



**FARKLI ISIL İŞLEMLER UYGULANMIŞ 60XX
ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL VE TEORİK
OLARAK İNCELENMESİ**

Ufuk Ramazan UĞURLU

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Gökhan SUR**

**FARKLI ISIL İŞLEMLER UYGULANMIŞ 60XX ALÜMİNYUM
ALAŞIMLARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL VE
TEORİK OLARAK İNCELENMESİ**

Ufuk Ramazan UŐURLU

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Gökhan SUR**

**KARABÜK
Ocak 2022**

Ufuk Ramazan UGURLU tarafından hazırlanan “FARKLI ISIL İŞLEMLER UYGULANMIŞ 60XX ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL VE TEORİK OLARAK İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan SUR

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 27/01/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Hasan GÖKKAYA (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Şenol BAYRAKTAR (RTEÜ)

ONLINE

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Gökhan SUR (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Ufuk Ramazan UĞURLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI ISIL İŞLEMLER UYGULANMIŞ 60XX ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL VE TEORİK OLARAK İNCELENMESİ

Ufuk Ramazan UĞURLU

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğretim Üyesi Gökhan SUR

Ocak 2022, 135 sayfa

Bu çalışmada, direkt ekstrüzyon yöntemiyle imal edilmiş 6060 alüminyum alaşımlı profiller 530°C’de çözeltiliye alma ve hava ile soğutma proseslerinin ardından farklı sürelerde ve sıcaklıklarda yaşlandırılarak, yaşlandırma prosesindeki zaman-sıcaklık değişkenlerinin malzemenin mekanik özellikleri ve mikroyapısına etkileri incelenmiştir. Alaşımın kimyasal içeriği TS EN 573-3 :2008 standardında belirtilen kompozisyona uygun şekilde üretilmiştir. Profil olarak otomotiv endüstrisinde çarpışma kutusu (crashbox) olarak tercih edilen Ø105x2 mm dairesel ve 80x80x2 mm kare profiller tercih edilmiştir. Yaşlandırma deney tasarımı; 160°C , 180°C ve 200°C’lerde 4, 6 ve 8 saat parametreleri ile oluşturulmuştur. Belirlenen sürelerde, belirlenen sıcaklıklar uygulanan malzemelere basma, çekme testleri ve mikroyapı kontrolleri uygulanmıştır. Mikroyapı kontrolleri sonucunda her iki profilin malzeme tane boyutlarında dikkate değer bir değişim gözlemlenmemiştir. Akma ve çekme

mukavemetleri incelendiğinde her iki profil için en iyi değerlere 180°C – 8 saat yaşlandırma uygulanan numunelerde ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Basma testi sonucunda elde edilen enerji absorbe edebilme yeteneğinin her iki profilde en yüksek değerlere 200°C – 4 saat yaşlandırma uygulanan numunelerde ulaşılmıştır. Basma ve çekme testleri sonucunda, basma testi sırasında numunede yırtık oluşumu gözlemlenmeyen; çekme testleri sonucunda elde edilen akma ve çekme mukavemeti değerlerinde TS EN 755-2 :2009 normuna göre minimum 150 MPa akma mukavemeti değerini karşılayan optimum yaşlandırma parametrelerinin hem kare hem de dairesel profil için 160°C – 6 saat olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Alüminyum ekstrüzyon, AA6060, ısıtım işlemi, mikroyapı, mekanik özellikler.

Bilim Kodu : 91421

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DIFFERENT HEAT TREATMENT PARAMETERS' EFFECT ON MECHANICAL PROPERTIES OF 60XX ALUMINIUM ALLOY

Ufuk Ramazan UĞURLU

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Gökhan SUR

January 2022, 135 pages

In this study, the effects of time-heat parameters in the age hardening process on mechanical properties and microstructure of extruded 6060 aluminium alloy profiles manufactured by direct extrusion method which by age hardening at different heats and time periods were investigated. Before age hardening, profiles were solution age hardened at 530°C and air cooled respectively. Chemical composition of alloy align with the requirements of TS EN 573-3 :2008 specification. Ø105x2 mm circular and 80x80x2 mm rectangular profiles which are used as crashbox in automotive industry are used for experiments. Experimental age hardening design was created with 160°C, 180°, 200°C and 4, 6 and 8 hours parameters. Compression and tensile tests, microstructure control were applied to profiles afterwards exposing determined heats in determined time periods. As a result of microstructure controls, no remarkable change was observed in the material grain sizes of both profiles. When the yield and

tensile strengths were examined, it was observed that the best values for both profiles were achieved in the samples age hardened at 180°C - 8 hours. The highest values of the energy absorbing ability obtained as a result of compression test in both profiles were reached in the samples age hardened at 200°C - 4 hours. As a result of the compression and tensile tests, no tear formation was observed in the sample during compression test; in the yield and tensile strength values which meet the minimum 150 MPa yield strength value according to the TS EN 755-2:2009 norm obtained as a result of tensile tests, it was determined that the optimum age hardening parameters are 160°C - 6 hours for both square and circular profiles.

Key Word : Aluminium extrusion, AA6060, heat treatment, microstructure, mechanical properties.

Science Code : 91421

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren danışman hocam Sayın Dr. Öğretim Üyesi Gökhan SUR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez başlangıcından itibaren bilgi ve tecrübeleriyle yol gösteren Sn. Murat KONAR'a, laboratuvar çalışmalarında her türlü yardımı ve kolaylığı sağlayan Sn. Özcan YILDIZ'a ve Sn. Arif Fatih YİĞİT'e, tecrübeleriyle elde edilen sonuçların raporlanıp yorumlanmasında destek olan Sn. Mehmet Buğra GÜNER'e ve Sn. Osman Halil ÇELİK'e teşekkür ederim.

Özel olarak belirttiğim mesai arkadaşlarım dışında böyle bir çalışmayı üretimden testlerine kadar gerçekleştirebilme imkanı sunan ASAŞ Alüminyum'a teşekkür ederim.

Çalışmalarım ve tüm yaşamım boyunca yanımda olan, desteklerini her an hissettiğim sevgili aileme, yüksek lisansa başlamamda önyak olan halam Sayın Doç. Dr. Sakine UGURLU KARAAĞAÇ'a ve nişanlım Betül ÇAKMAK'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
ALÜMİNYUM	3
2.1. Alüminyumun Tarihçesi.....	3
2.2. Alüminyumun Elde Edilmesi	5
2.2.1. Birincil Alüminyum.....	6
2.2.2. İkincil Alüminyum.....	11
2.2.3. Yarı Mamül.....	11
2.3. Alüminyumun Özellikleri ve Kullanım Alanları.....	11
2.3.1. Geri Dönüştürülebilirlik.....	12
2.3.2. Hafiflik.....	12
2.3.3. Dayanıklılık	12
2.3.4. Yüksek Mukavemet·Ağırlık Oranı	13
2.3.5. Korozyon Direnci	14
2.3.6. Elastiklik ve Enerji Sönümlenme	14
2.3.7. Isı iletkenliği	16
2.3.8. Nontoksiklik	16

	<u>Sayfa</u>
2.3.9. Yansıtıcılık.....	16
2.3.10. Elektrik İletkenliği.....	17
2.3.11. Mıknatıslanmama	17
2.3.12. Kriyojenik Dayanımı	17
2.3.13. Yanmazlık.....	17
2.4. Alüminyum Alaşımları.....	17
2.5. Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması.....	18
2.5.1. Alüminyum Döküm Alaşımları	18
2.5.2. Alüminyum Dövme Alaşımları	19
2.6. Elementlerin Alüminyum Alaşımlarına Tesiri	25
2.6.1. Silisyumun Tesiri.....	25
2.6.2. Bakırın Tesiri	25
2.6.3. Magnezyumun Tesiri	26
2.6.4. Nikelin Tesiri	26
2.6.5. Kalayın Tesiri	26
2.6.6. Titanyumun Tesiri	26
2.6.7. Manganezin Tesiri	27
2.6.8. Çinkonun Tesiri	27
2.6.9. Demirin Tesiri.....	27
2.6.10. Nadir Toprak Elementlerinin Tesiri.....	28
2.7. Isıl İşlem	28
2.7.1. Çözeltiye Alma	31
2.7.2. Soğutma	32
2.7.3. Yaşlandırma.....	33
BÖLÜM 3	35
EKSTRÜZYON PROSESİ.....	35
3.1. Ekstrüzyon Yöntemleri.....	36
3.1.1. Direkt Ekstrüzyon.....	36
3.1.2. İndirekt Ekstrüzyon	38
BÖLÜM 4	39

	<u>Sayfa</u>
LİTERATÜR ÇALIŞMASI	39
BÖLÜM 5	43
MATERYAL VE METOD	43
5.1. Malzeme Seçimi	43
5.2. Profil Seçimi.....	43
5.3. Profillerin Ekstrüzyonu ve Soğutulması.....	45
5.4. Yaşlandırma Isıl İşlemi	46
5.5. Çekme Testi, Basma Testi ve Mikroyapısal İnceleme Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	47
5.5.1. Çekme Test Numunesinin Hazırlanması	47
5.5.2. Basma Test Numunesinin Hazırlanması.....	48
5.5.3. Mikroyapısal İnceleme İçin Numuneleri Hazırlanması.....	49
5.6. Çekme Testi.....	52
5.7. Basma Testi	54
5.8. Mikroyapısal İnceleme	55
BÖLÜM 6	58
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	58
6.1. Mikroyapıların İncelenmesi	58
6.1.1. 160°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profilin Mikroyapısal İncelemesi	58
6.1.2. 160°C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profilin Mikroyapısal İncelemesi	59
6.1.3. 160°C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profilin Mikroyapısal İncelemesi	60
6.1.4. 180°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profilin Mikroyapısal İncelemesi	61
6.1.5. 180°C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profilin Mikroyapısal İncelemesi	62
6.1.6. 180°C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profilin Mikroyapısal İncelemesi	63

Sayfa

6.1.7. 200°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profilin Mikroyapısal İncelemesi	64
6.1.8. 200°C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profilin Mikroyapısal İncelemesi	65
6.1.9. 200°C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profilin Mikroyapısal İncelemesi	66
6.1.10. 160°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profilin Mikroyapısal İncelemesi	67
6.1.11. 160°C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profilin Mikroyapısal İncelemesi	68
6.1.12. 160°C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profilin Mikroyapısal İncelemesi	69
6.1.13. 180°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profilin Mikroyapısal İncelemesi	70
6.1.14. 180°C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profilin Mikroyapısal İncelemesi	71
6.1.15. 180°C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profilin Mikroyapısal İncelemesi	72
6.1.16. 200°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profilin Mikroyapısal İncelemesi	73
6.1.17. 200 °C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profilin Mikroyapısal İncelemesi.....	74
6.1.18. 200 °C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profilin Mikroyapısal İncelemesi.....	75
6.2. Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi	76
6.2.1. 160°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi.....	77
6.2.2. 160°C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi.....	78
6.2.3. 160°C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi.....	79

Sayfa

6.2.4. 180°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi.....	79
6.2.5. 180°C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi.....	80
6.2.6. 180°C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi.....	81
6.2.7. 200°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi.....	81
6.2.8. 200°C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi.....	82
6.2.9. 200°C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi.....	83
6.2.10. 160°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi.....	83
6.2.11. 160°C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi.....	84
6.2.12. 160°C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi.....	85
6.2.13. 180°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi.....	85
6.2.14. 180°C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi.....	86
6.2.15. 180°C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi.....	87
6.2.16. 200°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi.....	87
6.2.17. 200 °C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi.....	88
6.2.18. 200 °C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi.....	89
6.3. Basma Testi ile Enerji Absorbe Edebilme Miktarlarının İncelenmesi.....	89

6.3.1. 160°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Basma Test	
Sonuçlarının İncelenmesi	90
6.3.2. 160°C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Basma Test	
Sonuçlarının İncelenmesi.....	92
6.3.3. 160°C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Basma Test	
Sonuçlarının İncelenmesi.....	93
6.3.4. 180°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Basma Test	
Sonuçlarının İncelenmesi.....	94
6.3.5. 180°C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Basma Test	
Sonuçlarının İncelenmesi.....	95
6.3.6. 180°C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Basma Test	
Sonuçlarının İncelenmesi.....	96
6.3.7. 200°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Basma Test	
Sonuçlarının İncelenmesi.....	97
6.3.8. 200°C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Basma Test	
Sonuçlarının İncelenmesi.....	99
6.3.9. 200°C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Basma Test	
Sonuçlarının İncelenmesi.....	100
6.3.10. 160°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Basma Test	
Sonuçlarının İncelenmesi.....	101
6.3.11. 160°C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Basma Test	
Sonuçlarının İncelenmesi.....	103
6.3.12. 160°C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Basma Test	
Sonuçlarının İncelenmesi.....	105
6.3.13. 180°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Basma Test	
Sonuçlarının İncelenmesi.....	106
6.3.14. 180°C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Basma Test	
Sonuçlarının İncelenmesi.....	107
6.3.15. 180°C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Basma Test	
Sonuçlarının İncelenmesi.....	108
6.3.16. 200°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Basma Test	
Sonuçlarının İncelenmesi.....	109

Sayfa

6.3.17. 200 °C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Basma Test Sonuçlarının İncelenmesi.....	111
6.3.18. 200 °C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Basma Test Sonuçlarının İncelenmesi.....	112
6.4. Mikroyapısal İnceleme Sonuçlarının Tartışılması	115
6.5. Çekme Test Sonuçlarının Tartışılması	118
6.6. Basma Test Sonuçlarının Tartışılması.....	123
BÖLÜM 7	127
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	127
7.1. Sonuçlar.....	127
7.2. Öneriler.....	128
KAYNAKLAR	129
ÖZGEÇMİŞ	135

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2. 1. Çinli Komutan Zhou Zhu'nun mezar süslemeleri [2].	3
Şekil 2. 2. Boksit cevheri [2].	5
Şekil 2. 3. Alüminyum döngüsü [12].	6
Şekil 2. 4. Alüminyum üretimi için gerekli ham madde miktarları [9].	7
Şekil 2. 5. Bayer Prosesi [9].	9
Şekil 2. 6. Hall-Heroult Prosesi [13].	11
Şekil 2. 7. Otomotiv çeliklerinin mekanik özellikleri [20].	13
Şekil 2. 8. Malzemelerin mukavemet-ağırlık oranlarının karşılaştırılması [17].	14
Şekil 2. 9. Araç tampon sistemi [23].	15
Şekil 2. 10. Ezme testi uygulanmış numuneler [24].	15
Şekil 2. 11. Soğutucu profil [26].	16
Şekil 2. 12. Isıl işlem uygulanabilen alaşımların mekanik özellikleri [37].	21
Şekil 2. 13. 5XXX serisi alaşımların mekanik özellikleri [37].	23
Şekil 2. 14. Titanyumun tane inceltici etkisi [43].	27
Şekil 2. 15. Al-Cu faz diyagramı ve ısıl işlem safhalarındaki mikroyapı [31].	29
Şekil 2. 16. Al-MG ₂ Si faz diyagramı [52].	31
Şekil 2. 17. Soğutma hızının Mg ₂ Si üzerine etkisi A) 15°C/dk B) 30°C/dk C) 50°C/dk.	33
Şekil 3. 1. Ekstrüzyon şeması [55].	35
Şekil 3. 2. Direkt ve indirekt ekstrüzyon şemaları [56].	36
Şekil 3. 3. Direkt ve indirekt ekstrüzyonda basınç değişimi [54].	37
Şekil 3. 4. Direkt ve indirekt ekstrüzyonda basınç değişimi [54].	37
Şekil 5. 1. Çarpışma kutusu kullanım yeri ile darbe almadan önceki ve sonraki hali.	44
Şekil 5. 2. Üretimi gerçekleştirilen profil formları a) Kare, b) Daire.	44
Şekil 5. 3. Kare profilin ekstrüzyonu sırasında presten çıkışı.	45
Şekil 5. 4. Yaşlandırma işlemi başlamadan önce fırın içerisindeki numuneler.	46
Şekil 5. 5. Çekme testi numunesi ölçüleri.	47
Şekil 5. 6. Çekme testi numunesi fotoğraf görüntüsü.	47
Şekil 5. 7. Çekme test numunelerinin profillerin hangi kısımlarından alındığı.	48
Şekil 5. 8. Basma testi için dairesel profilin 300 mm'ye kesimi.	49

Sayfa

Şekil 5. 9. Mikroyapısal inceleme numunesi kesimi.	49
Şekil 5. 10. Bakalit karışımı.....	50
Şekil 5. 11. Bakalite alınmış numune.	50
Şekil 5. 12. Bakalite alınmış numunenin zımparalanması.	51
Şekil 5. 13. Elektrolitik dağlama düzeneği.	52
Şekil 5. 14. Çekme testi uygulaması.	53
Şekil 5. 15. Çekme testi uygulanmadan önce ve sonra numune.	53
Şekil 5. 16. Basma testi uygulaması.....	54
Şekil 5. 17. Mikroyapısal inceleme.....	55
Şekil 5. 18. Mikroyapı görüntüsündeki ölçek kadar çizgi çizilmesi.....	56
Şekil 5. 19. Mikroyapı görüntüsündeki ölçek boyunca çizilen çizginin cm cinsinden ölçüsü.	56
Şekil 5. 20. Tane boyutlarının belirgin olduğu kısım üzerinde düz çizgi çizilmesi ve çizgi uzunluğunun tespit edilmesi.....	57
Şekil 6. 1. 160°C’de 4 saat yaşlandırılmış kare profil mikroyapısı	59
Şekil 6. 2. 160°C’de 6 saat yaşlandırılmış kare profil mikroyapısı	60
Şekil 6. 3. 160°C’de 8 saat yaşlandırılmış kare profil mikroyapısı	61
Şekil 6. 4. 180°C’de 4 saat yaşlandırılmış kare profil mikroyapısı	62
Şekil 6. 5. 180°C’de 6 saat yaşlandırılmış kare profil mikroyapısı	63
Şekil 6. 6. 180°C’de 8 saat yaşlandırılmış kare profil mikroyapısı	64
Şekil 6. 7. 200°C’de 4 saat yaşlandırılmış kare profil mikroyapısı	65
Şekil 6. 8. 200°C’de 6 saat yaşlandırılmış kare profil mikroyapısı	66
Şekil 6. 9. 200°C’de 8 saat yaşlandırılmış kare profil mikroyapısı	67
Şekil 6. 10. 160°C’de 4 saat yaşlandırılmış dairesel profil mikroyapısı.....	68
Şekil 6. 11. 160°C’de 6 saat yaşlandırılmış dairesel profil mikroyapısı.....	69
Şekil 6. 12. 160°C’de 8 saat yaşlandırılmış dairesel profil mikroyapısı.....	70
Şekil 6. 13. 180°C’de 4 saat yaşlandırılmış dairesel profil mikroyapısı.....	71
Şekil 6. 14. 180°C’de 6 saat yaşlandırılmış dairesel profil mikroyapısı.....	72
Şekil 6. 15. 180°C’de 8 saat yaşlandırılmış dairesel profil mikroyapısı.....	73
Şekil 6. 16. 200°C’de 4 saat yaşlandırılmış dairesel profil mikroyapısı.....	74
Şekil 6. 17. 200°C’de 6 saat yaşlandırılmış dairesel profil mikroyapısı.....	75
Şekil 6. 18. 200°C’de 8 saat yaşlandırılmış dairesel profil mikroyapısı.....	76
Şekil 6. 19. Örnek çekme test grafiği ve tanımlamalar [25]	77
Şekil 6. 20. 160°C’de 4 saat yaşlandırılmış kare profil çekme test grafiği.....	78

Sayfa

Şekil 6. 21. 160°C’de 6 saat yaşlandırılmış kare profil çekme test grafiği.....	78
Şekil 6. 22. 160°C’de 8 saat yaşlandırılmış kare profil çekme test grafiği.....	79
Şekil 6. 23. 180°C’de 4 saat yaşlandırılmış kare profil çekme test grafiği.....	80
Şekil 6. 24. 180°C’de 6 saat yaşlandırılmış kare profil çekme test grafiği.....	80
Şekil 6. 25. 180°C’de 8 saat yaşlandırılmış kare profil çekme test grafiği.....	81
Şekil 6. 26. 200°C’de 4 saat yaşlandırılmış kare profil çekme test grafiği.....	82
Şekil 6. 27. 200°C’de 6 saat yaşlandırılmış kare profil çekme test grafiği.....	82
Şekil 6. 28. 200°C’de 8 saat yaşlandırılmış kare profil çekme test grafiği.....	83
Şekil 6. 29. 160°C’de 4 saat yaşlandırılmış dairesel profil çekme test grafiği	84
Şekil 6. 30. 160°C’de 6 saat yaşlandırılmış dairesel profil çekme test grafiği	84
Şekil 6. 31. 160°C’de 8 saat yaşlandırılmış dairesel profil çekme test grafiği	85
Şekil 6. 32. 180°C’de 4 saat yaşlandırılmış dairesel profil çekme test grafiği	86
Şekil 6. 33. 180°C’de 6 saat yaşlandırılmış dairesel profil çekme test grafiği	86
Şekil 6. 34. 180°C’de 8 saat yaşlandırılmış dairesel profil çekme test grafiği	87
Şekil 6. 35. 200°C’de 4 saat yaşlandırılmış dairesel profil çekme test grafiği	88
Şekil 6. 36. 200°C’de 6 saat yaşlandırılmış dairesel profil çekme test grafiği	88
Şekil 6. 37. 200°C’de 8 saat yaşlandırılmış dairesel profil çekme test grafiği	89
Şekil 6. 38. 160°C’de 4 saat yaşlandırılmış kare profil basma testi uygulanmış numunesi	90
Şekil 6. 39. 160°C’de 4 saat yaşlandırılmış kare profil basma test grafiği	91
Şekil 6. 40. 160°C’de 4 saat yaşlandırılmış kare profil basma test grafiği ile numune karşılaştırması	91
Şekil 6. 41. 160°C’de 6 saat yaşlandırılmış kare profil basma testi uygulanmış numunesi	92
Şekil 6. 42. 160°C’de 6 saat yaşlandırılmış kare profil basma test grafiği	93
Şekil 6. 43. 160°C’de 6 saat yaşlandırılmış kare profil basma test grafiği ile numune karşılaştırması	93
Şekil 6. 44. 160°C’de 8 saat yaşlandırılmış kare profil basma testi uygulanmış numunesi	94
Şekil 6. 45. 180°C’de 4 saat yaşlandırılmış kare profil basma testi uygulanmış numunesi	95
Şekil 6. 46. 180°C’de 6 saat yaşlandırılmış kare profil basma testi uygulanmış numunesi	96
Şekil 6. 47. 180°C’de 8 saat yaşlandırılmış kare profil basma testi uygulanmış numunesi	97

Şekil 6. 48. 200°C’de 4 saat yaşlandırılmış kare profil basma testi uygulanmış numunesi	98
Şekil 6. 49. 200°C’de 4 saat yaşlandırılmış kare profil basma test grafiği	99
Şekil 6. 50. 200°C’de 4 saat yaşlandırılmış kare profil basma test grafiği ile numune karşılaştırması	99
Şekil 6. 51. 200°C’de 6 saat yaşlandırılmış kare profil basma testi uygulanmış numunesi	100
Şekil 6. 52. 200°C’de 8 saat yaşlandırılmış kare profil basma testi uygulanmış numunesi	101
Şekil 6. 53. 160°C’de 4 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma testi uygulanmış numunesi	102
Şekil 6. 54. 160°C’de 4 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma test grafiği	102
Şekil 6. 55. 160°C’de 4 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma test grafiği ile numune karşılaştırması.....	103
Şekil 6. 56. 160°C’de 6 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma testi uygulanmış numunesi	104
Şekil 6. 57. 160°C’de 6 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma test grafiği	104
Şekil 6. 58. 160°C’de 6 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma test grafiği ile numune karşılaştırması.....	105
Şekil 6. 59. 160°C’de 8 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma testi uygulanmış numunesi	106
Şekil 6. 60. 180°C’de 4 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma testi uygulanmış numunesi	107
Şekil 6. 61. 180°C’de 6 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma testi uygulanmış numunesi	108
Şekil 6. 62. 180°C’de 8 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma testi uygulanmış numunesi	109
Şekil 6. 63. 200°C’de 4 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma testi uygulanmış numunesi	110
Şekil 6. 64. 200°C’de 4 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma test grafiği	111
Şekil 6. 65. 200°C’de 4 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma test grafiği ile numune karşılaştırması.....	111
Şekil 6. 66. 200°C’de 6 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma testi uygulanmış numunesi	112
Şekil 6. 67. 200°C’de 8 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma testi uygulanmış numunesi	113
Şekil 6. 68. 200°C’de 8 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma test grafiği	114
Şekil 6. 69. 200°C’de 8 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma test grafiği ile numune karşılaştırması.....	114

Sayfa

Şekil 6. 70. Kare profil numunelerinin mikroyapısal inceleme sonuçları.....	116
Şekil 6. 71. Dairesel profil numunelerinin mikroyapısal inceleme sonuçları	116
Şekil 6. 72. Tane boyutlarının kare ve dairese1 profil için karşılaştırmalı grafiği ...	117
Şekil 6. 73. Ekstrüzyon sırasında malzeme akışı [66]	117
Şekil 6. 74. Kare profil çekme test grafikleri	119
Şekil 6. 75. Dairesel profil çekme test grafikleri	120
Şekil 6. 76. Akma mukavemeti değerlerinin kare profil ve dairese1 profil için karşılaştırmalı grafiği	120
Şekil 6. 77. Çekme mukavemeti değerlerinin kare profil ve dairese1 profil için karşılaştırmalı grafiği	121
Şekil 6. 78. Kopma uzaması değerlerinin kare profil ve dairese1 profil için karşılaştırmalı grafiği	122
Şekil 6. 79. Kare profil basma testi uygulanmış numuneler	124
Şekil 6. 80. Dairesel profil basma testi uygulanmış numuneler.....	125

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2. 1. Elementlerin yer kabuğunda bulunma oranları [7]	5
Çizelge 2. 2. Elementlerin bulunma tarihleri [8].....	6
Çizelge 2. 3. Türkiye'deki boksit rezervleri [11]	8
Çizelge 2. 4. Boksit mineral formlarının sıcaklık ve basınç değerleri [9]	9
Çizelge 2. 5. Döküm alaşımlarının kimyasal bileşimi [30].....	18
Çizelge 2. 6. Döküm alaşımlarının ısıtılma işlem uygulanabilirlikleri [28].....	19
Çizelge 2. 7. Dövme alaşımlarının kimyasal bileşimi [30].....	19
Çizelge 2. 8. Dövme alaşımlarının ısıtılma işlem uygulanabilirlikleri [29].....	20
Çizelge 2. 9. Isıtılma işlem çeşitleri ve açıklamaları [28].....	29
Çizelge 5. 1. 6060 alaşımının kimyasal bileşimi [35].....	43
Çizelge 5. 2. 29 MN ekstrüzyon pres özellikleri.....	45
Çizelge 5. 3. Yaşlandırma parametreleri.....	46
Çizelge 5. 4. Çekme testi parametreleri	52
Çizelge 5. 5. Basma testi parametreleri.....	54
Çizelge 6. 1. Ortalama tane boyutları.....	115
Çizelge 6. 2. 6060 alaşımının TS EN 755-2 :2009 normuna göre mekanik özellikleri [36].....	118
Çizelge 6. 3. Çekme deneyleri sonucunda elde edilen mekanik değerler	118
Çizelge 6. 4. Kare profil numunelerinin basma testi sonrası yırtık oluşumu.....	123
Çizelge 6. 5. Dairesel profil numunelerinin basma testi sonrası yırtık oluşumu	124

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

KISALTMALAR

AA	: Aluminium Alloy (Alüminyum Alaşım)
TS	: Türk Standardı
EN	: European Norm (Avrupa Normu)
O	: Oksijen
Si	: Silikon
Al	: Alüminyum
Fe	: Demir
Ca	: Kalsiyum
Na	: Sodyum
K	: Potasyum
Mg	: Magnezyum
Ti	: Titanyum
H	: Hidrojen
Cu	: Bakır
Ag	: Gümüş
Au	: Altın
Co	: Kobalt
Mn	: Manganez
Cr	: Krom
α -AlO(OH)	: Diyaspor
Al(OH) ₃	: Gibbsit
γ -AlO(OH)	: Böhmit
CaO	: Kalsiyum Oksit
Fe ₂ O ₃	: Demir Oksit
SiO ₂	: Silika
TiO ₂	: Titanyum Oksit

Al_2O_3	: Alümina
NaAlO_2	: Sodyum Alüminat
$\text{Al}(\text{OH})_3$: Alüminyum Hidroksit
Na_3AlF_6	: Hexa Floro Alüminat
Mg_2Si	: Magnezyum Silisit
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NUST	: National University of Sciences & Technology
Ce	: Seryum
Yb	: İterbiyum
Zr	: Zirkonyum
GP	: Guiner-Preston
HB	: Brinell Hardness Number
HV	: Vickers Hardness Number
MN	: Mehanewton
mm	: Milimetre
sn	: Saniye
dk	: Dakika
m	: Metre
ISO	: International Organization for Standardization
SiO_2	: Silisyum Dioksit

SİMGELER

°C	: Santigrat
K	: Kelvin
µm	: Mikrometre
kV	: Kilo volt
µA	: Mikroamper
σ _a	: Akma Mukavemeti
σ _ç	: Çekme Mukavemeti
A	: Uzama

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Otomotiv sektörü dünya sanayi üretiminde ana üreticiler, fason üreticiler ve tedarikçiler gibi üretim dallarıyla çok büyük paya sahiptir. Bu nedenle, giderek artmakta olan çevre kirliliği ve iklim krizi gibi sorunlarda da başrollerdedir. Son yıllarda tüm ülkelerin daha çok üstünde durduğu karbon emisyonu azaltılması konusunda otomotiv sektörünün klasik fosil yakıtlı araçlar yerine elektrikli araçlara geçişi de kaçınılmaz olmuştur. Dünya çapında elektrikli araçların tanınması ve kullanımının artmasında çok büyük payı olan Tesla marka araçlar ile birlikte tüm büyük markalar da elektrikli araçlara geçiş sürecini hızlandırmışlardır. Bazı Avrupa ülkeleri fosil yakıtlı motorların üretim ve kullanımını tamamen terk etmeye yönelik adımlar atmaktadırlar. Otomotiv devi Audi markası geleneksel fosil yakıtlı araç üretimine 2033'e kadar son vereceğini duyurmuştur [67].

Elektrikli araç üretiminde aşılması gereken en büyük problemlerden bir tanesi de şasi ve tampon gibi bölümlerde çeliğin mukavemetine eşdeğer fakat çok daha hafif olan malzeme kullanılmasıdır. Araçlar hafifledikçe bir batarya ile daha uzun menzil gidilebilmesi mümkün kılınacaktır. Fakat çeliğin ağırlığı buna müsaade etmemektedir. Alüminyum elektrikli araçlar için mukavemet ve ağırlık konusunda çok büyük katkı vermektedir. Saf alüminyuma belirli oranlarda element ilave edilerek alaşımlandırma yapıp, ısıtma işlemleriyle de talep edilen mekanik özelliklere ulaşılmasına olanak sağlanmaktadır.

Bu çalışmada, araçlarda çarpışma kutusu tasarımlarında tercih edilen kare ve dairesel geometriye sahip iki adet direkt ekstrüzyon yöntemiyle üretilmiş profil kullanılmıştır. Alaşım olarak ekstrüzyon endüstrisinde sık kullanılan ve çarpışma kutusu parçalarında genellikle tercih edilen AA6060 alaşım tercih edilmiştir. Kimyasal bileşimi için ise TS EN 573-3 :2008 normunun belirlediği aralıklarda Mg, Si, Fe, Cu, Mn, Cr, Zn, Ti,

elementleriyle alaşımlandırma yapılmıştır. 530°C’de çözeltiliye alınıp hava ile soğutulan 80x80x2 mm kare ve Ø105x2 mm dairesel şekilli profillerin yaşlandırma işlemi 160°C, 180°C ve 200°C’lerde 4 ,6 ve 8 saat parametrelerinde yapılmıştır. Yaşlandırma işlemi sonucunda çekme testi, basma testi ve mikroyapı kontrolü yapılmıştır. Böylelikle farklı yaşlandırma parametrelerinin çarpışma kutusu olarak tercih edilen profillerin mekanik özelliklerine olan olumlu ve olumsuz etkileri gözlemlenmiştir. Çıkan sonuçlara göre en uygun yaşlandırma parametresine karar verilmiştir.

BÖLÜM 2

ALÜMİNYUM

2.1. ALÜMİNYUMUN TARİHÇESİ

Yerkabuğunda en yaygın üçüncü element olan alüminyum, tarihte III. Napolyon'un saygın misafirlerini ağırlarken kullandığı çatal bıçak setinden, Şekil 2.1'de gösterildiği üzere M.Ö. 3. yüzyıl başlarında ölen Çinli Komutan Zhou Zhu'nun mezar süslemelerine kadar tercih edilen bir metal olmuştur. [1,2].

Kesin bilgiler olmasa da insanlığın bilinenden çok daha eski zamanlarda alüminyum ile karşılaştığı da düşünülmektedir. The Natural History kitabında Roma İmparatoru Tiberius'a ustaların gümüşe benzeyen fakat gümüşten çok daha hafif, bilinmeyen bir metalden yapılmış fincanı hediye olarak sunulduğu belirtilmektedir [2].



Şekil 2. 1. Çinli Komutan Zhou Zhu'nun mezar süslemeleri [2].

1808 yılında İngiliz kimyacı Humphry Davy, alüminyum bazlı tuz olan şaptan (potasyum alüminyum sülfat) elektroliz yöntemiyle bilinmeyen bir metal elde edilebileceğini ileri sürdü ve adına Latince’de acı tuz anlamına gelen alüminyum adını verdi. Fakat Davy, bu tezini bir deney ile kanıtlamamıştır [4]. Üzerine bilimsel çalışmalar yapılmamasına karşın bu şap antik zamanlarda da kullanılmaktaydı. Komutan Archelaus, bu şapın ahşaba sürülmesi durumunda ateşe dayanıklı olduğunu keşfetti. Bu da onun ahşap surlarının alev saldırılarına karşı savunmasını güçlü kılmıştır [2].

Güney Fransa’da jeolog Pierre Berthier tarafından 1821’de kızıl kaya yatakları keşfedilmiştir. Bugün alüminyum üretiminde ham madde olarak kullanılan boksit bölgede madencilik çalışmaları sırasında ortaya çıkarılmıştır [4].

1825 yılında Danimarkalı Kimyacı Hans Christian Orsted alüminyum klorohidratı potasyum amalgam ile reaksiyona sokarak yüksek saflıkta olmasa da alüminyum elde etmeyi başaran ilk kişi olmuştur. Alman kimyacı Friedrich Woehler, Hans Christian Orsted’in çalışmalarını sürdürmüştür. Friedrich 1827’den 1845 yılına kadar katılaştırılmış ergimiş alüminyum toplar elde etmek için 18 yıl deneylerine devam etmiştir. Alüminyum üretimi 1856 yılına kadar kimyasal olarak gerçekleştirilmiştir. Yüksek miktar ürün eldesi amaçlanmamıştır. Kimyagerler sürece daha çok yeni bir madde keşfi olarak bakmıştır. Fakat Henri-Etienne Sainte-Claire Deville o güne kadar ki alüminyum üretimindeki kimyasal metodları endüstriyel uygulamalara entegre etmiştir. Woehler’in sürecini geliştirerek 1856’da Charles ve Alexandre Tissier’in tesislerinde ilk defa endüstriyel olarak alüminyum üretimini gerçekleştirmiştir [2]. İlk başlarda alüminyum güzel görüntüsü, parlaklığı ve hafifliğinden ötürü sanayi ve makine sektörü yerine, gündelik ve takı eşyalarında tercih edilmekteydi. Öyle ki Friedrich Woehler 3. Napolyon’un oğlu Prens Louis Napoleon için alüminyumdan bebek çingırağı üretmiştir.

Günümüzde halen kullanılan Hall-Heroult ergitme prosesi, 1886 yılında birbirinden habersiz ve eş zamanlı olarak Fransız Mühendis Paul Heroult ve Amerikalı öğrenci Charles Hall tarafından bulunmuştur. 1888’de Avusturyalı Kimyacı Karl Joseph Bayer, alkali çözeltiliye boksit ekleyip ısıtarak, ucuz ve uygulanabilir alümina

(alüminyum oksit) üretim metodunu icat etti [4]. Hall-Heroult ve Bayer prosesleri halen daha günümüzdeki üretim süreçlerinin temelini oluşturmaktadır.

2.2. ALÜMİNYUMUN ELDE EDİLMESİ

Alüminyum diğer elementlerle kolayca bağlanabildiği için, doğada saf halde bulunmamaktadır [3]. Boksit adı verilen cevher halinde bulunmaktadır (Şekil 2.2) [9].



Şekil 2. 2. Boksit cevheri [2].

Doğada metalik halinde bulunan metallere gümüş ile altın örnek olarak verilebilir. Alüminyum ise doğada metalik halde bulunmamaktadır ve saf olarak elde edilmesi için belli proseslerden geçirilmesi gerekmektedir [5]. Alüminyumun oksitlenmesinin çok hızlı gerçekleşmesi rafine edilmesini güç hale getirmektedir. Bu sebeple Çizelge 2.1'de belirtildiği üzere %8,13'lük oran ile yer kabuğunda en çok bulunan üçüncü element olmasına rağmen, bakır gibi metallere kıyaslandığında bulunma tarihi çok daha geçtir (Çizelge 2.2) [6].

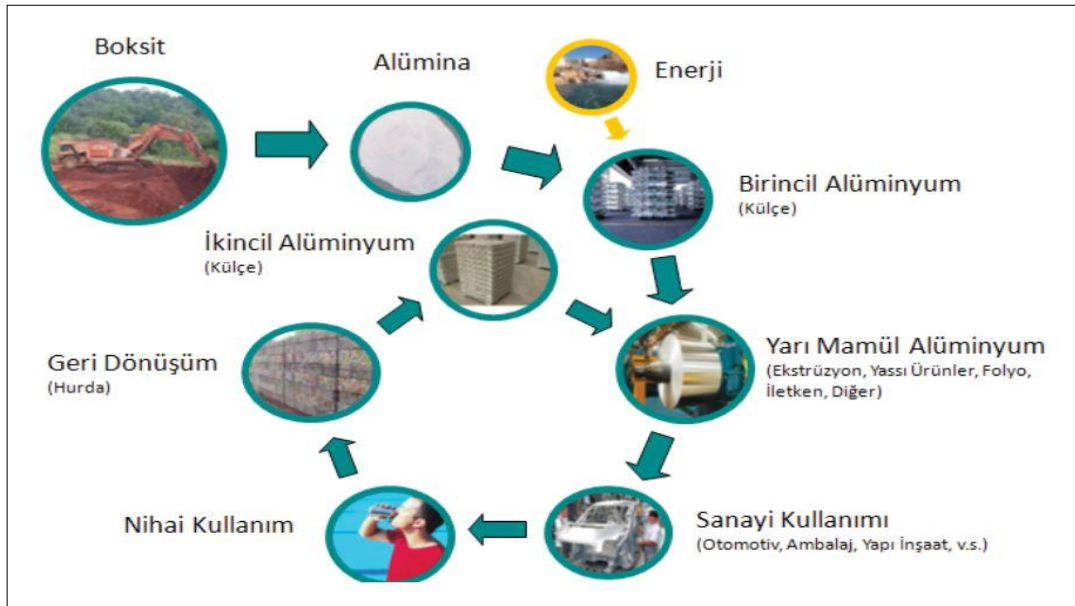
Çizelge 2. 1. Elementlerin yer kabuğunda bulunma oranları [7].

Element	Oksijen (O)	Silikon (Si)	Alüminyum (Al)	Demir (Fe)	Kalsiyum (Ca)
%	46,6	27,7	8,13	5	3,6
Element	Sodyum (Na)	Potasyum (K)	Magnezyum (Mg)	Titanyum (Ti)	Hidrojen (H)
%	2,8	2,59	2,09	0,44	0,14

Çizelge 2. 2. Elementlerin bulunma tarihleri [8].

Element	Bakır (Cu)	Gümüş (Ag)	Altın (Au)	Demir (Fe)	Kobalt (Co)
Tarih	Antik Çağ	Antik Çağ	Antik Çağ	1735	1751
Element	Magnezyum (Mg)	Manganez (Mn)	Krom (Cr)	Alüminyum (Al)	Titanyum (Ti)
Tarih	1755	1774	1774	1825	1830

Boksit cevherinin gerekli proseslerden geçirilmesiyle elde edilen saf haldeki alüminyum birincil alüminyum olarak adlandırılır. Hurda edilmiş alüminyum parçaların yeniden ergitilip geri dönüştürülmesiyle elde edilen ürün ise ikincil alüminyum olarak nitelendirilir. Birincil veya ikincil alüminyum, ekstrüzyon gibi şekil verme yöntemleriyle endüstriyel pazarda satılmak üzere yarı mamül haline getirilir [9].



Şekil 2. 3. Alüminyum döngüsü [12].

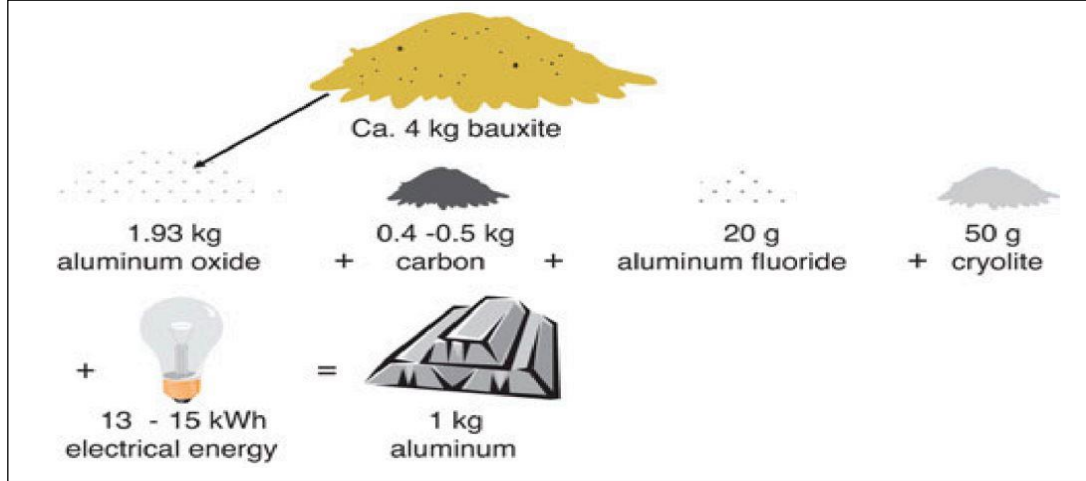
2.2.1. Birincil Alüminyum

Birincil alüminyum üretimi üç aşamalıdır: Bunlar;

- Boksit cevherinin çıkarılması ve rafinesi
- Bayer Prosesi
- Hall-Heroult Prosesi

şeklindedir.

Birincil alüminyum üretiminde, 4 kg boksitten 2 kg alüminyum oksit; 2 kg alüminyum oksitten 1 kg saf alüminyum elde edilir (Şekil 2.4).



Şekil 2. 4. Alüminyum üretimi için gerekli ham madde miktarları [9].

2.2.1.1. Boksit

Boksit, içerisinde yarı oranda alüminyum içeren tortul bir kayadır. Boksit içerisindeki alüminyum, her biri alüminyum hidroksit minerali olan diyaspor (α -AlO(OH)), gibsit ($Al(OH)_3$) ve böhmüt (γ -AlO(OH)) şeklinde bulunmaktadır. Ek olarak kalsiyum oksit (CaO), demir oksit (Fe_2O_3), silika (SiO_2) ve titanyum oksit de (TiO_2) mevcuttur.

Dünyada elde edilen boksitin %85'i alüminyum üretiminde kullanılmaktadır. Boksit cevheri madenciliğinde yer kabuğunun 2 – 20 metre altına inilmesi yeterli olmaktadır. Boksit içeren zeminler yumuşaktır. Bu nedenle aşağı inmek için diğer madencilik faaliyetlerinde olduğu gibi yüksek enerjiye gerek duyulmamaktadır [9]. Genellikle açık maden ocaklarıyla işlemler yapılmaktadır. Cevherin çok daha derinden çıkarıldığı madenler de mevcuttur. Örneğin Rusya'da bulunan Cheremkhovskaya-Deep madeni 1550 metre derinlikte havalandırma kuyularına sahiptir [10].

Brezilya, Avustralya, Çin, Gine boksit madenciliğinin yaygın yapıldığı ülkelerdir [9]. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün 2018 tarihli raporunda Türkiye'de 63

milyon tonu işletilmeye müsait olmak üzere toplam (görünmekte olan+ muhtemel) 422 milyon ton boksit rezervi mevcuttur. Antalya Akseki ve Konya Seydişehir sahip oldukları rezerv bakımından ilk sıralardadır. Çizelge 2.3'de Türkiye'deki boksit rezervlerinin bölgelere göre dağılımı verilmiştir [11].

Çizelge 2. 3. Türkiye'deki boksit rezervleri [11].

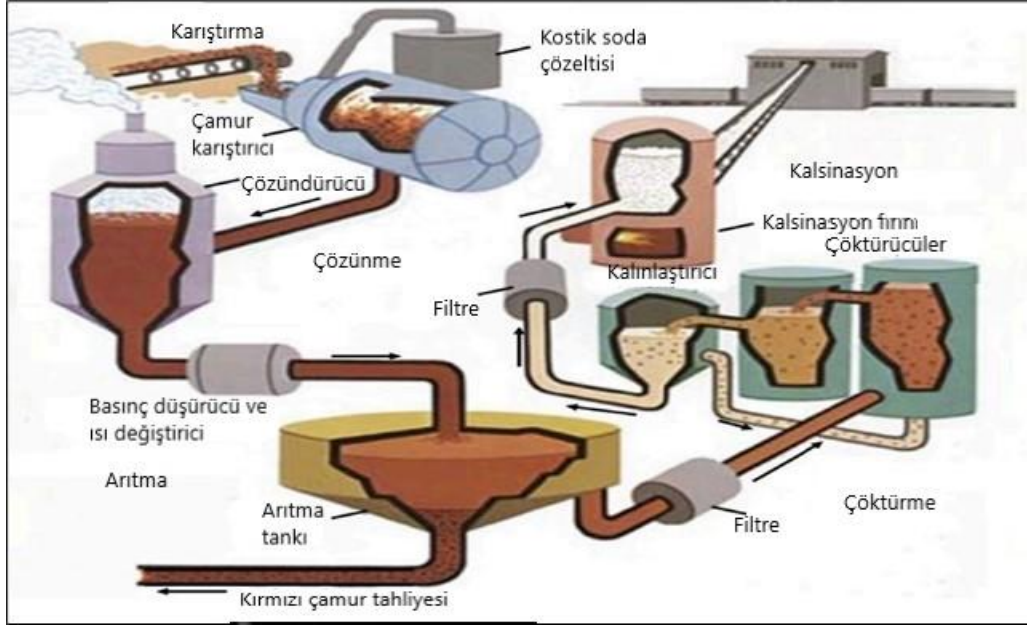
Bölgeler	Görünür Rezerv (000 ton)	Muhtemel Rezerv (000 ton)	Toplam Rezerv (000 ton)	İşletilebilir Rezerv (000 ton)	Boksit Tipi
Seydişehir Akseki	35.251	1.253	36.504	31.000	Böhmitik
Zonguldak Kokaksu	5.900	3.400	9.300	5.000	Böhmitik
Yalvaç-Şarkikarağaç	-	115.600	115.600	-	Demirli Diasporitik
Payas-İslahiye	-	215.500	215.500	-	Demirli Diasporitik
Tufanbeyli-Saimbeyli	5.500	6.000	11.500	9.800	Diasporitik
Muğla-Milas-Yatağan	9.400	11.200	20.600	17.500	Diasporitik
Bolkardağı	-	3.900	3.900	-	Diasporitik
Alanya	1.300	7.700	9.000	-	Diasporitik
Toplam	57.351	364.553	421.904	63.300	

2.2.1.2. Bayer Prosesi

1888 yılında Avusturyalı Kimyacı Karl Josef Bayer tarafından geliştirilmiştir. Proseste temel hedef boksit cevherinden konsantre sodyum hidroksit kullanarak alümina (Al_2O_3) olarak da bilinen alüminyum oksit elde etmektir. Proses dört aşamalıdır:

- 1) Çözünme
- 2) Arıtma
- 3) Çöktürme
- 4) Kalsinasyon

Prosesin işlem adımları Şekil 2.5’de detaylı olarak gösterilmektedir.



Şekil 2. 5. Bayer Prosesi [9].

Çözünme: Madenlerden gelen cevherler öğütülerek ufak parçalar haline getirilir. Öğütülmüş boksit kostik soda olarak da bilinen sodyum hidroksit ile karıştırılarak çamur kıvamında form elde edilir. Bu form çözüldürücüye pompalanıp orada boksitten silikanın çözünmesi ve sodyum alüminat (NaAlO_2) elde edilmesi için belirli sürelerde bekletilir. Bekletme sıcaklığı ve basıncı, mineralin hangi formda olduğuna göre değişmektedir (Çizelge 2.4) [9].

Çizelge 2. 4. Boksit mineral formlarının sıcaklık ve basınç değerleri [9].

Boksit Mineral Formu	Sıcaklık (°C)	Basınç (ATM)
Gibsit	135-150	1
Diyaspor	205-245	1
Böhmit	250 üzerinde	35

Arıtma: Çamur kıvamındaki form arıtma tankına gönderilir. Bir önceki proste kostik soda sayesinde alumina ve silika çözüldürülmüştür fakat çözünemeyen demir oksit, titanyum oksit ve kalsiyum oksit dibe çökerek kırmızı çamur olarak adlandırılan kalıntıya dönüşürler. Bu çamur arıtma tankından tahliye edilir. Çözünen silika yavaşça

ısıtılarak çökelti haline getirilir. Kalan çözelti kalıntılardan daha da arındırılması için bir filtreden geçirilir ve çöktürme tankına transfer edilir [9].

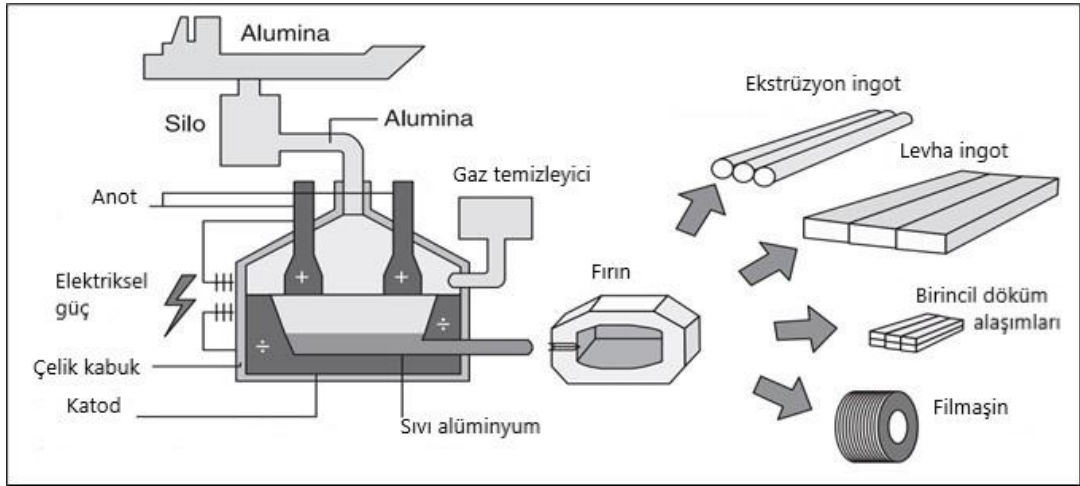
Çöktürme: Soğutulan çözeltilere alüminyum hidroksit ($Al(OH)_3$) eklenerek çökeltme süreci hızlandırılır. Hidroksit kristalleri çözünmüş alüminyum oksitler kendisine yapıştıkça büyüyeceklerdir. Böylece çözeltilerden %90'nın üzerinde bir oranda alüminyum hidroksit ayrıştırılabilmektedir [9].

Kalsinasyon: Çöktürme ardından alumina kristalleri bir filtrede toplanır, yıkanır ve $1260^\circ C$ 'de fırınlanarak bünyesindeki nem uzaklaştırılır. Böylelikle alumina elde etmiş olunur [9].

2.2.1.3. Hall-Heroult Prosesi

1886 yılında Amerikalı Öğrenci Charles Martin Hall ve Fransız Mühendis Paul Heroult birbirlerinden haberdar olmadan aynı zamanda prosesini icat etmişlerdir [9]. Alumina beyaz bir toz şeklindedir. Kimyasal olarak çok kararlı bir yapıdadır ve ergime sıcaklığı $2050^\circ C$ üzerindedir [13]. Bu süreçte kriyolit veya hexa flor alüminat (Na_3AlF_6) kullanılarak $2050^\circ C$ yerine $960^\circ C$ 'de elektroliz ile erimiş alüminyum elde edilebilmektedir. Hall-Heroult hücrelerinde karbon bloklar anot olarak kullanılır ve erimiş alüminyum oksit ve kriyolitten oluşan elektrolite daldırılır. Elektroliz $960^\circ C$ ve 6 V voltaj değerlerinde gerçekleşir. Belirtilen parametrelerle oluşturulan elektrolitik ortamda alüminyum ve oksijen arasındaki iyonik bağ 170.000 amperlik akım ile kırılır. Erimiş alüminyum 1 veya 2 günlük sürelerle hücrelerin dibinden toplanır. Elektroliz sürecinde alüminyum/ton başına 13 MWh enerji kullanılmaktadır [9].

Yüksek enerji ihtiyacından ötürü tesisler genelde enerji santrallerinin yakınına kurulmaktadır [14].



Şekil 2. 6. Hall-Heroult Prosesi [13].

2.2.2. İkincil Alüminyum

Birincil alüminyum üretimiyle karşılaştırıldığında yalnızca %5'lik enerji gereksinimi mevcuttur ve sera gazı yayılımı da %5 oranındadır. Alüminyum ve alaşımları mekanik özelliklerinden kayıp yaşamadan tekrar tekrar ergitilip yeniden şekil verme işlemlerine tabi tutularak %100 geri dönüştürülebilirler. Bu fonksiyonları sayesinde hem ekonomik hem de çevresel anlamda yenilenebilir kaynaklarda alüminyum çok önemli bir konumdadır [14].

2.2.3. Yarı Mamül

Alüminyum döküm, hadde ve ekstrüzyon yöntemleri ile nihai ürün yada yarı mamül hale getirilebilir [15].

2.3. ALÜMİNYUMUN ÖZELLİKLERİ VE KULLANIM ALANLARI

Alüminyum diğer metallerle kıyaslandığında sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özellikleriyle hayatımızda kendine gittikçe daha geniş alan bulmaktadır.

2.3.1. Geri Dönüştürülebilirlik

Alüminyum, hurdasının defalarca eritilip yeniden kullanılabilir olmasından ötürü hem çevreci hem de maliyet bakımından verimli bir metaldir [16]. Daha detaylı bilgi İkincil Alüminyum bölümünde verilmiştir.

2.3.2. Hafiflik

Diğer özellikleri arasında alüminyumu bu kadar popüler yapan ve gelecekte de vazgeçilmez hale getiren en önemli özelliklerden birinin hafiflik olduğu rahatlıkla söylenebilir. 2.70 gr/cm^3 yoğunluğu ile demir, çelik veya bakır gibi metallerden yaklaşık 1/3'ü oranındaki hafifliğiyle inşaat, makine sektörlerinin yanında taşımacılık, otomotiv ve dayanıklı tüketim malları sektörlerinde de yoğun olarak tercih edilmektedir.

Kamyon dorselerinde çelik yerine alüminyum kullanımıyla elde edilen ağırlıktaki düşüş, daha faydalı ağırlık artırımında veya daha fazla yük taşınmasına olanak sağlamaktadır. Otomotiv markaları modellerinde alüminyumu kullanarak çok efektif ağırlık azaltmaları yapmışlardır. Örneğin Opel Corsa 6. nesil modelinde motor, gövde, koltuk ve kaputta alüminyum kullanarak önceki modeline göre 108 kg hafifletilmiştir [17]. Diğer bir örnek ise 1994 yılında Ford Motor Company'nin yaptığı çalışmadır. 40 adet benzer model araçta 310 kglık bir hafifletmeyle, yakıt tasarrufunda %8'e yaklaşan iyileştirme sağlanmıştır [18].

2.3.3. Dayanıklılık

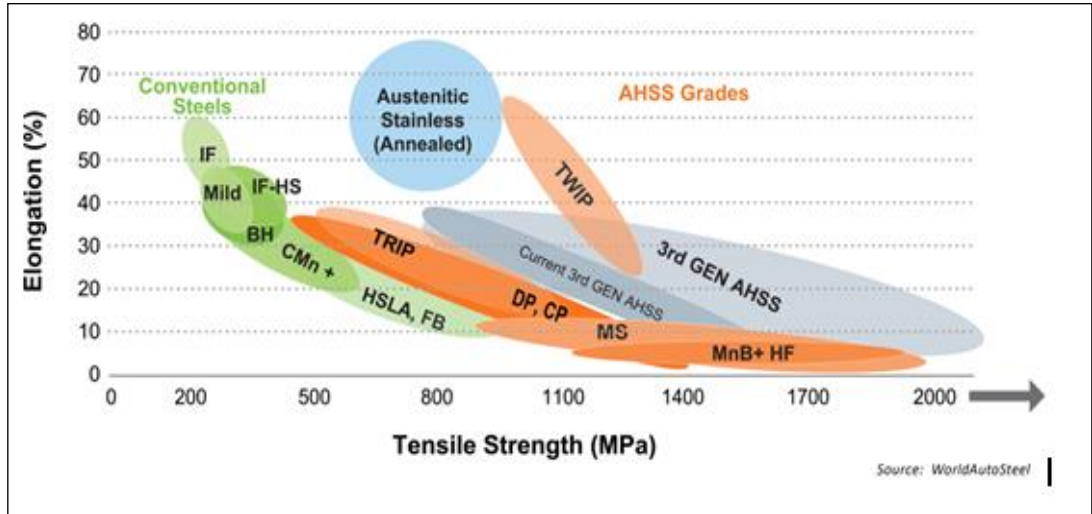
Alüminyum uygun alaşımlama ile çok yüksek mekanik değerlere sahip olabilmektedir. Saf haldeyken 49 Mpa olan çekme dayanımı, 7XXX serisi alaşımlarda 430 Mpa'a çıkabilmektedir. Yine saf haldeyken 20 olan Brinell sertlik değeri, uygun alaşımlama ile 175'e ulaşabilmektedir [17]. Bu sayede yapısal uygulamalarda alüminyum rahatlıkla kullanılabilir.

Elastisite modülü, kabaca malzemenin elastik deformasyona karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir. Malzemenin sertliğini tanımlamada kullanılmaktadır [16]. Alüminyumun 7×10^{10} N/m² olan elastisite modülü çelikte 2×10^{11} N/m²'dir. [19].

2.3.4. Yüksek Mukavemet·Ağırlık Oranı

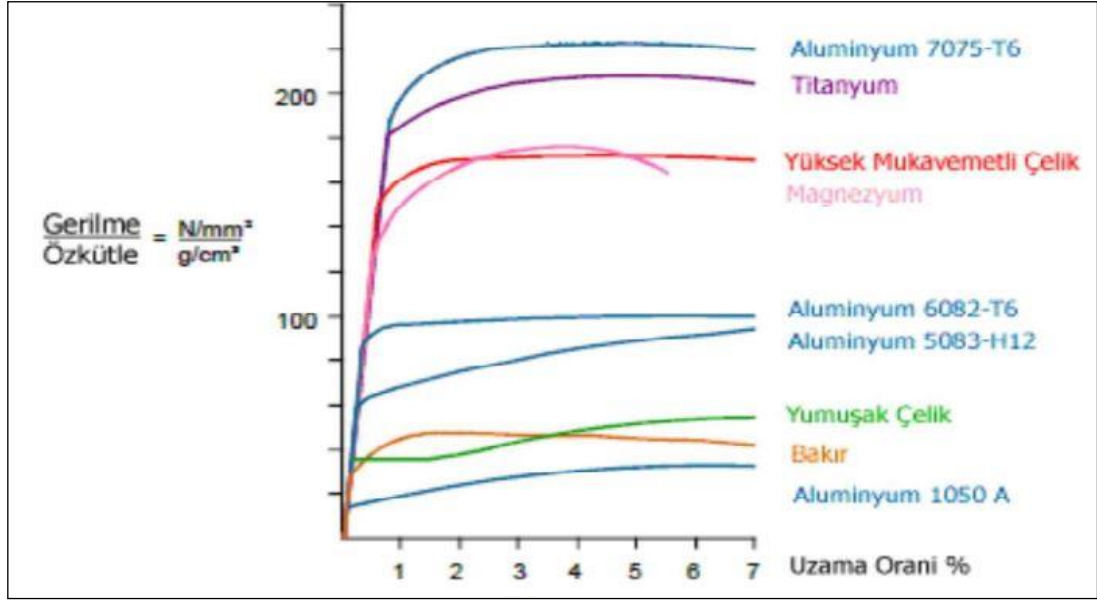
Alüminyumun hafifliği ile birlikte akma kuvvetinin özkütleyle bölünmesiyle bulunan yüksek mukavemet·ağırlık oranı, onu diğer ekonomik metallerle mukayese edilemeyecek bir konuma getirmektedir [16].

Özellikle otomotiv endüstrisinde tercih edilen, akma mukavemetleri 350 N/mm² değerinin altına düşmeyen ve ASTM normlarında A242, A572, A588, A606, A607, A618, A633,...A871 kodlarla tanımlanan yüksek mukavemetli çelikler en yüksek mukavemete sahip malzemelerdir [68]. Şekil 2.7'de otomotiv çeliklerinin mekanik özellikleri karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir [20].



Şekil 2. 7. Otomotiv çeliklerinin mekanik özellikleri [20].

Fakat dikkate alınan parametre mukavemet·ağırlık oranı ise, 7075 alüminyum en üst sırada yer almaktadır (Şekil 2.8) [15].



Şekil 2. 8. Malzemelerin mukavemet-ağırlık oranlarının karşılaştırılması [17].

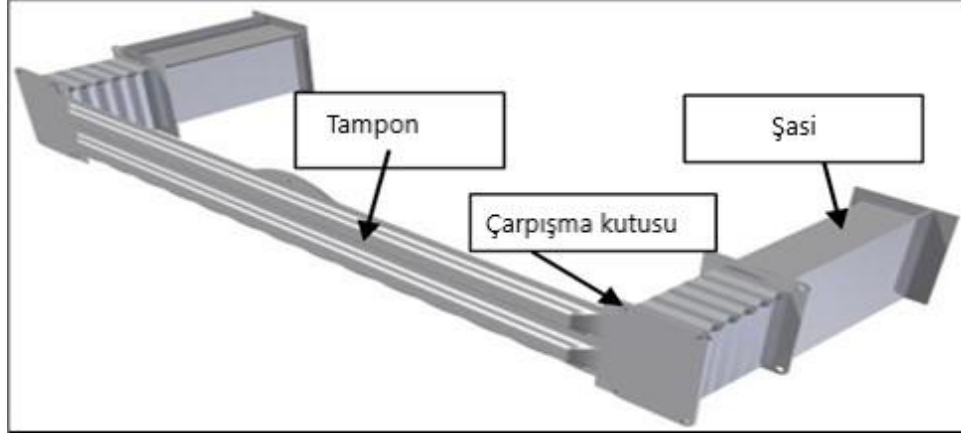
2.3.5. Korozyon Direnci

Alüminyum paslanmayan bir metaldir. Hava ile temas ettiğinde oksijenle reaksiyona girmektedir ve yüzeyinde korozyona dayanıklı ince bir oksit tabaka oluşmaktadır [16]. Çeliklerde korozyon dayanımının sağlanması için daldırma galvaniz gibi işlemler uygulanırken alüminyum bu korumaya kendiliğinden sahiptir [17]. Alüminyumun korozyon direncine alüminyum dökümden yapılan ilk heykellerden olan Londra Piccadily Meydanı'ndaki Eros temsil olarak gösterilebilir. Uzun süredir nemli atmosfere maruz kalmasına karşın paslanma ve yüzeyden derinde korozyona rastlanmamıştır [15-21]. Korozyon dayanımının daha da artırılması istendiğinde eloksal ve toz boya yüzey işlemleri de uygulanabilmektedir. Bu sayede malzeme tuzlu su yada diğer çeşitli kimyasallara da dayanıklı hale gelmektedir [16].

2.3.6. Elastiklik ve Enerji Sönümlenme

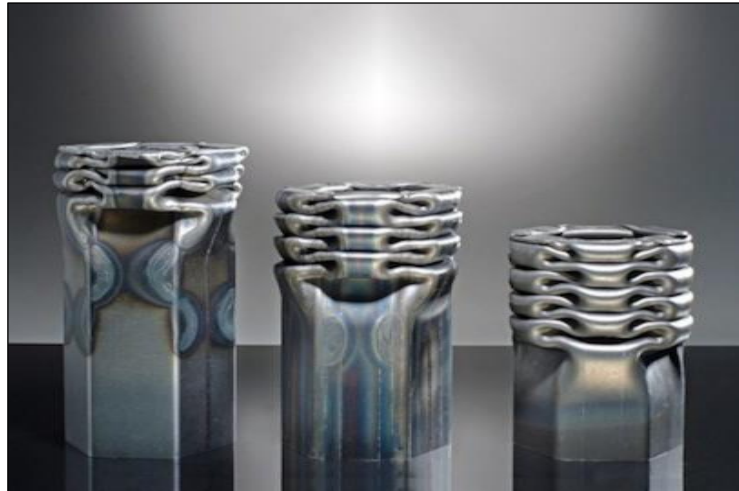
Araç şasislerinde kaza anında oluşan enerjiden hiç etkilenmeyen bir yapı üretilmesi mümkün olmadığı için, önden yapılan kazalarda araç içerisindeki yolcuların hasar

görmemesi için darbe sönümleyici yapılar kullanılmaktadır. Ön ve arka tampon sistemlerindeki çarpışma kutuları bu amaçla kullanılan parçalardır (Şekil 2.9) [17].



Şekil 2. 9. Araç tampon sistemi [23].

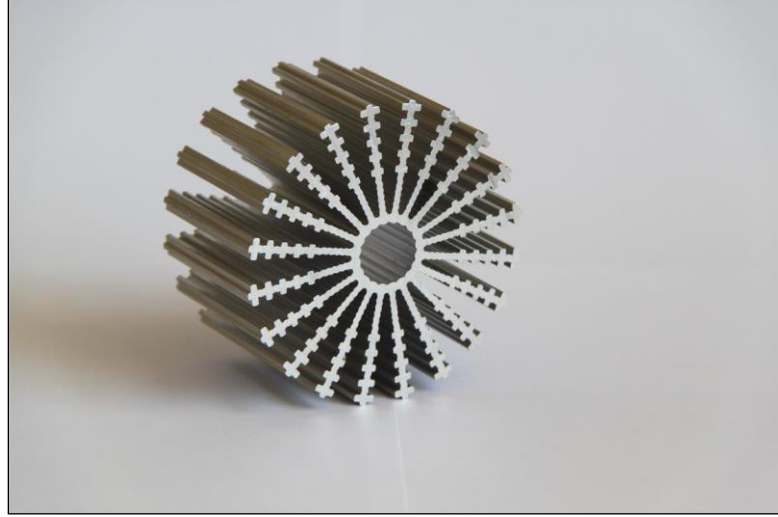
Kaza anında bu yapının kırılmadan ezilerek enerjiyi sönümlemesi beklenmektedir. (Şekil 2.10) Böylece darbe kuvvetinin yolculara ulaşması engellenmektedir [22]. Çarpışma kutuları malzemesi olarak genellikle 6XXX serisi alüminyum tercih edilmektedir. Alüminyumun elastiklik ve enerji sönümlene özellikleri en iyi bu parçada görülmektedir



Şekil 2. 10. Ezme testi uygulanmış numuneler [24].

2.3.7. Isı iletkenliği

Sıcak veya soğuğun iletimi işlevi gören uygulamalarda alüminyum sıklıkla kullanılmaktadır [16]. 0-100°C aralığındaki alaşımlanmamış alüminyum 244 W/mK ısıl iletkenliğe sahiptir. Bu özelliği ile ısı değiştiricilerde, radyatörlerde tercih sebebidir.



şekil 2. 11. Soğutucu profil [26]

2.3.8. Nontoksiklik

Gözeneksiz ve pürüzsüz yüzeyi sayesinde kolayca temizlenebilmektedir. İnsan sağlığına zararlı bakteri vb. mikroorganizma barındıran yiyecek-içeceklerden iç yapısına herhangi bir nüfuziyet olmamakta ve yüzeyinde organizmalar toplanıp oğalamamaktadır. Bu özelliği ile yemek hazırlama ve saklama platformları için harika bir malzemedir [16].

2.3.9. Yansıtıcılık

Kaplamasız halde alüminyum %80'den fazla yansıtıcılığa sahiptir. Alüminyum yalnızca ışığı değil radyo dalgaları ve kızılötesi ışınları da yansıtabilmesi sayesinde elektromanyetik kalkanlama uygulamalarında kullanılmaktadır [16].

2.3.10. Elektrik İletkenliği

Bakırdan %30 daha hafif olan alüminyum bakırın iletkenliğinin %61'ine sahiptir. Buradan alüminyum bir çıplak telin iletkenliği ile iki katı ağırlığında bakır telin iletkenliklerinin aynı olduğu sonucu çıkarılabilmektedir [27].

2.3.11. Mıknatıslanmama

Alüminyumun manyetik ortamlardan etkilenmemesi sayesinde yüksek voltaj donanımlarında kullanılmaktadır [16].

2.3.12. Kriyojenik Dayanımı

Çok düşük sıcaklıklarda özelliklerini koruyabilmesi sayesinde uzay çalışmaları için uygun bir metaldir [16].

2.3.13. Yanmazlık

Yanmazlık özelliği sayesinde yanıcı ve patlayıcı ortamlarda kullanıma uygundur [16]. İnşaat dış cephe kaplamalarında yanmaz alüminyum kompozit panel ürünler kullanılmaktadır.

2.4. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Hafifliğinin yanında sahip olduğu ideal mekanik özellikleri sayesinde alüminyum, demir ve çelik malzemelerin ardından kullanımı en yaygın metaldir [28]. Alüminyum korozyon direncinden, işlenebilirliğe kadar birçok üstün özelliği bünyesinde barındırmaktadır. Kullanım yerine göre bazı özelliklerin öne çıkması beklenmektedir. Bu sebeple nikel, çinko, magnezyum, manganez gibi elementlerle alaşım oluşturularak beklenen seviyede mekanik özellikler elde edilebilmektedir. Alaşım elementleri saf alüminyuma yüzde 0.05 ile 7.0 oranlarında eklenmektedir [16].

2.5. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SINIFLANDIRILMASI

İmalat yöntemlerinde prosesin düzgün şekilde gerçekleşmesi için şekillendirilecek hammaddelerin kimyasal bileşen ve mikroyapılarında bazı beklentiler mevcuttur. Bu durum alüminyumda da geçerlidir. Bu sebeple temel olarak alüminyum alaşımları döküm (basınçlı döküm vb.) ve dövme (ekstrüzyon vb.) alüminyum alaşımları olarak iki temel gruba ayrılır. Bu iki temel gruptaki alaşım türleri de ısıtma işlemi uygulanabilir veya uygulanamaz olarak gruplandırılır. Isıtma işlemi uygulanabilen alaşımlar belli proseslerden geçirilerek çökelme sertleşmesi elde edilebilenlerdir. Uygulanamayanların ise mekanik özelliklerin iyileştirilmesi çökelme sertleşmesi ile değil soğuk şekillendirme ile sağlanmaktadır [28].

2.5.1. Alüminyum Döküm Alaşımları

Ergime sıcaklıkları düşük olan döküm alaşımları kumlama, kokil kalıba döküm gibi yöntemlerle üretilirler [32]. Çizelge 2.5 ve Çizelge 2.6'da sırasıyla döküm alaşımlarının kimyasal bileşenlerine göre sınıflandırılması ve ısıtma işlemi uygulanabilirlikleri belirtilmektedir. Döküm alaşımları dört rakamla tanımlanırlar. Alaşımı oluşturan ana element ilk rakamla, alaşımın saflık derecesi ikinci ve üçüncü rakamla belirtilmektedir. Üçüncü rakamdan sonra nokta konulur ve noktadan sonraki rakam parçanın durumunu belirtir [29]. Parça durumu tanımlarında kullanılan rakamların anlamları aşağıda belirtilmiştir:

0: Döküm,

1: İngot,

2: Kompozisyonu daraltılmış ingot [33]

Çizelge 2. 5. Döküm alaşımlarının kimyasal bileşimi [30].

Seri No	Al	Cu	Mg	Si	Zn	Sn	Diğer	Not
1XX.X	x (≥ 99.00 Al)							
2XX.X	x	x						
3XX.X	x	x	x	x				Al-Si-Cu veya Al-Mg-Si

4XX.X	x		x		
5XX.X	x		x		
6XX.X					Kullanılmıyor
7XX.X	x		x	x	
8XX.X	x				x
9XX.X	x				x

Çizelge 2. 6. Döküm alaşımlarının ısı işlem uygulanabilirlikleri [28].

Seri No	Isıl İşlem		Not
	Uygulanabilir	Uygulanamaz	
1XX.X		x	
2XX.X	x		
3XX.X		x	
4XX.X	x		Eğer Mg varsa
5XX.X		x	
6XX.X			Kullanılmayan seri
7XX.X	x		
8XX.X	x		
9XX.X			

2.5.2. Alüminyum Dövme Alaşımları

Döküm alaşımlarında olduğu gibi dövme alaşımlarında da tanım dört rakamlıdır fakat üçüncü rakamdan sonra nokta yoktur. İlk rakam dökümde olduğu gibi temel bileşeni, ikinci rakam safsızlık elementlerinin sayısını belirtir. Saf alüminyum alaşımlarda %99,60, %99,63 vb. oranlarda küsürlü şekilde bulunur. Üçüncü ve dördüncü rakamda 99'dan sonraki küsüratı tanımlamak için kullanılır [30]. Dövme alaşımlarının içeriği Çizelge 2.7'de, ısı işlem uygulanabilirlik durumları Çizelge 2.8'de belirtilmektedir.

Çizelge 2. 7. Dövme alaşımlarının kimyasal bileşimi [30].

Seri No	Al	Cu	Mn	Mg	Si	Zn	Sn	Diğer	Not
1XXX	x (99.00 Al)								Saf alüminyum

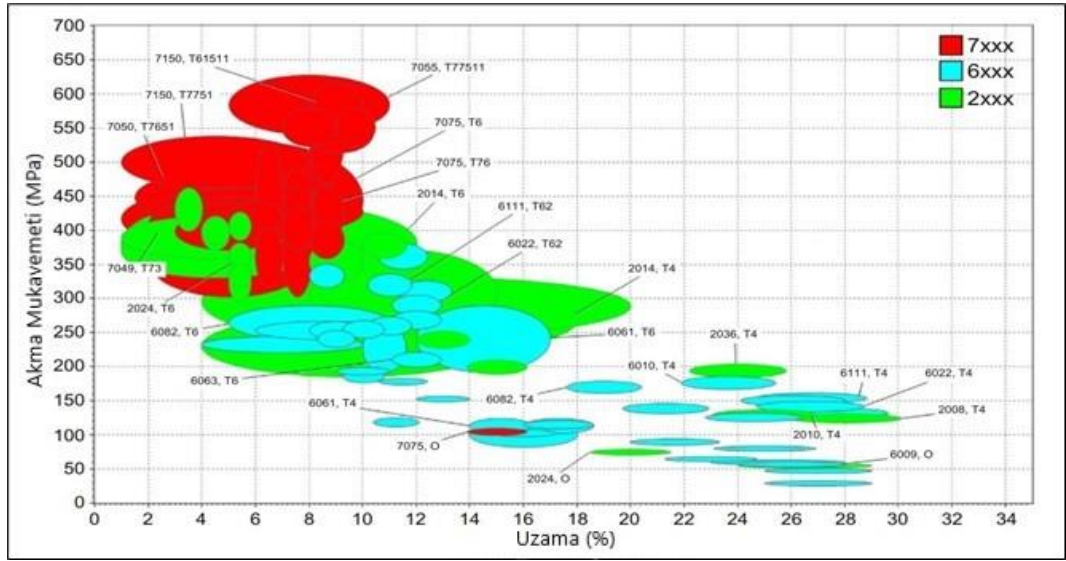
2XXX	x	x			
3XXX	x		x		
4XXX	x			x	
5XXX	x		x		
6XXX	x		x	x	
7XXX	x				x
8XXX	x				x
9XXX	x				Kullanılmıyor

Çizelge 2. 8. Dövme alaşımlarının ısıtıl işlem uygulanabilirlikleri [29].

Seri No	Isıl İşlem		Not
	Uygulanabilir	Uygulanamaz	
1XXX		x	
2XXX	x		
3XXX		x	
4XXX		x	
5XXX		x	
6XXX	x		
7XXX	x		
8XXX			-
9XXX	x		

Çizelge 2.5 ve Çizelge 2.7’de alaşımların kimyasal bileşiminde ağırlıkça en yüksek oranda bulunan elementler belirtilmiştir. Bu alaşım serilerinde istenen özelliklere ulaşabilmek adına Çizelge 2.5 ve Çizelge 2.7’de belirtilenlerin dışında elementlerin ilavesi de yapılmaktadır.

Isıl işlem uygulanabilen alaşımların mekanik özellikleri Şekil 2.12’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir [37].



Şekil 2. 12. Isıl işlem uygulanabilen alaşımların mekanik özellikleri [37]

2.5.2.1. 1XXX Serisi Alüminyum Alaşımları

Düşük işlenebilirlik, yüksek korozyon direnci, yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, tüm yöntemlerle kolay birleştirilebilirlik ve düşük mukavemet özelliklerine sahip; minimum %99 oranında saf alüminyum içermektedir.

Ticari saf alüminyum olarak nitelendirilen 1100 alaşımı dayanıklılığın öncelik olmadığı uygulamalarda tercih edilir. En yumuşak alaşım olan 1060 ise kablolarda mantolama amaçlı kullanılmaktadır. [16].

2.5.2.2. 2XXX Serisi Alüminyum Alaşımları

Bu alaşım serisindeki üretim çalışmaları, Kuzey Amerika'da 2025 (Al-%4.5Cu) alaşımının geliştirilmesiyle başladı. Halen havacılıkta dövme parçalarda kullanılan bu alaşım, yaşlandırılabilirliğe olumsuz etkisi olan Mn ve Si de içermektedir. 1954 yılında üretimi gerçekleşen 2219 alaşımı mekanik özellikler bakımından 2025 'e benzerdir fakat, kaynaklanabilirliği ve kırılma tokluğu daha yüksektir. İlk aşamada piyasaya yüksek sıcaklık dayanımı özelliği ile sunulmuş olsa da günümüzde yüksek kaynaklanabilirlik özelliği için tercih edilmektedir. Temel alaşım elementi olarak bakıra ilaveten kurşun da içeren 2011 alaşımının işlenebilirliği yüksektir [34].

2.5.2.3. 3XXX Serisi Alüminyum Alaşımaları

1100 alaşımına manganez ilave edilmesiyle ilk Al-Mn alaşımı olan AA3003 elde edilmiştir [34]. İyi korozyon direnci ve şekil verilebilirliği sayesinde basınçlı kaplarda ve ısı değiştiricilerde kullanılır [16].

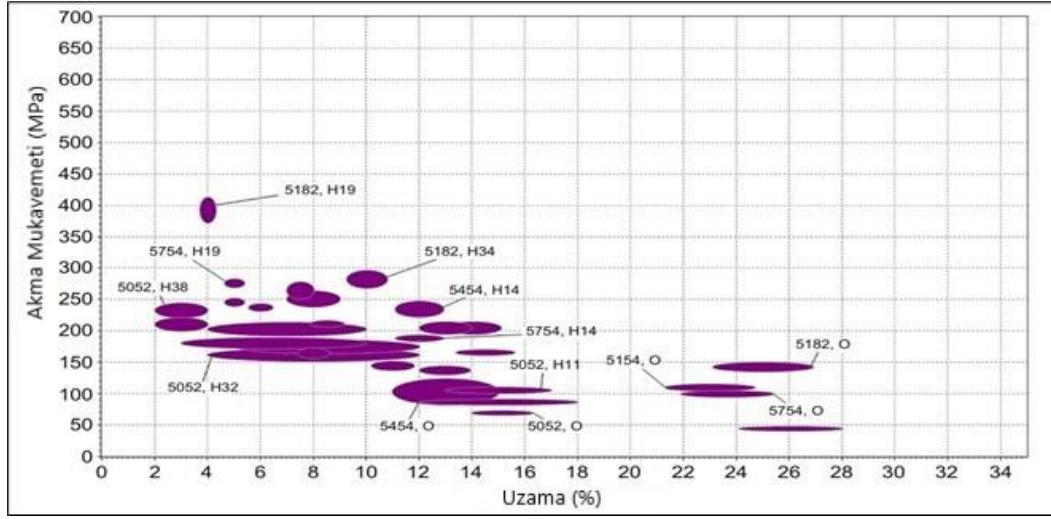
2.5.2.4. 4XXX Serisi Alüminyum Alaşımaları

Dövülmüş piston ve bazı mimari uygulamalar hariç 4XXX alaşımalar lehim ve kaynak işlemlerinde dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Isıl işlem alaşım bileşimindeki silisyumun küreselleşmesine ve birleşmesine sebep olmaktadır [34].

2.5.2.5. 5XXX Serisi Alüminyum Alaşımaları

5XXX serisi, ısıl işleme uygun olmayan en iyi ticari alüminyum alaşımı olarak nitelendirilmektedir. Sıcak şekillendirilebilirlikleri iyi değildir çünkü sıcak şekillendirme prosesi esnasında sert yapıdadırlar. Bu nedenle ekstrüzyonu yapılırken yüksek sıcaklıklarda çalışılmaktadır. Saf alüminyum kadar iyi korozyon direncine sahiptirler fakat mukavemetleri daha yüksektir. Uzay ve gemi yapımı alanlarında çok yüksek oranda kullanılmaktadırlar.

Mg atomu Al'dan %12 oranında daha büyüktür ve gerilim sertleşmesinin artmasına epeyce katkı sağlar. Alaşım içeriğinde Mg oranı %5-6 oranını geçmemektedir. Yüksek Mg oranına sahip alaşımlara şekil verilmesi zorlaşır ve taneler arası ve gerinim korozyonuna müsait hale gelirler [34]. 5XXX serisi alaşımların mekanik özellikleri Şekil 2.13'de karşılaştırmalı olarak belirtilmiştir [37].



Şekil 2. 13. 5XXX serisi alaşımların mekanik özellikleri [37]

2.5.2.6. 6XXX Serisi Alüminyum Alaşımları

Magnezyum ve silisyum alaşım elementi olarak 1918 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Bugün ekstrüzyon sektöründe en geniş kullanım alanına sahip alaşımlar, Al-Mg-Si yani 6XXX serisidir. Bileşimindeki magnezyum silisid (Mg_2Si) 6XXX serisi alaşımları ısıtma işlemi görebilir ve T6 kondisyonunda orta seviyede dayanıklılığa ulaşabilir olmasını sağlamaktadır. 6061, 6082, 6063, 6060, 6005 seriedeki en yaygın kullanılan alaşımlardır.

2.5.2.7. 7XXX Serisi Alüminyum Alaşımları

Isıl işlem uygulanarak 600 MPa gerilme kuvvetine ulaşabilen 7XXX serisi alaşımlar, çok yüksek dayanıklılık gerektiren özel uygulamalarda kullanılmaktadır. Yüksek çözünebilirliğe sahip çinko bu seride ağırlıkça en fazla olan elementtir. Bakır eklenmesi alaşımın dayanıklılığını arttırmaktadır. Kırılma tokluğu, oda sıcaklığında şekillendirilebilir ve kaynak edilebilirlikleri düşüktür. Fe ve Si gibi safsızlıkların konsantrasyonu düşürülerek kırılma tokluğu artırılabilir [37]. Genellikle havacılık uygulamalarında tercih edilmektedir [16].

2.5.2.8. Alüminyum-Lityum Alaşımaları

Havacılıkta yapısal parçaların ağırlığını azaltmak için kullanılan en verimli yolun, kullanılan malzemenin yoğunluğunun düşürülmesi olduğu kabul edilmektedir. 0.54 g/cm^3 yoğunluğu ile lityum alüminyum için yüksek çözübilirliğe sahip elementlerden biridir. Her %1'lik lityum ilavesi alaşımın yoğunluğunu %3 düşürmektedir ve elastik modülünü %6 arttırmaktadır. Ayrıca alüminyum-lityum alaşımaları ısıl işlem uygulanabilir alaşımlardır [38].

Geleneksel yüksek mukavemetli alaşımlarla karşılaştırıldığında daha hafiftirler ve akma-çekme mukavemetleri de yüksektir. Yorulma çatlaklarının büyümesine karşı dirençlidirler ama halen korozyon dirençlerinin artırılması gerekmektedir. Diğer alaşımlara göre pahalıdır. Yüksek miktar üretim yapılmak istendiğinde yeterli miktarda temin edilememe riski mevcuttur. Bu durum tasarımcıların malzeme seçimlerinde alüminyum-lityum alaşımalarını öncelikli olarak tercih etmemelerine neden olmaktadır [39].

2.5.2.9. Yeni Geliştirilen Alaşımlar

Özellikle otomotiv ve havacılık sektöründe geleneksel alüminyum alaşımlarına göre çok daha hafif fakat, daha yüksek mukavemet değerlerine sahip yeni alaşım üretme araştırmaları devam etmektedir.

NASA Marshall Uzay Uçuş Merkezi araştırmacıları tarafından geliştirilen NASA-427 alaşımı yüksek gerilme mukavemeti ve sünekliğe sahiptir [40].

Ulusal Bilim ve Teknoloji Üniversitesi (NUST), Sibirya Federal Üniversitesi ve Krasnoyarsk Devlet Teknik Üniversitesi'nin Manyetik Hidrodinamik Araştırma ve Üretim Merkezi araştırmacılarının Materials Letters adlı akademik dergide yayınlanan makalelerinde havacılıkta ağır bakır iletkenlerin yerini alacak yeni bir alüminyum alaşımın keşfedildiği belirtilmektedir. Yeni alaşım, 4000°C 'ye kadar kararlı yapısını koruyabilmektedir. Bu değer geleneksel alaşımlardan 16 kat daha iyidir [41].

Rio Tinto Firması araç tekerleri için Revolution-Al™ ismini verdikleri alaşımı geliştirmiştir. Yeni alaşım, geleneksel araç tekeri alaşımlarına göre %15-20 oranında daha güçlü olmasının yanında %7 oranında ağırlığı azaltmaktadır [42].

2.6. ELEMENTLERİN ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINA TESİRİ

Kullanım amacına göre saf alüminyum arzu edilen mikroyapı ve mekanik özelliklere ulaşılabilmesi için muhtelif elementlerle alaşımlandırılmaktadır. Elementlerin alüminyum alaşımlarındaki oluşturduğu etkiler bu bölümde izah edilmektedir.

2.6.1. Silisyumun Tesiri

Çoğunlukla döküm alaşımlarında kullanılan silisyum, en önemli alaşım elementlerdendir. Yüksek akışkanlığı sayesinde dökülebilirliği yüksektir. 2.34 g/cm^3 düşük yoğunluğu ile alaşımın toplam ağırlığını düşürmede fayda sağlayabilmektedir. Alaşımın termal genleşme kat sayısını ve işlenebilirliğini düşürür. Silisyum içeriğinin artışına bağlı olarak uzama da kademeli olarak artmaktadır. %12'lik silisyum içeriğinde uzama maksimum değerine ulaşmaktadır. Silisyumun ağırlık yüzdesine bağlı olarak Al-Si alaşımları üçe ayrılmaktadır [43]:

Hipoötektik: Silisyum ağırlığı $< \%12$,

Ötektik: Silisyum ağırlığı $< \%12-13$,

Hiperötektik: Silisyum ağırlığı $< \%14-25$.

2.6.2. Bakırın Tesiri

Bakır, alüminyumu farklı elementlerle birleştirerek alaşım oluşturma çalışmalarında kullanılan ilk elementtir. Dövme alaşımlarda ideal kullanılma oranı %3-5'tir [6]. Mukavemeti, sertliği ve işlenebilirliği arttırırken korozyon direncini düşürür [43].

2.6.3. Magnezyumun Tesiri

Deformasyon sertleşmesi karakteristiklerinin gelişimi ve güçlenmesine ciddi katkı sunmaktadır. Korozyon direnci ve kaynaklanabilirliğe olumlu etkisi vardır. Silisyum ile Mg_2Si fazında birleşerek alaşımın mukavemetini artırır [43].

2.6.4. Nikelin Tesiri

Alüminyum-nikel alaşımlarının mikroyapısı, alüminyum matrisinde Al_3Ni şeklindeki bir intermetalik bileşiğin homojen ve ince dağılımını sunar. İntermetalik bileşimin varlığı sertlik, basınç ve eğilme dayanımını arttırmaktadır [43].

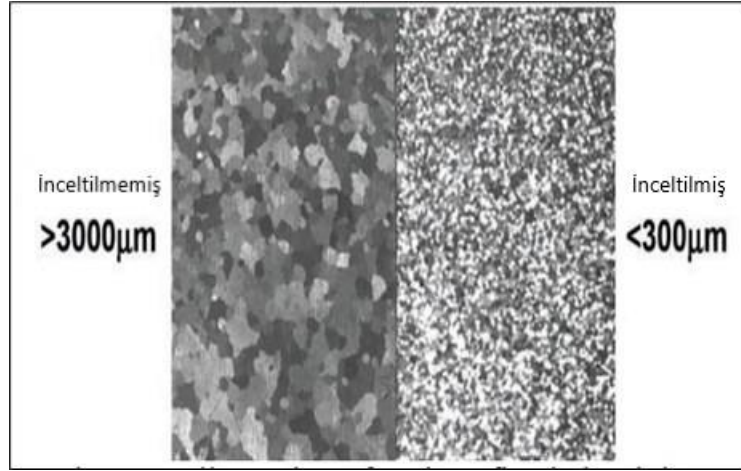
2.6.5. Kalayın Tesiri

Burç ve rulman uygulamalarında kullanılacak alaşımlarda sürtünmeyi azaltmak için kullanılmaktadır [43].

2.6.6. Titanyumun Tesiri

Titanyumun alaşım elementi olarak tane inceltici tesiri mevcuttur. Şekil 2.14'te tane incelmesi gösterilmektedir. Korozyon dayanımının artırılması için titanyum miktarı olması gereken seviyeden yüksek bir değere çıkarılabilir. Fakat titanyum oranı %0.15'lik peritektik noktanın üzerine çıkarılırsa alaşım üzerindeki tane inceltici özelliğini olumsuz etkileyebilir ve dökümde zorluklara neden olabilir.

Mikrosertliği artırmasının bir sonucu olarak alaşımın aşınma direncini de arttırmaktadır. Al-Ti alaşımlarında yüksek aşınması direnci elde etmek için $200^{\circ}C - 6$ saat parametrelerinde yapılan ısıl işlem iyi sonuçlar vermektedir [43].



Şekil 2. 14. Titanyumun tane inceltici etkisi [43].

2.6.7. Manganezin Tesiri

Alaşımındaki manganezin ağırlık yüzdesinin %0.5'e kadar çıkarılması süneklığe olumsuz etki yapmadan akma ve maksimum çekme dayanımını önemli ölçüde arttırmaktadır. Korozyon direncini artırıcı etkisi de mevcuttur [43].

2.6.8. Çinkonun Tesiri

Alaşımına diğer elementlerle birlikte eklenerek Mg_2Zn gibi ara fazları oluşması sağlanır ve böylece mekanik özelliklerin daha iyi seviyelere gelmesinde kullanılmaktadır [44]. Mukavemet artışının yanında yüzey kalitesi, işlenebilme kabiliyeti, tribolojik özelliklere de olumlu katkı sunmaktadır [45]. 7078 ve 7075 alaşımlarının başlıca alaşım elementidir [6].

2.6.9. Demirin Tesiri

Alüminyum içerisinde çözünürlüğü düşük olan demir elementi alaşımlarda empürite olarak görülmektedir. Al-Si temelli alaşımlarda olumsuz yönde etkilerini gösteren çalışmalar olsa da dövme alaşımlarda işlenebilirlik ve mukavemet artışına olumlu etkisi mevcuttur [46].

2.6.10. Nadir Toprak Elementlerinin Tesiri

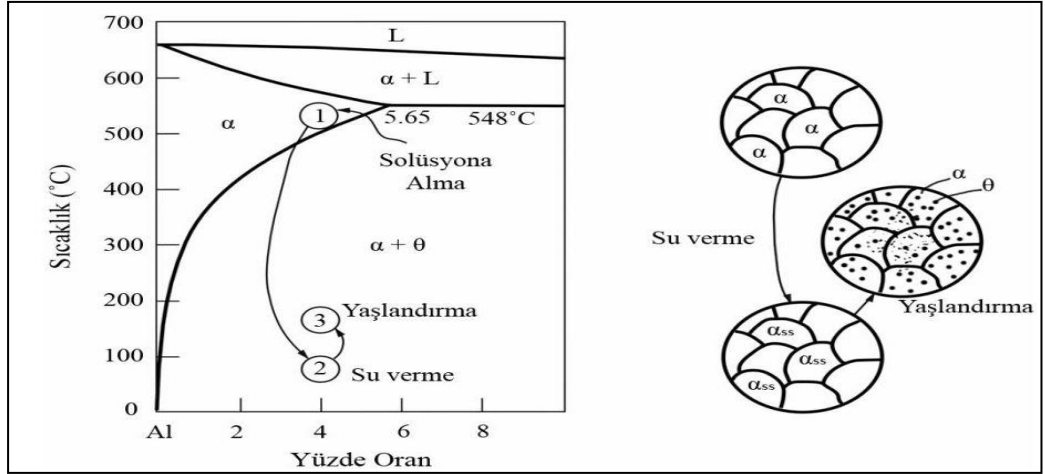
Seryum (Ce) Al-Cu-Mg-Ag alaşımlarında termal stabiliteyi geliştirmektedir. Al-Cu-Mg-Ag ve Al-Zn-Mg-Cu-Zr alaşımlarına iterbiyum (Yb) ilavesi, mekanik özelliklerin iyileşmesine katkıda bulunduğu bazı araştırmalarda gözlemlenmiştir. Ayrıca Al-Zn-Mg-Cu alaşımlarına iterbiyum (Yb), krom (Cr) ve zirkonyum (Zr) elementlerinin ilavesi, yeniden kristalleşme direncini arttırmaktadır [43].

2.7. ISIL İŞLEM

Saf alüminyum kullanım alanlarına göre arz edilen özelliklerin hepsine sahip değildir. Bu nedenle belirli element ilaveleriyle alaşımlandırılmaktadır. İlave edilen bu elementlerin alüminyum içerisinde çözünmesi ve çökmesi alaşımın özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle alaşımların sertlik, işlenebilirlik, iletkenlik vb. özelliklerinin artırılması için malzemelere çözünme, çökme gibi süreçlerin kontrol edilebildiği ısıtım işlem uygulanmaktadır [47].

Alüminyumda ısıtım işlem, çökme sertleşmesi esasına dayanmaktadır. Malzemenin barındırdığı ana faza göre azınlık miktardaki ikinci fazın ana matriks içerisinde kontrollü bir biçimde çökeltmesi, çökme sertleşmesinin temel amacıdır. Malzemenin mukavemeti, aşırı doymuş haldeki eriyikte ikinci fazın çökmesi neticesinde dislokasyon hareketlerinin engellenmesiyle artmaktadır [47].

Çökme sertleşmesi çözeltiye alma, soğutma ve yaşlandırma olmak üzere üç aşamalıdır. Şekil 2.15'teki Al-Cu faz diyagramında her aşamadaki tane yapısının değişimi görülmektedir [48].



Şekil 2. 15. Al-Cu faz diyagramı ve ısıl işlem safhalarındaki mikroyapı [31].

Isıl işlem uygulanabilen alaşımlarda temper tanımlaması, temelde dört harf ile gösterilmektedir:

F: Özel bir ısıtma veya soğutma prosedürü yoktur. Malzeme üretildiği şekilde kullanılır.

O: Tavlanmış

H: Soğuk şekillendirme ile elde edilen malzemelerin mukavemet ve sertlik değerlerini arttırmak üzere uygulanan ısıl işlemleri belirtir [16]. Genellikle yassı mamüller için kullanılır [31].

T: Stabil mekanik değerler elde etmek için uygulanan ısıl işlemleri ifade eder. [16].

T ve H'den sonra gelen numaralar uygulanan ısıl işlem tipini göstermektedir. Isıl işlem tiplerinin ne anlama geldiği Çizelge 2.9'te açıklanmıştır.

Çizelge 2. 9. Isıl işlem çeşitleri ve açıklamaları [28].

Temper No	Açıklama
F	İmal edildiği şekilde
O	Tavlanmış (Mümkün olan en yumuşak şartlarda)
H	Soğuk şekillendirilmiş

H1X	Sadece soğuk şekillendirilmiş (X soğuk şekillendirme miktarına ve mukavemetlendirmeye işaret eder)
H12	Soğuk şekillendirme, 0 ve H14 temperleri arasında, ortalarda bir çekme dayanımı sağlar
H14	Soğuk şekillendirme, 0 ve H18 temperleri arasında bir çekme dayanımı sağlar
H16	Soğuk şekillendirme, H14 ve H18 temperleri arasında, ortalarda bir çekme dayanımı sağlar
H18	Soğuk şekillendirme, yaklaşık %75 azalma sağlar
H19	Soğuk şekillendirme, H18 temperleme ile elde edilen çekme dayanımından 2000 psi fazla dayanımı sağlar
H2X	Soğuk şekillendirilmiş ve kısmen tavlanmış
H3X	Düşük sıcaklıkta yapının yaşlanmasını önlemek için soğuk şekillendirilmiş ve dengelenmiş
W	Çözelti ısı işlemi görmüş
T	Yaşlandırılmış
T1	İmalat sıcaklığından soğutulmuş ve doğal olarak yaşlandırılmış
T2	İmalat sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış
T3	Çözelti ısı işlemi uygulanmış, soğuk işlenmiş ve esas olarak kararlı bir duruma doğal yaşlandırılmış
T4	Çözelti ısı işlemi uygulanmış ve esas olarak kararlı bir duruma doğal yaşlandırılmış
T5	Yüksek sıcaklıktaki şekillendirme işleminden ve soğuduktan sonra yapay yaşlandırılmış
T6	Çözelti ısı işlemi görmüş ve yapay yaşlandırılmış
T7	Çözelti ısı işlemi görmüş ve kararlılaştırılmış
T8	Çözelti ısı işlemi uygulanmış, soğuk işlenmiş ve yapay yaşlandırılmış
T9	Çözelti ısı işlemi uygulanmış, yapay yaşlandırılmış ve soğuk işlenmiş
T10	İmalat sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve yapay yaşlandırılmış

6XXX serisinde bulunan magnezyum (Mg) ve silisyum (Si) magnezyum silisid (Mg_2Si) intermetalik bileşimini oluştururlar ve bu formda çökelirler. 6XXX serisi alaşımların ısı işlenebilirliğini sağlayan elementler bunlardır. Çözünen bileşimlerin toplanması, ilk aşamada Guiner-Preston (GP) bölgesi olarak adlandırılan bölgelerde

meydana gelir. Bu bölgeler, ileride çökelmelerin gerçekleşeceği yerler hakkında bilgi sahibi olunmasına olanak verir. Magnezum silisidin (Mg_2Si) çökmesi boyut açısından üç farklı biçimde gerçekleşmektedir:

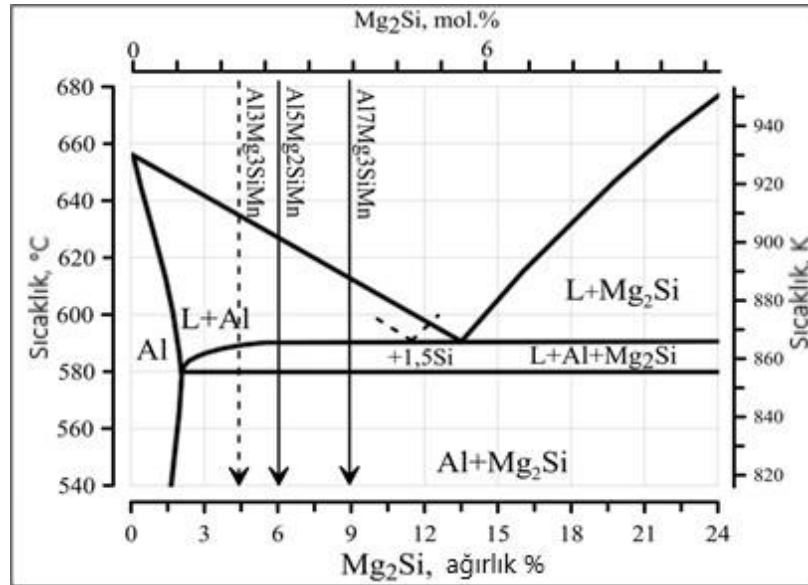
β'' Mg_2Si : Mg_2Si 'nin en küçük boyutta çökelmiş halidir. Mekanik özelliklere katkısı en etkin biçimdir.

β' Mg_2Si : Orta boyuttaki çökme halidir.

β Mg_2Si : Mg_2Si 'nin en büyük boyuttaki çökelmiş halidir. Mekanik özelliklerin iyileştirilmesine katkısı yoktur [49].

2.7.1. Çözeltiye Alma

Yaşlandırma işleminde çökmenin sağlanabilmesi için öncelikle homojen bir katı çözelti elde edilmesi gerekmektedir [51]. Isıl işlem prosesinin ilk adımı olan çözeltiye alma işleminde amaç katı çözelti içerisinde olabilecek maksimum alaşım elementinin çözünmesini sağlamaktır. Alaşım faz diyagramında solvüs eğrisi üzerindeki bir sıcaklıkta uygun bir süre bekletilerek çözeltiye alma prosesi gerçekleştirilir [50]. Şekil 2.16'da Al- Mg_2Si faz diyagramı gösterilmektedir. Çözeltiye alma sıcaklığı, bu diyagramdaki solvüs eğrisi dikkate alınarak belirlenmektedir.



Şekil 2. 16. Al- Mg_2Si faz diyagramı [52].

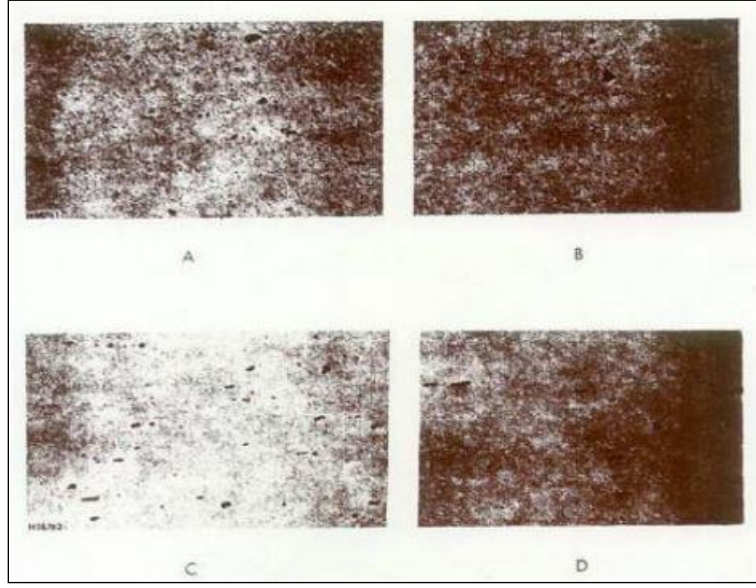
Olması gerekenden yüksek sıcaklıkta işlem yapılırsa tane sınırı bölgelerinde bölgesel ergime veya sıvılaşımlar oluşabilir. Bunun sonucunda kırılma tokluğunda ve çekme mukavemetinde kayba neden olur [50]. Olması gerekenden düşük bir sıcaklıkta işlem yapılması halinde ise çözelti tamamlanmamış olur. Bunun sonucunda da arzu edilenin altında mukavemet elde edilir [51].

2.7.2. Soğutma

Soğutma ısııl işlem aşamalarından en kritik olanıdır. Bu işlemin amacı alaşımın çözeltiye alma sıcaklığında katı çözelti halini korurken oda sıcaklığına yakın bir sıcaklığa aniden soğutulmasıdır [51]. Soğutma çözünen atomların katı eriyik içerisinde muhafaza edilmesini sağlamanın yanı sıra düşük sıcaklıklarda difüzyonun gerçekleşebilmesi için gerekli sayıdaki boşluğun oluşmasına olanak verir [50].

Soğutma işlemi genellikle parçaların soğuk suya daldırılmasıyla yada soğuk su spray yöntemleriyle gerçekleştirilir. Ayrıca ekstrüzyon ile üretilmiş parçalara havayla soğutma da uygulanabilir. Fakat kalın et kalınlıklarına sahip profillerde suya daldırma yada spray su tercih edilmektedir. Karmaşık şekilli veya kalın ve ince et kalınlıklarında dikmeleri aynı anda barındıran profillerde soğumanın daha yavaş gerçekleşmesi gerekmektedir. Bu orta dereceli soğutma 65 – 80°C su, kaynar su, sulu çözelti veya polialkilen glikol soğutma sıvısı kullanılarak sağlanabilmektedir [51].

Soğutma işlemi mümkün olduğunda kısa sürede tamamlanmalıdır. Aksi takdirde mukavemeti ve korozyon direncini olumsuz etkileyen rastgele çökelmeler oluşma ihtimali vardır. Şekil 2.17’de soğutma hızının Mg_2Si üzerine etkisi gösterilmektedir [30].



Şekil 2. 17. Soğutma hızının Mg₂Si üzerine etkisi A) 15°C/dk B) 30°C/dk C) 50°C/dk.

Parçaların çözeltiliye alma işleminin gerçekleştirildiği fırından çıkarılıp soğutma alanına getirilmesi de çok kısa sürede tamamlanmalıdır. Arada geçen sürede parçaların dışarıda rastgele bir sıcaklıkta bekletilmesi ön soğumaya neden olabilir [50].

2.7.3. Yaşlandırma

1906 yılında Alfred Wilm'in Al-Cu alaşımına çeliklere uygulanan ısı işlem metodunu uygulamaya çalışması ile keşfedilmiştir. Bileşimler eğer solvüs eğrisine sahip değillerse yaşlandırma işlemine uygun değillerdir. Alüminyum alaşımlardaki ısı işlem uygulanabilir veya uygulanamaz ayrımı da buna göre yapılmaktadır [53]. Isıl işlemin son aşaması olan yaşlandırma aşırı doymuş haldeki katı çözeltiden yeni bir fazın çökertilmesini sağlar. Oda sıcaklığında yapılan yaşlandırma “doğal yaşlandırma”, oda sıcaklığı ile solvüs eğrisi arasında bir sıcaklıkta yapılan “yapay yaşlandırma” olarak nitelendirilir [48].

2.7.3.1. Aşırı Yaşlanma

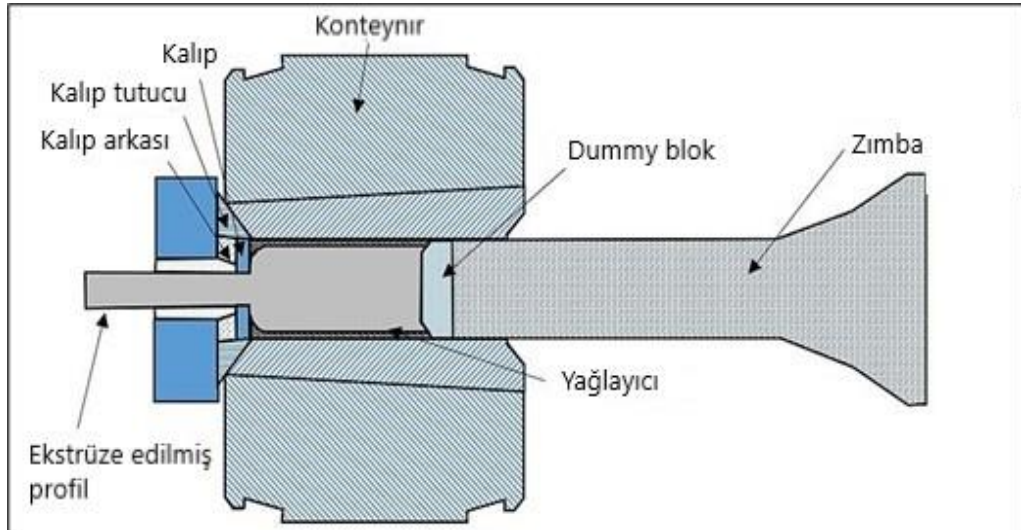
Numunelerin yaşlandırma işlemini yüksek sıcaklıkta yada uzun sürelerde yapılması aşırı yaşlanma olarak nitelendirilen durumun yaşanmasına neden olur. Aşırı yaşlanma durumunda malzemenin tane boyutlarında büyüme olması ve kafes uyumsuzlukları ortadan kalkması nedeniyle mukavemet değerlerinde düşüş meydana gelmektedir [47,70].

BÖLÜM 3

EKSTRÜZYON PROSESİ

Genellikle silindirik şekilli billet adı verilen metal bloğa kuvvet uygulanarak, billet çapından daha küçük çapta ve istenilen profil şekline göre tasarlanan kalıptan geçirilip muhtelif tiplerde profil elde edilmesi yöntemi ekstrüzyon olarak adlandırılır. Prosesi basitçe tanımlamak için genelde dış macunu örneği verilmektedir. Dış macununu billet ve tüpün ağzını kalıp olarak kabul edersek, tüpü sıktığımızda macun tüpün ağzı hangi şekilde olursa o şekli alarak dışarı çıkmaktadır [34].

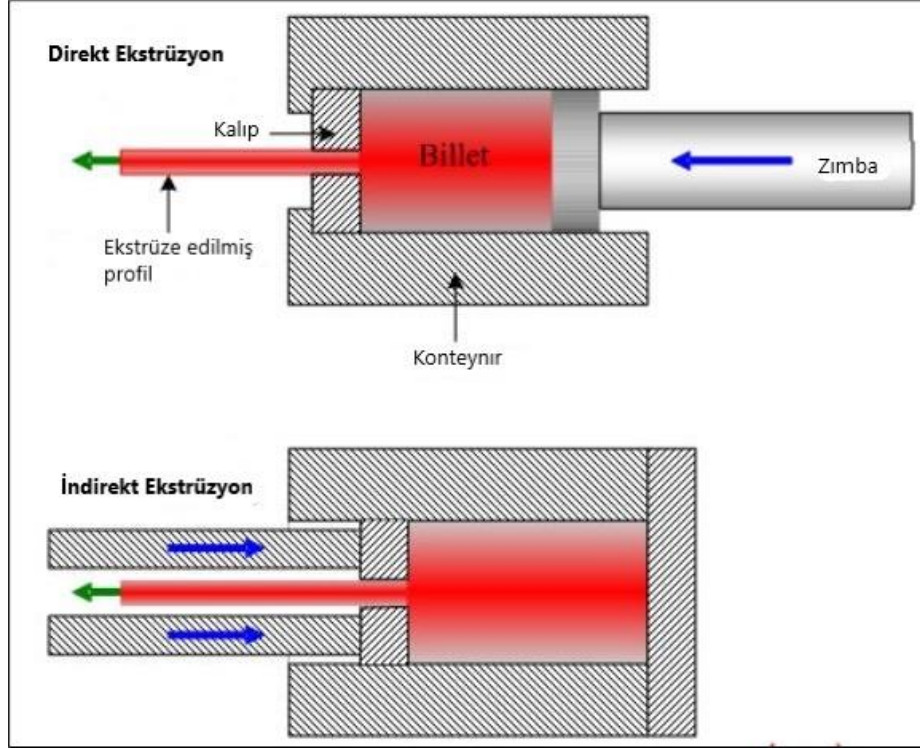
Ekstrüzyon genelde sıcak yapılsa da soğuk olarak yapılan uygulamalarda mevcuttur. Sıcak ekstrüzyonda malzemenin akış gerilimini uygun hale getirmek için billetler ısıtılmaktadır [34]. Şekil 3.1’de ekstrüzyon şeması verilmektedir.



Şekil 3. 1. Ekstrüzyon şeması [55]

3.1. EKSTRÜZYON YÖNTEMLERİ

Direkt ve indirekt ekstrüzyon alüminyum endüstrisinde kullanımı en yaygın ekstrüzyon yöntemleridir [54]. Şekil 3.2’de direkt ve indirekt ekstrüzyon şemaları karşılaştırmaları olarak gözlemlenebilir.



Şekil 3. 2. Direkt ve indirekt ekstrüzyon şemaları [56]

3.1.1. Direkt Ekstrüzyon

Direkt ekstrüzyonda kalıp konteynırın sonunda konumlandırılmaktadır ve kalıbın bulunduğu yöne doğru ıstampa (zimba) ile billete kuvvet uygulanarak profil elde edilmektedir [34].

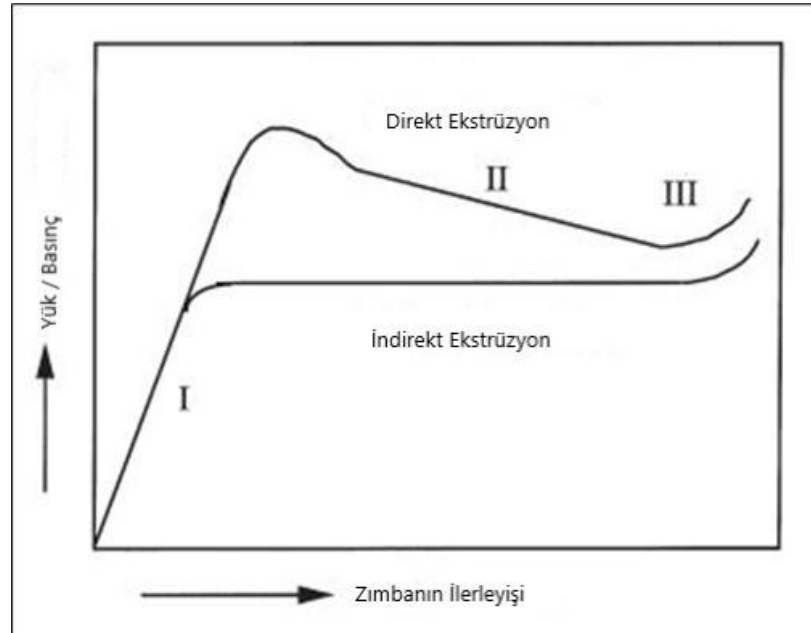
Prosesi temel olarak üç aşamada açıklayabiliriz:

I- Billet konteynıra yüklendikten sonraki ilk anda uygulanan basınç zirve noktaya ulaşmaktadır,

II- Metal kalıp içerisinde akmaya başlayınca basınç ilk baştaki yüksek değerden düşmeye başlar ve bilette kararlı seviyede basınç uygulanarak proses devam etmektedir,

III- Basınç gittikçe düşmeye başlar. Bilet boyunun bitmek üzere olduğu anda son bir keskin basınç artışı yaşanır. Şekil 3.3'de yaşanan basınç değişimi gösterilmektedir [54].

Bilette kuvvet uygulanırken orta kısım hızlı ilerlerken biletin dış çapına doğru olan kısımlar konteynır ile oluşan sürtünmeden dolayı aynı hızla ilerleyememektedir. Bu durum biletin dış kısmında kabuk oluşmasına neden olmaktadır ve biletin iç kısmı ilerlerken kabuk ters yönde birikmektedir. Dummy bloklar konteynırdan daha küçük çapa sahiptirler ve baskı sırasında kabuk bilette karışmak yerine bu boşluklarda birikmektedir. Oluşan kabuğun malzeme içerisine karışması istenen bir durum değildir. Bu nedenle uzaklaştırılmaktadır [54].



Şekil 3. 3. Direkt ve indirekt ekstrüzyonda basınç değişimi [54].

3.1.2. İndirekt Ekstrüzyon

İndirekt ekstrüzyonda kalıp ıstampanın sonuna konumlandırılmıştır ve konteynırın kalıba doğru hareketi ile metalin kalıp içerisinden akışı sağlanır. Direkt ekstrüzyona göre indirekt ekstrüzyonun avantaj ve dezavantajları aşağıda sıralanmıştır:

- İndirekt ekstrüzyonda billet ve konteynırın aynı yönlü hareketi sayesinde sürtünme oluşmamaktadır. Bu nedenle direkt ekstrüzyona oranla daha az kuvvete ihtiyaç vardır ve daha dengeli metal akışı sağlanabilmektedir.
- Billetin merkezi ve dış çemberi arasında akış dengesizliği olmaması nedeniyle billet boyu konteynır boyu ayarlanarak istenilen uzunlukta kullanılabilir.
- Sürtünme sonucu oluşan sıcaklık olmaması nedeniyle çatlama/kırılma olmadan daha yüksek hızlarda üretim yapılabilir.
- Üretilcek profilin çapı, kalıbın konteynır içerisinde bulunması nedeniyle direkt ekstrüzyonla üretilen profile oranla daha sınırlıdır.
- Billet yüzeyinde kabuk vs. istenmeyen durum oluşması halinde uzaklaştırılması mümkün değildir [34].

BÖLÜM 4

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Alüminyum ekstrüzyon profillerin kullanıldığı alanlarda, 6060 en sık tercih edilen alüminyum alaşımlarındandır. Fakat standart 6060 alaşıma sahip profiller, kullanım alanına göre her zaman istenilen mekanik özellikleri karşılayamayabilirler. Bu durumlarda malzemenin istenilen mekanik özelliklere ulaşması için ısıtılma işlemi uygulanmaktadır. Bu nedenle daha iyi mekanik özellikler elde etmek adına alüminyum alaşımlarının ısıtılma işlemi üzerine bir çok çalışma gerçekleştirilmektedir. Literatürde konuyla ilgili yapılmış bazı çalışmalar aşağıda belirtilmiştir.

Güven ve Delikanlı, AA2024 alaşımlı levha numunelere 510 °C, 520 °C ve 530 °C sıcaklıklarda 5 dakikalık çözeltiye alma işlemi uyguladıktan sonra 15°C sıcaklığa sahip suda soğutulmuşlardır. Yaşlandırma işlemini 190 °C'de 4 ve 6 saatte gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçları ısıtılma işlemi uygulanmamış malzemenin özellikleri ile mukayese etmişlerdir. AlCu₂ fazının en iyi 530 °C'de çözeltiye alınan malzemelerde homojen bir şekilde çözüldüğünü gözlemlemişlerdir. Bununla paralel olarak mekanik özellikler bakımından 530°C'de çözeltiye alınıp 190 °C'de 6 saat yaşlandırılan numunenin HB 128 sertlik ve 576,67 MPa çekme dayanımı ile en yüksek mekanik özelliklere ulaştığını raporlamışlardır. Ayrıca çekme dayanımı ve sertliği artan malzemelerin uzama değerlerinin azaldığını gözlemlemişlerdir [53].

Akyüz ve Şenaysoy, AA6082 ve AA6013 alaşımlı numuneleri 530 °C'de 8 saat çözeltiye alıp 70 °C suda soğuttuktan sonra yaşlandırma işlemini 180 °C'de 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 saatlik sürelerde gerçekleştirmişlerdir. Her iki malzemenin de akma mukavemeti ve sertliği yaşlandırma süresinin artmasına paralel olarak artarken % kopma uzama miktarının azaldığını gözlemlemişlerdir. 6 saatlik yaşlandırmaya kadar akma mukavemeti ve sertlik artış gösterirken 6 saat ile 24 saatlik yaşlandırma sonunda

elde edilen değerler arasında çok büyük farklılıklarla karşılaşmamışlardır. Yaşlandırma süresi arttıka kesme kuvvetlerinin de arttığını, buna bağlı olarak malzemenin işlenebilirlik özelliğinin düştüğünü gözlemlemişlerdir [57].

Gao ve arkadaşları, AA6063 alaşımlı 2.4 mm kalınlığında ve düz ekstrüzyonu profili 585°C'de 3 saat zeltiye almışlardır. zeltiye alma işleminden önce ekstrüzyon esnasında billet 470°C'ye ısıtılıp su ile soğutulmuştur. Malzemelere ilk aşamada 288 saat doğal yaşlandırma, 3 saat doğal yaşlandırma ve 3 saat doğal yaşlandırma + 5 saat 80°C'de yapay yaşlandırma olmak üzere üç farklı n-yaşlandırma işlemi uygulamışlardır. Sonrasında numuneler 165°C, 185°C ve 205°C'lerde 0,25 saatten 64 saat aralığında ikinci yaşlandırma işlemine maruz bırakılmışlardır. Yapılan alışmalar sonucunda ikinci yaşlandırma işleminden önce yapılan ön-yaşlandırma işleminin malzemenin mekanik özelliklerine pozitif etkisi olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Aynı n-yaşlandırma şartlarına maruz kalan malzemelerden daha yüksek ikinci yaşlandırma sıcaklığına maruz kalan malzemelerin maksimum çekme mukavemetinin ve maksimum çekme mukavemetine ulaşılan srenin daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Aynı ikinci yaşlandırma şartlarındaki numunelerden daha uzun doğal n-yaşlandırmaya maruz kalan numunenin maksimum çekme mukavemeti daha yüksek olduğu gözlemlemişlerdir. 11 günlük oda sıcaklığındaki doğal yaşlanmanın mekanik özelliklere etkisinin 80°C 5 saatlik n-yaşlandırma ile de yakalanabildiği sonucuna ulaşmışlardır [58].

Siddiqui ve arkadaşları, AA6063 profili 793±5K sıcaklıkta zeltiye aldıktan sonra 373K, 398K, 423K, 448K, 473K ve 498K sıcaklıklarda 2, 4, 6, 8, 10, 12 ve 14 saat yaşlandırma işlemine maruz bırakmışlardır. Deneyler sonucunda en iyi akma-çekme mukavemeti ve sertliğin 448K sıcaklıkta 8 ve 10 saatlik yaşlandırma parametreleriyle sağlandığını belirlemişlerdir. 473K sıcaklık ve 6 saatlik yaşlandırılmış numunenin en yüksek kırılma direncine sahip olduğu gözlemlemiştir [59].

Zhou ve arkadaşları, 6101 alaşımlı çarpışma kutusu olarak kullanılan ekstrüzyon profiline optimum olarak 510°Cx45dk+175°Cx7 saat ısıl işlem uygulamışlardır. Bu şartlarda 194.65MPa akma mukavemeti, 223.80MPa ekme mukavemeti ve 15.13% uzama değerlerini elde etmişlerdir. Daha sonra malzemenin T1, T4 ve T6 termik

şartlarında çarpışmaya dayanımlarını incelemişlerdir. T6 termikli malzemenin enerji sönümlenme özelliğinin T1 ve T4 termikli malzemelere göre çok daha üstün olduğunu gözlemlemişlerdir [60].

Eser ve arkadaşları, ekstrüzyon yöntemiyle üretilmiş 540°C'de çözeltiye aldıkları AA6005, AA6061 ve AA6082 alaşımlarındaki malzemelerin yaşlandırma işlemini 170°C, 200°C ve 250°C sıcaklıklarda gerçekleştirmişlerdir. Yaşlandırma süresince malzemeleri toplamda 100 dakika fırında tutup her 10 dakikada bir numune alarak sertlik kontrollerini yapmışlardır. Malzemelerin sertliğini Brinell Sertlik cihazında kontrol etmişlerdir. AA6061 malzemenin en yüksek sertlik değerine sahip, AA6005 malzemenin tüm denemelerde en düşük sertlik değerine sahip malzeme olduğu gözlemlenmiştir. Her üç alaşım için en yüksek sertlik değerine ulaşma sıcaklığının 170°C olduğu ve yaşlandırma sıcaklığı arttıkça ulaşılan sertlik değerinin düştüğü fakat maksimum sertlik değerine ulaşma süresinin kısaldığı belirlenmiştir [61].

Al_Saadi ve Tunay, 530°C'de 8 saat çözeltiye aldıkları döküm metoduyla üretilmiş Al-25Zn-1Mg malzemenin işlem yapılmadan, solüsyona alınmış, 1, 3, 6, 12 ve 24 saat süreyle 180°C'de yaşlandırılmış hallerindeki sertlik değişimlerini incelemişlerdir. Çalışmalarını 20x20 mm ölçülerindeki numuneler üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Solüsyona alınan numunenin HV90 değeriyle en düşük ve 12 saatlik yapay yaşlandırılan numunenin HV175 değeriyle en büyük sertlik değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. 24 saat yapay yaşlandırmanın ise malzemenin sertliğinde düşüşe neden olduğu belirlenmiştir [48].

Doruk ve arkadaşları, otomotiv sektöründe ezilme kutu olarak tercih edilen 6082 alaşımlı ekstrüzyon yöntemiyle üretilmiş farklı kesite sahip dört profili 600°C'de 4 saat çözeltiye alıp su ile soğutmuşlardır. Sonrasında numuneleri 160°C'de 8, 10, 15, 18 ve 24 saat aralıklarında ısıtıp havada soğutarak yapay yaşlandırmışlardır. Farklı bekleme sürelerinin mekanik özelliklere etkilerini belirleyebilmek için çekme testleri, çarpışma dayanımlarına olan etkilerini inceleyebilmek için de sonlu elemanlar analizleri yapmışlardır. Akma dayanımının yapay yaşlandırma süresi arttıkça arttığını fakat çekme mukavemetinin başlangıçta artış gösterirken 15 ile 18 saat aralığında

düştüğünü gözlemlemişlerdir. Ayrıca sonlu elemanlar analizleri sonuçlarına göre profil şeklinin darbe emilimine olan etkisini de gözlemlemişlerdir [62].

Polat ve arkadaşları, haddeleme metoduyla üretilmiş AA6061 1 mm kalınlıktaki malzemeyi 550°C’de 2 saat bekletip su ile soğutarak çözeltiye almışlardır. Sonrasında 160°C, 180°C ve 200°C sıcaklıklarda 2.5, 5, 10, 20, 40, 60 ve 80 saat ısıtıp su ile soğutarak yapay yaşlandırmışlardır. En iyi çekme-akma mukavemeti ve sertlik değerine ulaşılması için 180°C’de 5 ve 40 saat aralığının en uygun parametreler olduğunu belirlemişlerdir [63].

Literatür araştırmalarında inceleme alanine genişletmek adına yalnızca ekstrüzyon metoduyla üretilmiş değil, haddeleme yöntemiyle üretilmiş numunelere yapılan çalışmalar da incelenmiştir. 2024, 6063, 6101, 6005, 6061 ve 6082 alaşımlı profiller 510 °C ile 540 °C arasında çözeltiye alınıp soğutuluktan sonra çok çeşitli parametrelerde yaşlandırmaya maruz bırakılmışlardır. Yapılan deneylerin sonucunda, yaptığımız tez çalışmasında benzer olarak yaşlandırma sıcaklığının 170 °C ile 190 °C arasında en uygun olduğu tespit edilen çalışmalar mevcuttur. Ayrıca belirli sıcaklık ve süre sonunda aşırı yaşlanma gözlemlenen çalışma da mevcuttur.

BÖLÜM 5

MATERYAL VE METOD

5.1. MALZEME SEÇİMİ

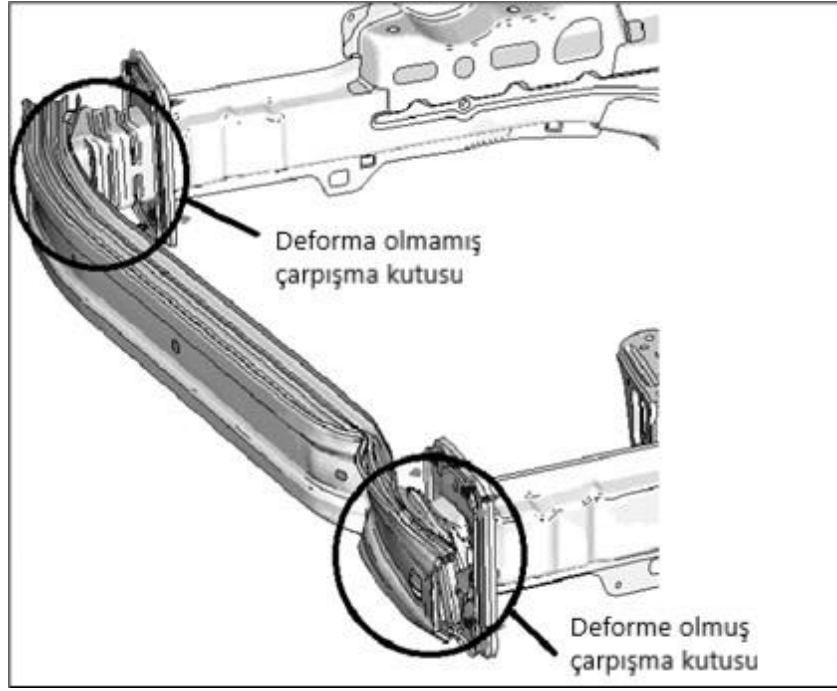
Malzeme olarak ekstrüzyon endüstrisinde en çok tercih edilen alaşımlardan olan 6060 alaşımı tercih edilmiştir. Bu alaşım, çarpışma kutusu parçalarında da süneklik ve yüksek enerji sönümlene özellikleri sayesinde tercih edilmektedir. Yüksek enerji sönümlene yeteneği çarpışma kutusu parçalarında çok kritik önem arz etmektedir. Çünkü kaza anında gelen darbeyi yolculara iletmeden absorbe etmesi beklenmektedir. Malzemenin kimyasal bileşeni Çizelge 5.1’de belirtilen TS EN 573-3 :2008 normunun belirlediği sınırlar içerisinde olacak şekilde billet dökümü gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5. 1. 6060 alaşımının kimyasal bileşimi [35].

Alaşım	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Diğerleri	
									Her	Toplam
6060	0,30- ,60	0,10- ,30	0,10	0,10	0,35- 0,60	0,05	0,15	0,10	0,05	0,15

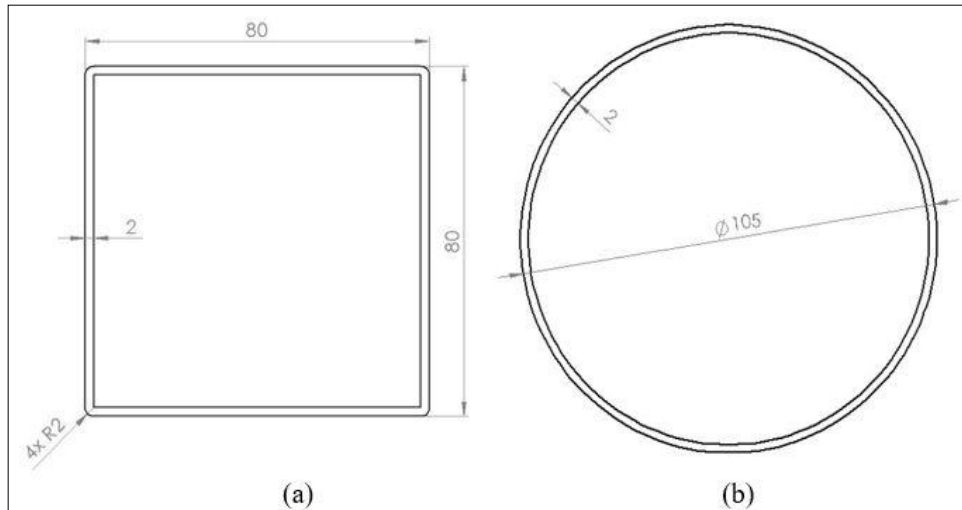
5.2. PROFİL SEÇİMİ

Otomotiv firmaları çarpışma kutusu olarak genellikle kare profili tercih etmektedirler. Şekil 5.1’de çarpışma kutusunun tampon montajındaki yeri ve darbe yemeden önceki ve sonraki hali gösterilmektedir.



Şekil 5. 1. Çarpışma kutusu kullanım yeri ile darbe almadan önceki ve sonraki hali.

Tasarımlarında yuvarlak profil tercih eden markalar da mevcuttur. Deneylerde de gerçeğe uyumlu olmak adına yüzey alanları birbirine yakın olan kare ve dairesel kesitlere sahip iki farklı profil kullanılmıştır. Kare profil Şekil 5.2. a'da gösterildiği şekilde 80x80x2 mm ölçülerindedir. Dairesel profil Şekil 5.2. b'de gösterildiği şekilde $\text{Ø}105 \times 2$ mm ölçülerindedir.



Şekil 5. 2. Üretimi gerçekleştirilen profil formları a) Kare, b) Daire.

5.3. PROFİLLERİN EKSTRÜZYONU VE SOĞUTULMASI

Profillerin ekstrüzyonu SMS Meer marka kısa stroklu önden yüklemeli 29 Meganewton direkt ekstrüzyon presinde yapılmıştır. Ekstrüzyon presin diğer özellikleri, Çizelge 5.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 5. 2. 29 MN ekstrüzyon pres özellikleri.

Billet & Kovan Çapı (mm)	8” – 209 mm
Billet Boyu Min-Max (mm)	400 – 1300 mm
Pres Basıncı (kg/mm ²)	72 kg/mm ²
Maksimum Çalışma Basıncı (bar)	310 bar
Maksimum Zımba Hızı (mm/sn)	29 mm/sn
Maksimum Puller Hızı (m/dk)	70 m/dk
Maksimum Ekstrüzyon Boyu (m)	63 m

Prese yüklenen billetler indüksiyon ve gaz fırınlı billet ısıtma sistemleriyle 440-450°C aralığında sıcaklığa getirilmiştir. Kalıplar prese yerleştirilmeden önce IUT marka azot beslemeli radyal fanlı kalıp ısıtma fırınlarında 430°C’ye ısıtılmıştır. Profillerin soğutulması hava soğutma sistemi kullanılarak yapılmıştır.

Şekil 5.3’te kare profilin ekstrüzyon çıkışındaki görüntüsü verilmektedir.



Şekil 5. 3. Kare profilin ekstrüzyonu sırasında presten çıkışı.

5.4. Yaşlandırma Isıl İşlemi

Yapılan çalışmada çözeltiye alma işlemi, 530 °C’de gerçekleştirilmiştir. Soğutma işlemi havayla yapılmıştır. Ardından bölüm 5.5.2’de açıklandığı üzere çözeltiye alınmış ve soğutulmuş her iki profilden 300 mm uzunluğunda kesilen numuneler Nabertherm N30/85HA model fırında 160°C, 180°C ve 200°C sıcaklıklarda 4,6 ve 8 saat bekletildikten sonra oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Çizelge 5.3’te her iki profile uygulanan yaşlandırma parametreleri belirtilmektedir.

Çizelge 5. 3. Yaşlandırma parametreleri.

Profil	Sıcaklık (°C)	Süre (saat)
Kare	160	4 / 6 / 8
Kare	180	4 / 6 / 8
Kare	200	4 / 6 / 8
Dairesel	160	4 / 6 / 8
Dairesel	180	4 / 6 / 8
Dairesel	200	4 / 6 / 8

Şekil 5.4’te yaşlandırma öncesi fırın içerisindeki yuvarlak kesitli 300 mm’ye kesilmiş numuneler gösterilmektedir.



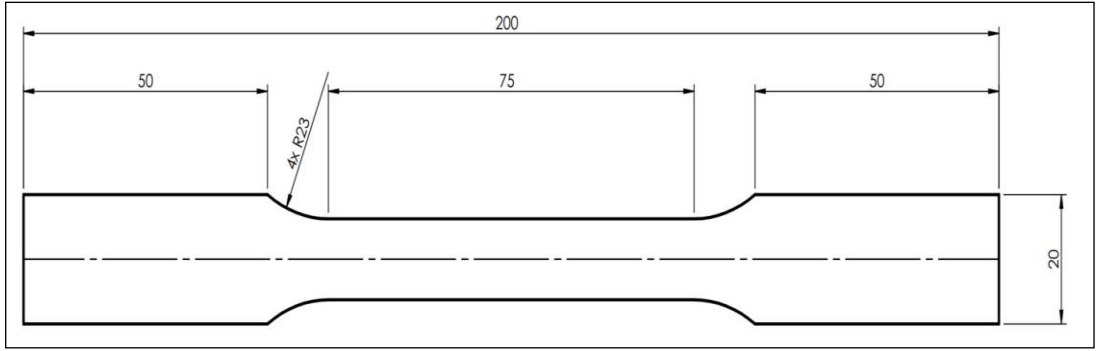
Şekil 5. 4. Yaşlandırma işlemi başlamadan önce fırın içerisindeki numuneler.

5.5. ÇEKME TESTİ, BASMA TESTİ VE MİKROYAPISAL İNCELEME DENEY NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI

Yaşlandırma işlemi uygulanan parçalardan basma-çekme testi ve mikroyapısal incelemede kullanılan numunelerin hazırlanış aşamaları 5.5.1, 5.5.2 ve 5.5.3 maddelerinde detaylı olarak açıklanmıştır.

5.5.1. Çekme Test Numunesinin Hazırlanması

Çekme testi numunesi ISO 6892-1 normuna göre 2 mm et kalınlığına sahip numunelerden Şekil 5.5'teki dış ölçülere göre Mazak VTC300 CNC tezgahında, talaşlı iaiamat yöntemi ile hazırlanmıştır.



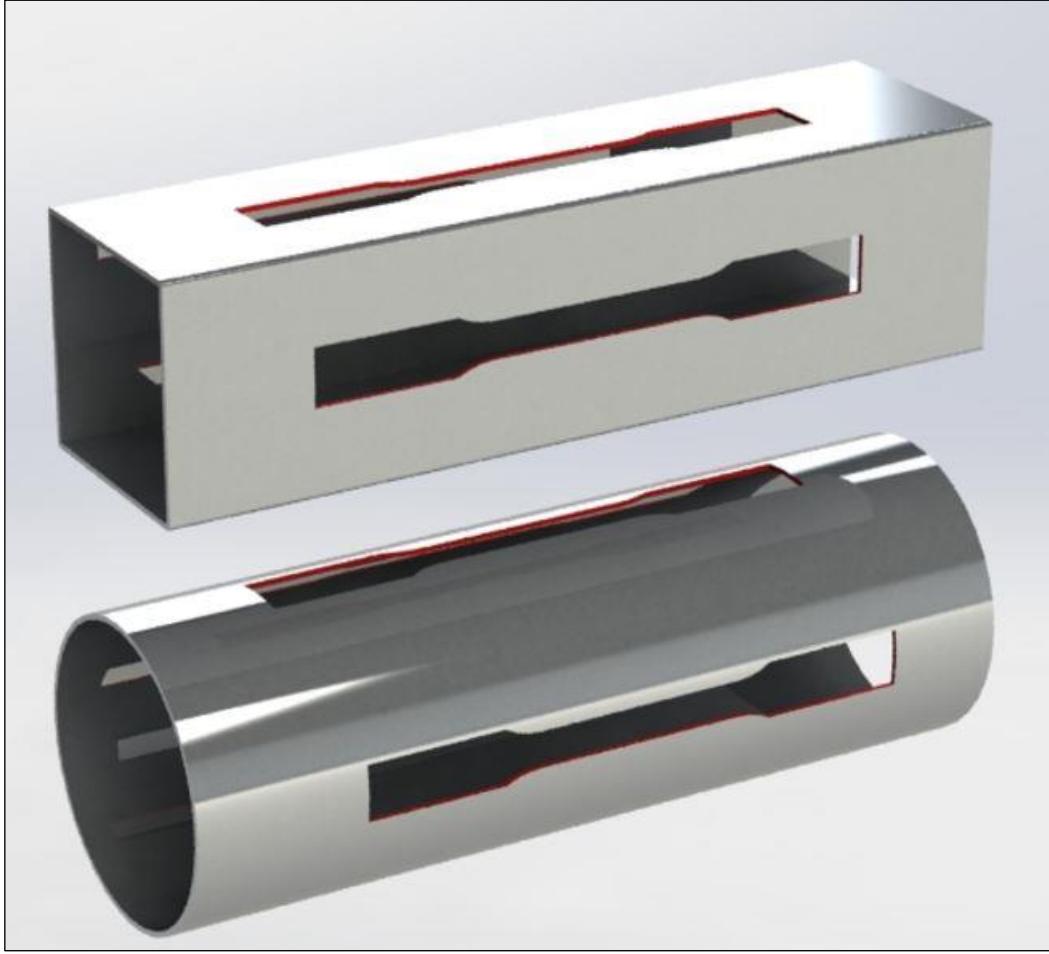
Şekil 5. 5. Çekme testi numunesi ölçüleri.

Şekil 5.6'da gerçek çekme test numunesi gösterilmektedir.



Şekil 5. 6. Çekme testi numunesi fotoğraf görüntüsü.

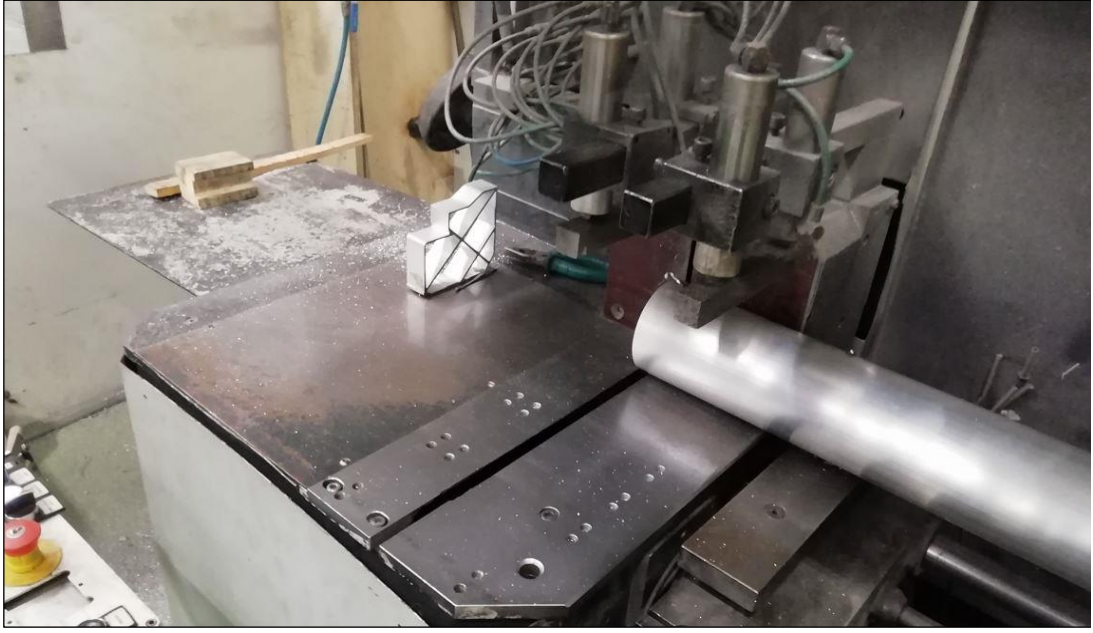
Şekil 5.7'de çekme test numunelerinin profillerin hangi bölümlerinden alındığı gösterilmektedir.



Şekil 5. 7. Çekme test numunelerinin profillerin hangi kısımlarından alındığı.

5.5.2. Basma Test Numunesinin Hazırlanması

Basma testleri için profiller Elumatec SA142-35/36 testere tezgahında 300 mm uzunlukta kesilmiştir. Şekil 5.8’de dairesel profilin testere kesimi gösterilmektedir.



Şekil 5. 8. Basma testi için dairesel profilin 300 mm'ye kesimi.

5.5.3. Mikroyapısal İnceleme İçin Numuneleri Hazırlanması

- Mikroyapı kontrolünde kullanılacak numune için çekme testi numunesinden Metkon Metacut 302 testeresinde 5 mm parça kesilmiştir. Şekil 5.9'da kesim gösterilmektedir.



Şekil 5. 9. Mikroyapısal inceleme numunesi kesimi.

Soğuk bakalit için gerekli olan bakalit ve sertleştirici karışım hazırlanmıştır. Şekil 5.10'da karışımın cihaza doldurulması gösterilmektedir.



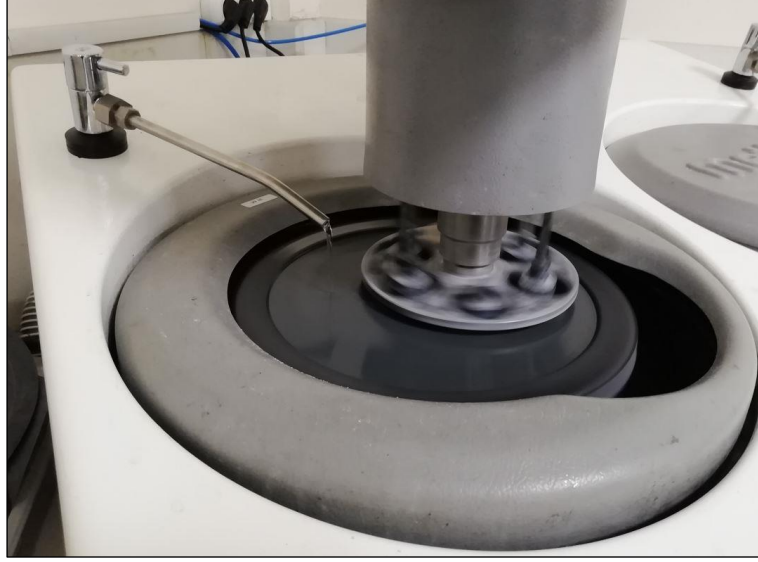
Şekil 5. 10. Bakalit karışımı.

Metkon Ecopress 52 cihazında numune 160°C'ye ısıtılıp sonrasında soğutularak soğuk bakalite alınmıştır. Şekil 5.11'de bakalite alınmış numune gösterilmektedir.



Şekil 5. 11. Bakalite alınmış numune.

Bakalitteki numune sırasıyla 180, 320, 500, 1200 ve 2500 grit'lik zımpara kağıtları ile 90° yön değişimi usulü takip edilerek Metkon Forcipol 202 cihazında zımparalanmıştır. Şekil 5.12'de zımparalama işlemi gösterilmektedir.



Şekil 5. 12. Bakalite alınmış numunenin zımparalanması.

- 10 dakika boyunca Metkon Forcipol 202 cihazında 6 μm tane boyutuna sahip SiO_2 ile çuha üzerinde kaba parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. 6 dakika boyunca Metkon Forcipol 202 cihazında 3 μm tane boyutuna sahip SiO_2 ile çuha üzerinde ince parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir.

- Parlatılan numune bakalitten çıkarılıp ve elektrolitik dağlama devresine yerleştirilerek elektronik dağlama işlemine hazır hale getirilmiştir. Devre düzeneğine yerleştirilen numune tetrafloroborik asit çözeltisi içerisine daldırılmıştır. Numunelerine daldırılması ile devre sistemi tamamlanmış ve akım başlatılmıştır. Numuneler 17,9 kV potansiyel fark ve 0,39 μA akım şiddeti altında 120 sn boyunca dağlanmıştır. Şekil 5.13'te elektrolitik dağlama düzeneği gösterilmektedir.



Şekil 5. 13. Elektrolitik dađlama dűzeneđi.

5.6. ÇEKME TESTİ

Çekme testleri, ISO 6892 normuna uygun olarak Zwick Roel Z250 model 25 tonluk cihazda gerçekleřtirilmiřtir. Testler, izelge 5.4'te belirtilen parametrelere gűre gerçekleřtirilmiřtir.

Çizelge 5. 4. Çekme testi parametreleri.

Őn Yűk	5 N/mm ²
R _p , ReH Hızı	5 mm/dk
E-Modűlűs Hızı	5 mm/dk
Test Hızı	10 mm/dk

Şekil 5.14'te çekme testi uygulaması gösterilmektedir.



Şekil 5. 14. Çekme testi uygulaması.

Şekil 5.15'te çekme numunesinin ilk hali ve çekme testi uygulandıktan sonraki kopma gerçekleşmiş hali gösterilmektedir.



Şekil 5. 15. Çekme testi uygulanmadan önce ve sonra numune.

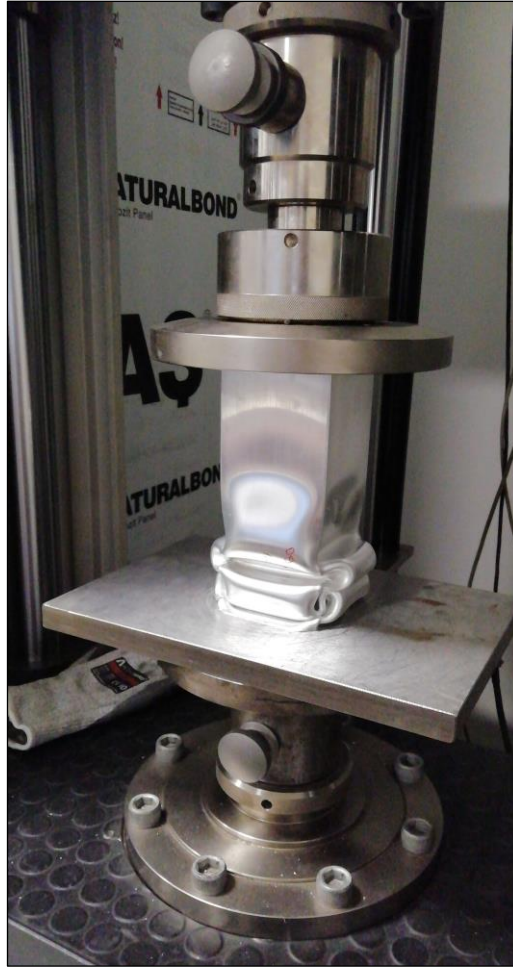
5.7. BASMA TESTİ

Basma testleri Zwick Roel Z250 model 25 tonluk cihazda gerçekleştirilmiştir. Testler Çizelge 5.5’te belirtilen parametrelere göre gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5. 5. Basma testi parametreleri.

Basma Yolu	200 mm
Hız	100 mm / dk

Şekil 5.16’da basma testi uygulaması gösterilmektedir.



Şekil 5. 16. Basma testi uygulaması.

5.8. MİKROYAPISAL İNCELEME

Numunelerin mikroskopik kontrolü Nikon Eclipse MA200 cihazında yapılmıştır. Elektrolitik dağlama ardından optik mikroskobun polarize özelliği sayesinde tane yapıları renkli olarak gözlemlenebilmektedir. Şekil 5.17’de mikroyapı incelemesi yapılan numune gösterilmektedir.



Şekil 5. 17. Mikroyapısal inceleme.

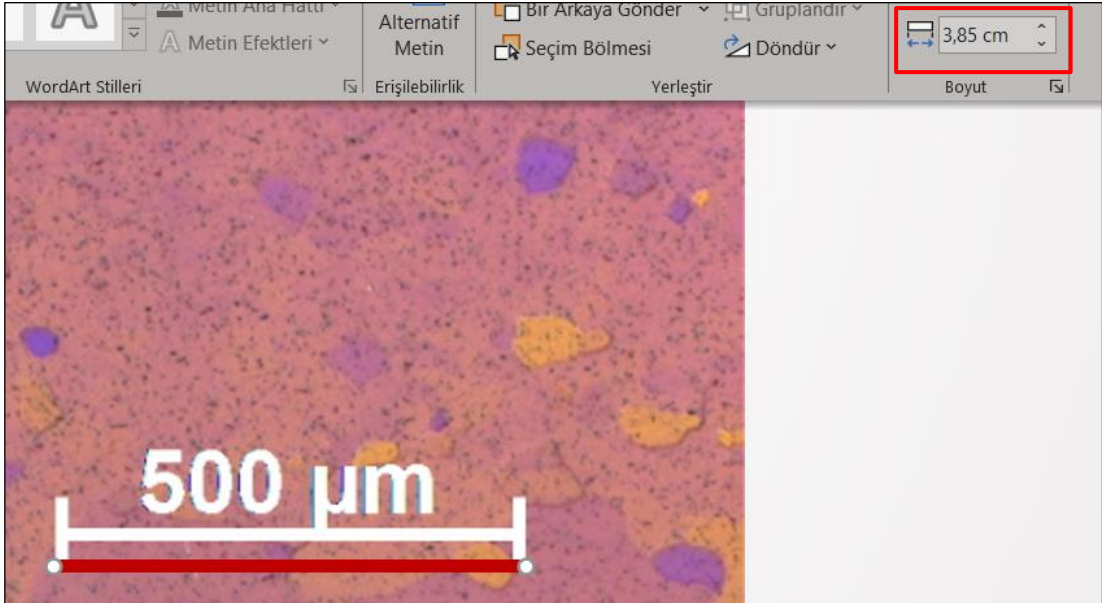
Tane boyutları, elde edilen mikroyapı resimleri üzerinden Doğrusal Kesişirme veya Heyn Usulü olarak adlandırılan yöntemle tespit edilmiştir [69]. Adımlar sırasıyla aşağıda belirtildiği şekildedir:

- Şekil 5.18’de gösterildiği üzere mikroyapı görüntüsünde ölçek boyunca bir çizgi çizilir,



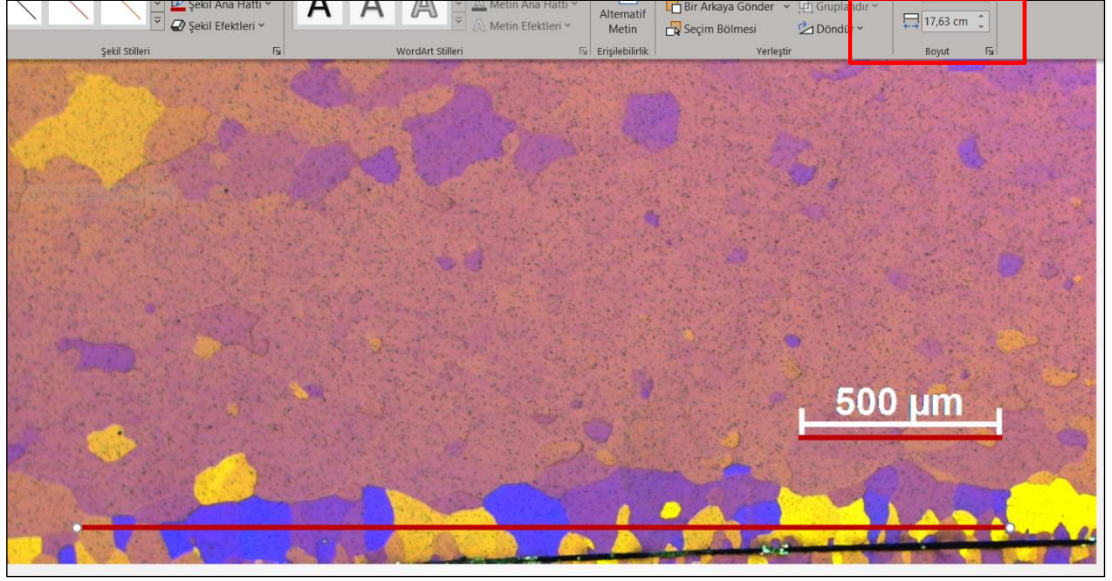
Şekil 5. 18. Mikroyapı görüntüsündeki ölçek kadar çizgi çizilmesi.

- Çizilen çizginin boyu tespit edilir ve elde edilen cm cinsinden uzunluk resmin ölçeğinde belirtilen uzunluk olarak kabul edilir. Örneğin Şekil 5.18’de çizilen çizginin uzunluğu Şekil 5.19’da gösterildiği üzere 3,85 cm’dir.



Şekil 5. 19. Mikroyapı görüntüsündeki ölçek boyunca çizilen çizginin cm cinsinden ölçüsü.

- Şekil 5.20’de gösterildiği üzere mikroyapı görüntüsü üzerinde tane yapılarının belirgin olduğu bir bölüme düz çizgi çekilir ve cm cinsinden uzunluğu tespit edilir. Şekil 5.20’de çizilen çizginin uzunluğu 17,63 cm’dir.



Şekil 5. 20. Tane boyutlarının belirgin olduğu kısım üzerinde düz çizgi çizilmesi ve çizgi uzunluğunun tespit edilmesi.

- Çizilen uzun çizgiyle kaç adet tane geçtiği tespit edilir. Tespit edilen tane sayısı çizgi uzunluğuna bölünerek ortalama tane boyutunun cm cinsinden büyüklüğü tespit edilir. Örneğin 17,63 cm uzunluğundaki çizgiden 23 adet tane geçmektedir. Buradan bir tane boyutu ortalama 0,767 cm ($17,63/23$ cm/adet) olarak tespit edilir. Sonrasında ilk aşamada 3,85 cm olarak ölçülen ve mikroyapı görüntüsünde 500 mikrona tekabül eden eşitlikten 1 cm'nin 129,870 mikrona tekabül ettiği tespit edilir. Böylelikle eğer 1 cm mikroyapı görüntüsünde 129,870 mikrona tekabül ediyorsa hesaplanan ortalama 0,767 cm'lik tane boyutunun 99,548 mikron olduğu tespit edilebilmektedir.

BÖLÜM 6

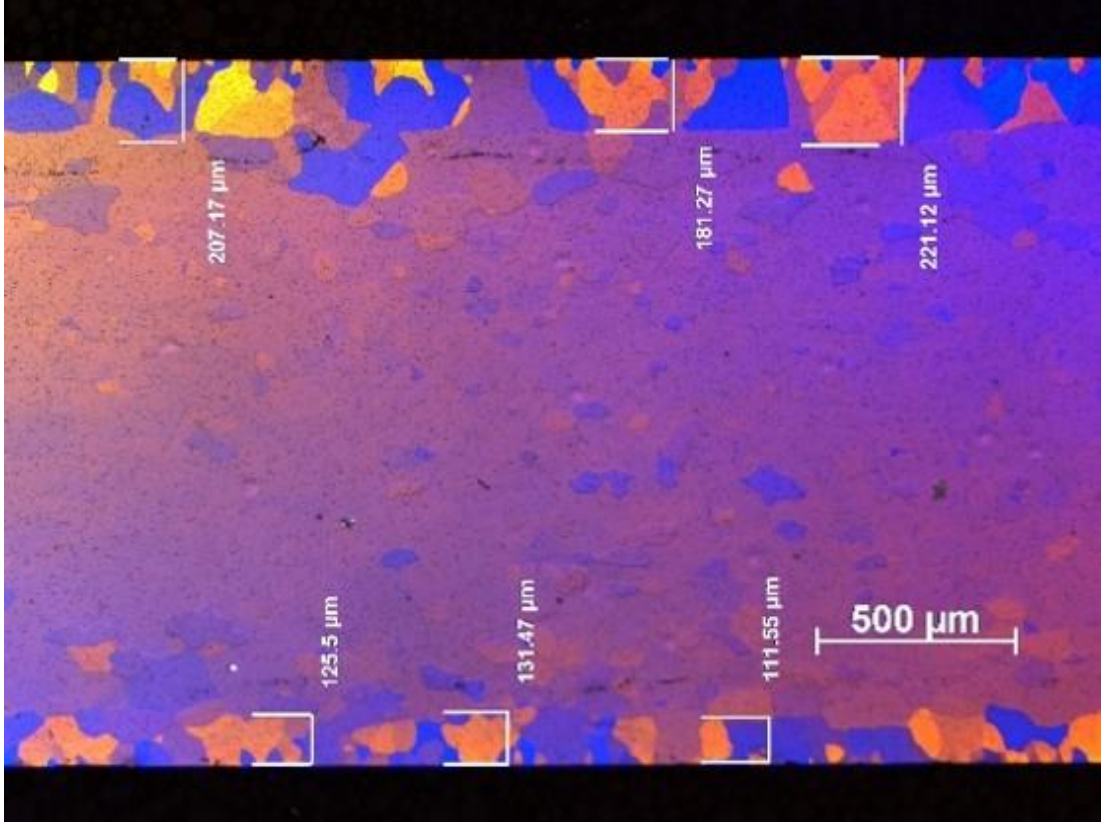
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1. MİKROYAPILARIN İNCELENMESİ.

Mikroyapı kontrollerinde temel amaç malzemelerin süneklik ve mukavemet gibi özelliklerine büyük ölçüde etkisi olan tane boyutu yapısının incelenmesidir. İnce tane yapısı malzemelerde istenen bir durumdur. Isıl işlem sırasında da malzeme tane boyutu küçültülebilmektedir. Çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve sertlik özellikleri tane boyutu küçüldükçe artmaktadır. Yük uygulanan malzemede deformasyon sırasındaki dislokasyonların engellenmesiyle mukavemet artışı yaşanmaktadır. İnce taneli yapıların mukavemeti kaba tanelere göre daha yüksek olmaktadır. [6]

6.1.1. 160°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profilin Mikroyapısal İncelemesi

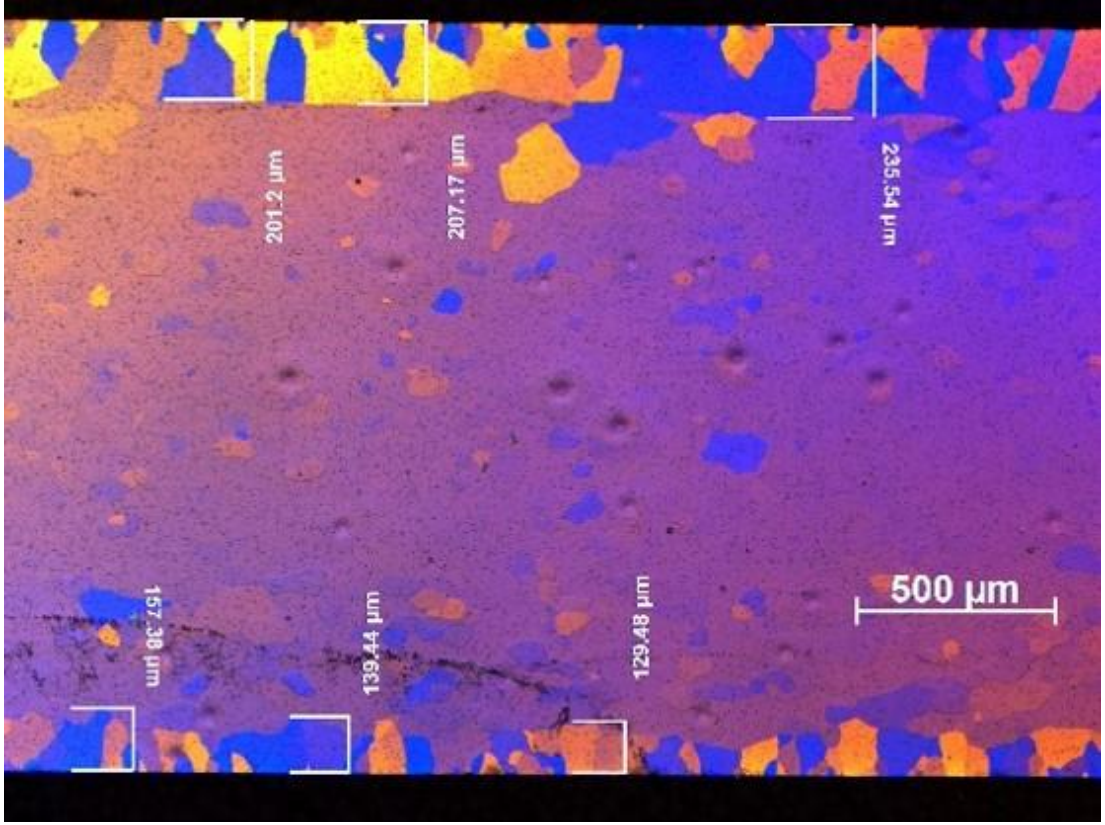
Şekil 6.1'de çözeltiye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 160°C'de 4 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan kare profilin mikroyapısı gösterilmektedir. Tane boyutu ortalama 98,296 µm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6. 1. 160°C’de 4 saat yaşlandırılmış kare profil mikroyapısı.

6.1.2. 160°C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profilin Mikroyapısal İncelemesi

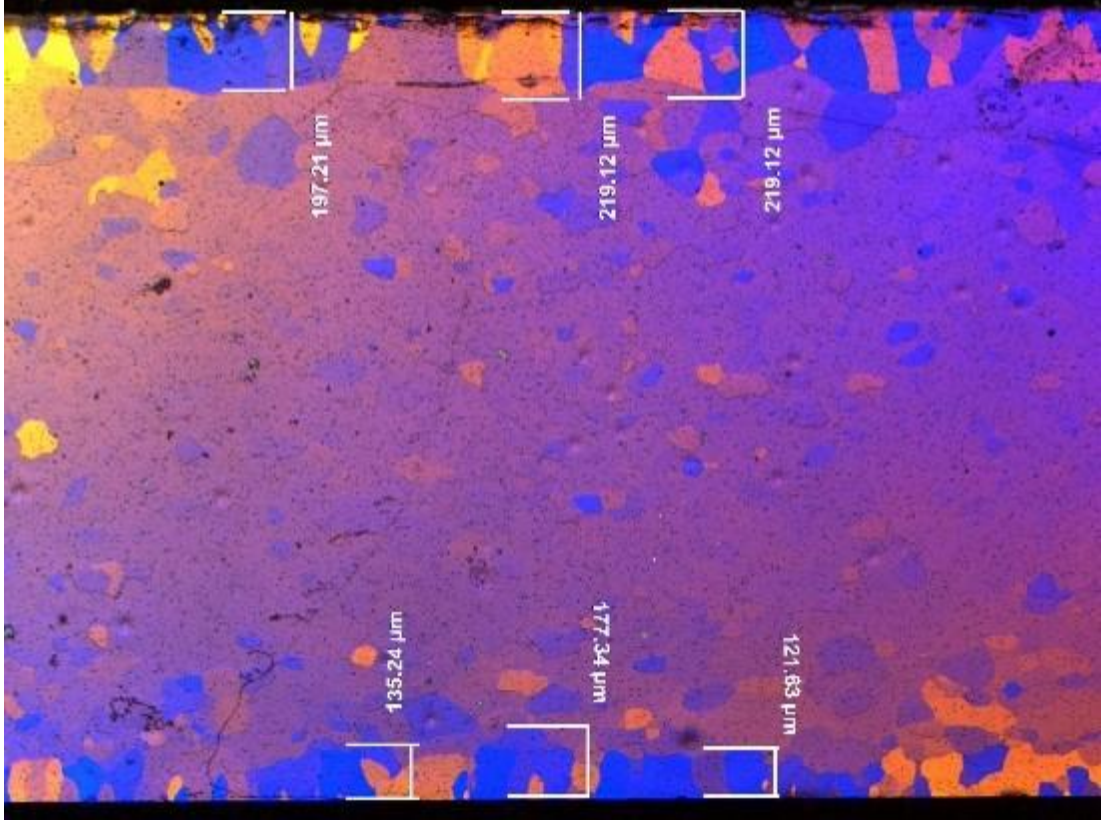
Şekil 6.2’de çözeltiye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 160°C’de 6 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan kare profilin mikroyapısı gösterilmektedir. Tane boyutu ortalama 107,429 µm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6. 2. 160°C’de 6 saat yaşlandırılmış kare profil mikroyapısı.

6.1.3. 160°C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profilin Mikroyapısal İncelemesi

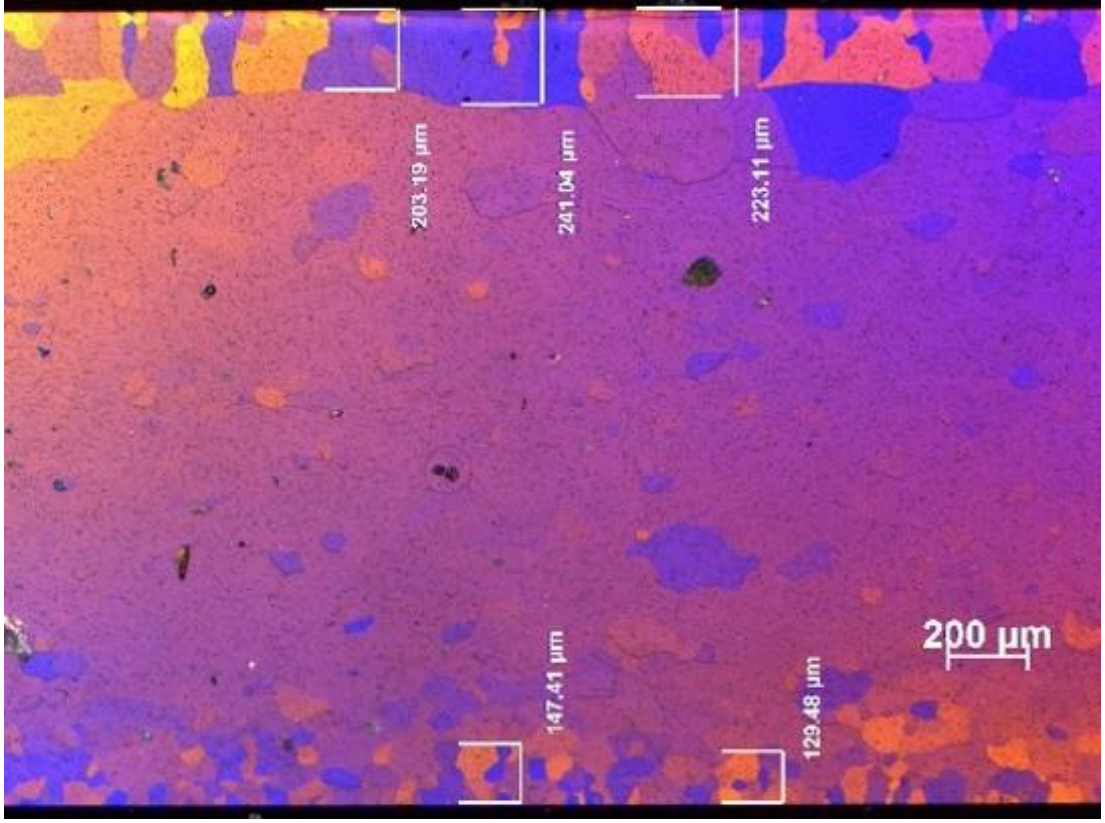
Şekil 6.3’te çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 160°C’de 8 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan kare profilin mikroyapısı gösterilmektedir. Tane boyutu ortalama 96,387 µm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6. 3. 160°C’de 8 saat yaşlandırılmış kare profil mikroyapısı.

6.1.4. 180°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profilin Mikroyapısal İncelemesi

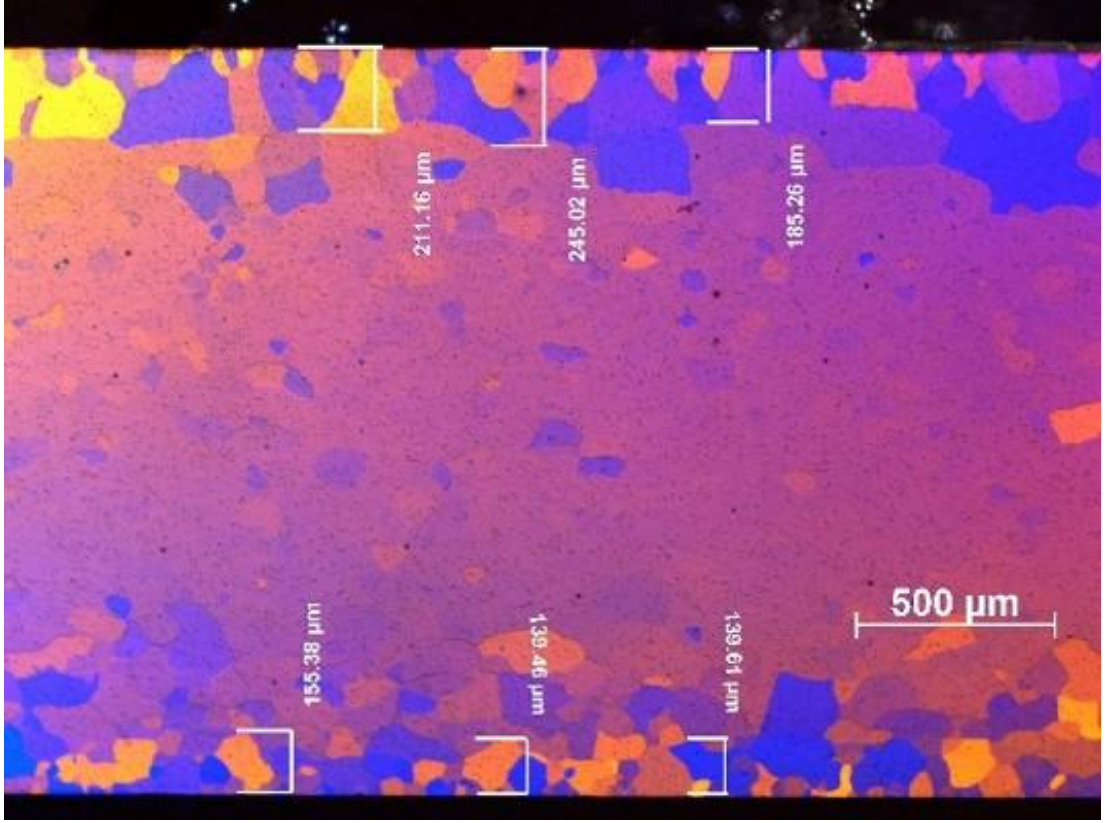
Şekil 6.4’te çözeltiye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 180°C’de 4 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan kare profilin mikroyapısı gösterilmektedir. Tane boyutu ortalama 92,145 µm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6. 4. 180°C’de 4 saat yaşlandırılmış kare profil mikroyapısı.

6.1.5. 180°C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profilin Mikroyapısal İncelemesi

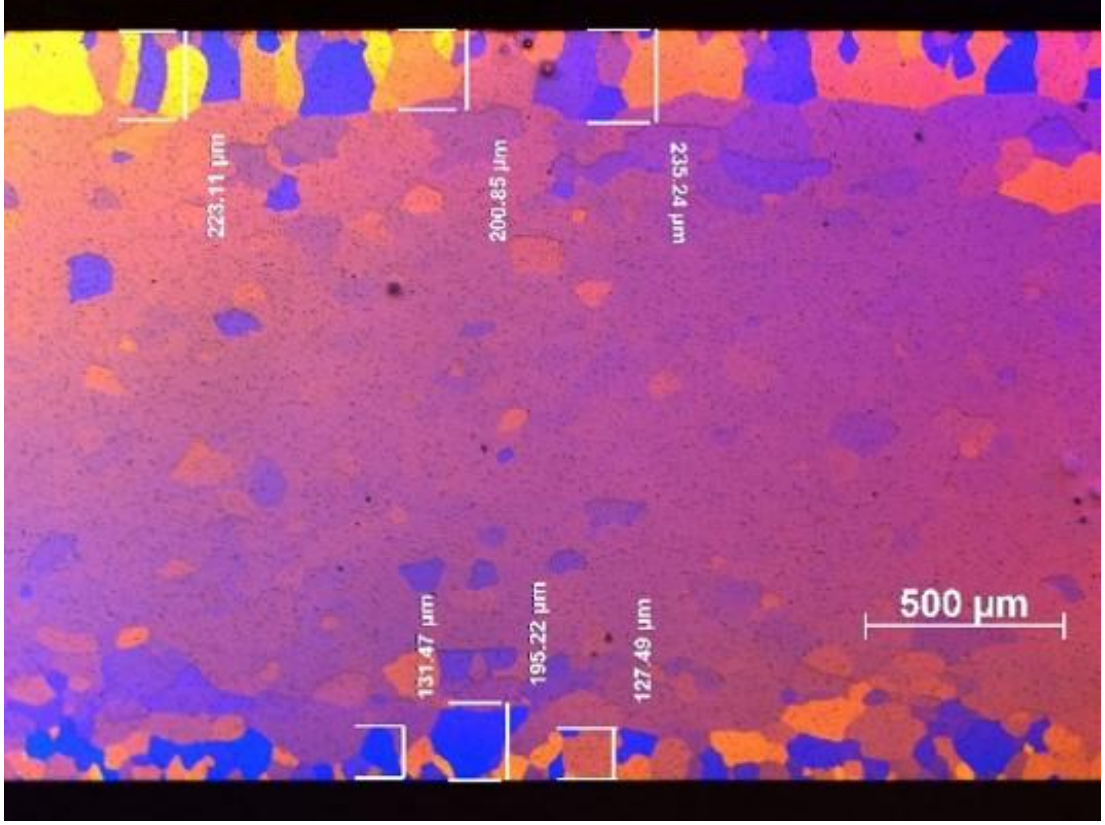
Şekil 6.5’te çözeltiye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 180°C’de 6 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan kare profilin mikroyapısı gösterilmektedir. Tane boyutu ortalama 104,343 µm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6. 5. 180°C’de 6 saat yaşlandırılmış kare profil mikroyapısı.

6.1.6. 180°C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profilin Mikroyapısal İncelemesi

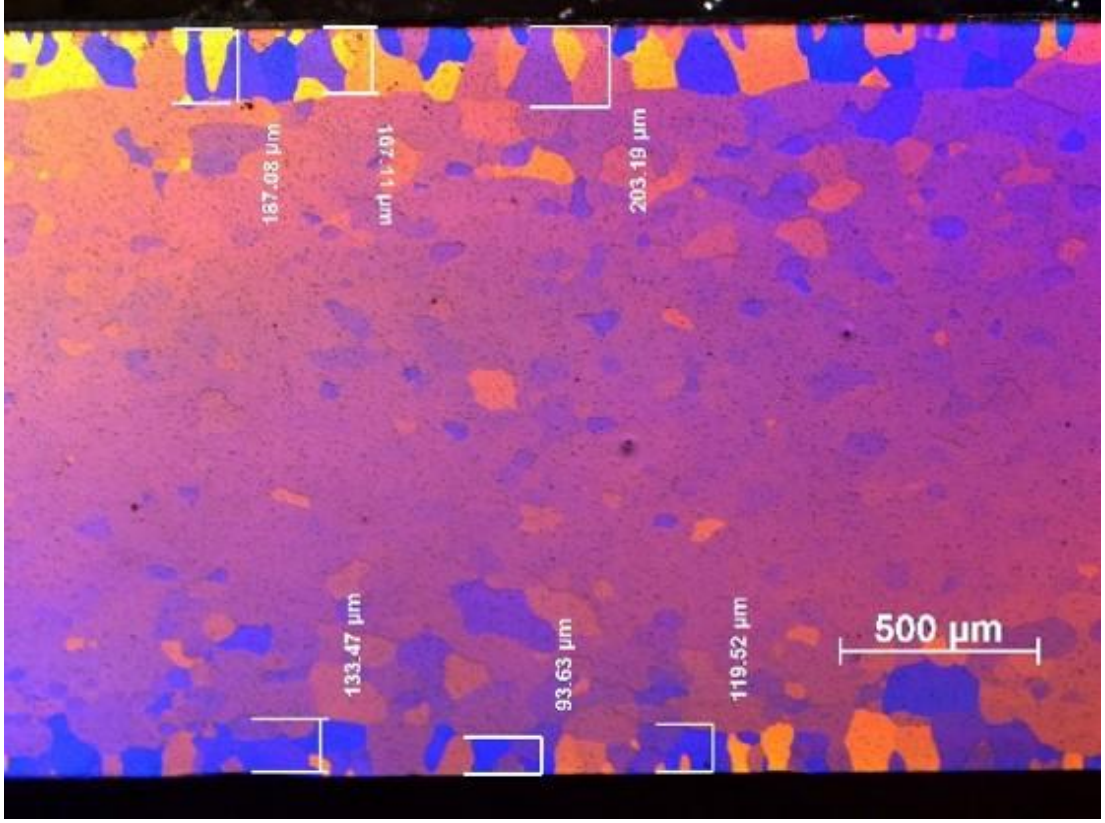
Şekil 6.6’da çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 180°C’de 8 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan kare profilin mikroyapısı gösterilmektedir. Tane boyutu ortalama 11,444 µm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6. 6. 180°C’de 8 saat yaşlandırılmış kare profil mikroyapısı.

6.1.7. 200°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profilin Mikroyapısal İncelemesi

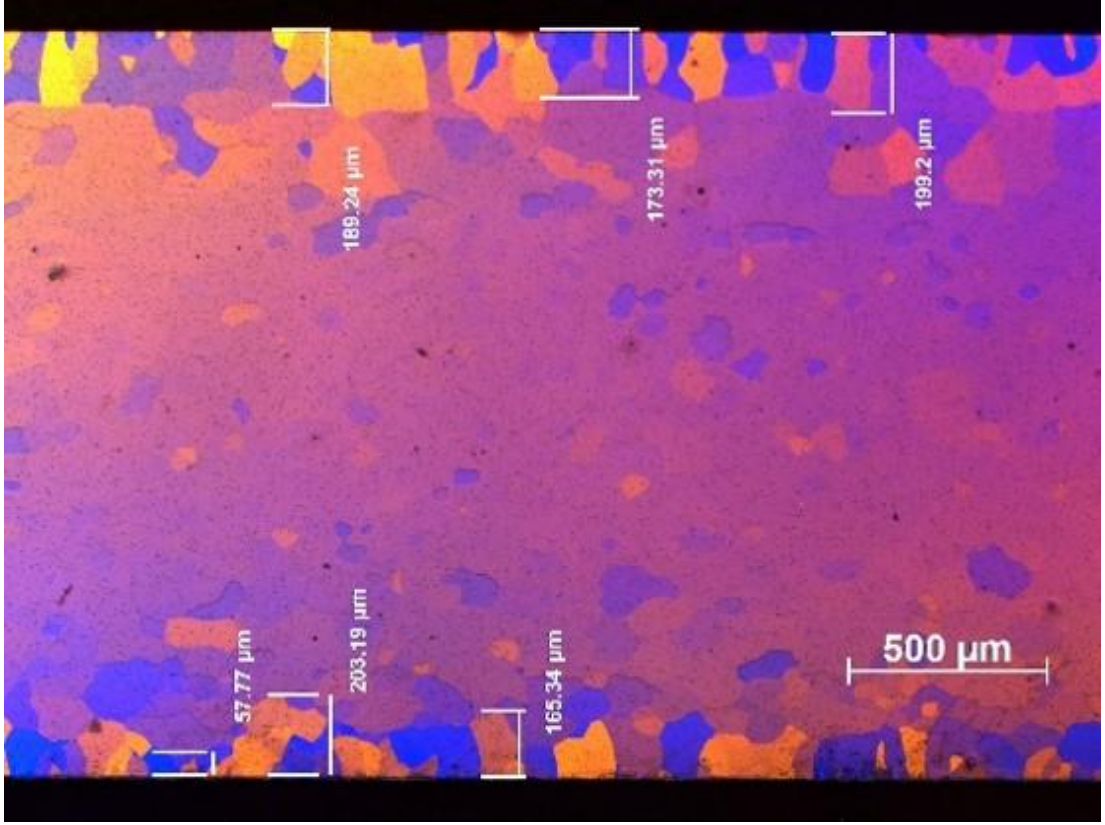
Şekil 6.7’de çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 200°C’de 4 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan kare profilin mikroyapısı gösterilmektedir. Tane boyutu ortalama 95,192 µm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6. 7. 200°C’de 4 saat yaşlandırılmış kare profil mikroyapısı.

6.1.8. 200°C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profilin Mikroyapısal İncelemesi

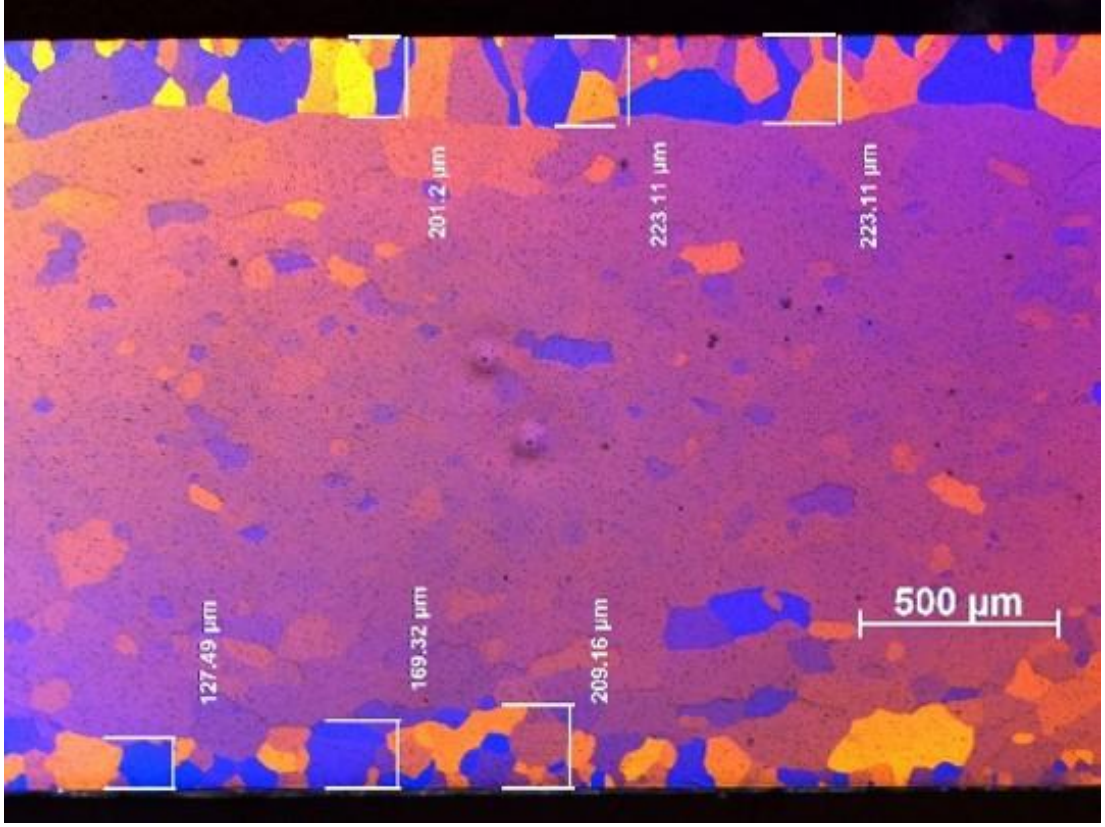
Şekil 6.8’de çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 200°C’de 6 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan kare profilin mikroyapısı gösterilmektedir. Tane boyutu ortalama 109,625 μm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6. 8. 200°C’de 6 saat yaşlandırılmış kare profil mikroyapısı.

6.1.9. 200°C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profilin Mikroyapısal İncelemesi

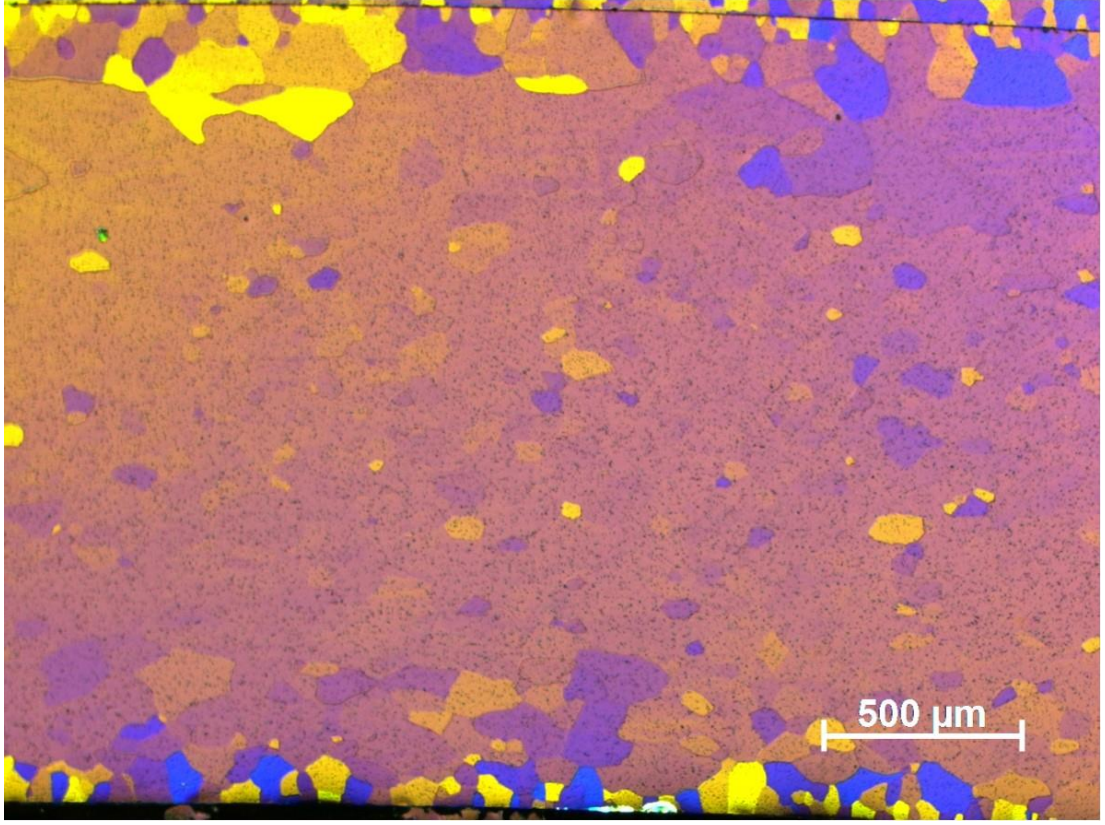
Şekil 6.9’da çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 200°C’de 8 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan kare profilin mikroyapısı gösterilmektedir. Tane boyutu ortalama 113,366 µm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6. 9. 200°C’de 8 saat yaşlandırılmış kare profil mikroyapısı.

6.1.10. 160°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profilin Mikroyapısal İncelemesi

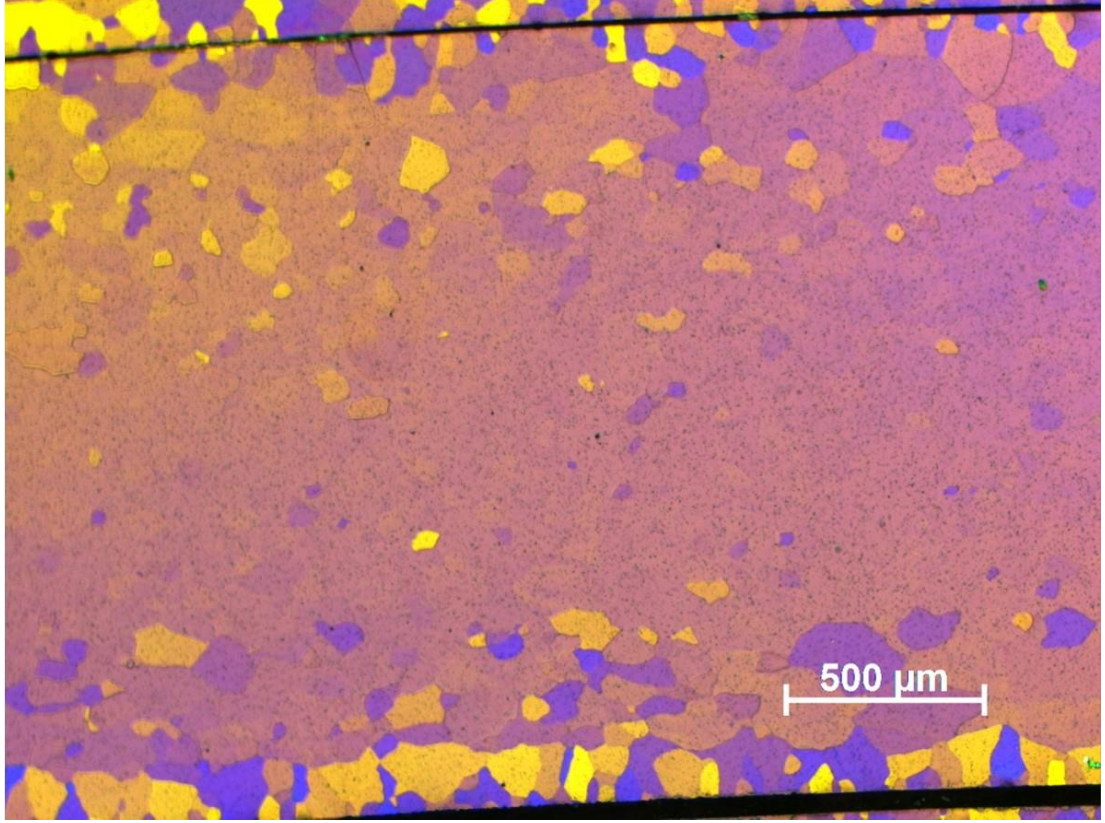
Şekil 6.10’da çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 160°C’de 4 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan dairesel profilin mikroyapısı gösterilmektedir. Tane boyutu ortalama 105,723 µm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6. 10. 160°C’de 4 saat yaşlandırılmış dairesel profil mikroyapısı.

6.1.11. 160°C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profilin Mikroyapısal İncelemesi

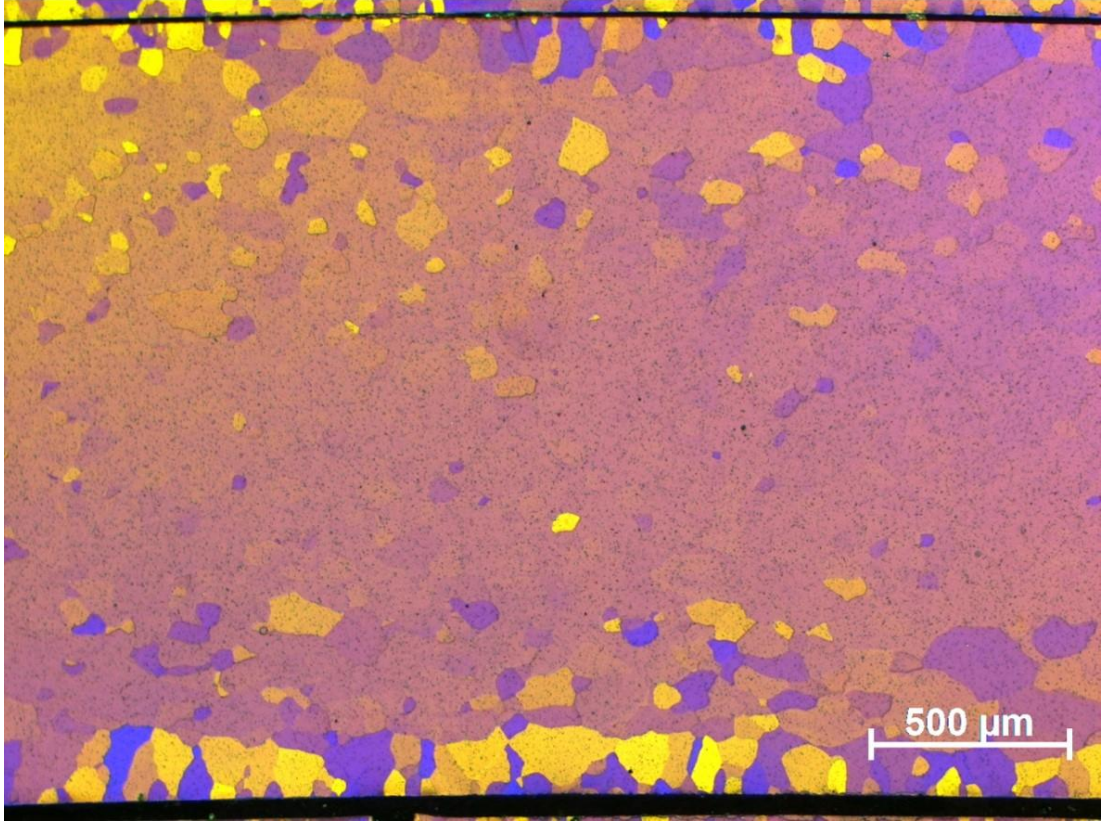
Şekil 6.11’de çözeltiye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 160°C’de 6 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan dairesel profilin mikroyapısı gösterilmektedir. Tane boyutu ortalama 85,229 μm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6. 11. 160°C’de 6 saat yaşlandırılmış dairesel profil mikroyapısı.

6.1.12. 160°C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profilin Mikroyapısal İncelemesi

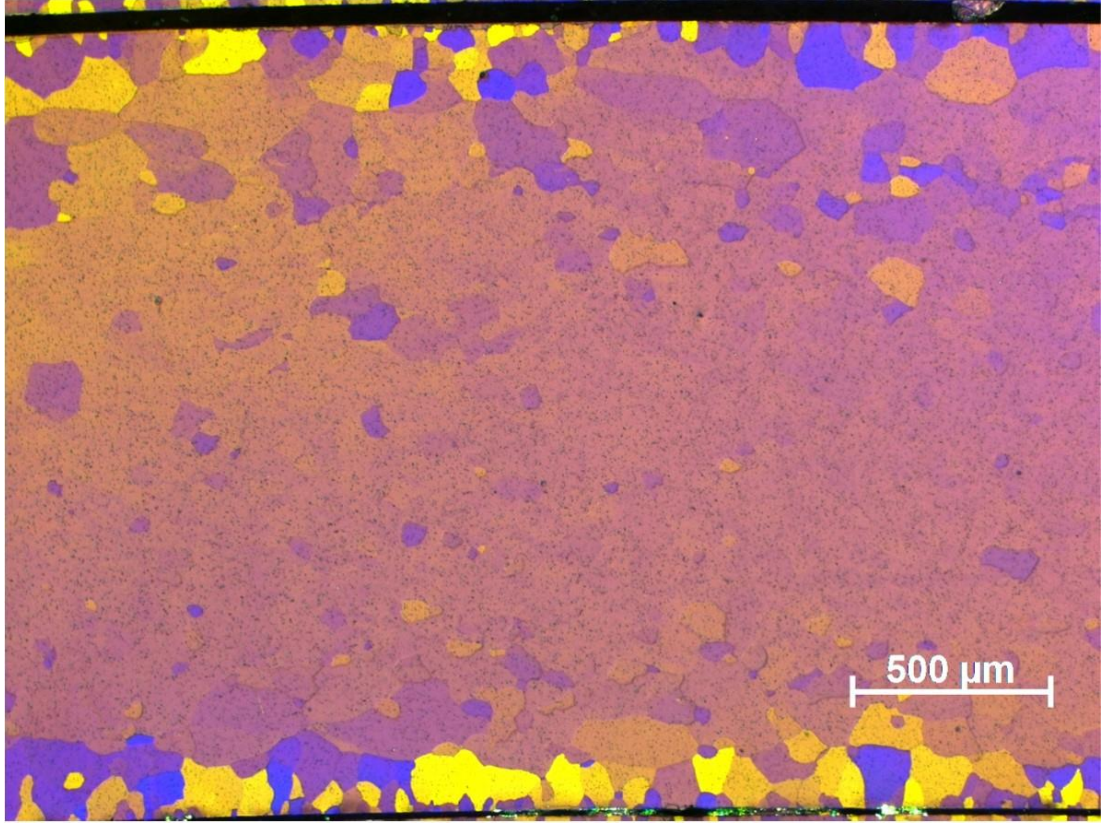
Şekil 6.12’de çözeltiye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 160°C’de 8 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan dairesel profilin mikroyapısı gösterilmektedir. Tane boyutu ortalama 95,7 μm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6. 12. 160°C’de 8 saat yaşlandırılmış dairesel profil mikroyapısı.

6.1.13. 180°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profilin Mikroyapısal İncelemesi

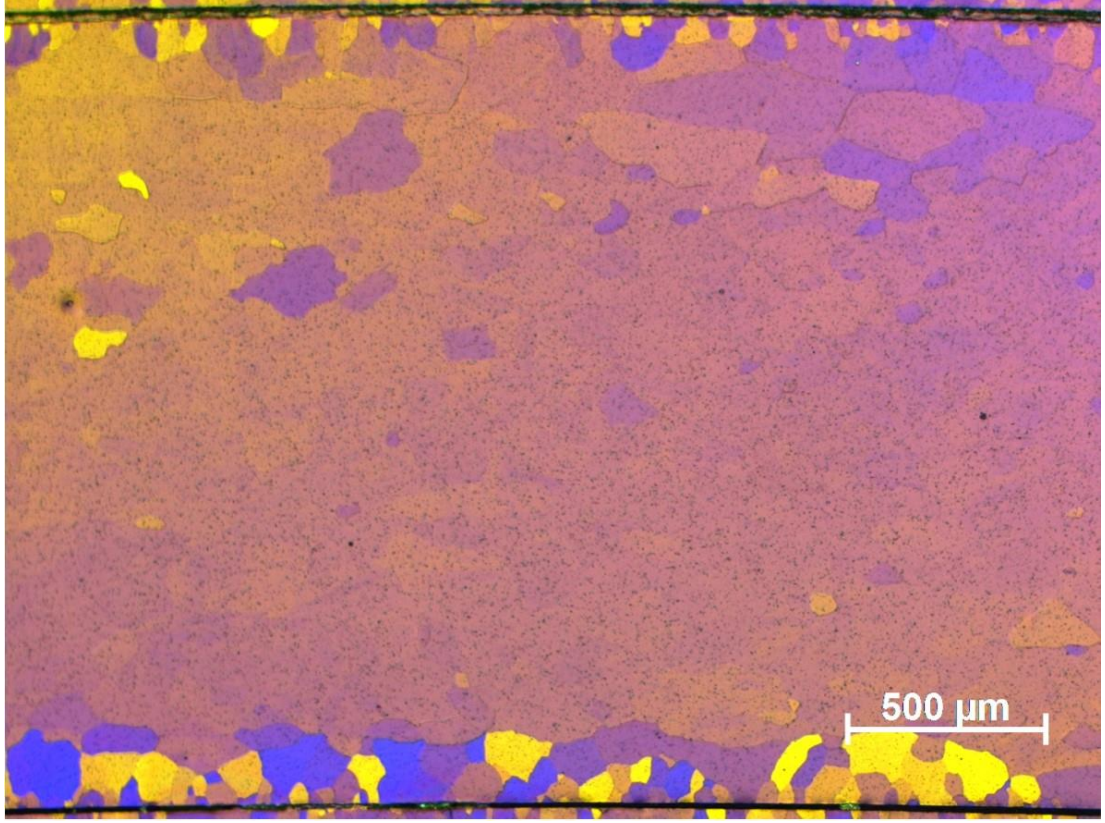
Şekil 6.13’te çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 180°C’de 4 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan dairesel profilin mikroyapısı gösterilmektedir. Tane boyutu ortalama 84,013 μm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6. 13. 180°C’de 4 saat yaşlandırılmış dairesel profil mikroyapısı.

6.1.14. 180°C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profilin Mikroyapısal İncelemesi

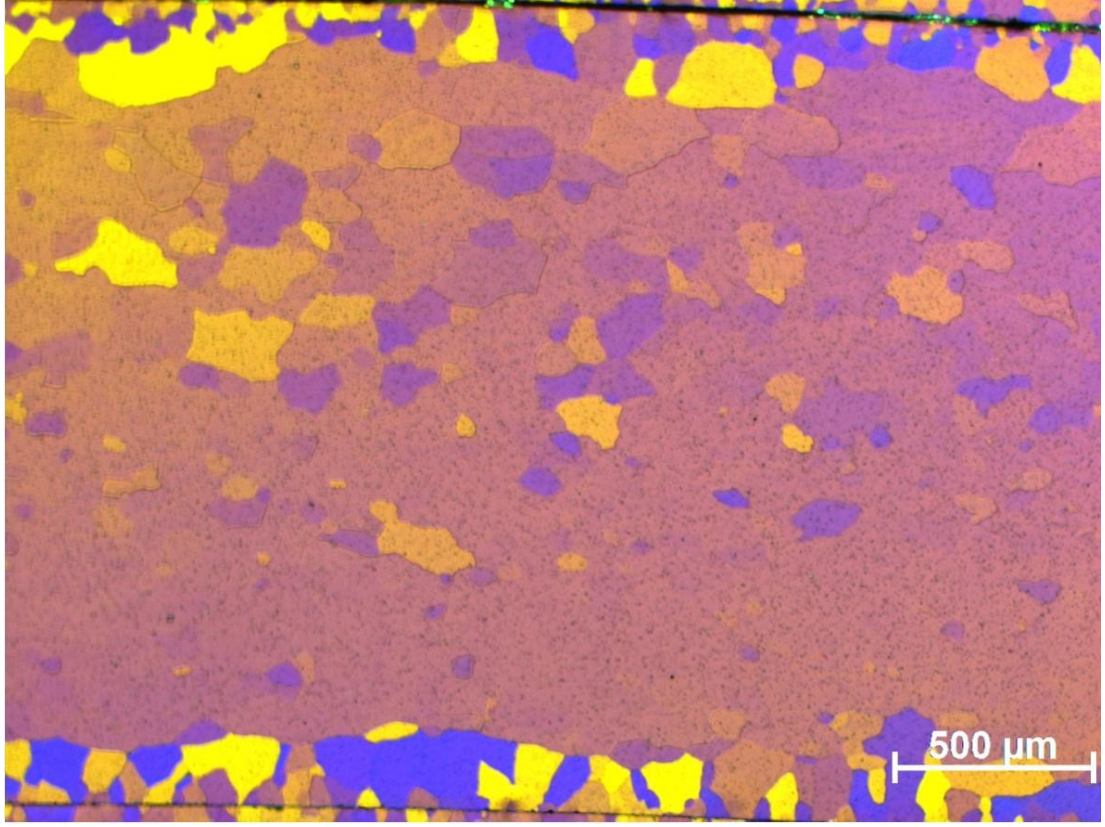
Şekil 6.14’te çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 180°C’de 6 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan dairesel profilin mikroyapısı gösterilmektedir. Tane boyutu ortalama 78,437 µm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6. 14. 180°C’de 6 saat yaşlandırılmış dairesel profil mikroyapısı.

6.1.15. 180°C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profilin Mikroyapısal İncelemesi

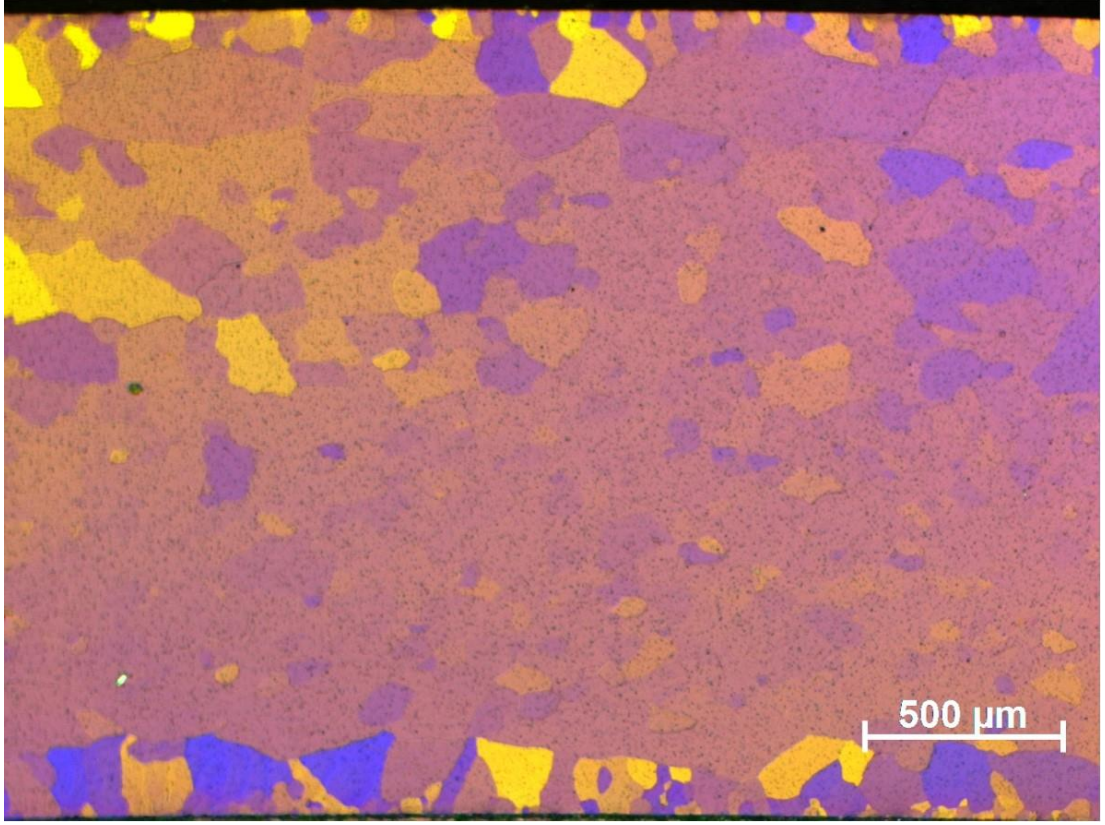
Şekil 6.15’te çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 180°C’de 8 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan dairesel profilin mikroyapısı gösterilmektedir. Tane boyutu ortalama 80,825 μm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6. 15. 180°C’de 8 saat yaşlandırılmış dairesel profil mikroyapısı.

6.1.16. 200°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profilin Mikroyapısal İncelemesi

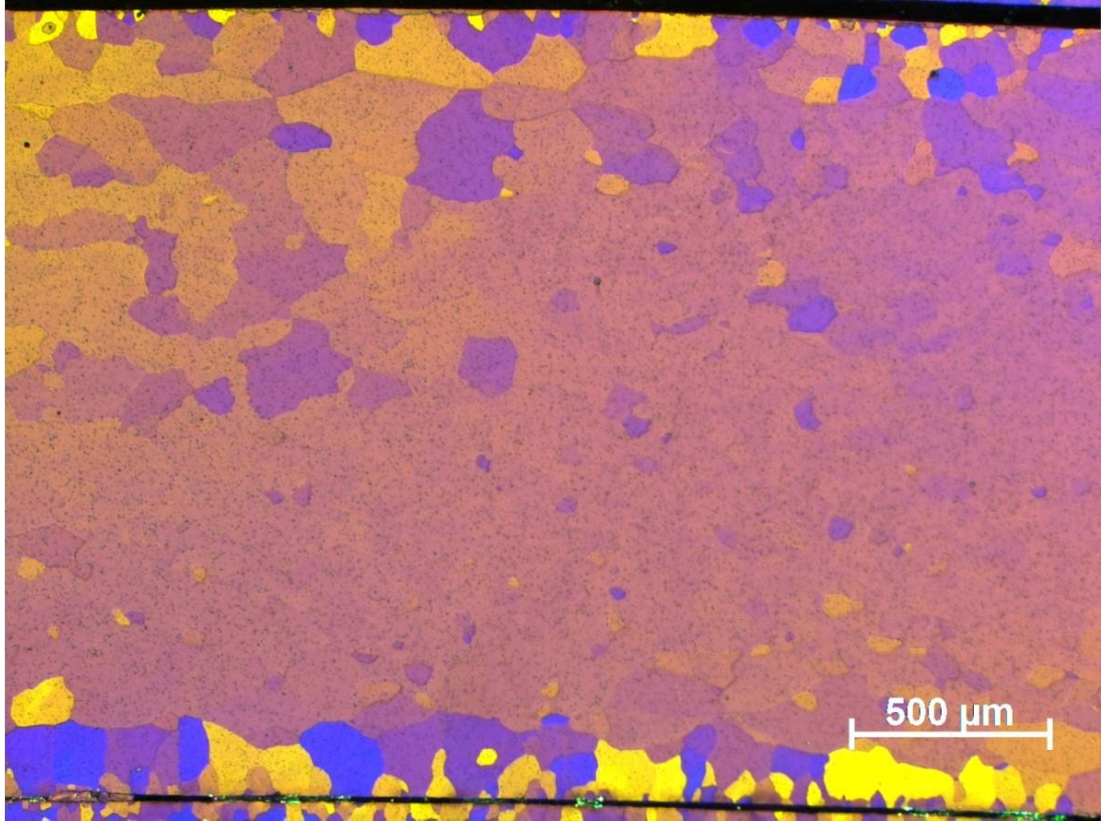
Şekil 6.16’da çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 200°C’de 4 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan dairesel profilin mikroyapısı gösterilmektedir. Tane boyutu ortalama 94,813 μm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6. 16. 200°C’de 4 saat yaşlandırılmış dairesel profil mikroyapısı.

6.1.17. 200 °C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profilin Mikroyapısal İncelemesi

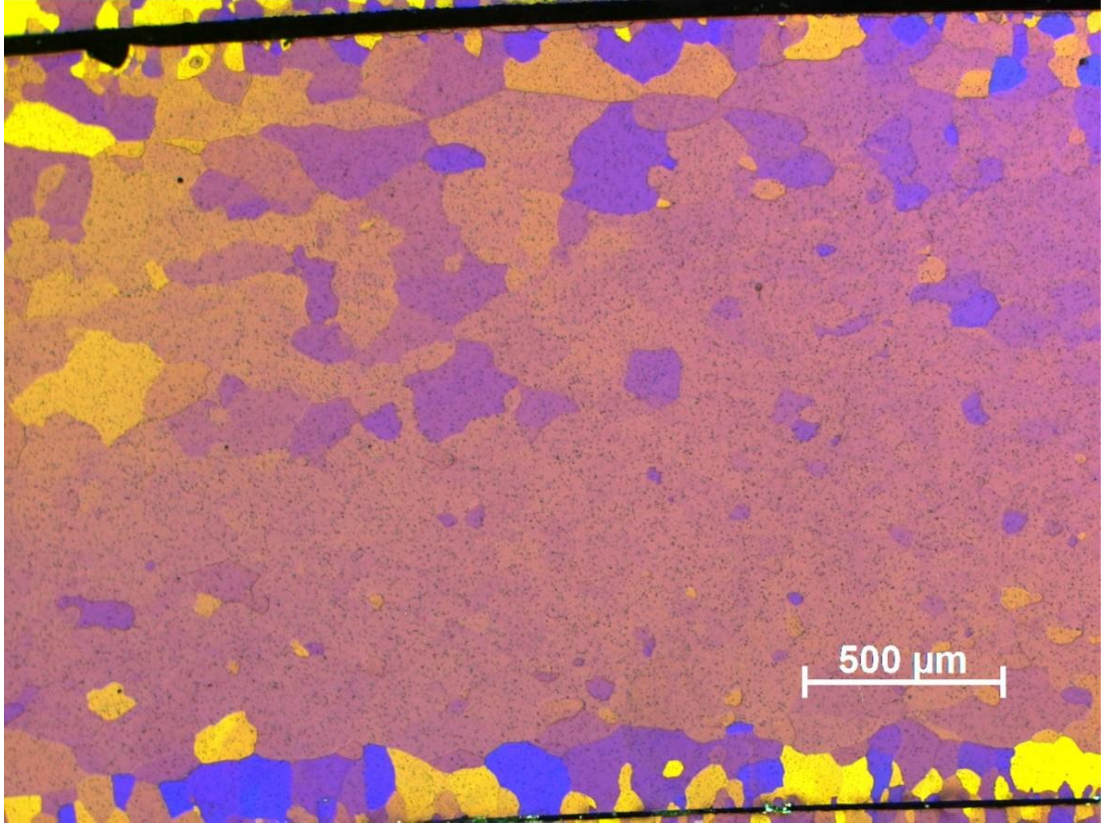
Şekil 6.17’de çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 200°C’de 6 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan dairesel profilin mikroyapısı gösterilmektedir. Tane boyutu ortalama 97,361 μm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6. 17. 200°C’de 6 saat yaşlandırılmış dairesel profil mikroyapısı.

6.1.18. 200 °C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profilin Mikroyapısal İncelemesi

Şekil 6.18’de çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 200°C’de 8 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan dairesel profilin mikroyapısı gösterilmektedir. Tane boyutu ortalama 99,548 μm olarak tespit edilmiştir.

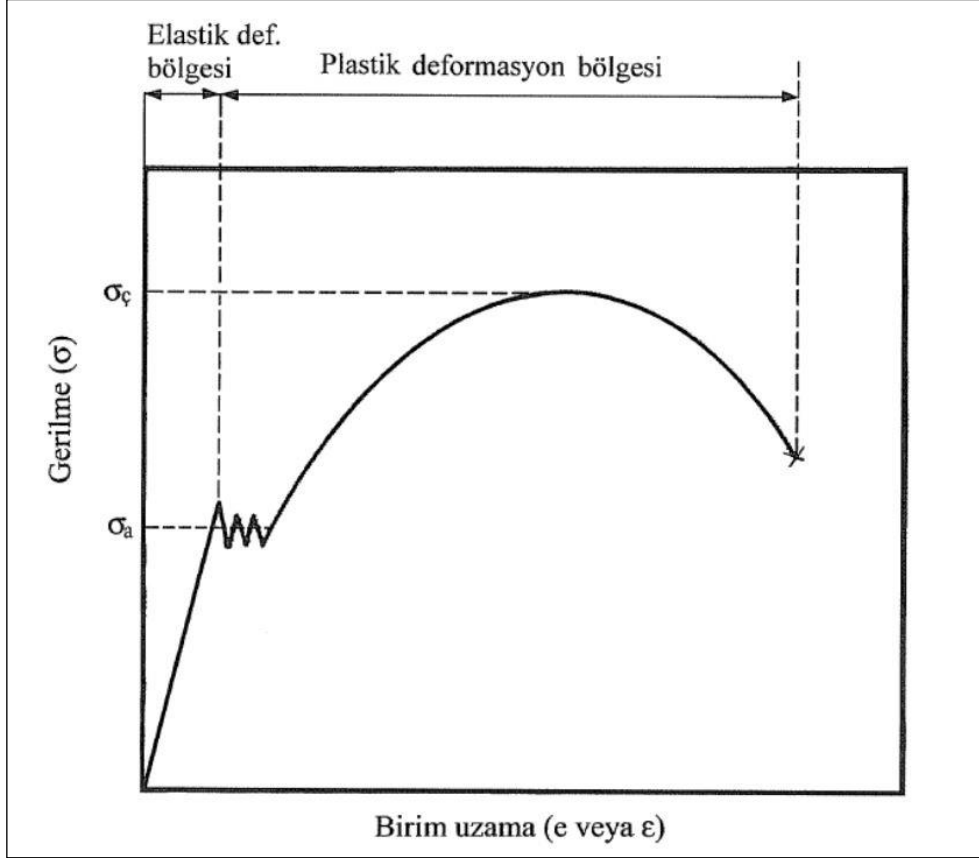


Şekil 6. 18. 200°C’de 8 saat yaşlandırılmış dairesel profil mikroyapısı.

6.2. Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi

Yapılan çalışmada numunelere çekme testi uygulanarak akma ve çekme mukavemetleri belirlenmiştir. Malzemelere bir yük/kuvvet uygulandığında şekil değişimine uğrarlar. Bu şekil değişimi, plastik ve elastik deformasyon olarak olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Malzemeye önce yük uygulanıp daha sonra bu yük geri çekildiğinde eğer malzeme şekil değişimine uğramamış ve ilk haline dönebiliyorsa bu elastik deformasyon olarak tanımlanır. Fakat uygulanan yük sonrasında yük geri çekilse dahi malzeme kalıcı şekil değişimine uğrayıp eski haline dönemiyorsa bu plastik deformasyon olarak adlandırılmaktadır. Çekme deneyi sırasında malzemede oluşan elastik deformasyonun son bulup plastik deformasyonun başladığı gerilme değeri akma mukavemetini (σ_a) belirtmektedir. Plastik deformasyon başladıktan sonra malzemenin en fazla yüklenebileceği gerilim değeri de çekme mukavemetini ($\sigma_{\text{ç}}$) göstermektedir. Çekme mukavemetine ulaşıldığında deney yapılan malzemede kopma meydana gelmektedir. Uzama değeri ise çekme testi sırasında malzemede oluşan en yüksek değerdeki geri dönüştürülemeyen deformasyonu tanımlamaktadır. yüzdellik

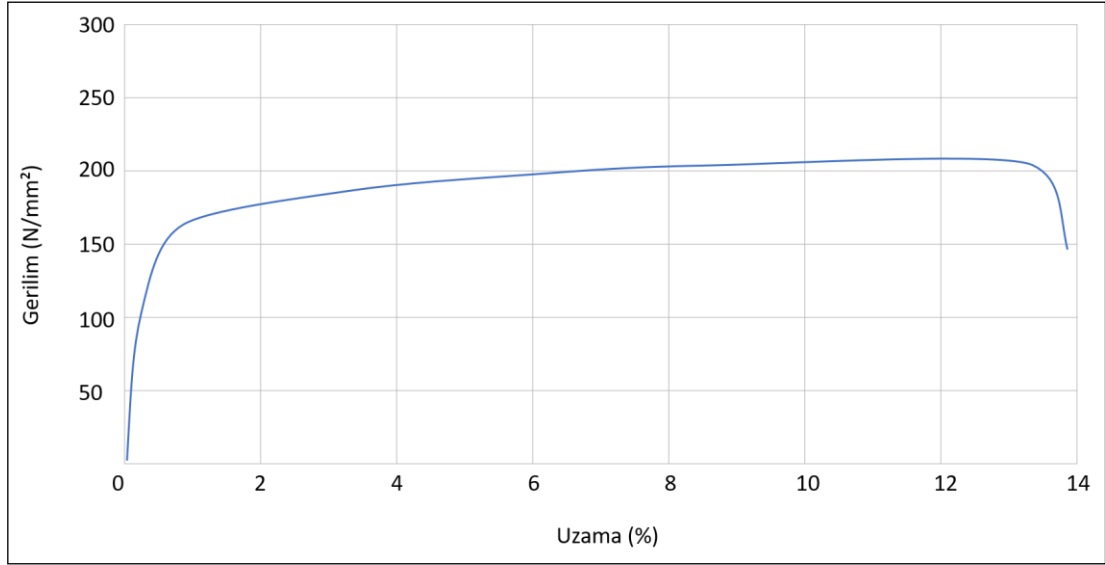
olarak ifade edilir. Malzemenin sünekliğini tanımlayan önemli bir parametredir. Bu çalışmada kullanılan basmave çekme test cihazının özellikleri nedeniyle uzama A50% cinsinden ölçülmüştür. [64]. Tanımlanan ifadeler, Şekil 6.19'daki örnek çekme testi grafiği gösterilmektedir.



Şekil 6. 19. Örnek çekme test grafiği ve tanımlamalar [25].

6.2.1. 160°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi

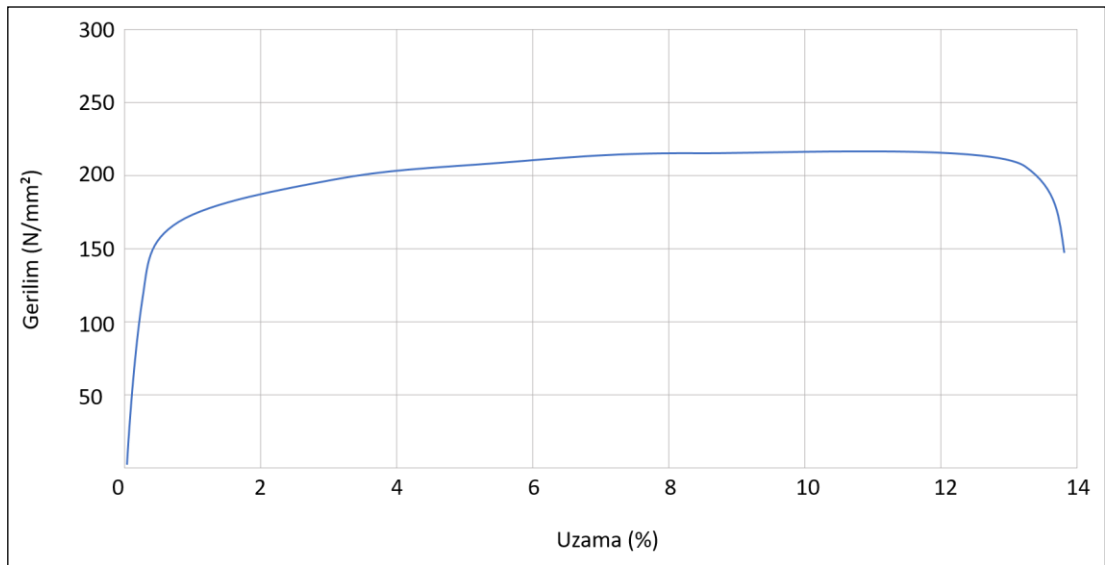
Şekil 6.20'de çözeltiye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 160°C'de 4 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan kare profilin çekme testi grafiği gösterilmektedir. Akma mukavemeti 155,98 N/mm², çekme mukavemeti 218,02 N/mm² ve kopma uzaması %13,4 olarak ölçülmüştür.



Şekil 6. 20. 160°C'de 4 saat yaşlandırılmış kare profil çekme test grafiği.

6.2.2. 160°C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi

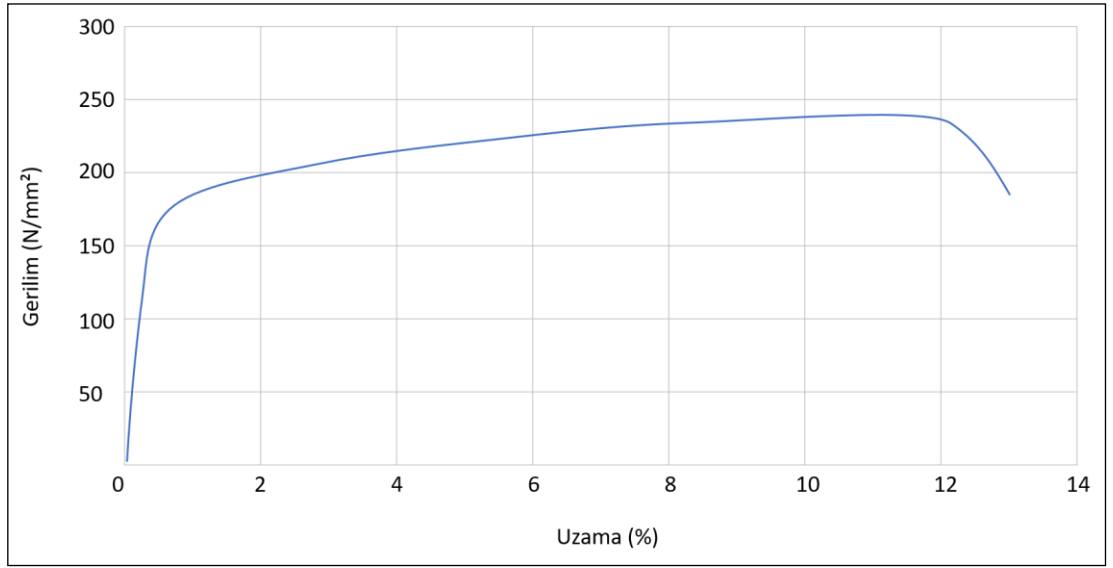
Şekil 6.21'de çözeltiye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 160°C'de 6 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan kare profilin çekme testi grafiği gösterilmektedir. Akma mukavemeti 161,27 N/mm², çekme mukavemeti 221,43 N/mm² ve kopma uzaması %13,19 olarak ölçülmüştür.



Şekil 6. 21. 160°C'de 6 saat yaşlandırılmış kare profil çekme test grafiği.

6.2.3. 160°C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi

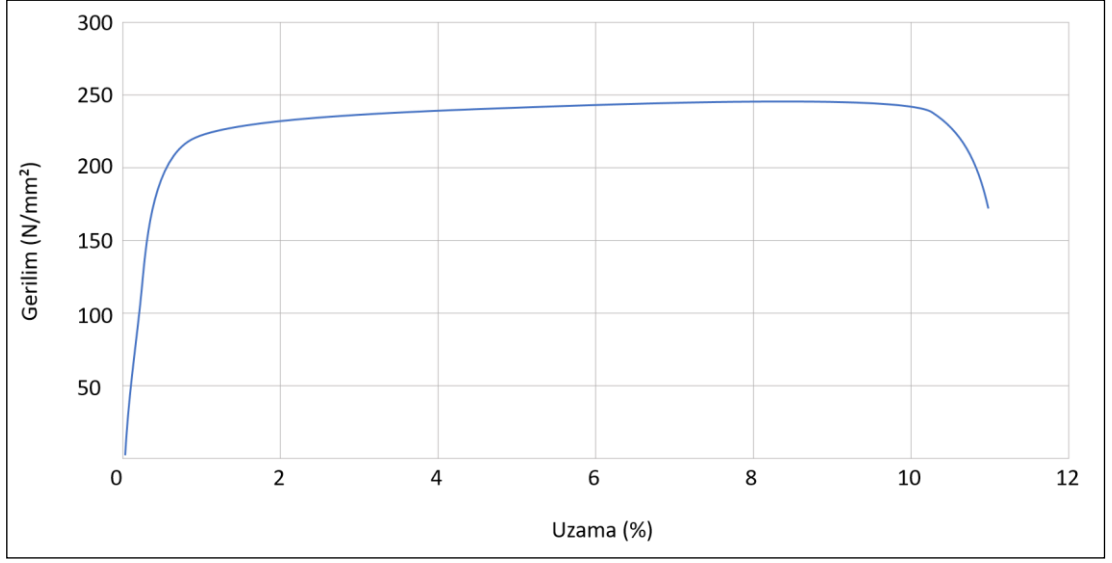
Şekil 6.22'de çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 160°C'de 8 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan kare profiline çekme testi grafiği gösterilmektedir. Akma mukavemeti 175,31 N/mm², çekme mukavemeti 232,52 N/mm² ve kopma uzaması %12,82 olarak ölçülmüştür.



Şekil 6. 22. 160°C'de 8 saat yaşlandırılmış kare profil çekme test grafiği.

6.2.4. 180°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi

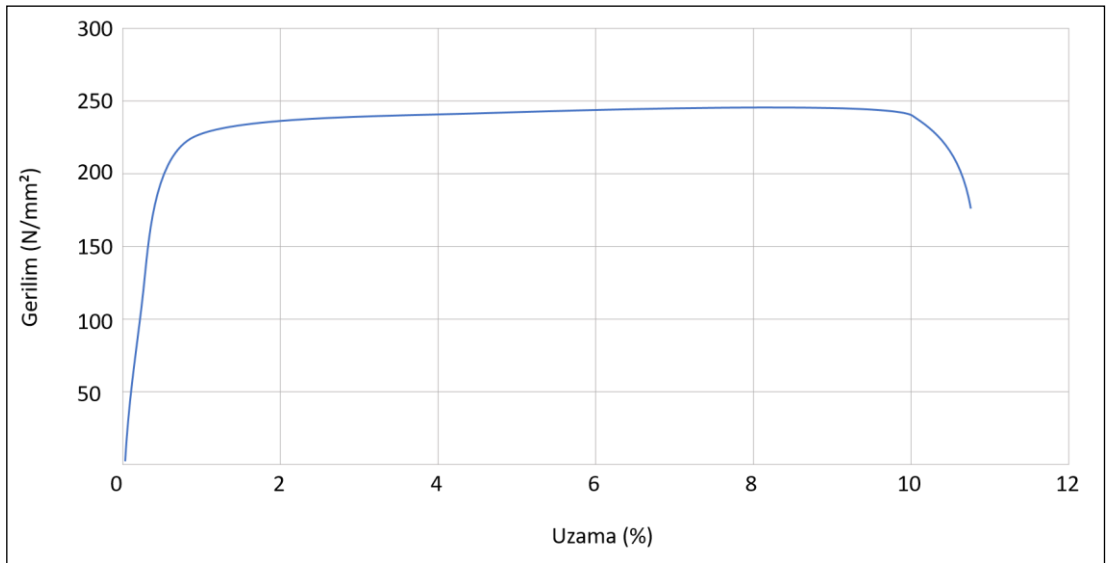
Şekil 6.23'te çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 180°C'de 4 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan kare profilin çekme testi grafiği gösterilmektedir. Akma mukavemeti 222,42 N/mm², çekme mukavemeti 247,62 N/mm² ve kopma uzaması %10,14 olarak ölçülmüştür.



Şekil 6. 23. 180°C’de 4 saat yaşlandırılmış kare profil çekme test grafiği.

6.2.5. 180°C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi

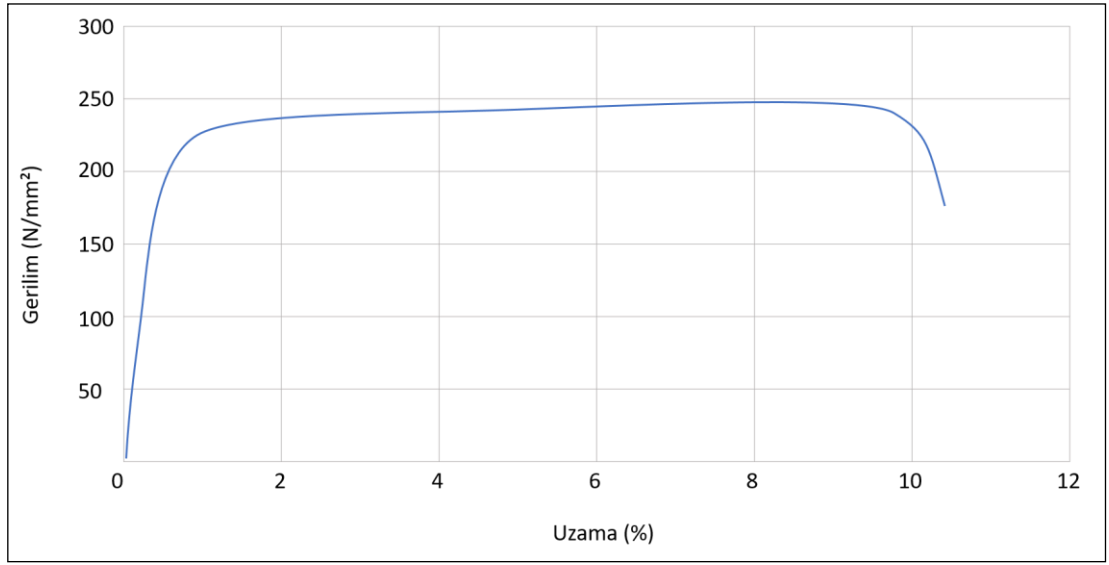
Şekil 6.24’te çözeltiye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 180°C’de 6 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan kare profilin çekme testi grafiği gösterilmektedir. Akma mukavemeti 223,58 N/mm², çekme mukavemeti 248,93 N/mm² ve kopma uzaması %10,08 olarak ölçülmüştür.



Şekil 6. 24. 180°C’de 6 saat yaşlandırılmış kare profil çekme test grafiği.

6.2.6. 180°C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi

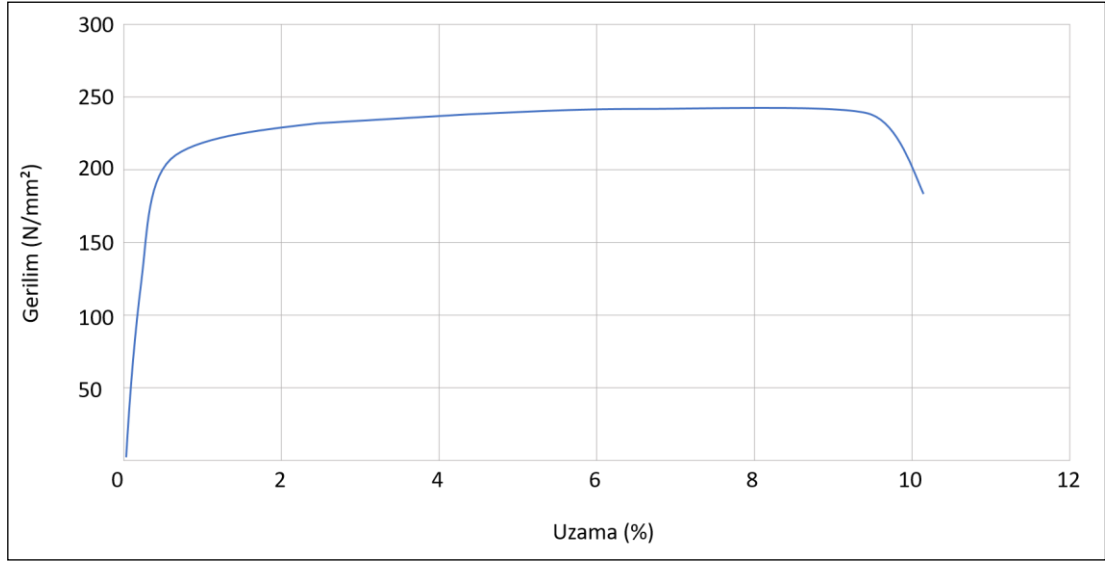
Şekil 6.25'te çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 180°C'de 8 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan kare profilin çekme testi grafiği gösterilmektedir. Akma mukavemeti 227,65 N/mm², çekme mukavemeti 249,91 N/mm² ve kopma uzaması %9,96 olarak ölçülmüştür.



Şekil 6. 25. 180°C'de 8 saat yaşlandırılmış kare profil çekme test grafiği.

6.2.7. 200°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi

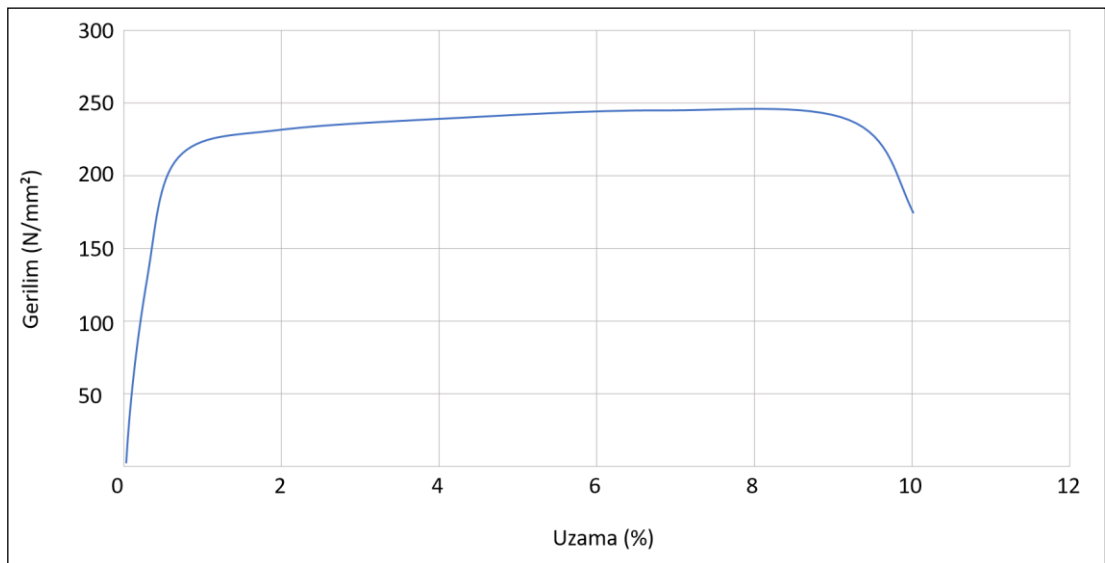
Şekil 6.26'da çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 200°C'de 4 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan kare profilin çekme testi grafiği gösterilmektedir. Akma mukavemeti 204,29 N/mm², çekme mukavemeti 244,54 N/mm² ve kopma uzaması %9,51 olarak ölçülmüştür.



Şekil 6. 26. 200°C’de 4 saat yaşlandırılmış kare profil çekme test grafiği.

6.2.8. 200°C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi

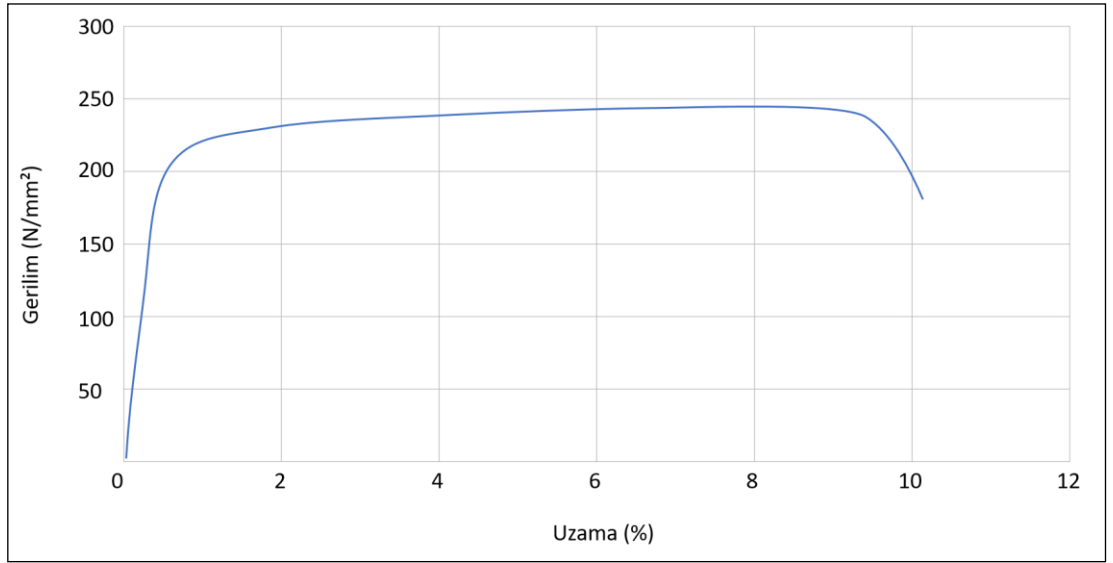
Şekil 6.27’de çözeltiye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 200°C’de 6 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan kare profilin çekme testi grafiği gösterilmektedir. Akma mukavemeti 218,79 N/mm², çekme mukavemeti 247,31 N/mm² ve kopma uzaması %9,38 olarak ölçülmüştür.



Şekil 6. 27. 200°C’de 6 saat yaşlandırılmış kare profil çekme test grafiği.

6.2.9. 200°C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi

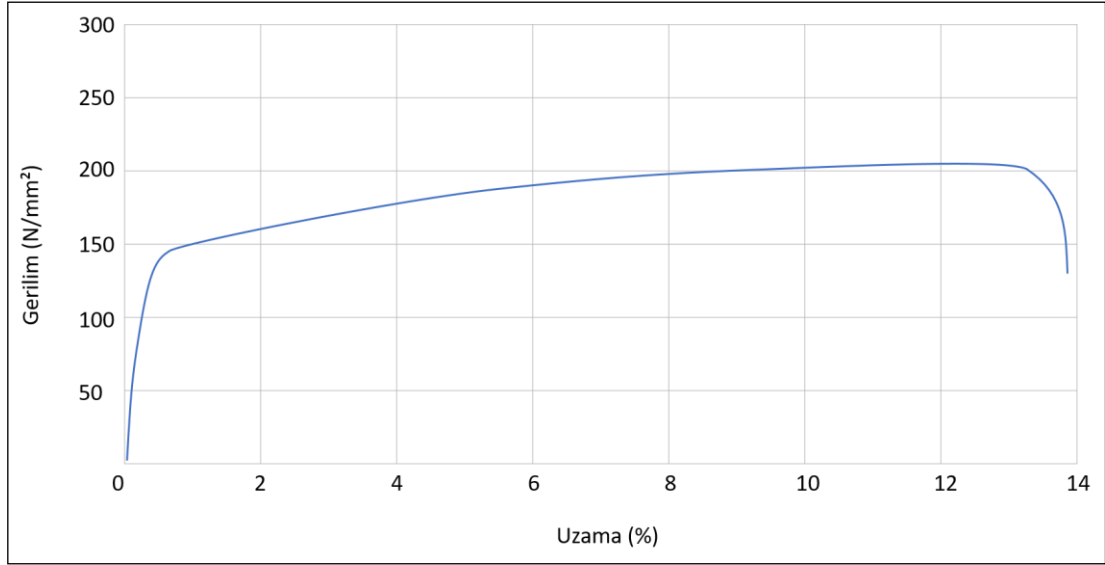
Şekil 6.28'de çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 200°C'de 8 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan kare profilin çekme testi grafiği gösterilmektedir. Akma mukavemeti 212,4 N/mm², çekme mukavemeti 246,59 N/mm² ve kopma uzaması %9,43 olarak ölçülmüştür.



Şekil 6. 28. 200°C'de 8 saat yaşlandırılmış kare profil çekme test grafiği.

6.2.10. 160°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi

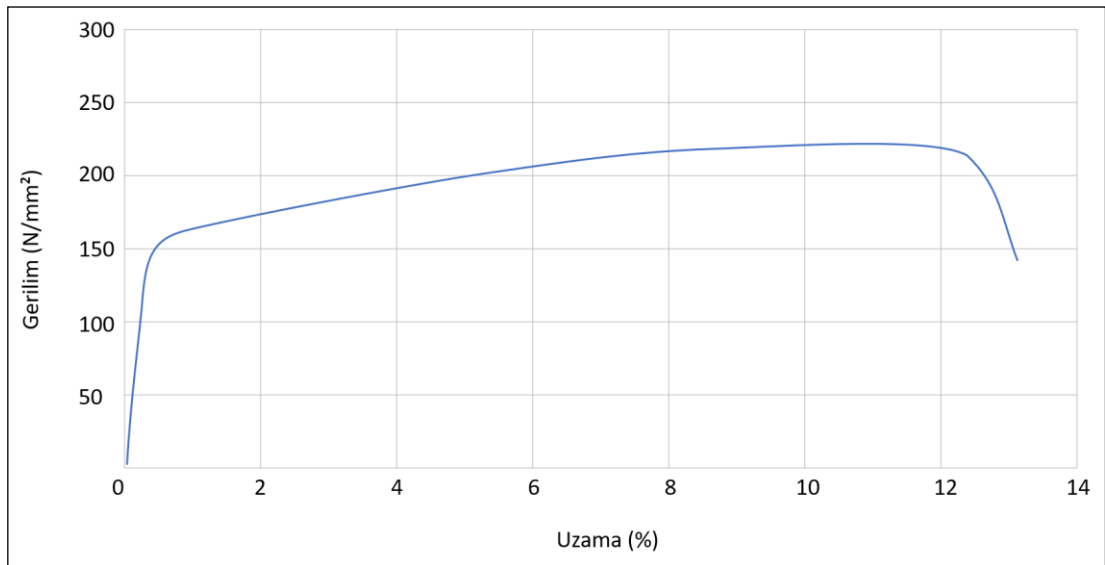
Şekil 6.29'da çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 160°C'de 4 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan dairesel profilin çekme testi grafiği gösterilmektedir. Akma mukavemeti 148,64 N/mm², çekme mukavemeti 215,54 N/mm² ve kopma uzaması %13,5 olarak ölçülmüştür.



Şekil 6. 29. 160°C'de 4 saat yaşlandırılmış dairesel profil çekme test grafiği.

6.2.11. 160°C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi

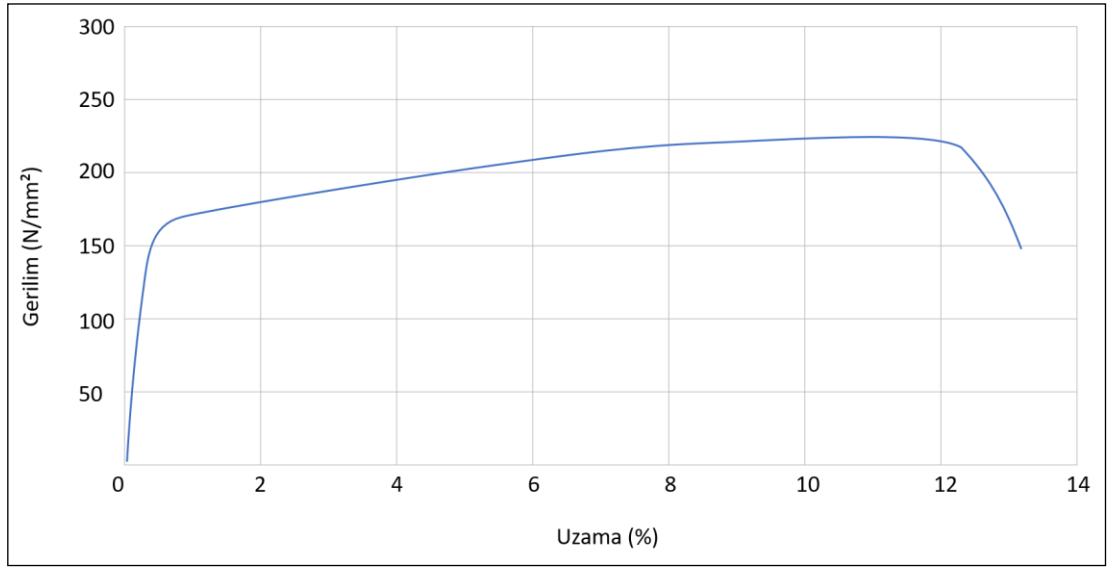
Şekil 6.30'da çözeltiye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 160°C'de 6 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan dairesel profilin çekme testi grafiği gösterilmektedir. Akma mukavemeti 156,29 N/mm², çekme mukavemeti 221,4 N/mm² ve kopma uzaması %12,31 olarak ölçülmüştür.



Şekil 6. 30. 160°C'de 6 saat yaşlandırılmış dairesel profil çekme test grafiği.

6.2.12. 160°C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi

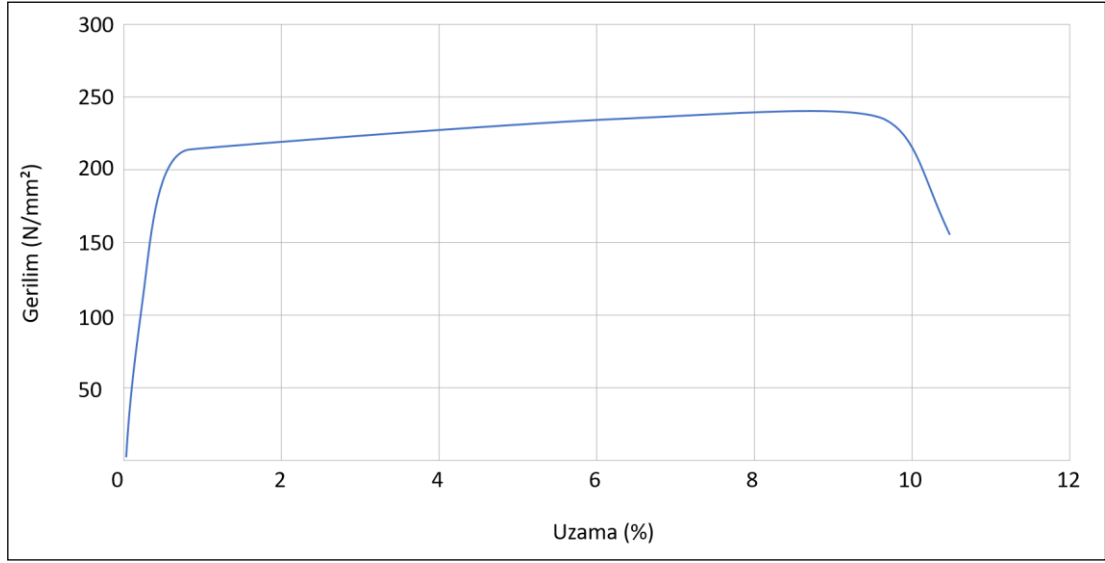
Şekil 6.31'de çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 160°C'de 8 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan dairesel profilin çekme testi grafiği gösterilmektedir. Akma mukavemeti 164,22 N/mm², çekme mukavemeti 225,3 N/mm² ve kopma uzaması %12,27 olarak ölçülmüştür.



Şekil 6. 31. 160°C'de 8 saat yaşlandırılmış dairesel profil çekme test grafiği.

6.2.13. 180°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi

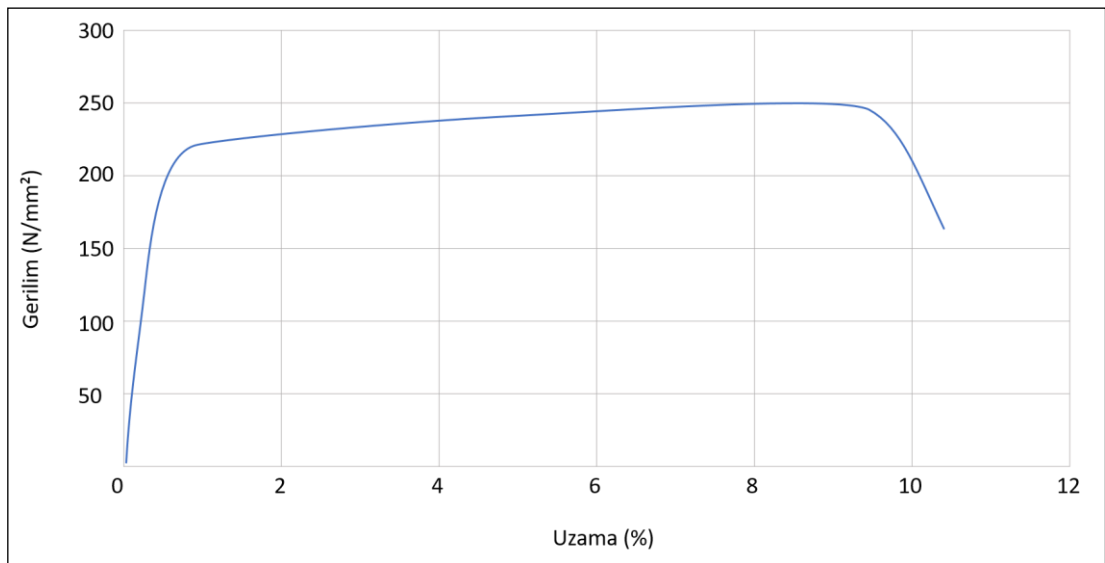
Şekil 6.32'de çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 180°C'de 4 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan dairesel profilin çekme testi grafiği gösterilmektedir. Akma mukavemeti 221,41 N/mm², çekme mukavemeti 246,29 N/mm² ve kopma uzaması %9,48 olarak ölçülmüştür.



Şekil 6. 32. 180°C’de 4 saat yaşlandırılmış dairesel profil çekme test grafiği.

6.2.14. 180°C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi

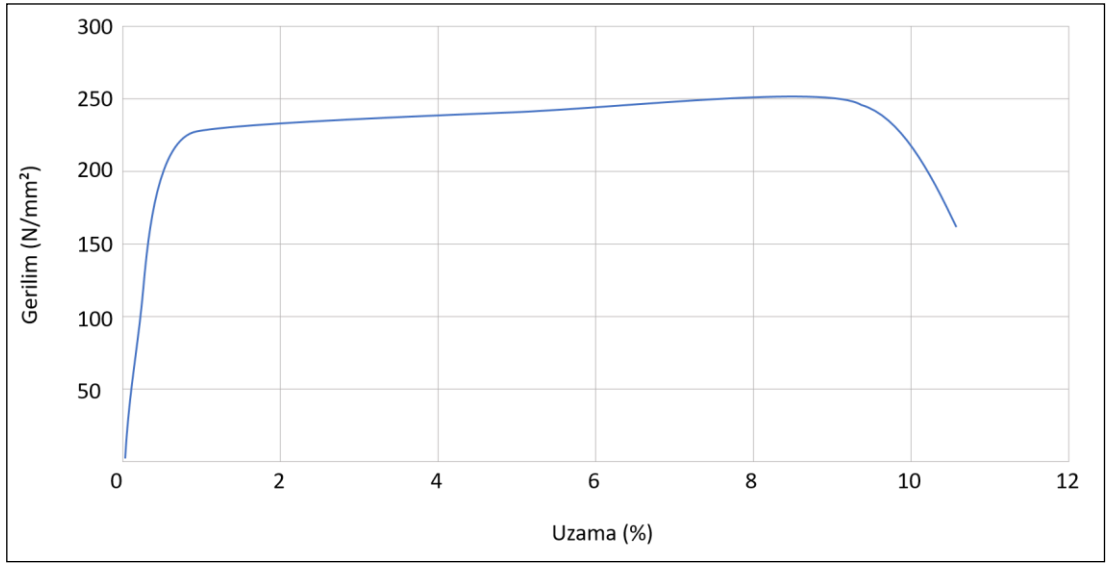
Şekil 6.33’te çözeltiye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 180°C’de 6 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan dairesel profilin çekme testi grafiği gösterilmektedir. Akma mukavemeti 225,42 N/mm², çekme mukavemeti 250,26 N/mm² ve kopma uzaması %9,15 olarak ölçülmüştür.



Şekil 6. 33. 180°C’de 6 saat yaşlandırılmış dairesel profil çekme test grafiği.

6.2.15. 180°C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi

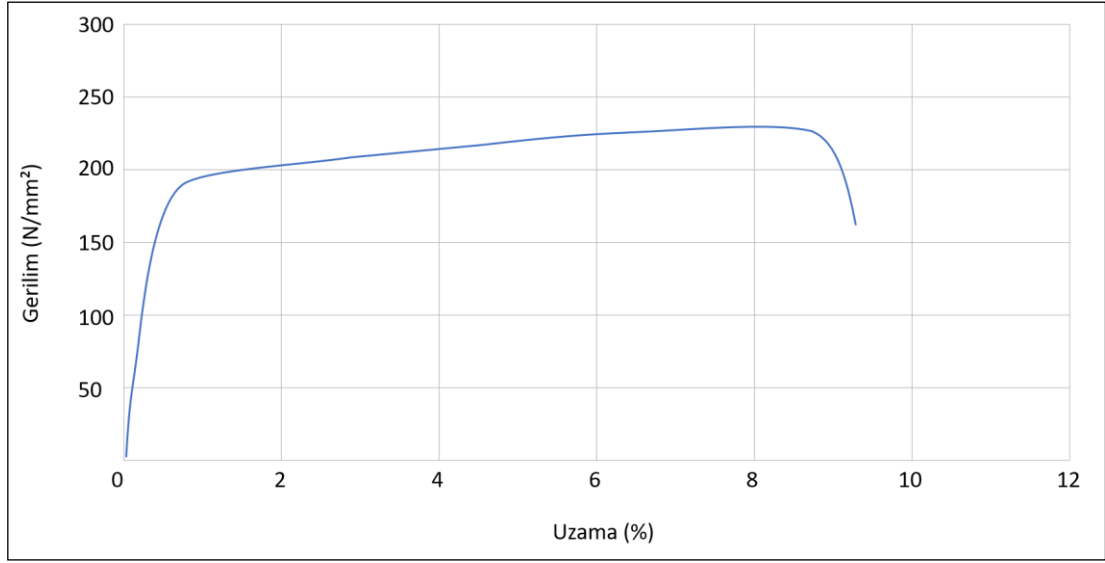
Şekil 6.34'te çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 180°C'de 8 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan dairesel profilin çekme testi grafiği gösterilmektedir. Akma mukavemeti 229,48 N/mm², çekme mukavemeti 251,28 N/mm² ve kopma uzaması %9,05 olarak ölçülmüştür.



Şekil 6. 34. 180°C'de 8 saat yaşlandırılmış dairesel profil çekme test grafiği.

6.2.16. 200°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi

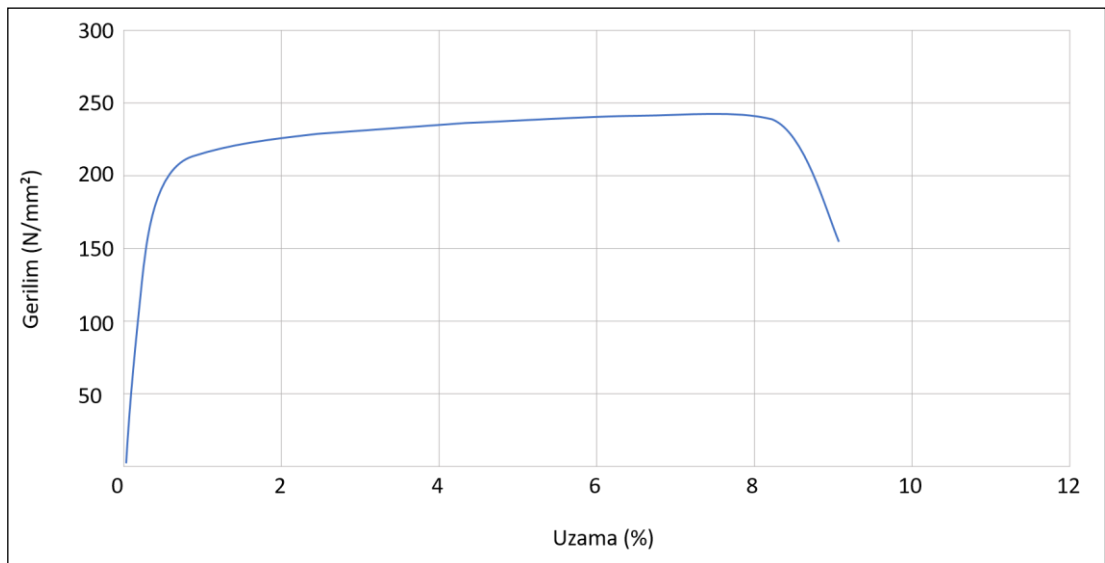
Şekil 6.35'te çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 200°C'de 4 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan dairesel profilin çekme testi grafiği gösterilmektedir. Akma mukavemeti 195,08 N/mm², çekme mukavemeti 224,45 N/mm² ve kopma uzaması %8,98 olarak ölçülmüştür.



Şekil 6. 35. 200°C'de 4 saat yaşlandırılmış dairesel profil çekme test grafiği.

6.2.17. 200 °C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi

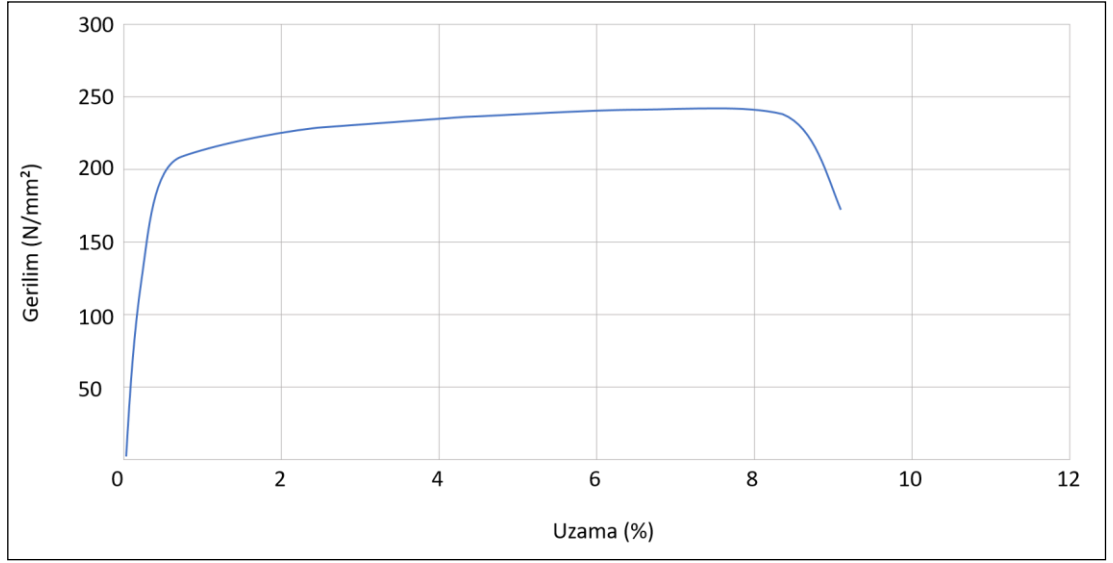
Şekil 6.36'da çözeltiye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 200°C'de 6 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan dairesel profilin çekme testi grafiği gösterilmektedir. Akma mukavemeti 205,35 N/mm², çekme mukavemeti 232,17 N/mm² ve kopma uzaması %8,34 olarak ölçülmüştür.



Şekil 6. 36. 200°C'de 6 saat yaşlandırılmış dairesel profil çekme test grafiği.

6.2.18. 200 °C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Çekme Test Sonuçlarının İncelenmesi

Şekil 6.37'de çözültüye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 200°C'de 8 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan dairesel profilin çekme testi grafiği gösterilmektedir. Akma mukavemeti 202,88 N/mm², çekme mukavemeti 231,39 N/mm² ve kopma uzaması %8,65 olarak ölçülmüştür.



Şekil 6. 37. 200°C'de 8 saat yaşlandırılmış dairesel profil çekme test grafiği.

6.3. Basma Testi ile Enerji Absorbe Edebilme Miktarlarının İncelenmesi

Önceki bölümlerde belirtildiği üzere çarpışma kutularında enerji sönümlene yeteneği çok önemlidir. Bu özellikle basma testi ile ölçülebilmektedir. Basma testi şematik olarak çekme testinin tersi şeklinde gerçekleştirilmektedir.

Basma test sonuçları incelenirken ilk kriter test sonrasında numunede yırtık oluşmamasıdır. Yırtık olması durumunda numune uygun değil olarak değerlendirilmektedir. Eğer numunede yırtılma yoksa, o zaman sönümlendiği enerji miktarı değerlendirmeye alınmaktadır. Bu nedenle yırtık oluşumu gözlenen numunelerin basma testi grafikleri eklenmemiştir.

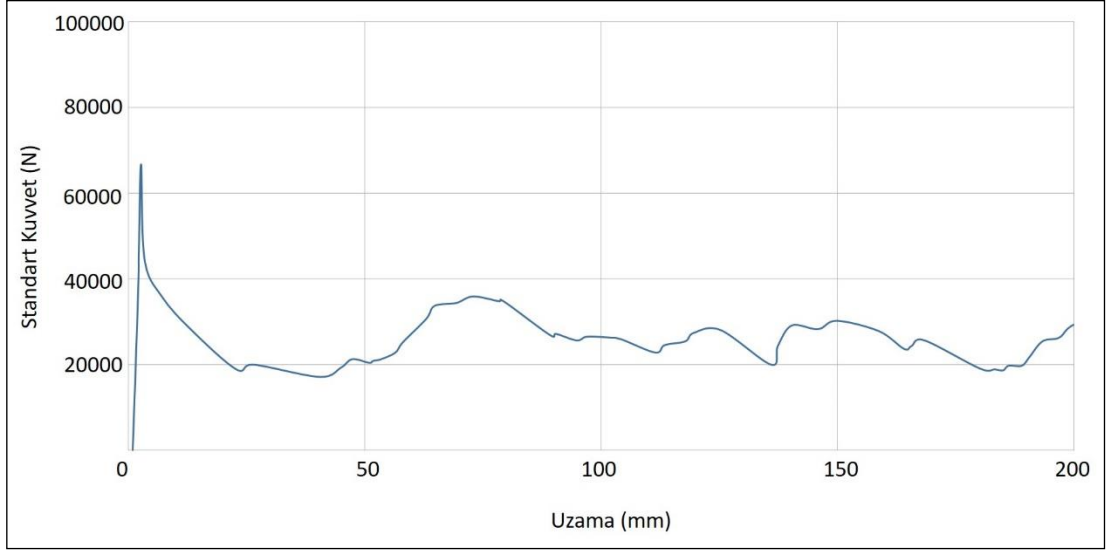
6.3.1. 160°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Basma Test Sonuçlarının İncelenmesi

Şekil 6.38'de çözeltiye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 160°C'de 4 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan kare profilin basma testi uygulanmış numunesi gösterilmektedir. Numunede yırtık oluşumu gözlemlenmemiştir.



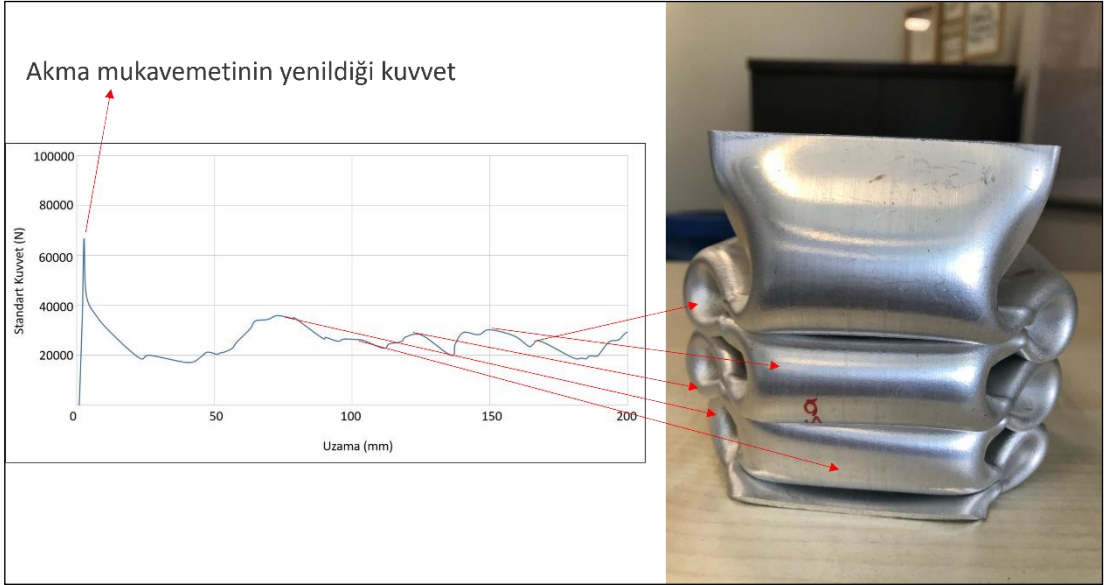
Şekil 6. 38. 160°C'de 4 saat yaşlandırılmış kare profil basma testi uygulanmış numunesi.

Şekil 6.39'da çözeltiye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 160°C'de 4 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan kare profilin basma testi grafiği gösterilmektedir.



Şekil 6. 39. 160°C’de 4 saat yaşlandırılmış kare profil basma test grafiği.

Şekil 6.40’ta 160°C’de 4 saat yaşlandırılmış kare profil basma testi grafiğindeki pik noktalar ile basma testi uygulanmış numune karşılaştırılmaktadır.



Şekil 6. 40. 160°C’de 4 saat yaşlandırılmış kare profil basma test grafiği ile numune karşılaştırması.

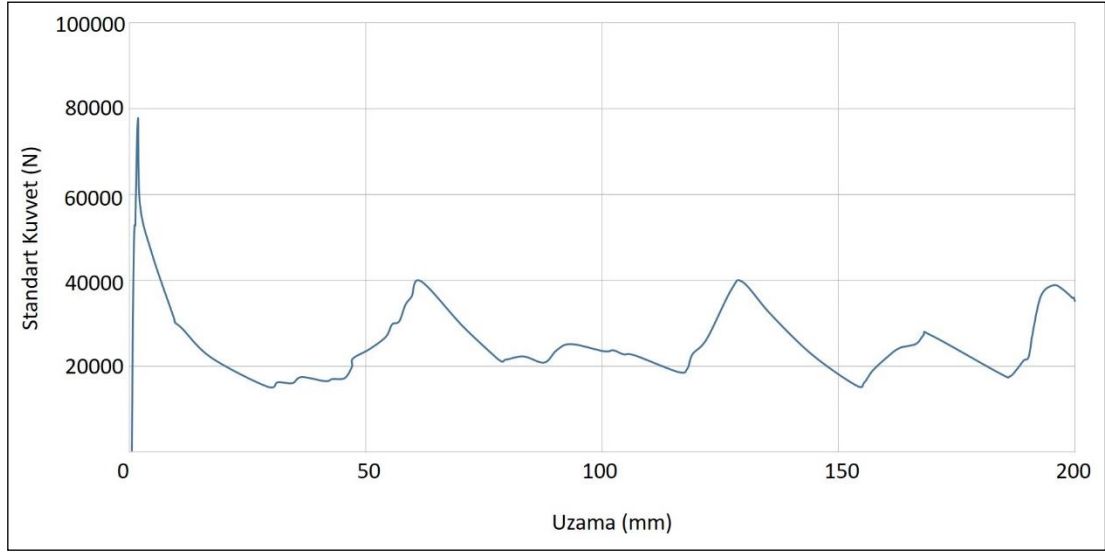
6.3.2. 160°C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Basma Test Sonuçlarının İncelenmesi

Şekil 6.41'de çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 160°C'de 6 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan kare profilin basma testi uygulanmış numunesi gösterilmektedir. Numunede yırtık oluşumu gözlemlenmemiştir.



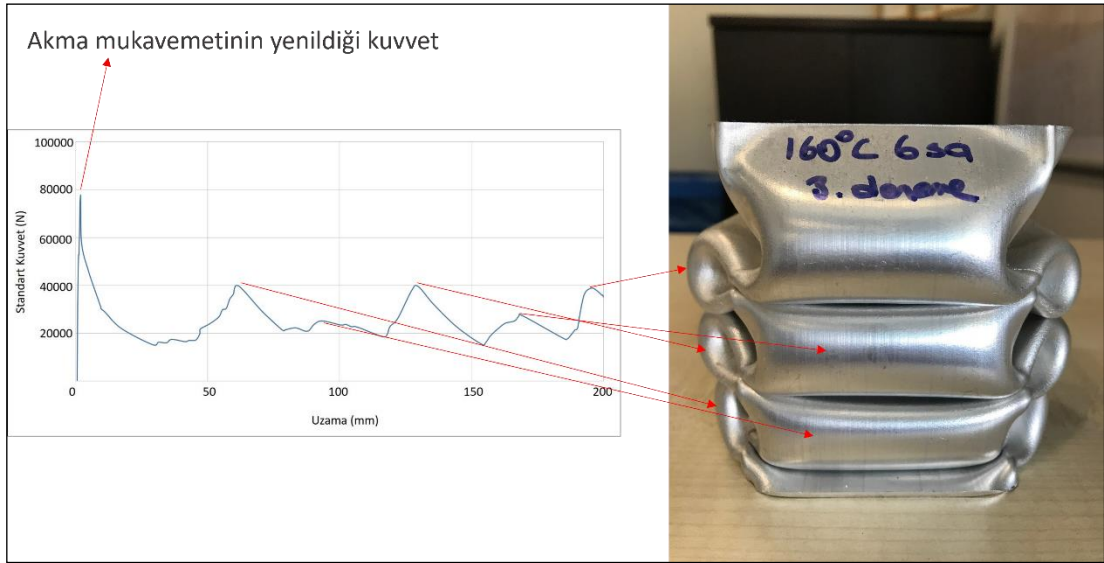
Şekil 6. 41. 160°C'de 6 saat yaşlandırılmış kare profil basma testi uygulanmış numunesi.

Şekil 6.42'de çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 160°C'de 6 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan kare profilin basma testi grafiği gösterilmektedir.



Şekil 6. 42. 160°C’de 6 saat yaşlandırılmış kare profil basma test grafiği.

Şekil 6.43’te 160°C’de 6 saat yaşlandırılmış kare profil basma testi grafiğindeki pik noktalar ile basma testi uygulanmış numune karşılaştırılmaktadır.



Şekil 6. 43. 160°C’de 6 saat yaşlandırılmış kare profil basma test grafiği ile numune karşılaştırması.

6.3.3. 160°C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Basma Test Sonuçlarının İncelenmesi

Şekil 6.44’te çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 160°C’de 8 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan kare profilin basma testi uygulanmış

numunesi gösterilmektedir. Numunede yırtık oluşumu gözlemlenmiştir. Şekil 6.44'te yırtıklar kırmızı dikdörtgen ile gösterilmektedir.



Şekil 6. 44. 160°C'de 8 saat yaşlandırılmış kare profil basma testi uygulanmış numunesi.

6.3.4. 180°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Basma Test Sonuçlarının İncelenmesi

Şekil 6.45'te çözeltiye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 180°C'de 4 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan kare profilin basma testi uygulanmış numunesi gösterilmektedir. Numunede yırtık oluşumu gözlemlenmiştir. Şekil 6.45'te yırtıklar kırmızı dikdörtgen ile gösterilmektedir.



Şekil 6. 45. 180°C’de 4 saat yaşlandırılmış kare profil basma testi uygulanmış numunesi.

6.3.5. 180°C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Basma Test Sonuçlarının İncelenmesi

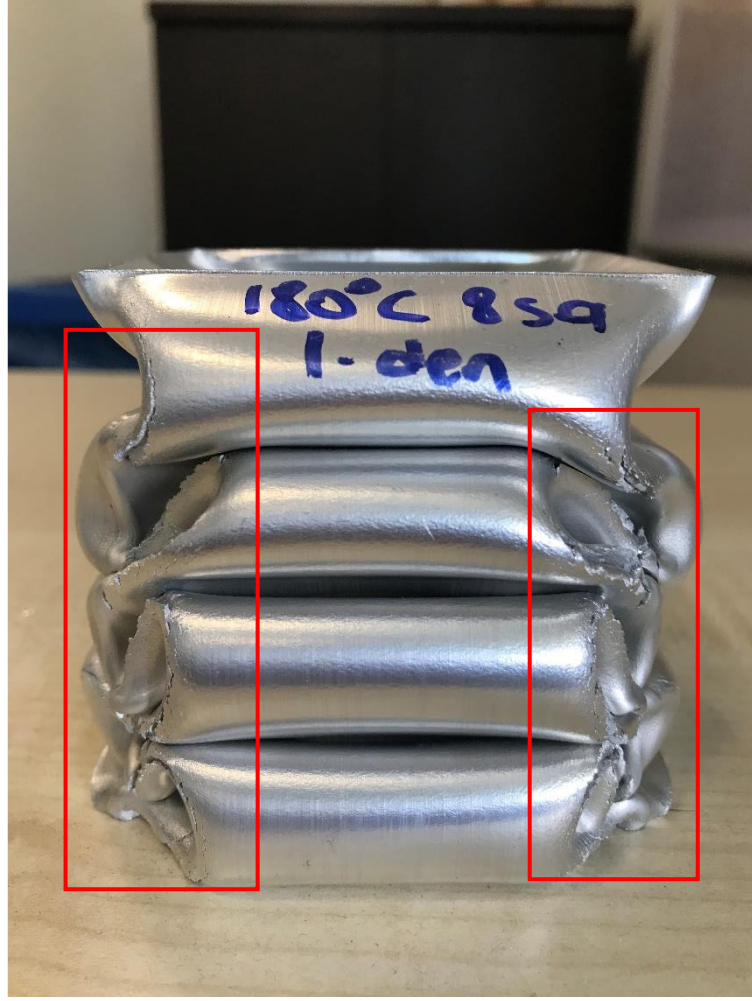
Şekil 6.46’da çözeltiye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 180°C’de 6 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan kare profilin basma testi uygulanmış numunesi gösterilmektedir. Numunede yırtık oluşumu gözlemlenmiştir. Şekil 6.46’da yırtıklar kırmızı dikdörtgen ile gösterilmektedir.



Şekil 6. 46. 180°C’de 6 saat yaşlandırılmış kare profil basma testi uygulanmış numunesi.

6.3.6. 180°C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Basma Test Sonuçlarının İncelenmesi

Şekil 6.47’de çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 180°C’de 8 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan kare profilin basma testi uygulanmış numunesi gösterilmektedir. Numunede yırtık oluşumu gözlemlenmiştir. Şekil 6.47’de yırtıklar kırmızı dikdörtgen ile gösterilmektedir.



Şekil 6. 47. 180°C’de 8 saat yaşlandırılmış kare profil basma testi uygulanmış numunesi.

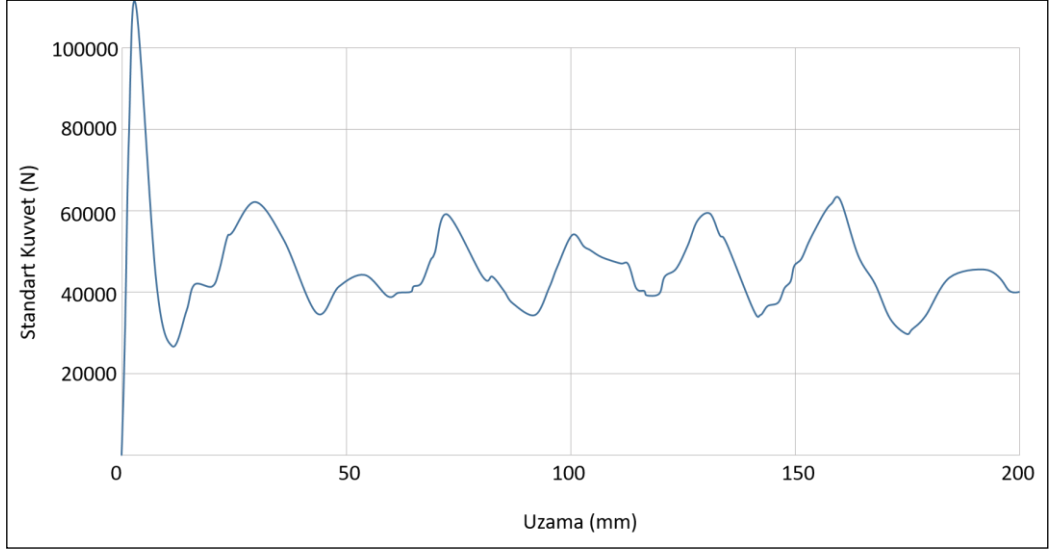
6.3.7. 200°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Basma Test Sonuçlarının İncelenmesi

Şekil 6.48’de çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 200°C’de 4 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan kare profilin basma testi uygulanmış numunesi gösterilmektedir. Numunede yırtık oluşumu gözlemlenmemiştir.



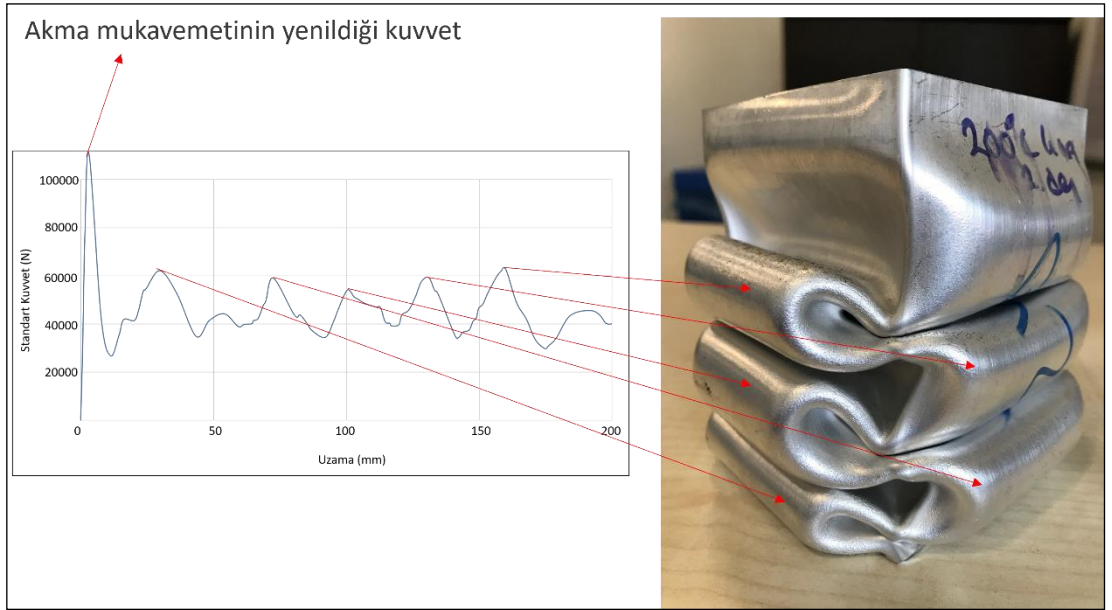
Şekil 6. 48. 200°C’de 4 saat yaşlandırılmış kare profil basma testi uygulanmış numunesi.

Şekil 6.49’da çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 200°C’de 4 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan kare profilin basma testi grafiği gösterilmektedir.



Şekil 6. 49. 200°C'de 4 saat yaşlandırılmış kare profil basma test grafiği.

Şekil 6.50'de 200°C'de 4 saat yaşlandırılmış kare profil basma testi grafiğindeki pik noktalar ile basma testi uygulanmış numune karşılaştırılmaktadır.



Şekil 6. 50. 200°C'de 4 saat yaşlandırılmış kare profil basma test grafiği ile numune karşılaştırması.

6.3.8. 200°C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Basma Test Sonuçlarının İncelenmesi

Şekil 6.51’de çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 200°C’de 6 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan kare profilin basma testi uygulanmış numunesi gösterilmektedir. Numunede yırtık oluşumu gözlemlenmiştir. Şekil 6.51’de yırtıklar kırmızı dikdörtgen ile gösterilmektedir.



Şekil 6. 51. 200°C’de 6 saat yaşlandırılmış kare profil basma testi uygulanmış numunesi.

6.3.9. 200°C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Kare Profil Basma Test Sonuçlarının İncelenmesi

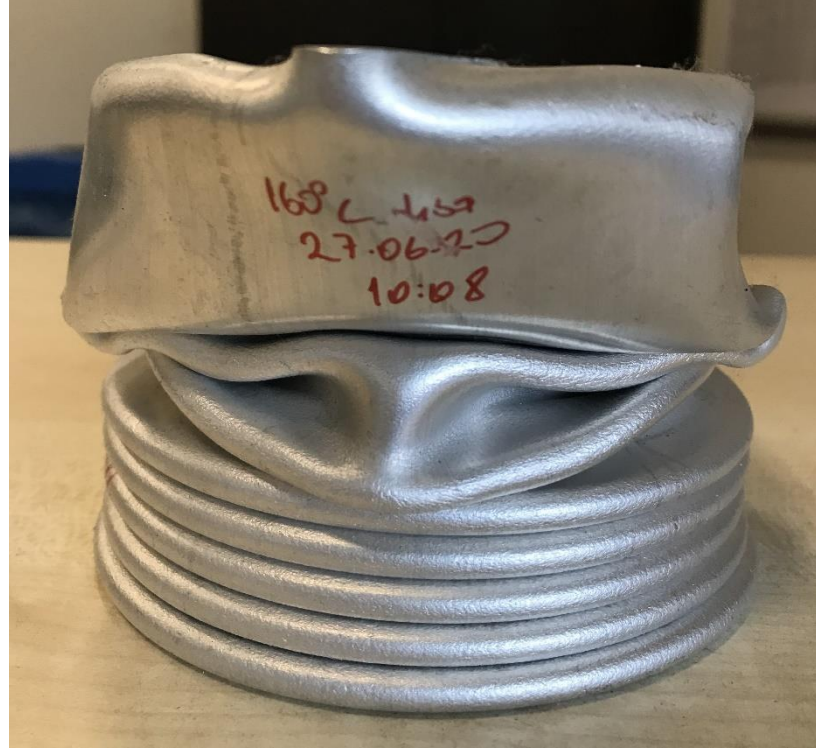
Şekil 6.52’de çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 200°C’de 8 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan kare profilin basma testi uygulanmış numunesi gösterilmektedir. Numunede yırtık oluşumu gözlemlenmiştir. Şekil 6.52’de yırtıklar kırmızı dikdörtgen ile gösterilmektedir.



Şekil 6. 52. 200°C’de 8 saat yaşlandırılmış kare profil basma testi uygulanmış numunesi.

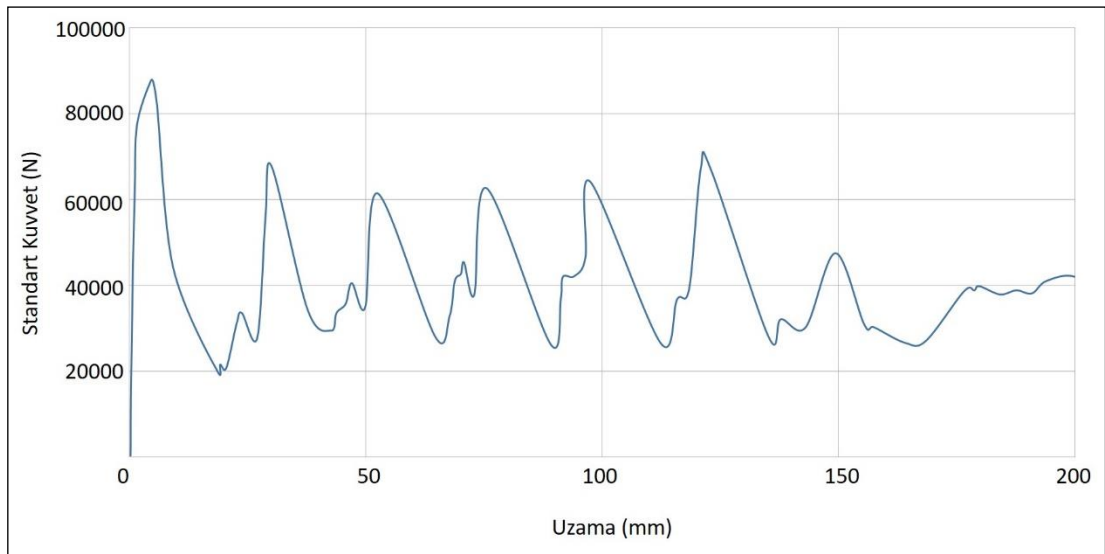
6.3.10. 160°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Basma Test Sonuçlarının İncelenmesi

Şekil 6.53’te çözültüye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 160°C’de 4 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan dairesel profilin basma testi uygulanmış numunesi gösterilmektedir. Numunede yırtık oluşumu gözlemlenmemiştir.



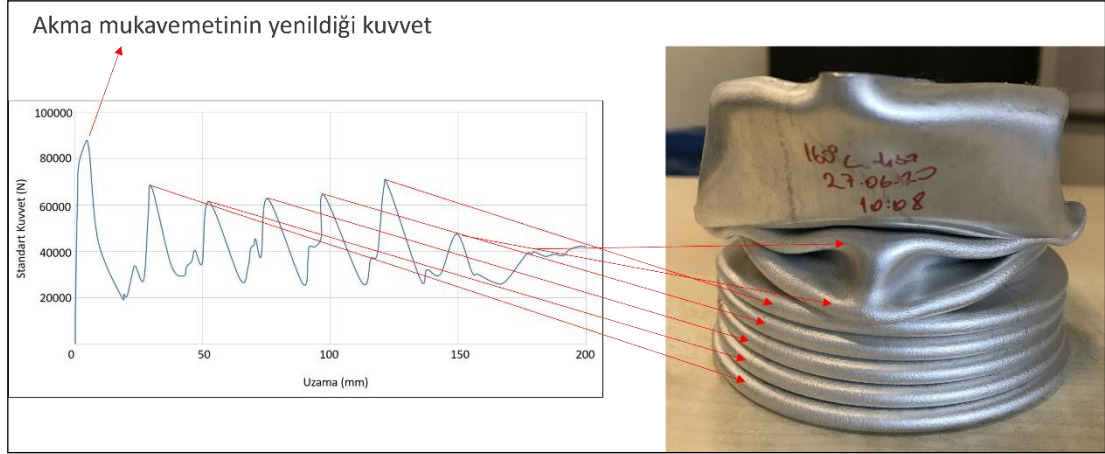
Şekil 6. 53. 160°C’de 4 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma testi uygulanmış numunesi.

Şekil 6.54’te çözültiyeye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 160°C’de 4 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan dairesel profilin basma testi grafiği gösterilmektedir.



Şekil 6. 54. 160°C’de 4 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma test grafiği.

Şekil 6.55’de 160°C’de 4 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma testi grafiğindeki pik noktalar ile basma testi uygulanmış numune karşılaştırılmaktadır.



Şekil 6. 55. 160°C’de 4 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma test grafiği ile numune karşılaştırması.

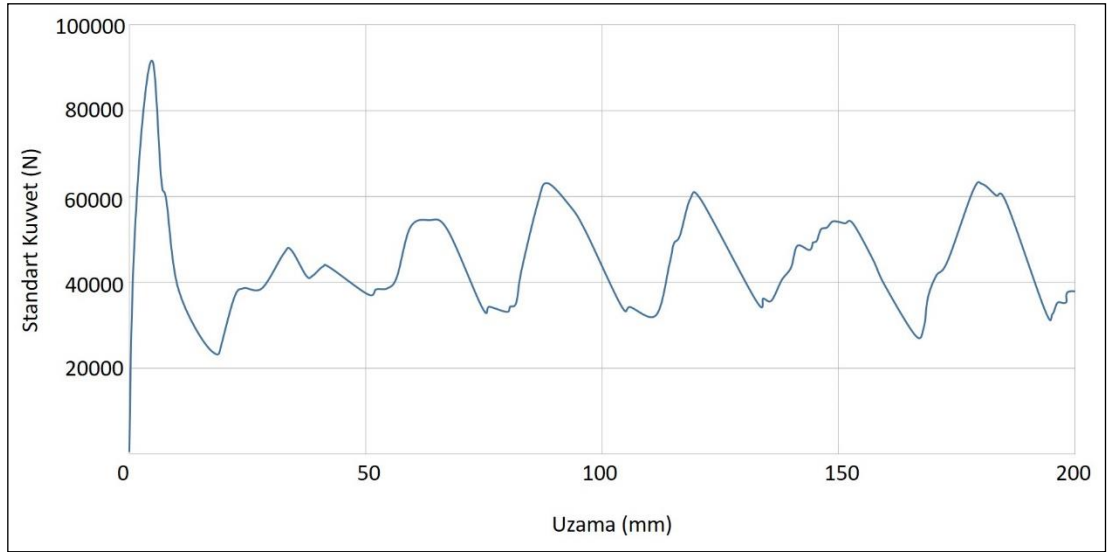
6.3.11. 160°C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Basma Test Sonuçlarının İncelenmesi

Şekil 6.56’da çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 160°C’de 6 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan dairesel profilin basma testi uygulanmış numunesi gösterilmektedir. Numunede yırtık oluşumu gözlemlenmemiştir.



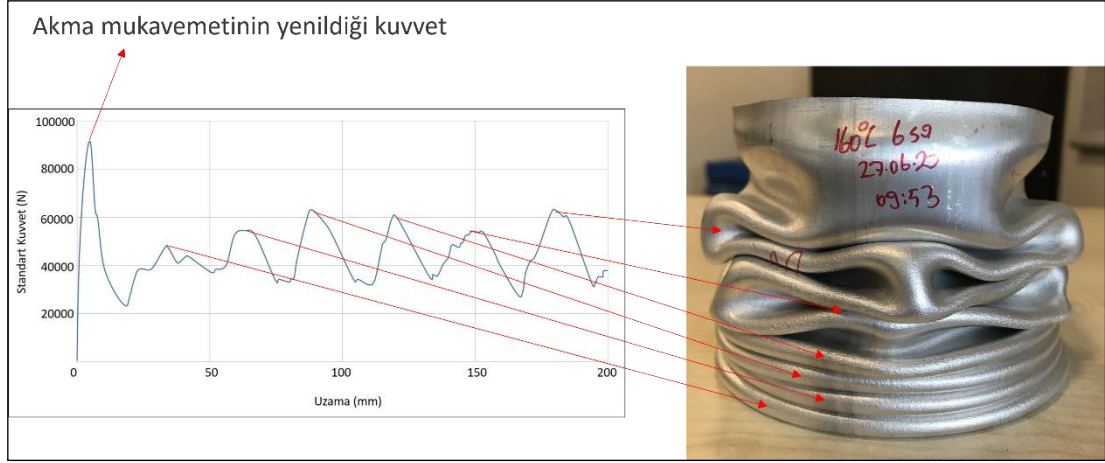
Şekil 6. 56. 160°C’de 6 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma testi uygulanmış numunesi.

Şekil 6.57’de çözeltiyeye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 160°C’de 6 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan dairesel profilin basma testi grafiği gösterilmektedir.



Şekil 6. 57. 160°C’de 6 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma test grafiği.

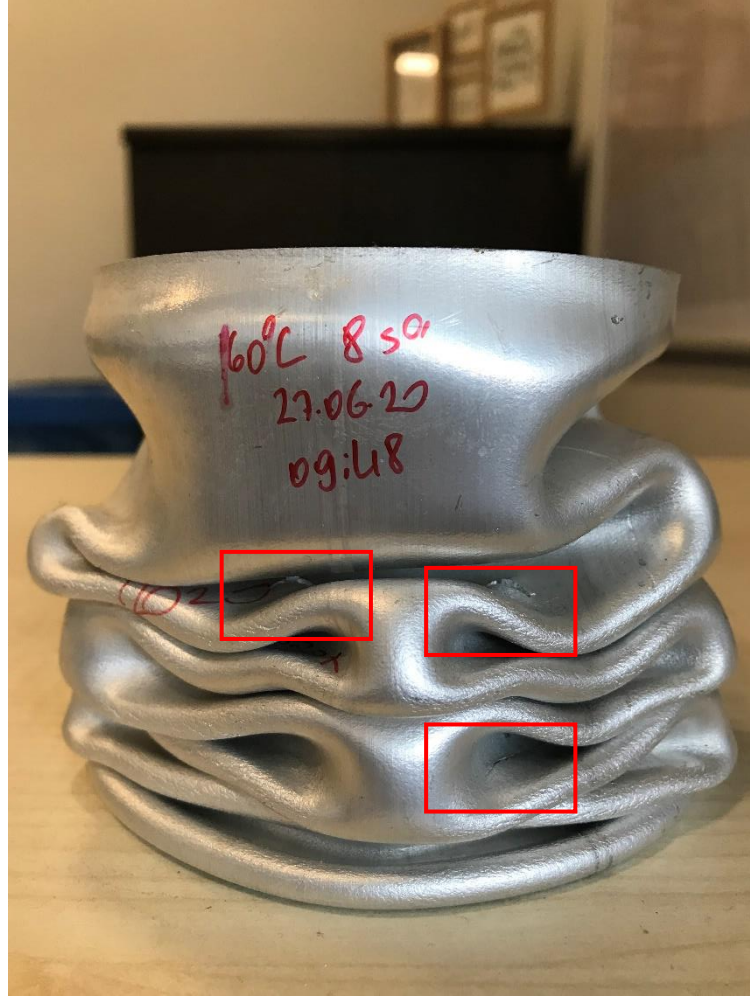
Şekil 6.58’de 160°C’de 6 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma testi grafiğindeki pik noktalar ile basma testi uygulanmış numune karşılaştırılmaktadır.



Şekil 6. 58. 160°C’de 6 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma test grafiği ile numune karşılaştırması.

6.3.12. 160°C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Basma Test Sonuçlarının İncelenmesi

Şekil 6.59’da çözeltiye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 160°C’de 8 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan dairesel profilin basma testi uygulanmış numunesi gösterilmektedir. Numunede yırtık oluşumu gözlemlenmiştir. Şekil 6.59’da yırtıklar kırmızı dikdörtgen ile gösterilmektedir.



Şekil 6. 59. 160°C’de 8 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma testi uygulanmış numunesi.

6.3.13. 180°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Basma Test Sonuçlarının İncelenmesi

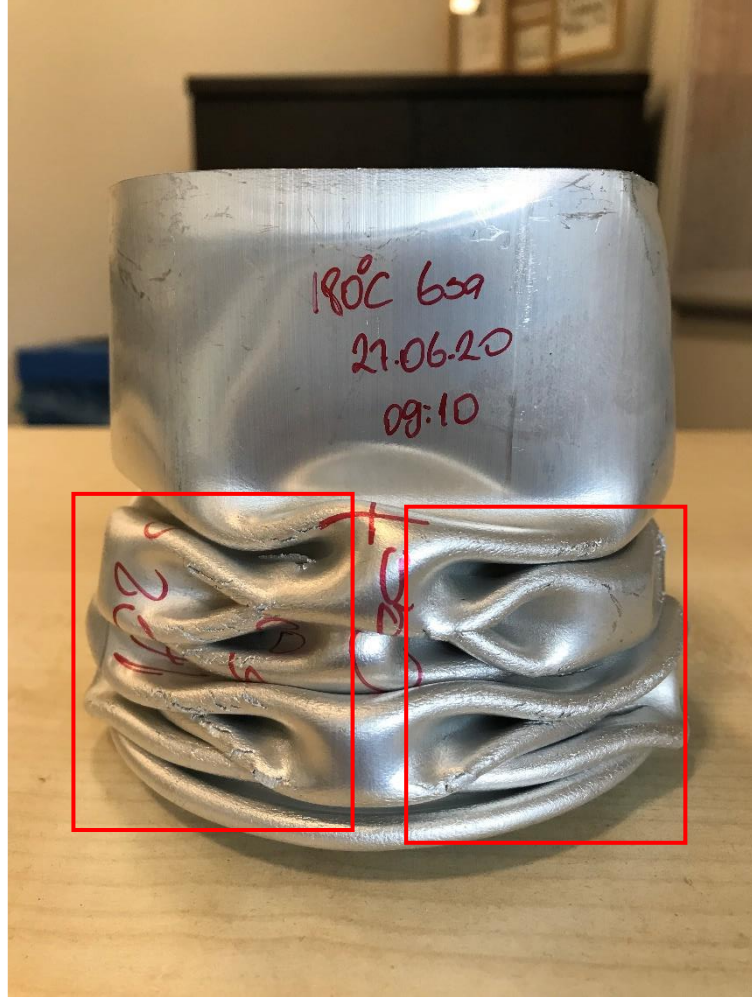
Şekil 6.60’ta çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 180°C’de 4 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan dairesel profilin basma testi uygulanmış numunesi gösterilmektedir. Numunede yırtık oluşumu gözlemlenmiştir. Şekil 6.60’ta yırtıklar kırmızı dikdörtgen ile gösterilmektedir.



Şekil 6. 60. 180°C’de 4 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma testi uygulanmış numunesi.

6.3.14. 180°C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Basma Test Sonuçlarının İncelenmesi

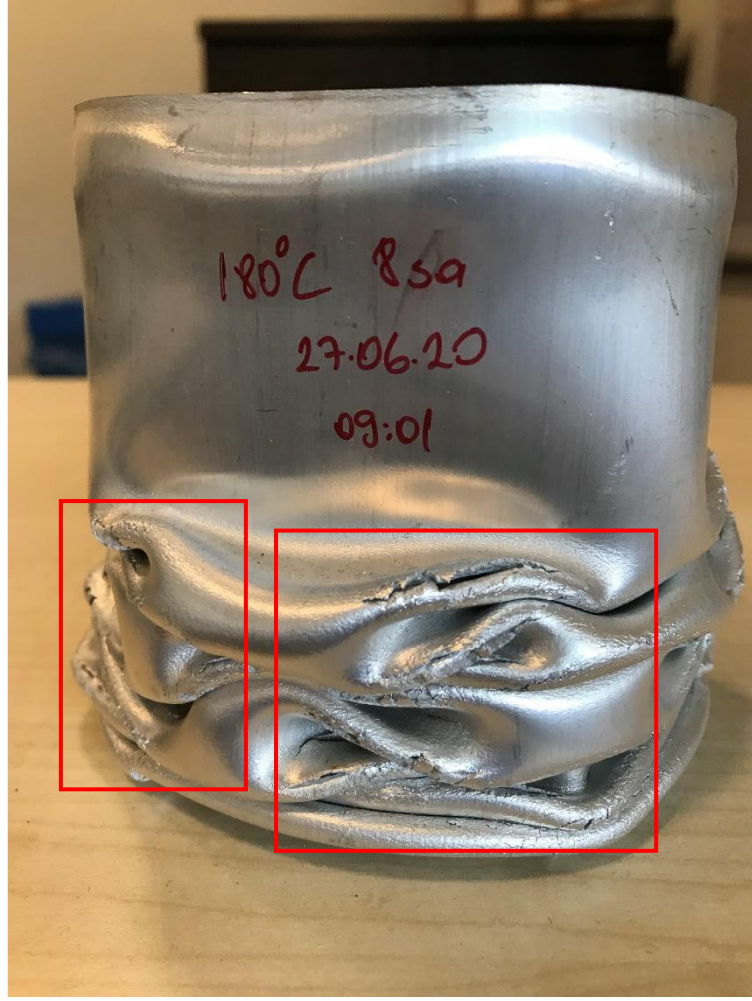
Şekil 6.61’de çözeltiye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 180°C’de 6 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan dairesel profilin basma testi uygulanmış numunesi gösterilmektedir. Numunede yırtık oluşumu gözlemlenmiştir. Şekil 6.61’de yırtıklar kırmızı dikdörtgen ile gösterilmektedir.



Şekil 6. 61. 180°C’de 6 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma testi uygulanmış numunesi.

6.3.15. 180°C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Basma Test Sonuçlarının İncelenmesi

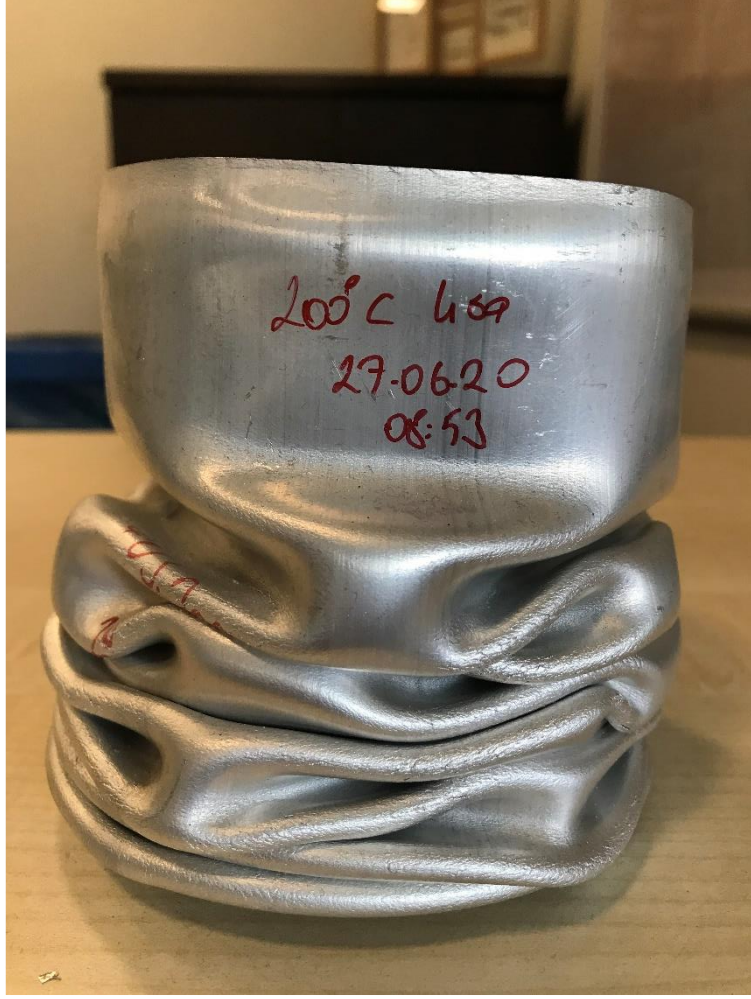
Şekil 6.62’de çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 180°C’de 8 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan dairesel profilin basma testi uygulanmış numunesi gösterilmektedir. Numunede yırtık oluşumu gözlemlenmiştir. Şekil 6.62’de yırtıklar kırmızı dikdörtgen ile gösterilmektedir.



Şekil 6. 62. 180°C’de 8 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma testi uygulanmış numunesi.

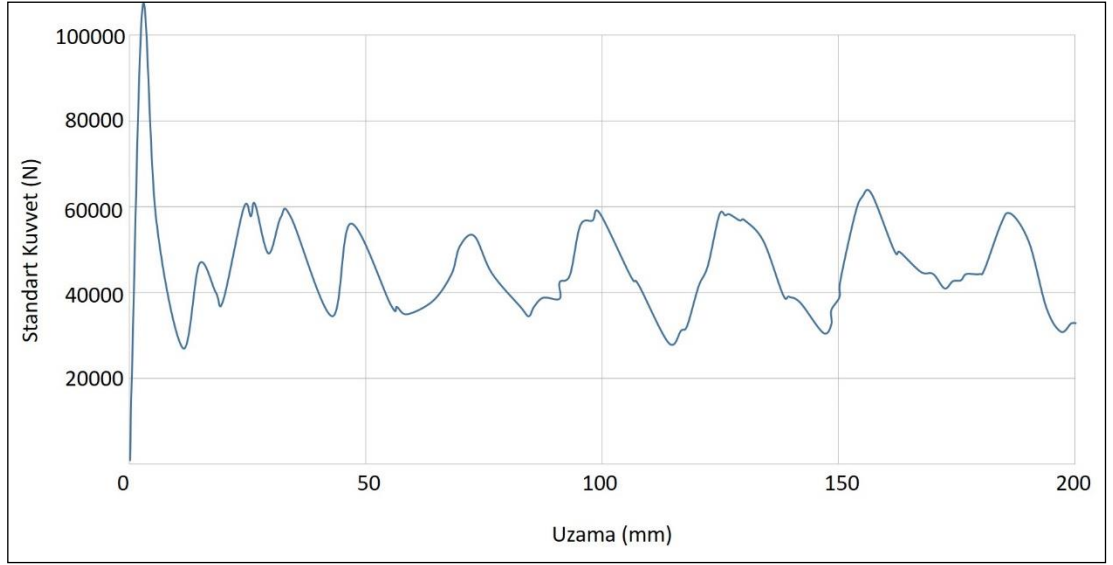
6.3.16. 200°C - 4 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Basma Test Sonuçlarının İncelenmesi

Şekil 6.63’te çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 200°C’de 4 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan dairesel profilin basma testi uygulanmış numunesi gösterilmektedir. Numunede yırtık oluşumu gözlemlenmemiştir.



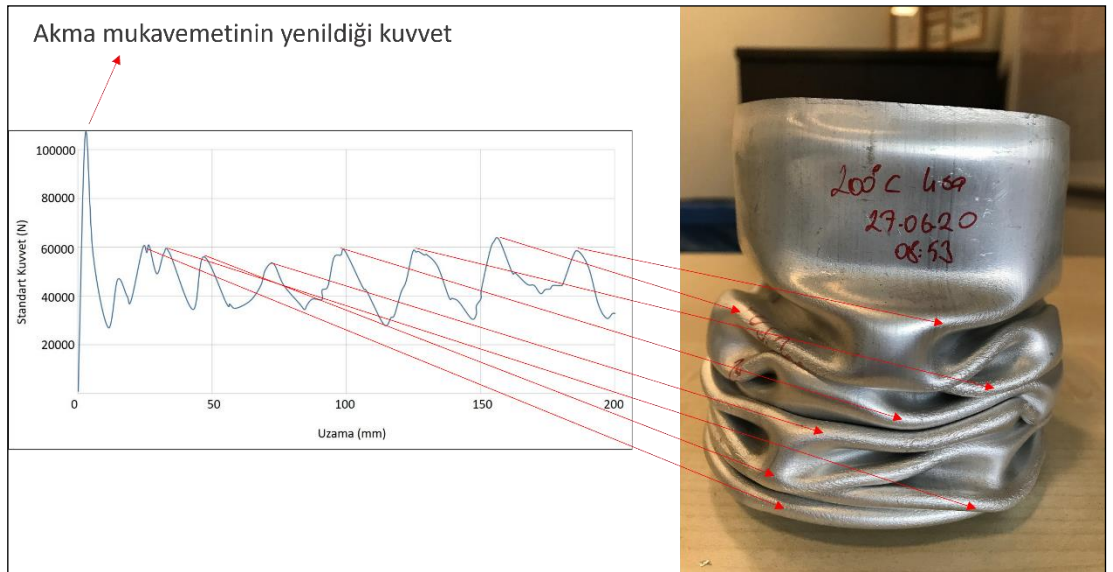
Şekil 6. 63. 200°C’de 4 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma testi uygulanmış numunesi.

Şekil 6.64’te çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 200°C’de 4 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan dairesel profilin basma testi grafiği gösterilmektedir.



Şekil 6. 64. 200°C’de 4 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma test grafiği.

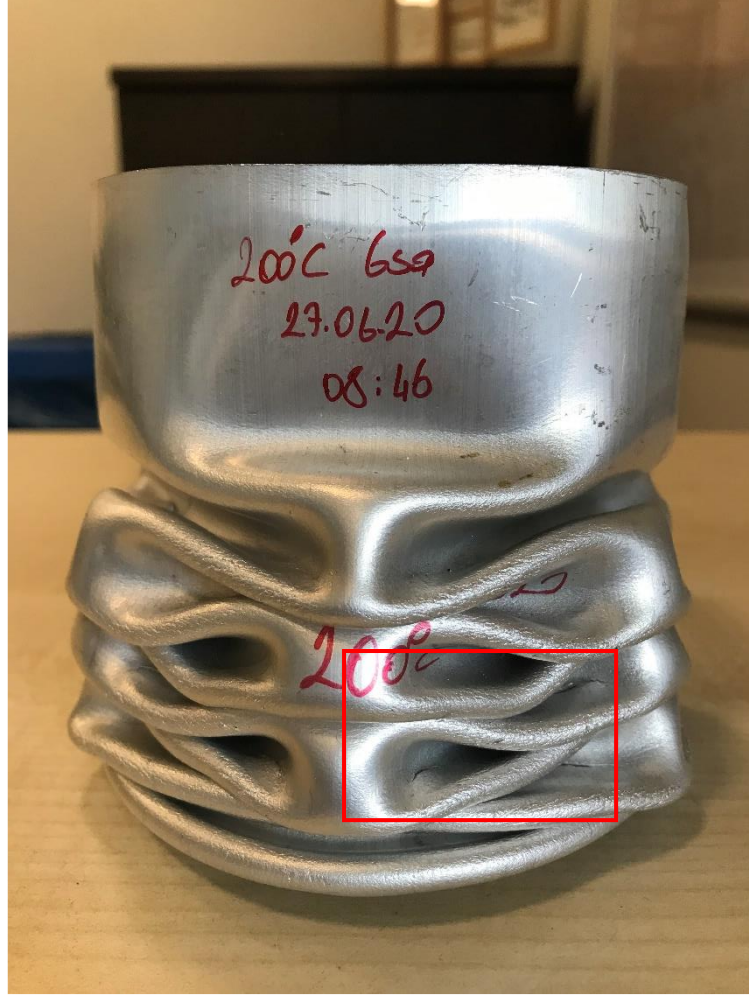
Şekil 6.65’te 200°C’de 4 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma testi grafiğindeki pik noktalar ile basma testi uygulanmış numune karşılaştırılmaktadır.



Şekil 6. 65. 200°C’de 4 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma test grafiği ile numune karşılaştırması.

6.3.17. 200 °C - 6 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Basma Test Sonuçlarının İncelenmesi

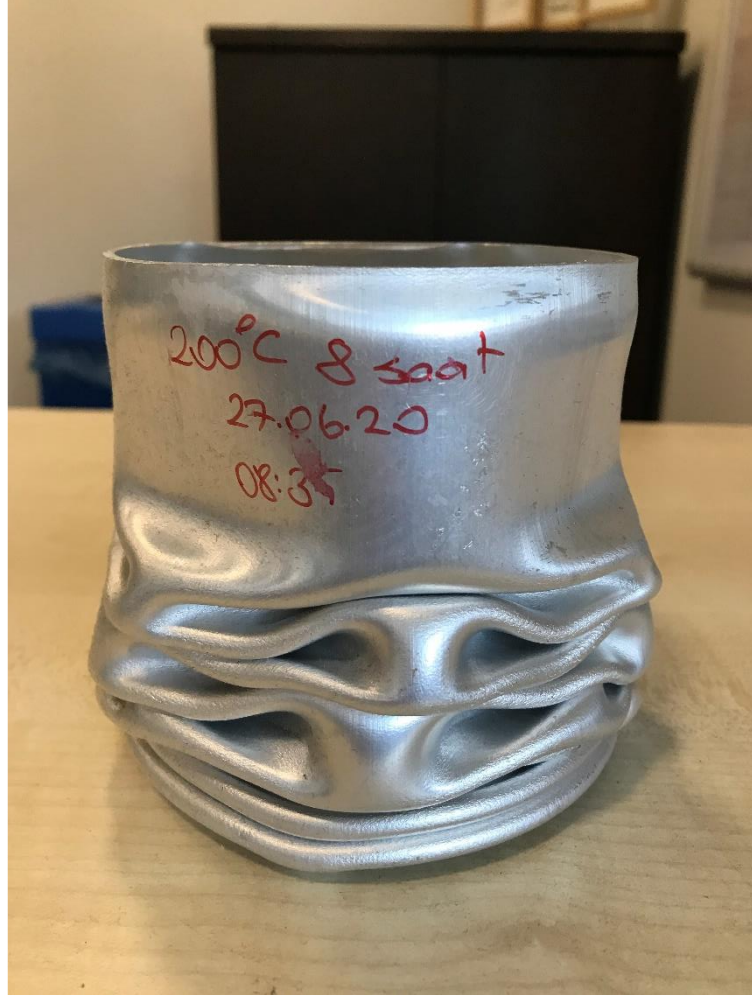
Şekil 6.66'da çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 200°C'de 6 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan dairesel profilin basma testi uygulanmış numunesi gösterilmektedir. Numunede yırtık oluşumu gözlemlenmiştir. Şekil 6.66'da yırtıklar kırmızı dikdörtgen ile gösterilmektedir.



Şekil 6. 66. 200°C'de 6 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma testi uygulanmış numunesi.

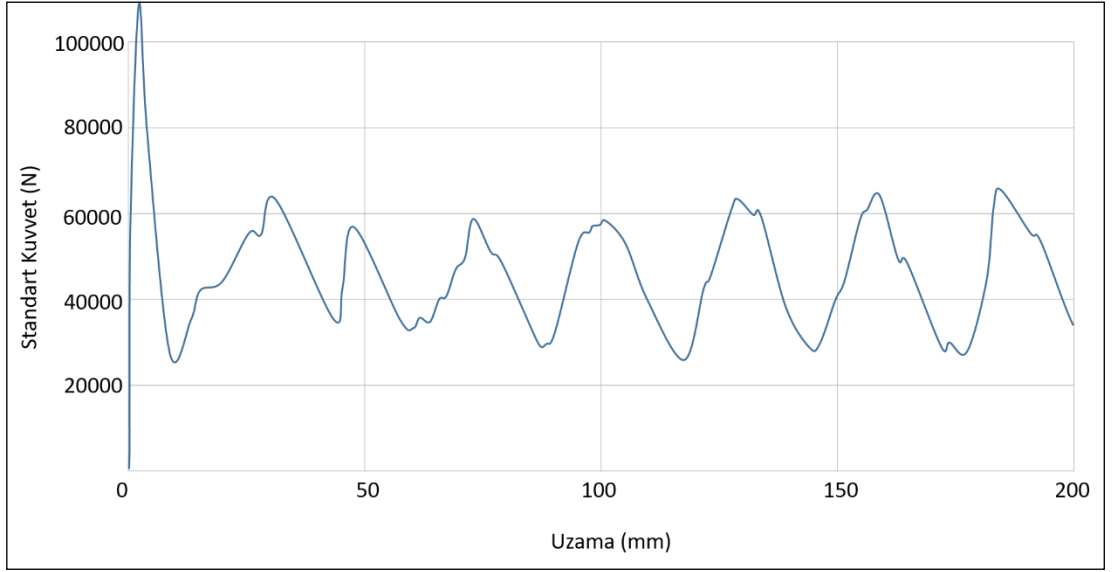
6.3.18. 200 °C - 8 Saat Yaşlandırma Uygulanmış Dairesel Profil Basma Test Sonuçlarının İncelenmesi

Şekil 6.67'de çözeltiliye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 200°C'de 8 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan dairesel profilin basma testi uygulanmış numunesi gösterilmektedir. Numunede yırtık oluşumu gözlemlenmemiştir.



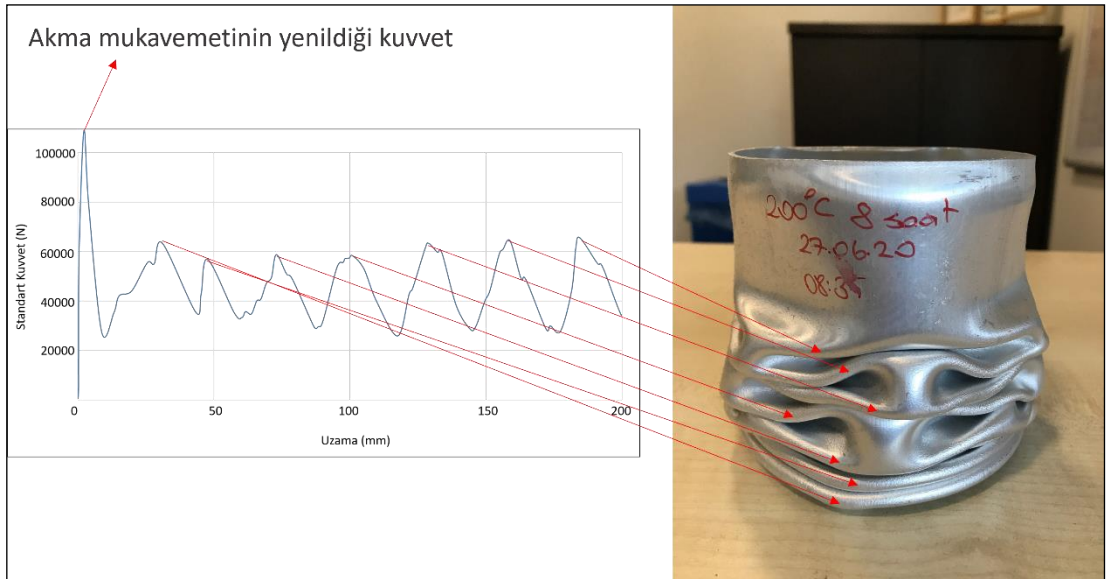
Şekil 6. 67. 200°C’de 8 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma testi uygulanmış numunesi.

Şekil 6.68’de çözeltiye alma ve soğutma işlemlerinin ardından 200°C’de 8 saat yaşlandırılıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılan dairesel profilin basma testi grafiği gösterilmektedir.



Şekil 6. 68. 200°C’de 8 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma test grafiği.

Şekil 6.69’da 200°C’de 8 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma testi grafiğindeki pik noktalar ile basma testi uygulanmış numune karşılaştırılmaktadır.



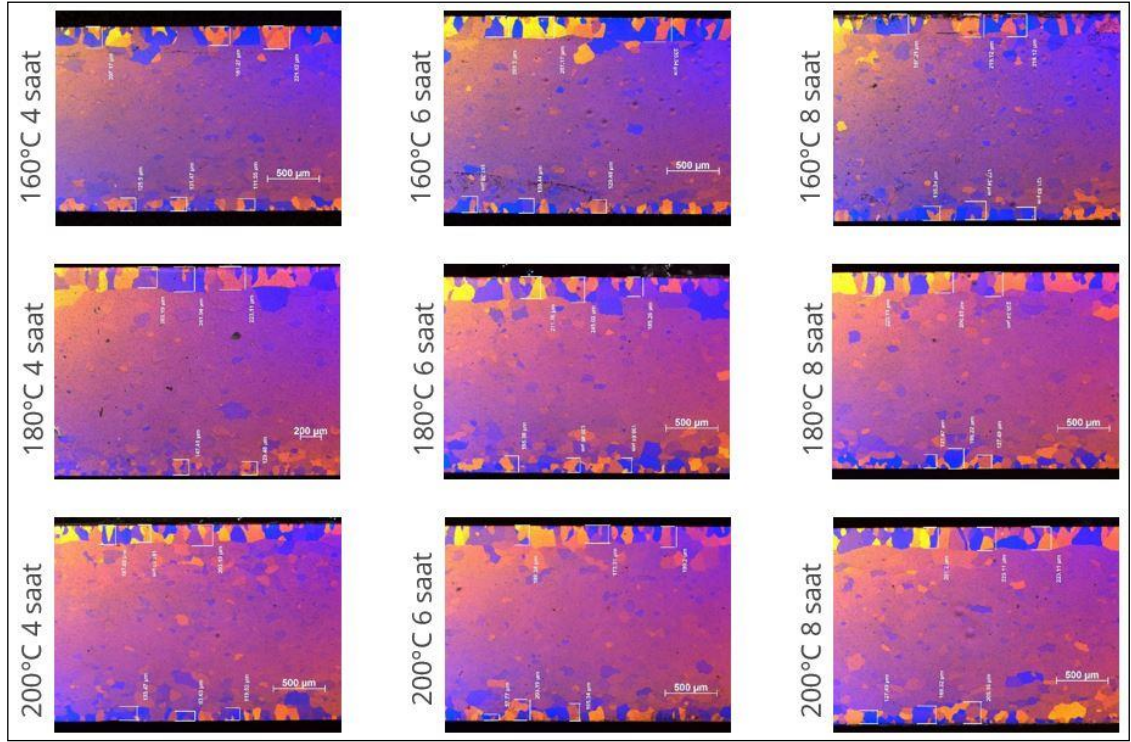
Şekil 6. 69. 200°C’de 8 saat yaşlandırılmış dairesel profil basma test grafiği ile numune karşılaştırması.

6.4. Mikroyapısal İnceleme Sonuçlarının Tartışılması

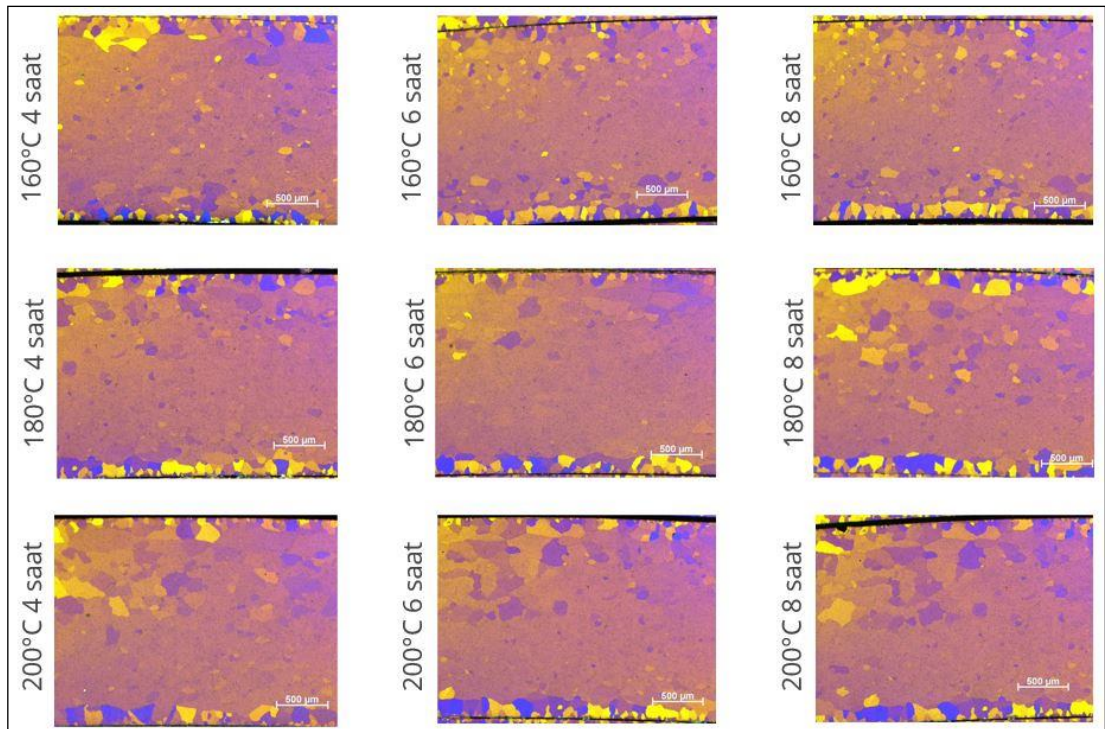
Mikroyapısal inceleme sonuçları incelendiğinde kare ve dairesel profile ait tüm numunelerde eş eksenli rekristalize kaba tane yapısı gözlemlenmiştir. Çizelge 6.1’de ortalama tane boyutları belirtilmiştir. Şekil 6.70’te kare profil numunelerinin mikroyapısal inceleme sonuçları, Şekil 6.71’de dairesel profil numunelerinin mikroyapısal inceleme sonuçları toplu olarak verilmektedir.

Çizelge 6. 1. Ortalama tane boyutları.

Yaşlandırma Sıcaklığı ve Süresi	Ortalama Tane Boyutu (μm)	
	Kare	Dairesel
160°C – 4 saat	98,296	105,723
160°C – 6 saat	107,429	85,29
160°C – 8 saat	96,387	95,7
180°C - 4 saat	92,145	84,013
180°C – 6 saat	104,343	78,437
180°C - 8 saat	111,444	80,825
200°C – 4 saat	95,192	94,813
200°C – 6 saat	109,625	97,361
200°C – 8 saat	113,366	99,548

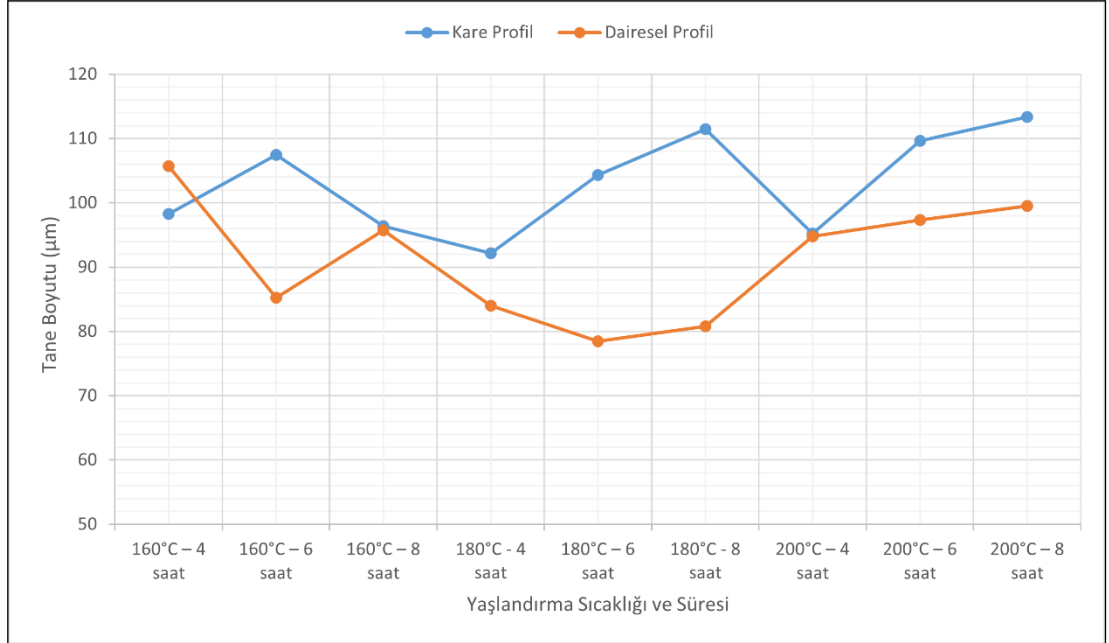


Şekil 6. 70. Kare profil numunelerinin mikroyapısal inceleme sonuçları.



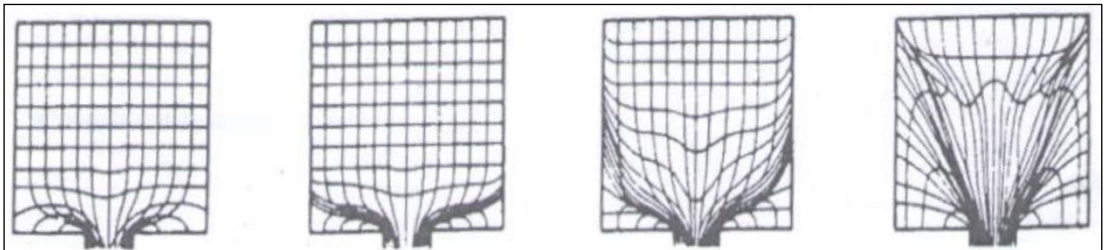
Şekil 6. 71. Dairesel profil numunelerinin mikroyapısal inceleme sonuçları.

Ortalama tane boyutu kare profillerde 103,136 μm ; dairesel profillerde ise 91,294 μm olarak tespit edilmiştir. Şekil 6.72’de ortalama tane boyutları kare ve dairesel profil için karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.



Şekil 6. 72. Tane boyutlarının kare ve dairesel profil için karşılaştırmalı grafiği.

Mikroyapı sonuçlarında kaba tane yapısının çoğunlukla kenar kısımlarda olduğu gözlemlenmektedir. Bunun nedeni Şekil 6.73’te gösterildiği üzere ekstrüzyon sırasında malzeme kalıbın içerisinde orta kısımdan hızlı şekilde akmaktadır. Fakat dış kısmın kovana sürmesi ve kalıbın giriş kısmında birikmesi nedeniyle orta kısım kadar hızlı ilerleyememektedir. Burada soğuyan malzeme kabuklaşmaktadır ve rekristalize olmaktadır. Profilin yüzeyini oluşturan taneler kalıp içerisine akarken bu kısımdan süpürülerek giden tanelerdir. Bu sebeple kaba tane yapısı dış kısımda gözlemlenmektedir.



Şekil 6. 73. Ekstrüzyon sırasında malzeme akışı [66].

6.5. Çekme Test Sonuçlarının Tartışılması

Malzemelerin akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve uzama değerlerinin standart TS EN 755-2 :2009 normunda 6060 alaşımı için belirlediği değerleri sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiş olacaktır. Çizelge 6.2’de ekstrüzyon ile imal edilmiş, et kalınlığı 3 mm’den küçük profillerin TS EN 755-2 :2009 normuna göre sahip olması gereken mekanik özellikleri belirtilmektedir.

Çizelge 6. 2. 6060 alaşımının TS EN 755-2 :2009 normuna göre mekanik özellikleri [36].

Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama A50 (%)
Min. 150	Min. 190	Min. 6

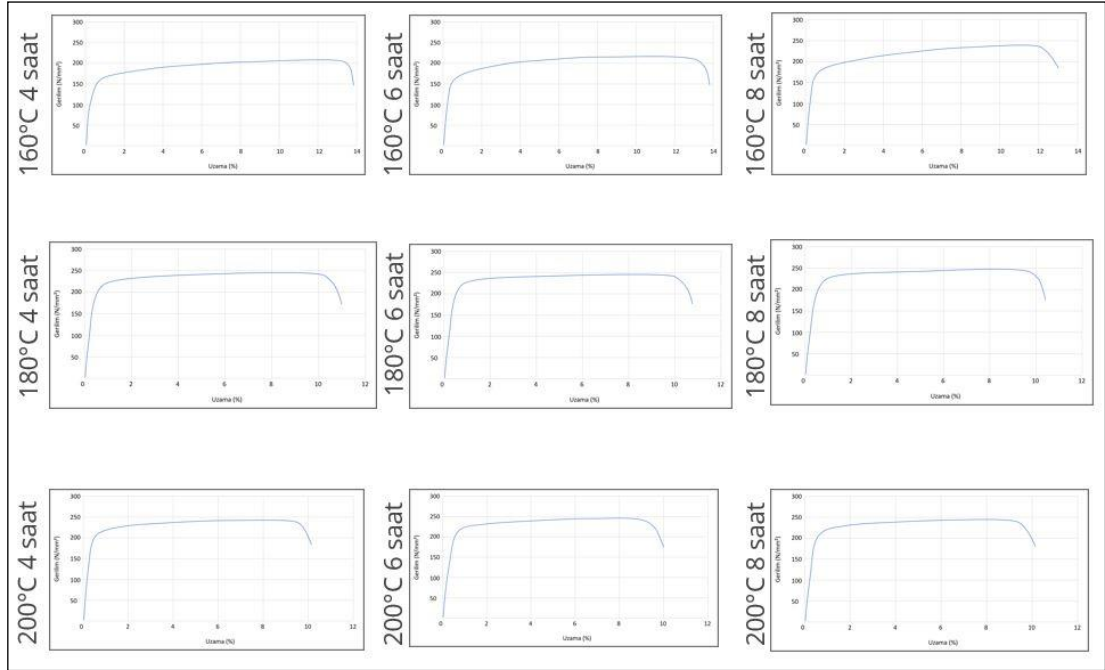
Çizelge 6.3’te çekme deneyleri sonucunda elde edilen mekanik değerler listelenmiştir.

Çizelge 6. 3. Çekme deneyleri sonucunda elde edilen mekanik değerler.

Profil	Yaşlandırma Sıcaklığı ve Süresi	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama A50 (%)
Kare	160°C – 4 saat	155,98	218,02	13,4
Kare	160°C – 6 saat	161,27	221,43	13,19
Kare	160°C – 8 saat	175,31	232,52	12,82
Kare	180°C - 4 saat	222,42	247,62	10,14
Kare	180°C – 6 saat	223,58	248,93	10,08
Kare	180°C - 8 saat	227,65	249,91	9,96
Kare	200°C – 4 saat	204,29	244,54	9,51
Kare	200°C – 6 saat	218,79	247,31	9,38
Kare	200°C – 8 saat	212,4	246,59	9,43
Dairesel	160°C- 4 saat	148,64	215,54	13,5
Dairesel	160°C – 6 saat	156,29	221,4	12,31
Dairesel	160°C – 8 saat	164,22	225,3	12,27

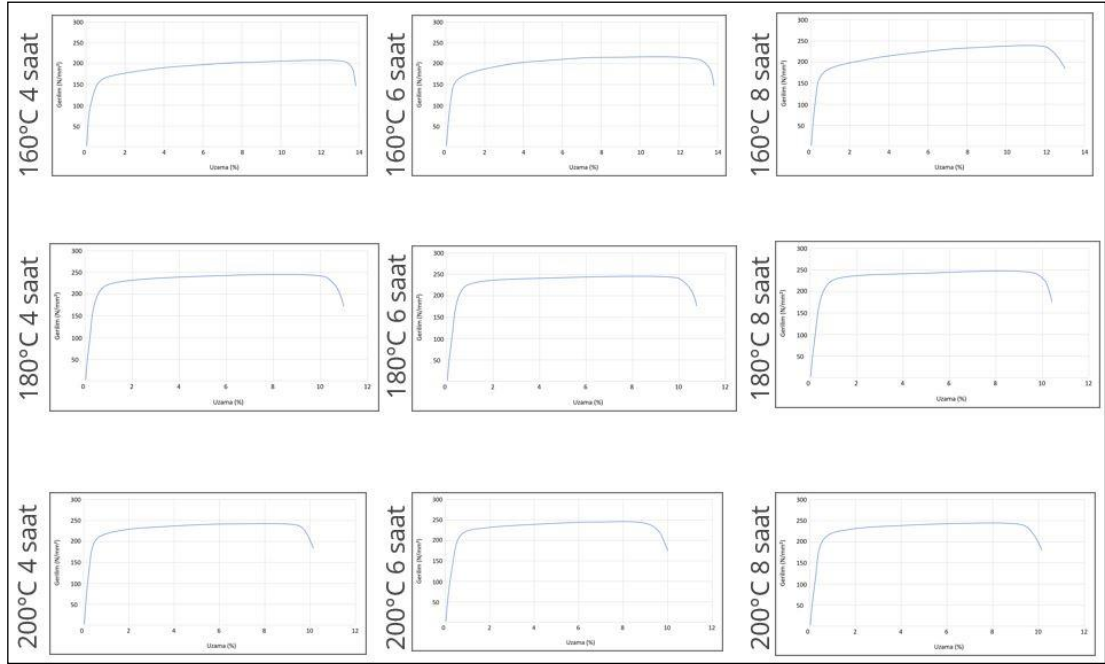
Dairesel	180°C – 4 saat	221,41	246,29	9,48
Dairesel	180°C - 6 saat	225,42	250,26	9,15
Dairesel	180°C – 8 saat	229,48	251,28	9,05
Dairesel	200°C – 4 saat	195,08	224,45	8,98
Dairesel	200°C – 6 saat	205,35	232,17	8,34
Dairesel	200°C – 8 saat	202,88	231,39	8,65

Şekil 6.74'te kare profil numunelerinin çekme test grafikleri toplu olarak gösterilmektedir.



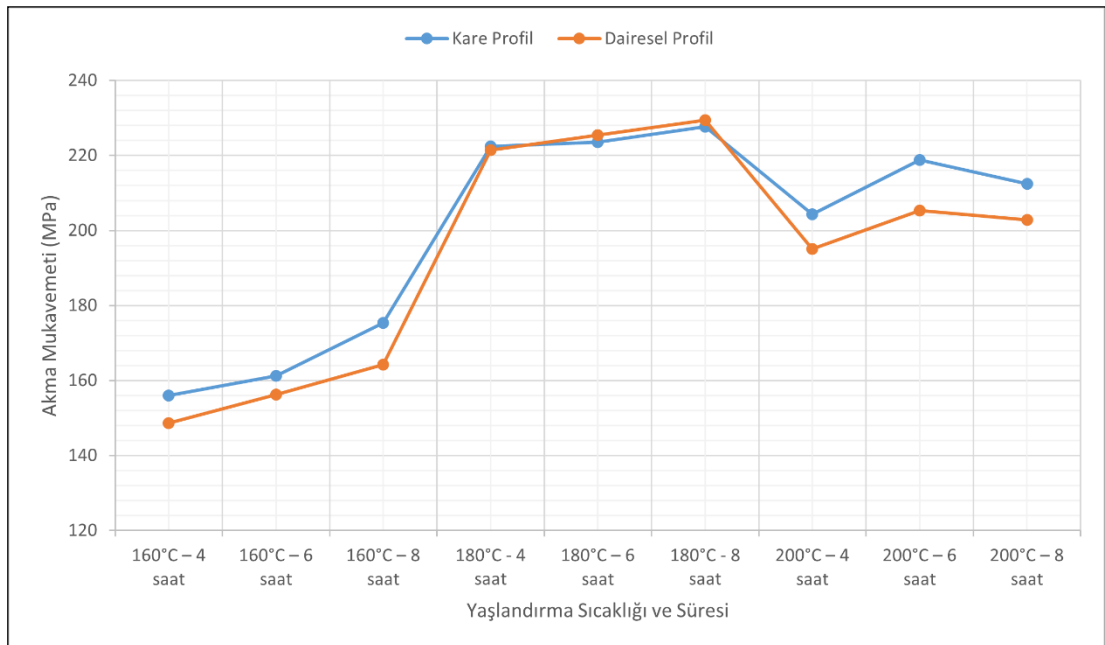
Şekil 6. 74. Kare profil çekme test grafikleri.

Şekil 6.75'te dairesel profil numunelerinin çekme test grafikleri toplu olarak gösterilmektedir.



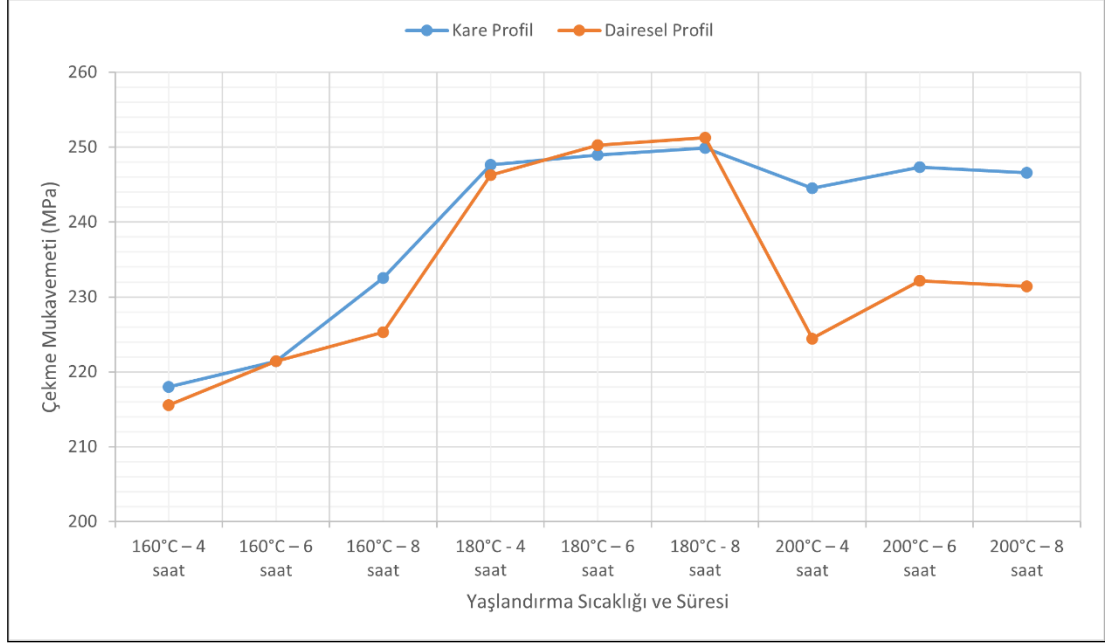
Şekil 6. 75. Dairesel profil çekme test grafikleri.

Şekil 6.76’da akma mukavemeti değerlerinin kare profil ve dairesel profil için karşılaştırmalı grafiği belirtilmektedir.



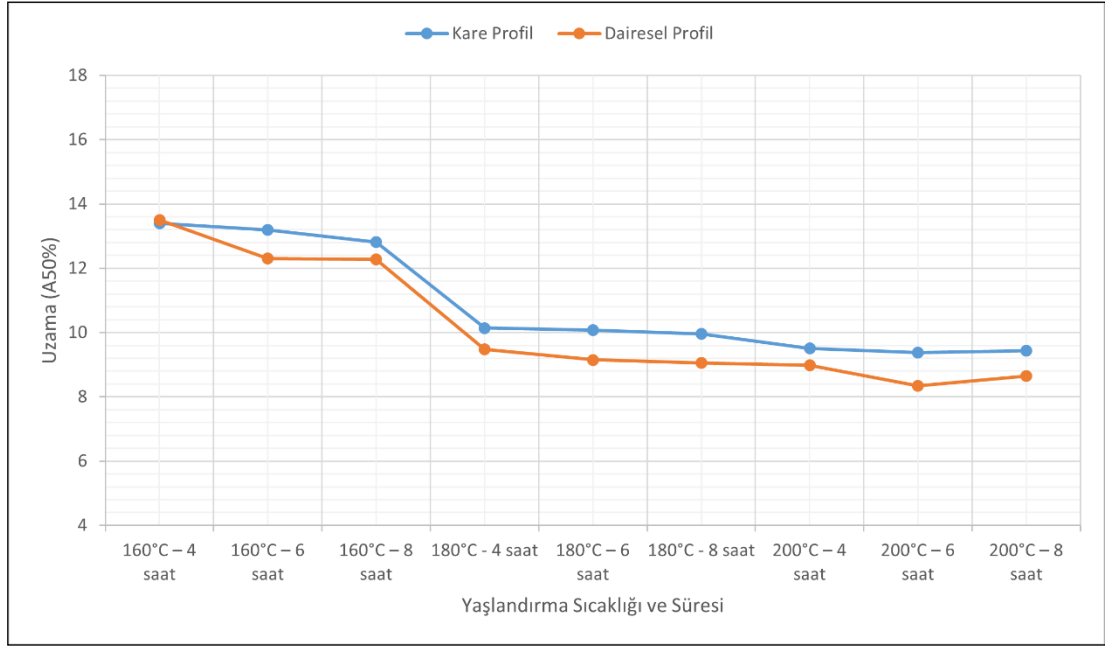
Şekil 6. 76. Akma mukavemeti değerlerinin kare profil ve dairesel profil için karşılaştırmalı grafiği.

Şekil 6.77’de çekme mukavemeti değerlerinin kare profil ve dairesel profil için karşılaştırmalı grafiği belirtilmektedir.



Şekil 6. 77. Çekme mukavemeti değerlerinin kare profil ve dairesel profil için karşılaştırmalı grafiği.

Şekil 6.78’de kopma uzama değerlerinin kare profil ve dairesel profil için karşılaştırmalı grafiği belirtilmektedir.



Şekil 6. 78. Kopma uzaması değerlerinin kare profil ve dairesel profil için karşılaştırmalı grafiği.

TS EN 755-2 :2009 normunun belirttiği minimum akma mukavemet değerleri ve çekme deneyleri sonucunda elde edilen veriler karşılaştırıldığında 160°C – 4 saat yaşlandırılmış dairesel profil 148,64 MPa akma mukavemeti değeriyle normun belirttiği min. 150 MPa değerini yakalayamamıştır. Kare ve dairesel profillere ait diğer tüm numuneler min. 150 MPa akma mukavemeti değerini sağlamıştır. Kare profilde en yüksek akma mukavemetine 227,65 MPa değeriyle 180°C - 8 saat yaşlandırılan numune ulaşmıştır. Dairesel profilde ise 229,48 MPa değeriyle yine 180°C – 8 saat yaşlandırılan numune ulaşmıştır.

Tüm numuneler TS EN 755-2 :2009 normunun belirttiği minimum 190 MPa çekme mukavemet değerine ulaşmıştır. Kare profilde en yüksek çekme mukavemetine 249,91 MPa değeriyle 180°C - 8 saat yaşlandırılan numune ulaşmıştır. Dairesel profilde ise 251,28 MPa değeriyle yine 180°C – 8 saat yaşlandırılan numune ulaşmıştır.

Tüm numuneler TS EN 755-2 :2009 normunun belirttiği minimum %6 uzama değerine ulaşmıştır. Kare profilde en yüksek uzama değerine % 13,4 değeriyle 160°C - 4 saat yaşlandırılan numune ulaşmıştır. Dairesel profilde ise normalde %13,5 değeriyle 160°C – 4 saat yaşlandırılan numune olmasına karşın TS EN 755-2 :2009 normuna

göre minimum 150 MPa akma mukavemeti değerini karşılayamadığı için değerlendirmeye alınmamaktadır. Bu nedenle dairesel profilde % 12,31'lik değeriyle 160°C – 6 saatlik numune en yüksek uzama değerine sahiptir.

200°C'de yaşlandırılan numunelerin akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve uzama değerlerinin 180°C'de yaşlandırılan numunelere göre düştüğü gözlemlenmiştir. Bu durumun sebebi malzemelerin aşırı yaşlanmaya maruz kalmalarıdır. Malzemeler 160°C ve 180°C'de yaşlandırıldıklarında uyumlu (koherent) bir faz yapısına sahip olurlar. Fakat aşırı yaşlanmaya geçildiğinde karmaşık (inkoherent) faz yapısı oluşur. Bu karmaşık halin mekanik özelliklerde düşmeye sebep olduğu gözlemlenmiştir.

6.6. Basma Test Sonuçlarının Tartışılması

Basma testleri sonucunda kare profillerde 160°C – 4 saat, 160°C – 6 saat ve 200°C – 4 saat yaşlandırılan numunelerin dışındakilerin tümünde yırtık oluşumu gözlemlenmiştir. Çizelge 6.4'te kare profillerin basma testi sonrası yırtık oluşup oluşmama durumu gösterilmektedir.

Çizelge 6. 4. Kare profil numunelerinin basma testi sonrası yırtık oluşumu.

Profil	Yaşlandırma Sıcaklığı ve Süresi	Yırtık Oluşumu
Kare	160°C – 4 saat	Yok
Kare	160°C – 6 saat	Yok
Kare	160°C – 8 saat	Var
Kare	180°C - 4 saat	Var
Kare	180°C – 6 saat	Var
Kare	180°C - 8 saat	Var
Kare	200°C – 4 saat	Yok
Kare	200°C – 6 saat	Var
Kare	200°C – 8 saat	Var

Şekil 6.79'da kare profil basma testi uygulanmış numuneler toplu olarak gösterilmektedir.



Şekil 6. 79. Kare profil basma testi uygulanmış numuneler.

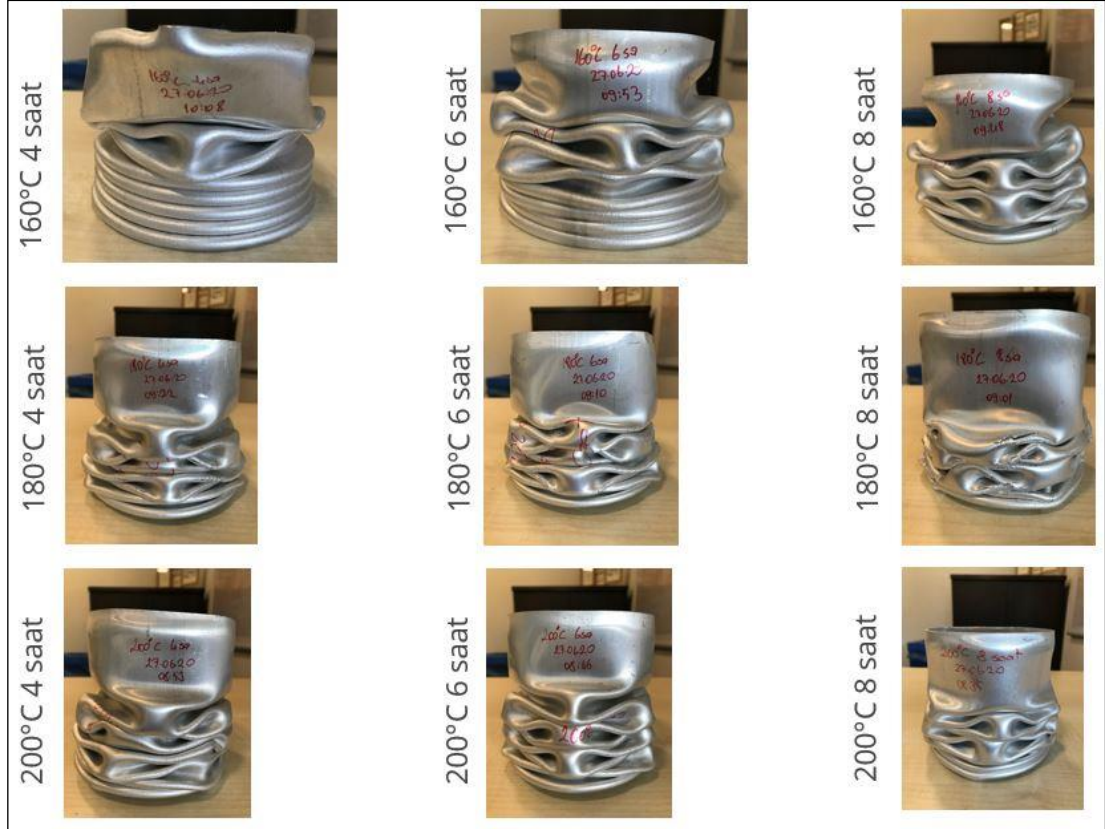
Yırtık oluşumu gözlemlenmeyen 3 numunenin Şekil 6.39, Şekil 6.42 ve Şekil 6.49’da gösterilen basma testi grafikleri incelendiğinde en çok 200°C – 4 saat yaşlandırılan numunenin enerji absorbe edebildiği gözlemlenmiştir. Dairesel profillerde 160°C – 4 saat, 160°C – 6 saat, 200°C – 4 saat ve 200°C – 8 saat yaşlandırılan numunelerin dışındakilerin tümünde yırtık oluşumu gözlemlenmiştir. Çizelge 6.5’te dairesele profillerin basma testi sonrası yırtık oluşup oluşmama durumu gösterilmektedir.

Çizelge 6. 5. Dairesel profil numunelerinin basma testi sonrası yırtık oluşumu.

Profil	Yaşlandırma Sıcaklığı ve Süresi	Yırtık Oluşumu
Dairesel	160°C- 4 saat	Yok
Dairesel	160°C – 6 saat	Yok
Dairesel	160°C – 8 saat	Var
Dairesel	180°C – 4 saat	Var
Dairesel	180°C - 6 saat	Var
Dairesel	180°C – 8 saat	Var

Dairesel	200°C – 4 saat	Yok
Dairesel	200°C – 6 saat	Var
Dairesel	200°C – 8 saat	Yok

Şekil 6.80’de dairesel profil basma testi uygulanmış numuneler toplu olarak gösterilmektedir.



Şekil 6. 80. Dairesel profil basma testi uygulanmış numuneler.

Dairesel profilde 160°C – 4 saat yaşlandırılan numune TS EN 755-2 :2009 normuna göre minimum 150 MPa akma mukavemeti değerini karşılayamadığı için değerlendirmeye alınmamaktadır. Geriye kalan yırtık oluşumu gözlemlenmeyen 160°C – 6 saat, 200°C – 4 saat ve 200°C – 8 saat yaşlandırılan numunelerin Şekil 6.57, Şekil 6.64 ve Şekil 6.68’de gösterilen basma testi grafikleri incelendiğinde en çok 200°C – 4 saat yaşlandırılan numunenin enerji absorbe edebildiği gözlemlenmiştir.

Kare profil numunelerinde 175,31 MPa akma mukavemetine sahip 160°C - 8 saat yaşlandırılan numunede basma testi sırasında yırtılmalar oluşurken 204,29 MPa akma mukavemetine sahip 200°C – 4 saat yaşlandırılan numunede yırtık oluşumu gözlemlenmemiştir. Aynı şekilde dairesel profil numunelerinde de 164,22 MPa akma mukavemetine sahip 160°C - 8 saat yaşlandırılan numunede basma testi sırasında yırtılmalar oluşurken 195,08 MPa akma mukavemetine sahip 200°C – 4 saat yaşlandırılan numunede yırtık oluşumu gözlemlenmemiştir. Elde edilen bu verilerden anlaşılmaktadır ki malzemenin çarpışma performansı (enerji absorbe edebilme) yalnız akma mukavemeti veya çekme mukavemeti değerine bağlı değildir. Isıl işleme göre değişen bağ/faz yapısının da çarpışma performansını etkilediği gözlemlenmiştir.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. SONUÇLAR

Deneylelerden elde edilen verilere göre aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Isıl işlemin malzeme mikroyapısı üzerinde çok büyük bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir.
- Hem kare profil hem de dairesel profil numunelerinde en iyi akma mukavemeti ve çekme mukavemetine 180°C - 8 saat yaşlandırma ile ulaşılmıştır. 200°C ile yaşlandırılan numunelerde aşırı yaşlanma nedeniyle mukavemet değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir.
- Hem kare profil hem de dairesel profil numunelerinde basma testleri sonucunda enerji absorbe edebilme yeteneği en iyi 200°C-4 saat yaşlandırılan numunelerde olduğu gözlemlenmiştir. Aşırı yaşlanmanın akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve uzama değerlerine negatif etki etmesine karşın çarpışma performansına (enerji absorbe edebilme) olumlu etki ettiği gözlemlenmiştir.
- Basma testleri uygulanmış numuneler incelendiğinde kare profillerde daha az katlanma gözlemlenmiştir. Buradan hareketle kare profil kesitinin dairesel profil kesitine nazaran daha iyi darbe dayanım performansına sahip olduğu belirlenmiştir.
- Optimum akma mukavemeti, çekme mukavemeti, uzama ve çarpışma performansının her profil için yapılan deneylerde 160°C – 6 saat yaşlandırma ile elde edildiği belirlenmiştir.

7.2. ÖNERİLER

Yapılan çalışmayı destekleyici olarak, gerçekleştirilen basma testleri sonlu elemanlar analiz yöntemiyle de gerçekleştirilerek, hem deneysel hem de analiz sonuçlarını karşılaştırılabilir. Böylelikle deneysel ve teorik sonuçlar mukayese edilerek daha detaylı çıkarımlar yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. İnternet: The Aluminium Association, “History of Aluminium”, <https://www.aluminum.org/aluminum-miracle-metal> (2021).
2. İnternet: Aluminium Leader, “The History of Aluminium Industry”, https://www.aluminiumleader.com/history/industry_history/ (2021).
3. İnternet: NPR, “Aluminum’s Strange Journey From Precious Metal to Beer Can” <https://www.npr.org/2019/12/05/785099705/aluminums-strange-journey-from-precious-metal-to-beer-can> (2019).
4. İnternet: Muskita Aluminium Industries, “History of Aluminium”, <https://muskita.com.cy/history-aluminium> (2021).
5. Akbulut, U., “Alüminyum geçmişte altından daha değerliydi”, 1-2 (2012).
6. Bıltaş, İ., “6XXX serisi alaşımının farklı ön ısıtma işlem yöntemleriyle alüminyum anodizasyon üzerindeki etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-2 (2020).
7. İnternet: Bilgeyik, “Yer Kabuğunda En Çok Bulunan Elementler”, <https://www.bilgeyik.com/yer-kabugunda-en-cok-bulunan-elementler-379> (2019).
8. İnternet: Lenntech, “Chemical Elements By Discovery Year” <https://www.lenntech.com/periodic-chart-elements/discovery-year.htm> (2021).
9. Chen, C., C., “The Aluminum Production Process”, *Técnico Lisboa*, 2-12
10. İnternet: MalzemeBilimi.net, “Alüminyum Nasıl Üretilir?” <https://malzemebilimi.net/aluminyum-nasil-uretilir.html> (2017).
11. İnternet: Metal Dünyası, “Türkiye’de Birincil Alüminyum Üretilir mi?” <https://metaldunyasi.com.tr/tr/yazarlar/24/erman-car/166/turkiye-birincil-aluminyum-uretebilir-mi.html>
12. Demirci, K., M., “Dünya alüminyum ticaretinde Türkiye’nin yeri”, 5. *Alüminyum Sempozyumu*, İstanbul, 17-29 (2011).
13. Kvande, H., “Production of primary aluminium”, Fundamentals of Aluminium Metallurgy Production, Processing and Applications 1st ed., Lumbey, R., *Woodhead Publishing Limited*, Cambridge, 49-51 (2011).

14. Beheshti, R., “Sustainable Aluminum and Iron Production”, Doktora Tezi, *School of Chemical Science and Engineering KTH Royal Institute of Technology*, Stockholm, 7-20 (2017).
15. Yıldırım, H., “Alüminyum malzemenin otomotiv sektöründeki uygulamaları” Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 12-13 (2006).
16. Aluminum Extruders Council and The Aluminum Association. Inc., ”Aluminium Extrusion Manual 3rd Edition”, 5-25, 97-98.
17. Çağlayan, R., “Taşıtlarda ağırlık azaltımında hafif malzeme olarak alüminyum kullanımı ve optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 14-42 (2020).
18. Dündar, M., ve Güngör, G., “Otomotiv sektöründe alüminyum uygulamaları ve sürekli döküm tekniği ile üretilmiş alüminyum levha alaşımları”, *Assan Alüminyum*, 4.
19. İnternet: “Elastisite Modülü”, https://tr.wikipedia.org/wiki/Elastisite_mod%C3%BCI%C3%BC (2021).
20. İnternet: Mühendis Ol, “Yüksek Mukavemetli Çelikler”, <https://www.muhandisol.com/2018/04/27/yuksek-mukavemetli-celikler/> (2018).
21. İnternet: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Dosya:Eros-piccadilly-circus.jpg> (2021).
22. Altın, M., ve Yücesu, H., S., “Farklı geometrik yapılarıdaki çarpışma kutularının içerisine yerleştirilen alüminyum köpük malzemenin enerji sönümleme kapasitesi üzerine etkisinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 22 (1): 141-148 (2019).
23. Kusyairi, I., “The influence of origami and rectangular crash box variations on mpv bumper with offset frontal test examination toward deformability”, *Journal of Energy, Mechanical, Material and Manufacturing Engineering*, 2 (2): 89-96 (2017).
24. İnternet: Institute of Metal Forming, “Local Heat Treatment of Strain-Hardened Steels”, <https://www.ibf.rwth-aachen.de/go/id/pepy/lidx/1> (2021).
25. ”Çekme Deneyi”, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü*.
26. İnternet: Özen Alüminyum, “Alüminyum Profil Görselleri”, <https://www.ozenaluminyum.com/kurumsal/aluminyum-profil-gorselleri/> (2021).

40. İnternet: NASA Technology Transfer Program, “Manufacturing NASA-427: a new aluminum alloy”, <https://technology.nasa.gov/patent/MFS-TOPS-8>, (2021).
41. İnternet: Aluminium Insider, “Russian Scientists Develop New Highly Heat-Resistant Aluminium Alloy”, <https://aluminiuminsider.com/russian-scientists-develop-new-highly-heat-resistant-aluminium-alloy/>, (2021).
42. İnternet: Riotinto, “A New Aluminium Alloy Is Born”, <https://www.riotinto.com/news/stories/new-aluminium-alloy-born>, (2021).
43. Rana, R., S., ve Purohit, R., ve Das, S., “Reviews on the influences of alloying elements on the microstructure and mechanical properties of aluminum alloys and aluminum alloy composites”, *International Journal os Scientific and Research Publications*, 2 (6): 1-6 (2021).
44. Oğuz, B., “Demir dışı metaller kaynağı”, *OERLIKON yay.*,1-11 (1990)
45. Hekimoğlu, A., P., ve Turan, Y., E., “Çinko oranının Al-(5-50)Zn alaşımlarının yapısal ve mekanik özelliklerine etkisi”, *GUFBED*, 9 (1): 16-25 (2019).
46. Ak, M., “AA206 alüminyum döküm alaşımında empürite demirin mekanik özelliklere etkilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 7 (2012).
47. Şam Parmak, E., D., ve Küçükelyas, B., “Malzeme Proses Laboratuvarı Dersi Deney Föyü Çökeltme Sertleşmesi (Yaşlandırma)”, *Bursa Teknik Üniversitesi*, Bursa, (2016).
48. Al_Saadi, H., I., A., ve Tunay, R., F., “Sunı yaşlandırma işleminin alüminyum alaşımının sertliği üzerine etkisi”, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5 (3): 525-532 (2017).
49. Chauhan, K., P., S., “Influence of heat treatment on the mechanical properties of aluminum alloys (6xxx series): a literature review”, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*”, 6 (3): 386-389 (2017).
50. Rashed, H., M., M., A., ve Rashid, A., K., M., B., “Heat treatment of aluminum alloys”, Compherensive Material Finishing Volume 2, *Elsevie Inc.*, Dhaka, 341-369 (2016).
51. ”Heat treating of aluminum alloys”, ASM Handbook, Volume 4: Heat Treating, *ASM International*, Ohio, 841-879 (1991).
52. Prach, O., ve Hornik, J., ve Mykhalekov, K., “Effect of the addition of Li on the structure and mechanical properties of hypoeutectic Al-Mg₂Si alloys”, *Acta Polytechnica*, 55 (4): 253-259 (2015).

53. Güven, Ş., Y., ve Delikanlı, Y., E., “AA 2024 alüminyum alaşımında çökeltme sertleşmesinin mekanik özelliklere etkisi”, *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, 2 (4): 13-20 (2012).
54. Saha, P., K., “Aluminum Extrusion Technology”, *ASM International*, Ohio, 12-34 (2000).
55. İnternet:
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Schematic_of_metal_extrusion_process.jpg (2015).
56. İnternet: SubsTech, “Extrusion”,
<https://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=extrusion> (2013).
57. Akyuz, B., ve Şenaysoy, S., “Alüminyum alaşımlarında yaşlandırma işleminin mekanik özellikler ve işlenebilirlik üzerindeki etkisi”, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1 (1): 1-8 (2014).
58. Gao, R., Q., ve Stiller, K., ve Hansen, V., ve Oskarsson, A., ve Danoix, F., “Influence of aging conditions on the microstructure and tensile strength of aluminium alloy 6063”, *Materials Science Forum Vols 396-402*, 1211-1216 (2002).
59. Siddiqui, R., A., ve Abdullah, H., A., ve Al-Belushi, K., R., “Influence of aging parameters on the mechanical properties of 6063 aluminium alloy”, *Journal of Materials Processing Technology*, 102 (2000): 234-240 (1999).
60. Zhou, J., ve Wang, G., Y., ve Li, Y., ve Wan, X., M., “Influence of heat treatment parameters on mechanical properties and crashworthiness of aluminum crash box”, *Advanced Materials Research Vols 912-14*, 194-199 (2014).
61. Eser, A., A., ve Gökçil, E., ve Akdı, S., ve Birol, Y., “Alüminyum işlem alaşımlarının T6 ısıl işleminde yaşlandırma sıcaklık ve sürelerinin incelenmesi”, *7. Alüminyum Sempozyumu*, İstanbul (2015).
62. Doruk, E., ve Yılmazoğlu, G., ve Ayaz, Z., ve Başer, T., ve Durgun, İ., “Yaşlandırma parametrelerinin farklı geometrilere sahip alüminyum ekstrüzyon ezilme kutularında darbe performansına etkileri”, *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, 14 (1): 17-22 (2016).
63. Polat, A., ve Avsar, M., ve Ozturk, F., “Effects of the artificial-aging temperature and time on the mechanical properties and springback behaviour of AA6061”, *Materials and Technology*, 49 (4): 487-493 (2015).
64. “Metalik Malzemelerin Çekme Deneyi Mühendislikte Deneysel Metodlar Dersi”, *T.C. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü*, Bilecik.

65. Boreanaz. M., “Development of crash box for automotive application”, Yüksek Lisans Tezi, *Politecnico di Torino*, Torino, 17 (2017).
66. Mohammed, R., J., “Effect of Die Angle on Stress Distribution in Extrusion Process of Aluminium Rod”, *Basrah Journal for Engineering Sciences*, 14 (2): 43-50 (2014).
67. İnternet: NTV, “Audi, 2033 Yılına Kadar Fosil Yakıtlı Araba Üretimini Durduracak”, <https://www.ntv.com.tr/ekonomi/audi-2033-yilina-kadar-fosil-yakitli-araba-uretimini-durduracak,159nXsTUeUKd1s886CUdYw>, (2021).
68. Batıgün, C., “Yüksek Mukavemetli Çeliklerin Üretimi ve Sınıflandırılması Dersi”, *ODTÜ Kaynak Teknolojisi ve Tahribatsız Muayene Araştırma / Uygulama Merkezi*, Ankara (2016).
69. Çanakçı, A., “Kantitatif Metalografi Deney Föyü”, *KTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü*.
70. İnternet: MalzemeBilimi.net, “Yaşlandırma Sertleşmesi”, <https://malzemebilimi.net/yaslandirma-sertlestirmesi.html> (2017).

ÖZGEÇMİŞ

Ufuk Ramazan UĞURLU 2013 – 2018 yılları arasında Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde lisans eğitimini tamamladı. İş hayatına MZA Demiryolu Malzemeleri Firması'nda İmalat Mühendisliği pozisyonunda başladı. 2019 yılında Karabük Üniversitesi'nde Makine Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. 2019 – 2021 yılları arasında ASAŞ Alüminyum'da Teknik Değerlendirme Mühendisi olarak çalıştı. Şu an ARITAŞ Kriyojenik Firması'nda Proje Mühendisi olarak çalışma hayatına devam etmektedir.