T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI

KRİYOJENİK ISIL İŞLEM SÜRESİNİN CoNiAlSi ALAŞIMINDA MARTENSİTİK FAZ DÖNÜŞÜMÜ ÜZERİNE ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ZEYNEP AYLİN ŞAHAN

DANIŞMAN

DOÇ. DR. MURAT ESKİL

AKSARAY, 2019

T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI

KRİYOJENİK ISIL İŞLEM SÜRESİNİN CoNiAlSi ALAŞIMINDA MARTENSİTİK FAZ DÖNÜŞÜMÜ ÜZERİNE ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ZEYNEP AYLİN ŞAHAN

DANIŞMAN

DOÇ. DR. MURAT ESKİL

AKSARAY, 2019

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 112310415 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Zeynep Aylin ŞAHAN tarafından hazırlanan "KRİYOJENIK ISIL İŞLEM SÜRESİNİN CoNiAlSi ALAŞIMINDA MARTENSITIK FAZ DÖNÜŞÜMÜ ÜZERİNE ETKİLERİ)" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile Fizik Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Murat ESKİL

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum .....

Üye: Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA

Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.....

Üye: Doç. Dr. Burhan DAVARCIOĞLU

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.....

Tez Savunma Tarihi: 10/04/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Mehmet Ali HINIS

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Zeynep Aylin ŞAHAN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinde, araştırılmasında ve yazımı sırasında sahip olduğum bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmayı yönlendiren ve her türlü yardımı esirgemeyen saygıdeğer danışmanım Doç. Dr. Murat ESKİL'e, araştırma esnasında yardımlarını esirgemeyen Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü'ne ve özellikle Nazan ÇAĞLAR hanıma, Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Öğretim Üyesi Dr. Soner BUYTOZ'a, Beşel Bijon cıvata metal Nak. İnş. Ltd. Şti. ve Fabrika Müdürü Makine Mühendisi Sefer GÜLEKEN'e, 2015-066 numaralı 'Kriyojenik Isıl İşlem Süresinin Martensitik Faz Dönüşümü Üzerine Etkileri' isimli proje desteğinden dolayı Aksaray Üniversitesi BAP birimine ve yaşamımın her anında desteğini eksik etmeyen aileme teşekkür ederim.

Zeynep Aylin ŞAHAN

AKSARAY, 2019

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ÖZET iv
ABSTRACT v
ŞEKİLLER DİZİNİ vi
ÇİZELGELER DİZİNİ xi
SİMGELER VE KISALTMALAR xiii
1. GİRİŞ 1
2. MARTENSİTİK FAZ DÖNÜŞÜMLERİ 4
2.1 Termoelastik ve Termoelastik Olmayan Dönüşümler 6
2.2 Atermal ve İzotermal Martensitik Dönüşümler 8
3. ŞEKİL HATIRLAMA OLAYI 10
3.1 Şekil Hatırlamalı Alaşımların Uygulama Alanları 13
4. Co BAZLI ŞEKİL HATIRLAMALI ALAŞIMLARIN KRİSTOGRAFİSİ 14
4.1 Co Bazlı Alaşımlarda Faz Diyagramları 16
5. KRİYOJENİK ISIL İŞLEMİN ETKİLERİ 19
6. DENEYSEL İŞLEMLER 21
6.1 X-Işını Difraksiyon Ölçümleri 23
6.2 Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC) Ölçümleri 23
6.3 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve EDS Analizleri 23
6.4 Optik Mikroskop Gözlemleri 24
6.5 Vickers ve Rocwell Sertlik Ölçümleri 24
7. DENEY SONUÇLARI VE SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ 25
7.1. X-Işını Difraksiyon Sonuçları 25
7.1.1 1 Alaşımından elde edilen X-Işını sonuçları 26
7.1.2 2 Alaşımından elde edilen X-Işını sonuçları 30
7.2. Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC) Sonuçları 42
7.2.1 1A Alaşımı için DSC sonuçları 42
7.2.2 1B Alaşımı için DSC sonuçları 45
7.2.3 1C Alaşımı için DSC sonuçları 48
7.2.4 1D Alaşımı için DSC sonuçları 51
7.2.5 1E Alaşımı için DSC sonuçları 54
7.2.6 1F Alaşımı için DSC sonuçları 57
7.2.7 2A Alaşımı için DSC sonuçları 60
7.2.8 2B Alaşımı için DSC sonuçları 63
7.2.9 2C Alaşımı için DSC sonuçları 66
7.2.10 2D Alaşımı için DSC sonuçları 69
7.2.11 2E Alaşımı için DSC sonuçları 72
7.2.12 2F Alaşımı için DSC sonuçları 75
7.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Gözlemleri 79
7.3.1 1 No.lu numuneler üzerinde SEM gözlem sonuçları 79
7.3.2 2 No.lu numuneler üzerinde SEM gözlem sonuçları 97
7.4. Optik Mikroskop Gözlem Sonuçları 116
7.4.1 1 No.lu numuneler üzerinde optik gözlem sonuçları 116
7.4.2 2 No.lu numuneler üzerinde optik gözlem sonuçları 129
7.5 Sertlik Ölçüm Sonuçları 138
8.YORUMLAR ve TARTIŞMALAR 145

KAYNAKLAR……147
ÖZGEÇMİŞ……149

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KRİYOJENİK ISIL İŞLEM SÜRESİNİN CoNiAlSi ALAŞIMINDA MARTENSİTİK FAZ DÖNÜŞÜMÜ ÜZERİNE ETKİLERİ

Zeynep Aylin ŞAHAN

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Murat ESKİL

ÖZET

Son yıllarda literatürde, Co bazlı şekil hatırlamalı alaşımlar üzerinde çalışmalar son derece dikkat çekmektedir. Bu alaşımlar arasında CoNi, CoNiGa ve CoNiAl ısıl işlemlerle martensit fazına geçerler ve eğitilerek şekil hatırlama özelliği kazandırılabilmektedirler.

Bu çalışmada; CoNiAlSiSb ve CoNiAlSiMo şekil hatırlamalı alaşımların kriyojenik ısıl işlem süresine göre martensitik faz dönüşümü etkilerinin belirlenmesi için Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC) ölçümleri; örgü mesafelerinin belirlenmesi için X-Işını Difraksiyonu; metalografik yapılarının incelenmesi için Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve optik mikroskobu deneyleri ve sertlik değişimleri için Vickers ve Rocwell sertlik ölçümleri yapıldı.

Anahtar Kelimeler: Co Bazlı Alaşımlar, Martensitik Dönüşüm, Şekil Hatırlama Olayı, Kriyojenik Isıl İşlem, Faz Dönüşümü.

Mayıs, 2019; 150 sayfa

M.Sc. THESIS

EFFECTS of CRYOGENIC HEAT TREATMENT on MARTENSITIC PHASE TRANSFORMATIONS of CoNiAlSi ALLOY

Zeynep Aylin ŞAHAN

Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Murat ESKİL

ABSTRACT

In recent years, studies on Co-based shape memory alloys have been attracted too much attention in leterature. Among these alloys, CoNi, CoNiGa and CoNiAl transform to martensitic phase by heat treatments and they can be gained shape memory feature.

In this study; Differential Scanning Calorimetry (DSC) measurements to determine the effects of martensitic phase transformations; X-Ray Difraction method to determine lattice parameters; Scattering Electron Microscope (SEM) and optical microscope experiments to investigate metallographic structures and Vickers and Rocwell Hardness methods to find differences of hardness values, were performed due to the cryogenic heat treatment time on CoNiAlSiSb and CoNiAlSiMo shape memory alloys.

Keywords: Co-Based Alloys, Martensitic Transformation, Shape Memory, Cryogenic Heat Treatment, Phase Transformation.

May, 2019; 150 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Austenit ve martensit fazların kimyasal serbest enerjilerinin sıcaklık değişimi…… 5
Şekil 2.2. Martensit dönüşümü etki eden bozulma çizgisinin kırılması yüzey kabartısının şekli a) yüzey kabartısı, b) bozulma çizgisinin kırılması (4)..... 6
Şekil 2.3. Martensit dönüşümün difüzyonsuz tabiatına bağlı düzlem ve doğrultularda değişimi(13)……..... 7
Şekil 2.4. Austenit ve martensit yapı arasındaki izotermal dönüşümü karakterize eden sıcaklıklar (9).……9
Şekil 3.1. Şekil hatırlama davranışının şematik gösterimi (3). 11
Şekil 3.2. Tek yönlü şekil hatırlama olayı (1)..... 12
Şekil 3.3. Çift yönlü şekil hatırlama olayı (9)..... 12
Şekil 4.1. Co bazlı alaşımların kristal örgüleri (1)..... 15
Şekil 4.2. İkili faz diyagramları bir araya getirilerek oluşturulmuş CoNiGa alaşımının üçlü azdiyagramı(16)……..… 17
Şekil 4.3. CoNiAl alaşımlarının faz diyagramları (1)..... 18
Şekil 7.1. CoNiAl alaşımının farklı sıcaklıklarda X-ışınları pikleri (22) 26
Şekil 7.2. 1A numunesinden alınan X-ışını difraktogramı 27
Şekil 7.3. 1B numunesinden alınan X-ışını difraktogramı 27
Şekil 7.4. 1C numunesinden alınan X-ışını difraktogramı. 28
Şekil 7.5. 1D numunesinden alınan X-ışını difraktogramı 29
Şekil 7.6. 1E numunesinden alınan X-ışını difraktogramı..... 29
Şekil 7.7. 1F numunesinden alınan X-ışını difraktogramı..... 30
Şekil 7.8. 2A numunesinden alınan X-ışını difraktogramı 31
Şekil 7.9. 2B numunesinden alınan X-ışını difraktogramı 32
Şekil 7.10. 2C numunesinden alınan X-ışını difraktogramı 32
Şekil 7.11. 2D numunesinden alınan X-ışını difraktogramı 33
Şekil 7.12. 2E numunesinden alınan X-ışını difraktogramı..... 34
Şekil 7.13. 2F numunesinden alınan X-ışını difraktogramı 34
Şekil 7.14. 1 no.lu numunenin a_{L10} örgü parametresinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre değişimi.....35
Şekil 7.15. 1 no.lu numunenin $a_{\gamma'}$ örgü parametresinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre değişimi ……36
Şekil 7.16. 1 nolu numunenin c_{L10} örgü parametresinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre değişimi…… 37
Şekil 7.17. 1 nolu numunenin $\boldsymbol{c_{L10}/a_{L10}}$ örgü parametresinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre değişimi..... .37
Şekil 7.18. 2 nolu numunenin $a_{L10=}$ örgü parametresinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre değişimi..... .38
Şekil 7.19. 2 nolu numunenin $a_{\gamma'}$ örgü parametresinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre değişimi …… 38
Şekil 7.20. 2 nolu numunenin c_{L10} örgü parametresinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre değişimi..... 39

Şekil 7.21. 2 nolu numunenin c_{L10}/a_{L10} örgü parametresinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre değişimi ……...40
Şekil 7.22. 1A numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak ısıtma hızları için DSC eğrileri 43
Şekil 7.23. 1A numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak ısıtma hızları için DSC eğrileri 43
Şekil 7.24. 1A numunesinin 1. 2. ve 3. Termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak soğutma hızı DSC eğrileri 44
Şekil 7.25. 1A numunesinin 1. 2. ve 3. Termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak ısıtma hızı DSC eğrileri..... ……..... 44
Şekil 7.26. 1B numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak,15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak soğutma hızları için DSC eğrileri .. ……46
Şekil 7.27. 1B numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak ısıtma hızları için DSC eğrileri ……46
Şekil 7.28. 1B numunesinin 1. 2. ve 3. Termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak soğutma hızı DSC eğrileri..... 47
Şekil 7.29. 1B numunesinin 1. 2. ve 3. Termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak ısıtma hızı DSC eğrileri ……..47
Şekil 7.30. 1C numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak soğutma hızları için DSC eğrileri ……49
Şekil 7.31. 1C numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak ısıtma hızları için DSC eğrileri ……..49
Şekil 7.32. 1C numunesinin 1. 2. ve 3. Termal çevrimlerde 25 0C/dak soğutma hızı DSC eğrileri ..... ……50
Şekil 7.33. 1C numunesinin 1. 2. ve 3. Termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak ısıtma hızı DSC eğrileri ……..50
Şekil 7.34. 1D numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 0C/dak soğutma hızları için DSC eğrileri ……...52
Şekil 7.35. 1D numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 0C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak ısıtma hızları için DSC eğrileri…….. 52
Şekil 7.36. 1D numunesinin 1. 2. ve 3. Termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak soğutma hızı DSC eğrileri……. 53
Şekil 7.37. 1D numunesinin 1. 2. ve 3. Termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak ısıtma hızı DSC eğrileri …….....53
Şekil 7.38. 1E numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak soğutma hızları için DSC eğrileri …….. 55
Şekil 7.39. 1E numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak ısıtma hızları için DSC eğrileri ... …….. 55
Şekil 7.40. 1E numunesinin 1. 2. ve 3. Termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak soğutma hızı DSC eğrileri..... 56
Şekil 7.41. 1E numunesinin 1. 2. ve 3. Termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak ısıtma hızı DSC eğrileri..... 56
Şekil 7.42. 1F numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 0C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak soğutma hızları için DSC eğrileri …… 58
Şekil 7.43. 1F numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak soğutma hızları için DSC eğrileri ……... 58
Şekil 7.44. 1F numunesinin 1. 2. ve 3. Termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak soğutma hızı DSC eğrileri ..... ……... 59

Şekil 7.45. 1F numunesinin 1. 2. ve 3. Termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak ısıtma hızı DSC eğrileri ……..…... 59
Şekil 7.46. 2A numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 0C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak soğutma hızları için DSC eğrileri …… 61
Şekil 7.47. 2A numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak ısıtma hızları için DSC eğrileri ……61
Şekil 7.48. 2A numunesinin 1. 2. ve 3. Termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak soğutma hızı DSC eğrileri..... ……...62
Şekil 7.49. 2A numunesinin 1. 2. ve 3. Termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak ısıtma hızı DSC eğrileri ……..……62
Şekil 7.50. 2B numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak soğutma hızları için DSC eğrileri ……64
Şekil 7.51. 2B numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak ısıtma hızları için DSC eğrileri …… 64
Şekil 7.52. 2B numunesinin 1. 2. ve 3. Termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak soğutma hızı DSC eğrileri ..... …… 65
Şekil 7.53. 2B numunesinin 1. 2. ve 3. Termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak ısıtma hızı DSC eğrileri ……65
Şekil 7.54. 2C numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak soğutma hızları için DSC eğrileri.. …… 67
Şekil 7.55. 2C numunesinin 5 ^{0}C/dak,10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak ısıtma hızları için DSC eğrileri .. ……67
Şekil 7.56. 2C numunesinin 1. 2. ve 3. Termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak soğutma hızı DSC eğrileri ..... ……...68
Şekil 7.57. 2C numunesinin 1. 2. ve 3. Termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak ısıtma hızı DSC eğrileri …… 68
Şekil 7.58. 2D numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak soğutma hızları için DSC eğrileri ……70
Şekil 7.59. 2D numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak soğutma hızları için DSC eğrileri ……70
Şekil 7.60. 2D numunesinin 1. 2. ve 3. Termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak soğutma hızı DSC eğrileri ..... ……71
Şekil 7.61. 2D numunesinin 1. 2. ve 3. Termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak ısıtma hızı DSC eğrileri . .. ……71
Şekil 7.62. 2E numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak soğutma hızları için DSC eğrileri ……73
Şekil 7.63. 2E numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak ısıtma hızları için DSC eğrileri .. ……73
Şekil 7.64. 2E numunesinin 1. 2. ve 3. Termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak soğutma hızı DSC eğrileri..... ……74
Şekil 7.65. 2E numunesinin 1. 2. ve 3. Termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak ısıtma hızları için DSC eğrileri . ……74
Şekil 7.66. 2F numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak soğutma hızları için DSC eğrileri……76
Şekil 7.67. 2F numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak ısıtma hızları için DSC eğrileri.……76
Şekil 7.68. 2F numunesinin 1. 2. ve 3. Termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak soğutma hızı DSC eğrileri ..... ……77

Şekil 7.69. 2F numunesinin 1. 2. ve 3. Termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak ısıtma hızları DSC eğrileri…….…… 77
Şekil 7.70. 1A numunesine ait morfoloji.....80
Şekil 7.71. 1A numunesine ait morfoloji…….....80
Şekil 7.72. 1A numunesine ait yapı ……...81
Şekil 7.73. Şekil 7.72'de gösterilen 1A numunesine ait EDS analizleri a (1) γ fazı bölgesinden b (2) ve c (3) çökelti fazı bölgesinden d (4) martensit plakasından …….....81
Şekil 7.73.(devam). Şekil 7.72'de gösterilen 1A numunesine ait EDS analizleri a (1) γ fazı bölgesinden b (2) ve c (3) çökelti fazı bölgesinden d (4) martensit plakasından …….....82
Şekil 7.74. 1B numunesine ait morfoloji 83
Şekil 7.75. 1B numunesine ait morfoloji 83
Şekil 7.76. 1B numunesine ait yapı 84
Şekil 7.77. Şekil 7.76'da gösterilen 1B numunesine ait EDS analizleri a(1) γ fazı bölgesinden b (2) ve c (3) çökelti fazı bölgesinden d (4) martensit plakasından e (5) γ' fazı bölgesinden …….. ..84
Şekil 7.77.(devam). Şekil 7.76'da gösterilen 1B numunesine ait EDS analizleri a(1) γ fazı bölgesinden b (2) ve c (3) çökelti fazı bölgesinden d (4) martensit plakasından e (5) γ' fazı bölgesinden …….. ..85
Şekil 7.78. 1C numunesine ait morfoloji 86
Şekil 7.79. 1C numunesine ait yapı 87
Şekil 7.80. Şekil 7.79'da gösterilen 1C numunesine ait EDS analizleri a (1) γ fazı bölgesinden b (2) martensit plakasından c (3) ve d (4) γ′ fazı bölgesinden..... …….....87
Şekil 7.80.(devam). Şekil 7.79'da gösterilen 1C numunesine ait EDS analizleri a (1) γ fazı bölgesinden b (2) martensit plakasından c (3) ve d (4) γ′ fazı bölgesinden..... ……88
Şekil 7.81. 1D numunesine ait morfoloji 89
Şekil 7.82. 1D numunesine ait yapı……89
Şekil 7.83. Şekil 7.82'de gösterilen 1D numunesine ait EDS analizleri a (1) γ fazı bölgesinden b (2) martensit plakasından c (3) çökelti fazı bölgesinden ve d (4) γ′ fazı bölgesinden 90
Şekil 7.84. 1E numunesine ait morfoloji 91
Şekil 7.85. 1E numunesine ait yapı..... 92
Şekil 7.86. Şekil 7.85'de gösterilen 1E numunesine ait EDS analizleri a (1) γ fazı bölgesinden b (2) martensit plakasından c (3) ve d (4) γ' fazı bölgesinden ..... …….. 92
Şekil 7.86.(devam). Şekil 7.85'de gösterilen 1E numunesine ait EDS analizleri a (1) γ fazı bölgesinden b (2) martensit plakasından c (3) ve d (4) γ' fazı bölgesinden ……93
Şekil 7.87. 1F numunesine ait morfoloji 94
Şekil 7.88. 1F numunesine ait morfoloji 94
Şekil 7.89. 1F numunesine ait yapı 95
Şekil 7.90. Şekil 7.89'te gösterilen 1F numunesine ait EDS analizleri a (1) γ fazı bölgesinden b (2) çökeltiden c (3) martensit plakadan d (4) γ′ fazı bölgesinden e (5) çökeltiden ... ……...…….. 95

Şekil 7.90.(devam). Şekil 7.89'te gösterilen 1F numunesine ait EDS analizleri a (1) γ fazı bölgesinden b (2) çökeltiden c (3) martensit plakadan d (4) γ′ fazı bölgesinden e (5) çökeltiden…….…….. 96
Şekil 7.91. 2A numunesine ait morfoloji. 97
Şekil 7.92. 2A numunesine ait morfoloji 98
Şekil 7.93. 2A numunesine ait yapı 98
Şekil 7.94. Şekil 7.93'da gösterilen 2A numunesine ait EDS analizleri a (1) γ fazı bölgesinden b (2) martensit plakadan c (3) ve d (4) γ′ fazı bölgesinden ……..…… 99
Şekil 7.95. 2B numunesine ait morfoloji 100
Şekil 7.96. 2B numunesine ait morfoloji 101
Şekil 7.97. 2B numunesine ait yapı 101
Şekil 7.98. Şekil 7.97'de gösterilen 2B numunesine ait EDS analizleri a (1) γ fazı bölgesinden b (2) çökelti bölgesinden c (3) ve d (4) martensit plakadan ..... ….. 102
Şekil 7.99. 2C numunesine ait morfoloji 103
Şekil 7.100. 2C numunesine ait morfoloji 104
Şekil 7.101. 2C numunesine ait yapı 104
Şekil 7.102. Şekil 7.101'de gösterilen 2C numunesine ait EDS analizleri a (1) γ fazı Bölgesinden b (2) çökelti bölgesinden c (3) martensit plakadan ve d (4) γ' fazı bölgesinden…….105
Şekil 7.103. 2D numunesine ait morfoloji 106
Şekil 7.104. 2D numunesine ait morfoloji. 107
Şekil 7.105. 2D numunesine ait yapı 107
Şekil 7.106. Şekil 7.105'de gösterilen 2D numunesine ait EDS analizleri a (1) γ fazı bölgesinden b (2) martensit plakadan c (3) çökeltiden d (4)ve e(5)γ′fazı bölgesinde……..108
Şekil 7.107. 2E numunesine ait morfoloji 109
Şekil 7.108. 2E numunesine ait morfoloji 110
Şekil 7.109. 2E numunesine ait yapı 110
Şekil 7.110. Şekil 7.109'te gösterilen 2E numunesine ait EDS analizleri a(1) ve b(2)martensit plakadan c (3) γ' fazı bölgesinden d (4) çökeltiden ve e (5) γ fazı bölgesinden.. ……111
Şekil 7.111. 2F numunesine ait morfoloji 112
Şekil 7.112. 2F numunesine ait morfoloji..... 113
Şekil 7.113. 2F numunesine ait yapı 113
Şekil 7.114. Şekil 7.113'da gösterilen 2F numunesine ait EDS analizleri a (1) γ fazı bölgesinden b(2) martensit plakadan c(3) ve d(4) çökeltiden ve e (5) γ′ fazı bölgesinden..... ……114
Şekil 7.115. 1A numunesine ait (a) ve (b) dendritik yapılar (c) çökelti fazları 117
Şekil 7.115.(devam). 1A numunesine ait (a) ve (b) dendritik yapılar (c) çökelti fazları 117
Şekil 7.116. CoNi bazlı alaşımların döküm sonrası optik mikroskop görüntüleri (16) ..... ……119
Şekil 7.117. 1B numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları. 120
Şekil 7.117.(devam). 1B numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları. 121
Şekil 7.118. 1C numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları …..... 122

Şekil 7.118.(devam). 1C numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları ….....123

Şekil 7.119. 1D numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları..... 124
Şekil 7.119.(devam). 1D numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları..... 125
Şekil 7.120. 1E numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları 126
Şekil 7.120.(devam). 1E numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları……..127
Şekil 7.121. 1F numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları 128
Şekil 7.121.(devam). 1F numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları 129
Şekil 7.122. 2A numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları 130
Şekil 7.123. 2B numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları..... 130
Şekil 7.123.(devam). 2B numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları..... 131
Şekil 7.124. 2C numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları 132
Şekil 7.125. 2D numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları 133
Şekil 7.125.(devam). 2D numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları 134
Şekil 7.126. 2E numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları 135
Şekil 7.127. 2F numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları 136
Şekil 7.127.(devam). 2F numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları 137
Şekil 7.128. CoNiAlSi alaşımı için, (a) 1 nolu alaşıma ait vickers sertlik ölçümlerinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre dağılımı (b) 2 nolu alaşıma ait vickers sertliğinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre dağılımı (c) her iki alaşımın vickers sertliğinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre dağılımı. ……. 140
Şekil 7.128. CoNiAlSi alaşımı için, (a) 1 nolu alaşıma ait vickers sertlik ölçümlerinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre dağılımı (b) 2 nolu alaşıma ait vickers sertliğinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre dağılımı (c) her iki alaşımın vickers sertliğinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre dağılımı. ……. 141
Şekil 7.129. CoNiAlSi alaşımı için, (a) 1 nolu alaşıma ait rockwell sertlik ölçümlerinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre dağılımı (b) 2 nolu alaşıma ait rockwell sertliğinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre dağılımı (c) her iki alaşımın rockwell sertliğinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre dağılımı..... 142
Şekil 7.129.(devam). CoNiAlSi alaşımı için, (a) 1 nolu alaşıma ait rockwell sertlik ölçümlerinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre dağılımı (b) 2 nolu alaşıma ait rockwell sertliğinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre dağılımı (c) her iki alaşımın rockwell sertliğinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre dağılımı..... 143

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Martensitik dönüşüm tiplerinin genel karakteristikleri..... 8
Çizelge 6.1. Çalışmada kullanılan alaşımların atomik ve kütle oranları. 21
Çizelge 6.2. Numunelere uygulanan ısıl işlemler. 22
Çizelge 6.3. Bu çalışmada kullanılana numunelerin adları..... 22
Çizelge 6.4. DSC analizinde kullanılan numunelerin kütle değerleri 23
Çizelge 7.1. Kriyojenik ısıl işlem süresine göre çökelti fazları için hesaplanan $a_{\gamma'}$ örgü parametreleri 39
Çizelge 7.2. Kriyojenik ısıl işlem süresine göre martensit fazı için hesaplanan a_{L10}, c_{L10} örgü sabitleri ve c_{L10}/a_{l10} oranları ile γ' çökelti fazı için hesaplanan $a_{\gamma'}$ örgü sabiti oranı..... 40
Çizelge 7.3. Tüm numunelerde bulunan fazlar. 40
Çizelge 7.4. 1A numunesi için çevrim sayısı ve uygulanan ısıtma ve soğutma programı için elde edilen deneysel sonuçlar…… 45
Çizelge 7.5. 1B numunesi için çevrim sayısı ve uygulanan ısıtma ve soğutma programı için elde edilen deneysel sonuçlar. 48
Çizelge 7.6. $Co_{30}Ni_{39}Al_{31}$ alaşımının kristal yapısı ve örgü sabiti. 48
Çizelge 7.7. 1C numunesi için çevrim sayısı ve uygulanan ısıtma ve soğutma programı için elde edilen deneysel sonuçlar. 51
Çizelge 7.8. 1D numunesi için çevrim sayısı ve uygulanan ısıtma ve soğutma programı için elde edilen deneysel sonuçla 54
Çizelge 7.9. 1E numunesi için çevrim sayısı ve uygulanan ısıtma ve soğutma programı için elde edilen deneysel sonuçlar 57
Çizelge 7.10. 1F numunesi için çevrim sayısı ve uygulanan ısıtma ve soğutma programı için elde edilen deneysel sonuçlar. 60
Çizelge 7.11. 2A numunesi için çevrim sayısı ve uygulanan ısıtma ve soğutma programı. 63
Çizelge 7.12. 2B numunesi için çevrim sayısı ve uygulanan ısıtma ve soğutma programı için elde edilen deneysel sonuçlar 66
Çizelge 7.13. 2C numunesi için çevrim sayısı ve uygulanan ısıtma ve soğutma programı için elde edilen deneysel sonuçlar. 69
Çizelge 7.14. 2D numunesi için çevrim sayısı ve uygulanan ısıtma ve soğutma programı için elde edilen deneysel sonuçlar 72
Çizelge 7.15. 2E numunesi için çevrim sayısı ve uygulanan ısıtma ve soğutma programı için elde edilen deneysel sonuçlar. 75
Çizelge 7.16. 2F numunesi için çevrim sayısı ve uygulanan ısıtma ve soğutma programı için elde edilen deneysel sonuçlar. 78
Çizelge 7.17. 1A numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 7.72' de verilen bölgelere aittir.). 82
Çizelge 7.18. 1B numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 7.76' de verilen bölgelere aittir.) 86
Çizelge 7.19. 1C numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 7.79' de verilen bölgelere aittir.) 88
Çizelge 7.20. 1D numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 7.82' de verilen bölgelere aittir.). 91

Çizelge 7.21. 1E numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 7.8'de gösterilen bölgelere aittir.). 93
Çizelge 7.22. 1F numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 7.89'te gösterilen bölgelere aittir.) 96
Çizelge 7.23. 2A numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 7.93'da gösterilen bölgelere aittir.). 100
Çizelge 7.24. 2B numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 7.97'te gösterilen bölgelere aittir.)..... 103
Çizelge 7.25. 2C numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 7.101'de gösterilen bölgelere aittir.). 106
Çizelge 7.26. 2D numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 7.105.'de gösterilen bölgelere aittir.). 109
Çizelge 7.27. 2E numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 7.109.'te gösterilen bölgelere aittir.). 112
Çizelge 7.28. 2F numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 7.113.'da gösterilen bölgelere aittir.) 114
Çizelge 7.29. Numunelerin kriyojenik ısıl işlem süresine göre sertlik ölçümleri. 138
Çizelge 7.31. 1 Nolu Numunelerin kriyojenik ısıl işlem süresine göre sertlik ölçümlerinin ortalaması…… 139
Çizelge 7.31. 2 Nolu Numunelerin kriyojenik ısıl işlem süresine göre sertlik ölçümlerinin ortalaması…… 139

SİMGELER VE KISALTMALAR

a	Kristal yapıda x-ekseni boyunca örgü parametresi
Af	Martensit → austenit dönüşümünde austenit yapının bitiş sıcaklığı
A_s	Martensit →austenit dönüşümünde austenit başlama sıcaklığı
b	Kristal yapıda y-ekseni boyunca örgü parametresi
bcc	Cisim merkezli kübik yapı
bct	Cisim merkezli tetragonal yapı
B2	bcc yapıya sahip austenit fazı
c	Kristal yapıda z-ekseni boyunca örgü parametresi
d	Kristal yapıda düzlemler arası mesafe
E_a	Aktivasyon enerjisi
fcc	Yüzey merkezli kübik yapı
hkl	Kristal yapıda düzlemleri belirleyen indis sistemi (Miller İndisi)
HRC	Rockwell sertliği
$L1_0$	Martensit fazı
M_f	Austenit → martensit dönüşümünde martensit yapının bitiş sıcaklığı
M_s	Austenit → martensit dönüşümünde martensit başlama sıcaklığı
R	Evrensel Gaz Sabiti
T	Sıcaklık (^{0}K)
T_0	Austenit ve martensit fazlarının dengede bulunduğu sıcaklık
T_x	Pik sıcaklığı
VSN	Vickers sertliği
β	Brass tipi süper örgü
γ	Yüksek sıcaklık fazı
γ'	Çökelti fazı

1. GİRİŞ

Teknolojide önemli bir yere sahip olan metal ve alaşımlar çeşitli etkilere maruz kalarak farklı özellikler sergilerler. Bazı metal ve alaşımlarda mikroyapısal değişiklikleri meydana getiren fiziksel etkiler, özellikle farklı kombinasyonlara da sahip olan sıcaklık, basınç ve zordur. Bu fiziksel etkiler sebebi ile alaşımın veya metal atomlarının komşulukları değişmemek suretiyle yalnızca kristal yapı değişimine yol açan faz dönüşümleri martensitik faz dönüşümleridir. Martensitik faz dönüşümlerini tarihte ilk defa A. Martens gözlemlediği için bu dönüşümlere bu bilim insanının adı verilmiştir [1].

Martensitik faz dönüşümleri ilk defa Fe alaşımlarında gözlenmiş ve Fe'in hem sanayide öneminden dolayı hem de maliyetinin düşük olmasından dolayı çalışmalar bu alaşımlar üzerinde yoğunlaşmıştır. Başlangıçta yalnızca Fe ve alaşımlarında olduğu düşünülen bu dönüşümlerin, pek çok demir dışı metal ve metal alaşımlarında da oluşabildiği anlaşılmıştır [2].

Bir malzeme içerisindeki homojen yapı topluluğuna sahip ve farklı özellikler içeren kısımlara faz adı verilir [3]. Gerek malzemeye uygulanan basınç ve sıcaklık değerlerindeki değişiklik gerekse malzemenin bileşiminde oluşacak farklılık faz dönüşümlerini meydana getirebilmektedir. Faz dönüşümünü en çok etkileyen fiziksel özellik malzemeye uygulanan sıcaklık değişimleridir [1].

Bir maddeye ait çeşitli fazların termodinamik açıdan kararlılık durumunu, element konsantrasyonunu ve sıcaklık bölgelerini gösteren şekillere faz diyagramları denir. Faz diyagramları üzerinde faz sınırlarını ayıran çizgiler vardır. Bu çizgiler, iki faz dengede iken mevcut basınç ve sıcaklık değerlerini ifade ederler.

Faz diyagramları, kullanım amacına ve yerine göre önemli ticari ve endüstriyel kullanım alanlarına sahiptirler. Örneğin; metal, çelik, alaşım vb. maddelerin kritik bazı özelliklerine karar vermede bu diyagramlardan yararlanılır. Farklı maddelerin karışıp karışmayacağına, değişik şartlar altında dengelenip dengelenmeyeceğine karar vermede bu diyagramlar önemli rol oynarlar.

Dönüşüm olayına göre metal ve alaşım sistemlerindeki faz dönüşümleri; çekirdeklenme-büyüme dönüşümleri ve martensitik dönüşümler olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Çekirdeklenme-büyüme dönüşümleri, sabit sıcaklıkta termal etkileşme ile difüzyonlu olarak meydana gelir. Martensitik dönüşümler ise sistemin sıcaklığı değiştirilerek veya sistem deforme edilerek meydana gelebileceği gibi her iki etkinin birlikte uygulanması ile de gerçekleşebilir. Sıcaklık etkisiyle oluşan martensitik dönüşümler, alaşım sistemlerine göre atermal ve izotermal olarak meydana gelir. Deforme edilerek oluşan martensit, zorlama ile oluşmuş martensit; hem deforme edilerek hem de sıcaklık etkisiyle oluşan martensit ise zor etkili martensit adını alır [4].

Sıcaklık etkisiyle meydana gelen martensitik faz dönüşümlerinde belli bir kristal yapıya sahip olan malzeme, sıcaklık ve zor gibi etkilere maruz kaldığı zaman daha düşük serbest enerjili yapı olan düşük sıcaklık fazında bulunan farklı kristal yapıya dönüşür. Yüksek sıcaklık fazına austenit fazı, düşük sıcaklık fazına ise martensit fazı adı verilir [5]. A.Martens tarafından gözlemlenen dönüşümler, termoelastik ve termoelastik olmayan dönüşümler diye iki sınıfa ayrılır. Termoelastik dönüşüm sergileyen alaşımlar şekil hatırlamalı alaşımlardır [1]. Şekil hatırlama özelliği, malzeme martensit fazda iken deforme edilip daha sonra austenit faz sıcaklığına kadar ısıtıldığında austenit fazda iken sahip olduğu ilk şeklini hatırlaması olayına verilen isimdir [6]. Şekil hatırlamalı alaşımların (ŞHA) temel karakteristikleri, kritik dönüşüm sıcaklığının üzerinde veya altında iki farklı şekil ve kristal yapıya sahip olmalarıdır. Bu alaşımlar, kristal yapılarında oluşan martensit fazdan austenit faza dönüşüm etkisi ile 'önceki şeklini hatırlayabilen' bir özelliğe sahiptirler [7].

Şekil hatırlamalı alaşımlar, 1980'lerde yangın alarmları gibi çok farklı sahalarda kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonraları ise geleneksel bimetal termostatlardan daha güvenilir ve uzun ömürlü olduğundan; merkezi ısıtma sistemlerinde ve seralarda da kullanılmaya başlanmıştır [8].

Martensitik faz dönüşümüne sahip bu alaşımlara ısıl işlemler uygulanarak şekil hatırlama özelliği kazandırılabilmektedir [1].

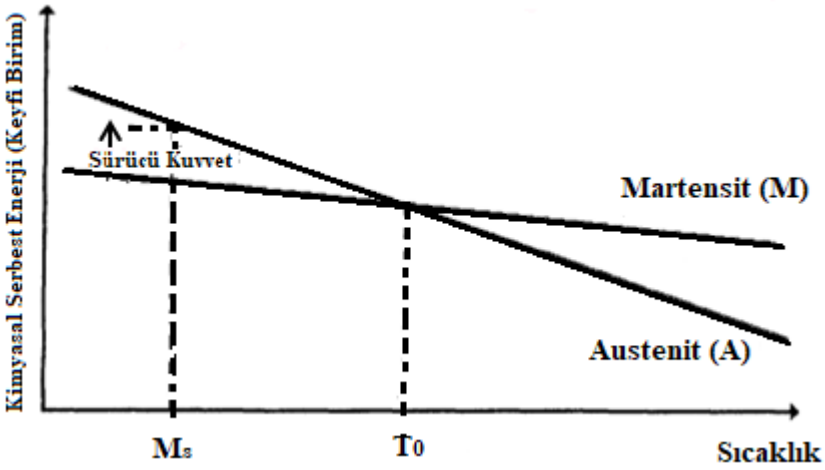
Bu çalışmanın amacı; iki farklı CoNiAlSi alaşımlarında martensitik dönüşüm üzerinde kriyojenik ısıl işlem sonucunda meydana gelen makroskobik ve mikroyapısal değişimleri deneyler yaparak incelemektir.

Kriyojenik ısıl işlem uygulanan numuneler X-ışını Difraksiyonu deseni elde edilerek indislendi. Bu desenler kullanılarak martensit yapıların örgü parametreleri elde edildi. Ayrıca kriyojenik ısıl işlem uygulanan numunelerin dönüşüm sıcaklıkları sonucunda meydana gelen değişimler Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC) yöntemi ile incelendi. Farklı ısıl işlemler sonucunda numunelerin morfolojilerinde ortaya çıkabilecek değişimler Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Optik Mikroskobu kullanılarak incelendi ve bazı bölgelerinden EDS analizleri alındı. Malzemelerin sertliklerinde malzemenin kompozisyonuna ve malzemeye uygulanan farklı mekanik ve ısıl işlemlere göre ortaya çıkan değişimler ise Vickers ve Rockwell sertlik ölçümleriyle belirlendi. Malzemelere uygulanan kriyojenik ısıl işlem ile yukarıda incelendiği belirtilen tüm özelliklerle malzeme üzerindeki şekil hatırlama özelliği araştırıldı.

2. MARTENSİTİK FAZ DÖNÜŞÜMLERİ

Martensit faz dönüşümü difüzyonsuz faz dönüşümü olarak adlandırılır. Yani martensit fazdaki atomların komşulukları, dönüşüm öncesi komşulukları ve kristalin kompozisyonu değişmez [6]. Martensitik dönüşüm, atomların dönüşüme uğrayan bölgede bir zorlanma altında topluca hareket ettikleri, yer değiştirme içeren bir reaksiyondur. Kısaca martensitik dönüşüm, atomların topluca hareket edebildikleri bir faz geçişidir. Austenit ana kristal yapının martensit ürün faza dönüşmesi ile gerçekleşen martensitik dönüşümler, ilk önce çeliğin su verilerek sertleşmesi şeklinde ortaya çıkan teknolojik açıdan önemli bir oluşum olması nedeni ile üzerinde yoğun çalışmalar yapılan bir konu olmuştur. Daha sonra yapısal, kristalografik, termodinamik, kinetik ve mekanik özellikleri nedeni ile teknolojik olduğu kadar bilimsel açıdan ilgi çekici bir araştırma konusu durumuna gelmiştir [3].

Austenit ve martensit kristal yapılar, bir T_0 sıcaklık noktasında dengededir. Austenit kristal yapı T_0 sıcaklık noktasından hızlı bir şekilde düşürülürse M_S sıcaklığından sonra, bu kristal yapı içerisinde martensit bir yapı oluşmaya başlar. M_s sıcaklığına martensit dönüşüm başlama sıcaklığı denir ve farklı alaşımlar için aynı olmayan değerlere sahiptirler. (T_0–M_s) sıcaklık farkı, fazlar arasındaki kimyasal serbest enerjiyi, bu enerji de dönüşüm için gerekli sürücü kuvveti doğurur (şekil 2.1). Bu durum Şekil 2.1'de görülmektedir. Bu anda dışarıdan uygulanacak bir mekanik zor ile M_s sıcaklığı T_0 sıcaklığının çok altına düşmeden dönüşüm başlayabilir. Dışarıdan uygulanan bu mekanik zor, M_s yi arttırdığı gibi dönüşen hacim miktarını da arttırır. M_s sıcaklığında başlayan martensitik dönüşüm belli bir sıcaklık aralığında devam eder ve durur [9]. Bu sıcaklığa martensitik dönüşüm bitiş sıcaklığı (M_f) denir. Martensit haldeki dönüşmüş numunede sıcaklık arttırılırsa oluşan martensit, austenit başlangıç sıcaklığı olan A_s sıcaklığında austenit faza dönüşmeye başlar ve austenit bitiş sıcaklığı olan A_f de dönüşümü tamamlayıp tekrar austenit faz elde edilir [12].



Şekil 2.1 Austenit ve martensit fazların kimyasal serbest enerjilerinin sıcaklık ile değişim grafiği [4].

Martensitik dönüşümle ilgili en önemli etki şekil hatırlama etkisidir. Bu etkiyi gösteren alaşımlar, uygulanan deformasyona karşılık ilk şekillerini hatırlayabilmektedirler. Şekil hatırlama etkisinin görülmesi yapıda oluşan martensitik dönüşüme bağlıdır. Malzeme deforme edildiğinde, martensitik tabakaların konfigürasyonunda iç değişimler meydana gelmektedir. Ürün faz içerisinde ikizlenme, dislokasyon ve istiflenme kusurları gibi örgü kusurları meydana gelir. Isıtma, manyetik alanın ve uygulanan kuvvetin kaldırılması gibi işlemlerle malzeme eski haline martensitik dönüşüm ile dönebilmektedir [6].

Martensitik dönüşümlerin genel karakteristikleri şu başlıklar altında özetlenebilir [4]:

a) Martensitik faz, arayer katı çözeltidir.

b) Dönüşüm difüzyonsuzdur. Yani kristaldeki atomların dönüşüm öncesindeki komşulukları dönüşüm sonrasında da korunur.

c) Dönüşüm, sınırlı bir şekil değişikliğiyle meydana gelir. Ana faz durumundan, numunenin sıcaklığı düşürülürse yüzey üzerinde meydana gelen martensitik fazlı bazı bölgeler kabartılar şeklinde gözlenir (Şekil 2.2.a). Şekil 2.2.b'de görüldüğü gibi austenit yapı ile martensit yapı arasındaki sınırda bir bozulma çizgisi ortaya çıkar. Martensitik dönüşümlere eşlik eden şekil değişiklikleri şekil hatırlama olayında önemli bir rol oynar.

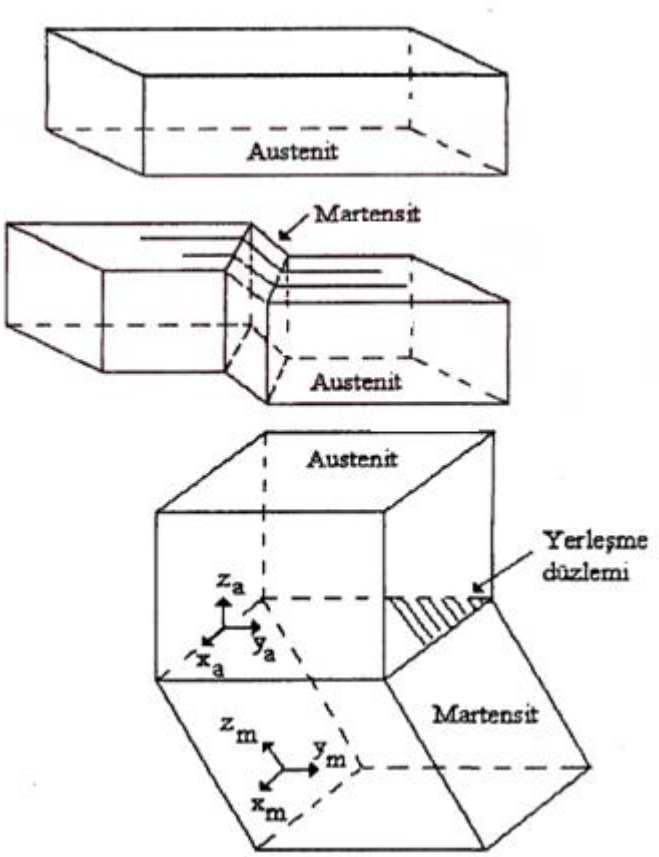
d) Bir martensitik dönüşümde bozulmamış olarak kalan ve ana faz ile ürün fazını ayıran düzleme yerleşme (habit plane) denir. Şekil 2.3'de görüldüğü gibi yerleşme düzlemi değişmez bir düzlemdir ve bu düzlem üzerindeki doğrultular bozulmamıştır.
e) Austenit faz ile martensitik faz örgüleri arasında sınırlı bir dönme bağıntısı vardır.
f) Dönüşümde kristal örgü kusurları da oluşur.



Şekil 2.2. Martensitik dönüşüme etki eden bozulma çizgisinin kırılması yüzey kabartısının şekli a) yüzey kabartısı, b) bozulma çizgisinin kırılması [4].

2.1 Termoelastik ve Termoelastik Olmayan Dönüşümler

Termoelastik olmayan bir dönüşümle gerçekleşen martensitik yapı sıcaklık düşüşüyle büyümez, fakat yeni martensit bölgeleri oluşur. Termoelastik dönüşümle oluşan martensitik yapılar ise süreklilik göstererek sıcaklık düşüşüyle büyürler. Şekil hatırlama olayı gösteren termoelastik faz dönüşümleri, düzenli bir yüksek sıcaklık fazından yani yüksek simetri fazından, kristalografik olarak tersinir bir termoelastik dönüşüm ile düşük sıcaklık fazına, yani düşük simetri fazına bir geçiş gösterir. Çizelge 2.1'de martensitik dönüşümlerin genel karakteristikleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.3. Martensit dönüşümün difüzyonsuz tabiatına bağlı düzlem ve doğrultularda değişimi [13].

Sıcaklık değişimi ile oluşan martensitik dönüşümler, dönüşümün hızının etkisi ile atermal ve izotermal olmak üzere iki yolla meydana gelir. Burada alaşımın kimyasal bileşimi etkili değildir. Aynı alaşım içerisinde hem izotermal hem de atermal dönüşüm meydana gelebilir. Fakat incelendiğinde meydana gelen bu dönüşümlerin sıcaklıklarının ve dönüşüm sonrası ürün yapılarının farklı olduğu gözlenmektedir [12].

Çizelge 2.1. Martensitik Dönüşüm Tiplerinin Genel Karakteristikleri [7].

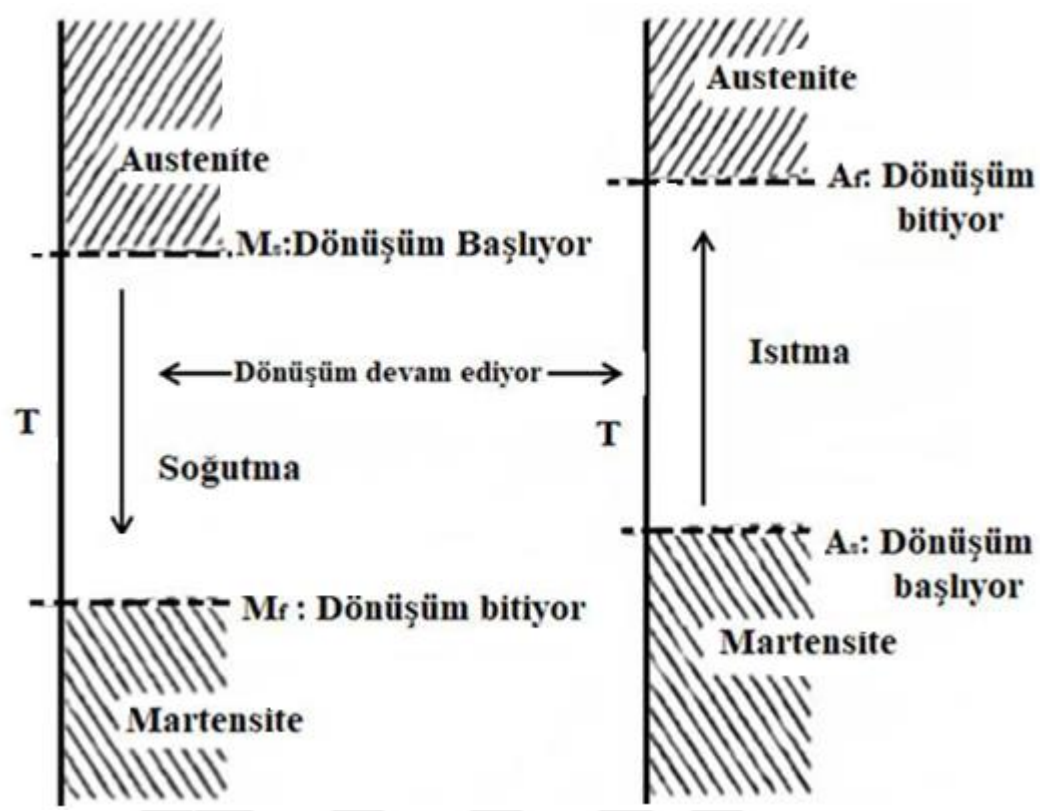
Tip	**Çekirdeklenme**	**Büyüme**	**Kristal Kusurlar**
Termoelastik	Soğutma Etkisi	Sıcaklık Düşüşüyle Orantılı	Dönüşüm Etkili
Termoelastik Olmayan	Soğutmanın Ani Etkisi	Ani ve Hızlı, Soğutma Hızından Bağımsız	Dönüşüm Etkili ve Plastik

2.2 Atermal ve İzotermal Martensitik Dönüşümler

Sıcaklık etkisi ile meydana gelen martensitik dönüşümler, alaşım sistemlerine göre atermal ve izotermal olarak meydana gelmektedir. Martensitik dönüşümlerin atermal ve izotermal olması alaşımın kimyasal bileşimlerine bağlı değildir. Bu nedenle atermal ve izotermal dönüşümlerin her ikisi de aynı alaşım içerisinde meydana gelebilir. Fakat aynı alaşım içerisinde oluşan dönüşümlerin iki tipi için dönüşüm sonrası ürün yapıları ile dönüşüm sıcaklıkları farklı olmaktadır [12].

Atermal dönüşümlerde; austenit fazda olan numunenin sıcaklığı düşürülürse belli bir M_s sıcaklığına $(T{=}M_s)$ gelindiğinde austenit yapı martensit yapıya dönüşmektedir, böylece dönüşüm tamamlanmaktadır. Bazı durumlarda ise martensit, M_s sıcaklığının altında veya üstünde atermal olarak oluşabilmektedir. Dönüşüm patlama reaksiyonları şeklinde oluştuğundan dolayı bu dönüşümde şekil hatırlama olayı gözlenmemektedir.

İzotermal dönüşümlerde; austenit halde bulunan numunenin sıcaklığı düşürülürse belli bir M_s sıcaklığına gelindiğinde austenit yapı içerisinde martensitik yapı oluşmaya başlar. Ayrıca sıcaklık düşüşü ile martensitik dönüşüm devam eder ve M_f sıcaklığında tamamlanmaktadır. Hatta martensitik fazda bulunan alaşım ısıtılınca A_s sıcaklığında austenit yapı oluşmaya başlar ve A_f sıcaklığında tamamiyle austenit faza dönüşür [12]. Şekil 2.4'te görüldüğü üzere austenit başlangıç sıcaklığı ile martensit bitiş sıcaklığı aynı değerlere sahip değildir. Ayrıca izotermal dönüşümler belli bir sıcaklıkta ani olarak başlayıp bitmediğinden ve belli bir sıcaklık aralığında devam ettiğinden dolayı bu dönüşümdeki alaşımlarda şekil hatırlama olayı gözlenmektedir [12].



Şekil 2.4. Austenit ve martensit yapı arasındaki izotermal dönüşümü karakterize eden sıcaklıklar [9].

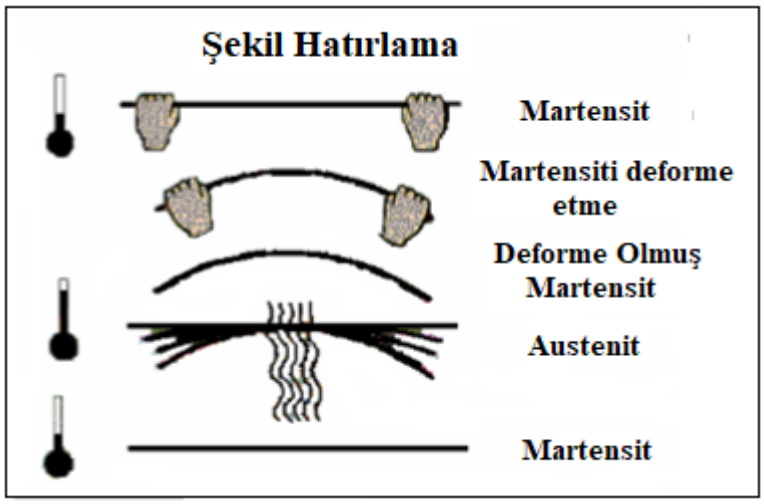
3. ŞEKİL HATIRLAMA OLAYI

Başlangıçta çeliğin sertleştirilmesi sırasında önemli rolü ile dikkati çeken austenit-martensit faz dönüşümleri, şimdilerde şekil hatırlama özeliğine (Shape Memory Effect) sahip yeni malzemelerin yapımında kullanılmalarından dolayı büyük teknolojik önem taşımaktadır [3].

Şekil hatırlamalı alaşımlar, akıllı malzemelerin bir sınıfıdır. Şekil hatırlama alaşımı terimi, uygun ısıl ve mekanik işlemlere maruz kaldığında önceden tanımlı şekil veya boyuta geri dönebilme yeteneği gösteren metalik malzeme grupları için kullanılır. Şekil 3.1'de şekil hatırlama olayının mekanizması şematik olarak gösterilmiştir. Şekil hatırlamalı alaşımların temel karakteristikleri, kritik dönüşüm sıcaklığının üzerinde veya altında iki farklı şekil ve kristal yapıya sahip olmalarıdır [6].

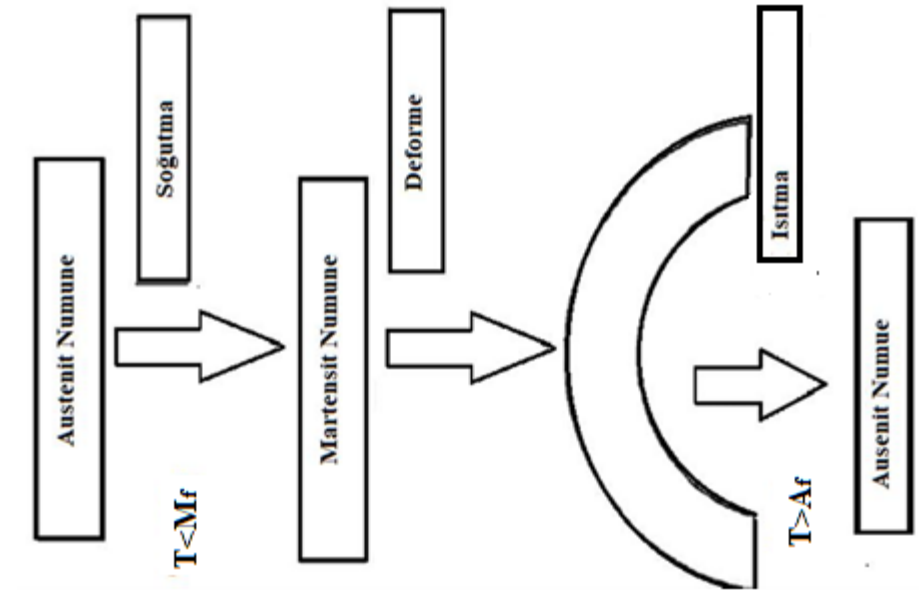
Şekil hatırlamalı alaşımlar termoelastik martensitik dönüşüm sergilerler. Termoelastik martensitik dönüşümler ve buna bağlı olarak da şekil hatırlama olayı ilk olarak 1932 yılında Chang ve Read tarafından anlaşılmış ve bu olay 1951 yılında Buehler ve arkadaşları tarafından eşit atomik yüzdeli NiTi alaşımında gerçekleştirilmiştir [10]. Sonuç itibariyle, şekil hatırlamalı alaşımların hem ticari kullanımlarına, hem de metalürjik araştırmalarına hız verilmiştir [6].

Termoelastik martensitik sıcaklık düşürüldükçe martensit plakalar devamlı olarak büyürler [22]. Bu büyüme; soğutma işleminin devam etmesi ile tane sınırına ulaşıncaya kadar devam eder. Aynı işlemin tersi olarak sıcaklık yükseltilirse plakalar büzülerek ana faza dönüşürler [4]. Dönüşümün gerçekleşebilmesi için ortamın sıcaklığının değiştirilmesi gerekmektedir [22]. Şekil hatırlama olayı gözlenmeyen martensit dönüşümlerde soğutma sırasında oluşan martensit plakaların büyüme oranı sınırlıdır. Bu nedenle şekil hatırlamanın oluşabilmesi için dönüşüm oranının yüksek olması gerekmektedir [6].

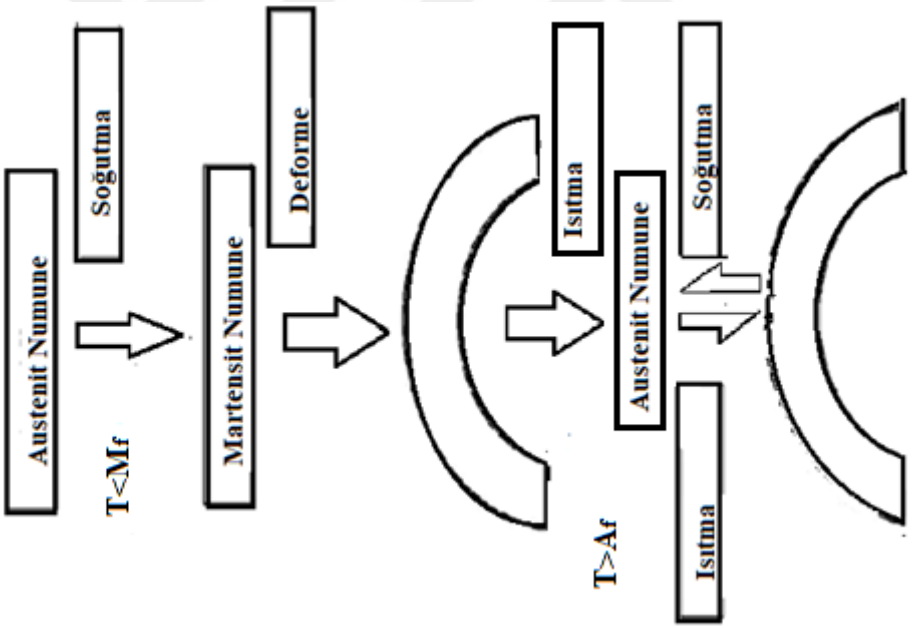


Şekil 3.1. Şekil hatırlama davranışının şematik gösterimi [3].

Alaşım martensit dönüşüm bitiş sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta ($T<M_f$) deforme edilince uygulanan zorun kaldırılması durumunda numune kendi orijinal durumuna geri dönemez. Isıtma sonucunda, numunedeki artık zor, sıcaklık kritik bir sıcaklığın üzerine çıkarken kademeli olarak geri döner. Sıcaklığın tekrar düşürülmesi üzerine, numune deforme edilmiş şeklini kazanamaz. Martensit dönüşümü ve yeniden yönelimle artık zorlanma oluşturma özelliği ve ısıtma sonucunda deformasyon öncesi orijinal β-faz yöneliminin tekrar elde edilmesi, tek yönlü şekil hatırlama olayının temel mekanizmasıdır [9]. Şekil 3.2'de tek yönlü şekil hatırlama olayı verilmiştir. Bazı alaşımlarda sadece sıcaklığın fonksiyonu olarak ısıtma ve soğutma ile şeklini değiştirebilen çift yönlü şekil hatırlama olayı görülür. Numune ısıtıldığı zaman austenit faza geçer ve orijinal şeklini alır. Eğer numune tekrar soğutulursa yapı martensit faza geçer ve numune tekrar deforme edilmiş şeklini alır. Şekil hatırlama alaşımının bu tür özelliğine çift yönlü şekil hatırlama olayı denir [11]. Şekil 3.3'de çift yönlü şekil hatırlama olayı verilmiştir.



Şekil 3.2. Tek Yönlü Şekil Hatırlama Olayı [1].



Şekil 3.3. Çift Yönlü Şekil Hatırlama Olayı [9].

3.1 Şekil Hatırlamalı Alaşımların Uygulama Alanları

Akıllı metaller; uzay araştırmalarında, tıpta, otomotiv endüstrisinde, mikroelektromekanik gibi muhtelif alanlarda kullanılmaya başlandı. Böyle malzemelerin seçiminde en önemli faktörlerden birisi ise malzemenin ortamla olan uyumluluğunun iyi sonuçlar vermesidir. Şekil hatırlamalı alaşımlar geniş iş yoğunluğu kapasitesi ve büyük birim şekil değiştirme özelliklerine sahip olmasından ötürü bu kategoriye girmektedir. Uygulamalarda kullanılmak sureti ile uygun bir tasarım yapabilmek için bu malzemelerin doğasını anlamak ve malzeme davranışlarını tahmin etmek çok önemlidir [7].

Bilindiği üzere şekil hatırlamalı alaşımlar, martensitik durumda iken deforme edildiğinde serbest enerjiye sahip olur ve ısıtıldığı zaman bünyesinde bulunan bu serbest enerjiyi kullanarak daha önceki şekline geri döner.

Biyomedikal uygulamalarda da oldukça fazla kullanım alanına sahip olan şekil hatırlama alaşımlarından biri olan ortodontik diş telleri, çarpık dişleri dış kuvvet uygulayarak düşey mesafede uygun aralığa yerleştirmekte kullanılmaktadır. Yine, şekil hatırlamalı alaşımların biyomedikal alandaki farklı bir kullanım örneği de kalp damar tıkanıklıklarının ameliyatsız tedavisinde kullanılan stentlerdir. Stentler radyal bir yay şekline sahip olup, damar tıkanıklığının bulunduğu bölgeye, büzülmüş olarak bir baloncuk vasıtasıyla yerleştirilirler. Baloncuğun çekilmesiyle vücut sıcaklığına ulaşan stent şekil hatırlama etkisi ile dönüşüm göstererek, büzüştürülmeden önceki çapına genişlemek ister ve damara genişleme yönünde bir zor uygular. Damar çeperinin genişlemesi ile neticelenen bu süreç, tıkanık olan damarın yüksek oranda açılmasını sağlar [22].

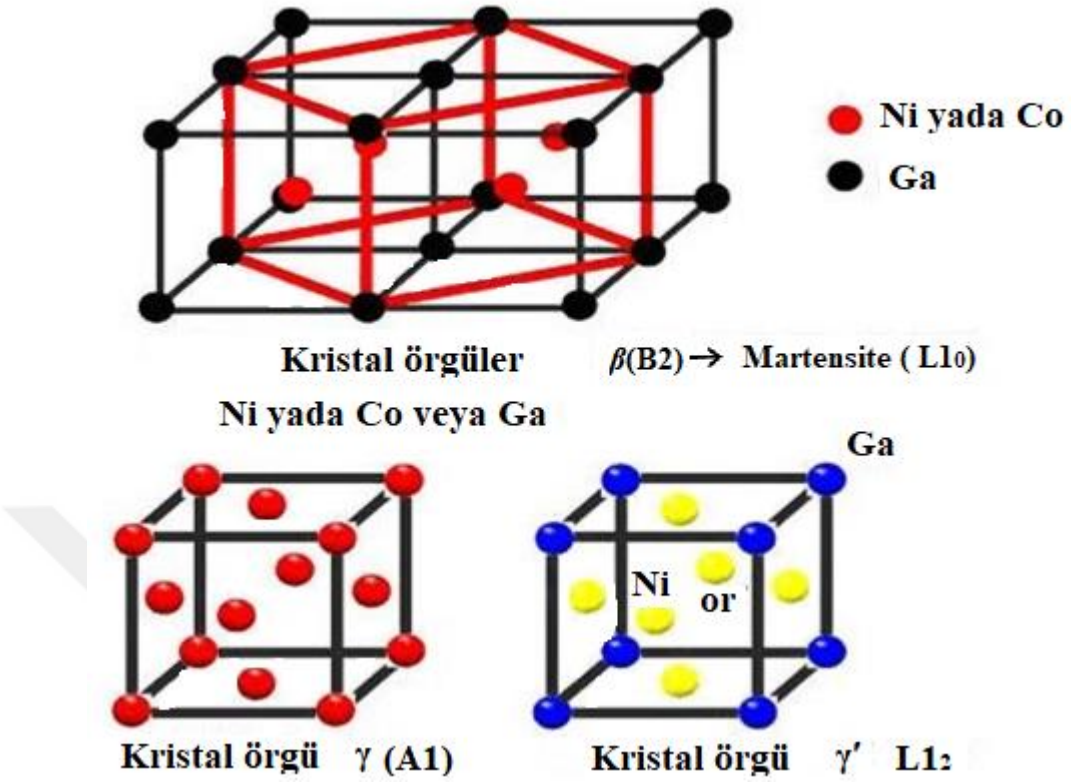
Şekil hatırlamalı alaşımların sahip oldukları elastik ya da süperelastik özelliklerinden faydalanılarak tasarlanmış ve piyasaya sürülmüş birçok ürün vardır. Çok büyük deformasyonları dahi absorbe ederek zarar görmeyen süperelastik NiTi alaşımından imal edilmiş gözlük çerçeveleri üretilmektedir [7].

4. Co BAZLI ŞEKİL HATIRLAMALI ALAŞIMLARIN KRİSTOGRAFİSİ

CoNiAl alaşımları birçok alaşım türünden farklı olarak yüksek sıcaklıklarda birden fazla (β ve γ) faz bulundurabilirler ve bu bölgede genellikle $\beta + \gamma$ çift faz yapısına sahiptirler. Bunlar düzenli olan B2-β ve yumuşak fcc γ fazlarıdır. γ (A1) fazı kırılgan olan β fazının aksine malzemenin sünekliğini arttırır ve martensit dönüşüme yol açmasa da ilerleyen martensit plakaların ilişkilerini olumsuz yönde etkiler [13]. Yüksek sıcaklıkta olan γ fazı soğutma ile düzenli olarak dönüşüme uğrayarak en yakın komşu düzeni oluşur ve alaşım kompozisyonuna bağlı olarak $L1_0$ veya $L2_1$ süper örgü yapısına hakim olabilir [12].

Liu ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmanın (2006) aksine örgü parametresi değerinin Chatterjee ve arkadaşlarının (2008) yapmış olduğu çalışmada [14] B2 fazına ait örgü parametresi değeri 5,8 Å olarak bulunmuştur. β austenit bcc fazına ek olarak fcc γ fazı, $L1_0$ martensit fazı ve ayrıca $L1_2$ çökelti fazına ait kristal yapılar Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

Yüksek sıcaklıkta görülen β fazı *(Ni,Co)Al* B2 tipi düzenine sahiptir. Kalan iki faz ise düzenli olan fcc γ fazı ile $L1_2$ (γ') fazlarıdır. $\beta + \gamma$ bölgesindeki β fazı soğutma sonrasında $L1_0$ martensitik yapıya dönüşmektedir ve bu dönüşüm CoNiAl alaşımlarının şekil hatırlama özelliğinden sorumlu olmaktadır. Ayrıca bu malzemeler, polikristal durumda yüksek derecede sertlik ve kırılganlığa sahiptir. Bundan dolayı polikristal durumda bulunan malzemelerde γ fazının varlığı zayıf olan sünekliği arttırmaktadır [15].



Şekil 4.1. Co bazlı alaşımların kristal örgüleri [1].

Oikawa ve arkadaşlarının (2006) yapmış olduğu bir çalışmada belirtildiği üzere fcc γ fazı Co içeriği fazla olan bir faz olarak bilinmektedir. Bu durum matrix kompozisyonunda Co içeriğini azaltacak yönde olduğu gibi elektron konsantrasyonunu da düşürmektedir [19]. Yapılan başka bir çalışmada $L1_0$ martensit fazına ait örgü parametreleri a_{L1_0}=b_{L1_0}= 3,79 Å ve c_{L1_0}=3,15 Å olarak bulunmuştur [20]. Diğer bir taraftan ise yapı bozulması B2 düzenli ana fazın cisim merkezli tetragonal bir yapıya dönüşmüş hali olarak kabul edilebilmektedir. Tetragonal yapı ile $L1_0$ martensit yapısı arasındaki örgü sabiti ilişkisi şu şekilde verilebilir [20].

$$a_{L1_0} = \sqrt{2}\, a_{bct} = 3{,}79 \text{ Å} \tag{4.1}$$

$$c_{L1_0} = c_{bct} = 3{,}15 \text{ Å} \tag{4.2}$$

Bu durumda a_{bct}=b_{bct} = 2,68 Å ve c_{bct} = 3,15 Å olarak çıkar. $\frac{c_{L1_0}}{a_{L1_0}}$ = 0,83 ve $\frac{c_{bct}}{a_{bct}}$ =1,17 >1 olur. Burada elde edilen martensit yapı $\frac{c_{bct}}{a_{bct}}$ < 1 ifadesi ile zıt bir sonuç çıkarmıştır. Kübik ana fazın (100) yönelimi, cisim merkezli tetragonal birim hücrenin martensitik tetragonal fazının a ve c eksenleri ile ilişkilidir [1].

4.1 Co Bazlı Alaşımlarda Faz Diyagramları

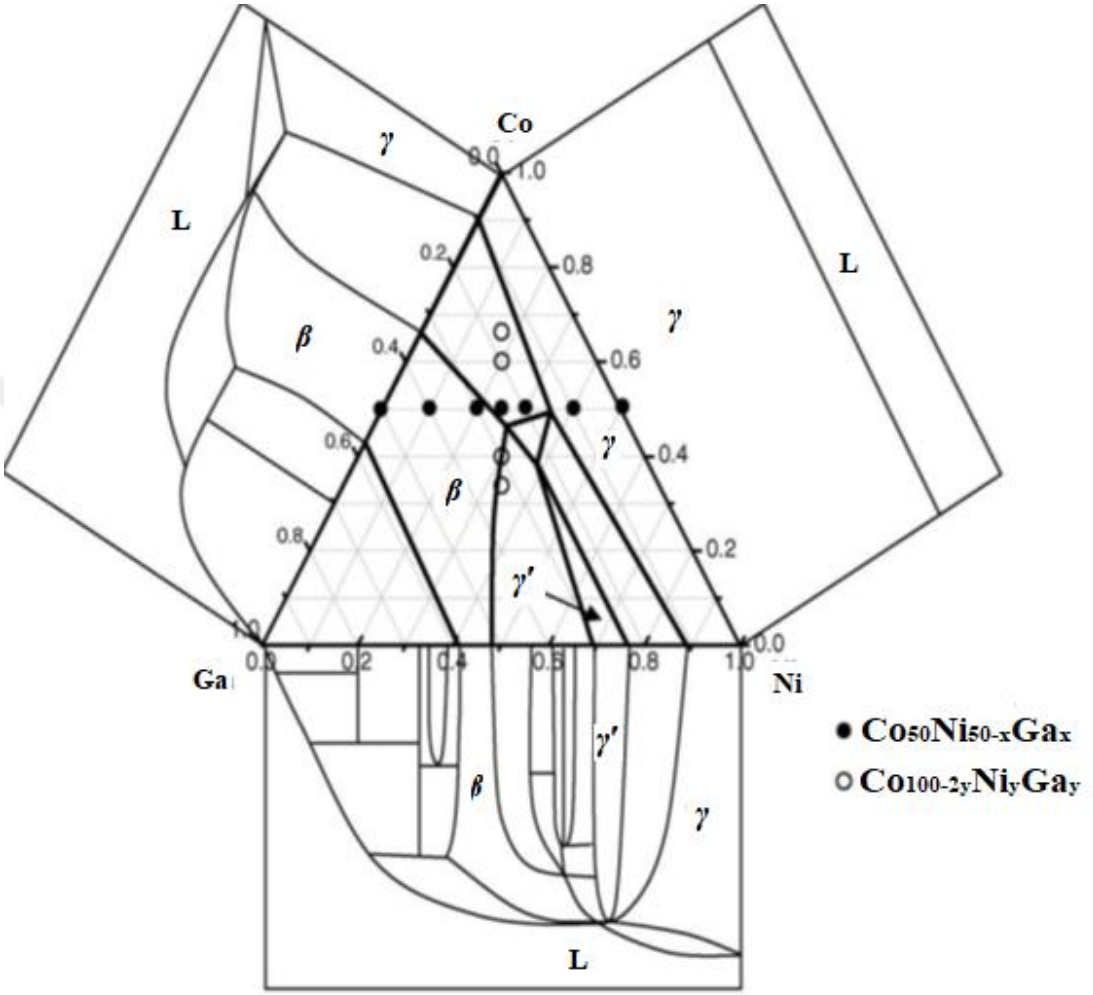
CoNiAl alaşımları, birçok alaşım türünden farklı olarak geniş bir sıcaklık ve kompozisyon aralığında kararlı olan β fazı ve A1 tipi γ fazına sahiptir. Martensit dönüşüme γ fazının dağılımı, biçimi ve de hacmi büyük bir etki yapmaktadır. CoNiAl sistemleri, kompozisyona bağlı olarak β austenit fazından (B2 kübik), $L1_0$ (tetragonal) martensit yapıya dönüşürler. Alaşımdaki Co miktarı arttırılarak Curie (T_c) sıcaklığı yükseltilebilir [16].

Polikristal malzemede bulunan β fazı oldukça sert ve gevrek bir sahip iken fcc yapıya sahip olan γ fazı β fazının aksine sünek bir yapıya sahiptir. CoNiAl alaşımları yüksek sıcaklık değerinden soğutularak termoelastik martensit dönüşüm ile paramagnetik yapıdan ferromagnetik yapıya geçerler [1].

Şekil 4.2, Co-Ni, Co-Ga ve Ni-Ga ikili faz diyagramlarını birleştiren tahmini olarak hazırlanmış üçlü faz diyagramını gösterir. Belirtilen noktalar $Co_{50}Ni_{50-x}Ga_X$ (x=0-50) ve $Co_{100-2y}Ni_yGa_y$ (y=15-35) alaşımlarının mikroyapılarıdır. CoNiGa alaşımları için β, γ, $L1_0$ ve γ' arasındaki faz dengesi CoNiAl sistemine benzer çünkü Al ve Ga elementleri periyodik cetvelde aynı alt gruba üyedir. Yapılan soğutma ile kübik yapıya sahip austenit faz, difüzyonsuz dönüşüm göstererek tetragonal martensite dönüşür [16].

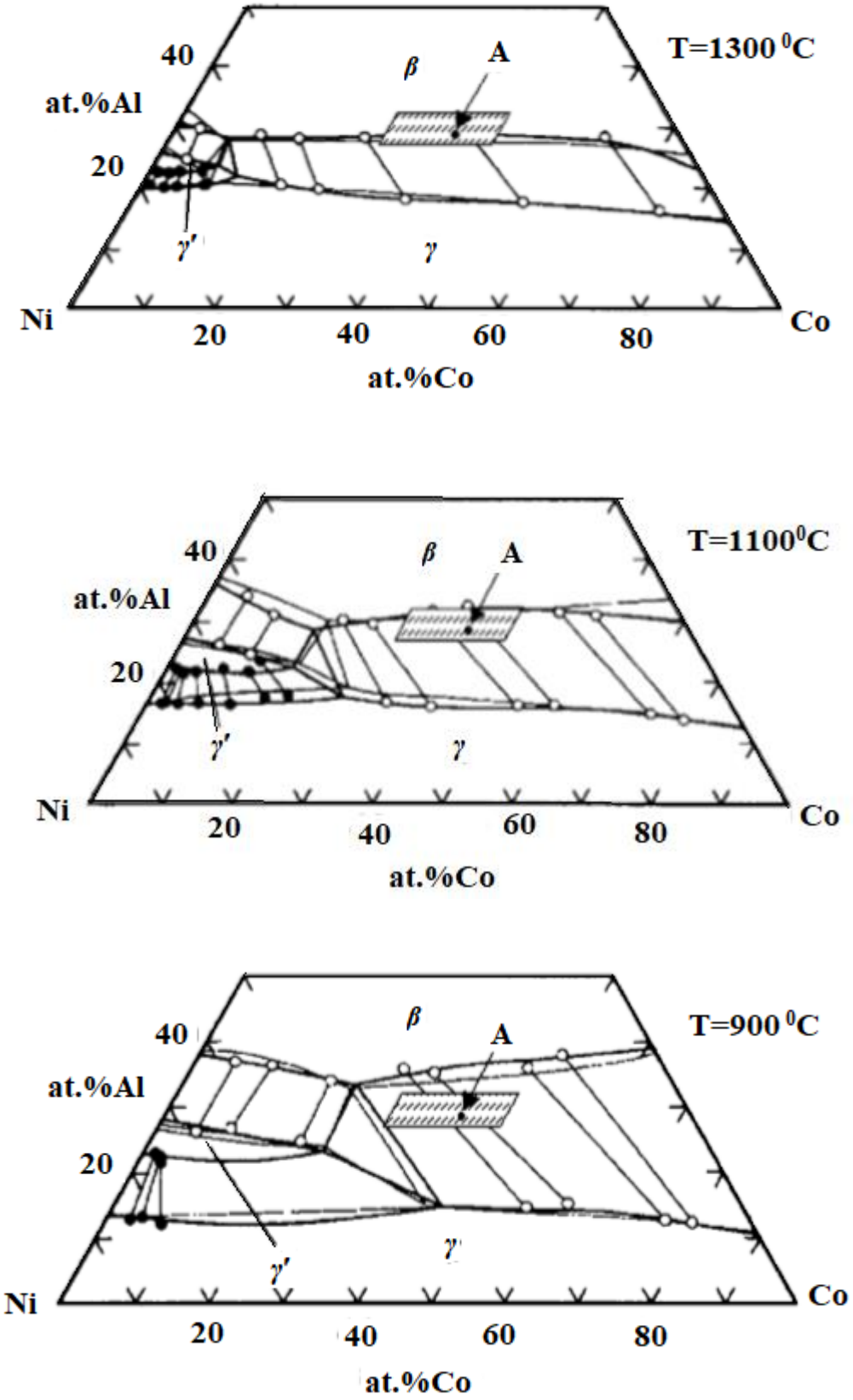
Şekil 4.2'de CoNiGa'un şematik üçlü diyagramı bcc ana fazın fct martensit faza dönüştüğünü göstermektedir [16]. Şekil 4.2'de atomik olarak Ga kompozisyonu civarında yüksek sıcaklık bölgelerinin bcc yapılı β faz bölgesi tespit edilmiştir. Denge olduğu zaman; β faz, ötektik ayrışma yardımıyla 393 ^{0}K'de γ' ve α faz (fcc)

olmak üzere iki faza ayrışır. Eğer malzeme sıcaklığı bu bölgeden ani bir şekilde düşürülürse söz konusu olan ötektik ayrışım engellenir böylece M_s sıcaklığının altında martensitik dönüşüm meydana gelir [1].



Şekil 4.2. İkili faz diyagramları bir araya getirilerek oluşturulmuş CoNiGa alaşımının üçlü faz diyagramı [16].

Al oranının yüksek olduğu CoNiAl alaşımı sistemlerinde ise β faz bölgesinden uzaklaşılır. Bundan dolayı termoelastik martensit dönüşümü olmaz. Ayrıca γ' fazının çökelmesi hızlı soğuma ile de önlenemez [1]. Şekil 4.3'te CoNiAl faz diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 4.3. CoNiAl alaşımlarının faz diyagramları [1].

5. KRİYOJENİK ISIL İŞLEMİN ETKİLERİ

Yunanca kökenli olan kriyojenik kelimesi soğubilim anlamındadır. Soğubilim, düşük sıcaklıklarda malzemenin mekanik özellliklerinde önemli iyileşmeler sağlayan bir malzeme bilimi dalıdır. Soğubilim, bilinen sıcaklıklar değerinden daha düşük bir sıcaklık değeriyle karşılaşınca ortaya çıkmıştır. Pratikte ilk olarak James Harrison tarafından 1855 yılında buhar sıkıştırılmış ve soğutucu keşfedilmiştir. Kriyojeni ile soğutma teknolojisi, uygulanan sıcaklık değerinin haricinde aynı paydada buluşurlar. 1855 yılından günümüze doğru buharın James Harison tarafından sıkıştırılması, 1872 yılında İngiliz bilim adamı tarafından vakum şişesinin icat edilmesi, 1883 yılında Olszewski tarafından havanın sıvılaştırılması ve benzeri bilimsel gelişmeler kriyojeni ve soğutma teknolojisi alanında yeni bir çalışma ihtiyacı doğurmuştur [17].

Geleneksel ısıl işlemden sonra metallerin mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştirmek için ihtiyaç görüldüğü takdirde kriyojenik işlem uygulanır. Kriyojenik ısıl işlem özellikle takım çeliklerinde meydana gelen ve çeliklerin aşınma direncini olumsuz etkileyen kalıntı austenit fazını gidermek için uygulanır.

Kriyojenik işlemde malzeme belirlenen bir kriyojenik sıcaklığa (genellikle -196 ^{0}C) kadar kademeli olarak soğutulur. Belirli bir bekleme süresince (genellikle 24 saat) bu sıcaklıkta tutulur ve sonra da kademeli olarak oda sıcaklığına kadar ısıtılır ve ardından bir temperleme işlemi (genellikle 200 ^{0}C'de 2 saat) gerçekleştirilir. Böylece takım çeliklerinde kalıntı austenitin martensite dönüşmesi ve yeni çekirdeklenme bölgelerinde ikincil karbür çökeltilerinin oluşumu sağlanarak malzemede yüksek aşınma direnci elde edilmektedir.

İki türlü kriyojenik ısıl işlem vardır. Bunlar [1] ;

- Sığ (-50 ^{0}C ve -100 ^{0}C) kriyojenik ısıl işlem
- Derin (-125 ^{0}C ve -116 ^{0}C) kriyojenik ısıl işlem

Bu iki kriyojenik ısıl işlem kıyaslandığı zaman; derin kriyojenik ısıl işleme maruz kalan malzemenin daha iyi aşınma direncine sahip olduğu ve daha yüksek ömür performansı sergilediği görülmektedir [17].

Kriyojenik ısıl işlemin faydaları; malzemenin kullanım ömürlerini uzatmaktadır, kalıcı ve bir kere uygulanan bir işlemdir, aşınma direncini arttırmaktadır, çekme

mukavemetini ve tokluğu arttırmaktadır, kalıntı gerilimini gidermektedir, gevrekliği azaltmaktadır, malzemenin sadece yüzeyine değil heryerine etki etmektedir [21].

Geleneksel ısıl işlem uygulamalarında austenit fazından martensit faza tamamı dönüşmeyen kalıntı austenit fazını martensit faza kriyojenik ısıl işlem dönüştürür. Geleneksel sertleşme yöntemlerinde karbürlerin kristal yapısının içine girmesiyle meydana gelen gerilmeler, kriyojenik işlem sırasında karbürlerin kristal örgüden kurtulması sonucu malzemelerin içerisine dağılmasıyla azalmaktadır. Böylece yüksek sertlikte karbür yapıları meydana gelir ve aşınma direnci yükselir [21].

Alaşımı oluşturan ve en kararlı oldukları yerde durmak isteyen atomlar kriyojenik işlem sayesinde olması gereken dizilişi yakalayarak tane yapısında incelmeye neden olmaktadır. Bu sayede moleküler bağlar güçlenmektedir. Atomların optimum dizilişi, tane yapısında incelme, kristal yapıdaki boşlukların azalması ve atom yoğunluğunun artması malzemedeki iç gerilmeleri azaltmaktadır [21].

Kriyojenik ısıl işlemin mekanik özellikleri arttırmadaki temel iki neden mikro yapı ile ilgilidir. Birinci hipotez; işlemin sertleştirme sırasında martensite dönüşmeyen kalıntı austenit malzemenin sertlik değerini düşürmektedir. Bunu arttırmanın yolu soğutma işleminin devam ettirilmesidir. Sıfıraltı işlem olarak adlandırılan bu işlem dönüşümü gerçekleştirilip aşınma direncini artırır. İkinci hipotez; çökelti fazlarının daha da küçük hale getirilmesiyle mekanik özellikleri geliştirmektedir. Sert ve gevrek haldeki çökelti fazları iç gerilmeler nedeni ile daha da küçük parçalara ayrılmaktadır [18].

6. DENEYSEL İŞLEMLER

Şekil hatırlama özellikleri incelenen iki adet CoNiAlSi alaşımının dökümleri Aksaray Üniversitesin'de yapıldı. Malzemenin dökümü yapılırken, ergitme işleminde Co ile Ni elementleri potaya; Al, Si, Mo ve Sb elementleri ise ocak içerisinde bulunan alaşım katkı bölmesi içerisine yerleştirildi. Yeterli döküm sıcaklığına ulaşıldığı zaman kapak açılarak önceden yeteri kadar ısı verilen kalıba döküm işlemi gerçekleştirildi. Döküm işlemi yapılırken sıcaklık değeri 1500 ^{0}C ile 1600 ^{0}C arasında kontrol edildi. Alaşımların yapılan analizleri Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Çalışmada kullanılan alaşımların atomik ve kütle oranları.

		Co	**Ni**	**Al**	**Si**	**Mo**	**Sb**	**e/a**
1 nolu numune	Atomik (%)	37,79	35,52	19,87	5,83	0,99	-	7,84
	Kütle (%)	43,60	40,83	10,5	3,2	1,86	-	
2 nolu numune	Atomik (%)	38,01	37,23	16,51	6,01	-	2,25	7,99
	Kütle (%)	42,15	41,13	8,38	3,18	-	5,16	

İncelenen 1 ve 2 numaralı numunelere Çizelge 6.2' deki ısıl işlemler uygulandı. Çizelge 6.3'de bu çalışma içerisinde kullanılan alaşımların adları verilmiştir. Belirtilen numunelerin tümünün X-ışınları difraksiyonu pikleri elde edildi. İncelenen numunelerin ısıtma ve soğutma DSC eğrileri elde edildi. Tüm numunelerin SEM fotoğrafları çekildi ve EDS analizleri yapıldı. Numunelerin tümünün optik mikroskop görüntüleri elde edildi.

Çizelge 6.2. Numunelere uygulanan ısıl işlemler.

1A	Döküm Numunesi
1B	1100 ^{0}C Homojenizasyon -196 ^{0}C de 1 saat kriyojenik ısıl işlem
1C	1100 ^{0}C Homojenizasyon -196 ^{0}C de 2 saat kriyojenik ısıl işlem
1D	1100 ^{0}C Homojenizasyon -196 ^{0}C de 3 saat kriyojenik ısıl işlem
1E	1100 ^{0}C Homojenizasyon -196 ^{0}C de 4 saat kriyojenik ısıl işlem
1F	1100 ^{0}C Homojenizasyon -196 ^{0}C de 5 saat kriyojenik ısıl işlem
2A	Döküm Numunesi
2B	1100 ^{0}C Homojenizasyon -196 ^{0}C de 1 saat kriyojenik ısıl işlem
2C	1100 ^{0}C Homojenizasyon -196 ^{0}C de 2 saat kriyojenik ısıl işlem
2D	1100 ^{0}C Homojenizasyon -196 ^{0}C de 3 saat kriyojenik ısıl işlem
2E	1100 ^{0}C Homojenizasyon -196 ^{0}C de 4 saat kriyojenik ısıl işlem
2F	1100 ^{0}C Homojenizasyon -196 ^{0}C de 5 saat kriyojenik ısıl işlem

Çizelge 6.3. Bu çalışmada kullanılan alaşımların adları.

	Deney Türü	
Numune Adı	Kriyojenik Isıl İşlem Süresi (saat)	Kriyojenik Isıl İşlem Sıcaklığı (^{0}C)
1A	-	-
1B	1	-196
1C	2	-196
1D	3	-196
1E	4	-196
1F	5	-196
2A	-	-
2B	1	-196
2C	2	-196
2D	3	-196
2E	4	-196
2F	5	-196

6.1 X-Işını Difraksiyon Ölçümleri

Alaşımlardan disk şeklinde parçalar kesilmek suretiyle 1 ve 2 numuneleri elde edildi. Her bir numuneye Çizelge 6.2'de gösterilen ısıl işlemler uygulandı. X-Işını difraktogramlarının elde edilmesi için bilgisayar kontrollü bir Bruker D8 Advance Davinci X-Işını difraktometresi kullanılmıştır. Difraktometrede 1,5406 Å dalgaboylu Cu K_α ışını kullanılmıştır. Bütün diftogramlar alınırken difraktometrenin açısı 2θ tarama hızı 2 ^{0}C/dk olarak belirlendi. Çizelge 6.3'de verilen bütün numunelerin örgü parametreleri ile kristal yapıları tespit edildi.

6.2 Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC) Ölçümleri

İncelediğimiz numunelerin ters ve ileri dönüşüm sıcaklıklarının tayin edilmesi için bilgisayar kontrollü bir Perkin Elmer Pyris 6 DSC termal analizör cihazı kullanılmıştır. Çizelge 6.4'te verilen kütle değerleri sabit olan numunelere Çizelge 6.2 ile gösterilen ısıl işlemler uygulandı.

Çizelge 6.4. DSC analizinde kullanılan numunelerin kütle değerleri (mg).

1A	1B	1C	1D	1E	1F	2A	2B	2C	2D	2E	2F
90	86	83	83	82	83	89	79	84	84	83	85

Bu çalışmada Çizelge 6.4 'te verilen numunelerin her birine 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 C/dak, 25 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak ısıtma ve soğutma programı uygulandı. Elde edilen dönüşüm eğrileri kullanılarak ters ve ileri dönüşümler için dönüşüm sıcaklıkları ve dönüşüm entalpileri belirlendi.

6.3 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Gözlemleri ve EDS Analizleri

Martensitik yapıların ve çökeltilerin gözlenmesi amacıyla Çizelge 6.3'de verilen alaşımlara Çizelge 6.2'deki ısıl işlemler uygulandı. Çizelge 6.3'deki numunelerin SEM gözlemleri için numuneler optik mikroskop numunelerine benzer şekilde hazırlandı. SEM gözlemleri için ZEISS EUO LS 10 marka cihaz kullanıldı. Numuneler cihaza yerleştirilmeden önce altın ve platinyum ile kaplandı. Farklı kriyojenik ısıl işlemlerine göre martensit morfolojisinde meydana gelebilecek

değişimler gözlendi ve yüzey fotografları çekildi. Aynı cihaz üzerinde her bir numune için EDS analizleri alındı.

6.4 Optik Mikroskop Gözlemleri

Alaşımlardan disk şeklinde kesilen parçalara Çizelge 6.2'deki ısıl işlemler uygulandı. Isıl işlem uygulanan bu numuneler için önemli olan sıcaklık değerleri belirlendi ve daha sonra bu numuneler Struers Cito-Press-1 bakalit cihazında kalıba alındı. 'Claro Fast' tozu kullanılarak 120 ^{0}C de 350 Bar basınçta işleme tabi tutuldu. Bakalite alınan numuneler Struers LaboPol-1 adlı cihazda standart metalografik işlemlerden geçirildi. Numuneler daha sonra %25 etanol- %75 HCl dağlama işlemine tabi tutuldu. Dağlama işlemi bitince numunelerin Nikon MA 200 Imvert tipi optik metal mikroskobunda görüntü analizleri yapıldı.

6.5 Vickers ve Rochwell Sertlik Ölçümleri

Çizelge 6.3'de verilen numunelerin Vickers ve Rockwell sertlik ölçüm analizleri yapıldı. Bu analizler için bir Emco Test Durscan cihazı kullanıldı. Tüm ölçüm analizleri 200 gramlık yük kullanarak ve her bir numune için beş ölçüm alınarak yapıldı.

7. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

7.1 X Işını Difraksiyonu Sonuçları

Bu çalışmada incelenen iki farklı CoNiAlSi alaşımının, sabit sıcaklıkta ama farklı sürelerde soğutma işlemi uygulanan numunelerin X-ışını difraksiyonu desenlerinden, yapılar tespit edilmiştir. Alaşımlar farklı sürelerde soğutma işlemine tabi tutulduktan sonra alınan X-ışını difraktogramlarının deneysel verileri kullanılarak

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2+k^2+l^2}{a^2} \tag{7.1}$$

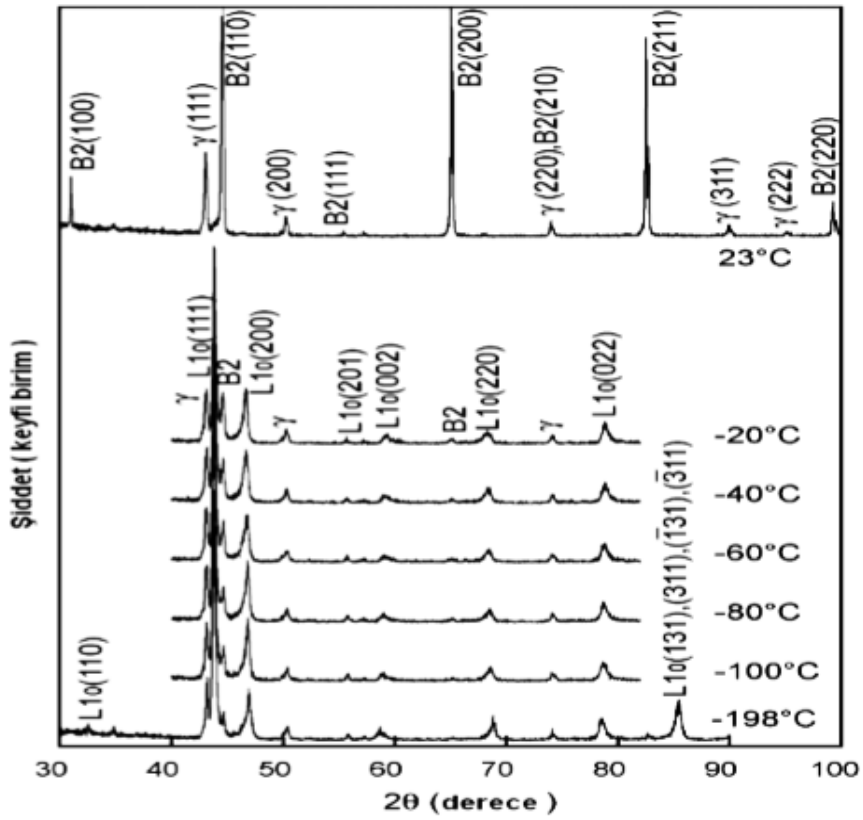
eşitliği kullanılarak ile kübik kristal yapıya sahip fazların örgü parametreleri

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2+k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2} \tag{7.2}$$

eşitliği kullanılarak ile bct ($L1_0$) martensit yapının örgü parametreleri hesaplandı.

Yüksek sıcaklıkta görülen β fazı, soğutma işleminden sonra $L1_0$ (bct) martensit yapıya dönüşür. Bu martensit dönüşümü CoNiAl alaşımlarının şekil hatırlama özelliğinden ayrıca da suni elastiklik özeliğinden sorumludur. Bu CoNiAl alaşımları, polikristal durumda sert ve kırılgan bir yapıya sahiptir. Bu sebepten dolayı malzeme içerisinde γ fazının bulunması sünekliği arttırır [15].

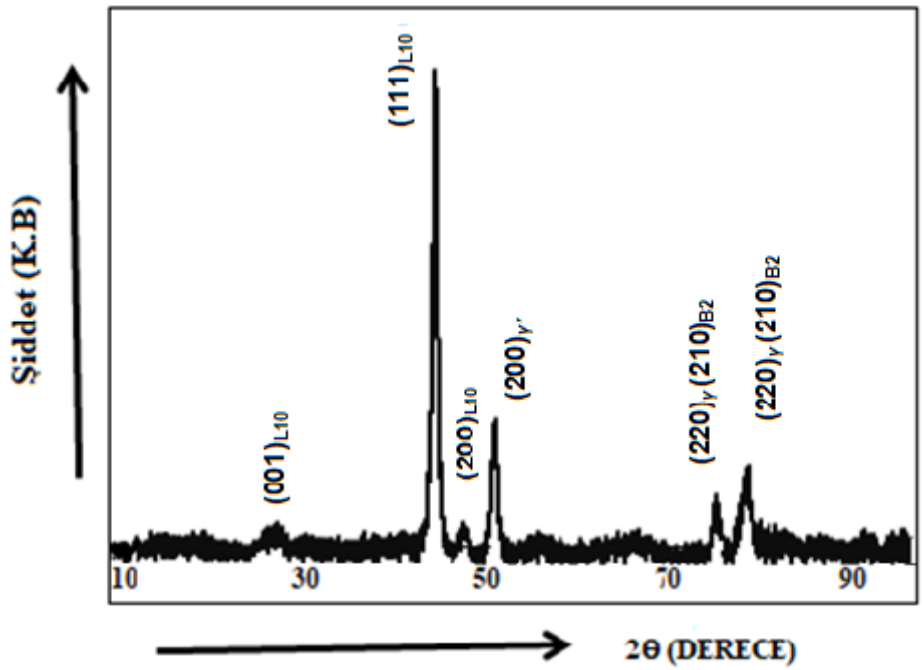
CoNiAl alaşımına ait X-ışını difraktoğramında β fazının karakteristik pikleri Şekil 7.1'de açıkça görülmektedir. Bu alaşımlar kuvvetli bir şekilde düzenli intermetalik fazlar içerirken, yüksek mukavemet, yüksek süneklik ve iyi bir oksidasyon direnci özelliği göstermektedir [20].



Şekil 7.1. CoNiAl alaşımının farklı sıcaklıklarda X-ışınları pikleri [20].

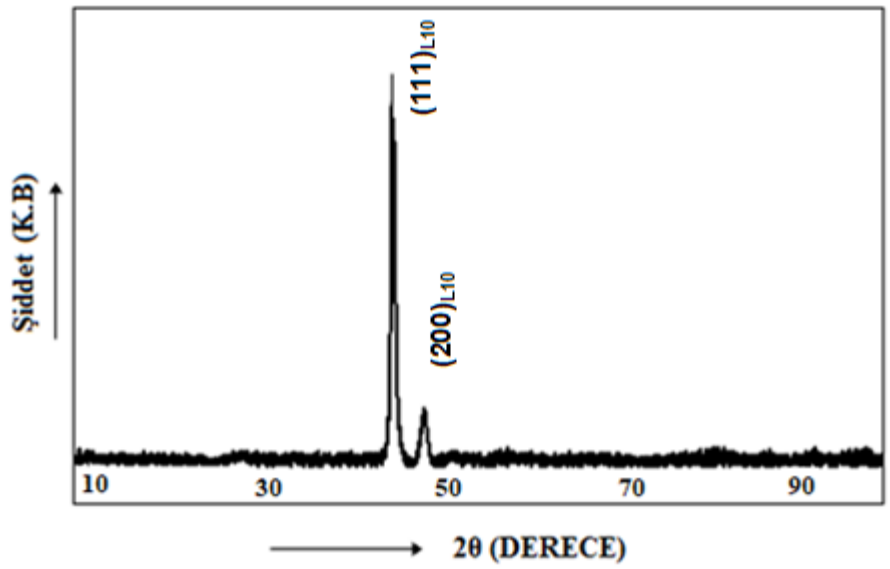
7.1.1 1 Alaşımından elde edilen X-Işını sonuçları

1A numunesinden alınan X-ışını difraktogramı indislenmiş haliyle Şekil 7.2'de gösterilmiştir. Bu difraktogramda 1A numunesinde dört farklı fazın mevcut olduğu tespit edildi. Bu fazlar, bct yapıya sahip olan $L1_0$ martensit fazı, fcc yapıya sahip yüksek sıcaklık fazı γ, bcc yapıya sahip B2 austenit fazı ve fcc yapıya sahip düşük sıcaklık fazı γ' fazlarıdır. Bu fazlar, Şekil 7.2'deki X-ışını difraktogramının $(111)_{L10}$ ve $(200)_{L10}$ pikinden martensit fazına ait örgü parametreleri $a_{L10=}$ 3,82566 Å, c_{L1_0} =3,12420 Å ve c_{L10}/a_{L10} =0,81664 Å olarak, $(200)\gamma'$ düşük sıcaklık fazının örgü parametresi; $a_{\gamma,}$ =3,5881 Å olarak, $(220)\gamma$, $(210)_{B2}$ austenit fazına ait örgü parametresi ise; a_{B2}=2,8212 Å ve $a_{\gamma=}$3,5686 Å olarak bulundu. Oikawa ve arkadaşlarının (2006) yapmış olduğu bir çalışmada belirtildiği üzere fcc γ fazı Co içeriği fazla olan bir faz olarak bilinmektedir.



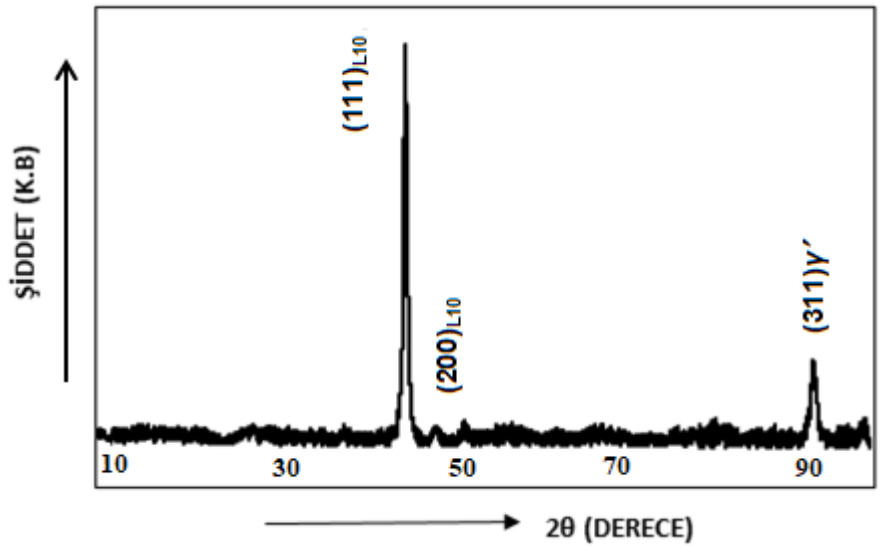
Şekil 7.2. 1A numunesinden alınan X-ışını difraktogramı

1B numunesinden alınan X-ışını difraktogramı indislenmiş haliyle Şekil 7.3'de gösterilmiştir. Bu difraktogramda 1B numunesinde tek fazın mevcut olduğu tespit edildi. Bu faz, bct yapıya sahip olan $L1_0$ martensit fazıdır. Bu faz Şekil 7.3'deki X-ışını difraktogramının $(111)_{L10}$, ve $(200)_{L10}$ pikinden martensit fazına ait örgü parametreleri $a_{L10=}$3,8196 Å, $c_{L10=}$ 3,1571 Å ve c_{L10}/a_{L10} = 0,8265 Å olarak bulundu.



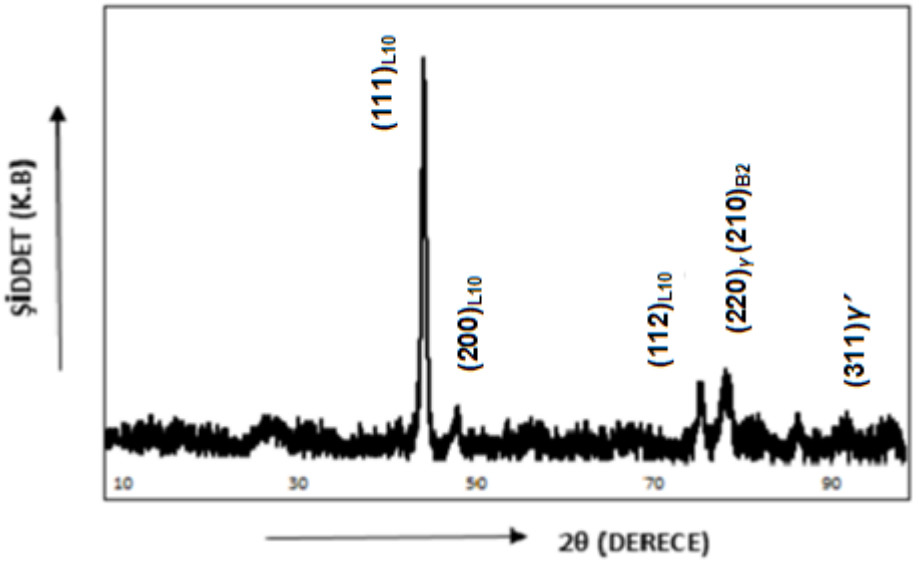
Şekil 7.3. 1B numunesinden alınan X-ışını difraktogramı.

1C numunesinden alınan X-ışını difraktogramı indislenmiş haliyle Şekil 7.4'de gösterilmiştir. Bu difraktogramda 1C numunesinde iki farklı fazın mevcut olduğu tespit edildi. Bu fazlar, bct yapıya sahip olan $L1_0$ martensit fazı ve fcc yapıya sahip düşük sıcaklık fazı γ' fazlarıdır. Bu fazlar Şekil 7.4'deki X-ışını difraktogramının $(111)_{L10}$ ve $(200)_{L10}$ pikinden martensit fazına ait örgü parametreleri a_{L10} = 3,82114 Å, c_{L10} =3,1568 Å ve c_{L10} / a_{L10} =0,8261 Å olarak, (311) γ' düşük sıcaklık fazının örgü parametresi; $a_{\gamma'}$ =3,5662 Å olarak bulundu.



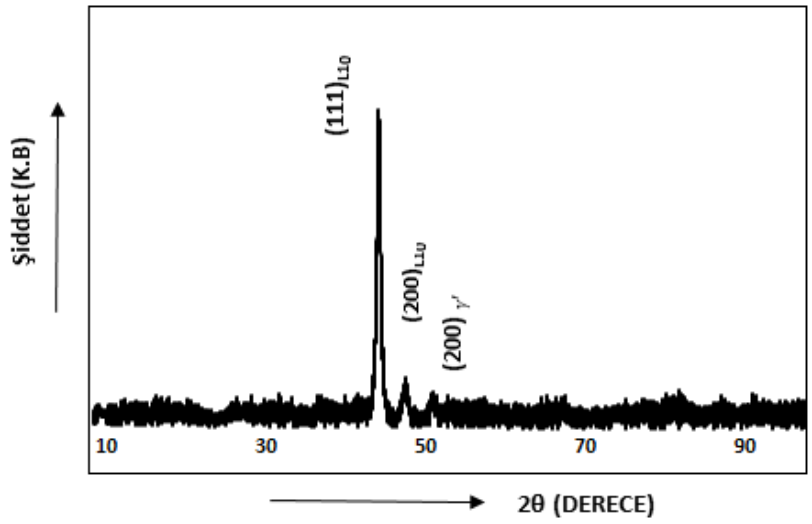
Şekil 7.4. 1C numunesinden alınan X-ışını difraktogramı.

1D numunesinden alınan X-ışını difraktogramı indislenmiş haliyle Şekil 7.5'de gösterilmiştir. Bu difraktogramda 1D numunesinde dört farklı fazın mevcut olduğu tespit edildi. Bu fazlar, bct yapıya sahip olan $L1_0$ martensit fazı, fcc yapıya sahip yüksek sıcaklık fazı γ ve düşük sıcaklık fazı γ' ve bcc yapıya sahip B2 fazlarıdır. Bu fazlar, Şekil 7.5'deki X-ışını difraktogramının $(111)_{L10}$ ve $(200)_{L10}$ pikinden martensit fazına ait örgü parametreleri a_{L1_0} = 3,80178 Å, c_{L1_0} =3,1726 Å ve c_{L1_0} / a_{L1_0} =0,83450 Å olarak, (220)γ yüksek sıcaklık fazının örgü parametresi; a_γ = 3,4510 Å olarak, $(210)_{B2}$ austenit fazına ait örgü parametresi a_{B2} = 2,7283 Å olarak ve (311) γ' düşük sıcaklık fazı örgü parametresi $a_{\gamma'}$ = 3,5432 Å olarak bulundu.



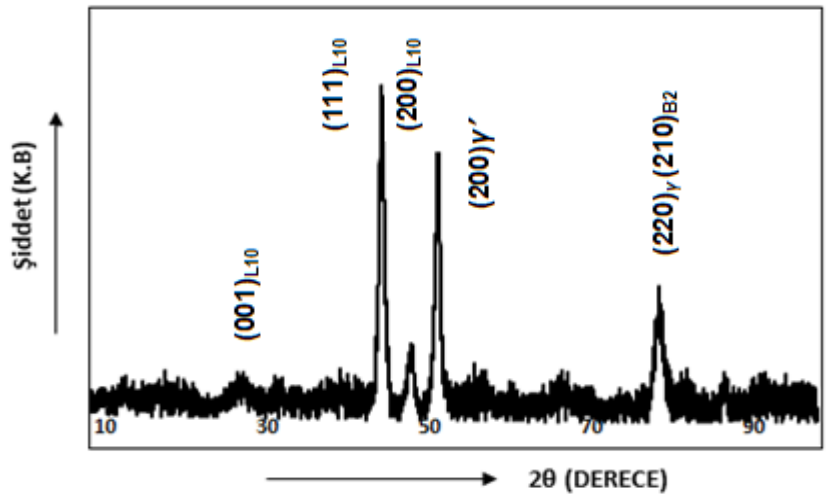
Şekil 7.5. 1D numunesinden alınan X-ışını difraktogramı.

1E numunesinden alınan X-ışını difraktogramı indislenmiş haliyle Şekil 7.6'da gösterilmiştir. Bu difraktogramda 1E numunesinde iki farklı fazın mevcut olduğu tespit edildi. Bu fazlar, bct yapıya sahip olan $L1_0$ martensit fazı ve fcc yapıya sahip γ' fazıdır. Bu fazlar Şekil 7.6' daki X-ışını difraktogramının $(111)_{L10}$ ve $(200)_{L10}$ pikinden martensit fazına ait örgü parametreleri a_{L1_0} = 3,8135 Å c_{L1_0} = 3,156548 Å ve c_{L1_0} / a_{L1_0} = 0,8277 Å olarak (200) γ' yüksek sıcaklık fazının örgü parametresi $a_{\gamma'}$ = 3,8144 Å olarak bulundu.



Şekil 7.6. 1E numunesinden alınan X-ışını difraktogramı.

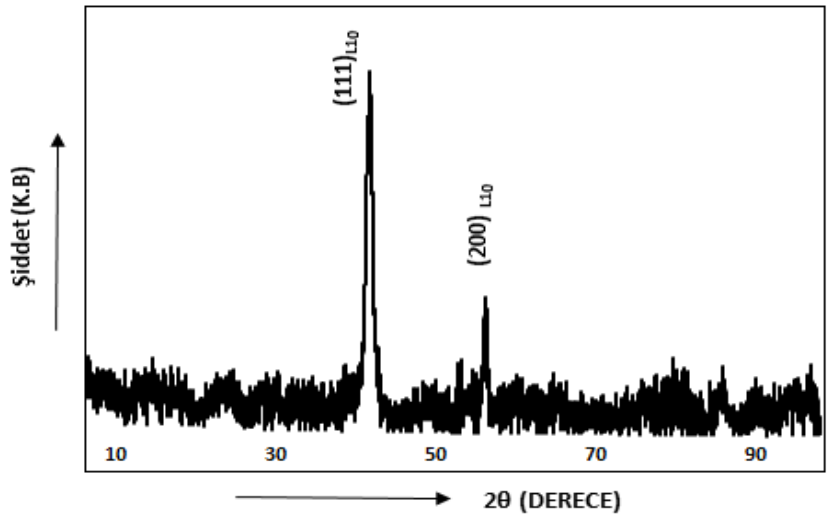
1F numunesinden alınan X-ışını difraktogramı indislenmiş haliyle Şekil 7.7'de gösterilmiştir. Bu difraktogramda 1F numunesinde dört farklı fazın mevcut olduğu tespit edildi. Bu fazlar, bct yapıya sahip olan $L1_0$ martensit fazı, fcc yapıya sahip düşük sıcaklık fazı γ' , bcc yapıya sahip B2 austenit fazı ve fcc yapıya sahip yüksek sıcaklık fazı γ fazlarıdır. Bu fazlar Şekil 7.7'deki X-ışını difraktogramının $(111)_{L1_0}$ ve $(200)_{L10}$ pikinden martensit fazına ait örgü parametreleri a_{L1_0} = 3,7967 Å, c_{L1_0} =3,17345 Å ve c_{L1_0}/a_{L1_0} =0,8358 Å olarak, $(200)_{\gamma'}$ düşük sıcaklık fazının örgü parametresi; $a_{\gamma'}$ = 3,5759 Å , $(210)_{B2}$ austenit fazına ait örgü parametresi a_{B2}= 2,7269 Å ve yüksek sıcaklık fazının örgü parametresi a_{γ} = 3,4493 Å olarak bulundu.



Şekil 7.7. 1F numunesinden alınan X-ışını difraktogramı.

7.1.2 2 Alaşımından elde edilen X-Işını sonuçları

2A numunesinden alınan X-ışını difraktogramı indislenmiş haliyle Şekil 7.8'de gösterilmiştir. Bu difraktogramda 2A numunesinde tek fazın mevcut olduğu tespit edildi. Bu faz, bct yapıya sahip olan $L1_0$ martensit fazıdır. Bu faz Şekil 7.8'deki X-ışını difraktogramının $(111)_{L10}$ ve $(200)_{L10}$ piklerinden martensit fazına ait örgü parametreleri a_{L1_0} = 3,812438 Å , c_{L1_0} =3,17578 Å ve c_{L1_0}/a_{L1_0} = 0,83300 Å olarak bulundu.

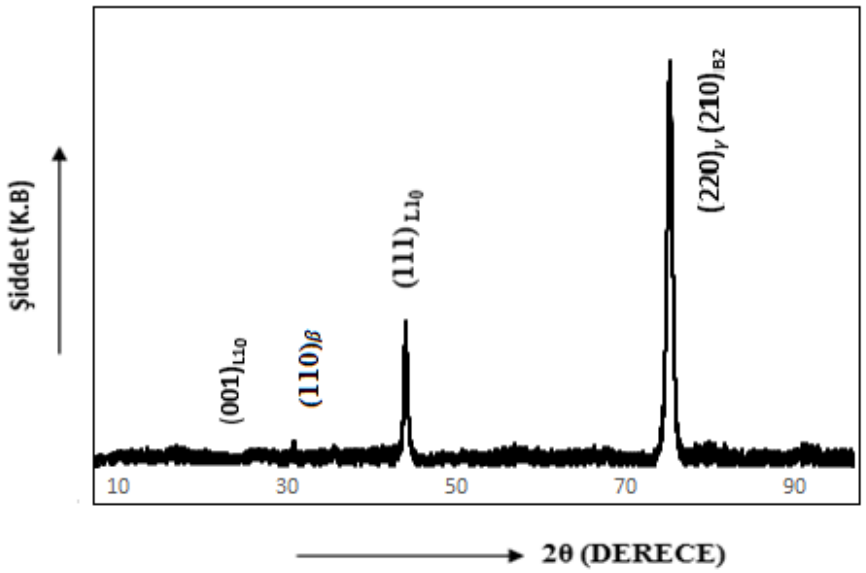


Şekil 7.8. 2A numunesinden alınan X-ışını difraktogramı.

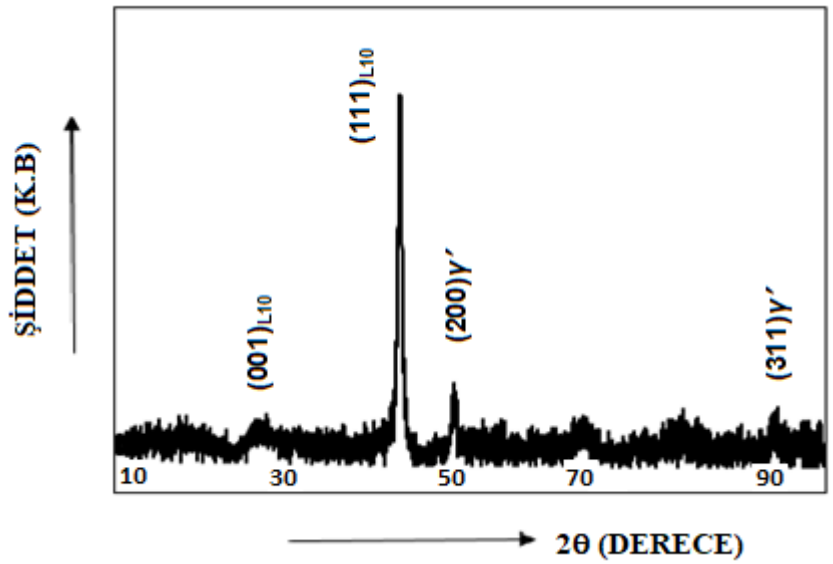
2B numunesinden alınan X-ışını difraktogramı indislenmiş haliyle Şekil 7.9'da gösterilmiştir. Bu difraktogramda 2B numunesinde dört farklı fazın mevcut olduğu tespit edildi. Bu fazlar, bct yapıya sahip olan $L1_0$ martensit fazı, bcc yapıya sahip B2 austenit fazı, bcc yapıya sahip β fazı ve fcc yapıya sahip γ yüksek sıcaklık fazlarıdır. Bu fazlar Şekil 7.9'daki X-ışını difraktogramının $(111)_{L10}$ ve $(001)_{L10}$ piklerinden martensit fazına ait örgü parametreleri a_{L1_0} = 3,634438 Å, c_{L1_0} = 3,41795 Å ve c_{L1_0}/a_{L1_0} =0,940436 Å , $(210)_{B2}$ austenit fazına ait örgü parametresi a_{B2}= 2,82178 Å olarak ve yüksek sıcaklık fazına ait örgü parametresi a_γ=3,5693Å olarak bulundu.

2C numunesinden alınan X-ışını difraktogramı indislenmiş haliyle Şekil 7.10'da gösterilmiştir. Bu difraktogramda 2C numunesinde iki farklı fazın mevcut olduğu tespit edildi. Bu fazlar, bct yapıya sahip olan $L1_0$ martensit fazı ve fcc yapıya sahip düşük sıcaklık γ' fazıdır. Bu fazlar Şekil 7.10'daki X-ışını difraktogramının $(111)_{L10}$ ve $(001)_{L10}$ piklerinden martensit fazına ait örgü parametreleri a_{L1_0} = 3,636472 Å,

a_{L1_0}=3,40039 Å ve c_{L1_0}/a_{L1_0}=0,93507 Å olarak, ve $(200)_{\gamma'}$ düşük sıcaklık fazına ait örgü parametresi ise; $a_{\gamma'}$ = 3,57706 Å olarak bulundu.



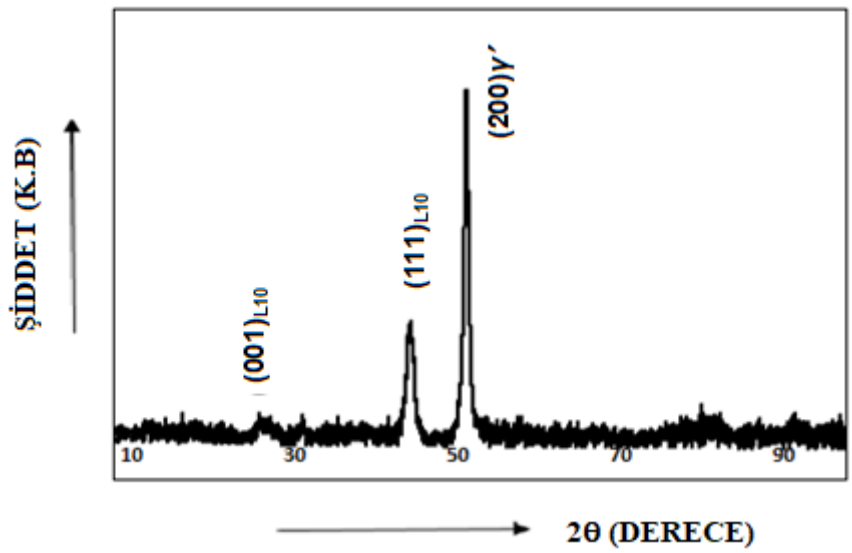
Şekil 7.9. 2B numunesinden alınan X-ışını difraktogramı.



Şekil 7.10. 2C numunesinden alınan X-ışını difraktogramı.

2D numunesinden alınan X-ışını difraktogramı indislenmiş haliyle Şekil 7.11'de gösterilmiştir. Bu difraktogramda 2D numunesinde iki farklı fazın mevcut olduğu tespit edildi. Bu fazlar, bct yapıya sahip olan $L1_0$ martensit fazı ve fcc yapıya sahip

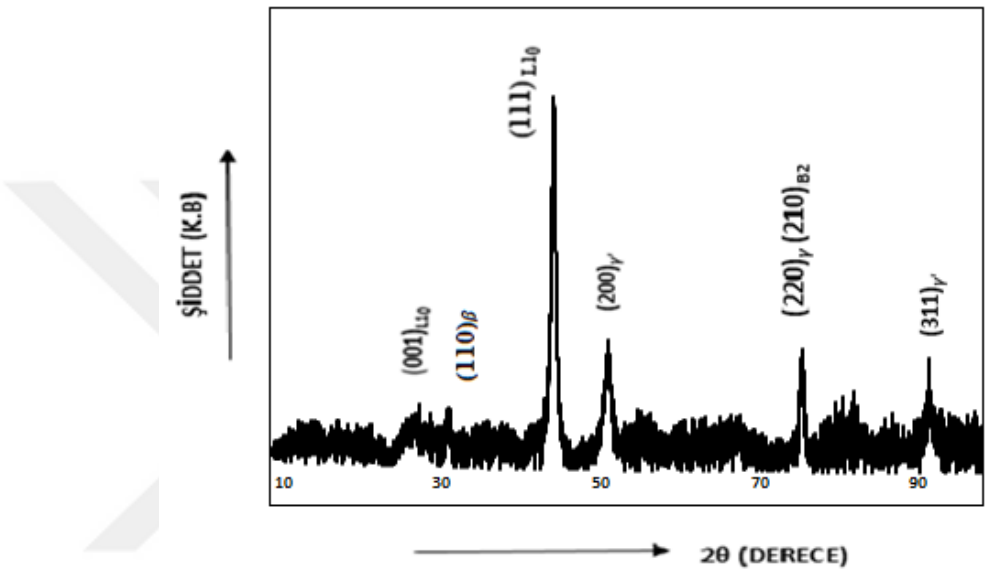
düşük sıcaklık γ'fazıdır. Bu fazlar Şekil 7.11'deki X-ışını difraktogramının ve $(111)_{L10}$ ve $(001)_{L10}$ piklerinden martensit fazına ait örgü parametreleri a_{L1_0}=3,588250 Å, c_{L1_0} =3,47282 Å ve c_{L1_0}/a_{L1_0}=0,96783 Å olarak ve $(200)_{\gamma'}$ düşük sıcaklık fazına ait örgü parametresi ise; $a_{\gamma'}$ = 3,57362 Å olarak bulundu.



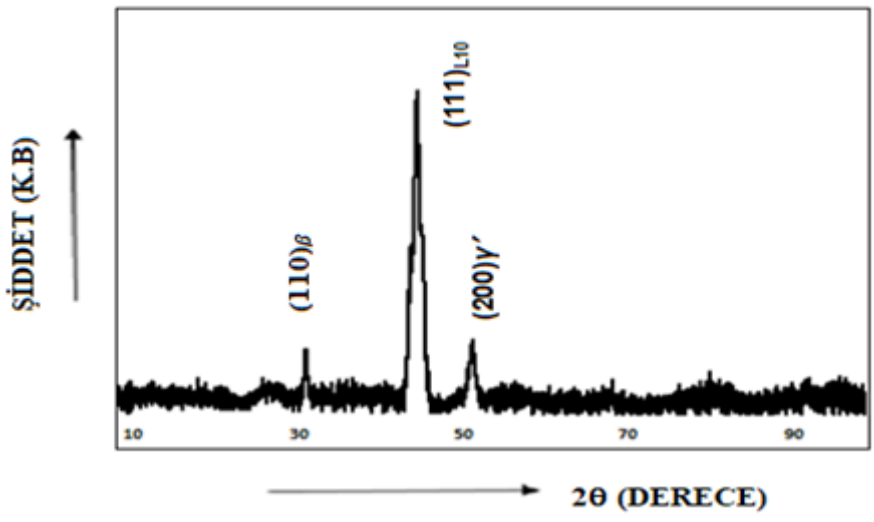
Şekil 7.11. 2D numunesinden alınan X-ışını difraktogramı.

2E numunesinden alınan X-ışını difraktogramı indislenmiş haliyle Şekil 7.12'de gösterilmiştir. Bu difraktogramda 2E numunesinde beş farklı fazın mevcut olduğu tespit edildi. Bu fazlar, bct yapıya sahip olan $L1_0$ martensit fazı, fcc yapıya sahip düşük sıcaklık fazı γ', bcc yapıya sahip β fazı ve bcc yapıya sahip B2 austenit fazlarıdır. Bu fazlar Şekil 7.12'deki X-ışını difraktogramının $(111)_{L10}$ ve $(001)_{L10}$ piklerinden martensit fazına ait örgü parametreleri a_{L1_0} = 3,62862 Å, a_{L1_0} =3,42054 Å ve c_{L1_0}/a_{L1_0}=0,942265 Å, olarak, $(200)_{\gamma'}$ düşük sıcaklık fazının örgü parametresi; $a_{\gamma'}$ = 3,579 Å, $(210)_{B2}$ austenit fazına ait örgü parametresi ise; a_{B2}= 2,81887 Å ve yüksek sıcaklık fazına ait örgü parametresi a_{γ}= 3,5656 Å olarak bulundu.

2F numunesinden alınan X-ışını difraktogramı indislenmiş haliyle Şekil 7.13'de gösterilmiştir. Bu difraktogramda 2F numunesinde üç farklı fazın mevcut olduğu tespit edildi. Bu fazlar, bct yapıya sahip olan $L1_0$ martensit fazı, bcc yapıya sahip β fazı ve fcc yapıya sahip düşük sıcaklık γ' fazıdır. Bu fazlar Şekil 7.13'deki X-ışını difraktogramının $(200)_{\gamma'}$ yüksek sıcaklık fazına ait örgü parametresi ise; $a_{\gamma'}$ = 3,57048 Å olarak bulundu.

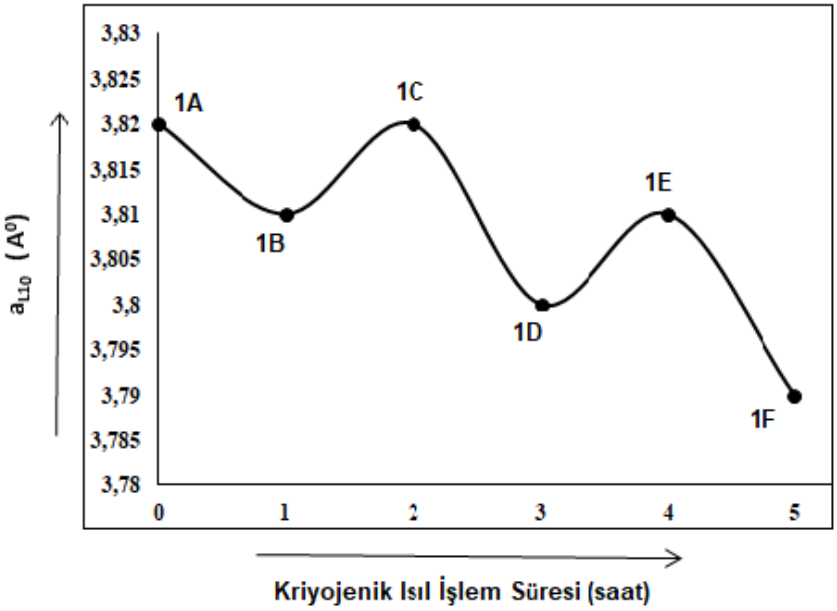


Şekil 7.12. 2E numunesinden alınan X-ışını difraktogramı.



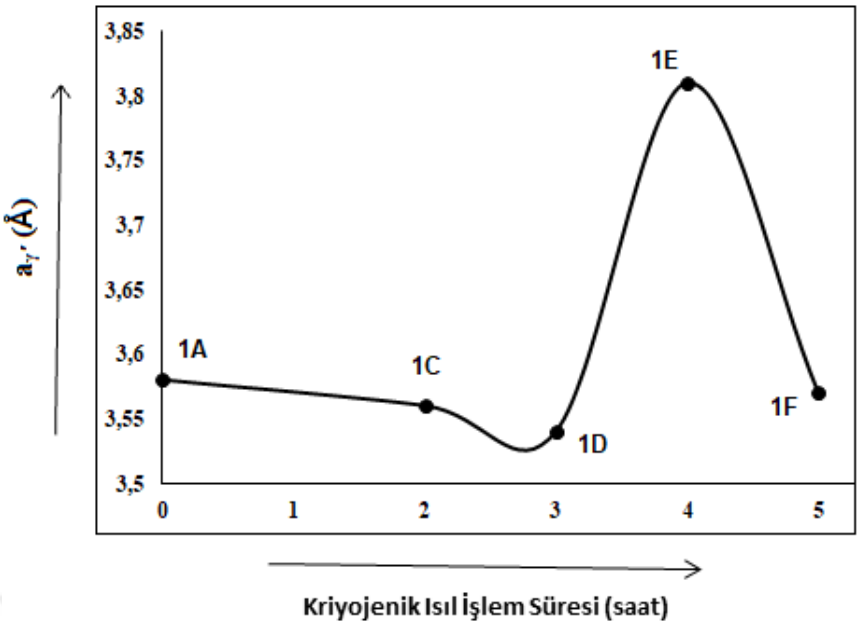
Şekil 7.13. 2F numunesinden alınan X-ışını difraktogramı.

Şekil 7.14'de görüldüğü gibi kriyojenik ısıl işlem süresine göre a_{L1_0}değerleri karşılaştırıldığında en yüksek değerin 1A numunesinde yani döküm numunesinde olduğu, en düşük değerin ise 1F numunesinde yani 5 saat sıvı azot içerisinde bekletilen numunede olduğu görülmektedir. Şekilden kriyojenik ısıl işlem süresini arttırma işleminin a_{L1_0} değerini düşürdüğü anlaşılmıştır.



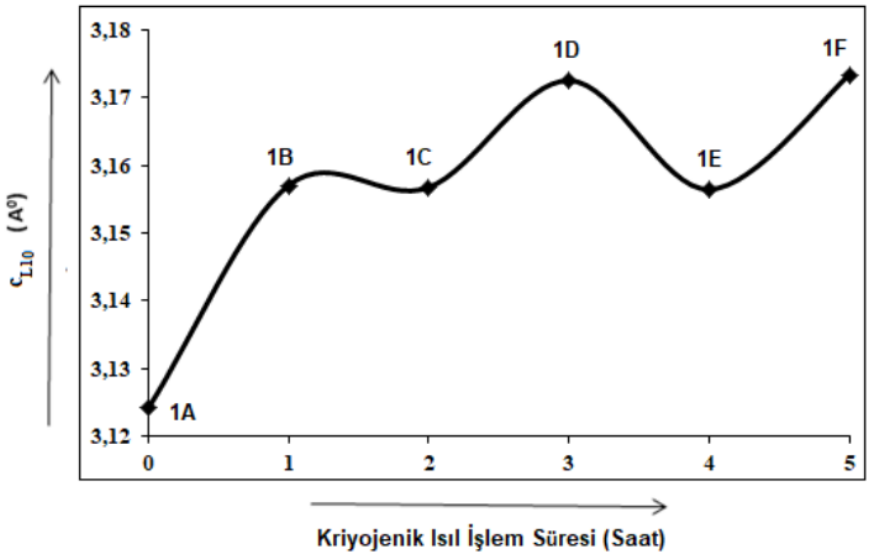
Şekil 7.14. 1 nolu numunenin a_{L10} örgü parametresinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre değişimi.

Şekil 7.15'de görüldüğü gibi 1 nolu numune için kriyojenik ısıl işlem süresine göre $a_{\gamma'}$ değerleri karşılaştırıldığında en yüksek değerin 1E numunesinde yani 4 saat sıvı azot içerisinde bekletilen numunede, en düşük değerin ise 1D numunesinde yani 5 saat sıvı azot içerisinde bekletilen numunede olduğu görülmektedir. Bu durumda 1E numunesinde yüksek sıcaklık fazının etkisi diğer numunelerden daha fazla olduğu görülmektedir.

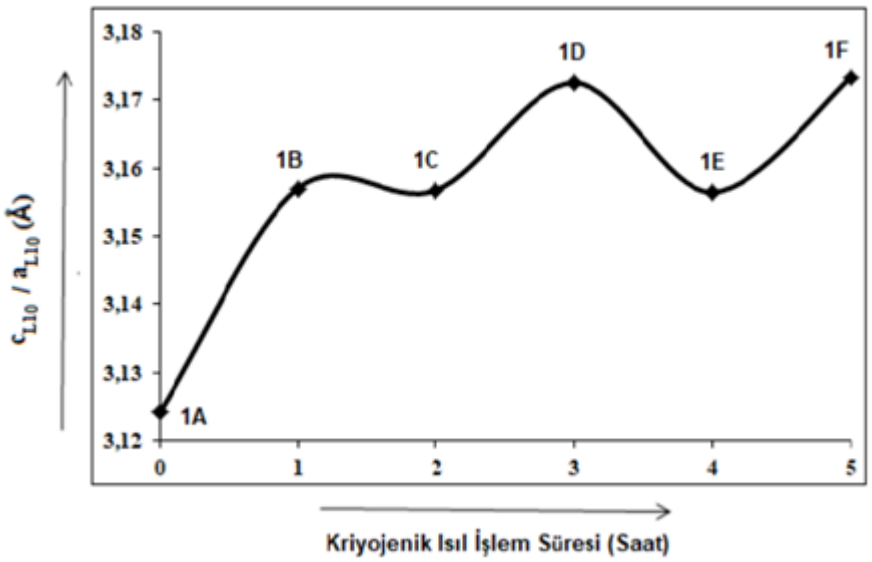


Şekil 7.15. 1 nolu numunenin $a_{\gamma'}$ örgü parametresinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre değişimi.

Şekil 7.16'de görüldüğü gibi 1 nolu numune için kriyojenik ısıl işlem süresine göre c_{L1_0} değerleri karşılaştırıldığında en yüksek değerin 1F numunesinde yani 5 saat sıvı azot içerisinde bekletilen numunede, en düşük değerin ise 1A numunesinde yani döküm numunesinde olduğu görülmektedir. Şekil 7.17'de 1 nolu numune için kriyojenik ısıl işlem süresine göre c_{L10}/a_{L10} değerleri karşılaştırıldığında en yüksek 1F numunesinde en düşük ise 1A numunesinde olduğu görülmektedir. Bu durumda literatürde belirtilen değerlerle örtüşmektedir.



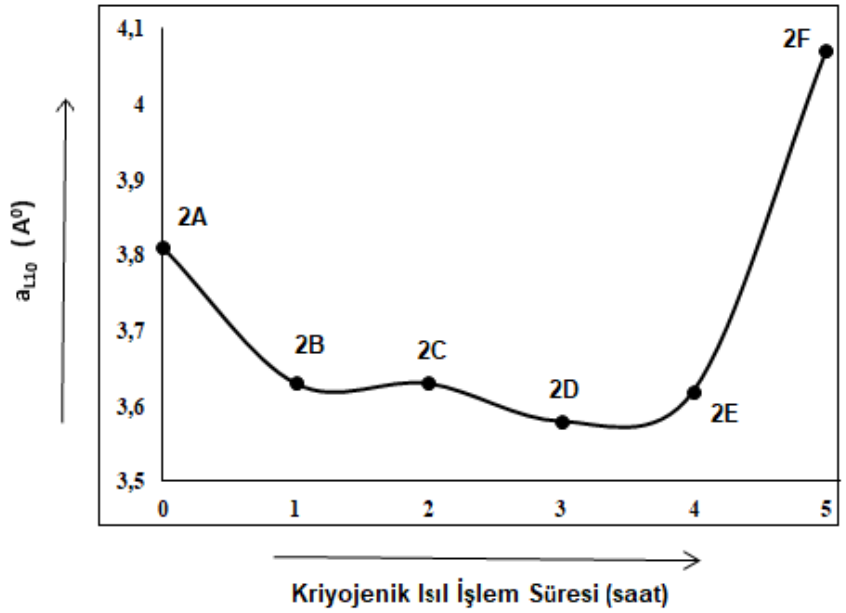
Şekil 7.16. 1 nolu numunenin c_{L10} örgü parametresinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre değişimi.



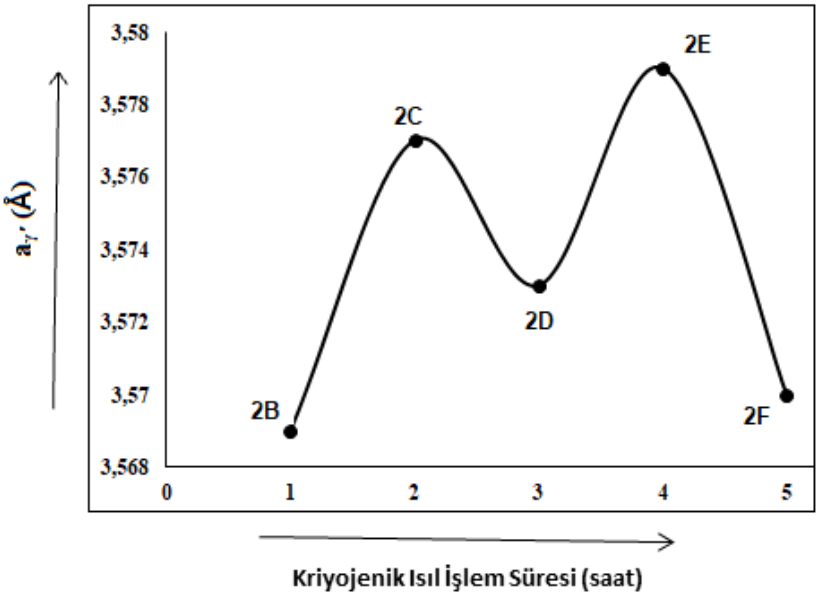
Şekil 7.17. 1 nolu numunenin c_{L10}/a_{L10} örgü parametresinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre değişimi.

Şekil 7.18'de görüldüğü gibi 2 nolu numune için kriyojenik ısıl işlem süresine göre a_{L10} değerleri karşılaştırıldığında en yüksek değerin 2F numunesinde yani 5 saat sıvı azot içerisinde bekletilen numunede olduğu, en düşük değerin ise 2D numunesinde yani 3 saat sıvı azot içerisinde bekletilen numunede olduğu görülmektedir. Bu durumda 2F numunesindeki martensit fazın diğer numunelerden daha etkili olduğu anlaşılmıştır.

Şekil 7.19'de görüldüğü gibi 2 nolu numune için kriyojenik ısıl işlem süresine göre $a_{\gamma'}$ değerleri karşılaştırıldığında en yüksek değerin 2E numunesinde yani 4 saat sıvı azot içerisinde bekletilen numunede, en düşük değerin ise 2B numunesinde yani 1 saat sıvı azot içerisinde bekletilen numunede olduğu görülmektedir. Bu durumda 2E numunesinde düşük sıcaklık fazının diğer numunelerden daha etkili olduğu görülmektedir.

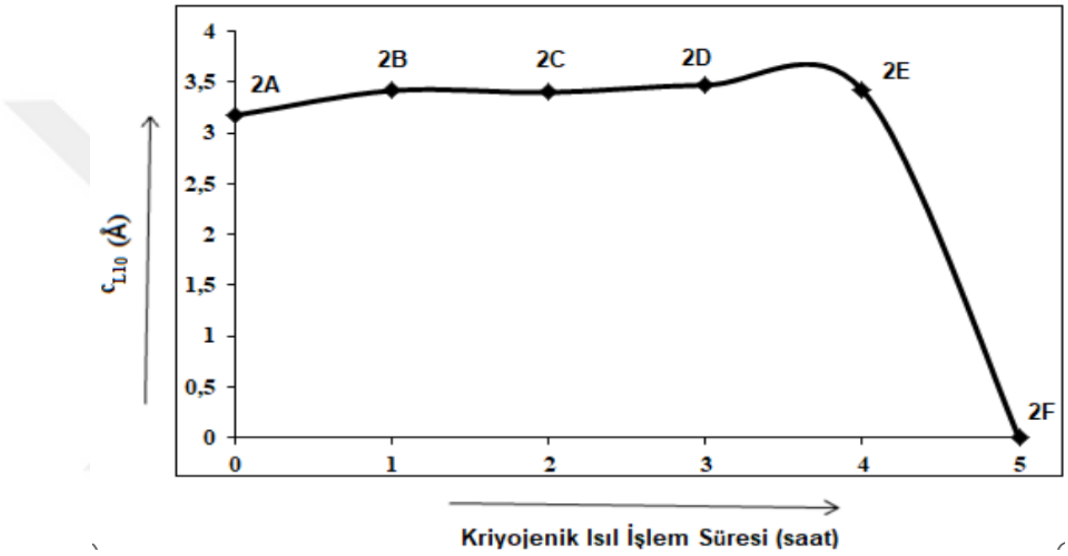


Şekil 7.18. 2 nolu numunenin a_{L10} örgü parametresinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre değişimi.

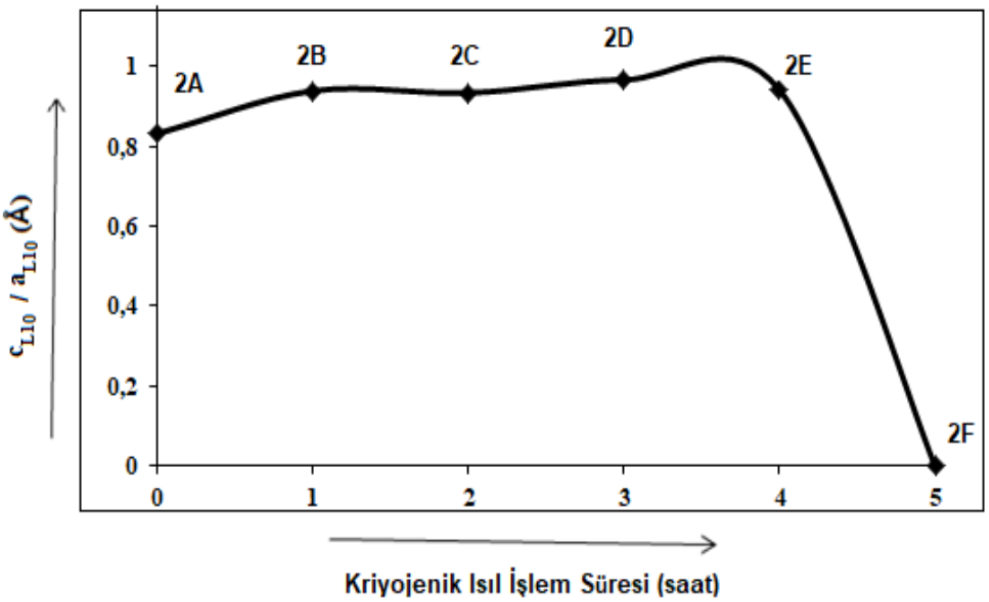


Şekil 7.19. $a_{\gamma'}$ örgü parametresinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre değişimi.

Şekil 7.20'de görüldüğü gibi 2 nolu numune için kriyojenik ısıl işlem süresine göre c_{L1_0} değerleri karşılaştırıldığında en yüksek değerin 2D numunesinde yani 3 saat sıvı azot içerisinde bekletilen numunede, en düşük değerin ise 2A numunesinde yani döküm numunesinde olduğu görülmektedir. Şekil 7.21'de 1 nolu numune için kriyojenik ısıl işlem süresine göre c_{L10}/a_{L10} değerleri karşılaştırıldığında en yüksek 2D numunesinde en düşük ise 2A numunesinde olduğu görülmektedir. Bu durumda literatürde belirtilen değerlerle örtüşmektedir.



Şekil 7.20. 2 nolu numunenin c_{L10} örgü parametresinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre değişimi.



Şekil 7.21. 2 nolu numunenin c_{L10}/a_{L10} örgü parametresinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre değişimi.

Çizelge 7.1. Kriyojenik ısıl işlem süresine göre çökelti fazları için hesaplanan a_γ örgü parametreleri.

	1	**2**
A	3,5686 Å	-
B (1 saat)	-	3,5693 Å
C (2 saat)	-	-
D (3 saat)	3,4510 Å	-
E (4 saat)	-	3,5656 Å
F (5 saat)	3,4493 Å	-

Çizelge 7.2. Kriyojenik ısıl işlem süresine göre martensit fazı için hesaplanan a_{L10}, c_{L10} örgü sabitleri ve c_{L10}/a_{l10} oranları ile γ' çökelti fazı için hesaplanan $a_{\gamma'}$ örgü sabiti değerleri.

	1				2			
	a_{L10}	c_{L10}	c_{L10}/a_{L10}	$a_{\gamma'}$(Å)	a_{L10}	c_{L10}	c_{L10}/a_{L10}	$a_{\gamma'}$(Å)
A	3,8256	3,1242	0,8166	3,5881	3,8124	3,1757	0,8330	-
B (1saat)	3,8196	3,1571	0,8265	-	3,6344	3,4179	0,9404	3,5690
C (2saat)	3,8211	3,1568	0,8261	3,5662	3,6364	3,4003	0,9350	3,5770
D (3saat)	3,8017	3,1726	0,8345	3,5432	3,5882	3,4728	0,9678	3,5736
E (4saat)	3,8135	3,1565	0,8277	3,8144	3,6286	3,4205	0,9422	3,5790
F (5saat)	3,7967	3,1734	0,8358	3,5759	-	-	-	3,5704

Çizelge 7.3. Tüm numunelerde bulunan fazlar.

	1	2
A	$L1_0$, γ', B2,γ	$L1_0$
B (1 saat)	$L1_0$	$L1_0$, γ', B2, γ,
C (2 saat)	$L1_0$, γ'	$L1_0$, γ'
D (3 saat)	$L1_0$, γ', B2,γ	$L1_0$, γ'
E (4 saat)	$L1_0$, γ'	$L1_0$, γ', B2, γ,
F (5 saat)	$L1_0$, γ',B2,γ	$L1_0$, γ', B2

1 ve 2 numunelerinin X ışını difraktogramlarından elde edilen örgü parametreleri Çizelge 7.1, Çizelge 7.2 ve Çizelge 7.3'de görülmektedir. Bu verilere göre şu sonuçlar elde edilmiştir.

a) Bütün numunelerde $L1_0$ fazına rastlanmıştır ve en baskın fazın $L1_0$ martensit fazı olduğu görülmektedir. Bu durum tüm numuneler için B2 → $L1_0$ martensit dönüşümün gerçekleştiğini açıklar.

b) 1B ve 2A numuneleri haricinde diğer tüm numunelerde γ' intermetalik faza rastlanmıştır. γ' fazı $L1_2$ martensit fazıdır. Bu faz malzeme içerisinde çökelti şeklinde oluşmaktadır. Kriyojenik ısıl işlem γ' ($L1_2$) oluşumunu genel anlamda arttığı için ve γ' fazı malzemenin şekil hatırlama özelliğine azaltıcı yönde etki ettiğinden kriyojenik ısıl işlem şekil hatırlama özelliğinin azalmasına sebep olur.

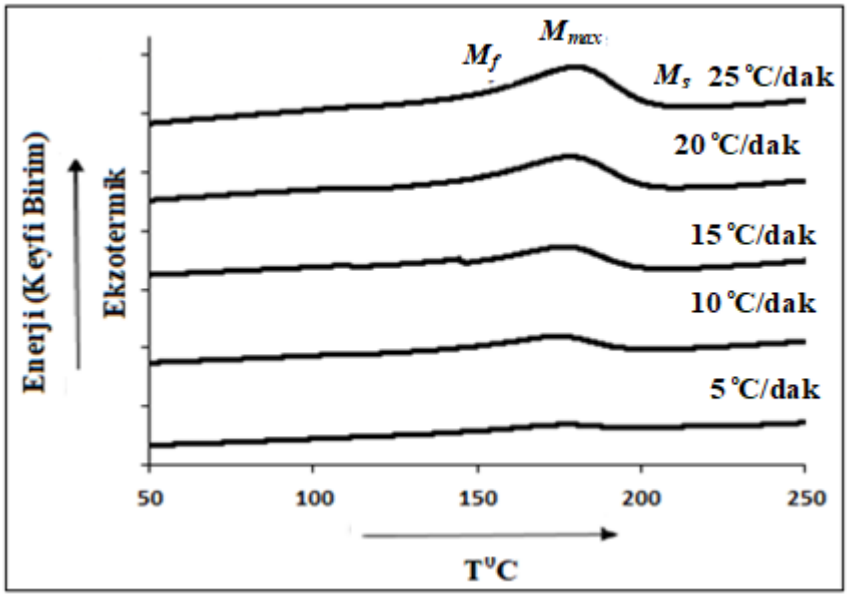
c) 1E ve 2E numunelerinde çökelti fazı olan γ' nün etkisinin diğer numunelere göre daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır.

7.2 Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC) Sonuçları

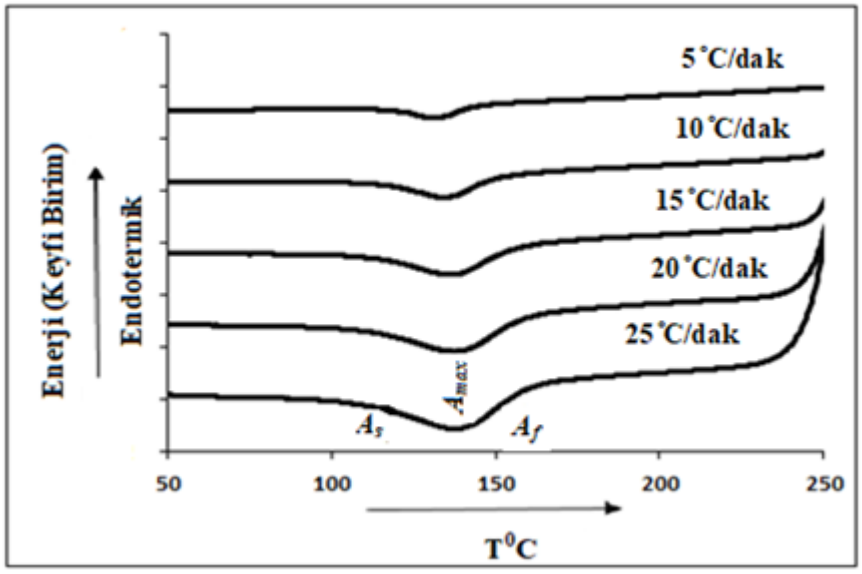
Üzerinde çalışılan numunelerin dönüşüm sıcaklıklarının, dönüşüm çevrimlemesine, ters ve ileri dönüşüm ısıtma ve soğutma hızlarına göre değişimlerinin belirlenmesi için diferansiyel tarama kalorimetresi tekniği kullanıldı [20].

7.2.1 1A alaşımı için DSC sonuçları

90 mg'lık 1A numunesi için ısıtma ve soğutma hızlarına ait DSC eğrileri Şekil 7.22 ve Şekil 7.23'de gösterilmiştir. 1A numunesi için tüm ısıtma ve soğutma dönüşüm sıcaklıkları A_s, A_{max}, A_f , M_s, M_{max}, ve M_f ve ayrıca entalpi değerleri Tablo 7.1'de verilmiştir. DSC eğrilerine ait alanın genişliği ise DSC ölçümleri sırasında ısıtma ya da soğutma işlemleri için faz dönüşümünün ne oranda gerçekleştiği hakkında bilgi verebilir. DSC ölçümlerinden elde edilen eğri ne kadar genişse meydana gelen faz dönüşümü de o kadar fazladır. $|A_m - M_m|$ sıcaklık farkının ve $|T_0 - M_s|$ değerleri hesaplanmış ve Çizelge 7.4.'de verilmiştir.

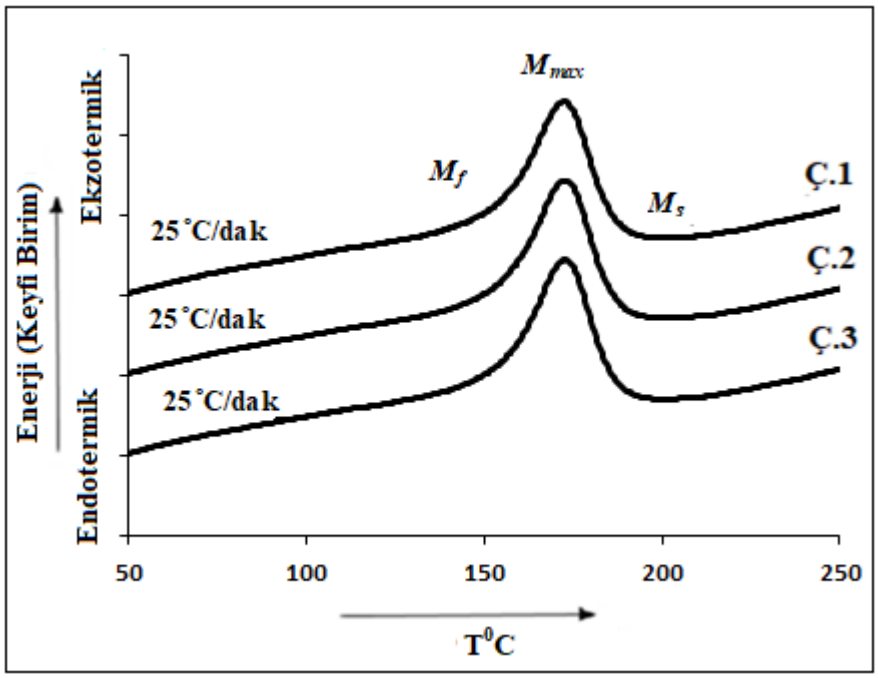


Şekil 7.22. 1A numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak soğutma hızları için DSC eğrileri.

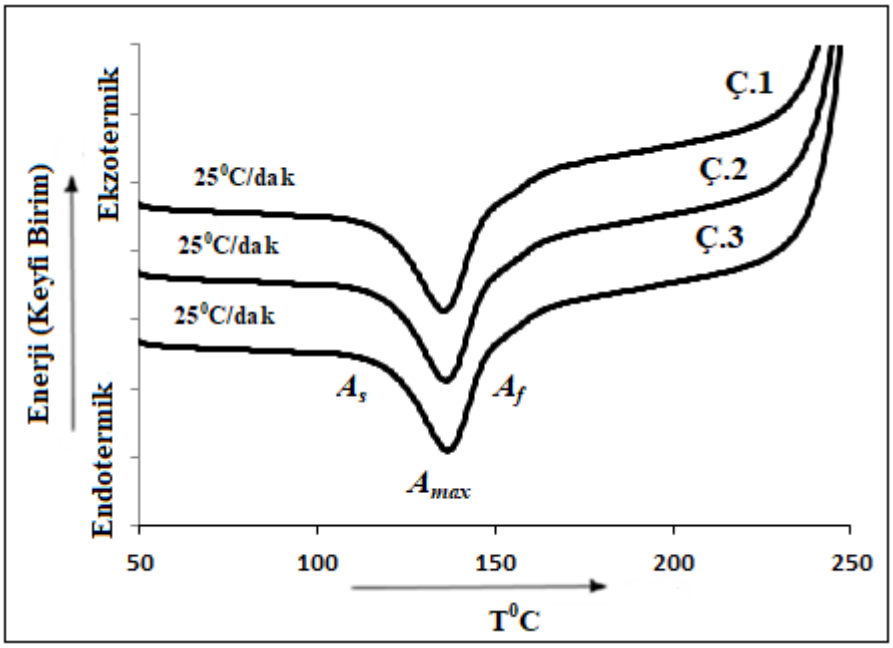


Şekil 7.23. 1A numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak ısıtma hızları için DSC eğrileri.

Şekil 7.24 ve Şekil 7.25'de görüldüğü gibi ileri ve ters dönüşüm sıcaklıklarında birinci ve ikinci çevrimler arasında olduğu gibi üçüncü çevrimde de çok küçük değişimler tespit edilmiştir.



Şekil 7.24. 1A numunesinin 1., 2. ve 3. termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak soğutma hızı DSC eğrileri.



Şekil 7.25. 1A numunesinin 1., 2. ve 3. termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak ısıtma hızı DSC eğrileri.

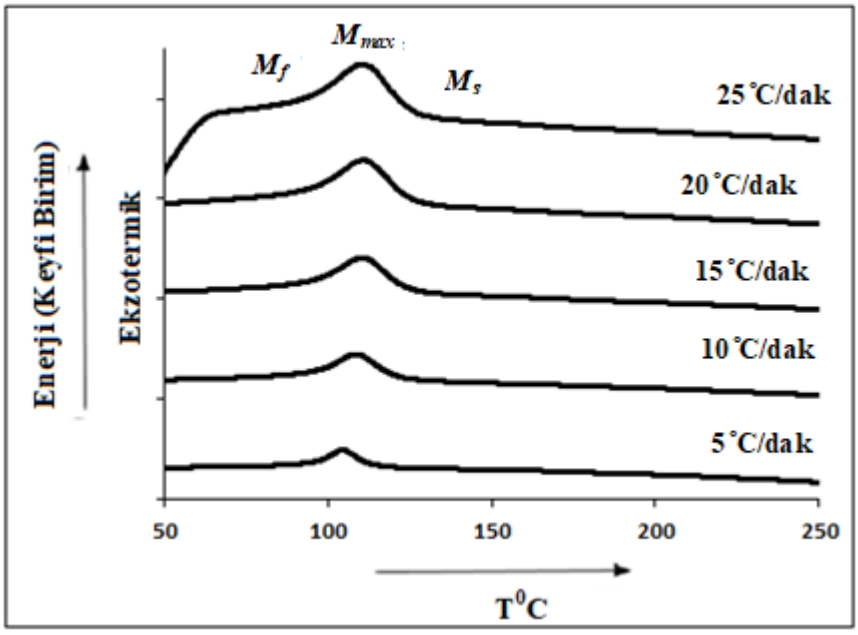
Çizelge 7.4. 1A numunesi için çevrim sayısı ve uygulanan ısıtma ve soğutma programı için elde edilen deneysel sonuçlar.

Sıcaklık Proğ. (^{0}C/dak)	A_s (^{0}C)	A_{max} (^{0}C)	A_f (^{0}C)	M_s (^{0}C)	M_{max} (^{0}C)	M_f (^{0}C)	$\Delta H_{ısı}$ (J/gr)	$\Delta H_{soğ.}$ (J/gr)	$\lvert A_m - M_m \rvert$ (^{0}C)	$\lvert T_0 - M_s \rvert$ (^{0}C)
5	114,36	132,04	146,94	190,77	170,68	143,45	0,456	-0,798	38,646	38,206
10	114,73	133,57	148,73	190,90	170,55	143,07	0,834	-1,026	36,982	38,083
15	114,10	133,11	148,86	187,87	167,36	143,62	0,754	-1,081	34,247	36,884
20	114,82	137,50	150,49	194,49	171,47	143,48	0,802	-0,845	33,965	39,835
25 (Birinci Çevrim)	114,78	137,2	149,77	194,81	171,84	143,13	0,794	-1,215	34,548	40,013
25 (İkinci Çevrim)	114,365	137,3	149,77	193,141	171,437	143,968	0,884	-1,113	34,137	39,388
25 (Üçüncü Çevrim)	114,36	137,3	148,9	193,14	171,85	143,55	0,762	-0,905	34,557	39,388

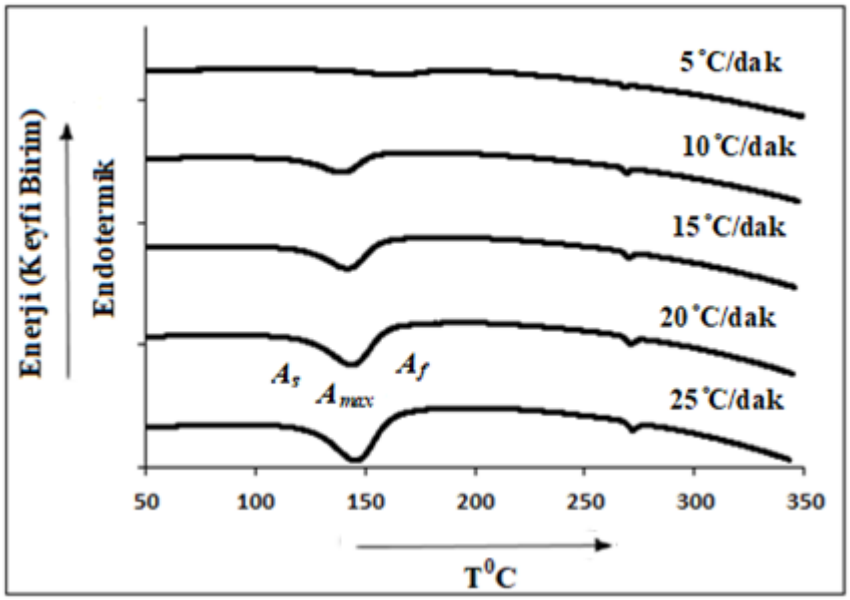
7.2.2 1B Alaşımı için DSC sonuçları

86 mg'lık 1B numunesi için ısıtma ve soğutma hızlarına ait DSC eğrileri Şekil 7.26 ve Şekil 7.27'de gösterilmiştir. 1B numunesi için tüm ısıtma ve soğutma dönüşüm sıcaklıkları A_s, A_{max}, A_f, M_s, M_{max} ve M_f, entalpi değerleri, $|A_m - M_m|$ sıcaklık farkı ve $|T_0 - M_s|$ değerleri hesaplanmış ve Çizelge 7.5.'de verilmiştir.

Tanaka ve arkadaşları (2006), örgü parametrelerinin -80 ^{0}C ile -60 ^{0}C aralığında ani olarak değişim göstermesinin nedenini, malzemenin -81 ^{0}C'deki Curie sıcaklığına sahip olması yani paramagnetiklikten ferromagnetikliğe geçiş göstermesi olarak açıklamışlardır ve bu sonuçları Çizelge 7.6.'da özetlemişlerdir [22].

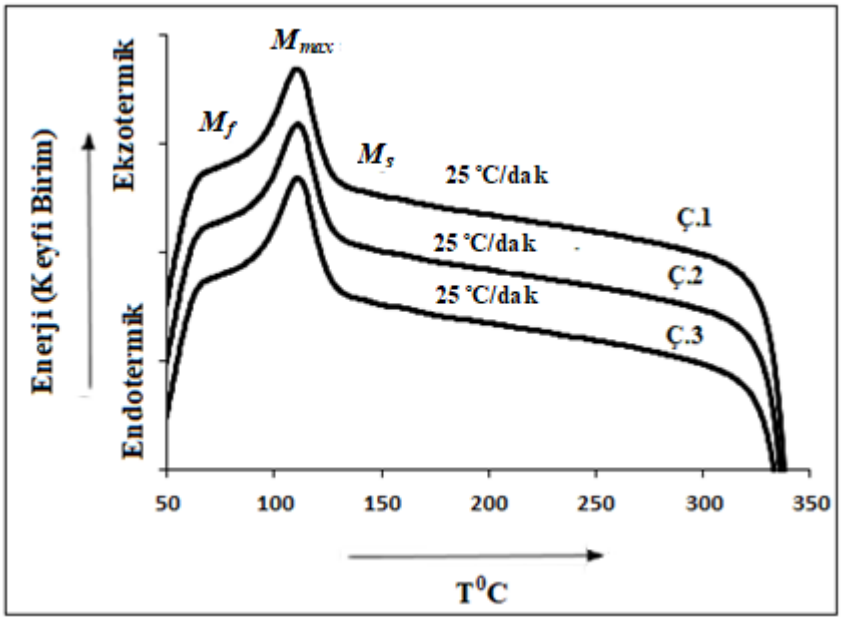


Şekil 7.26. 1B numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak soğutma hızları için DSC eğrileri.

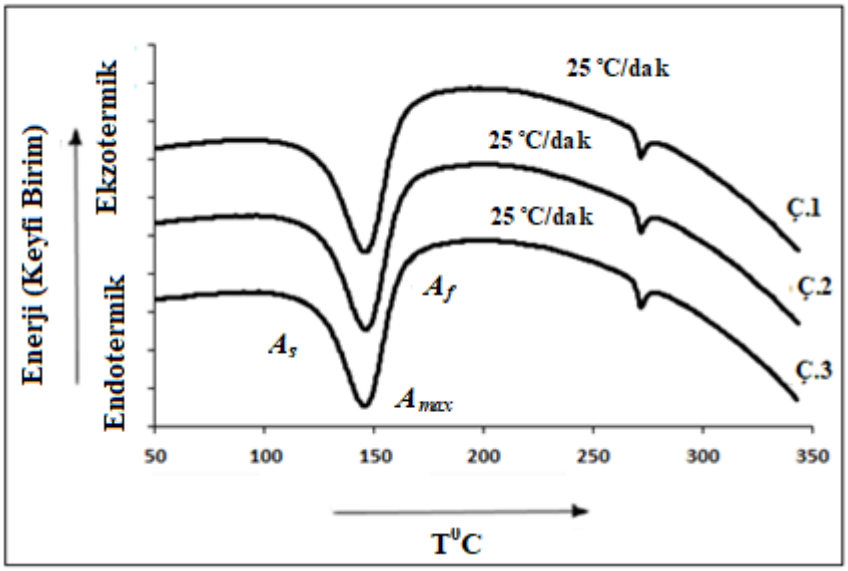


Şekil 7.27. 1B numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak ısıtma hızları için DSC eğrileri.

Şekil 7.28 ve Şekil 7.29'da görüldüğü gibi ileri ve ters dönüşüm sıcaklıklarında birinci ve ikinci çevrimler arasında olduğu gibi üçüncü çevrimde de çok küçük değişimler tespit edilmiştir.



Şekil 7.28. 1B numunesinin 1., 2. ve 3. termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak soğutma hızı DSC eğrileri.



Şekil 7.29. 1B numunesinin 1., 2. ve 3. termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak ısıtma hızı DSC eğrileri.

1B numunesinden ölçülen ısıtma eğrilerinden de görüldüğü gibi malzeme ferromagmetik özellikten 271,69 ^{0}C'de paramagnetik yapıya dönüşmüştür.

Çizelge 7.5. 1B numunesi için çevrim sayısı ve uygulanan ısıtma ve soğutma programı için elde edilen deneysel sonuçlar.

Sıcaklık Prog. (^{0}C/dak)	A_s (^{0}C)	A_{max} (^{0}C)	A_f (^{0}C)	M_s (^{0}C)	M_{max} (^{0}C)	M_f (^{0}C)	$\Delta H_{ısı}$ (J/gr)	$\Delta H_{soğ.}$ (J/gr)	$\lvert A_m - M_m \rvert$ (^{0}C)	$\lvert T_0 - M_s \rvert$ (^{0}C)
5	128,745	161,589	183,416	122,999	104,395	90,156	0,703	-0,562	57,194	2,873
10	124,175	138,852	154,999	128,656	108,465	92,320	0,895	-0,641	30,387	2,241
15	118,509	141,524	158,503	127,231	110,454	91,484	0,667	-0,579	31,07	4,361
20	120,016	143,376	164,016	129,987	116,633	92,986	0,707	-0,700	26,743	4,986
25 (Birinci Çevrim)	122,113	145,048	163,353	132,485	111,253	91,251	0,529	-0,842	33,795	5,186
25 (İkinci Çevrim)	122,943	145,888	163,353	129,994	110,793	91,252	0,565	-0,788	35,095	3,526
25 (Üçüncü Çevrim)	122,533	145,888	162,523	128,743	111,203	92,131	0,566	-0,716	34,685	3,105

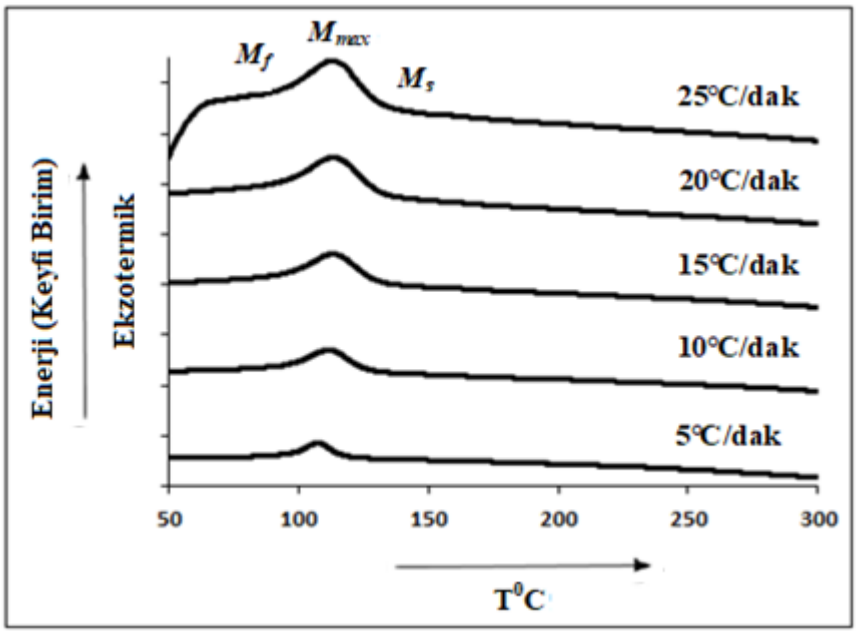
Çizelge 7.6. $Co_{30}Ni_{39}Al_{31}$ alaşımının kristal yapısı ve örgü sabiti [22].

Sıcaklık (^{0}C)	Yapı	Örgü Sabiti (Å)	c/a	Magnetizma
23	B2	a=2,8579	-	Paramegnetizma
-20	$L1_0$	a=3,8697 c= 3,1091	0,8034	Paramagnetizma
-198	$L1_0$	a=3,8527 c=3,1306	0,8125	Ferromagnetizma

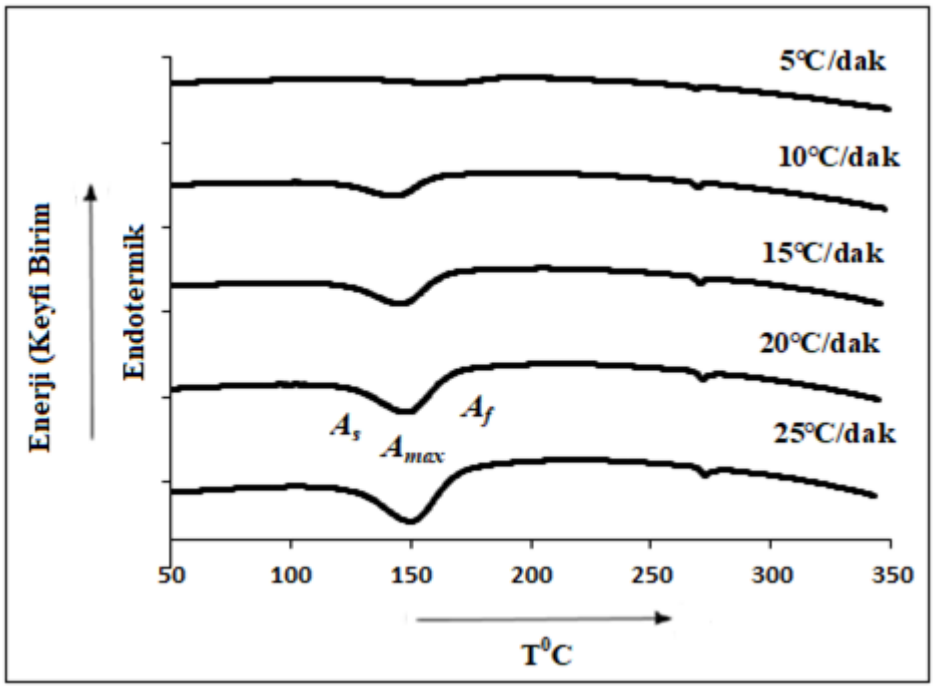
7.2.3 1C Alaşımı için DSC sonuçları

83 mg'lık 1C numunesi için ısıtma ve soğutma hızlarına ait DSC eğrileri Şekil 7.30 ve Şekil 7.31'de gösterilmiştir. 1C numunesi için tüm ısıtma ve soğutma dönüşüm

sıcaklıkları A_s, A_{max}, A_f, M_s, M_{max} ve M_f, entalpi değerleri, $|A_m - M_m|$ sıcaklık farkı ve $|T_0 - M_s|$ değerleri hesaplanmış ve Çizelge 7.7.'de verilmiştir.

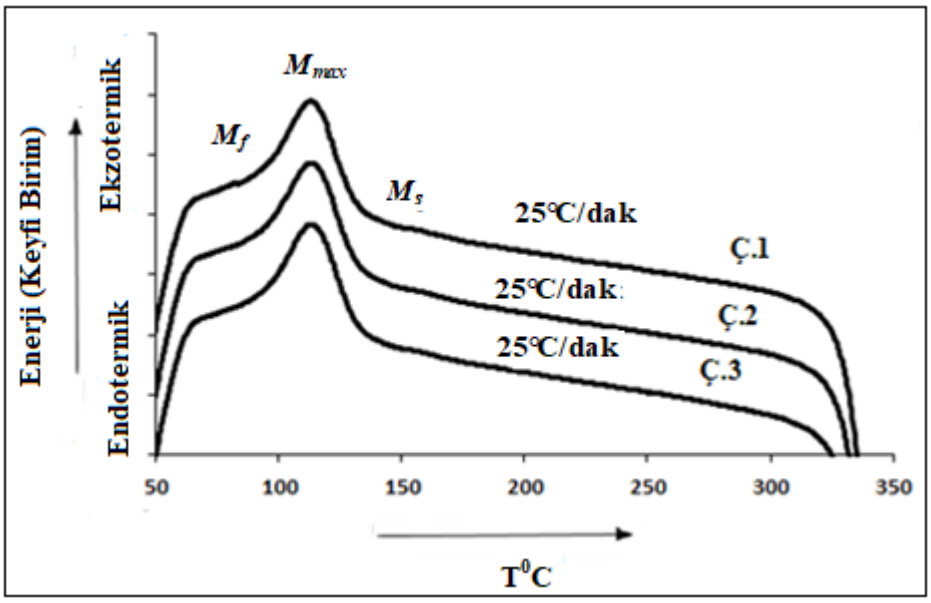


Şekil 7.30. 1C numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak soğutma hızları için DSC eğrileri.

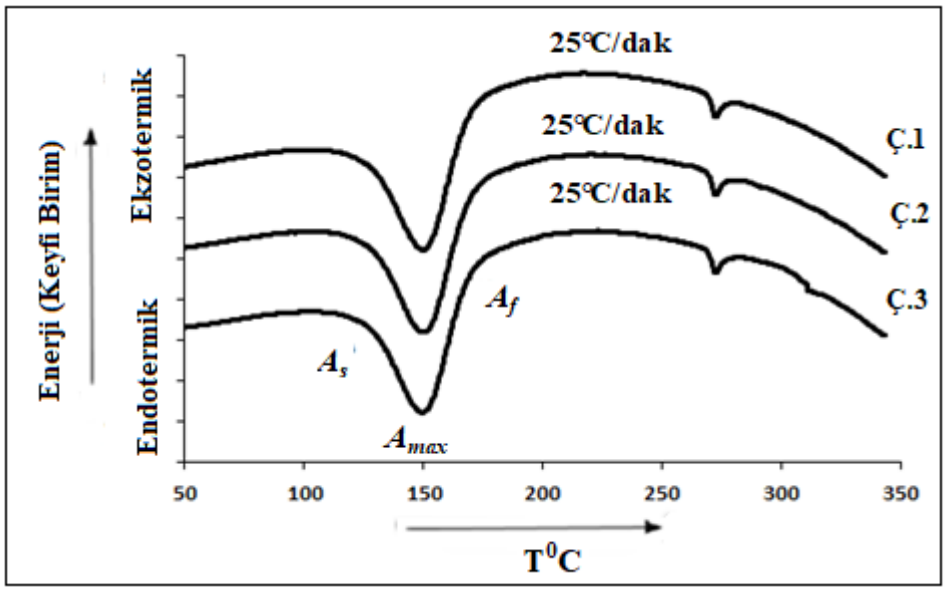


Şekil 7.31. 1C numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak ısıtma hızları için DSC eğrileri.

Şekil 7.32 ve Şekil 7.33'de görüldüğü gibi ileri ve ters dönüşüm sıcaklıklarında birinci ve ikinci çevrimler arasında olduğu gibi üçüncü çevrimde de çok küçük değişimler tespit edilmiştir.



Şekil 7.32. 1C numunesinin 1., 2. ve 3. termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak soğutma hızı DSC eğrileri.



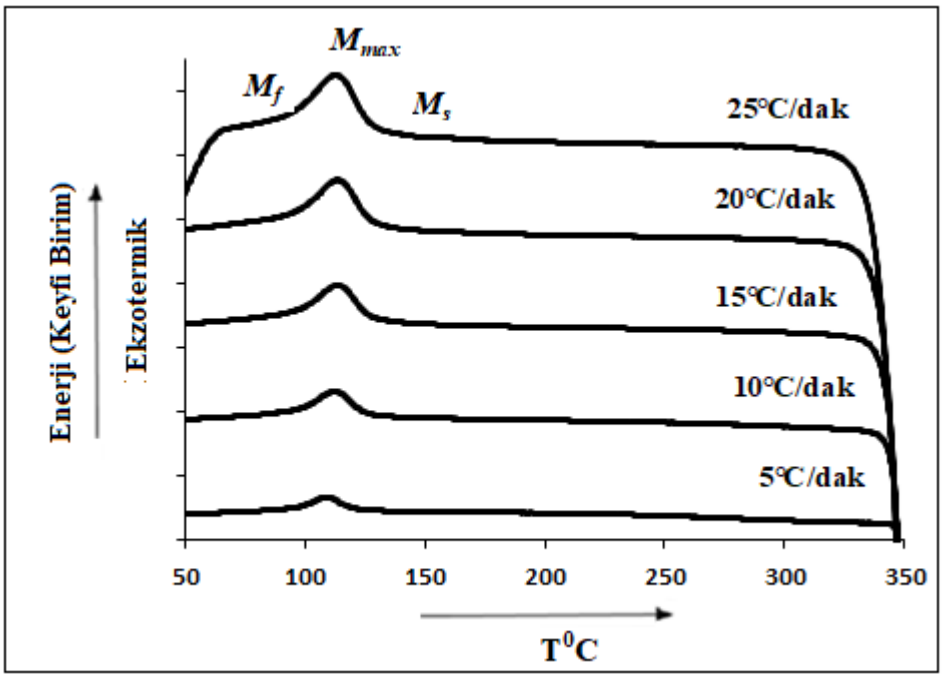
Şekil 7.33. 1C numunesinin 1., 2. ve 3. termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak ısıtma hızı DSC eğrileri.

Çizelge 7.7. 1C numunesi için çevrim sayısı ve uygulanan ısıtma ve soğutma programı için elde edilen deneysel sonuçlar.

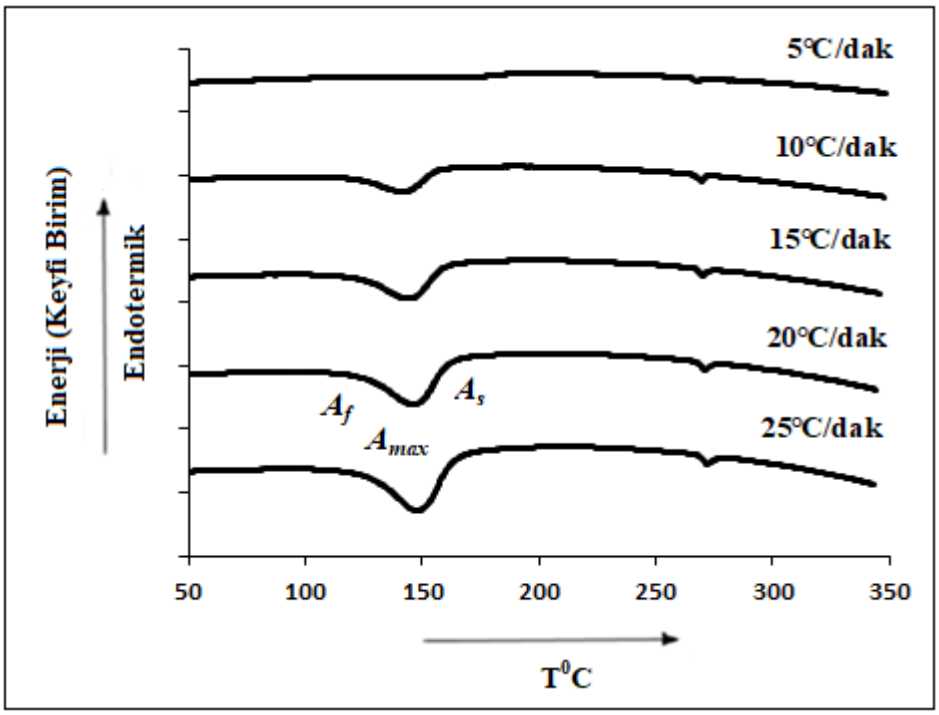
Sıcaklık Prog. (^{0}C/dak)	A_s (^{0}C)	A_{max} (^{0}C)	A_f (^{0}C)	M_s (^{0}C)	M_{max} (^{0}C)	M_f (^{0}C)	$\Delta H_{ısı}$ (J/gr)	$\Delta H_{soğ.}$ (J/gr)	$\lvert A_m - M_m \rvert$ (^{0}C)	$\lvert T_0 - M_s \rvert$ (^{0}C)
5	138,494	160,246	185,072	120,738	108,228	90,237	0,561	-0,452	52,018	8,878
10	125,842	141,679	159,996	127,145	108,631	94,312	0,856	-0,721	33,048	0,652
15	125,257	144,518	163,509	130,731	111,471	91,227	0,877	-0,854	33,047	2,737
20	124,012	147,369	162,002	132,989	110,631	92,990	0,699	-0,815	36,738	4,489
25 (Birinci Çevrim)	128,359	148,379	167,927	131,244	113,720	93,742	0,774	-0,902	34,659	1,238
25 (İkinci Çevrim)	128,779	148,799	169,177	131,654	111,211	91,244	0,874	-0,953	37,588	1,438
25 (Üçüncü Çevrim)	128,359	148,379	167,508	132,485	111,212	95,412	0,864	-0,834	37,167	2,063

7.2.4 1D Alaşımı için DSC sonuçları

83 mg'lık 1D numunesi için ısıtma ve soğutma hızlarına ait DSC eğrileri Şekil 7.34 ve Şekil 7.35'te gösterilmiştir. 1D numunesi için tüm ısıtma ve soğutma dönüşüm sıcaklıkları A_s, A_{max}, A_f, M_s, M_{max} ve M_f, entalpi değerleri, $|A_m - M_m|$ sıcaklık farkı ve $|T_0 - M_s|$ değerleri hesaplanmış ve Çizelge 7.8.'de verilmiştir.

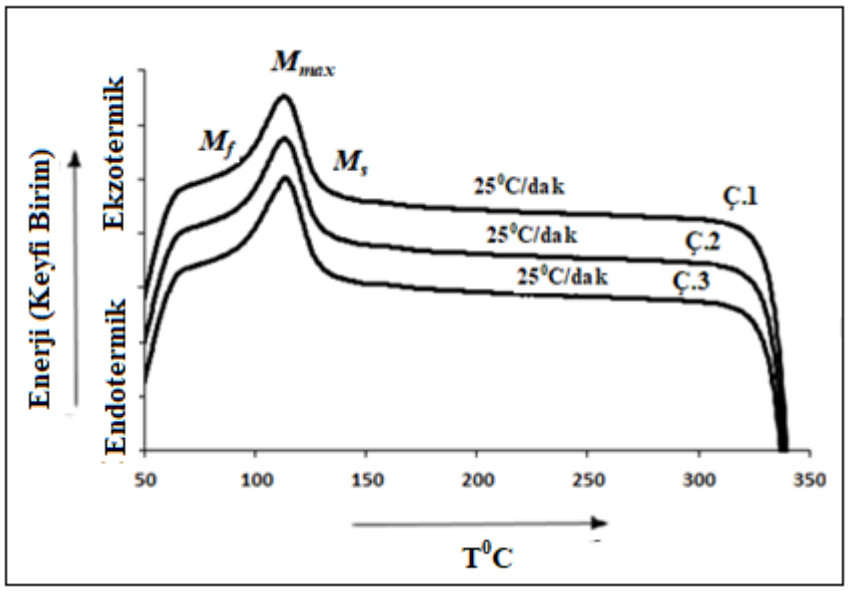


Şekil 7.34. 1D numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak soğutma hızları için DSC eğrileri.

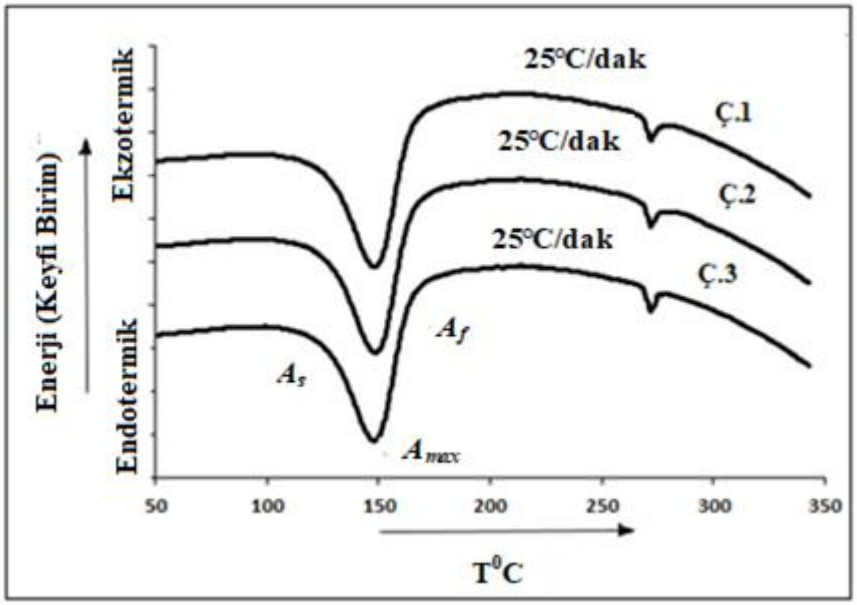


Şekil 7.35. 1D numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak ısıtma hızları için DSC eğrileri.

Şekil 7.36 ve Şekil 7.37'de görüldüğü gibi ileri ve ters dönüşüm sıcaklıklarında birinci ve ikinci çevrimler arasında olduğu gibi üçüncü çevrimde de küçük değişimler tespit edilmiştir.



Şekil 7.36. 1D numunesinin 1., 2. ve 3. termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak soğutma hızı DSC eğrileri.



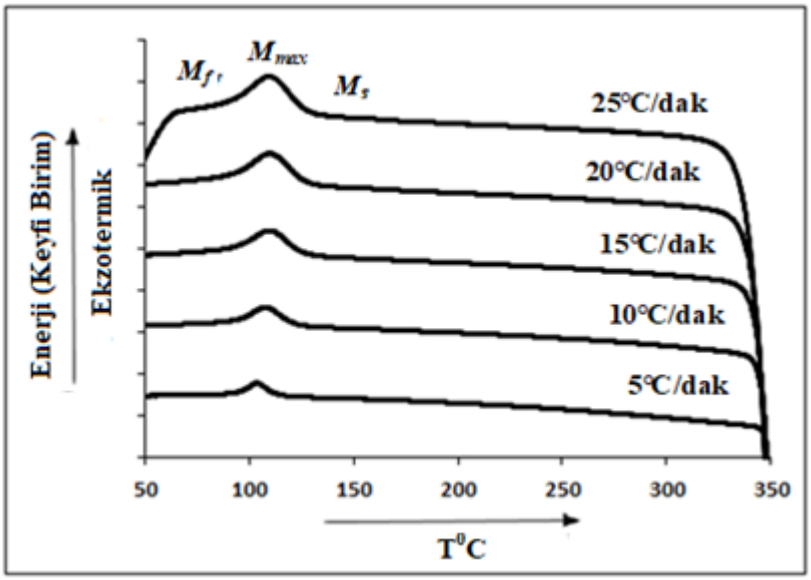
Şekil 7.37. 1D numunesinin 1., 2. ve 3. termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak ısıtma hızı DSC eğrileri.

Çizelge 7.8. 1D numunesi için çevrim sayısı ve uygulanan ısıtma ve soğutma programı için elde edilen deneysel sonuçlar.

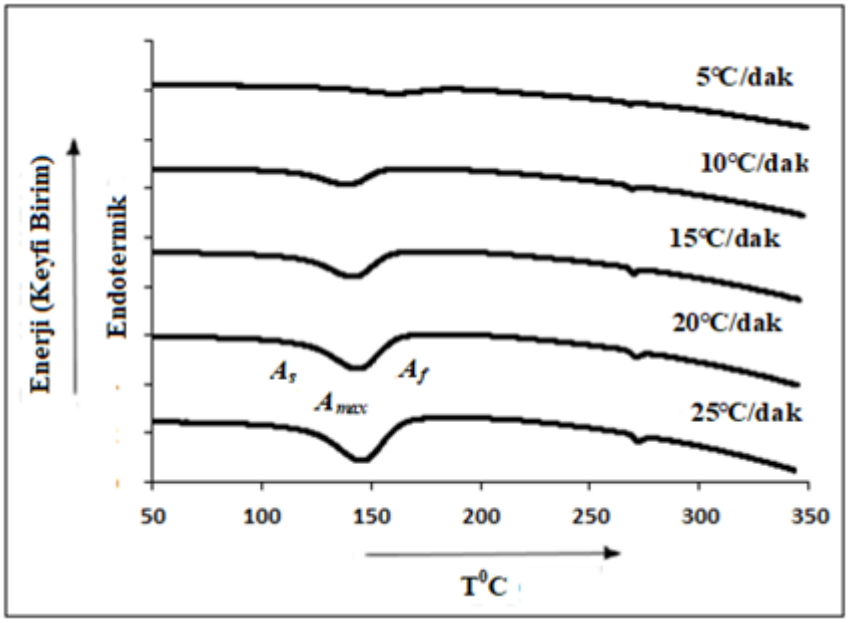
Sıcaklık Prog. (^{0}C/dak)	A_s (^{0}C)	A_{max} (^{0}C)	A_f (^{0}C)	M_s (^{0}C)	M_{max} (^{0}C)	M_f (^{0}C)	$\Delta H_{ısı}$ (J/gr)	$\Delta H_{soğ.}$ (J/gr)	$\lvert A_m - M_m \rvert$ (^{0}C)	$\lvert T_0 - M_s \rvert$ (^{0}C)
5	149,231	166,822	186,479	122,742	108,650	90,407	0,415	-0,310	58,172	13,244
10	124,150	140,827	157,483	128,665	111,500	91,343	0,596	-0,669	29,327	2,258
15	127,977	142,987	157,230	127,510	112,991	92,018	0,762	-0,694	29,996	0,233
20	127,312	144,997	158,636	128,698	113,002	91,694	0,747	-0,715	31,995	0,693
25 (Birinci Çevrim)	129,559	147,498	160,383	128,374	112,103	92,967	0,728	-0,824	35,395	0,592
25 (İkinci Çevrim)	129,968	147,497	160,802	128,374	112,103	92,138	0,774	-0,788	35,394	0,797
25 (Üçüncü Çevrim)	129,979	147,488	160,801	128,374	112,513	92,558	0,724	-0,800	34,975	0,802

7.2.5 1E Alaşımı için DSC sonuçları

82 mg'lık 1E numunesi için ısıtma ve soğutma hızlarına ait DSC eğrileri Şekil 7.38 ve Şekil 7.39'da gösterilmiştir. 1E numunesi için tüm ısıtma ve soğutma dönüşüm sıcaklıkları A_s, A_{max}, A_f, M_s, M_{max} ve M_f, entalpi değerleri, $|A_m - M_m|$ sıcaklık farkı ve $|T_0 - M_s|$ değerleri hesaplanmış ve Çizelge 7.9.'da verilmiştir.

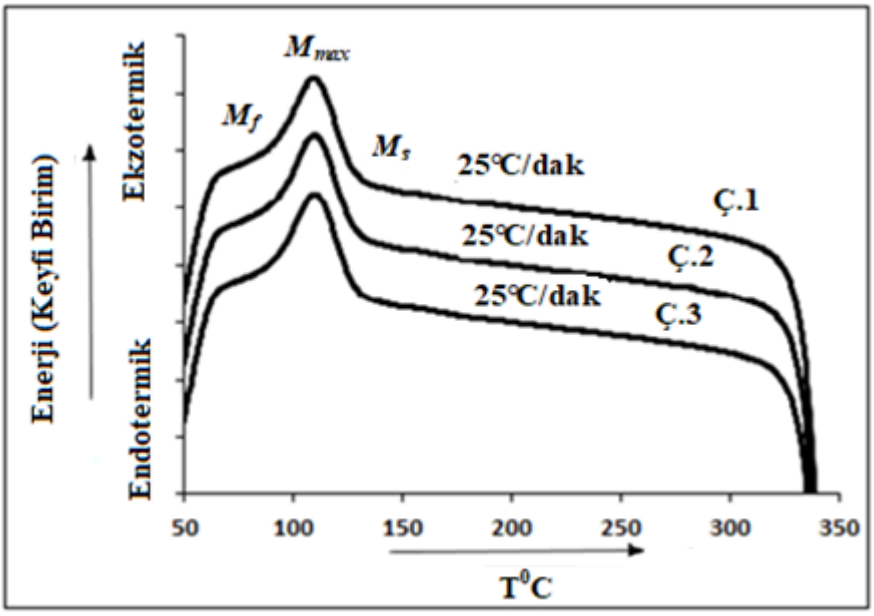


Şekil 7.38.1E numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak soğutma hızları için DSC eğrileri.

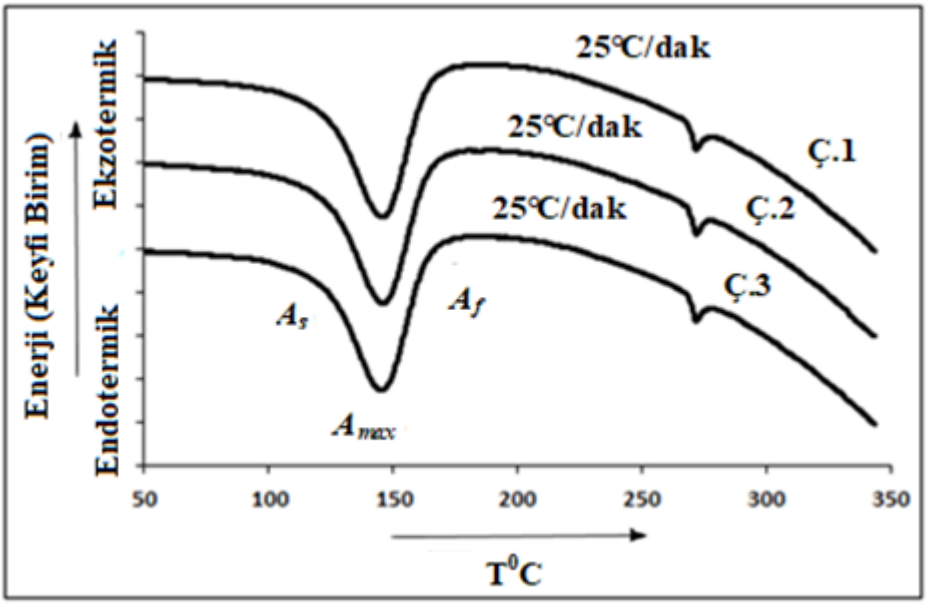


Şekil 7.39. 1E numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak ısıtma hızları için DSC eğrileri.

Şekil 7.40 ve Şekil 7.41'de görüldüğü gibi ileri ve ters dönüşüm sıcaklıklarında birinci ve ikinci çevrimler arasında olduğu gibi üçüncü çevrimde de çok küçük değişimler tespit edilmiştir.



Şekil 7. 40. 1E numunesinin 1., 2. ve 3. termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak soğutma hızı DSC eğrileri.



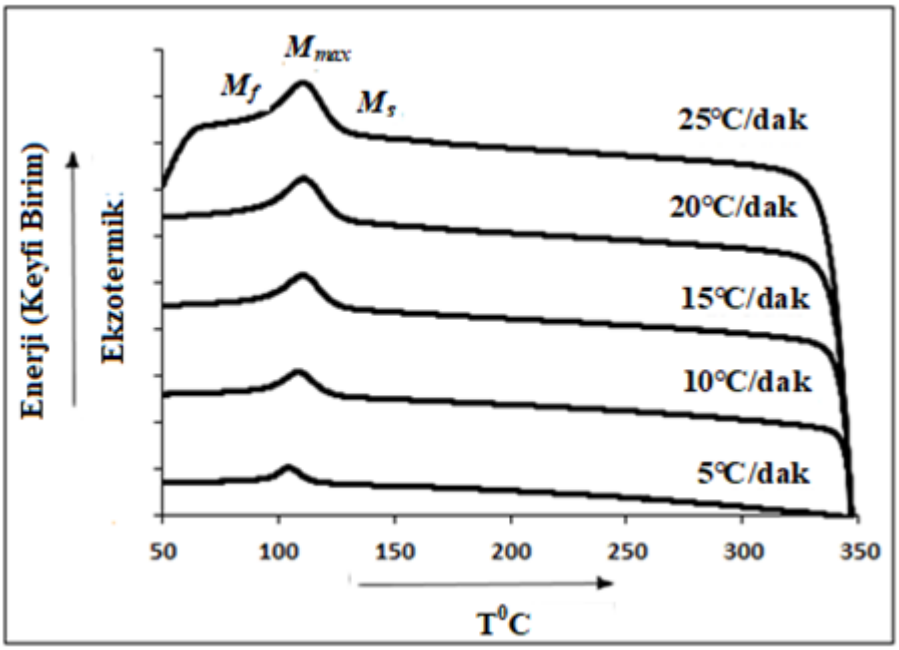
Şekil 7.41. 1E numunesinin 1., 2. ve 3. termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak ısıtma hızı DSC eğrileri.

Çizelge 7.9. 1E numunesi için çevrim sayısı ve uygulanan ısıtma ve soğutma programı için elde edilen deneysel sonuçlar.

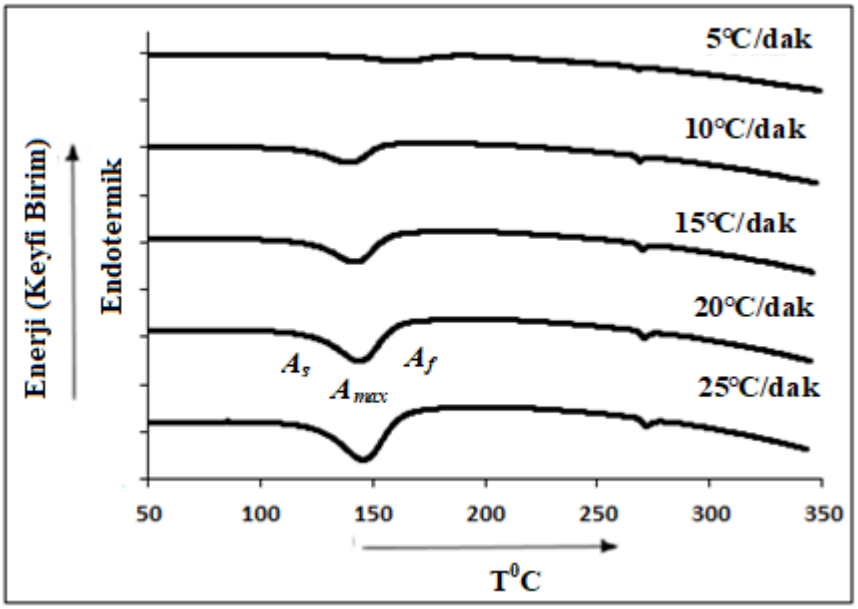
Sıcaklık Prog. (^{0}C/dak)	A_s (^{0}C)	A_{max} (^{0}C)	A_f (^{0}C)	M_s (^{0}C)	M_{max} (^{0}C)	M_f (^{0}C)	$\Delta H_{ısı}$ (J/gr)	$\Delta H_{soğ.}$ (J/gr)	$\lvert A_m - M_m \rvert$ (^{0}C)	$\lvert T_0 - M_s \rvert$ (^{0}C)
5	140,498	160,172	175,919	114,402	102,981	92,990	0,755	-0,557	57,191	13,048
10	124,173	141,679	153,669	122,821	107,145	92,987	0,804	-0,804	34,534	0,676
15	121,755	140,268	158,500	124,238	111,229	92,994	0,932	-0,930	29,039	1,242
20	123,679	142,706	159,005	126,997	110,311	92,700	0,910	-1,005	32,395	1,747
25 (Birinci Çevrim)	123,773	144,625	163,765	127,085	110,394	91,676	0,756	-0,992	34,231	1,656
25 (İkinci Çevrim)	123,342	144,625	163,755	126,665	111,224	92,925	0,845	-0,935	33,401	1,662
25 (Üçüncü Çevrim)	123,352	145,875	163,765	126,665	111,225	92,097	0,906	-0,874	34,65	1,657

7.2.6 1F Alaşımı için DSC sonuçları

83 mg'lık 1F numunesi için ısıtma ve soğutma hızlarına ait DSC eğrileri Şekil 7.42 ve Şekil 7.43'te gösterilmiştir. 1F numunesi için tüm ısıtma ve soğutma dönüşüm sıcaklıkları $A_{s,}$ A_{max} , A_f , $M_{S,}$ $M_{max,,}$ $M_{f,}$ ve aynı entalpi değerleri Tablo 7.6'da verilmiştir. DSC eğrilerine ait alanın genişliği ise DSC ölçümleri sırasında ısıtma ya da soğutma işlemleri için faz dönüşümünün ne oranda gerçekleştiği hakkında bilgi verebilir. DSC ölçümlerinden elde edilen eğri ne kadar genişse meydana gelen faz dönüşümü de o kadar fazladır. $|A_m - M_m|$ sıcaklık farkının ve $|T_0 - M_s|$ değerleri hesaplanmış ve Çizelge 7.10'da verilmiştir.

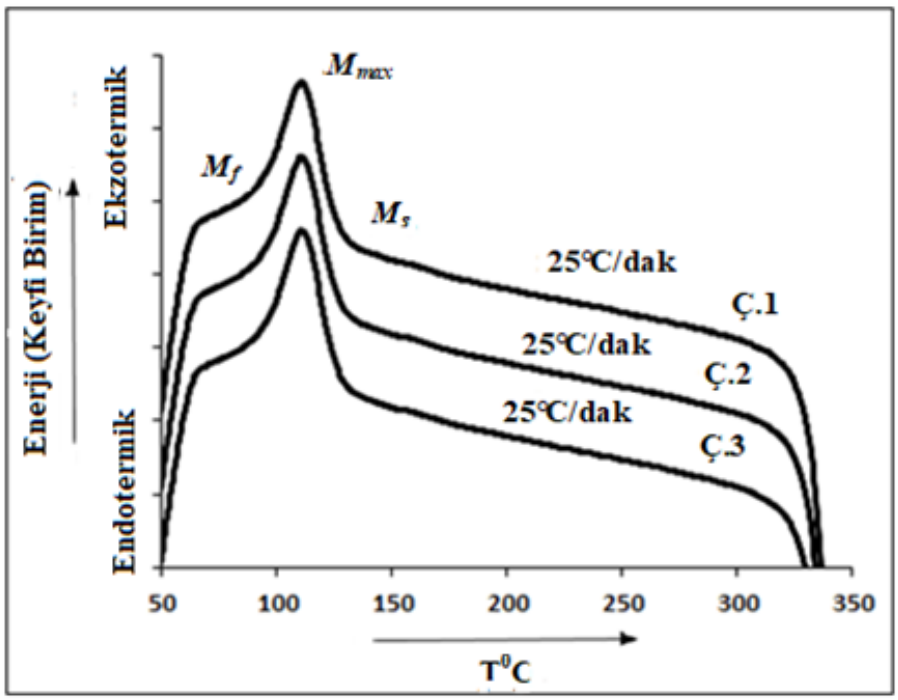


Şekil 7.42. 1F numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak soğutma hızları için DSC eğrileri.

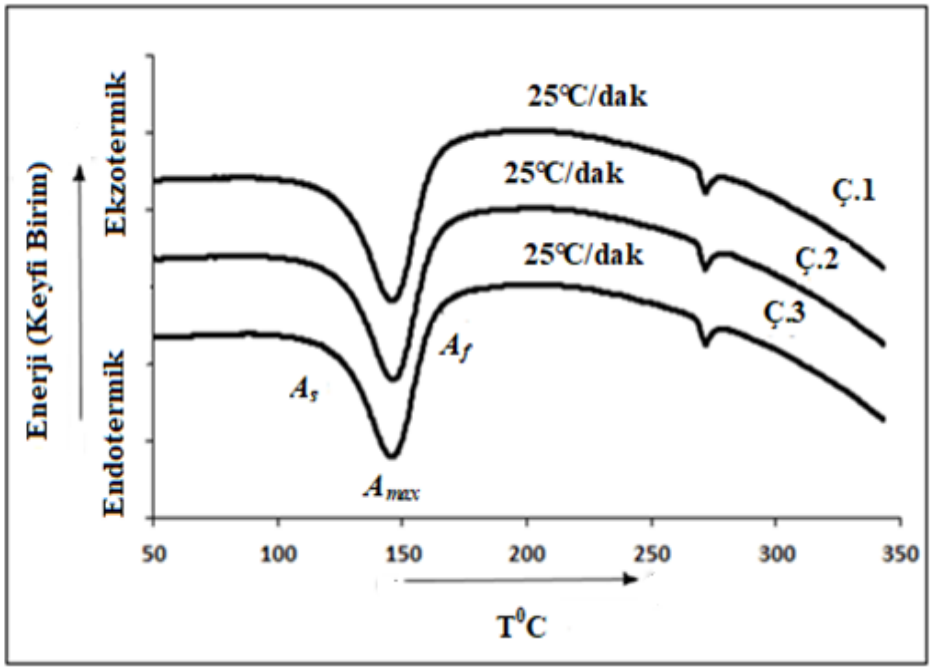


Şekil 7.43. 1F numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak ısıtma hızları için DSC eğrileri.

Şekil 7.44 ve Şekil 7.45'te görüldüğü gibi ileri ve ters dönüşüm sıcaklıklarında birinci ve ikinci çevrimler arasında olduğu gibi üçüncü çevrimde de çok küçük değişimler tespit edilmiştir.



Şekil 7.44. 1F numunesinin 1., 2. ve 3. termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak soğutma hızı DSC eğrileri.



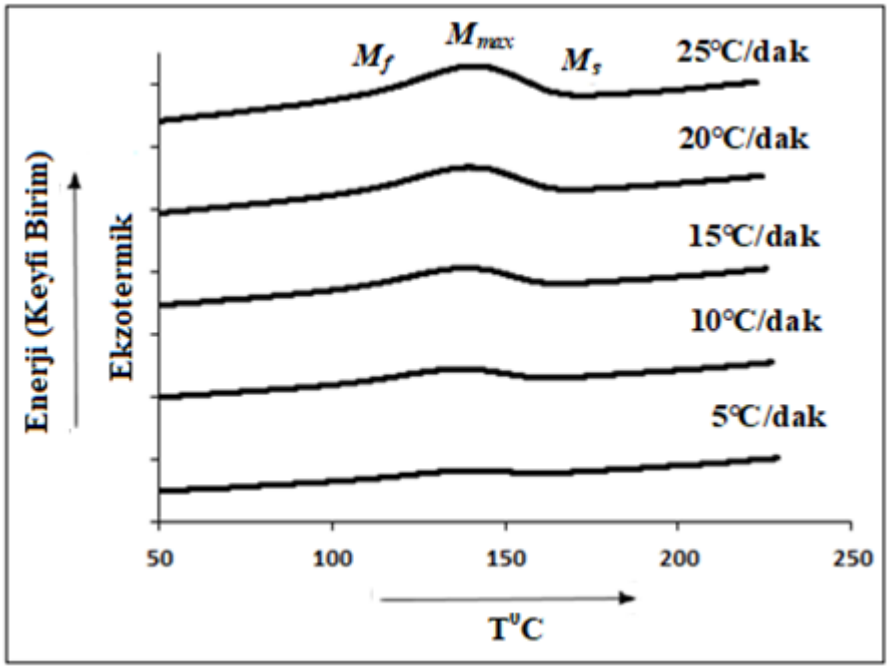
Şekil 7.45. 1F numunesinin 1., 2. ve 3. termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak ısıtma hızı DSC eğrileri.

Çizelge 7.10. 1F numunesi için çevrim sayısı ve uygulanan ısıtma ve soğutma programı için elde edilen deneysel sonuçlar.

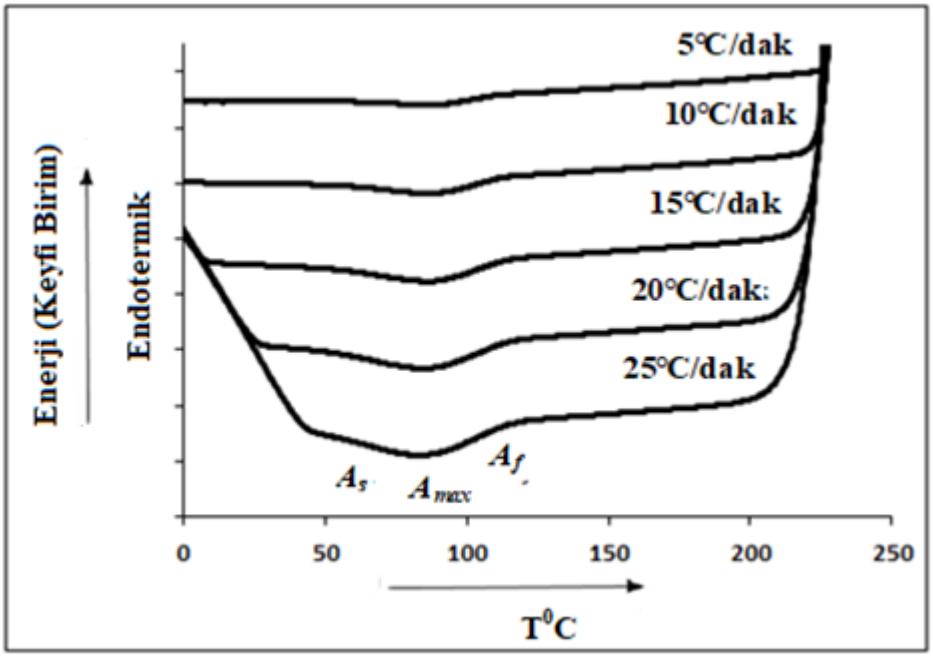
Sıcaklık Prog. (^{0}C/dak)	A_s (^{0}C)	A_{max} (^{0}C)	A_f (^{0}C)	M_s (^{0}C)	M_{max} (^{0}C)	M_f (^{0}C)	$\Delta H_{ısı}$ (J/gr)	$\Delta H_{soğ.}$ (J/gr)	$\lvert A_m - M_m \rvert$ (^{0}C)	$\lvert T_0 - M_s \rvert$ (^{0}C)
5	144,173	160,176	176,334	115,984	104,222	91,562	0,715	-0,668	55,954	14,094
10	124,187	140,865	152,683	123,645	108,626	91,811	0,914	-0,897	32,239	0,271
15	123,029	140,553	157,522	124,964	111,450	92,962	0,857	-1,005	29,103	0,968
20	126,051	143,060	158,703	123,621	111,933	91,627	0,867	-0,902	31,127	1,215
25 (Birinci Çevrim)	127,553	144,666	159,216	123,289	111,177	91,635	0,764	-0,925	33,489	2,342
25 (İkinci Çevrim)	127,133	145,927	159,218	123,710	111,187	91,636	0,941	-0,907	34,740	1,711
25 (Üçüncü Çevrim)	127,564	144,667	159,636	123,710	111,178	91,646	0,871	-0,936	33,489	1,927

7.2.7 2A Alaşımı için DSC sonuçları

89 mg'lık 2A numunesi için ısıtma ve soğutma hızlarına ait DSC eğrileri Şekil 7.46 ve Şekil 7.47'te gösterilmiştir. 2A numunesi için tüm ısıtma ve soğutma dönüşüm sıcaklıkları A_s, A_{max}, A_f, M_s, M_{max} ve M_f, entalpi değerleri, $|A_m - M_m|$ sıcaklık farkı ve $|T_0 - M_s|$ değerleri hesaplanmış ve Çizelge 7.11.'de verilmiştir.

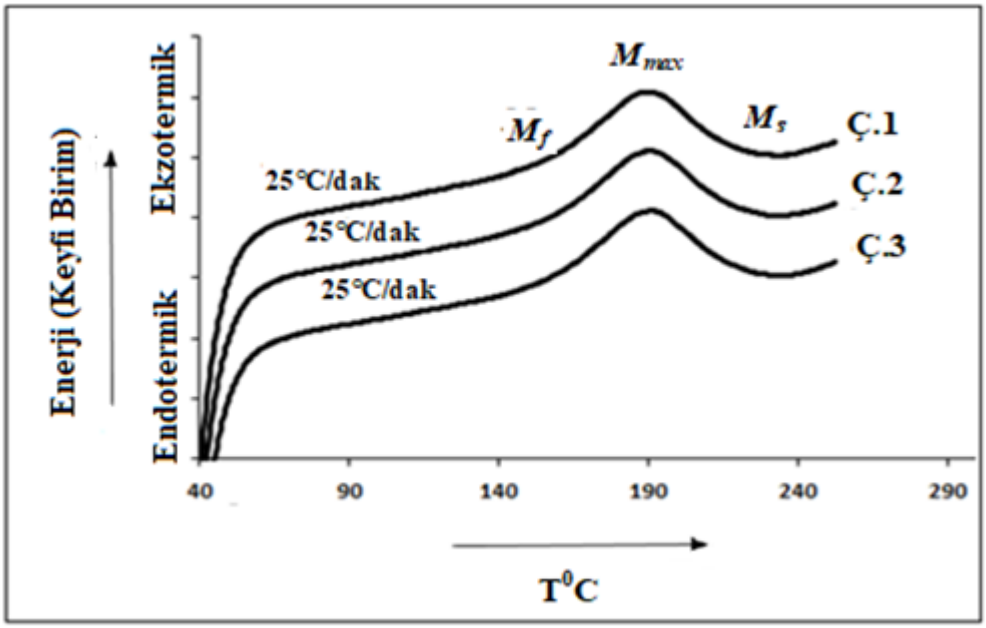


Şekil 7.46. 2A numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak soğutma hızları için DSC eğrileri.

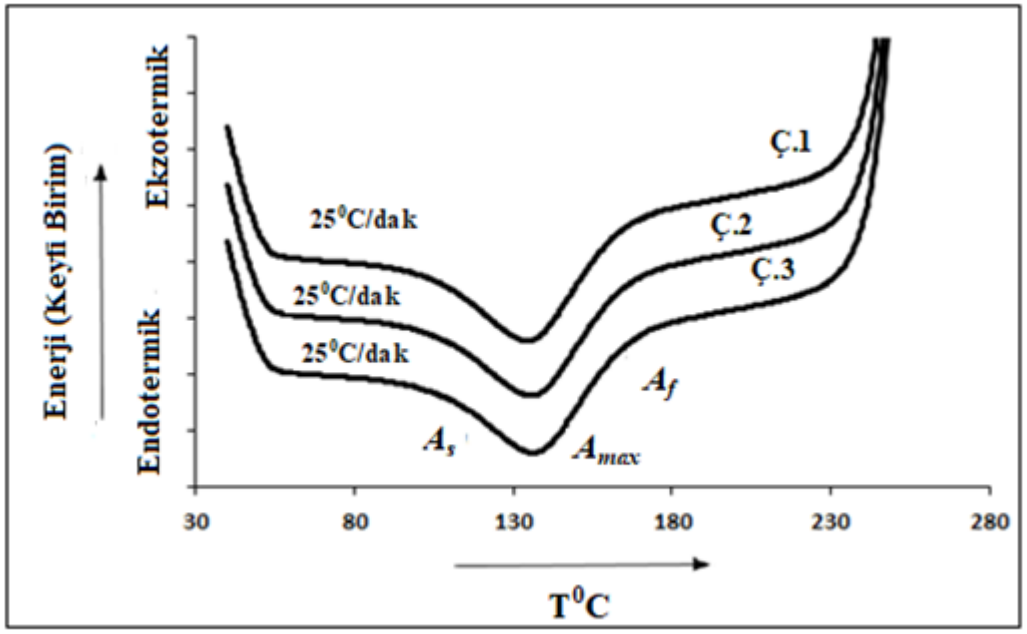


Şekil 7.47. 2A numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak ısıtma hızları için DSC eğrileri.

Şekil 7.48 ve Şekil 7.49'da görüldüğü gibi ileri ve ters dönüşüm sıcaklıklarında birinci ve ikinci çevrimler arasında olduğu gibi üçüncü çevrimde de çok küçük değişimler tespit edilmiştir.



Şekil 7.48. 2A numunesinin 1., 2. ve 3. termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak soğutma hızı DSC eğrileri.



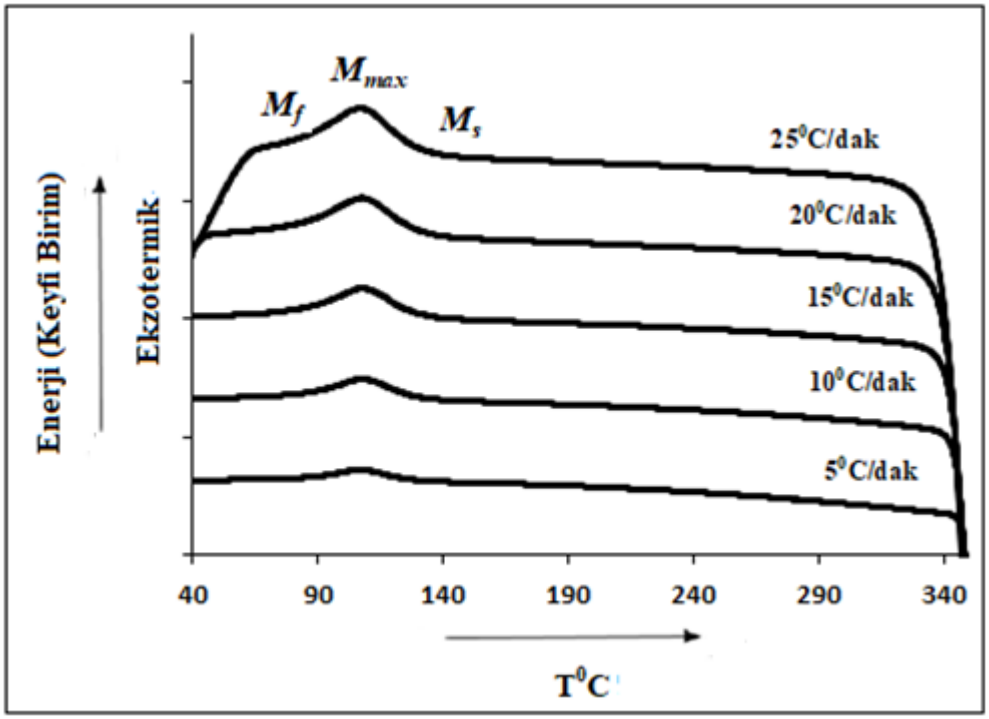
Şekil 7.49. 2A numunesinin 1., 2. ve 3. termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak ısıtma hızı DSC eğrileri.

Çizelge 7.11. 2A numunesi için çevrim sayısı ve uygulanan ısıtma ve soğutma programı için elde edilen deneysel sonuçlar.

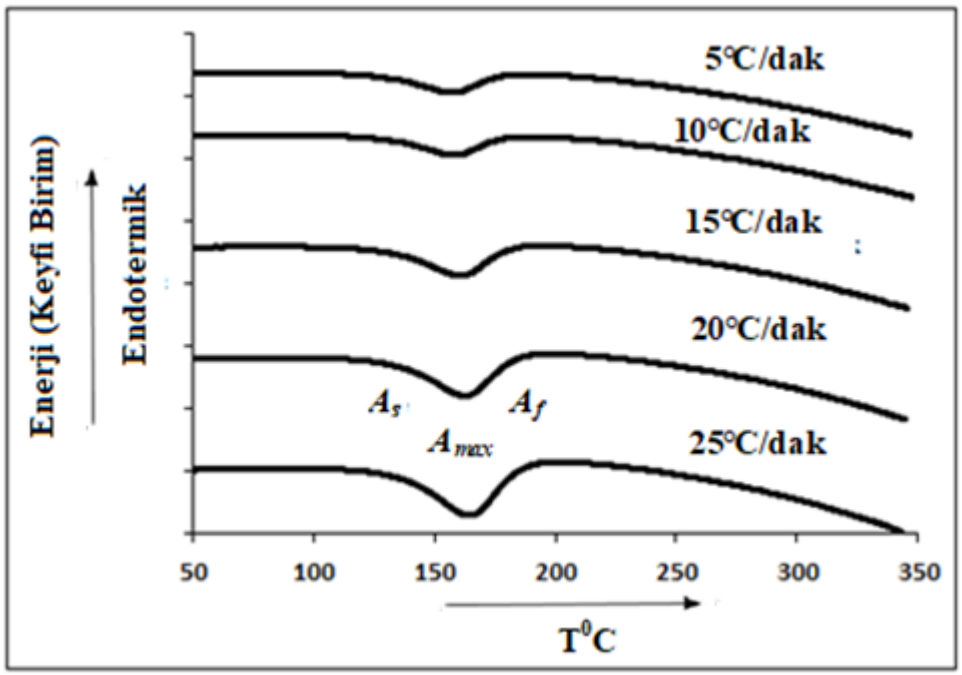
Sıcaklık Prog. (^{0}C/dak)	A_s (^{0}C)	A_{max} (^{0}C)	A_f (^{0}C)	M_s (^{0}C)	M_{max} (^{0}C)	M_f (^{0}C)	$\Delta H_{ısı}$ (J/gr)	$\Delta H_{soğ.}$ (J/gr)	$\lvert A_m - M_m \rvert$ (^{0}C)	$\lvert T_0 - M_s \rvert$ (^{0}C)
5	64,029	91,04	109,035	149,102	141,101	107,107	0,380	-0,683	50,061	42,537
10	64,087	89,081	109,911	153,223	140,220	108,227	0,814	-0,659	51,139	44,568
15	64,136	87,881	107,880	157,846	138,088	106,100	0,823	-1,125	50,207	46,855
20	61,523	87,850	111,174	157,807	137,137	108,812	0,729	-1,204	49,287	48,142
25 (Birinci Çevrim)	59,850	84,420	110,221	159,338	139,336	110,183	0,749	-1,111	54,916	49,744
25 (İkinci Çevrim)	59,019	84,419	110,642	161,440	141,415	110,183	0,805	-1,115	56,996	51,211
25 (Üçüncü Çevrim)	59,022	84,422	110,636	161,428	140,164	110,181	0,949	-1,033	55,742	51,203

7.2.8 2B Alaşımı için DSC sonuçları

79 mg'lık 2B numunesi için ısıtma ve soğutma hızlarına ait DSC eğrileri Şekil 7.50 ve Şekil 7.51'de gösterilmiştir. 2B numunesi için tüm ısıtma ve soğutma dönüşüm sıcaklıkları A_s, A_{max}, A_f, M_s, M_{max} ve M_f , entalpi değerleri, $|A_m - M_m|$ sıcaklık farkı ve $|T_0 - M_s|$ değerleri hesaplanmış ve Çizelge 7.12.'de verilmiştir

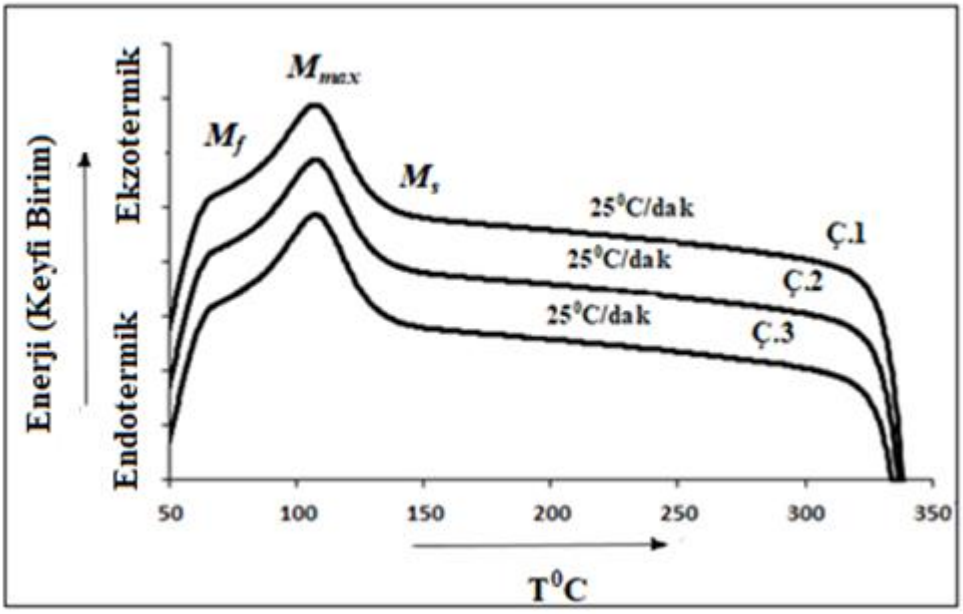


Şekil 7.50. 2B numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak soğutma hızları için DSC eğrileri.

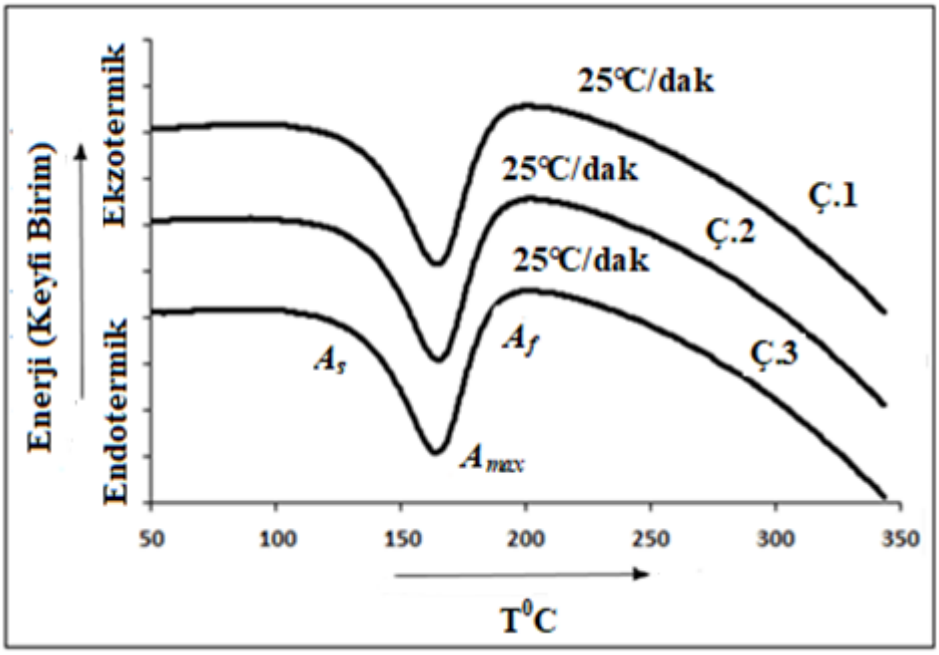


Şekil 7.51. 2B numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak ısıtma hızları için DSC eğrileri.

Şekil 7.52 ve Şekil 7.53'de gösterildiği gibi ileri ve ters dönüşüm sıcaklıklarında birinci ve ikinci çevrimler arasında olduğu gibi üçüncü çevrimde de çok küçük değişimler tespit edilmiştir.



Şekil 7.52. 2B numunesinin 1., 2. ve 3. termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak soğutma hızı DSC eğrileri.



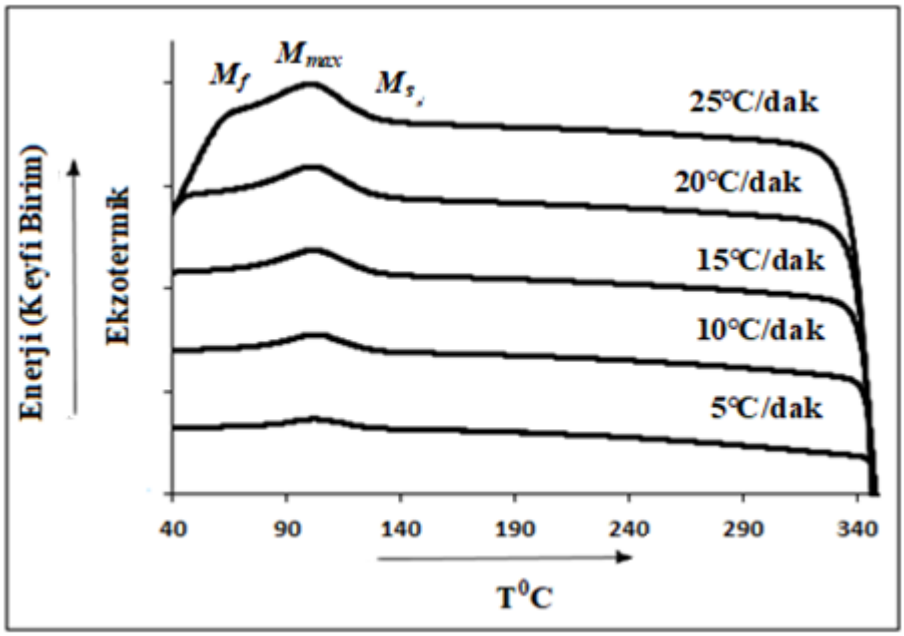
Şekil 7.53. 2B numunesinin 1., 2. ve 3. termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak ısıtma hızı DSC eğrileri.

Çizelge 7.12. 2B numunesi için çevrim sayısı ve uygulanan ısıtma ve soğutma Programı için elde edilen deneysel sonuçlar.

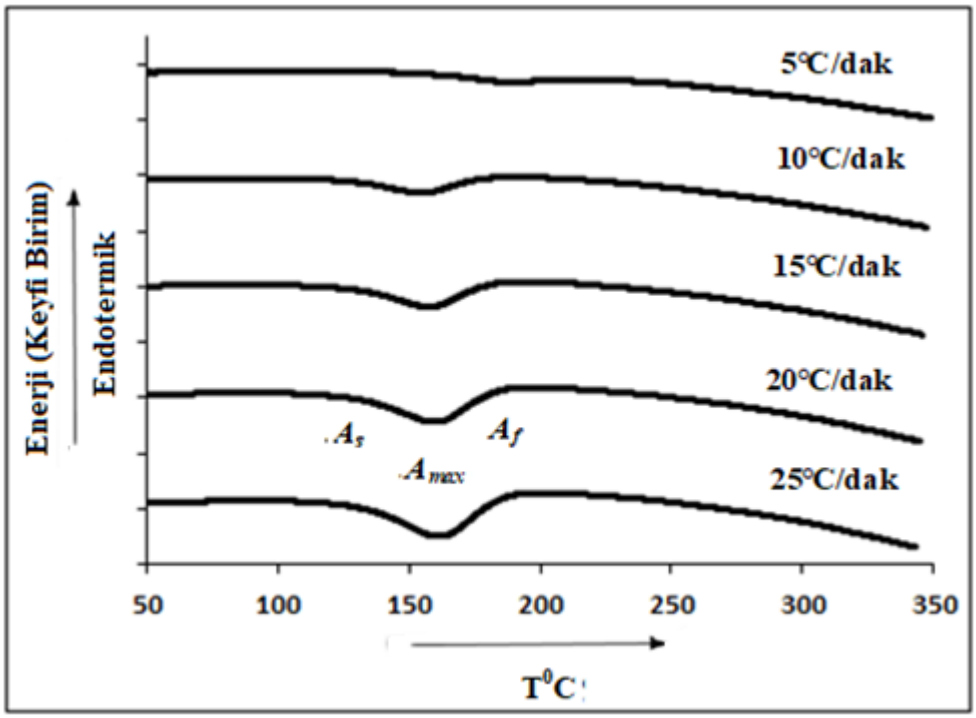
Sıcaklık Prog. (^{0}C/dak)	A_s (^{0}C)	A_{max} (^{0}C)	A_f (^{0}C)	M_s (^{0}C)	M_{max} (^{0}C)	M_f (^{0}C)	$\Delta H_{ısı}$ (J/gr)	$\Delta H_{soğ.}$ (J/gr)	$\lvert A_m - M_m \rvert$ (^{0}C)	$\lvert T_0 - M_s \rvert$ (^{0}C)
5	141,346	157,245	170,744	126,820	105,732	91,567	1,149	-0,713	51,513	3,281
10	141,345	157,341	170,844	124,131	105,802	92,980	1,280	-0,788	51,539	8,607
15	138,760	159,272	178,017	127,982	107,212	91,484	1,166	-1,031	52,060	5,389
20	140,356	161,702	179,013	128,648	107,292	91,317	1,148	-1,207	54,410	5,487
25 (Birinci Çevrim)	143,784	163,382	180,858	127,914	107,883	91,250	1,228	-1,318	55,499	7,935
25 (İkinci Çevrim)	143,783	164,633	181,698	126,662	108,303	91,660	1,351	-1,164	56,33	8,560
25 (Üçüncü Çevrim)	142,943	162,963	182,935	126,663	107,473	91,251	1,243	-1,344	55,49	8,140

7.2.9 2C Alaşımı için DSC sonuçları

84 mg'lık 2C numunesi için ısıtma ve soğutma hızlarına ait DSC eğrileri Şekil 7.54 ve Şekil 7.55'te gösterilmiştir. 2C numunesi için tüm ısıtma ve soğutma dönüşüm sıcaklıkları A_s, A_{max}, A_f, M_s, M_{max} ve M_f, entalpi değerleri, $|A_m - M_m|$ sıcaklık farkı ve $|T_0 - M_s|$ değerleri hesaplanmış ve Çizelge 7.13.'de bu değerler verilmiştir.

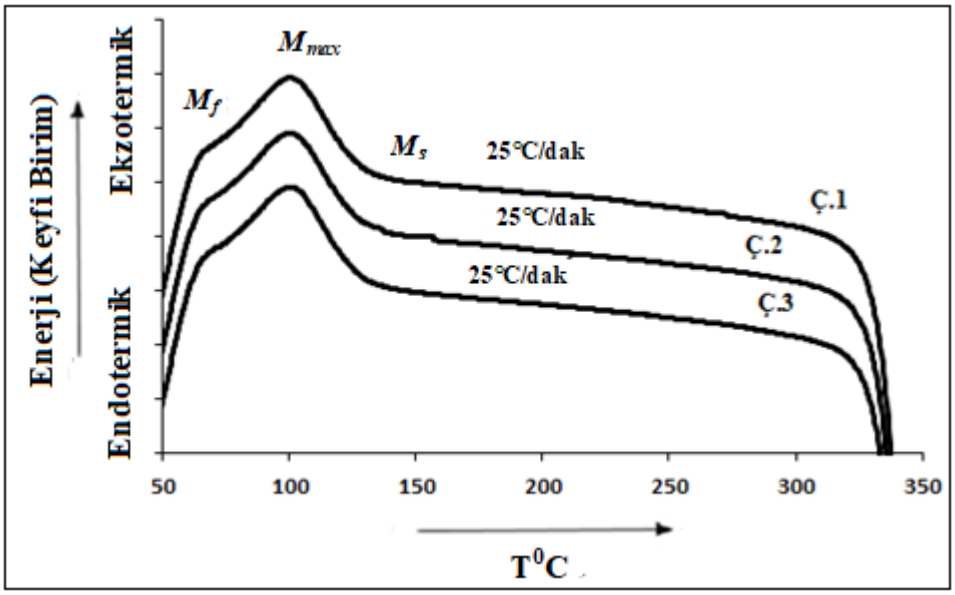


Şekil 7.54. 2C numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak soğutma hızları için DSC eğrileri.

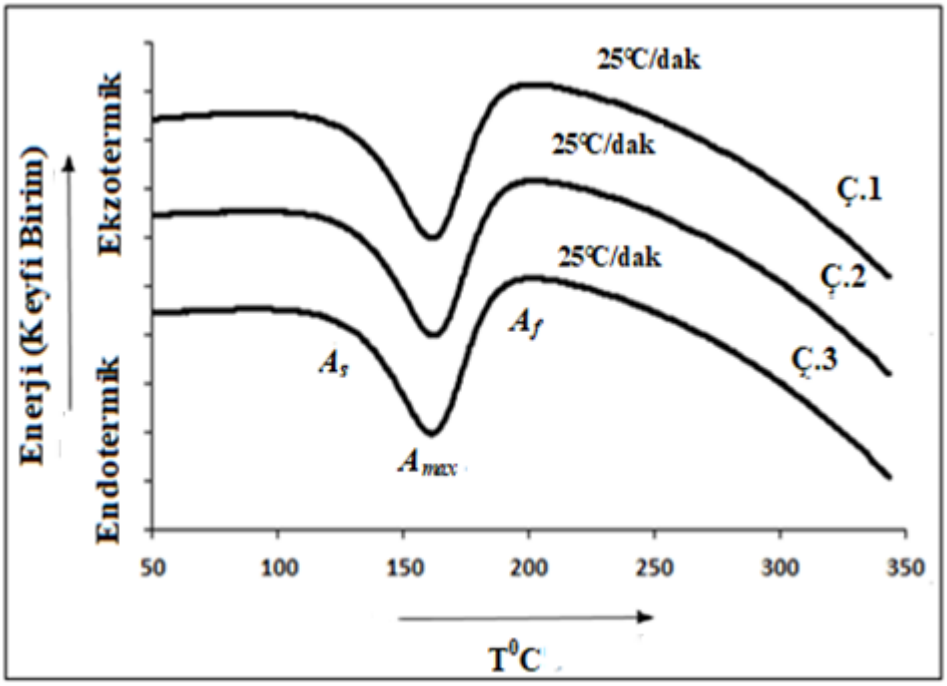


Şekil 7.55. 2C numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak ısıtma hızları için DSC eğrileri.

Şekil 7.56 ve Şekil 7.57'de görüldüğü gibi ileri ve ters dönüşüm sıcaklıklarında birinci ve ikinci çevrimler arasında olduğu gibi üçüncü çevrimde de çok küçük değişimler tespit edilmiştir.



Şekil 7.56. 2C numunesinin 1., 2. ve 3. termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak soğutma hızı DSC eğrileri.



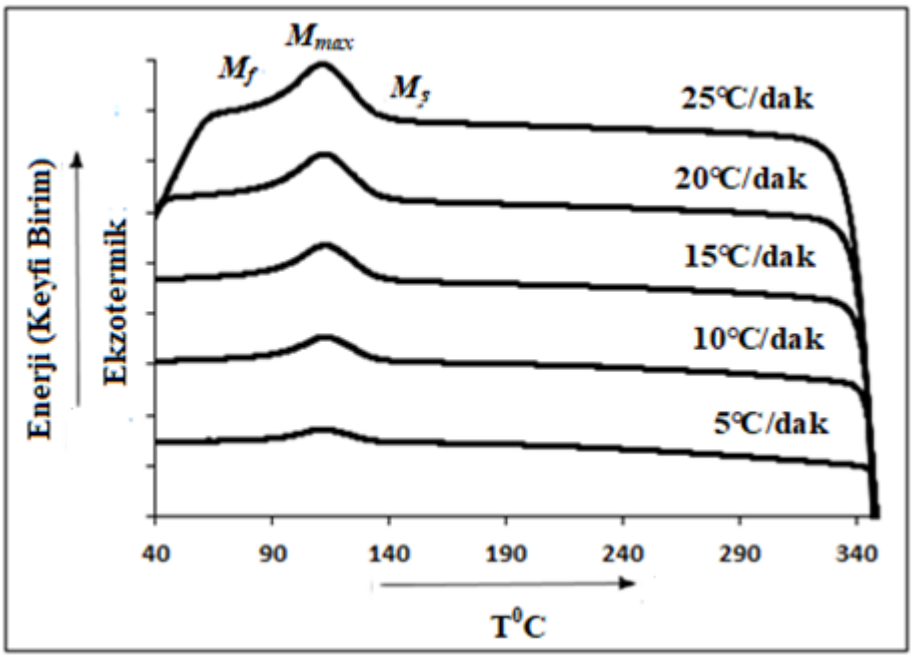
Şekil 7.57. 2C numunesinin 1., 2. ve 3. termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak ısıtma hızı DSC eğrileri.

Çizelge 7.13. 2C numunesi için çevrim sayısı ve uygulanan ısıtma ve soğutma programı için elde edilen deneysel sonuçlar.

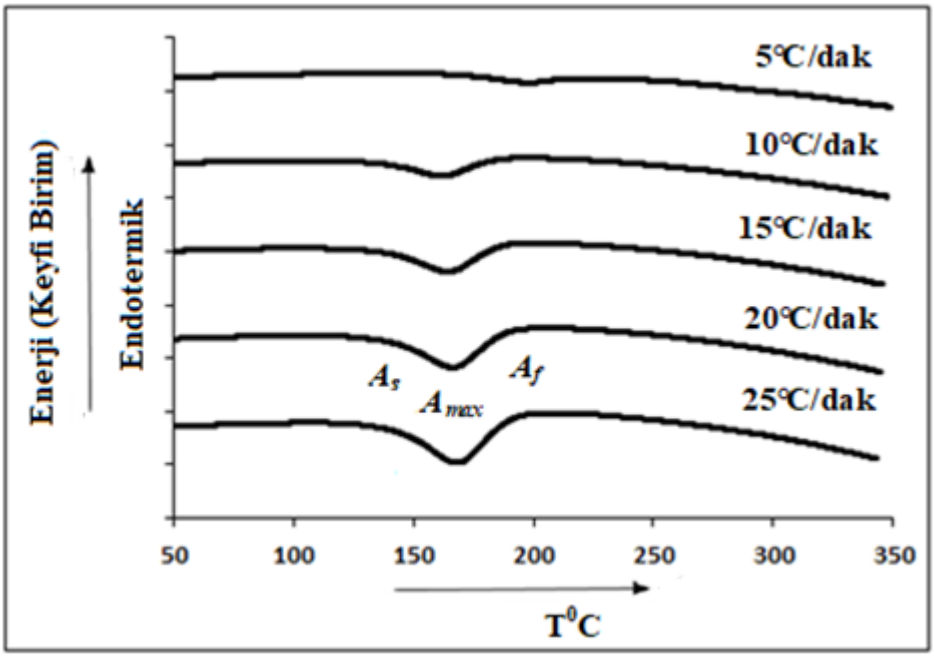
Sıcaklık Prog. (^{0}C/dak)	A_s (^{0}C)	A_{max} (^{0}C)	A_f (^{0}C)	M_s (^{0}C)	M_{max} (^{0}C)	M_f (^{0}C)	$\Delta H_{ısı}$ (J/gr)	$\Delta H_{soğ.}$ (J/gr)	$\lvert A_m - M_m \rvert$ (^{0}C)	$\lvert T_0 - M_s \rvert$ (^{0}C)
5	173,505	186,928	196,828	122,983	101,226	86,640	0,959	-0,397	85,702	25,261
10	138,346	153,021	172,183	124,304	100,131	84,649	1,228	-0,787	52,89	7,021
15	141,529	155,036	173,775	122,462	101,455	84,466	1,212	-1,057	53,581	9,533
20	142,713	158,733	174,379	124,294	102,941	85,622	1,012	-0,904	55,792	9,209
25 (Birinci Çevrim)	141,314	160,489	182,544	124,126	100,777	83,311	1,364	-1,036	59,712	8,594
25 (İkinci Çevrim)	141,724	160,079	181,306	124,967	102,028	82,482	1,199	-1,017	58,051	8,378
25 (Üçüncü Çevrim)	141,264	161,699	181,006	124,136	102,028	83,311	1,348	-1,005	59,671	8,564

7.2.10 2D Alaşımı için DSC sonuçları

84 mg'lık 2D numunesi için ısıtma ve soğutma hızlarına ait DSC eğrileri Şekil 7.58 ve Şekil 7.59'da gösterilmiştir. 2D numunesi için tüm ısıtma ve soğutma dönüşüm sıcaklıkları A_s, A_{max}, A_f, M_s, M_{max} ve M_f, entalpi değerleri, $|A_m - M_m|$ sıcaklık farkı ve $|T_0 - M_s|$ değerleri hesaplanmış ve Çizelge 7.14.'de bu değerler verilmiştir.

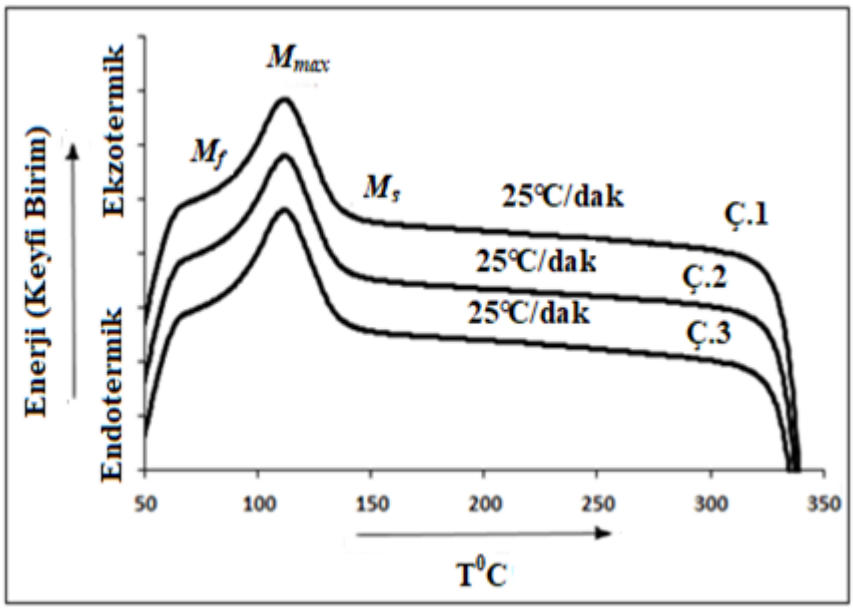


Şekil 7.58. 2D numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak soğutma hızları için DSC eğrileri.

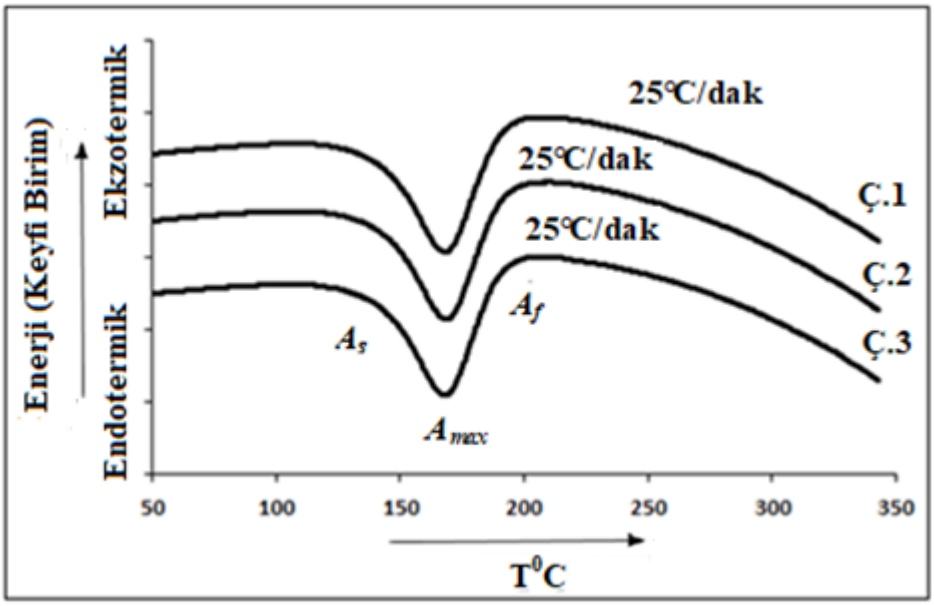


Şekil 7.59. 2D numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak ısıtma hızları için DSC eğrileri.

Şekil 7.60 ve Şekil 7.61'de görüldüğü gibi ileri ve ters dönüşüm sıcaklıklarında birinci ve ikinci çevrimler arasında olduğu gibi üçüncü çevrimde de çok küçük değişimler tespit edilmiştir.



Şekil 7.60. 2D numunesinin 1., 2. ve 3. termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak soğutma hızı DSC eğrileri.



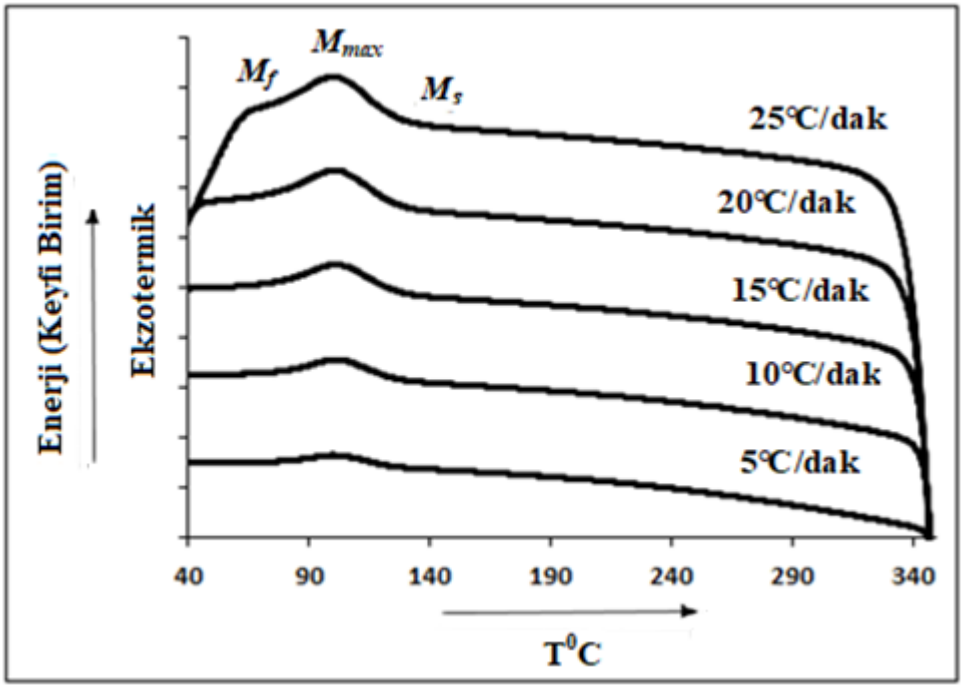
Şekil 7.61. 2D numunesinin 1., 2. ve 3. termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak ısıtma hızı DSC eğrileri.

Çizelge 7.14. 2D numunesi için çevrim sayısı ve uygulanan ısıtma ve soğutma programı için elde edilen deneysel sonuçlar.

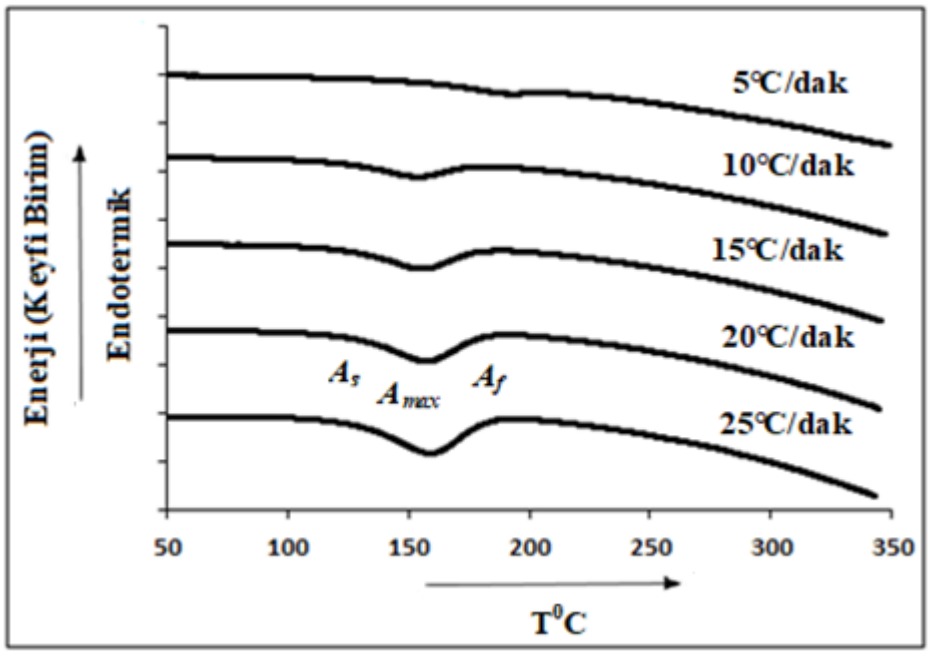
Sıcaklık Prog. (^{0}C/dak)	A_s (^{0}C)	A_{max} (^{0}C)	A_f (^{0}C)	M_s (^{0}C)	M_{max} (^{0}C)	M_f (^{0}C)	$\Delta H_{ısı}$ (J/gr)	$\Delta H_{soğ.}$ (J/gr)	$\lvert A_m - M_m \rvert$ (^{0}C)	$\lvert T_0 - M_s \rvert$ (^{0}C)
5	181,161	195,254	208,742	128,913	112,985	96,571	1,160	-0,498	82,269	26,124
10	143,161	161,318	181,487	130,664	112,979	95,820	1,000	-0,959	48,339	6,248
15	143,241	163,263	181,487	133,247	112,983	95,739	1,065	-0,964	50,28	4,997
20	144,661	165,348	183,657	130,675	114,309	93,699	1,269	-1,159	51,039	6,993
25 (Birinci Çevrim)	143,750	166,682	184,997	130,427	116,238	94,607	1,244	-1,140	50,444	6,661
25 (İkinci Çevrim)	143,328	167,521	184,157	131,680	112,535	94,188	1,292	-1,226	54,986	5,824
25 (Üçüncü Çevrim)	143,749	166,262	184,157	131,690	112,485	94,188	1,256	-1,202	53,777	6,029

7.2.11 2E Alaşımı için DSC sonuçları

83 mg'lık 2E numunesi için ısıtma ve soğutma hızlarına ait DSC eğrileri Şekil 7.62 ve Şekil 7.63'te gösterilmiştir. 2E numunesi için tüm ısıtma ve soğutma dönüşüm sıcaklıkları A_s, A_{max}, A_f, M_s, M_{max} ve M_f, entalpi değerleri, $|A_m - M_m|$ sıcaklık farkı ve $|T_0 - M_s|$ değerleri hesaplanmış ve Çizelge 7.15.'de bu değerler verilmiştir.

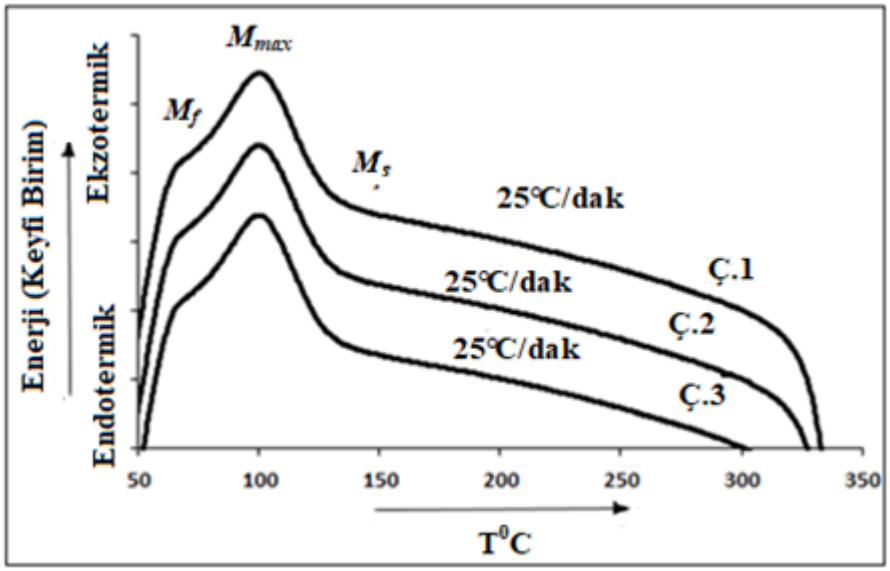


Şekil 7.62. 2E numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak soğutma hızları için DSC eğrileri.

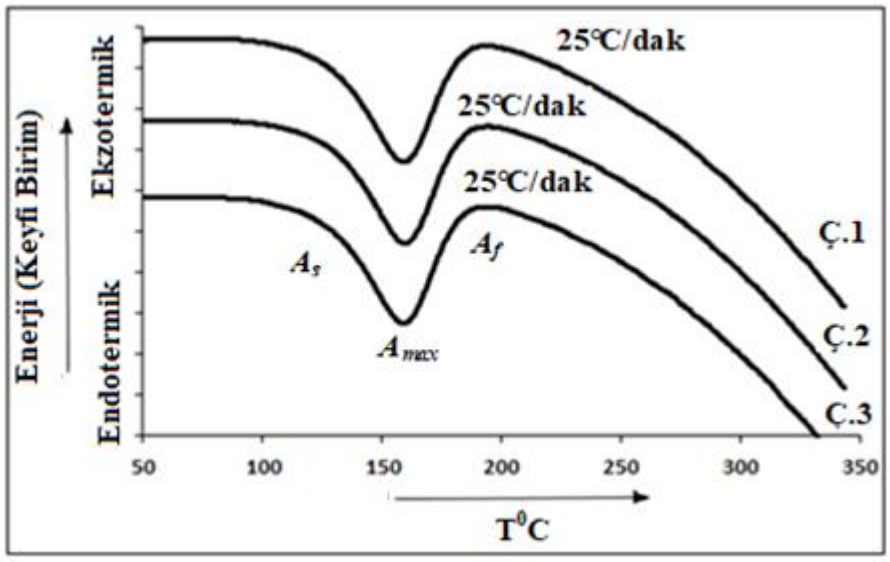


Şekil 7.63. 2E numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak ısıtma hızları için DSC eğrileri.

Şekil 7.64 ve Şekil 7.65'te görüldüğü gibi ileri ve ters dönüşüm sıcaklıklarında birinci ve ikinci çevrimler arasında olduğu gibi üçüncü çevrimde de çok küçük değişimler tespit edilmiştir.



Şekil 7.64. 2E numunesinin 1., 2. ve 3. termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak soğutma hızı DSC eğrileri.



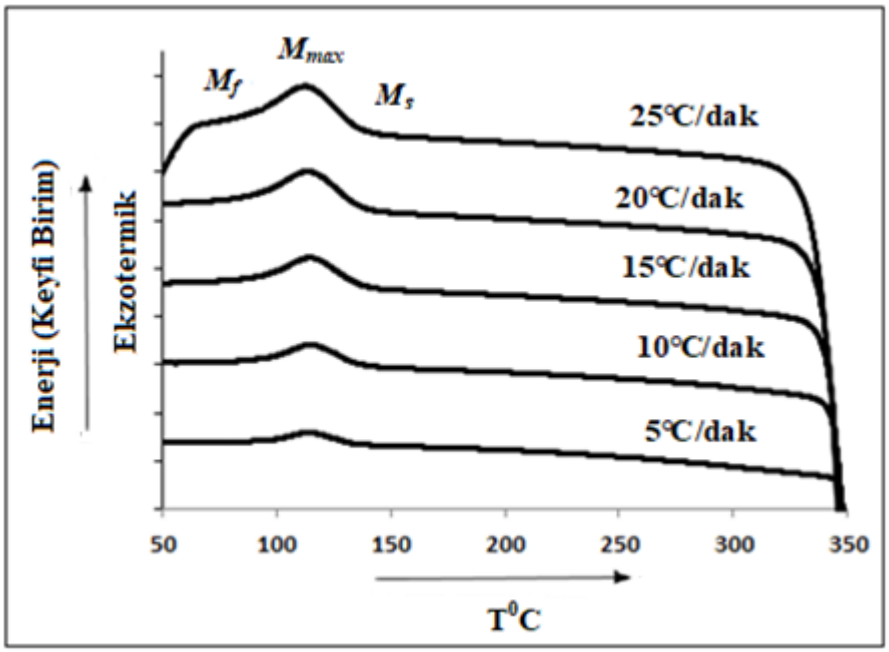
Şekil 7.65. 2E numunesinin 1., 2. ve 3. termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak ısıtma hızı DSC eğrileri.

Çizelge 7.15. 2E numunesi için çevrim sayısı ve uygulanan ısıtma ve soğutma programı için elde edilen deneysel sonuçlar.

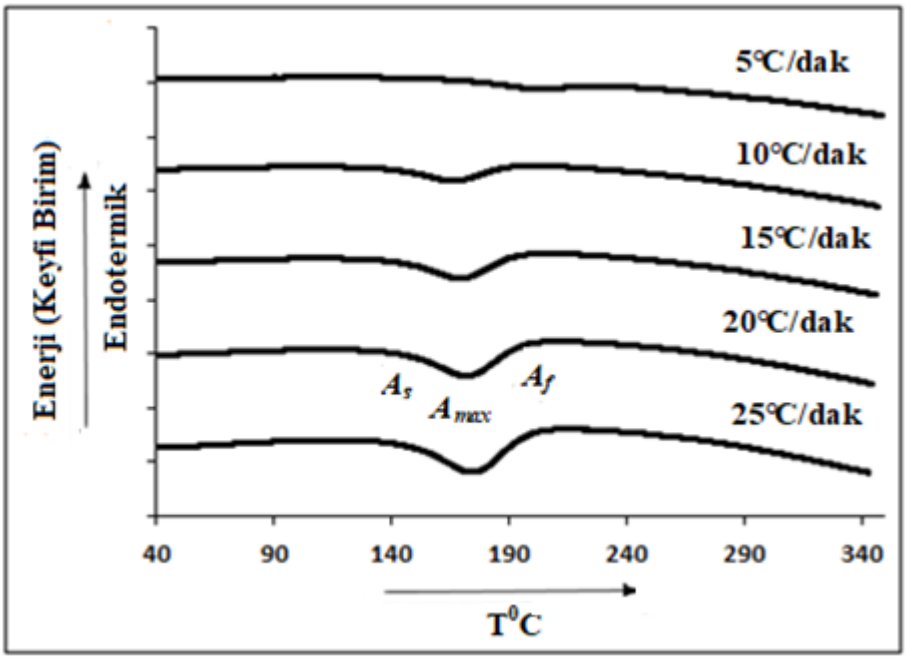
Sıcaklık Prog. (^{0}C/dak)	A_s (^{0}C)	A_{max} (^{0}C)	A_f (^{0}C)	M_s (^{0}C)	M_{max} (^{0}C)	M_f (^{0}C)	$\Delta H_{ısı}$ (J/gr)	$\Delta H_{soğ.}$ (J/gr)	$\lvert A_m - M_m \rvert$ (^{0}C)	$\lvert T_0 - M_s \rvert$ (^{0}C)
5	174,100	189,104	208,764	117,243	101,157	87,820	1,005	-0,556	87,947	28,428
10	141,012	154,517	167,012	119,988	100,137	87,153	1,103	-0,783	54,38	10,512
15	141,029	154,526	167,269	121,735	101,217	87,975	1,103	-0,814	53,309	9,647
20	142,366	156,046	172,693	122,992	101,299	85,320	1,277	-0980	54,747	9,757
25 (Birinci Çevrim)	142,953	158,806	178,783	122,078	101,640	83,765	1,250	-0,991	57,166	10,437
25 (İkinci Çevrim)	142,532	158,805	177,144	122,920	102,062	83,356	1,291	-1,045	56,743	9,806
25 (Üçüncü Çevrim)	143,793	157,555	177,534	122,907	101,222	82,107	1,230	-1,046	56,333	10,443

7.2.12 2F Alaşımı İçin DSC Sonuçları

85 mg'lık 2F numunesi için ısıtma ve soğutma hızlarına ait DSC eğrileri Şekil 7.66 ve Şekil 7.67'de gösterilmiştir. 2F numunesi için tüm ısıtma ve soğutma dönüşüm sıcaklıkları A_s, A_{max}, A_f, M_s, M_{max} ve M_f, entalpi değerleri, $|A_m - M_m|$ sıcaklık farkı ve $|T_0 - M_s|$ değerleri hesaplanmış ve Çizelge 7.16.'da bu değerler verilmiştir.

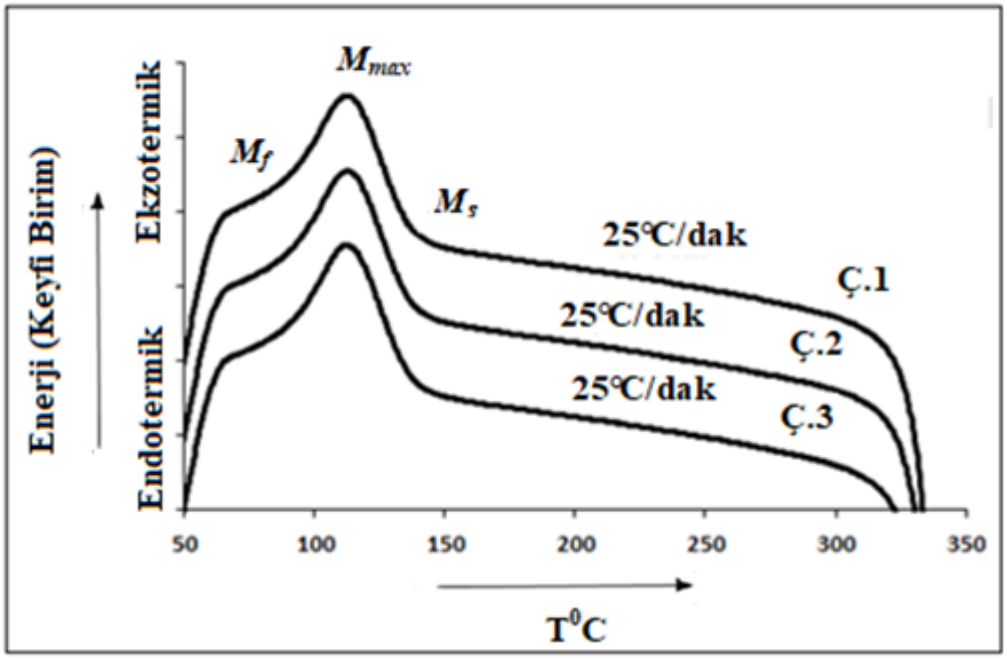


Şekil 7.66. 2F numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak soğutma hızları için DSC eğrileri.

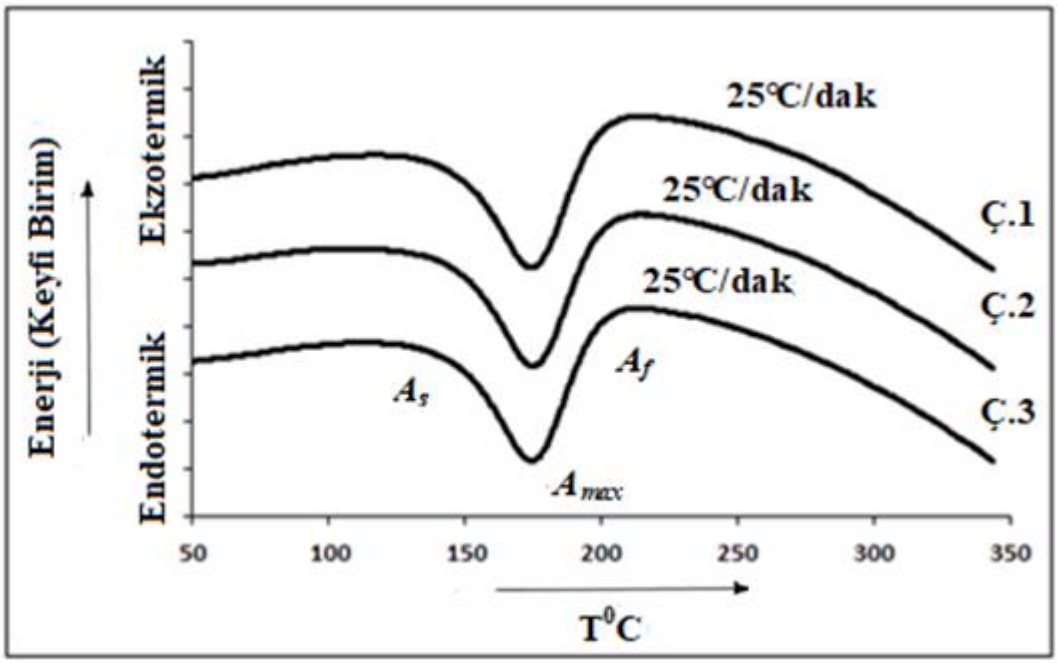


Şekil 7.67. 2F numunesinin 5 ^{0}C/dak, 10 ^{0}C/dak, 15 ^{0}C/dak, 20 ^{0}C/dak, 25 ^{0}C/dak ısıtma hızları için DSC eğrileri.

Şekil 7.68 ve Şekil 7.69'da görüldüğü gibi ileri ve ters dönüşüm sıcaklıklarında birinci ve ikinci çevrimler arasında olduğu gibi üçüncü çevrimde de çok küçük değişimler tespit edilmiştir.



Şekil 7.68. 2F numunesinin 1., 2. ve 3. termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak soğutma hızı DSC eğrileri.



Şekil 7.69. 2F numunesinin 1., 2. ve 3. termal çevrimlerde 25 ^{0}C/dak ısıtma hızı DSC eğrileri.

Çizelge 7.16. 2F numunesi için çevrim sayısı ve uygulanan ısıtma ve soğutma programı için elde edilen deneysel sonuçlar.

Sıcaklık Prog. (^{0}C/dak)	A_s (^{0}C)	A_{max} (^{0}C)	A_f (^{0}C)	M_s (^{0}C)	M_{max} (^{0}C)	M_f (^{0}C)	$\Delta H_{ısı}$ (J/gr)	$\Delta H_{soğ.}$ (J/gr)	$\lvert A_m - M_m \rvert$ (^{0}C)	$\lvert T_0 - M_s \rvert$ (^{0}C)
5	187,167	208,751	211,580	127,742	112,986	100,241	0,779	-0,404	95,765	29,712
10	145,665	163,002	187,313	127,489	114,320	100,328	0,988	-0,737	48,682	9,088
15	148,748	168,007	188,254	130,741	112,984	100,245	0,947	-0,858	55,023	9,003
20	150,329	171,353	190,345	131,662	111,310	101,330	0,989	-0,835	60,043	9,333
25 (Birinci Çevrim)	153,761	173,357	192,915	130,842	111,235	99,587	1,174	-0,936	62,122	11,459
25 (İkinci Çevrim)	153,341	174,608	193,336	130,852	113,735	99,598	1,136	-0,830	60,873	11,244
25 (Üçüncü Çevrim)	153,341	174,608	193,335	130,842	113,325	99,178	1,057	-0,948	61,283	11,249

1 ve 2 numunelerine uygulanan tüm ısıl işlemler sonucu numunelerden alınan DSC verilerinden aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

a) Tüm ölçümlerde hesaplanan M_s sıcaklığının oda sıcaklığının üzerinde olduğu tespit edilmiştir. M_s sıcaklığının oda sıcaklığının üzerinde olması termal etkili martensitik dönüşümün gerçekleşmesini destekler. Bu durum zor etkili martensitik dönüşümün oranını termal etkili martensitik dönüşüme göre azaltır diyebiliriz.

b) Numunelere uygulanan ısıl işlem sonucunda alınan DSC verilerinin hesaplamalarına göre $\lvert A_m - M_m \rvert$ değerlerinin en yüksek 1D ve 2F numunelerinde olduğu, $\lvert T_0 - M_s \rvert$ değerininde 1A ve 2A nuunelerinde yani kriyojenik ısıl işlemin uygulanmadığı numunelerde olduğu gözlemlenmiştir.

c) Her bir numune için çevrim sayısı ve uygulanan ısıtma ve soğutma programı için elde edilen deneysel sonuçlara göre 1A ve 2A numuneleri haricinde diğer bütün numunelerde M_s sıcaklığı A_s sıcaklığından büyük çıkmıştır. Bu

durumda malzemenin martensit sıcaklığının işlem uygulanan numunelerde yüksek çıkması termal martensitin daha baskın olmasını kanıtlamaktadır.

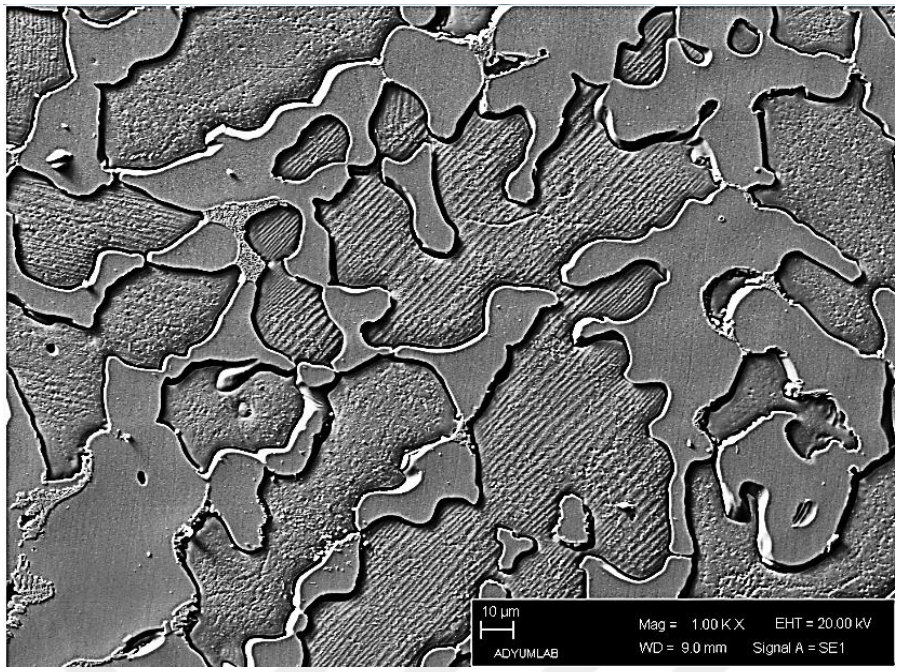
d) Hiç ısıl işlem görmemiş numunede sürücü kuvvetlerin değerinin diğerlerine göre yüksek olduğu tespit edildi. Anlaşıldığı üzere dökümden alınmış numunede faz dönüşümü gerçekleşmesi için sürücü kuvvetin yüksek olması gerekmektedir yani malzemenin stabilizasyonu daha zordur. Malzemeye kriyojenik ısıl işlem uygulanması malzemeyi daha stabile hale getirmiştir. Dolayısıyla $|T_0 - M_s|$ farkında görüldüğü gibi kriyojenik ısıl işlem görmüş numunelerde daha küçüktür.

7.3 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Gözlemleri

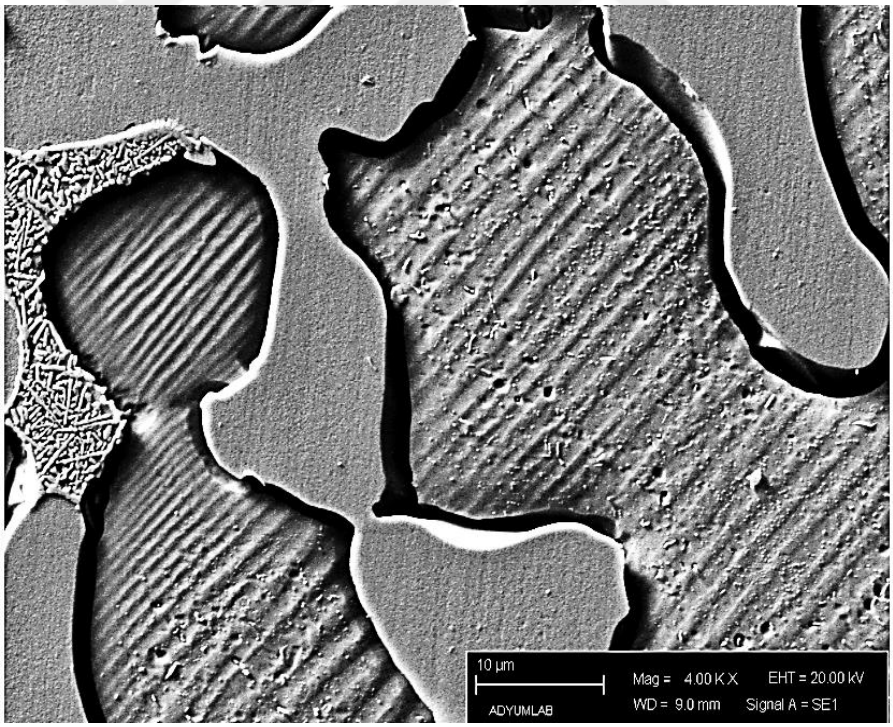
CoNiAlSiMo ve CoNiAlSiSb alaşım numuneleri Çizelge 7.2'de belirtilen ısıl işlemlere tabi tutulmuştur. Bu işlemlerin ardından numuneler parlatıldıktan ve dağlandıktan sonra SEM incelemeleri yapıldı. Numunelerde soğutma süresine bağlı olarak ortaya çıkabilen martensit morfolojileri belirlendi. Ayrıca bu gözlemlerin yapıldığı cihazın EDS bileşeni yardımıyla, kristal yapının ilgilenilen bölgelerinde element analizi yapıldı.

7.3.1 1 Numuneleri Üzerinde SEM Gözlem Sonuçları

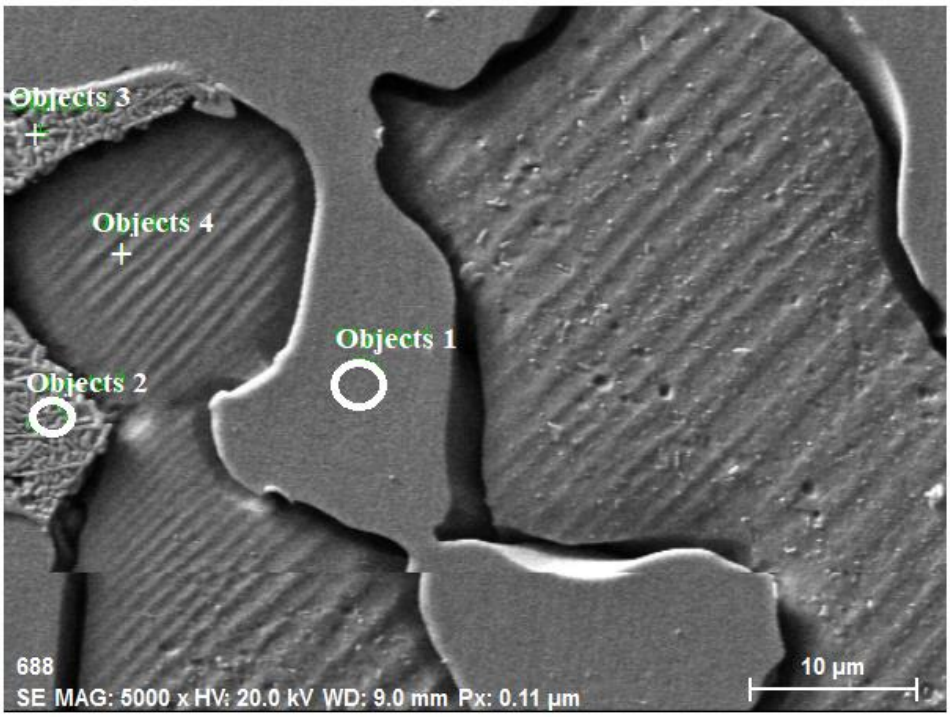
1A numunesine ait mikrograflar Şekil 7.70 ve Şekil 7.71'de verilmiştir. Şekil 7.70'de farklı tanelerin morfolojik yapısı ve birleşme noktaları görülmektedir. Taneler içerisinde oluşan plakaların ince bir yapıya sahip oldukları görülmektedir. Şekil 7.71'de görülen plakaların birbiri ile paralellik gösterdikleri Şekil 7.70'e göre daha net bir şekilde açığa çıkmıştır. Ayrıca Şekil 7.71'nin sol tarafında çökeltiler olduğu görülmektedir. Şekil 7.71'de sol tarafta oluşan bu çökeltilerin, martensit plakaların ve martensit plakaların görülmediği düz bir bölgenin daha iyi anlaşılabilmesi için EDS analizi alınmıştır. Alınan EDS analizleri Şekil 7.72 ve Şekil 7.73'de ve bu analizlerden alınan element analiz sonuçları Çizelge 7.17.'de verilmiştir.



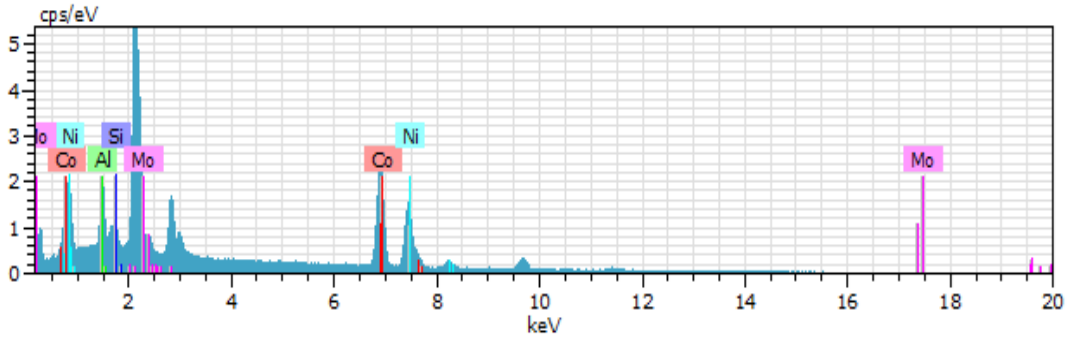
Şekil 7.70. 1A numunesine ait morfoloji.



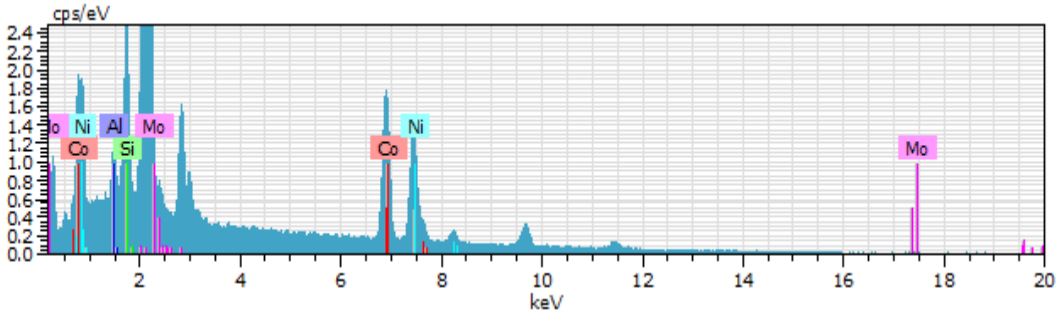
Şekil 7.71. 1A numunesine ait morfoloji.



Şekil 7.72. 1A numunesine ait yapı.

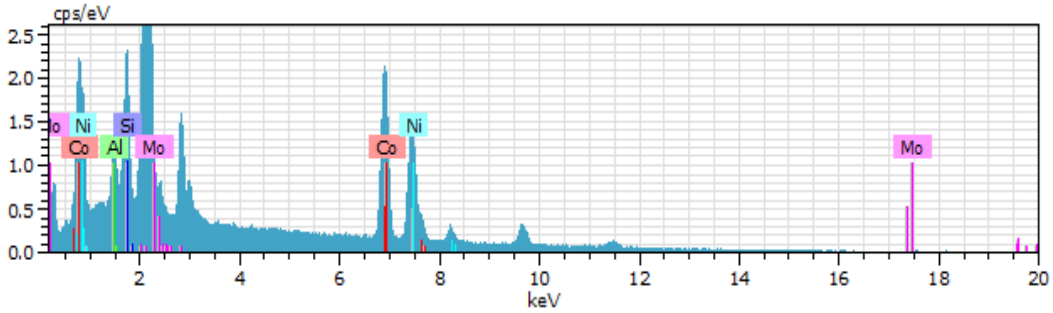


(a)

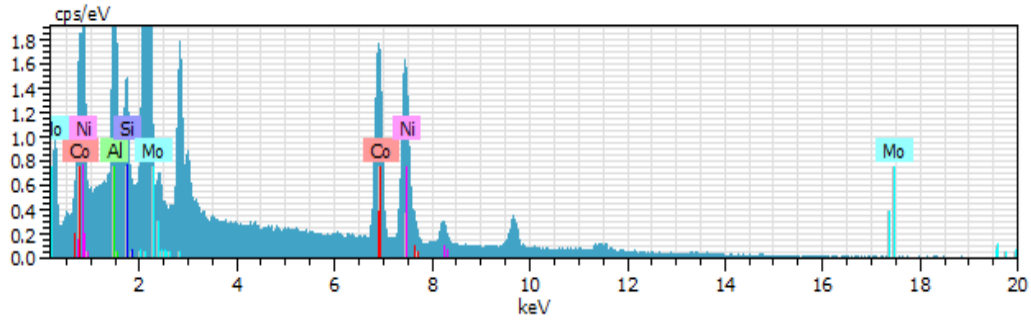


(b)

Şekil 7.73. Şekil 7.72'de gösterilen 1A numunesine ait EDS analizleri a(1) γ fazı bölgesinden b(2) ve c(3) çökelti fazı bölgesinden d(4) martensit plakasından.



(c)



(d)

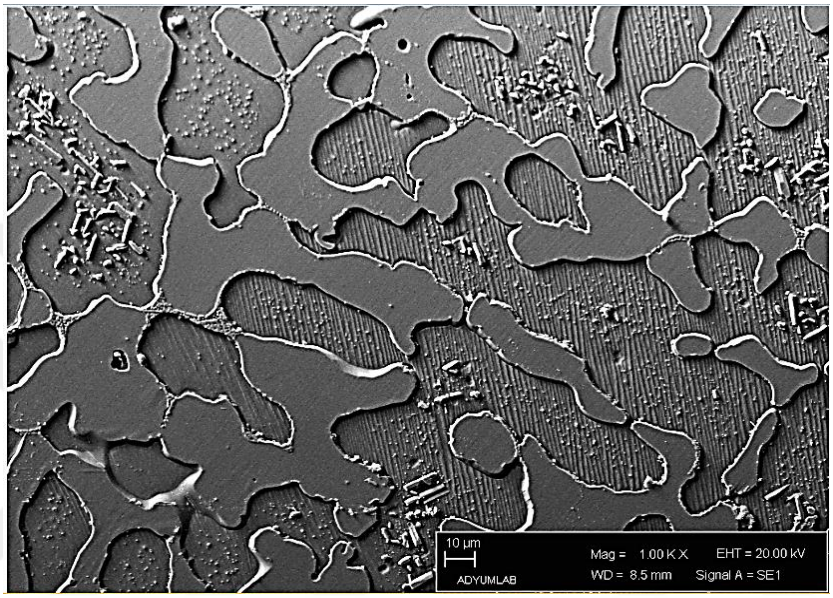
Şekil 7.73.(devam). Şekil 7.72'de gösterilen 1A numunesine ait EDS analizleri a(1) γ fazı bölgesinden b(2) ve c(3) çökelti fazı bölgesinden d(4) martensit plakasından .

Çizelge 7.17. 1A numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 7.72'de gösterilen bölgelere aittir).

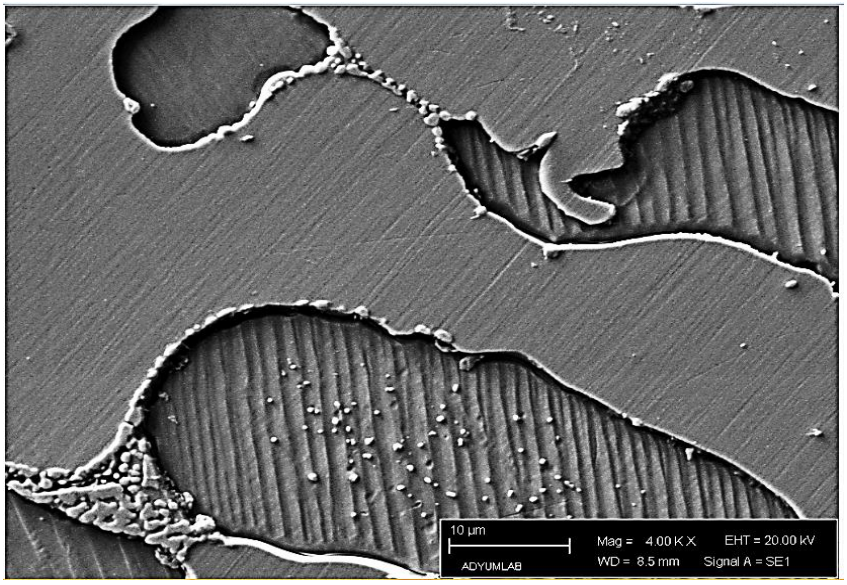
Bulunduğu Yer	Co		Ni		Al		Si		Mo	
	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)
γ Fazı Bölge (1)	50,06	47,63	34,51	32,97	5,38	11,19	1,65	3,30	8,40	4,91
γ′ Fazı (2)	44,99	42,34	35,34	33,39	2,37	4,88	6,72	13,27	10,58	6,12
γ′ Fazı (3)	47,15	44,32	34,87	32,91	3,22	6,62	5,47	10,80	9,29	5,36
Martensit Plaka (4)	40,59	36,28	41,03	36,82	9,44	18,42	2,68	5,03	6,27	3,44

1A numunesine ait EDS analizlerine bakıldığında numunenin Co açısından genel kompozisyonu ile kıyaslandığında daha zengin olduğu anlaşılmaktadır. X-ışını ile alakalı 1A'daki piklerde $L1_0$, γ', B2 ve γ fazları olduğu görülmektedir. Elde edilen morfolojide $L1_0$, γ fazı ve γ'fazları olduğu X-ışını piklerinden de anlaşılmaktadır. B2 fazının diğer fazlara göre XRD pikleri küçük olduğu için B2 fazına morfolojide rastlanmamış olmasına rağmen bazı küçük çökeltilerin B2 fazını temsil ettiği düşünülmektedir.

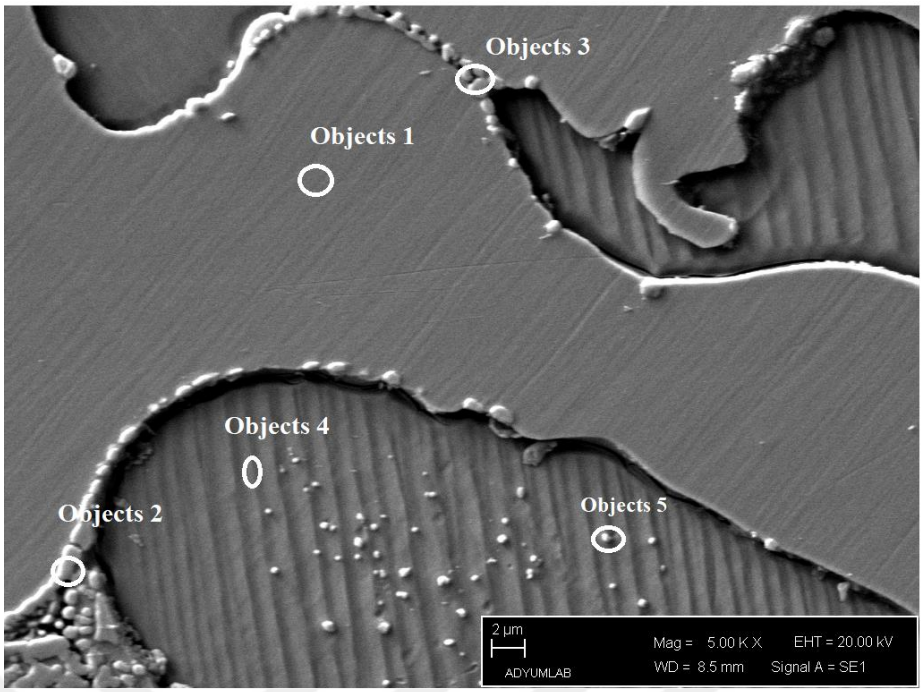
1B numunesine ait mikrograflar ise Şekil 7.74 ve Şekil 7.75'te verilmiştir. Şekil 7.74'de farklı tanelerin morfolojik yapısı ve birleşme noktaları görülmektedir. Şekil 7.74'de Şekil 7.75'e göre martensit plakalar üzerinde bulunan çökeltiler görülmektedir. Bu çökeltilerin varlığı numunenin sıvı azot içerisinde (-196 ^{0}C) kriyojenik ısıl işlem süresinin etkili olduğu düşünülebilir. Ayrıca bu çökeltilerin görüldüğü Şekil 7.74' in sol tarafa doğru tam orta kısmının 4 kat büyültülmüş hali Şekil 7.75'te verilmiştir ve burada çökeltiler daha net görülmektedir.



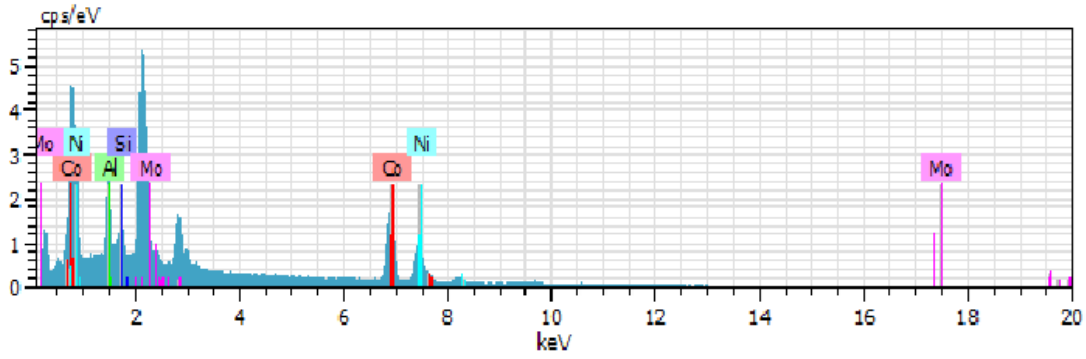
Şekil 7.74. 1B numunesine ait morfoloji.



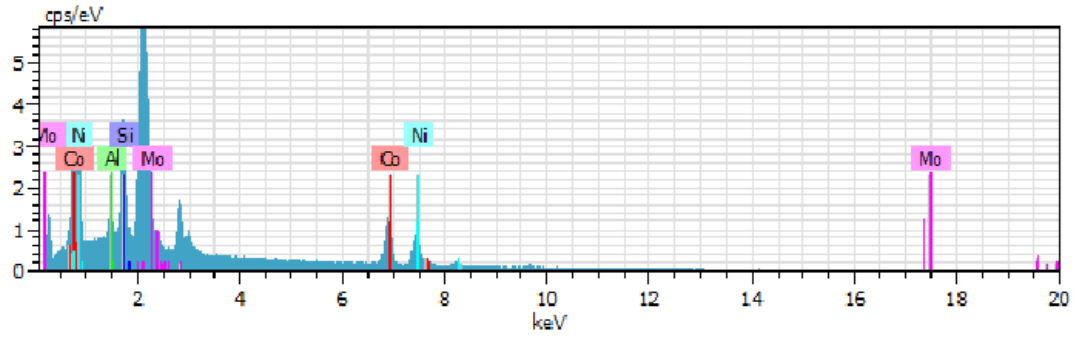
Şekil 7.75. 1B numunesine ait morfoloji.



Şekil 7.76. 1B numunesine ait yapı**.**

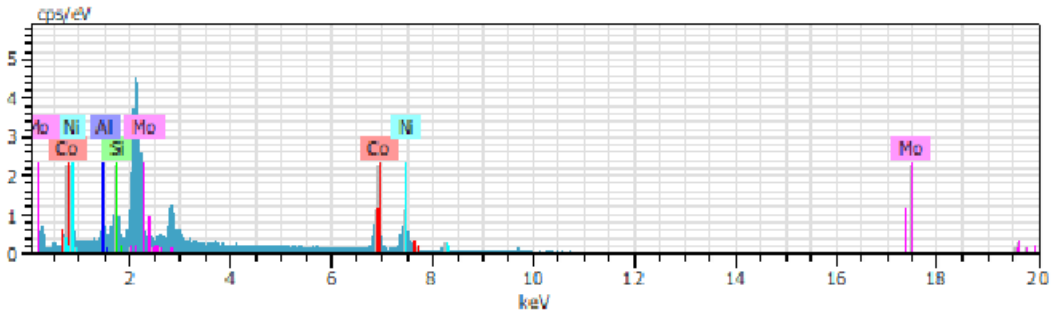


(a)

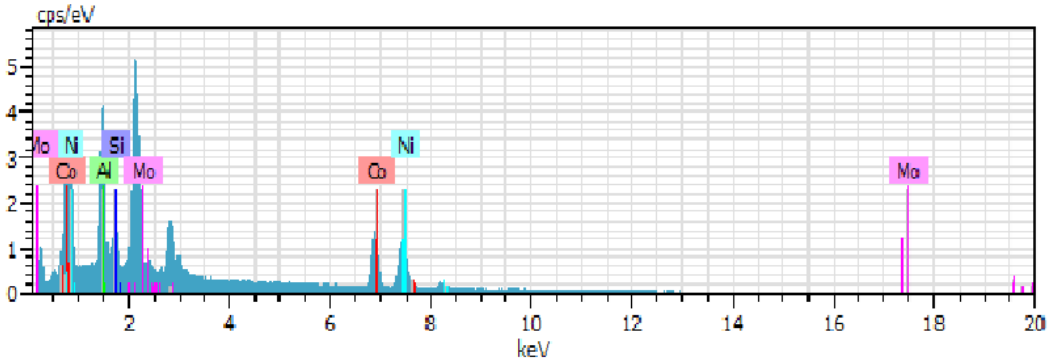


(b)

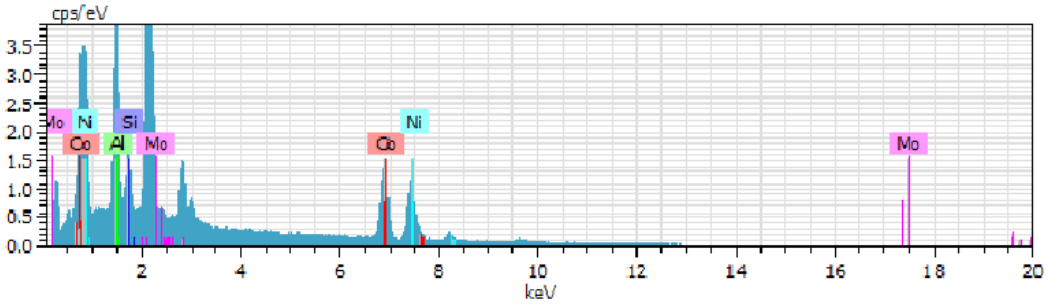
Şekil 7.77. Şekil 7.76'da gösterilen 1B numunesine ait EDS analizleri a (1) γ fazı bölgesinden b (2) ve c (3) çökelti fazı bölgesinden d (4) martensit plakasından (e (5)) çökeltiden.



(c)



(d)



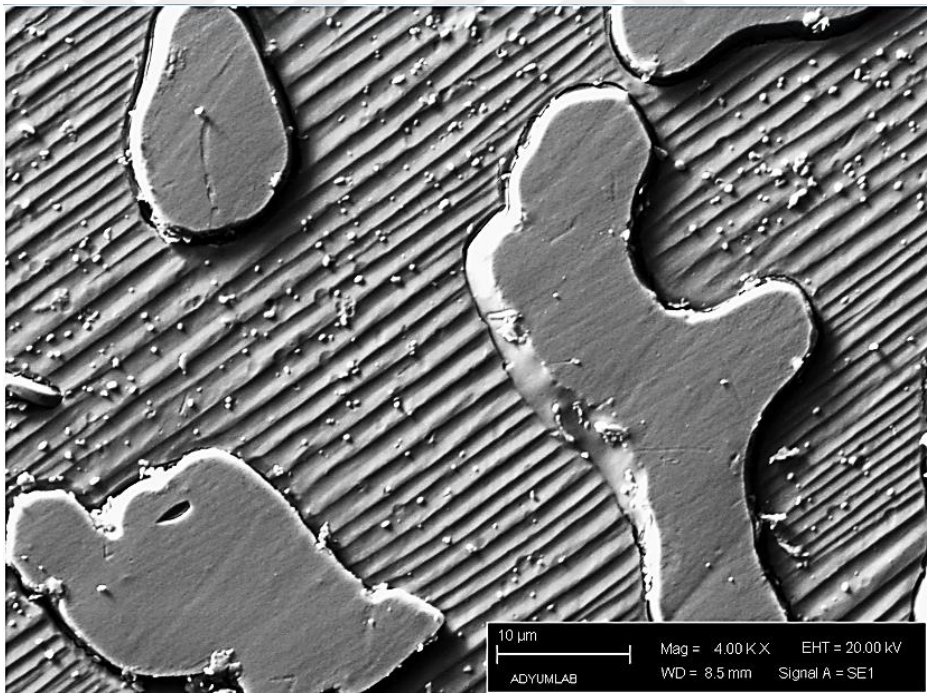
(e)

Şekil 7.77. (devam). Şekil 7.76'da gösterilen 1B numunesine ait EDS analizleri a (1) γ fazı bölgesinden b (2) ve c (3) çökelti fazı bölgesinden d (4). martensit plakasından (e (5)) çökeltiden

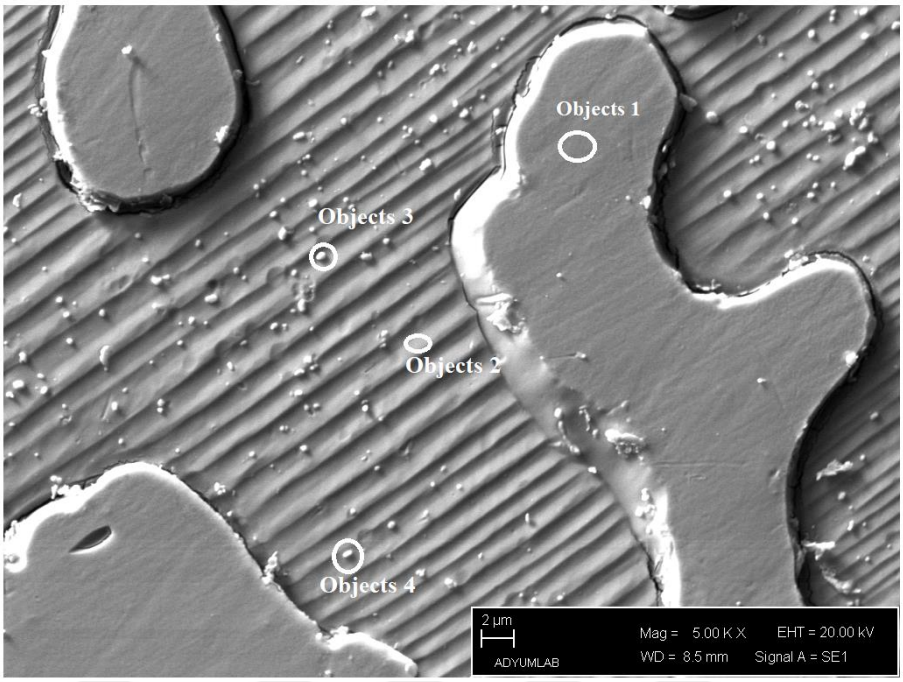
Çizelge 7.18. 1B numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 7.76'da gösterilen bölgelere aittir).

Bulunduğu Yer	Co		Ni		Al		Si		Mo	
	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)
γ Fazı Bölge (1)	50,34	46,32	30,79	28,45	7,77	15,62	2,44	4,72	8,65	4,89
Çökelti (2)	41,57	37,73	30,47	27,77	3,07	6,09	10,79	20,54	14,11	7,86
Çökelti (3)	39,68	36,85	36,56	34,10	3,27	6,63	7,78	15,17	12,70	7,25
Martensit Plaka (4)	39,42	33,13	36,08	30,44	14,93	27,41	3,27	5,77	6,29	3,25
Çökelti (5)	38,77	32,44	36,40	30,58	15,18	27,75	3,43	6,03	6,22	3,20

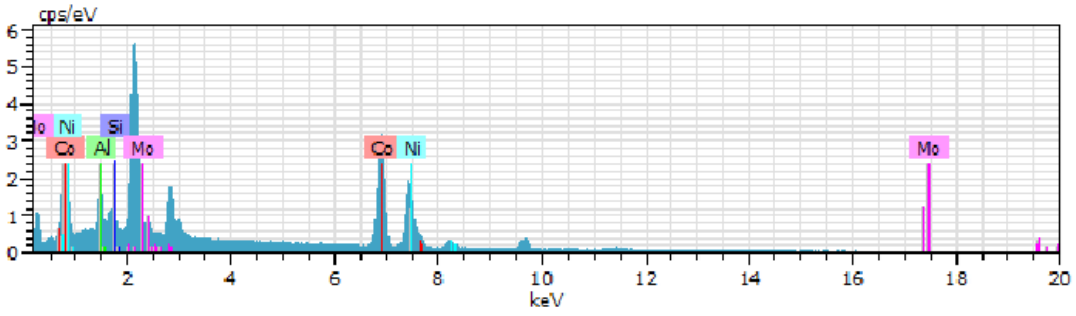
1C numunesine ait mikrograflar Şekil 7.78'te verilmiştir. Burada numuneye ait bir tanenin (grain) bir kısmı görülmektedir. Martensit plakaların oldukça yoğun şekillenimleri ve üzerindeki çökeltiler net bir şekilde görülmektedir. Bu plakaların birbiri ile paralel bir düzene sahip oldukları da anlaşılmıştır.



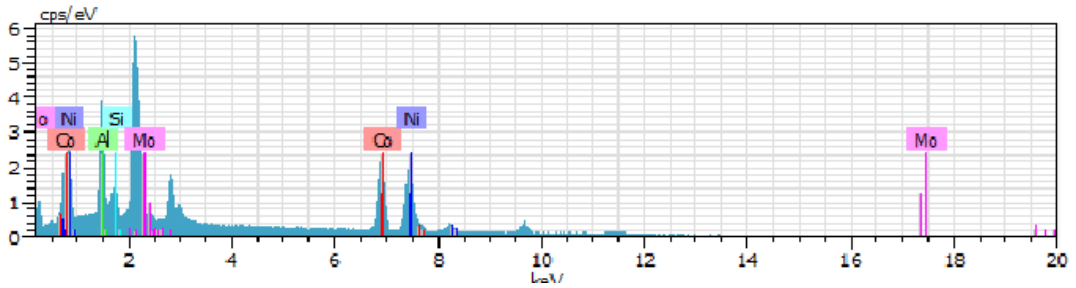
Şekil 7.78: 1C numunesine ait morfoloji.



Şekil 7.79. 1C numunesine ait yapı.

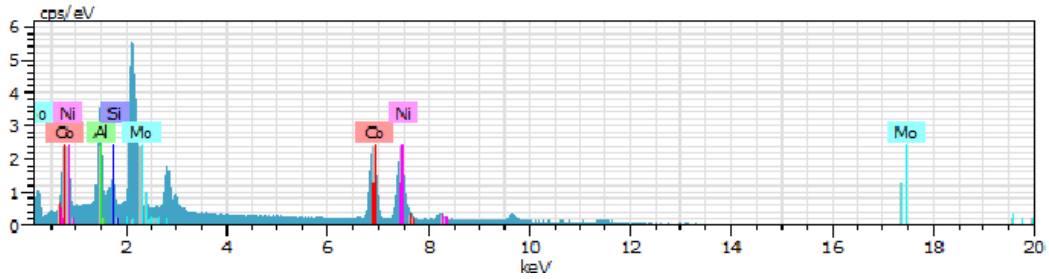


(a)

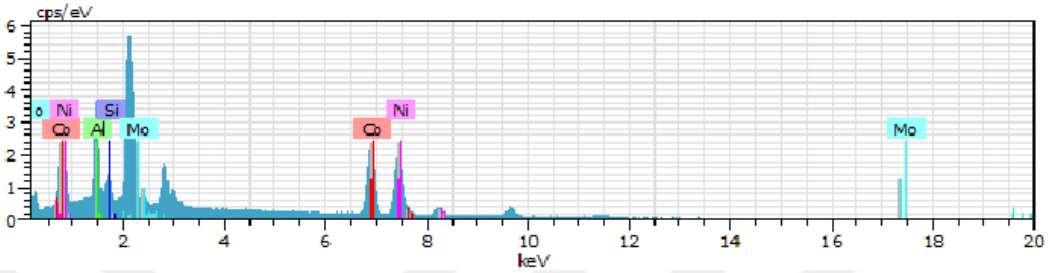


(b)

Şekil 7.80. Şekil 7.79'da gösterilen 1C numunesine ait EDS analizleri a(1) γ fazı bölgesinden b(2) martensit plakasından c(3) ve d(4) γ' fazı bölgesinden.



(c)



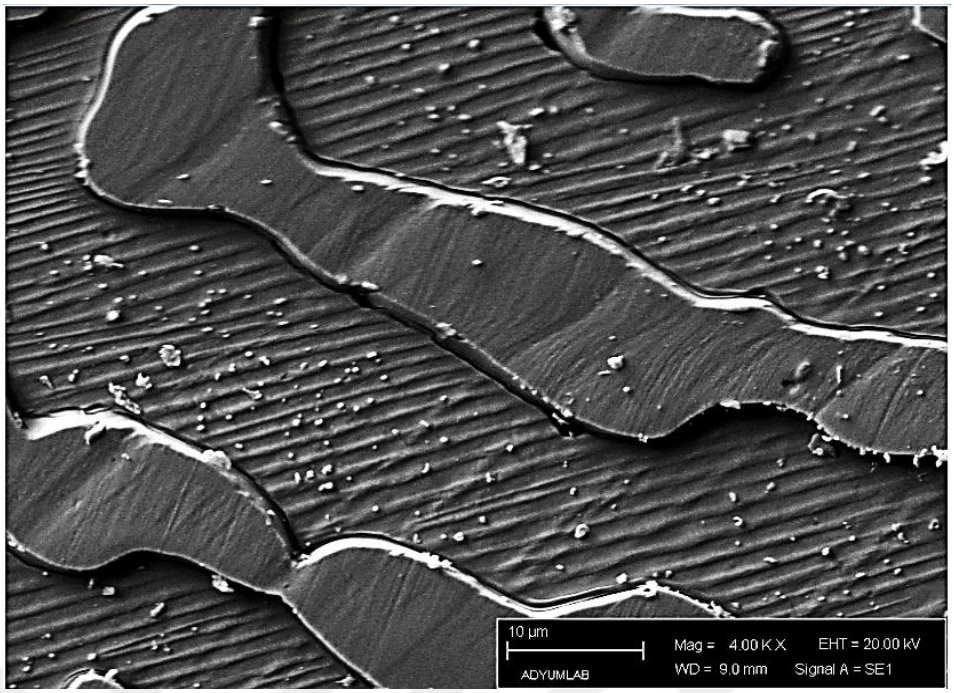
(d)

Şekil 7.80. (devam) Şekil 7.79'da gösterilen 1C numunesine ait EDS analizleri a(1) γ fazı bölgesinden b(2) martensit plakasından c(3) ve d(4) γ' fazı bölgesinden.

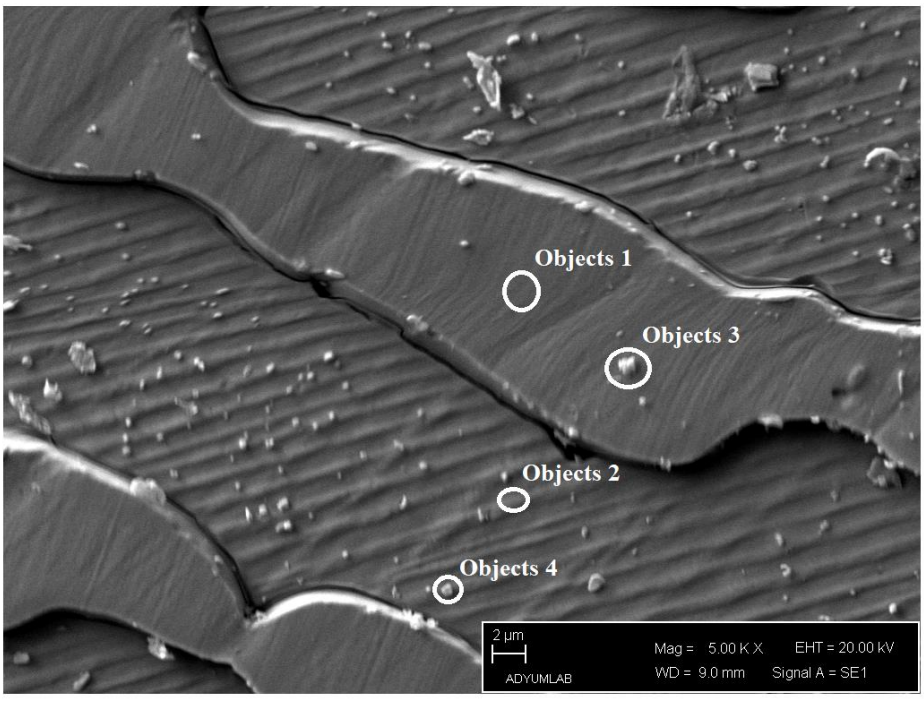
Çizelge 7.19. 1C numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 7.79'da gösterilen bölgelere aittir).

Bulunduğu Yer	Co		Ni		Al		Si		Mo	
	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)
γ Fazı Bölge (1)	52,65	50,41	34,67	33,33	4,45	9,31	1,48	2,98	6,75	3,97
Martensit Plaka (2)	41,38	36,52	41,02	36,52	10,39	20,12	2,09	3,90	5,12	2,79
γ′ Fazı (3)	41,14	36,74	41,66	37,36	9,77	19,06	2,08	3,90	5,36	2,94
γ′ Fazı (4)	41,04	36,62	41,66	37,33	9,89	19,28	2,05	3,84	5,36	2,94

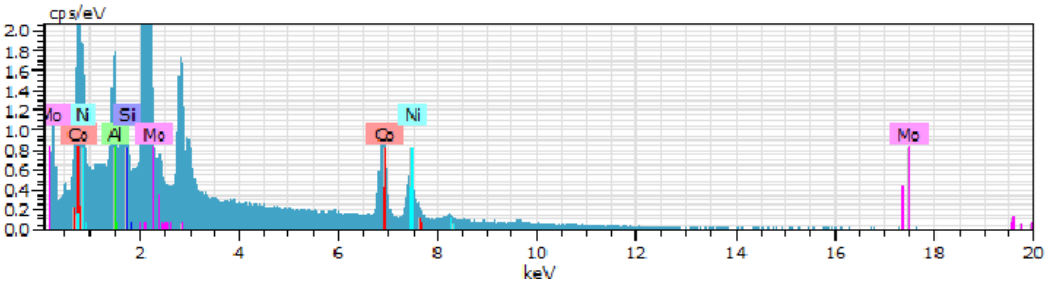
1D numunesine ait mikrograflar Şekil 7.81'de verilmiştir. Yine bu mikrografta, numuneye ait bir tanenin bir kısmı görülmektedir. Martensit plakaların sıklığı diğer numunelerde gözlenen plakalara göre farklı değildir. 1D numunesine ait X-ışını pikleri ile SEM görüntüleri uyuşmaktadır. Piklerden anlaşıldığı kadarıyla bol miktarda bulunan fazın martensit fazı olduğu görülmektedir.



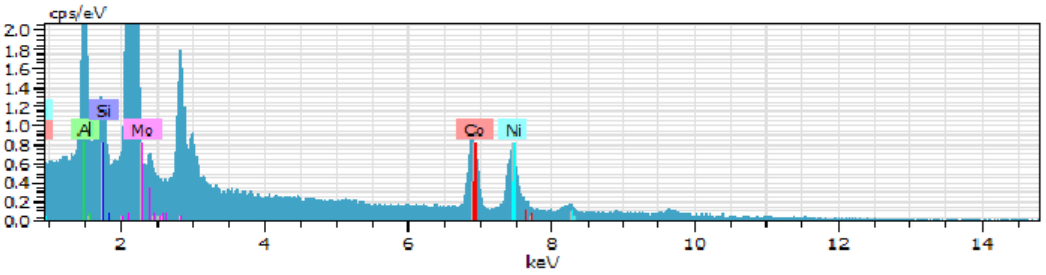
Şekil 7.81. 1D numunesine ait morfoloji.



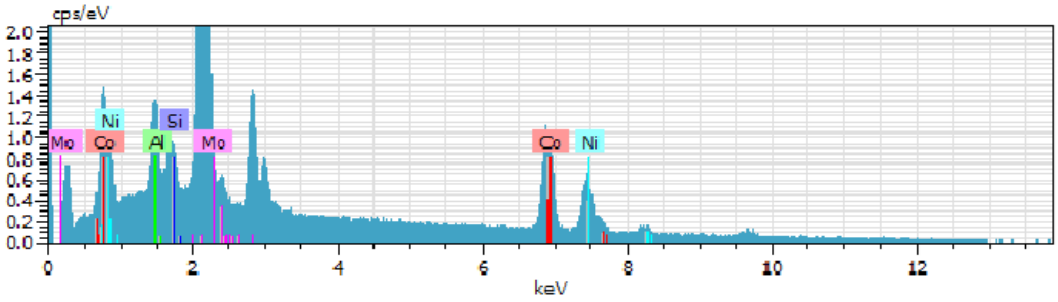
Şekil 7.82. 1D numunesine ait yapı.



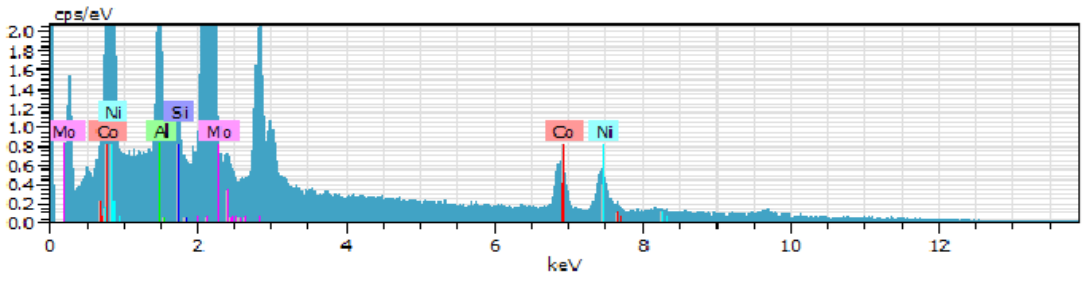
(a)



(b)



(c)



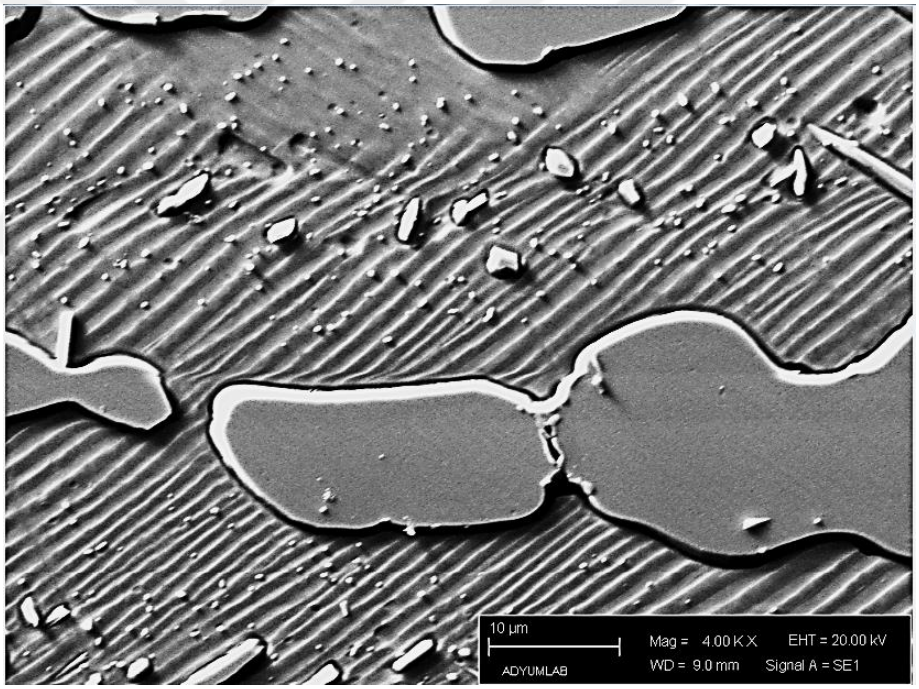
(d)

Şekil 7.83. Şekil 7.82'de gösterilen 1D numunesine ait EDS analizleri a (1) γ fazı bölgesinden b (2) martensit plakasından c (3) ve d (4) çökelti fazı bölgesinden.

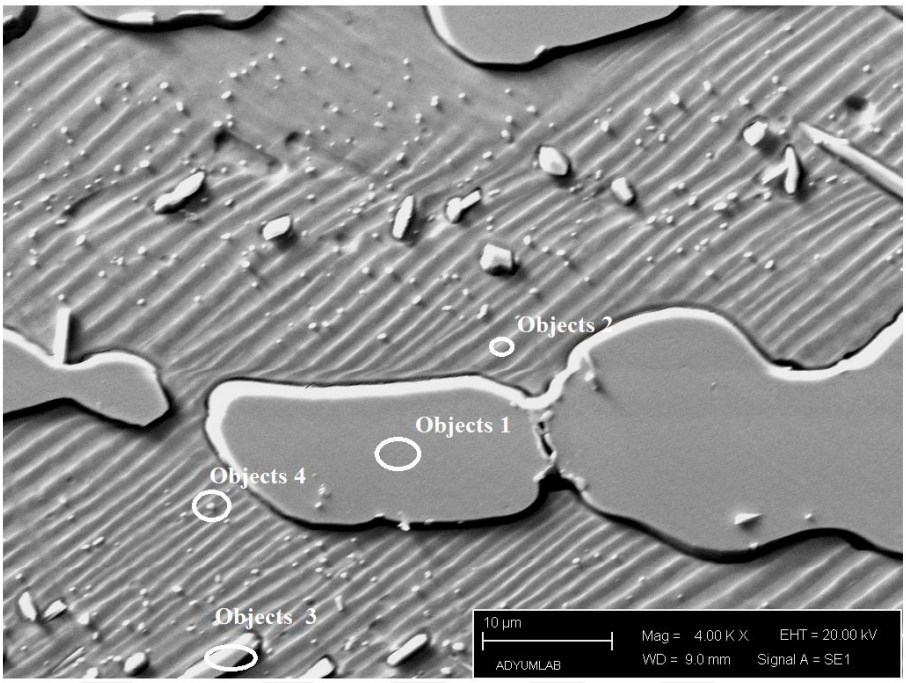
Çizelge 7.20. 1D numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 7.82'de gösterilen bölgelere aittir).

Bulunduğu Yer	Co		Ni		Al		Si		Mo	
	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)
γ Fazı Bölge (1)	48,84	45,89	26,76	25,25	7,46	15,31	2,71	5,34	14,23	8,21
Martensit Plaka (2)	36,87	31,28	34,01	28,96	15,12	28,01	3,54	6,30	10,47	5,45
Çökelti (3)	47,14	44,64	28,07	26,69	6,87	14,21	2,88	5,71	15,04	8,75
Çökelti (4)	32,76	28,34	29,15	25,33	15,51	29,31	3,91	7,10	18,67	9,92

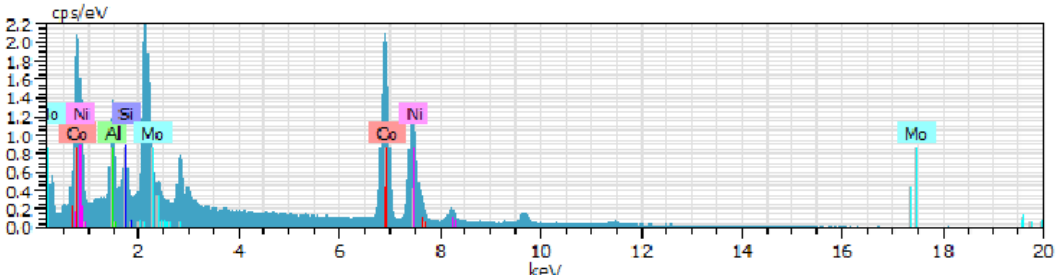
1E numunesine ait mikrograflar Şekil 7.84'te verilmiştir. Şekilde γ ve martensit fazlarına ait morfolojinin bir kısmı görülmektedir. Yine plakalar diğer numunelerde de olduğu gibi paralel bir şekilde yönelmişlerdir.



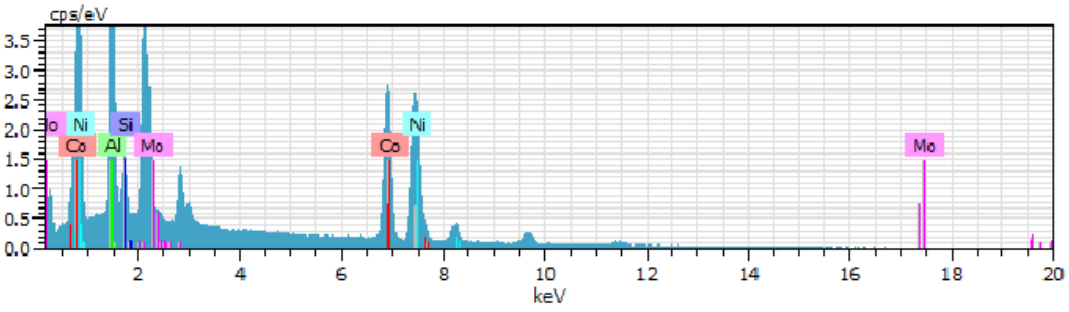
Şekil 7.84. 1E numunesine ait morfolojisi.



Şekil 7.85. 1E numunesine ait yapı.

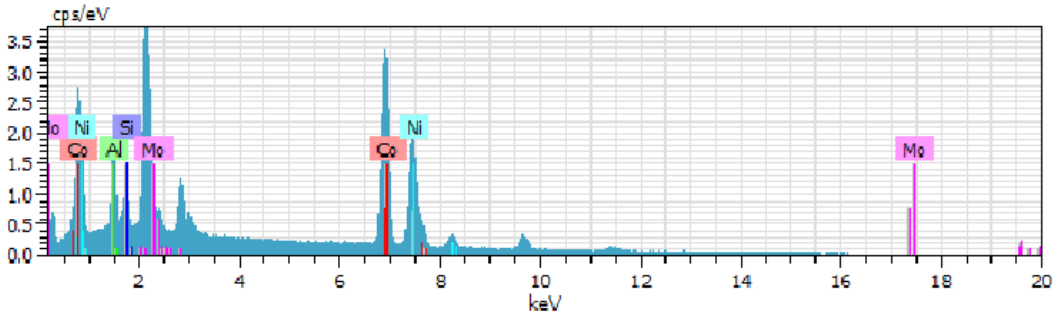


(a)

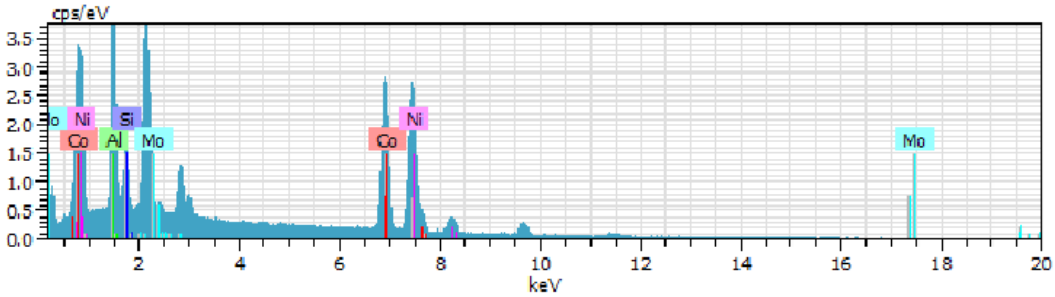


(b)

Şekil 7.86. Şekil 7.85'de gösterilen 1E numunesine ait EDS analizleri a (1) γ fazı bölgesinden b (2) martensit plakasından c (3) γ fazı çökeltisi ve d (4) γ' fazı bölgesinden.



(c)



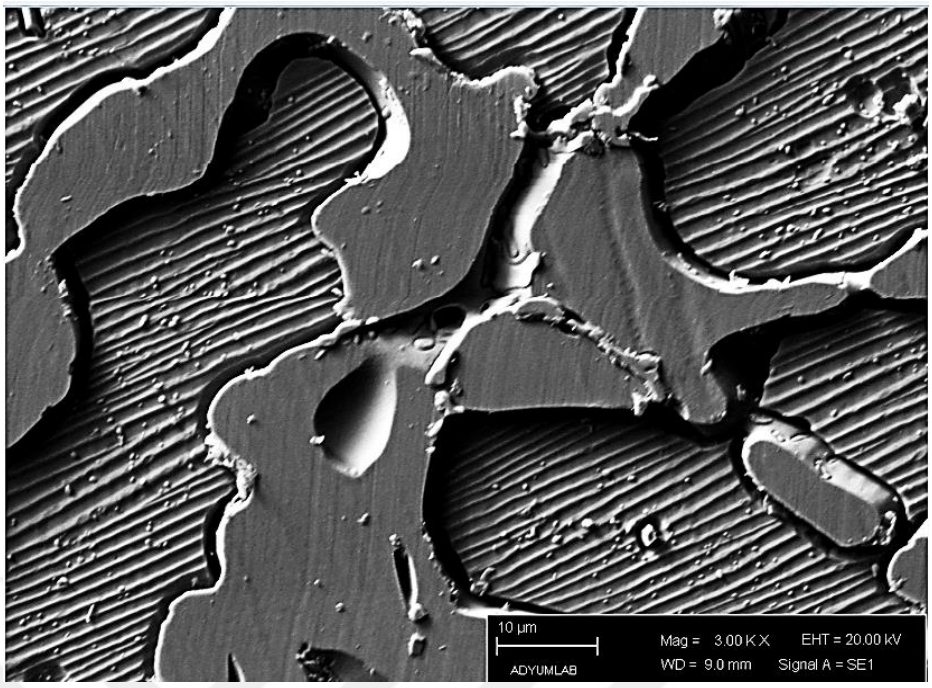
(d)

Şekil 7.86. (devam). Şekil 7.85'de gösterilen 1E numunesine ait EDS analizleri a (1) γ fazı bölgesinden b (2) martensit plakasından c (3) γ fazı çökeltisi ve d (4) γ' fazı bölgesinden.

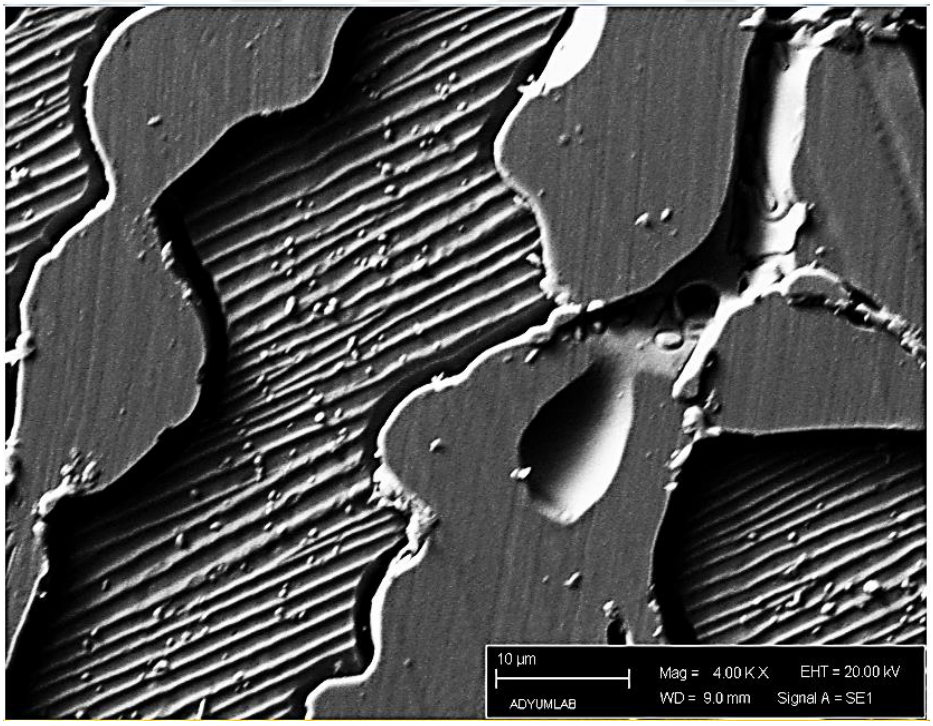
Çizelge 7.21. 1E numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 7.8'te gösterilen bölgelere aittir).

Bulunduğu Yer	Co		Ni		Al		Si		Mo	
	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)
γ Fazı Bölge (1)	53,09	50,37	34,97	33,32	4,84	10,02	1,53	3,04	5,57	3,25
Martensit Plaka (2)	40,84	35,51	42,22	36,86	11,57	21,97	2,16	3,95	3,20	1,71
γ Fazı Çökeltisi (3)	52,68	50,11	33,93	32,41	4,85	10,08	1,71	3,42	6,82	3,99
γ′ Fazı (4)	40,56	35,58	43,41	38,24	10,76	20,61	2,09	3,85	3,17	1,71

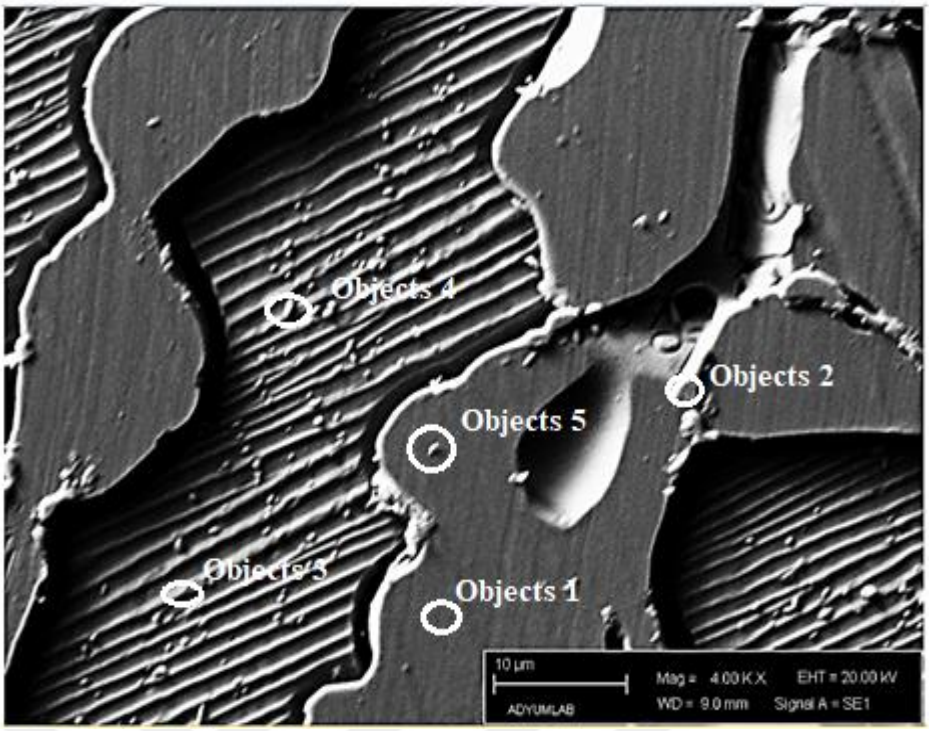
1F numunesine ait mikrograflar Şekil 7.87 ve Şekil 7.88'te verilmiştir. Bu mikrografta da görülmektedir ki martensit plakalar sık ve birbiri ile paralel bir şekildedir. Ayrıca diğer numunelerin mikrograflarında olduğu gibi bu numunede de γ yapıda bulunan taneler martensit kristallerin ilerlemesini engellemektedir. Şekil 7.88'te görülen morfoloji Şekil 7.87'dekinin bir miktar büyütülmüştür.



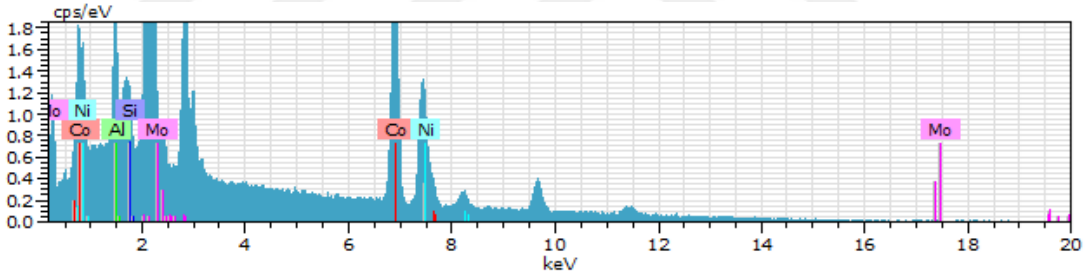
Şekil 7.87. 1F numunesine ait morfolojisi.



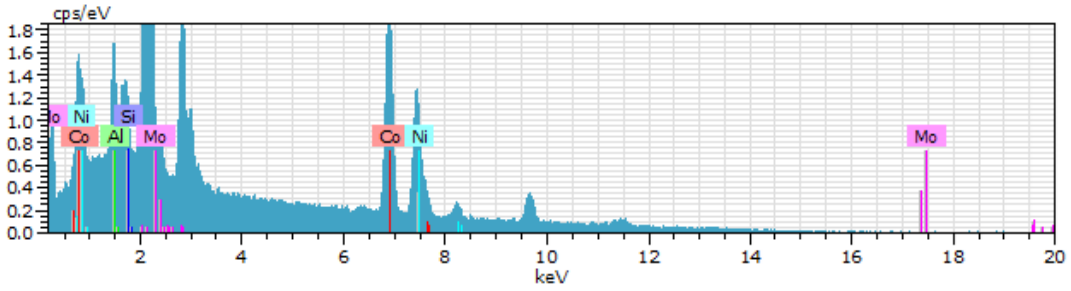
Şekil 7.88. 1F numunesine ait morfolojisi.



Şekil 7.89. 1F numunesine ait yapı.

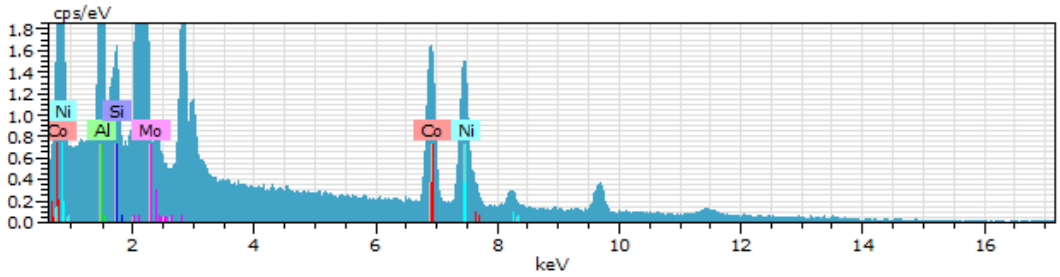


(a)

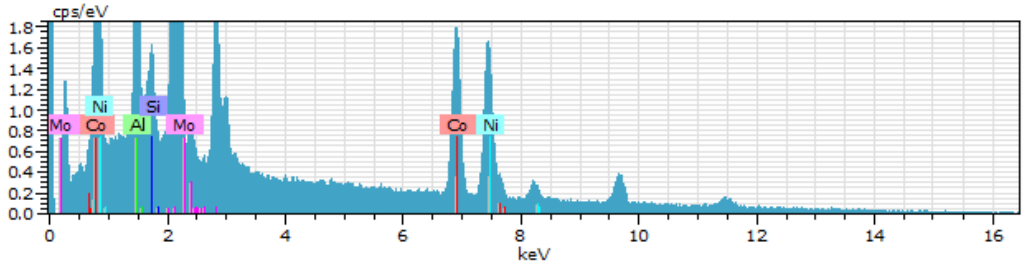


(b)

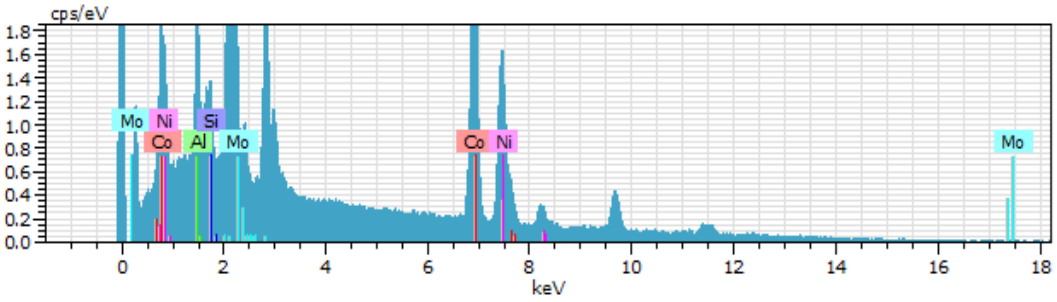
Şekil 7.90. Şekil 7.89'te gösterilen 1F numunesine ait EDS analizleri a (1)) γ fazı bölgesinden b (2) çökeltiden c (3) martensit plakadan d (4) ve e (5) çökeltiden.



(c)



(d)



(e)

Şekil 7.90. (devam). Şekil 7.89'te gösterilen 1F numunesine ait EDS analizleri a (1)) γ fazı bölgesinden b (2) çökeltiden c (3) martensit plakadan d (4) ve e (5) çökeltiden.

Çizelge 7.22. 1F numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 7.89'da gösterilen bölgelere aittir).

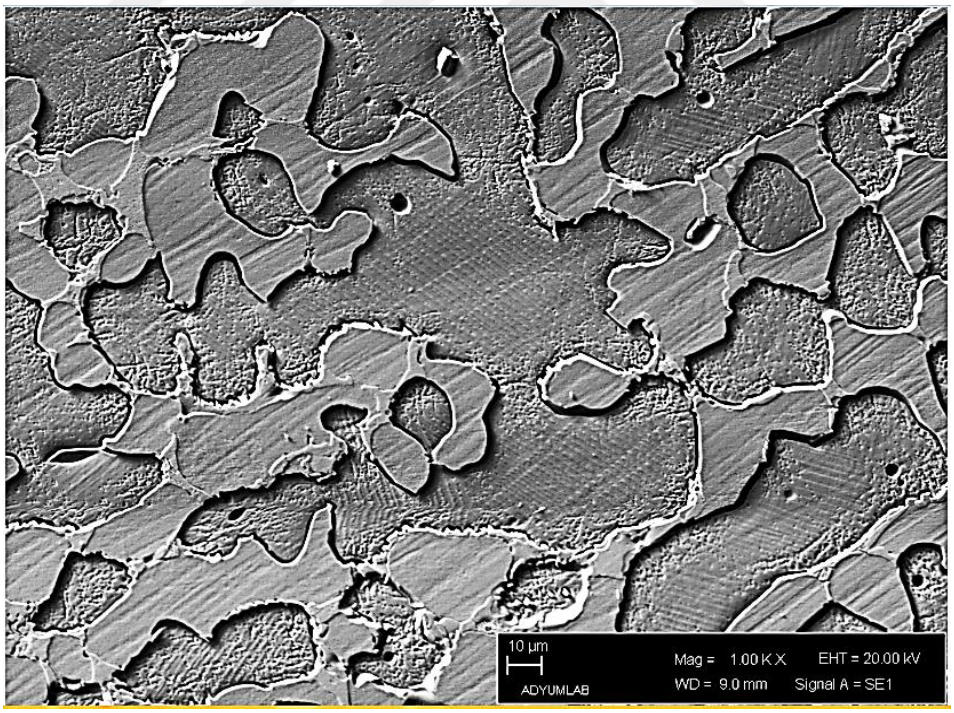
Bulunduğu Yer	Co		Ni		Al		Si		Mo	
	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)
γ Fazı Bölge (1)	50,84	49,06	32,26	31,26	4,68	9,85	1,80	3,64	10,42	6,18
Çökelti Fazı (2)	49,83	48,27	32,11	31,23	4,35	9,19	2,19	4,45	11,52	6,85
Martensit Plaka (3)	38,80	34,56	38,84	34,73	10,69	20,79	2,68	5,01	8,99	4,92
Çökelti Fazı (4)	39,50	34,94	38,80	34,45	10,99	21,24	2,71	5,03	8,00	4,34
Çökelti Fazı (5)	50,26	48,65	34,72	33,75	4,19	8,85	1,61	3,26	9,23	5,49

1F alaşımında anlaşıldığı gibi 1,2 ve 5 bölgeleri Co ve Mo açısından numunenin genel kompozisyonu kıyaslandığında daha zengindir.

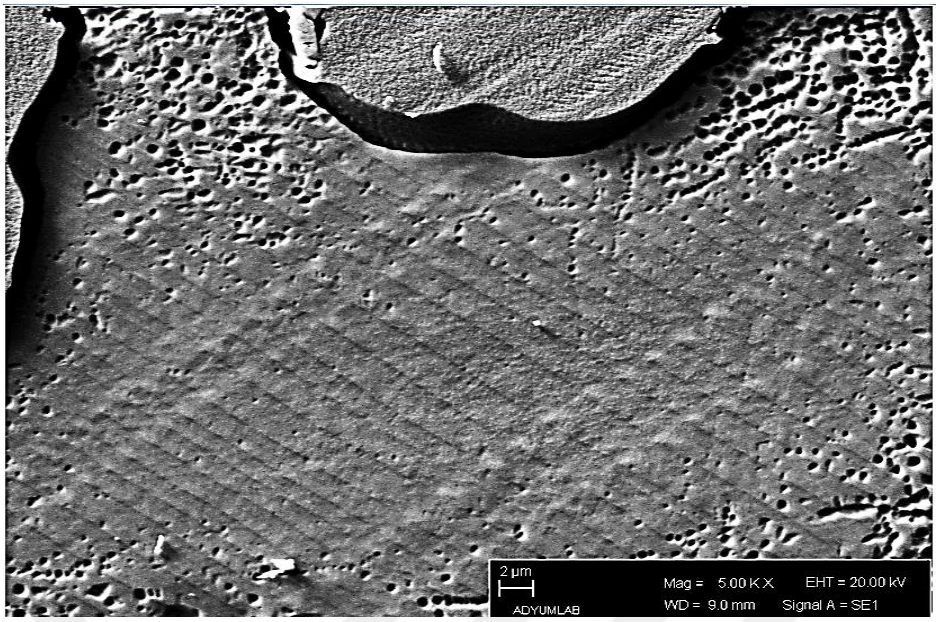
Oluşan martensit kristallerinin işlem öncesi (1A numunesi) ve işlem sonrası elektron mikroskop fotoğrafları çekilmiş kriyojenik ısıl işlem süresi arttıkça martensit plakalar sıklaşmakta ve üzerindeki çökeltiler de daha net görülmüştür.

7.3.2 2 Numuneleri Üzerinde SEM Gözlem Sonuçları

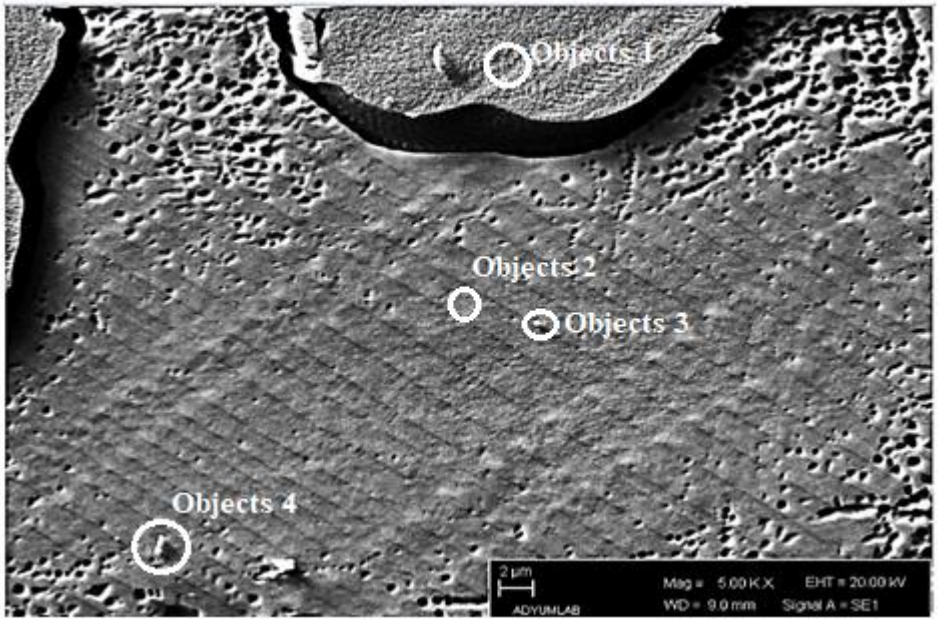
2A numunesine ait mikrograflar Şekil 7.91 ve Şekil 7.92'de verilmiştir. Şekil 7.91'de farklı tanelerin morfolojik yapısı ve birleşme noktaları görülmektedir. γ fazı olarak tabir edilebilecek bölgeler arasında oluşan plakaların ince bir yapıya sahip oldukları tespit edilmiştir. Şekil 7.92, Şekil 7.91'nin 5 kat büyültülmüş halidir. Ayrıca Şekil 7.92'de Şekil 7.91'nin tam orta kısmının sağ alt köşesi alınmıştır. Şekil 7.92'de görülen martensit plakaların birbiri ile paralellik gösterdikleri Şekil 7.91'e göre daha net bir şekilde görülmektedir.



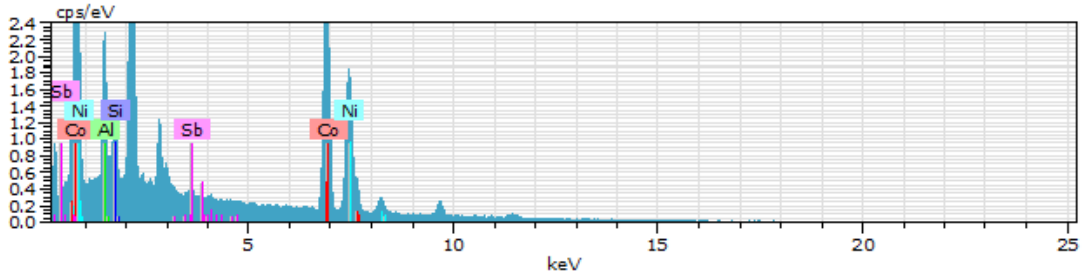
Şekil 7.91. 2A numunesine ait morfoloji.



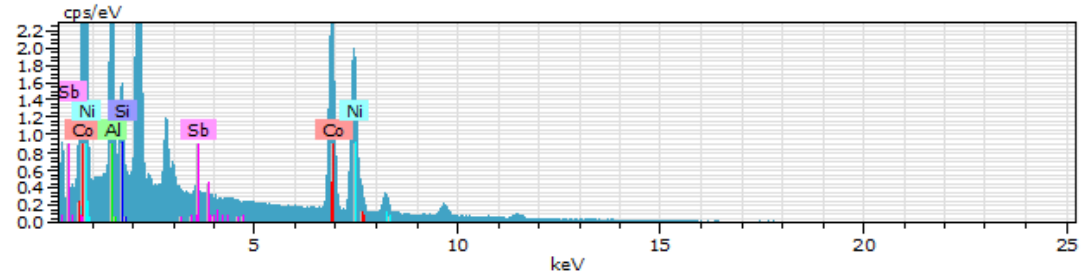
Şekil 7.92. 2A numunesine ait morfoloji.



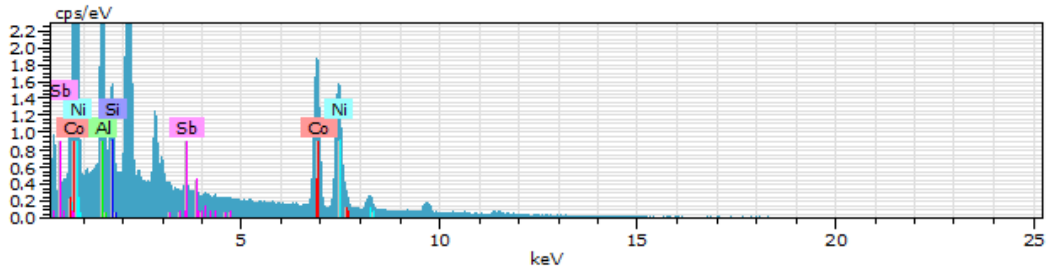
Şekil 7.93. 2A numunesine ait yapı.



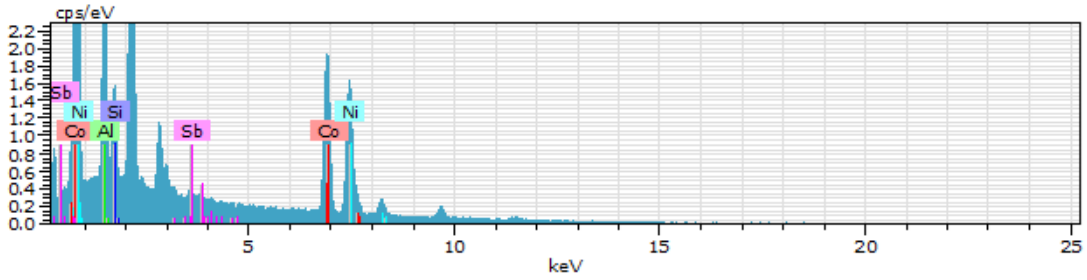
(a)



(b)



(c)



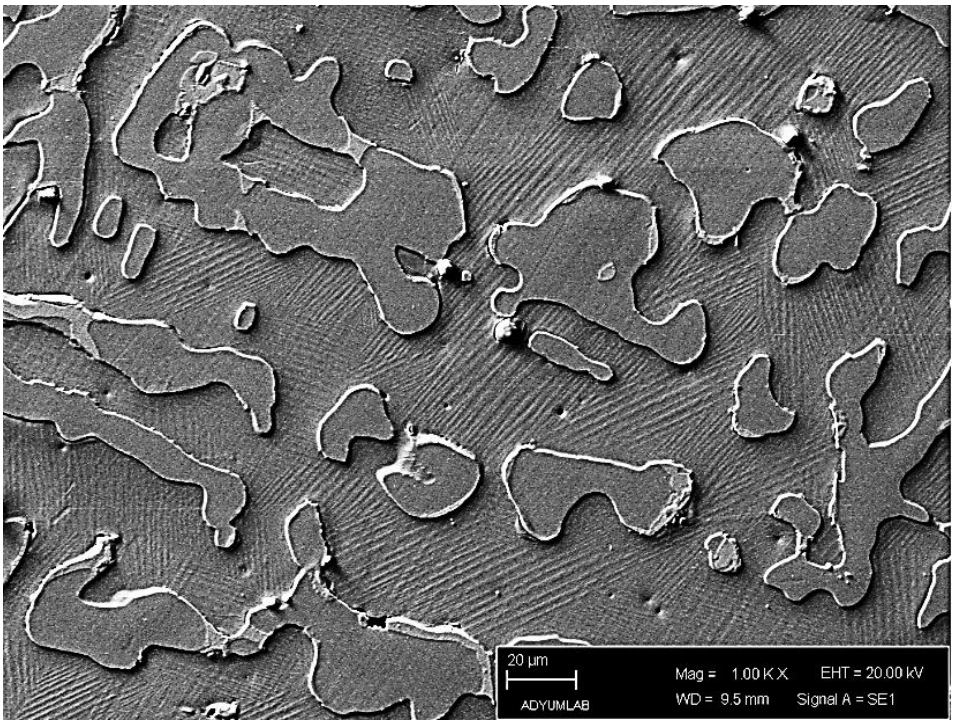
(d)

Şekil 7.94. Şekil 7.93'da gösterilen 2A numunesine ait EDS analizleri a (1) γ fazı bölgesinden b (2) martensit plakadan c (3) ve d (4) çökeltiden.

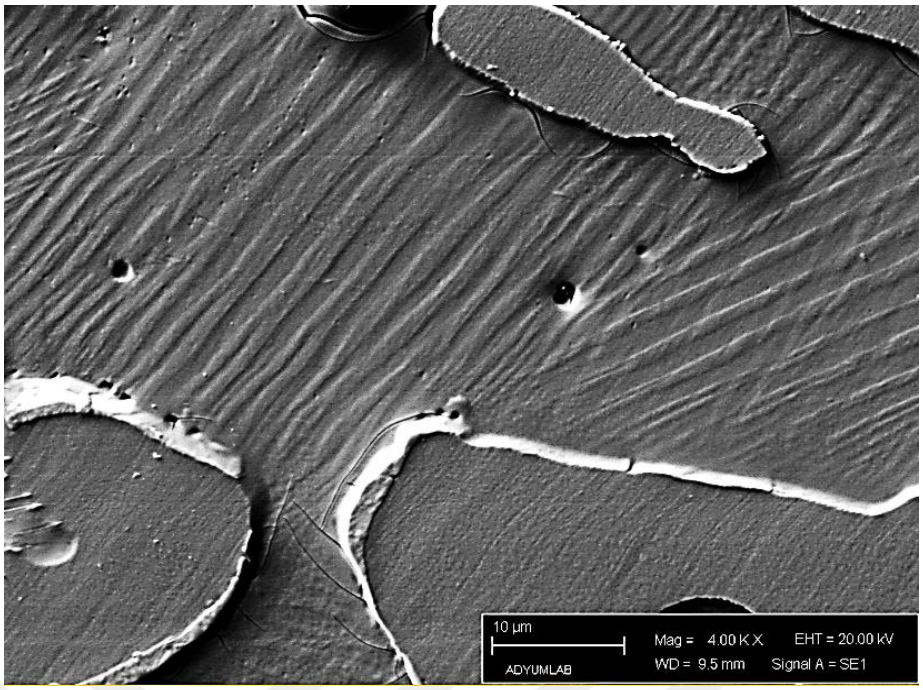
Çizelge 7.23. 2A numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 7.93'te gösterilen bölgelere aittir).

Bulunduğu Yer	Co		Ni		Al		Si		Sb	
	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)
γ Fazı Bölge (1)	55,01	51,09	35,50	33,10	5,80	11,76	1,59	3,10	2,11	0,95
Martensit Plaka (2)	43,41	37,57	40,56	35,25	11,35	21,46	2,69	4,88	1,99	0,83
Çökelti (3)	41,90	35,46	39,29	33,39	13,29	24,56	3,16	5,62	2,36	0,97
Çökelti (4)	42,71	36,68	39,08	33,70	12,13	22,76	3,12	5,63	2,95	1,23

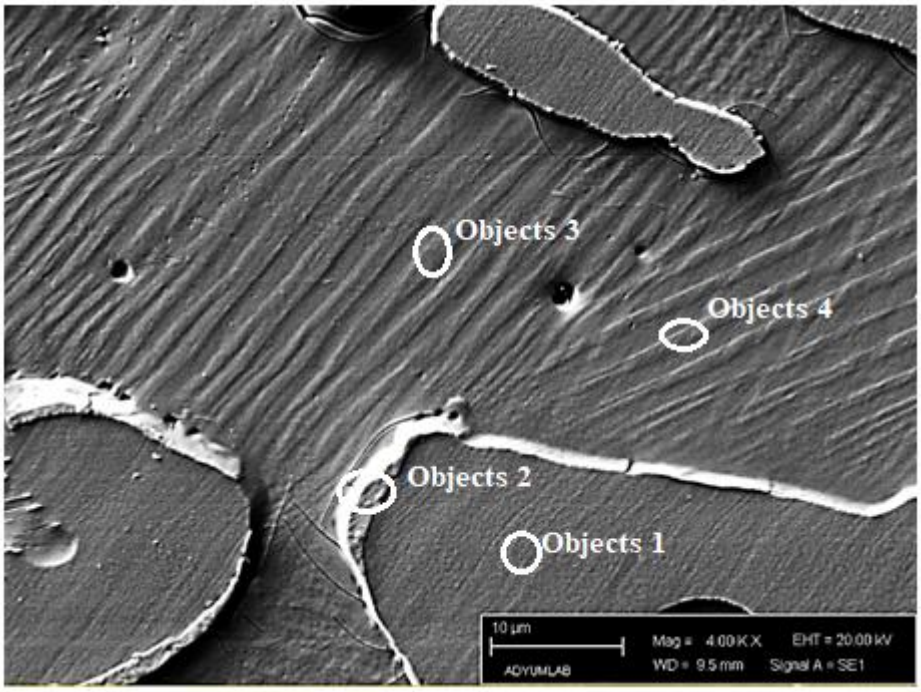
2B numunesine ait mikrograflar Şekil 7.95 ve Şekil 7.96'da verilmiştir. Şekil 7.96, Şekil 7.95'in 4 kat büyültülmüş halidir. Şekil 7.96'da farklı tanelerin morfolojik yapısı ve birleşme noktaları görülmektedir. Her iki şekilden de görüleceği gibi martensit plakalar sık bir yapıya sahiptir ve oldukça belirgindir. Birbirine paralel belirlenmiş plakalar ile hemen hemen onlara dik ve aynı sıklıkta yönelmiş başka plakalar üst üste istiflenmişlerdir. Şekil 7.96'daki mikrografta sağ alt köşede bulunan γ fazına ait büyük morfolojinin burun kısmında γ fazı morfolojisine doğru uzayan mikroçatlaklar olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bunların bir kısmı da burun mesafesini çevreleyerek yönelmiştir.



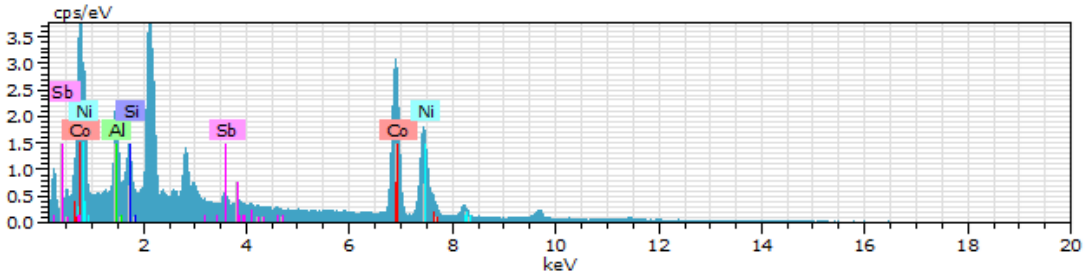
Şekil 7.95. 2B numunesine ait morfoloji.



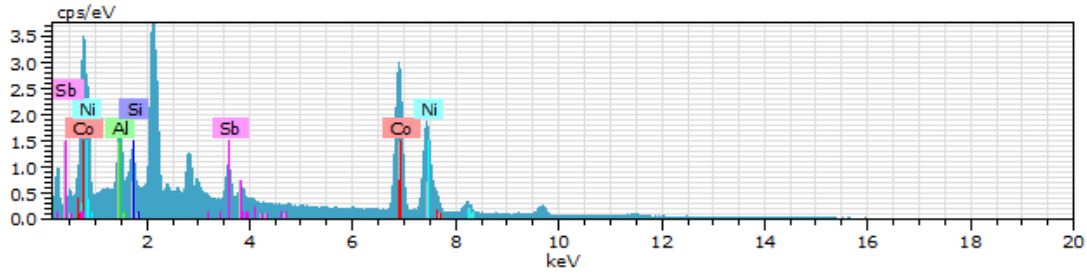
Şekil 7.96. 2B numunesine ait morfoloji.



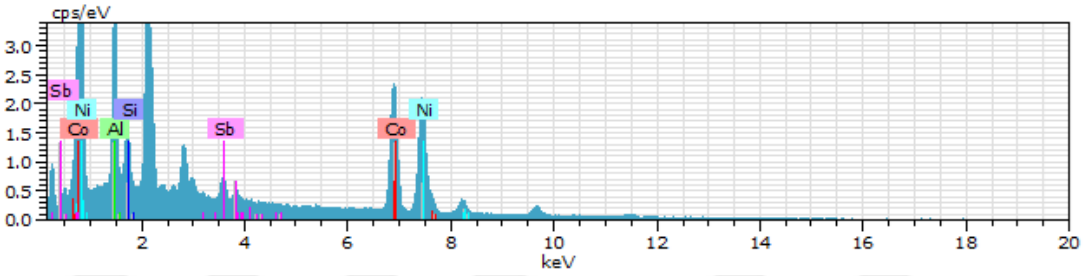
Şekil 7.97. 2B numunesine ait yapı.



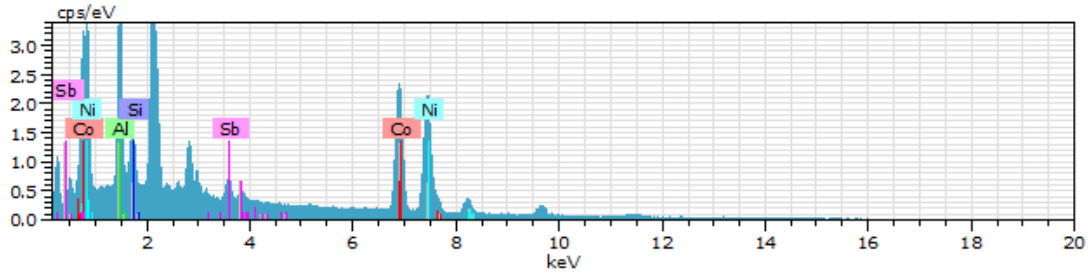
(a)



(b)



(c)



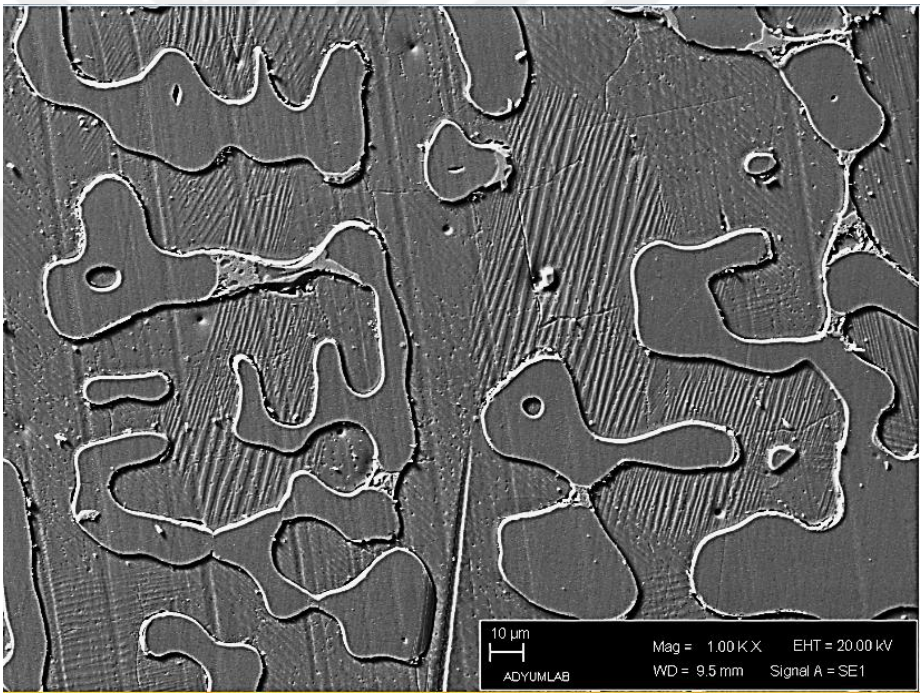
(d)

Şekil 7.98. Şekil 7.97'de gösterilen 2B numunesine ait EDS analizleri a (1) γ fazı bölgesinden b (2) çökelti bölgesinden c (3) ve d (4) martensit plakadan.

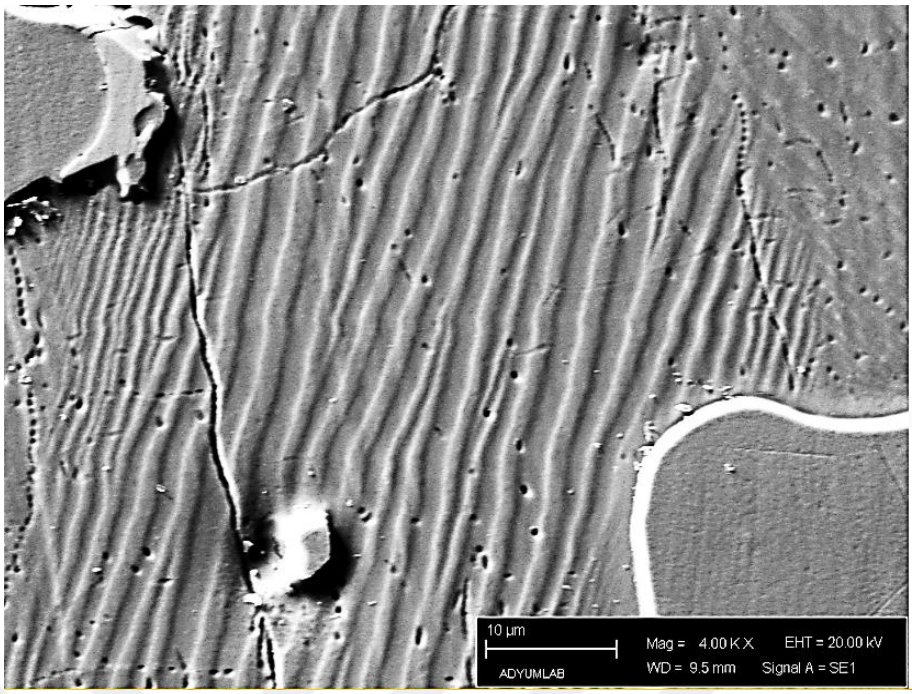
Çizelge 7.24. 2B numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 7.97'de gösterilen bölgelere aittir).

Bulunduğu Yer	Co		Ni		Al		Si		Sb	
	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)
γ Fazı Bölge (1)	55,15	51,54	34,11	32,01	5,39	11,01	2,00	3,93	3,34	1,51
Çökelti (2)	52,93	50,57	36,10	34,63	4,59	9,57	1,48	2,96	4,90	2,27
Martensit Plaka (3)	42,40	37,01	42,27	37,04	10,54	20,10	2,72	4,99	2,07	0,87
Martensit Plaka (4)	41,86	36,50	42,67	37,36	10,60	20,19	2,77	5,06	2,09	0,88

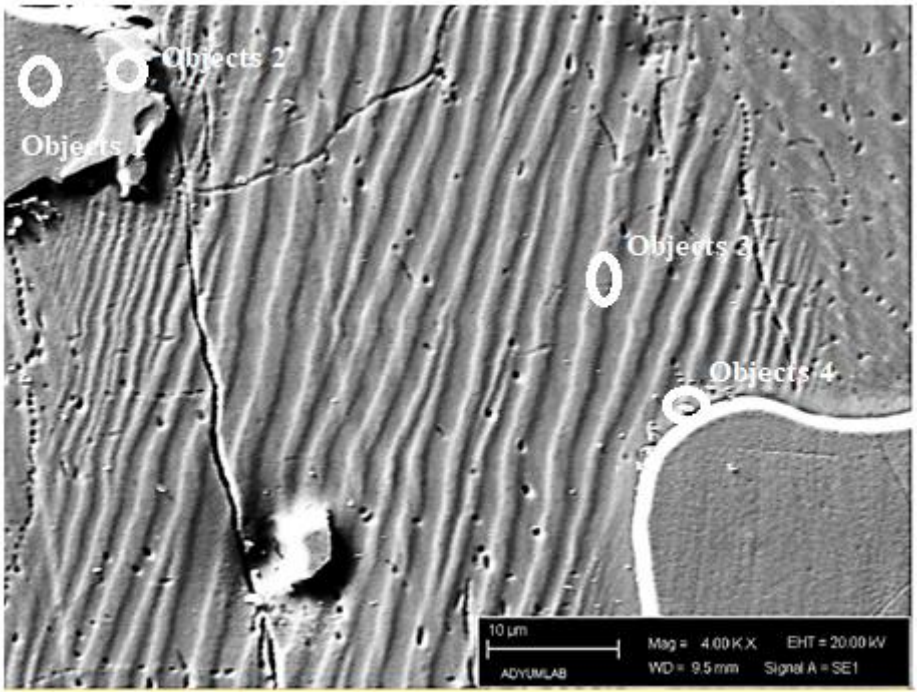
2C numunesine ait mikrograflar Şekil 7.99 ve Şekil 7.100'de verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi mikrografta yine martensit plakalar paralel bir şekilde aynı yöne doğru yönelmişlerdir.



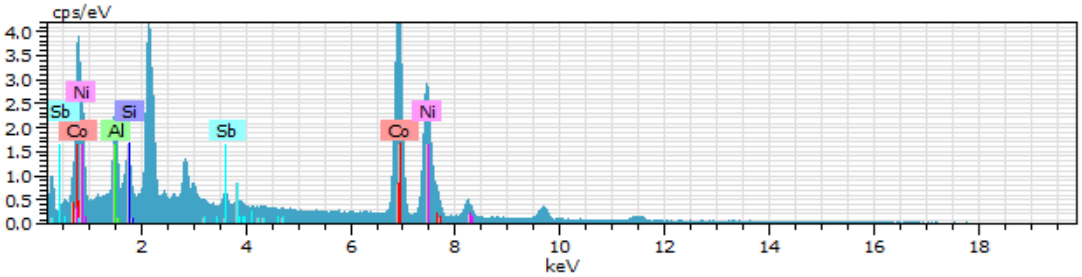
Şekil 7.99. 2C numunesine ait morfoloji.



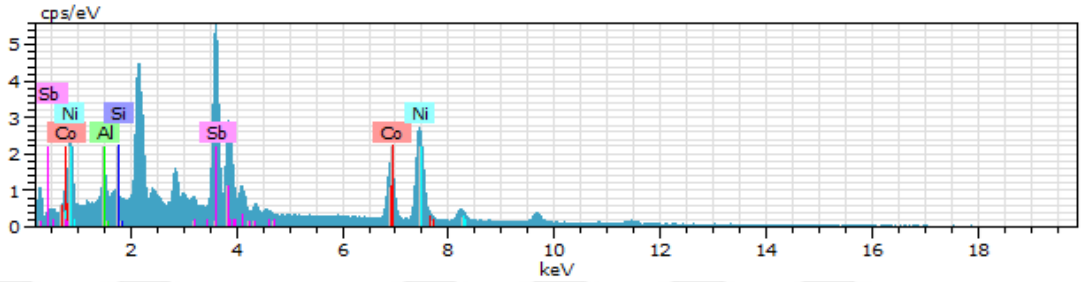
Şekil 7.100. 2C numunesine ait morfoloji.



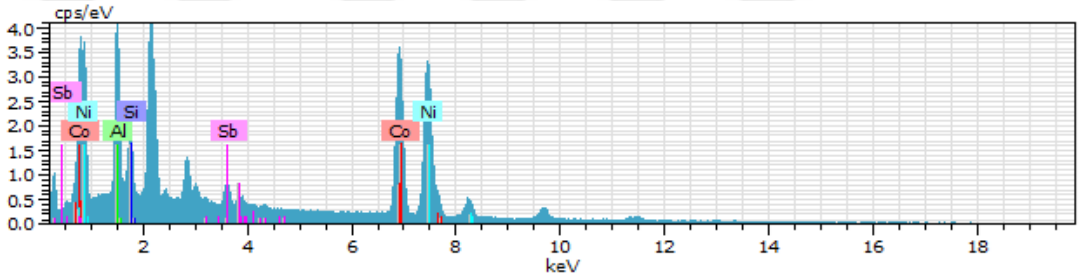
Şekil 7.101. 2C numunesine ait yapı.



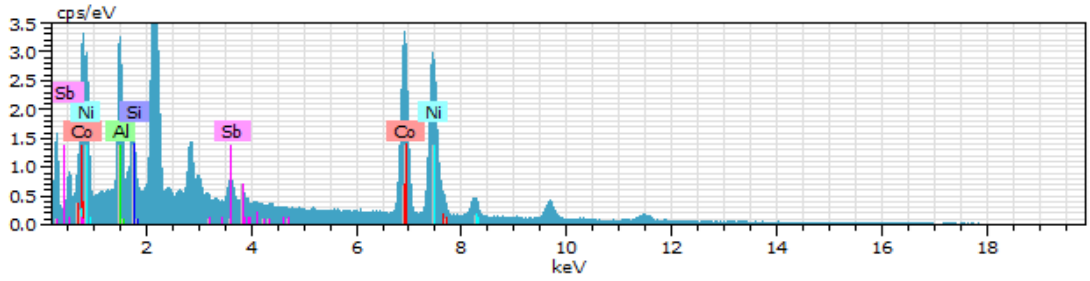
(a)



(b)



(c)



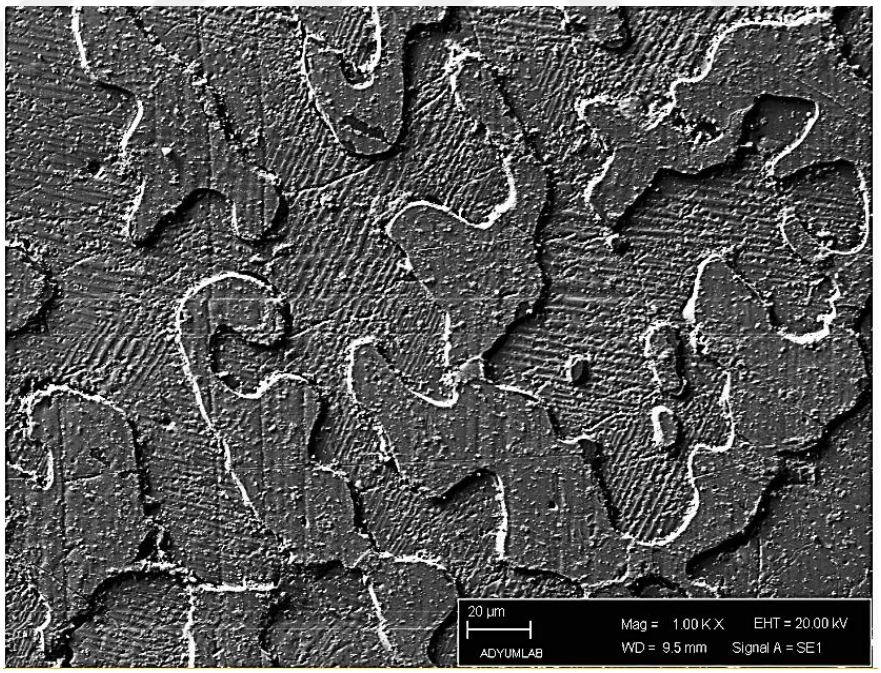
(d)

Şekil 7.102. Şekil 7.101'de gösterilen 2C numunesine ait EDS analizleri a (1) γ fazı bölgesinden b (2) çökelti bölgesinden c (3) martensit plakadan ve d(4) γ' fazı bölgesinden.

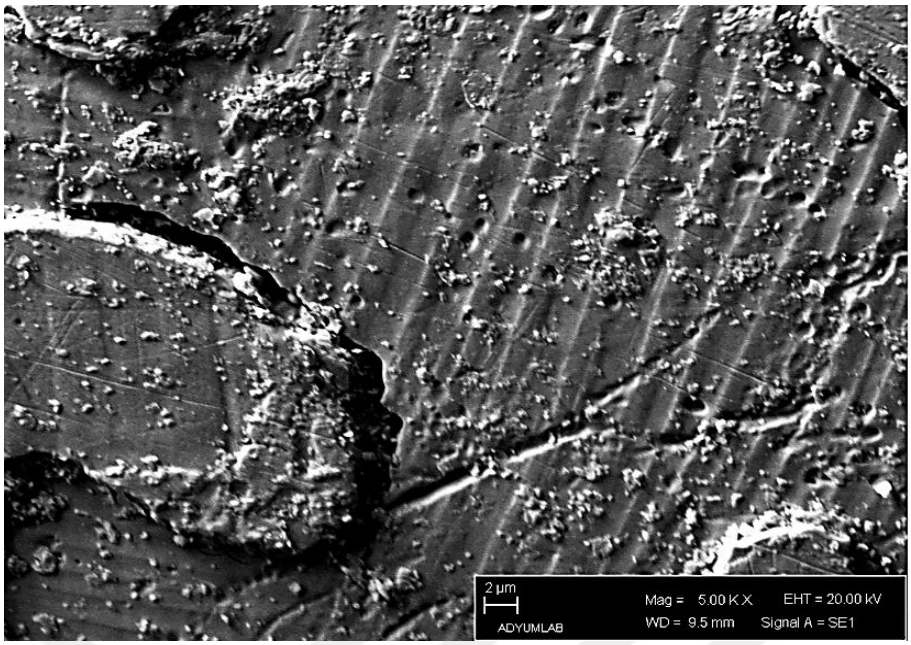
Çizelge 7.25. 2C numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 7.101'de gösterilen bölgelere aittir).

Bulunduğu Yer	Co		Ni		Al		Si		Sb	
	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)
γ Fazı Bölge (1)	54,30	51,78	36,94	35,37	3,96	8,24	1,55	3,11	3,25	1,50
Çökelti (2)	20,53	25,10	36,06	44,29	2,13	5,70	0,24	0,62	41,04	24,29
Martensit Plaka (3)	42,19	37,68	44,88	40,24	8,69	16,94	2,29	4,30	1,95	0,84
γ′ Fazı (4)	42,80	38,51	44,09	39,84	8,15	16,03	2,38	4,50	2,57	1,12

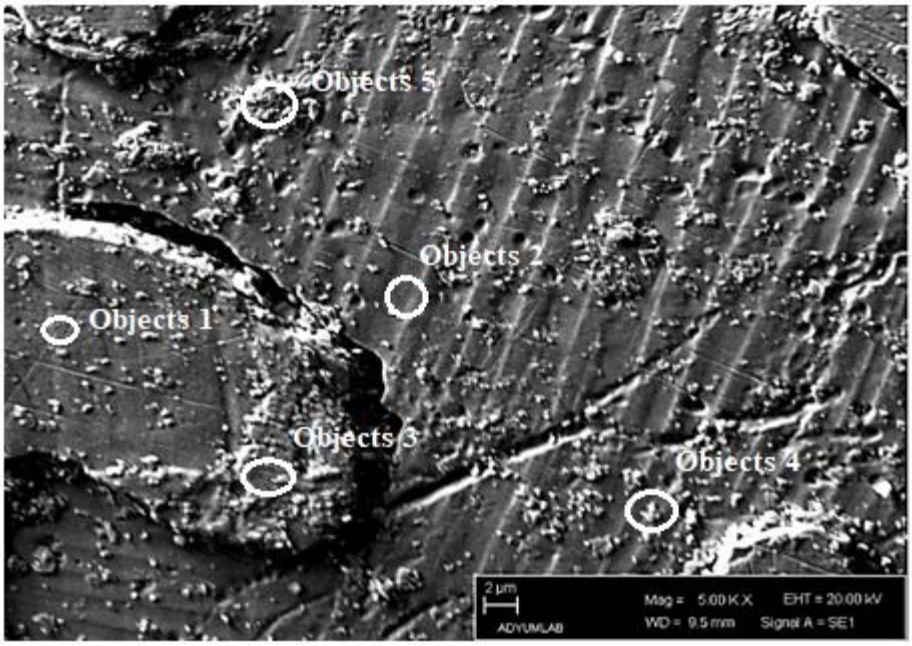
2D numunesine ait mikrograflar Şekil 7.103 ve Şekil 7.104'de verilmiştir. Her iki şekile de bakıldığında diğer iki numunede görülmeyen, hem γ fazı bölgesinde hem de martensit plakalar üzerinde çökeltiler meydana gelmiştir. Ayrıca martensit plakalar γ fazı bölgesine rastlamadıkları sürece paralel bir şekilde mikrografın bir ucundan diğer ucuna doğru ilerlemektedir. γ fazı bölgesi martensit plakaların ilerlemesini engellemektedir.



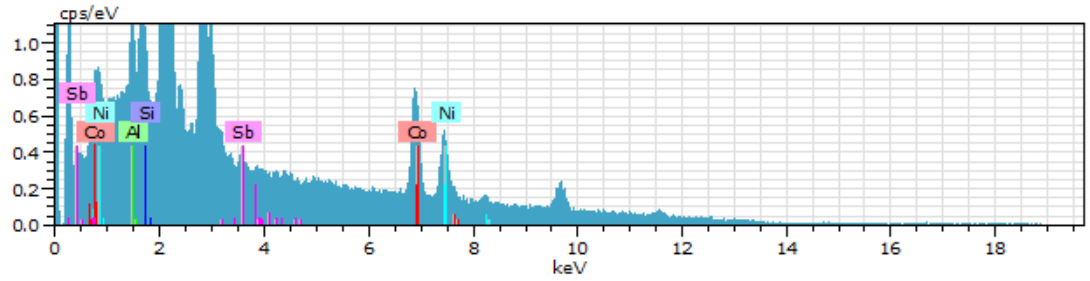
Şekil 7.103. 2D numunesine ait morfoloji.



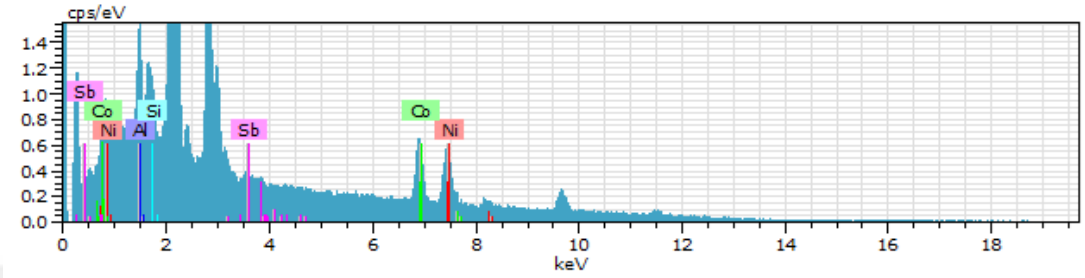
Şekil 7.104. 2D numunesine ait morfoloji.



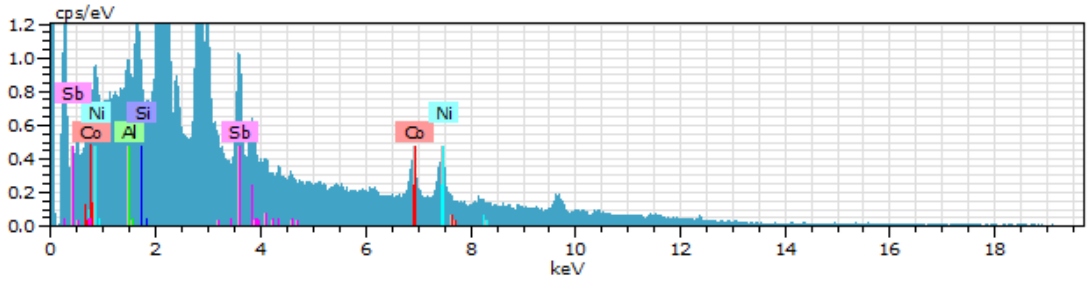
Şekil 7.105. 2D numunuesine ait yapı.



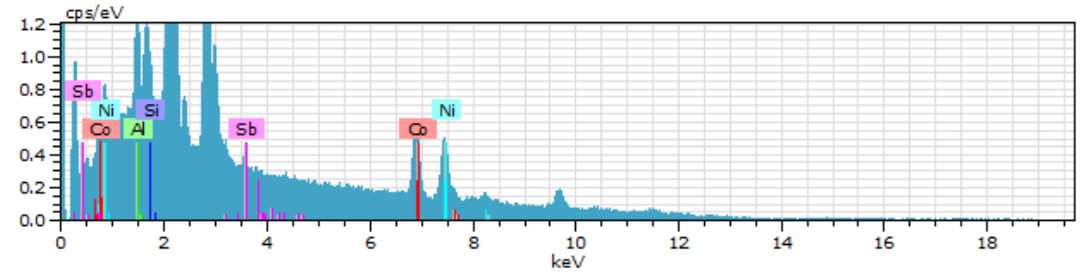
(a)



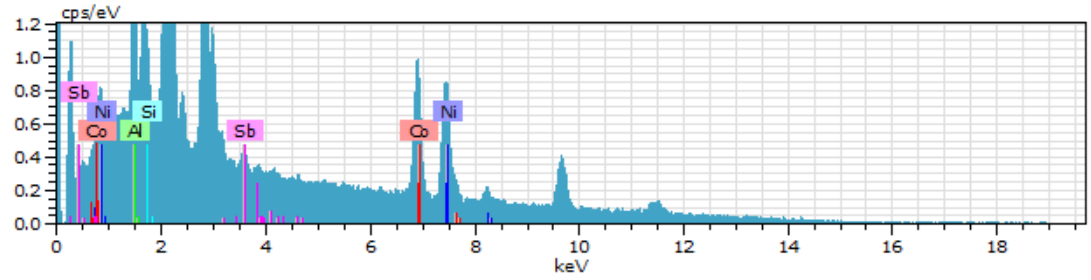
(b)



(c)



(d)



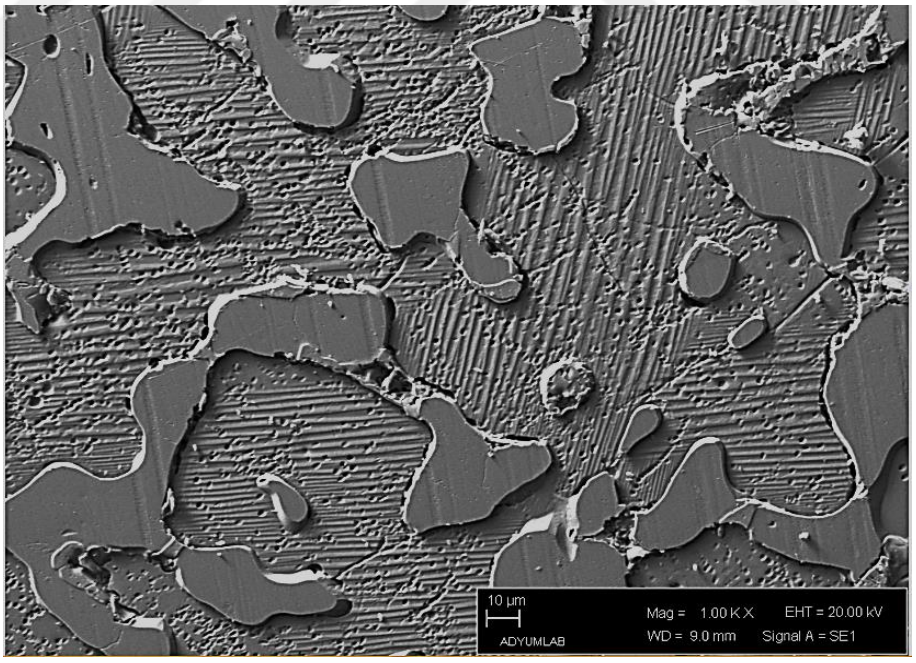
(e)

Şekil 7.106. Şekil 7.105'te gösterilen 2D numunesine ait EDS analizleri a (1) γ fazı bölgesinden b(2) martensit plakadan c(3) ve d(4) çökeltiden ve e(5) γ' fazı bölgesinden.

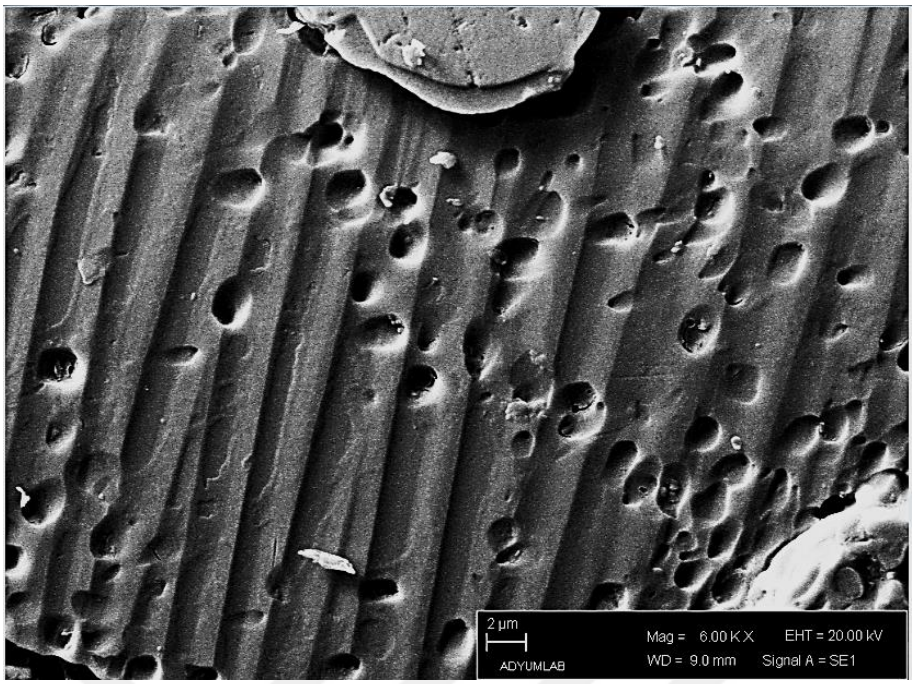
Çizelge 7.26. 2D numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 7.105'te gösterilen bölgelere aittir).

Bulunduğu Yer	Co		Ni		Al		Si		Sb	
	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)
γ Fazı Bölge (1)	55,15	51,30	36,03	33,65	4,74	9,64	2,38	4,64	1,70	0,77
Martensit Plaka (2)	40,92	36,50	40,97	36,69	9,21	17,94	3,50	6,55	5,40	2,33
Çökelti (3)	33,68	36,66	44,30	48,41	1,80	4,28	0	0	20,22	10,65
Çökelti(4)	40,95	35,25	40,30	34,83	10,71	20,13	4,63	8,36	3,42	1,42
γ′ Fazı (5)	43,44	38,84	43,04	38,64	8,01	15,63	3,12	5,85	2,40	1,04

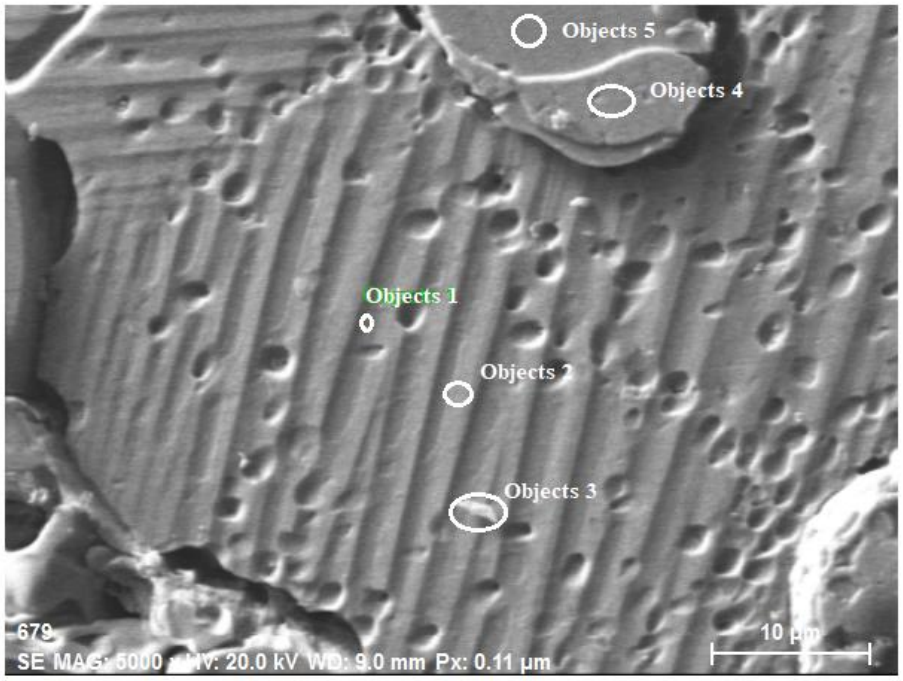
2E numunesine ait mikrograflar Şekil 7.107 ve Şekil 7.108'te verilmiştir. Şekil 7.107'de γ fazına ait morfolojik yapı ve birleşme noktaları görülmektedir. Bu numunede Şekil 7.108'te γ fazı ve martensit plakalar üzerinde boşluklu yapılar görülmektedir. Ayrıca Şekil 7.107'te martensit plakalar birbiri ile paralel ama farklı yönelimde olanlar da gözlenmektedir.



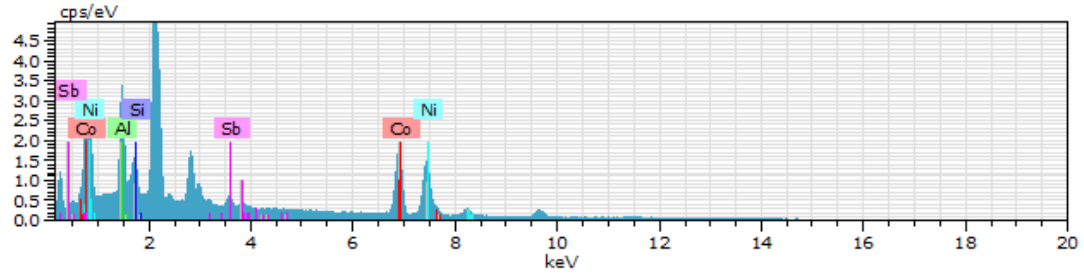
Şekil 7.107. 2E numunesine ait morfoloji.



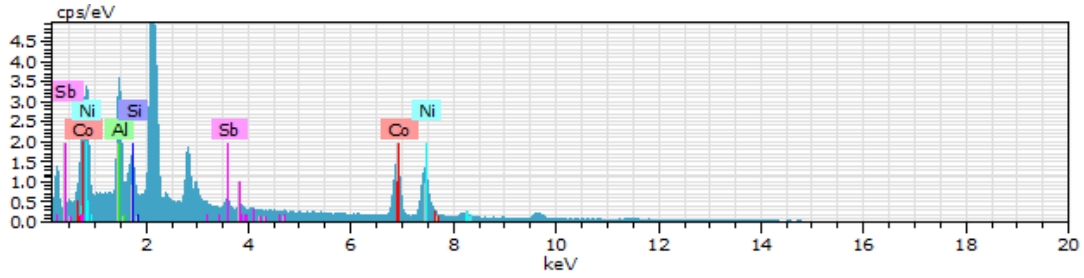
Şekil 7.108. 2E numunesine ait morfoloji.



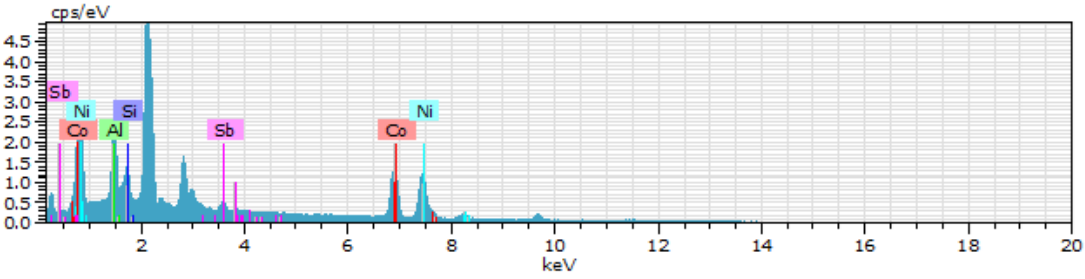
Şekil 7.109. 2E numunesine ait yapı.



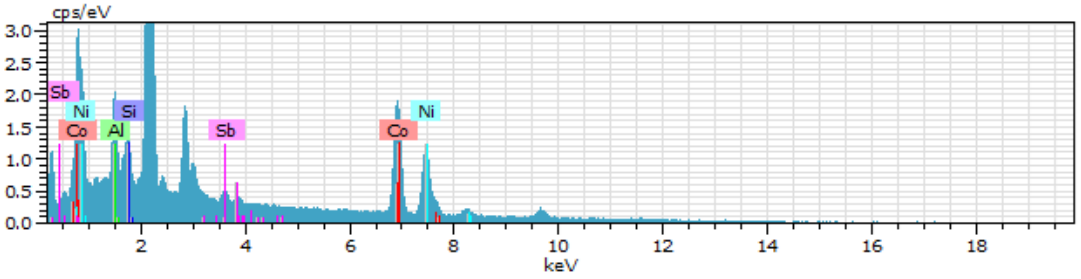
(a)



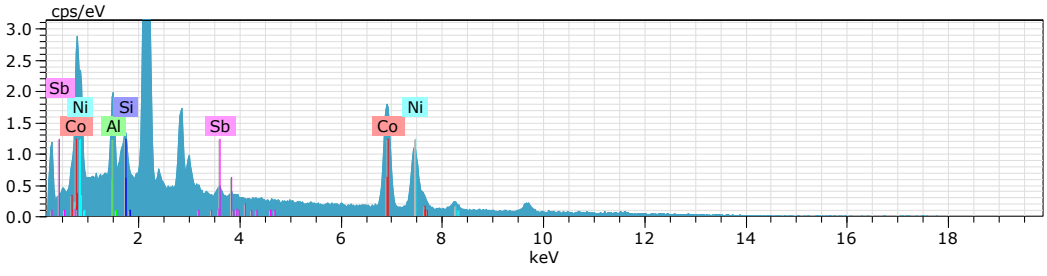
(b)



(c)



(d)



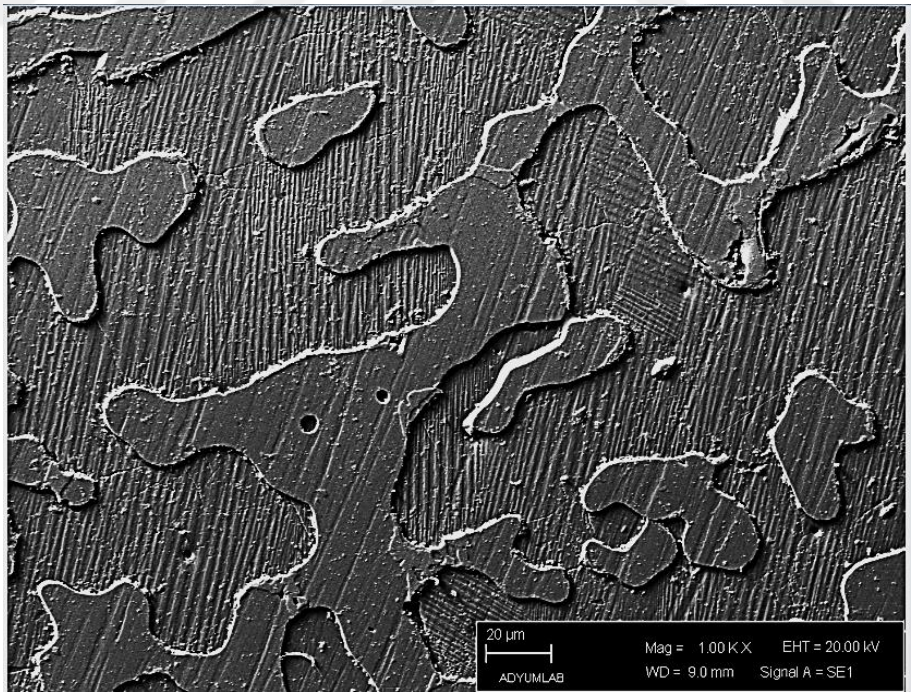
(e)

Şekil 7.110. Şekil 7.109'da gösterilen 2E numunesine ait EDS analizleri a (1) ve b (2) martensit plakadan c(3) ve d(4) çökeltiden, e(5) γ fazı bölgesinden.

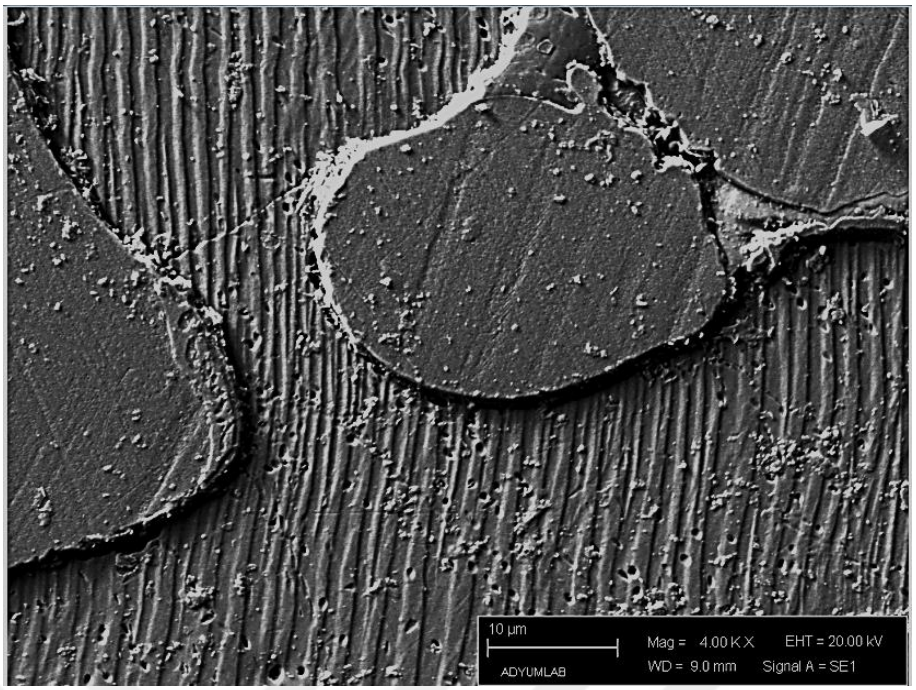
Çizelge 7.27. 2E numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 7.109'da gösterilen bölgelere aittir).

Bulunduğu Yer	Co		Ni		Al		Si		Sb	
	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)
Martensit Plaka (1)	41,16	36,81	39,72	35,67	10,13	19,79	2,66	5,00	6,32	2,74
Martensit Plaka (2)	40,95	35,00	38,84	33,82	12,11	22,95	3,28	5,96	5,42	2,28
Çökelti (3)	40,79	35,87	39,53	34,90	10,95	21,04	3,16	5,82	5,57	2,37
Çökelti (4)	43,87	35,31	29,72	24,02	14,76	25,94	7,84	13,24	3,81	1,48
γ Fazı Bölge (5)	53,89	49,91	34,09	31,70	6,09	12,32	2,28	4,43	3,65	1,64

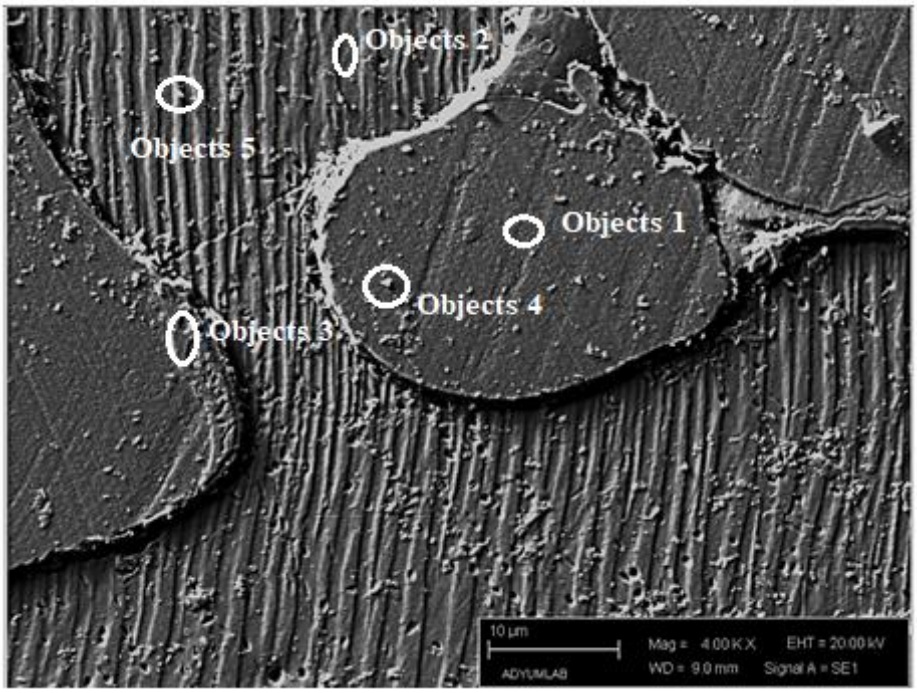
2F numunesine ait mikrograflar Şekil 7.111 ve Şekil 7.112'de verilmiştir. Şekil 7.111'de γ fazı morfolojilerinin yapısı ve birleşme noktaları görülmektedir. Yine buradaki incelemeden de görüldüğü gibi martensit plakalar birbiri ile paraleldir ama farklı yönelimler de bulunmaktadır. Ayrıca Şekil 7.111 ve Şekil 7.112 incelendiğinde bu numunenin üzerinde de çökeltiler bulunmaktadır.



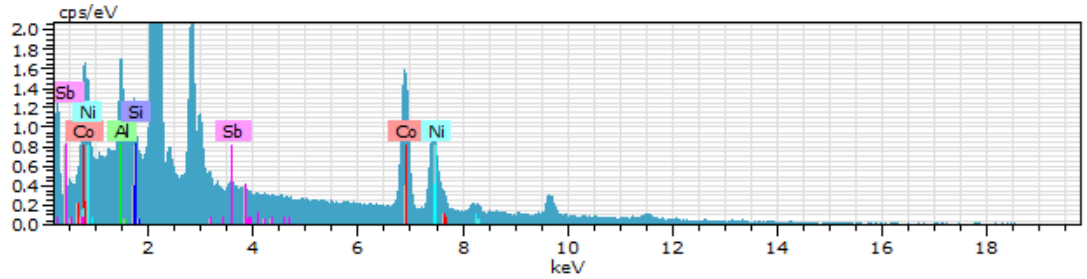
Şekil 7.111. 2F numunesine ait morfoloji.



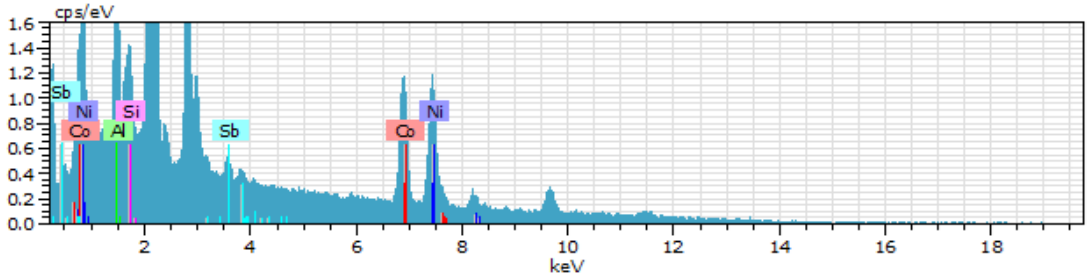
Şekil 7.112. 2F numunesine ait morfoloji.



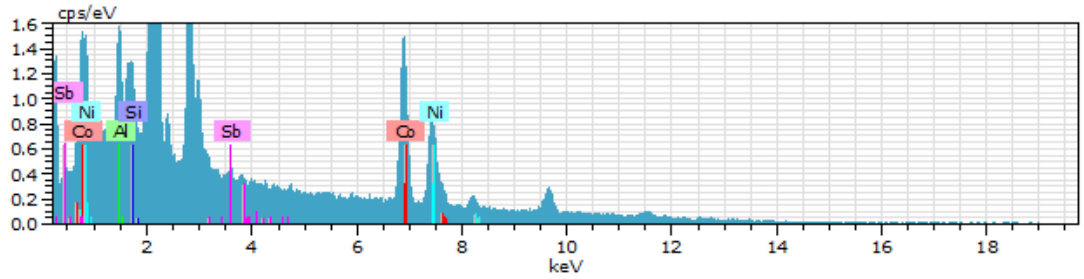
Şekil 7.113. 2F numunesine ait yapı.



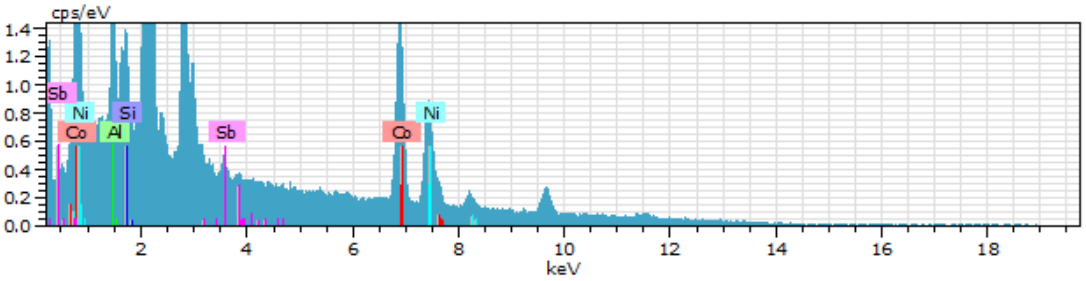
(a)



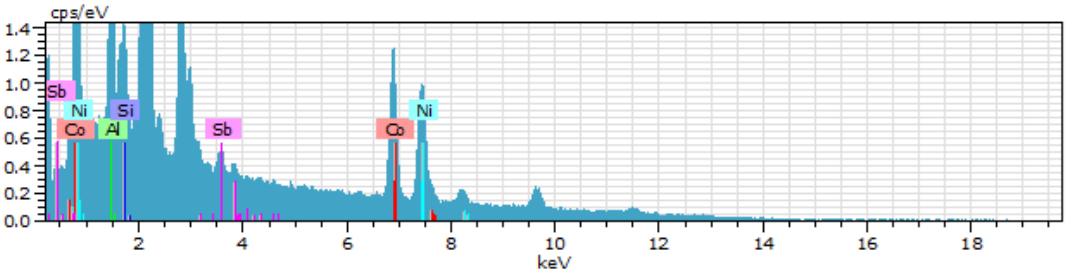
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 7.114. Şekil 7.113'te gösterilen 2F numunesine ait EDS analizleri a (1) γ fazı bölgesinden b(2) martensit plakadan c(3) ve d(4) çökeltiden ve e(5) γ' fazı bölgesinden.

Çizelge 7.28. 2F numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 7.113'te gösterilen bölgelere aittir).

Bulunduğu Yer	Co		Ni		Al		Si		Sb	
	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)
γ Fazı Bölge (1)	55,01	51,51	34,69	32,62	5,09	10,42	2,04	4,01	3,17	1,44
Martensit Plaka (2)	40,15	36,00	41,44	37,31	9,71	19,03	2,68	5,05	6,01	2,61
Çökelti (3)	57,30	53,89	35,21	33,25	4,30	8,82	1,71	3,37	1,48	0,67
Çökelti (4)	56,55	52,37	34,90	32,45	5,10	10,31	2,22	4,31	1,23	0,55
γ′ Fazı (5)	41,16	36,34	39,88	35,35	10,42	20,09	3,20	5,93	5,34	2,28

SEM incelemelerinden elde edilen verilerden şu sonuçlar çıkarılmıştır:

a) X-ışını yapısal analizlerinden yararlanılarak tüm numunelerde B2 ➔ $L1_0$ martensit dönüşümü olduğu bilinmektedir. Bu durumda numune yüzeyinde görülen tüm martensit plakaların $L1_0$ fazına ait olduğu anlaşılmaktadır.

b) Birçok numunede hem γ fazı bölgelerinde hem de martensit plakalar üzerinde çökeltiler görülmektedir.

X-ışını analizleri sonuçlarına bakıldığında numunelerin hemen hepsinde γ' fazına rastlanmaktadır. Ayrıca SEM görüntüleri sonucu alınan analizlerle X-ışını analizleri karşılaştırıldığında yine numunelerin hemen hepsinde γ' fazına rastlanmaktadır. Bu durum yapılan işlemlerin doğruluğunu kanıtlamaktadır.

c) Liu. J.,'nin yaptığı çalışmaya göre EDS piklerinde düşük sıcaklıkta dengede bulunan düzenli γ' fazına ait çökeltilerin atomik oranlarının (Co+Ni):Ga=3:1 olduğu görülmektedir [21]. Bu durum yapmış olduğumuz EDS analizlerine göre 1A numunesinde (Co+Ni):(Al+Si+Mo)=3,1:1 ve (Co+Ni):(Al+Si+Mo)=3,4:1 değerlerinde 1C numunesinde (Co+Ni): (Al+Si+Mo)=2,8:1 değerinde 1E numunesinde ise (Co+Ni):(Al+Si+Mo)=2,8:1 değerinde olduğu hesaplanmıştır. Buna göre bu bölgelerin γ'fazına ait olduğu tahmin edilmektedir.

d) EDS analizlerine göre 2C numunesinde (Co+Ni):(Al+Si+Sb)=3,5:1 değerinde, 2D numunesinde (Co+Ni):(Al+Si+Sb)=3,3:1 değerinde ve 2F numunesinde (Co+Ni): 8Al+Si+Sb)=2,6:1 değerinde hesaplanmıştır. Yine Liu.J.,'nin yaptığı çalışmaya göre bu bölgelerde γ' fazı oduğunu söyleyebiliriz [16].

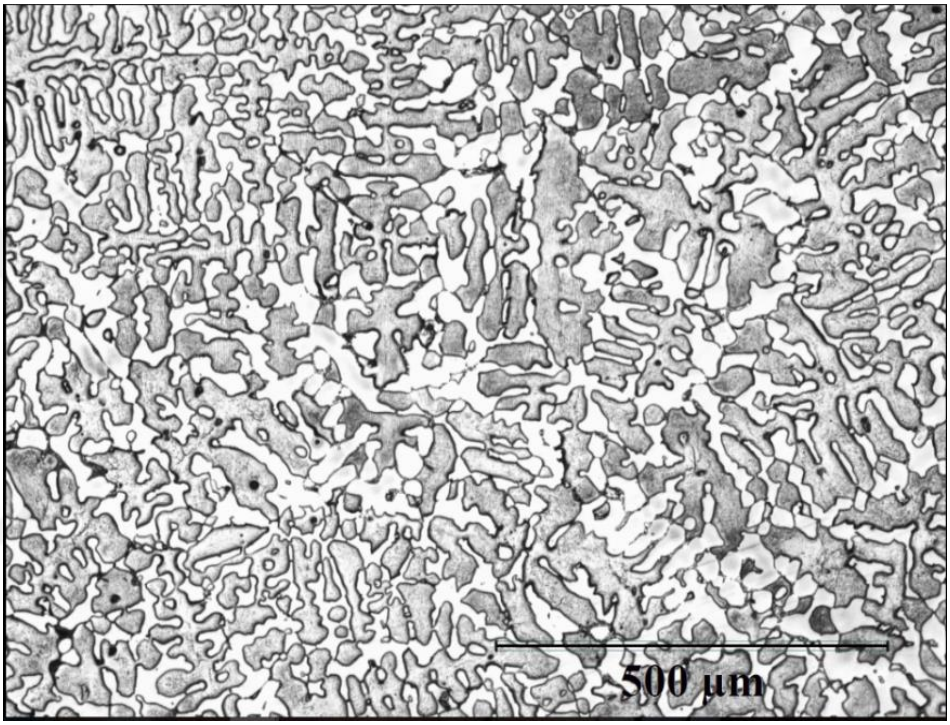
7.4 Optik Mikroskop Gözlem Sonuçları

CoNiAlSiMo ve CoNiAlSiSb alaşım numuneleri Çizelge 6.2'de belirtilen ısıl işlemlere tabi tutulmuştur. Bu işlemlerin ardından numuneler parlatıldıktan ve dağlama çözeltisi ile dağlandıktan sonra optik mikroskopta metalografik olarak incelendi. Polikristal olan bu numunelerin tane yapıları ve martensit morfolojileri gözlendi. Kriyojenik ısıl işlem süresine bağlı olarak ortaya çıkan martensit morfolojileri, tane yapıları ve çökelti fazları gözlendi. Bu yapıların kriyojenik ısıl işlem süresine göre yapısal değişimi incelendi.

7.4.1 1 Numuneleri Üzerinde Optik Gözlem Sonuçları

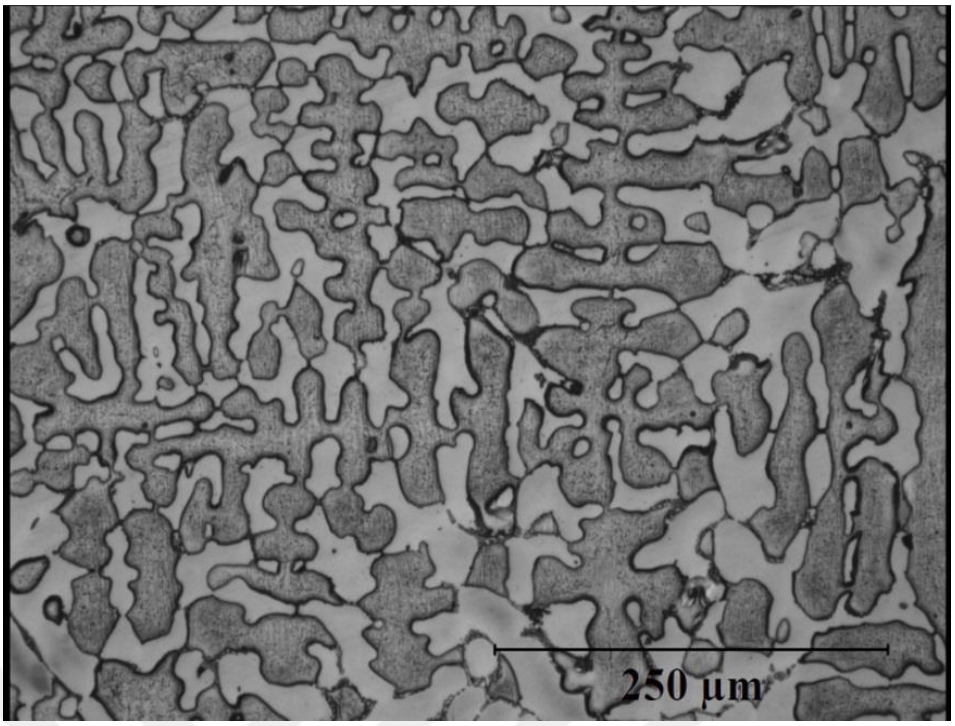
Şekil 7.115, 1A numunesine ait morfolojiyi göstermektedir. Bu numune kaba dendritik yapıları ihtiva etmektedir. Bu dendritik yapılar iki farklı bölgeden oluşmaktadır. Bu ayrım farklı bölgelerde meydana gelen kompozisyon içeriğinin birbiri ile aynı olmamasından kaynaklanmaktadır. Şekil 7.115 (a-b) baktığımızda oluşan dendritik yapılar içerisinde ve dışında martensit plakalar görülmemektedir. Liu, J. ve arkadaşlarının 2006 yılında CoNi bazlı alaşım üzerinde yapmış olduğu çalışmaya benzemektedir [16]. Bu çalışma Şekil 7.116 (a)'da gözlemlenmiştir ve denritik yapı görüntüsü sergileyen malzememin sıvı ve katı eğri aralığının geniş olduğu söylenmektedir. Şekilde görüldüğü gibi alaşımın ısıl işlemden önce orijinal matriksi martensit fazı değil β austenittir. Şekil 7.115 (c) bakıldığında oluşan dendritik yapılar içerisinde çökelti fazları mevcuttur. Yine Liu, J. ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada [16]; dendritik yapılar içerisinde çökelti fazlarının gözlemlendiği de Şekil 7.116 (b)'de görülmektedir. Liu, J. ve arkadaşları şekilde alaşım içerisinde γ dendritlerinin bulunduğunu ileri sürmüştür [16]. CoNi alaşımında martensitik matrikste ve γ tanelerinde homojen çökeltilerin meydana geldiği görülmekte olduğunu savunmuşlardır. O halde yapmış olduğumuz çalışmada ısıl

işlem görmemiş olan 1A numunemizde alınan optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde ve benzerlikler karşılaştırıldığında dendritik yapılar içerisinde sıvı ve katı eğri aralığının geniş olduğunu ayrıca alaşım içerisinde γ dendritlerinin bulunduğunu ve γ tanelerinde homojen çökeltilerin meydana geldiğini söyleyebiliriz. Ayrıca 1A numunesinin SEM görüntüleri incelendiğinde de numune içerisinde γ faz blgesinin mevcut olduğunu ve bu durumun yapmış olduğumuz çalışmanın doğruluğunu kanıtlar niteliktedir.

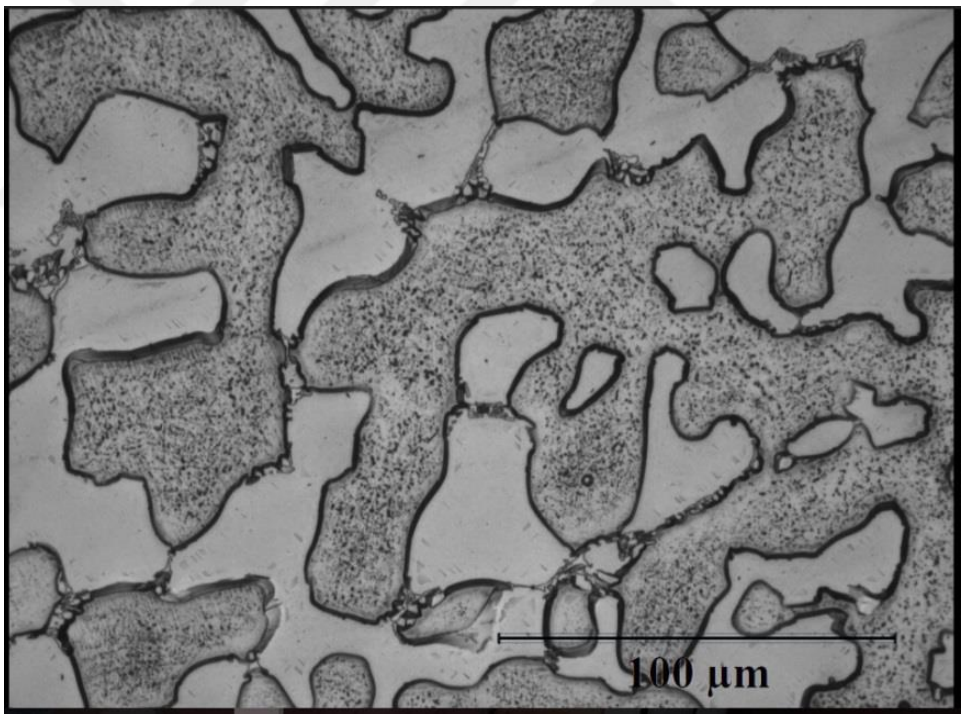


(a)

Şekil 7.115. 1A numunesine ait (a) ve (b) dendritik yapılar (c) çökelti fazları.

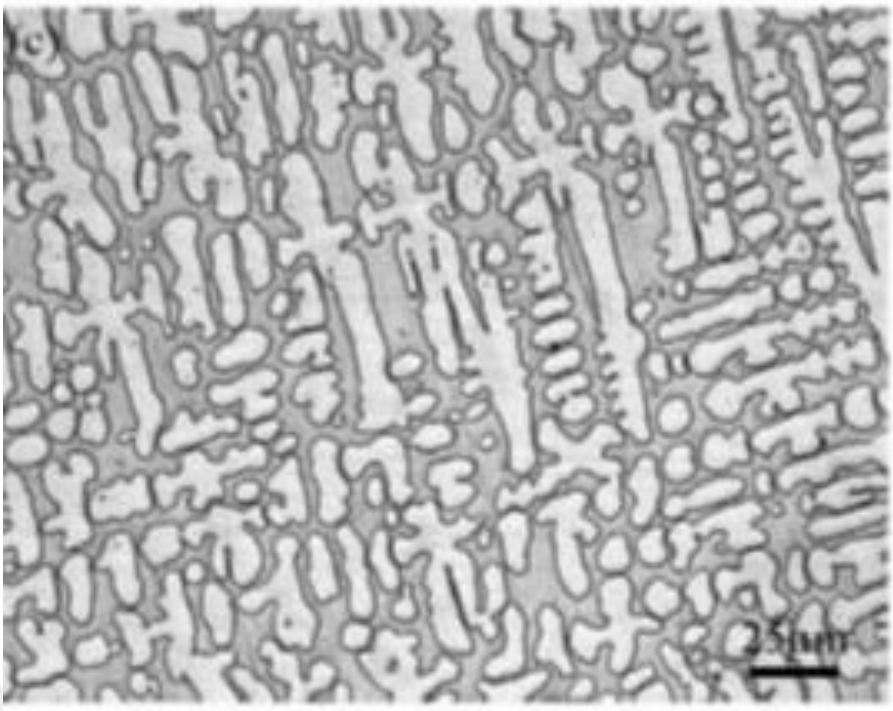


(b)



(c)

Şekil 7.115. (devam). 1A numunesine ait (a) ve (b) dendritik yapılar (c) çökelti fazları.



(a)

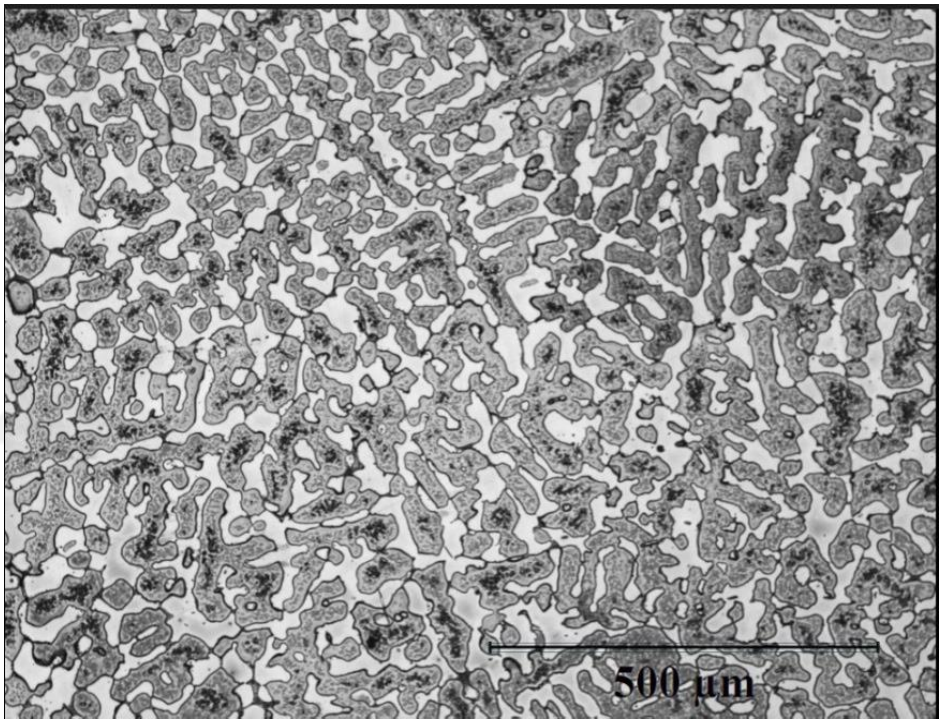


(b)

Şekil 7.116. CoNi bazlı alaşımların döküm sonrası optik mikroskop görüntüleri [16].

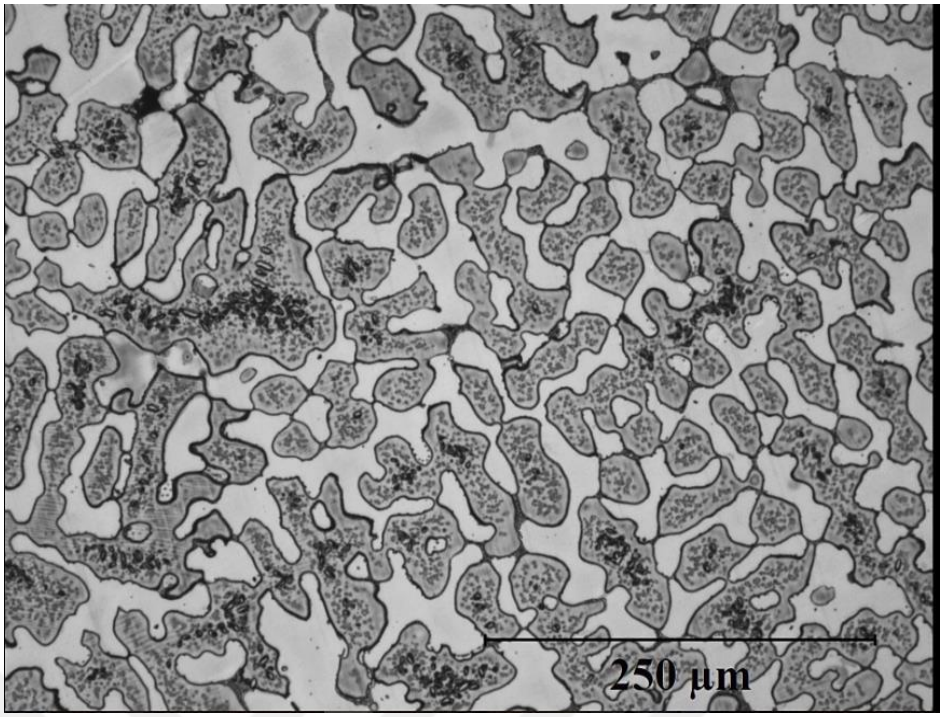
Şekil 7.117, 1B numunesine ait morfolojiyi göstermektedir. 1A numunesinde olduğu gibi bu numune de kaba dendritik yapılar ihtiva etmektedir. 1B numunesi sıvı azot (-196 ^{0}C) içerisine bırakılarak 1 saat kriyojenik ısıl işleme tabi tutulmuştur ve bu

sebeple 1A numunesine göre Şekil 7.117 (a) ve (b) de görülmektedir ki dendritik yapılar içerisinde çökelti fazları gözlenmemektedir. Bu durumda yine dendritik yapı görüntüsü sergileyen malzemenin sıvı ve katı eğri aralığının geniş olduğu söylenebilir. 1B numunesi (Şekil 7.117 (c)) dendrit yapılar içerindeki martensit plakalar ve çökelti fazları net bir şekilde gözlenmektedir. Demek ki hem bir 1A numunesinin optik mikroskop görüntüleri sonucuna göre hem de 1B numunesinin SEM görüntüleri sonucuna göre alaşım içerisinde γ dendritlerinin bulunduğunu ve martensit plakalar gözlemlendiği için numuneye uygulanan ısıl işlemin etkisinin olumlu sonuç gösterdiğini söyleyebiliriz.

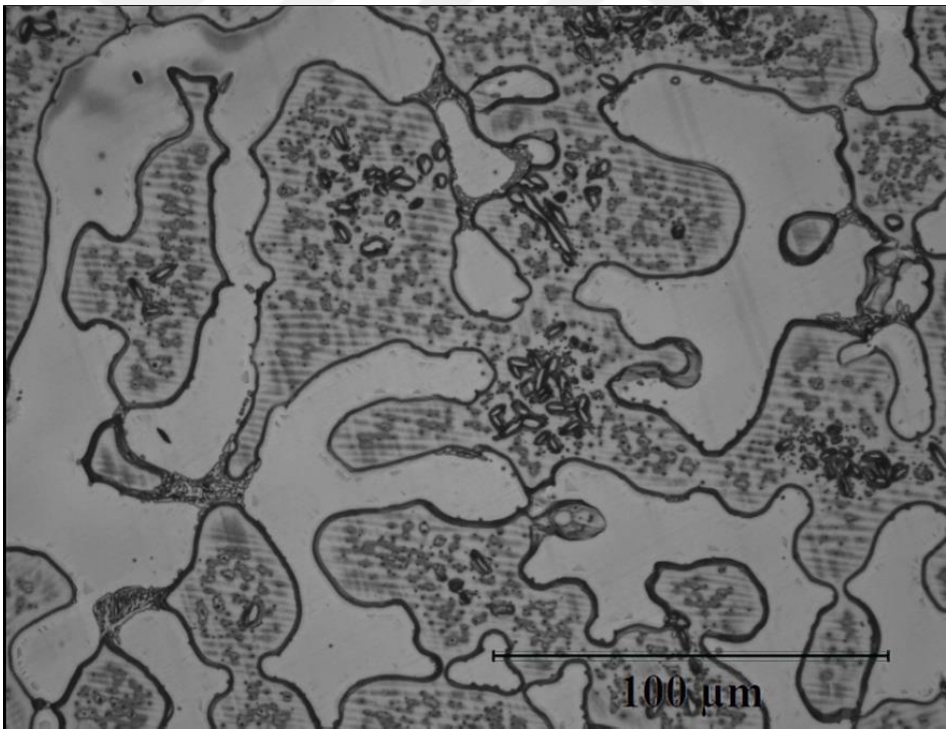


(a)

Şekil 7.117. 1B numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları.



(b)

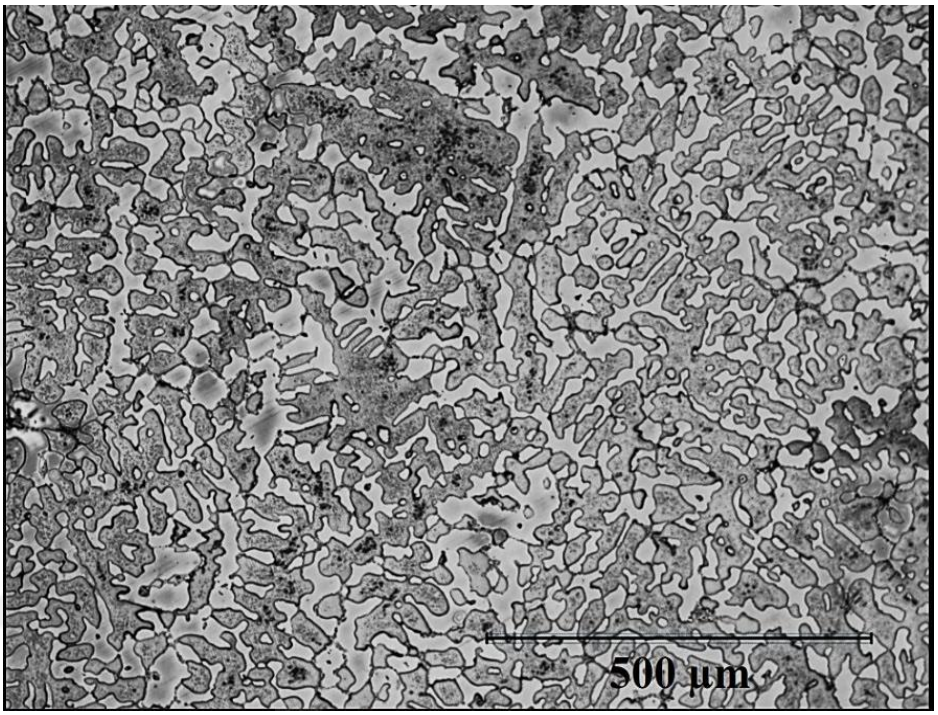


(c)

Şekil 7.117. (devam). 1B numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları.

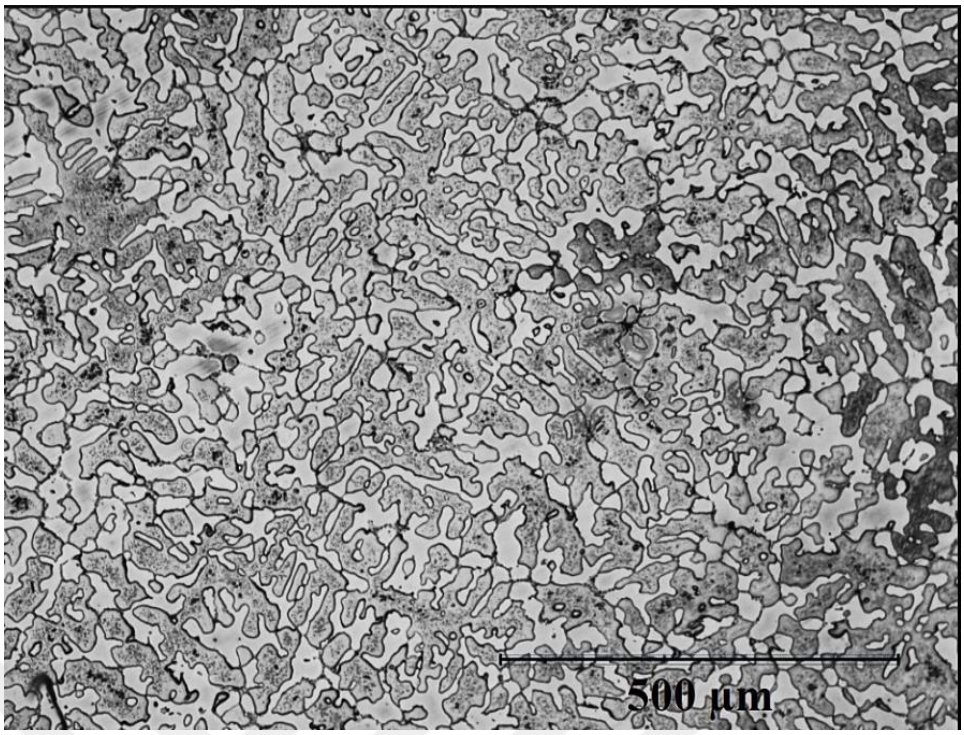
Şekil 7.118, 1C numunesine ait morfolojiyi göstermektedir. 1A ve 1B numunelerinde olduğu gibi bu numune de kaba dendritik yapılar ihtiva etmektedir. Şekil 7.118

(c)'de dendritler arasında $L1_0$ martensit plakaları gözlenmektedir. $L1_0$ martensit yüksek sıcaklık bölgesinde oluşan bcc β fazının, daha düşük sıcaklıklarda kristal yapısının değişerek bir habit düzlemi üzerinden bct kristal yapıya dönüşmesi sonucu meydana gelir. Ayrıca yine Şekil 7.118 (c)'de diğer numunelerde olduğu gibi dendritik yapılar içerisinde çökeltiler bulunmaktadır.

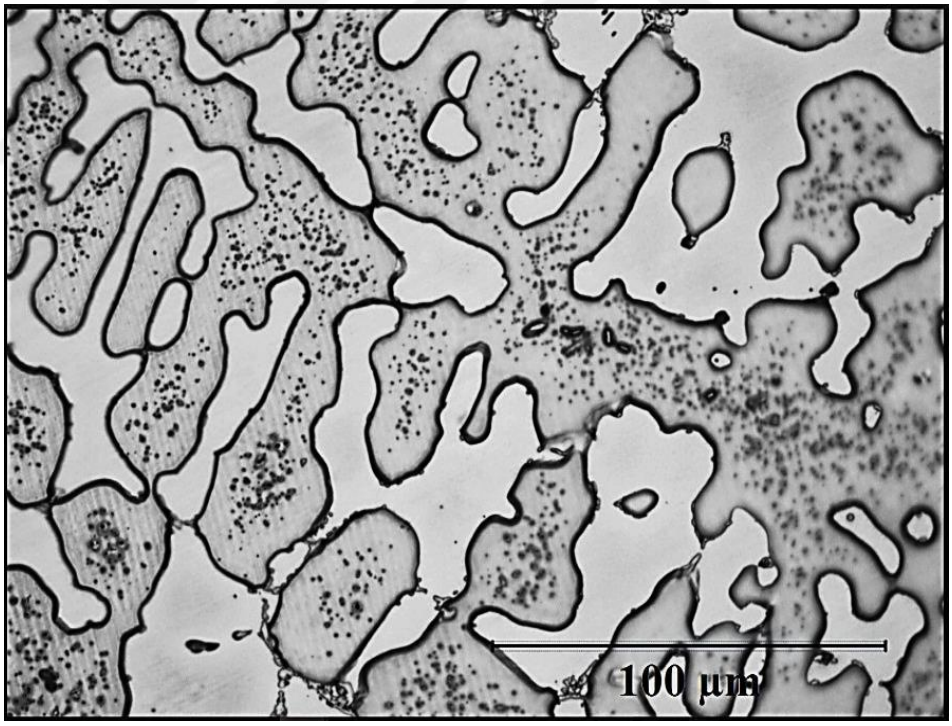


(a)

Şekil 7.118. 1C numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları.



(b)

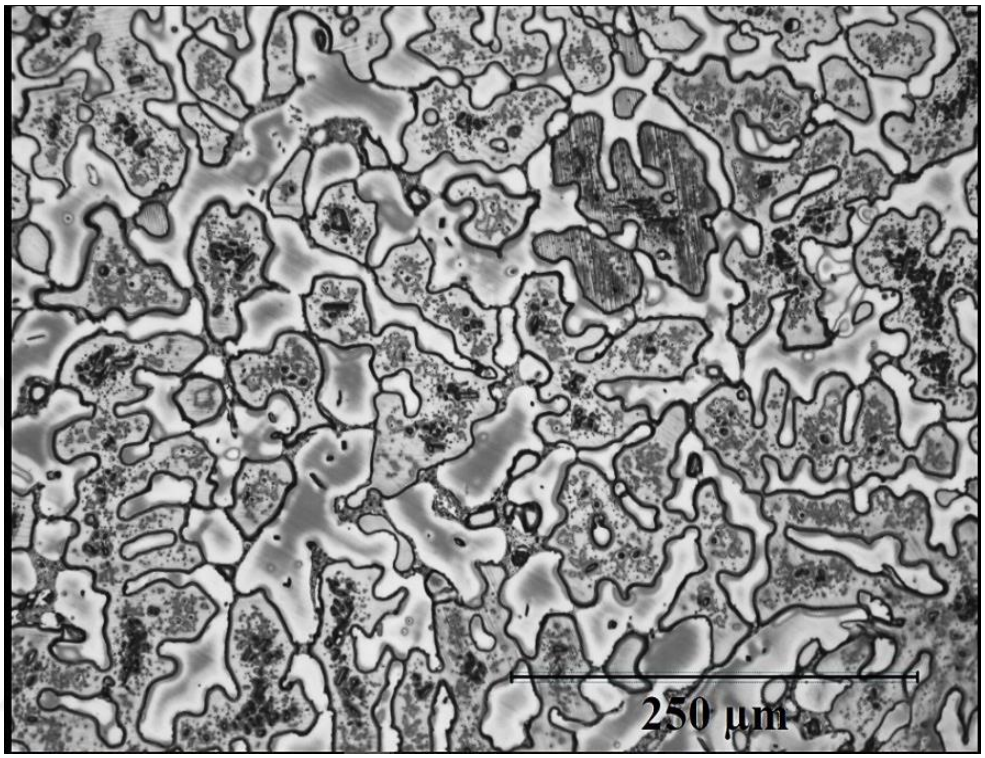


(c)

Şekil 7.118. (devam). 1C numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları.

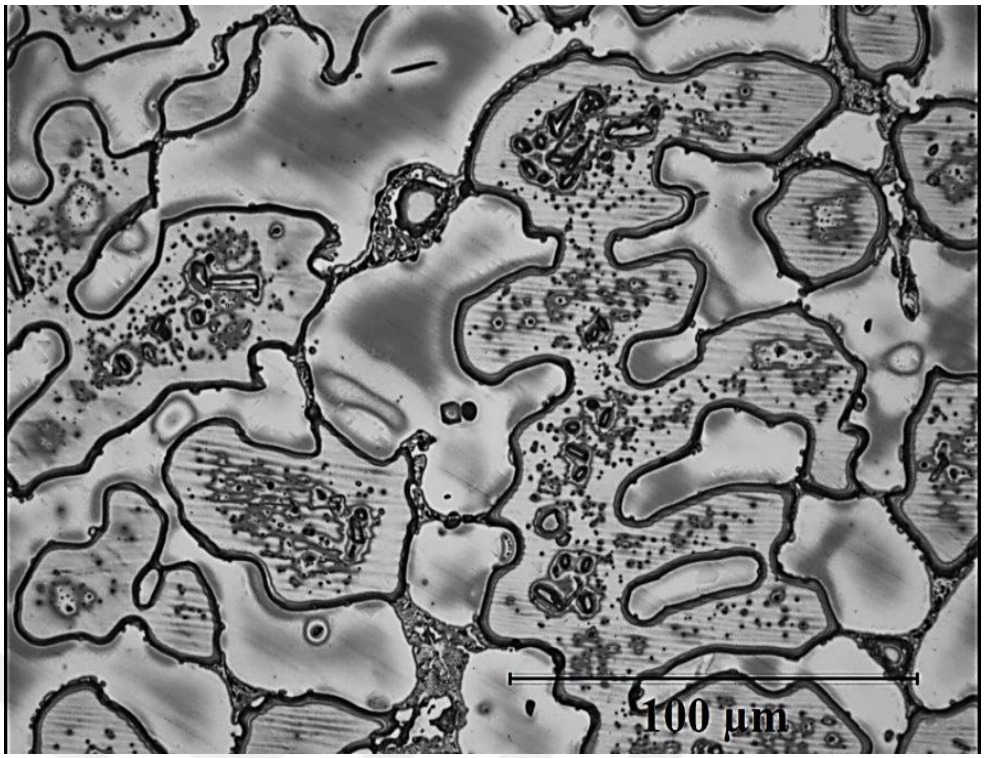
Şekil 7.119, 1D numunesine ait morfolojiyi göstermektedir. 1D numunesi Çizelge 6.2'de belirtildiği gibi 3 saatlik bir kriyojenik ısıl işleme tabi tutulmuş olan numunedir. Bu numune incelendiğinde Şekil 7.119 (a) 'da sağ üst kısımda koyu renk

ile gösterilen dendritik yapı içerisinde martensit plakalar ve çökeltiler net olarak gözlenmektedir. Ayrıca Şekil 7.119 (b)'de dendritik yapıların dışındaki γ fazı bölgesinde martensit plakalar gözlenmektedir. Bu durumda kriyojenik ısıl işlem süresi arttırıldığında martensit plakalar numune içerisinde daha net gözlenmektedir.



(a)

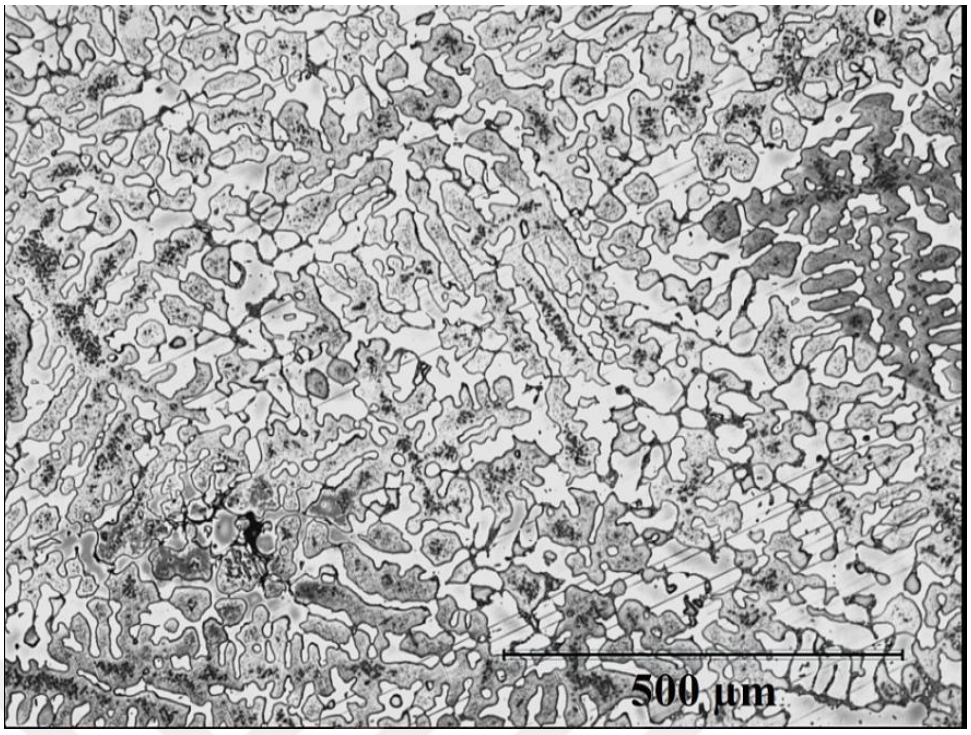
Şekil 7.119. 1D numunesine ait dendritik yapılar,martensit plakalar ve çökelti fazları.



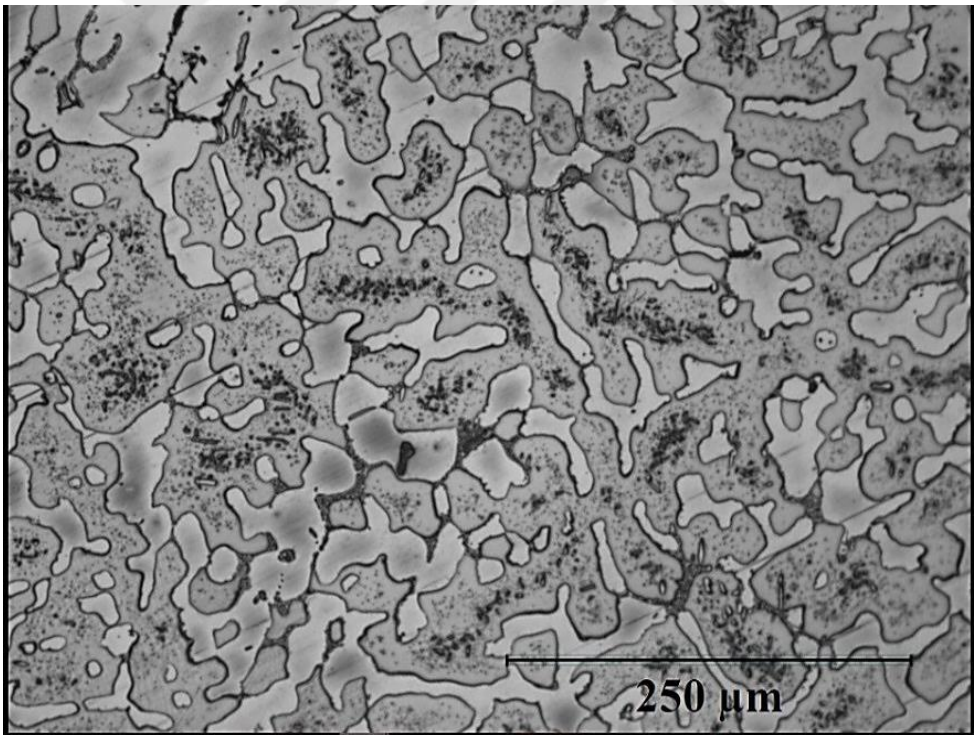
(b)

Şekil 7.119.(devam). 1D numunesine ait dendritik yapılar,martensit plakalar ve çökelti fazları.

Şekil 7.120, 1E numunesine ait morfolojiyi göstermektedir. Bu numunede de diğer numunelerde olduğu gibi dendritik yapılar, çökeltiler ve martensit plakalar gözlenmektedir.

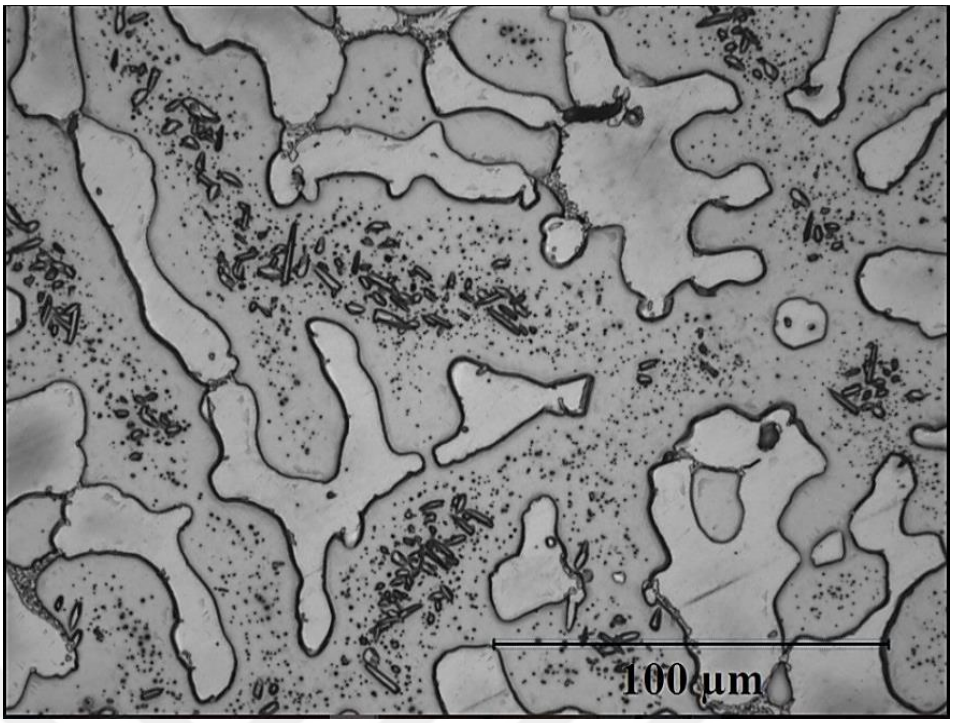


(a)



(b)

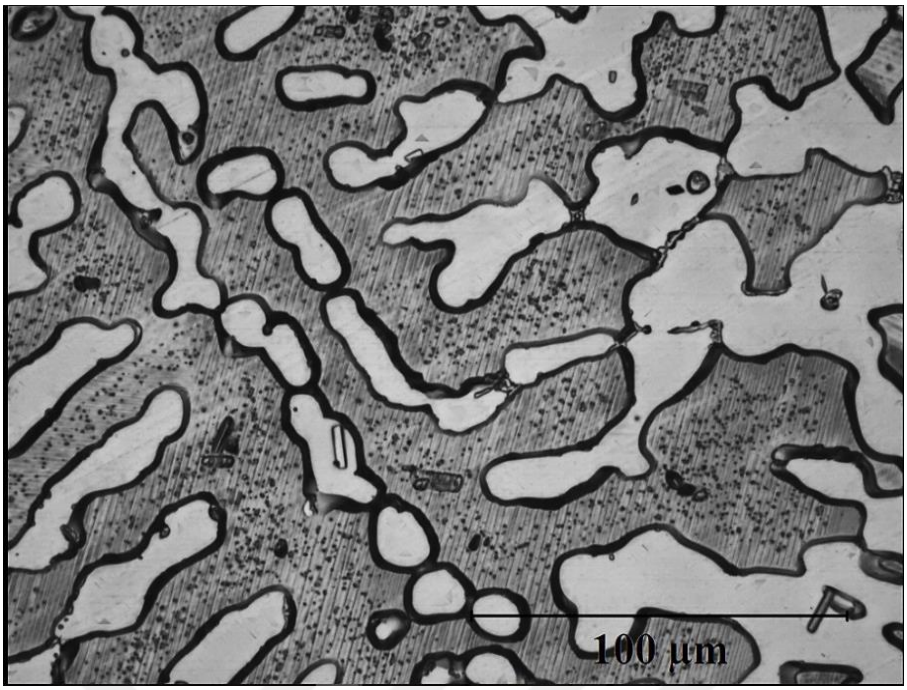
Şekil 7.120. 1E numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları.



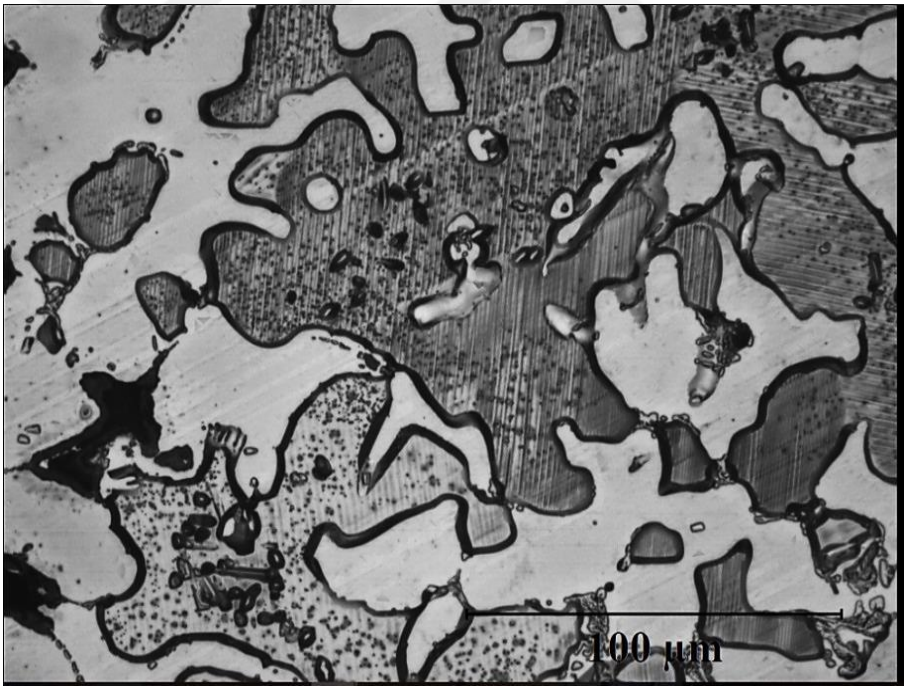
(c)

Şekil 7.120. (devam). 1E numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları.

Şekil 7.121 (a)'da dendritik yapılar içerisinde gözlenen martensit plakaların çoğunun benzer yönelimlere sahip olduğu söylenebilir. Bu şekilde oluşan martensit plakalar dışarıdan uygulanan bir etki veya uygulanan bu etkinin kaldırılması ile ileri ve geri yönde hareket ederler. Birbirleri ile aynı uyum içinde olan kabartı grupları γ (A1) ve β(B2) faz bölgesinden ani soğutma işlemi sonunda β(B2) $\rightarrow L1_0$ (β) dönüşümü geçirerek meydana geldikleri gibi M_S sıcaklığının üstündeki bir sıcaklık değerinde soğutma ile de oluşabilirler [1]. Mikrografı dolduran plakalar genel olarak tek yönde istiflenmemişlerdir, Şekil 7.121 (b)'de sağ tarafta bir yönde istiflenen plakalara dik bir şekilde ikinci bir istiflenme daha gerçekleşmiştir.

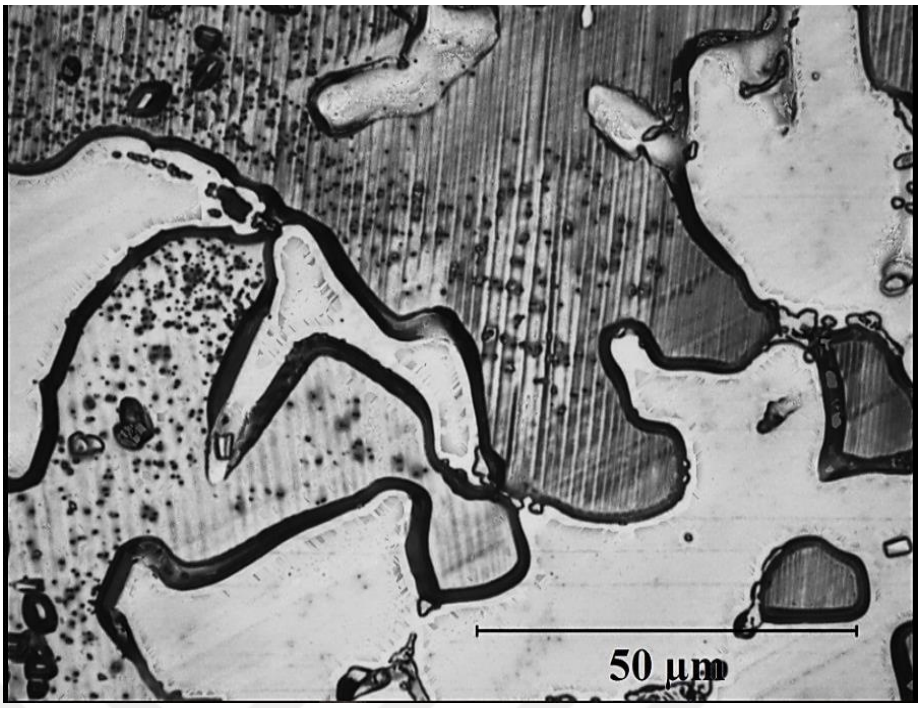


(a)



(b)

Şekil 7.121. 1F numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları.



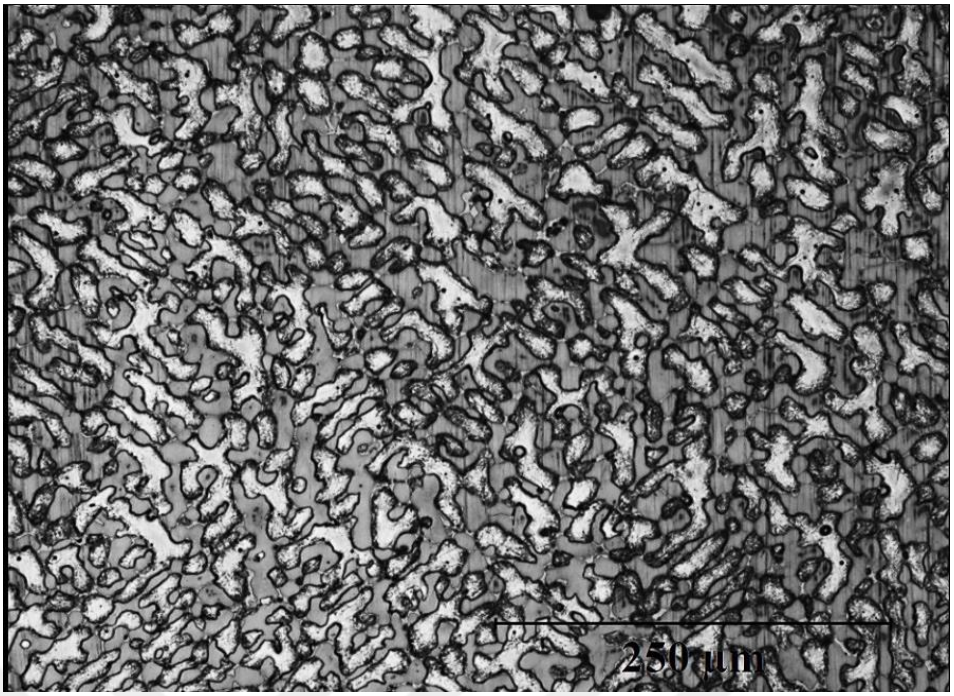
(c)

Şekil 7.121. (devam). 1F numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları.

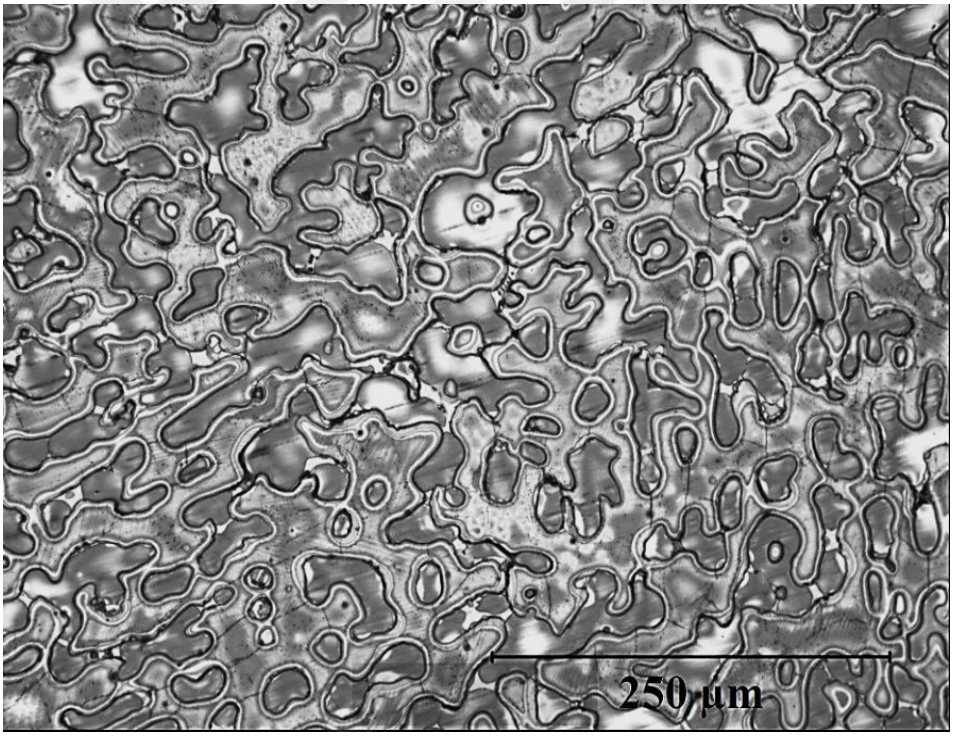
7.4.2 2 Numuneleri Üzerinde Optik Gözlem Sonuçları

Şekil 7.122, 2A numunesine ait morfolojiyi göstermektedir. Bu numunede de 1 alaşımında olduğu gibi yine kaba dendritik yapılar bulunmaktadır. Yine belirttiğimiz gibi bu yapılar iki farklı bölgeden oluşmaktadır. Bu ayrım da farklı bölgelerde meydana gelen kompozisyon içeriğinin birbiri ile aynı olmamasından kaynaklanmaktadır. Şekil 7.122'e baktığımızda dendritik yapılar içerisinde az miktarda çökeltiler ve bu yapılar dışında ise martensit plakalar gözlenmektedir.

Şekil 7.123, 2B numunesine ait morfolojiyi göstermektedir. Bu numunede dendritik yapılar arasındaki martensit plakaları net bir şekilde görülmektedir. Bu martensit plakalar aynı yönelime sahip olsalar bile Şekil 7.123 (b)'nin sol tarafında farklı yönelimlerde istiflenen ve birbirini dik olarak kesen martensit plakalar gözlenmektedir.

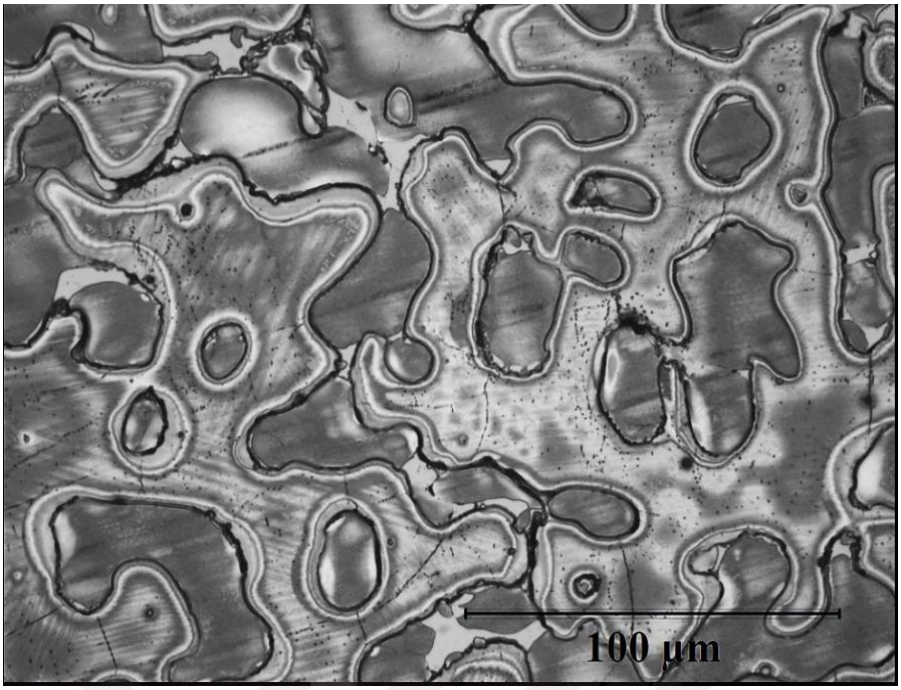


Şekil 7.122. 2A numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları.



(a)

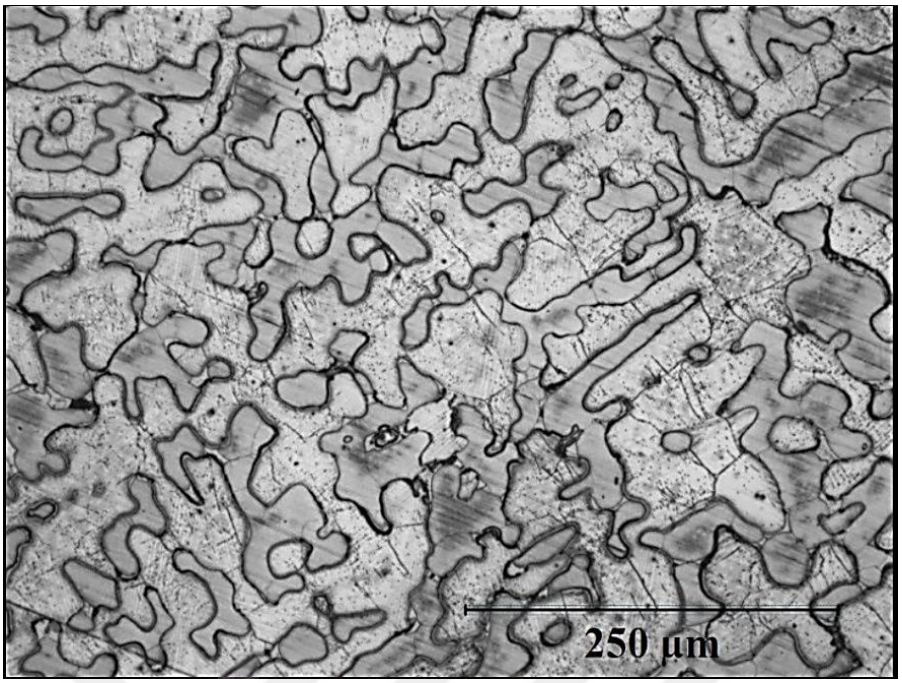
Şekil 7.123. 2B numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları.



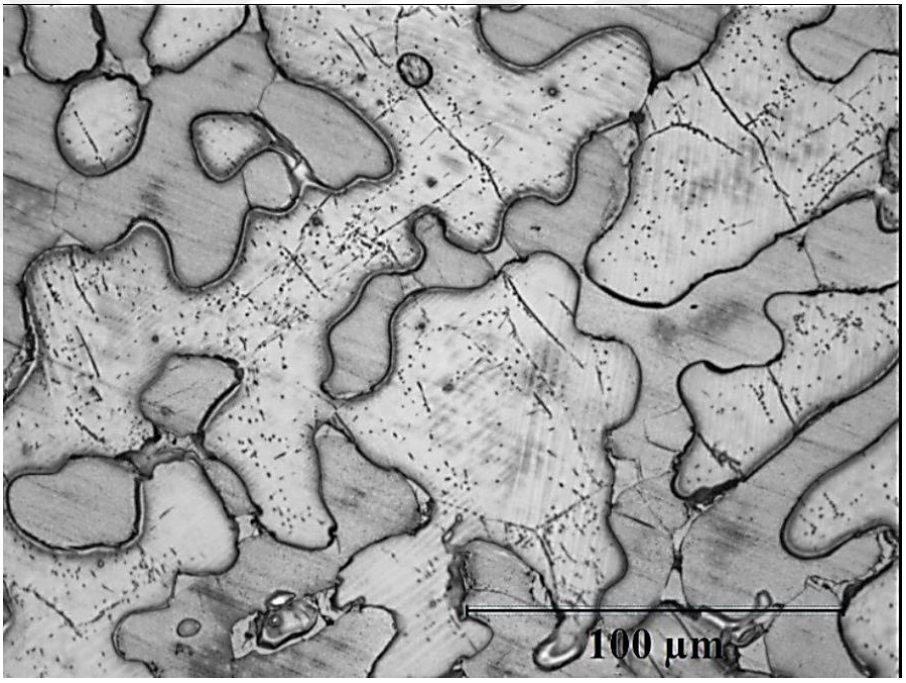
(b)

Şekil 7.123. (devam). 2B numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları.

Şekil 7.124, 2C numunesine ait morfolojiyi göstermektedir. Bu numunede de dendritik yapıların dışında gözlenen martensitik plakalar birbiri ile istiflenmiş şekilde görülmektedir. Şekil 7.124 (a-b) dikkatlice incelendiğinde numunede bazı mikro çatlaklar gözlenmektedir. Bu mikroçatlaklar adım adım ilerleyerek gözle görülebilecek çatlaklar oluşturabilir [20].



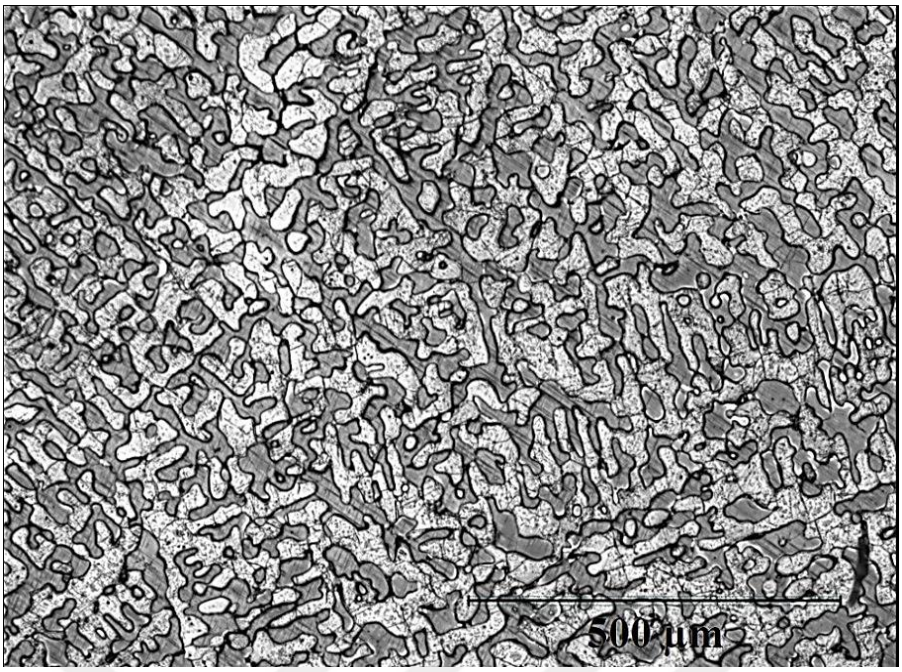
(a)



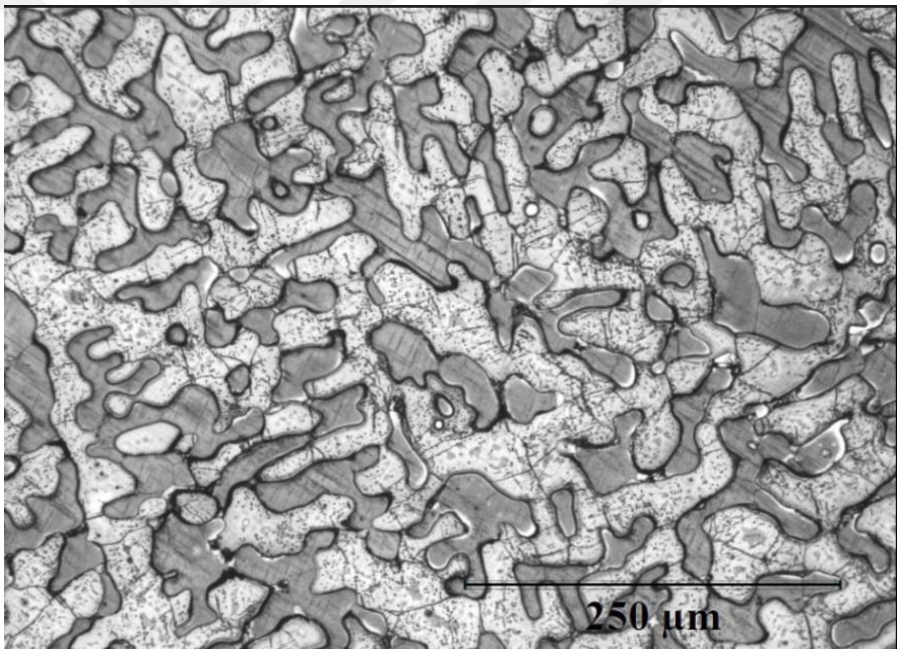
(b)

Şekil 7.124. 2C numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları.

Şekil 7.125, 2D numunesine ait morfolojiyi göstermektedir. Bu numunede de dendritik yapılar arasındaki çatlakların 2C numunesine göre daha fazla olduğu gözlenmektedir. Ayrıca şekiller incelendiğinde dendritik yapılar içerisindeki martensitik plakalar net bir şekilde gözlenmektedir.

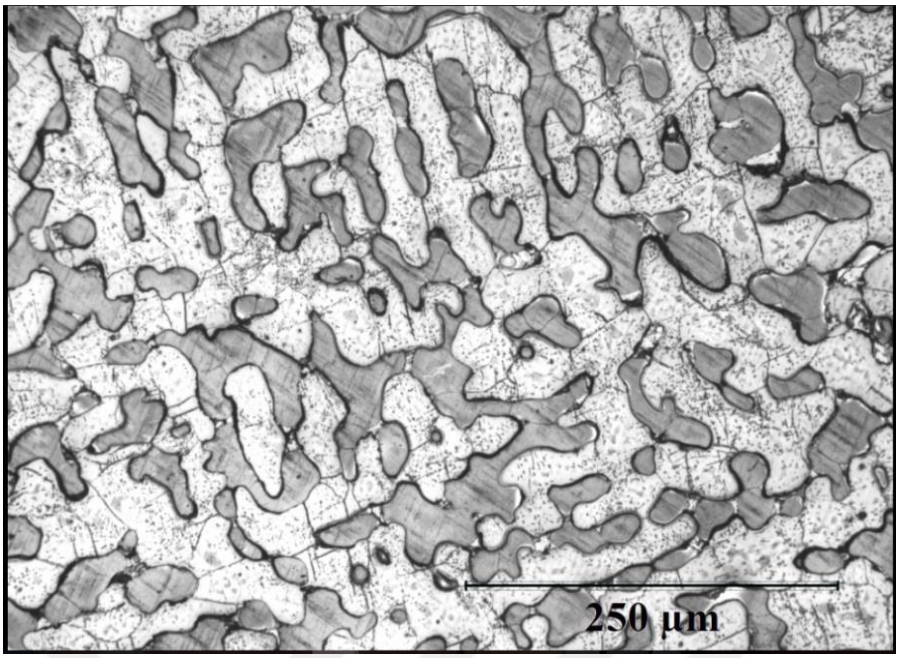


(a)



(b)

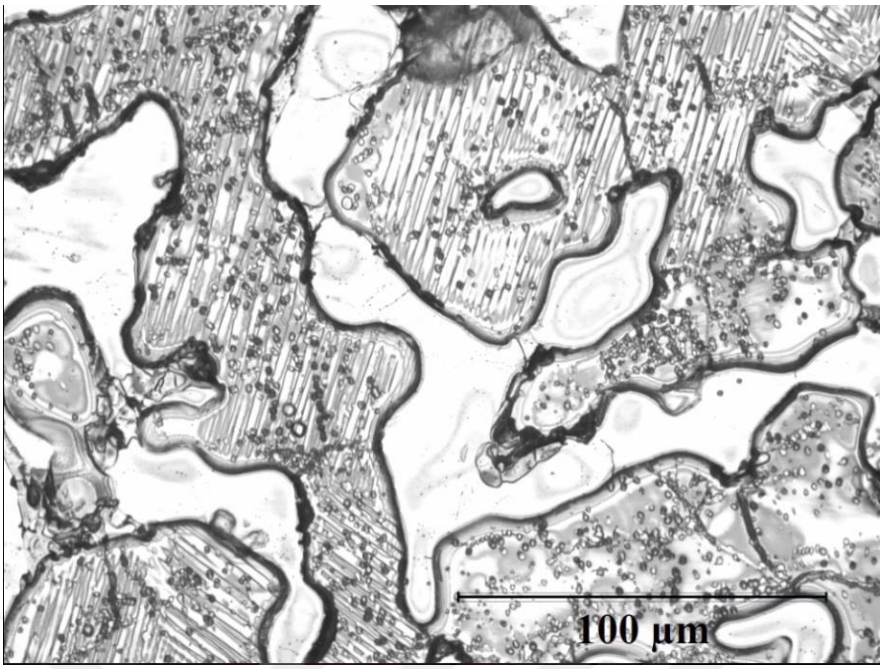
Şekil 7.125. 2D numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları.



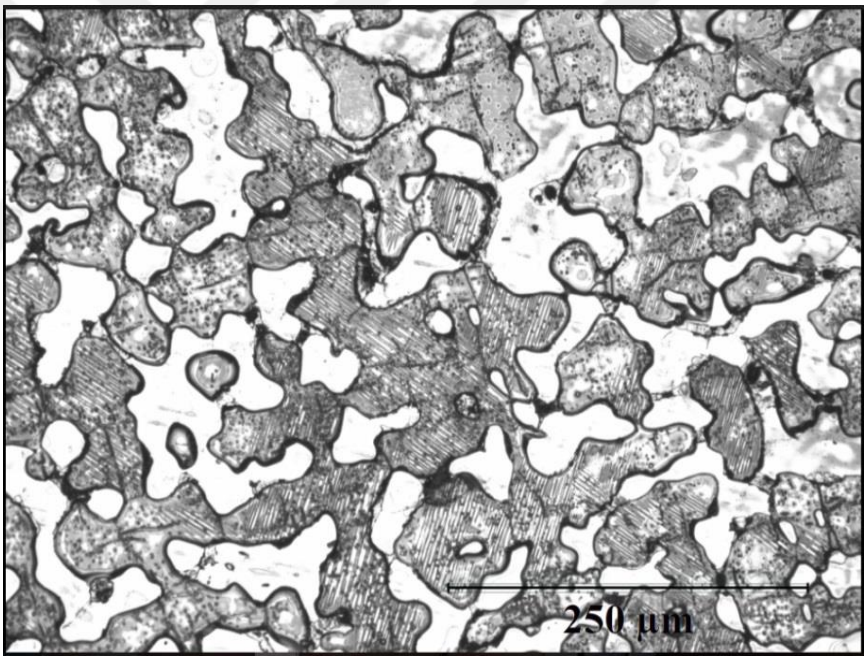
(c)

Şekil 7.125.(devam). 2D numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları.

Şekil 7.126, 2E numunesine ait morfolojiyi göstermektedir. Şekil 7.126 (a), şekli incelendiğinde dendritik yapılar içerisindeki martensit plakalar görülmektedir. Şekil 7.126 (b)'de sol alt köşedeki dendritik yapı içerisindeki martensit plakalar farklı yönelimlere sahip olarak birbiri içerisine istiflenmiş bir şekilde gözlenmektedir ve çökelti fazları görülmektedir. Ayrıca Şekil 7.126 (b)'de tam orta bölgede bulunan dendritik yapılar içerisinde martensit plakalar çatlaklar ile karşılaşarak farklı yönelimlere sahip olmuşlardır.



(a)

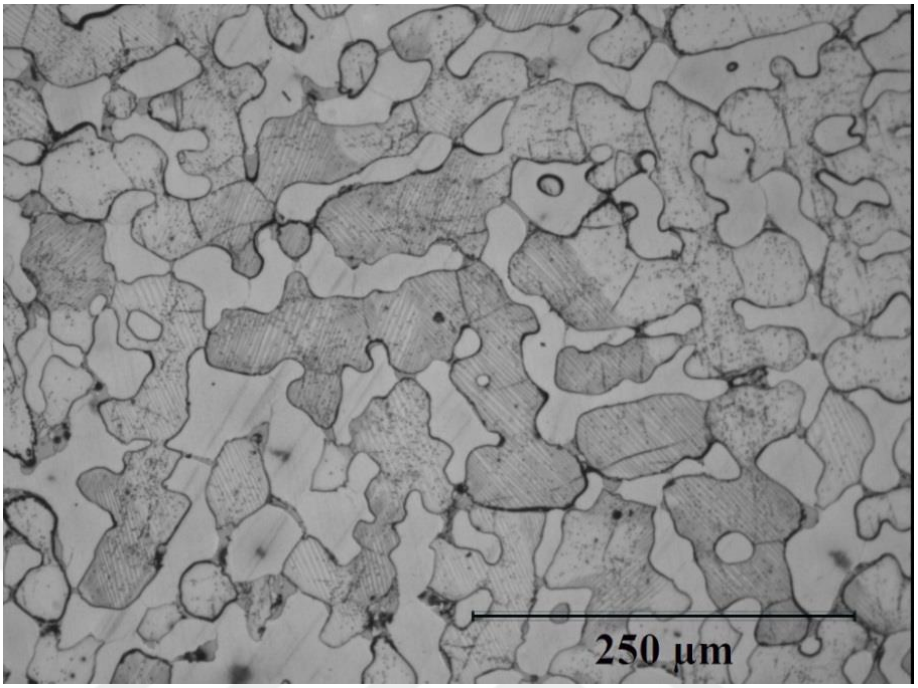


(b)

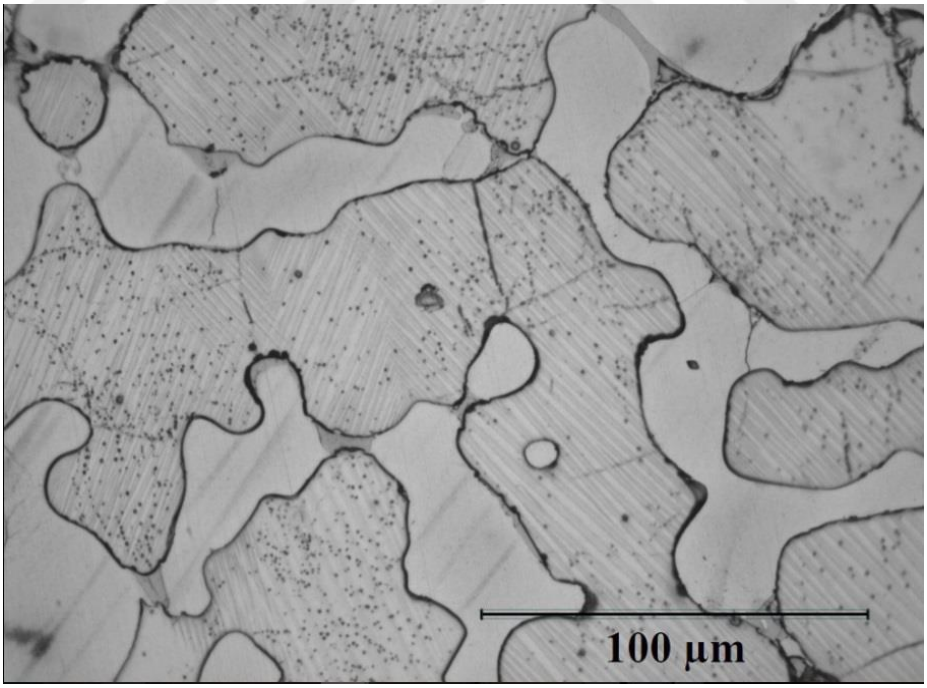
Şekil 7.126. 2E numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları.

Şekil 7.127, 2F numunesine ait morfolojiyi göstermektedir. Şekil 7.127 (a)'da hem martensitik plakalar hem de numunede gözlenen çatlaklar net bir şekilde gözlenmektedir. Şekil 7.127 (b)'de martensitik plakaların birbiri üzerine istiflendiği şeklin orta kısmındaki dendritik yapıda net bir şekilde görülmektedir. Ayrıca Şekil

7.127 (c)‘de dendritik yapılar üzerindeki çökeltiler, dendritik yapılar arasında bulunan çatlaklar ve martensitik plakalar burada görülmektedir.

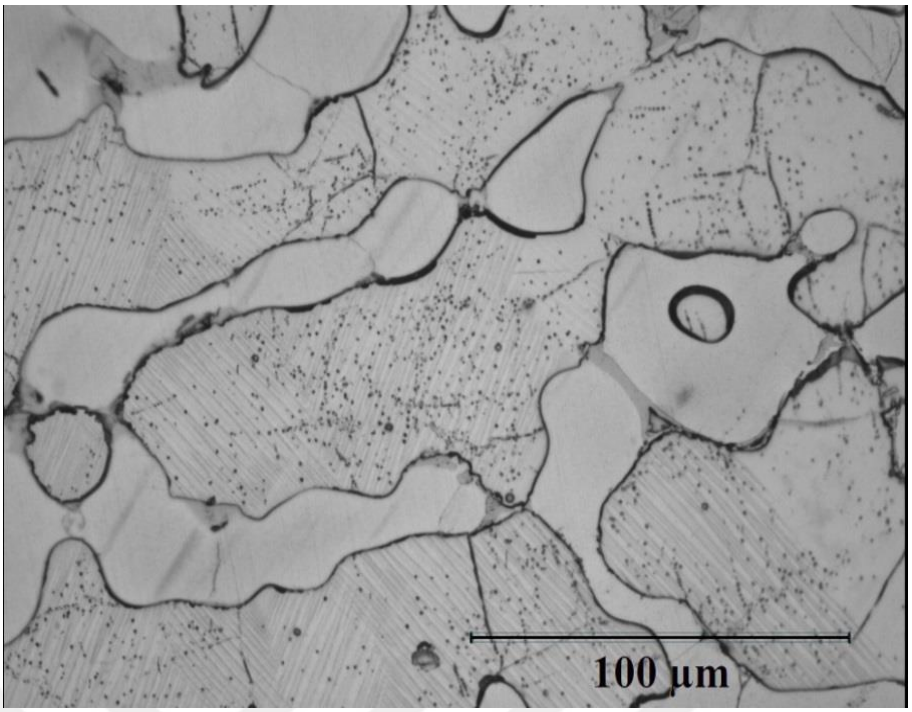


(a)



(b)

Şekil 7.127. 2F numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları.



(c)

Şekil 7.127. (devam). 2F numunesine ait dendritik yapılar ve çökelti fazları.

Sonuç olarak;

a) Metalografik incelemeler malzemelerin morfolojisinde birçok dendritik yapının mevcut olduğunu göstermektedir. Bu yapıların döküm sonucu oluştuğu anlaşılmaktadır.

b) Yapılan metalografik incelemeler X-ışını analizleri ile birleştirilince malzemenin morfolojisinde $L1_0$ martensit yapıların olduğu kesin bir şekilde anlaşılmaktadır.

c) Özellikle malzemede gözlenen dendritik yapılar içerisinde çok fazla çökelti fazlarına rastlanmıştır.

d) 2 nolu numuneye çok düşük sıcaklıklarda kriyojenik ısıl işlem uygulanmasından dolayı mikro çatlaklar oluştuğu tespit edilmiştir. Bu durumun sebebinin 2 nolu alaşımda bulunan Mo'nin Sb ile karşılaştırıldığında mikroçatlaklar oluşumunu engellediği düşünülmektedir.

7.5 Sertlik Ölçümü Sonuçları

Bu çalışmada Çizelge 6.1'de ağırlık oranları verilmiş olan CoNiAlSiSb ve CoNiAlSiMo alaşımlarına Çizelge 6.2'de gösterilmiş olan ısıl işlemler uygulanmıştır. CoNiAlSiSb ve CoNiAlSiMo alaşımları için Vickers Sertliğinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre değişimi verilen numunelere ait sertlik ölçümleri Şekil 7.124'te gösterilmektedir.

Tüm ölçümlerde uygun mekanizmanın sağlanabilmesi için 200 gramlık sabit bir yük kullanıldı. Kriyojenik ısıl işlem süresine tabi olan numunelerin sertlik değerleri Çizelge 7.29'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.29. Numunelerin Kriyojenik ısıl işlem süresine göre sertlik ölçümleri.

	Ölçüm 1		Ölçüm 2		Ölçüm 3		Ölçüm 4		Ölçüm 5	
	VSN	HRC	VSN	HRC	VSN	HRC	VSN	HRC	VSN	HRC
1A	381,0	40,4	349,0	37,2	391,0	41,3	404,0	42,4	315,2	33,5
1B	342,6	36,5	301,0	31,6	287,8	29,80	322,7	34,3	276,9	28,30
1C	429,1	44,7	324,6	34,5	359,9	38,2	346,8	36,9	362,2	38,5
1D	324,6	34,5	344,7	36,7	376,2	39,9	326,6	34,7	336,5	35,8
1E	357,7	38,0	396,1	41,8	334,5	35,6	330,5	35,8	301,0	31,6
1F	336,5	35,8	385,9	40,8	376,2	39,9	383,5	40,6	334,5	35,6
2A	351,1	37,4	459,8	45,7	344,7	36,7	401,3	42,2	398,7	41,9
2B	330,5	35,1	369,1	39,0	317,1	33,6	371,2	39,4	342,4	36,5
2C	476,5	47,9	473,1	47,8	338,5	36,0	349,0	37,2	429,1	44,7
2D	450,4	48,8	483,4	48,4	486,9	48,6	393,5	41,5	420,5	43,8
2E	548,6	52,3	469,7	47,5	447,6	49,3	476,5	47,9	414,8	43,3
2F	450,2	46,1	347,6	36,5	401,3	42,2	388,4	41,0	420,5	43,8

Çizelge 7.29'de görüldüğü gibi kriyojenik ısıl işleme tabi tutulan numunelerin Vickers sertlikleri ile birlikte Rockwell sertlikleri de ölçülmüştür. Numunelere uygulanan bu ölçümlerin ortalama değerleri Çizelge 7.5'de gösterilmiştir. Çizelge 7.5 incelendiğinde 2 nolu alaşımın 1 nolu alaşıma göre daha sert olduğu görülmektedir. Metalogtafik gözlem sonuçlarına baktığımızda 2 nolu alaşımda mikro çatlaklar olduğu tespit edilmişti. O halde bu durum mikro çatlakların nedenini açıklamaktadır. Çizelge 7.5'teki sertlik sonuçlarına göre 1B numunesinin ortalamasının 306,2 olarak en yumuşak olduğu görülmektedir. X-ışınları analizleri ile kıyaslandığında 1B numunesinde $L1_0$ tek faza sahip olduğu, bunun dışındakilerin iki

ve üç faza sahip olduğu tespit edilmiştir. 1B numunesinin setliğinin çok fazla olmama sebebi tek faza sahip olmasıdır.

Çizelge 7.30. 1 Nolu Numunelerin Kriyojenik ısıl işlem süresine göre sertlik ölçümlerinin ortalaması.

	VSN	**HRC**
1A	368,04	38,96
1B	306,2	32,1
1C	364,52	38,56
1D	341,72	36,32
1E	343,96	36,56
1F	363,32	38,54

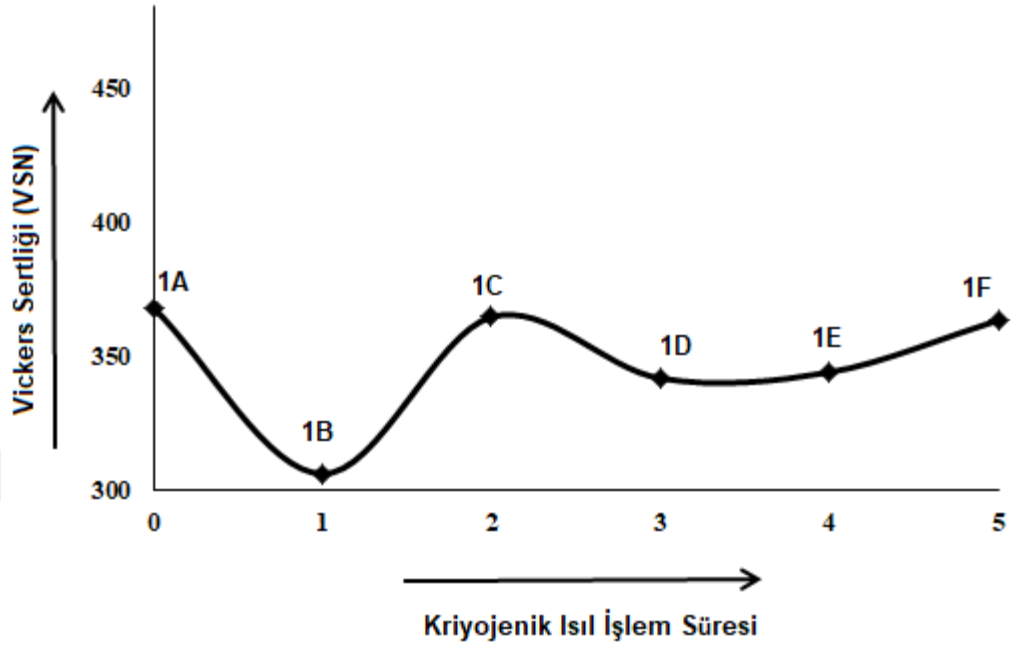
Çizelge 7.31. 2 Nolu Numunelerin Kriyojenik ısıl işlem süresine göre sertlik ölçümlerinin ortalaması.

	VSN	**HRC**
2A	391,12	40,78
2B	346,06	36,72
2C	413,24	42,72
2D	446,94	46,22
2E	471,44	48,06
2F	401,6	41,92

Çizelge 7.1'de atomik değerleri belirtilen numunelerin Çizelge 7.28'de sertlik değerleri tespit edilmiştir. Bu uygulama sonucunda her bir numunenin sertlik ortalaması alınarak Çizelge 7.30 ve Çizelge 7.31'da gösterilmiştir. Çizelge 7.30'da numunelerin kriyojenik ısıl işlem süresine göre sertlik değerlerindeki farklılılar gözlenmektedir. Alaşım 1'de en büyük VSN ve HRC sertlik değerinin 368,04 ve 38,96 ile 1A numunesine ait olduğu anlaşılmıştır. Alaşım 2'de ise en büyük VSN ve HRC sertlik değerinin 471,44 ve 48,06 ile 2E numunesinde olduğu anlaşılmıştır. Bu durumdan da anlaşıldığı üzere en kararlı yapının 1 alaşımı için döküm numunesi olan 1A'ya ait olduğu 2 alaşımı için ise 2E'ye ait olduğu söylenebilir. Çünkü Vickers sertliğinin artması, daha kararsız durumdan daha kararlı duruma geçişin bir ölçüsüdür [7].

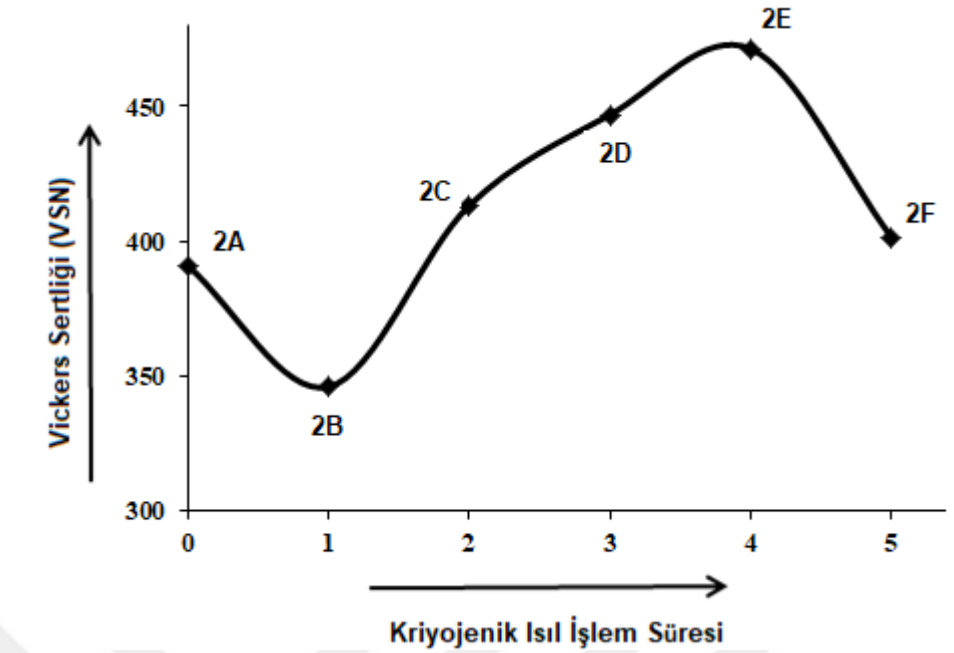
Şekil 7.128 ve Şekil 7.129'te sırasıyla Vickers sertliğinin ve Rocwell sertliğinin numunelere uygulanan kriyojenik ısıl işlem süresine göre dağılımları gösterilmiştir. Her iki şekilden de anlaşıldığı üzere 2 nolu alaşımın sertlik değerlerinin 1 nolu

alaşımın sertlik değerlerinden daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu durumda 2 nolu olarak belirtilen CoNiAlSiSb alaşımında Sb'un etkisi olduğu söylenebilir.

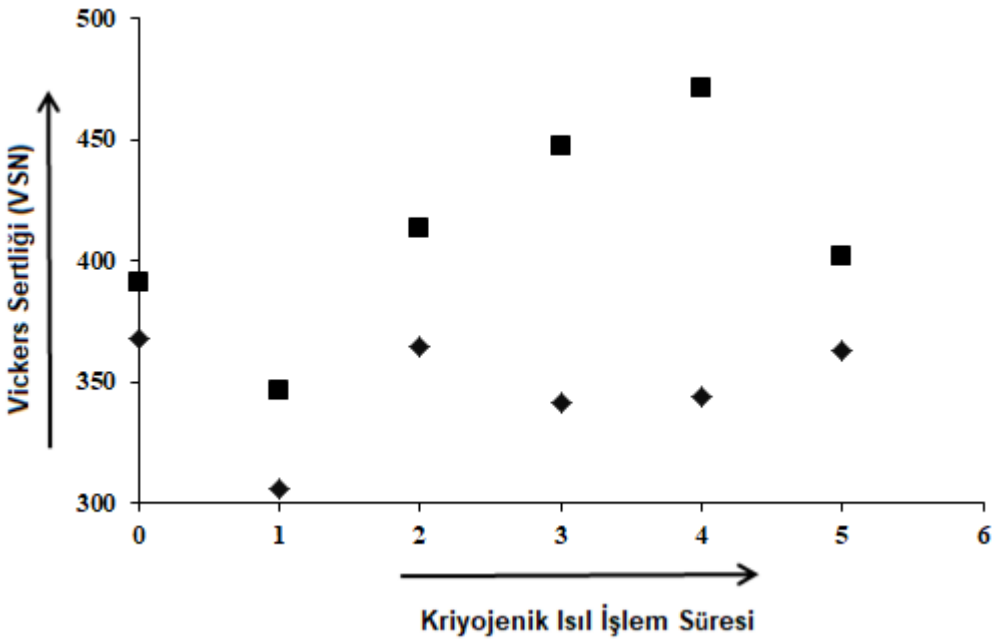


(a)

Şekil 7.128. CoNiAlSi alaşımı için, (a)1 nolu alaşıma ait VSN ölçümlerinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre dağılımı (b) 2 nolu alaşıma ait VSN ölçümlerinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre dağılımı (c) Her iki alaşımın VSN kriyojenik ısıl işlem süresine göre dağılımı.

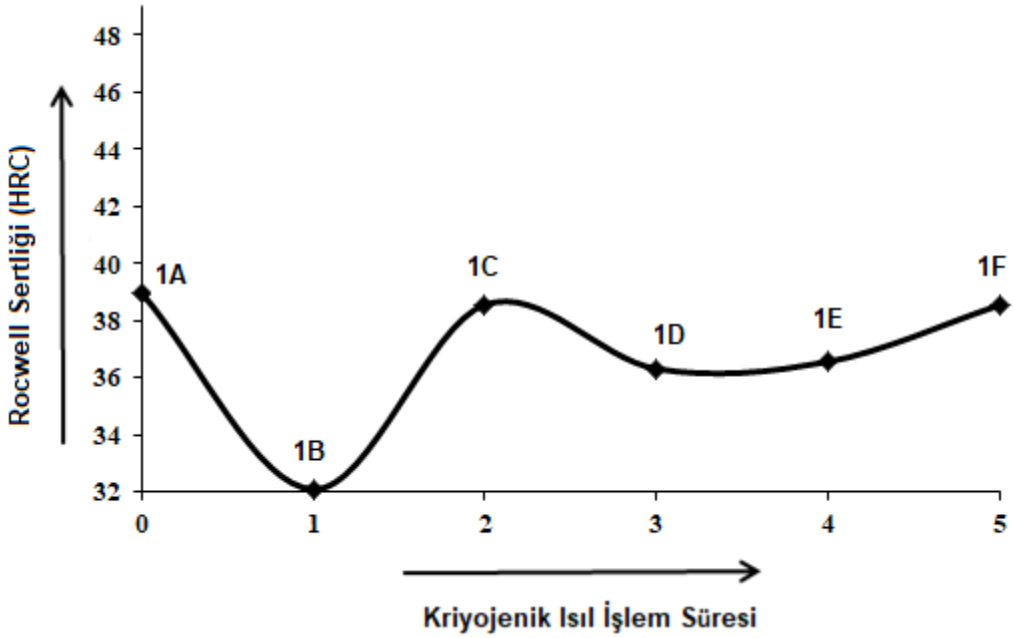


(b)



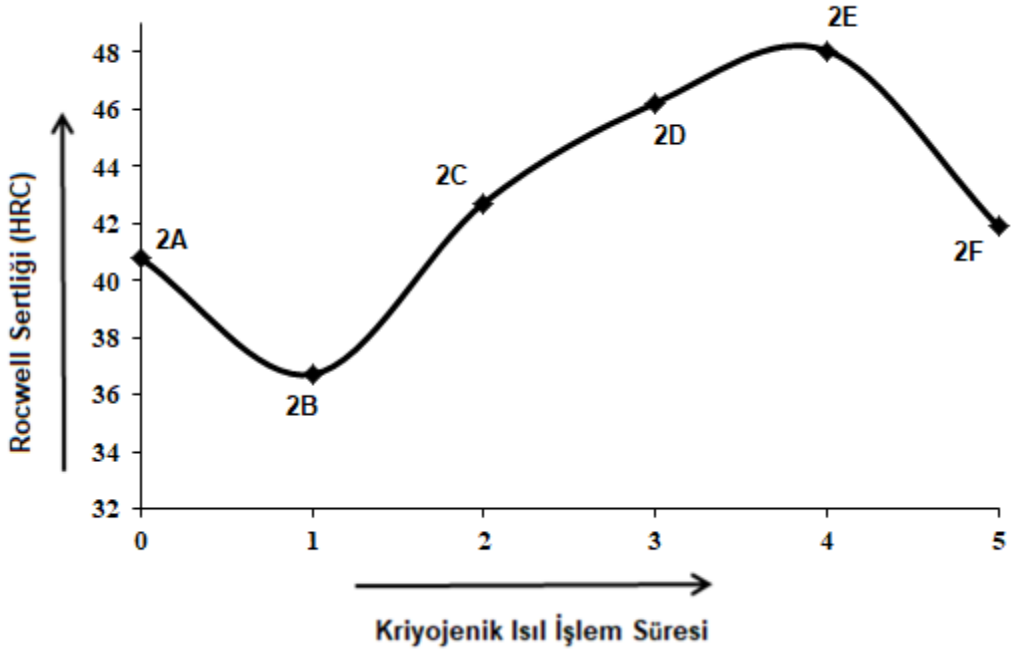
(c)

Şekil 7.128.(devam). CoNiAlSi alaşımı için, (a)1 nolu alaşıma ait VSN Ölçümlerinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre dağılımı (b) 2 nolu alaşıma ait VSN ölçümlerininkriyojenik ısıl işlem süresine göre dağılımı (c) Her iki alaşımın VSN kriyojenik ısıl işlem süresine göre dağılımı.

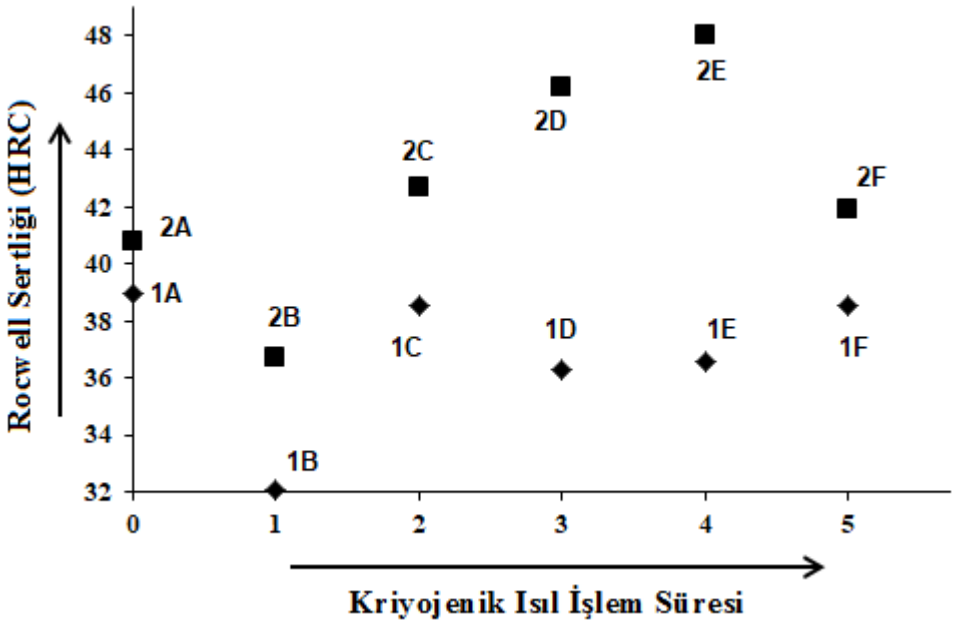


(a)

Şekil 7.129. CoNiAlSi alaşımı için, (a)1 nolu alaşıma ait HRC ölçümlerinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre dağılımı (b) 2 nolu alaşıma ait HRC ölçümlerinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre dağılımı (c) Her iki alaşımın HRC ölçümlerinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre dağılımı.



(b)



(c)

Şekil 7.129.(devam). CoNiAlSi alaşımı için, (a)1 nolu alaşıma ait HRC Ölçümlerinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre dağılımı (b) 2 nolu alaşıma ait HRC ölçümlerinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre dağılımı (c) Her iki alaşımın HRC ölçümlerinin kriyojenik ısıl işlem süresine göre dağılımı.

Bu çalışmada alaşımlardan aldığımız ölçümler doğrultusunda kriyojenik ısıl işlemlerin numunelerin kararlılık derecesindeki artış ve azalışlarının sonucuna varabiliriz. Ve yapılan termal işlemler sonucunda sertlikte meydana gelen bu duruma aşağıda belirtilen faktörlerin etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

a) Numunelerde sertlik değerlerinin birbirinden farklı olmasının nedeni, kriyojenik ısıl işlem sürelerinin farklı olmasıdır.
b) İncelenen numunelere 5 farklı ölçüm uygulandığında artış ve azalışlar gözlenmesinde uygulanan farklı ısıl işlemlerden dolayı numunelerde meydana gelen yapı kusurlarından kaynaklanmaktadır.
c) Numunelerin Kriyojenik ısıl işlem süresine göre ortalama Vickers Sertliği karşılaştırıldığında 1B numunesinin sertlik değerinin diğer numunelere göre daha düşük olduğu görülmektedir.
d) 1B numunesinin sertlik değerlerinin en düşük çıkması X-ışınları ile kıyaslandığında numune içerisinde $L1_0$ tek faza sahip olması ile açıklanabilir.
e) 2 nolu alaşımın sertlik değerlerinin 1 nolu alaşıma göre daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu durum 2 nolu alaşım içerisinde bulunan Sb elementinin etkisi olduğu söylenebilir. 1 nolu alaşım içerinde bulunan Mo elementininde tıpkı mikro çatlak oluşumunu engellediği gibi kırılganlığı da azalttığını söylenebilir.

8. YORUMLAR ve TARTIŞMALAR

Bu araştırmada, üzerinde çalışılan CoNiAlSiMo ve CoNiAlSiSb malzemelerinden alınan veriler şöyle özetlenebilir.

$L1_0$ fazına bütün numunelerde gözlemlenmiştir ve $L1_0$ martensit fazı en baskın fazdır. Bu durum bütün numuneler için B2 $\longrightarrow$ $L1_0$ martensit dönüşümün gerçekleştiğini açıklar. Morfolojik incelemeler sonucunda görülen tüm martensit plakaların $L1_0$ martensit fazına ait olduğu anlaşılmaktadır. Tüm ısıl işlemlere bakıldığında 1A ve 2F numunelerinde $L1_0$ martensit fazının a örgü sabiti genel olarak en yüksek değerleri almıştır. 1A numunesindeki martensit fazı da 2A numunesindekine göre daha yüksek değerdedir. Bu durumda her iki alaşım türünün kompozisyon farklılıklarına bağlanabilir. 1B ve 2A numuneleri haricinde diğer tüm numunelerde γ' intermetalik fazına rastlanmıştır. γ' fazı $L1_2$ martensit fazıdır. γ' fazı malzeme içerisinde çökelti olarak meydana gelir. Aynı zamanda bu faz numunenin şekil hatırlama etkisini azaltacak şekilde etkiler. 1E ve 2E numunelerinde çökelti fazının etkisi diğer numunelere göre daha fazla etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum 1E ve 2E numunelerinin şekil hatırlama etkisi oranının düşük olma ihtimalini ortaya çıkartmaktadır.

Tüm ölçümlerde M_s sıcaklık değerinin oda sıcaklık değerinden yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durum termal etkili martensitik dönüşümünün gerçekleşmesini destekler ve zor etkili martensitik dönüşümün oranını termal etkili martensitik dönüşüme göre azaltır. Kriyojenik ısıl işlem süresi ile ilgili yapılan deneyler incelendiğinde $|A_m - M_m|$ değerlerinin en yüksek 1D ve 2F numunelerinde olduğu gözlenmiştir. Bu durumda 1D ve 2F numunelerin meydana gelen faz dönüşüm miktarının en fazla olduğu şeklinde yorumlanabilir. Ayrıca $|T_0 - M_s|$ değerininde en yüksek 1D ve 2F numunelerinde yani kriyojenik ısıl işlemin uygulanmadığı numunelerde olduğu gözlemlenmiştir. CoNiAlSi alaşımındaki metalografik incelemeler malzemelerin morfolojisinde yüzey kabartılarının olduğunu göstermektedir. Birçok numunede hem γ fazı bölgesinde hem de martensit plakalar üzerinde çökeltiler görülmektedir. Yapılan çalışmalar numunelerin sertliklerinde meydana gelen artış ve azalışların uygulanan farklı ısıl işlem sürelerinden dolayı numunelerde meydana gelen yapı kusurlarından kaynaklandığını ortaya koymuştur.

Alaşımlarda sertlik değerlerinin birbirinden farklı olmasının nedeni, kriyojenik ısıl işlem sürelerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Kriyojenik ısıl işlem sürelerinin değiştirilmesi numunelerin sertliklerinde az da olsa bir miktar artış ve azalış oluşturmuştur. Bu durum martensit fazın bir miktar stabilize olması ile açıklanabilir. Numunelerin kriyojenik ısıl işlem süresine göre ortalama Vickers Sertlik değerleri karşılaştırıldığında 1B numunesinin sertlik değerinin diğer numunelere göre daha düşük olduğu tesbit edilmiştir. Bu durum 1B numunesinin yüksek sıcaklık fazlarından etkilenmesinden kaynaklanmaktadır. Aynı durum Rocwell değerleri içinde geçerlidir. 1B numunesinin sertlik değerlerinin en düşük çıkması X-ışınları ile kıyaslandığında numune içerisinde $L1_0$ tek faza sahip olması ile açıklanabilir. 2 nolu alaşımın sertlik değerlerinin 1 nolu alaşıma göre daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu duruma 2 nolu alaşım içerisinde bulunan Sb içeriğinin etkisi olduğu söylenebilir. 1 nolu alaşım içerinde bulunan Mo elementinin de tıpkı mikro çatlak oluşumunu engellediği gibi kırılganlığı da azalttığını söyleyebiliriz.

KAYNAKLAR

1. Akis, A.Ç., 2012. Şekil hatırlamalı Co-Ni-Al-Si alaşımında yaşlandırma olayının martensitik faz dönüşümü üzerine etkileri, Yüksek Lisans Tezi, KİYÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kilis.

2. Güngüneş, H., Yaşar, E., Aktürk, s., Aktaş, H., Durlu, T.N., 22-25 Haziran 2005. Fe-24.5% Ni-4,5% Si alaşımında Austenite-Martensite faz dönüşümü, 105-109 pp, Tübitak Gebze, Türkiye.

3. Eskil, M., 2006. Fe-Mn-Si Alaşımlarının mekanik ve termal etkiler altında şekil hatırlama özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, FÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

4. Aydoğdu, A., 1995. Şekil hatırlamalı Cu-Al-Ni alaşımlarındaki martensitik dönüşümler üzerinde termal yaşlandırma etkileri, Doktora Tezi, FÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

5. Güngüneş, H., 2005. Fe-%24.5Ni-%4.5Si alaşımında austenit ve martensitik faz dönüşümleri üzerine çalışmalar, Doktora Tezi, KÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.

6. Işık, A., 2007. FePd ferromagnetik şekil hatırlamalı alaşımının kristalografisi, Yüksek Lisans Tezi, SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Isparta.

7. Toptaş, E. ve Akkuş, N., 2007. Şekil hafızalı alaşımlar ve endüstriyel uygulamaları, Makine Teknolojileri Elektrik Dergisi, 4, 15-22.

8. Dilibal, S., 2005. Nikel-Titanyum şekil bellekli alaşım üretimi ve şekil bellek eğitimi, Doktora Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

9. Soğuksu, A.K., 2006, Şekil hatırlamalı Cu-Al-Ni ve Cu-Zn-Al alaşımların üretilmesi ve özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KSÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.

10. Eskil, M., Seval, E. ve Akis, A.Ç., 2014. Şekil hatırlamalı alaşımlarının kristalografik özellikleri, ERÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 30, 1, 19-28.

11. Kaya M., Çakmak Ö., Saygılı T. ve Atlı, K., 2016. Şekil hafızalı alaşımlarda martensitik faz dönüşümü ve şekil hafıza mekanizması, Selçuk Teknik Dergisi, 15, 3, 2016.

12. Liu J. ve Li J.G., 2006. Magnetic force microscopy observations of Co-Ni-Ga and Co-Ni-Al alloys with two-phase structures, Scripta Materialia, 55, 755-758.

13. Liu Z.H. Dai, X.F. Zhu Z.H. ve Chen, J.L., 2004. Martensitic transformation and magnetic properties of Co-Ni-Al shape memory alloys ribbons, Scripta Materialia, 37, 2643-264.

14. Chatterjee, S. Thakur, M. Giri, S. Majumdar, S.Deb ve A. K. De. S.K., 2008. Transport, magnetic ve structural ınvestigations of Co-Ni-Al shape memory alloy, Journal of Alloys and Compounds, 456, 96-100.

15. Morito, H.Oikawa, K. Fujita, A.Fukamichi, K.Kainuma ve R.Ishida K., 2010. Large magnetic-field-ınduced strain in Co-Ni-Al single variant ferromagnetic shape memory alloy, Scripta Materialia, 5, 1-6.

16. Liu,J., Xie,H., Huo, Y., Zheng, H. ve Li, J., 2006. Microstructure evolution in CoNiGa shape memory alloys, Journal of Alloys and Compounds, 420,145-157.

17. Özbek N.,Çiçek A., Gülesin M. ve Özbek O., 2016. Kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız WC-Co takımlarla AISI 304 paslanmaz çeliğin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerinin incelenmesi, Internatıonal Conference on Engineering Tecnology and Applied Sciences, Afyon Kocatepe University, Turkey.

18. Huang, J.Y., Zhu, Y.T., Liao, X.Z., Beyerlein, I.J., Bourke,M.A. ve Mitchell, T.E., 2003. Microstructure of crygenic treated M2 tool steel, Materials Science and Engineering, A339 2003; 241-244.

19. Seval E., 2010. CoNiAl şekil hatırlamalı alaşımların kristalografik özellikleri, Seminer, KİYÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kilis.

20. Tanaka, Y.Oikawa, K. Sutou, Y. Omori, T. Kainuma ve R. Ishida, K., 2006. Martensitic transition and superalasticity of Co-Ni–Al ferromagnetic shape memory alloys with $\beta+\gamma$ two-phase structure. Materials Science and Engineering, A438:1054-1060.21.

21. Li, J. ve Li, J., 2011. Microstructure evolution of the undercooled Co-Ni-Ga magnetic shape memory alloy, Journal of Alloys and Compounds, 509, 1563-1566.

22. Kurt, B. ve Orhan, N., 2003. Şekil hafızalı alaşımlarının kaynak edilebilirliği, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları 4.

23. URL-1 < http://www.dokumtek.com/kriyojenik-islem/>, Erişim Tarihi: 18.04.2018.

24. URL-2 < http://www.mmdtekno.com/kriyojeniki%C5%9Flem.html>, Erişim Tarihi:18.04.2018.

25. URL-3 < http://dergipark.gov.tr/download/article-file/211564/ >, Erişim Tarihi: 09.04.2019

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Zeynep Aylin ŞAHAN
Adres : Şahinbey/Gaziantep
E-posta adresi : zynpcelebi@hotmail.com
zasahan8487@gmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ

Lisans : İnönü Üniversitesi, 2004-2008
Tezsiz Yüksek Lisans : Kilis 7 Aralık Üniversitesi, 2009-2010
Yüksek lisans : Aksaray Üniversitesi, 2011-

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. Kilis Halk Eğitim Merkezi Müdürlüğü Fen Bilgisi Öğretmenliği
2. Kilis Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi Fizik Öğretmenliği
3. Kilis Nazlı Ömer Çetin İlkokul Müdürlüğü Fen Bilgisi Öğretmenliği
4. Kilis Ekrem Çetin İlköğretim Okulu Müdürlüğü Fen Bilgisi Öğretmenliği
5. Özel Gaziantep Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi Müdürlüğü Fizik Öğretmenliği

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Kongrelerde Sunulan Makaleler

1. Eskil M., Aldaş K., Şahan Z.A. 2016. Co Bazlı Şekil Hatırlamalı Alaşımların Morfolojisinin Kompozisyona Bağlılığı. Internatıonal Conference on Material Science and Tecnology in Cappadocia (IMSTEC'16), April 6-8, 2016, Nevşehir, Turkey.
2. Eskil M., Aldaş K., Şahan Z.A. 2016. Co Bazlı Şekil Hatırlamalı Alaşımlarda Süpersoğutma İşlemi Sonucunda Metalografik İncelemeler. Internatıonal Conference on Material Science and Tecnology in Cappadocia (IMSTEC'16), April 6-8, 2016, Nevşehir, Turkey.
3. Eskil M., Şahan Z.A. 2016. Co Bazlı Şekil Hatırlamalı Alaşımlarda Çökeltiler. Internatıonal Conference on Material Science and Tecnology in Cappadocia (IMSTEC'16),April 6-8, 2016, Nevşehir, Turkey.

PROJELER

1. Eskil M., 01.04.2017. Kriyojenik Isıl İşlem Süresinin Martensitik Faz Dönüşümleri Üzerine Etkileri, 2015-066. (Zeynep Aylin ŞAHAN Projede Araştırmacı olarak görev almıştır.)