T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI

ŞEKİL HATIRLAMALI MANYETİK Co-Ni-Al-Si ALAŞIMLARININ YÜKSEK SICAKLIK FAZ YAPILARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet ŞAHAN

DANIŞMAN

Prof. Dr. Murat ESKİL

AKSARAY, 2024

T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI

ŞEKİL HATIRLAMALI MANYETİK Co-Ni-Al-Si ALAŞIMLARININ YÜKSEK SICAKLIK FAZ YAPILARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet ŞAHAN

DANIŞMAN

Prof. Dr. Murat ESKİL

AKSARAY, 2024

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 222310703 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Ahmet ŞAHAN tarafından hazırlanan **"ŞEKİL HATIRLAMALI MANYETİK Co-Ni-Al-Si ALAŞIMLARININ YÜKSEK SICAKLIK FAZ YAPILARININ İNCELENMESİ"** adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Fizik Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Murat ESKİL

Aksaray Üniversitesi

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

Üye: Prof. Dr. Mustafa YİĞİT

Aksaray Üniversitesi

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

Üye: Dr. Öğretim Üyesi Serkan DAL

Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi

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

Tez Savunma Tarihi: 24.06.2024

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

…….

Prof. 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.

Ahmet ŞAHAN

TEŞEKKÜR

Danışmanım Prof. Dr. Murat ESKİL'e, araştırma esnasında yardımlarını esirgemeyen Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'ne ve özellikle Dr. Öğretim Üyesi Serkan DAL Hocam'a, eşim Zeynep Aylin ŞAHAN ve kızlarım Şura ŞAHAN ile İpek Asel ŞAHAN'a teşekkür ederim.

Ahmet ŞAHAN

AKSARAY, 2024

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....i
İÇİNDEKİLER..... ii
ÖZET..... iii
ABSTRACT iv
ŞEKİLLER DİZİNİ v
ÇİZELGELER DİZİNİ xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....xiv
1. GİRİŞ 1
2. FERROMAGNETİK ŞEKİL HATIRLAMALI ALAŞIMLARDA FAZ DÖNÜŞÜMÜ 3
2.1 Co-Ni Ferromagnetik Şekil Hafızalı Alaşımlarda Faz Dönüşümü 3
2.2 Değerlik Elektron Konsantrasyonuna Karşı Martensit Dönüşüm Sıcaklıkları...6
3. YÜKSEK SICAKLIK FAZLARI.....9
4. DENEYSEL İŞLEMLER.....14
5. DENEY SONUÇLARI VE SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....17
5.1. XRD Sonuçları 17
5.1.1 Alaşım 1'den Elde Edilen XRD Sonuçları..... 17
5.1.2 Alaşım 2'den Elde Edilen XRD Sonuçları..... 22
5.2. Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC) Sonuçları 28
5.3. Titreşimli Numune Magnetometresi (VSM) Sonuçları..... 65
5.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Gözlemleri 73
5.4.1 Alaşım 1 İçin SEM Gözlem Sonuçları..... 73
5.4.2 Alaşım 2 İçin SEM Gözlem Sonuçları..... 86
5.5. Optik Mikroskop Gözlem Sonuçları..... 108
5.5.1 Alaşım 1'e Ait Optik Gözlem Sonuçları..... 108
5.5.2 Alaşım 2'e Ait Optik Gözlem Sonuçları..... 121
5.6 Numunelere Ait Sertlik Ölçüm Sonuçları..... 133
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....137
KAYNAKLAR 140
ÖZGEÇMİŞ 143

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞEKİL HATIRLAMALI MANYETİK Co-Ni-Al-Si ALAŞIMLARININ YÜKSEK SICAKLIK FAZ YAPILARININ İNCELENMESİ

Ahmet ŞAHAN

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Murat ESKİL

ÖZET

Bu çalışmada; teknolojik uygulamaları nedeniyle son zamanlarda dikkat çeken CoNiAlSiMo ve CoNiAlSiSb şekil hatırlamalı alaşımlar indiksiyonlu bir ergitme fırında üretildikten sonra aralarındaki fiziksel özellikler karşılaştırıldı. CoNiAlSiMo ve CoNiAlSiSb şekil hatırlamalı alaşımların yüksek sıcaklık faz yapılarının 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 sertlik ölçümleri yapıldı. Deneysel ölçümlerin sonunda molibden ve antimon ilavesinin Co-Ni-Al alaşımının kristal yapısında değişiklikler oluşturduğu, molibden ilavesinin antimon ile karşılaştırıldığında şekil hatırlamalı alaşımların en önemli özelliği olan M_f sıcaklığı dışında tüm austenitik ve martensitik dönüşüm sıcaklıklarını düşürdüğü gözlenmiştir. Ayrıca molibden ve antimon ilaveli Co-Ni-Al alaşımlarının mikro yapılarının birbirleri ile kıyaslandıklarında bazı değişiklikler içerdikleri ve X-ışını analizi ile belirlenen fazların varlığı da metalografi incelemeleri ile belirlenmiştir. Alaşımların mikro sertlik değerlerinde molibden ilaveli numunelerin sertliklerinin genel olarak daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Manyetik özelliklerinde de bazı önemli değişiklikler belirlenmiştir. Antimon ilavesiyle manyetik dönüşüm sıcaklığının arttığı ve manyetik doyma değerinde de önemli bir düşüş tespit edildiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Co Bazlı Alaşımlar, Yüksek Sıcaklık Fazları, Şekil Hatırlama Olayı, Manyetik Malzemeler.

Haziran, 2024; 143 sayfa

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION OF HIGH TEMPERATURE PHASE STRUCTURES OF MAGNETIC Co-Ni-Al-Si ALLOYS WITH SHAPE RECALL

Ahmet ŞAHAN

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

Supervisor: Prof. Dr. Murat ESKİL

ABSTRACT

In this study, the physical properties between Co-Ni-Al-Si-Sb and Co-Ni-Al-Si-Mo shape memory alloys, which have recently attracted attention due to their technological applications, were compared after being produced in an induction melting furnace. Differential Scanning Calorimeter (DSC) measurements for determination of high temperature phase structures of Co-Ni-Al-Si-Sb and Co-Ni-Al-Si-Mo shape memory alloys; X-Ray Diffraction for determination of mesh distances; Scanning Electron Microscopy (SEM) and optical microscopy experiments were performed to examine the metallographic structures, and Vickers hardness measurements were performed for hardness changes. At the end of experimental measurements, it was observed that the addition of molybdenum and antimony caused changes in the crystal structure of the Co-Ni-Al alloy, and the addition of molybdenum reduced all austenitic and martensitic transition temperatures except the Mf temperature, which is the most important feature of shape memory alloys compared to antimony. In addition, it has been determined by metallography studies that the microstructures of molybdenum and antimony-added Co-Ni-Al alloys contain some changes when compared with each other, and the presence of phases determined by X-ray analysis. It has been understood that the hardness of molybdenum-added samples is generally higher in the micro hardness values of alloys. Some important changes in their magnetic properties have also been determined. It has been observed that the magnetic transition temperature increases with the addition of antimony, and a significant decrease in the magnetic saturation value has also been detected.

Keywords: Co-Based Alloys, High Temperature Phases, Shape Memory, Magnetic materials.
June,2024; 143 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Tipik DSC ve termomanyetizasyon eğrileri (11)……...….4
Şekil 2.2. Isıtma soğutmaya bağlı dönüşüm davranışı şematiği (11)..……...5
Şekil 2.3. Ni ve Ga konsantrasyonunna bağlı faz dönüşümleri (11) 5
Şekil 2.4. Ferromanyetik şekil hafızalı alaşımlarda faz ilişkisi (11). 7
Şekil 2.5. Ni/Ga ve Co/Ni oranına bağlı Ms geçiş sıcaklığı (11). 8
Şekil 2.6. Co2NiGa ferromanyetik şekil hafızalı alaşımaların oluşumu için bileşim aralığı (11) 8
Şekil 3.1. A, B, C, D, E alaşımlarının farklı sıcaklıklarda mikroyapılarının SEM görüntüleri (34) 11
Şekil 3.2. Farklı alaşım sistemlerinin Sıcaklık Manyetizma değişim grafiği (34) 13
Şekil 3.3. Farklı alaşım sistemlerinin Sıcaklık Direnç değişim grafiği (34).....13
Şekil 5.1. Numune 1A'ya Ait XRD 18
Şekil 5.2. Numune 1B'ye Ait XRD.....18
Şekil 5.3. Numune 1C'ye Ait XRD.....19
Şekil 5.4. Numune 1D'ye Ait XRD.....19
Şekil 5.5. Numune 1E'ye Ait XRD 20
Şekil 5.6. Numune 1F'ye Ait XRD 20
Şekil 5.7. Numune 1G'ye Ait XRD.....21
Şekil 5.8. Numune 1H'ye Ait XRD.....21
Şekil 5.9. Numune 1K'ya Ait XRD.....22
Şekil 5.10. Numune 1J'ye Ait XRD ……..22
Şekil 5.11. Numune 2A'ya Ait XRD.....23
Şekil 5.12. Numune 2B'ye Ait XRD…… 23
Şekil 5.13. Numune 2C'ye Ait XRD 24
Şekil 5.14. Numune 2D'ye Ait XRD 24
Şekil 5.15. Numune 2E'ye Ait XRD 24
Şekil 5.16. Numune 2F'ye Ait XRD 25
Şekil 5.17. Numune 2G'ye Ait XRD.....25
Şekil 5.18. Numune 2H'ye Ait XRD ……26
Şekil 5.19. Numune 2K'ya Ait XRD.....26
Şekil 5.20. Numune 2J'ye Ait XRD 27
Şekil 5.21. 1A numunesinin 5 ^{0}C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 29
Şekil 5.22. Numune 1A'nın 10 ^{0}C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 29
Şekil 5.23. Numune 1A'nın 15 ^{0}C/dk ısıtma hızları için DSC eğrisi 29
Şekil 5.24. 1A numunesinin 20 ^{0}C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 30
Şekil 5.25. Numune 1A'nın 1. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 30
Şekil 5.26. Numune 1A'nın 2. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 30
Şekil 5.27. Numune 1A'nın 3. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 31
Şekil 5.28. Numune 1B'nin 5°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 32
Şekil 5.29. 1B numunesinin 10°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.....32
Şekil 5.30. Numune 1B'nin 15°C/dk ısıtma hızları için DSC eğrisi.....32
Şekil 5.31. 1B numunesinin 20°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.....33

Şekil 5.32. Numune 1B'nin 1. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 33
Şekil 5.33. Numune 1B'nin 2. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 33
Şekil 5.34. Numune 1B'nin 3. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 34
Şekil 5.35. Numune 1C'nin 5°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 35
Şekil 5.36. 1C numunesinin 10°C/dk ısıtma hızları için DSC eğrisi.....35
Şekil 5.37. Numune 1C'nin 15°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 35
Şekil 5.38. Numune 1C'nin 20°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 36
Şekil 5.39. Numune 1C'nin 1. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 36
Şekil 5.40. Numune 1C'nin 2. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 36
Şekil 5.41. Numune 1C'nin 3. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 37
Şekil 5.42. Numune 1D'nin 5°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 38
Şekil 5.43. 1D numunesinin 10°C/dk ısıtma hızları için DSC eğrisi 38
Şekil 5.44. Numune 1D'nin 15°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 38
Şekil 5.45. Numune 1D'nin 20°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 39
Şekil 5.46. Numune 1D'nin 1. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 39
Şekil 5.47. Numune 1D'nin 2. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 39
Şekil 5.48. Numune 1D'nin 3. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 40
Şekil 5.49. Numune 1E'nin 5°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 41
Şekil 5.50. 1E numunesinin 10°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.....41
Şekil 5.51. Numune 1E'nin 15°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.....41
Şekil 5.52. Numune 1E'nin 20°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.....42
Şekil 5.53. Numune 1E'nin 1. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi. 42
Şekil 5.54. Numune 1E'nin 2. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 42
Şekil 5.55. Numune 1E'nin 3. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 43
Şekil 5.56. Numune 1F'nin 5°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.....44
Şekil 5.57. 1F numunesinin 10°C/dk ısıtma hızları için DSC eğrisi 44
Şekil 5.58. Numune 1F'nin 15°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.....44
Şekil 5.59. Numune 1F'nin 20°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.....45
Şekil 5.60. Numune 1F'nin 1. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi. 45
Şekil 5.61. Numune 1F'nin 2. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 45
Şekil 5.62. Numune 1F'nin 3. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 46
Şekil 5.63. Numune 2A'nın 5°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 47
Şekil 5.64. 2A numunesinin 10°C/dk ısıtma hızları için DSC eğrisi 47

Şekil 5.65. Numune 2A'nın 15°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 47
Şekil 5.66. Numune 2A'nin 20°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 48
Şekil 5.67. Numune 2A'nın 1. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 48
Şekil 5.68. Numune 2A'nın 2. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 48
Şekil 5.69. Numune 2A'nın 3. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 49
Şekil 5.70. Numune 2B'nin 5°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 50
Şekil 5.71. 2B numunesinin 10^0C/dk ısıtma hızları için DSC eğrisi.....50
Şekil 5.72. Numune 2B'nin 15°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi..... 50
Şekil 5.73. Numune 2B'nin 20°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 51
Şekil 5.74. Numune 2B'nin 1. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi. 51
Şekil 5.75. Numune 2B'nin 1. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 51
Şekil 5.76. Numune 2B'nin 1. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 52
Şekil 5.77. Numune 2C'nin 5°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 53
Şekil 5.78. 2C numunesinin 10^0C/dk ısıtma hızları için DSC eğrisi.....53
Şekil 5.79. Numune 2C'nin 15°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 53
Şekil 5.80. Numune 2C'nin 20°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 54
Şekil 5.81. Numune 2C'nin 1. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 54
Şekil 5.82. Numune 2C'nin 2. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 54
Şekil 5.83. Numune 2C'nin 3. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 55
Şekil 5.84. Numune 2D'nin 5°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 56
Şekil 5.85. 2D numunesinin 10^0C/dk ısıtma hızları için DSC eğrisi.....56
Şekil 5.86. Numune 2D'nin 15°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 56
Şekil 5.87. Numune 2D'nin 20°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 57
Şekil 5.88. Numune 2D'nin 1. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 57
Şekil 5.89. Numune 2D'nin 2. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi. 57
Şekil 5.90. Numune 2D'nin 3. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 58
Şekil 5.91. Numune 2E'nin 5°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 59
Şekil 5.92. 2E numunesinin 10^0C/dak ısıtma hızları için DSC eğrisi 59
Şekil 5.93. Numune 2E'nin 15°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.....59
Şekil 5.94. Numune 2E'nin 20°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.....60
Şekil 5.95. Numune 2E'nin 1. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 60
Şekil 5.96. Numune 2E'nin 2. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 60
Şekil 5.97. Numune 2E'nin 3. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 61

Şekil 5.98. Numune 2F'nin 5°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.....62
Şekil 5.99. 2F numunesinin 10^0C/dk ısıtma hızları için DSC eğrisi 62
Şekil 5.100. Numune 2F'nin 15°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.....62
Şekil 5.101. Numune 2F'nin 20°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.....63
Şekil 5.102. Numune 2F'nin 1. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi. 63
Şekil 5.103. Numune 2F'nin 2. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 63
Şekil 5.104. Numune 2F'nin 3. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi 64
Şekil 5.105. 250 °C de 1 saat bekletilen 1A numunesine ait M-T eğrisi.....65
Şekil 5.106. 250 °C de 1 saat bekletilen 2A numunesine ait M-T eğrisi.....65
Şekil 5.107. 250 °C de 2 saat bekletilen 1B numunesine ait M-T eğrisi.....66
Şekil 5.108. 250 °C de 2 saat bekletilen 2B numunesine ait M-T eğrisi.....66
Şekil 5.109. 250 °C de 3 saat bekletilen 1C numunesine ait M-T eğrisi.....66
Şekil 5.110. 250 °C de 3 saat bekletilen 2C numunesine ait M-T eğrisi.....67
Şekil 5.111. 250 °C de 4 saat bekletilen 1D numunesine ait M-T eğrisi.....67
Şekil 5.112. 250 °C de 4 saat bekletilen 2D numunesine ait M-T eğrisi.....67
Şekil 5.113. 250 °C de 5 saat bekletilen 1E numunesine ait M-T eğrisi.....68
Şekil 5.114. 250 °C de 5 saat bekletilen 2E numunesine ait M-T eğrisi.....68
Şekil 5.115. 250 °C de 6 saat bekletilen 1F numunesine ait M-T eğrisi.....69
Şekil 5.116. 250 °C de 6 saat bekletilen 2F numunesine ait M-T eğrisi.....69
Şekil 5.117. 200 °C de 1 saat bekletilen 1G numunesine ait M-T eğrisi.....69
Şekil 5.118. 200 °C de 1 saat bekletilen 2G numunesine ait M-T eğrisi.....70
Şekil 5.119. 300 °C de 1 saat bekletilen 1H numunesine ait M-T eğrisi.....70
Şekil 5.120. 300 °C de 1 saat bekletilen 2H numunesine ait M-T eğrisi.....71
Şekil 5.121. 350 °C de 1 saat bekletilen 1K numunesine ait M-T eğrisi.....71
Şekil 5.122. 350 °C de 1 saat bekletilen 2K numunesine ait M-T eğrisi.....71
Şekil 5.123. 400 °C de 1 saat bekletilen 1J numunesine ait M-T eğrisi.....72
Şekil 5.124. 100 °C de 1 saat bekletilen 2J numunesine ait M-T eğrisi.....72
Şekil 5.125. Numune 1A'ya ait morfolojik yapı.....73
Şekil 5.126. Numune 1B'ye ait morfolojik yapı 74
Şekil 5.127. 1C numunesine ait morfoloji 75
Şekil 5.128. Numune 1D'ye ait morfolojik yapı. 75
Şekil 5.129. Numune 1D'ye ait morfolojik yapı 76
Şekil 5.130. Numune 1D'ye ait morfolojik yapı 76
Şekil 5.131. 1E numunesine ait morfoloji 77
Şekil 5.132. Numune 1F'ye ait morfolojik yapı.....78
Şekil 5.133. 1F numunesine ait EDS analizi.....79
Şekil 5.134. Numune 1G'ye ait morfolojik yapı 80
Şekil 5.135. Numune 1G'ye ait morfolojik yapı. 81
Şekil 5.136. Numune 1H'ye ait morfolojik yapı. 82
Şekil 5.137. Numune 1H'ye ait morfolojik yapı. 82
Şekil 5.138. 1K numunesine ait morfoloji 83
Şekil 5.139. 1K numunesine ait EDS analizi 84
Şekil 5.140. 1J numunesine ait morfoloji 85
Şekil 5.141. Numune 2A'ya ait morfolojik yapı. 86
Şekil 5.142. Numune 2B'ye ait morfolojik yapı 87
Şekil 5.143. 2B numunesine ait EDS analizi 88

Şekil 5.144. Numune 2C'ye ait morfolojik yapı 90
Şekil 5.145. 2C numunesine ait EDS analizi 91
Şekil 5.146. Numune 2D'ye ait morfolojik yapı 92
Şekil 5.147. Numune 2D'ye ait morfolojik yapı 93
Şekil 5.148. Numune 2E'ye ait morfolojik yapı 93
Şekil 5.149. 2E numunesine ait morfoloji 94
Şekil 5.150. Numune 2F'ye ait morfolojik yapı....94
Şekil 5.151. Numune 2G'ye ait morfolojik yapı 96
Şekil 5.152. 2G numunesine ait EDS analizi 97
Şekil 5.152(Devam). 2G numunesine ait EDS analizi 98
Şekil 5.153. 2H numunesine ait morfoloji 100
Şekil 5.154. 2H numunesine ait EDS analizi 101
Şekil 5.155. 2K numunesine ait morfoloji 102
Şekil 5.156. 2K numunesine ait EDS analizi 103
Şekil 5.157. 2K numunesine ait EDS görüntüsü 104
Şekil 5.158. 2K numunesine ait EDS analizi 105
Şekil 5.159. 2J numunesine ait morfoloji 107
Şekil 5.160. 2J numunesine ait EDS analizi 107
Şekil 5.161. Numune 1A'ya ait fazlar 108
Şekil 5.162. Numune 1B'ye ait fazlar 109
Şekil 5.163. Numune 1C'ye ait fazlar..... 110
Şekil 5.164. Numune 1D'ye ait fazlar 110
Şekil 5.165. Numune 1E'ye ait fazlar 111
Şekil 5.166. Numune 1F'ye ait fazlar....112
Şekil 5.167. Numune 1F'ye ait fazlar....112
Şekil 5.168. Numune 1F'ye ait fazlar....113
Şekil 5.169. Numune 1F'ye ait fazlar....113
Şekil 5.170. Numune 1G'ye ait fazlar 114
Şekil 5.171. Numune 1G'ye ait fazlar 114
Şekil 5.172. Numune 1G'ye ait fazlar 115
Şekil 5.173. Numune 1G'ye ait fazlar 115
Şekil 5.174. Numune 1G'ye ait fazlar 116
Şekil 5.175. Numune 1H'ye ait fazlar 116
Şekil 5.176. Numune 1K'ya ait fazlar 117
Şekil 5.177. Numune 1K'ya ait fazlar 117
Şekil 5.178. Numune 1K'ya ait fazlar 118
Şekil 5.179. Numune 1J'ye ait fazlar....118
Şekil 5.180. Numune 1J'ye ait fazlar....119
Şekil 5.181. Numune 1J'ye ait fazlar....119
Şekil 5.182. Numune 1J'ye ait fazlar....120
Şekil 5.183. Numune 1J'ye ait fazlar....120
Şekil 5.184. Numune 2A'ya ait fazlar 121
Şekil 5.185. Numune 2A'ya ait fazlar 122
Şekil 5.186. Numune 2B'ye ait fazlar 122
Şekil 5.187. Numune 2C'ye ait fazlar. 123
Şekil 5.188. Numune 2C'ye ait fazlar. 123
Şekil 5.189. Numune 2D'ye ait fazlar 124
Şekil 5.190. Numune 2D'ye ait fazlar 124
Şekil 5.191. Numune 2E'ye ait fazlar....125
Şekil 5.192. Numune 2E'ye ait fazlar....125

Şekil 5.193. Numune 2F'ye ait fazlar 126
Şekil 5.194. Numune 2G'ye ait fazlar 126
Şekil 5.195. Numune 2G'ye ait fazlar 127
Şekil 5.196. Numune 2G'ye ait fazlar 127
Şekil 5.197. Numune 2H'ye ait fazlar 128
Şekil 5.198. Numune 2H'ye ait fazlar 128
Şekil 5.199. Numune 2H'ye ait fazlar 129
Şekil 5.200. Numune 2H'ye ait fazlar 129
Şekil 5.201. Numune 2H'ye ait fazlar 130
Şekil 5.202. Numune 2K'ya ait fazlar 130
Şekil 5.203. Numune 2K'ya ait fazlar 131
Şekil 5.204. Numune 2K'ya ait fazlar 131
Şekil 5.205. Numune 2K'ya ait fazlar 132
Şekil 5.206. Numune 2J'ye ait fazlar 132
Şekil 5.207. 1 nolu alaşıma ait VSN ölçümlerinin ısıl işlem süresine göre dağılımı…..... 134
Şekil 5.207(Devam). 2 nolu alaşıma ait VSN ölçümlerinin ısıl işlem sıcaklığına göre dağılımı..... 135
Şekil 5.207(Devam). Her iki alaşıma ait VSN ölçümlerinin ısıl işlem süresine ve ısıl işlem sıcaklığına göre dağılımı..... 136

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. A, B, C, D, E alaşımlarının A-M geçiş sıcaklıkları (34). 12
Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan alaşımların kompozisyonları ve e/a oranları……14
Çizelge 4.2. Alaşımlara uygulanan termal işlemler.....15
Çizelge 4.3. Bu çalışmada kullanılan alaşımların adları.....16
Çizelge 4.4. DSC analizinde kullanılan alaşımların kütle değerleri 16
Çizelge 5.1. Termal işlem süresine bağlı çökelti fazları için elde edilen γ' örgü sabitleri……..27
Çizelge 5.2. Tüm numunelerde bulunan fazlar. 28
Çizelge 5.3. Numune 1A'ya ait DSC analiz sonuçları……. 31
Çizelge 5.4. Numune 1B'ye ait DSC analiz sonuçları.....34
Çizelge 5.5. Numune 1C'ye ait DSC analiz sonuçları.....37
Çizelge 5.6. Numune 1D'ye ait DSC analiz sonuçları 40
Çizelge 5.7. Numune 1E'ye ait DSC analiz sonuçları.....43
Çizelge 5.8. Numune 1F'ye ait DSC analiz sonuçları.....46
Çizelge 5.9. Numune 2A'ya ait DSC analiz sonuçları 49
Çizelge 5.10. Numune 2B'ye ait DSC analiz sonuçları.....52
Çizelge 5.11. Numune 2C'ye ait DSC analiz sonuçları.....55
Çizelge 5.12. Numune 2D'ye ait DSC analiz sonuçları 58
Çizelge 5.13. Numune 2E'ye ait DSC analiz sonuçları.....61
Çizelge 5.14. Numune 2F'ye ait DSC analiz sonuçları.....64
Çizelge 5.15. M-T eğrilerine göre elde edilen ilk dönüşüm sıcaklıkları (K)…….....72
Çizelge 5.16. M-T eğrilerine göre elde edilen son dönüşüm sıcaklıkları (K) ……...72
Çizelge 5.17. Numune 1F'ye ait EDS analizi.……80
Çizelge 5.18. Numune 1K'ya ait EDS analizi.....85
Çizelge 5.19. Numune 2B'ye ait EDS analizi.....88
Çizelge 5.20. Numune 2C'ye ait EDS analizi.....92
Çizelge 5.21. Numune 2G'ye ait EDS analizi.....99
Çizelge 5.22. Numune 2H'ye ait EDS analizi.....101
Çizelge 5.23. Numune 2K'ya ait EDS analizi.....103
Çizelge 5.24. Numune 2K'ya ait EDS analizi.....106
Çizelge 5.25. Numune 2J'ye ait EDS analizi.....108
Çizelge 5.26. Alaşımların termal işlem süresine bağlı Vickers sertlik değerleri.....133
Çizelge 5.27. 1 ve 2 numaralı alaşımların termal işlem süresine bağlı Vickers sertlik değerlerinin ortalaması. 134

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)
$L1_0$	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

Şekil hatırlamalı alaşımlar (ŞHA), stentler, ortodontik diş telleri, ortopedik ve sensör malzemeleri gibi yaygın uygulamalar sayesinde son zamanlarda büyük ilgi görmüştür [1, 2]. Ferromanyetik ŞHAlar, ferromanyetik martensit durumundaki büyük manyetik alan kaynaklı gerinimleri nedeniyle sıklıkla araştırılır. Ferromanyetik şekil hatırlamalı alaşımlar, ikiz martensit varyantlarının yeniden düzenlenmesi ve uygulanan manyetik alan H [3, 4] nedeniyle mıknatıslanma yönü değiştiğinde ikiz sınırların hareketinin bir sonucu olarak ortaya çıkar. Son zamanlarda kapsamlı araştırmalar, Ni-Mn-Ga, Fe-Pd, Fe-Pt alaşımlarının zayıf oda sıcaklığı sünekliği, kullanılan elementlerin yüksek maliyeti gibi dezavantajlarının üstesinden gelme şansı verdikleri için Co-Ni-Al alaşımlarına odaklanmıştır [5].

Yakın zamanda keşfedilen Co-Ni-Al ve Co-Ni-Ga alaşımlarının, diğer ferromanyetik şekil hatırlamalı alaşım üyelerine kıyasla daha iyi süneklik sağlayabildiği bulunmuştur, çünkü bu Co-Ni bazlı alaşımlar genellikle çift fazlı bir yapıdan oluşur ve ikinci faz, oda sıcaklığında sünekliği önemli ölçüde artırır [6-8]. Ferromanyetik şekil hatırlamalı alaşımların sünekliğindeki iyileşme, sonraki işleme ve işleme adımları için arzu edilen bir özelliktir ve farklı kimyasal bileşim, hızlı katılaşma ve döküm hipotermi gibi birçok açıdan araştırılmıştır [6].

Prensip olarak, cihazların yüksek frekanslarda çalışmasını sağlayan ve uzaktan kumandalarını kolaylaştıran bir manyetik alan uygulanarak martensitik faz dönüşümüne neden olmak da mümkündür. Bununla birlikte, gerekli manyetik alanın gücü pratik uygulamalar için engelleyici derecede büyüktür [6, 9]. Bunun yerine, tek eksenli kolay mıknatıslanma yönü ikiz sınır boyunca değişirse ve anizotropi enerjisi büyükse, bir manyetik alan ikiz yapıyı ve dolayısıyla örnek şeklini değiştirmede çok etkili olabilir. Sonuç olarak, manyetik alana uygun yönelime sahip martensitik varyantlar, diğer varyantlara rağmen büyür. Bu büyüme sonunda, maksimum manyetik alan kaynaklı gerilme, tetragonalite (1-c/a) oranı ile sınırlıdır. İkiz sınır hareketi ve manyetostriksiyona bağlı gerinimler arasındaki ayrım, birincisinin doğrusal olması ve ikincisinin doygunluğun altındaki mıknatıslanma, M ile ikinci dereceden orantılı olmasıdır [6].

Ferromanyetik şekil hatırlamalı alaşımlar, Fe bazlı alaşımlarda ve birkaç mühendislik alaşımında doğal olarak bulunabilir; Örneğin, Fe-Ni-Co-Ti [6, 10]. Fe-Pt [6, 11] alaşımları çok bilinir olmalarına rağmen dönüşüm sıcaklıkları teknolojik olarak ilginç olmayan düşük sıcaklıklardadır. $Fe_{70}Pd_{30}$ alaşımları [6], -17 ºC'de % 0,5'lik tersinir alan kaynaklı gerinimle oda sıcaklığının biraz altında dönüşüm davranışı gösterir. Fe-Mn-Si alaşımları [6, 12] potansiyel olarak ferromanyetik şekil hatırlamalı alaşımlardır, ancak büyük histerezislerinden dolayı pratiklikleri sınırlıdır.

Bu nedenle, ikiz sınır hareketinin, tüm şekil hatırlamalı alaşımlardaki mekanik stres tarafından indüklenebileceği açıktır. Makroskopik deformasyonun aynı etkileri, ferromanyetik şekil hatırlamalı alaşımlarda ikiz sınırlara manyetik kuvvetler uygulanarak üretilebilir, bu da bu yeni malzeme sınıfını teknik olarak ilginç kılar [6].

Co-Ni-Al sistemleri, manyetik şekil hatırlamalı alaşımlar grubunun yeni üyeleridir. Bu alaşım sistemleri iyi sünekliğe, manyetokristal anizotropik enerjiye, geniş sunielastik davranışa ve ayrıca iki yönlü şekil hatırlama etkisine sahiptir. Ek olarak, bu malzemeler yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında düşük yoğunluğa sahip oldukları için kapsamlı uygulamalarda kullanılabilirler. Bu tür malzemelerin bir diğer önemli özelliği, yüksek erime sıcaklığına ve mükemmel oksidatif dirence sahip olmalarıdır [1, 13,14]. Bu nedenle, farklı yöntemlerle üretilen Co-Ni-Al alaşımlarının yapı karakterizasyonu ile ilgili çeşitli araştırmalar yakın zamanda literatürde sunulmuştur [1, 15].

Bu çalışmanın amacı; iki farklı CoNiAlSi alaşımında yüksek sıcaklık fazlarını araştırmaktır.

2.FERROMAGNETİK ŞEKİL HATIRLAMALI ALAŞIMLARDA FAZ DÖNÜŞÜMÜ

1968'de Webster, stokiyometrik bileşim Ni_2MnGa ile yeni bir alaşımın manyetik özelliklerini ayrıntılı olarak tanımlayan ilk kişi oldu. Yapılan kapsamlı araştırmalar [6, 16-19], bu sistemde martensitik bir dönüşümün varlığını ortaya çıkardı. Ullakko ve arkadaşları tarafından 1996 yılında Ni_2MnGa sisteminin tek kristallerinde büyük, tersine çevrilebilir, manyetik alan kaynaklı % 0.2 mertebesinde gerinimler rapor edildi. 1997 Yılında Ullakko ve ark. [6, 20] ve daha sonra, Wuttig ve James ilk önce bu dönüşümün iki yönlü bir şekil hatırlama etkisi şeklinde kullanılabileceğini öne sürdüler [6, 16-20].

2.1 Co-Ni Ferromagnetik ŞHAlarda Faz Dönüşümü

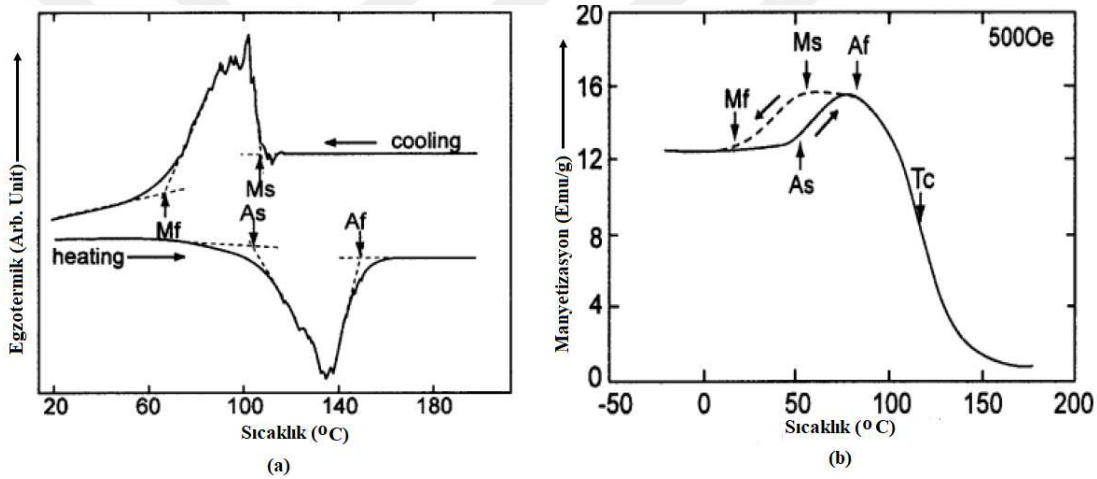
Co-Ni-Ga ve Co-Ni-Al yakın zamanda ferromanyetik şekil hatırlama ailesinin yeni üyeleri olarak keşfedildi ve bunların mevcut ferromanyetik şekil hatırlama alaşımlarına göre birçok avantajı olduğu bulundu. En önemli avantaj, bu iki alaşımın daha sonraki işlemler için önemli olan gelişmiş sünekliğe sahip olmasıdır. Ni-Mn-Ga ile karşılaştırıldığında, Co-Ni-Ga alaşımları, çalışma ortamında daha yüksek mıknatıslanmaya neden olan daha yüksek Curie sıcaklığına (T_C) sahiptir [6-8, 21].

Şekil 2.1, tipik DSC ve termomanyetizasyon eğrilerini göstermektedir. Martensitik geçişlerle ilgili endotermik ve ekzotermik reaksiyonlar sırasıyla ısıtma ve soğutma sırasında gözlenir. Martensit ve östenit geçişleri (M_s, M_f, A_s ve A_f) olarak karakterize edilen sıcaklıklar, DSC eğrilerindeki taban çizgisinin çapraz noktaları ve maksimum veya minimum eğimin teğeti olarak tanımlandı (Şekil 2.1 (a)). 500 Oe'lik bir manyetik alanda 1200 °C sıcaklıktan hızlı soğutulan (quench) bir Co-22.5at% Ni-30at%Ga alaşımının termomanyetizasyon eğrileri (Şekil 2.1 (b)), martensit ve östenit geçiş sıcaklıklarına karşılık gelen adımları göstermektedir. Bunun nedeni, mıknatıslanma doygunluğunun östenit fazında martensit fazından daha kolay gerçekleştirilmesidir [6].

İki karakteristik sıcaklık arasındaki göreceli konum; martensitik dönüşüm (M_s) ve Curie sıcaklıkları (T_C), bir alaşımın ferromanyetik şekil hatırlama davranışını sergileyip sergilemeyeceğini belirlemek için kritik öneme sahiptir [6, 22].

Şekil 2.2, P ana (östenit) ve M martensit fazları olduğu şekil hatırlamalı alaşımlarda üç tür dönüşüm davranışını göstermektedir ve buna göre X-ışını indisleri faz yapısını (β veya β') ve ayrıca paramanyetik (p) ve ferromanyetik (f) faz dönüşümünün her aşamasında durumunu belirtmektedir.

Tip I dönüşümü (Şekil 2.2) şekil hatırlamalı alaşımdaki deformasyon uygulanan manyetik alan tarafından indüklenebildiğinden, FŞHAlara atfedilir. Bunun nedeni, T_c sıcaklığının M_s sıcaklığına kıyasla daha yüksek bir sıcaklıkta olmasıdır. Öte yandan, malzeme üzerinde Tip III dönüşümü gerçekleşiyorsa termomanyetizasyon şekil hatırlama davranışı sergileyecektir. Alaşım bileşimine bağlı olarak, bu iki karakteristik sıcaklık arasındaki büyüklük ve nispi konum, arzu edilen bir Ferromanyetik şekil hatırlama davranışı elde etmek için değiştirilebilir [6].



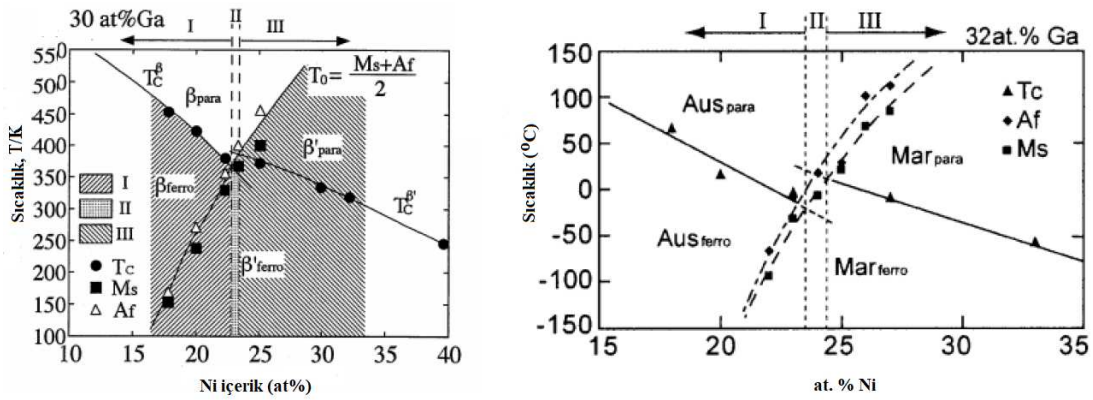
Şekil 2.1. Tipik DSC ve Termomanyetizasyon Eğrileri [6].

	Isıtma ⟷ Soğutma
Tip 1	$P_p^{\beta} \xleftrightarrow{Tc} P_f^{\beta} \xleftrightarrow{Ms} M_f^{\beta'}$
Tip 2	$P_p^{\beta} \xleftrightarrow{Tc\,,Ms} M_f^{\beta'}$
Tip 3	$P_p^{\beta} \xleftrightarrow{Ms} M_p^{\beta'} \xleftrightarrow{Tc} M_f^{\beta'}$

Şekil 2.2. Isıtma ve soğutmaya bağlı dönüşüm davranışı Şematiği [6].

Deneysel olarak, belirli bir Ga konsantrasyonu için Co ve Ni içeriği arasındaki değişimin F şekil hatırlama davranışı üzerinde bir etkisi olduğu bulunmuştur.

Yüksek Co içeriği, T_c sıcaklığını yükselterek F şekil hatırlama davranışını elde etmek için elverişliyken, yüksek Ni içeriği M_s sıcaklığını artıracaktır (Şekil 2.3). Kritik bir Ni kompozisyonunda, Co-Ni-Ga, F şekil hatırlama davranışlarını kaybedecek ve sıradan bir termomanyetizasyon şekil hatırlama davranışı sergileme eğiliminde olacaktır [6, 7].



Şekil 2.3. Ni ve Ga konsantrasyonuna bağlı faz dönüşümleri [6].

2.2 Değerlik Elektron Konsantrasyonuna Karşı Martensit Dönüşüm Sıcaklıkları

Şekil hatırlamalı alaşımlar, elektronik kararsızlıklar, bcc β fazının elastik yumuşaması ve yüksek ve düşük sıcaklıklardaki fazlar arasındaki ayrıntılı yapısal ilişki dikkate alınarak konumlandırılabilir [6]. Bu nedenle, şekil hatırlamalı alaşımlarda belirli kritik ortalama elektron konsantrasyonlarında difüzyonsuz martensitik dönüşümler meydana gelebilir. Örneğin, Cu bazlı alaşım sistemlerindeki martensitik dönüşümler, ortalama değerlik elektronu (s elektron tabakası) konsantrasyonunda yaklaşık 1,5 ($\langle s \rangle \approx 1,5$) [6, 23], Fe bazlı alaşımlardakiler ise ortalama değerlik elektronu (s, p, d elektron tabakası) konsantrasyonunda yaklaşık 8,5 ($\langle s+p+d \rangle \approx 8.5$) değerlerindedir. Ni-Mn-Ga Heusler alaşımlarındaki martensitik dönüşüm, yaklaşık 7,3'lük bir ortalama değerlik elektron konsantrasyonunda gerçekleşir [6]. Doygunluk mıknatıslanmaları bilinen Bethe-Slater grafiğine ancak tüm valans elektronları sayılırsa düşer, yani $\langle s+p+d \rangle \approx 10$ [6]. Daha önce de belirtildiği gibi, tüm martensit fazı içeren alaşımlar şekil hatırlamalı alaşımlar değil, östenit ve martensit fazlarının kafes parametreleri arasındaki belirli özel ilişkileri yerine getiren alaşımlardır [6]. Bu durum şematik olarak Şekil 2.4 'de belirtilmiştir [6, 21].

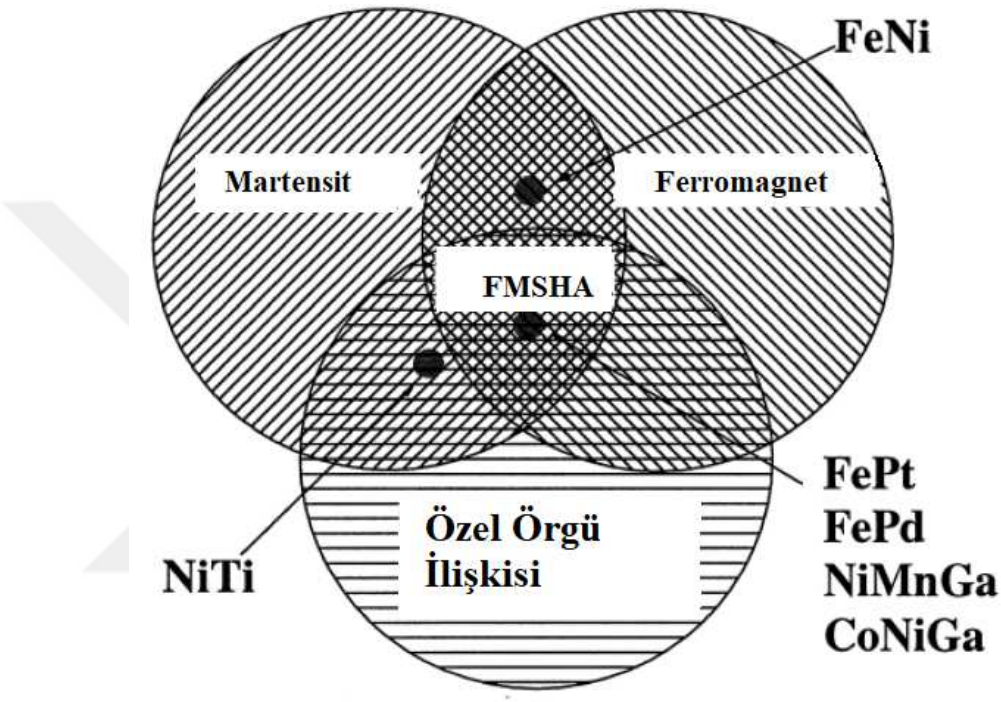
En basit haliyle, yeni Co bazlı ferromanyetik şekil hatırlamalı alaşımlar arayışı, ortalama değerlik elektron konsantrasyonu yaklaşık 7,3 olan potansiyel bir Co bazlı Heusler alaşımının tanımlanmasıyla başlayabilir [21].

Co bazlı alaşımlar arasında Co-Ni-Ga, değerlik elektron konsantrasyonunda $\langle s+p+d \rangle=10$ değerinde Ni-Mn-Ga alaşımına benzer. Bu nedenle, $Co_2Ni_{1-x}Ga_{1+x}$ alaşımları ferromanyetik olabilir ve şekil hatırlamalı alaşımların özelliklerini gösterebilir [6].

Mikroyapısal analizler, faz dönüşümü öncesinde varolan yapıların azalmanın γ fazının içerisinde Co bakımından zengin çökeltiler şeklinde varlığını devam ettirdiğini göstermektedir. Craciunescu ve arkadaşlarının çalışmalarına göre [6] Co/Ga oranı ne kadar yüksek olursa, o kadar fazla çökelti oluşur ve matris o kadar azalır. Geçiş sıcaklığındaki değişim, Şekil 2.5'de gösterildiği gibi geçici olarak matrisin Ga içeriğine atfedilir. Ga içeriği ne kadar düşükse geçiş sıcaklığı o kadar

yüksektir. İkili Co-Ga ve Ni-Ga faz diyagramlarının analizi, matrisin Ga içeriğinin çözelti muamelesi ve ardından soğutma ile azaltılabileceğini göstermektedir.

Buna göre, Co-Ni-Ga sistemindeki Co-zengin iki fazlı bir alaşımın hızlı soğutulmuş hali, yüksek sıcaklıklarda daha yüksek çözünürlük nedeniyle hızlı soğutulmamış olana kıyasla daha yüksek bir geçiş sıcaklığı göstermelidir [6].

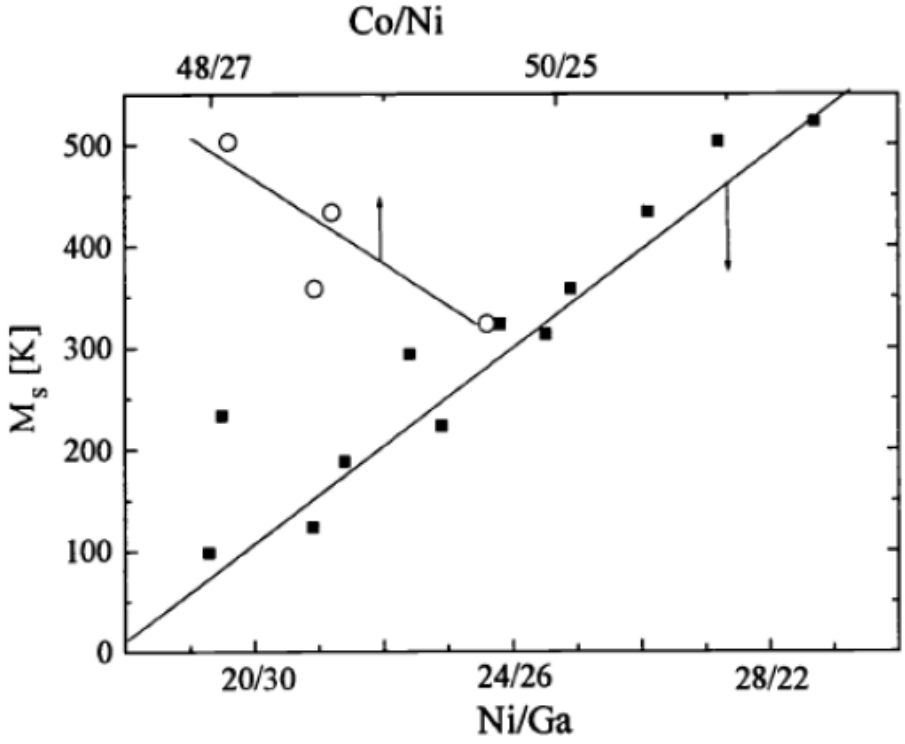


Şekil 2.4. Ferromagnetik şekil hatırlamalı alaşımlarda faz ilişkisi [6].

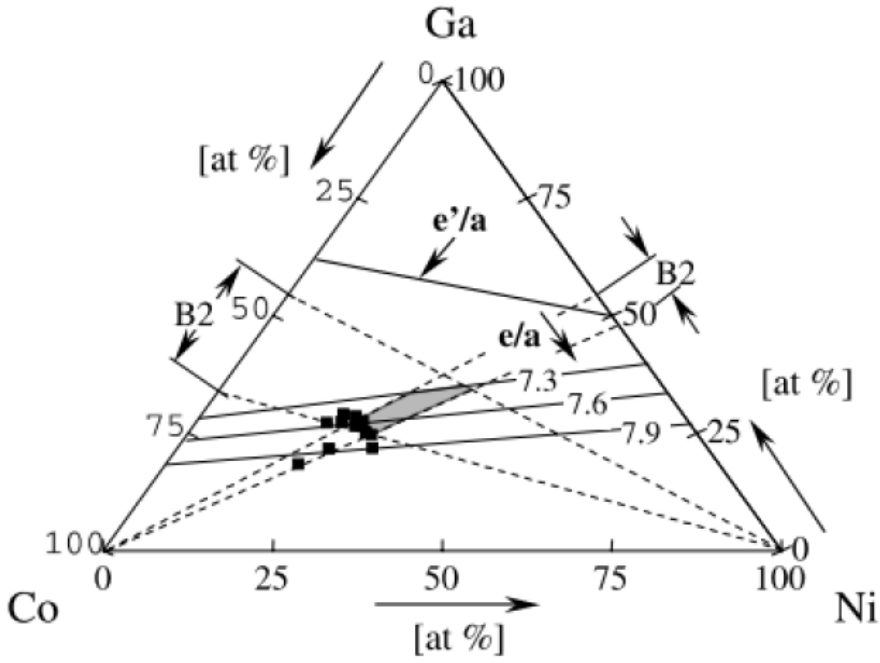
Co-Ni alaşımlarının büyük bölümü kompozisyona bağlı olarak Heusler tipi alaşımların bileşim aralığındadır. Co-Ni-Ga üçlü faz diyagramında, bu tür katı çözeltilerin oluşumu için uygun koşullar mevcuttur, çünkü Co-Ni ikili faz diyagramı Heusler tipi alaşım bileşenlerinin çok büyük bir çözünürlüğünü gösterir [6].

Bu nedenle, genel metalurjik sınırlamalar o kadar sıkı değildir. Ayrıca, hem Ga-Ni hem de Co-Ga ikili faz diyagramları, üçlü diyagramda Heusler alaşımlarının oluşumunu destekleyen B2 fazları içerir [6, 24]. Şekil 2.6'daki gölgeli bölge, Co-Ni-Ga katı çözeltilerinin elde edilebileceği tahmini bir bileşim aralığını göstermektedir. Bu aralığın genişletilebilmesi muhtemeldir; Hem Ni-Ga hem de Co-Ga faz diyagramlarında, B2 fazının bölgeleri daha yüksek sıcaklıklarda genişler ve

hızlı soğutma ile stabilize edilebilir, böylece e/a>7.3 olan gölgeli bölgeyi genişletir [6].



Şekil 2.5. Ni/Ga ve Co/Ni oranına bağlı M_s geçiş sıcaklığı [6].



Şekil 2.6. Co_2NiGa ferromanyetik şekil hatırlamalı alaşımların oluşumu için bileşim aralığı [6].

3. YÜKSEK SICAKLIK FAZLARI

Co-Ni-Al alaşımları B2 tipi β fazından $L1_0$ yapısına dönüşür. Curie sıcaklığı (T_c), Co içeriğinin artmasıyla artar [25]. Co-Ni-Al alaşımlarında, bileşim değişimi, faz dönüşümü ve manyetik geçiş sıcaklıkları geniş bir sıcaklık aralığında ayarlanabilir [1, 25]. Bu ayarlama, alaşımdaki elementlerin bileşim dağılımları değiştirilerek ve ayrıca alaşıma yeni bir element dahil edilerek yapılabilir [15]. Co-Ni-Al alaşımları sadece β fazındayken çok düşük süneklik gösterir. Alaşım içindeki ikinci γ fazının artan miktarı ile süneklikte çok önemli bir artış vardır. Alaşıma yeni bir dördüncü elementin eklenmesi γ faz miktarını arttırır. β fazının daha yüksek Al konsantrasyonuna ve γ fazının daha yüksek Co konsantrasyonuna sahip olduğu gözlenmiştir [1]. Bu, matris bileşimindeki Co içeriğinin yanı sıra elektron konsantrasyonunu da azaltır [26]. Martensit fazı, c/a = 0.78 oranına sahip modüle edilmemiş $L1_0$ yapısı olarak da tanımlanır, ancak alaşımlarda artan Co içeriği ile miktarı azalır [5].

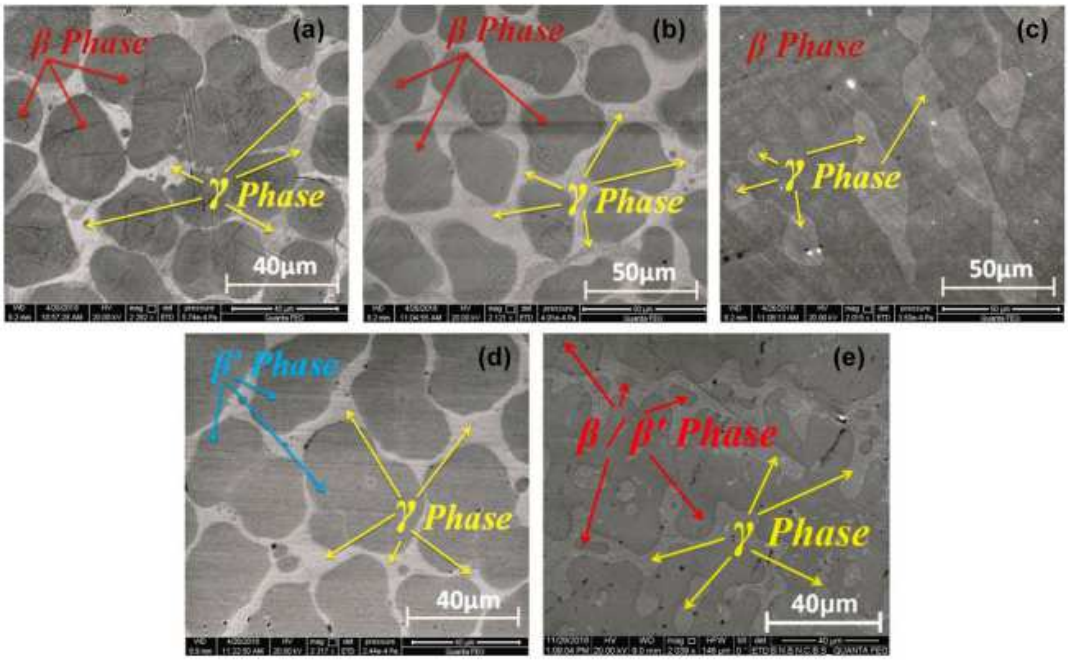
Liu ve arkadaşları (2004) Co:Ni:(Al+X) atom oranının Co bakımından zengin γ fazında 5:3:2'ye yakın olduğu ve Co:Ni:(Al+X) atom oranının martensit fazında 1:1:1 oranına yaklaştığını belirtmişlerdir. Eskil ve Şahan, martensit plakalarının analizinden, martensit plakaların Co içeriğinin düşük olduğunu ve neredeyse Ni oranı ile dengelendiğini göstermiştir. Ayrıca, γ fazına kıyasla, martensit plakaların Al ve Si bakımından daha zengin olduğunu, ancak Sb elementi açısından da daha fakir olduğunu savunmuşlardır [26].

Co-Ni-Al alaşımlarının XRD incelemelerinde genellikle ana tepe noktaları, düzenli matrix yapısının (Co, Ni)Al iki yüksek sıcaklık fazına karşılık gelir. Bu iki yüksek sıcaklık fazından bir tanesi Pm3m uzay grubuna sahip "BCC" yapısı (B2 veya β austenit fazı yada A ile ifade edilir) ve Fm3m uzay grubu ile kobalt açısından zengin düzensiz bir "FCC" γ katı çözeltisidir. Bu nedenle, iki yüksek sıcaklık fazlı (β+γ) Co-Ni-Al alaşımlarında, γ fazı ile çevrili FŞHA β fazı, (100), (111), (110), ve (200) tepe noktalarının tek/çift hizalanmasından sorumludur.

Bununla birlikte, yüksek sıcaklıklarda uzun süre tavlanan ve daha sonra 300 °C sıcaklıkta uzun süre ısıl işleme tabi tutulan CoNiAl alaşımlarında iç içe geçmiş B2- ve martensitik $L1_0$ (M veya $L1_0$) fazlarını çevreleyen γ çökeltileri görülür. Bu durum aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Aşağıdaki Şekilde verilen SEM mikroyapısal fotoğraflarında ifade edildiği gibi ısıl işlem prosedürlerini takiben elde edilmiş numunelerde, daha koyu tanelerin β ve/veya β' fazları olduğu varsayılır; Bu nedenle, daha parlak bölgeler γ fazı olmalıdır. Aşağıdaki şekilden de anlaşılacağı gibi mikrograflar, fazların ısıl işlemlere bağlı evrimini takip etmek için kullanılabilir.

Nominal bileşimi %36 Co, %36 Ni ve %28 Al olan polikristalin bir Co–Ni–Al alaşımı külçesi, yüksek saflıkta (% 99,9) metallere sahip bir argon atmosferinde ark eritme yöntemiyle hazırlandı. Alaşımın gerçek bileşimi, enerji dağıtıcı X-ışını spektroskopisi ile doğrulandı ve nominal bileşime neredeyse eşit olduğu bulundu. Hazırlanan külçe beş parçaya bölündü, bunlardan dördü daha sonra ayrı kuvars ampullerde argonla vakumla kapatıldı. İki parça 72 saat boyunca 1273 K'da tavlandı ve ardından su ile soğutuldu. Bu iki parçadan biri, 24 saat boyunca 573 K'da daha fazla ısıl işleme tabi tutuldu ve ardından yavaş fırın soğutması yapıldı. Benzer şekilde, kalan iki parça 72 saat boyunca 1473 K'da tavlandı, ardından su söndürme yapıldı ve biri 24 saat boyunca 573 K'da daha fazla ısıl işleme tabi tutuldu. Daha sonra, hazırlanan şekliyle ana alaşım ve sırasıyla 1273 K, 1273 K + 573 K, 1473 K ve 1473 K + 573 K'de ısıl işleme tabi tutulan numuneler Alaşım-A, Alaşım-B, Alaşım-C, Alaşım-D ve Alaşım-E olarak temsil edildi [27].

Hazırlanan ana numune; Alaşım-A, γ-faz çökeltileri β+$L1_0$ tanelerin denizine daldırılmış gibi görüntü vermektedir. Bu fotoğraflarda β:γ fazlarının oranı yaklaşık % 85:15'tir. Şekil 3.1.b, benzer morfolojiye sahip B alaşımında, ancak taneler arası ayrımın arttığı görülüyor. Benzer tipteki Co-Ni-Al sistemlerinde [27, 28], yüksek sıcaklıklarda bazı Co atomlarının γ bölgesine göç ederek γ bölgesini Co açısından zengin hale getirdiği gösterilmiştir. Bundan dolayı β-fazı bölgesi küçülmüştür ve bu nedenle de taneler seyrek dağılmıştır. Bu tür sistemlerin faz diyagramı incelemelerinden yola çıkılarak [27, 29], küçük bileşim varyasyonunun β fazını daha düşük sıcaklıklarda ve β' fazını da daha yüksek sıcaklıklarda daha kararlı hale getirebileceği görülmektedir.



Şekil 3.1. A, B, C, D, E alaşımlarının farklı sıcaklıklarda mikroyapılarının SEM görüntüleri [27].

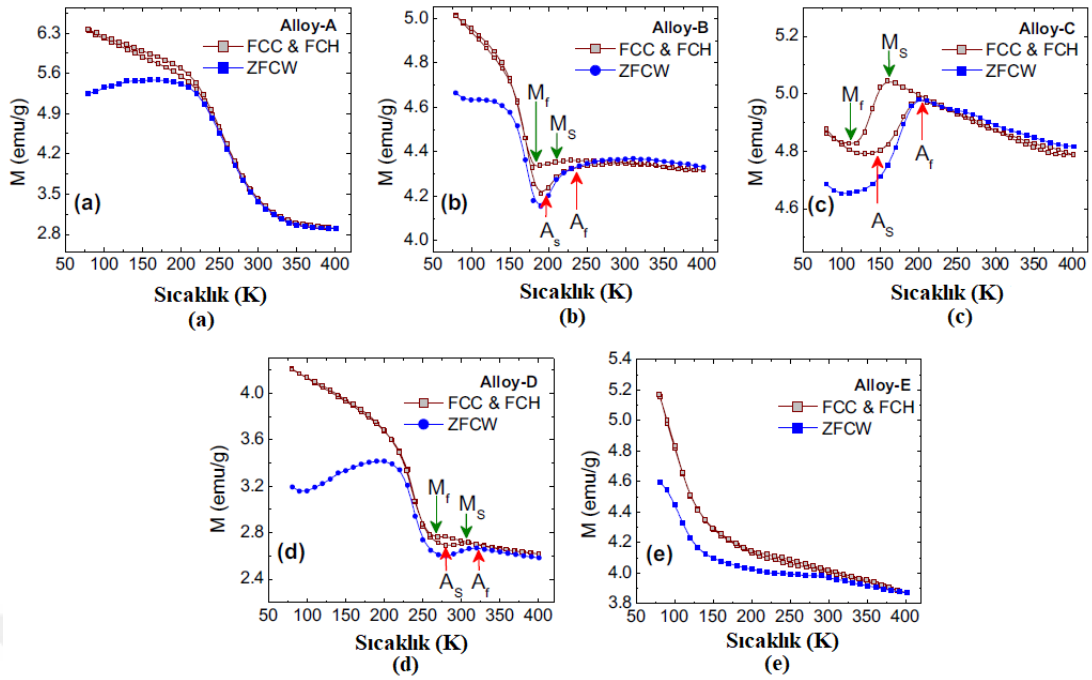
Bu nedenle, daha düşük bir sıcaklıkta yapılan tavlama işlemiyle, düşük sıcaklıkta kararlı β fazı oluşmaya başlaması ile birlikte γ fazındaki Co atomlarının çoğu β (veya β') fazına geri döndü ve β' fazı da martensitik dönüşümle β fazına dönüşmeye başladı. Bekleme süresinin kısa olmasından dolayı dönüşüm tamamlanmadı. Yukarıdaki şekilde gösterilen bu duruma göre karanlık bölgelerin β ve β' fazları olarak tanımlandığı ve numunenin çoğunu kapladığı, daha parlak bölgelerin ise γ fazı olduğu görülmektedir. İlk iki faz bileşim kompozisyonu olarak aynı olduğundan ve sadece kristal yapılarda farklılık gösterdiğinden, SEM incelemeleri aralarında ayrım yapamaz. Burada önemli olan nokta, tüm bu dönüşümler sistemi en rastgele hale getirmesine rağmen, %85:15 oranına ulaşılmasıdır. Aslında, β fazının yenilenmesine bağlı olarak şekil 3.1.c ve 3.1.e'deki mikrografların şekil 3.1.a, şekil 3.1.b ve şekil 3.1.d'deki morfolojilere benzer oldukları belirgindir. γ matrisi ile taneler arası bağlantının β için daha iyi olduğu varsayılmalıdır. Daha yüksek sıcaklıkta tavlama (1473 K) durumunda, A–M geçişi Çizelge 3.1'de gösterildiği gibi oda sıcaklığının üzerine kaydırılmıştır. Bunun nedeni, β' fazının arttırılmasına bağlanabilir.

Bununla birlikte, daha önce belirtildiği gibi β' fazı nispeten kararsız bir fazdır ve bu nedenle daha düşük sıcaklıkta tavlama (300°C) sonucunda, kısmen daha kararlı β fazına geri dönüşmüştür [27].

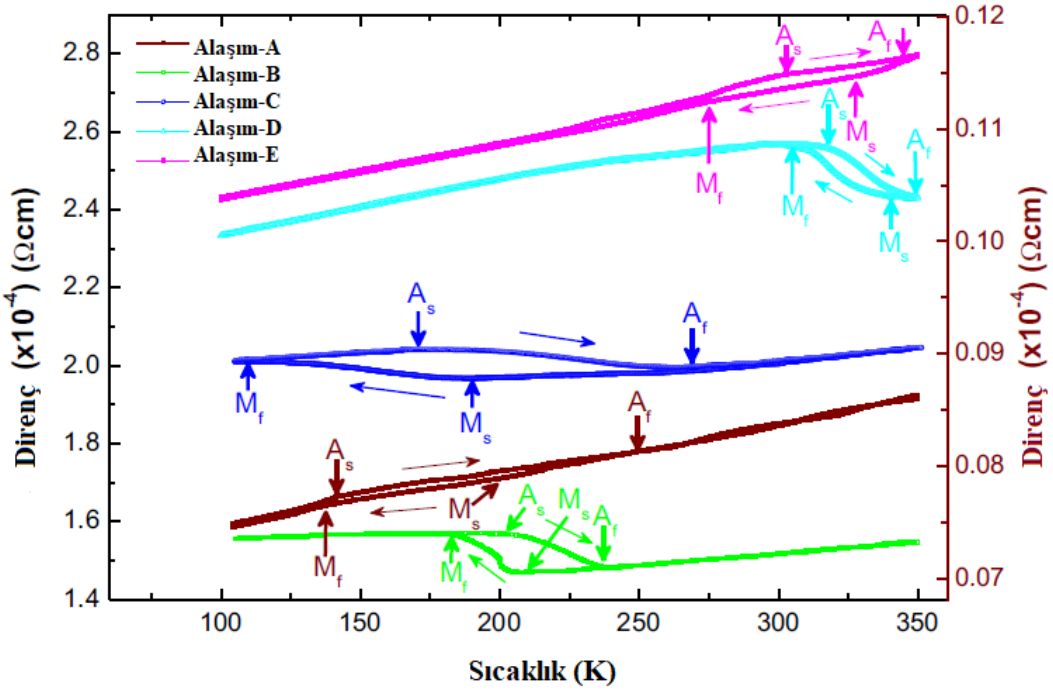
Çizelge 3.1. A, B, C, D, E alaşımlarının A-M geçiş sıcaklıkları [34].

Numuneler	MS (K)	MF (K)	AS (K)	AF (K)	T_M (K)
Alaşım-A	200	136	141	249	168.0
Alaşım-B	209	183	203	236	196.0
Alaşım-C	190	109	171	269	149.5
Alaşım-D	340	304	319	349	322.0
Alaşım-E	326	276	303	343	301.0

Bu durum, normal β-γ iki fazlı yapı sistemini oluşturmak amacıyla A-M döngüsünü başlatmıştır. Tüm numunelerin ölçülen sıcaklık aralığında (-193°C–127°C) ferromanyetik (FM) fazlarda olduğu açıktır. Hazırlanan örnekler basit FM-FM geçişi göstermektedir. Şekil 3.2.a ve ferromanyetik β (B2) fazından ferromanyetik β' ($L1_0$) fazına martensitik dönüşüm geçiren B, C ve D alaşımlarına (sırasıyla Şekil 3.2.b, c, d) şekil hatırlama etkileri (ŞHE) eşlik eder. Basamak kolları ve Şekil 3.3.b, c, d'de gösterildiği gibi gözlenir, çünkü mıknatıslanma doygunluğu β fazında β' fazından daha kolay gerçekleştirilir. Bu sonuçlar, Ni_2MnGa ve Ni_2MnAl tipi sistemlerde görülenlere benzerdir ve Östenit ve Martensit fazlarında manyetik anizotropi nedeniyle benzer etkiler ortaya çıkar [27].



Şekil 3.2. Farklı alaşım sistemlerinin Sıcaklık-Manyetizma değişimi grafiği [27].



Şekil 3.3. Farklı alaşım sistemlerinin Sıcaklık-Direnç değişimi grafiği [27].

4. DENEYSEL İŞLEMLER

İki adet CoNiAlSi alaşımının yapılan analizleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan alaşımların kompozisyonları ve e/a oranları.

		Co	Ni	Al	Si	Mo	Sb	e/a
Alaşım 1	Atomik (%)	37.79	35.52	19.87	5,83	0.99	-	7,84
	Kütle (%)	43.60	40.83	10,5	3,2	1,86	-	
Alaşım 2	Atomik (%)	38.01	37.23	16.51	6,01	-	2,25	7,99
	Kütle (%)	42.15	41.13	8,38	3,18	-	5,16	

Çizelge 4.2'de ise alaşımların adları verilmiştir. Numunelere ait X-ışını difraksiyon ölçümleri (Bruker D8 Advance Davinci X-Işını difraktometresi), DSC ölçümleri Perkin Elmer Pyris 6 DSC termal analizör cihazı ile alındı. DSC ölçümleri için Çizelge 4.4'te verilen kütle değerleri sabit olan numunelere Çizelge 4.2 ile gösterilen ısıl işlemler uygulandı. Numunelerin manyetik özelliklerinin gözlemlenmesi için 20 °K de ölçüm almak için oda sıcaklığından 20 °K sıcaklığına düşerken herbir numunenin M-T değerleri ölçülmüştür. SEM gözlemleri için FEI marka Quanta FEG 250 model 14X-1.000.000X arası büyütme kapasitesi ile alan yayınımlı elektron kaynağına (FEG) sahip cihaz kullanıldı. EDAX X-ray analiz spektrometresi ile EDS analizleri alındı. Optik Mikroskop (Nikon Eclipse MA 100 Imvert tipi optik metal mikroskobu) gözlemleri ve Vickers sertlik (Future-Tech FM700 cihazı ile 200 gramlık yük kullanarak ve her bir numune için beş ölçüm alınarak) sonuçları alındı ve ortalama değerler tablo halinde verilip eğriler elde edildi.

Çizelge 4.2. Numunelere uygulanan termal işlemler.

1A	850 ^{0}C Homojenizasyon 250 ^{0}C de 1 saat bekletme
1B	850 ^{0}C Homojenizasyon 250 ^{0}C de 2 saat bekletme
1C	850 ^{0}C Homojenizasyon 250 ^{0}C de 3 saat bekletme
1D	850 ^{0}C Homojenizasyon 250 ^{0}C de 4 saat bekletme
1E	850 ^{0}C Homojenizasyon 250 ^{0}C de 5 saat bekletme
1F	850 ^{0}C Homojenizasyon 250 ^{0}C de 6 saat bekletme
1G	850 ^{0}C Homojenizasyon 200 ^{0}C de 1 saat bekletme
1H	850 ^{0}C Homojenizasyon 300 ^{0}C de 1 saat bekletme
1K	850 ^{0}C Homojenizasyon 350 ^{0}C de 1 saat bekletme
1J	850 ^{0}C Homojenizasyon 400 ^{0}C de 1 saat bekletme
2A	850 ^{0}C Homojenizasyon 250 ^{0}C de 1 saat bekletme
2B	850 ^{0}C Homojenizasyon 250 ^{0}C de 2 saat bekletme
2C	850 ^{0}C Homojenizasyon 250 ^{0}C de 3 saat bekletme
2D	850 ^{0}C Homojenizasyon 250 ^{0}C de 4 saat bekletme
2E	850 ^{0}C Homojenizasyon 250 ^{0}C de 5 saat bekletme
2F	850 ^{0}C Homojenizasyon 250 ^{0}C de 6 saat bekletme
2G	850 ^{0}C Homojenizasyon 200 ^{0}C de 1 saat bekletme
2H	850 ^{0}C Homojenizasyon 300 ^{0}C de 1 saat bekletme
2K	850 ^{0}C Homojenizasyon 350 ^{0}C de 1 saat bekletme
2J	850 ^{0}C Homojenizasyon 400 ^{0}C de 1 saat bekletme

Çizelge 4.3. Bu çalışmada kullanılan alaşımların adları.

	Deney Türü			
Numune Adı	Homojenizasyon Sıcaklığı (^{0}C)	Soğutma Ortamı (^{o}C)	Tav Sıcaklığı (^{o}C)	Bekleme Süresi (saat)
1A	850 (1 saat)	Buzlu su	250	1 saat
1B	850 (1 saat)	Buzlu Su	250	2 saat
1C	850 (1 saat)	Buzlu su	250	3 saat
1D	850 (1 saat)	Buzlu su	250	4 saat
1E	850 (1 saat)	Buzlu su	250	5 saat
1F	850 (1 saat)	Buzlu su	250	6 saat
1G	850 (1 saat)	Buzlu su	200	1 saat
1H	850 (1 saat)	Buzlu su	300	1 saat
1K	850 (1 saat)	Buzlu su	350	1 saat
1J	850 (1 saat)	Buzlu su	400	1 saat
2A	850 (1 saat)	Buzlu su	250	1 saat
2B	850 (1 saat)	Buzlu su	250	2 saat
2C	850 (1 saat)	Buzlu su	250	3 saat
2D	850 (1 saat)	Buzlu su	250	4 saat
2E	850 (1 saat)	Buzlu su	250	5 saat
2F	850 (1 saat)	Buzlu su	250	6 saat
2G	850 (1 saat)	Buzlu su	200	1 saat
2H	850 (1 saat)	Buzlu su	300	1 saat
2K	850 (1 saat)	Buzlu su	350	1 saat
2J	850 (1 saat)	Buzlu su	400	1 saat

Çizelge 4.4. DSC analizinde kullanılan alaşımların 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

5. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1 X Işını Difraksiyonu Sonuçları

$Co_{38}Ni_{35}Al_{20}Si_6Mo_1$ ve $Co_{38}Ni_{37}Al_{17}Si_6Sb_2$ alaşımlarının difraktogramları Şekil 5.2'den Şekil 5.21 e kadar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Alaşımlar farklı soğutma işlemine tabi tutulduktan sonra alınan X-ışını difraktogramlarının deneysel verileri kullanılarak

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \tag{5.1}$$

eşitliği ile kübik yapının örgü parametreleri,

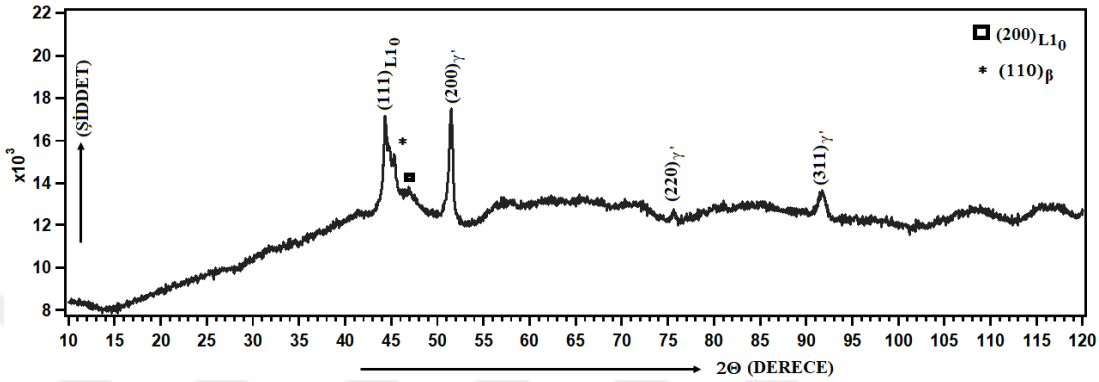
$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2} \tag{5.2}$$

eşitliği kullanılarak ise $L1_0$ yapının örgü parametreleri hesaplandı. $Co_{35}Ni_{40}Al_{25}$ için β (110) indeksli yaklaşık 2θ=44 °C 'de çok keskin ve yüksek yoğunluklu bir tepe, γ (200) indeksli yaklaşık 2θ=51 °C 'de keskin ve yüksek yoğunluklu bir tepe ve γ (220) ve β (210) indeksli yaklaşık 2θ=76 °C 'de bir tepe) indeks [30, 31], Cr ilavesiyle genişleyerek keskinliklerini kaybeder ve yoğunluklarında kayda değer bir azalma gözlenir. Birçok alaşım dışındaki konik alaşımlar, yüksek sıcaklıklarda birden fazla faza sahip olabilir ve genellikle β (B2)+γ (A1) iki fazlı bir yapıya sahiptir. γ fazı martensitik bir dönüşüme neden olmaz; martensitik plakalar ilerleyici fazın ilişkilerini olumsuz etkiler [30, 32]. Bu çalışmada, $Co_{35}Ni_{40}Al_{25}$ alaşımının γ ve β iki fazlı bir yapıya sahip olduğu X-ışını pikleri ile gözlemlenmiştir.

5.1.1 Alaşım 1 den Elde Edilen X-Işını Sonuçları

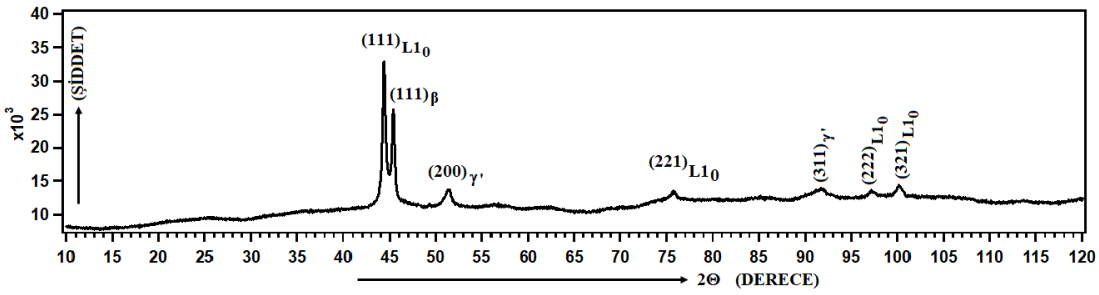
1 numaralı alaşımdan elde edilen X-ışını sonuçları Şekil 5.1 ve Şekil 5.10 arasında indislenmiş olarak gösterilmiştir. 1 numaralı alaşıma ait tüm numunelerden alınan sonuçlar kullanılarak elde edilen verilerden yola çıkarak tespit edilen fazlar Çizelge 5.1 içerisinde, örgü sabitleri ise Çizelge 5.2 içerisinde verilmiştir.

Şekil 5.1'de verilen numune 1A'ya ait X ışını difraktogramında $(111)_{L10}$ ve $(200)_{\gamma'}$ örgü parametrelerine sahip keskin görünümlü pikler bulunmaktadır. Ayrıca yine aynı difraktogramda farklı örgü parametrelerine sahip pikler görülmektedir. Bu pikler daha küçük görünümlüdürler. Yüksek sıcaklık fazı olan $(110)_{\beta}$ örgü parametresine sahip B2 fazına ait pikin de yumuşak görünümlü olarak bulunduğu gözlenmektedir.



Şekil 5.1. Numune 1A'ya ait XRD.

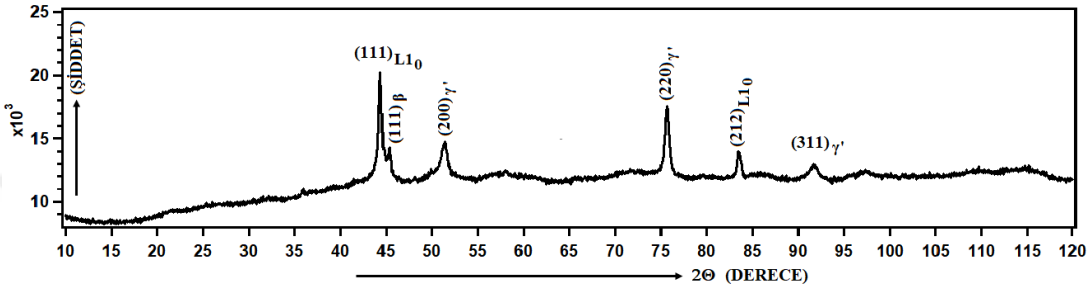
Şekil 5.2'de verilen numune 1B'ye ait X ışını difraktogramında $(111)_{L10}$ örgü parametresine sahip keskin pikle beraber yüksek sıcaklık fazı olan $(111)_{\beta}$ örgü parametresine sahip keskin görünümlü pikler mevcuttur. Bu durumda 1B numunesine ait XRD'de yüksek sıcaklık fazını ifade eden pikin daha belirgin olduğu gözlenmektedir. Ayrıca daha yumuşak görünümlü $L1_0$ ve γ' fazlarının farklı örgü parametrelerine sahip pikleri mevcuttur.



Şekil 5.2. Numune 1B'ye ait XRD.

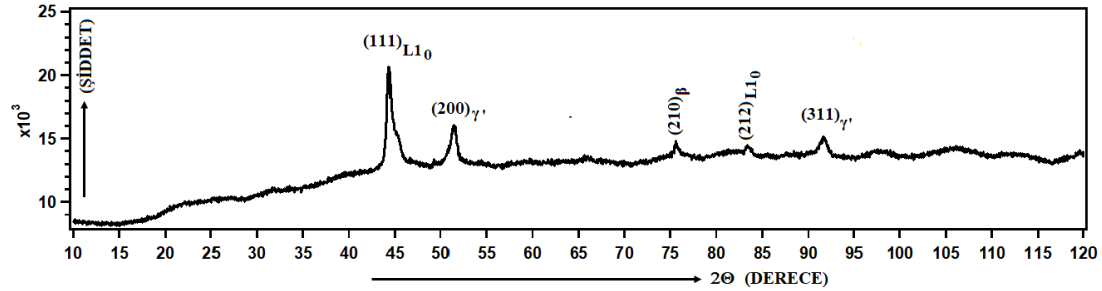
Şekil 5.3'de verilen numune 1C'ye ait X ışını difraktogramında $(111)_{L10}$ örgü parametresine sahip keskin pikle beraber $(220)_{\gamma'}$ örgü parametresine sahip keskin görünümlü pikler mevcuttur.

Yüksek sıcaklık fazı olan $(111)_{\beta}$ örgü parametresine sahip B2 fazının piki ise daha yumuşak görünümlüdür. Şekildeki XRD'de yine daha yumuşak görünümlü olan $L1_0$ ve γ' fazlarının farklı örgü parametrelerine sahip pikleri de mevcuttur.



Şekil 5.3. Numune 1C'ye ait XRD.

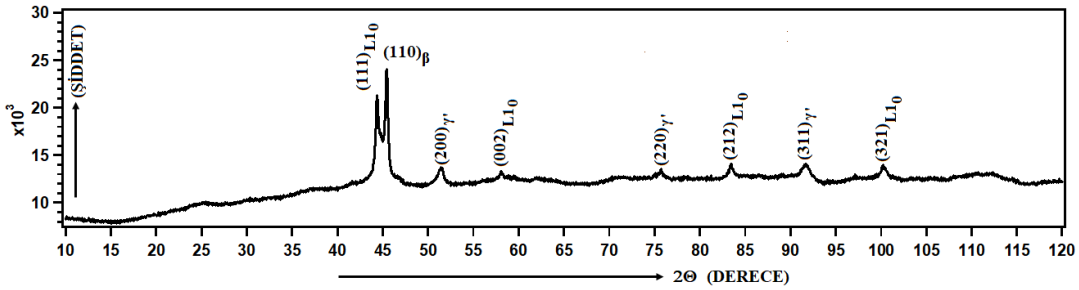
Şekil 5.4'de verilen numune 1D'ye ait X ışını difraktogramında $(111)_{L10}$ ve $(200)_{\gamma'}$ örgü parametrelerine sahip keskin pikler görülmektedir. Ayrıca yine aynı difraktogramda farklı örgü parametrelerine sahip pikler bulunmaktadır. Bu pikler daha küçük görünümlüdürler. Yüksek sıcaklık fazı olan $(210)_{\beta}$ örgü parametresine sahip faza ait pikin de yumuşak görünümlü olduğu gözlenmektedir.



Şekil 5.4. Numune 1D'ye ait XRD.

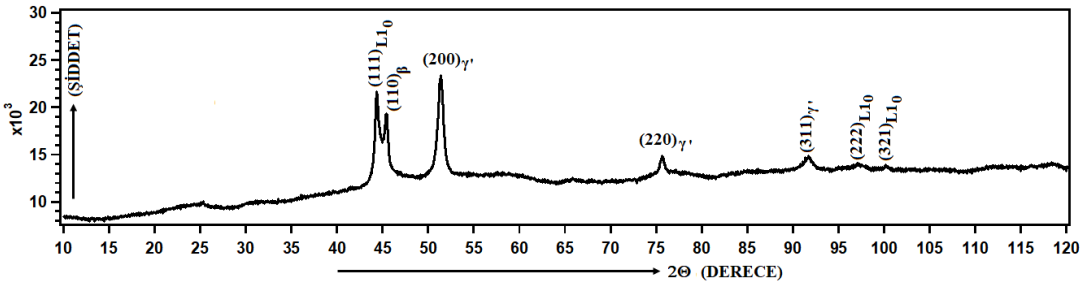
Şekil 5.5'de verilen numune 1E'ye ait X ışını difraktogramında $(111)_{L10}$ örgü parametresine sahip keskin pikle beraber yüksek sıcaklık fazı olan $(110)_{\beta}$ örgü parametresine sahip keskin görünümlü pikler mevcuttur. Şekildeki XRD'de $(110)_{\beta}$ örgü parametresine sahip pikin $(111)_{L10}$ örgü parametreli pikden daha keskin olduğu gözlenmektedir.

Diğer XRD pikleri de incelendiğinde görülmektedir ki yüksek sıcaklık fazına ait bu pik sadece 1E numunesinde $(111)_{L10}$ örgü parametresine ait pikten daha keskin görüntü vermektedir. Difraktogramda daha yumuşak görünümlü $L1_0$ ve γ' fazlarının farklı örgü parametrelerine sahip pikleri de mevcuttur.



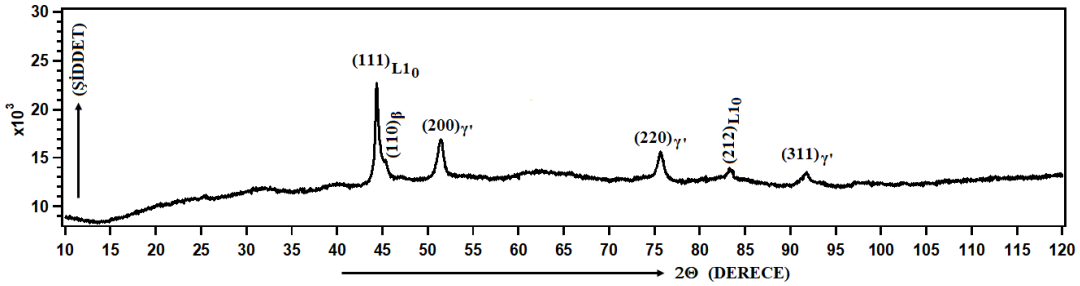
Şekil 5.5. Numune 1E'ye ait XRD.

Şekil 5.6'da verilen numune 1F'ye ait X ışını difraktogramında $(111)_{L10,}$ $(200)_{\gamma'}$ ve $(110)_{\beta}$ örgü parametrelerine sahip keskin görünümlü pikler vardır. Mevcut XRD'de γ' fazına ait pik $L1_0$ fazına ait pikten daha keskin ve belirgin görünümlüdür. Aynı difraktogramda farklı örgü parametrelerine sahip yumuşak görünümlü pikler bulunmaktadır.



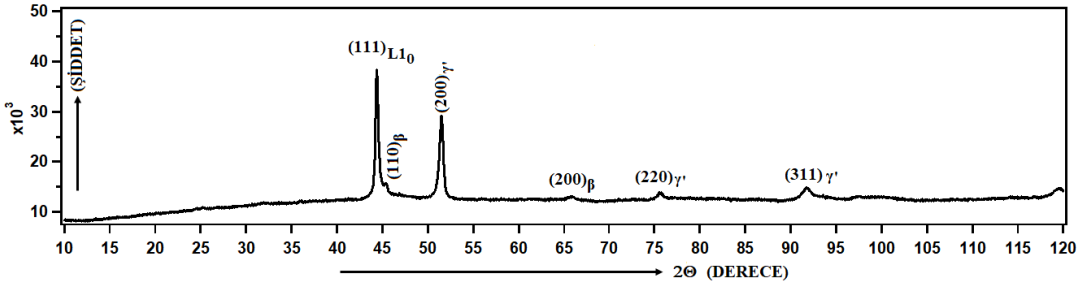
Şekil 5.6. Numune 1F'ye ait XRD.

Şekil 5.7'de verilen numune 1G'ye ait X ışını difraktogramında $(111)_{L10}$ örgü parametresine sahip faza ait belirgin ve keskin pikle beraber $(200)_{\gamma'}$ örgü parametresine sahip keskin olmayan fakat belirgin görünümlü pikler vardır. Mevcut XRD'de $(110)_{\beta}$ örgü parametresine sahip yüksek sıcaklık fazı olan B2 fazına ait XRD piki yumuşak ve belirgin olmayan bir görüntü vermektedir. Ayrıca mevcut difraktogramda farklı örgü parametrelerine sahip yumuşak görünümlü başka pikler de bulunmaktadır.



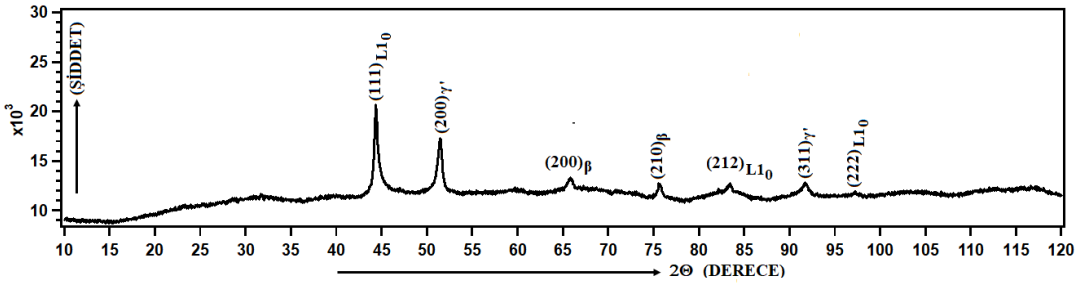
Şekil 5.7. Numune 1G'ye ait XRD.

Şekil 5.8'de verilen numune 1H'ye ait X ışını difraktogramında bir önceki numuneye ait XRD den daha farklı olarak $(111)_{L10}$ ve $(200)_{\gamma'}$ örgü parametrelerine sahip daha keskin görünümlü pikler vardır. Bir önceki difraktograma benzer şekilde mevcut XRD'de $(110)_{\beta}$ örgü parametresine sahip yüksek sıcaklık fazı olan B2 fazına ait pik yumuşak ve belirgin olmayan bir görüntü vermektedir. Ayrıca mevcut difraktogramda farklı örgü parametrelerine sahip yumuşak görünümlü başka pikler de bulunmaktadır.



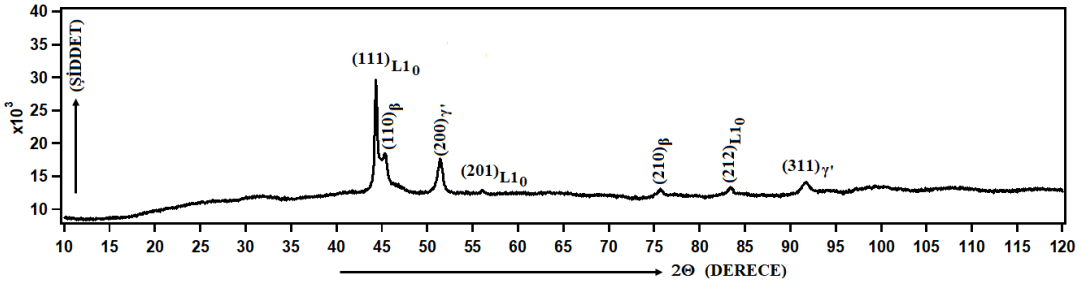
Şekil 5.8. Numune 1H'ye ait XRD.

Şekil 5.9'da verilen numune 1K'ya ait X ışını difraktogramında $(111)_{L10}$ ve $(200)_{\gamma'}$ örgü parametrelerine sahip fazlara ait belirgin ve keskin pikler bulunmaktadır. Mevcut XRD'de $(200)_{\beta}$ ve $(210)_{\beta}$ örgü parametresine sahip yüksek sıcaklık fazı olan B2 fazına ait XRD pikleri yumuşak ve belirgin olmayan bir görüntü vermektedir. Ayrıca mevcut difraktogramda farklı örgü parametrelerine sahip yumuşak görünümlü başka pikler de bulunmaktadır.



Şekil 5.9. Numune 1K'ya ait XRD.

Şekil 5.10'da verilen numune 1J'ye ait X ışını difraktogramında sadece belirgin ve keskin görünümlü olarak $(111)_{L10}$ örgü parametresine sahip faza ait pik bulunmaktadır. Mevcut XRD'de $(200)_{\gamma'}$ örgü parametresine sahip faza ait pik görülmektedir ancak çok belirgin ve keskin değildir. Yüksek sıcaklık fazı olan B2 fazına ait XRD piki de yine yumuşak ve belirgin olmayan bir görüntü vermektedir.

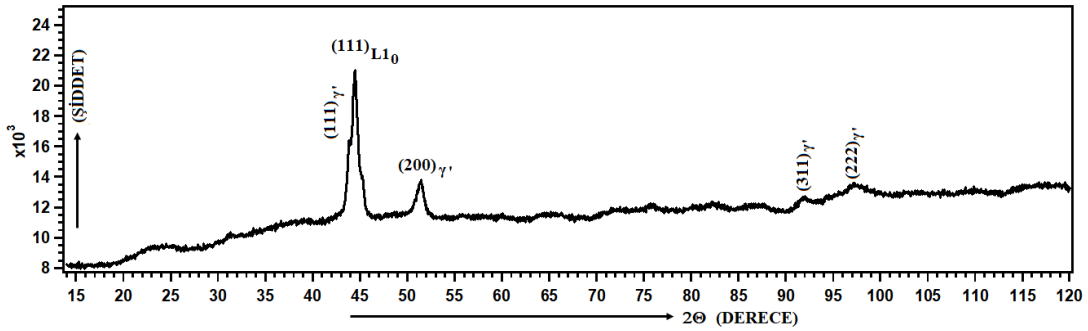


Şekil 5.10. Numune 1J'ye ait XRD.

5.1.2 Alaşım 2 den Elde Edilen X-Işını Sonuçları

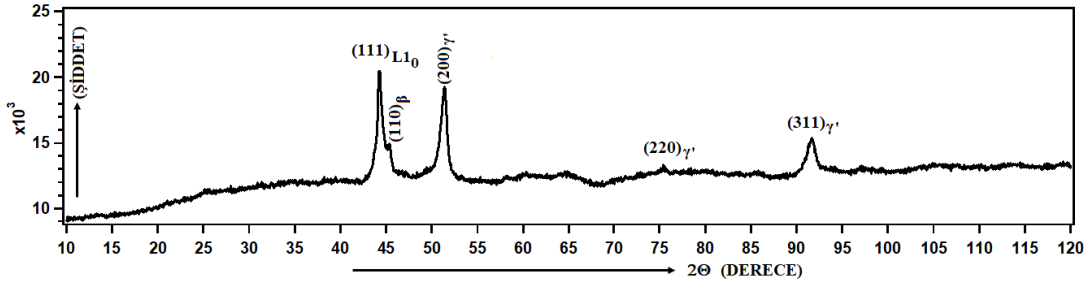
2 numaralı alaşımdan elde edilen X-ışını sonuçları Şekil 5.11 ve Şekil 5.20 arasında indislenmiş olarak gösterilmiştir. 2 numaralı alaşıma ait tüm numunelerden alınan sonuçlar kullanılarak elde edilen verilerden yola çıkarak tespit edilen fazlar Çizelge 5.1 içerisinde, örgü sabitleri ise Çizelge 5.2 içerisinde verilmiştir.

Şekil 5.11'de verilen numune 2A'ya ait X ışını difraktogramında belirgin ve çok keskin görünümlü olarak $(111)_{L10}$ örgü parametresine sahip faza ait pik bulunmaktadır. Mevcut XRD'de $(200)_{\gamma'}$ örgü parametresine sahip faza ait pik keskin ancak çok belirgin görünümlü değildir. 2A numunesinin X ışını difraktogramında yüksek sıcaklık fazı olan B2 fazına ait XRD piki bulunmamaktadır.



Şekil 5.11. Numune 2A'ya ait XRD.

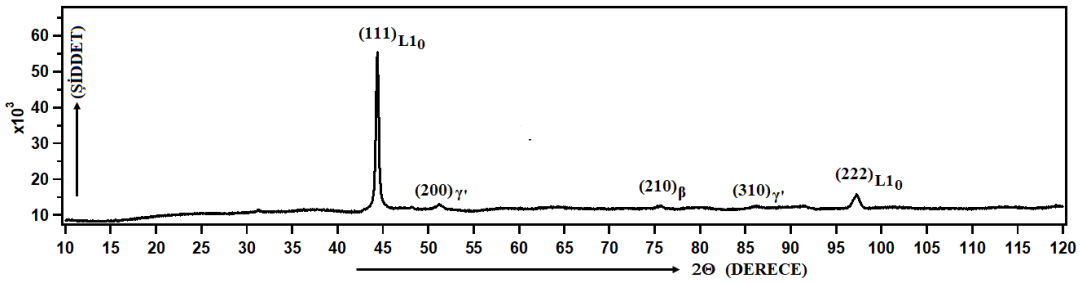
Şekil 5.12'de verilen numune 2B'ye ait X ışını difraktogramında $(111)_{L10}$ ve $(200)_{\gamma'}$ örgü parametrelerine sahip fazlara ait pikler keskin ve belirgin şekilde bulunmaktadır. 2B numunesinin X ışını difraktogramında yüksek sıcaklık fazı olan B2 fazına ait XRD piki $(110)_{\beta}$ örgü parametresine sahip olarak bulunmaktadır. Ayrıca $(311)_{\gamma'}$ parametresine sahip faza ait pik de yine belirgin fakat keskin olmayan bir şekilde mevcuttur.



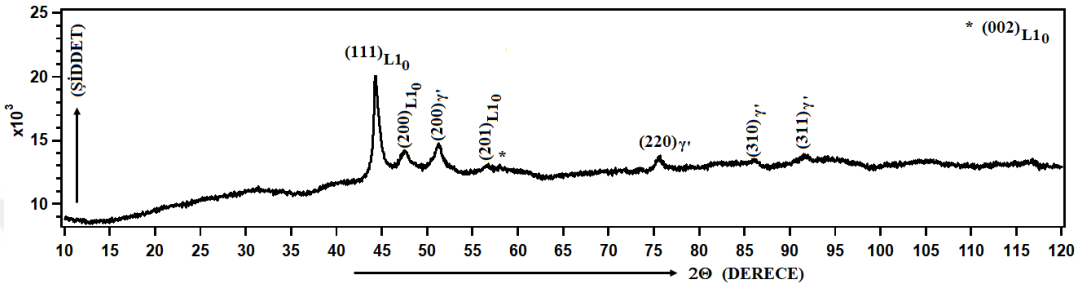
Şekil 5.12. Numune 2B'ye ait XRD.

Şekil 5.13'de verilen numune 2C'ye ait X ışını difraktogramında keskin ve belirgin görünümlü olarak sadece $(111)_{L10}$ örgü parametresine sahip faza ait pik bulunmaktadır. Mevcut X ışını difraktogramında yüksek sıcaklık fazı olan B2 fazına ait XRD piki $(210)_{\beta}$ örgü parametresine sahip olarak keskin ve belirgin değildir.

Şekil 5.14'de verilen numune 2D'ye ait X ışını difraktogramında $L1_0$ ve γ' fazlarının farklı parametrelere sahip pikleri görülmektedir. Ancak bu pikler içerisinde sadece $(111)_{L10}$ örgü parametresine sahip faza ait pik keskin ve belirgin görünümlüdür. Mevcut X ışını difraktogramında yüksek sıcaklık fazı olan B2 fazına ait XRD pik bulunmamaktadır.

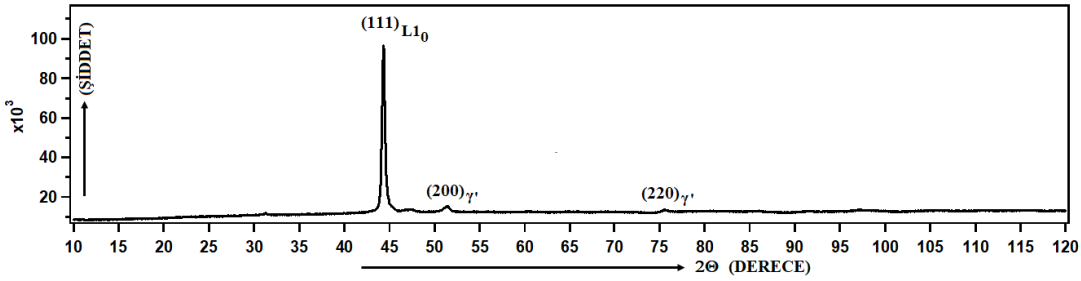


Şekil 5.13. Numune 2C'ye ait XRD.



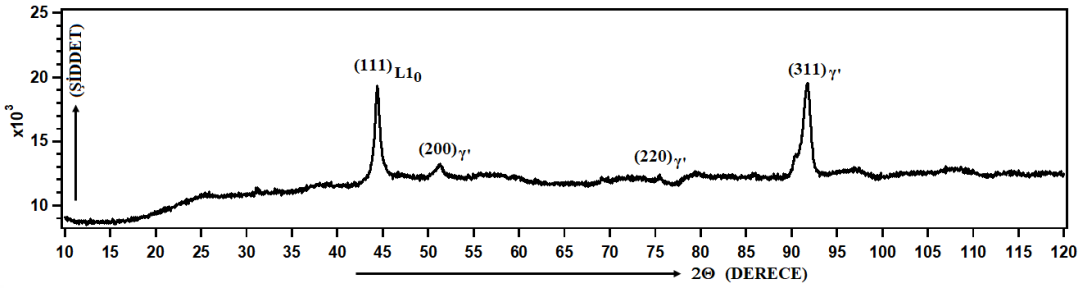
Şekil 5.14. Numune 2D'ye ait XRD.

Şekil 5.15'de verilen numune 2E'ye ait X ışını difraktogramında sadece $L1_0$ fazının $(111)_{L10}$ parametresine sahip pik çok keskin ve belirgin görünümlüdür. γ' fazına farklı parametrelere sahip pikler mevcut olmasına rağmen hemen hemen yok denecek kadar yumuşak ve belirsiz bir görüntü oluşturmaktadır. Mevcut X ışını difraktogramında yüksek sıcaklık fazı olan B2 fazına ait XRD pik bulunmamaktadır.



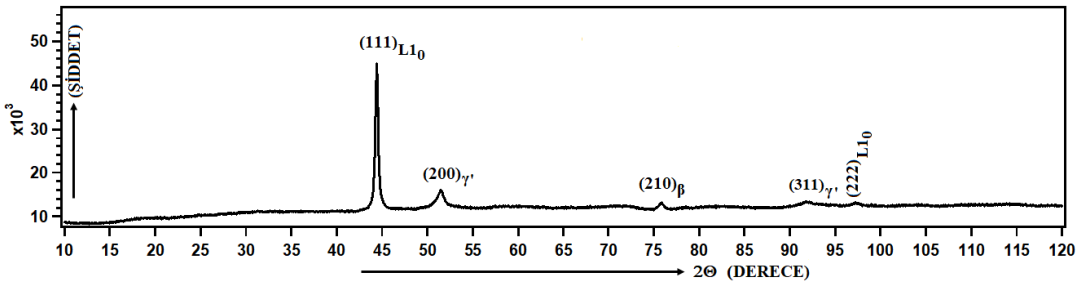
Şekil 5.15. Numune 2E'ye ait XRD.

Şekil 5.16'da verilen numune 2F'ye ait X ışını difraktogramında $L1_0$ fazına ait tek tip pik ile γ' fazının farklı parametrelere sahip pikleri görülmektedir. Ancak bu pikler içerisinde $(111)_{L10}$ örgü parametresine sahip pik ile $(311)_{\gamma'}$ parametresine sahip pik keskin ve belirgin görünümlüdür. Ayrıca her iki pik de hemen hemen aynı şiddete yakındır.



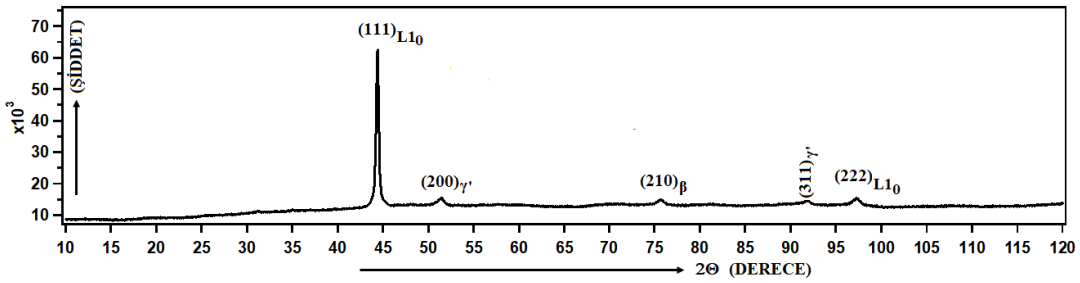
Şekil 5.16. Numune 2F'ye ait XRD.

Şekil 5.17'de verilen numune 2G'ye ait X ışını difraktogramında $L1_0$ fazına ait pik çok keskin ve belirgin olarak görülmektedir. Bu difraktogramda yüksek sıcaklık fazına B2 ve γ' fazına ait pikler mevcuttur ancak belirgin ve keskin değildir.



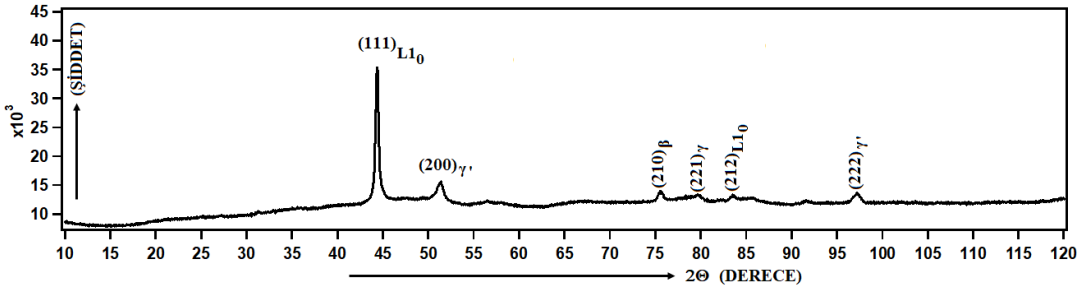
Şekil 5.17. Numune 2G'ye ait XRD.

Şekil 5.18'de verilen numune 2H'ye ait X ışını difraktogramında bir önceki numuneye ait XRD'deki piklere benzer görüntü vermektedir ancak $L1_0$ fazına ait pikin şiddeti farklılık göstermektedir. $L1_0$ fazına ait pik çok keskin ve belirgindir. Ancak mevcut difraktogramda yüksek sıcaklık fazına (B2) ve γ' fazına ait pikler bulunmasına rağmen belirgin ve keskin değildir.



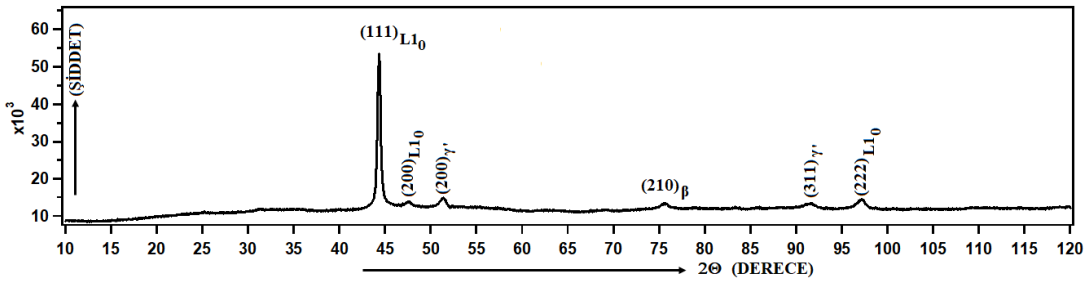
Şekil 5.18. Numune 2H'ye ait XRD.

Şekil 5.19'da verilen numune 2K'ya ait X ışını difraktogramında $L1_0$ fazına ait pik bir önceki numuneye ait XRD'deki pike benzerdir ancak şiddeti azalmış bir görüntü vermektedir. $L1_0$ fazına ait pik çok keskin ve belirgindir. Ancak mevcut difraktogramda yüksek sıcaklık fazına (B2) ait pik bulunmasına rağmen belirgin ve keskin değildir. Numune 2K'ya ait X ışını difraktogramında diğer bir yüksek sıcaklık fazı olan γ fazı görülmektedir. Yapılan incelemelerde γ fazının olduğu tek numunenin 2K numunesi olduğu görülmektedir. (221)γ fazının örgü parametresi 3.631Å dur.



Şekil 5.19. Numune 2K'ya ait XRD.

Şekil 5.20'de verilen numune 2J'ye ait X ışını difraktogramında çok keskin ve belirgin olarak $L1_0$ fazına ait pik görülmektedir. 2G, 2H, 2K ve 2J'ye ait X ışını difraktogramları karşılaştırıldığında benzer piklerin varlığı görülmektedir. Yalnız bu piklerin görüntüleri benzer iken şiddeti değişiklik göstermektedir. Karşılaştırılan XRD'de yüksek sıcaklık fazına ait pikler $(210)_\beta$ parametresine sahip olarak görüntü vermektedir. Ancak bu piklerin şiddeti birbirine yakındır.



Şekil 5.20. Numune 2J'ye ait XRD.

Bu verilere göre şu sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 5.1. Isıl 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 ve B2 yüksek sıcaklık fazı için hesaplanan a_{B2} örgü sabiti değerleri.

	1					2				
	a_{L10}	c_{L10}	c_{L10}/a_{L10}	$a_{\gamma'}$ (Å)	a_{B2}(Å)	a_{L10}	c_{L10}	c_{L10}/a_{L10}	$a_{\gamma'}$ (Å)	a_{B2}(Å)
A (1saat)	3.857	3.086	0.796	3.554	2.851	-	-	-	3.560	-
B (2saat)	3.826	3.390	0.886	3.560	2.826	-	-	-	3.563	2.835
C (3saat)	3.759	3.313	0.886	3.559	2.830	-	-	-	3.571	2.814
D (4saat)	3.670	3.293	0.897	3.559	2.810	3.835	3.108	0.810	3.566	-
E (5saat)	3.731	3.217	0.862	3.558	2.825	-	-	-	3.560	-
F (6saat)	4.006	2.947	0.735	3.559	2.829	-	-	-	3.580	-
G(200°C)	3.716	3.241	0.872	3.556	2.886	-	-	-	3.554	2.805
H(300°C)	-	-	-	3.552	2.853	-	-	-	3.562	2.811
K(350°C)	3.716	3.242	0.872	3.554	-	-	-	-	3.567	2.813
J(400°C)	3.750	3.204	0.854	3.556	2.838	-	-	-	3.560	2.814

Çizelge 5.2. Tüm numunelerde bulunan fazlar.

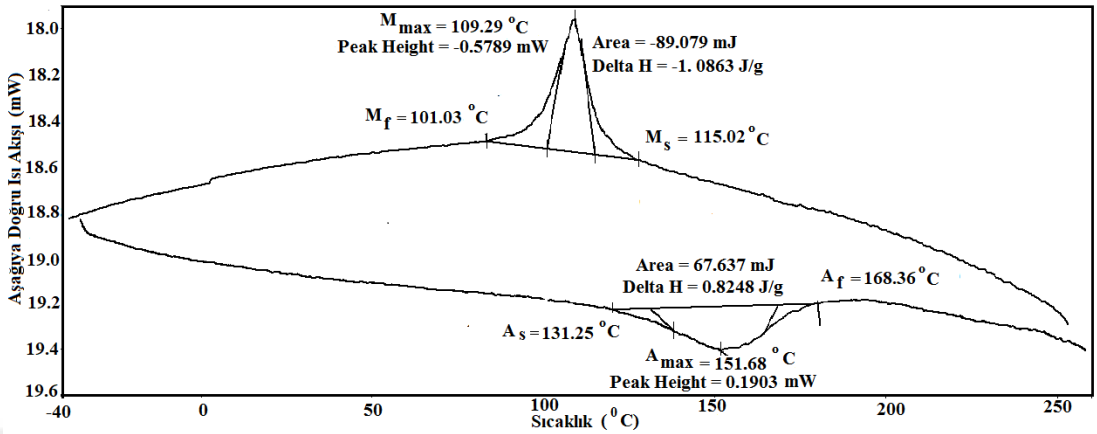
	1	2
A (1 saat)	$L1_0$, γ', β	$L1_0$, γ'
B (2 saat)	$L1_0$, γ', β	$L1_0$, γ', β
C (3 saat)	$L1_0$, γ', β	$L1_0$, γ', β
D (4 saat)	$L1_0$, γ', β	$L1_0$, γ'
E (5 saat)	$L1_0$, γ', β	$L1_0$, γ'
F(6 saat)	$L1_0$, γ', β	$L1_0$, γ'
G (200 °C)	$L1_0$, γ', β	$L1_0$, γ', β
H (300 °C)	$L1_0$, γ', β	$L1_0$, γ', β
K (350 °C)	$L1_0$, γ', β	$L1_0$, γ', β, γ
J (400 °C)	$L1_0$, γ', β	$L1_0$, γ', β

5.2 Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC) Sonuçları

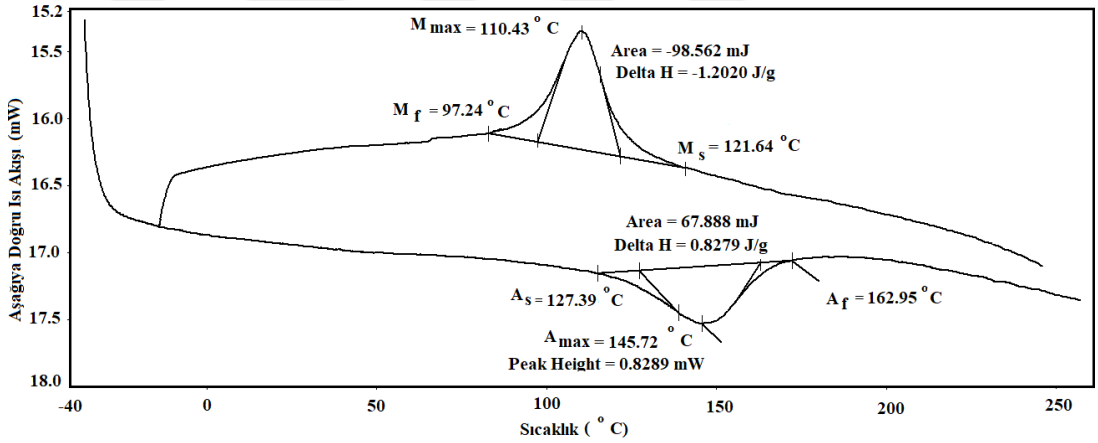
Tüm numuneler için ısıtma ve soğutma hızlarına ait DSC eğrileri Şekil 5.21 ve Şekil 5.104 arasında gösterilmiştir. Tüm numuneler tüm ısıtma ve soğutma dönüşüm sıcaklıkları ve entalpi değerleri ise Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.14 arasındaki çizelgelerde verilmiştir. DSC eğrilerine ait alanın genişliği şekillerde gösterilmiştir. Bu alanın ifade ettiği genişlik faz dönüşümünün ne oranda gerçekleştiği hakkında bilgi verebilir. Yani DSC ölçümlerinden elde edilen eğri ne kadar genişse meydana gelen faz dönüşümü de o kadar fazladır.

90 mg'lık numune 1A'ya ait ısıtma ve soğutma hızları için DSC eğrileri Şekil 5.21 ve Şekil 5.27 arasında gösterilmiştir. Numuneye ait martensit ve austenit dönüşüm sıcaklıkları ile entalpi değerleri çizelge halinde verilmiştir.

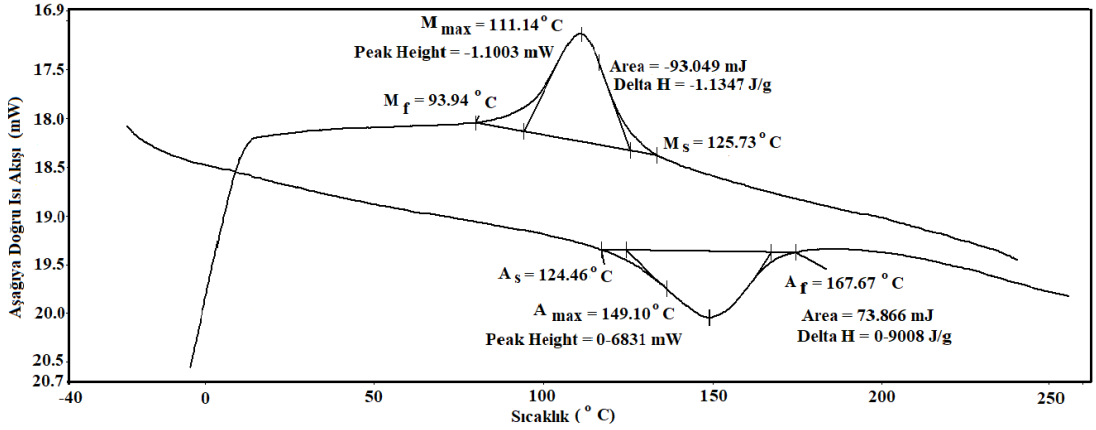
Şekil 5.25, Şekil 5.26 ve Şekil 5.27'deki ileri ve ters dönüşüm sıcaklıkları kıyaslandığında birinci, ikinci ve üçüncü çevrime ait değerlerde çok küçük değişimler olduğu görülmektedir.



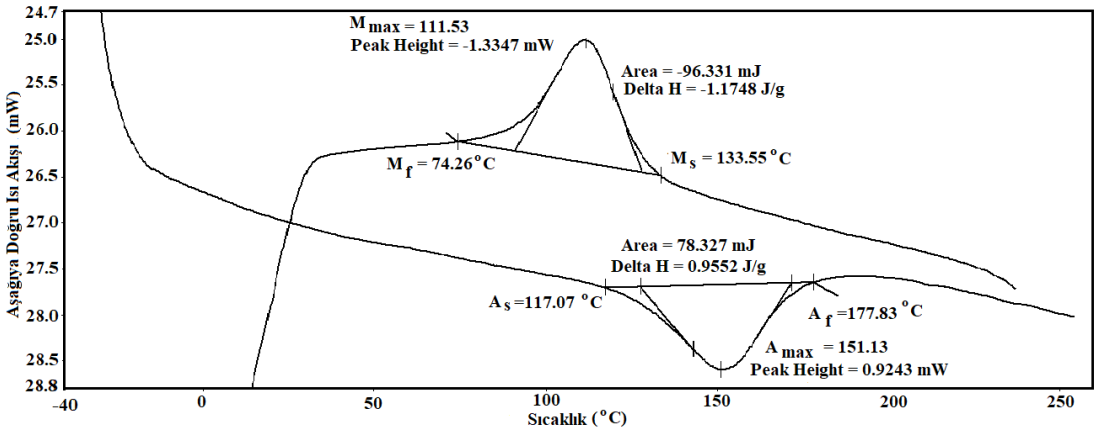
Şekil 5.21. 1A numunesinin 5°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



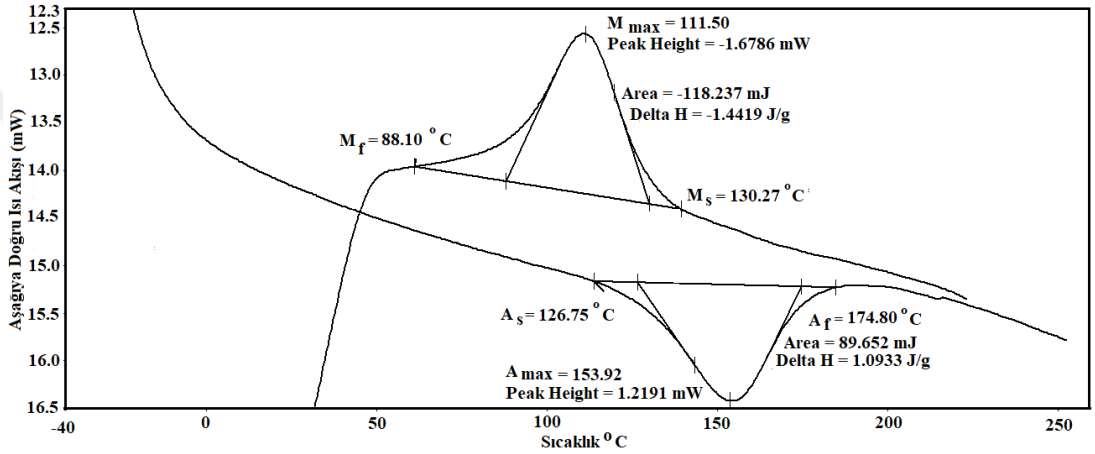
Şekil 2.22. Numune 1A'nın 10°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



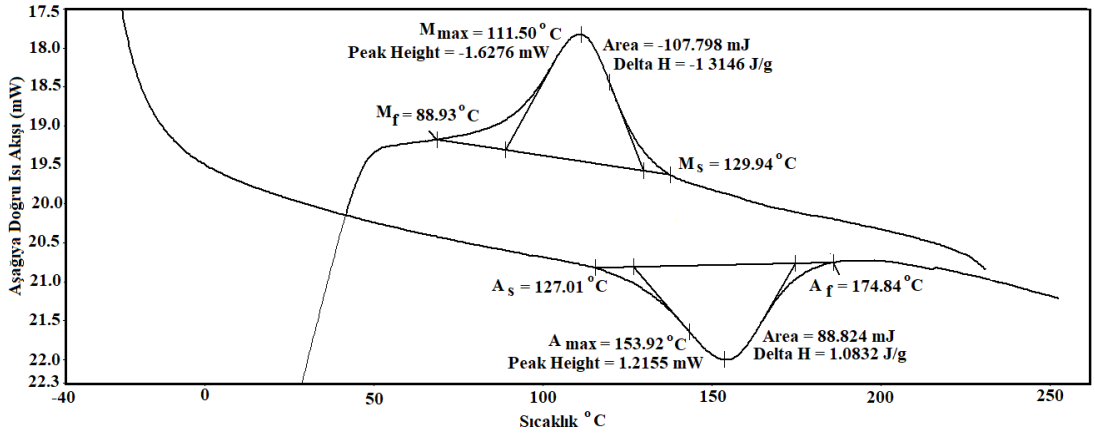
Şekil 2.23. Numune 1A'nın 15°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



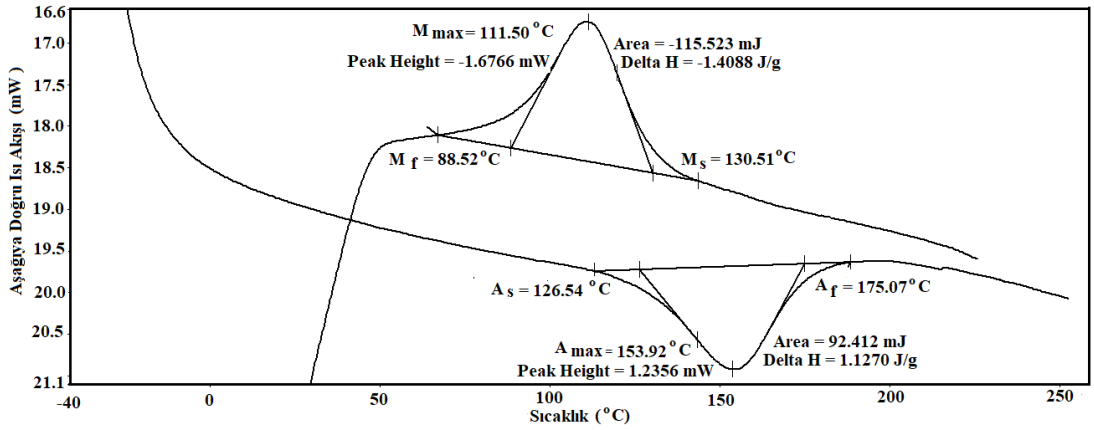
Şekil 5.24. 1A numunesinin 20°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



Şekil 5.25. Numune 1A'nın 1. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



Şekil 5.26. Numune 1A'nın 2. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



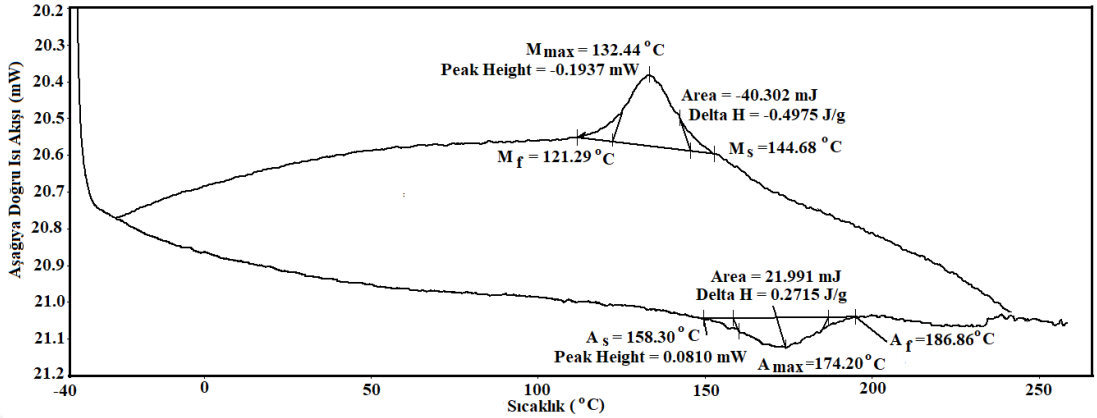
Şekil 5.27. Numune 1A'nın 3. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.

Çizelge 5.3. Numune 1A'ya ait DSC analiz sonuçları.

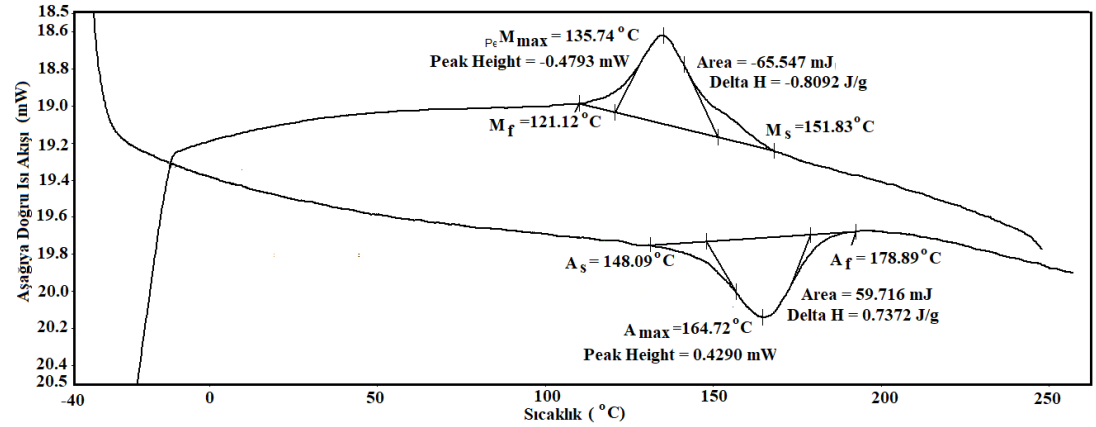
Sıcaklık Proğ. (^{0}C/dak)	A_s (^{0}C)	A_{max} (^{0}C)	A_f (^{0}C)	M_s (^{0}C)	M_{max} (^{0}C)	M_f (^{0}C)	$\Delta H_{ısı}$ (J/gr)	$\Delta H_{soğ.}$ (J/gr)	$\lvert A_m - M_m \rvert$ (^{0}C)	$\lvert T_0 - M_s \rvert$ (^{0}C)
5	131.25	151.68	168.36	115.02	109.29	101.03	0.8248	-1.086	42.39	8.115
10	127.39	145.72	162.95	121.64	110.49	97.24	0.8279	-1.202	35.23	2.875
15	124.46	149.10	167.67	125.73	111.14	93.94	0.9018	-1.134	37.96	0.635
20	117.07	151.13	177.83	133.55	111.53	74.26	0.9552	-1.174	39.6	8.24
25 (Birinci Çevrim)	126.75	153.92	174.80	130.27	111.50	88.10	1.0933	-1.441	42.42	1.76
25 (İkinci Çevrim)	127.01	153.92	174.84	129.94	111.50	88.93	1.0832	-1.314	42.42	1.465
25 (Üçüncü Çevrim)	126.54	153.92	175.07	130.51	111.50	88.52	1.1270	-1.408	42.42	1.985

86 mg'lık numune 1B'ye ait ısıtma ve soğutma hızları için DSC eğrileri Şekil 5.28 ve Şekil 5.34 arasında gösterilmiştir. Numuneye ait martensit ve austenit dönüşüm sıcaklıkları ile entalpi değerleri çizelge halinde verilmiştir.

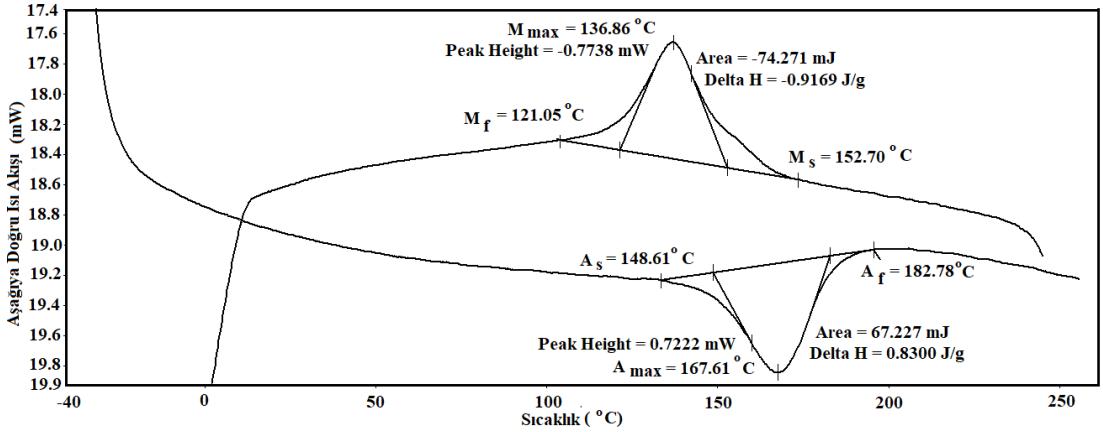
Şekil 5.32, Şekil 5.33 ve Şekil 5.34'deki ileri ve ters dönüşüm sıcaklıkları kıyaslandığında birinci, ikinci ve üçüncü çevrime ait değerlerde çok küçük değişimler olduğu görülmektedir.



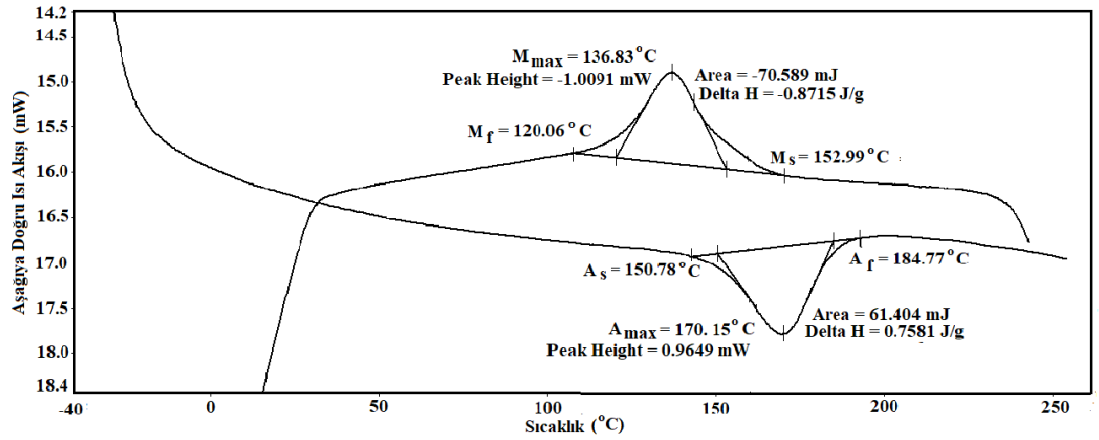
Şekil 5.28. Numune 1B'nin 5°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi



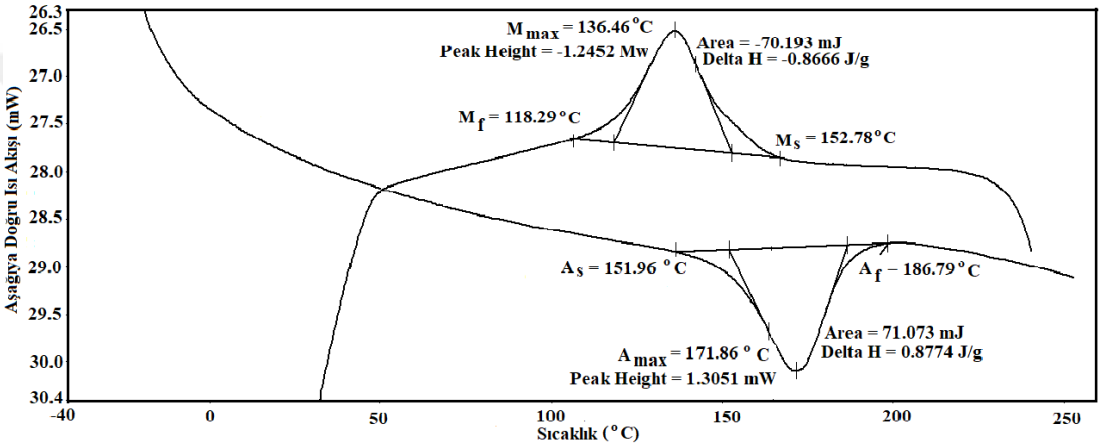
Şekil 5.29. 1B numunesinin 10°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



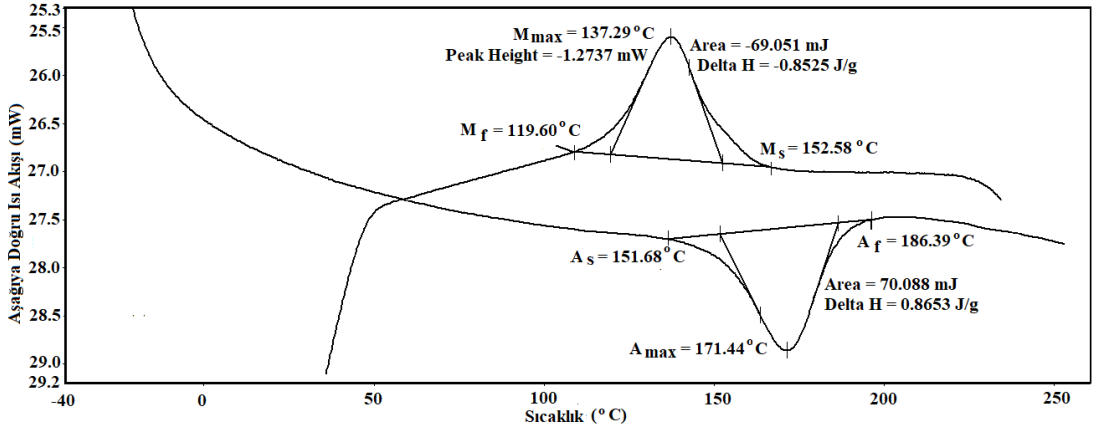
Şekil 5.30. Numune 1B'nin 15°C/dk ısıtma hızları için DSC eğrisi.



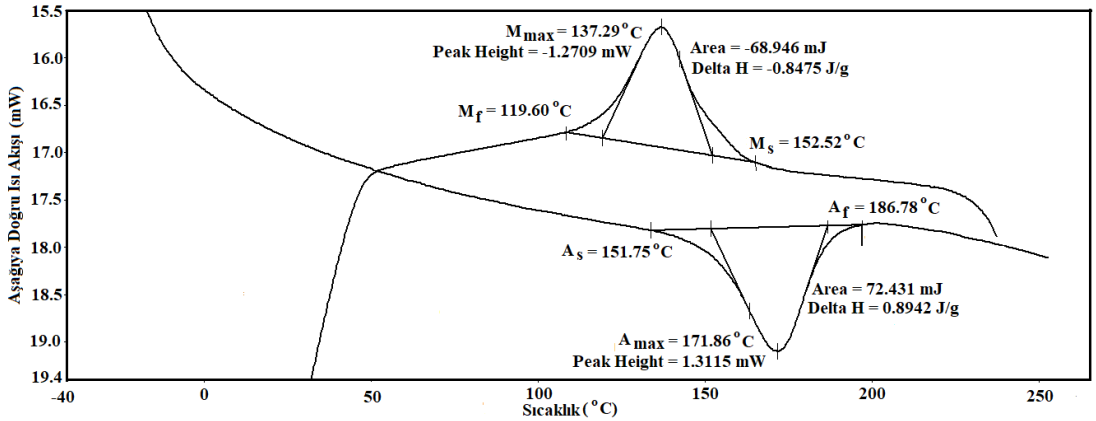
Şekil 5.31. 1B numunesinin 20°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



Şekil 5.32. Numune 1B'nin 1. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



Şekil 5.33. Numune 1B'nin 2. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



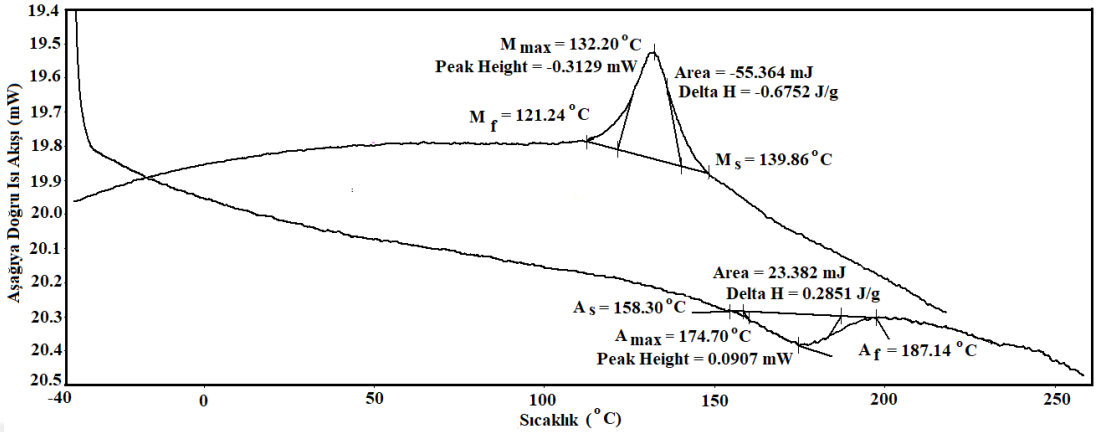
Şekil 5.34. Numune 1B'nin 3. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.

Çizelge 5.4. Numune 1B'ye ait DSC analiz sonuçları.

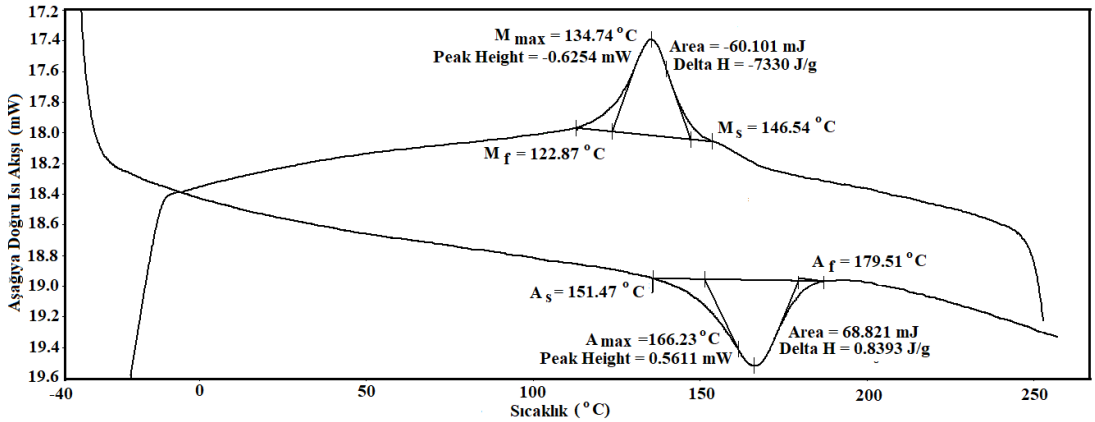
Sıcaklık Prog. (^{0}C/dak)	A_s (^{0}C)	A_{max} (^{0}C)	A_f (^{0}C)	M_s (^{0}C)	M_{max} (^{0}C)	M_f (^{0}C)	$\Delta H_{ısı}$ (J/gr)	$\Delta H_{soğ.}$ (J/gr)	$\lvert A_m - M_m \rvert$ (^{0}C)	$\lvert T_0 - M_f \rvert$ (^{0}C)
5	158.30	174.20	186.86	144.68	132.44	121.29	0.2715	-0.497	41.76	6.81
10	148.09	164.72	178.89	151.83	135.74	121.12	0.7372	-0.809	28.98	1.87
15	148.61	167.61	182.78	152.70	136.86	121.05	0.83	-0.916	30.75	2.045
20	150.78	170.15	184.77	152.99	136.83	120.06	0.7581	-0.871	33.32	1.105
25 (Birinci Çevrim)	151.96	171.86	186.79	152.78	136.46	118.29	0.8774	-0.866	35.4	0.41
25 (İkinci Çevrim)	151.68	171.44	186.39	152.58	137.29	119.60	0.8653	-0.852	34.15	0.33
25 (Üçüncü Çevrim)	151.75	171.86	186.78	152.52	137.29	119.60	0.8942	-0.847	34.57	0.115

83 mg'lık numune 1C' ye ait ısıtma ve soğutma hızları için DSC eğrileri Şekil 5.35 ve Şekil 5.41 arasında gösterilmiştir. Numuneye ait martensit ve austenit dönüşüm sıcaklıkları ile entalpi değerleri çizelge halinde verilmiştir.

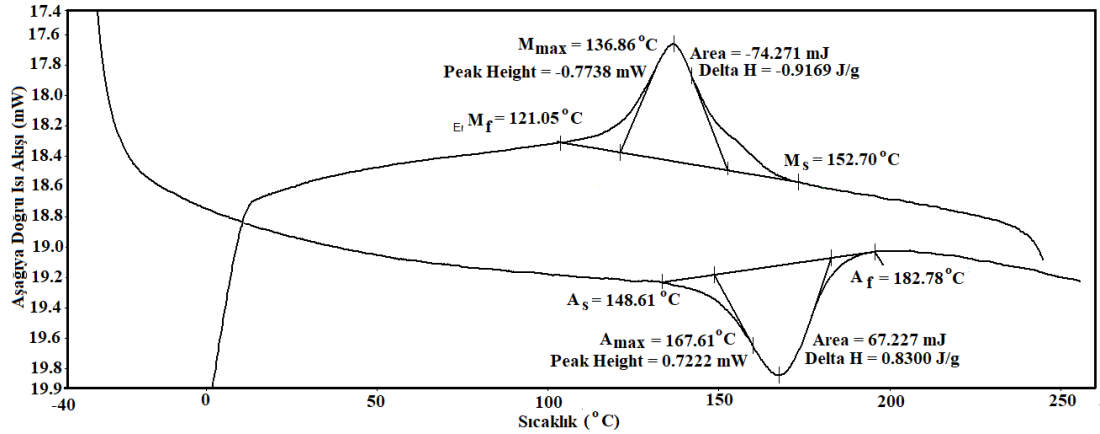
Şekil 5.39, Şekil 5.40 ve Şekil 5.41'deki ileri ve ters dönüşüm sıcaklıkları kıyaslandığında birinci, ikinci ve üçüncü çevrime ait değerlerde çok küçük değişimler olduğu görülmektedir.



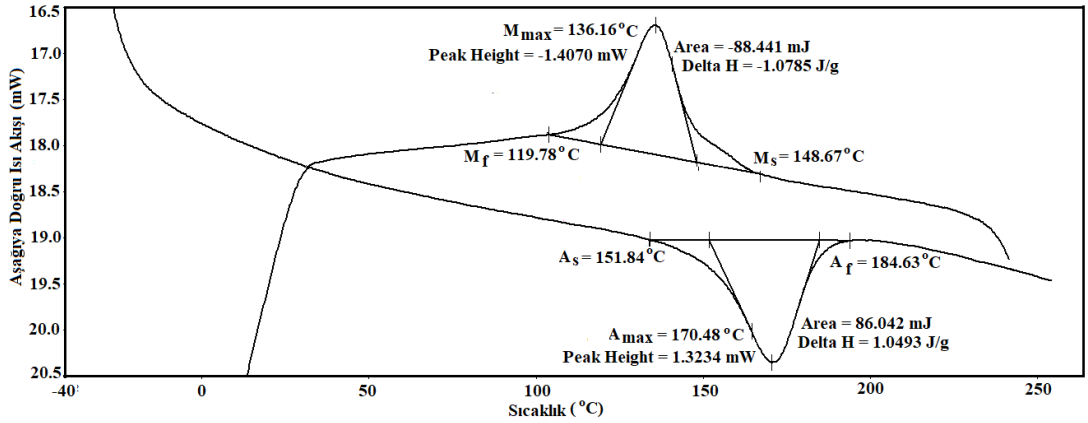
Şekil 5.35. Numune 1C'nin 5°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



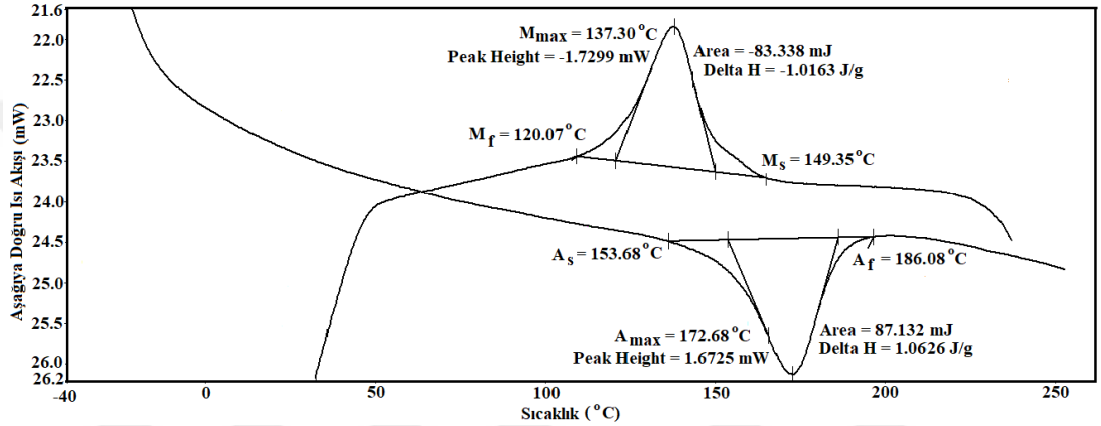
Şekil 5.36. 1C numunesinin 10°C/dk ısıtma hızları için DSC eğrisi.



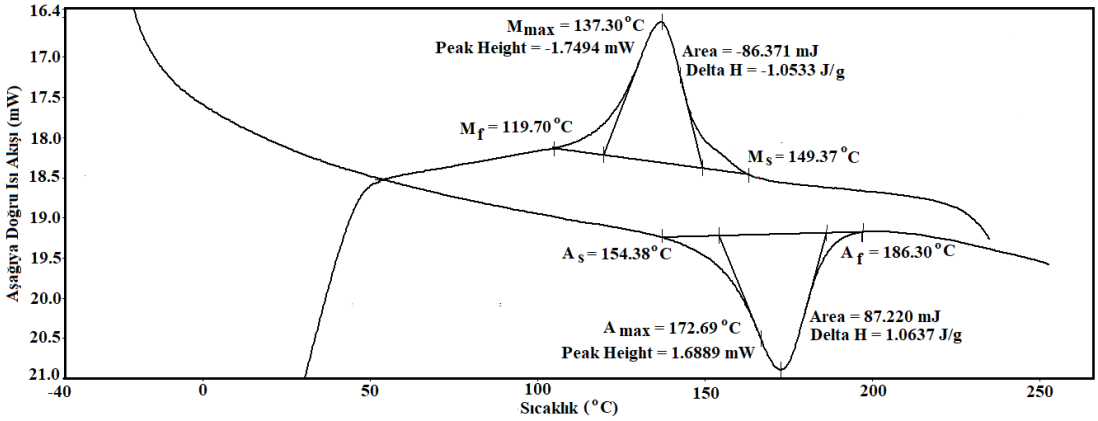
Şekil 5.37. Numune 1C'nin 15°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



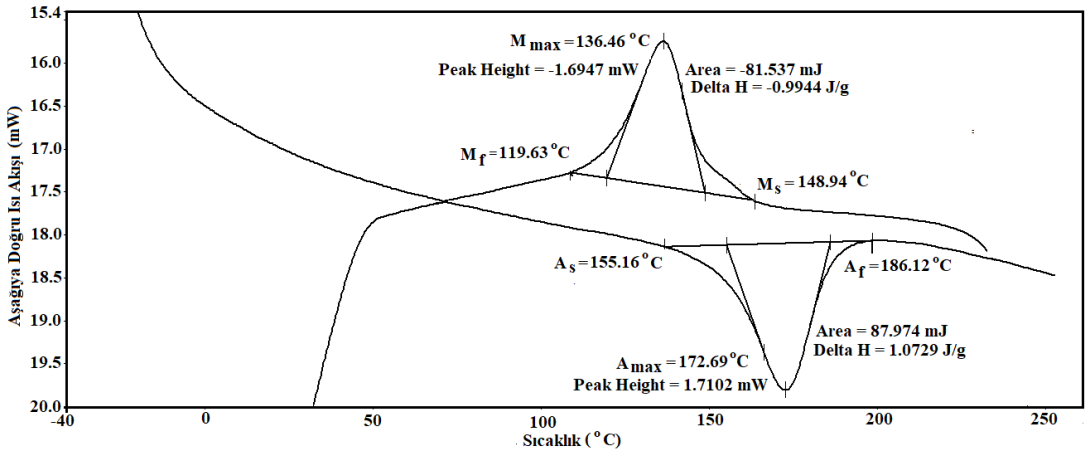
Şekil 5.38. Numune 1C'nin 20°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi



Şekil 5.39. Numune 1C'nin 1. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



Şekil 5.40. Numune 1C'nin 2. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



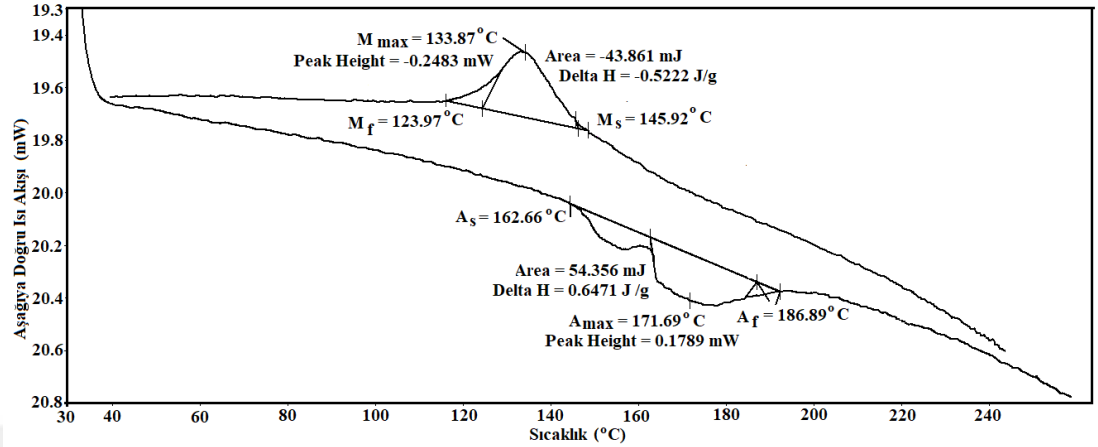
Şekil 5.41. Numune 1C'nin 3. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.

Çizelge 5.5. Numune 1C'ye ait DSC analiz sonuçları.

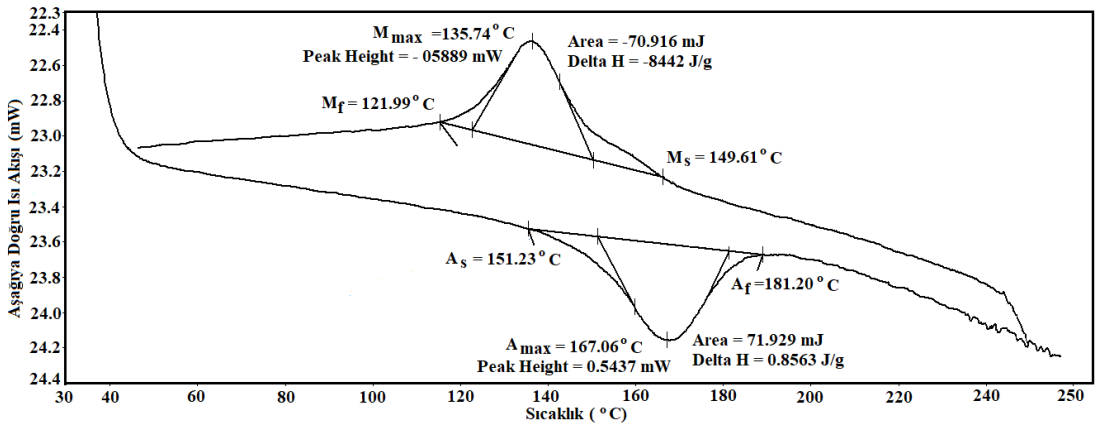
Sıcaklık Prog. (^{0}C/dak)	A_s (^{0}C)	A_{max} (^{0}C)	A_f (^{0}C)	M_s (^{0}C)	M_{max} (^{0}C)	M_f (^{0}C)	$\Delta H_{ısı}$ (J/gr)	$\Delta H_{soğ.}$ (J/gr)	$\lvert A_m - M_m \rvert$ (^{0}C)	$\lvert T_0 - M_s \rvert$ (^{0}C)
5	158.30	174.70	187.14	139.86	132.20	121.24	0.2851	-0.675	42.5	9.22
10	151.47	166.23	179.51	146.54	134.74	122.87	0.8393	-0.733	31.49	2.465
15	148.61	167.61	182.78	152.70	136.86	121.05	0.8300	-0.916	30.75	2.045
20	151.84	170.48	184.63	148.67	136.16	119.78	1.0493	-1.078	34.32	1.585
25 (Birinci Çevrim)	153.68	172.68	186.08	149.35	137.30	120.07	1.0626	-1.016	35.38	2.165
25 (İkinci Çevrim)	154.38	172.69	186.30	149.37	137.30	119.70	1.0637	-1.053	35.39	2.505
25 (Üçüncü Çevrim)	155.16	172.69	186.12	148.94	136.46	119.63	1.0729	-0.994	36.23	3.11

82 mg'lık numune 1D'ye ait ısıtma ve soğutma hızları için DSC eğrileri Şekil 5.42 ve Şekil 5.48 arasında gösterilmiştir. Numuneye ait martensit ve austenit dönüşüm sıcaklıkları ile entalpi değerleri çizelge halinde verilmiştir.

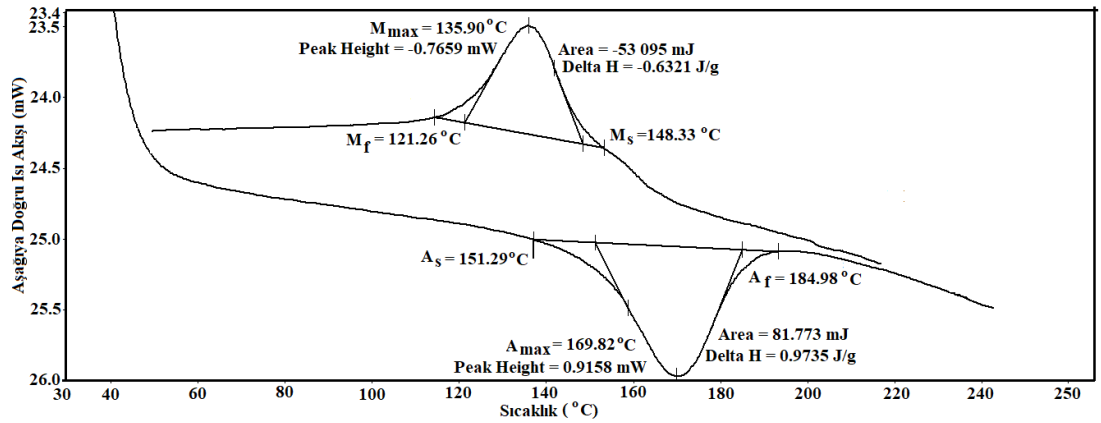
Şekil 5.46, Şekil 5.47 ve Şekil 5.48'deki ileri ve ters dönüşüm sıcaklıkları kıyaslandığında birinci, ikinci ve üçüncü çevrime ait değerlerde çok küçük değişimler olduğu görülmektedir.



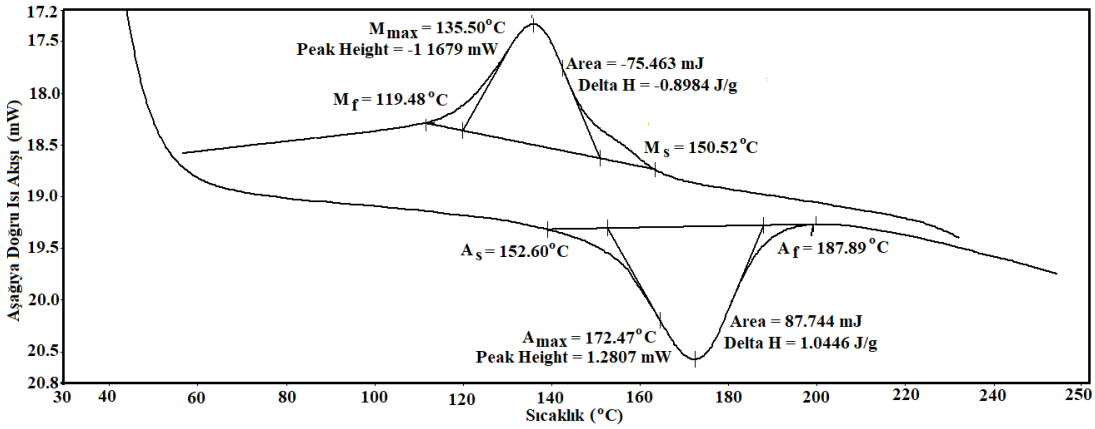
Şekil 5.42. Numune 1D'nin 5°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



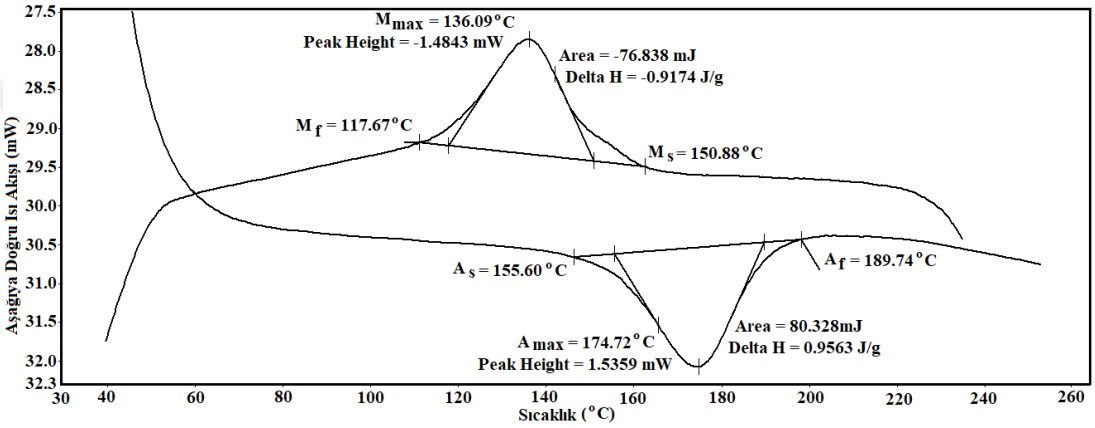
Şekil 5.43. 1D numunesinin 10 ^{0}C/dak ısıtma hızı için DSC eğrisi.



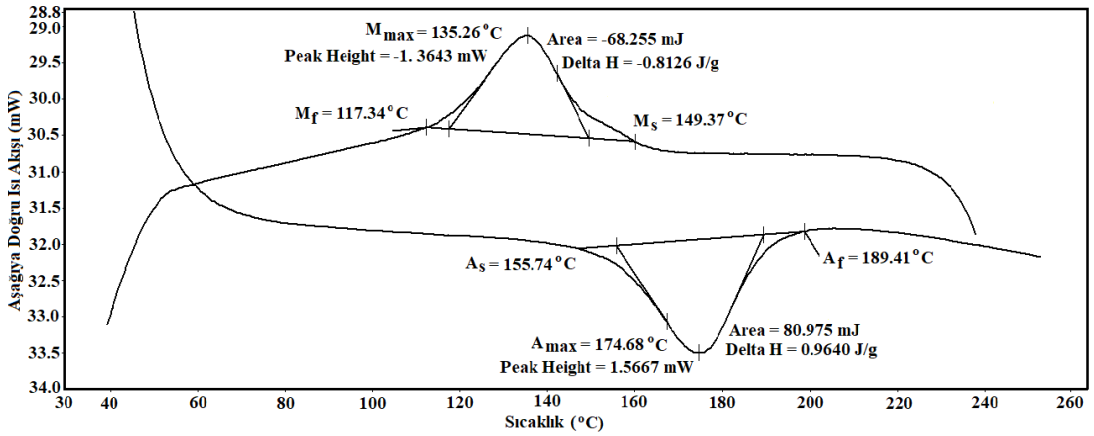
Şekil 5.44. Numune 1D'nin 15°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



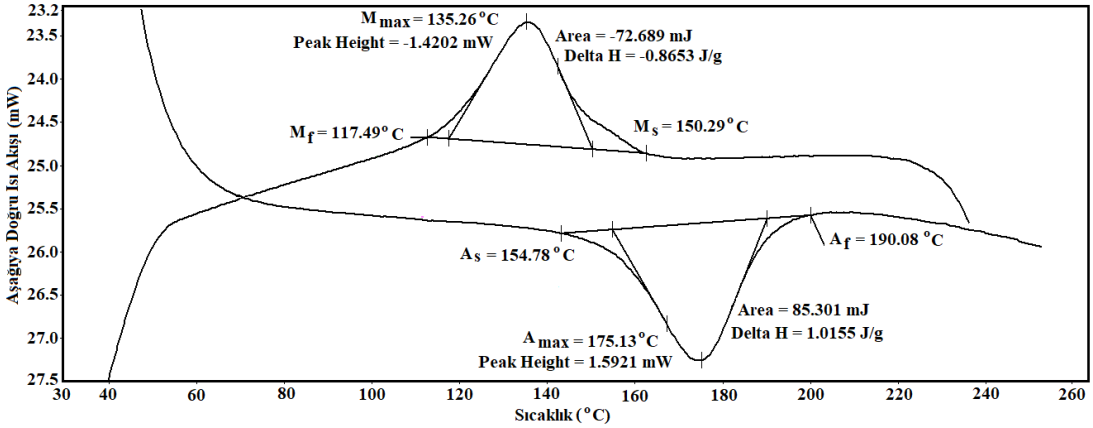
Şekil 5.45. Numune 1D'nin 20°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



Şekil 5.46. Numune 1D'nin 1. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



Şekil 5.47. Numune 1D'nin 2. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



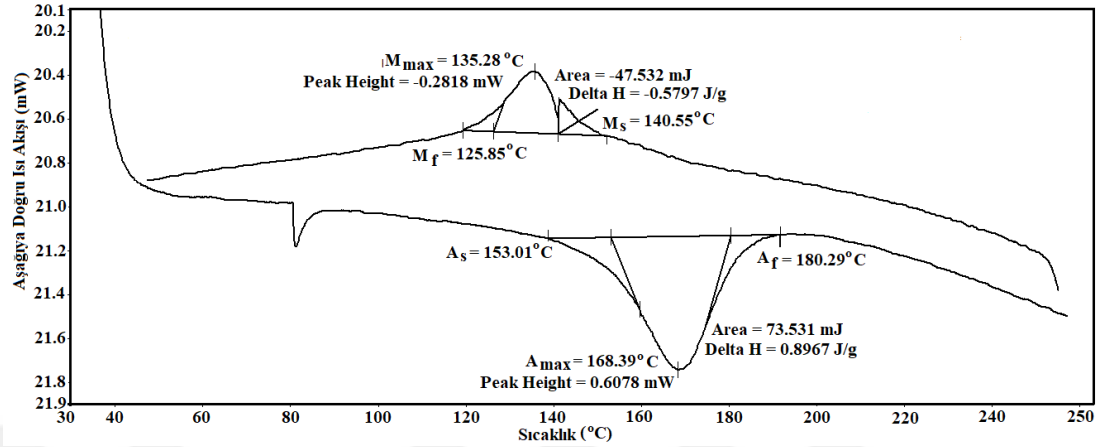
Şekil 5.48. Numune 1D'nin 3. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.

Çizelge 5.6. Numune 1D'ye ait DSC analiz sonuçları.

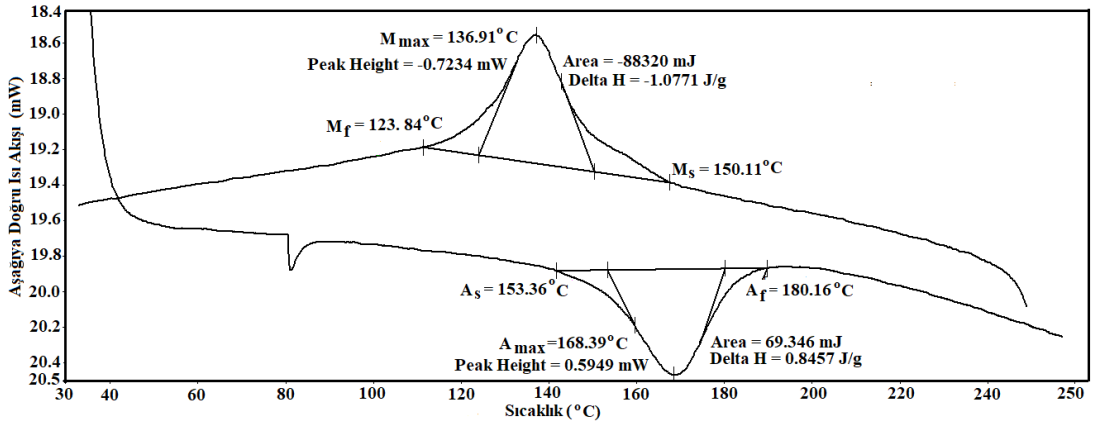
Sıcaklık Prog. (^{0}C/dak)	A_s (^{0}C)	A_{max} (^{0}C)	A_f (^{0}C)	M_s (^{0}C)	M_{max} (^{0}C)	M_f (^{0}C)	$\Delta H_{ısı}$ (J/gr)	$\Delta H_{soğ.}$ (J/gr)	$\lvert A_m - M_m \rvert$ (^{0}C)	$\lvert T_0 - M_s \rvert$ (^{0}C)
5	162.66	171.69	186.89	145.92	133.87	123.97	0.6471	-0.522	37.82	8.37
10	151.23	167.06	181.20	149.61	135.74	121.99	0.8563	-0.844	31.32	0.81
15	151.29	169.82	184.98	148.33	135.90	121.26	0.9735	-0.632	33.92	1.48
20	152.60	172.47	187.89	150.52	135.50	119.48	1.0446	-0.898	36.97	1.04
25 (Birinci Çevrim)	155.60	174.72	189.74	150.88	136.09	117.67	0.9563	-0.917	38.63	2.36
25 (İkinci Çevrim)	155.74	174.68	189.41	149.37	135.26	117.34	0.9640	-0.814	39.42	3.185
25 (Üçüncü Çevrim)	154.78	175.13	190.08	150.29	135.26	117.49	1.0155	-0.865	39.87	2.245

83 mg'lık numune 1E'ye ait ısıtma ve soğutma hızları için DSC eğrileri Şekil 5.49 ve Şekil 5.55 arasında gösterilmiştir. Numuneye ait martensit ve austenit dönüşüm sıcaklıkları ile entalpi değerleri çizelge halinde verilmiştir.

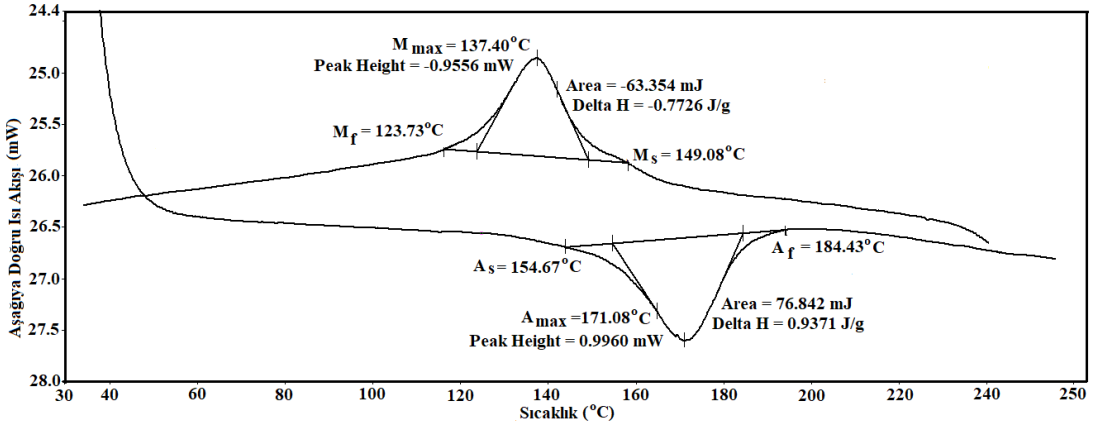
Şekil 5.53, Şekil 5.54 ve Şekil 5.55'deki ileri ve ters dönüşüm sıcaklıkları kıyaslandığında birinci, ikinci ve üçüncü çevrime ait değerlerde çok küçük değişimler olduğu görülmektedir.



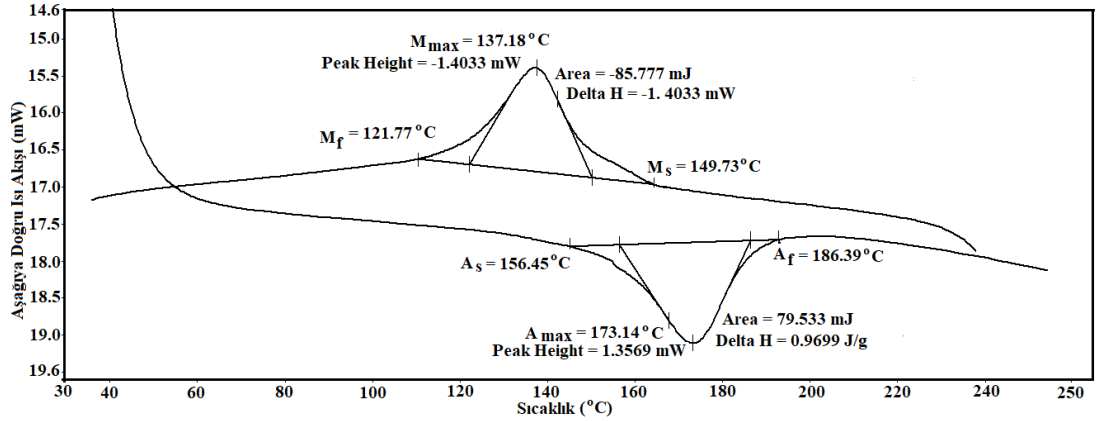
Şekil 5.49. Numune 1E'nin 5°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



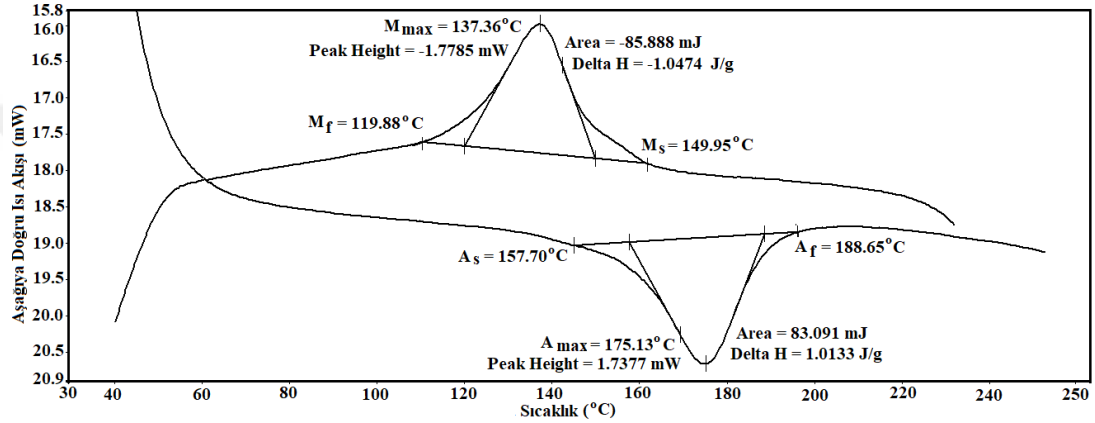
Şekil 5.50. 1E numunesinin 10 ^{0}C/dak ısıtma hızı için DSC eğrisi.



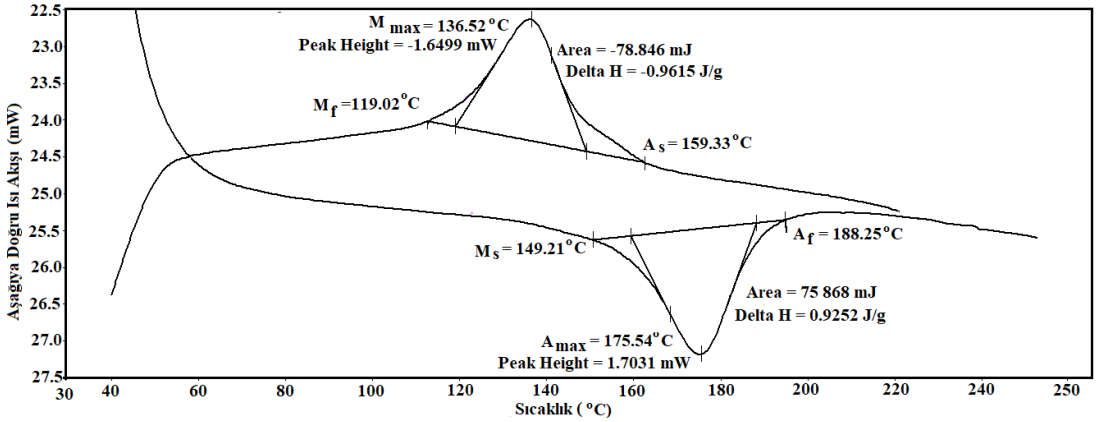
Şekil 5.51. Numune 1E'nin 15°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



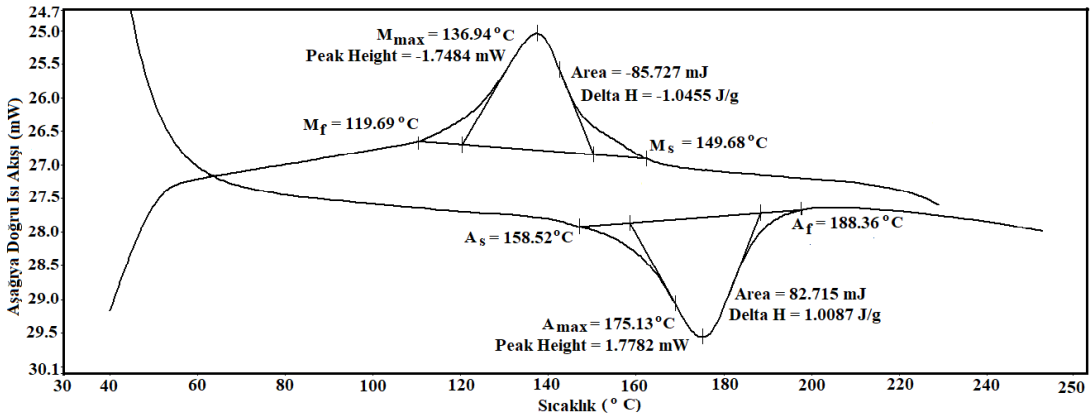
Şekil 5.52. Numune 1E'nin 20°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



Şekil 5.53. Numune 1E'nin 1. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



Şekil 5.54. Numune 1E'nin 2. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



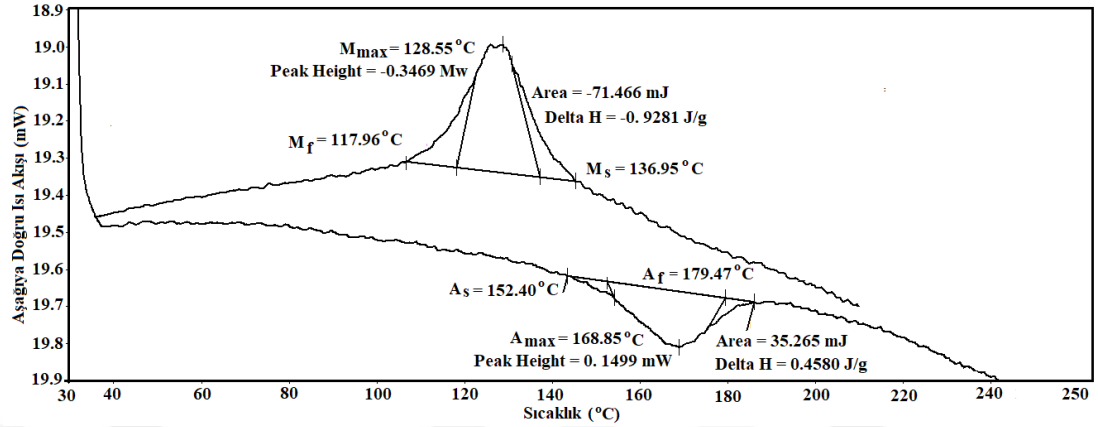
Şekil 5.55. Numune 1E'nin 3. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.

Çizelge 5.7. Numune 1E'ye ait DSC analiz sonuçları.

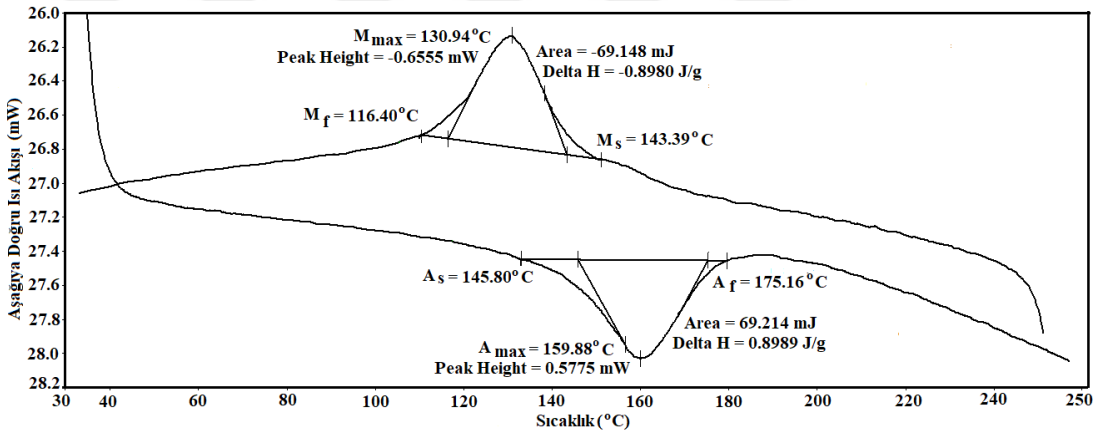
Sıcaklık Prog. (^{0}C/dak)	A_s (^{0}C)	A_{max} (^{0}C)	A_f (^{0}C)	M_s (^{0}C)	M_{max} (^{0}C)	M_f (^{0}C)	$\Delta H_{ısı}$ (J/gr)	$\Delta H_{soğ.}$ (J/gr)	$\lvert A_m - M_m \rvert$ (^{0}C)	$\lvert T_0 - M_s \rvert$ (^{0}C)
5	153.01	168.39	180.29	140.55	135.28	125.85	0.8967	-0.579	33.11	6.23
10	153.36	168.39	180.19	150.11	136.91	123.84	0.8457	-1.077	31.48	1.625
15	154.67	171.08	184.43	149.08	137.40	123.73	0.9371	-0.772	33.68	2.795
20	156.45	173.14	186.39	149.73	137.18	121.71	0.9699	-1.403	35.96	3.36
25 (Birinci Çevrim)	157.70	175.13	188.65	149.95	137.36	119.88	1.0133	-1.047	37.77	3.875
25 (İkinci Çevrim)	149.21	175.54	188.25	159.33	136.52	119.02	0.9252	-0.961	39.02	5.06
25 (Üçüncü Çevrim)	158.52	175.13	188.36	149.68	136.94	119.69	1.0087	-1.045	38.19	4.42

89 mg'lık numune 1F'ye ait ısıtma ve soğutma hızları için DSC eğrileri Şekil 5.56 ve Şekil 5.62 arasında gösterilmiştir. Numuneye ait martensit ve austenit dönüşüm sıcaklıkları ile entalpi değerleri çizelge halinde verilmiştir.

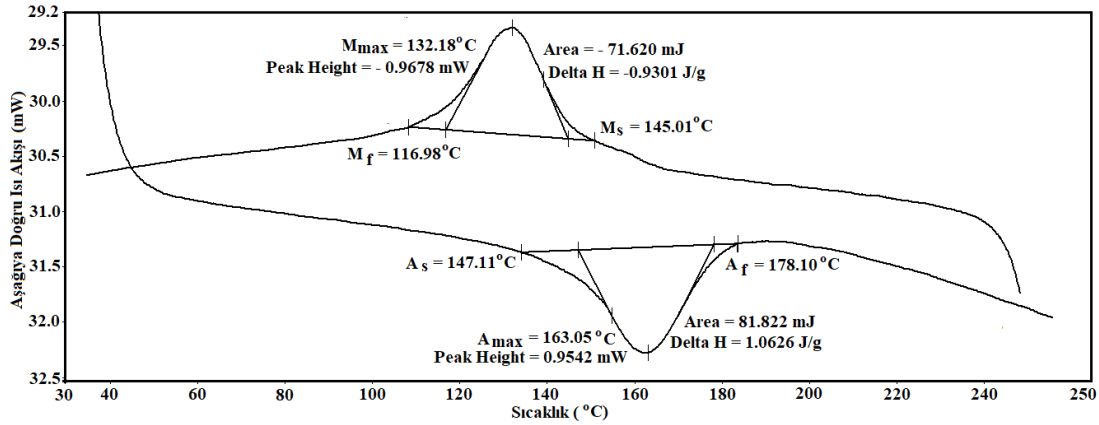
Şekil 5.60, Şekil 5.61 ve Şekil 5.62'deki ileri ve ters dönüşüm sıcaklıkları kıyaslandığında birinci, ikinci ve üçüncü çevrime ait değerlerde çok küçük değişimler olduğu görülmektedir.



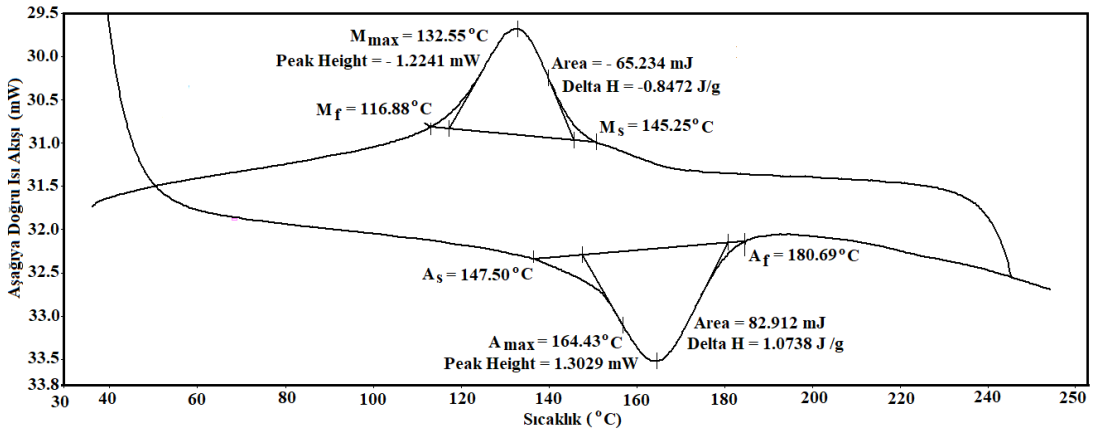
Şekil 5.56. Numune 1F'nin 5°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



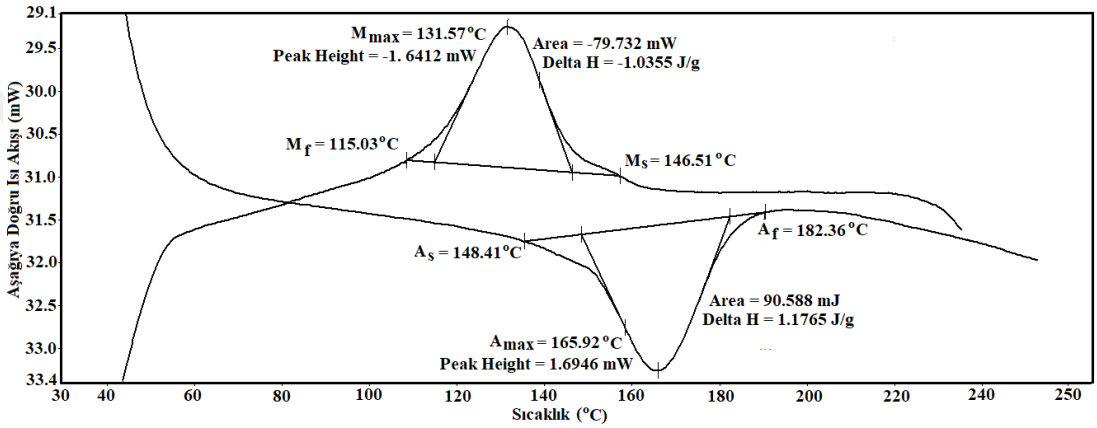
Şekil 5.57. 1F numunesinin 10°C/dk ısıtma hızları için DSC eğrisi.



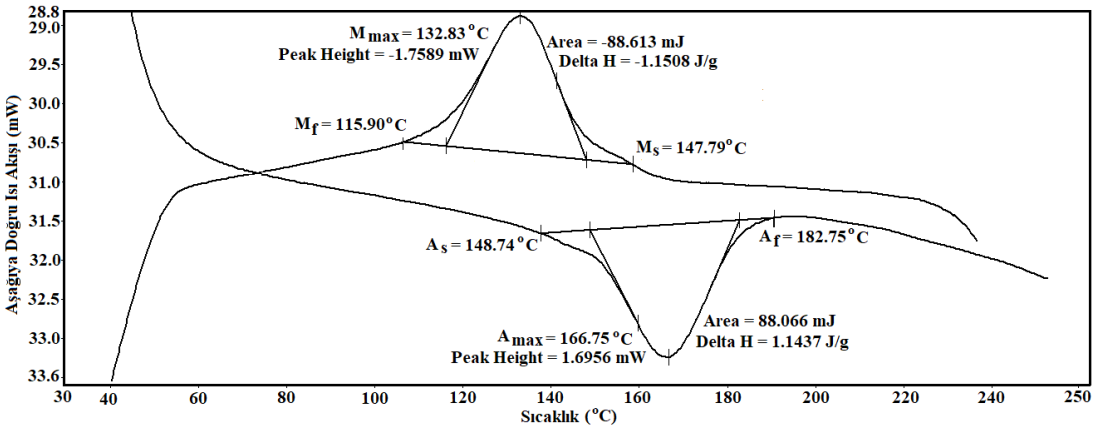
Şekil 5.58. Numune 1F'nin 15°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



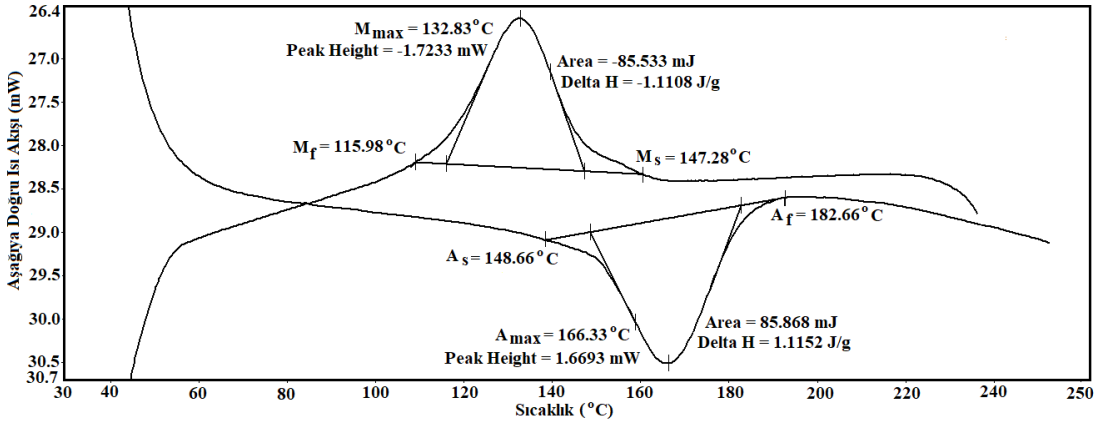
Şekil 5.59. Numune 1F'nin 20°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



Şekil 5.60. Numune 1F'nin 1. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



Şekil 5.61. Numune 1F'nin 2. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



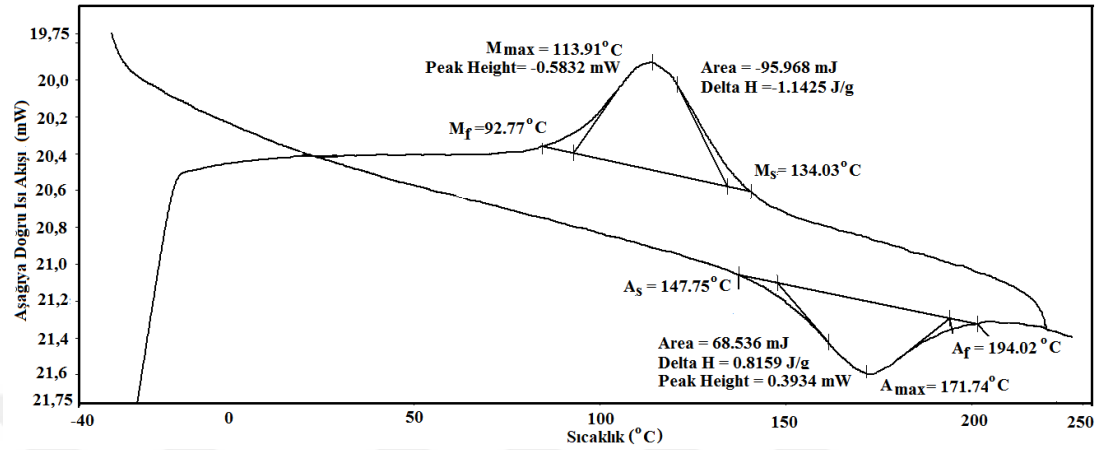
Şekil 5.62. Numune 1F'nin 3. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.

Çizelge 5.8. Numune 1F'ye ait DSC analiz sonuçları.

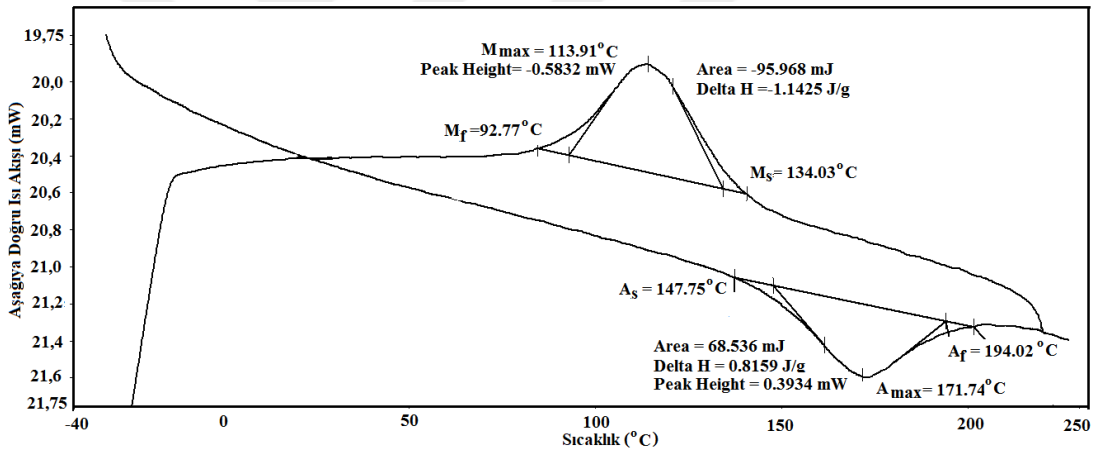
Sıcaklık Prog. (^{0}C/dak)	A_s (^{0}C)	A_{max} (^{0}C)	A_f (^{0}C)	M_s (^{0}C)	M_{max} (^{0}C)	M_f (^{0}C)	$\Delta H_{ısı}$ (J/gr)	$\Delta H_{soğ.}$ (J/gr)	$\lvert A_m - M_m \rvert$ (^{0}C)	$\lvert T_0 - M_s \rvert$ (^{0}C)
5	152.40	168.85	179.45	136.95	128.55	117.96	0.4580	-0.928	40.3	7.725
10	145.80	159.88	175.16	143.39	130.94	116.40	0.8989	-0.898	28.94	1.205
15	147.11	163.05	178.10	145.01	132.18	116.98	1.0626	-0.930	30.87	1.05
20	147.50	164.43	180.69	145.25	132.55	116.88	1.0738	-0.847	31.88	1.125
25 (Birinci Çevrim)	148.41	165.92	182.36	146.51	131.57	115.03	1.1765	-1.035	34.35	0.95
25 (İkinci Çevrim)	148.74	166.75	182.75	147.79	132.83	115.90	1.1437	-1.150	33.92	0.475
25 (Üçüncü Çevrim)	148.66	166.33	182.66	147.28	132.83	115.98	1,1152	-1,110	33.5	0.69

79 mg'lık numune 2A'ya ait ısıtma ve soğutma hızları için DSC eğrileri Şekil 5.63 ve Şekil 5.69 arasında gösterilmiştir. Numuneye ait martensit ve austenit dönüşüm sıcaklıkları ile entalpi değerleri çizelge halinde verilmiştir.

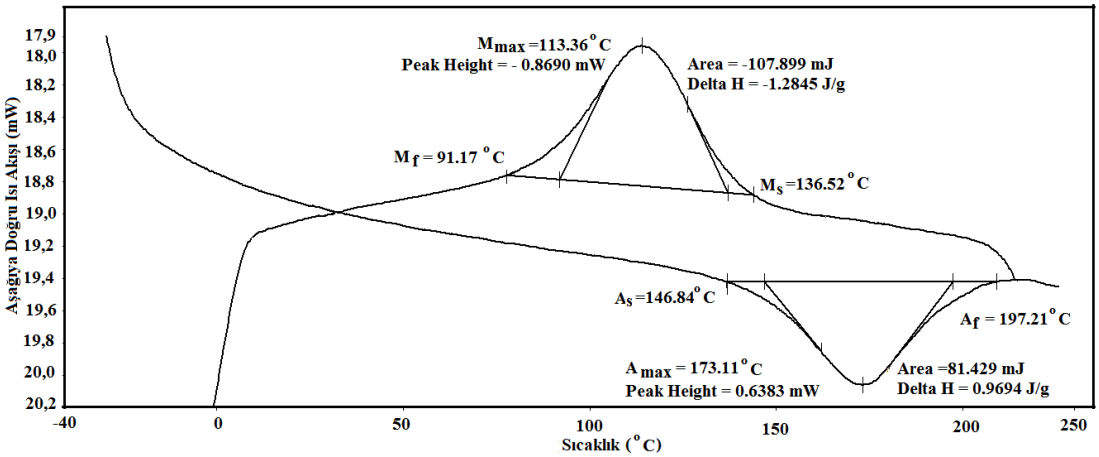
Şekil 5.60, Şekil 5.61 ve Şekil 5.62'deki ileri ve ters dönüşüm sıcaklıkları kıyaslandığında birinci, ikinci ve üçüncü çevrime ait değerlerde çok küçük değişimler olduğu görülmektedir.



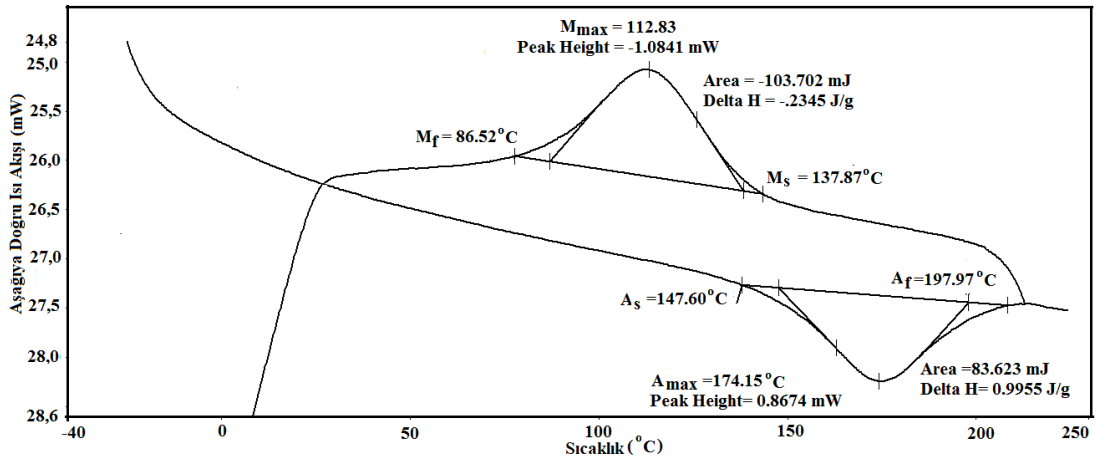
Şekil 5.63. Numune 2A'nın 5°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



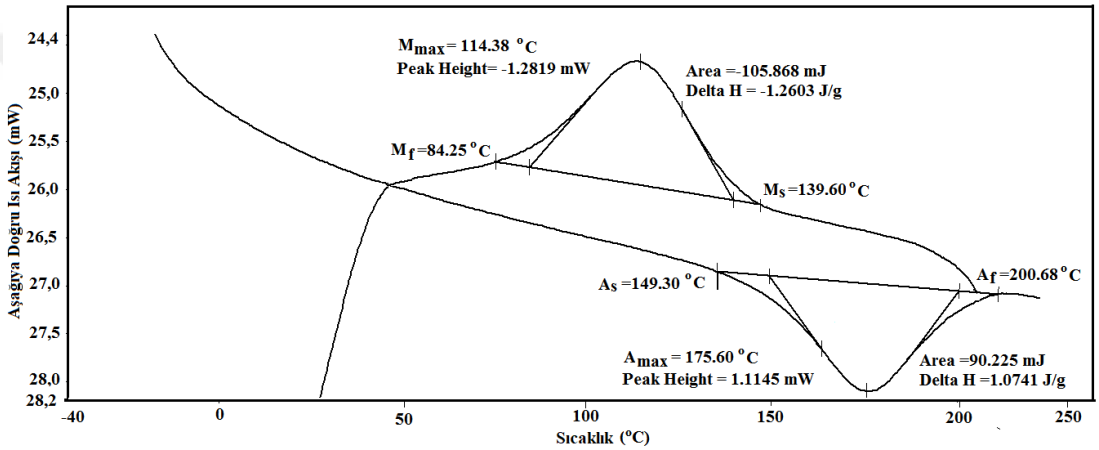
Şekil 5.64. 2A numunesinin 10 ^{0}C/dak ısıtma hızı için DSC eğrisi.



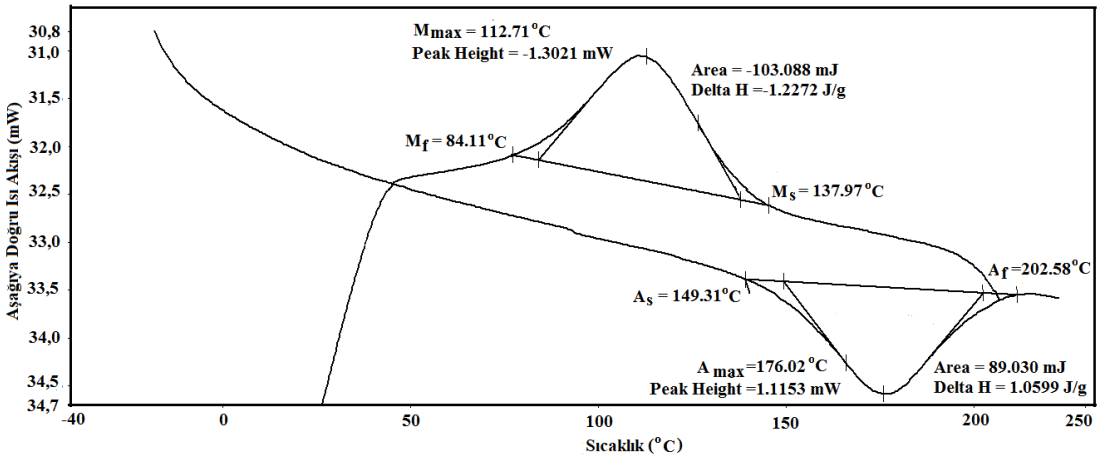
Şekil 5.65. Numune 2A'nın 15°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



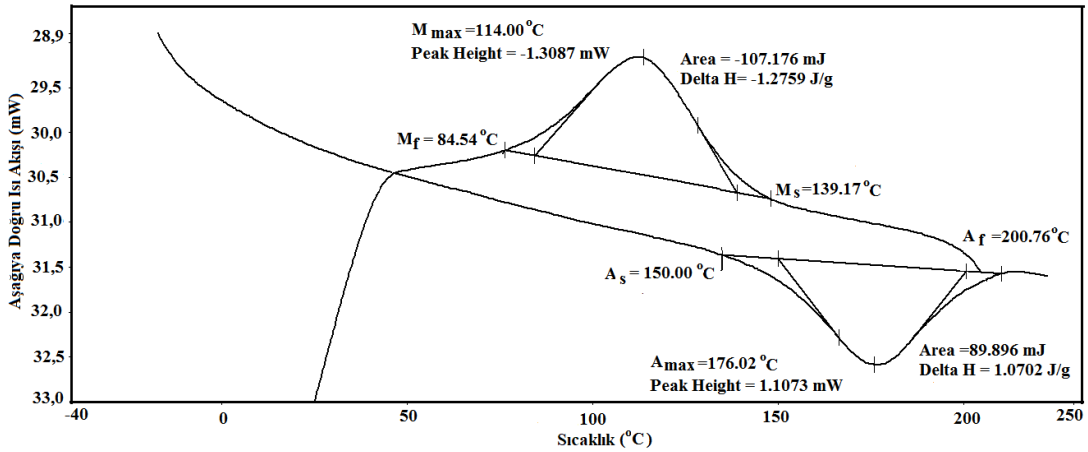
Şekil 5.66. Numune 2A'nin 20°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



Şekil 5.67. Numune 2A'nın 1. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



Şekil 5.68. Numune 2A'nin 2. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



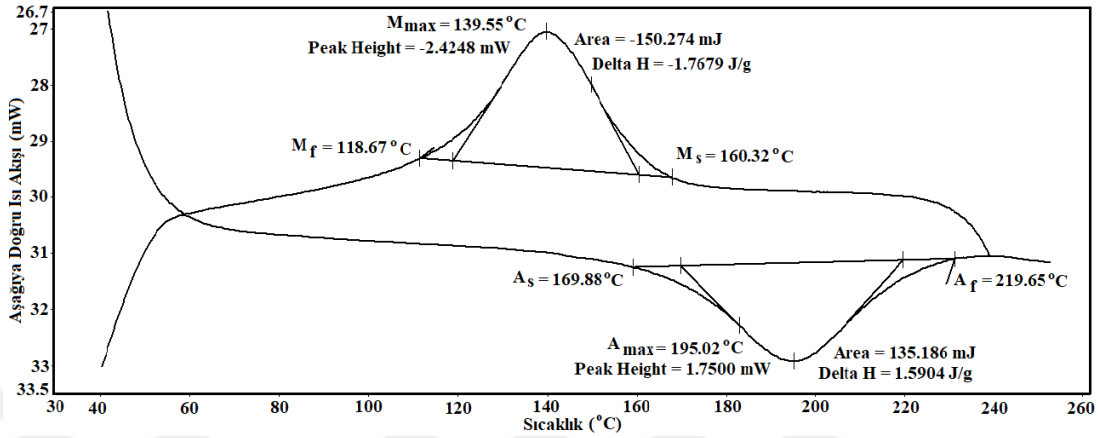
Şekil 5.69. Numune 2A'nin 3. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.

Çizelge 5.9. Numune 2A'ya ait DSC analiz sonuçları.

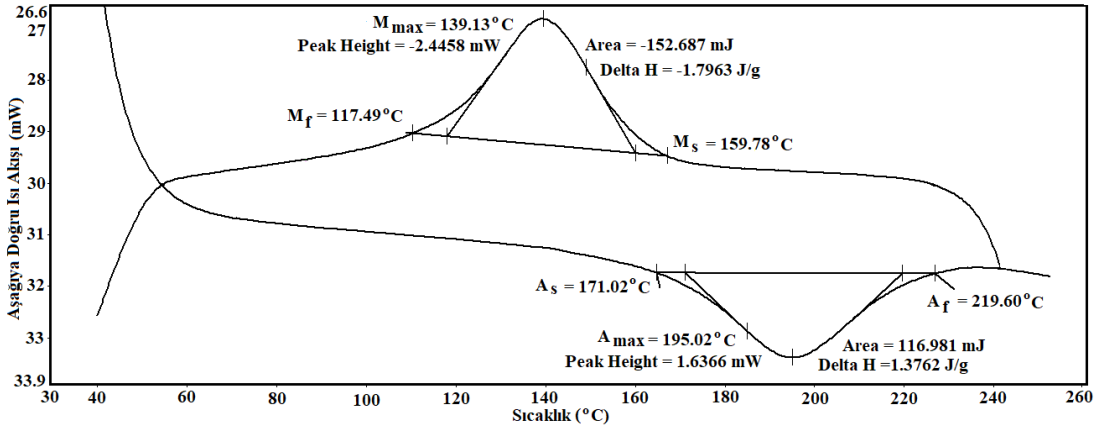
Sıcaklık Prog. (^{0}C/dak)	A_s (^{0}C)	A_{max} (^{0}C)	A_f (^{0}C)	M_s (^{0}C)	M_{max} (^{0}C)	M_f (^{0}C)	$\Delta H_{ısı}$ (J/gr)	$\Delta H_{soğ.}$ (J/gr)	$\lvert A_m - M_m \rvert$ (^{0}C)	$\lvert T_0 - M_s \rvert$ (^{0}C)
5	165.23	179.60	192.00	132.80	115.11	97.96	0.4088	-1.2745	64.49	16.215
10	147.75	171.74	194.02	134.03	113.91	92.77	0.8159	-1.1425	57.83	6.86
15	146.84	173.11	197.21	136.52	113.36	91.17	0.9694	-1.2845	59.75	5.16
20	147.60	174.15	197.97	137.87	112.83	86.52	0.9955	-1.2345	61.32	4.865
25 (Birinci Çevrim)	149.30	175.60	200.68	139.60	114.38	84.25	1.0741	-1.2603	61.22	4.85
25 (İkinci Çevrim)	149.31	176.02	202.58	137.97	112.71	84.11	1.0599	-1.2272	63.31	5.67
25 (Üçüncü Çevrim)	150.00	176.02	200.76	139.17	114.00	84.54	1.0702	-1.2759	62.02	5.415

84 mg'lık numune 2B'ye ait ısıtma ve soğutma hızları için DSC eğrileri Şekil 5.70 ve Şekil 5.76 arasında gösterilmiştir. Numuneye ait martensit ve austenit dönüşüm sıcaklıkları ile entalpi değerleri çizelge halinde verilmiştir.

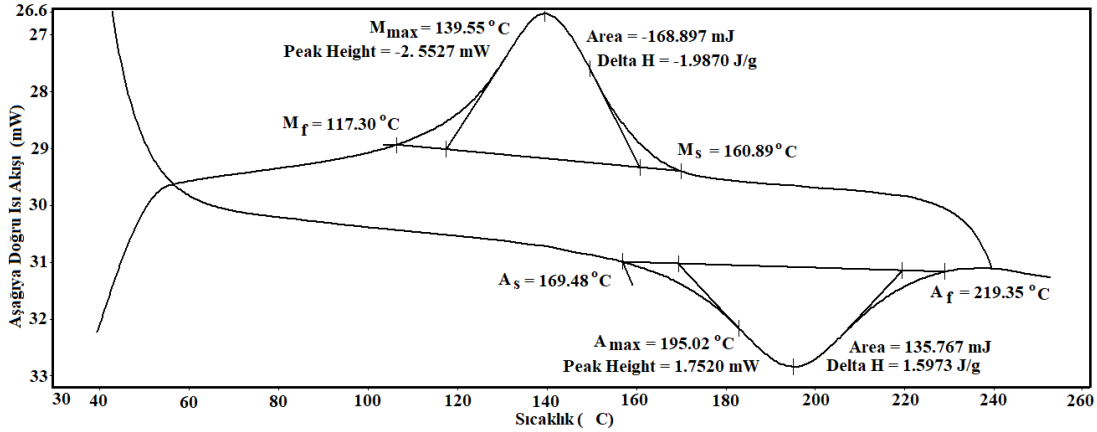
Şekil 5.74, Şekil 5.75 ve Şekil 5.76'daki ileri ve ters dönüşüm sıcaklıkları kıyaslandığında birinci, ikinci ve üçüncü çevrime ait değerlerde çok küçük değişimler olduğu görülmektedir.



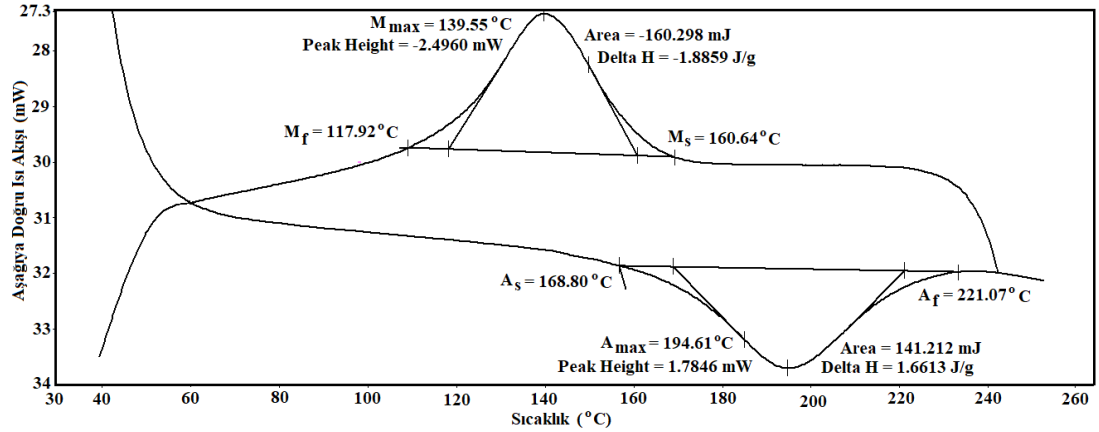
Şekil 5.70. Numune 2B'nin 5°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



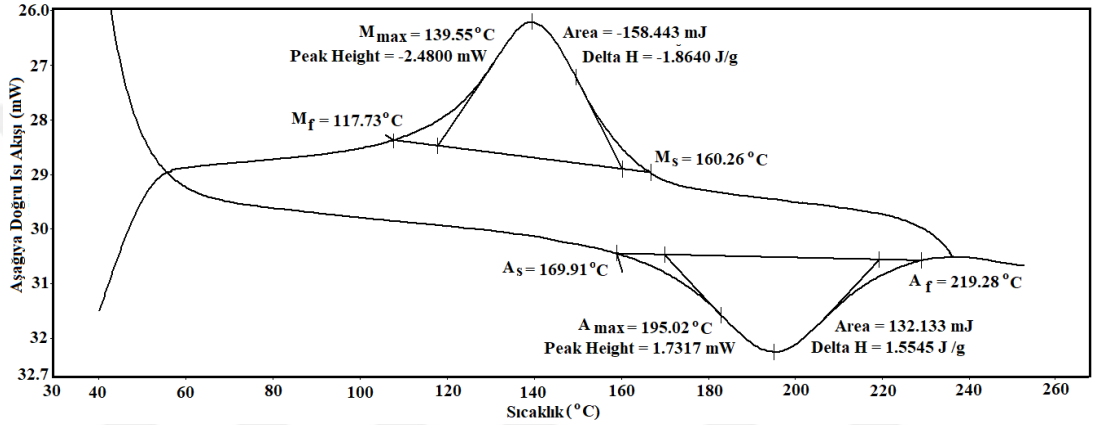
Şekil 5.71. 2B numunesinin 10 ^{0}C/dak ısıtma hızı için DSC eğrisi.



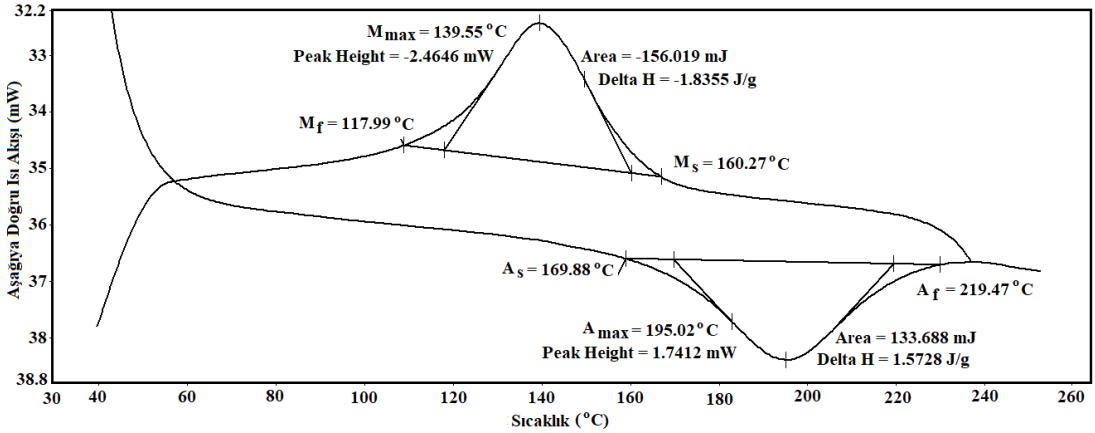
Şekil 5.72. Numune 2B'nin 15°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



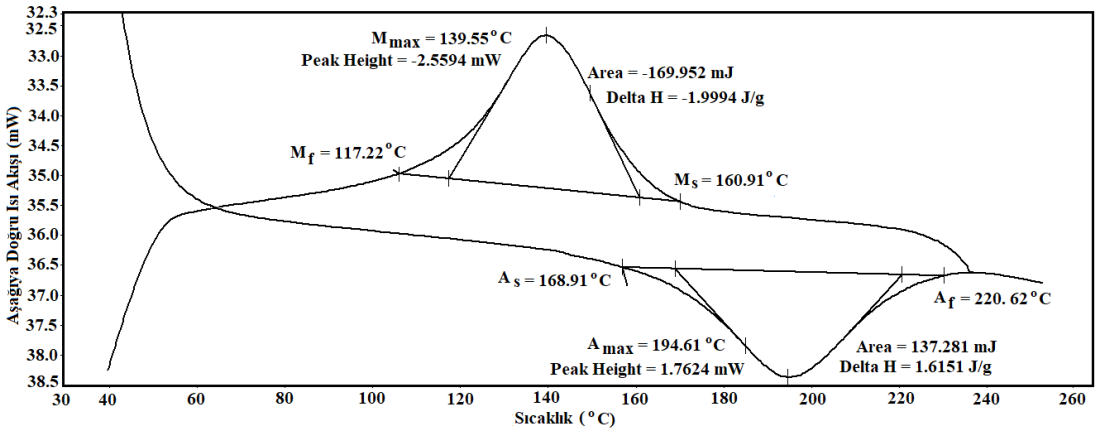
Şekil 5.73. Numune 2B'nin 20°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



Şekil 5.74. Numune 2B'nin 1. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



Şekil 5.75. Numune 2B'nin 2. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



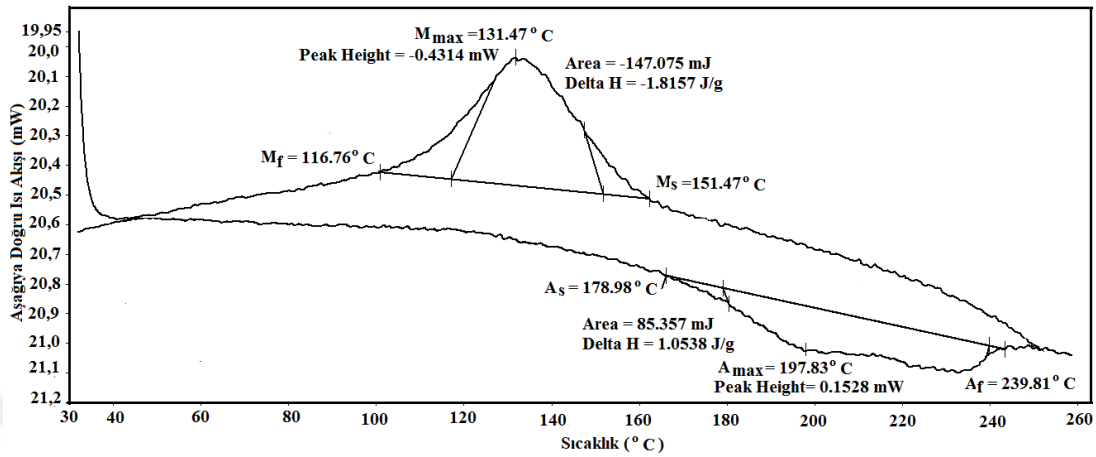
Şekil 5.76. Numune 2B'nin 3. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.

Çizelge 5.10. Numune 2B'ye ait DSC analiz sonuçları.

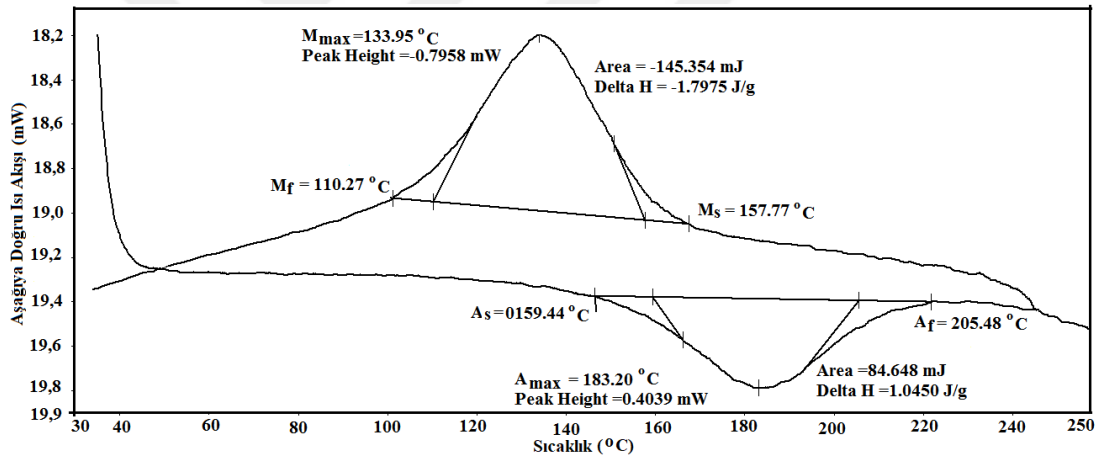
Sıcaklık Prog. (^{0}C/dak)	A_s (^{0}C)	A_{max} (^{0}C)	A_f (^{0}C)	M_s (^{0}C)	M_{max} (^{0}C)	M_f (^{0}C)	$\Delta H_{ısı}$ (J/gr)	$\Delta H_{soğ.}$ (J/gr)	$\lvert A_m - M_m \rvert$ (^{0}C)	$\lvert T_0 - M_s \rvert$ (^{0}C)
5	169.88	195.02	219.65	160.32	139.55	118.67	1.5904	-1.762	55.47	4.78
10	171.02	195.02	219.60	159.78	139.13	117.49	1.3762	-1.796	55.89	5.62
15	169.48	195.02	219.35	160.89	139.55	117.30	1.5973	-1.987	55.47	4.295
20	168.80	194.61	221.07	160.64	139.55	117.92	1.6613	-1.885	55.06	4.08
25 (Birinci Çevrim)	169.91	195.02	219.28	160.26	139.55	117.73	1.5545	-1.864	55.47	4.825
25 (İkinci Çevrim)	169.88	195.02	219.47	160.27	139.55	117.99	1.5728	-1.835	55.47	4.81
25 (Üçüncü Çevrim)	168.91	194.61	220.62	160.91	139.55	117.22	1.6151	-1.992	55.06	3.995

84 mg'lık numune 2C'ye ait ısıtma ve soğutma hızları için DSC eğrileri Şekil 5.77 ve Şekil 5.83 arasında gösterilmiştir. Numuneye ait martensit ve austenit dönüşüm sıcaklıkları ile entalpi değerleri çizelge halinde verilmiştir.

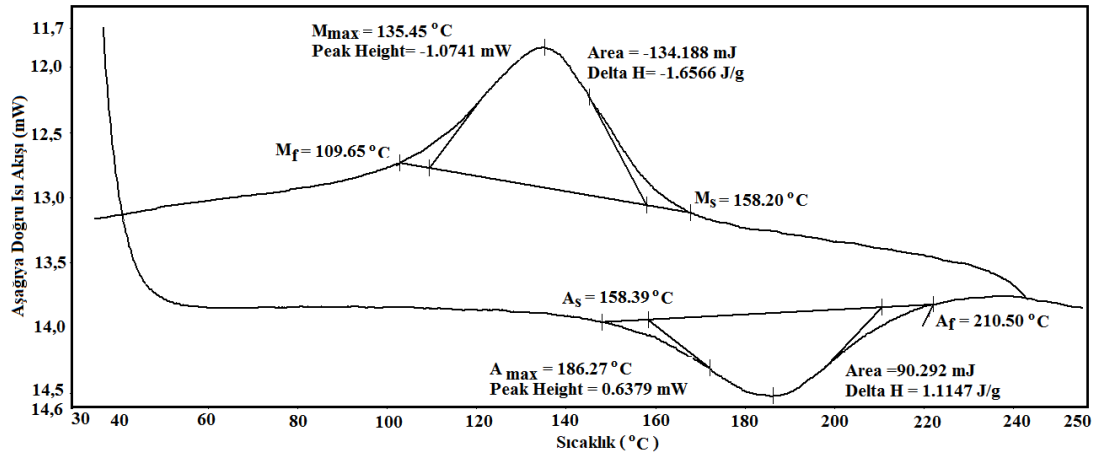
Şekil 5.81, Şekil 5.82 ve Şekil 5.83'deki ileri ve ters dönüşüm sıcaklıkları kıyaslandığında birinci, ikinci ve üçüncü çevrime ait değerlerde çok küçük değişimler olduğu görülmektedir.



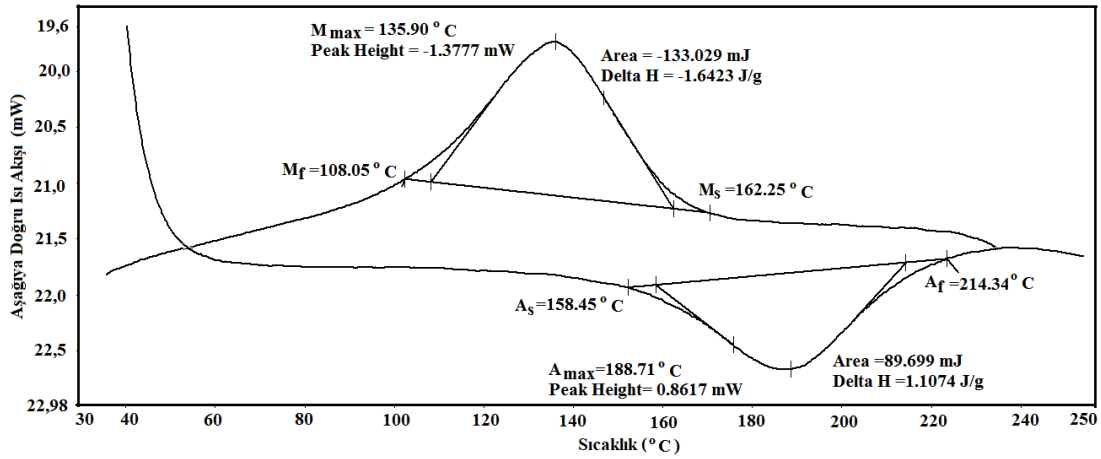
Şekil 5.77. Numune 2C'nin 5°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



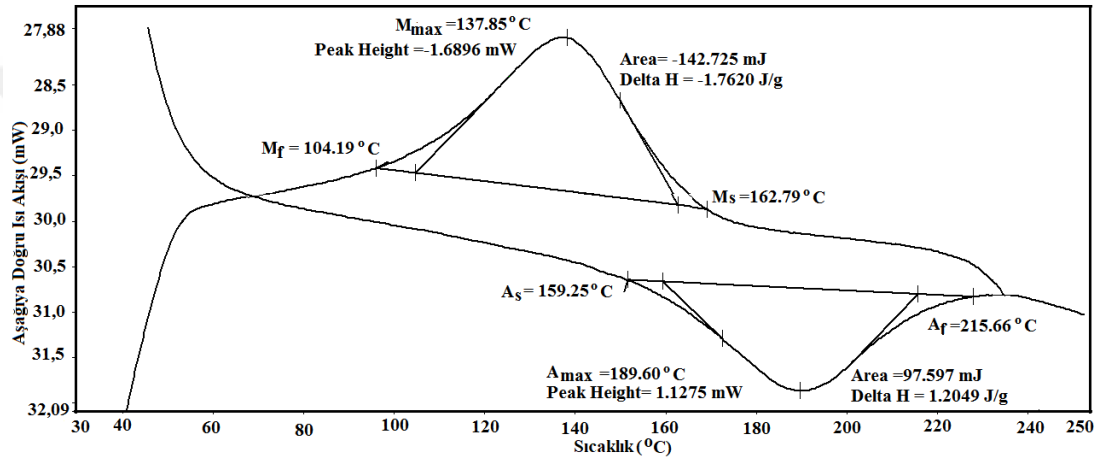
Şekil 5.78. 2C numunesinin 10 ^{0}C/dak ısıtma hızı için DSC eğrisi.



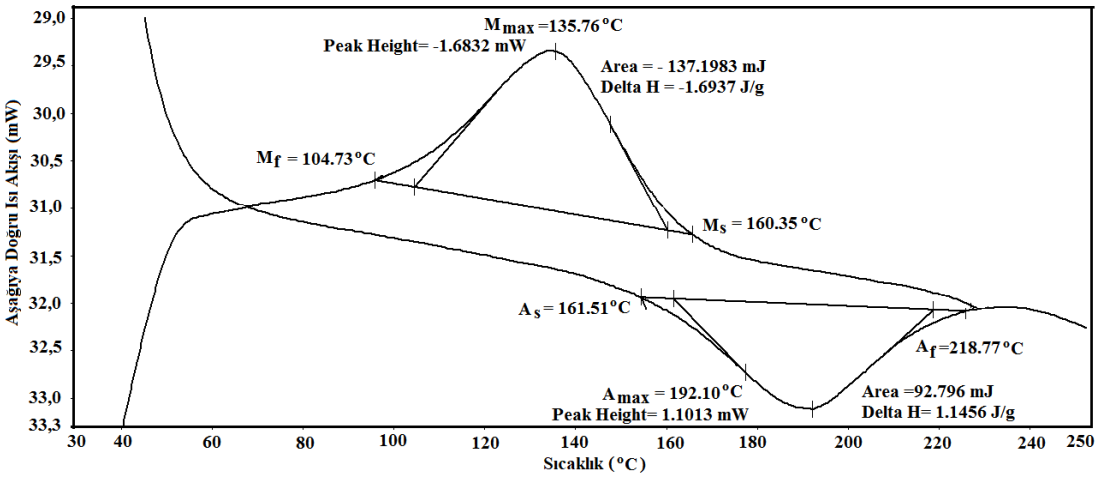
Şekil 5.79. Numune 2C'nin 15°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



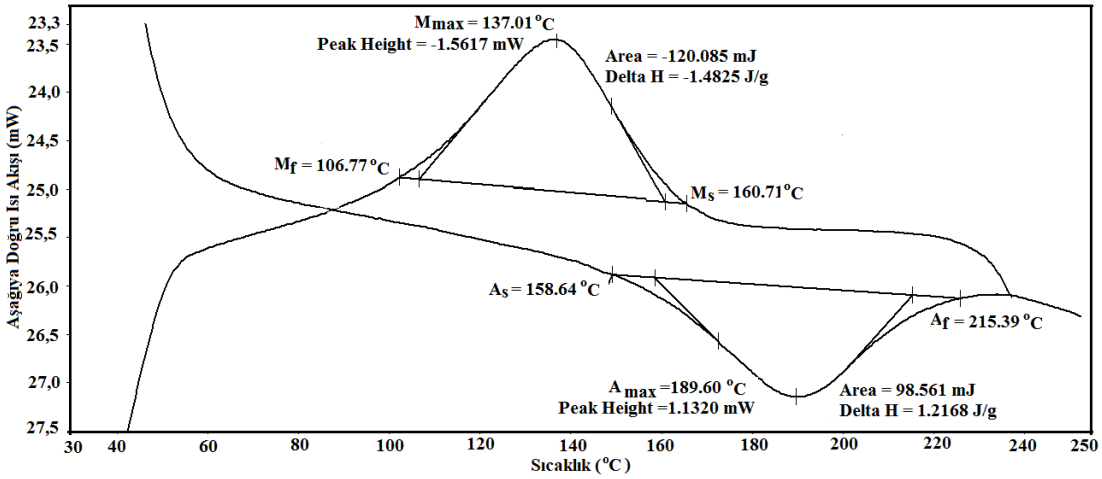
Şekil 5.80. Numune 2C'nin 20°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



Şekil 5.81. Numune 2C'nin 1. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



Şekil 5.82. Numune 2C'nin 2. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



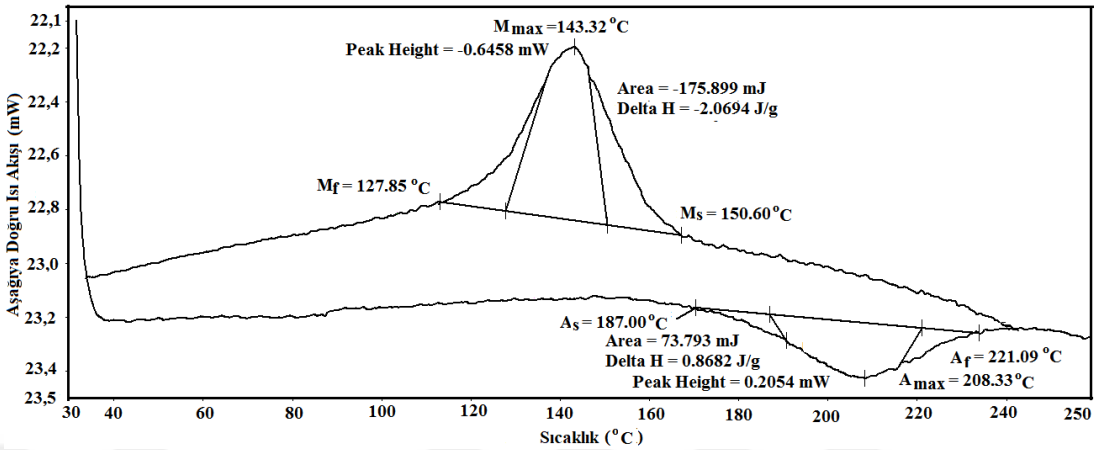
Şekil 5.83. Numune 2C'nin 3. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.

Çizelge 5.11. Numune 2C'ye ait DSC analiz sonuçları.

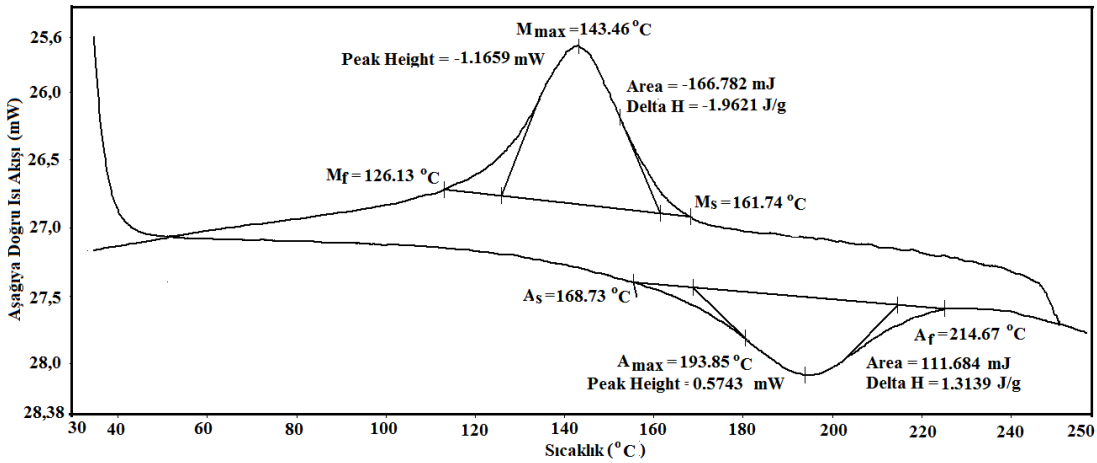
Sıcaklık Prog. (^{0}C/dak)	A_s (^{0}C)	A_{max} (^{0}C)	A_f (^{0}C)	M_s (^{0}C)	M_{max} (^{0}C)	M_f (^{0}C)	$\Delta H_{ısı}$ (J/gr)	$\Delta H_{soğ.}$ (J/gr)	$\lvert A_m - M_m \rvert$ (^{0}C)	$\lvert T_0 - M_s \rvert$ (^{0}C)
5	178.98	197.83	239.81	151.47	131.47	116.76	1.0538	-1.815	66.36	13.755
10	159.44	183.20	205.48	157.77	133.95	110.27	1.0450	-1.797	49.25	0.835
15	158.39	186.27	210.50	158.20	135.45	109.65	1.1147	-1.656	50.82	0.095
20	158.45	188.71	214.34	162.25	135.90	108.05	1.1074	-1.642	52.81	1.9
25 (Birinci Çevrim)	159.25	189.60	215.66	162.79	137.85	104.19	1.2049	-1.762	51.75	1.77
25 (İkinci Çevrim)	161.51	192.10	218.77	160.35	135.76	104.73	1.1456	-1.693	56.34	0.58
25 (Üçüncü Çevrim)	158.64	189.60	215.39	160.71	137.01	106.77	1.2168	-1.482	52.59	1.04

84 mg'lık numune 2D'ye ait ısıtma ve soğutma hızları için DSC eğrileri Şekil 5.84 ve Şekil 5.90 arasında gösterilmiştir. Numuneye ait martensit ve austenit dönüşüm sıcaklıkları ile entalpi değerleri çizelge halinde verilmiştir.

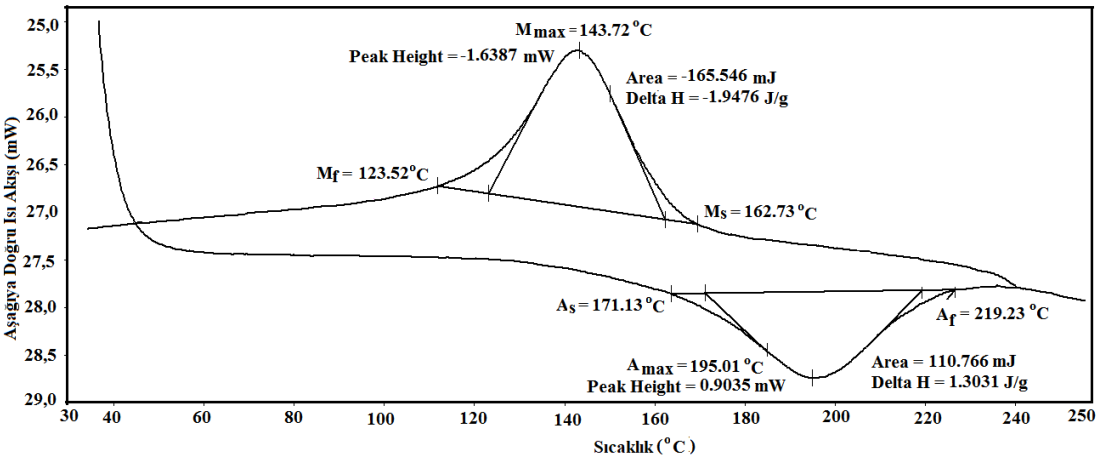
Şekil 5.88, Şekil 5.89 ve Şekil 5.90'daki ileri ve ters dönüşüm sıcaklıkları kıyaslandığında birinci, ikinci ve üçüncü çevrime ait değerlerde çok küçük değişimler olduğu görülmektedir.



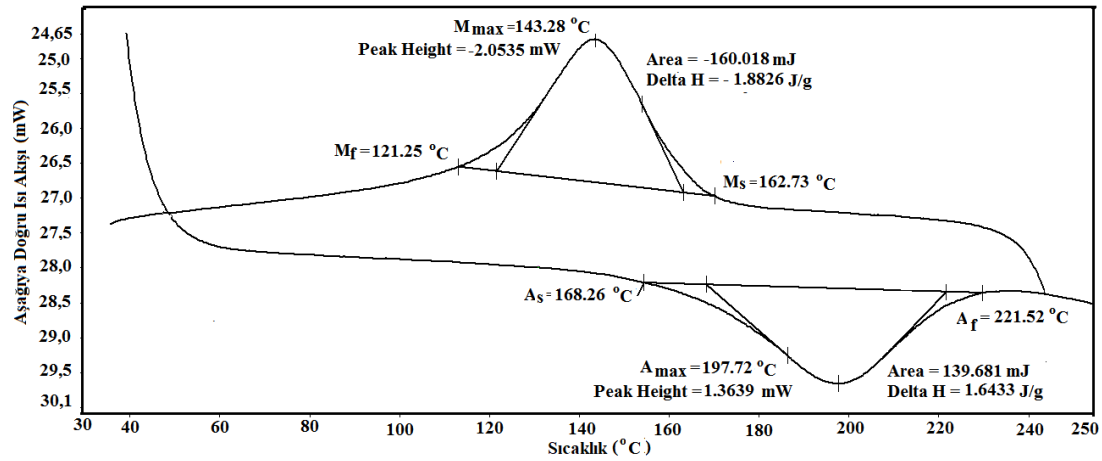
Şekil 5.84. Numune 2D'nin 5°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



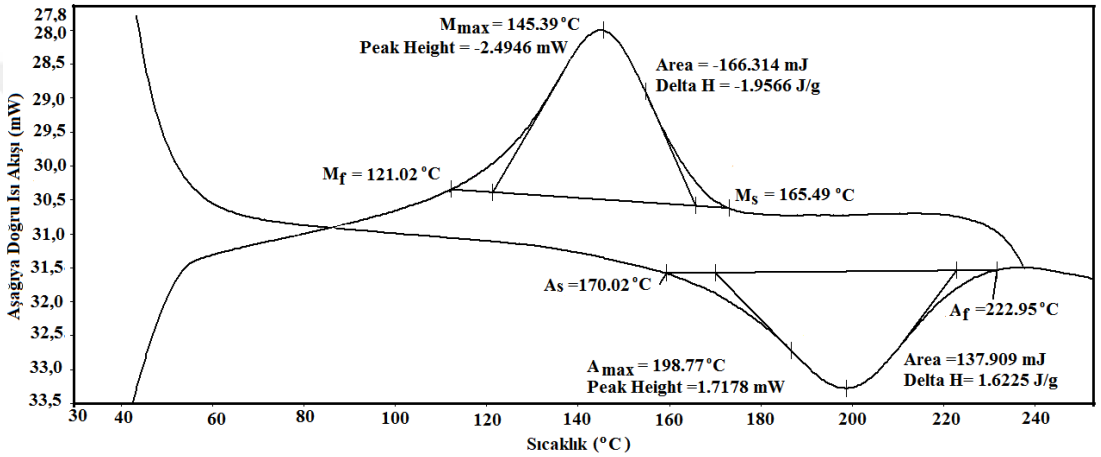
Şekil 5.85. 2D numunesinin 10 ^{0}C/dak ısıtma hızı için DSC eğrisi.



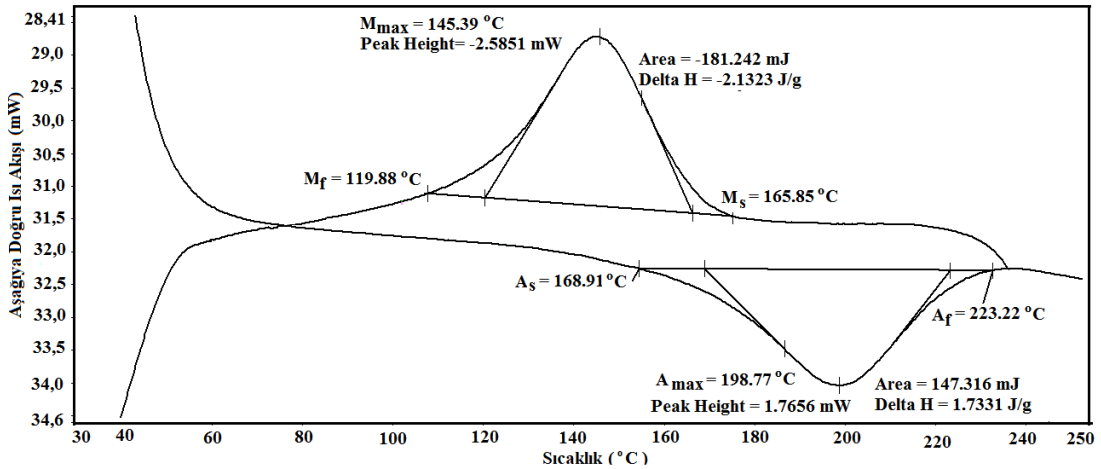
Şekil 5.86. Numune 2D'nin 15°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



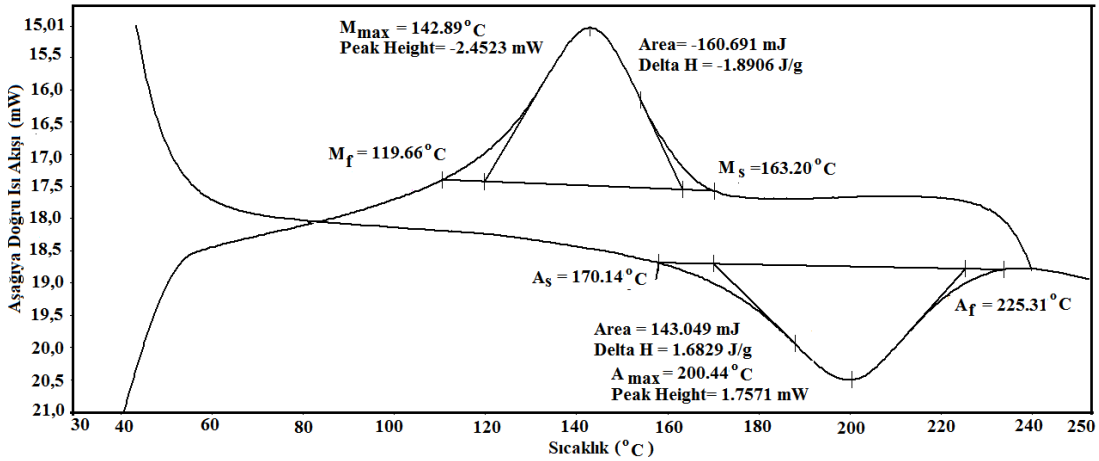
Şekil 5.87. Numune 2D'nin 20°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



Şekil 5.88. Numune 2D'nin 1. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



Şekil 5.89. Numune 2D'nin 2. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.

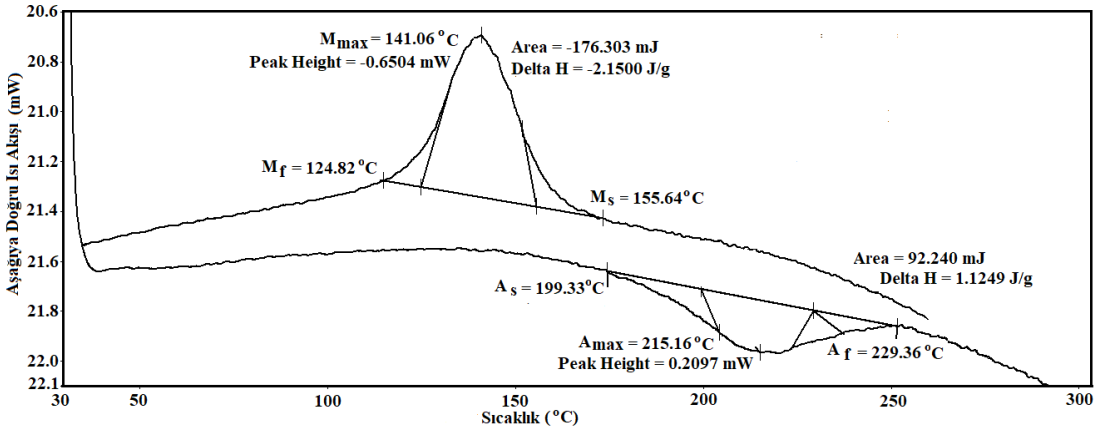


Şekil 5.90. Numune 2D'nin 3. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.

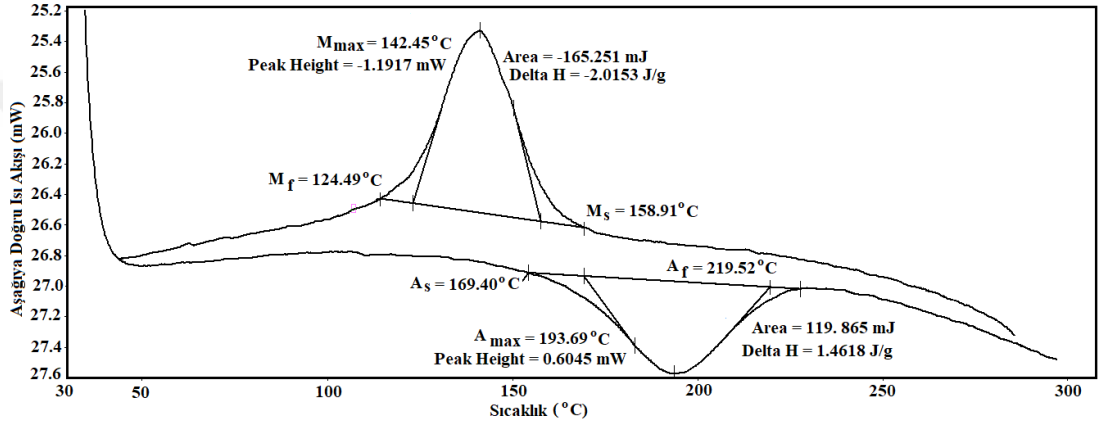
Çizelge 5.12. Numune 2D'ye ait DSC analiz sonuçları.

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	187.00	208.33	221.09	150.60	143.32	127.85	0.8682	-2.069	65.01	18.2
10	168.73	193.83	214.67	161.74	143.46	126.13	1.3139	-1.962	50.39	3.48
15	171.13	195.01	219.23	162.73	143.72	123.52	1.3031	-1.947	51.29	4.2
20	168.26	197.72	221.52	162.73	143.28	121.25	1.6433	-1.882	54.44	2.765
25 (Birinci Çevrim)	170.02	198.77	222.95	165.49	145.39	121.02	1.6225	-1.956	53.38	2.265
25 (İkinci Çevrim)	168.91	198.77	223.22	165.85	145.39	119.88	1.7331	-2.132	53.38	1.545
25 (Üçüncü Çevrim)	170.14	200.44	225.31	163.20	142.89	119.66	1.6829	-1.890	57.55	3.47

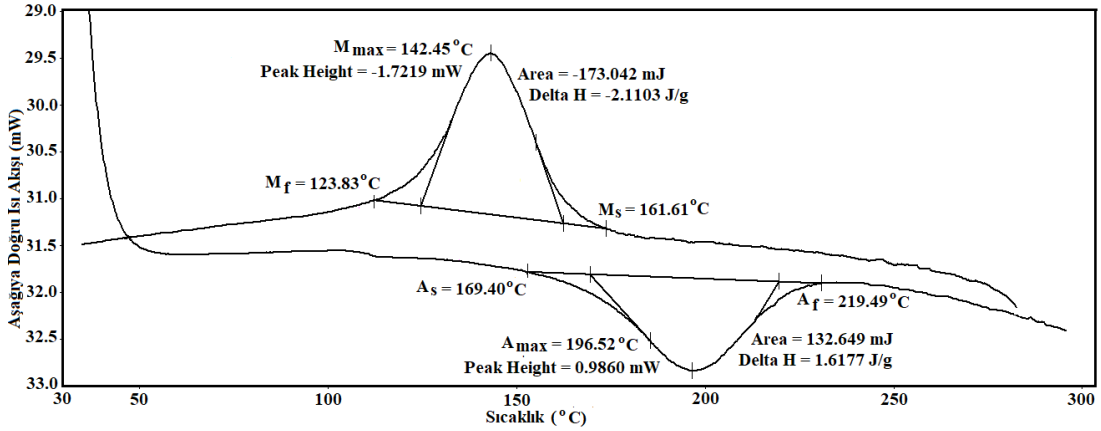
84 mg'lık numune 2E'ye ait ısıtma ve soğutma hızları için DSC eğrileri Şekil 5.91 ve Şekil 5.97 arasında gösterilmiştir. Numuneye ait martensit ve austenit dönüşüm sıcaklıkları ile entalpi değerleri çizelge halinde verilmiştir. Şekil 5.95, Şekil 5.96 ve Şekil 5.97'deki ileri ve ters dönüşüm sıcaklıkları kıyaslandığında birinci, ikinci ve üçüncü çevrime ait değerlerde çok küçük değişimler olduğu görülmektedir.



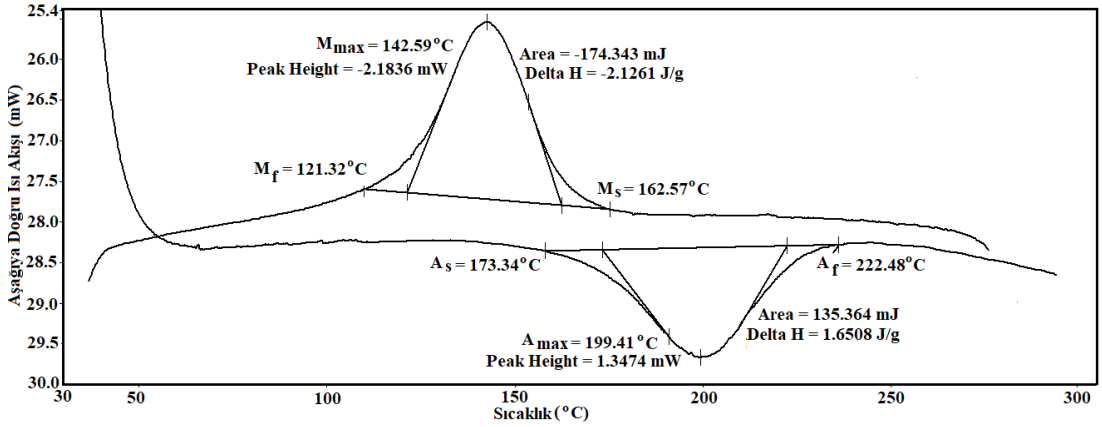
Şekil 5.91. Numune 2E'nin 5°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



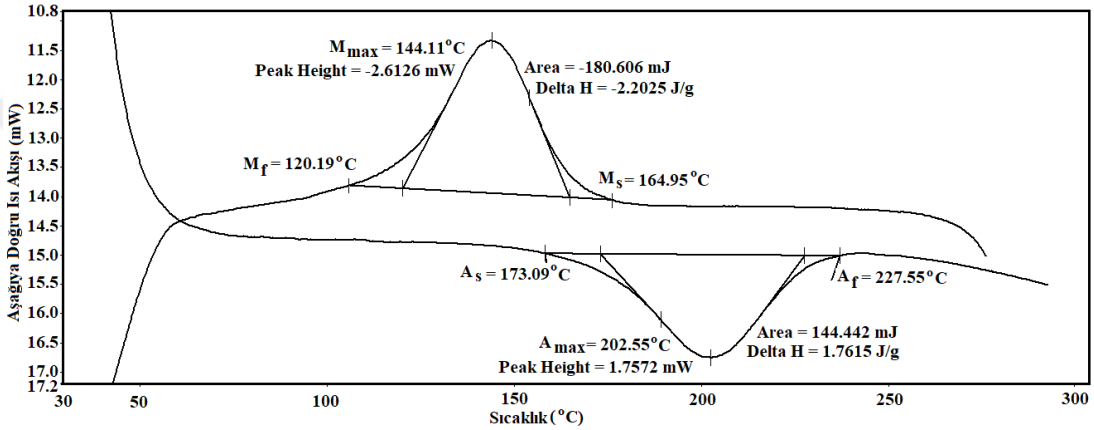
Şekil 5.92. 2E numunesinin 10 ^{0}C/dak ısıtma hızı için DSC eğrisi.



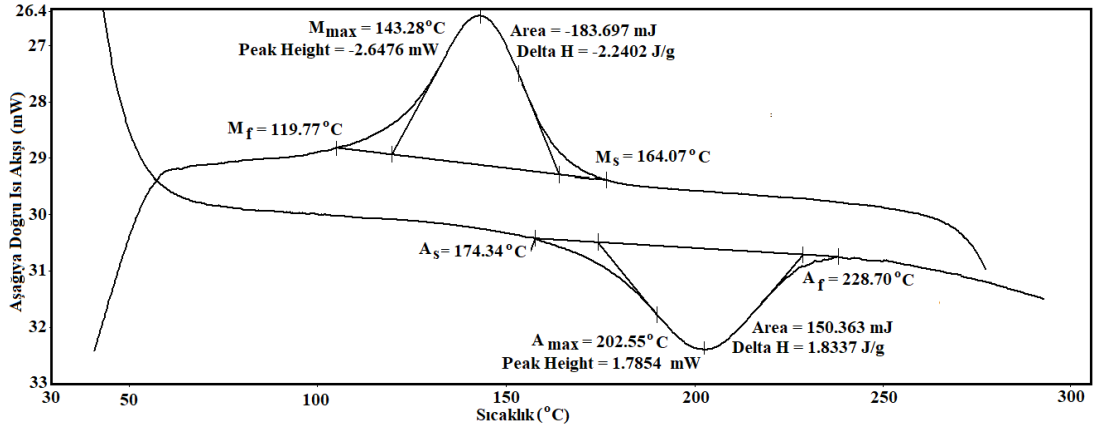
Şekil 5.93. Numune 2E'nin 15°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



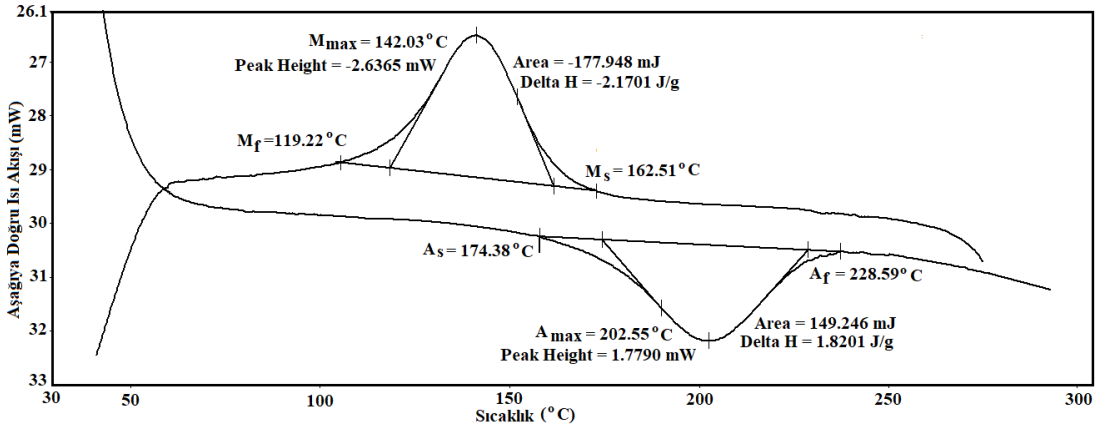
Şekil 5.94. Numune 2E'nin 20°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



Şekil 5.95. Numune 2E'nin 1. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



Şekil 5.96. Numune 2E'nin 2. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.

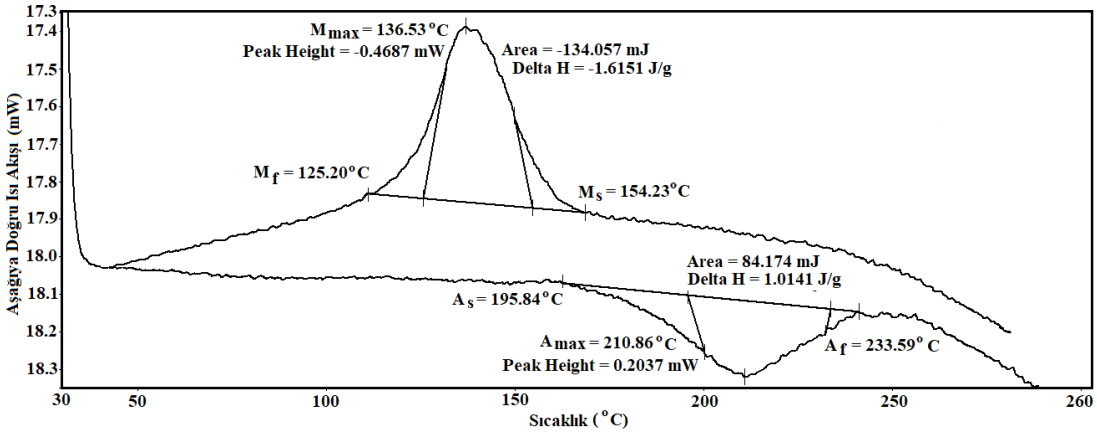


Şekil 5.97. Numune 2E'nin 3. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.

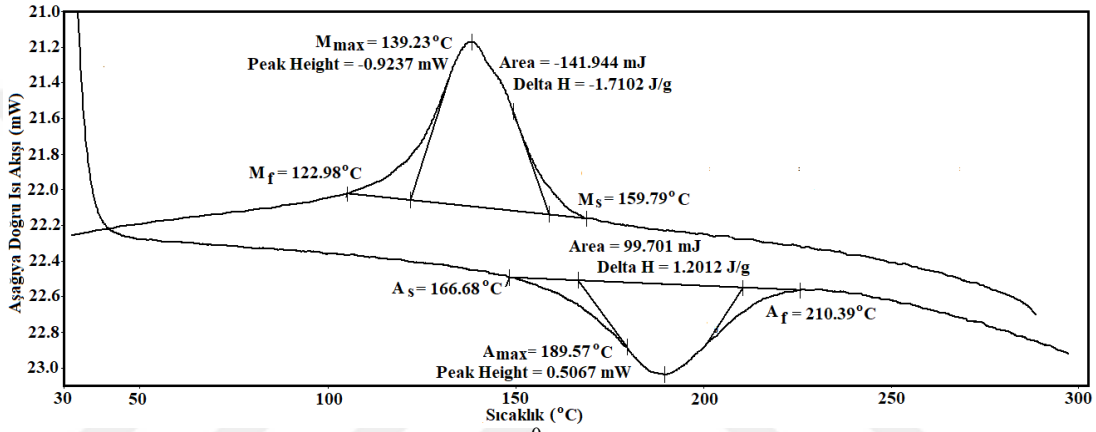
Çizelge 5.13. Numune 2E'ye ait DSC analiz sonuçları.

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	199.33	215.16	229.36	155.64	141.06	124.82	1.1249	-2.150	7.,1	21.845
10	169.40	193.69	219.52	158.91	142.45	124.49	1.4618	-2.015	51.24	5.245
15	169.40	196.52	219.49	161.61	142.45	123.83	1.6177	-2.110	54.07	3.895
20	173.34	199.41	222.48	162.57	142.59	121.32	1.6508	-2.126	56.82	5.385
25 (Birinci Çevrim)	173.09	202.55	227.55	164.95	144.11	120.19	1.7615	-2.202	58.44	4.07
25 (İkinci Çevrim)	174.34	202.55	228.70	164.07	143.28	119.77	1.8337	-2.240	59.27	5.135
25 (Üçüncü Çevrim)	174.38	202.55	228.59	162.51	142.03	119.27	1.8201	-2.170	60.52	5.935

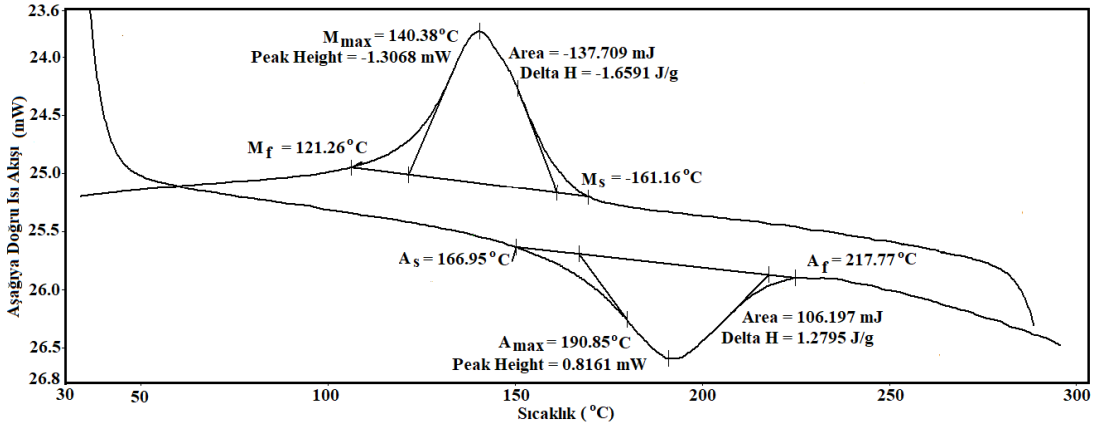
85 mg'lık numune 2F'ye ait ısıtma ve soğutma hızları için DSC eğrileri Şekil 5.98 ve Şekil 5.104 arasında gösterilmiştir. Numuneye ait martensit ve austenit dönüşüm sıcaklıkları ile entalpi değerleri çizelge halinde verilmiştir. Şekil 5.102, Şekil 5.103 ve Şekil 5.104'deki ileri ve ters dönüşüm sıcaklıkları kıyaslandığında birinci, ikinci ve üçüncü çevrime ait değerlerde çok küçük değişimler olduğu görülmektedir.



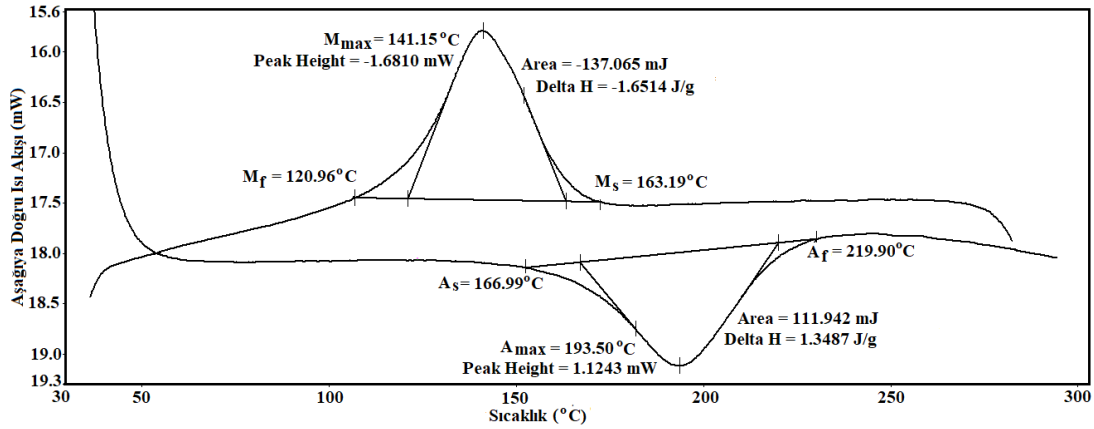
Şekil 5.98. Numune 2F'nin 5°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



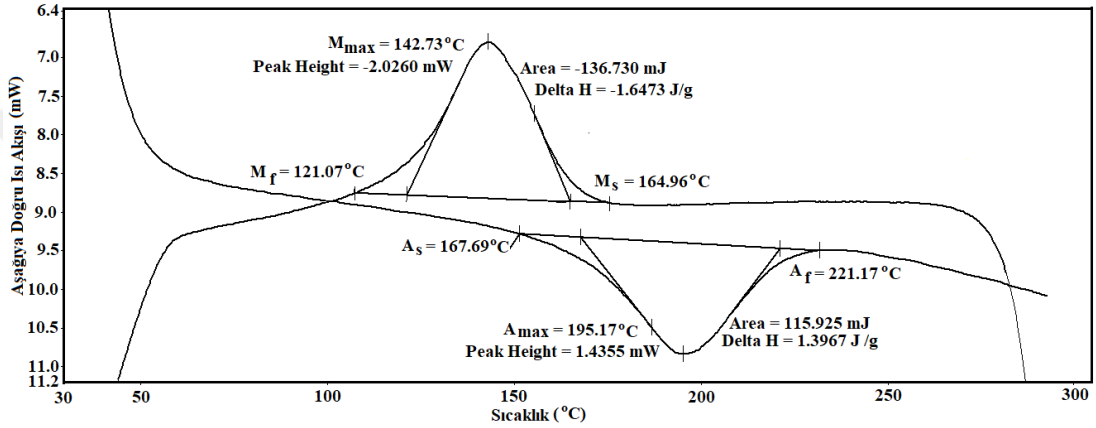
Şekil 5.99. 2F numunesinin 10 ^{0}C/dak ısıtma hızı için DSC eğrisi.



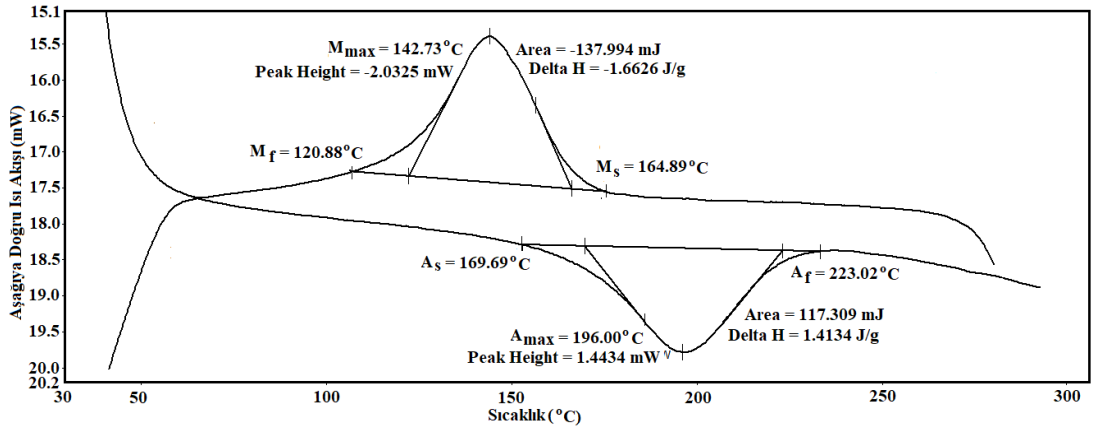
Şekil 5.100. Numune 2F'nin 15°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



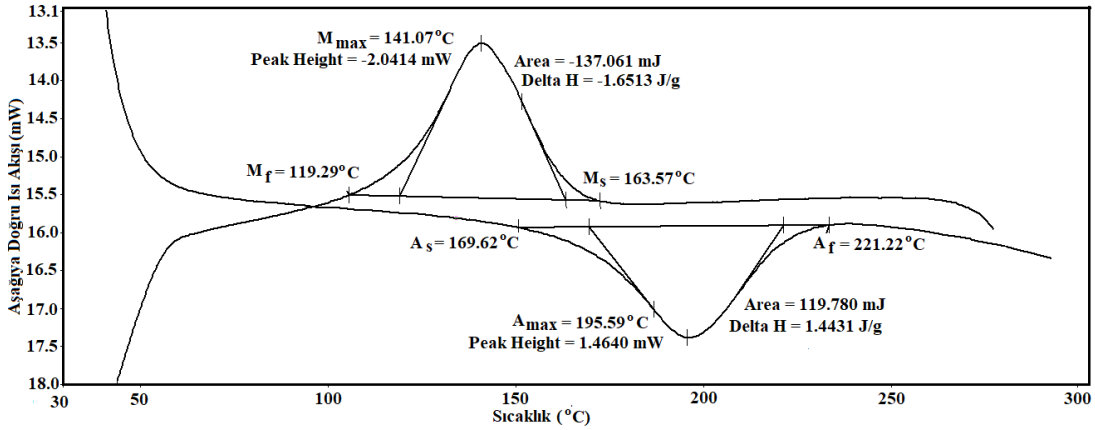
Şekil 5.101. Numune 2F'nin 20°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



Şekil 5.102. Numune 2F'nin 1. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



Şekil 5.103. Numune 2F'nin 2. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.



Şekil 5.104. Numune 2F'nin 3. Termal çevrim için 25°C/dk ısıtma hızına ait DSC eğrisi.

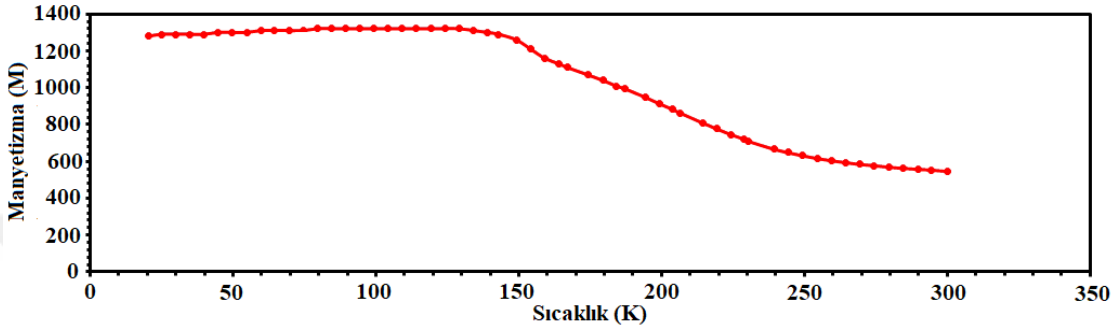
Çizelge 5.14. Numune 2F'ye ait DSC analiz sonuçları.

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	195.84	210.86	233.59	154.23	136.53	125.20	1.0141	-1.615	74.33	20.55
10	166.68	189.57	210.39	159.79	139.23	122.98	1.2012	-1.710	50.34	3.445
15	166.95	190.85	217.77	161.16	140.38	121.26	1.2795	-1.659	50.47	2.895
20	166.99	193.50	219.90	163.19	144.15	120.96	1.3487	-1.651	52.35	1.87
25 (Birinci Çevrim)	167.69	195.17	221.17	164.96	142.73	121.07	1.3967	-1.647	52.44	1.365
25 (İkinci Çevrim)	169.69	196.00	223.02	164.89	142.73	120.88	1.4134	-1.662	53.27	2.4
25 (Üçüncü Çevrim)	169.62	195.59	221.22	163.57	141.07	119.29	1.4431	-1.651	54.52	3.025

5.3 Titreşimli Numune Magnetometresi (VSM) Sonuçları

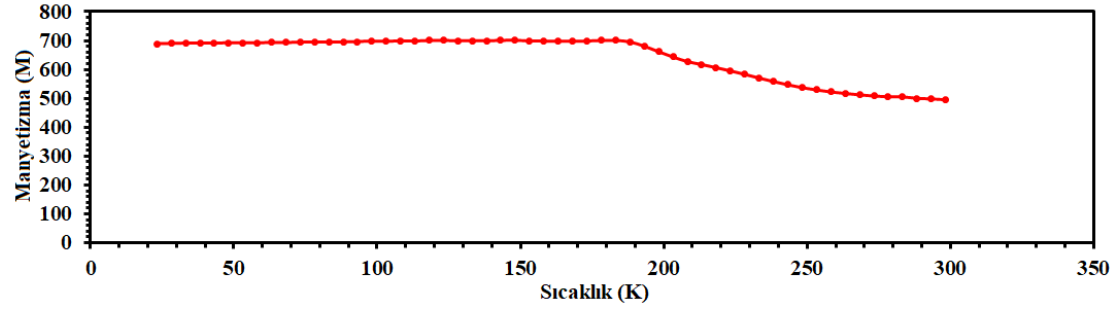
Tüm numunelere ait M-T eğrileri Şekil 5.105 ile Şekil 5.124 arasında gösterilmiştir. Bu şekillerde meydana gelen manyetik değişimler kademeli olarak K cinsinden ifade edilmiştir.

1A numunesine ait M-T eğrisi Şekil 5.105'de verilmiştir. Soğutma eğrisinden de anlaşılacağı gibi malzeme içerisinde ilk değişim 264.29 K de, ikinci değişim 239.29 K de, üçüncü değişim 159.06 K de ve son değişim ise 142.96 K de gerçekleşmiştir.



Şekil 5.105. 250 °C de 1 Saat bekletilen 1A numunesine ait M-T eğrisi.

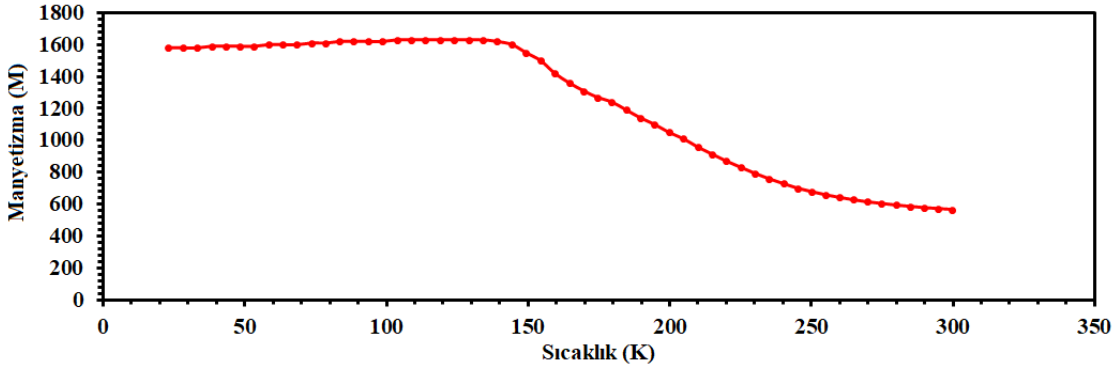
2A numunesine ait M-T eğrisi Şekil 5.106'da verilmiştir. Soğutma eğrisinden de anlaşılacağı gibi malzeme içerisinde ilk değişim 268.11 K de, ikinci değişim 223.08 K de, üçüncü değişim 208.1 K de ve son değişim ise 188.12 K de gerçekleşmiştir.



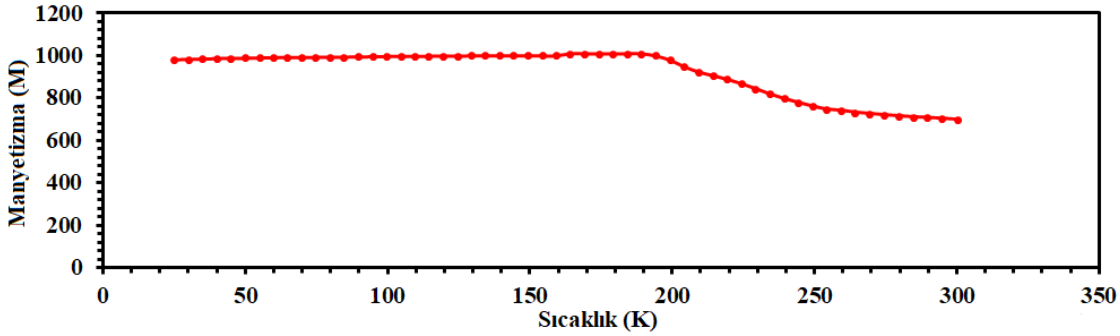
Şekil 5.106. 250 °C de 1 Saat bekletilen 2A numunesine ait M-T eğrisi.

1B numunesine ait M-T eğrisi Şekil 5.107'de verilmiştir. Soğutma eğrisinden de anlaşılacağı gibi malzeme içerisinde ilk değişim 260.06 K de, ikinci değişim 179.55 K de, üçüncü değişim 159.39 K de, dördüncü değişim 154.36 K de ve son değişim 144.32 K de gerçekleşmiştir.

2B numunesine ait M-T eğrisi Şekil 5.108'de verilmiştir. Soğutma eğrisinden de anlaşılacağı gibi malzeme içerisinde ilk değişim 254.2 K de, ikinci değişim 209.18 K de, ve son değişim ise 194.05 K de gerçekleşmiştir.

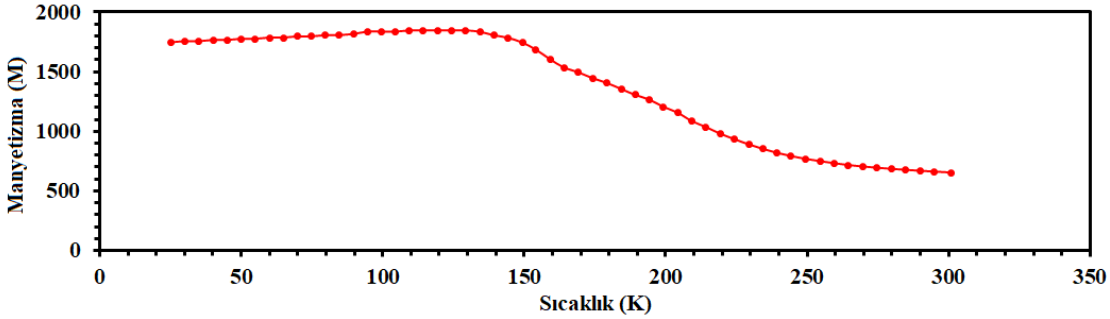


Şekil 5.107. 250 °C de 2 Saat bekletilen 1B numunesine ait M-T eğrisi.



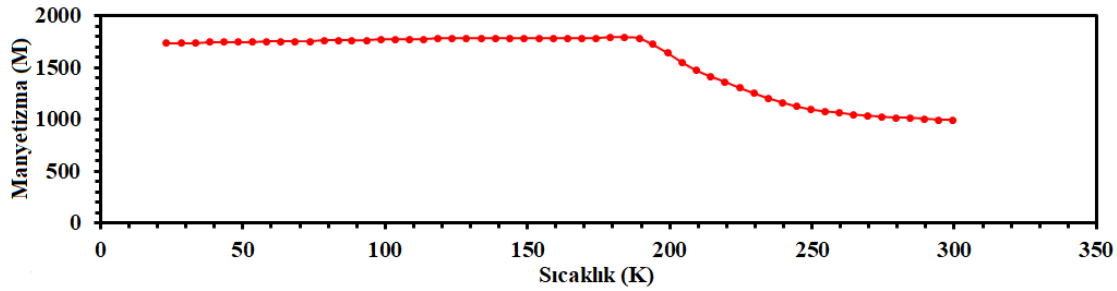
Şekil 5.108. 250 °C de 2 Saat bekletilen 2B numunesine ait M-T eğrisi.

1C numunesine ait M-T eğrisi Şekil 5.109'da verilmiştir. Soğutma eğrisinden de anlaşılacağı gibi malzeme içerisinde ilk değişim 249.3 K de, ikinci değişim 204.11 K de, üçüncü değişim 163.84 K de ve son değişim ise 134.11 K de gerçekleşmiştir.



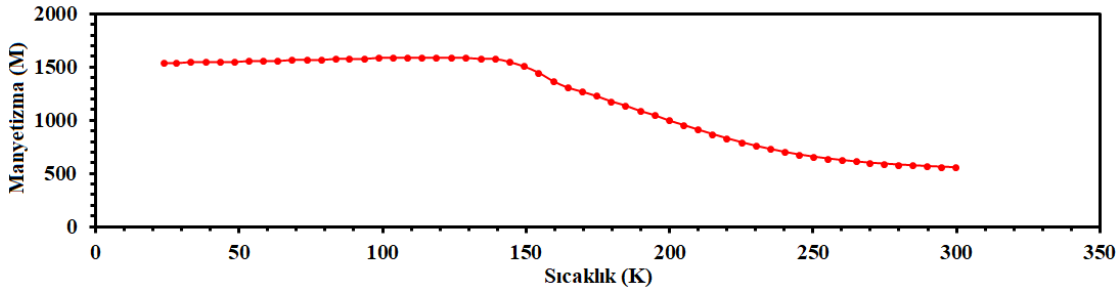
Şekil 5.109. 250 °C de 3 Saat bekletilen 1C numunesine ait M-T eğrisi.

2C numunesine ait M-T eğrisi Şekil 5.110'da verilmiştir. Soğutma eğrisinden de anlaşılacağı gibi malzeme içerisinde ilk değişim 264.31 K de, ikinci değişim 249.36 K de, ve son değişim ise 189.14 K de gerçekleşmiştir.



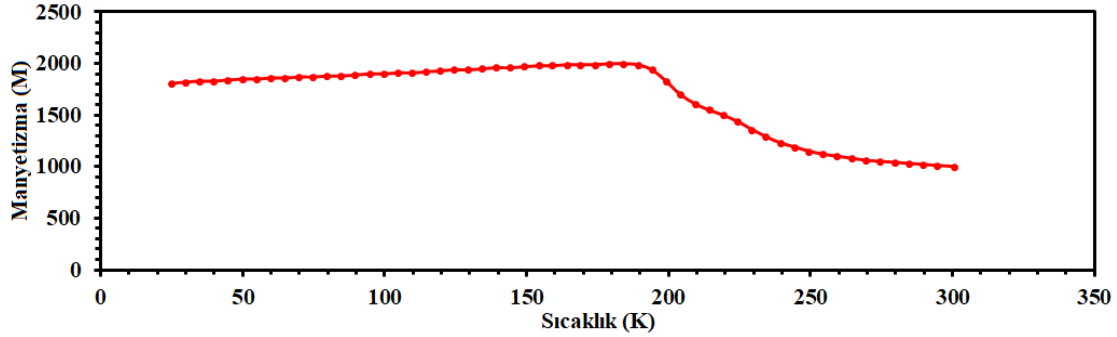
Şekil 5.110. 250 °C de 3 Saat bekletilen 2C numunesine ait M-T eğrisi.

1D numunesine ait M-T eğrisi Şekil 5.111'de verilmiştir. Soğutma eğrisinden de anlaşılacağı gibi malzeme içerisinde ilk değişim 264.89 K de, ikinci değişim 164.45 K de, ve son değişim ise 139.17 K de gerçekleşmiştir.



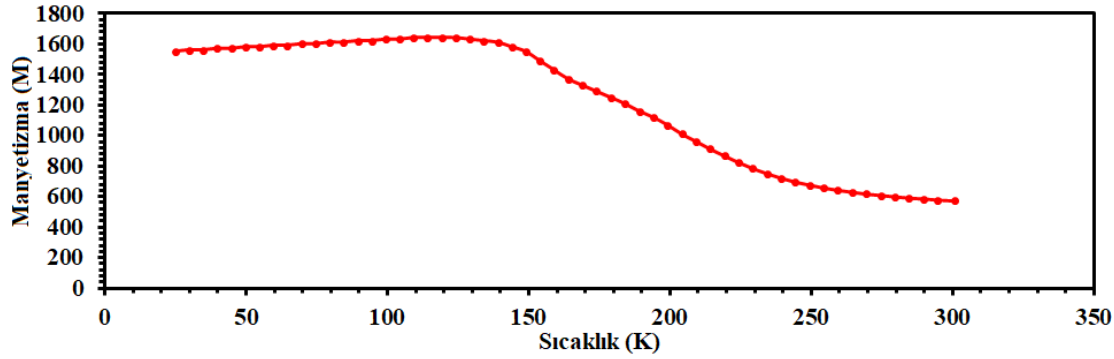
Şekil 5.111. 250 °C de 4 Saat bekletilen 1D numunesine ait M-T eğrisi.

2D numunesine ait M-T eğrisi Şekil 5.112'de verilmiştir. Soğutma eğrisinden de anlaşılacağı gibi malzeme içerisinde ilk değişim 249.22 K de, ikinci değişim 219.14 K de, üçüncü değişim 209.25 K de ve son değişim ise 189.1 K de gerçekleşmiştir.



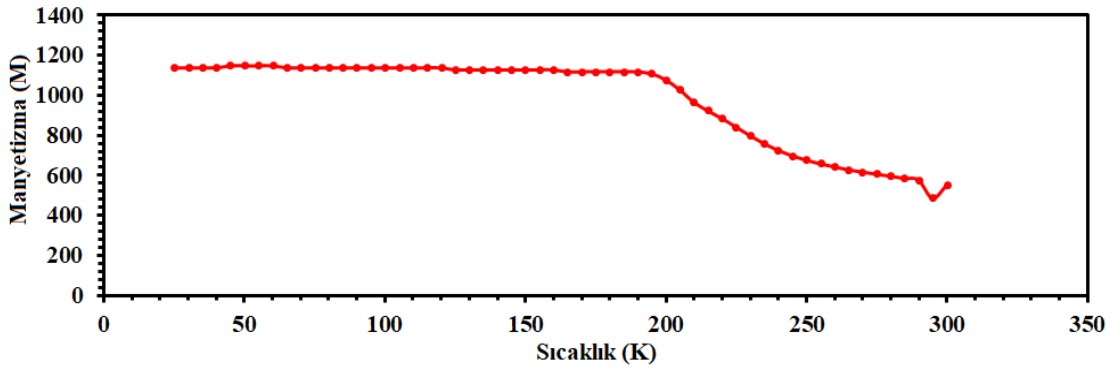
Şekil 5.112. 250 °C de 4 Saat bekletilen 2D numunesine ait M-T eğrisi .

1E numunesine ait M-T eğrisi Şekil 5.113'de verilmiştir. Soğutma eğrisinden de anlaşılacağı gibi malzeme içerisinde ilk değişim 244.15 K de, ikinci değişim 194.05 K de, üçüncü değişim 163.96 K de ve son değişim ise 139.09 K de gerçekleşmiştir.



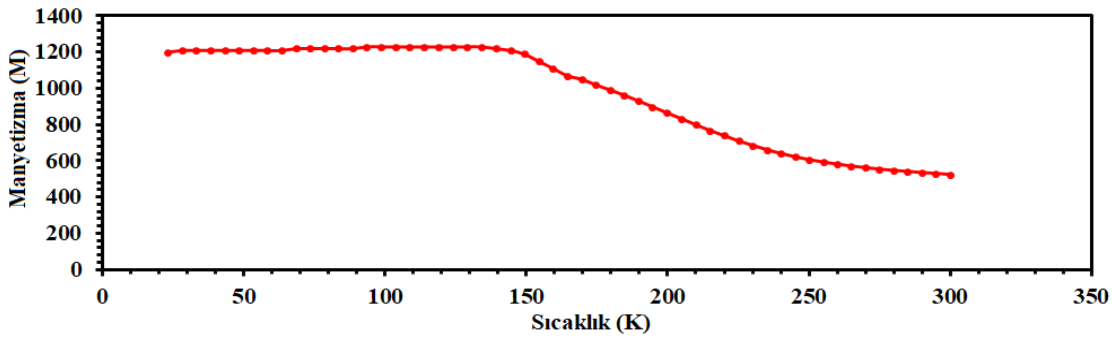
Şekil 5.113. 250 °C de 5 Saat bekletilen 1E numunesine ait M-T eğrisi.

2E numunesine ait M-T eğrisi Şekil 5.114'de verilmiştir. Soğutma eğrisinden de anlaşılacağı gibi malzeme içerisinde ilk değişim 299.9 K de, ikinci değişim 294.82 K de, üçüncü değişim 289.84 K de dördüncü değişimi 239.84 K de beşinci değişim 209.87 K de ve son değişim ise 194.84 K de gerçekleşmiştir.



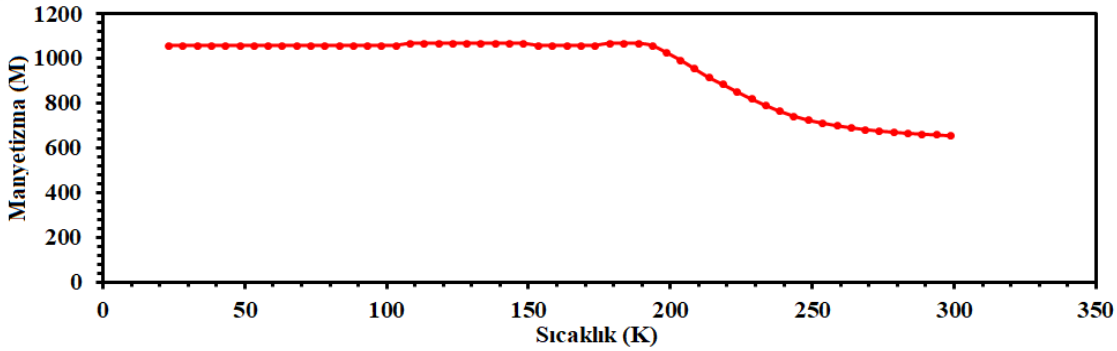
Şekil 5.114. 250 °C de 5 Saat bekletilen 2E numunesine ait M-T eğrisi.

1F numunesine ait M-T eğrisi Şekil 5.115'de verilmiştir. Soğutma eğrisinden de anlaşılacağı gibi malzeme içerisinde ilk değişim 245.1 K de, ikinci değişim 169.59 K de, üçüncü değişim 164.42 K de ve son değişim ise 144.29 K de gerçekleşmiştir.



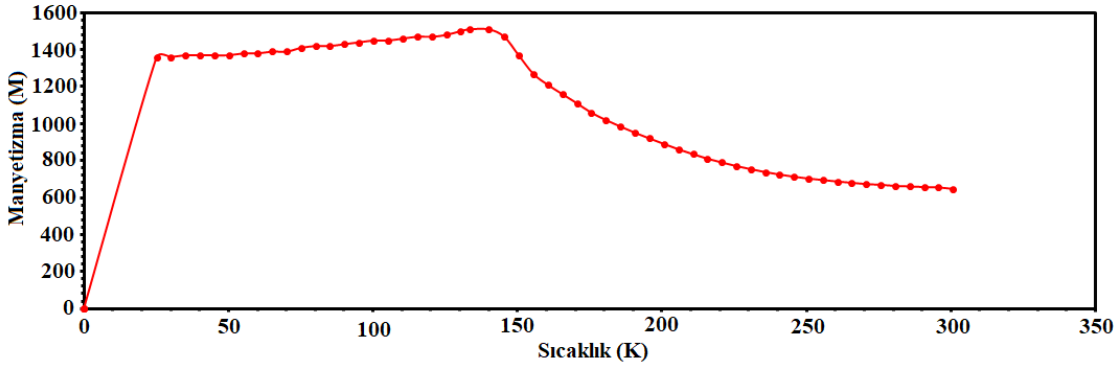
Şekil 5.115. 250 °C de 6 Saat bekletilen 1F numunesine ait M-T eğrisi.

2F numunesine ait M-T eğrisi Şekil 5.116'da verilmiştir. Soğutma eğrisinden de anlaşılacağı gibi malzeme içerisinde ilk değişim 243.36 K de, ikinci değişim 193.4 K de gerçekleşmiştir.



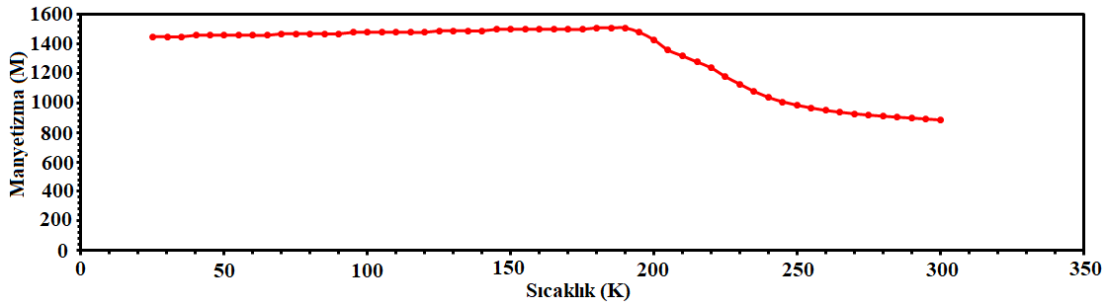
Şekil 5.116. 250 °C de 6 Saat bekletilen 2F numunesine ait M-T eğrisi.

1G numunesine ait M-T eğrisi Şekil 5.117'de verilmiştir. Soğutma eğrisinden de anlaşılacağı gibi malzeme içerisinde ilk değişim 235.71 K de, ikinci değişim 155.45 K de, üçüncü değişim 140.07 K de ve son değişim ise 25.14 K de gerçekleşmiştir.



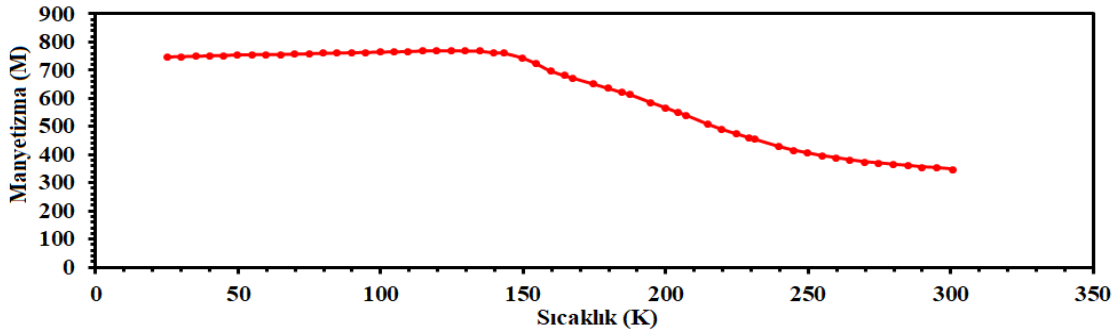
Şekil 5.117. 200 °C de 1 Saat bekletilen 1G numunesine ait M-T eğrisi.

2G numunesine ait M-T eğrisi Şekil 5.118'de verilmiştir. Soğutma eğrisinden de anlaşılacağı gibi malzeme içerisinde ilk değişim 244.86 K de, ikinci değişim 21986 K de, üçüncü değişim 204.86 K de ve son değişim ise 189.98 K de gerçekleşmiştir.



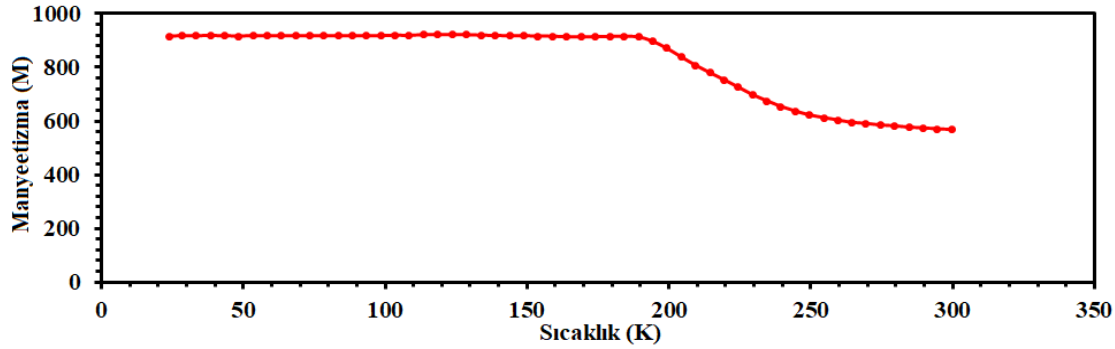
Şekil 5.118. 200 °C de 1 Saat bekletilen 2G numunesine ait M-T eğrisi.

1H numunesine ait M-T eğrisi Şekil 5.119'da verilmiştir. Soğutma eğrisinden de anlaşılacağı gibi malzeme içerisinde ilk değişim 249.44 K de, ikinci değişim 174.4 K de, üçüncü değişim 167.2 K de ve son değişim ise 143.22 K de gerçekleşmiştir.



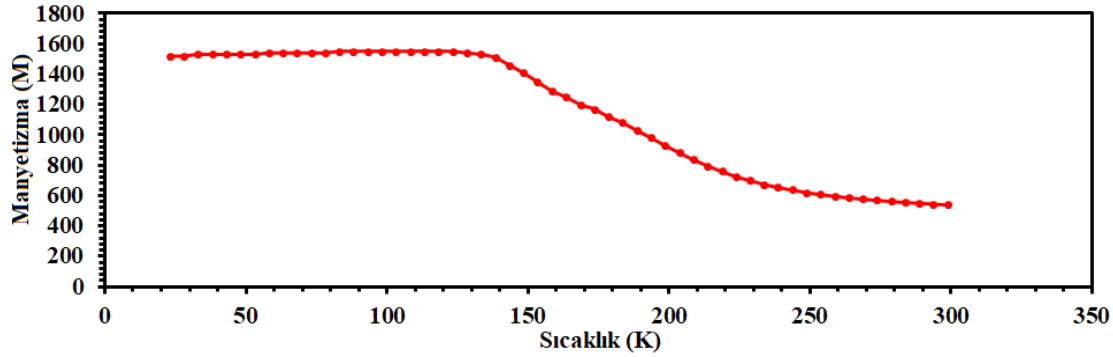
Şekil 5.119. 300 °C de 1 Saat bekletilen 1H numunesine ait M-T eğrisi.

2H numunesine ait M-T eğrisi Şekil 5.120'de verilmiştir. Soğutma eğrisinden de anlaşılacağı gibi malzeme içerisinde ilk değişim 249.3 K de, ikinci değişim 189.08 K de gerçekleşmiştir.



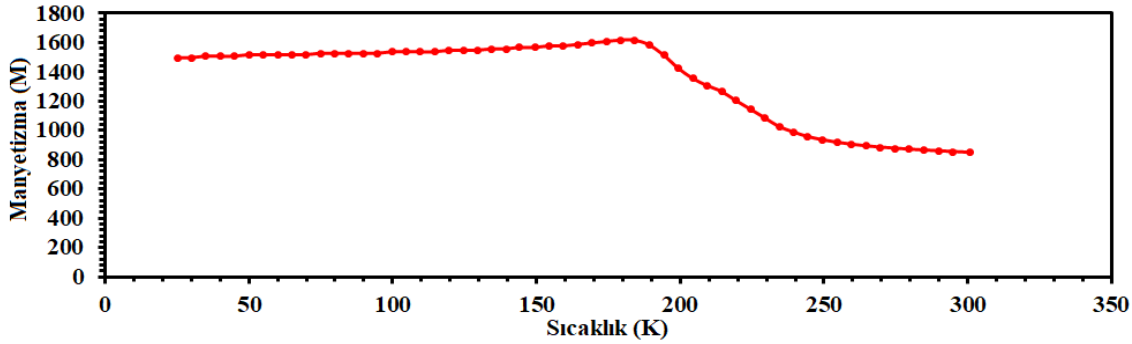
Şekil 5.120. 300 °C de 1 Saat bekletilen 2H numunesine ait M-T eğrisi.

1K numunesine ait M-T eğrisi Şekil 5.121'de verilmiştir. Soğutma eğrisinden de anlaşılacağı gibi malzeme içerisinde ilk değişim 238.64 K de, ikinci değişim 173.55 K de, üçüncü değişim 158.5 K de ve son değişim ise 133.28 K de gerçekleşmiştir.



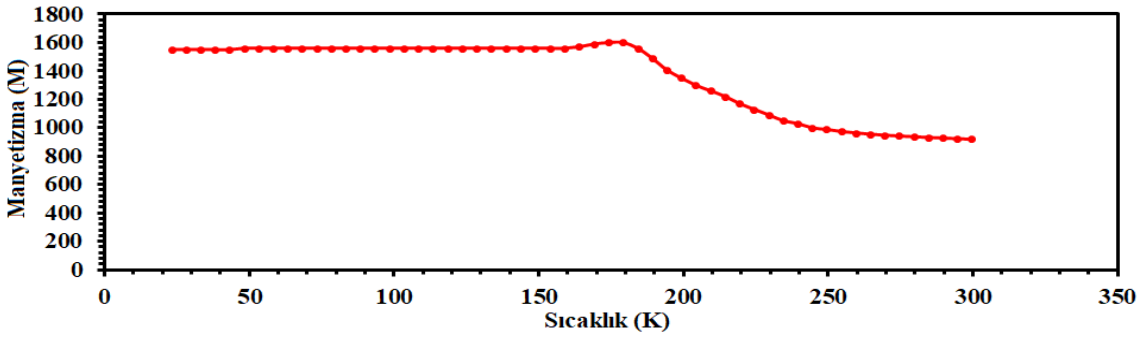
Şekil 5.121. 350 °C de 1 Saat bekletilen 1K numunesine ait M-T eğrisi.

2K numunesine ait M-T eğrisi Şekil 5.122'de verilmiştir. Soğutma eğrisinden de anlaşılacağı gibi malzeme içerisinde ilk değişim 244.19 K de, ikinci değişim 214.26 K de, üçüncü değişim 209.27 K de ve son değişim ise 184.05 K de gerçekleşmiştir.



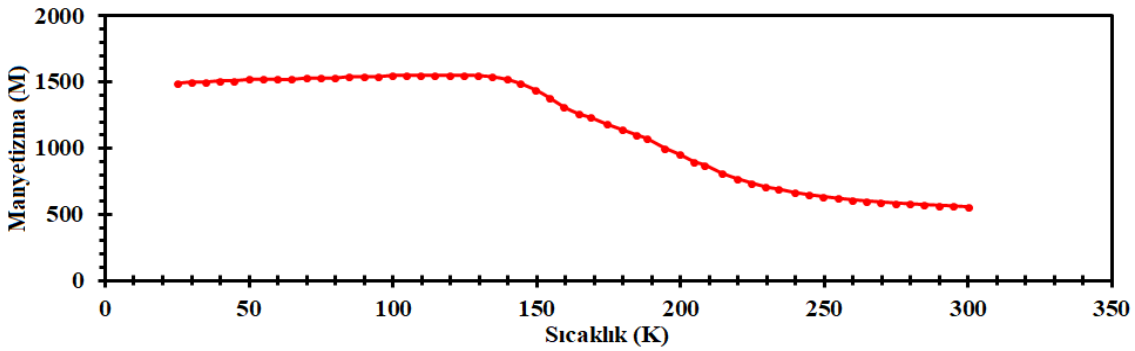
Şekil 5.122. 350 °C de 1 Saat bekletilen 2K numunesine ait M-T eğrisi.

1J numunesine ait M-T eğrisi Şekil 5.123'de verilmiştir. Soğutma eğrisinden de anlaşılacağı gibi malzeme içerisinde ilk değişim 234.02 K de, ikinci değişim 184.67 K de, üçüncü değişim 164.51 K de ve son değişim ise 139.61 K de gerçekleşmiştir.



Şekil 5.123. 400 °C de 1 Saat bekletilen 1J numunesine ait M-T eğrisi.

2J numunesine ait M-T eğrisi Şekil 5.124'de verilmiştir. Soğutma eğrisinden de anlaşılacağı gibi malzeme içerisinde ilk değişim 244.27 K de, ikinci değişim 199.09 K de ve son değişim ise 179.01 K de gerçekleşmiştir.



Şekil 5.124. 400 °C de 1 Saat bekletilen 2J numunesine ait M-T eğrisi.

Çizelge 5.15. M-T eğrilerine göre elde edilen ilk dönüşüm sıcaklıkları (K).

	A	B	C	D	E	F	G	H	K	J
1	264.29	260.06	249.3	264.89	244.15	245.1	235.71	249.44	238.64	234.02
2	268.11	254.2	264.31	249.22	299.9	243.36	244.86	249.3	244.19	244.27

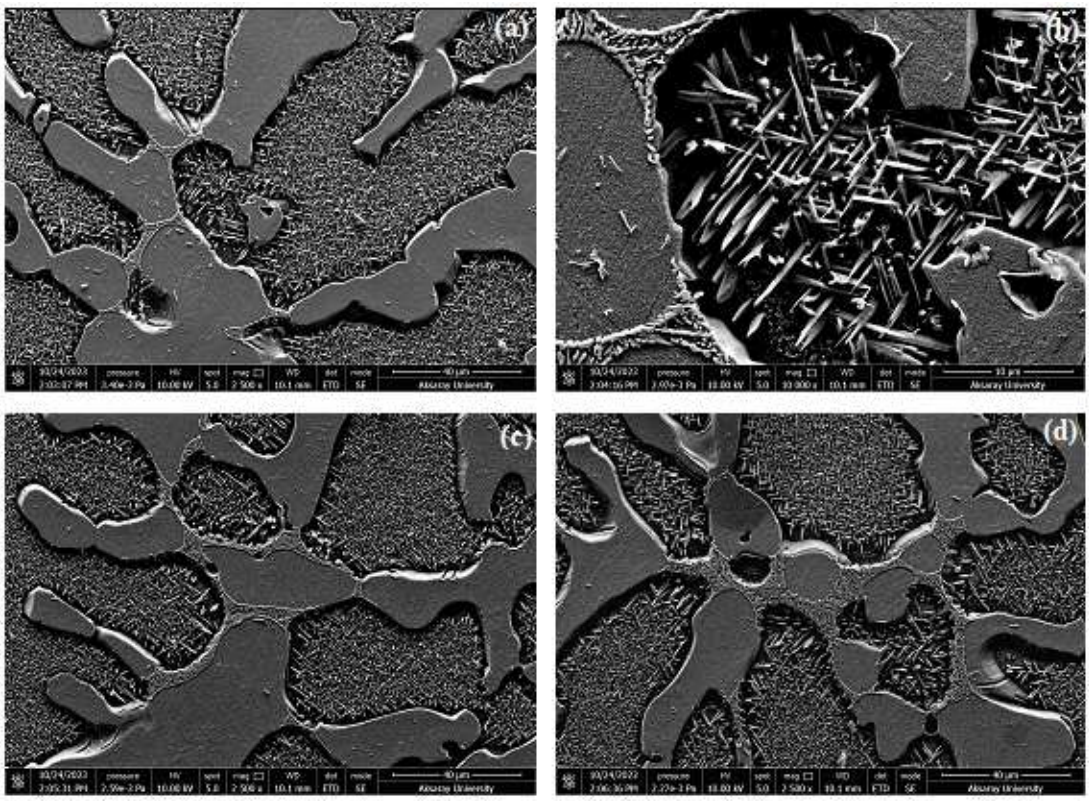
Çizelge 5.16. M-T eğrilerine göre elde edilen son dönüşüm sıcaklıkları (K).

	A	B	C	D	E	F	G	H	K	J
1	142.96	144.32	134.11	139.17	139.09	144.29	25.14	143.22	133.28	139.61
2	188.12	194.05	189.14	189.1	194.84	193.4	189.98	189.08	184.05	179.01

5.4 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Gözlemleri

5.4.1 Alaşım 1 İçin SEM Gözlem Sonuçları

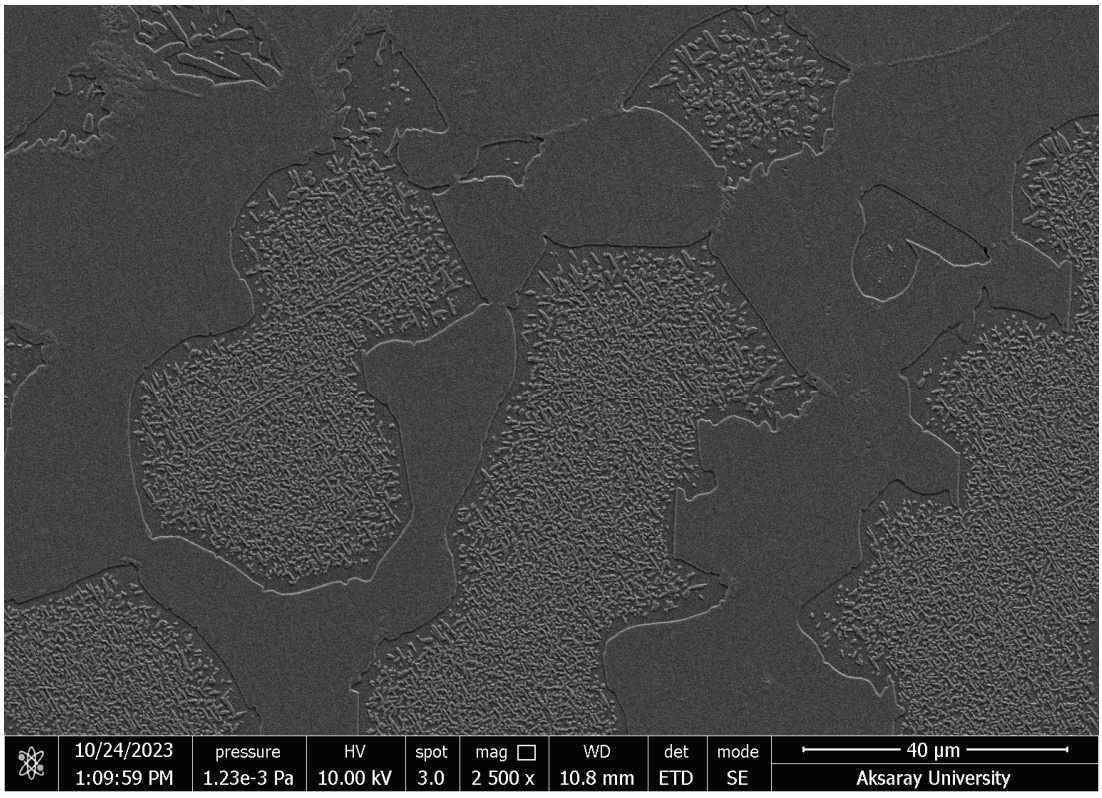
1A numunesine ait mikrograflar Şekil 5.125'de verilmiştir. Şekil 5.125 a)'da farklı tanelerin morfolojik yapısı görülmektedir. Şekil 5.125 b) ise a) nın belirli bir bölgesinin büyütülmüş halidir. Morfolojide martensitik plaka gözlenmemiştir. Tane sınırlarında çökelti varlığı söz konusudur. Morfolojide iğnemsi yapılar göze çarpmaktadır.



Şekil 5.125. Numune 1A'ya ait morfolojik yapı. b) a) da verilen morfolojinin büyütülmüş hali.

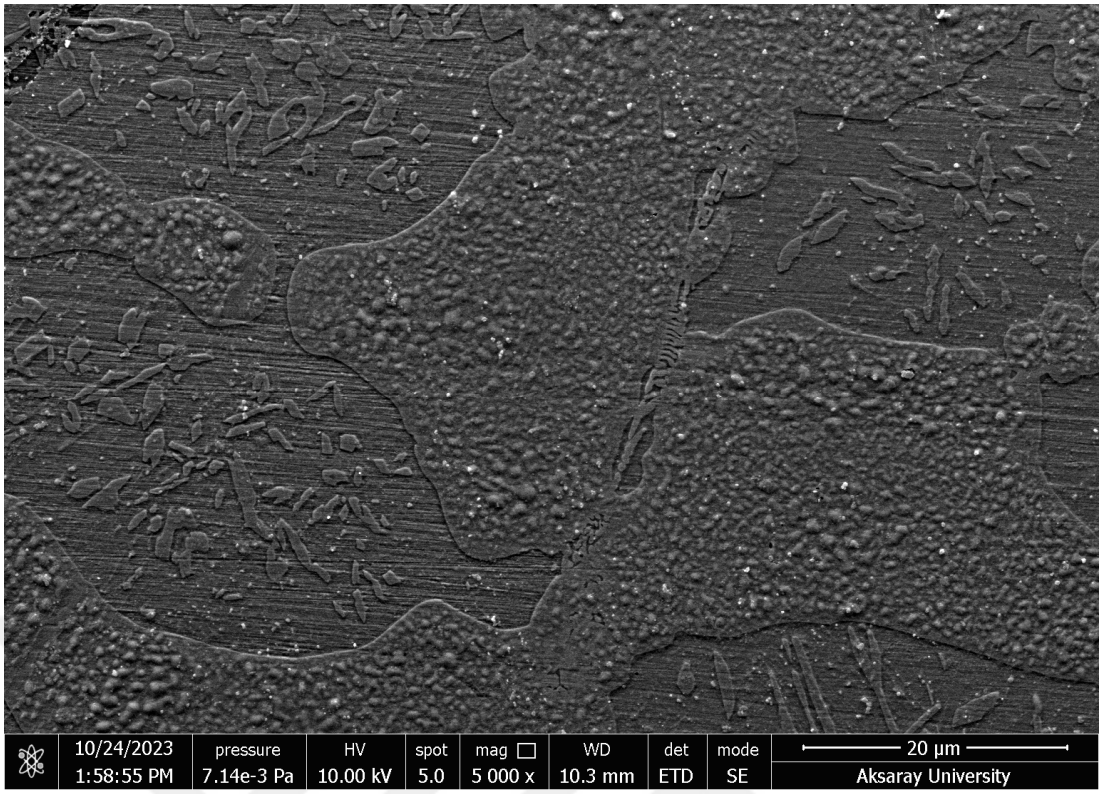
1B numunesine ait mikrograf Şekil 5.126'da verilmiştir. Şekil 5.126'da farklı tanelerin morfolojik yapısı görülmektedir. Morfolojide martensit plakalara rastlanmamıştır. Şekil 5.126'ya göre çökeltiler ve daha kabarık olan düz bölgeler görülmektedir.

1C numunesine ait mikrograf Şekil 5.127'de verilmiştir. Şekilde düz ve daha sert olduğu düşünülen farklı fazların varlığı söz konusudur. Düz olarak görülen bölgelerde geometrik şekilleri tanımlanamayan farklı yapılar meydana gelmiştir. Kabarık olan bölgelerde ise tomurcuk şeklinde yapılar vardır. Martensit plakalara rastlanılmamıştır.

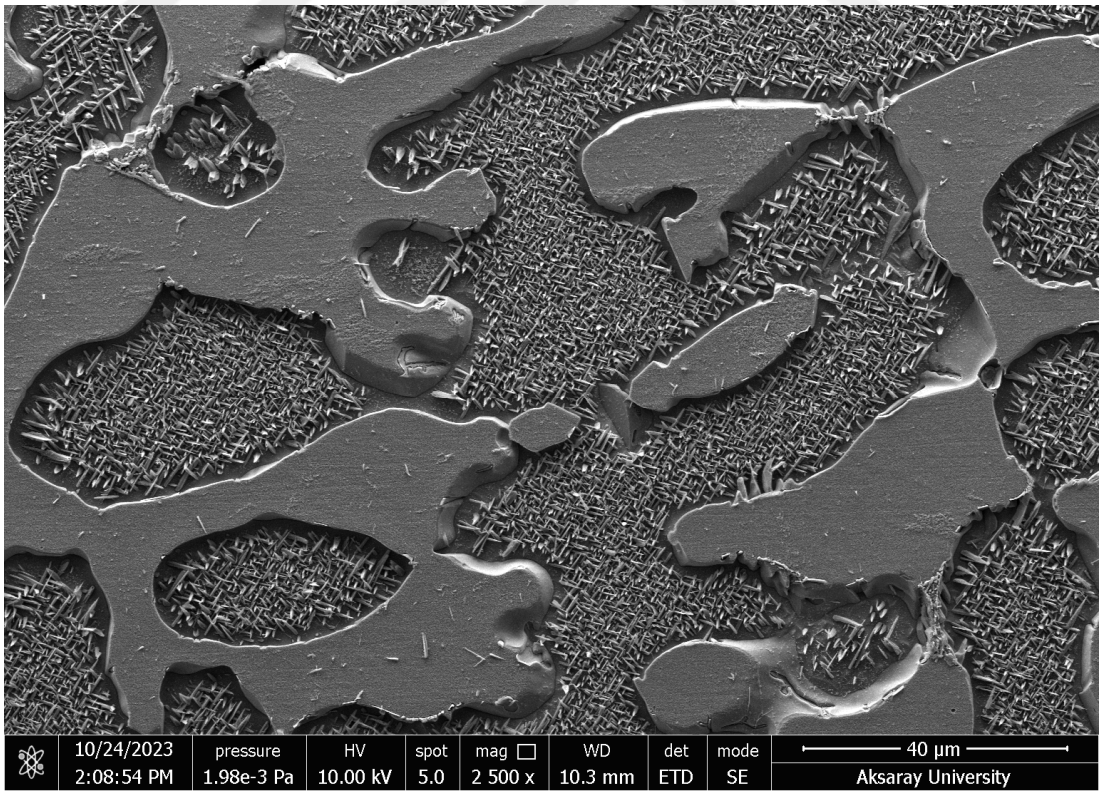


Şekil 5.126. Numune 1B'ye ait morfolojik yapı.

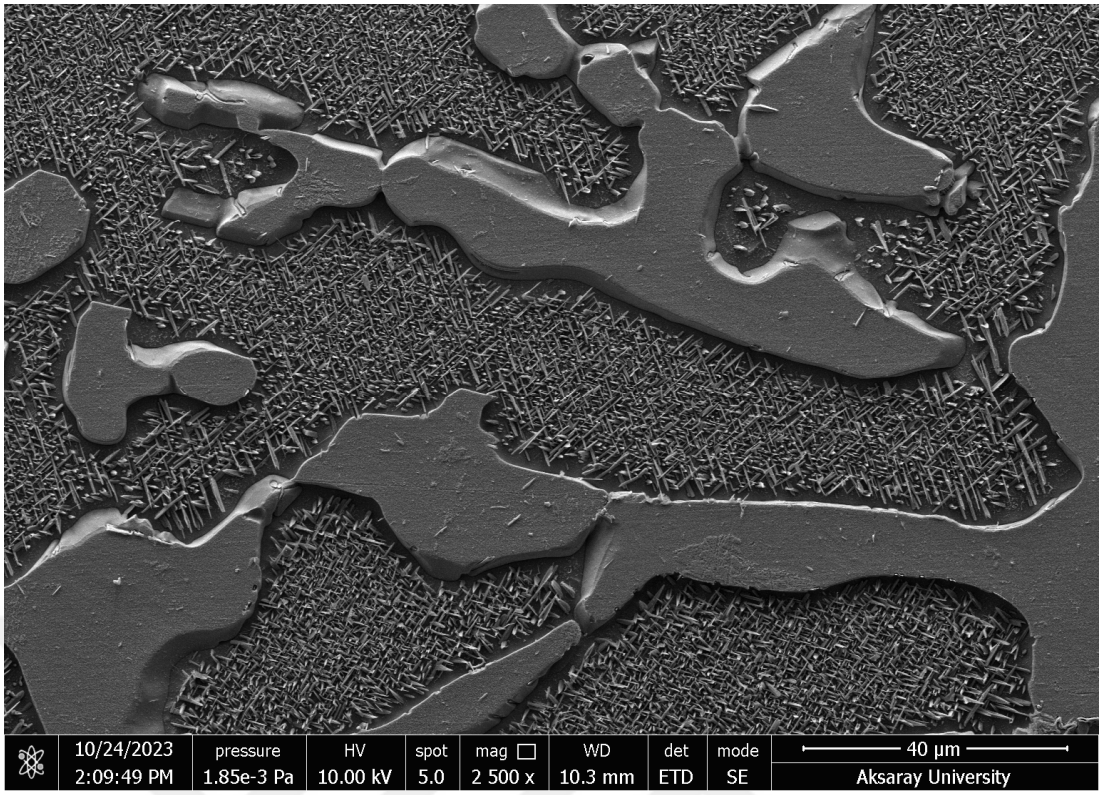
1D numunesine ait mikrograflar Şekil 5.128, Şekil 5.129 ve Şekil 5.130'da verilmiştir. Verilen mikrograflarda martensit plakalara rastlanmamıştır. γ ve β faz bölgeleri olduğu düşünülen bölgelerin varlığı söz konusudur. Kabarık olarak karşımıza çıkan düz bölgelerin tane sınırlarında az da olsa parlak yapılar meydana gelmiştir. Yine bu düz yapıların sağ alt ve sol üst birleşim bölgelerinde çökeltiler vardır. Şekil 5.130'da sol alt köşede bu çökelti bölgelerine rastlamak mümkündür. β faz bölgesi olduğu düşünülen bölgelerde yoğun bir çökelti varlığı dikkat çekicidir.



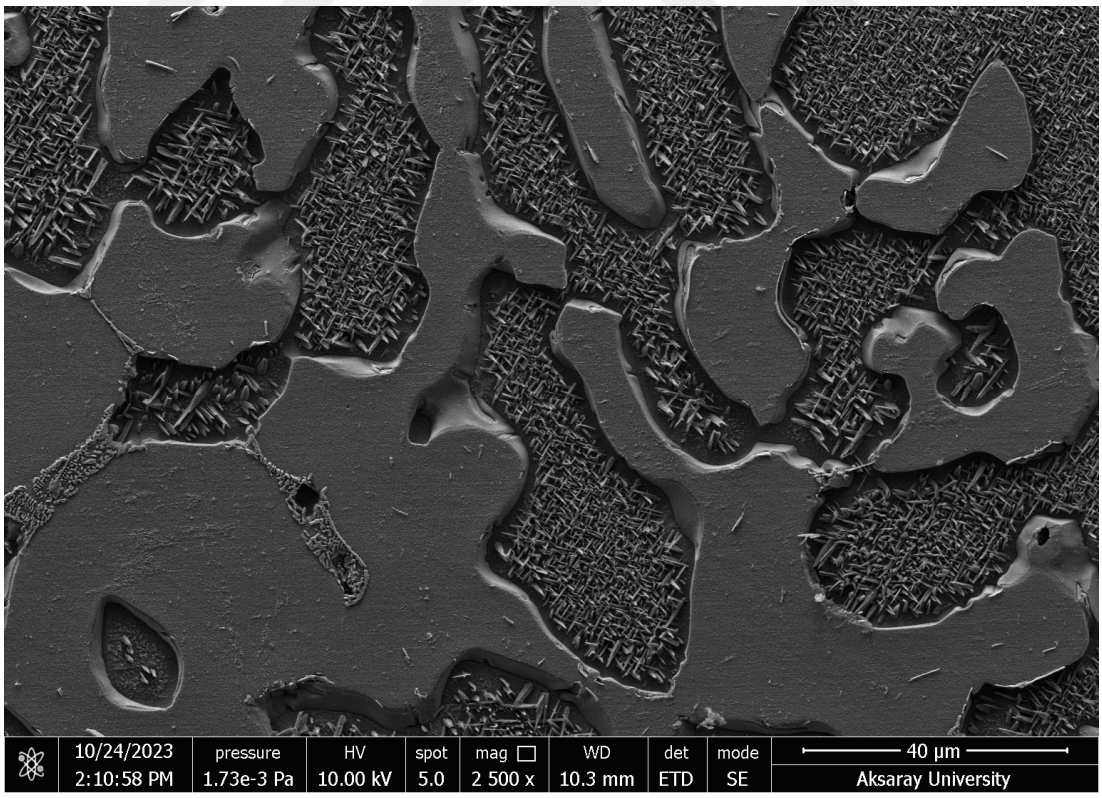
Şekil 5.127. 1C numunesine ait morfoloji.



Şekil 5.128. Numune 1D'ye ait morfolojik yapı.

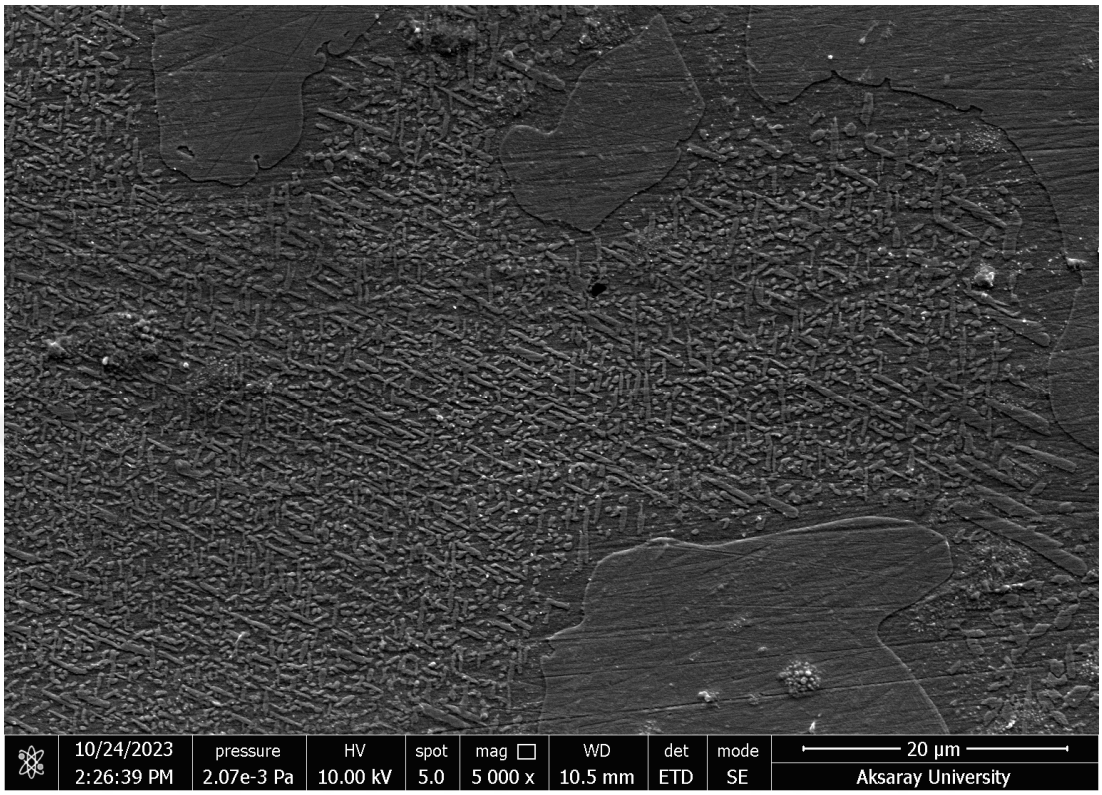


Şekil 5.129. Numune 1D'ye ait morfolojik yapı.



Şekil 5.130. Numune 1D'ye ait morfolojik yapı.

1E numunesine ait mikrograf Şekil 5.131'de verilmiştir. Şekilde γ ve β faz bölgeleri mevcuttur. β fazı olduğu düşünülen bölgelerde yoğun bir çökelti varlığı söz konusudur. Bu numuneye ait morfolojide de martensit plakalarına rastlanmamıştır.

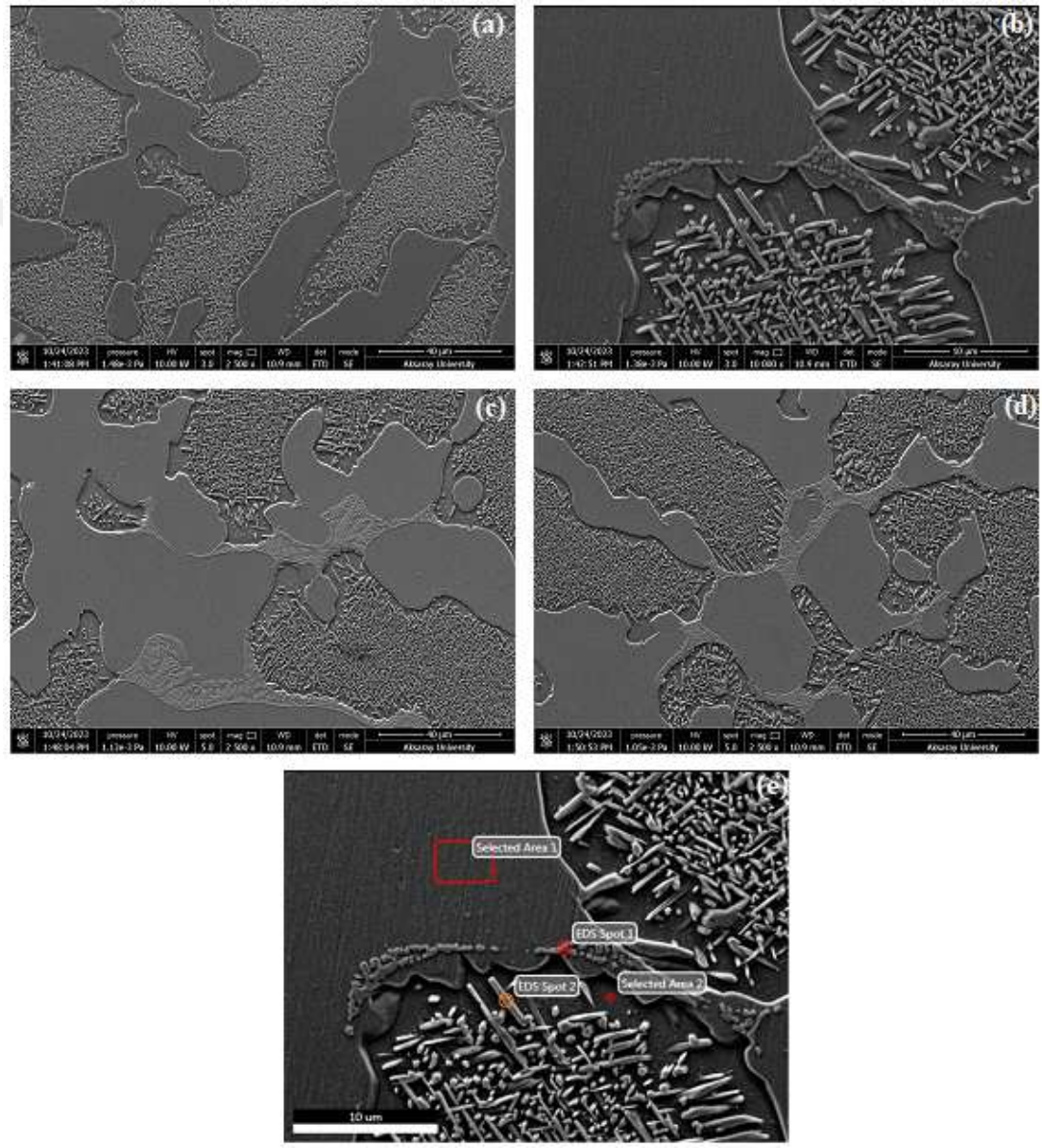


Şekil 5.131. 1E numunesine ait morfoloji.

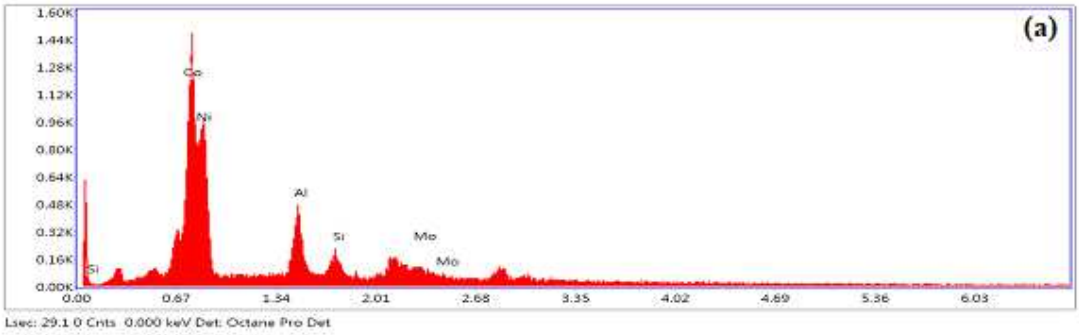
1F numunesine ait mikrograflar Şekil 5.132'de verilmiştir. 1F numunesine ait EDS analizleri ise Şekil 5.133'de verilmiştir. Verilen morfolojide şekil 5.132. (b) (a) da verilen yapının sağ üst köşesinin büyütülmüş halidir. Yapılan inceleme ve EDS analiz sonuçlarına göre mevcut numune mikrografında martensit yapılara rastlanmamıştır. Yüksek sıcaklık fazları mevcuttur. EDS analizine göre Spot 1 ve Spot 2 olarak isimlendirilen bölgelerde çökeltilere rastlanmıştır. Şekil 5.132. (c) ve (d) incelendiğinde çökelti bölgelerine, daha kabarık görünen düz bölgelerde çökeltilere rastlanılmıştır. Bu bölgelerin tane sınırları belirgindir. Şekil 5.132. (e)'de verilen EDS görüntüsündeki düz bölgelerde kabartı şeklinde yapılar vardır.

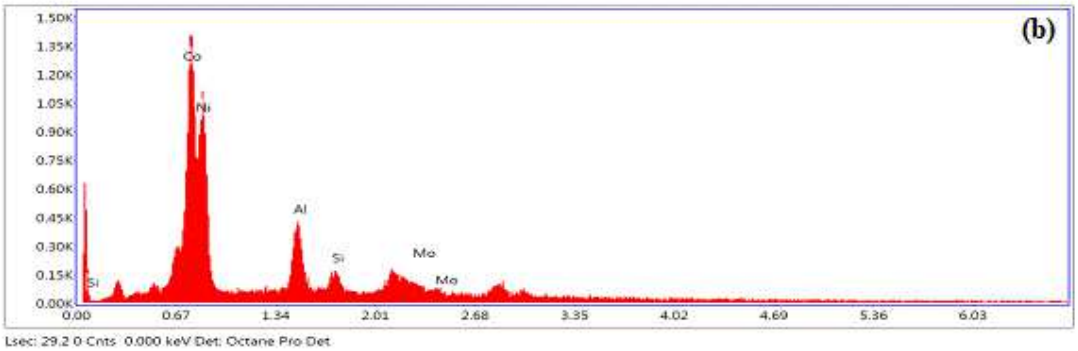
EDX analizlerinden yola çıkarak $Co_{38}Ni_{37}Al_{17}Si_6Mo_1$ alaşımında yüksek sıcaklık fazı ve çökelti fazı için kompozisyon içeriği Çizelge 5.17'de sunulmuştur.

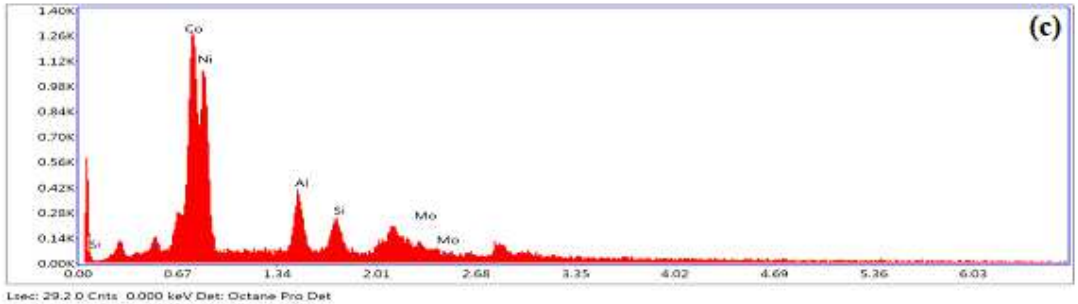
$Co_{38}Ni_{37}Al_{17}Si_6Mo_1$ alaşımı için yüksek sıcaklık fazı olarak ifade edilen bölgede (seçili bölge 1, Spot 1 ve Spot 2), Co ve Ni elementlerinin atomik oranları dikkate alındığında, bunların birbirine yakın olduğu gözlenmiştir. Tüm bölgelerde Mo bileşeninin oranı hemen hemen birbirine benzerdir.

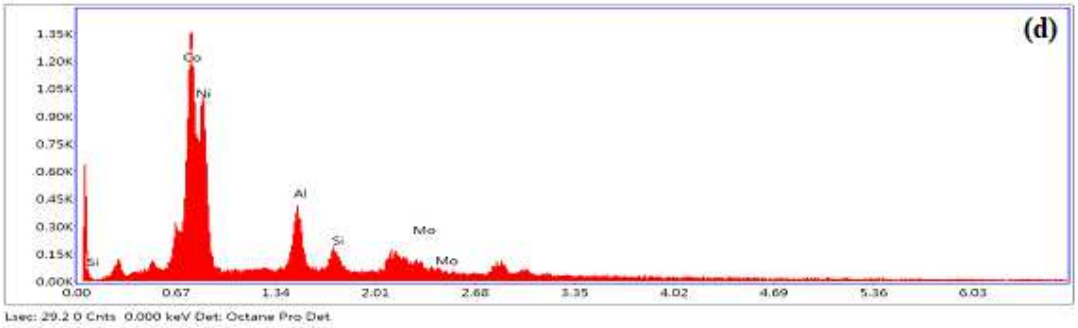


Şekil 5.132. Numune 1F'ye ait morfolojik yapı. b) a) da verilen morfolojinin büyütülmüş hali.







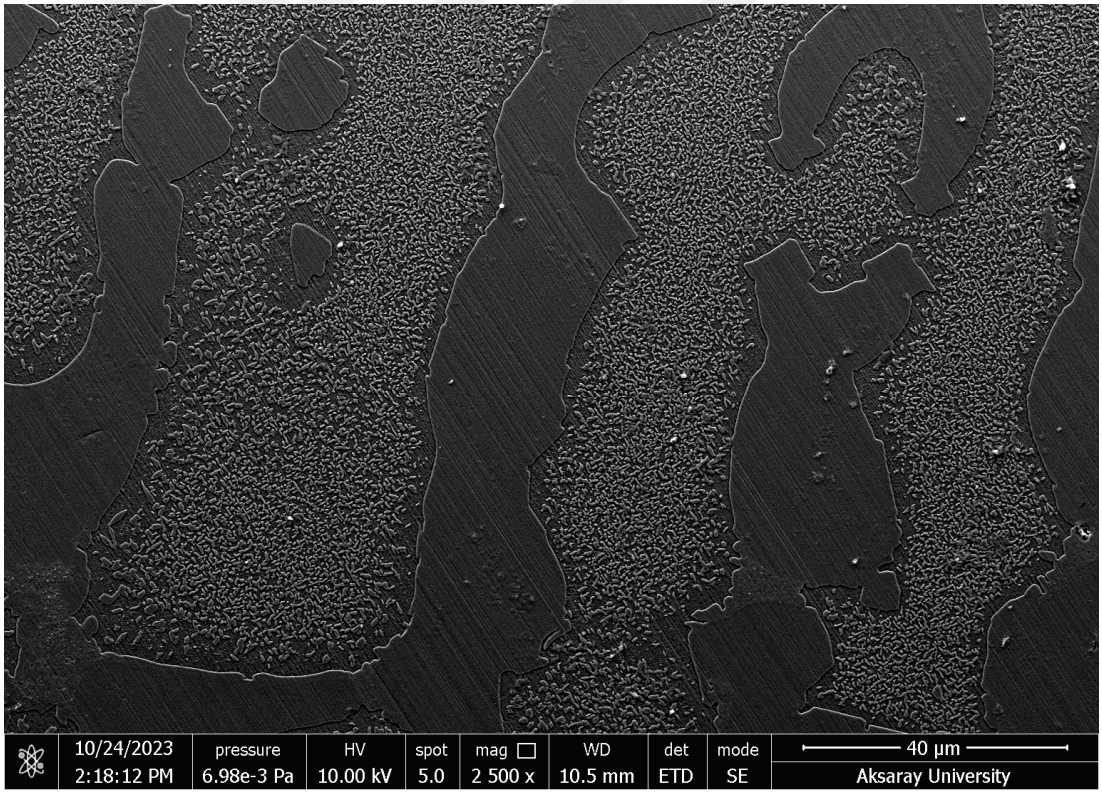


Şekil 5.133. 1F numunesine ait EDS analizi.

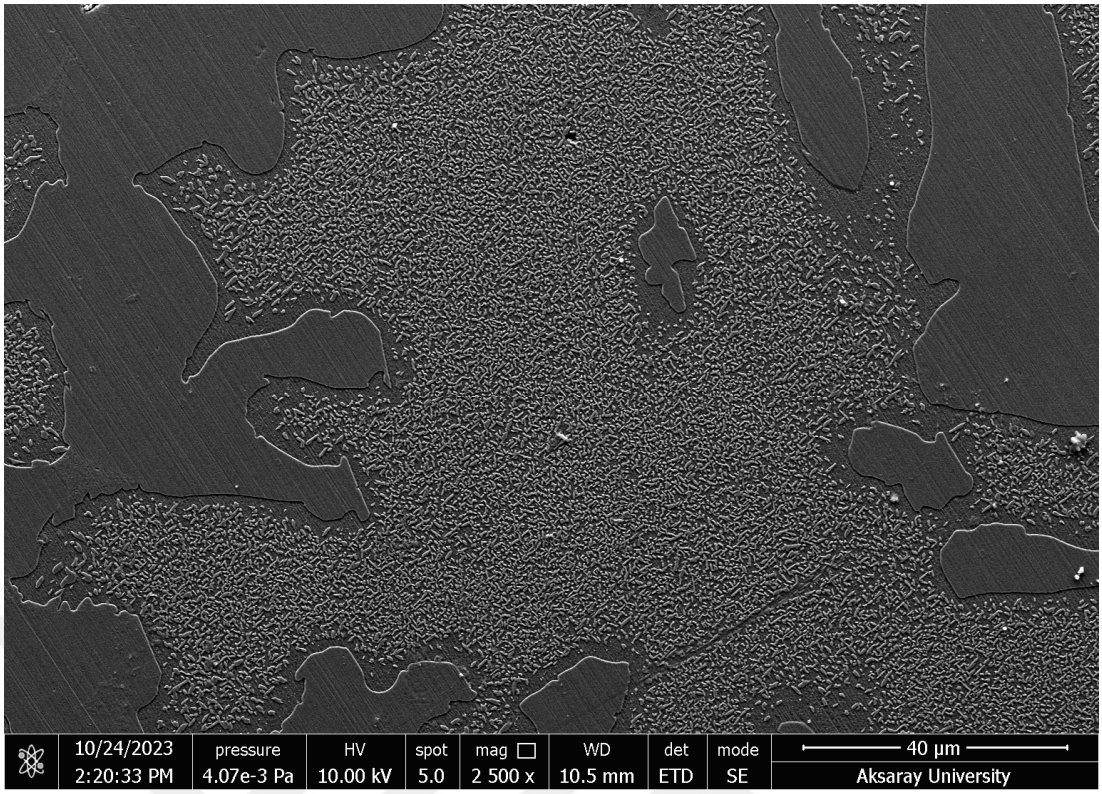
Çizelge 5.17. 1F numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 5.132. (e)'de gösterilen bölgelere aittir).

Bulunduğu Yer	Co		Ni		Al		Si		Mo	
	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)
Çökelti Bölge (Spot 1)	39.52	35.20	37.19	33.25	9.84	19.15	3.83	7.15	9.62	5.26
Yüksek Sıcaklık Fazı (Seçili Alan 1)	38.08	33.99	39.56	35.45	9.92	19,.5	3.32	6.22	9.13	5.00
Yüksek Sıcaklık Fazı (Seçili Alan 2)	35.96	31.85	39.66	35.27	8.67	16.77	5.76	10.70	9.96	5.42
Çökelti Bölgesi (Spot 2)	38.40	34.41	38.75	34.86	9.51	18.62	3.59	6,.5	9.75	5.37

1G numunesine ait mikrograflar Şekil 5.134 ve Şekil 5.135'de verilmiştir. Yapılan incelemelere göre mevcut numune mikrografında martensit yapılara rastlanmamıştır. Yüksek sıcaklık fazları γ ve β olduğu düşünülen yapılar mevcuttur.



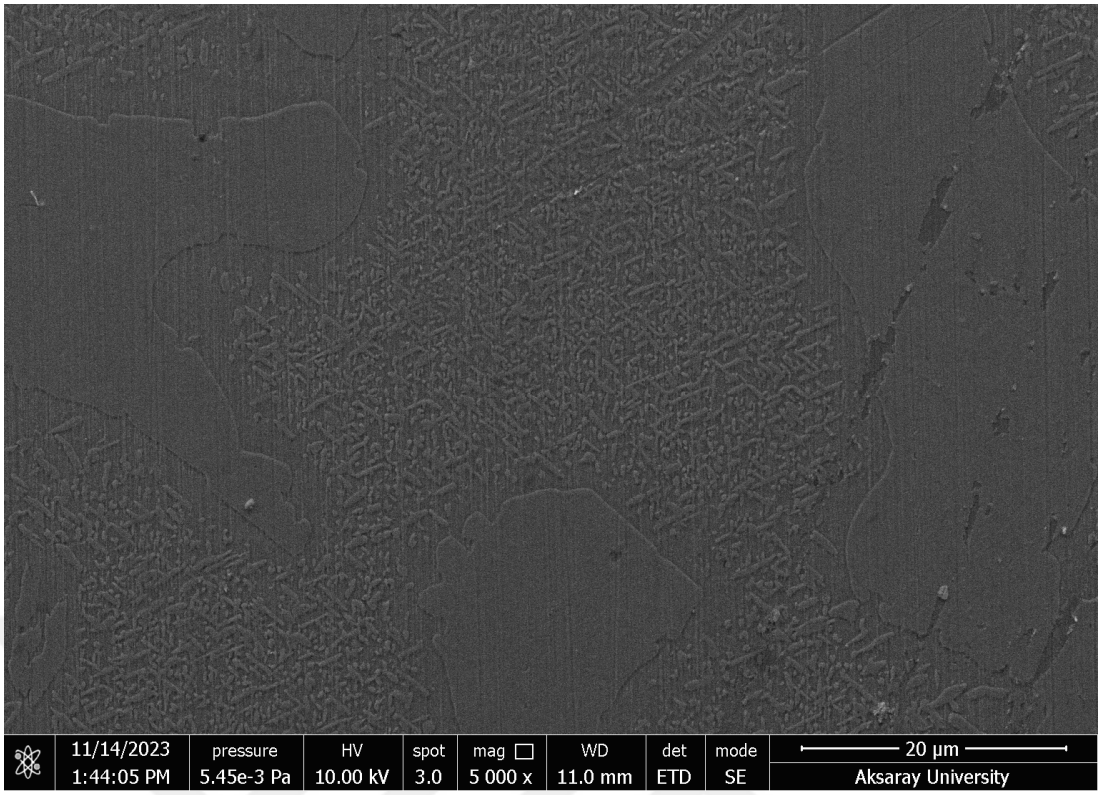
Şekil 5.134. Numune 1G'ye ait morfolojik yapı.



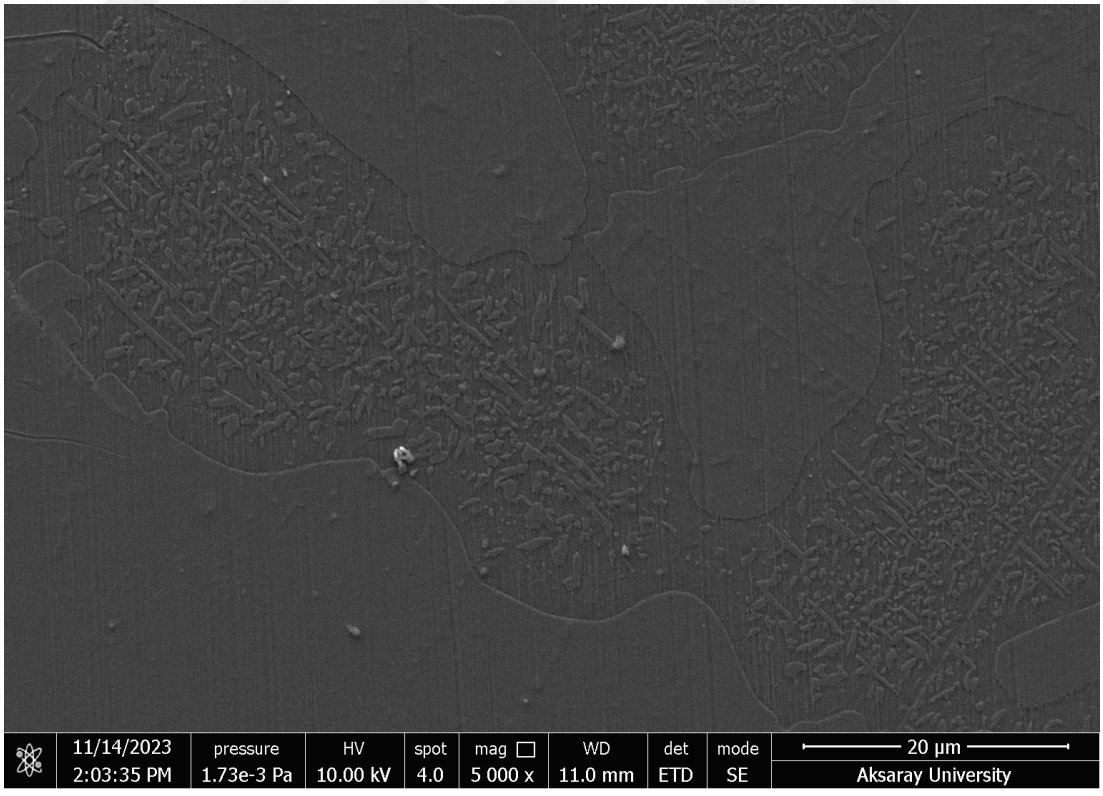
Şekil 5.135. Numune 1G'ye ait morfolojik yapı.

1H numunesine ait mikrograflar Şekil 5.136 ve Şekil 5.137'de verilmiştir. Yapılan incelemelere göre mevcut numune mikrograflarında martensit yapılara rastlanmamıştır. γ ve β olduğu düşünülen yüksek sıcaklık fazları mevcuttur. Verilen mikrograflar incelendiğinde birbirinden ayrılmış düz ve daha kabarık bölge ile içerisinde çökeltilerin olduğu başka bir faz göze çarpmaktadır.

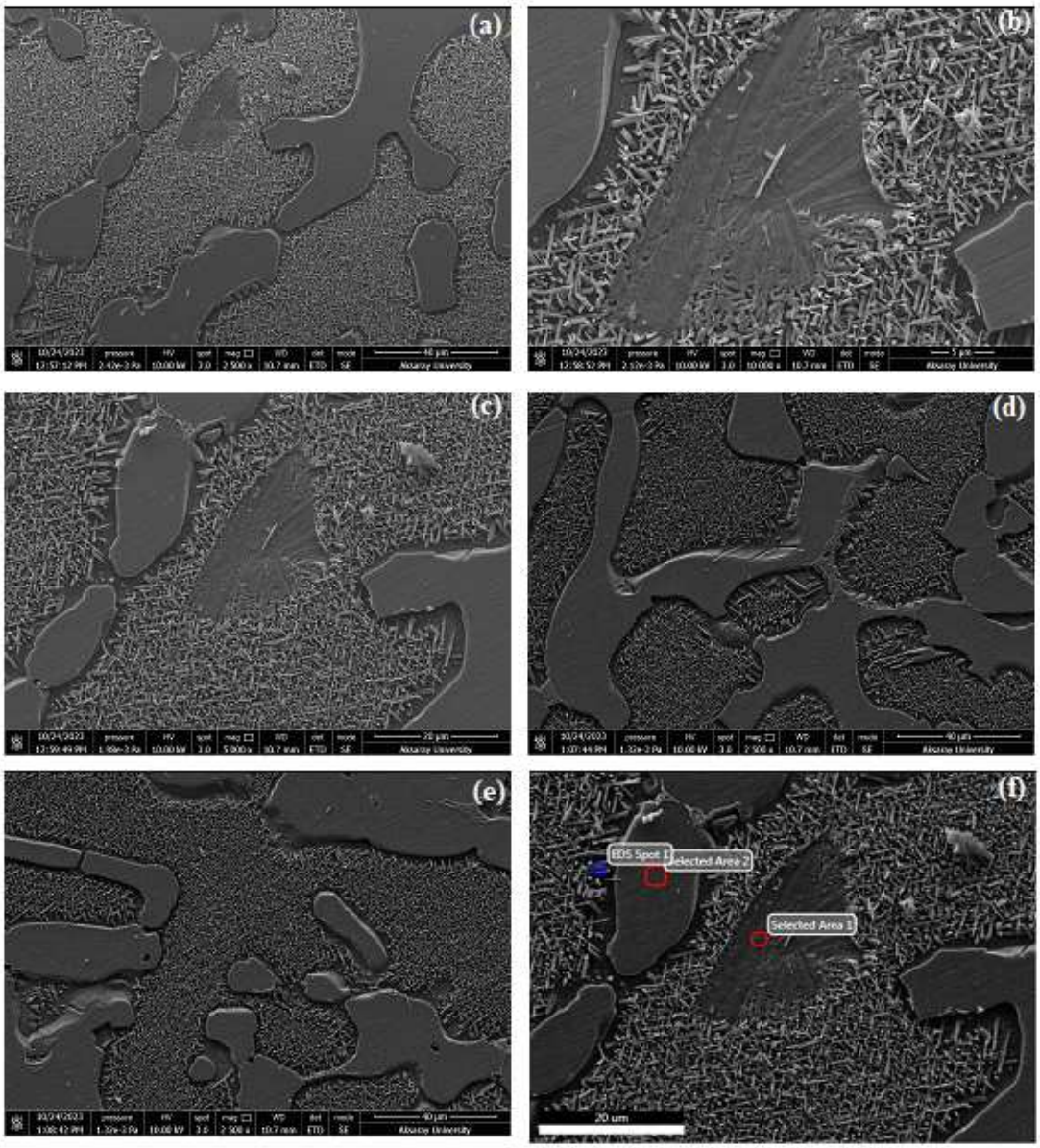
1K numunesine ait mikrograflar Şekil 5.138. (a), (b), (c), (d) ve (e)'de verilmiştir. Şekil 5.138. (f)'de EDS görüntüsü verilmiştir. 1K numunesine ait EDS analizleri ise Şekil 5.139. (a), (b) ve (c)'de verilmiştir. Yapılan inceleme ve EDS analiz sonuçlarına göre mevcut numune mikrograflarında martensit yapılara rastlanmamıştır. Şekil 5.138. (b) ve (c) Şekil 5.138. (a) da verilen morfolojinin büyütülmüş halidir. Bu şekillerde iğnemsi yapılara oldukça sık rastlanılmıştır. Düz bölgelerin tane sınırlarında sığ parlak yapılar göze çarpmaktadır. Şekil 5.138. (c)' de sol üst bölgede düz alanın üzerinde çökelti şeklinde yapılar görünmektedir. Yüksek sıcaklık fazları olarak düşünülen yapılar mevcuttur. EDS görüntüsünde seçili alan 1 de tam orta bölgede belirgin bir iğnemsi yapı vardır.



Şekil 5.136. Numune 1H'ye ait morfolojik yapı.



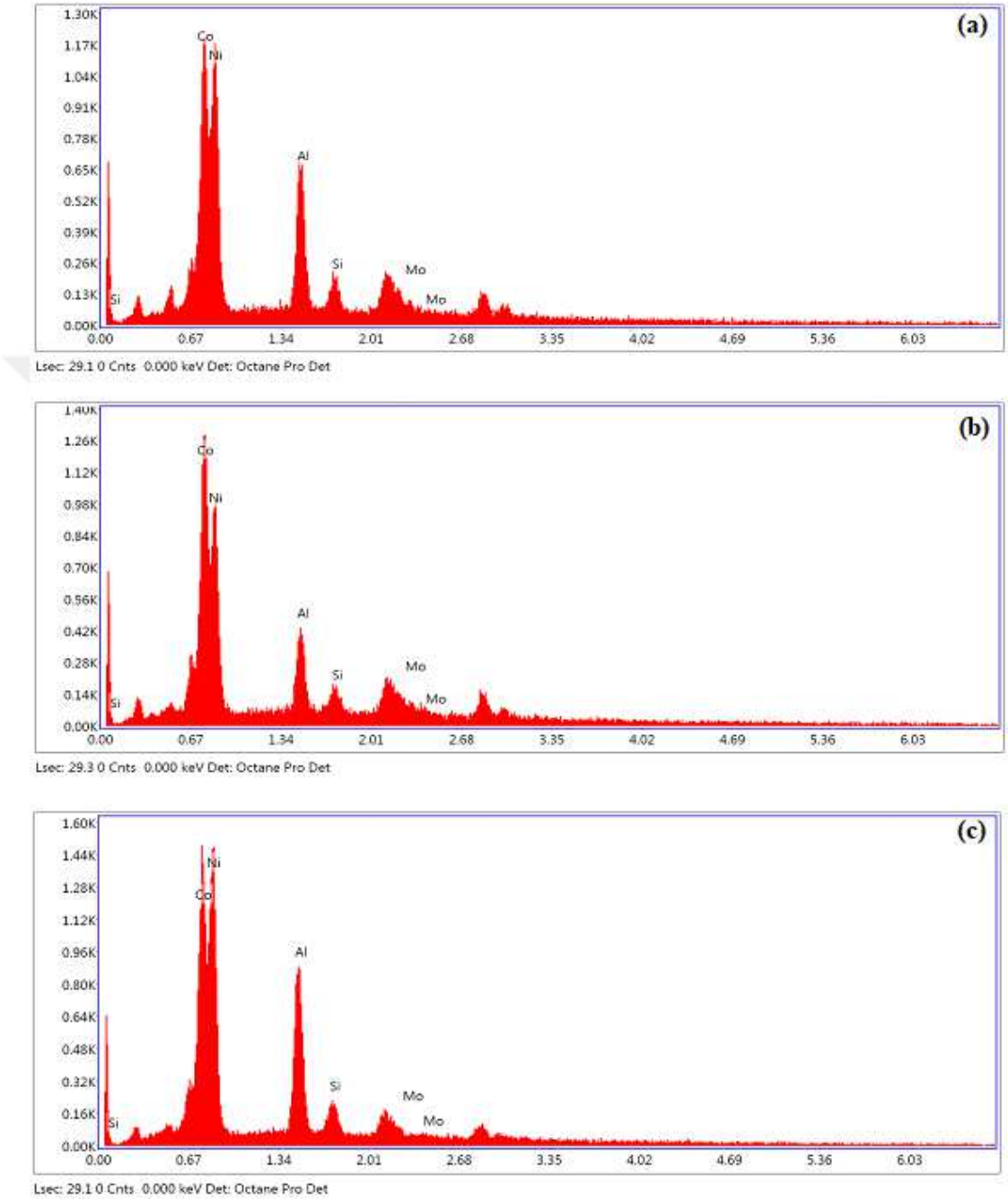
Şekil 5.137. Numune 1H'ye ait morfolojik yapı.



Şekil 5.138. 1K numunesine ait morfoloji b) ve c) a) da verilen morfolojinin büyütülmüş hali.

EDX analizlerinden yola çıkarak $Co_{38}Ni_{37}Al_{17}Si_6Mo_1$ alaşımında yüksek sıcaklık fazı, martensit fazı ve çökelti fazı için kompozisyon içeriği Çizelge 5.18'de sunulmuştur. $Co_{38}Ni_{37}Al_{17}Si_6Mo_1$ alaşımı için iğnemsi faz olarak ifade edilen bölgede (Spot 1), Al ve Ni elementlerinin atomik oranları dikkate alındığında, bunların birbirine yakın olduğu gözlenmiştir; Aynı durum seçili alan 1 olarak gösterilen morfolojide de Al ve Co elementleri için geçerlidir. Spot 1 olarak anılan bölgede Mo bileşeninin oranı diğer elementlerin oranları ile kıyaslandığında çok daha düşüktür.

Diğer faz bölgeleri ile kıyaslandığında γ fazının daha yüksek Co konsantrasyonuna sahip olduğu gözlenmiştir. İğnemsi faz olarak tanımlanan bölgenin Co içeriği düşüktür.

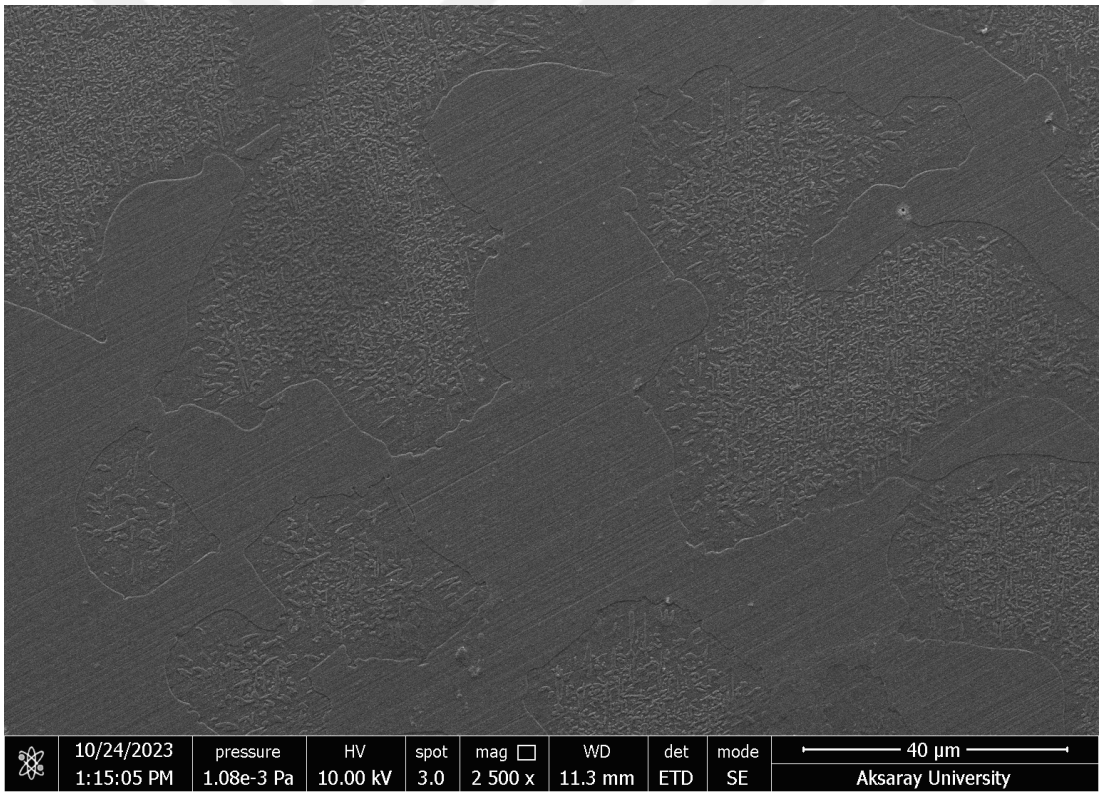


Şekil 5.139. 1K numunesine ait EDS pikleri.

Çizelge 5.18. 1K numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 5.138. (f)'de gösterilen bölgelere aittir).

Bulunduğu Yer	Co		Ni		Al		Si		Mo	
	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)
İğnemsi Faz (Spot 1)	29.39	23.38	42.81	34.19	18.86	32,.8	4.48	7.47	4.46	2.18
Yüksek Sıcaklık Fazı (Seçili Alan 1)	30.88	25.81	46.23	38.78	15.85	28.92	2.32	4.07	4.71	2.42
γ Fazı (Seçili Alan 2)	37.62	33.41	37.02	33.01	10.44	20.26	3.94	7.34	10.98	5.99

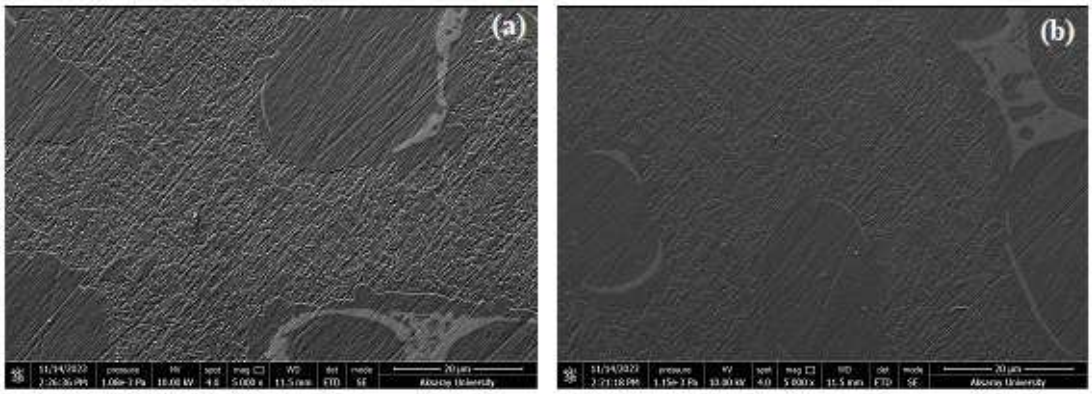
1J numunesine ait mikrograf Şekil 5.140'da verilmiştir. Verilen mikrografa bakıldığında içerisinde çökelti barındıran bir yüksek sıcaklık fazı ile daha sert olduğu düşünülen ve hafif daha kabarık duran bir yüksek sıcaklık fazı görülmektedir. 1 numaralı numuneye ait bu morfolojide de martensit plakalara rastlanılmamıştır.



Şekil 5.140. 1J numunesine ait morfoloji.

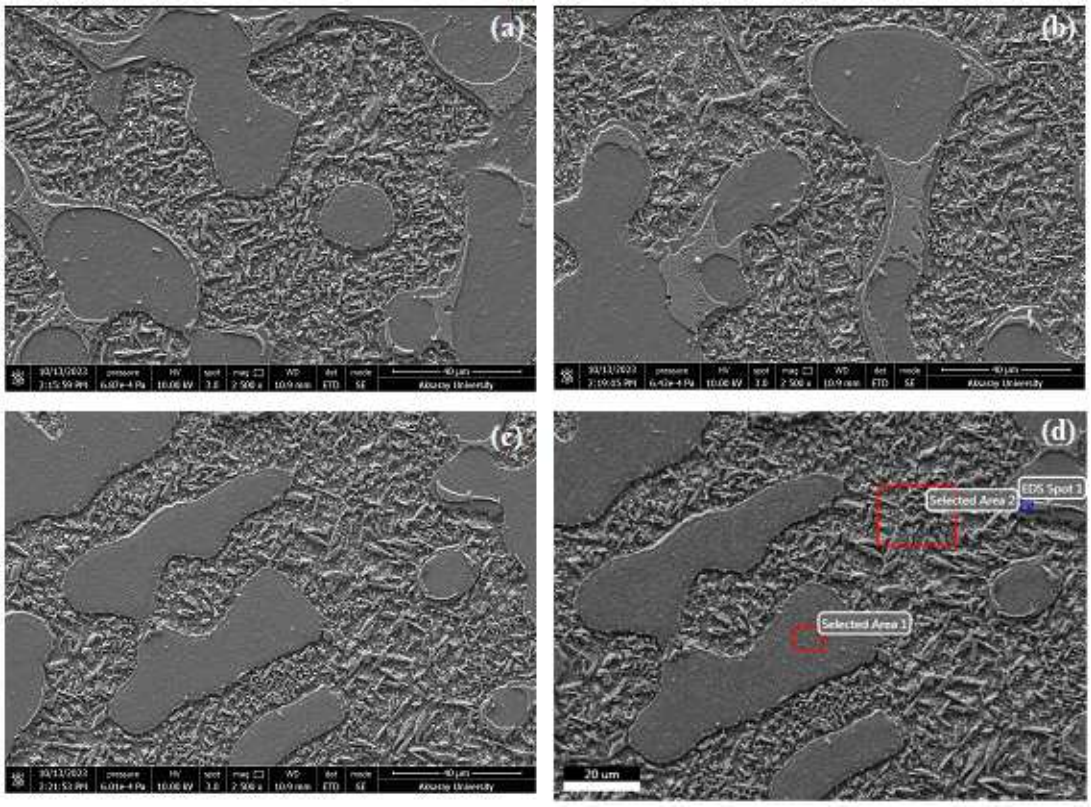
5.4.2 Alaşım 2 İçin SEM Gözlem Sonuçları

2A numunesine ait mikrograflar Şekil 5.141. (a) ve (b)'de verilmiştir. Şekil 5.141. (a), Şekil 5.141. (b)'de verilen morfolojinin büyütülmüş halidir. Verilen morfolojide γ ve β fazı olarak tabir edilebilecek bölgelerin varlığı söz konusudur. Bu iki faz tane sınırlatı ile ayrılmıştır. Şekil 5.141. (a) incelendiğinde sağ alt köşede ve sağ üst köşede açık renkli farklı bir yapı daha görülecekitr. Morfolojideki genel görüntü çökelti fazlarının fazlalığıdır. Numunede martesit fazlara rastlanmamıştır.



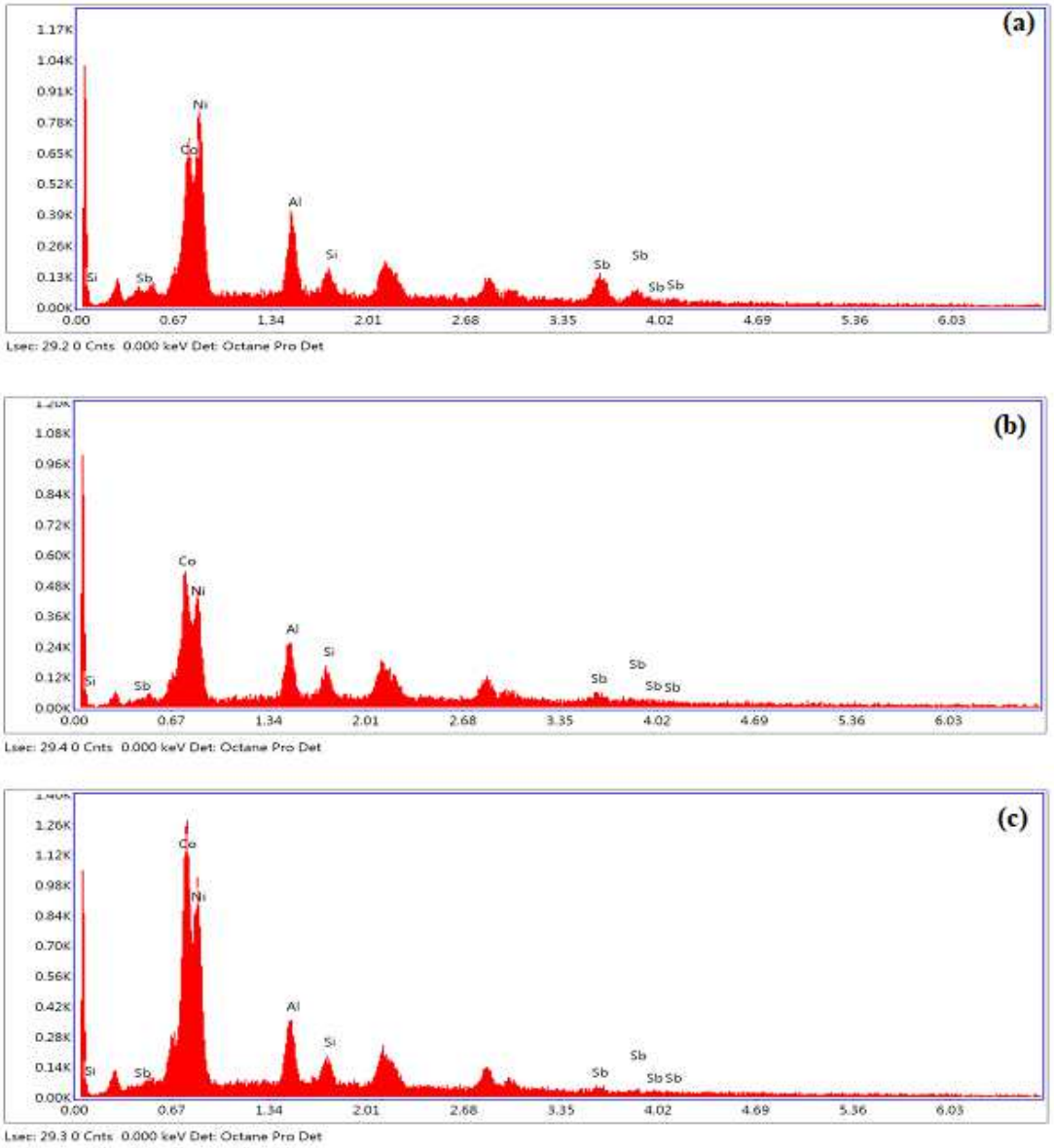
Şekil 5.141. Numune 2A'ya ait morfolojik yapı. a), b) de verilen morfolojinin büyütülmüş hali.

2B numunesine ait mikrograflar Şekil 5.142. (a), (b) ve (c)'de verilmiştir. Şekil 5.142. (d)' de EDS görüntüsü verilmiştir. Şekil 5.143. (a), (b) ve (c)'de ise EDS analizleri verilmiştir. Şekil 5.142. (b), (a) da verilen morfolojinin büyütülmüş halidir. Morfolojiyi incelediğimizde γ ve β yüksek sıcaklık fazlarının olduğu düşünülen yapılar görülmektedir. Düz görünümlü yapıların tane sınırlarında ve yüzeylerinde daha kabarık halde parlak yapılar mevcuttur. Bu parlak yapılar Mo içeren numunede sığ bir şekilde bulunurken Sb içeren numunede ise belirgin bir şekilde bulunmaktadır. Bu duruma Sb ilavesinin etkili olduğu düşünülebilir. β faz bölgesi olduğu düşünülen bölgede ise çökelti fazları yoğunluktadır. Morfolojide belirgin bir martensit plakaya rastlanılmamıştır.



Şekil 5.142. Numune 2B'ye ait morfolojik yapı. b) a) da verilen morfolojinin büyütülmüş hali.

EDX analizlerinden yola çıkarak $Co_{38}Ni_{37}Al_{17}Si_6Sb_2$ alaşımında yüksek sıcaklık fazı, martensit fazı ve çökelti fazı için kompozisyon içeriği Çizelge 5.19'da sunulmuştur. $Co_{38}Ni_{37}Al_{17}Si_6Sb_2$ alaşımı için yüksek sıcaklık fazı olarak ifade edilen bölgede (seçili alan 1), Co ve Ni elementlerinin atomik oranları dikkate alındığında, bunların birbirine yakın olduğu gözlenmiştir; Aynı durum seçili alan 2 olarak gösterilen morfolojide de Al ve Co elementleri için geçerlidir. Seçili alan 1 olarak anılan bölgede Sb bileşeninin oranı diğer elementlerin oranları ile kıyaslandığında çok daha düşüktür. Spot 1 bölgesinde seçili alan 1 ile kıyaslandığında morfolojisinin daha yüksekte kaldığı görülmektedir. Bu durum bu bölgedeki fazın dağlama asidinin daha az yemesi dolayısıyla seçili alan 1 deki yüksek sıcaklık fazından daha sert olduğunu düşündürmektedir. Morfoloji bir çökelti görüntüsü vermediğinden ve bu bölgenin martensit içeren sert ve kırılgan B2 fazı olduğu tahmin edilmektedir. β fazının daha yüksek Al konsantrasyonuna ve γ fazının daha yüksek Co konsantrasyonuna sahip olduğu gözlenmiştir [30].



Şekil 5.143. 2B numunesine ait EDS analizi.

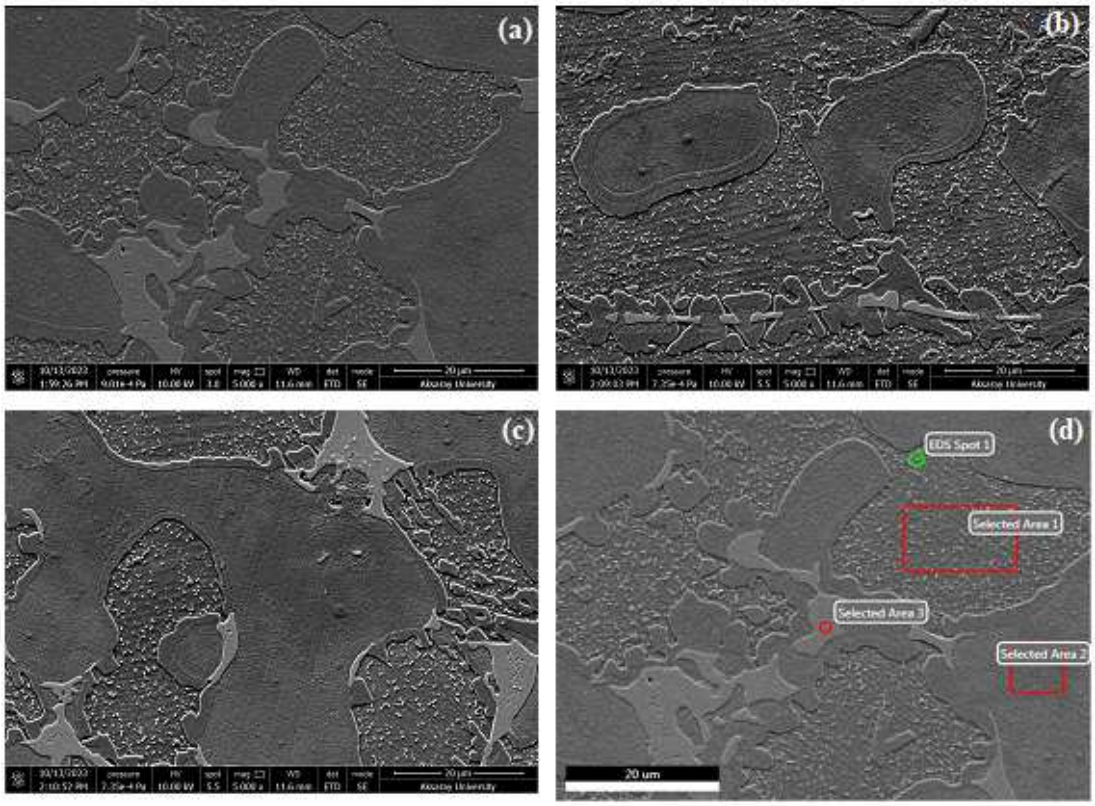
Çizelge 5.19. 2B numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 5.142. (d)'de gösterilen bölgelere aittir).

Bulunduğu Yer	Co		Ni		Al		Si		Sb	
	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)
γ Fazı (seçili alan 1)	38.22	33.45	41.24	36.24	9.87	18.87	4.90	9.00	5.77	2.45
Martensit Plaka (seçili alan 2)	22.68	22.16	76.54	6.08	10.08	21.51	3.14	6.45	25.58	12.10
β Fazı (EDS Spot 1)	31.72	28.48	36.07	32.50	11.27	22.09	5.40	10.17	15.55	6.76

$Co_{38}Ni_{37}Al_{17}Si_6Sb_2$ alaşımının 2C numunesine ait mikrograflar Şekil 5.144. (a), (b) ve (c)'de verilmiştir. Şekil 5.144. (d)'de EDS görüntüsü verilmiştir. Şekil 5.145. (a), (b) ve (c)'de ise EDS analizleri verilmiştir. Mikrograflarda gözlenen Şekil 5.144. (b)'de β faz bölgelerindeki dendritik yapı ve birbirlerine paralel bir şekilde sıralanmış martensitik plakalar görülmektedir. Özellikle 2C numunesinde martensitik plakaların olması numunedeki Sb etkisini ve numuneye uygulanan ısıl işlem süresinin etkisini ortaya çıkardığı düşünülebilir. Morfoloji incelendiğinde kabarık halde bulunan düz alan üzerinde daha da sert olduğu düşünülen daha kabarık olarak bulunan parlak bölgeler bulunmaktadır. Ayrıca düz bölgelerin tane sınırları boyunca yayılmış parlak yapılar mevcuttur. EDX analizlerinden yola çıkarak $Co_{38}Ni_{37}Al_{17}Si_6Sb_2$ alaşımının β ve γ yüksek sıcaklık fazları için kompozisyon içeriği Çizelge 5.20'de verilmiştir. $Co_{38}Ni_{37}Al_{17}Si_6Sb_2$ alaşımı için yüksek sıcaklık fazı olarak ifade edilen bölgede (seçili alan 2), Co ve Ni elementlerinin atomik oranları dikkate alındığında, bunların birbirine yakın olduğu gözlenmiştir; Aynı durum seçili alan 1 olarak gösterilen çökelti fazında da Al ve Ni elementleri için de geçerlidir. Ayrıca seçili alan 3 olarak ifade edilen bölgede Ni ve Sb elementlerinin atomik oranlarının da birbirine çok yakın olduğu gözlenmiştir.

Seçili alan 1 olarak anılan bölgede Sb bileşeninin oranı diğer elementlerin oranları ile kıyaslandığında çok daha düşüktür. Seçili alan 3 bölgesinde seçili alan 2 ile kıyaslandığında morfolojisinin daha yüksekte kaldığı görülmektedir. Bu durum bu bölgedeki fazın asidin daha az yemesi dolayısıyla seçili alan 2 deki yüksek sıcaklık fazından daha sert olduğunu düşündürmektedir.

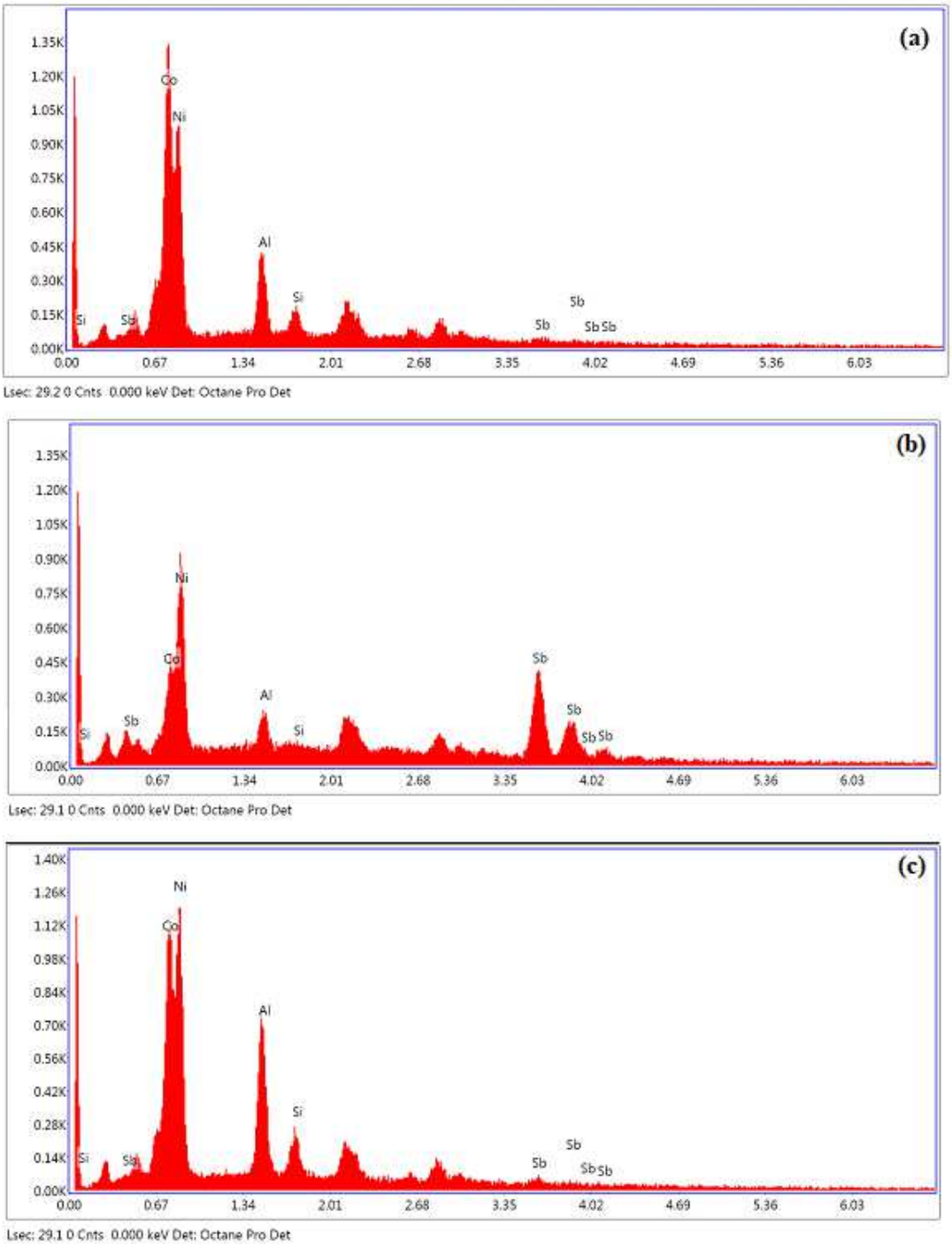
Morfoloji bir çökelti görüntüsü vermediğinden ve martensit yapısı izlenimi de vermediğinden bu bölgenin sert ve kırılgan β B2 fazı olduğu tahmin edilmektedir. γ fazının daha yüksek Co konsantrasyonuna sahip olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5.144. Numune 2C'ye ait morfolojik yapı.

2D numunesine ait mikrograflar Şekil 5.146 ve Şekil 5.147'de verilmiştir. Morfoloji incelendiğinde γ ve β faz bölgelerinin olduğu görülmektedir. β faz bölgesi olarak düşünülen alanda az da olsa çökeltiler mevcuttur. Tane sınırlarında daha açık renkli bölgeler mevcuttur. Bu numune morfolojisinde de martensit plakalara rastlanılmamıştır.

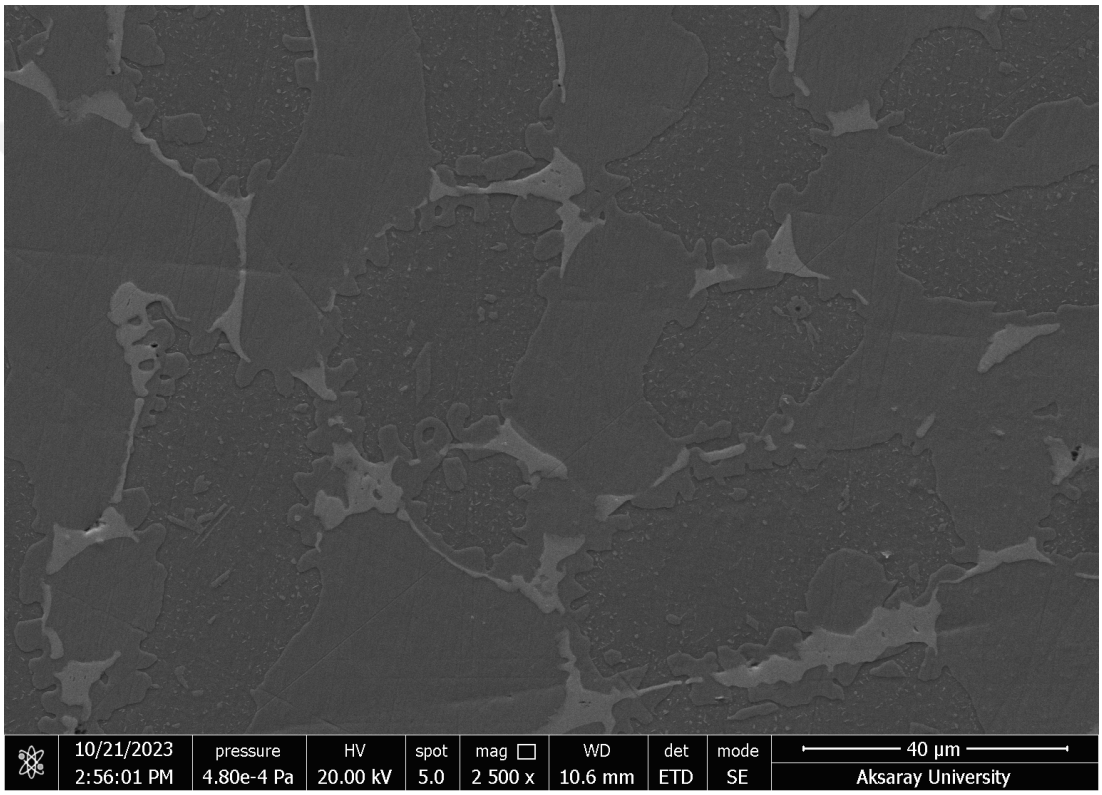
2E numunesine ait mikrograflar Şekil 5.148 ve Şekil 5.149'da verilmiştir. Şekil 5.148'de γ fazına ait morfolojik yapı ve tane sınırlarında açık renkli yapılar görülmektedir. Bu numunede yüksek sıcaklık fazı olduğu düşünülen yapıların varlığı söz konusudur. Martensit plakalara rastlanılmamıştır.



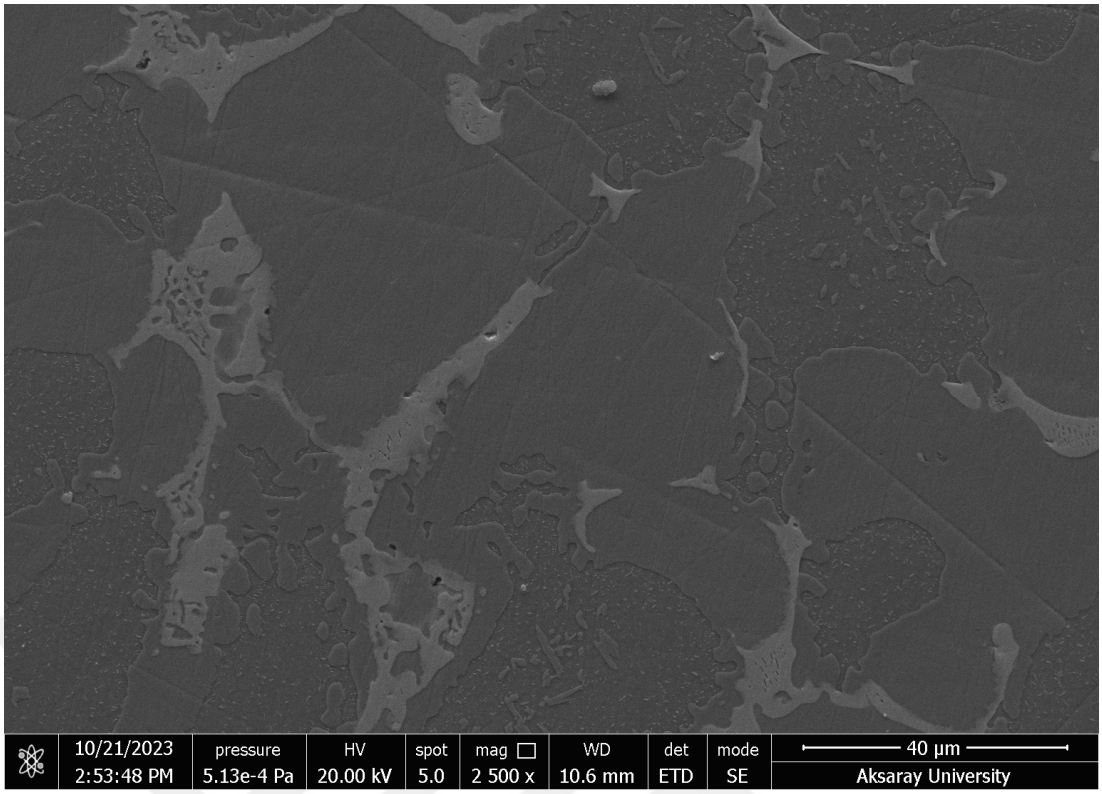
Şekil 5.145. 2C numunesine ait EDS analizi.

Çizelge 5.20. 2C numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 5.144'da gösterilen bölgelere aittir.

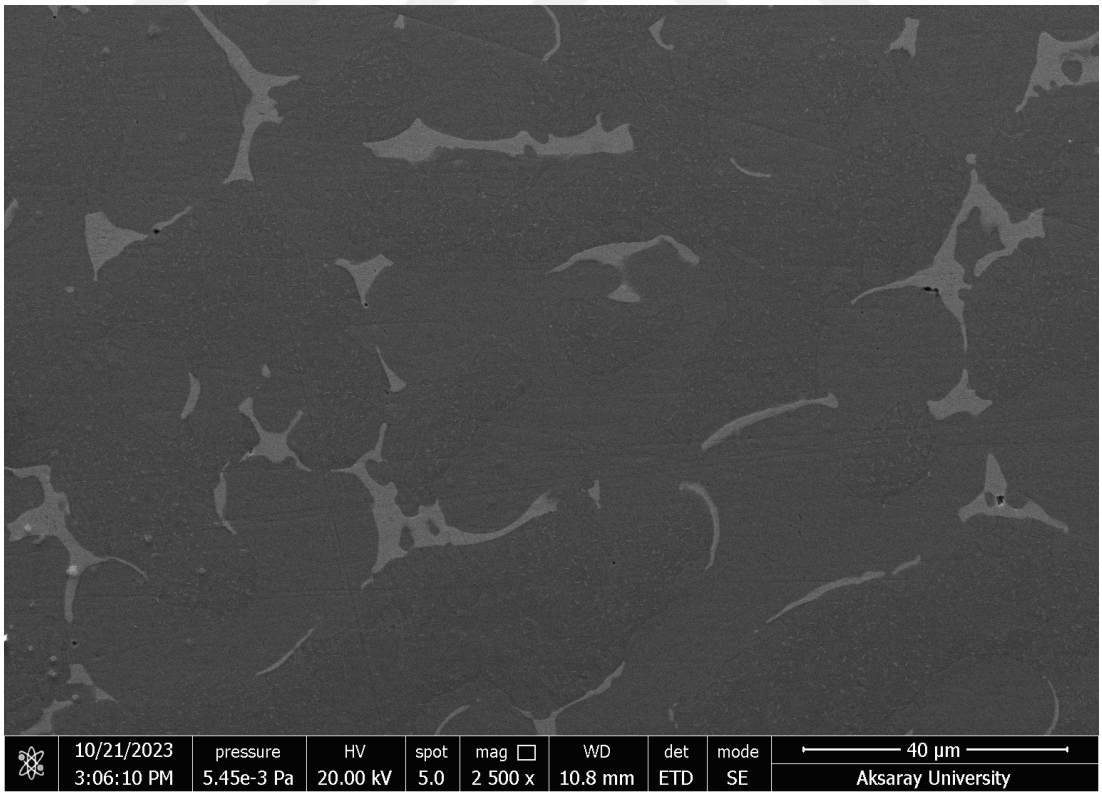
Bulunduğu Yer	Co		Ni		Al		Si		Sb	
	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)
Çökelti Faz Bölgesi (1)	28.11	22.40	42.44	33.94	18.27	31.80	5.88	9.83	5.28	2.04
γ Fazı (2)	39.01	33.85	40.62	35.37	11.11	21.06	4.16	7.58	5.09	2.14
Yüksek Sıcaklık Faz (3)	10.00	13.25	28.24	37.57	3.56	10.30	0.72	2.00	57.49	36.88



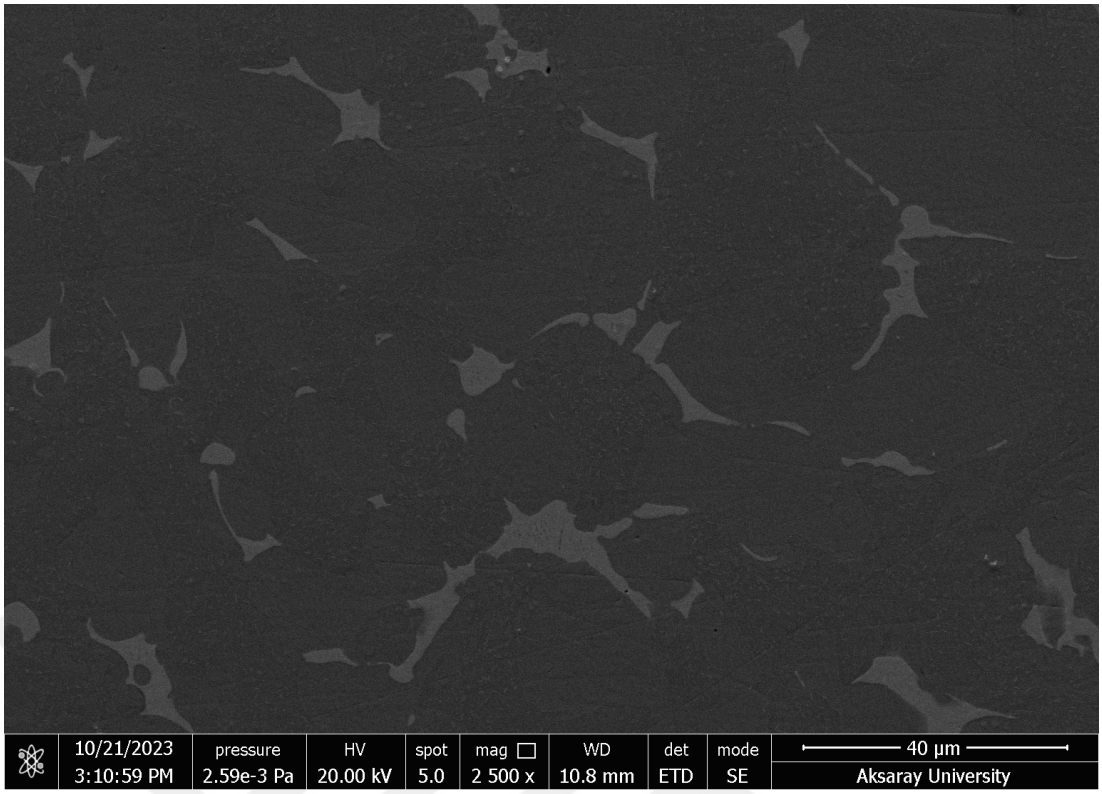
Şekil 5.146. Numune 2D'ye ait morfolojik yapı.



Şekil 5.147. Numune 2D'ye ait morfolojik yapı.

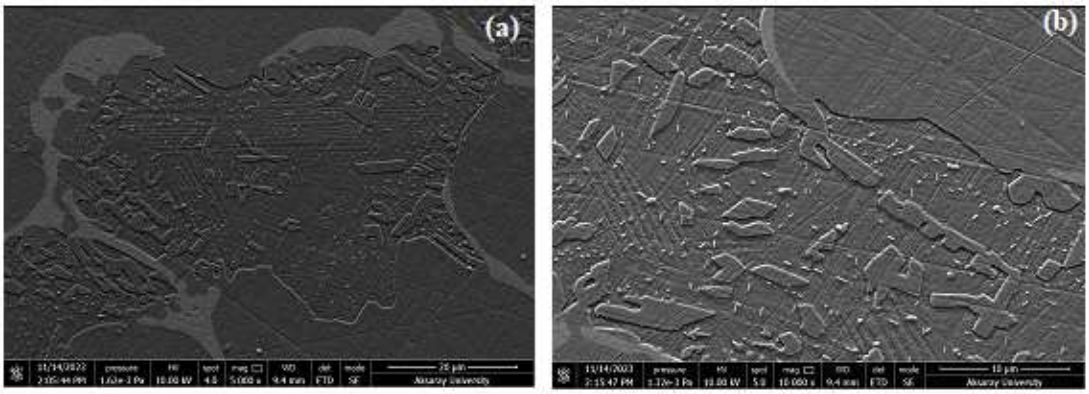


Şekil 5.148. Numune 2E'ye ait morfolojik yapı.



Şekil 5.149. 2E numunesine ait morfoloji.

2F numunesine ait martensit ve sürekli çökelti morfolojisi Şekil 5.150. (a) ve (b)'de verilmiştir. Yapılan morfolojik çalışmalarda ve verilen Şekil 5.150. (a)'da paralel olmayan martensit faz yapıların varlığı söz konusudur. Şekil 5.150. (b)'de β faz bölgelerinin arasında gözlenen martensitik plakaların paralel yönelimlere sahiptir. Şekil 5.150. (a)'da γ faz bölgesi olarak düşünülen alan üzerinde açık renkli yapılar görülmektedir.

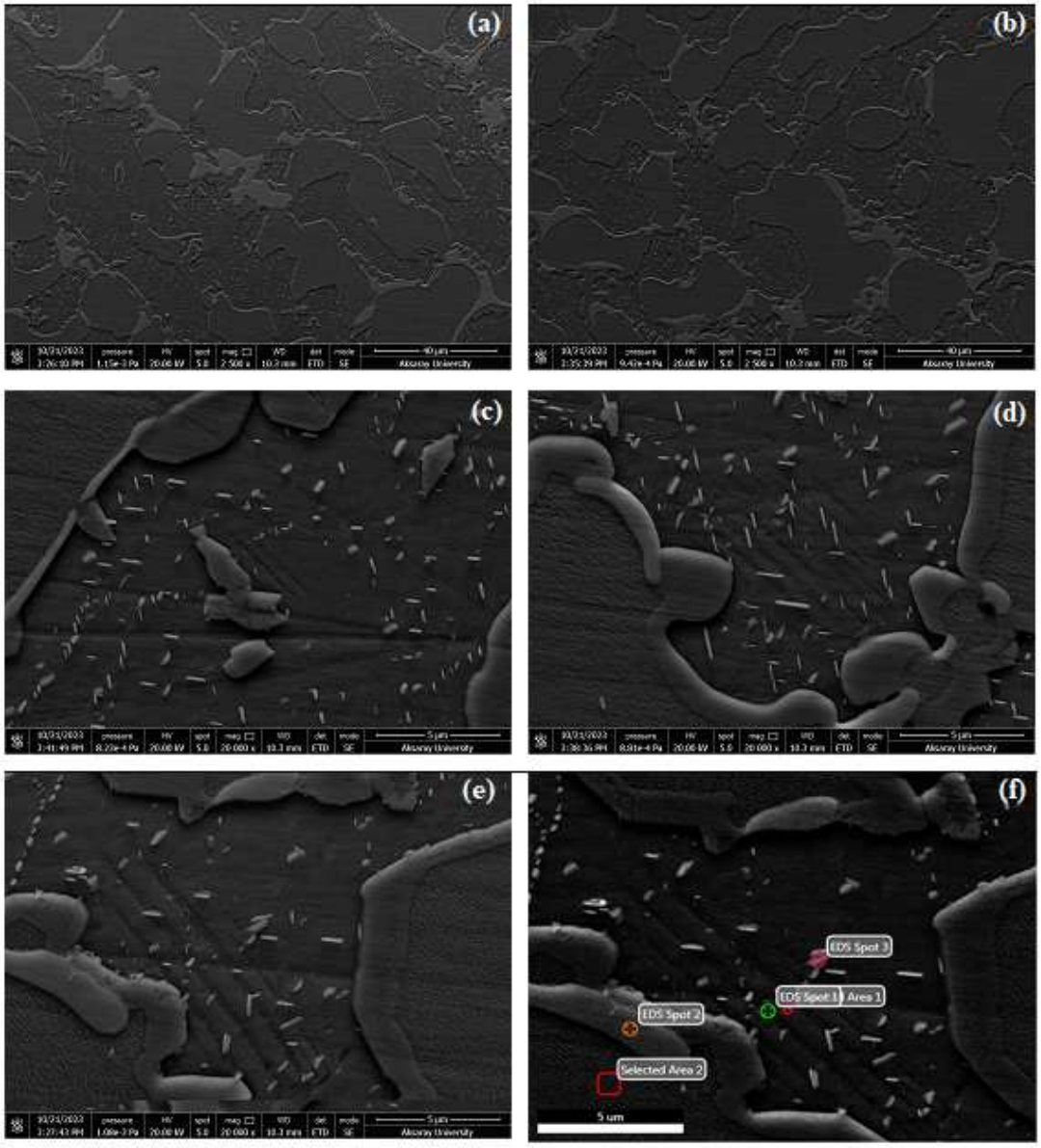


Şekil 5.150. Numune 2F'ye ait morfolojik yapı.

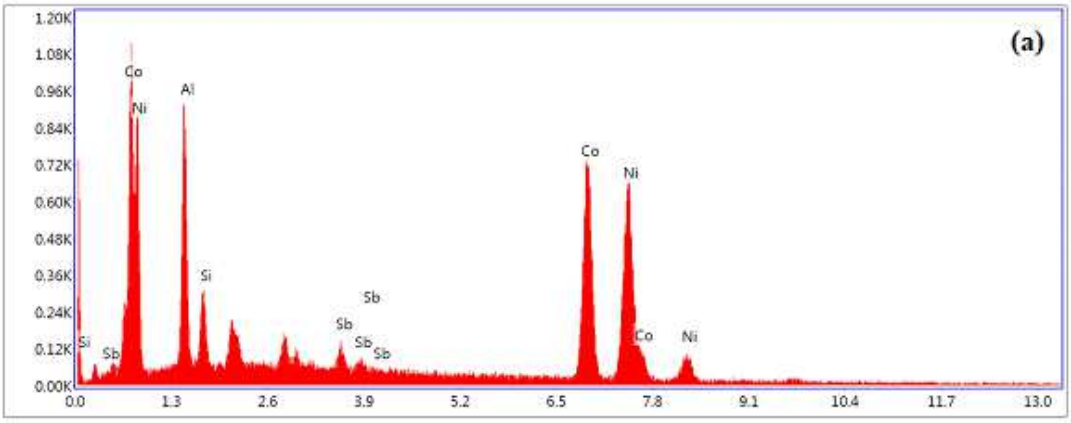
2G numunesine ait mikrograflar Şekil 5.151. (a), (b), (c), (d) ve (e)'de verilmiştir. Şekil 5.151. (f)'de ise EDS görüntüsü verilmiştir. 2G numunesine ait EDS analizleri ise Şekil 5.152. (a), (b), (c), (d), (e) ve (f)'de verilmiştir. Yapılan inceleme ve EDS analiz görüntüsüne göre Şekil 5.151. (d) ve (e)'de mevcut numune mikrografında birbirine paralel martensit plakalar görülmektedir. Martensit plakalar EDS analizine göre Spot 1 olarak isimlendirilen bölgede bulunmaktadır. γ ve β faz bölgeleri mevcuttur. γ faz bölgeleri üzerinde açık renkli alanlar göze çarpmaktadır. β faz bölgesinde çökeltiler mevcuttur. Şekil 5.151. (d)'de tane sınırlarında açık renkli yığıntı şeklinde yapılar bulunmaktadır. Bu yapılar EDS analizine göre EDS Spot 2 olarak isimlendirilen bölgelerdedir.

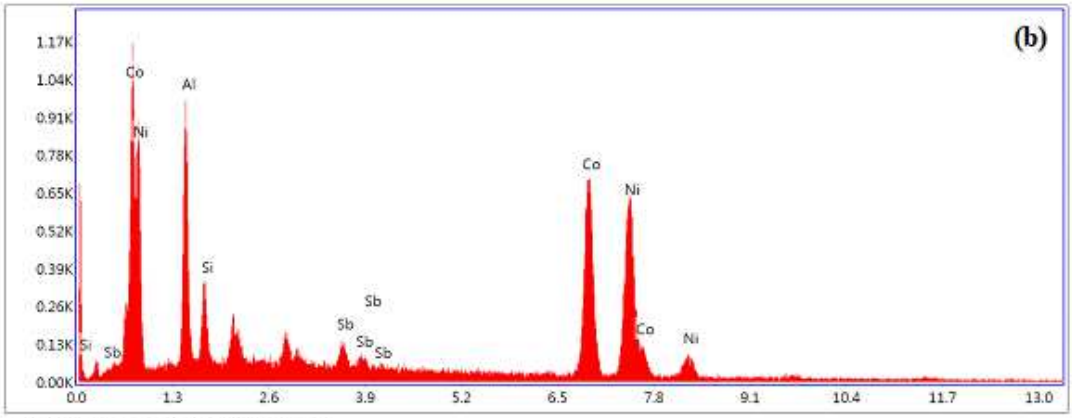
EDX analizlerinden yola çıkarak $Co_{38}Ni_{37}Al_{17}Si_6Sb_2$ alaşımının β ve γ yüksek sıcaklık fazları ile $L1_0$ martensit fazı için kompozisyon içeriği Çizelge 5.21'de sunulmuştur. $Co_{38}Ni_{37}Al_{17}Si_6Sb_2$ alaşımı için $L1_0$ martensit fazı ve çubuk çökelti fazı olarak ifade edilen fazda (seçili alan 1, Spot 1 ve Spot 3), Co ve Ni elementlerinin atom ağırlık oranları dikkate alındığında, bunların birbirine yakın olduğu gözlenmiştir; Aynı durum Spot 2 olarak gösterilen β fazında da Sb ve Co elementleri için de geçerlidir. Seçili alan 2 olarak anılan bölgede Sb bileşeninin oranı diğer elementlerin oranları ile kıyaslandığında çok daha düşüktür.

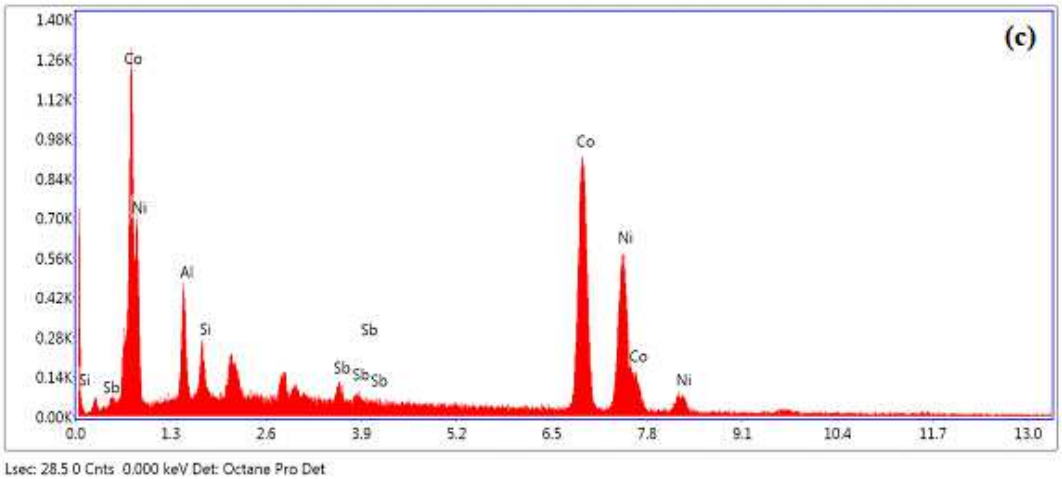
EDS Spot 2 bölgesinde Seçili alan 2 ile kıyaslandığında morfolojisinin daha yüksekte kaldığı görülmektedir. Bu durum bu bölgedeki fazın dağlama asidinin malzemeyi daha az yemesi dolayısıyla Seçili alan 2'deki yüksek sıcaklık fazından daha sert olduğunu düşündürmektedir. Morfoloji bir çökelti görüntüsü vermediğinden ve martensit yapısı izlenimi de vermediğinden bu bölgenin sert ve kırılgan β B2 fazı olduğu tahmin edilmektedir. γ fazının daha yüksek Co konsantrasyonuna sahip olduğu gözlenmiştir.



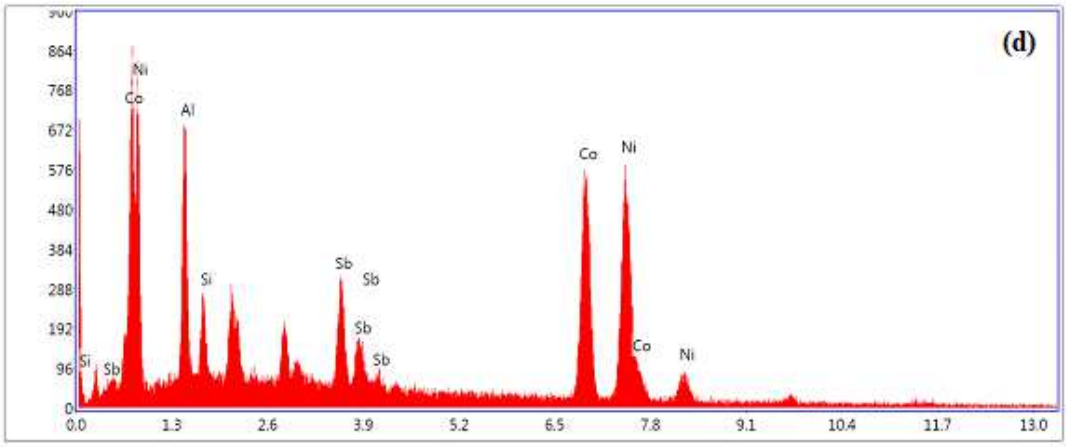
Şekil 5.151. Numune 2G'ye ait morfolojik yapı.

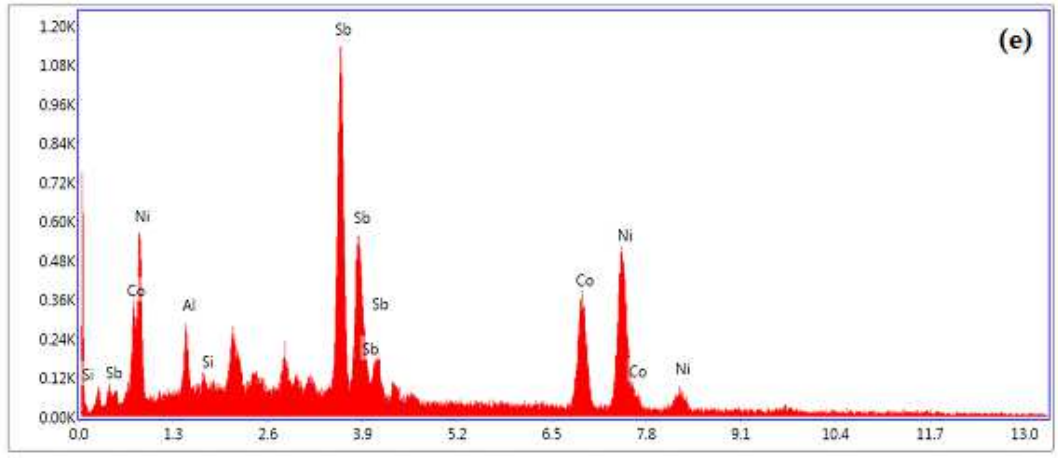


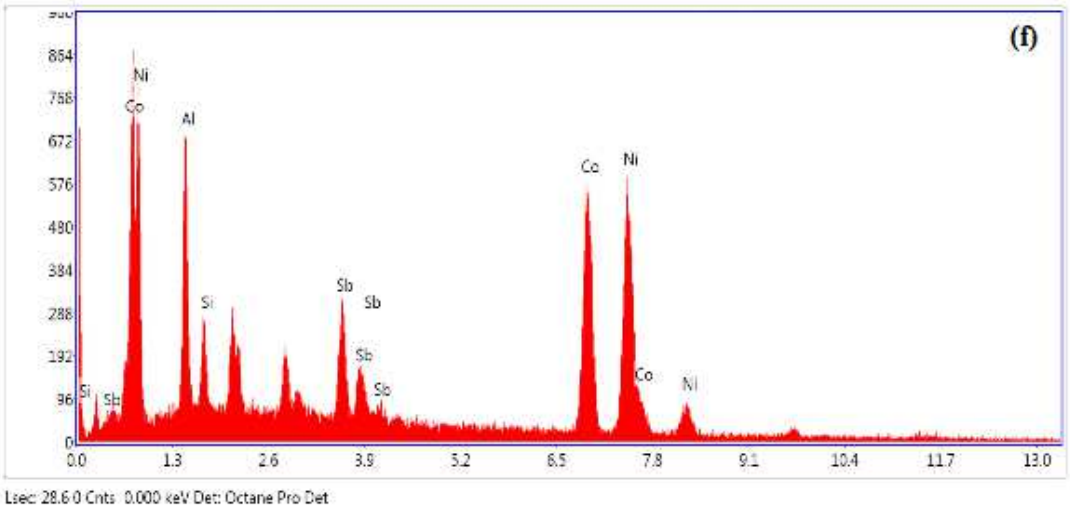




Şekil 5.152. 2G numunesine ait EDS analizi.







Şekil 5.152(Devam). 2G numunesine ait EDS analizi.

Çizelge 5.21. 2G numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 5.151'de gösterilen bölgelere aittir).

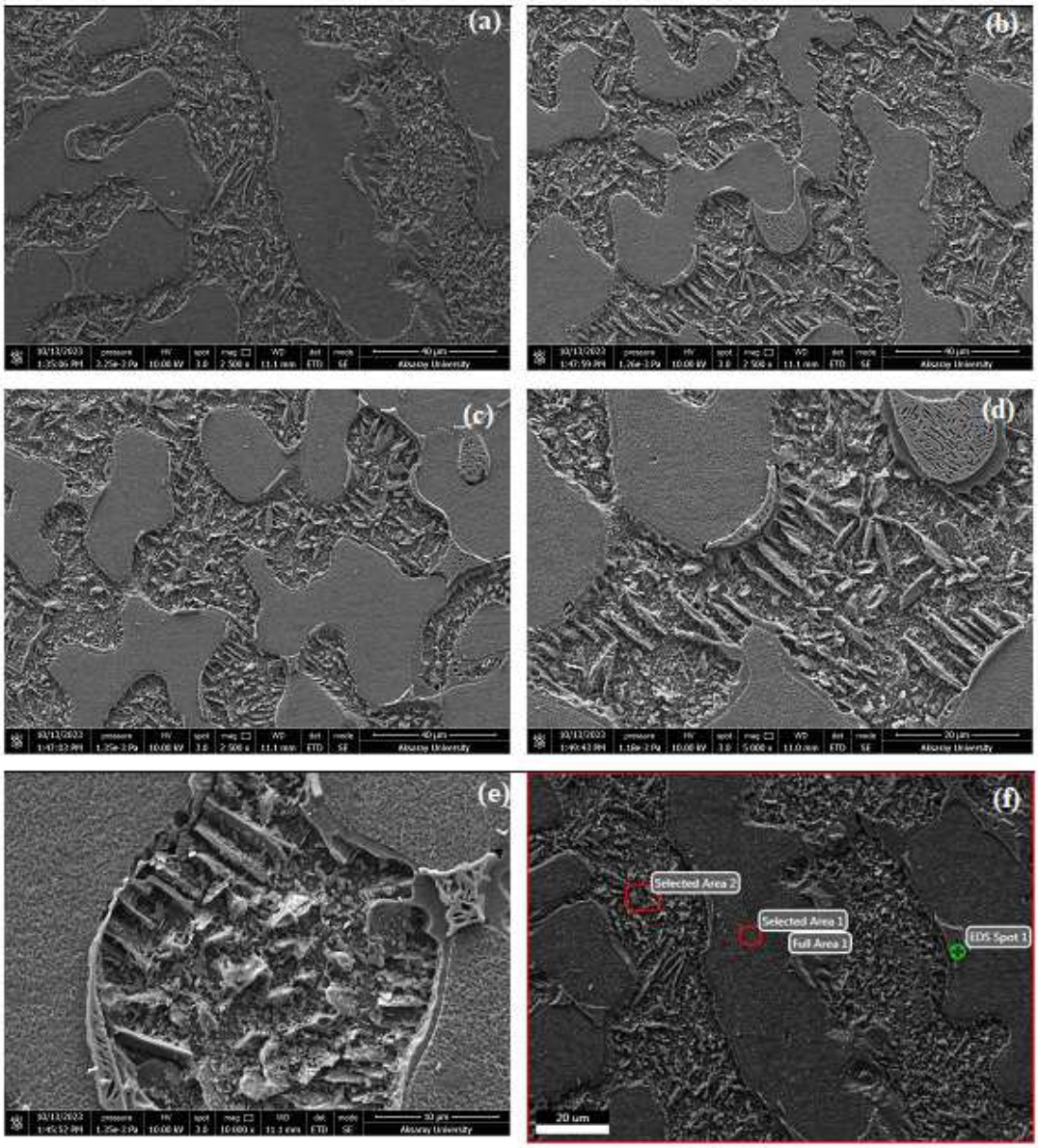
Bulunduğu Yer	Co		Ni		Al		Si		Sb	
	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)
$L1_0$ Fazı (1)	37.66	31.02	40.03	33.09	14.99	26.97	4.52	7.81	2.80	1.12
$L1_0$ Fazı (1)	38.13	31.54	40.49	33.62	14.70	26.56	4.20	7.29	2.49	1.00
γ Fazı (Seçili alan 2)	51.55	46.23	35.87	32.29	7.50	14.69	3.17	5.96	1.91	0.83
β Fazı (Spot 2)	20.40	24.30	32.26	38.57	4.00	10.41	0.90	2.25	42.44	24.47
Çubuk Çökelti (3)	34.17	30.00	38.23	33.69	12.76	24.48	3.91	7.20	10.93	4.64

2H numunesine ait mikrograflar Şekil 5.153. (a), (b), (c), (d) ve (e)'de verilmiştir. Şekil 5.153. (f)'de numuneye ait EDS görüntüsü verilmiştir. Şekil 5.154. (a) ve (b)'de ise EDS analizleri mevcuttur. Şekil 5.153.(d) ve (e), Şekil 5.153. (b)'de verilen morfolojinin orta kısmının büyütülmüş halidir. Yapılan inceleme ve EDS analiz sonuçlarına göre mevcut numune mikrografında γ ve β fazı olarak düşünülen yapılar mevcuttur. β faz bölgesi üzerinde çökeltiler vardır. γ faz bölgesinde ise daha kabarık olarak bulunan yapılar göze çarpmaktadır. Tane sınırlarında çökeltiler görünmektedir. EDS analizine göre çökeltilere seçili alan 2 olarak isimlendirilen bölgeler çökelti fazlarına aittir.

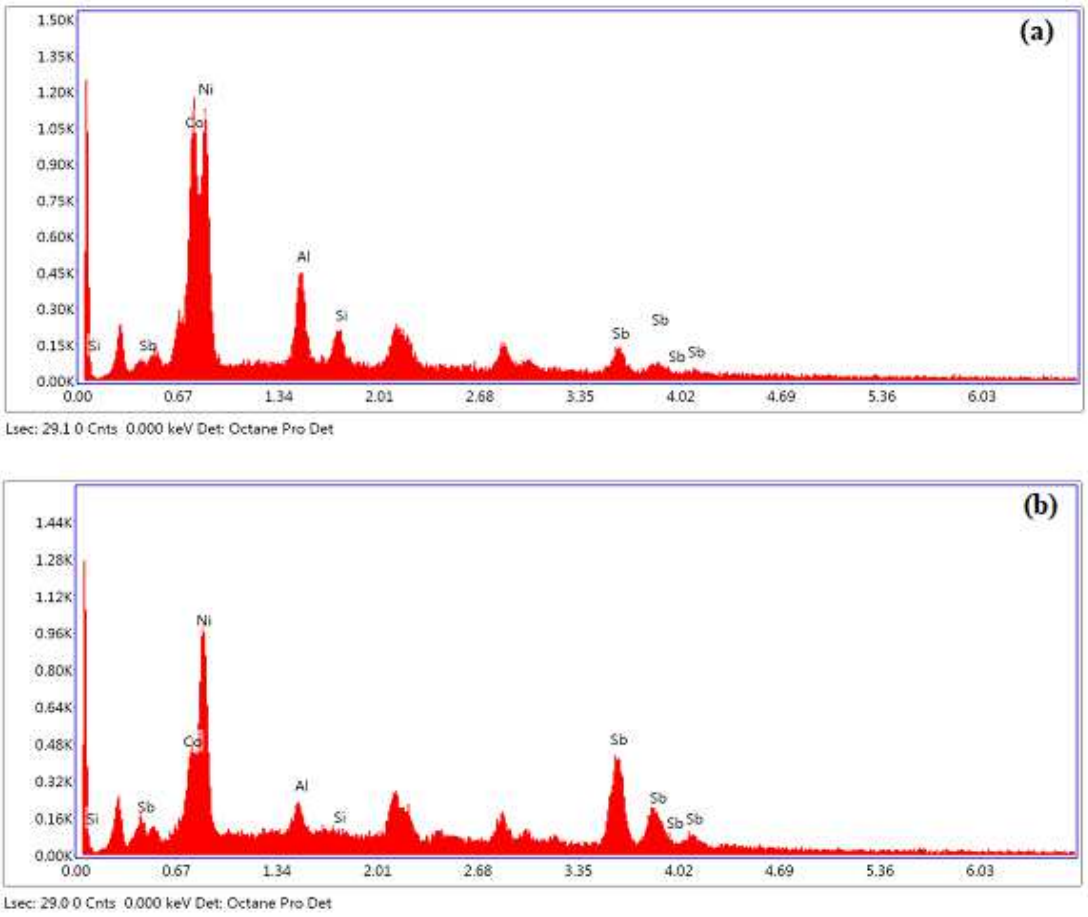
EDX analizlerinden yola çıkarak $Co_{38}Ni_{37}Al_{17}Si_6Sb_2$ alaşımının β yüksek sıcaklık fazı için kompozisyon içeriği Çizelge 5.22'de sunulmuştur. $Co_{38}Ni_{37}Al_{17}Si_6Sb_2$ alaşımı için yüksek sıcaklık fazında (Seçili alan 1), Co ve Ni elementlerinin atom ağırlık oranları dikkate alındığında, bunların birbirine yakın olduğu gözlenmiştir; Aynı durum Seçili alan 2 olarak gösterilen çökelti fazlarında da Al ve Co elementleri için de geçerlidir. Seçili alan 1 olarak anılan bölgede Sb bileşeninin oranı diğer elementlerin oranları ile kıyaslandığında çok daha düşüktür. EDS Spot 1 bölgesinde Seçili alan 1 ile kıyaslandığında morfolojisinin daha yüksekte kaldığı görülmektedir.

Bu durum bu bölgedeki fazın dağlama asidinin malzemeyi daha az yemesi dolayısıyla Seçili alan 1 deki yüksek sıcaklık fazından daha sert olduğunu düşündürmektedir.

Morfoloji bir çökelti görüntüsü vermediğinden ve martensit yapısı izlenimi de vermediğinden bu bölgenin sert ve kırılgan β B2 fazı olduğu tahmin edilmektedir. γ fazının daha yüksek Co konsantrasyonuna sahip olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5.153. 2H numunesine ait morfoloji.



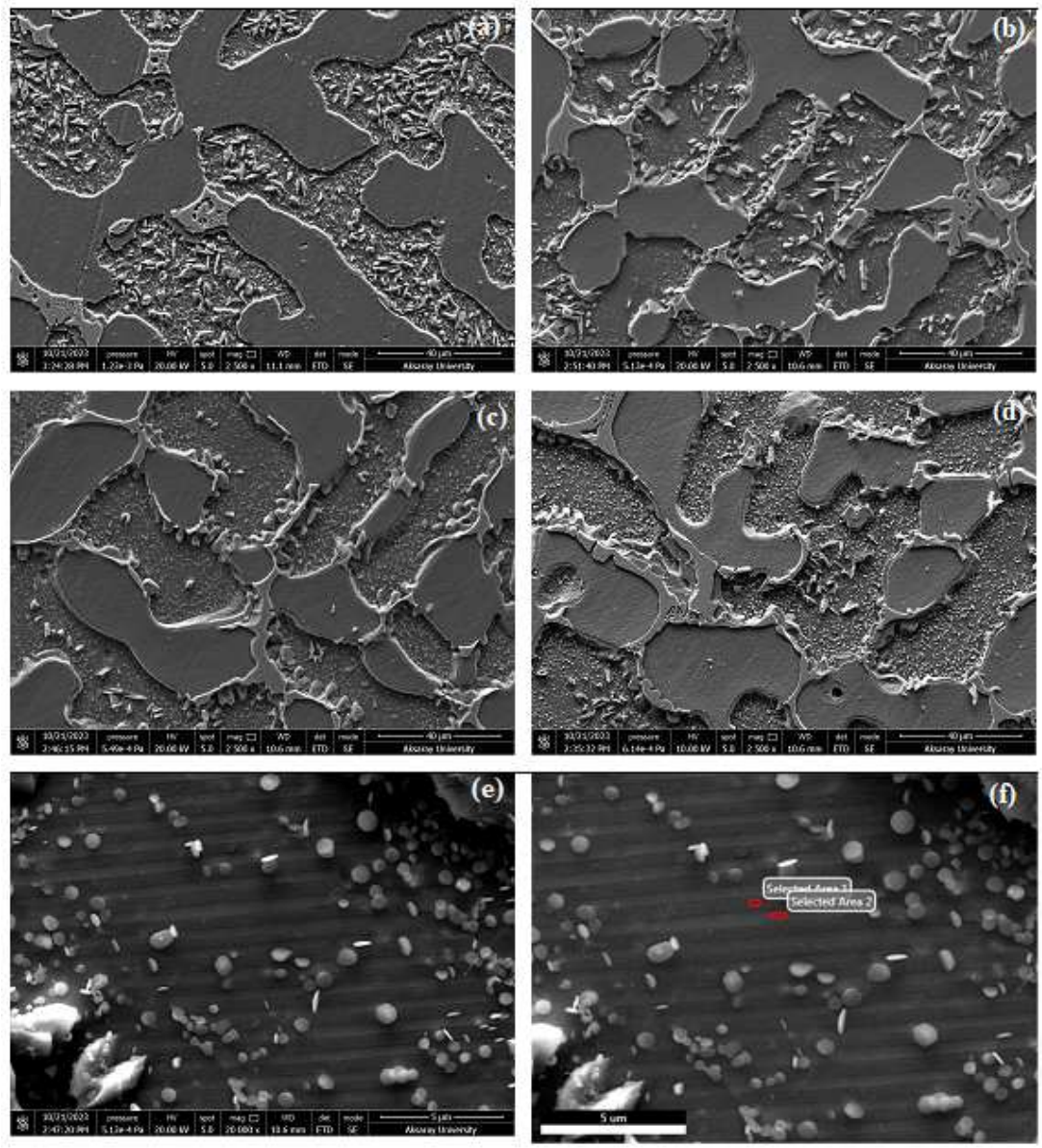
Şekil 5.154. 2H numunesine ait EDS analizi.

Çizelge 5.22. 2H numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 5.153'de gösterilen bölgelere aittir).

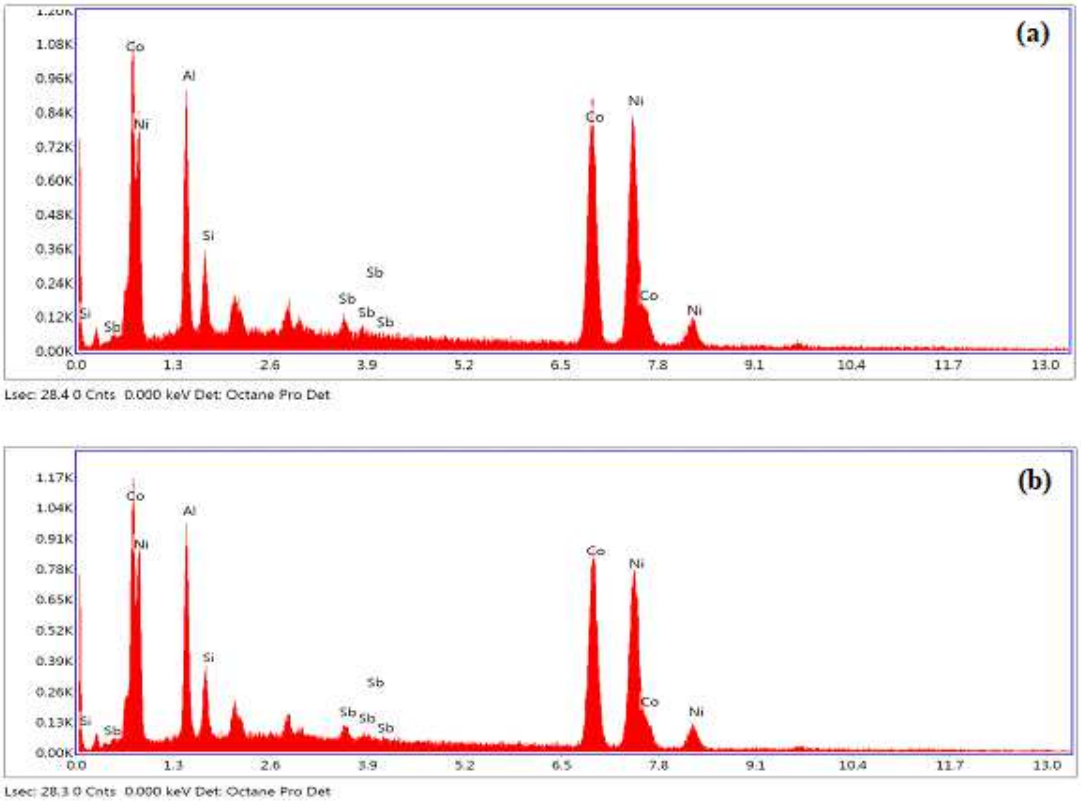
Bulunduğu Yer	Co		Ni		Al		Si		Sb	
	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)
Tüm Alan (1)	29.24	27.54	39.05	36.92	9.58	19.71	3.78	7.46	18,.5	8.36
β Fazı (EDS Spot 1)	8.92	11.80	30.09	39.96	3.11	8.99	1.02	2.84	56.86	36.42
γ Fazı (Seçili alan 1)	37.77	32.88	42.48	37.12	10.27	19.53	4.62	8.43	4.86	2.05
Çökelti Fazları (Seçili alan 2)	21.80	21.75	37.50	37.55	9.72	21.19	2.82	5.91	28.16	13.60

2K numunesine ait mikrograflar Şekil 5.155. (a), (b), (c), (d) ve (e)'de verilmiştir. Şekil 5.155. (f)'de ve 5.157'de EDS görüntüsü verilmiştir. 2K numunesine ait EDS analizleri ise Şekil 5.156. (a) ve (b)'de ve 5.158. (a), (b), (c) ve (d)'de verilmiştir.

Yapılan inceleme ve EDS analiz sonuçlarına göre mevcut numune mikrogralarında farklı yapılara rastlanılmıştır. γ faz bölgesi olarak düşünülen alanlarda daha sert olduğu düşünülen ve daha açık renkli yapılar mevcuttur. Şekil 5.155. (e) ve EDS analiz görüntüsü incelendiğinde martensit yapılar görülecektir. Birbirine paralel olarak bulunan martensit plakalar seçili alan 1 ve seçili alan 2 olarak isimlendirilen bölgelerdedir. Şekil 5.155. (d)'deki morfolojiye göre β fazı olarak düşünülen bölgede kabartı şeklinde yapılar bulunmaktadır.



Şekil 5.155. 2K numunesine ait morfoloji.

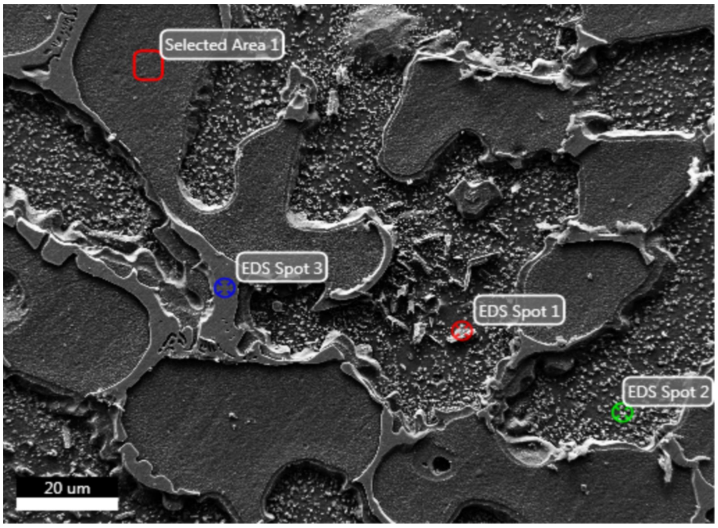


Şekil 5.156. 2K numunesine ait EDS analizi.

EDX analizlerinden önce ve sonra $Co_{38}Ni_{37}Al_{17}Si_6Sb_2$ alaşımının $L1_0$ fazı için kompozisyon içeriği Çizelge 5.23'de sunulmuştur. $Co_{38}Ni_{37}Al_{17}Si_6Sb_2$ alaşımı için, Ni elementinin hem atom ağırlığı hem de ağırlıkça yüzdesi dikkate alındığında, bunların Co elementinin oranları ile birbirine çok yakın olduğu gözlenmiştir; Ancak Sb elementi için bu değerler malzemenin genel bileşimden daha düşüktür. (Co:Ni:Al+Si+Sb yaklaşık olarak 1:1:1 olduğu anlaşılmaktadır).

Çizelge 5.23. 2K numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 5.155. (f)'de gösterilen bölgelere aittir).

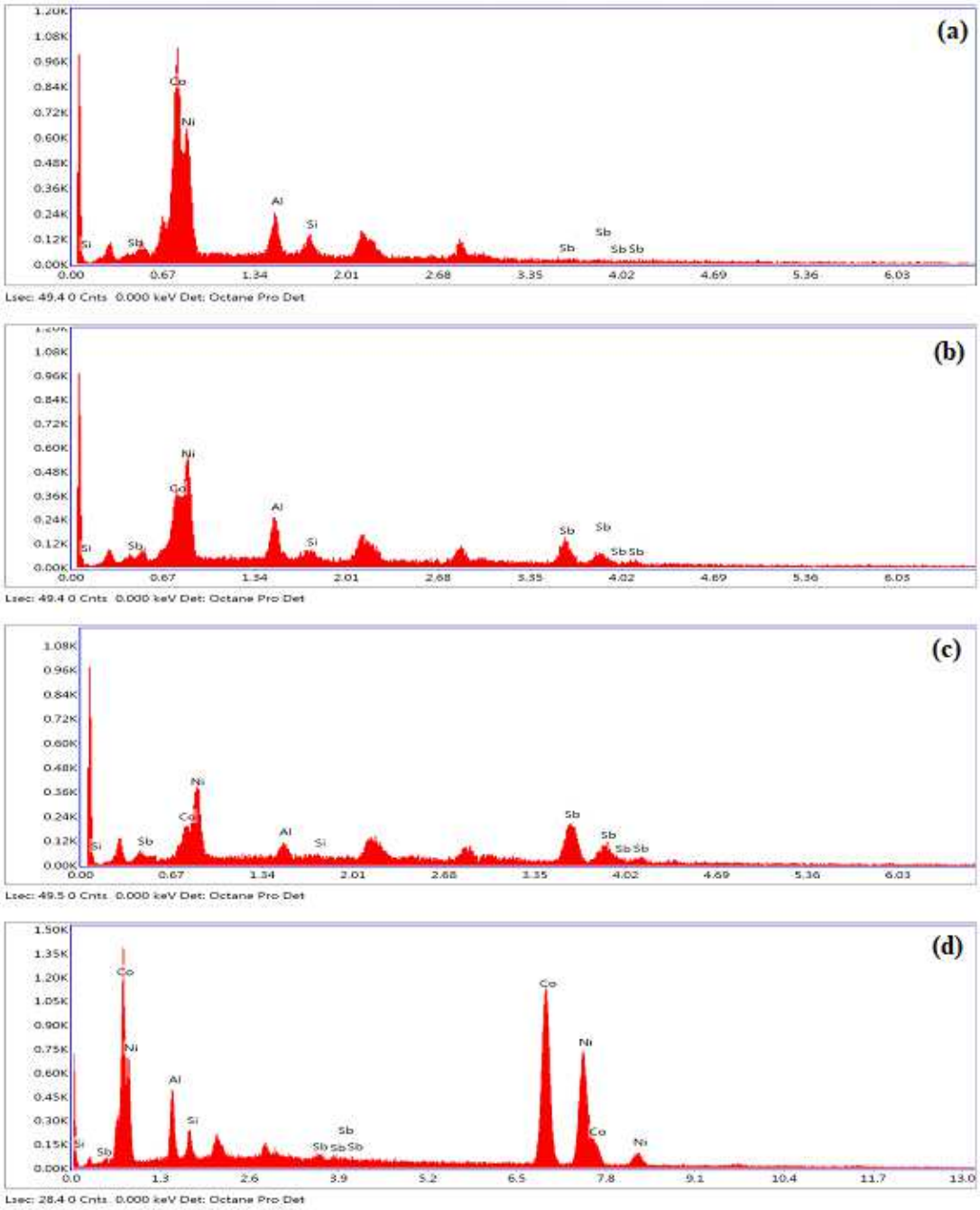
Bulunduğu Yer	Co		Ni		Al		Si		Sb	
	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)
$L1_0$ Fazı (Seçili alan 1)	40.27	34.38	43.63	37.39	11,.9	22.35	3.04	5.45	1.07	0.44
$L1_0$ Fazı (Seçili alan 2)	39.74	33.71	43.38	36.93	12.49	23.13	3.24	5.76	1.15	0.47



Şekil 5.157. 2K numunesine ait EDS görüntüsü.

EDX analizlerinden yola çıkarak $Co_{38}Ni_{37}Al_{17}Si_6Sb_2$ alaşımının γ' çökelti fazı ve γ yüksek sıcaklık fazı için kompozisyon içerikleri Çizelge 5.24'de sunulmuştur. $Co_{38}Ni_{37}Al_{17}Si_6Sb_2$ alaşımı için γ' çökelti fazında, Co ve Ni elementlerinin atom ağırlık oranları dikkate alındığında, bunların birbirine çok yakın olduğu gözlenmiştir. Aynı durum Spot 2 olarak gösterilen çökelti fazında da Al ve Sb elementleri için de geçerlidir. Spot 3 olarak anılan bölgede Al bileşeninin oranı diğer elementlerin oranları ile kıyaslandığında çok daha düşüktür. Dikkat çekici olan ise bu bölgede hiç Si bileşen tespit edilmemekle birlikte Sb içeriği ise çok yüksek çıkmıştır. Bu bölge seçili alan 1 ile kıyaslandığında morfolojisinin daha yüksekte kaldığı düz bir satıh olarak görülmektedir.

Bu durum bu bölgedeki fazın dağlama asidinin malzemeyi daha az yemesi dolayısıyla seçili alan 1 deki γ yüksek sıcaklık fazından daha sert olduğunu düşündürmektedir. Morfoloji bir çökelti görüntüsü vermediğinden ve martensit yapısı izlenimi de vermediğinden bu bölgenin sert ve kırılgan β B2 fazı olduğu tahmin edilmektedir. γ fazının daha yüksek Co konsantrasyonuna sahip olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5.158. 2K numunesine ait EDS analizi.

Çizelge 5.24. 2K numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 5.157'de gösterilen bölgelere aittir).

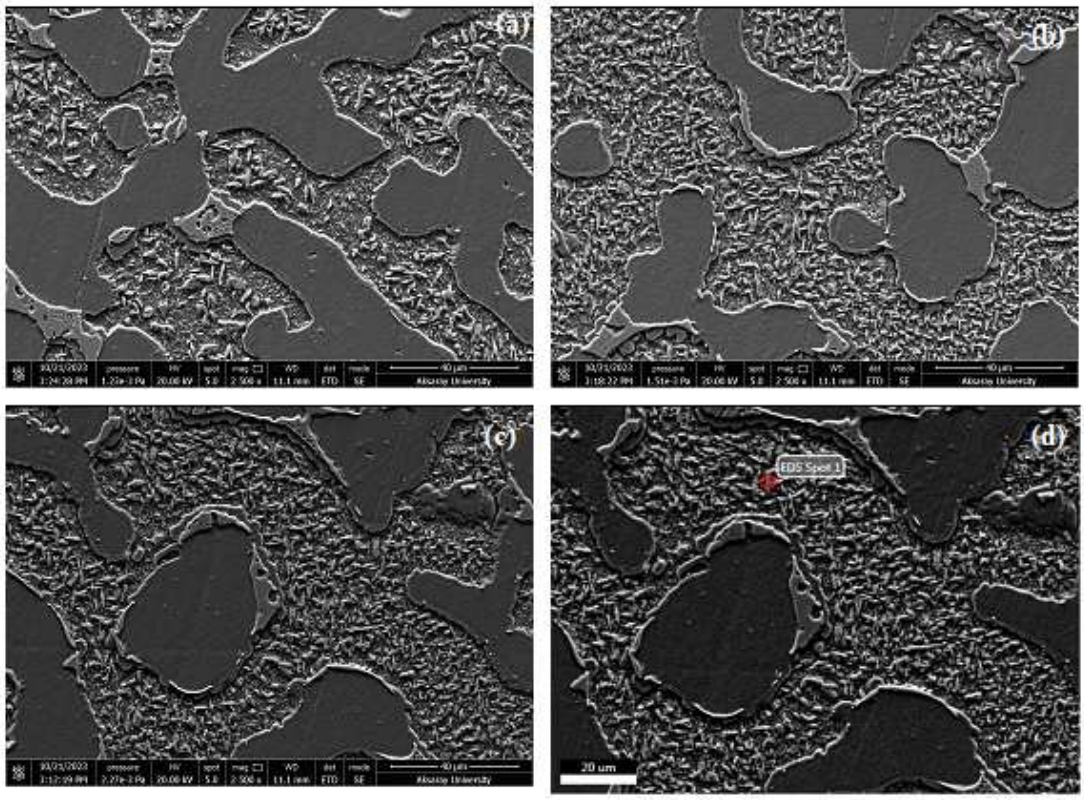
Bulunduğu Yer	Co		Ni		Al		Si		Sb	
	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)
γ' Çökelti Fazı (Spot 1)	44.23	38.72	40.18	35.30	8.48	16.21	4.78	8.78	2.34	0.99
Çökelti Fazı (Spot 2)	17.54	18.40	34.39	36.22	9.04	20.71	2.86	6.29	36,.8	18.38
β Fazı (Spot 3)	6.60	9.68	28.09	41.35	1.05	3.35	0.00	0.00	64.26	45.62
γ Fazı (seçili alan 1)	53.49	49.05	38.25	35.21	6.29	12.59	1.54	2.96	0.43	0.19

2J numunesine ait mikrograflar Şekil 5.159. (a), (b) ve (c)'de verilmiştir. Şekil 5.159. (d)'de EDS görüntüsü verilmiştir. Şekil 5.160'da EDS analizi verilmiştir. Yapılan inceleme ve EDS analiz sonuçlarına göre mevcut numune mikrografında martensit yapılara rastlanmamıştır. Yüksek sıcaklık fazları mevcuttur. γ fazı olarak düşünülen bölgede açık renkli ve daha sert olduğu düşünülen yapılar bulunmaktadır. Yine γ fazı bölgesinin tane sınırlarında açık renkli çökelti şeklinde yapılar mevcuttur. EDS analizine göre Spot 1 olarak isimlendirilen bölgelerde çökeltilere rastlanmıştır.

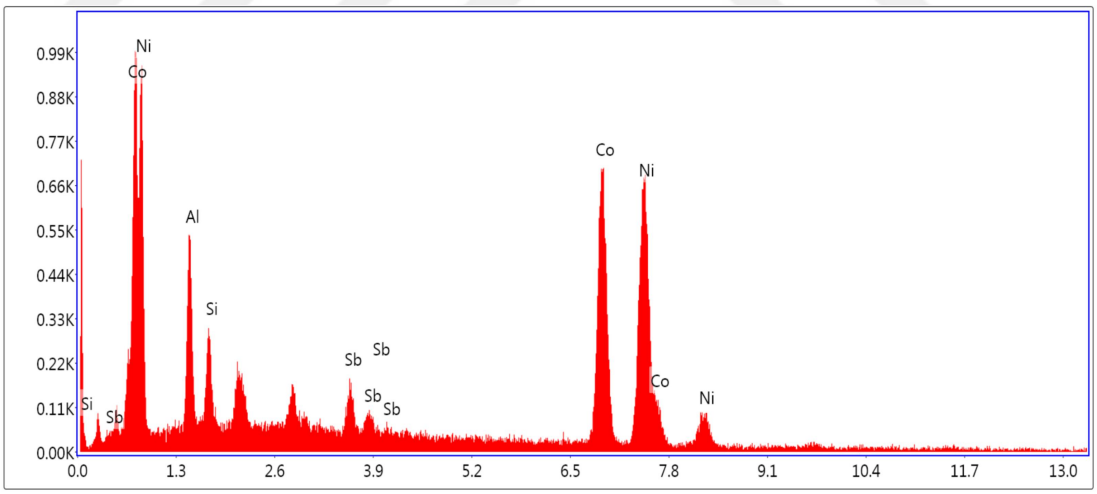
EDX analizlerinden önce ve sonra $Co_{38}Ni_{37}Al_{17}Si_6Sb_2$ alaşımının γ' çökelti fazı için kompozisyon içeriği Çizelge 5.25'de sunulmuştur.

Çizelge 5.25. 2J numunesine ait EDS analizi (Parantez içinde verilen rakamlar Şekil 5.159. (d)'de gösterilen bölgelere aittir).

Bulunduğu Yer	Co		Ni		Al		Si		Sb	
	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)	(wt%)	(at%)
γ' Çökelti Fazı (1)	38.25	33.65	44.04	38.88	9.41	18.08	4.12	7.61	4.17	1.78



Şekil 5.159. 2J numunesine ait morfoloji.

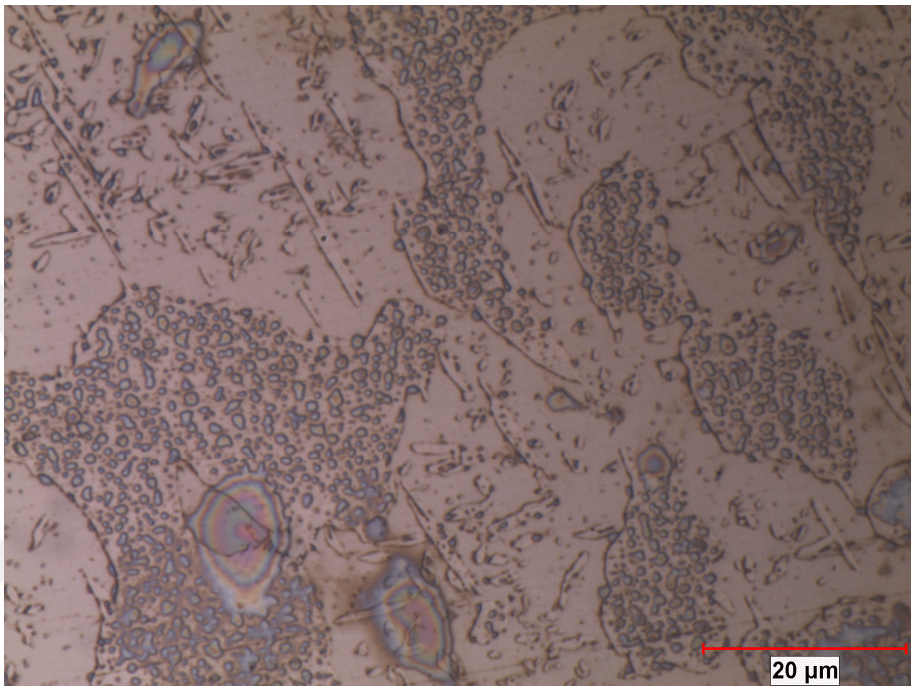


Şekil 5.160. 2J numunesine ait EDS görüntüsü.

5.5 Optik Mikroskop Gözlem Sonuçları

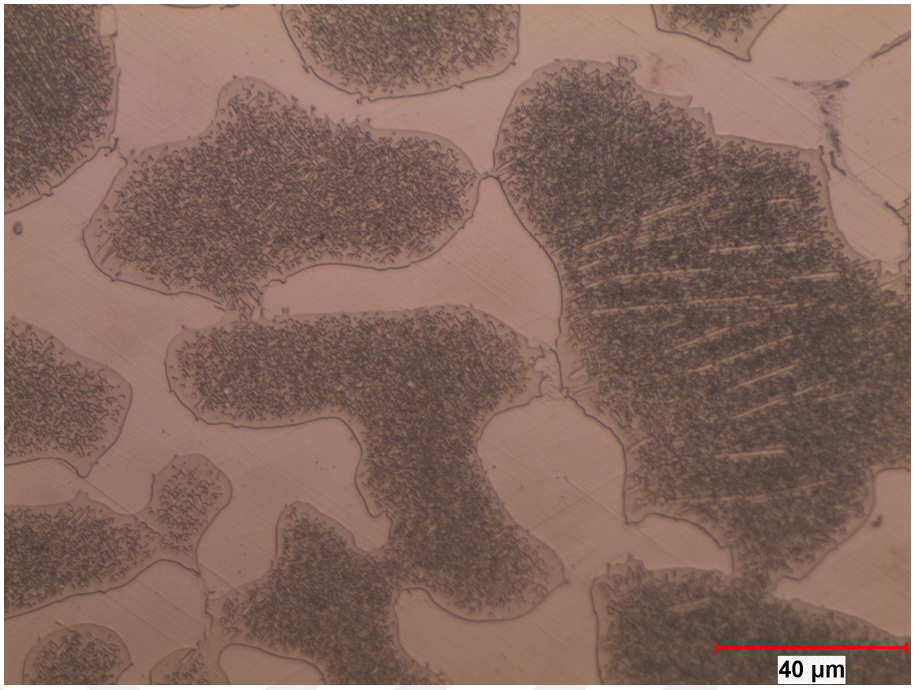
5.5.1 Alaşım 1'e Ait Optik Gözlem Sonuçları

Şekil 5.161, $Co_{38}Ni_{35}Al_{20}Si_6Mo_1$ alaşımının 1A numunesine ait optik mikrografı göstermektedir. Şekil 5.161 görüntüsüne baktığımızda oluşan dendritik yapılar içerisinde ve dışında martensit plakalar görülmemektedir.



Şekil 5.161. Numune 1A'ya ait fazlar.

Şekil 5.162, 1B numunesine ait morfolojiyi göstermektedir. 1B numunesi 250 °C de 2 saat ısıl işleme tabi tutulmuştur. 1B numunesi (Şekil 5.162) dendrit yapılar içerisinde özellikle şeklin sağ orta kısmında martensit plakalar ve genel yapı içerisinde ise çökelti fazları net bir şekilde gözlenmektedir.

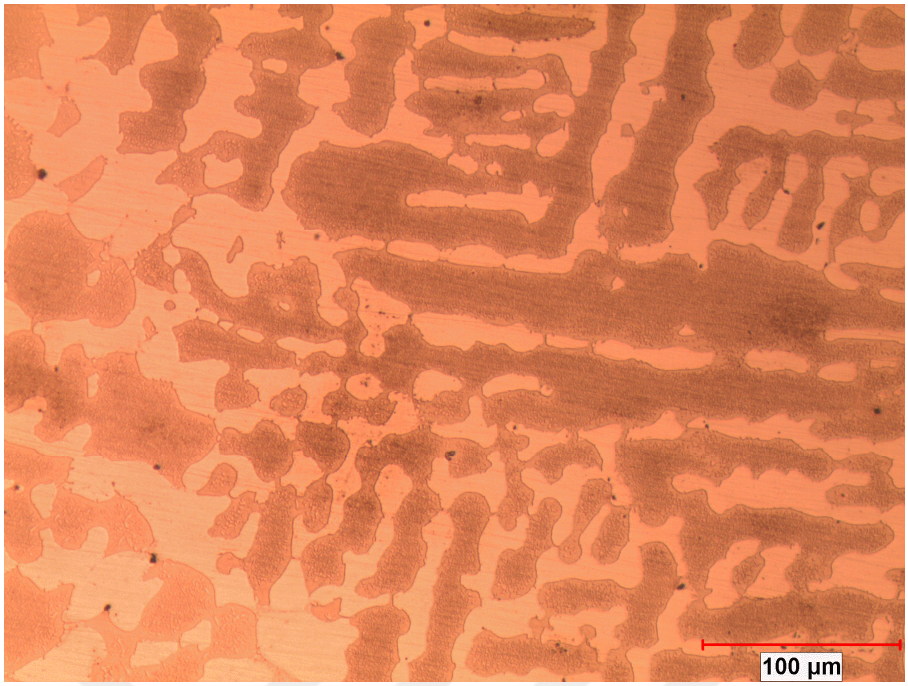


Şekil 5.162. Numune 1B'ye ait fazlar.

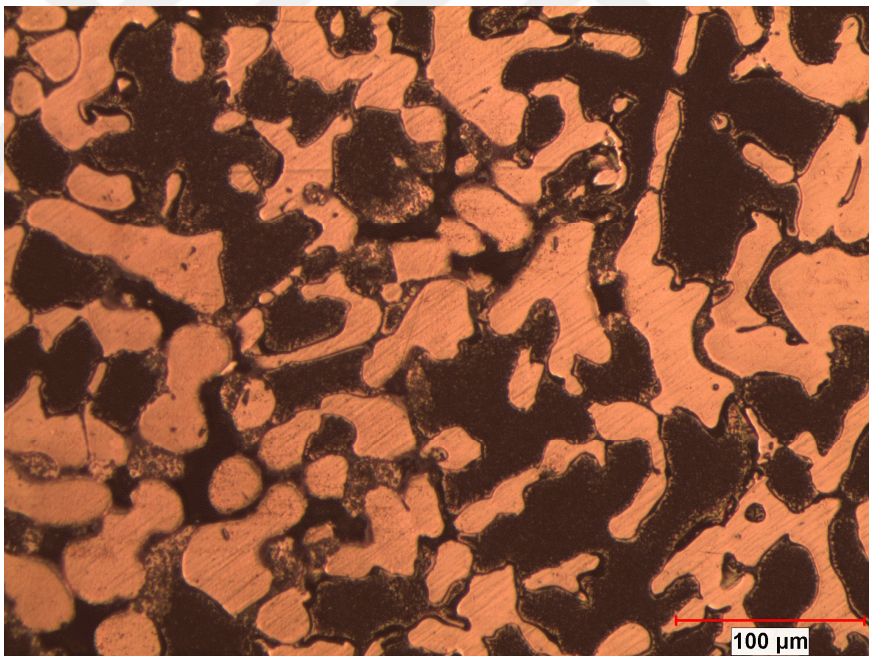
Şekil 5.163, 1C numunesine ait morfolojiyi göstermektedir. 1A ve 1B numunelerinde olduğu gibi bu numune de dendritik yapılar ihtiva etmektedir. Şekil 5.163. incelendiğinde dendritik yapıların sağ üst kısmı daha koyu renklidir. Şeklin sol orta kısmında ise açık renkli dendritik yapılar mevcuttur. Bu dendritik yapılar üzerinde çökeltiler bulunmaktadır.

Şekil 5.164, 1D numunesine ait morfolojiyi göstermektedir. 1D numunesi Çizelge 4.2'de belirtildiği gibi 250 °C de 4 saatlik ısıl işleme tabi tutulmuş olan numunedir. Bu numune incelendiğinde Şekil 5.164'de genel yapı kaba olmayan fakat koyu renkli dendritlerden oluşmaktadır. Dendritik yapılar üzerinde ve özellikle dendrit sınırlarında çökeltiler oluşmuştur.

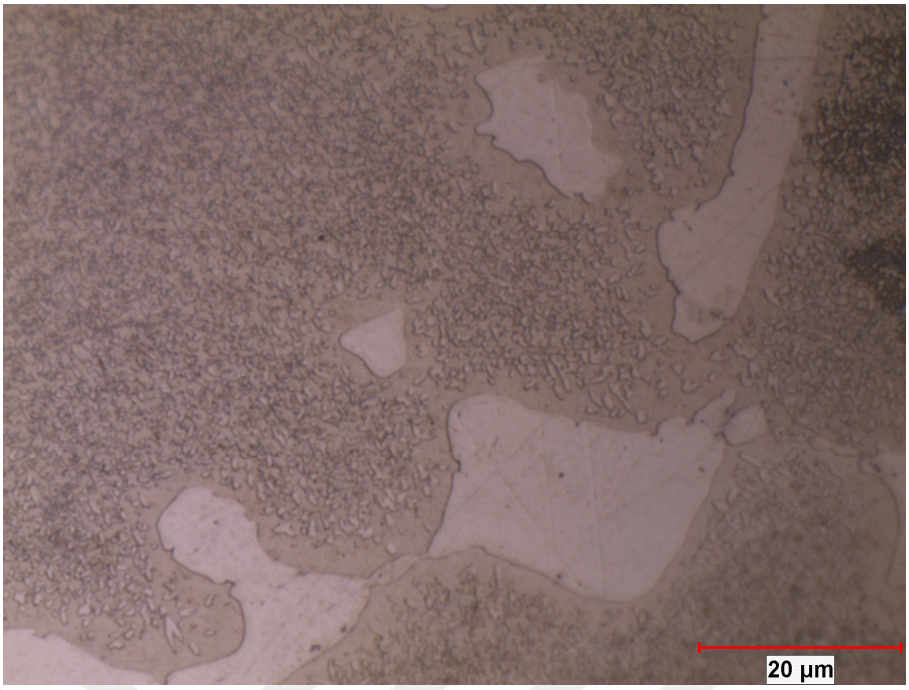
Şekil 5.165, 1E numunesine ait morfolojiyi göstermektedir. Bu numunede kaba dendritik yapılar geniş yer kaplamaktadır. Dendritler üzerinde çökeltiler mevcuttur. çökeltiler geniş bir yer kaplamaktadır.



Şekil 5.163. Numune 1C'ye ait fazlar.



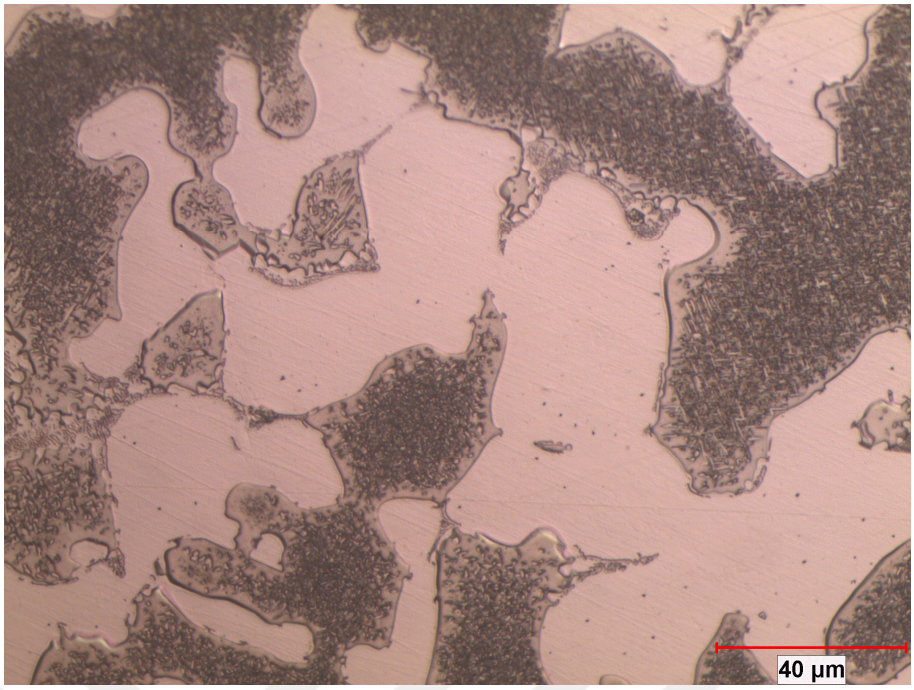
Şekil 5.164. Numune 1D'ye ait fazlar.



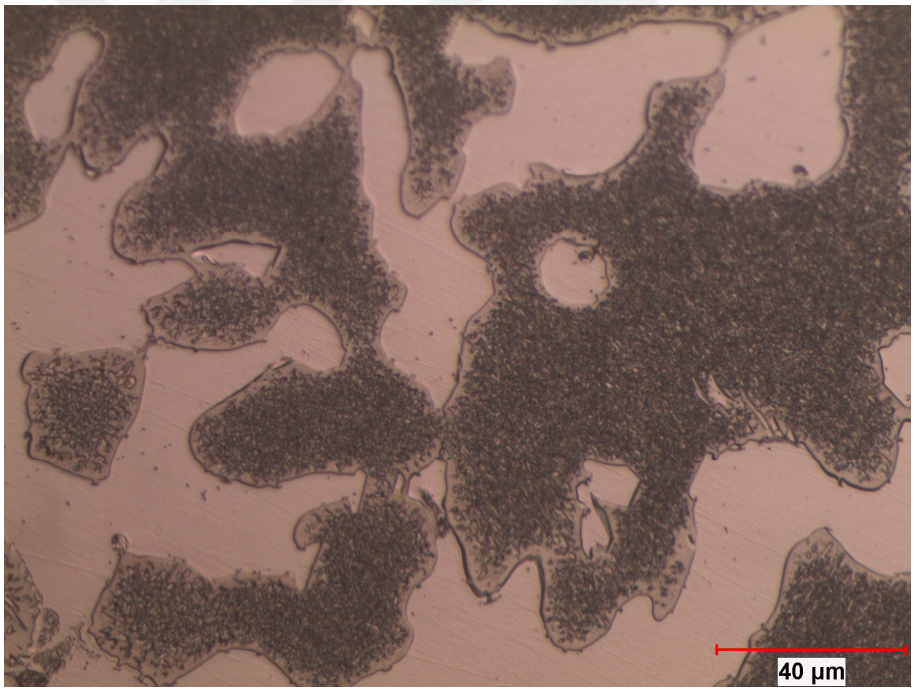
Şekil 5.165. Numune 1E'ye ait fazlar.

Şekil 5.166, Şekil 5.167, Şekil 5.168 ve Şekil 5.169 1F numunesine ait mikrografı göstermektedir. Şekiller genel olarak dendritik yapılardan ve bu dendritler üzerinde oluşmuş çökeltilerden meydana gelmiştir. Şekil 5.166'da dendritik yapının sağ üst kısmına bakıldığında dendrit sınırlarında çökeltiler görülmektedir. Ayrıca şekil 5.169' da aynı yapının büyütülmüş hali olmasından kaynaklı olarak şeklin sol üst kısmında aynı çökelti gözlenmektedir.

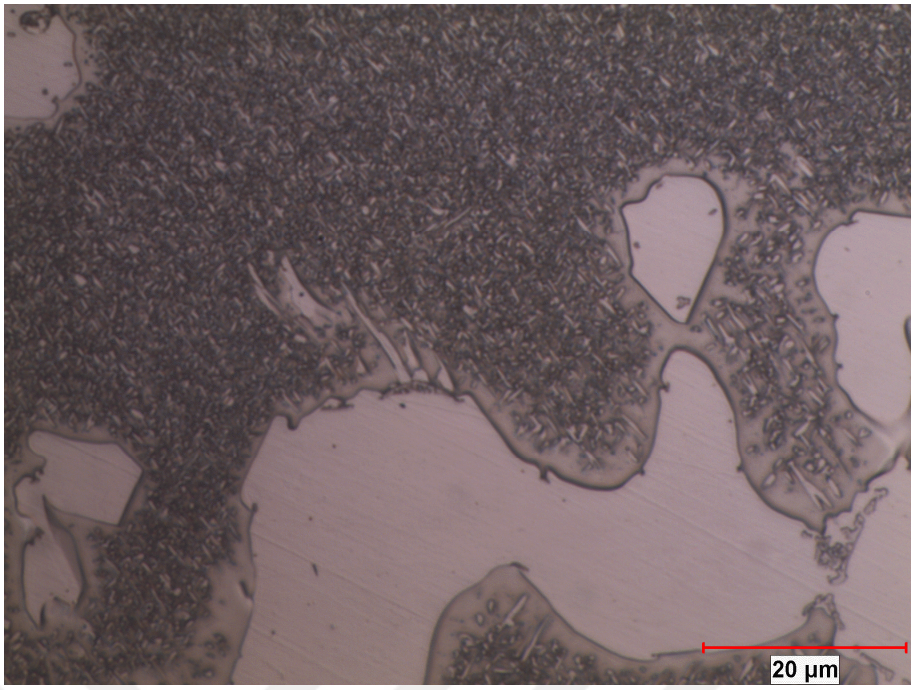
Şekil 5.170, Şekil 5.171, Şekil 5.172, Şekil 5.173 ve Şekil 5.174 1G numunesine ait mikrografı göstermektedir. Şekil 5.170 genel olarak kaba dendritik yapılardan ve bu dendritler üzerinde oluşmuş çökeltilerden meydana gelmiştir. Şekil 5.171'in sağ üst kısmında dendritler az yer kaplamaktadır. Dendritik yapılar diğer bölgelerde yoğunlaşmıştır. Şekil 5.173 ve Şekil 5.174'de dendritik yapılar geniş yer kaplamaktadır.



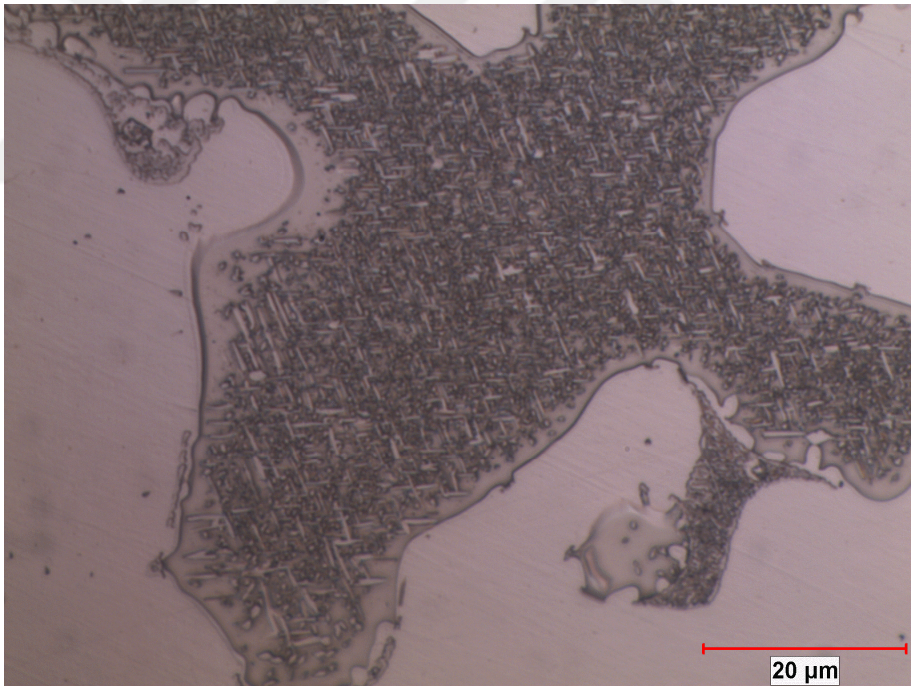
Şekil 5.166. Numune 1F'ye ait fazlar.



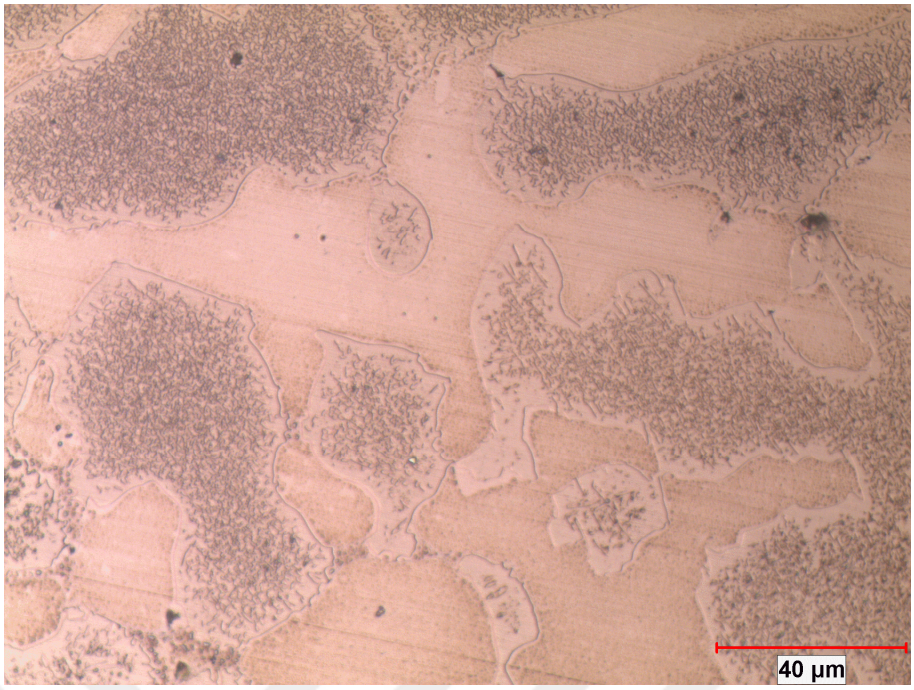
Şekil 5.167. Numune 1F'ye ait fazlar.



Şekil 5.168. Numune 1F'ye ait fazlar.



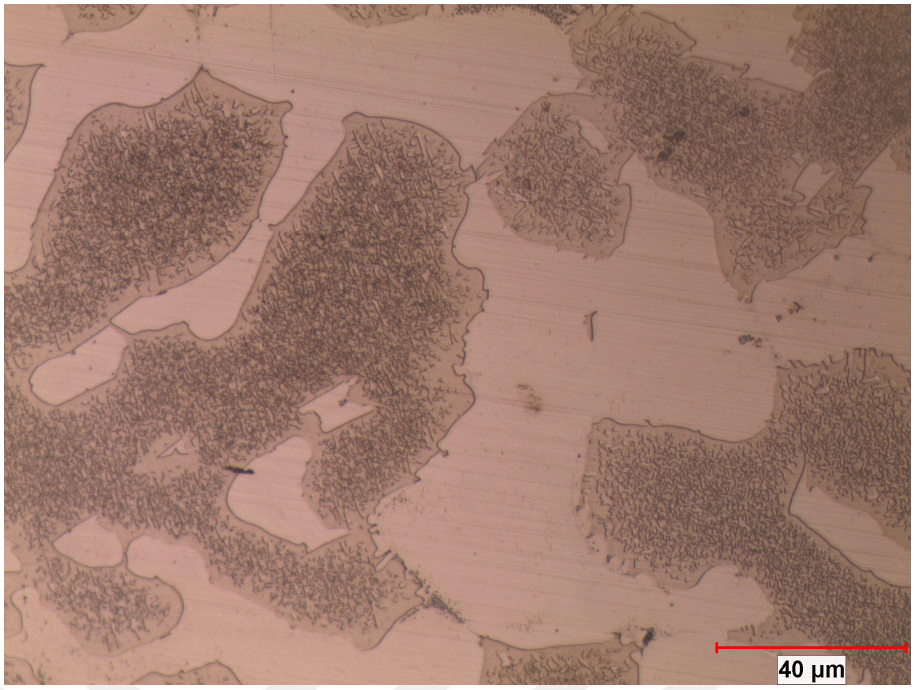
Şekil 5.169. Numune 1F'ye ait fazlar.



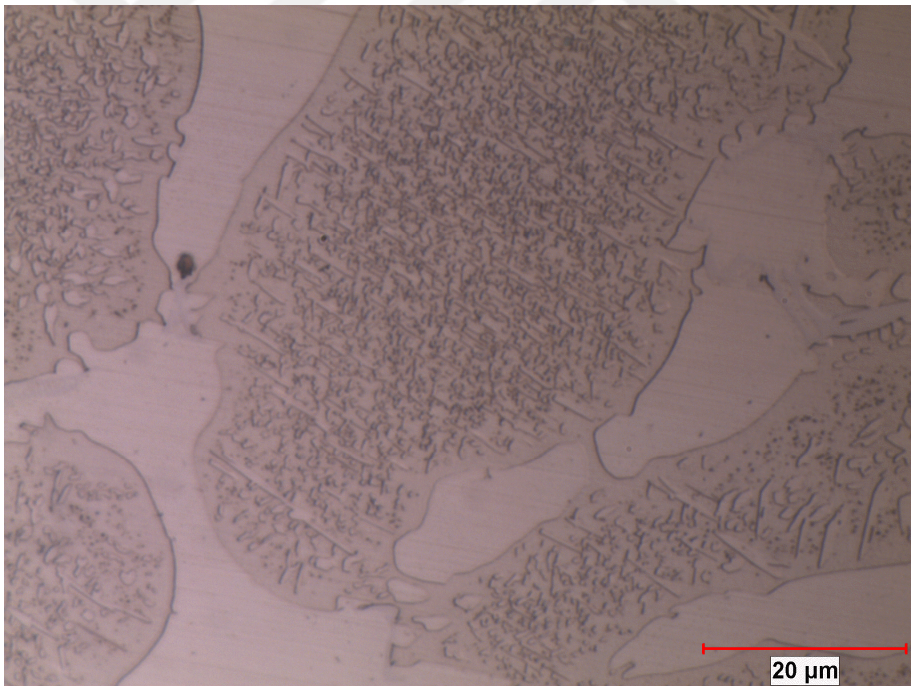
Şekil 5.170. Numune 1G'ye ait fazlar.



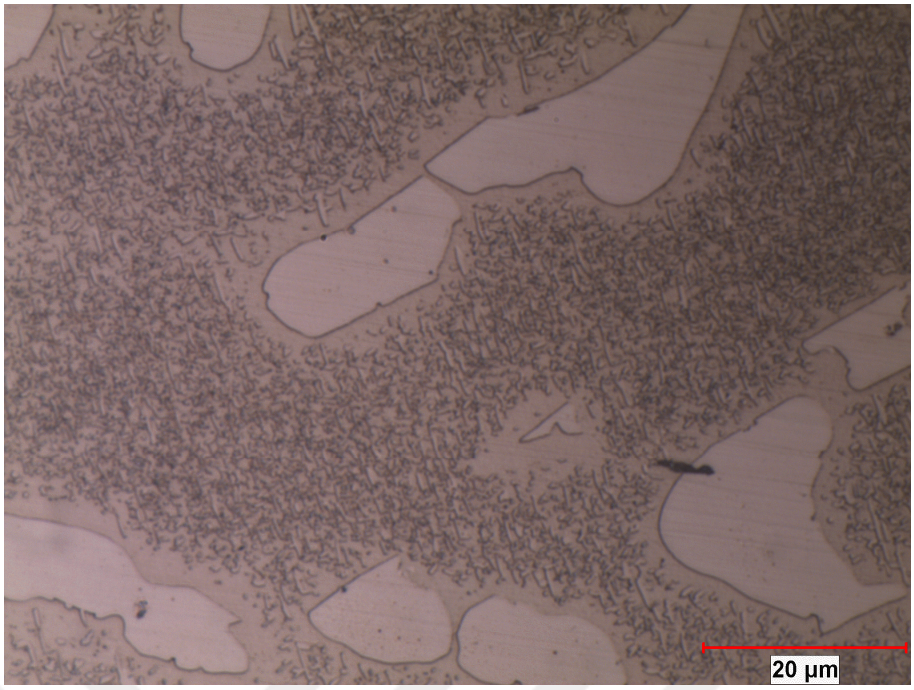
Şekil 5.171. Numune 1G'ye ait fazlar.



Şekil 5.172. Numune 1G'ye ait fazlar.

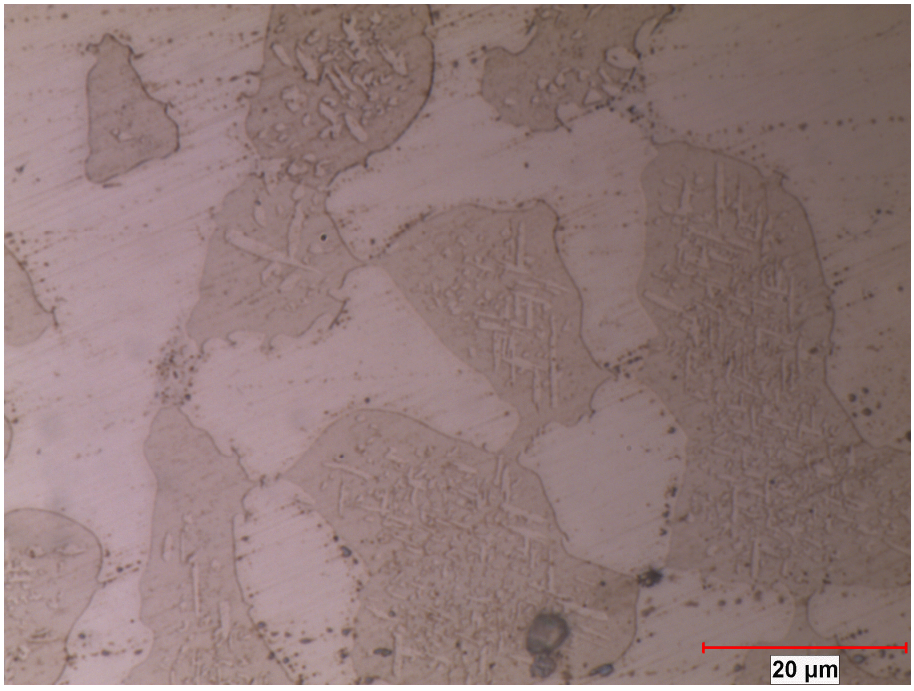


Şekil 5.173. Numune 1G'ye ait fazlar.



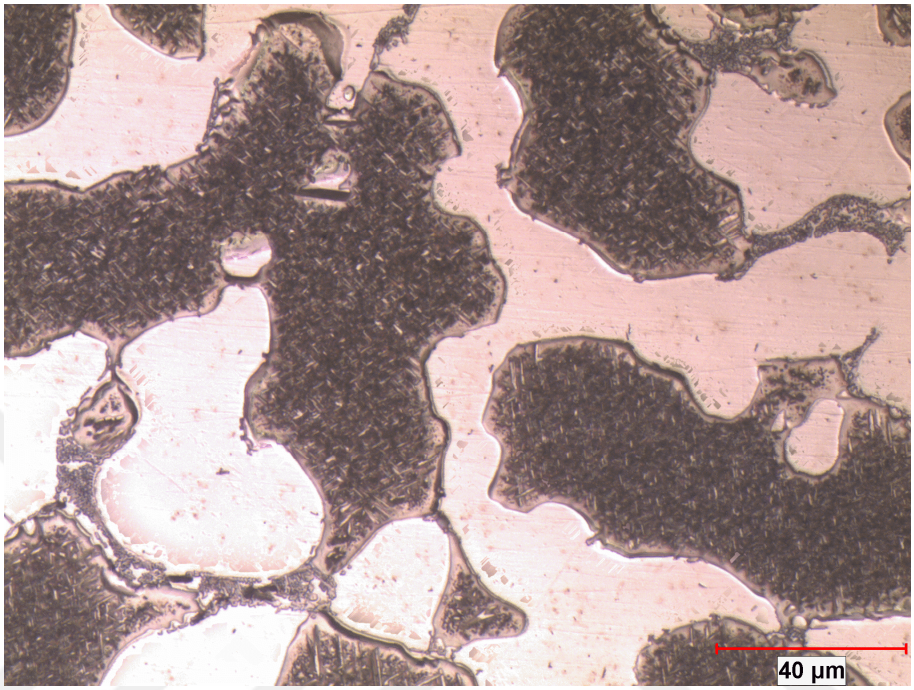
Şekil 5.174. Numune 1G'ye ait fazlar.

Şekil 5.175 1H numunesine ait mikrografı göstermektedir. Mikrograf kaba dendritik yapılardan oluşmuştur. Dendritlerin birleşme noktalarında çökelti olduğu düşünülen yapılar mevcuttur.

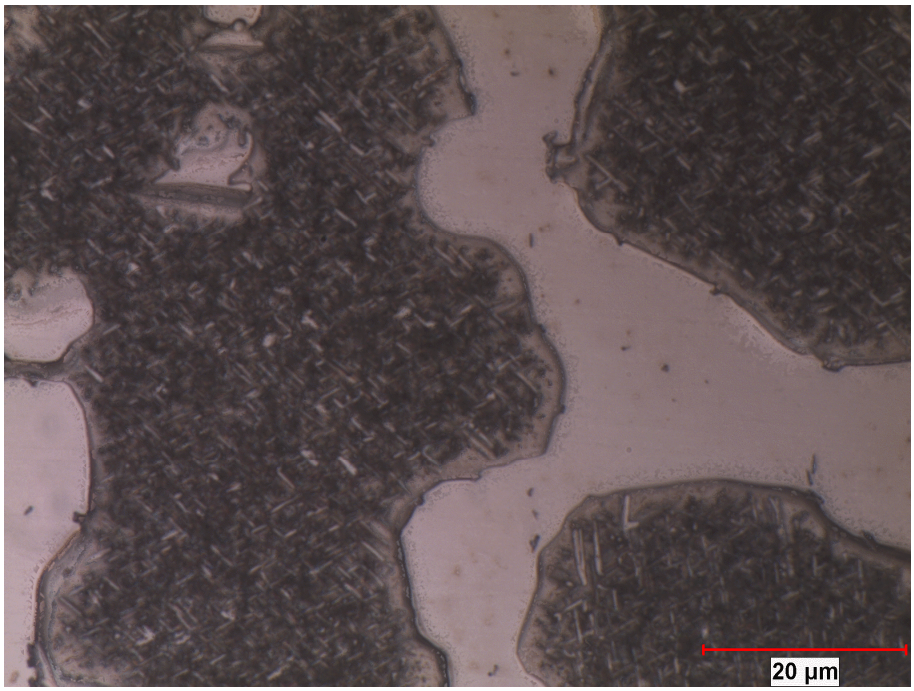


Şekil 5.175. Numune 1H'ye ait fazlar.

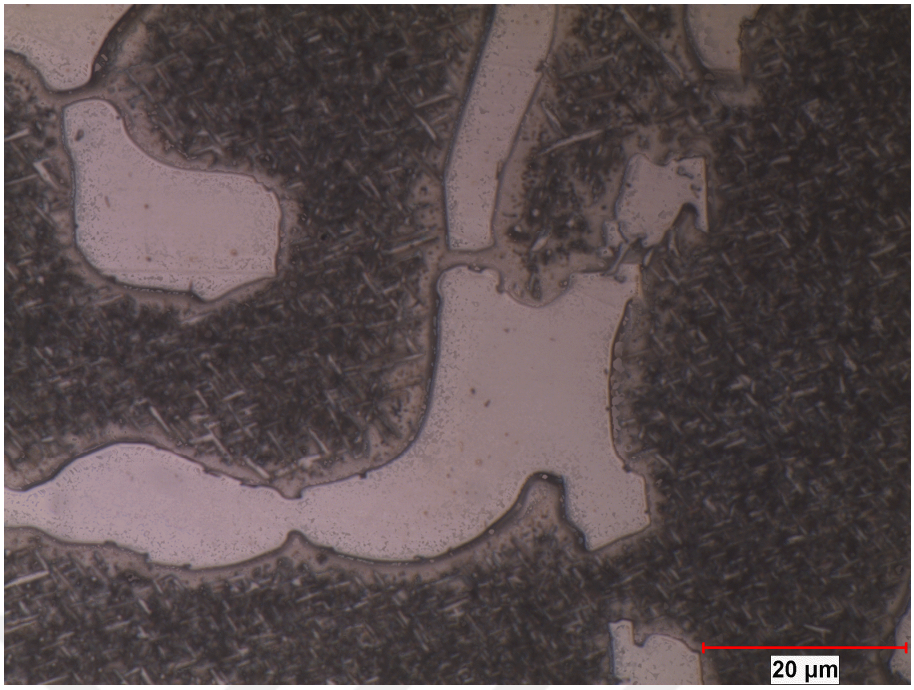
Şekil 5.176, Şekil 5.177 ve Şekil 5.178 1K numunesine ait mikrografları göstermektedir. Şekiller incelendiğinde kaba dendritik yapıların olduğu görülmektedir. Özellikle Şekil 5.177'de ve Şekil 5.178'de dendritler geniş yer kaplamaktadır. Şekil 5.176'da sol alt ve sağ üst köşede çökeltiler mevcuttur.



Şekil 5.176. Numune 1K'ya ait fazlar.

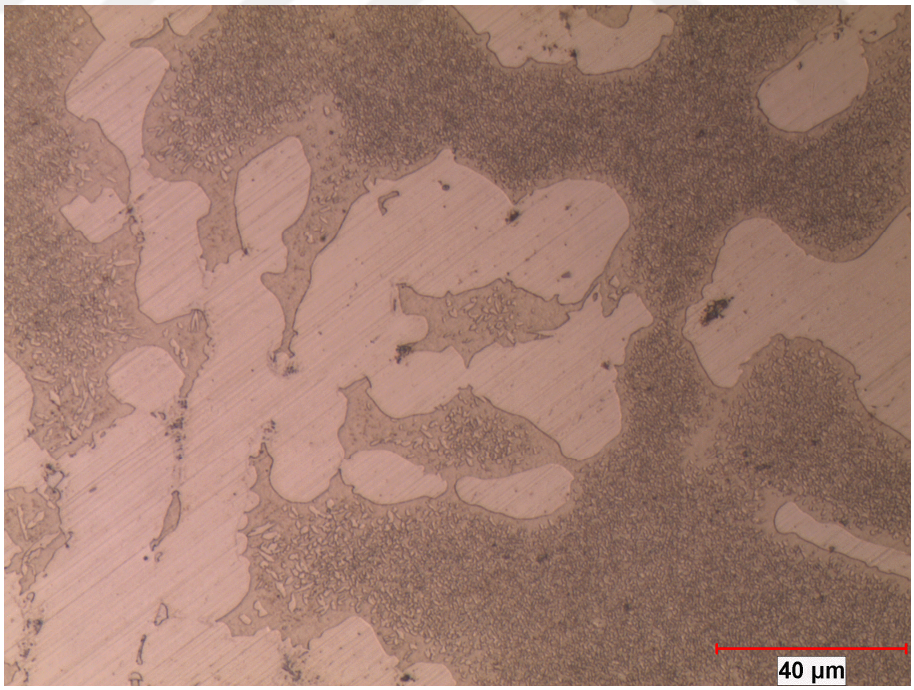


Şekil 5.177. Numune 1K'ya ait fazlar.

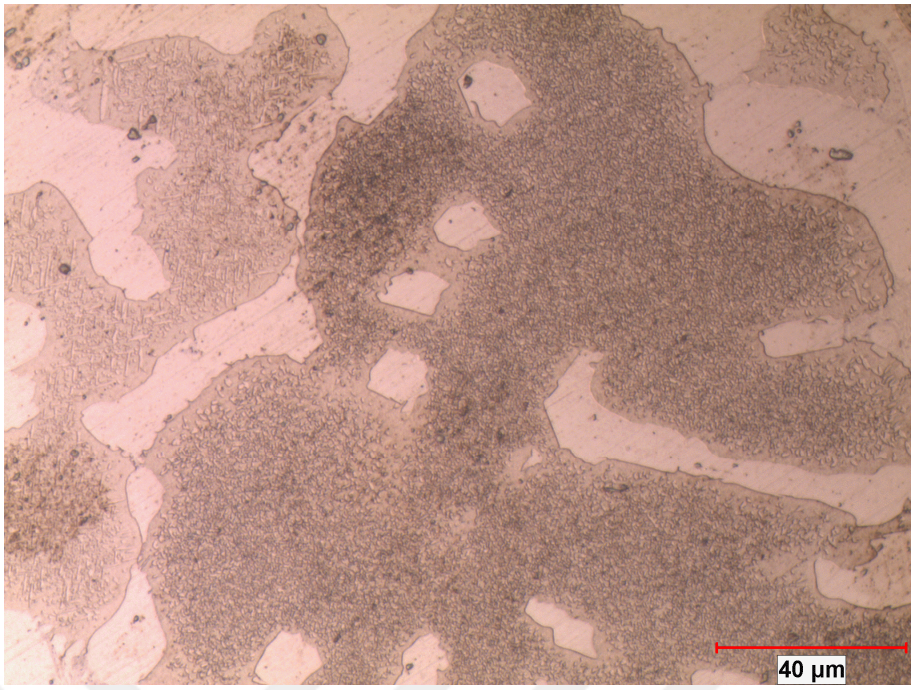


Şekil 5.178. Numune 1K'ya ait fazlar.

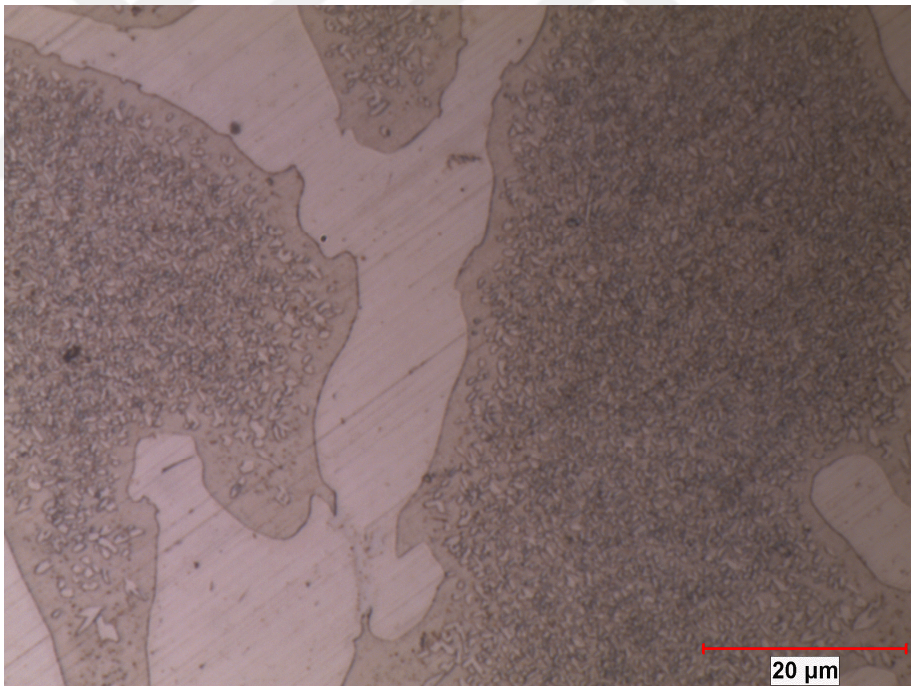
Şekil 5.179, Şekil 5.180, Şekil 5.181, Şekil 5.182 ve Şekil 5.183 1J numunesine ait mikrografı göstermektedir. Şekillerde dendritik yapılar geniş yer kaplamaktadır.



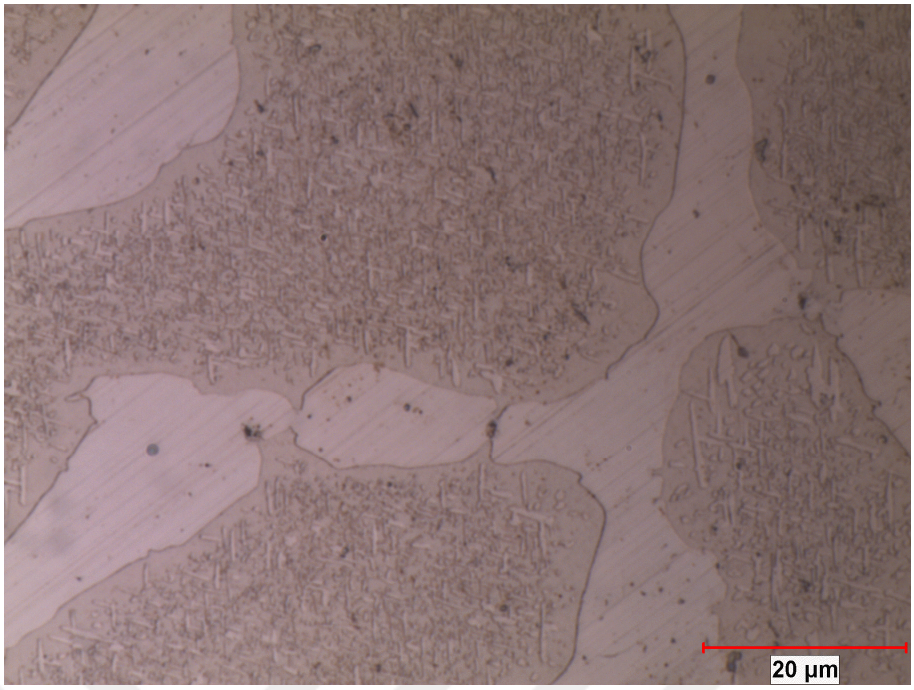
Şekil 5.179. Numune 1J'ye ait fazlar.



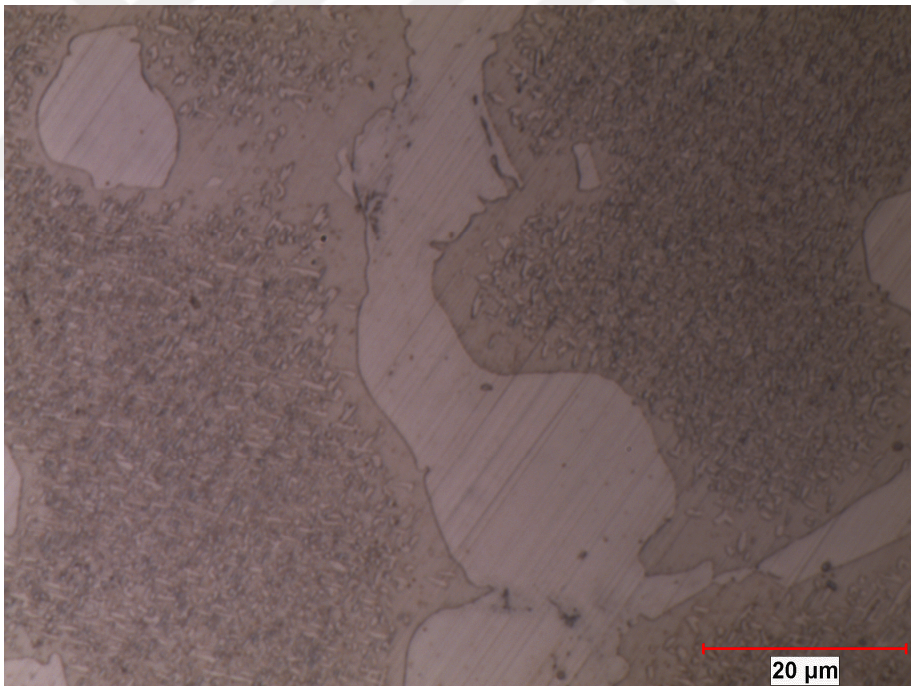
Şekil 5.180. Numune 1J'ye ait fazlar.



Şekil 5.181. Numune 1J'ye ait fazlar.



Şekil 5.182. Numune 1J'ye ait fazlar.



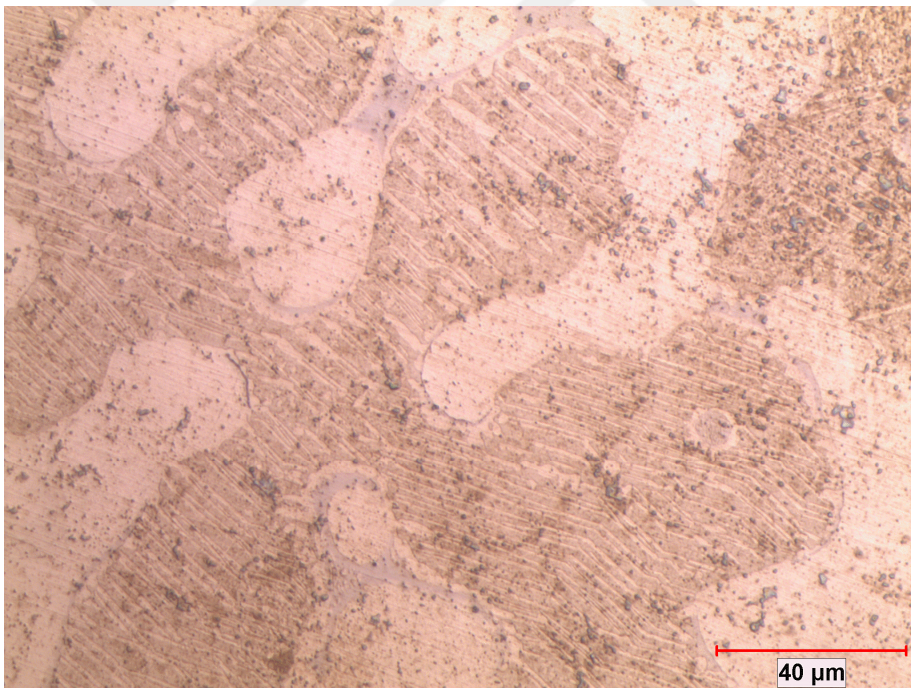
Şekil 5.183. Numune 1J'ye ait fazlar.

5.5.2 Alaşım 2'e Ait Optik Gözlem Sonuçları

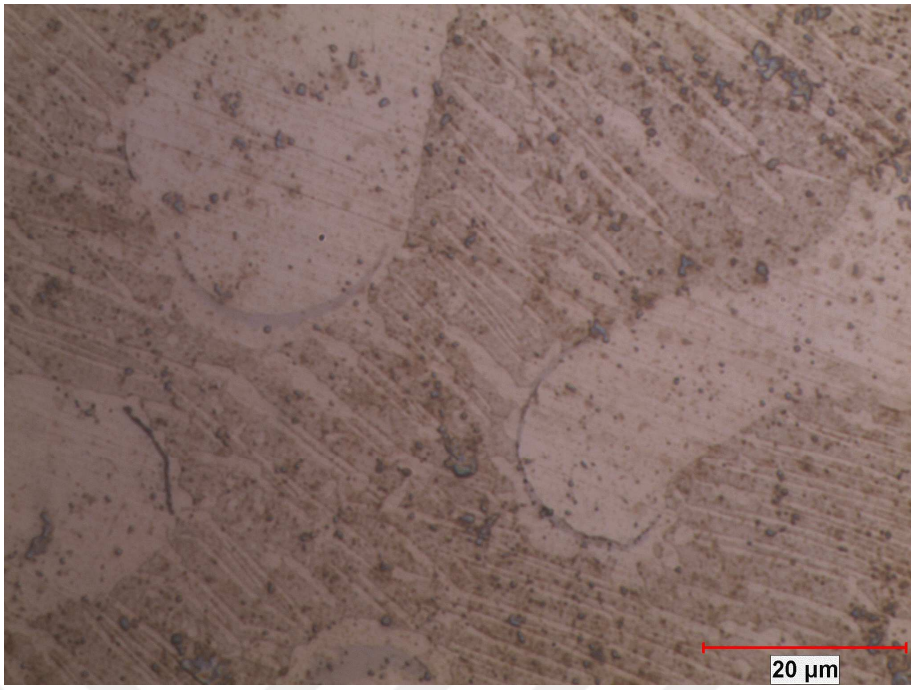
Şekil 5.184 ve Şekil 5.185, 2A numunesine ait morfolojiyi göstermektedir. Mikrograf kaba dendritik yapılardan ve çökelti olduğu düşünülen mavimsi renkli yapılardan oluşmaktadır. Dendritler üzerinde boşluklu ve birbirine paralel yapılar mevcuttur.

Şekil 5.186, 2B numunesine ait morfolojiyi göstermektedir. Şekil dendritik yapılardan ve dendrit sınırlarında meydana gelen çökeltilerden oluşmaktadır. Dendritler kaba değildir fakat mikrografın geneline yayılmıştır.

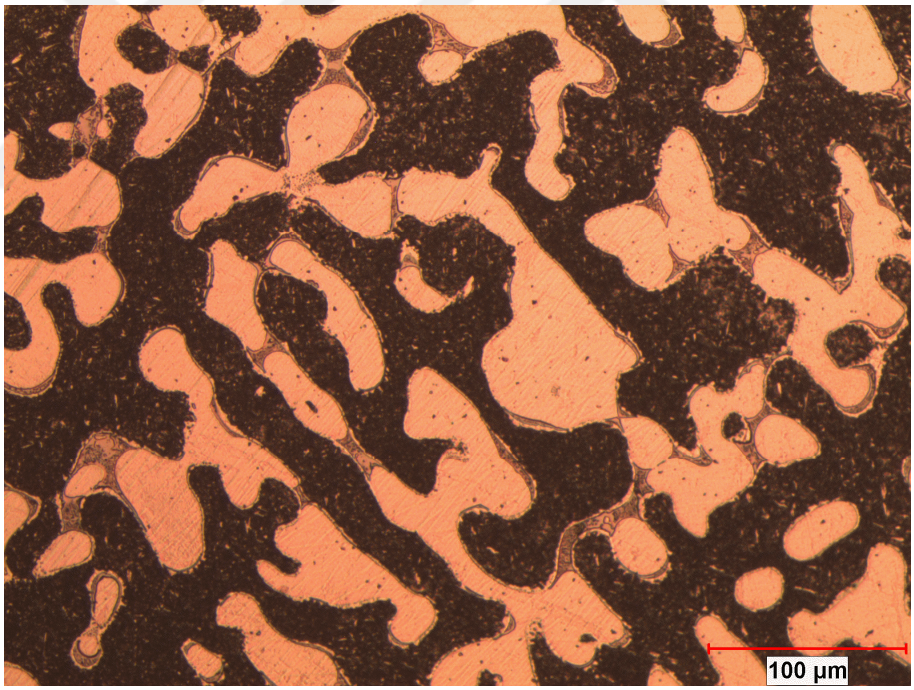
Şekil 5.187 ve Şekil 5.188, 2C numunesine ait morfolojiyi göstermektedir. Morfoloji dendritik yapılardan ve dendrit sınırlarında oluşmuş mavimsi ve açık renkli yapılardan meydana gelmektedir.



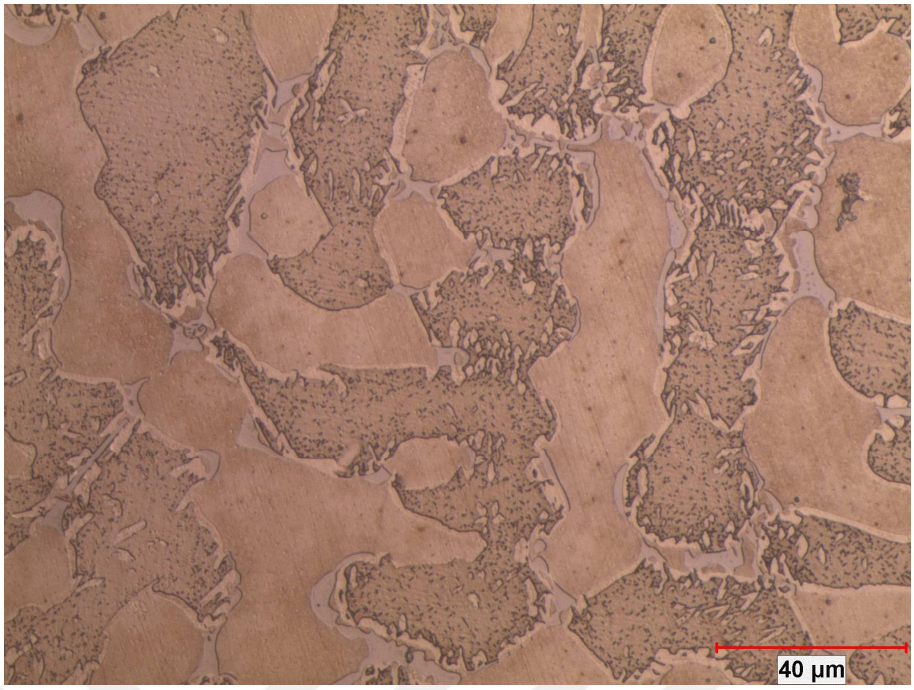
Şekil 5.184. Numune 2A'ya ait fazlar.



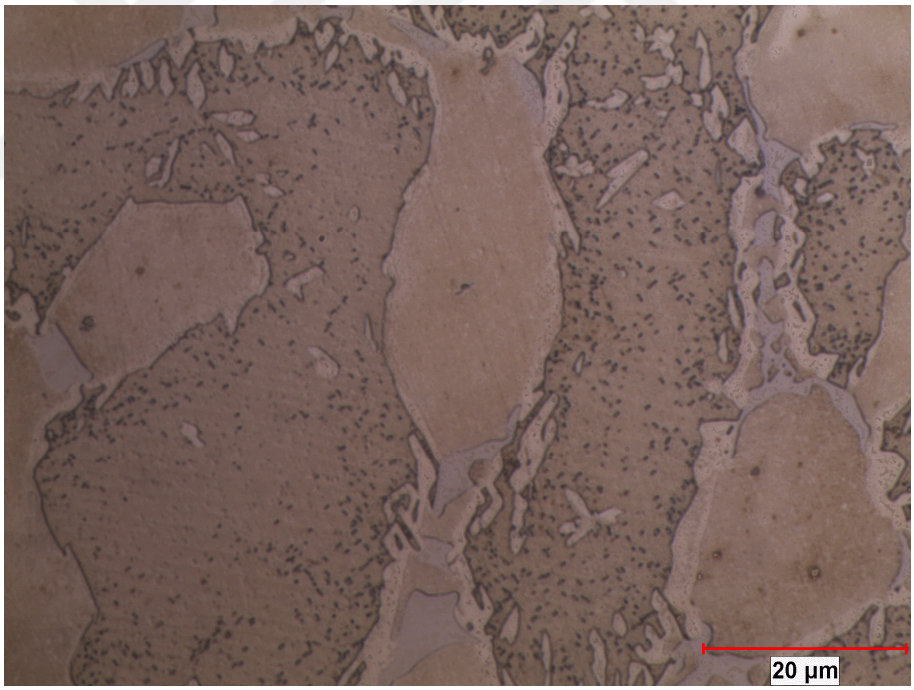
Şekil 5.185. Numune 2A'ya ait fazlar.



Şekil 5.186. Numune 2B'ye ait fazlar.

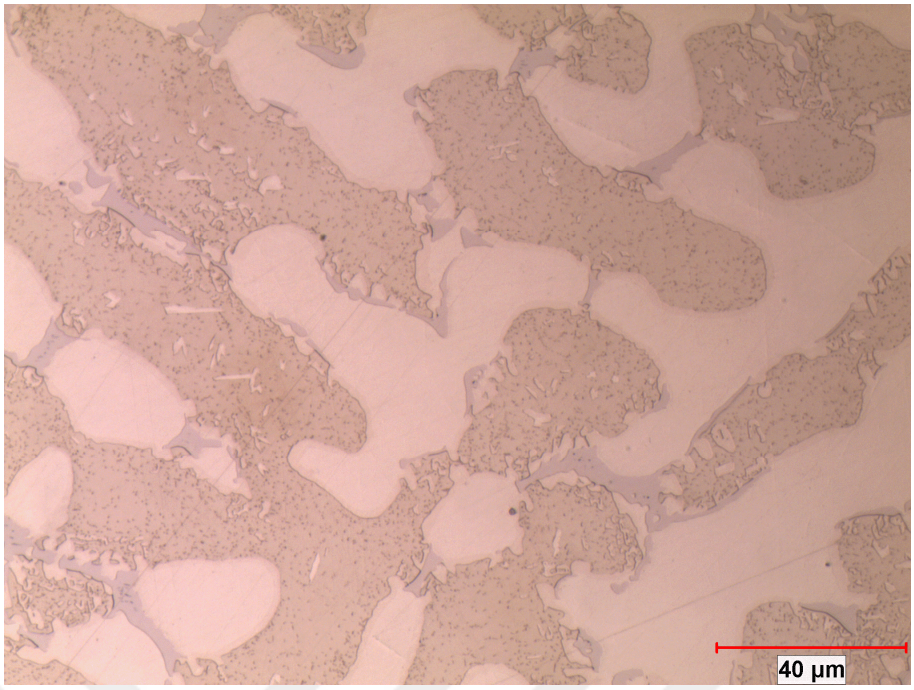


Şekil 5.187. Numune 2C'ye ait fazlar.

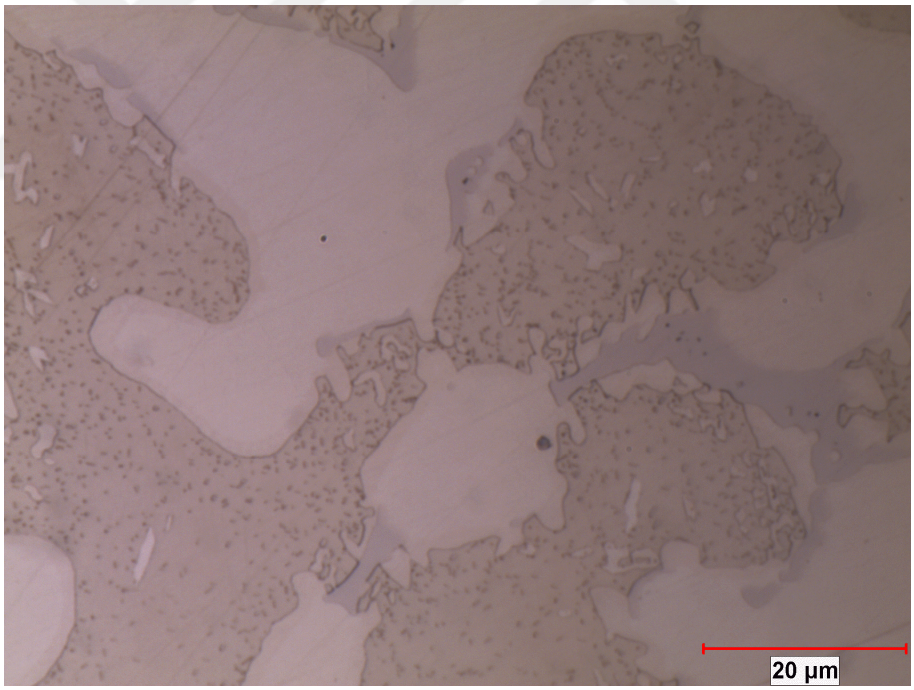


Şekil 5.188. Numune 2C'ye ait fazlar.

Şekil 5.189 ve Şekil 5.190, 2D numunesine ait morfolojiyi göstermektedir. Morfoloji dendritik yapılardan ve dendrit sınırlarında oluşmuş mavimsi renkli fakat çökelti görüntüsü vermeyen yapılardan meydana gelmektedir.

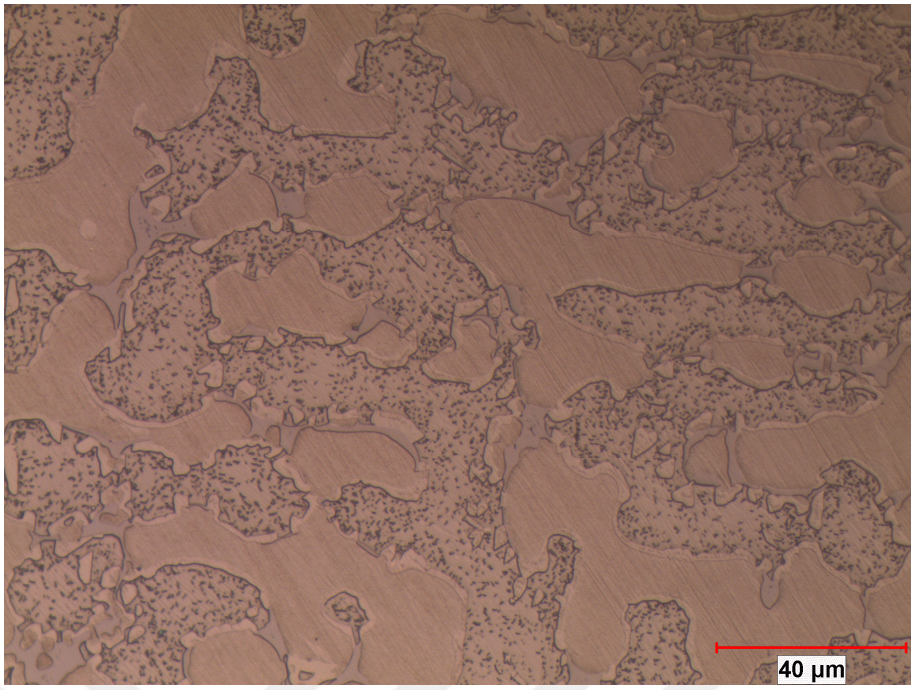


Şekil 5.189. Numune 2D'ye ait fazlar.

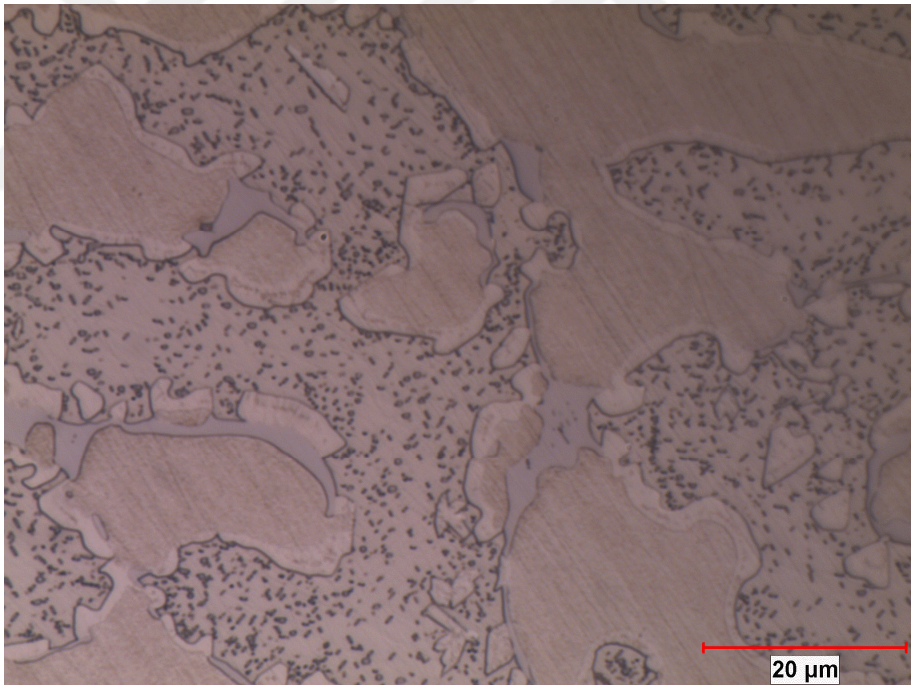


Şekil 5.190. Numune 2D'ye ait fazlar.

Şekil 5.191 ve Şekil 5.192, 2E numunesine ait morfolojiyi göstermektedir. Morfoloji incelendiğinde dendritik yapılar görülmektedir. Ayrıca dendrit sınırlarında açık renkli çökelti olmayan yapılar mevcuttur. Dendritlerin birleşme noktalarında mavimsi renkli yapılar bulunmaktadır.

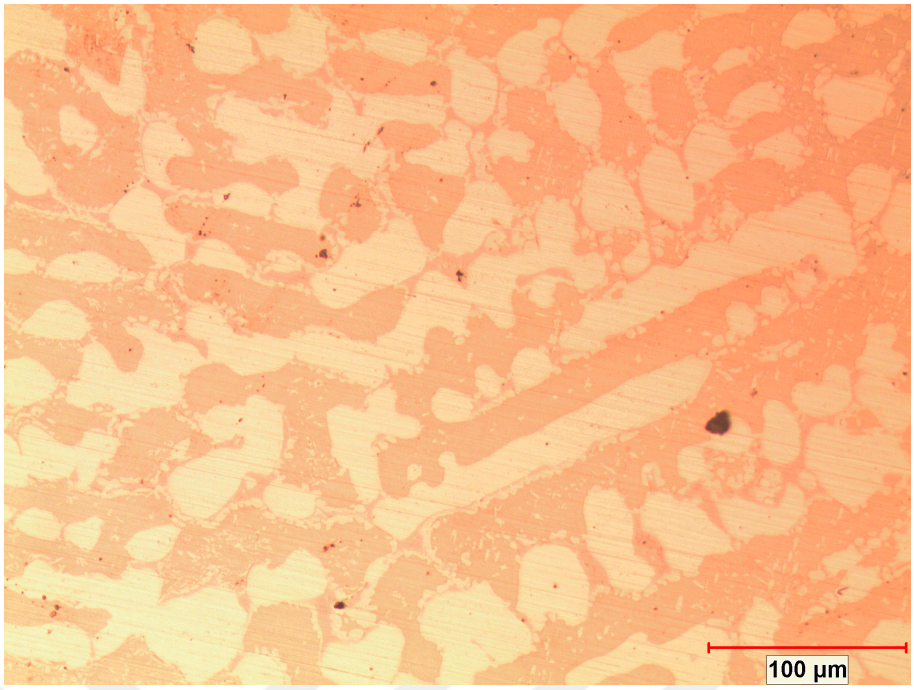


Şekil 5.191. Numune 2E'ye ait fazlar.



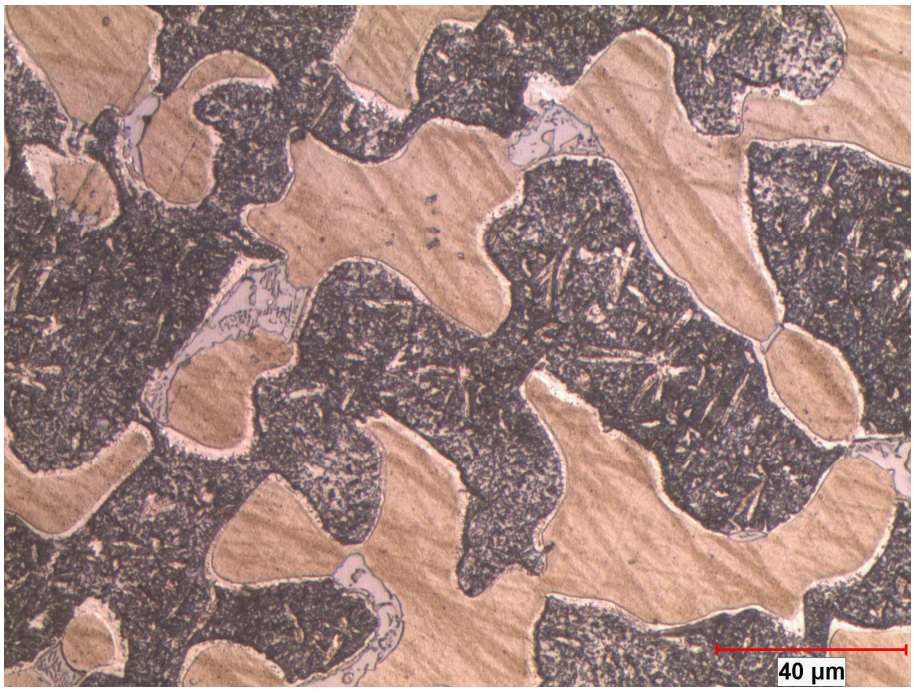
Şekil 5.192. Numune 2E'ye ait fazlar.

Şekil 5.193, 2F numunesine ait morfolojiyi göstermektedir. Bu numunede de dendritik yapılara rastlanmıştır. Dendritler üzerinde çökeltiler bulunmaktadır.

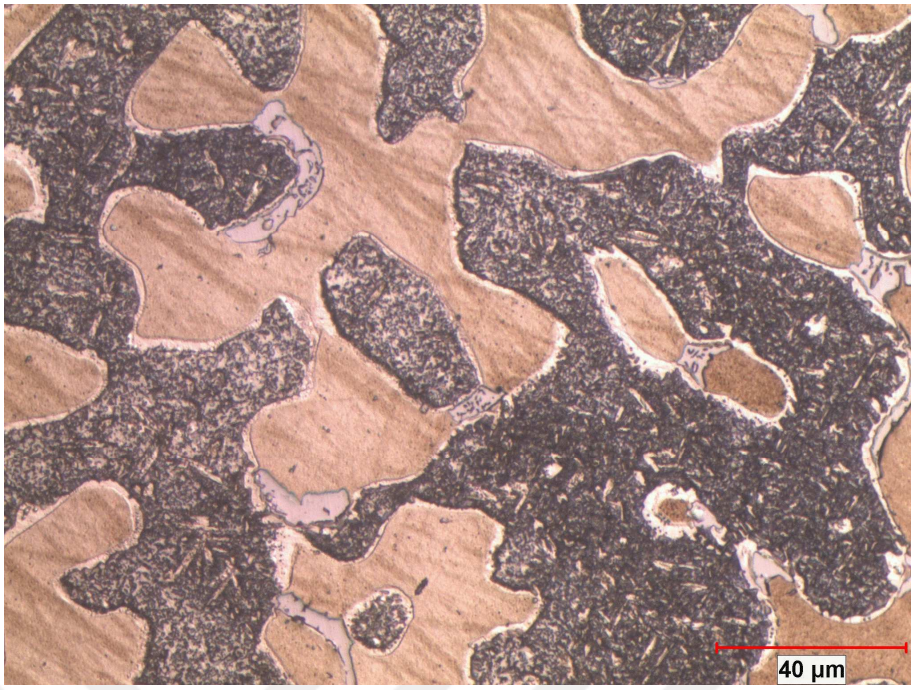


Şekil 5.193. Numune 2F'ye ait fazlar.

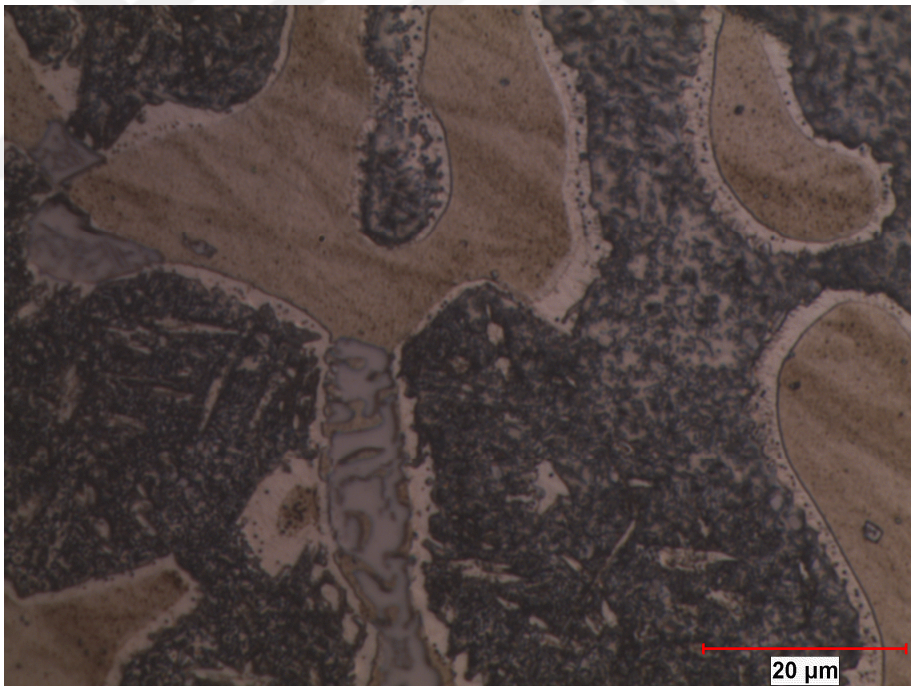
Şekil 5.194, Şekil 5.195 ve Şekil 5.196, 2G numunesine ait mikrografı göstermektedir. Bu numunede de dendritler ve çökelti olduğu düşünülen mavimsi renkli yapılar mevcuttur. Dendrit sınırlarında açık renkli yapılar bulunmaktadır. Şekil 5.194'deki morfoloji incelendiğinde mikro çatlaklar göze çarpmaktadır.



Şekil 5.194. Numune 2G'ye ait fazlar.

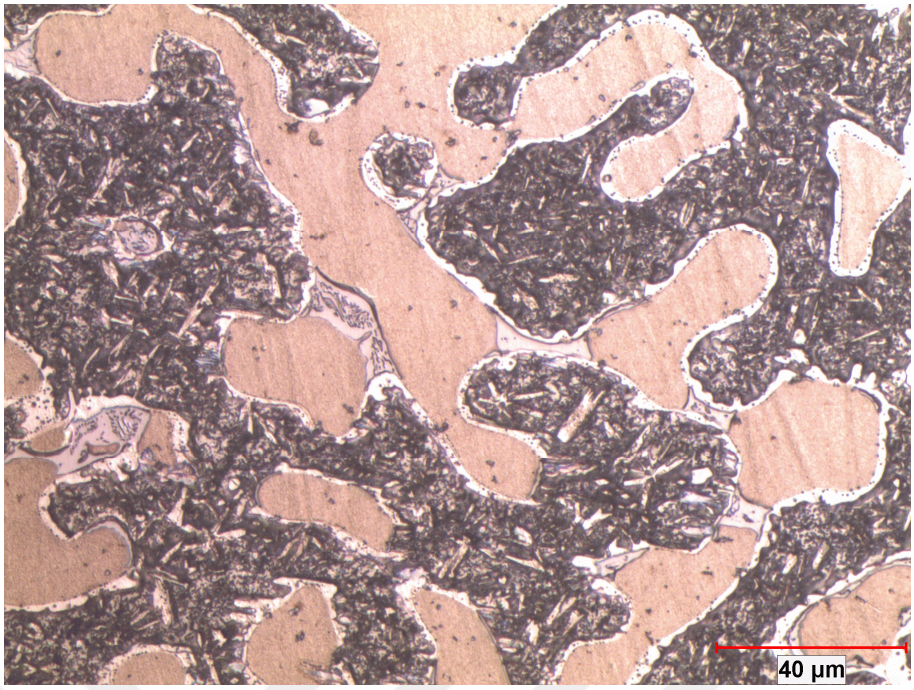


Şekil 5.195. Numune 2G'ye ait fazlar.

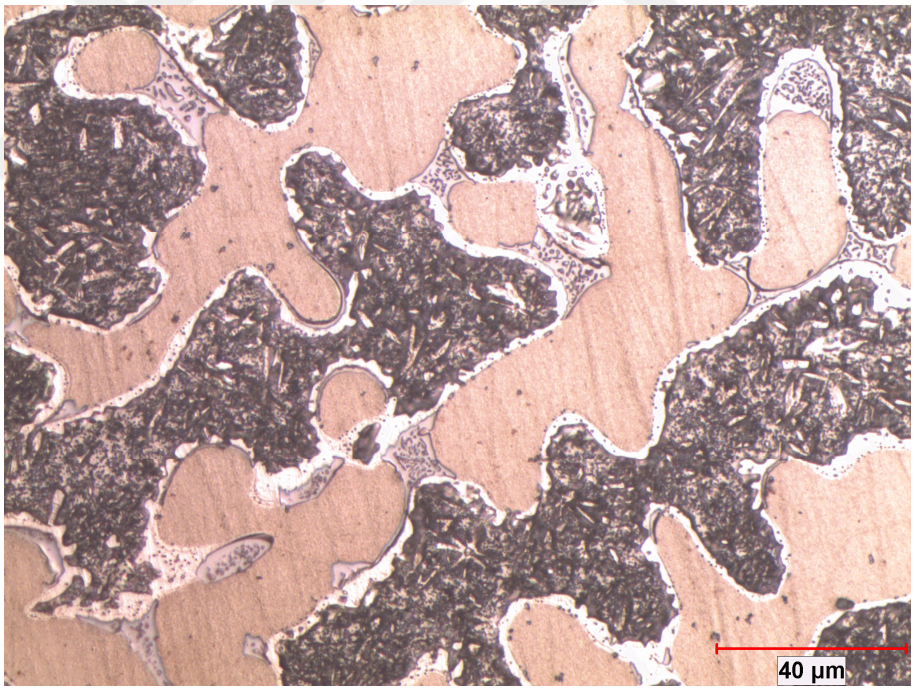


Şekil 5.196. Numune 2G'ye ait fazlar.

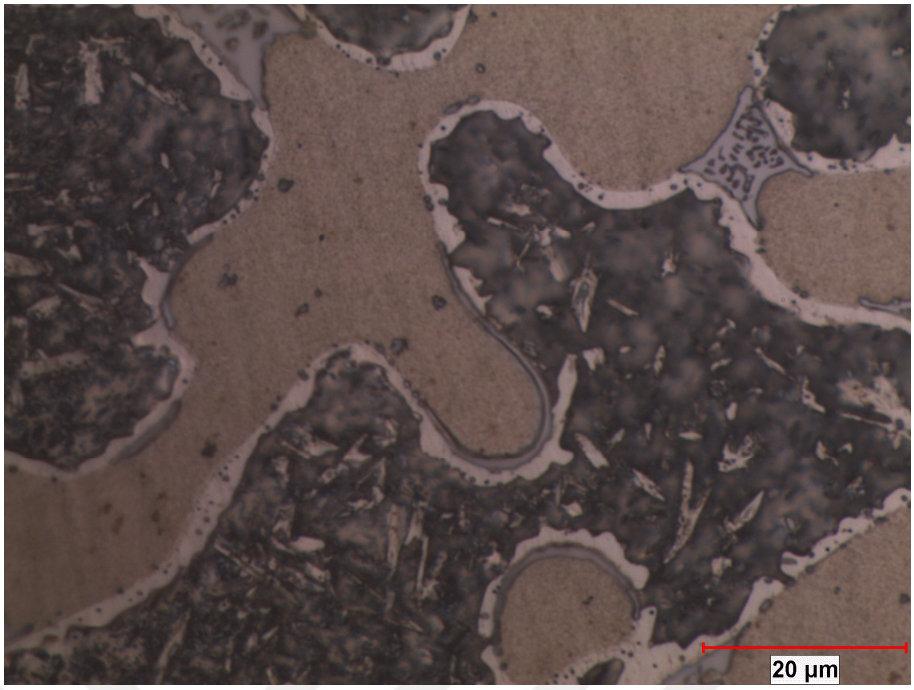
Şekil 5.197, Şekil 5.198, Şekil 5.199, Şekil 5.200 ve Şekil 5.201, 2H numunesine ait mikrografı göstermektedir. Mikrograf kaba dendritik yapılardan ve dendritlerin birleşme noktalarında bulunan çökelti şeklinde açık renkli yapılardan oluşmaktadır. Dendrit sınırlarında açık renkli bir tabaka mevcuttur.



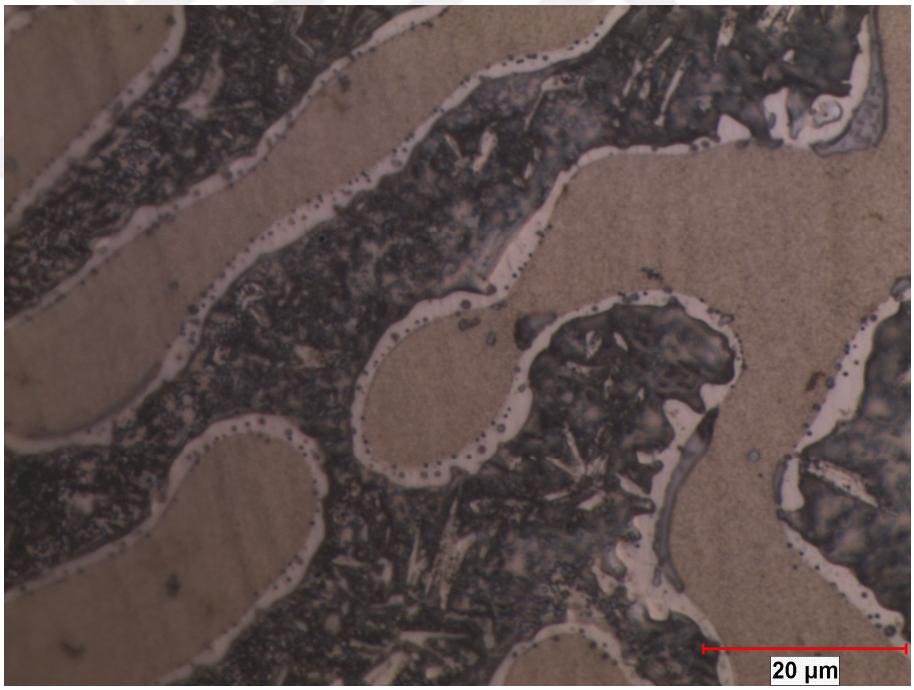
Şekil 5.197. Numune 2H'ye ait fazlar.



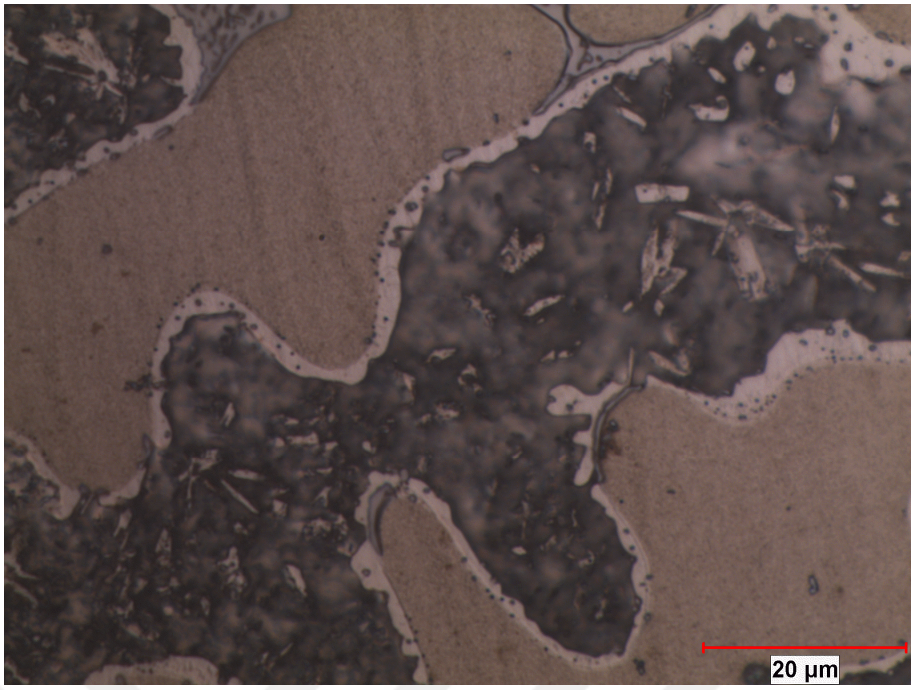
Şekil 5.198. Numune 2H'ye ait fazlar.



Şekil 5.199. Numune 2H'ye ait fazlar.

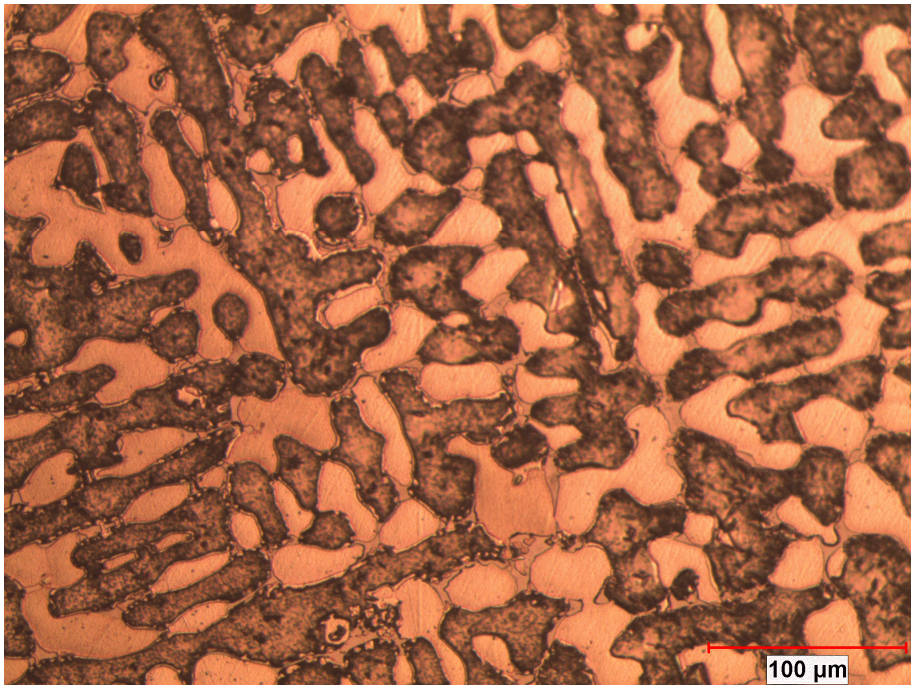


Şekil 5.200. Numune 2H'ye ait fazlar.

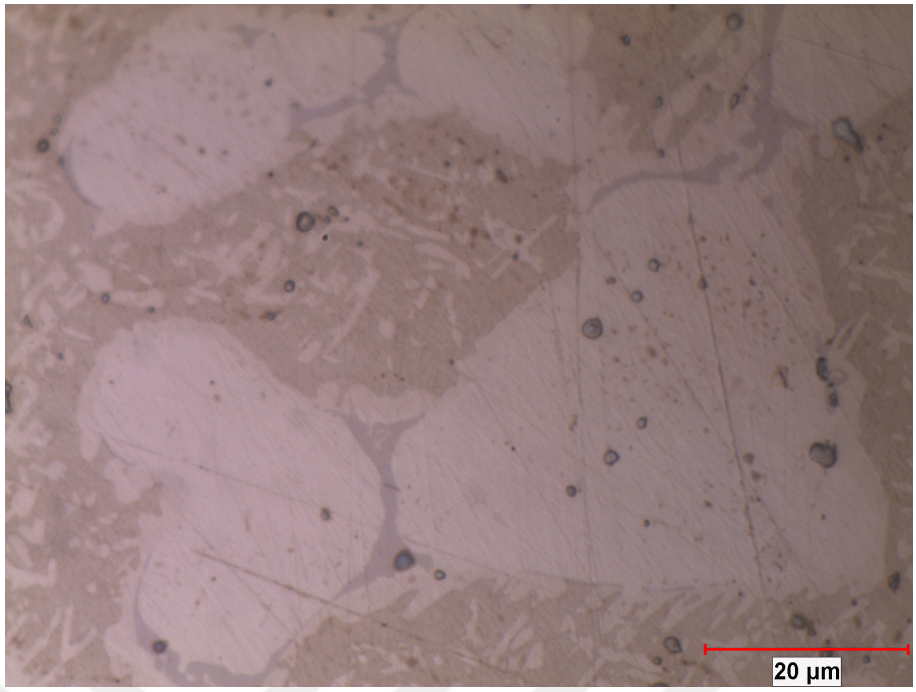


Şekil 5.201. Numune 2H'ye ait fazlar.

Şekil 5.202, Şekil 5.203, Şekil 5.204 ve Şekil 5.205, 2K numunesine ait mikrografı göstermektedir. Şekiller incelendiğinde mikrografda dendritik yapılar ve dendrit sınırlarında ve birleşme noktalarında çökelti olduğu düşünülen yapılar görülmektedir.



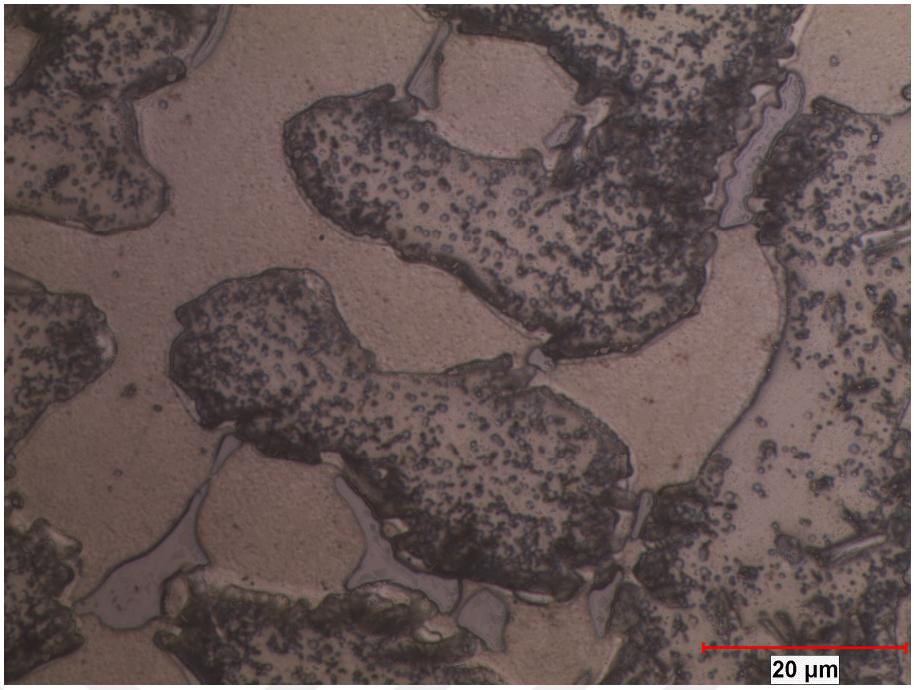
Şekil 5.202. Numune 2K'ya ait fazlar.



Şekil 5.203. Numune 2K'ya ait fazlar.

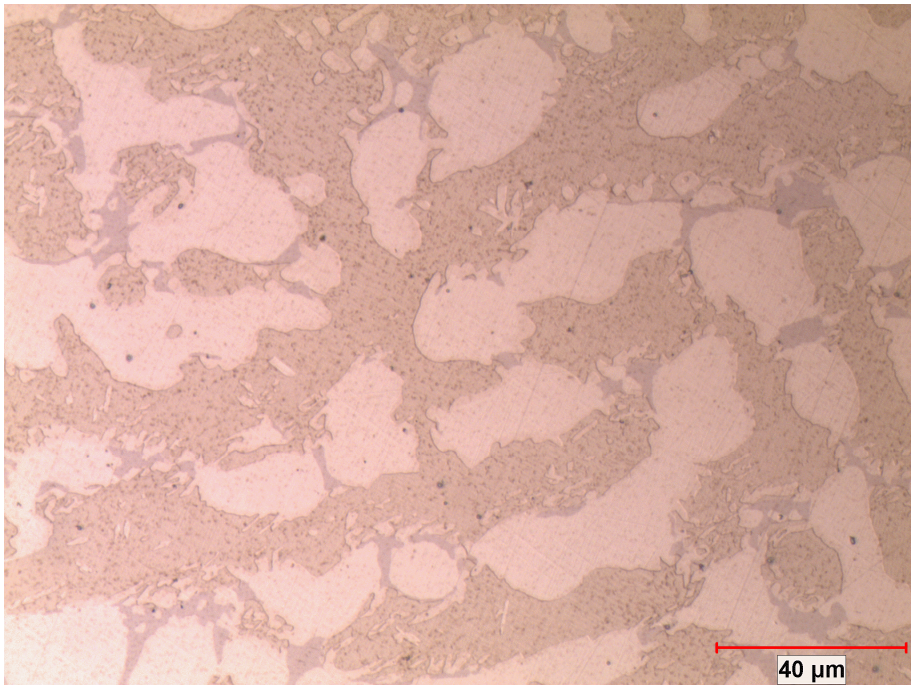


Şekil 5.204. Numune 2K'ya ait fazlar.



Şekil 5.205. Numune 2K'ya ait fazlar.

Şekil 5.206, 2J numunesine ait mikrografı göstermektedir. Şeklin geneli kaba dendritik yapılardan ve dendrit sınırlarında mavimsi renkli yapılardan oluşmaktadır. Dendritler üzerinde çatlaklar olduğu görülmektedir.



Şekil 5.206. Numune 2J'ye ait fazlar.

5.6 Sertlik Ölçümü Sonuçları

Bu çalışmada Çizelge 4.1'de ağırlık oranları verilmiş olan $Co_{38}Ni_{35}Al_{20}Si_6Mo_1$ ve $Co_{38}Ni_{37}Al_{17}Si_6Sb_2$ alaşımlarına Çizelge 4.2'de gösterilmiş olan ısıl işlemler uygulanmıştır.

Çizelge 5.26. Numunelerin ısıl işlem süresine göre sertlik ölçümleri.

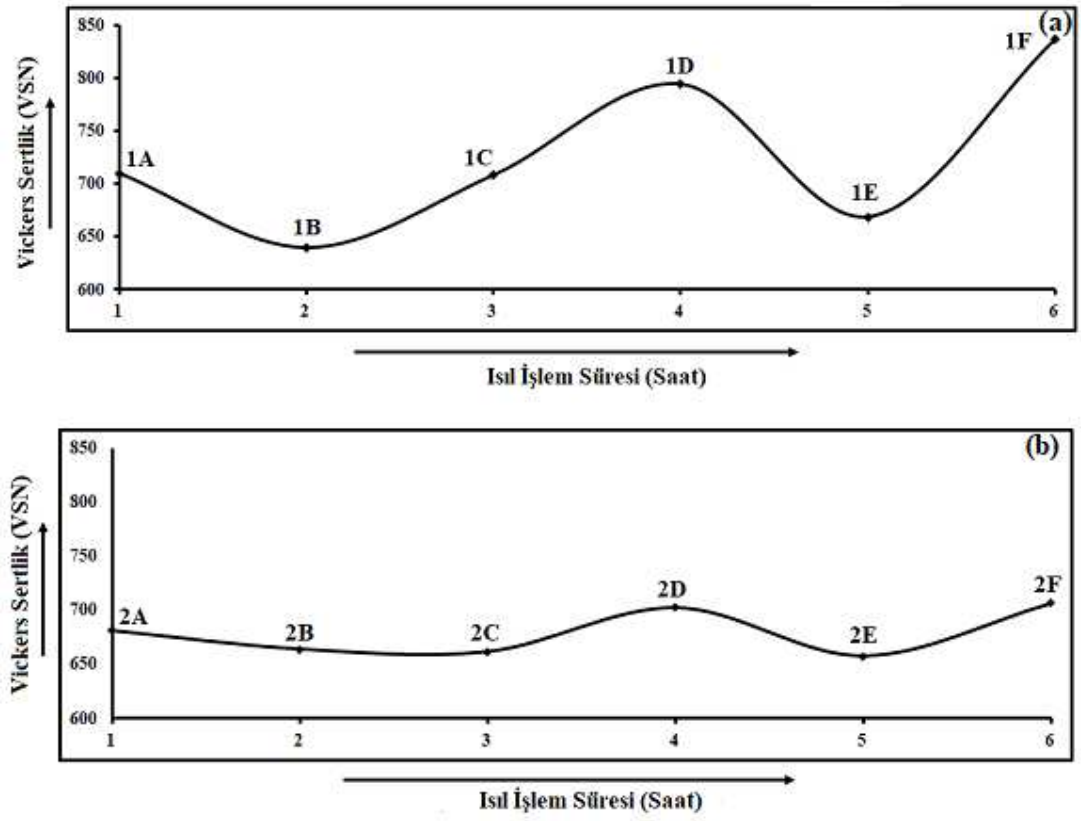
	Ölçüm 1	**Ölçüm 2**	**Ölçüm 3**	**Ölçüm 4**	**Ölçüm 5**
	VSN	**VSN**	**VSN**	**VSN**	**VSN**
1A	621	978	966	423	560
1B	772	771	680	512	462
1C	667	706	713	764	691
1D	1000	880	907	591	592
1E	646	623	744	628	702
1F	884	990	846	702	760
1G	824	820	711	629	597
1H	774	555	722	837	883
1K	778	913	798	630	605
1J	904	1012	999	583	730
2A	787	631	609	682	619
2B	709	892	780	470	469
2C	718	679	648	645	618
2D	771	737	852	540	614
2E	631	641	598	667	751
2F	546	739	587	991	520
2G	697	781	853	639	535
2H	892	969	783	733	635
2K	903	829	786	541	664
2J	835	840	985	615	573

$Co_{38}Ni_{35}Al_{20}Si_6Mo_1$ ve $Co_{38}Ni_{37}Al_{17}Si_6Sb_2$ alaşımları için Vickers Sertliğinin ısıl işlem süresine ve sıcaklığına göre değişimi verilen numunelere ait sertlik ölçümleri Şekil 5.207'te gösterilmektedir. Isıl işlem süresine tabi olan numunelerin sertlik değerleri Çizelge 5.26'da gösterilmiştir. Çizelge 5.26'da görüldüğü gibi ısıl işleme tabi tutulan numunelerin Vickers sertlikleri ölçülmüştür. Numunelere uygulanan bu ölçümlerin ortalama değerleri Çizelge 5.27'de gösterilmiştir.

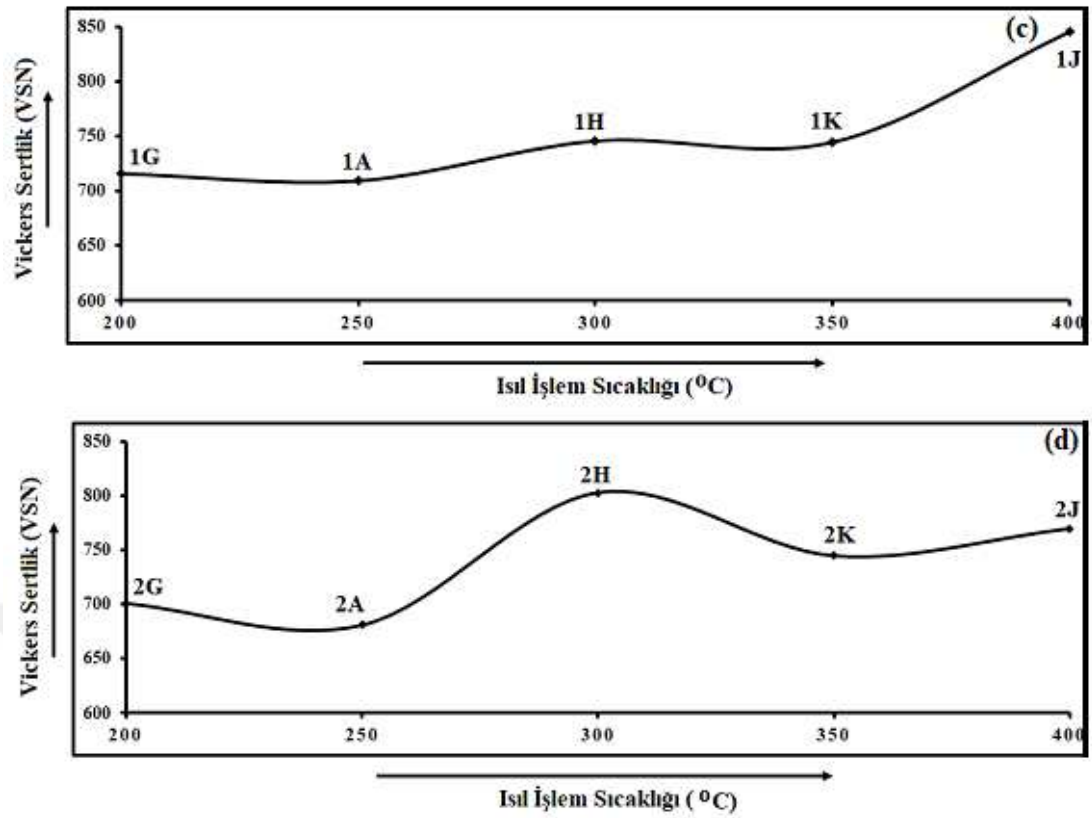
Çizelge 5.27 incelendiğinde 1 nolu alaşımın 2 nolu alaşıma göre daha sert olduğu görülmektedir. Çizelge 5.27'deki sertlik sonuçlarına göre 1B numunesinin ortalamasının 639,4 olarak en yumuşak olduğu görülmektedir. Çizelge 4.1'de atomik değerleri belirtilen numunelerin Çizelge 5.26'da sertlik değerleri tespit edilmiştir. Bu uygulama sonucunda her bir numunenin sertlik ortalaması alınarak Çizelge 5.27'de gösterilmiştir. Çizelge 5.27'de numunelerin ısıl işlem süresine göre sertlik değerlerindeki farklılıklar gözlenmektedir. Şekil 5.207 (a) ve (c)'de sırasıyla Vickers sertliğinin ısıl işlem süresine göre dağılımları gösterilmiştir.

Çizelge 5.27. 1 ve 2 Nolu Numunelerin ısıl işlem süresine göre Vickers sertlik ölçümlerinin (VSN) ortalaması.

	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
1	709.6	639.4	708.2	794.0	668.6	836.4	716.2	746.0	845.6	744.8
2	681.3	664.0	661.6	702.8	657.6	706.8	701.0	802.4	769.6	744.6



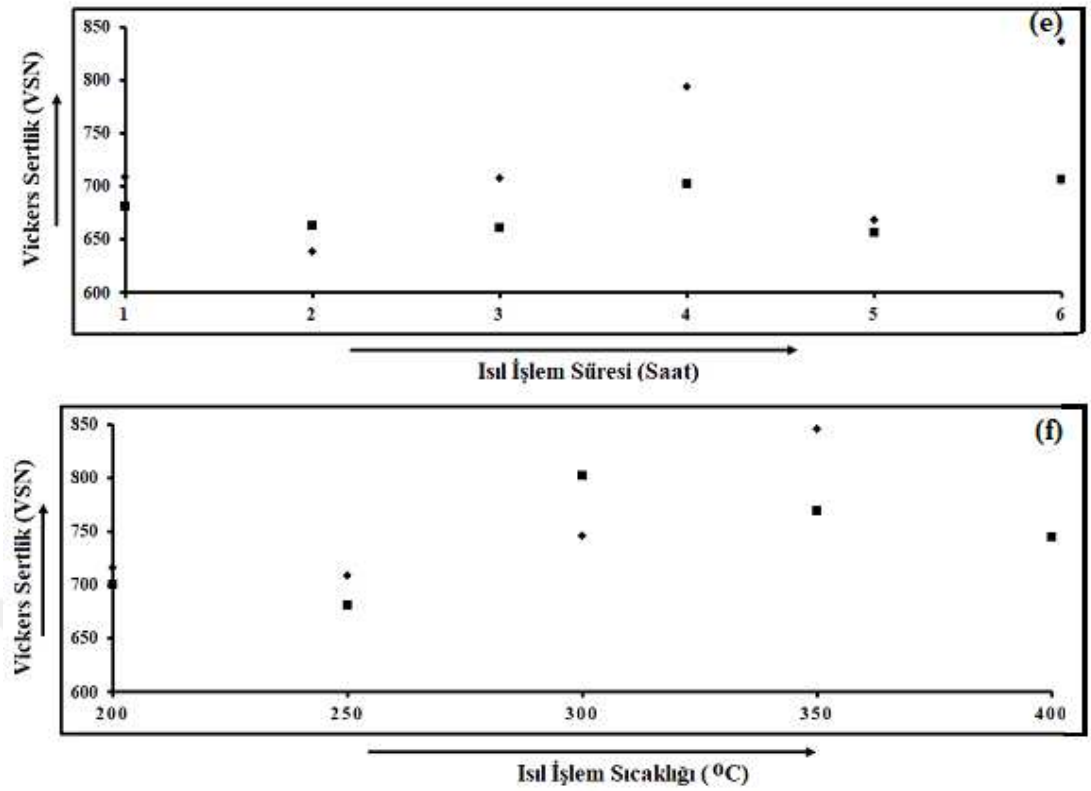
Şekil 5.207. CoNiAlSi alaşımı için, (a) 1 nolu alaşıma ait VSN ölçümlerinin ısıl işlem süresine göre dağılımı, (b) 2 nolu alaşıma ait VSN ölçümlerinin ısıl işlem süresine göre dağılımı.



Şekil 5.207(Devam). CoNiAlSi alaşımı için, (c) 1 nolu alaşıma ait VSN ölçümlerinin ısıl işlem sıcaklığına göre dağılımı, (d) 2 nolu alaşıma ait VSN ölçümlerinin ısıl işlem sıcaklığına göre dağılımı.

Şekil 5.207. (a) ve (b) incelendiğinde VSN ölçümlerinin ısıl işlem süresine göre dağılımında genel olarak 1 nolu numuneye ait değerlerin yüksek çıktığı görülecektir. 2 nolu numuneye ait değerlerin ise daha stabil olduğu grafik gösterimde görülmektedir. Bu durum alaşıma Mo ilavesinin bir etkisi olarak tahmin edilmektedir.

Şekil 5.207. (c) ve (d) incelendiğinde VSN ölçümlerinin ısıl işlem sıcaklığına göre dağılımında sadece 2H numunesinin değerlerinin 1 nolu numunenin değerlerinden yüksek olduğu görülmektedir. Isıl işlem sıcaklığına göre dağılım grafikleri incelendiğinde 1 nolu numune değerlerinin daha stabil olduğu görülmektedir. 2 nolu numunenin VSN değerlerinin stabil olmaması numuneye Sb ilavesinin etkisi olarak tahmin edilmektedir.



Şekil 5.207(Devam). CoNiAlSi alaşımı için, (e) her iki alaşıma ait VSN ölçümlerinin ısıl işlem süresine göre dağılımı, (f) her iki alaşıma ait VSN ölçümlerinin ısıl işlem sıcaklığına bağlı dağılımı.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırmada, üzerinde çalışılan $Co_{38}Ni_{35}Al_{20}Si_6Mo_1$ ve $Co_{38}Ni_{37}Al_{17}Si_6Sb_2$ malzemelerinden alınan veriler şöyle özetlenebilir.

Bu sonuçlar, Co-Ni-Al alaşımlarındaki bileşim değişikliğinin dönüşüm sıcaklıklarını önemli ölçüde değiştirdiğini göstermektedir. Başlangıç ve bitiş sıcaklıklarındaki bazı değişiklikler alaşım bileşimine ve ısıl işlem uygulamalarına bağlanabilir.

X-Işını analizleri incelenen tüm numunelerde {111} tipi eşleştirme düzlemi ve tetragonalitesi c/a=0.847 olan ikizlenmiş $L1_0$ martensit fazı göstermektedir. Mo içeren alaşımın bütün numunelerinde β fazı olduğu görülmüştür. Bu durumda Mo nun Sb ile karşılaştırıldığında austenit fazını stabilize ettiğini ifade edebiliriz. Sb içeren alaşımda ise austenit fazının stabilizasyonu 350 °C'nin üzerindeki ısıl işlemlerde daha çok mümkün olmaktadır.

Numunelere uygulanan ısıl işlem sonucunda alınan DSC verilerinin hesaplamalarına göre $|A_m-M_m|$ değerlerinin en yüksek 1C ve 2F numunelerinde olduğu, $|T_0 - M_s|$ değerinin de 1C ve 2E numunelerinde olduğu gözlemlenmiştir. Her bir numune için çevrim sayısı ve uygulanan ısıtma ve soğutma programı için elde edilen deneysel sonuçlara göre 1A, 1B ve 2C numuneleri haricinde diğer bütün numunelerde A_s sıcaklığı M_s sıcaklığından büyük çıkmıştır. CoNiAl alaşımının dönüşüm başlangıç sıcaklıkları, Sb ilavesiyle belirgin şekilde azalır; yani martensit dönüşümü daha erken başlar. Mo ilavesi ise dönüşüm sıcaklıkları üzerinde Sb ilavesinin tersi etkiye sahiptir.

M-T grafikleri incelendiğinde 2 numaralı numunelerin son dönüşüm sıcaklıklarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu sonucu numuneye Sb ilavesinin etkisi olarak söyleyebiliriz. 1G numunesine ait M-T grafiğine göre son dönüşüm sıcaklığının 25.14 K olması 200 °C de 1 saat bekletilmesi ve Mo ilavesi ile açıklanabilir. Çünkü her iki G numunesi için de aynı şartlar söz konusudur. Bu yüzden her iki durumun birden bahsedilmesi şarttır.

$Co_{38}Ni_{35}Al_{20}Si_6Mo_1$ ve $Co_{38}Ni_{37}Al_{17}Si_6Sb_2$ alaşımlarının mikrografları karşılaştırıldığında, numuneye Sb ilave etmenin β faz bölgelerini büyüttüğü gözlenmesine rağmen dendritik yapıyı değiştirmediği gözlendi. $Co_{38}Ni_{35}Al_{20}Si_6Mo_1$ alaşımında mikroyapı, çökelti fazları ile düşük sıcaklık fazı γ' fazı ve yüksek sıcaklık fazı β faz tanelerinden oluşur.

Numuneye Mo ilavesi γ' fazının hacimsel olarak oranı diğer fazlar ile karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu belirlenmiştir. $Co_{38}Ni_{37}Al_{17}Si_6Sb_2$ alaşımında mikroyapı martensit plakaları, çökelti fazları ile γ' ve β fazlarından oluşmaktadır. Bu numunede martensit plakaları birbirine paralel olarak yer almıştır. γ' faz tane sınırlarında daha sert ve daha parlak olduğu düşünülen yapılar mevcuttur. $Co_{38}Ni_{35}Al_{20}Si_6Mo_1$ alaşımı ile $Co_{38}Ni_{37}Al_{17}Si_6Sb_2$ alaşımı mikrografları karşılaştırıldığı zaman Sb ilaveli numunelerde martensit plakalara rastlanmasına karşın Mo ilaveli numunelerde martensit plakalar görülmemektedir. Bu durum martensit plaka oluşumunda Sb ilavesinin etkili olduğunu göstermektedir. Bazı numune mikrograflarında geometrik şekilleri tanımlanamayan ve iğnemsi olarak görülen yapılara rastlanılmıştır. Bu yapılar özellikle β faz bölgesinde mevcuttur.

Metalografik sonuçlar incelendiğinde malzemelerin morfolojisinde döküm sonucu oluştuğu anlaşılan birçok farklı dendritik yapının mevcut olduğunu görülmektedir. Yapılan metalografik incelemeler X-ışını analizleri ile birleştirilince özellikle $Co_{38}Ni_{37}Al_{17}Si_6Sb_2$ numunesinin morfolojisinde birbirine paralel şekilde yeralan $L1_0$ martensit plakaların olduğu net bir şekilde görülmektedir. $Co_{38}Ni_{37}Al_{17}Si_6Sb_2$ numunesinde martensit plakaların meydana gelmesi numuneye Sb ilavesinin etkisi ile açıklanabilir. 1 nolu numuneye ait mikrograflar incelendiğinde her iki numuneye de aynı şartlar altında aynı ısıl işlemler uygulanmasına rağmen martensit plakaların olmadığı aşikardır. Bu durumda Mo ilavesinin martensit oluşumuna engel olduğu düşünülmektedir. Metalografik incelemelere bakıldığında tane sınırlarında çökeltilerin olduğu görülmektedir.

$Co_{38}Ni_{35}Al_{20}Si_6Mo_1$ ve $Co_{38}Ni_{37}Al_{17}Si_6Sb_2$ numunelerine farklı işlem süresinde ve işlem sıcaklığında ısıl işlemler uygulanması sertlik değerlerinin birbirinden farklı olmasına neden olmuştur.

İncelenen numunelere, farklı ısıl işlemler uygulandığından dolayı yapı kusurlarının meydana gelmiş olması bu numunelere 5 farklı sertlik ölçümü uygulandığında artış ve azalışlar gözlenmesine sebep olmuştur. Numunelerin ısıl işlem süresine göre ortalama Vickers Sertlik değerlerine bağlı Şekil 5.245 (a) ve (b) kıyaslandığında 2 nolu numunelerin daha kararlı olduğunu göstermektedir. VSN ortalama sonuçları incelendiğinde Mo ilavesine bağlı olduğu düşünülerek 1 nolu alaşımın Vickers sertlik değerlerinin 2 nolu alaşımın Vickers sertlik değerlerine kıyasla daha yüksek olduğu gözlenmektedir.

KAYNAKLAR

1. Dağdelen, F., Malkoç, T., Kök, M. ve Ercan, E., 2016. Comparison of the tranformation temperature, microstructure and magnetic properties of Co-Ni-Al and Co-Ni-Al-Cr shape memory alloy, The Europan Physical Journal Plus 131:196.

2. Kök, M. ve Yıldız, K., 2014. Appl. Phys. A Mater 116, 2045.

3. Maziarz, W., Dutkiewicz, J., Santamarta, R. ve Cesari, E., 2008. Microstructure changes in two phase β+γ Co-Ni-Al ferromagnetic shape memory alloys in relation to Al/Co ratio, Eur. Phys. J. Special Topics 158, 137-142.

4. Bartova, B., Schyvers, D., Yang, Z., Ignacova, S. ve Sittner, P., 2007. Scr. Mater. 57, 37.

5. Liu, J., Zheng, H.X. ve Li, j.G., 2006. Mater. Sci. Eng. A 438-440, 1061.

6. Kalaantari, H., 2013. Development of Co-Ni-Ga ferromagnetic shape memory alloys (FSMAs) by investigating the effects of solidification processing parametres, A dissertation submitted in portial satisfaction of the requirements fort he degree of Doctor of Philosophy, University of California Riverside.

7. Oikawa, K., Ota, T., Gejima, F., Ohmori, T., Kainuma, R. ve et. Al, 2001. Materials Transactions, 42, 2472-2475.

8. Kishi, Y., Cracinescu, C., Sato, M., Okazaki, T. ve Furuya, Y., et. al., 2003. Journal of magnetism and magnetic materials, 262, L186-L191.

9. O'Handley, R.C., 2000. Modern magnetic materials: Principles and Applications, Wiley, New York, USA.

10. Maki, T., Kobayashi, K., Minato, M. ve Tamura, T., 1984. Scripta Materialia, 18, 1105-1109.

11. Kakeshita, T. ve Fukuda, T., 2004. Journal of Physics: condensed matter, 16, S5616-1618.

12. Liu, H.C. ve Liu, K.M., 1996. Scripta Materialia, 34, 1537.

13. Liu, J. ve Li, J.G., 2007. Mater. Sci. Eng. 423, A 454-455.

14. Su, J., Xie, Z. ve Yang, Y., 2012. Trans. Nonferrous Met. Soc. China, 22, 2158.

15. Marito, H., Fujita, A., Fukamichi, K., Kainuma, R. ve Ishida, K., 2002. Appl. Phys. Lett, 1657, 81-9.

16. Webster, P.J., Zibeck, K.R.A., Town, S.L. ve Peak, M.S., 1984. Philosophical Magazine B. 49, 295-310.

17. Soltys, J., 1975. Acta physica Polonica A, 47, 521-523.

18. Kokorin, V. V. ve Cherneko, V. A., 1989. Physisc of metals and metallography, 68, 111-115.

19. Vasil'ev, A. N., Kokorin, W. V., Savchenko, Yu. I. ve Chernenko, V. A., 1991. Soviet Physics JETP, 71, 803-808.

20. Ulakko, K., Huang, J. K., Kokorin, V. V. ve O'Handley, R. C., 1997. Scripta materialia, 31, 1133-1138.

21. Wisttig, M., Li, J. ve Craciunescu, C., 2001. Scripta materialia, 44, 2393-2397.

22. Chernenko, V. A., Cesari, E., Pans, J. ve Segui, C., 2000. Journal of materials research, 15, 1496-1504.

23. Mott, N. F. ve Jones, H., 1958. The properties of metals and alloys, Dover, New York, USA.

24. Okamoto, H., 1990. Co-Ga (Cobalt-Gallium). In: Binary alloy phase diagrams, second edition, T. B. Massalki (ed) 2, 1186-1189.

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

26. Eskil. M, Şahan. Z. A., 2021. Effect of cryogenic heat treatment on phase formation in $Co_{38}Ni_{37}Al_{17}Si_6Sb_2$ ferromagnetic shape memory alloy, JMEPEG, 30, 7283-7294.

27. Sarowar Hossain, Md., Gokul, P., Barnana, Pal. ve Mukhopadhyay, P. K., 2019. Correlation of dynamic elastic properties of a heat treated CoNiAl alloy system with Hs Microstructural changes, Shop. Mem. Superelasticity, 5, 468-475.

28. Bogchi, A., Sarker, S., Bysakh, S., Sarkar, S. ve Muhhopadhyay, PK., 2019. Possible mechanisms for degradation of photo induced micro actuation effect in a ferromagnetic shape memory alloy at high temperatures. J Appl. Phys., 125, 14, 125-144, 505.

29. Oikawa, K., Wulff, L., Lijima, T., Gejima, F., Ohmori, T., Fujita, A., Fukamichi, K., Kainuma, R. ve Ishida, K., 2001. Promising ferromagnetic Ni-Co-Al Shape memory alloy system, Appl Phys Left, 79, 12, 3290.

30. Şahan, Z. A., 2019. Kriyojenik ısıl işlem üsresinin CoNiAlSi alaşımında martensitik faz dönüşümü üzerine etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.

31. 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.

32. 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.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad **:** Ahmet ŞAHAN

EĞİTİM BİLGİLERİ

Lisans **:** Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği, 2005-2010

Yüksek lisans **:** Aksaray Üniversitesi, Fizik Ana Bilim Dalı, 2019-2024

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. Milenyum doğalgaz, Proje Mühendisi, (2010-2014)
2. Gazdaş, Tesisat Kontrol Mühendisi, (2014-2015)
3. Değer Mühendislik, Proje Mühendisi, (2015-2016)
4. Ottoman Asansör, Satınalma ve Proje Mühendisi, (2016-2018)
5. Giray Petrolcülük, LPG Sorumlu Müdürlük, (2018-2020
6. Urfa Mirza Yapı Denetim, Yapı Denetim Uzmanı, (2020-2024)

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Kongrelerde Sunulan Bildiriler

1. Eskil, M. ve Şahan, A,. 2024. $Co_{38}Ni_{35}Al_{20}Si_6Mo_1$ ve $Co_{38}Ni_{37}Al_{17}Si_6Sb_2$ şekil hafızalı heusler alaşımların bazı morfolojik özelliklerinin incelenmesi, 3. Uluslararası Malzeme Mühendisliği ve İleri İmalat Teknolojileri Kongresi (IMEAMTC'24).