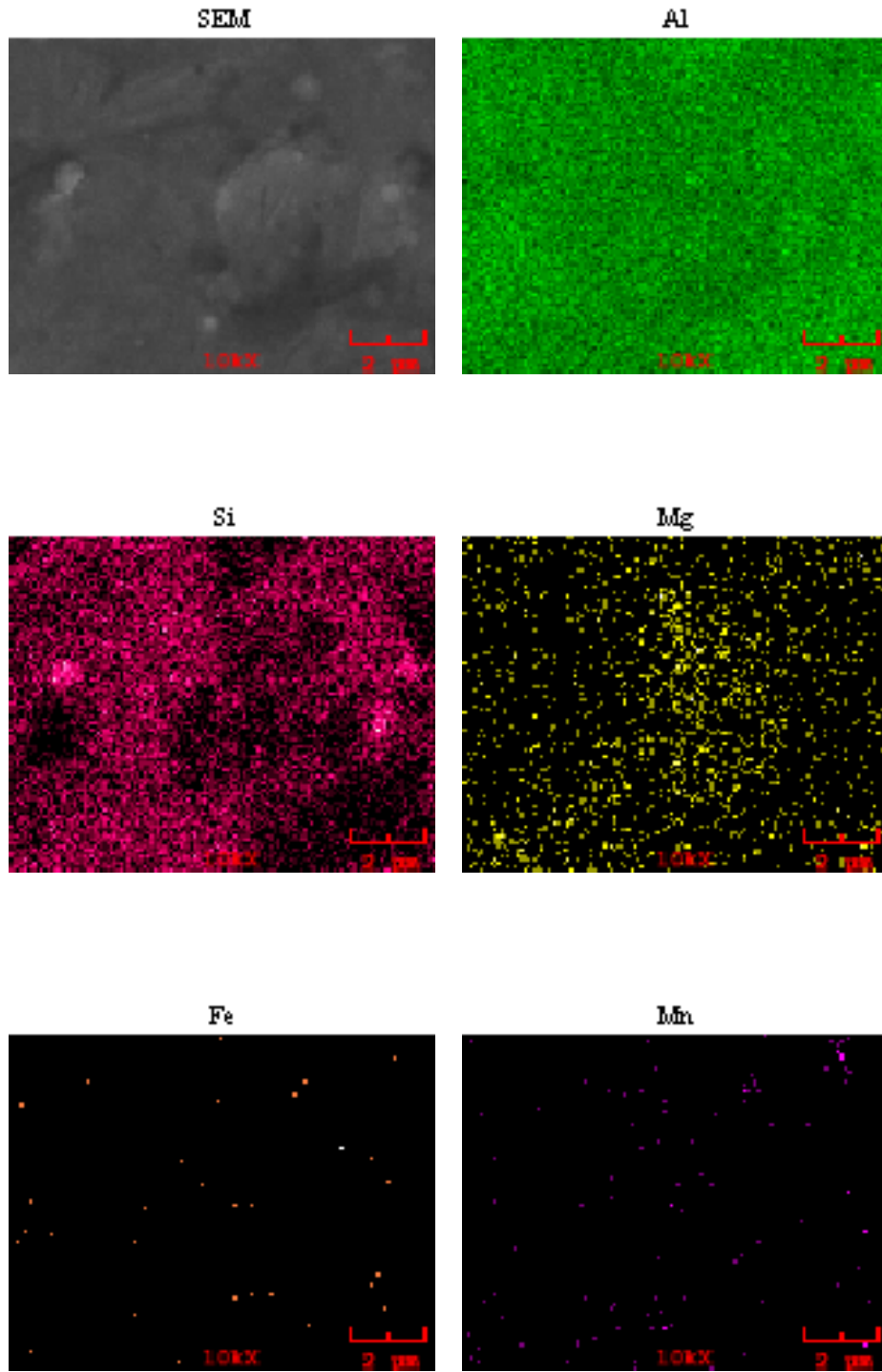
Şekil 6.4. Enjeksiyon döküm yöntemiyle üretilmiş ısıtılmış işlemlenmiş C1 alaşımı



Şekil 6.5. Enjeksiyon döküm yöntemiyle üretilmiş ısıt işlemsiz C2 alaşımı



Şekil 6.6. Isıl işlemsiz C1 alaşımı map görüntüsü

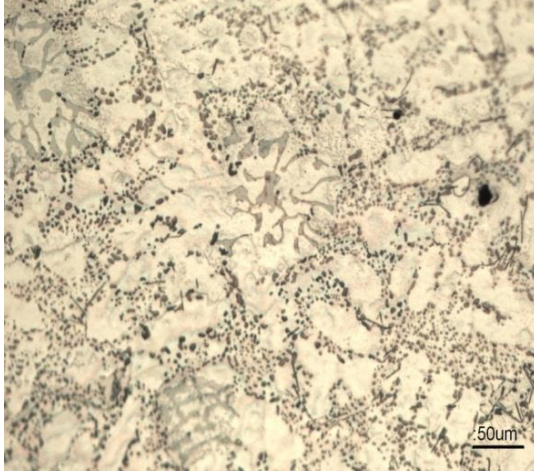


Şekil 6.7. Isıl işlemsiz C2 alaşımı map görüntüsü

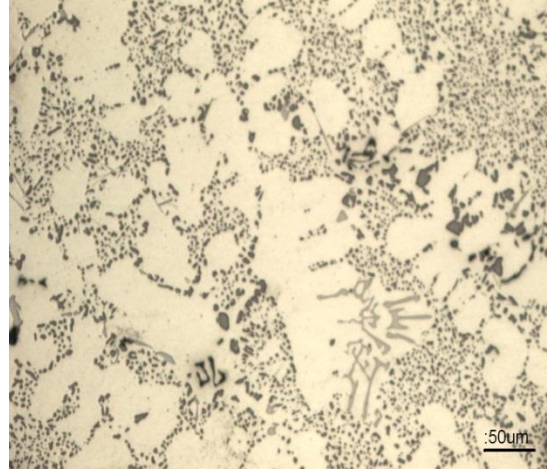
6.1.2. Isıl işlemlili alaşımların mikro yapı sonuçları

Bor ilavesi ve kokil döküm yöntemiyle üretilen alaşımlara T6 ısıl işlemlili uygulanmıştır. Uygulanan ısıl işlemlide yapay yaşlandırma 160°'de 1saat, 3 saat, 5 saat ve 8 saat yaşlandırma sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen alaşım gruplarında 5 saat yapay yaşlandırma sonucunda mekanik özelliklerin (sertlik, mukavemet, deformasyon kabiliyeti vb.) değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Beş saat yapay yaşlandırma altındaki sürelerde mikro yapının etkilenmediği ve sekiz saat yapay yaşlandırma sonucunda mikro yapı içerisinde kabalaşma gözlemlendiğinden beş saat ve sekiz saat yapay yaşlandırma görüntüleri verilmiştir.

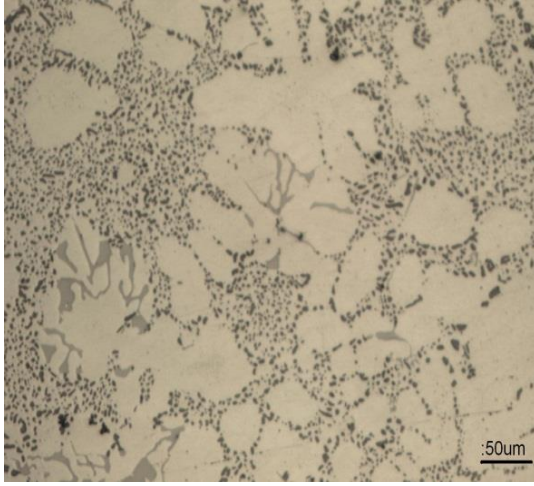
Şekil 6.8.'de B ilaveli ve ilavesiz alaşımların T6 ısıl işlemlili 5 saat yapay yaşlandırma sonrası optik mikro yapı görüntüleri görülmektedir. Şekil 6.8. (a)'da B ilavesiz alaşımın mikro yapısının α -Al dendritlerinden ve ötektik bölgeden oluştuğu anlaşılmaktadır. Ötektik bölgenin de α -Al'la birlikte Si kristalleri, Mg₂Si, AlFeSi ve Al₁₅(Fe, Mn)₃Si intermetaliklerini içerdiği görülmektedir. Isıl işlemlili uygulanmayan B ilavesiz yapının (Şekil 6.8. (a)) fiber yapıdan oluştuğu gözlemlenirken 5 saat yapay yaşlandırma neticesinde (Şekil 6.8. (a)) dendrit yapıların küçülmesi ve intermetaliklerde şekil değişimi görülmüştür. Ayrıca, B ilavesi ve ısıl işlemlili sonrası, ötektik bölgenin özellikle 0.14 B içeren B2 alaşımda daha ince ve düzgün morfolojide oluştuğu anlaşılmaktadır. Alaşımlara uygulanan ısıl işlemlili şartlarının alaşımın ötektik bölgenin ve intermetaliklerin yapısına etki ettiği görülmektedir. Mikro yapı içerisinde Al₁₅(Fe, Mn)₃Si ve AlFeSi, Mg₂Si intermetaliklerinin ısıl işlemlili sonucunda mikro yapı içerisinde çözünmeden kaldığı belirtilmektedir.[25]. Şekil 6.9'da bileşiklerin SEM görüntüsüne baktığımızda bileşiklerin alaşım içerisinde çözünmeden yapı içerisinde çözünmeden kaldığı görülmektedir. Şekil 6.10'da Alaşım A'nın alan tarama analiz sonuçlarına baktığımızda elementlerin alaşım içerisinde Mg ve Si alaşım içerisinde homojen dağıldığı ve bazı bölgelerde Mn ve Fe elementinin bulunduğu görülmektedir.



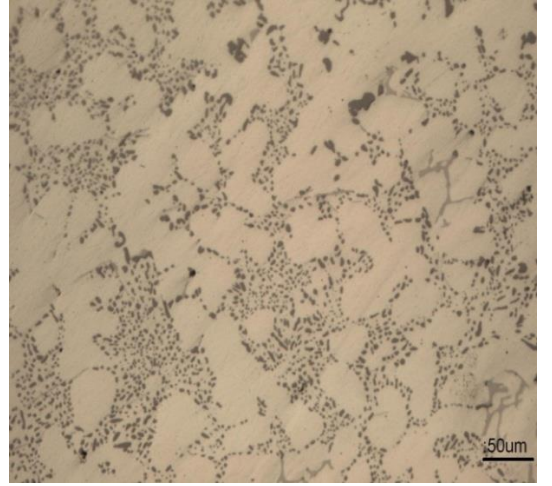
a)



b)

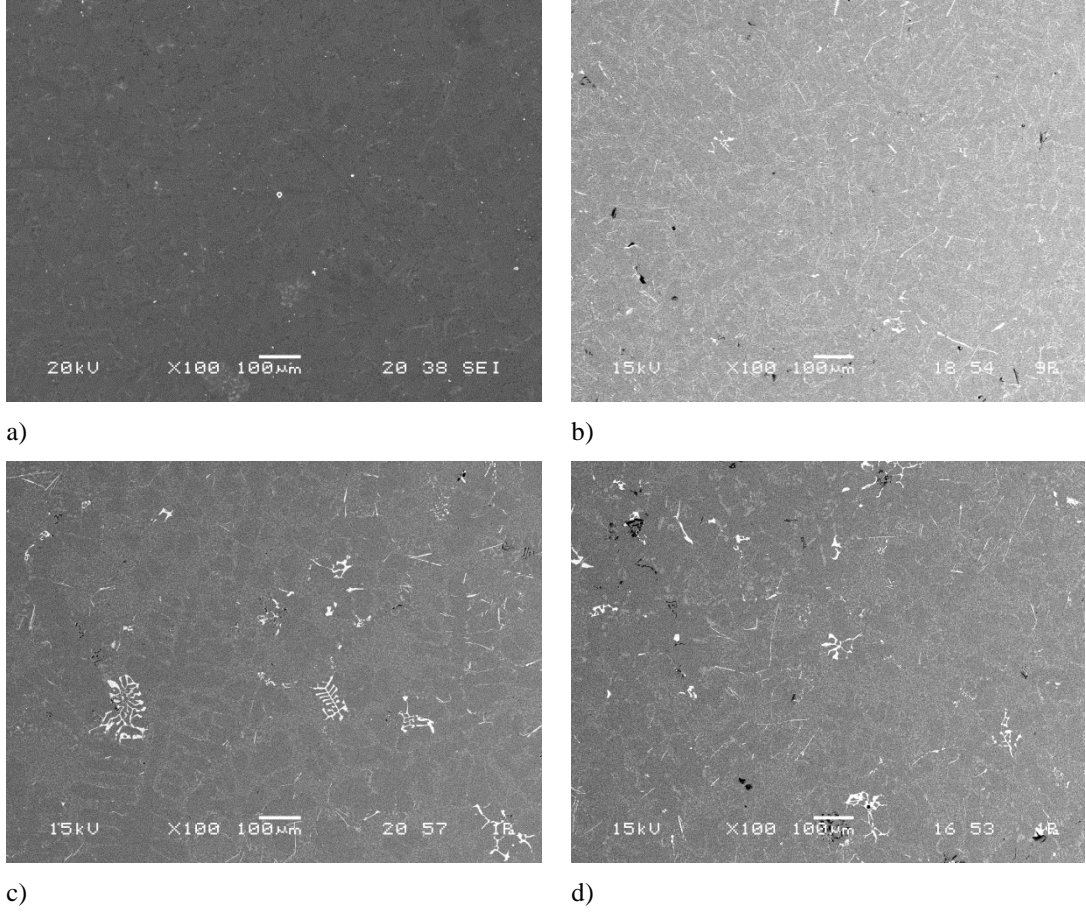


c)

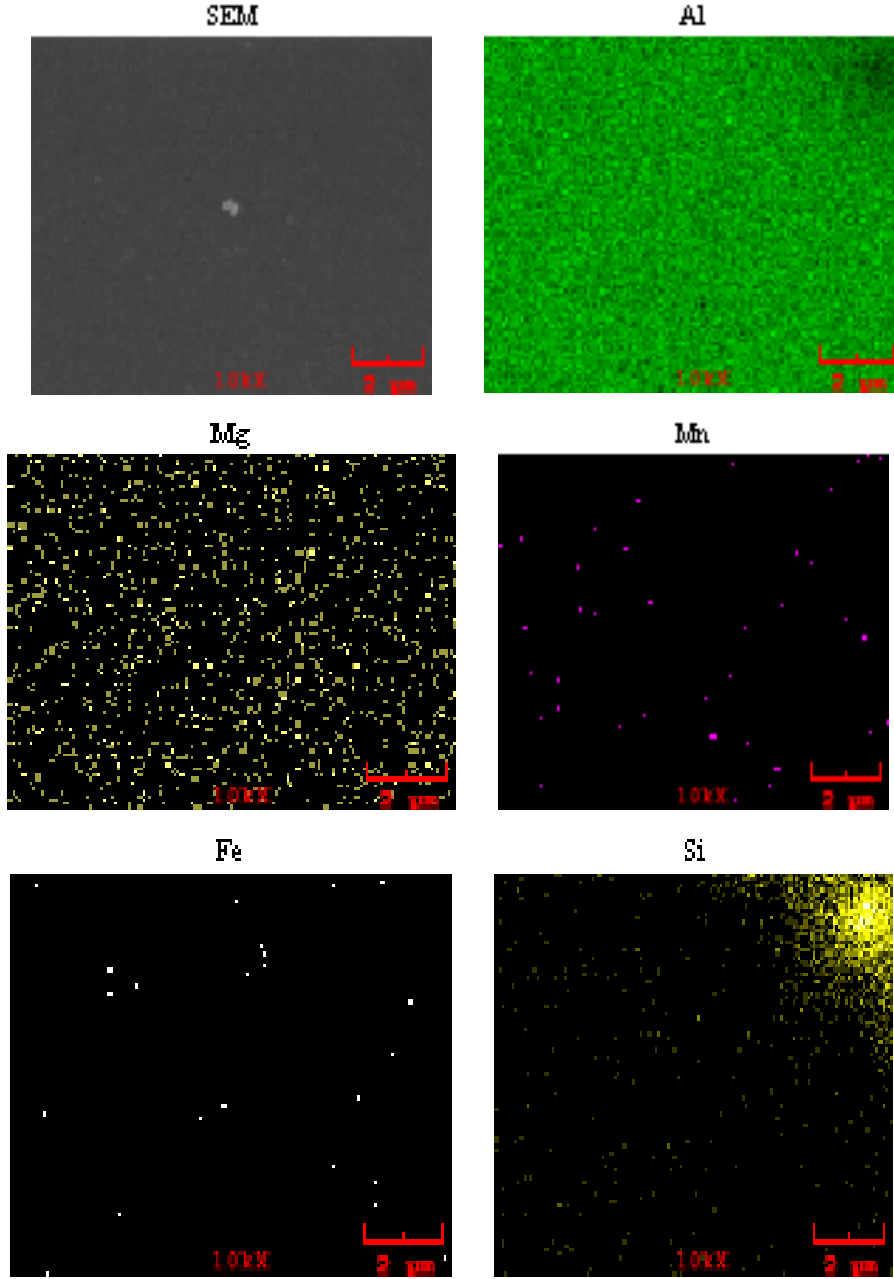


d)

Şekil 6.8. T6 ısıt işlemleri uygulanıp 5 saat yapay yaşlandırma işlemi yapılmış numunelerin mikroyapı görüntüleri
a) alaşım A b) alaşım B1 c) alaşım B2 d) alaşım B3

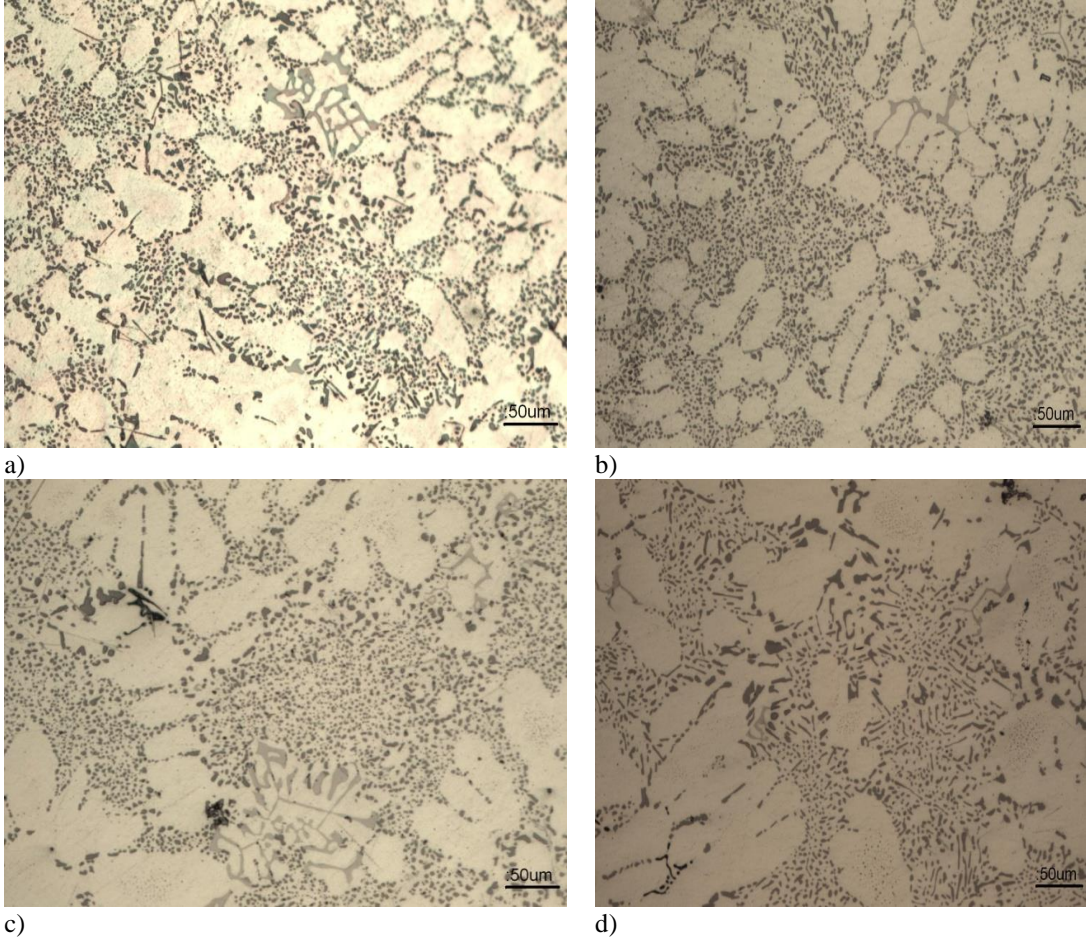


Şekil 6.9. T6 ısıt işleme 5 saat yapay yaşlandırılmış alaşımların SEM görüntüleri a) alaşım A b) alaşım B1 c) alaşım B2 d) alaşım B3



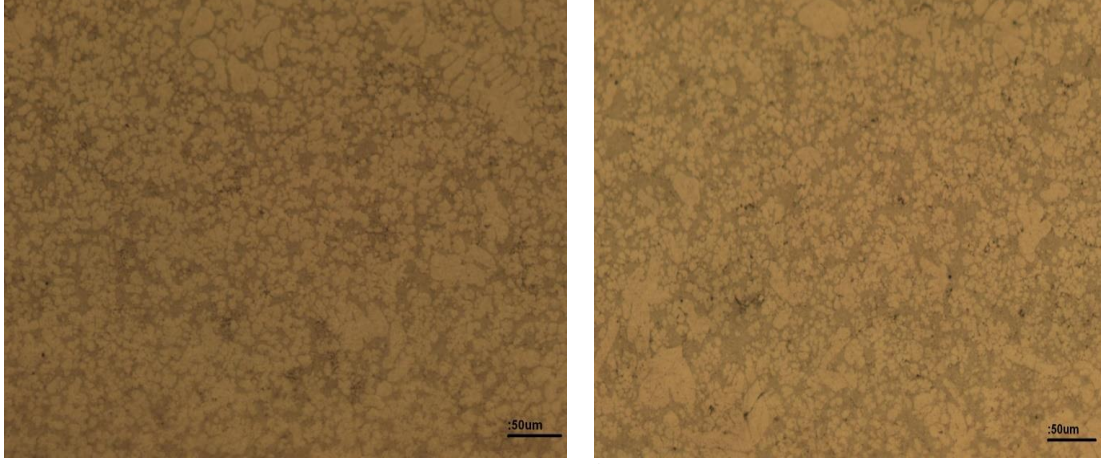
Şekil 6.10. Alaşım A T6 ısıt işlemleri 5saat yapay yaşlandırma sonucu map görüntüsü

Şekil 6.11.'de B ilaveli ve B ilavesiz alaşımların T6 ısıt işlemleri 8 saat yapay yaşlandırma sonucu elde edilen mikro yapı görüntüleri görülmektedir. Mikro yapıda değişmeden kalan $AlFeSi$, $Al_{15}(Fe, Mn)_3Si$ ve Mg_2Si intermetaliklerin yapı içerisinde değişmeden kaldığı görülmektedir. 5 saatlik ısıt işleme göre kıyaslama yapıldığında 8 saat yapay yaşlandırma sonucunda (Şekil 6.8.) intermetaliklerin boyutunun arttığı ve dentritlerin ve Si kristallerinin kabalaştığı anlaşılmaktadır.



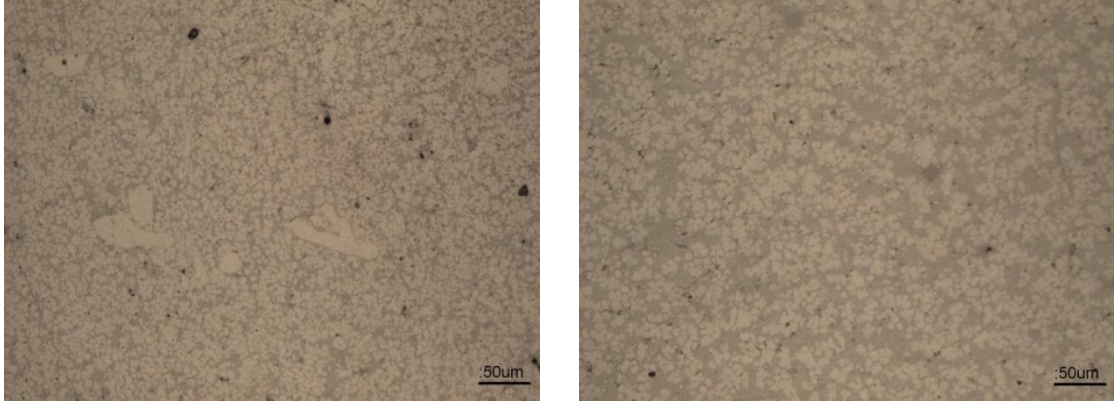
Şekil 6.11. Alaşımın T6 ısıtma işlemi 8 saat yapay yaşlandırma sonrası mikroyapı görüntüleri a) alaşım A b) alaşım B1 c) alaşım B2 d) alaşım B3

Şekil 6.12.'de C1 ve C2 alaşımının T5 ısıtma işlemi 1 saat yapay yaşlandırma sonucu elde edilen optik mikro yapı görüntüleri görülmektedir. Mikro yapının her iki alaşımında α -Al dendritlerinden ve ötektik bölgeden oluştuğu anlaşılmaktadır. Ötektik bölgenin de α -Al'la birlikte Si kristalleri, Mg_2Si , $AlFeSi$ ve $Al_{15}(Fe, Mn)_3Si$ intermetaliklerini içerdiği görülmektedir. Mikro yapı sonuçlarına baktığımızda C1 ve C2 alaşımının döküm mikro yapısı esas alınarak kıyaslama yapıldığında sahip oldukları dendritler ve ötektik yapının kabalaştığı tespit edilmektedir. Bu mikro yapısal değişimin yanında optik mikro yapı içerisinde döküm yönteminden enjeksiyon döküm yönteminden kaynaklanan kabul edilebilir ölçüde, siyah noktalar şeklinde görülen döküm boşlukları fak edilmektedir.



a) b)
Şekil 6.12. Alaşımın T5 ısıtılması 1 saat yapay yaşlandırma sonrası mikroyapı görüntüleri a) alaşım C1 b) alaşım C2

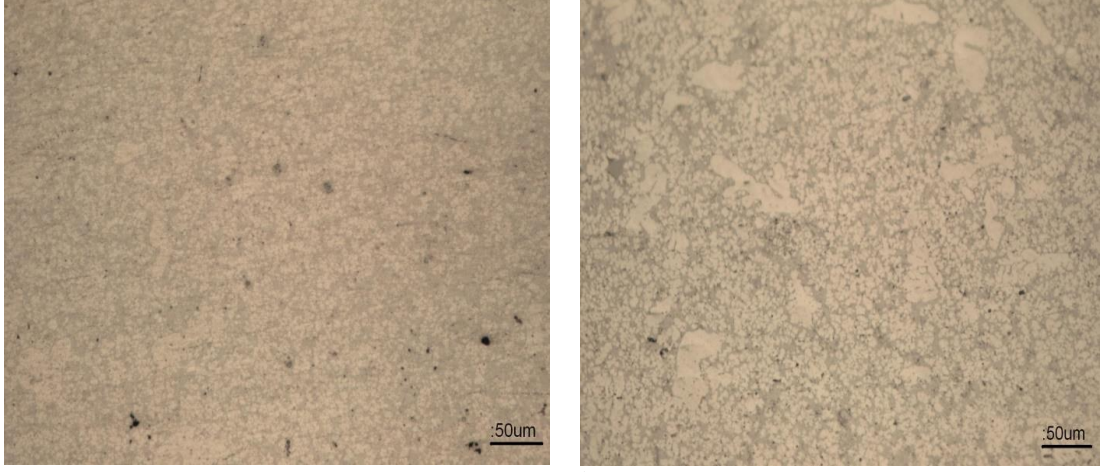
Şekil 6.13.'de alaşımın T5 ısıtılması 3 saat yapay yaşlandırma sonucu elde edilmiş mikro yapı görüntüleri görülmektedir. Mikro yapının α -Al dendritlerinden ve ötektik yapıdan oluştuğu anlaşılmaktadır. Ötektik yapı Si kristalleri, AlFeMnSi intermetalikleri ve Mg_2Si bileşiğinden oluşmaktadır. T5 ısıtılması sonrası her iki alaşımda 1 saat yaşlandırmaya göre 3 saat yapay yaşlandırma işleminin yapılmasında mikro yapı görüntüsünde önemli sayılabilecek değişim gözlemlenmemiştir.



a) b)
Şekil 6.13. T5 ısıtılması uygulanıp 3 saat yapay yaşlandırma işlemi uygulanmış numunelerin mikroyapı görüntüleri

Şekil 6.14.'de T5 ısıtılması 8 saat yapay yaşlandırma sonucu optik mikro yapı görüntüleri görülmektedir. Optik mikro yapıya baktığımızda ısıtılması sonucu intermetaliklerin ve primer silisyum tanelerinin küresele yakın bir görüntüye sahip

olduğu, dentrit kollar arası mesafenin arttığı anlaşılmaktadır. Siyah noktalar şeklinde dökümden kaynaklanan kabul edilebilir nitelikte boşluklar fark edilmektedir.



a) Şekil 6.14. Alaşımın T5 ısı işlemi 8 saat yaşlandırma işlemi sonrası mikroyapı görüntüleri a) alaşım C1 b) alaşım C2

Şekil 6.12. Şekil 6.13. ve Şekil 6.14.'e baktığımızda T5 ısı işleminde yaşlandırma süresinin artmasına bağlı olarak dentritler arası mesafenin azaldığı, intermetalik bileşik boyutlarında artış olduğu görülmektedir. Bunun yanında magnezyum miktarının 0,4 Mg (C2 alaşım) yaşlandırma işleminde 1 saat ve 3 saat yaşlandırma sonucunda pek bir fark olmadığı 8 saat yaşlandırma sonucunda kabalaşma olduğu fark edilmektedir.

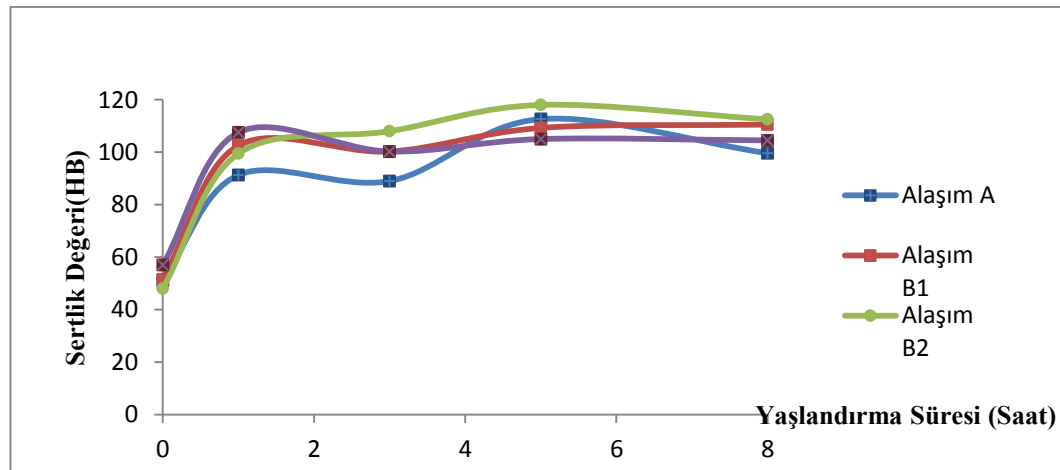
6.2. Sertlik Deneyi

Şekil 6.15.'de T6 ısı işlemine uğratılan alaşımların yaşlandırma süresine bağlı olarak sertlik değerlerindeki değişimi göstermektedir. T6 ısı işlem sertliğinin tüm alaşımlarda aynı olduğu, B ilavesi ile sertlik arasında etkili olmadığı görülmektedir. Isıl işlemsiz sertlik değerlerine baktığımızda Alaşım B3 (0,22 B)'de 57 HB olduğu bulunmuştur. 1 saat yapay yaşlandırma sonucunda Alaşım B1 (0,07 B), Alaşım B2 (0,14 B), Alaşım B3(0,22 B) alaşımlarının sertliği Alaşım A(B ilavesiz)'e göre artış göstermiştir. 3 saat yaşlandırma sonunda Alaşım A ve Alaşım B1'in sertlikleri değişmeden kalırken, B2 alaşımının sertliğindeki artış olurken Alaşım B3 sertliğinde azalma tespit edilmiştir. 0, 15 B içeren alaşımda en yüksek değer elde edildiği tespit edilmiştir. Tablo 6.1'de görüldüğü gibi en yüksek Mg içeriğine sahip (%0,6

Mg) alaşımının B2 alaşımı olduğu görülmektedir. Hem Mg içeriğinin yüksek olması nedeniyle Mg₂Si bileşik alaşım içerisinde fazla olması hem de B ilavesi ile mikro yapının modifiye olması (şekil 6.1. (c)), 0,14B içeren alaşımın sertliğinde 5 saat sonucunda en yüksek değerlerin etkili olduğu düşünülmektedir

Tablo 6.1. T6 ısıl işlemli numunelerin yaşlandırma süresi(saat)-sertlik değerleri

Yaşlandırma Süresi (Saat/Sertlik)	Alaşım A	Alaşım B1	Alaşım B2	Alaşım B3
0	51	51,5	48	57
1	91,3	102,5	99,5	107,5
3	89	100,25	108	100,25
5	112,6	109,25	118	105
8	99,6	110,5	112,5	104,5



şekil 6.15. T6 ısıl işlemli alaşım gruplarının sertlik-yaşlandırma süre grafiği

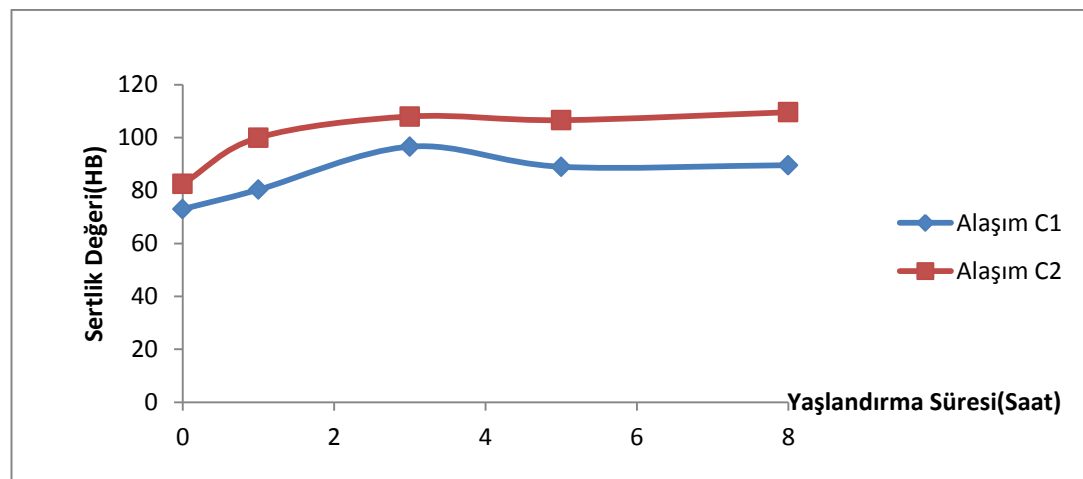
şekil 6.16.'da farklı Mg bileşimine sahip alaşımın T5 ısıl işlemi uygulanmış alaşım gruplarının zamana bağlı olarak sertlik değerlerindeki değişimi görülmektedir. Değerli oranlarda Mg içeren alaşımlara uygulanan T5 ısıl işlemi sonucunda, hem ısıl işlem öncesi hem T5 ısıl işlem sonrası yüksek Mg içeriğine sahip C2 alaşımı (0,4 Mg) sertlik değerlerinin daha yüksek elde edilmiştir. En yüksek sertlik değerinin C2 alaşımında 8 saat yaşlandırma sonucunda 110 olduğu bulunmuştur.

T6 ısıl işlemi uygulanan alaşımlarda en yüksek sertlik değerinin Alaşım B2 (%0,6 Mg) 5 saat yapay yaşlandırma sonucunda 118 HB olduğu görülürken T5 ısıl işlemi

uygulanan C2 alaşımında (%0,4 Mg) 8 saat yaşlandırma sonucunda 109,6 HB olduğu görülmüştür. Hem Mg miktarının fazla olması hem de yapı içerisine B ilavesi ile modifikasyonun oluşması nedeniyle T6 ısı işlem sonucu elde edilen sertlik değerlerin T5 ısı işlem sonucu elde edilen sertlik değerlerinden fazla olduğu düşünülmektedir.

Tablo 6.2. T5 ısı işlemli numunelerin yaşlandırma süresi(saat)-sertlik değerleri

Yaşlandırma Süresi/Sertlik (Saaat/HB)	Alaşım C1	Alaşım C2
0	73	82,5
1	80,33	100
3	96,6	108
5	89	106,6
8	89,6	109,6



Şekil 6.16. T5 ısı işlemli alaşım gruplarının sertlik-yaşlandırma süresi grafiği

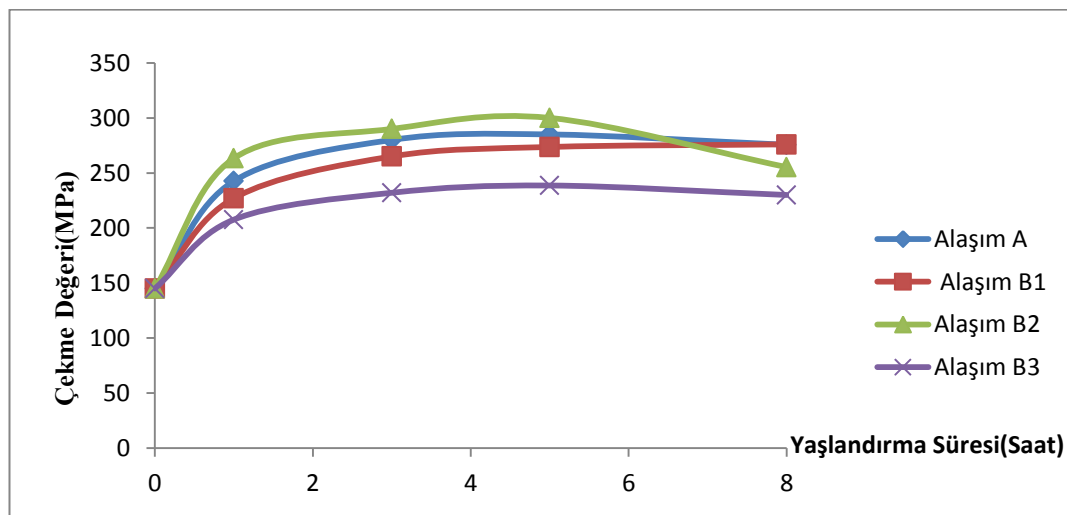
6.3. Çekme Deneyi

Şekil 6.17.'de alaşımların yaşlanma süresine bağlı olarak çekme dayanımlarındaki değişimi göstermektedir. Isıl işlemsiz alaşımların çekme değerlerine baktığımızda B ilavesinin çekme mukavemeti değerlerinde önemli bir değişime neden olmadığı çekme mukavemet değerinin 145 MPa olduğu fark edilmektedir. Yaşlandırma süresinin artmasıyla alaşımların çekme mukavemeti değerlerinde artış olduğu

görülmüştür. Genel olarak B ilavesinin ve ısı işlemin Al10SiMnMg alaşımının çekme mukavemetinde çok yüksek artışlar sağlamadığı görülmektedir. B ilavesiz alaşım ile Alaşım A (Bor ilavesiz) ve Alaşım B2 (0,14B) arasında 5 saat yapay yaşlandırma sonucunda 5 birimlik bir artışın olduğu görülmüştür. Artan B miktarı ile alaşımlarının çekme mukavemetleri azalmaktadır. Alaşımın mikro yapı modifikasyonunda meydana gelen kısmi değişimlerin alaşımın çekme mukavemetine önemli derecede etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 6.3. T6 ısı işlemlenmiş numunelerin yaşlandırma süresi(saat)-çekme değerleri

Yaşlandırma Süresi(Saat)/Çekme Değeri(MPa)	Alaşım A	Alaşım B1	Alaşım B2	Alaşım B3
0	145	145	145	145
1	242,6	227	263,3	207,6
3	280	265	290	232
5	285	273,6	300	238,6
8	275,6	276	255,3	230

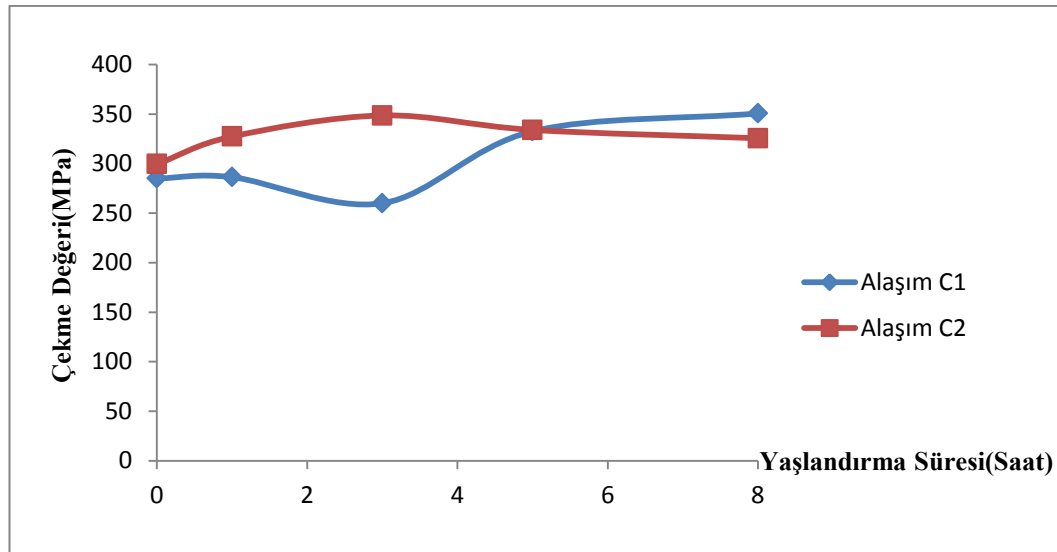


Şekil 6.17. T6 ısı işlem görmüş alaşımların çekme değeri-yaşlandırma süresi grafiği

Şekil 6.18.'de T5 ısıtma işlemi uygulanmış alaşım gruplarının çekme değeri-yaşlandırma süresi grafiği görülmektedir. Grafiğe bakıldığı zaman ısıtma işlemi uygulanmamış alaşım gruplarının çekme değerlerinde gözle görülebilir belirli bir farkın olmadığı fark edilmektedir. Çekme değerlerinin 1 saat yapay yaşlandırma sonucunda C1 alaşımının 286 MPa, C2 alaşımının 327 MPa değerine ulaşmaktadır. Yaşlandırma süresinin 3 saat olması ile C1 alaşımının 213 MPa değerine düştüğü C2 alaşımının 348 MPa değerine ulaştığı Tablo 6.4.'te görülmektedir. Yaşlandırma süresinin artmasıyla çekme değerlerinin sabit kaldığı grafikten anlaşılmaktadır. Bileşik grupları içerisinde Mg içeriği fazla olan bileşiğin çekme değerlerinde daha yüksek sonuçların elde edildiği görülmektedir. C2 alaşımının daha mukavemetli bir yapıya sahip olduğu, en yüksek mukavemet değerinin yaklaşık 50 birimlik bir artışla 3 saat yapay yaşlandırma sonucunda en yüksek mukavemet değerlerine ulaştığı anlaşılmaktadır.

Tablo 6.4. T5 ısıtma işlemli numunelerin yaşlandırma süresi-çekme değerleri

Yaşlandırma Süresi(Saat)/Çekme Değeri(MPa)	Alaşım C1	Alaşım C2
0	285	299,5
1	286,3	327,3
3	260	348,6
5	332,6	334
8	350,6	325,6

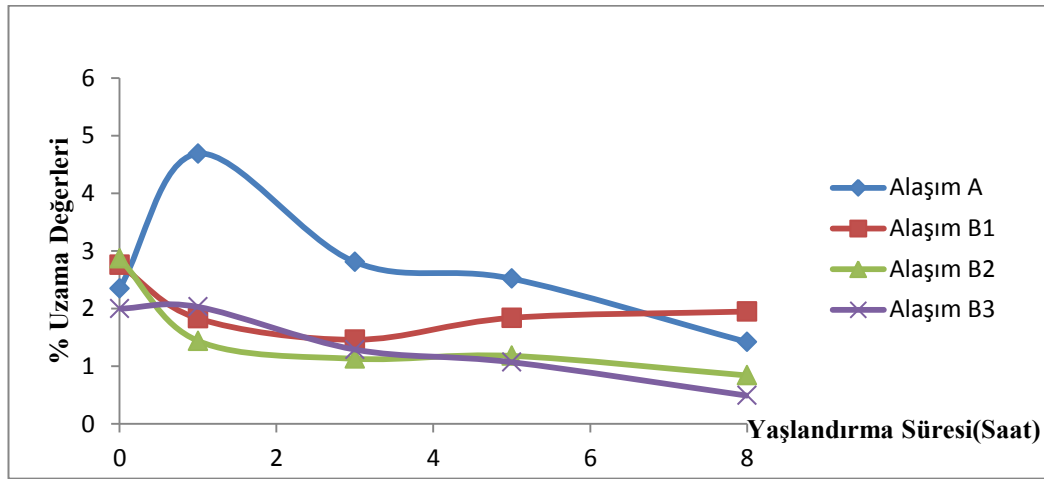


Şekil 6.18. T5 ısıt işlem görmüş alaşımların çekme değeri-yaşlandırma süresi grafiği

T6 ve T5 ısıt işlemlerin çekme sonuçlarına baktığımızda T5 ısıt işlem sonucunda elde edilen değerlerin daha yüksek olduğu görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlara bakılarak T5 ısıt işlem sonrası yapının daha mukavemetli olduğu düşünülmektedir. Şekil 6.19.'da T6 ısıt işlemi görmüş numunelerin % uzama- yaşlandırma süresi grafikleri gösterilmektedir. Grafikten görüldüğü üzere ısıt işlem uygulanmamış tüm numunelerde uzama değerleri arasında önemli bir fark gözlemlenmemiştir. Bor ilavesiz (Alaşım A) % uzama değerinin 1 saat yapay yaşlandırma sonucunda yaklaşık %4,69 değerine sahip olduğu 3 saat yaşlandırma sonucunda %1,93 değerine ulaştığı görülmektedir. Alaşım gruplarına Alaşım A (Bor ilavesiz)'ya göre B ilavesinin artması ve yaşlandırma süresinin artışına bağlı olarak % uzama değerlerinde azalmanın olduğu görülmektedir. Alaşım gruplarında en yüksek uzama değerinin Alaşım A'nın 1 saat yaşlandırılması sonucunda % 4,69, en düşük uzama değerinin 0,22 Bor ilaveli (B3 alaşımı) 8 saat yapay yaşlandırma sonucunda %0,49 olduğu grafikten anlaşılmaktadır. % uzama değerlerindeki azalmanın mikro yapı değişimlerinde gözükken mikro yapıda meydana gelen kabalaşmadan kaynaklandığı düşünülmektedir. Mikro yapıda oluşan kabalaşma Bor (B) ilavesi ile mikro yapıda Alüminyum Bor (AlB) oluşturmaktadır. Oluşan AlB bileşiği yapı içerisinde çekirdekleyici görevi görerek mikro yapının kabalaşmasına neden olduğu düşünülmektedir.

Tablo 6.5. T6 ısıtılmış numunelerin % uzama değeri-yaşlandırma süresi(saatt) değerleri

% Uzama Değeri/ Yaşlandırma Süresi(Saat)	Alaşım A	Alaşım B1	Alaşım B2	Alaşım B3
0	2,35	2,76	2,87	2
1	4,69	1,83	1,44	2,03
3	2,81	1,46	1,13	1,29
5	2,52	1,84	1,18	1,07
8	1,42	1,95	0,84	0,49

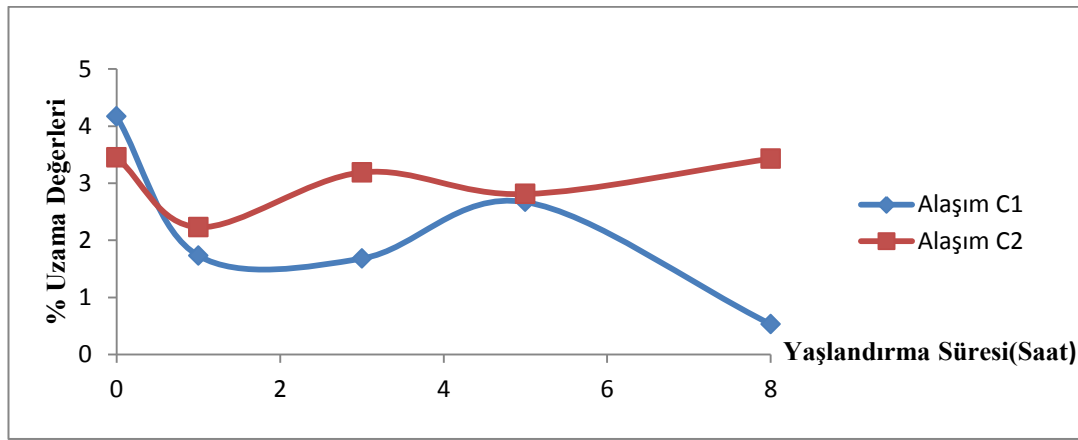


Şekil 6.19. T6 ısıtılmış alaşımların % uzama-yaşlandırma süresi grafiği

Şekil 6.20.'de T5 ısıtılmış numunelerin % uzama- yaşlandırma süresi grafiği görülmektedir. Grafikte görüldüğü üzere ısıtılmış numunelerin yüzde uzama değerleri arasında çok büyük bir fark olmadığı fark edilmektedir. Alaşım gruplarında 1 saat yapay yaşlandırma sonucunda 0,2 Mg ilaveli (C 1 alaşımı) %1,73 iken 0,4 Mg ilaveli (C 2 alaşımı) %2,23 uzama değerine sahip olduğu görülmektedir. 3 saat yaşlandırma sonucunda bu değerlerin C1 alaşımında % 1,68 ve C2 alaşımında %3,19 değerine ulaştığı, 8 saat yaşlandırma sonucunda uzama değerleri arasındaki farkın yaklaşık olarak 3 birim olduğu fark edilmektedir. Alaşım gruplarında magnezyum ilavesinin artması sonucunda en yüksek uzama değerlerinin elde edildiği anlaşılmaktadır. En yüksek uzama değerlerinin C2 alaşımında elde edildiği fark edilmektedir. Mg ilavesi ile uzama değerlerindeki artışın Mg'un mikro yapıda tane inceltici olarak görev almasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 6.6. T5 ısıt işlemleri uygulanmış numunelerin % uzama değeri-yaşlandırma süresi(saatt)

%Uzama Değeri/Yaşlandırma Süresi (Saat)	Alaşım C1	Alaşım C2
0	4,17	3,45
1	1,73	2,23
3	1,68	3,19
5	2,67	2,81
8	0,53	3,43

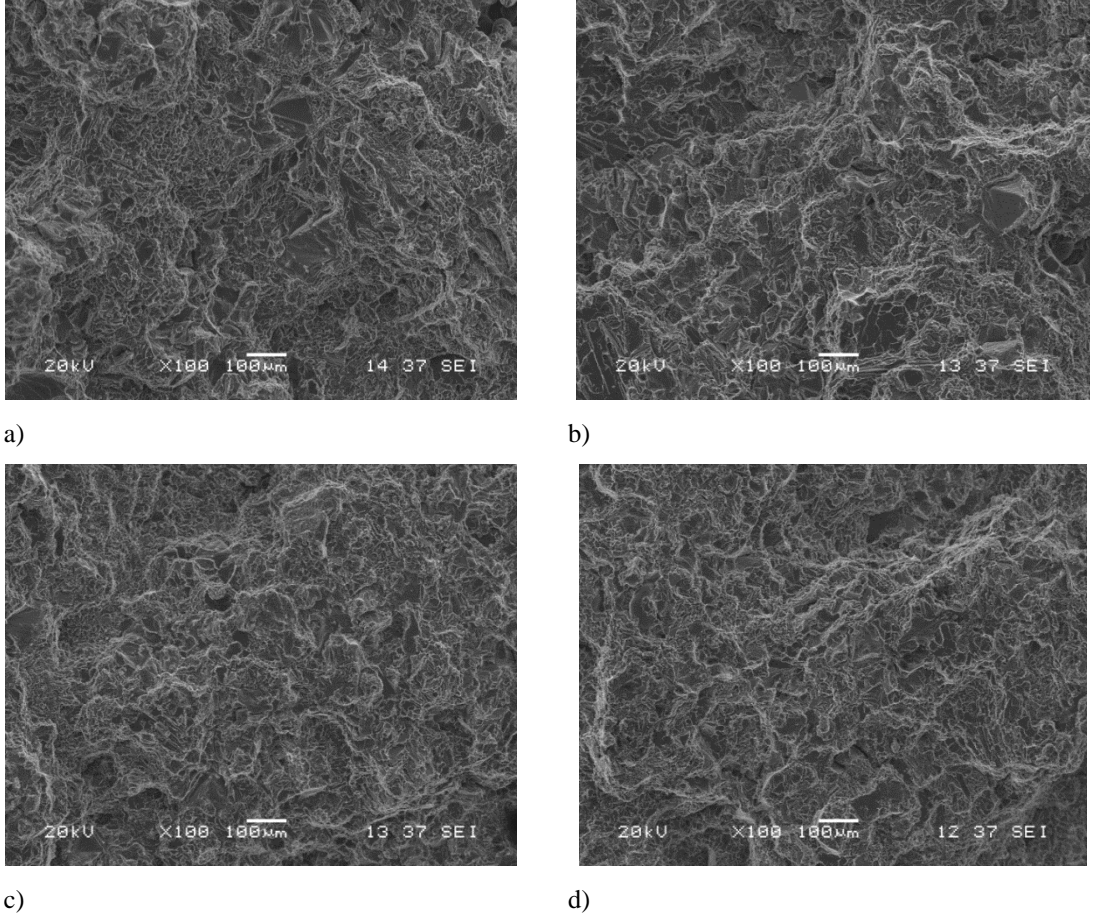


Şekil 6.20. T5 ısıt işlemleri yapılmış numunelerin % uzama değeri- yaşlandırma süresi grafiği

6.4. Kırık Yüzey Görüntüsü

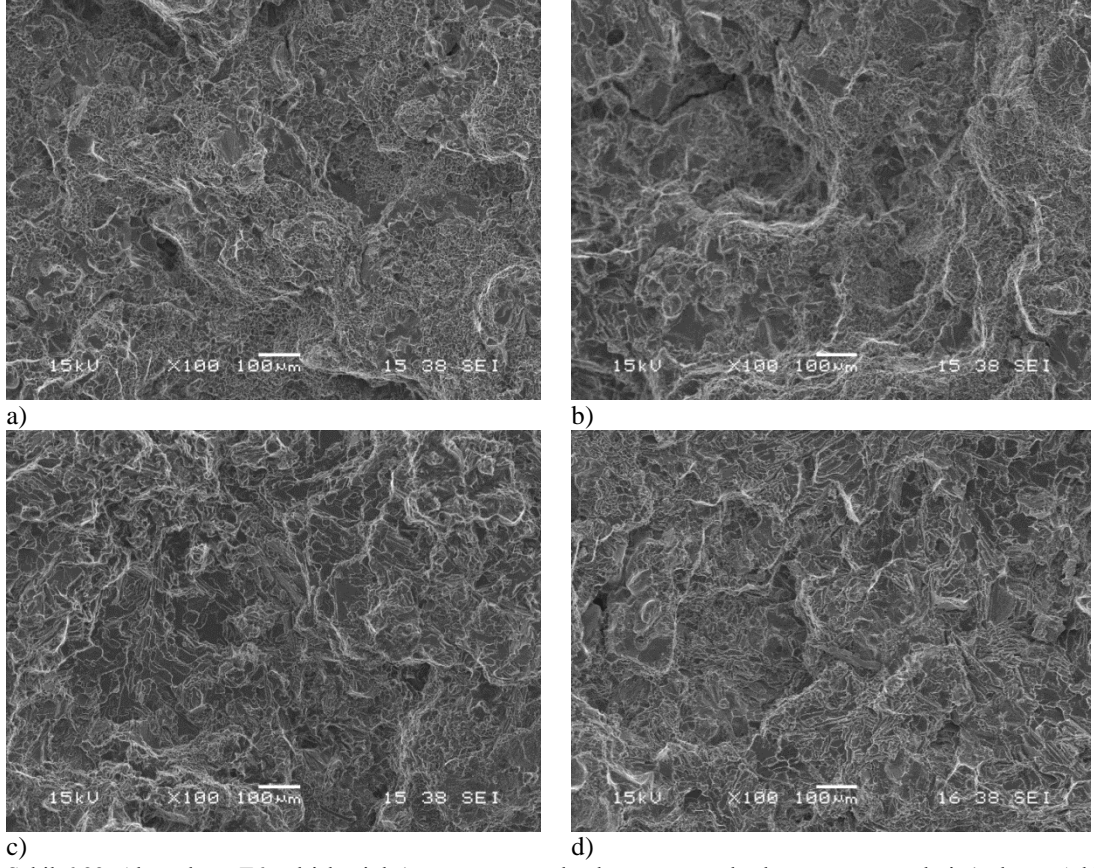
6.4.1. T6 ısıt işlemleri yapılmış numunelerin kırık yüzey görüntüleri

Şekil 6.21.'de bor ilaveli ısıt işlemsiz numunelerin çekme deney sonucunda elde edilen kırık yüzey görüntüleri gösterilmektedir. Isıt işlemsiz numunelerin yarı gevrek sünek kırılmaya sahip olduğu görülmektedir. Numunelerde kopma davranışının biraz sünek davranış göstererek numunelerin koptuğu anlaşılmaktadır. Kopma işleminde numuneler arasında B1 alaşımının yüksek bir süneklik davranışı göstererek koptuğu anlaşılmaktadır. Dimpulslar arası bor ilavesiyle değişimin fazla olmadığı görülmemektedir.



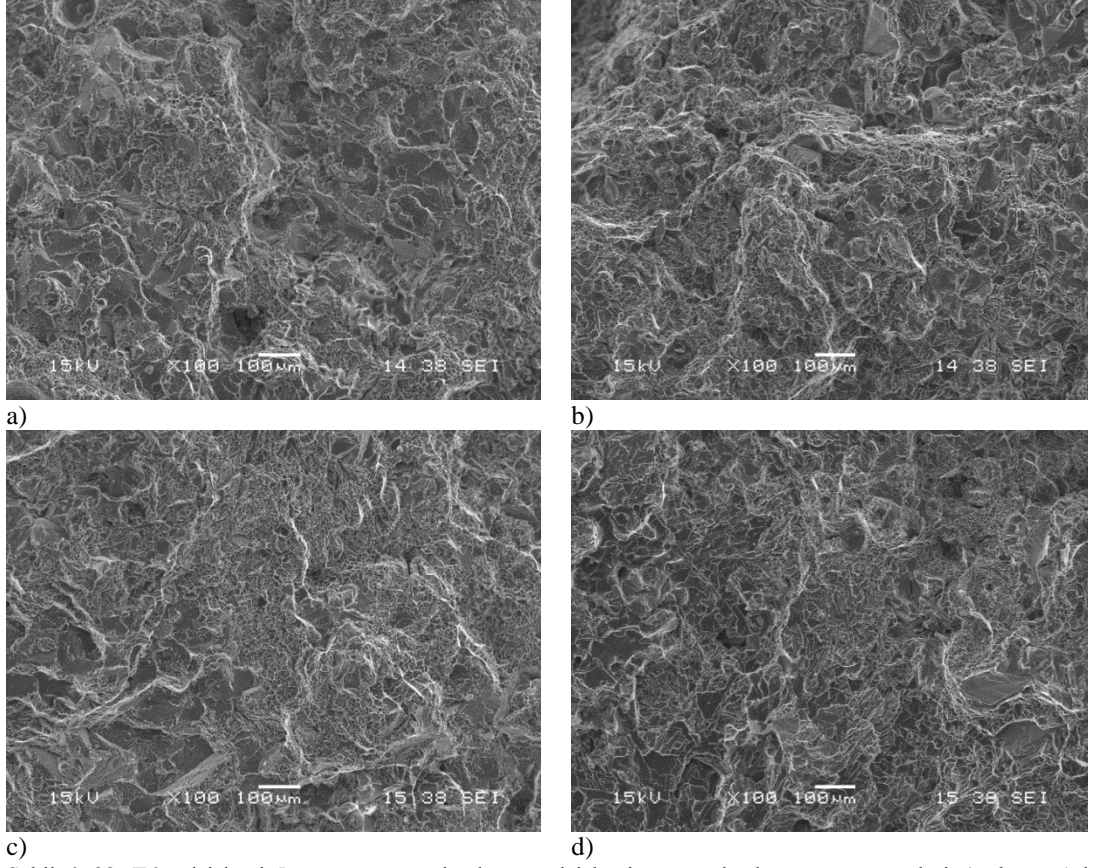
Şekil 6.21. Isıl işlemsiz numunelerin kopma yüzey görüntüleri a) alaşım A b) alaşım B1 c) alaşım B2 d) alaşım B3

Şekil 6.22.'da alaşımların T6 ısıl işlemiyle 1 saat yapay yaşlandırma sonucu çekme numunelerinin kırık yüzey görüntüleri görülmektedir. Bor ilavesi ile sünek kırılma gösteren numunelerin bor ilavesinin artmasıyla yarı sünek gevrek kırılmanın olduğu anlaşılmaktadır. 0,14 Bor ilavesinden sonra numunelerin sünek kırılmadan ziyade gevrek kırılmanın daha çok gerçekleştiği ve alaşımlardan parça kopmaları bariz bir şekilde görülmektedir.



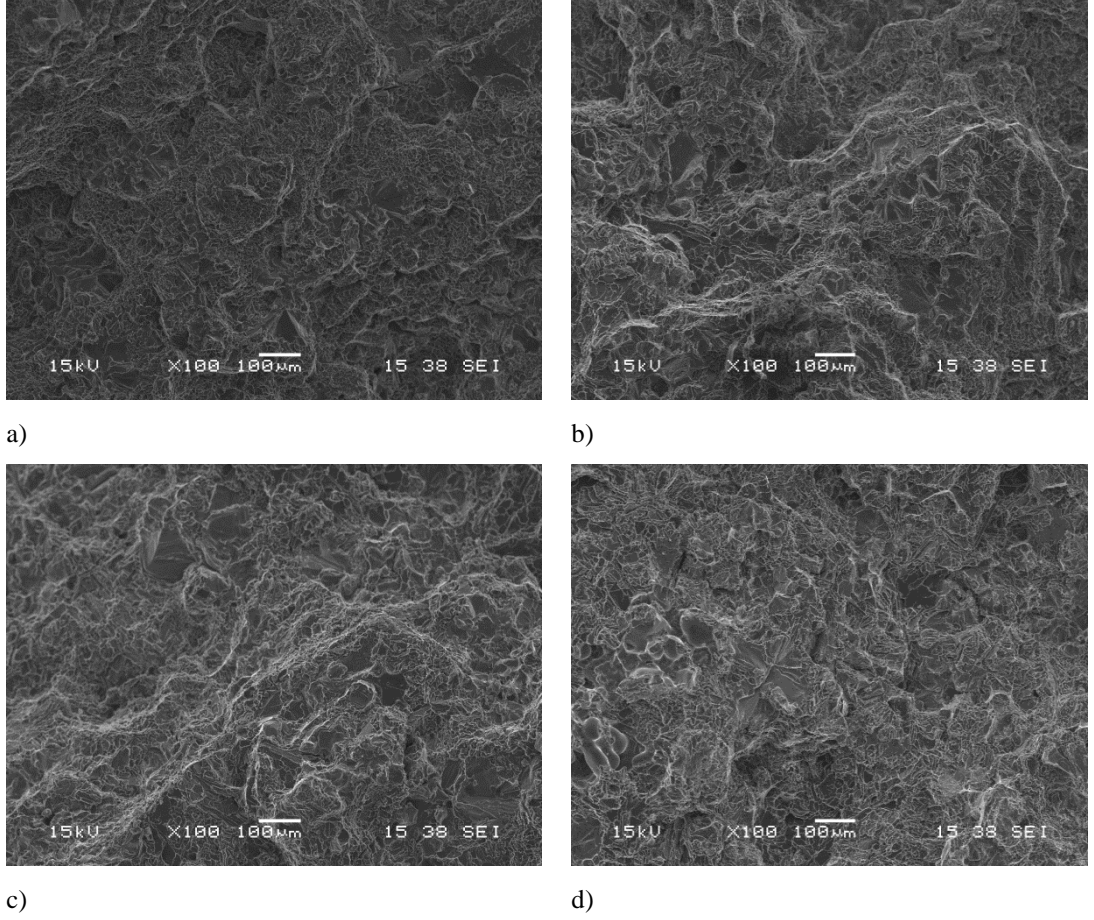
Şekil 6.22. Alaşımın T6 ısıtılmasıyla 1 saat yapay yaşlandırma sonucu kırık yüzey görüntüleri a) alaşım A b) alaşım B1 c) alaşım B2 d) alaşım B3

Şekil 6.23.'de alaşımın T6 ısıtılması 5 saat yapay yaşlandırma sonucu çekme numunelerinin kırık yüzey görüntüleri gösterilmektedir. Alaşımın sünek gevrek kırılma gösterdiği Bor ilavesinin artışıyla gevrek kırılmanın arttığı anlaşılmaktadır. Bor ilavesi artışıyla çekme yükü altında numunelerde direkt kopmaların gerçekleştiği bariz bir şekilde görülmektedir.



Şekil 6. 23. T6 ısıt işlemleri 5 saat yapay yaşlandırma ısıt işlemleri sonucu kırık yüzey görüntüleri a) alaşım A b) alaşım B1 c) alaşım B2 d) alaşım B3

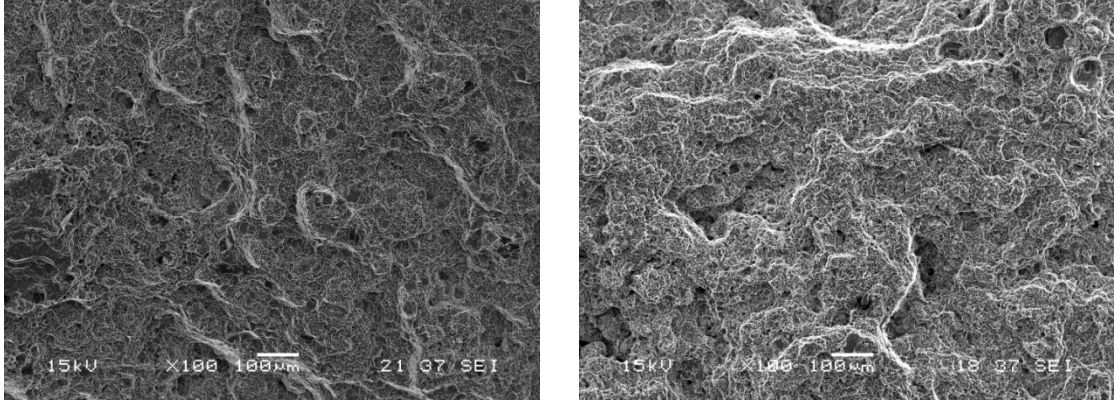
Şekil 6.24.'de Isıl işlemleri numunelerin T6 ısıt işlemleri 8 saat yapay yaşlandırma çekme deney numunelerinin kırık yüzey görüntüleri görülmektedir. Alaşımına baktığımızda numunelerin sünek gevrek kırılma gösterdiği anlaşılmaktadır. B ilavesinin artışıyla gevrek kırılma değerlerinin arttığı anlaşılmaktadır.



Şekil 6.24. Alaşımın T6 ısı işlemi 8 saat yapay yaşlandırma sonucu alaşımların kırık yüzey görüntüleri a) alaşım A b) alaşım B1 c) alaşım B3

6.4.2. T5 ısı işlemli numunelerin kırık yüzey görüntüleri

Şekil 6.25.'de T5 ısı işlemi görmüş numunelerin 1 saat yapay yaşlandırma sonucunda elde edilen kırık yüzey görüntüleri görülmektedir. Alaşımların 1 saat yapay yaşlandırma sonucunda sünek gevrek kırılma gösterdiği ve kopma davranışı gösterirken biraz sünek kırılma göstererek kırıldıkları anlaşılmaktadır. Kopma davranışında magnezyum miktarının artması sonucunda (C2 alaşımı) alaşımda sünekliliğinin artmasına neden olduğu görülmektedir.

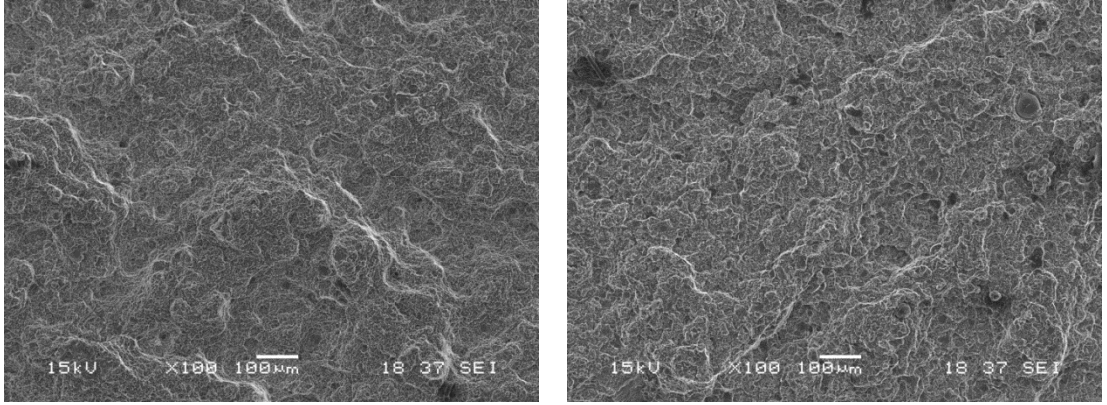


a)

b)

Şekil 6.25. Alaşımların T5 ısıtma işlemi 1 saat yapay yaşlandırma sonucu kırık yüzey görüntüleri a) alaşım C1 b) alaşım C2

Şekil 6.26.'da alaşımların T5 ısıtma işlemi 5 saat yapay yaşlandırma sonucu elde edilen kırık yüzey görüntüleri görülmektedir. Kırık yüzeylere baktığımızda sünek gevrek kırılma gösterdikleri anlaşılmaktadır. Alaşımlar koparken sünek davranış göstererek koptukları görülmektedir. Süneklilik değerlerinin Şekil 5.11'de de görüldüğü gibi mikro yapı sonucunda da pek bir fark olmadığı anlaşılmaktadır.



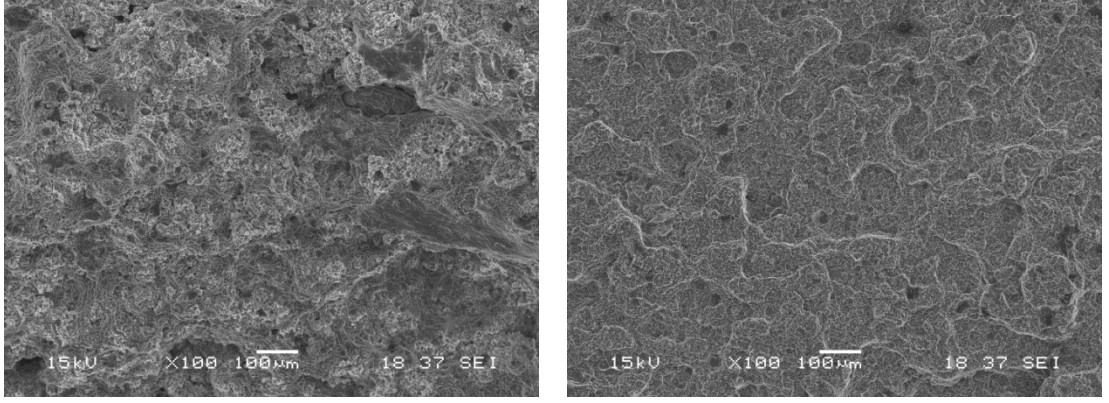
a)

b)

Şekil 6.26. Alaşımların T5 ısıtma işlemi 5 saat yapay yaşlandırma sonucu kırık yüzey görüntüleri a) alaşım C1 b) alaşım C2

Şekil 6.27.'de alaşımların T5 ısıtma işlemi sonrası 8 saat yapay yaşlandırma sonucu elde edilen kırık yüzey görüntüleri görülmektedir. Alaşımların sünek gevrek kırılma gösterdikleri anlaşılmaktadır. 0,4 Mg (C2 alaşımı) içeren alaşımda sünek kırılmanın fazla olduğu anlaşılmaktadır. Alaşımlarda gösterilen bu farkın mikro yapı analiz

sonuçlarına bakarak tane yapısındaki değişimden daha belirgin bir şekilde anlaşılabilir.



a)

b)

Şekil 6.27. Alaşımın T5 ısıtma işlemi 8 saat yapay yaşlandırma sonucu kırık yüzey görüntüleri a) alaşım C1 b) alaşım C2

BÖLÜM 7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Genel Sonuçlar

Bu tez çalışmasında AlSi10MnMg alaşımının bor ilaveli kokil döküm yöntemi ve bor ilavesiz enjeksiyonlu döküm işlemi üzerine ısıl işlemin etkisi incelenmiştir. Otomotiv sektöründe iç sütünlarda, ön çerçeve, yan panellerde, motosiklet gövdesi, motosiklet şanzumanı, motor taşıyıcılarda kullanılan parçaların ısıl işlemin ve döküm işlemiminin mekanik özellikler üzerine etkisini incelemek için T6 ve T5 ısıl işlemi uygulanmıştır. Parçalara ısıl işlem uygulanmadan önce ve ısıl işlem uygulandıktan sonra optik mikroyapı incelemesine, SEM analizi, sertlik testine ve çekme deneyine tabi tutulmuştur.

Yapılan analizler sonucu ısıl işlemsiz AlSi10MnMg alaşımında bor ilavesiyle mikro yapıda kabalaşma olduğu görülmüştür. İncelenen diğer alaşım grubunda Mg miktarının artışına bağlı olarak mikro yapı boyutunda azalma olduğu görülmektedir. Alaşım gruplarına uygulanan ısıl işlemler sonrasında T5 ısıl işlemi sonucu elde edilenler numunelerin çekme dayanımlarının daha yüksek değerlerde olduğu anlaşılmıştır. T5 ısıl işlemi ile mukavemet değeri yüksek, deformasyon kabiliyeti düşük alaşımların elde edildiği görülmüştür. Çekme deney sonrası kırık yüzey görüntülerine baktığımızda genel olarak kırılma olarak sünek gevrek kırılma olduğu fark edilmiştir.

7.2. Öneriler

1. Kokil döküm yöntem yönteminde AlSi10MnMg B ilavesinin yanında Stronsiyum (Sr) element ilavesi sonrasında T6 ısıl işlemi yapılarak elde edilen mekanik özelliklerle karşılaştırma yapılabilir.

2. Fabrika şartlarında 190° yapılan yapay yaşlandırma sıcaklığı deneysel çalışmada uygulanabilir.

3. Bu deneysel şartlarda uygulanan yapay yaşlandırma işlemi daha yakın saatlerde uygulanarak mikro yapıdaki ve mekanik özelliklerdeki değişim iyi bir şekilde incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Roger Rumley, Fundamentals of Aluminum Metallurgy, Woodhead Publishing, Oxford, 2011.
- [2] Mustafa Keser, AlSi12 Alaşımının Dökümünde Modifikasyon İşleminin İşlenebilirliğe Etkisi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2015.
- [3] Matías N. Amadoa*, Fernando Daroquib, Revision Of The Solvus Limit Of Al-Mg₂Si Pseudo Binary Phase Diagram, Procedia Materials Science, 1079 – 1088.
- [4] Prof. Dr. Ahmet Aran, Döküm Teknolojisi İmal Usülleri, Birsen Yayınevi, İstanbul,2007.
- [5] Gerhard Huber, Mile B. Dijurdevic, Srecko Manasijevic (2019), Determination some thermo-physical and metallurgical properties of aluminum alloys using their known chemical composition, International Journal of Heat and Mass Transfer, 139, 548-553.
- [6] R.Martinez, I. Guillot, D. Massinon (2019), New heat treatment to improve the mechanical properties of low copper aluminum primary foundry alloy, Materials Science & Engineering A, 755, 158-165.
- [7] Prof. Aram Ersümer, Alüminyum Alaşımlarının Isıl ve Mekanik İşlemleri, Birsen Kitabevi, İstanbul, 1980.
- [8] George F., Vander Voort, Juan Asensio-Lozano (2009), The Al-Si Phase Diagram, Microsc Microana, 15,60-61.
- [9] William D. Callister, David G. Rethwisch, Malzeme Bilimi Ve Mühendisliği, Nobelyayıncılık,Ankara,2013.
- [10] J.Gilbert Kaufman, Introduction Aluminum And Alloys and Temper, ASM International, United State, 2000.

- [11] John Gilbert Kaufman, Elwin L. Rooy, Aluminum Alloy Casting, ASM International, United State, 2004.
- [12] M. Gupta, S. Ling (1999), Microstructure and mechanical properties of hypo/hyper-eutectic Al–Si alloys synthesized using a near-net shape forming technique, *Journal of Alloys and Compounds*, 287, 284–294.
- [13] Y.Zenada, S. Alkahtani (2013), Influence of the microstructure on the machinability of heat-treated Al–10.8% Si cast alloys: Role of copper-rich intermetallics, *Journal of Materials Processing Technology*, 213, 167-179.
- [14] Shankar, S. , Riddle, Y. W. , Makhlof, Makhlof M. (2004). Eutectic Solidification of Aluminum-Silicon Alloys. *Metallurgical and Materials Transactions A-Physical Metallurgy and Materials Science*, 35A(9), 3038-3043.
- [15] M. Gupta, E.J. Lavernia (1995), Effect of processing on the microstructural variation and heat-treatment response of a hypereutectic Al-Si alloy, *Journal of Materials Processing Technology*, 54, 261-270.
- [16] F.C. Campbell, Ed., *Elements of Metallurgy and Engineering Alloys*, ASM International, 2008.
- [17] Eda Dağdelen, Ali Ulus (2015), *Aluminum Sheet Production: Heat Treatment of Aluminium and Temper Designations of Aluminium Alloys*, 18th International Metallurgy & Materials Congress, 682-684.
- [18] Juan Asensio-Lozano, George Vander Voort, *The Al-Si Phase Diagram*, Buehler, Volume 5, Issue 1.
- [19] Barrie S. Shabel, Douglas A. Granger, and William G. Truckner, *Alcoa, ASM Handbook, Lubrication, and Wear Technology*, Volume 18, , p 785-794.
- [20] American Foundrymens Society , *Aluminum Casting Technology*, Amer Foundrymens Society, USA, 1993.
- [21] Lucio F. Mondolfo, *Metallography of Aluminum Alloys*, Champhan Hall, London, 1943.
- [22] https://rheinfelden-alloys.eu/wp-content/uploads/2016/01/05-HB-DG_Ci_Sf_Cm_Td_Ma_RHEINFELDEN-ALLOYS_2015_EN.pdf Erişim Tarihi: 26.03.2019.

- [23] R. S. Rana, Rajesh Purohit, S Das (2012), Reviews on the Influences of Alloying elements on the Microstructure and Mechanical Properties of Aluminum Alloys and Aluminum Alloy Composites, International Journal of Scientific and Research Publications,2250-3153.
- [24] Burhan Oğuz, Demir Dışı Metallerin Kaynağı, Oerlikon yayını, 1990.
- [25] OHN E. HATCH, Aluminum, AMERICAN SOCIETY FOR METALS, 1984.
- [26] Dr. Arda Çetin, Alüminyum Döküm Alaşımları El Kitabı, Dökümhane ProjesikapsamındaHazırlanmıştır,2017.

ÖZGEÇMİŞ

Ayşenur ÖZDEMİR, 03.02.1995 yılında Sakarya/Serdivan'da doğdu. İlk ve orta öğretimini Mithatpaşa Şehit Ahmet Akyol'da tamamladı. 2013 yılında Mithatpaşa Şükrü Ayna Anadolu Lisesi'nden mezun oldu ve aynı yıl Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünü kazanarak üniversite öğrenimine başladı. 2017 yılında bu bölümü bitirerek mühendis ünvanı aldı ve aynı yıl Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen bu bölümde yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.