

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**B₄C TAKVİYELİ Al-Si ALAŞIMLARININ YARI KATI-SIVI ARALIĞINDA
ŞEKİLLENDİRİLMESİ VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Niyazi Yılmaz ÇOLAK

Anabilim Dalı: Metalurji Eğitimi

Bilim Dalı : Malzeme

Danışmanı: Doç. Dr. Hüseyin TURHAN

TEMMUZ-2011

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**B₄C TAKVİYELİ Al-Si ALAŞIMLARININ YARI KATI-SIVI ARALIĞINDA
ŞEKİLLENDİRİLMESİ VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Niyazi Yılmaz ÇOLAK

(091122102)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 25 Temmuz 2011

Tezin Savunulduğu Tarih: 11 Ağustos 2011

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hüseyin TURHAN (F.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Ahmet HASÇALIK (F.Ü)
Yrd. Doç. Dr. Tülay YILDIZ (F.Ü)

TEMMUZ-2011

ÖNSÖZ

Tez çalışmamda kıymetli fikirleriyle çalışmalarımı yönlendiren ve her konuda beni destekleyip yardımlarını esirgemeyerek yol gösteren sayın hocam Doç. Dr. Hüseyin TURHAN' a en içten teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. SEM analizlerinin yapılması sırasındaki yardımlardan dolayı Sayın Prof. Dr. Yusuf ATICI ve Arş. Gör. Ünal AKGÜL'e, XRD analizleri sırasında desteklerinden dolayı Sayın Prof. Dr. Mustafa AKSOY' a ve XRD analizlerimi yapan Sayın Uzm. Selçuk KARATAŞ' a çalışmalarım esnasında desteklerini esirgemeyen Doç. Dr. Bülent KURT 'a, Yrd. Doç. Dr. Ayhan ORHAN' a, Arş. Gör. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ' ne Arş. Gör. Dr. Ömer GÜLER'e ve Mahmut KARATAŞ 'a teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Eğitim sürem boyunca desteklerini benden esirgemeyen canım aileme teşekkürlerimi sunarım.

Özellikle tezim için 2093 numaralı proje kapsamında maddi destek sağlayan Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) Birimi ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Niyazi Yılmaz ÇOLAK

ELAZIĞ – 2011

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	
İÇİNDEKİLER	I
ÖZET	III
SUMMARY	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ	V
TABLolar LİSTESİ	IX
1. GİRİŞ	1
2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM-SİLİSYUM ALAŞIMLARI	3
2.1 Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlar	3
2.2 Alüminyumun Avantajları	5
2.3 Alaşım Elementi Olarak Silisyum	6
2.4 Alüminyum Silisyum Alaşımları	7
2.4.1. Al-Si Faz Diyagramı	8
2.4.2. Al-Si Alaşımlarında Silisyumun Özelliklere Etkisi	10
3. BOR KARBÜR	12
3.1. Bor Karbür Malzemeler	12
3.1.1. Bor Karbürün Kristal Yapısı	14
3.1.2. Bor Karbürün Kullanım Alanları	14
4. YARI-KATI ÜRETİM YÖNTEMLERİ	18
4.1. Yarı-Katı Üretim Teknolojisi	18
4.2. Yarı-Katı Metal Şekillendirme İçin Ön Malzeme Üretim Yöntemleri	23
4.2.1. Mekanik Karıştırma Yöntemi	23
4.2.2. Elektromanyetik Karıştırma Yöntemi	25
4.2.3. SIMA-RAP	27
4.2.4. Sprey Döküm	30
4.2.5. Düşük Sıcaklıklardan Döküm Yöntemi	31
4.2.6. Kimyasal Tane İnceltme Yöntemi	32
4.2.7. Eğimli Soğuma Plakasına Döküm Yöntemi	32
4.3. Yarı-Katı Şekillendirme Yöntemleri	35
4.3.1. Tikso Şekillendirme	36
4.3.1.1. Tikso Döküm	37
4.3.1.2. Tikso Dövme	38
4.3.1.3. Tikso Kalıplama	39
4.3.2. Rheo Şekillendirme	40
4.3.2. 1. Rheo Döküm	40
4.3.2. 2. Yeni Rheo Döküm Yöntemi	42
4.4. Yarı-Katı Üretim Yönteminin Avantajları	43
4.5. Yarı-Katı Üretim Yönteminin Dezavantajları	44
4.6. Yarı-Katı Şekillendirmenin Uygulama Alanları	44
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	46
5.1. Çalışmanın Amacı	46
5.2. Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Numunelerin Üretimi	46

5.2.1.	Kullanılan Tozlar ve Özellikleri.....	47
5.2.2.	Toz Karışımlarının Hazırlanması.....	48
5.2.3.	Tozların Kalıplanması	50
5.2.4.	Sinterlenme.....	51
5.2.5.	Numunelerin Tekrar ısıtılması ve yarı katı şekillendirilmesi.....	52
5.3.	Mikroyapı İncelemeleri İçin Numune Hazırlanması ve Mikroyapı Çalışmaları.....	53
5.4.	X-Isını Kırınımı incelemeleri	54
5.5.	Mikro sertlik Deneyi.....	54
6.	DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ	57
6.1.	Deney Numunelerinin Makroyapı Analizleri	57
6.2.	Deney Numunelerinin SEM Analizleri ve EDS Analiz Sonuçları.....	58
6.3.	Mikrosertlik Sonuçları.....	95
6.4.	X-RD Analiz Sonuçları	96
7.	GENEL SONUÇLAR	102
8.	KAYNAKÇA	104
	ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Bu çalışmada, bor karbür takviyeli (%5-10-15-20) alüminyum-silisyum esaslı kompozitler üretilmiştir. İkincil numuneler yarı katı aralığında şekillendirilerek özellikleri incelenmiştir. Yapılan çalışmada, yarı katı şekillendirme yönteminin, takviye oranının, takviye tane boyutunun, presleme basıncının, sinterleme atmosferinin ve sinterleme sıcaklığının etkileri dikkate alınarak incelemeler yapılmıştır. Mikroyapı incelemeleri için taramalı elektron mikroskobu(SEM) kullanılmıştır. İntermetalik fazlar (XRD) analizi ile tespit edilmiştir.

Yarı katı şekillendirme işlemi; porozite özelliğini etkilemiş, yapıdaki poroziteler azalmış ve daha yoğun bir kompozit elde edilmiştir. Çalışmada uygulanan yarı katı-sıvı aralığında şekillendirme yönteminin matris ve takviye arasındaki bağlantıyı kuvvetlendirdiği tespit edilmiştir. Numunelerde matris ve takviye partikülleri arasında AlB_{10} , AlB_{12} , Al_3SiB_{48} , $Al_8B_4C_7$ gibi intermetalik fazların meydana geldiği tespit edilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda, numunelerde sertlik, artan bor karbür ilavesi ile artmaktadır. Ancak aynı oranda bor karbür ilaveli numunelerin yarı katı şekillendirilmeye bağlı olarak sertlik değerleri daha çok artmıştır. Toz metalurjisi ile üretilen numunelerde en yüksek sertlik değeri %20 B_4C takviyeli N5 numunesinde 71.3 HV olarak ölçülmüştür. Yarı katı şekillendirilen numunelerde ise en yüksek sertlik değeri %20 B_4C takviyeli N10 numunesinde 85.4 HV olarak ölçülmüştür.

Anahtar kelimeler: Al-Si, B_4C , Kompozit, Yarı Katı Şekillendirme.

SUMMARY

In this study, boron carbide reinforced (%5-10-15-20) aluminum silica based composites have been produced. Secondary samples features shaping a range of semi-solid were examined. In study, taking into consideration the effects of semi-solid formation method such as; the rate of reinforcement, reinforcing grain size, pressing pressure, sintering atmosphere and sintering temperature were investigated. Microstructure for examination, Scanning Electron Microscopy (SEM) was used. Intermetallic phases using XRD analysis were determined.

Property of semi-solid forming process influenced the porosity, decreased porosity and denser composite structure was obtained. Applied to study a range of semi-solid-liquid forming method has emerged to strengthen the connection between matrix and reinforcement. In samples, between matrix and reinforcement particles such as; AlB_{10} , AlB_{12} , $\text{Al}_3\text{SiB}_{48}$, $\text{Al}_8\text{B}_4\text{C}_7$, intermetallic phases were occurred.

As a result of the studies, the hardness of samples was increased with addition of boron carbide. But at the same rate of addition of boron carbide depending on the hardness of the samples semi-solid shaping values have increased more. In samples produced by powder metallurgy, the highest hardness value, 20% B_4C reinforced the N5 sample was measured as 71.3 HV. In semi solid formational specimens, the highest hardness value, 20% B_4C reinforced N10 HV sample was measured as 85.4.

Keywords: Al-Si, B_4C , Composite, Semi-Solid Forming.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Al-Si alaşımlarında silisyumun mekanik özelliklere etkisi.....	8
Şekil 2.2. Alüminyumun tane inceltmesinde silisyum içeriğinin etkisi.....	8
Şekil 2.3. Al-Si faz diyagramı.....	9
Şekil 3.1. Bor karbür tozu.....	13
Şekil 3.2. Bor karbürün yapısı.....	14
Şekil 3.3. Bor karbürden imal edilmiş ürünler.....	17
Şekil 4.1. Yarı-Katı halde şekil vermenin oluşumu	19
Şekil 4.2. Yarı-Katı haldeki malzemenin katılaşması sırasında tane morfolojisindeki değişim.....	20
Şekil 4.3. a) Geleneksel döküm ile üretilmiş dendritik yapı ve b) Yarı-katı durumda oluşturulmuş dendritik olmayan küresel yapı.....	21
Şekil 4.4. Mekanik karıştırma ünitesi.....	24
Şekil 4.5. Sürekli mekanik karıştırma ünitesi.....	25
Şekil 4.6. Mekanik karıştırma ile ön malzeme üretiminde zaman-sıcaklık ilişkisinin şematik olarak gösterimi.....	25
Şekil 4.7. Elektromanyetik karıştırıcının şematik gösterimi a) dikey elektromanyetik karıştırıcı b) yatay elektromanyetik karıştırıcı.....	26
Şekil 4.8. Manyetik karıştırma yönteminin zaman-sıcaklık grafiğinde şematik olarak gösterimi.....	26
Şekil 4.9. Manyetik karıştırma ile üretilmiş malzemeye ait mikro yapı görüntüsü.....	27
Şekil 4.10. Termomekanik yöntemindeki mikroyapı gelişiminin gösterimi.....	28
Şekil 4.11. Soğuk deformasyon ve sima yöntemi uygulanan alaşıma ait mikroyapılar	29
Şekil 4.12. Soğuk deformasyon uygulanmış alaşımın farklı sıcaklık ve bekletme süreleri sonrası oluşan mikroyapıları.....	29
Şekil 4.13. Modifiye edilmiş SIMA yöntemi için şematik proses sırası.....	30
Şekil 4.14. SIMA ve RAP işlemlerinin şematik olarak zaman-sıcaklık eğrisinde gösterimi.....	30
Şekil 4.15. Sprey şekillendirmenin şematik gösterimi.....	31

Şekil 4.16. Eğimli soğutma plakasına döküm işleminin şematik olarak gösterimi.....	33
Şekil 4.17. Farklı basit rheo-döküm yöntemi gösterimleri.....	34
Şekil 4.18. Yarı-katı metal şekillendirme yöntemlerinin sınıflandırılması.....	35
Şekil 4.19. Tikso şekillendirme ve Rheo şekillendirme.....	36
Şekil 4.20. Yarı katı metal işleme için üç ana yöntem.....	36
Şekil 4.21. Tikso şekillendirme yöntemleri.....	37
Şekil 4.22. Tikso döküm yönteminin şematik olarak gösterimi.....	38
Şekil 4.23. Tikso dövme yönteminin şematik olarak gösterimi.....	39
Şekil 4.24. Tikso kalıplama yönteminin şematik olarak gösterimi.....	40
Şekil 4.25. Reo döküm yönteminin şematik olarak gösterimi.....	41
Şekil 4.26. Reo-kalıplama ünitesinin şematik olarak gösterimi.....	41
Şekil 4.27. Yeni rheo döküm yönteminin şematik gösterimi.....	42
Şekil 4.28. Yarı-katı şekillendirme ile üretilmiş bazı Al parçalar.....	45
Şekil 4.29. Yarı katı şekillendirilmiş farklı alaşımlara ait mikroyapı görüntüleri.....	45
Şekil 5.1. Numune bileşimlerinin hazırlanmasında kullanılan hassas terazî.....	48
Şekil 5.2. Numunelerin üretiminde kullanılan 88-tipi mikserin şematik görüntüsü.....	49
Şekil 5.3. Kompozit tozların soğuk presleme işleminde kullanılan metal kalıbın şematik görüntüsü.....	50
Şekil 5.4. Deneysel çalışmalarda kullanılan boru tipi fırın.....	51
Şekil 5.6. Sinterleme fırınının şematik gösterimi.....	51
Şekil 5.7. Sinterleme parametresi grafiği.....	52
Şekil 5.8. Kompozitlerin yarı katı şekillendirilmesi işleminde kullanılan metal kalıbın şematik görüntüsü.....	52
Şekil 5.9. Parlatma cihazları, (a) kaba parlatmaların yapıldığı, (b) ince parlatmaların yapıldığı cihaz.....	53
Şekil 5.10. Mikroyapı incelemelerinin yapıldığı JEUL marka taramalı elektron mikroskobu.....	54
Şekil 5.11. Mikrosertlik ölçüm numunesinin şematik resmi.....	55
Şekil 5.12. Mikrosertlik ölçme cihazı.....	55
Şekil 5.13. Numunelerin üretimi ve yapılan deneylerin akış diyagramı.....	56
Şekil 6.1. Sinterleme sonrası elde edilen numunelerin fotoğrafı.....	57
Şekil 6.2. Yarı katı şekillendirme sonrası elde edilen numunelerin fotoğrafı.....	58
Şekil 6.3. N1 Numunesine ait SEM fotoğrafı. (a) X 150 ve (b) X 500.....	59

Şekil 6.4. N1 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı.....	60
Şekil 6.5. N1 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	60
Şekil 6.6. N1 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	61
Şekil 6.7. N2 Numunesine ait SEM fotoğrafı. (a) X 500 ve (b) X 1000.....	62
Şekil 6.8. N2 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı.....	63
Şekil 6.9. N2 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	63
Şekil 6.10. N2 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	64
Şekil 6.11. N2 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	64
Şekil 6.12. N3 Numunesine ait SEM fotoğrafı. (a) X 500 ve (b) X 1000.....	66
Şekil 6.13. N3 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı.....	67
Şekil 6.14. N3 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	67
Şekil 6.15. N3 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	68
Şekil 6.16. N3 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	68
Şekil 6.17. N4 Numunesine ait SEM fotoğrafı. (a) X 500 ve (b) X 1000.....	70
Şekil 6.18. N4 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı.....	71
Şekil 6.19. N4 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	71
Şekil 6.20. N4 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	72
Şekil 6.21. N4 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	72
Şekil 6.22. N5 Numunesine ait SEM fotoğrafı. (a) X 500 ve (b) X 1000.....	74
Şekil 6.23. N5 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı.....	75
Şekil 6.24. N5 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	75
Şekil 6.25. N5 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	76
Şekil 6.26. N5 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	76
Şekil 6.27. N6 Numunesine ait SEM fotoğrafı. (a) X 500 ve (b) X 1000.....	78
Şekil 6.28. N2 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı.....	79
Şekil 6.29. N6 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	79
Şekil 6.30. N6 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	80
Şekil 6.31. N7 Numunesine ait SEM fotoğrafı. (a) X 500 ve (b) X 1000.....	81
Şekil 6.32. N7 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı.....	82
Şekil 6.33. N7 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	82
Şekil 6.34. N7 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	83
Şekil 6.35. N7 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	83
Şekil 6.36. N8 Numunesine ait SEM fotoğrafı. (a) X 500 ve (b) X 1000.....	85

Şekil 6.37. N8 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı.....	86
Şekil 6.38. N8 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	86
Şekil 6.39. N8 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	87
Şekil 6.40. N8 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	87
Şekil 6.41. N9 Numunesine ait SEM fotoğrafı. (a) X 500 ve (b) X 1000.....	89
Şekil 6.42. N9 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı.....	90
Şekil 6.43. N9 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	90
Şekil 6.44. N9 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	91
Şekil 6.45. N9 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	91
Şekil 6.46. N10 Numunesine ait SEM fotoğrafı. (a) X 500 ve (b) X 1000.....	93
Şekil 6.47. N10 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı.....	94
Şekil 6.48. N10 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	94
Şekil 6.49. N10 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	95
Şekil.6.50. B ₄ C takviye oranının ve yarı katı şekillendirme yönteminin sertliğe etkisi.....	95
Şekil 6.51. N1 numunesine ait XRD analizi.....	96
Şekil 6.52. N2 numunesine ait XRD analizi.....	97
Şekil 6.53. N3 numunesine ait XRD analizi.....	97
Şekil 6.54. N4 numunesine ait XRD analizi.....	98
Şekil 6.55. N5 numunesine ait XRD analizi.....	98
Şekil 6.56. N6 numunesine ait XRD analizi.....	99
Şekil 6.57. N7 numunesine ait XRD analizi.....	99
Şekil 6.58. N8 numunesine ait XRD analizi.....	100
Şekil 6.59. N9 numunesine ait XRD analizi.....	100
Şekil 6.60. N10 numunesine ait XRD analizi.....	101

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Saf alüminyumun özellikleri.....	4
Tablo 2.2. Çeşitli sıcaklıklarda silisyumun alüminyum içerisindeki eriyebilirliği.....	10
Tablo 2.3. Alüminyum-Silisyum alaşımlarının bileşimi.....	10
Tablo 3.1. Bor karbür tozun genel özellikleri.....	12
Tablo 3.2. Bor karbür seramiğin özellikleri.....	16
Tablo 5.1. Deney numunelerinin üretiminde kullanılan bor karbür tozunun kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	47
Tablo 5.2. Deney numunelerinin üretiminde kullanılan alüminyum tozunun kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	48
Tablo 5.3. Üretilen deney numunelerinin toz bileşimleri.....	49
Tablo 6.1. N1 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.....	61
Tablo 6.2. N1 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.....	61
Tablo 6.3. N2 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.....	64
Tablo 6.4. N2 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.....	64
Tablo 6.5. N2 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.....	64
Tablo 6.6. N3 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.....	68
Tablo 6.7. N3 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.....	68
Tablo 6.8. N3 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.....	68
Tablo 6.9. N4 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.....	71
Tablo 6.10. N4 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.....	72
Tablo 6.11. N4 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.....	72
Tablo 6.12. N5 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.....	75
Tablo 6.13. N5 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.....	76
Tablo 6.14. N5 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.....	76
Tablo 6.15. N6 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.....	79
Tablo 6.16. N6 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.....	80
Tablo 6.17. N7 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.....	82
Tablo 6.18. N7 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.....	83
Tablo 6.19. N7 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.....	83
Tablo 6.20. N8 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.....	86

Tablo 6.21.	N8 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.....	87
Tablo 6.22.	N8 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.....	87
Tablo 6.23.	N9 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.....	90
Tablo 6.24.	N9 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.....	91
Tablo 6.25.	N9 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.....	91
Tablo 6.26.	N10 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.....	94
Tablo 6.27.	N10 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.....	95

SİMGE LİSTESİ

g	Gram
kg	Kilogram
cm ²	Santimetrekaare
mm ²	Milimetrekaare
cm ³	Santimetrekaap
°C	Derece Santigrat
K	Kelvin
µm	Mikrometre
cal	Kalori
Ω	Ohm
N	Newton

KISALTMALAR LİSTESİ

YMK	Yüzey Merkezli Kübik
B₄C	Bor Karbür
MHD	Manyetohidrodinamik
SSM	Yarı-Katı Metal (Semi-Solid Metal)
SIMA	Gerilme Altında Metal Aktivasyonu (Strain Induced Melt Activation)
RAP	Yeniden kristalleşme ve kısmi ergitme işlemi (Recrystallization and Partial Melting)
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MPa	Mega Pascal
GPa	Giga Pascal

1. GİRİŞ

Günümüzde insanların ihtiyaçları sürekli değişmekte ve gelişmektedir. Günümüz teknolojisinin ve endüstriyel sanayisinin gelişmesinin sınırları ise malzemelerin özellikleri ile belirlenmektedir. Gelişen endüstrinin ihtiyaçlarını karşılayacak yeni malzemeler elde edebilme arayışı, malzeme bilimindeki büyük gelişmelerin temelini oluşturmuştur. Bu sayede malzeme bilimciler alışlagelmiş malzemelerden farklı olarak, üstün niteliklere sahip yeni malzemeler ve üretim metotları geliştirmektedir.

Hafif metal alaşımlarının günümüz teknolojisindeki uygulaması ve önemi giderek artmaktadır. Bu tür alaşımlardan olan alüminyum alaşımları kolay dökülebilmeleri, özgül ağırlık ve ısı genleşmelerinin düşük, ısı iletkenliklerinin yüksek olması ve uygun mekaniksel özellikler göstermeleri nedeni ile teknolojik bir öneme ve çekiciliğe sahiptirler.

Alüminyum ve alaşımları düşük yoğunlukları ve yüksek dayanım/ağırlık özelliklerinden dolayı, birçok uygulama alanında başarı ile kullanılan vazgeçilmez bir malzeme haline gelmiştir. Bugün, bazı özellikleri ile çelik ile karşılaştırılabilir durumdadır. Yeni alaşımların geliştirilmesi ve yeni üretim tekniklerinin geliştirilmesiyle, otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılabilir hale getirmiştir. Ülkemizde, otomotiv sektörü sürekli olarak gelişmekte ve yeni ve üstün nitelikli üretimler yapılabilmektedir. Mevcut alaşımların özellikleri ile farklı üretim tekniklerinin bir araya getirilmesi, elde edilen üründe kalitesini artırmaktadır. Alüminyum hem dünyada hem de ülkemizde çok iyi bilinen ve aynı zamanda üretimi de yapılan bir metaldir. Ancak; artık klasik üretim tekniklerinden ziyade gelişen teknolojiler kullanılarak daha nitelikli ürünler elde edilmeli ve yeni teknolojilere yatırım yapılmalıdır. Ülkemiz mevcut teknoloji alt yapısı göz önünde bulundurulduğunda, yeni üretim tekniklerine ayak uydurabilecek durumdadır.

Klasik bir üretim yöntemi olan kum kalıba döküm işlemi, bilinen ilk döküm yöntemidir. Bu yöntemle malzeme üretiminde bir dizi problemle karşılaşmaktadır. Bu problemler; kalıbın doldurulması sırasında meydana gelen türbülans nedeniyle gaz absorbesi, çekme boşluklarının oluşması ve katılaşma sırasında oluşan sıcak yırtılmalar olarak sıralanabilir. Özellikle, sıcak yırtılma problemleri yarı-katı durumdaki alaşımın sünekliliğini olumsuz yönde etkiler ve dendritik yapıya bağlı olarak alaşımın katılaşması sırasında meydana gelmektedir. Çekme boşlukları (mikro poroziteler) ise dendrit kolları (dendritik ağ) arasında kalan sıvı bölgenin beslenememesinden kaynaklanmaktadır. Klasik dökümle üretim yöntemlerinde karşılaşılan bu olumsuzluklar nedeniyle, yeni üretim

teknikleri geliştirilmektedir. Bu tekniklerden biriside malzemenin %50' sinin sıvı %50' sinin katı olduğu ve kolaylıkla şekillendirilebildiği yarı-katı üretim yöntemidir.

Alüminyum ve alaşımlarının, seramik partiküllerinin iyi mekanik ve fiziksel özellikleri ile birleştirilmesi ile elde edilen alüminyum matrisli kompozitlerin kullanımı, gösterdikleri üstün özelliklerinden dolayı hızla artmaktadır. Bor karbür, etkili bir takviye malzemesinden beklenen, özellikle; yüksek sertlik ve rijitlik gibi mekanik ve fiziksel özelliklerin çoğunu gösterdiğinden, alüminyum ve alaşımları için çekici ve talep gören bir takviye malzemesidir. B₄C seramikleri yüksek sertliği, hafifliği, güçlü kovalent bağ karakterleri ve üstün mekanik özellikleri nedeniyle aşınma ve darbe direnci gerektiren uygulamalarda geniş kullanım alanı bulmaktadır.

Bor karbür takviyeli Alüminyum alaşımlarının yarı-katı şekillendirilmesi bu nedenlerden dolayı, üstün özellikli malzeme üretiminde büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada, bor karbür takviyeli alüminyum-silisyum esaslı kompozitler %5-10-15-20 taviyeli olarak üretilmiş, yarı katı-sıvı aralığında şekillendirilerek özellikleri incelenmiştir. Yapılan çalışmada, üretilen numunelerin mikroyapı özelliklerine yarı katı şekillendirme yönteminin, takviye oranının, takviye tane boyutunun, presleme basıncının, sinterleme atmosferinin ve sinterleme sıcaklığının etkisini belirlemek amacıyla mikroyapılar taramalı elektron mikroskobu(SEM)'nda incelenmiştir. X ışınları kırınımı (XRD) tayini ile üretilen numunelerde bulunan fazlar tespit edilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu enerji dağılım x ışını spektrometresi (SEM-EDS) tekniği kullanılarak sistemde oluşan fazların kimyasal içeriği belirlenmeye çalışılmıştır.

Takviye malzemesi olarak bor karbür seçilmesinde, bileşiğin yüksek ergime noktası, iyi kimyasal ve fiziksel kararlılığa sahip olması büyük rol oynamıştır. Ayrıca çalışmada uygulanan yarı katı-sıvı aralığında şekillendirme yönteminin matris ve takviye arasındaki bağlantıyı kuvvetlendirdiği ve kompozitin özellikleri üzerinde büyük etkisi olduğu düşünülmektedir. Yarı katı şekillendirme işlemi kompozitin özelliğini olumlu yönde etkilemiş, yapıdaki poroziteler azalmış ve daha yoğun bir kompozit elde edilmiştir

2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM-SİLİSYUM ALAŞIMLARI

2.1. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları

Alüminyum ve alaşımları, dünyada demir esaslı malzemelerden sonra ikinci sırada gelen en önemli metal malzeme grubunu teşkil eder. Ayrıca, hafif metaller arasında da gerek arı halde gerekse alaşım olarak en çok kullanılanıdır.

Alüminyum ve alaşımlarının sağladığı bir çok özellik, alüminyum zamanla mühendislik uygulamalarında çok yönlü, ekonomik ve çekici bir malzeme haline getirmiştir. Düşük yoğunluğuna rağmen sağladığı yüksek mukavemet, en önemli özelliğidir. Yoğunluğu aynı hacimdeki çelik ve bakırın yaklaşık üçte biri kadardır [1]. Yoğunluğunun düşük olmasından dolayı, çekme ve akma mukavemeti çeliğinki kadar yüksek olmamasına rağmen ağırlık başına mukavemet çeliğinkinden büyüktür [2]. Ağırlığın az oluşu, alaşımlama ve yaşlandırmalar ile elde edilen mukavemetle birleştiğinde uzay araçları, uçak gibi hareket eden hafif yapılarda uyguna alanları yaratmaktadır.

Alüminyum; atmosfer şartlarında su ve tuzlu suda, bazı kimyasallar ve çözeltiler içinde yüksek yenim direncine sahiptir [1]. Normal atmosfer koşullarında oksijen ile reaksiyona girerek kendi yüzeyinde doğal koruyucu bir film tabakası oluşturur. Ortalama $635 \cdot 10^{-9}$ cm kalınlığında olan bu alümina tabakası alüminyum korozyondan korur [3]. Ayrıca, anodizasyon (eloksal) işlemi ile bu koruyucu tabakaların kalınlığı artırılabilir. Ancak; alkali eriyikler, bu oksit tabakasını bozduğundan koruyuculuk etkisi kaybolur. Bu nedenle; yapılarda harç, sıva gibi kireç içeren malzemelerin alüminyum elemanlarla temas etmemesi gerekir [4].

Gıda ve elektrik endüstrisinde kullanılan alüminyum % 99.99 saflık derecesindedir. Alüminyum borular ve saclar % 99.5 ile 99.8 bazen de % 98 ile 99 derecesinde saftır. Geri kalan kısımları genellikle silisyum ve demirden ibarettir. Alüminyumun bileşiminde bulunan demir (Al_3Fe), özelliklerine pek etki etmez. Ama, silisyum ne kadar az olursa olsun alüminyumun özelliklerini değiştirir. Alüminyum 250-350 °C arasında tavlandığı takdirde, katı eriyik halinde bulunan silisyum, alüminyumdan ayrılır. 350 °C 'nin üzerinde tekrar katı eriyik haline geçer. Silisyumun ayrılmasıyla alüminyumun mukavemeti düşer. Yani, alüminyum 250 ile 350 °C aralıklar arasında gayet düşük bir mukavemete sahiptir. Bunun için soğurken bu aralığı çabuk geçmek gerekir. Bu suretle alüminyumun katı eriyik halinden ayrılması önlenmiş olur [5].

Alüminyum ile bir veya daha fazla metalin beraber ergitilmesi sonucu elde edilen alaşımlarda özellikler çeşitli yönlerden alüminyuma nazaran iyileşmiş olur. Bu özellikler; dökülebilirlik, mekanik mukavemet, kimyasal stabilite, işlenebilme, ısı genleşme, ısı iletkenlik, ısıya mukavemet olarak sıralanabilir [5].

Alüminyum alaşımları; alüminyuma bakır, çinko, silisyum, magnezyum, manganez, demir, nikel, titan, vb. elementler katılarak oluşturulur. Bunların bazen biri, bazen daha çoğu alüminyuma girerler. Alüminyuma katılan alaşım elemanları mukavemet özelliklerini yükseltir.

Alaşımlama ergimiş haldeki metale saf alaşım metallerinin yada önceden hazırlanmış alaşımların ilavesiyle tamamlanır, ergimiş haldeki metal doğrudan arındırma biriminden gelebilir yada katılaştırılıp daha sonra tekrar ergitilebilir. İhtiyaç duyulan özelliklerin eldesi için yapılan bileşim değişiklikleri; ana metalin saflığını artırma ve alaşımlama ile gerçekleştirilir. Bazı durumlarda zararlı elementler uzaklaştırılır ve yararlı olanlar ilave edilir [5].

Tablo 2.1. Saf alüminyumun özellikleri

Kristal yapısı	Yüzey merkezli kübik
Yoğunluk	2.7 gr/cm ³
Yeniden kristalleşme sıcaklığı	150-300°C
Isı iletkenliği (25 °C)	645-660 Kcal/Sa/cm/ °C
İşlem sıcaklığı	300-500 °C
Ergime sıcaklığı	660 °C
Çekme dayanımı	4-9 kg/mm ²
Akma dayanımı	1-3 kg/mm ²
Sertlik	12-20 kg/mm ²
Elastiklik modülü	7.2 x10 ⁵ kg/cm ²
Kayma modülü	2.7 x10 ⁵ kg/cm ²
Çentik darbe tokluğu	10 kg/cm ²
Kopma uzaması	%30-40

Alüminyumun bazı fiziko-kimyasal özellikleri şöyledir:

- Yoğunluk: Hem sıvı hem katı alüminyum yoğunluğu artan saflık derecesiyle orantılı olarak düşer. Örneğin %99.75 saflıktaki alüminyumun 20 °C’ deki yoğunluğu 2.7003 g/cm³ iken %99.97 saflıktaki alüminyumun aynı sıcaklıktaki yoğunluğu 2.6996 g/cm³ tür.
- Ergime noktası: Alüminyumun ergime noktası artan sıcaklıkla birlikte artar. Örneğin; %99.2 saflıktaki alüminyumun ergime noktası 657 °C iken %99.99 saflıktaki alüminyumun ergime noktası 660.24°C’dir.
- Kaynama noktası: Metalik alüminyumun kaynama noktası ve buhar basıncı üzerine çok farklı değerler verilmektedir. Açıklanmış son neticelere göre; alüminyumun kaynama noktası 750 mmHg sütununda 2497 °C ve vakumda 1607 °C’ dir.
- Isı genleşmesi: %99.95’ lik çok saf alüminyum için 20 °C den 600 °C kadarki sıcaklık diliminde lineer ısı genleşmesi denklemi $L_1 = L_0[1 + (22.58T + 0.000989T^2) \cdot 10^{-6}]$ ’ dir. Burada L_0 başlangıçtaki uzunluk L_T ise T °C’ deki uzunluktur. %99.996 saflık dereceli alüminyum için 20-500 °C sıcaklık diliminde $L_1 = L_0[1 + (23.22T + 0.0046T^2 + 0.000078T^3) \cdot 10^{-6}]$ denklemi geçerlidir. Bu iki denklemin karşılaştırılması ile alüminyumun lineer genleşmesinin artan saflık derecesi ile azda olsa büyüdüğü anlaşılmaktadır.
- Isıl iletkenliği: Alüminyumun ısı iletkenliği, artan saflık derecesiyle büyür. Örneğin; %99.489 Al’ lu bir metal için 200 °C’ de 0.5 cal/cm.s. °C ve %99.7 Al’ lu bir metal için 0.531 cal/cm.s. °C’ dir. Maliyet ve ağırlık değerleri birlikte ele alındığında diğer metallerden daha yüksek ısı iletkenliğe sahip olduğu sonucuna varılır.
- Elektrik iletkenliği: Bu değerde, saflık derecesiyle artmaktadır ve farklı sıcaklıklarda farklı değerler almaktadır. Bir örnek vermek gerekir ise; ergiyik elektrolizi sıcaklıklarında (930-950 °C) özgül elektrik direnci yaklaşık 30.10⁻³ Ω mm²/m’ dir. Bu değer, aynı miktardaki bakırın %63’ ü kadardır [3].

2.2. Alüminyumun Avantajları

Alüminyumu diğer metallere göre birçok alanda avantajlı kılan en önemli özellikleri;

1. Hafifliği,
2. Hafifliğine karşın alaşımlandırıldığında yeterli mukavemeti,
3. Yüksek korozyon direnci,

4. Tekrar kullanılabilirliği,
5. İşlenebilirliği,
6. Şekillendirilebilirliği,
7. Dövülebilirliği,
8. Çekilebilirliği,
9. Yüksek ısı ve elektriksel iletkenliği,
10. Işık ve ısı yansıtıcılığı olarak sıralanabilir [5].

Demirden yaklaşık olarak üç kat daha hafif olan alüminyum, alaşımlandırılarak demire yakın mukavemette bir malzeme olmaktadır. Böylece, alüminyumun otomotiv sektöründe kullanımı, aracın ağırlığını azaltarak yakıt tüketimini düşürmekte, buna karşılık yük kapasitesini arttırmaktadır.

2.3. Alaşım Elementi Olarak Silisyum

Alüminyum döküm alaşımlarında ana alaşım elementlerinin başında silisyum gelir. Silisyum alüminyuma alaşımlama ile getirdiği etkiler şu şekilde sıralanabilir [5].

- Ergimiş metalin akışkanlığını yükseltir. Çok karmaşık ve birbirine nazaran çok farklı kesitleri olan parçalarda daha iyi metal akışını ve iyi dolmayı sağlar,
- Dış büzülmeyi azaltır,
- Dökümün mukavemetli olmasını sağlar,
- Magnezyumla beraber Alüminyumu alaşımladıkları zaman elde edilen alaşımın ısı işlenebilme olanağı vardır,
- Isıl genleşme katsayısını küçültür,
- Sertliği artırır. İşlenebilme özelliğini alüminyuma göre zorlaştırır,
- Kaynak olabilme yeteneğini artırır,
- Katılaşma büzülmesini azaltır,
- Elektrik iletkenliğini azaltır,
- Sünekliliği plastik şekil değiştirmeyi azaltır, kırılmalık yaratır [5].

2.4. Alüminyum Silisyum Alaşımları

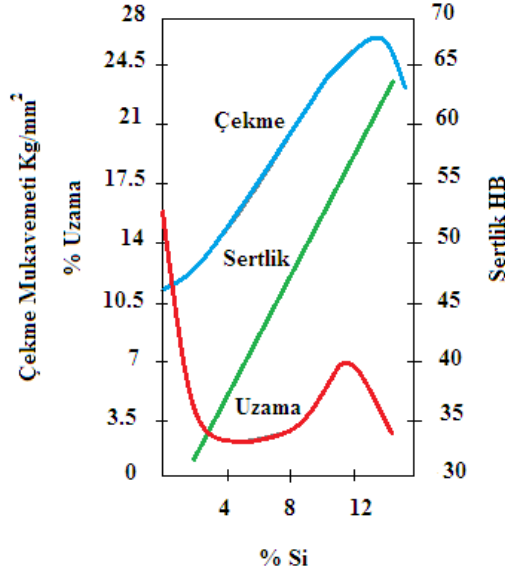
Ana alaşım elementi Si olan Alüminyum döküm alaşımları, üstün döküm özelliklerinden dolayı en önemli ticari döküm alaşımlarıdır. Al-Si alaşımları yüksek akıcılık değerlerine sahiptir. İkili Al-Si alaşımlarına ısıtma işlemi uygulanabilir olarak düşünülemez. Çünkü; sadece küçük bir miktar silisyum (Max. 1.65 Si), alüminyumda çözünür ve çok düşük miktarda sertleşmeye neden olur [6].

Günümüzde Al-Si alaşımları, dayanım/ağırlık oranının yüksek oluşu, yüksek ısıtma ve elektriksel özellikleri ve kum kalıba dökümden basınçlı döküme kadar birçok yöntemle dökülebilmelerine olanak sağlayan mükemmel döküm kabiliyetleri nedeniyle otomotiv endüstrisinden havacılık sanayine kadar geniş bir alanda yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Al-Si alaşımlarının, kabaca yumuşak ve sünek alüminyum fazı ile sert ve kırılabilir silisyum fazından meydana gelen bir karma malzeme olduğu söylenebilir. Alüminyumun hafifliği, plastik şekil değiştirme kabiliyetinin yüksek oluşu, yüksek elektriksel özellikleri, korozyon dayanımının yüksekliği, manyetik olmayışı ve kaynak kabiliyetinin iyi olması ana tercih sebeplerindendir. Saf alüminyumun bu avantajlarının yanı sıra döküm kabiliyetinin iyi olmayışı, sertlik ve çekme dayanımı gibi mekanik özelliklerinin düşük oluşu gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Silisyumun alaşım elementi olarak en büyük etkisi, döküm kabiliyetini arttırmasıdır. Silisyumun ilavesi ile alaşımın akıcılığı ve mekanik özellikleri artarken, özgül ağırlık ve ısıtma genleşme katsayısı azalmaktadır [7,8].

Al-Si alaşım grubu yukarıda belirtilen özelliklerinin yanı sıra daha yüksek dayanım ve kırılma tokluğu, sertlik gibi mekanik özellikleri gerektiren değişik alanlarda kullanılmaya çalışılmaktadır. Endüstri tarafından istenen bu mekanik özelliklerdeki artış Al-Si alaşımlarının mikroyapıları ile doğrudan ilgilidir [7].

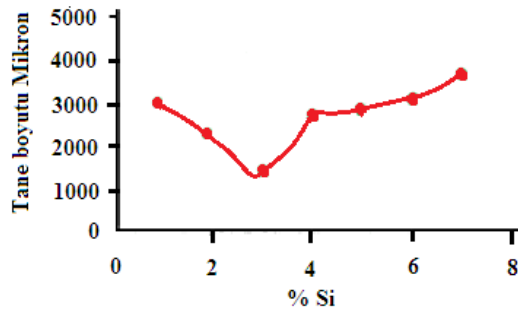
Mikro yapıda da mekanik özelliklere en büyük etkiyi, yapı içerisindeki ötektik silisyumun boyutu, morfolojisi ve dağılımı yapmaktadır. Mikro yapı içerisindeki silisyumun boyutu, morfolojisi ve dağılımı alaşımın soğuma hızının değiştirilmesi yada, alaşım içerisine silisyumun katılma mekanizmasını değiştiren element yada bileşiklerin eklenmesi ile farklılaştırılabilir ve bu farklılaşmanın sonucu olarak, mekanik özelliklerde artış yada azalma gözlenir. Al-Si alaşımları içerisindeki silisyumun dağılımı, morfolojisi ve boyutu üzerinde yapılan değişiklikler Al-Si alaşımlarının modifikasyonu yada sıvı-metal işlemleri olarak tanımlanmaktadır [9].

Si miktarı % 7-12 aralığında olan Al-Si alaşımları yüksek mukavemet gerektiren, yüksek sıcaklıkta aşınma direnci istenen uygulama alanlarında kullanılır. Genellikle kokil ve basınçlı dökümle şekillendirilir. Mekanik özellikleri ise alaşımın bileşimine göre Şekil 2.1’de gösterildiği gibi değişmektedir [10].



Şekil 2.1. Al-Si alaşımlarında silisyumun mekanik özelliklere etkisi [10].

Şekil 2.2’de alüminyum silisyum döküm alaşımlarında silisyum bileşiminin tane inceltme verimi gösterilmektedir.



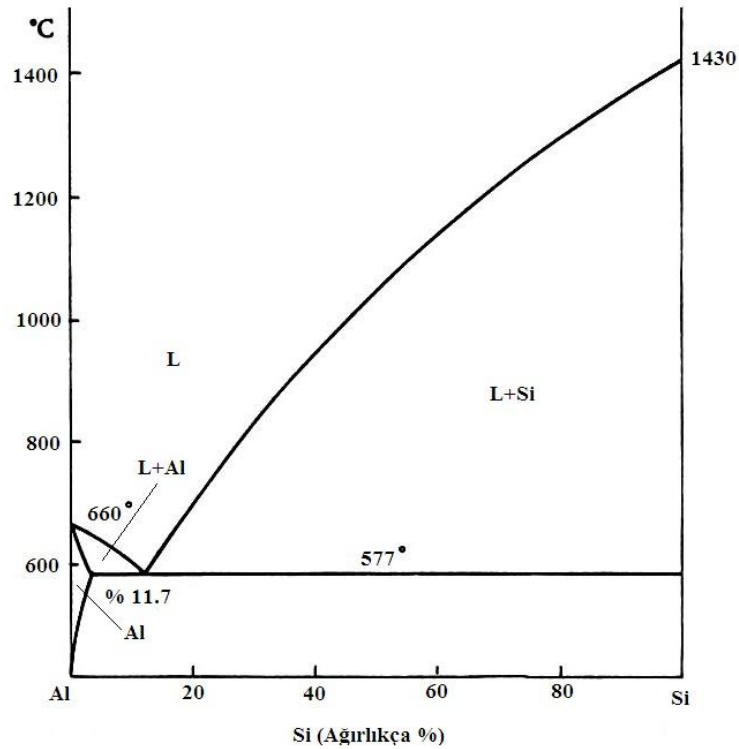
Şekil 2.2. Alüminyumun tane inceltmesinde silisyum içeriğinin etkisi [11].

2.4.1. Al-Si Faz Diyagramı

Al-Si alaşımı basit bir ötektik sistem olup iki katı eriyik faz olan YMK (Yüzey Merkezli Kübik) alüminyum ve elmas kübik (özel yüzey merkezli kübik) yapıya sahip

silisyumdan oluşmaktadır. Şekil 2.3’ de Al-Si denge diyagramı gösterilmektedir. Denge koşullarında ötektik sıcaklığına 577 ± 1 °C ve % 11.7 Si ötektik bileşimine sahiptir [8].

Ötektik karışımı oluşturan fazlardan α fazı oda sıcaklığında % 1 den daha az silisyum içeren alüminyum bazlı bir katı eriyiktir. Ötektik oluşturan diğer faz β ise, hemen, hemen arı silisyum olan, çok az alüminyum içeren silisyum bazlı bir katı eriyiktir. Ötektik altı Al-Si alaşımlarının yapısı, genellikle dallantılı bir görünümde olan α birincil fazı ile bu dallantılar arasında kümeleşmiş ötektik karışımdan oluşur. Ötektik üstü Al-Si alaşımlarında ise yapı ötektik karışımı ile kaba çökeltiler görünümündeki β fazından oluşmuştur [12].



Şekil 2.3. Al-Si faz diyagramı.

Geniş bileşim aralıklarına sahip alüminyum alaşımlarına uygulanan çeşitli hızlı katılaştırma teknikleri (Splat quenching: sıvı metalin çok ince bir tabaka şeklinde soğutulması, Melt spinning: sıvı metalin içerisinde su sirküle edilen ve dönen bir tambur (bakır) etrafında soğutularak katılaştırılması, Atomizasyon: sıvı metalin inert gaz ortamında püskürtülerek soğutulması) α -Al içerisindeki silisyum çözünürlüğünü metaller arası bileşik veya amorf (metalik olmayan) faz oluşturmaksızın arttırmıştır. Ötektik sıcaklıkta silisyumun alüminyum içinde katı eriyebilirliği % 1.65’ tir. Eriyebilirlik oda sıcaklığında % 0.05 den daha azdır ve 300 °C de bu çözünürlük % 0.05’ e düşmektedir.

1190 °C’ de silisyum içerisindeki maksimum alüminyum çözünürlüğü ise % 0,016 ± 0.003’ dür. Çeşitli sıcaklıklarda eriyebilirlik Tablo 2.5’ de gösterilmektedir [13].

Tablo 2.2. Çeşitli sıcaklıklarda silisyumun alüminyum içerisindeki eriyebilirliği (7).

Sıcaklık (°C)	Eriyebilirlik % Ağırlık
577	1,65
550	1,30
500	1,10
450	0,70
400	0,45
350	0,25
300	0,10
250	0,04
200	0,01

Geçişli elektron mikroskobu (TEM) ile yapılan araştırmalar ve kafes parametrelerinin ölçümleri α -Al içerisindeki maksimum Si katı eriyik çözünürlüğünün % 11 ± 1 Silisyuma taşındığını göstermiştir [10] .

2.4.2. Al-Si Alaşımlarında Silisyumun Özelliklere Etkisi

Silisyum bilindiği gibi alüminyum döküm alaşımlarının ana alaşım elementidir. Alüminyum döküm alaşımına silisyum ilavesi ile akıcılık, kaynak kabiliyeti ve mekanik özellikler artar, ayrıca; ısıtıl işlem ve modifikasyon gibi özel işlemlerin uygulanabilirliğide silisyum ilavesi ile mümkün olur. Döküm alaşımlarında silisyum miktarı maksimum % 22-24’ tür. Alaşımlar toz metalurjisi ile üretildiğinde silisyum miktarı % 50’ ye çıkmaktadır. Al-Si alaşımlarının bileşimi Tablo 2.6’ de gösterilmektedir.

Tablo 2.3. Alüminyum-Silisyum alaşımlarının bileşimi [12].

Si	% 5-25	Mn, Cr, Co, Mo	% 3’ e kadar
Cu	% 0-5	Ni, Be, Zr	% 3’ e kadar
Fe	% 3’ e kadar	Na, Sr	% 0.02’ den az
Mg	% 0-2	P	% 0.01’ den az
Zn	% 0-3	Al	Geri kalan Silisyum

Silisyum, alaşımın katılaşma anında oluşan katılaşma çekmesini önemli ölçüde azaltır. Diğerk alaşım elementlerinin çekmedeki etkisi çok azdır. Katılaşma esnasında oluşan ekintideki silisyumun etkisi % 6-12 silisyum bileşiminde % 3-4, % 20-24 silisyum bileşiminde % 1-2' dir. Silisyumun zgl ısısı alminyumdanda % 1-2 daha düşüktür. Alaşımın elektrik iletkenliğı oğuzaman, eriyik durumdaki silisyuma bağlıdır. Bakır ve magnezyumunda etkisi vardır. Manganez, krom, titanyum ve zirkonyum iletkenliğı azaltır. Silisyum, bakır ve magnezyum manyetik hassasiyetliğı biraz azaltır. Fakat; bu özellik oğuzaman manganez bileşimine bağlıdır. Al-Si alaşımları malzemenin sağlığına bağlı olarak çeşitli miktarlarda Fe, Mn, Cu, Zn v.b. kirlilik elementleri içermektedir. Ayrıca; Cu ve Mg gibi metaller alaşım elementi olarak döküm malzemesinin mukavemetini ve sertleşebilirliğini artırmak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Katılaşma işlemi esnasında kirlilikler ve alaşım elementleri metaller arası partiküller meydana getirmektedir [12].

Silisyum ilavesi ile akışkanlık ve korozyon direnci artar. Tane küçültme ve modifikasyon işlemleri ile iyi işlenebilme sağlanabilir. Ayrıca; sıcak yırtılma eğilimini azaltır. Silisyum ve bakır beraberce alaşımlandırma amacı ile kullanılabilir. Bu amaçla geliştirilen %6 Si, %5 Cu alaşımının kaynak kabiliyeti iyidir. %9 Si, %4 Cu alaşımı ise, sızdırmazlık isteyen yerlerde tercih edilirler. Al-Si alaşımlarında da Fe ve Mg varsa süneklik düşer. Bu alaşım sisteminde izin verilen empürite element yüzdeleri %0.5 Zn, %0.6 Cu, %1.3 Fe, %0.3 Mg' dır. Silisyum, alaşım hazırlamada Al-%13-22 Si n alaşım şeklinde ilave edilir. Özel bazı piston alaşımları % 25' e varan silisyum içerirler [5].

3. BOR KARBÜR

3.1. Bor Karbür Malzemeler

Bor Karbür (B_4C), bor ve karbon elementlerinden oluşan ve kimyasal yöntemlerle üretilen bir bileşiktir. 19. Yüzyılın ortalarında elde edilmiş, 1930' lı yıllardan itibaren ise borlu metallerin üretiminde kullanılmaya başlanmıştır [14].

Bor karbür, yüksek ergime sıcaklığına sahip, yüksek sertlik ve aşınma direnci gösteren, düşük yoğunluklu ve kimyasallara karşı korozyon direnci yüksek bir malzemedir [15].

Tablo 3.1. Bor karbür tozun genel özellikleri [16].

Özellik	Birim	Değer
Yoğunluk	g/cm^3	2.52
Sertlik (100 g. Knopp)	Kgf/mm^2	2900-3580
Kristal Yapı		Rombohedral
Ergime Sıcaklığı	$^{\circ}C$	2450
Isıl Genleşme	$^{\circ}C'$	5×10^{-6}
Elektrik iletkenliği	$\Omega^{-1} m^{-1}$	140

Yoğunluğu $2,51 g/cm^3$, ergime noktası $2450^{\circ}C$, kaynama noktası $3500^{\circ}C$, çekme dayanımı $155 N/mm^2$ ($980^{\circ}C$)- $162 N/mm^2$ ($1425^{\circ}C$), eğilme mukavemeti $345 N/mm^2$ ve basma mukavemeti $2850 N/mm^2$ olan bor karbür; yalnızca HF , H_2SO_4 , HNO_3 karışımlarında yavaşta olsa çözünebilmekte ve bazı metaller, metal hidrürler ve metal oksitlerle borürler oluşturmaktadır. 3A ve 6A grubunun bazı metalleri, Lantanitler ve Aktinitler bor ve karbonla güçlü bor karbür fazlar oluştururlar. 4A ve 5A diborürleri bor karbürle reaksiyona girmezler [17].

Bor karbür, günümüzde ilgi çeken metal dışı sert malzemelerin (alümina, silisyum karbür, silisyum nitrid, elmas, kübik bor nitrid) arasında önemli bir yere sahiptir. Sahip olduğu yüksek ergime noktası, yüksek sertlik, iyi mekanik özellikler, düşük özgül ağırlık, kimyasal etkenlere karşı gösterdiği yüksek direnç, yüksek nötron absorblama kabiliyeti gibi özellikleriyle ileri teknoloji uygulamalarında sıklıkla tercih edilen bir malzeme olmuştur. Tüm bu avantajlarına rağmen, bor karbür malzemelerinin sahip olduğu düşük kırılma tokluğu bu tür malzemelerin en büyük dezavantajıdır [18].

İçerik bakımından yaklaşık % 80 bor ihtiva etmesi, bileşiğin yüksek ergime noktası ve iyi kimyasal ve fiziksel kararlılığından dolayı nötronların absorbe edilmesinde bor

karbür daha etkin ve daha ekonomiktir. Yüksek bor içeriği, bor karbürü diğer bor bileşikleri üretmede önemli bir kaynak kılmaktadır. Elmaştan ekonomik olarak daha avantajlı olmasından dolayı aşındırıcı ve parlatıcı olarak da kullanılır .



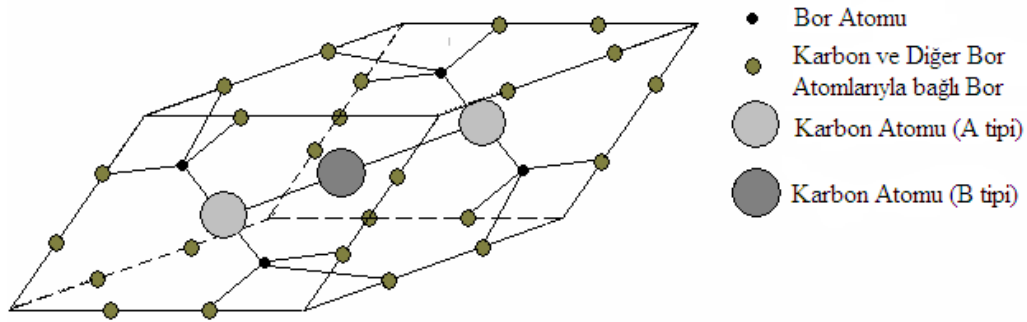
Şekil 3.1. Bor karbür tozu

Sertlik ölçümünü en fazla etkileyen parametre parlatılmış yüzey kalitesi olup, yüzeyin mümkün olduğunca düz, pürüzlülüğün ise $0.1 \mu'$ dan daha az olması şartı gereklidir. Bu değişkenin tam olarak kontrol edilememesinin, belirtilen sertlik değerlerinde de farklılıklara yol açması olasıdır. Bor karbür bileşiği içerisinde bor ve karbon yüzdesinin değişimi ile sertliğinde oluşabilecek değişiklikler de tam olarak açıklığa kavuşturulmuş değildir. Yüksek sertliğinden dolayı bor karbürün aşınma direnci de oldukça yüksektir. Saf B_4C kristalleri metalik gri parlak renkte olup, yoğunluğu bileşiğin yapısında bulunan ve bileşimdeki oranı % 8-20 arasında değişebilen karbon miktarına bağlı olarak değişmektedir. Yüksek sertliği ve ergime noktasının yanı sıra, bor karbürün mekanik özellikleri de oldukça öneme sahiptir. Özellikle mukavemet/yoğunluk oranı göz önüne alındığında B_4C ideal bir malzemedir. Kristal yapıdaki atomların kovalent bağlarla birbirine bağlı olması yüksek mukavemetin bir göstergesidir. Bilinen bazı bor karbür bileşiklerinde B_4C için $2,52 \text{ gr/cm}^3$, $B_{13}C_2$ için $2,488 \text{ gr/cm}^3$ ve $B_{10,5}C$ içinse $2,465 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluk değerleri elde edilir [19,20, 21].

Bor karbür oldukça sert ve düşük yoğunluklu bir malzemedir. Ancak; bor karbürün yaygın kullanımı, gevrek kırılmaya karşı hassasiyetinden ve tamamen yoğun, içyapı kusuru içermeyen üniform bir malzeme elde edilmesindeki zorluklardan, üretiminde kullanılan yöntemlerin hem pahalı hem de seri üretime uygun olmamasından ve bu yöntemlerin, karmaşık şekilli parçaların üretimine izin vermemesinden dolayı sınırlanmaktadır [18, 22, 23].

3.1.1. Bor Karbürün Kristal Yapısı

Bor karbür bileşimlerinin yapısal dağılımı, köşegenlerden birisine paralel olarak uzayan bir küp şeklinde görülür (rombohedron), 3 karbon atomu bu şekilde yerleşmiştir. Köşelerde ise on ikişer adet bor atomu içeren dodekahedronlar bulunur. İlk bor karbür yapısı 1858 yılında keşfedilmiş olup, daha sonra 1883' te Joly, 1894' te ise Moissan sırasıyla B_3C ve B_6C yapılarını tanımlamışlardır. Bor karbürün stokiyometrik olarak B_4C olarak tanımlanması ise 1934 yılında gerçekleşmiştir. Simge olarak B_4C olarak gösterilmesine rağmen, bor karbürün gerçekte B_4C den $B_{10,5}C$ ye kadar değişebilen yapıları mevcuttur [24].



Şekil 3.2. Bor karbürün yapısı [16].

B_4C olarak tarif edilen yapıda, köşegenin iki tarafında bulunan 2 tip karbon bölgesi vardır ve bunlara A-B-A denir. Her A karbon atomu 1 adet yakın karbon komşuya, diğer taraftan B karbon atomu 2 eş yerleşmiş karbon komşulara sahiptir. B_4C ' de bor konsantrasyonu % 78.25' den % 85 bor' a kadar değişir. En sık kullanılan ticari bor karbür ikinci faz olarak grafit içerir ve bu durum, mukavemeti sınırlar. Bir başka mukavemeti sınırlayıcı durum ise; bor karbür içinde bulunan ince, uzun ve geniş formdaki lamel grafitir ve bu da yüksek dayanım matrislerde düzensizliklere ve sonuç olarak, gevrek yapıli seramiklere yol açar [18].

3.1.2. Bor karbürün kullanım alanları

İleri teknolojik seramik malzemeler içerisinde bor karbür bileşiğinin özel bir yeri vardır. Bor Karbür yüksek sertliği (Mohs skalasına göre 9.5; elmas ve kübik bor nitrürden

sonra bilinen en sert malzeme), düşük yoğunluğu, kimyasallara karşı direnci, ısı dayanımı ve yüksek nötron absorblama özellikleri nedeni ile bir çok askeri ve sivil uygulama alanı bulmuştur. Bu özellikler en başta sert karbür endüstrisinde öğütücü ve parlatıcı abrasif toz olarak kullanılması ile kendini göstermiştir. Ayrıca, hafif ve sert olması nedeni ile zırhlı muharebe araç zırhlarının kuvvetlendirilmesinde, askeri amaçlı helikopter ve uçakların mekanik aksamaları ile personelin korunması amacıyla dönük olarak zırhlandırılmasında yaygın uygulama alanları bulmuştur. Bor karbür' ün diğer bazı kullanım alanları aşağıda gösterilmiştir [14,17, 25].

a) Makine ve çalışma aletleri yüzeylerinin işlenmesi: Başta kesim plakaları olmak üzere, kesme ekipman bileyicileri, anaç taşlar, soğuk çekilmiş aletler, akıcı baskı aletleri, demircilik, matkap uçları, kılavuzlar, ok dövme keskisi, valfler, valf yatakları, piston ringleri, silindir düğmeleri, silindir burçlar, silindirik yüzeyler, dişli mekanizmalar, rulman yatakları, salmastra kutuları, püskürtmeli pompalar, sertleştirilmiş oturma yüzeyleri, suni malzeme pres kalıpları, tel hadde lokmaları, ekstrüder memeleri, her türlü eğitim alet ve kesicileri, rendeler, frezeler, krank miller ve differansiyeller gibi alanlarda yüzey işlenmesinde kullanılır [14,17,25].

b) Seramikler ve sert çalışma malzemelerinin işlenmesi: Oksitli olmayan seramikler (Si_3N_4 , SiC), oksitli seramikler (Al_2O_3 , ZrO_2), mineraller, kuvars, tabii ve sentetik taşlar, optik camlar vb. işlenmesinde kullanılır.

c) Ateşe dayanıklı uygulamalar: İçinde bağlayıcı olarak karbon bulunan refrakterlerde karbonun oksitlenmesini önlemek için (antioksidant olarak) kullanılır.

d) Nükleer sanayinde nötron absorblayıcı: Bor karbür termik nötronların absorpsiyonunda ve aynı zamanda nükleer kalkan ve kontrol çubukları ve şut daldırma paletlerinde kullanılır.

e) Diğer uygulamalar: Uzay mekiklerinde dış yüzey koruyucu, yarı iletken parçaları, tekstilde iplik yönlendiriciler, filtreler, bujiler, yüzey polisaj pastaları, transformatörlerde silisli sac yerine, mühendislik ve seramikli yapı parçaları imalatı hammaddesi, metal matrisli kompozitlerde kullanılır [14,17, 25].

Bor karbür (B_4C), mükemmel aşınma direnci ve sertliği nedeni ile çeşitli nozullarda, elmasa göre daha ekonomik olduğundan aşındırıcı olarak kaba leplemede, düşük yoğunluğu avantajıyla; savunma sanayinde zırh malzemesi olarak kullanılmaktadır. Farklı metotlarla üretilmiş bor karbür seramiklerinin bazı özellikleri Tablo 3.2' de verilmiştir [16, 26].

Tablo 3.2. Bor karbür seramiğin özellikleri [16].

Özellik	Birim	Bor karbür sinterleme metodu		
		Sıcak preslenmiş	Basıncsız sinterlenmiş	
			%1 karbon katkı	%3 karbon katkı
Karbon içeriği	Ağırlık %	21,7	22,5	24,8
Porozite	%	< 0,5	< 2	< 2
Yoğunluğu	gr/cm ³	2,51	2,44	2,46
Tane Büyüklüğü	µm	5	S	7
4 Nokta Eğilme Mukavemeti	MPa.	480	351	353
Young Modülü	GPa.	441	390	372
Poission Oranı		0,17	0,23	0,23
Kırılma Tokluğu	MPa. √m	3,6	3,3	3,2

Bor karbürün en yaygın endüstriyel uygulaması aşındırıcı olarak kullanılmasıdır. Boyutları 1µm’ den 10 mm’ ye kadar değişen bor karbür tozları, sementte karbürler gibi sert malzemelerin zımpara ve parlatma işlemlerinde kullanılır. Ayrıca; bor karbür bu işlemler için kullanılan bir başka malzeme olan elmaştan daha ekonomiktir.

Bor karbürün bir başka uygulama alanı ise, yüksek aşınma direncinden yola çıkılarak kum üfleme nozullarının üretiminde kullanılmasıdır. Su jetiyle yapılan kesme işlemlerinde de bor karbür nozullar kullanılır. Bu işlemler için kullanılacak bor karbür, sıcak presleme ile üretilir. Bor karbürün yaygın bir diğer üretim alanı ise, düşük yoğunluğundan dolayı zırh malzemesi yapımında kullanılmasıdır. Seramik zırh malzemeler, genellikle savaş uçaklarında ağırlığın azaltılması yönündeki katkılarından dolayı tercih edilmektedir [18].



Şekil 3.3. Bor karbürden imal edilmiş ürünler

Bor karbür bunların dışında refrakter endüstrisinde kullanılan Mg-C tuğlalarında antioksidan malzeme, nükleer endüstride nötron absorblayıcı, uzay roketlerinde katı yakıt ve kaynak teknolojisinde elektrot olarak, bilgisayar diskleri, yapay bağlantılar gibi medikal uygulamalarda, bisiklet gövdesi, golf sopası sapı gibi tüketici ürünlerinde ve SiC' ün yoğunlaştırılması sırasında sinterlemeye yardımcı malzeme olarak kullanılmaktadır [22, 27].

Alüminyum ve alaşımları, aşınma davranışını ve mekaniksel dayanımı geliştirmek için seramiklerle takviye edilirler. Alüminyumun kolay elde edilebilir olması, düşük yoğunluklu olması ve uygun üretim şartları altında B₄C ile tepkime oluşturması nedeniyle takviye elemanı olarak B₄C tercih edilmektedir. Düşük yoğunluklu Al kompozit üretmek amacıyla, rijitliği yüksek ve sert B₄C ile sünek alüminyum birleştirilir [28].

B₄C, elmas ve kübik yapılu bor nitrürden sonra bilinen en sert (9.5+Mohs skalasında) üçüncü malzemedir. Nötron absorpsiyonu, sürünme direnci ve darbe dayanımı isteyen uygulamalar için farklı avantajlara sahip, kovalent bağlı seramik yapıdadır. Ayrıca seramiklerin en hafifidir. Bu yüzden kompozitin toplam ağırlığını arttırmadan mekanik özelliklerini geliştirmede kullanılabilir. B₄C ile çalışılırken dikkat edilmesi gereken dezavantajı, B₄C' nin yüksek sertliğinden dolayı kompozitin ekstrüzyon yapabilme kabiliyetinin limitli olmasıdır. Tamamen yoğun mikro yapıların üretiminde karşılaşılan sorunlar ve gevrek kırılmaya karşı B₄C' ün aşırı hassasiyeti bu takviye malzemesinin sahip olduğu sınırlılıklardır [29].

4. YARI-KATI ÜRETİM YÖNTEMLERİ

4.1. Yarı-Katı Üretim Teknolojisi

Döküm yapısının kalitesini belirlemede segregasyon (sıvı metalin katılaşma esnasında ayrışarak çökmesi ve böylece kimyasal bileşimi farklı bölgelerin oluşması), porozite (gözeneklilik), inklüzyon (istenmeyen parçacıklar) ve tane boyutu oldukça önemlidir. Tane küçültme işlemleriyle makrosegregasyon önlenabilmekte, ayrıca porozite ve inklüzyonların döküm parçalarındaki dağılımları homojen olabilmektedir. Ancak bu işlemlerde dışarıdan tane küçültücü ilavelere ihtiyaç duyulmaktadır. Döküm yapısının kalitesini belirleyen diğer bir faktör olan inklüzyonlar ise iç ve dış kaynaklı olmak üzere ikiye ayrılırlar. Dış kaynaklı inklüzyonlar, pota astarından, curuftan veya yolluk ve kalıptan metale geçen metalik olmayan parçacıklardır. Bunlar, daha kaliteli astar malzemesi ve refrakter kullanımı, uygun yolluk ve döküm yöntemleriyle önlenabilir. Buna karşılık iç kaynaklı inklüzyonlar alaşımların katılaşması sırasında çözelti elementlerinin mikrosegregasyonuna bağlı olarak oluşan reaksiyonlar sonucu meydana gelirler [30].

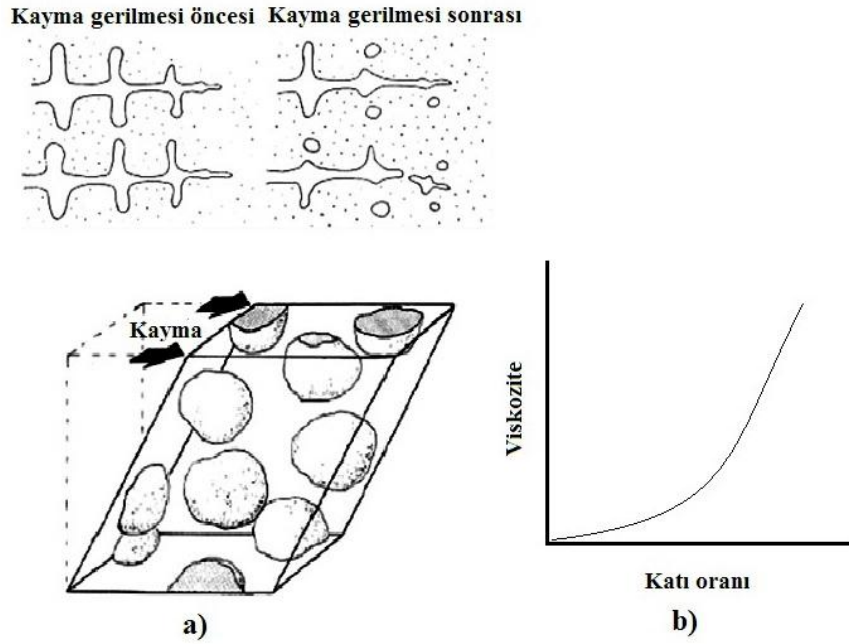
Alaşımların katılaşması sırasında çözelti elementleri ve ergitme sırasında sıvı metal içinde çözünen gazlar, döküm yapısında mikrosegregasyon ve porozite oluşumuna neden olurlar. Sıvı metaldeki gaz çözünürlüğünün azaltılması, ergitmenin vakum veya inert gaz atmosferi altında yapılmasıyla sağlanabilir. Döküm sonrası porozitenin giderilmesi ise, döküm parçasının yüksek sıcaklıkta basınca maruz bırakılmasıyla (Hot Isostatic Pressure) mümkündür.

Katılaşma sonucu oluşan dendritik ve hücresel yapıdaki mikrosegregasyon ancak; döküm sonrası, yüksek sıcaklıkta uzun süre homojenleştirme ısıtma işlemiyle giderilebilmektedir. Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı gibi döküm yapısının kalitesini belirleyen faktörler ve sıcak yırtılmada olduğu gibi bazı döküm hatalarının temelinde segregasyon olayı yatmaktadır [31].

Bu segregasyonu kullanarak, 1970' li yıllarda MIT' te (Massachusetts Institute of Technology) yapılan ve yaklaşık olarak %60 katı faz içeren nondendritik katı-sıvı karışımının katılara göre, daha yüksek bir akışkanlığa sahip olduğu anlaşılmıştır. Bu bilgilerin ışığında bir seri yeni üretim yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler; reo-döküm (Rheocasting), Tikso-döküm (Thixocasting), karıştırma-döküm (Stircasting), Tikso-şekil

verme (Thixoforging), yarı-katı halde şekil verme (Semisolid forging) gibi adlar altında toplanmıştır [32].

1970' lerde, Spencer ve çalışma arkadaşları bir kurşun-kalay alaşımında katılaşma aralığının geniş olması sayesinde sıcak yırtılma çalışması gerçekleştirmişlerdir. Sürekli kesme altında beklenenden çok daha düşük dirence sahip yarı-katı malzeme keşfetmişlerdir. Daha önemlisi, katılaşmış malzemenin mikroyapısı normal dendritik yapıdan tamamen farklı olmasıdır. Geleneksel döküm proseslerinde yüksek oranda iğneye benzer dendritik yapılar elde edilir, oysa katılaşma, düşük sıcaklıkta eriyen ötektik faz tarafından çevrelenen daha üniform birincil α -kürecikleri üretmektedir. Küresel mikroyapı, kısmen yeniden ergime olduğu zaman, yüksek orandaki katı kısımda bile akış için düşük direnç sunmaktadır [33].

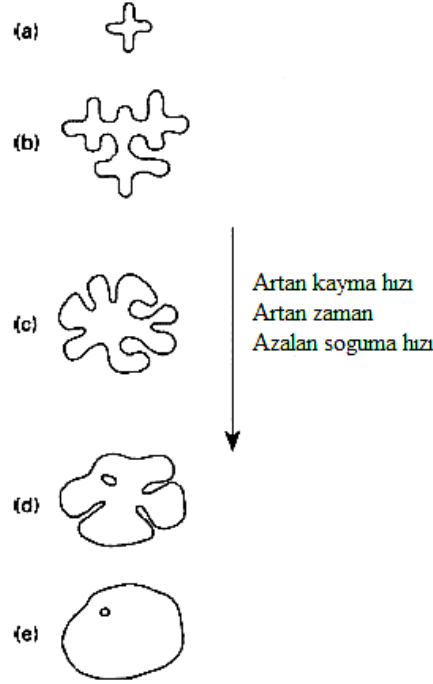


Şekil 4.1. Yarı-katı halde şekil vermenin oluşumu (a) kayma ile dendritlerin kırılması, (b) viskozite-katı oranı ilişkisi [34].

Şekil 4.1' de, Spencer' in yaptığı bu çalışmada, uygulanan kayma gerilmesine göre malzemenin yapı ve akış davranışı şematik olarak gösterilmektedir. Şekil 4.1.(a)' da, katılaşma sırasında yarı-katı alaşımın karıştırılması, dendritlerin kırılmasını ve küresel yapının oluşumunu sağlamaktadır. Şekil 4.1.(b)' de, malzemede katı oranı arttığında, viskozitenin de arttığı görülmektedir. Yalnız bu şekilde dikkat edilmesi gereken husus, belli bir katı oranında viskozitede ani bir artışın olmasıdır. Yarı-katı şekil verme

proseslerinde, viskozitenin düşük olması istenir. Bu yüzden, kritik katı oranının iyi belirlenmesi gerekir.

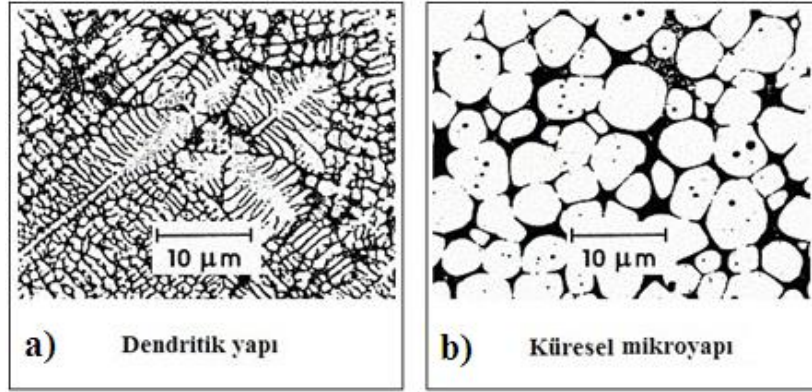
Tikso şekillendirme katı halde şekillendirmenin üstünde bir avantaja sahiptir. Yarı-katı şekillendirme için istenen mikro yapı, mümkün olan küresel bir forma sahip katı ve katı tane içerisinde minimum ölçüde sıvı bulunmasıdır. Elde edilen yarı-katı karışım o zaman homojen olarak akar, Şekil 4.1’ deki gibi katı kısmın, morfolojisi, kayma hızı ve süreye bağlı olan viskoziteye sahip tiksotropik bir akış gibi davranır.



Şekil 4.2. Yarı-katı haldeki malzemenin katılaşması sırasında tane morfolojisindeki değişim, (a) ilk dendrit oluşumu, (b) dendritik büyüme, (c) rozet, (d) kabalaşmış rozet, (e) küreselleşme [34].

Şekil 4.2’ de, yarı-katı haldeki malzemenin katılaşması sırasında tane morfolojisindeki değişim görülmektedir. Şekil 4.2.(a), ilk dendrit oluşumunu, Şekil 4.2.(b), her bir dendritin büyümesini Şekil 4.2.(c), katılaşma sırasında kaymanın devam etmesiyle ve zamanla dendrit morfolojisinin rozet şeklini aldığını göstermektedir. Şekil 4.2.(d), kayma ve kabalaşmanın sonucunda rozet şeklindeki tanenin diğer taneleri aşındırdığı görülür. Kabalaşma, soğuma hızı azaldıkça artar. Şekil 4.2’ de görüldüğü gibi yeterli derecede düşük soğuma hızı ve yüksek kayma hızı ile partiküller küresel olur ve az miktarda sıvıyı içine hapseder. Şekil 4.2.(a)’ dan 4.2.(e)’ ye doğru gidildikçe kayma hızı ve zaman artarken, soğuma hızı azalır. Tane boyutu, kayma hızından daha çok soğuma hızına bağlıdır.

Bir ikili sistemin katılaşması sırasında, mikrosegregasyondan dolayı dendritler arasında ilk oluşan bileşime göre daha düşük ergime sıcaklığına sahip bileşimler oluşacaktır. Eğer sistem ötektik içeriyorsa, alaşımın bileşimine bağlı olarak yapı değişik oranlarda ötektik faz içerecektir. Bu nedenle, kısmen düşük ergime sıcaklığına sahip yapının liküdüs-solidüs eğrileri arasında uygun sıcaklıkta kısmen ergitilip dökülebileceği ve şekillendirilebileceği anlaşılmıştır. Ancak; dendritik yapının akışkanlığa karşı büyük direnç göstermesinden dolayı, yapının küresel yani nondendritik olması istenmektedir. [32].



Şekil 4.3. a) Geleneksel döküm ile üretilmiş dendritik yapı ve b) Yarı-katı durumda oluşturulmuş dendritik olmayan küresel yapı [35]

Küresel mikro yapıya sahip malzeme üretimi temelde üç yöntemle yapılmaktadır.

1. Katılaşma boyunca mekanik veya magnetohidrodinamik karıştırma ile,
2. Deformasyona uğramış blokların katı-sıvı aralığında kısmi ergitilmesiyle,
3. Osprey prosesi ile veya toz metalurjisi ile üretilmiş blokların katı-sıvı aralığında kısmi ergitilmesiyle [36].

Yarı-katı üretim teknolojisinin, adından da tahmin edilebileceği gibi %50 katı ve %50 sıvıdan oluşan yarı-katı metal şekillendirme işlemidir. Dövme işlemi ve dökümün her ikisini de yapısında bulunduran karma bir üretim yöntemidir. Buradaki amaç; yapıda dendritlerin olmadığı küresel bir mikroyapı ve son şekle yakın bir ürün elde etmektir. Bu yöntem özellikle otomotiv, uzay ve havacılık sektörü gibi hafiflik ve aynı zamanda iyi bir mukavemetin bir arada istendiği yüksek kalitedeki parçaların üretiminde kullanılır [37].

Yarı-katı aralıktaki proses için temel gereksinim, yarı-katı haldeki alaşımların tikso işlemede final şekillendirilebilme için dendritlerden yoksun ince eşeksenli mikroyapılar ortaya koymasındır [38]. Komponenti şekillendirmeden önce yarı-katı bir malzeme için

ideal mikro yapı, sıvı bir matriste üniform olarak dağılmış ince ve küresel taneleri tam anlamıyla belirlemektir [39].

Yarı-katı üretim teknolojisi; özellikle askeri uygulamalarda, uzay ve havacılık sektörü, yakıt tankları, otomobil ön ve arka aksları, motor parçaları, fren diskleri, kilitlemesiz fren sistemi, süspansiyon parçaları, şasi, jantlar v.s. gibi yüksek nitelikli ve çok iyi bir yüzey kalitesi gerektiren parçaların üretilmesi için idealdir. Alüminyum otomobil jantları, yarı-katı üretim teknolojisi ile üretildiğinde diğer yöntemlerle üretilen jantlara nazaran, iyi mekanik özelliklere sahip, daha izotropik ve daha yoğun yapılıdır [37].

Yarı-katı üretim teknolojisi ile karmaşık şekilli parçalar bile, kolaylıkla üretilmektedir. Ayrıca, yarı-katı işlemin elektronik (özellikle cep telefonu ve bilgisayar teknolojileri alanında) ve otomotiv endüstrilerinde uygulaması yoğun bir şekilde devam etmektedir. Çünkü; yarı-katı işlem klasik döküm yöntemlerindeki genel işlem aşamalarından daha avantajlıdır. Bu avantajlar; kalıp ömrü, işlemlerin iyileştirilmesi, üretim kusurlarının azaltılması ve son şekle yakın parçaların elde edilmesidir. Yarı-katı aralıkta şekillenebilme aşağıdaki parametrelere bağlıdır:

Katı kısmın hacmi: Yarı-katı bir malzemenin davranışı katı kısmın hacminden oldukça etkilenir. Büyük bir katı kısım hacmi viskozitenin artması ile ve deformasyon esnasında önemli iç hasar ile sonuçlanmaktadır, ayrıca; kalıp doğumunda zorluklara ve final üründe kusurlara neden olmaktadır. Literatürde spesifik olarak bir sınır getirilmemesine karşın, proses esnasında katı kısım hacminin 0.6 civarında olması genel olarak kabul edilir [38].

Katı tanelerin morfolojisi: MHD malzeme, yarı-katı durumda eş eksenliye yakın rozete benzer katı taneler içerir. Bu durumda, kayma direnci yüksektir ve küreselleşme ve viskoziteyi azaltmak için malzemeyi izotermal tutma gerekmektedir [38].

Sıvı fazın dağılımı: Tane büyüme prosesinin bir sonucu olarak, sıvı kısım bazen katı tanelerin içinde bulunur. Bu durum deforme olan malzemenin kabiliyetini etkiler, çünkü; deformasyon için gerekli olan birbirine bağlı etkin sıvı miktarı azalmaktadır [38].

Çeşitli alaşımlar için yarı-katı metal işlemin uygulanabilirliği 30 yıldır araştırılmaktadır. Başlangıçta ilk odak noktası, yüksek sıcaklık alaşımlarına, özellikle çeliklere olmuştur. Ancak 1970' lerdeki petrol krizi ve 1980' lerden beri artan çevresel endişelerden dolayı otomobil piyasa güçleri yüksek performanslı hafif metal parçaları kullanarak ağırlığı azaltma arayışındaydı. Sonuç olarak, 1990' lardan beri, yarı-katı metal işleme çoğunlukla alüminyum alaşımlarından otomotiv parçaları üretmeye odaklanmıştır.

Bununla birlikte magnezyum alaşımlarından çeşitli otomobil parçaları, cep telefonu ve bilgisayar ekipmanları üretimi de son zamanlarda üzerinde çok araştırma yapılan konulardan biri olmuştur [40].

4.2.Yarı-Katı Metal Şekillendirme İçin Ön Malzeme Üretim Yöntemleri

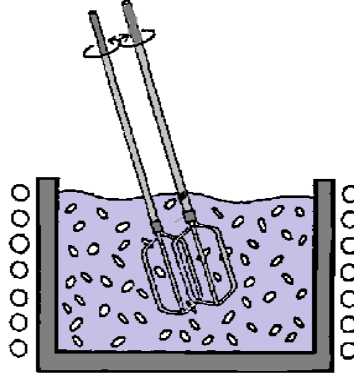
Eşeksenli ve küremsi ince taneli mikroyapıya sahip hammadde yarı katı şekillendirme için şarttır. Araştırmacılar yarı katı metal şekillendirme için ön malzeme üretim yöntemleri ile ilgili birçok çalışma yapmışlardır. Özellikle en uygun malzemeyi en ekonomik şekilde elde etmek için yeni yöntemler geliştirmişlerdir. Bazı yöntemlerde ise eski yöntemleri modifiye etmişler veya birkaç yöntemi birleştirmişlerdir. Ön malzeme üretim yöntemlerinin başlıcaları aşağıda verilmiştir [41] ;

- Mekanik karıştırma yöntemi
- Eğimli soğutma plakasına döküm yöntemi
- Elektromanyetik karıştırma yöntemi
- Termomekanik yöntemler (SIMA, RAP)
- Sprey döküm yöntemi
- İki farklı sıvı karıştırma yöntemi
- Yeni rheo döküm yöntemi
- Kimyasal tane inceltme yöntemi
- Düşük sıcaklıktan döküm yöntemi
- Döndürmeli entalpi dengeleme yöntemi
- Karıştırılmalı soğutma merdanesine döküm yöntemi

4.2.1.Mekanik Karıştırma Yöntemi

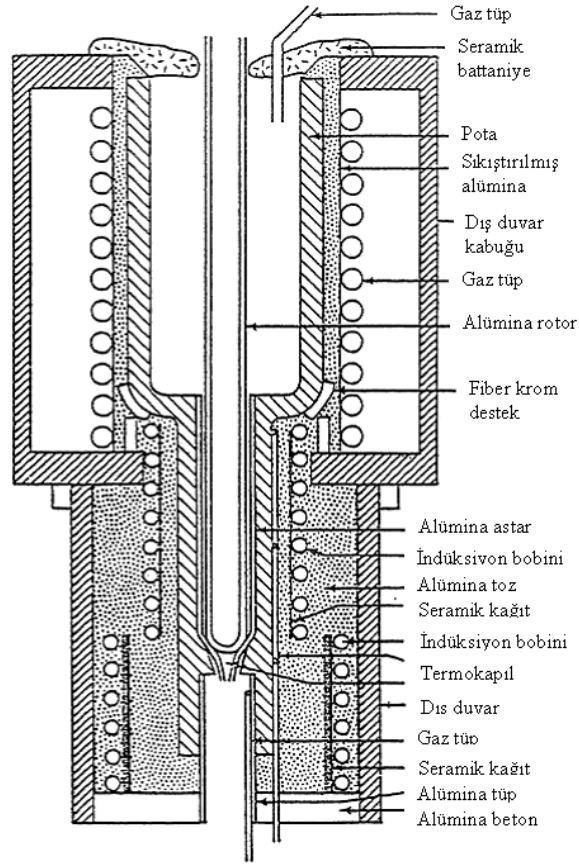
Mekanik karıştırma işlemi ile ön malzeme üretiminde katılaşma sırasında yarı-katı haldeki malzemenin mekanik olarak karıştırılması esasına dayanmaktadır. İlk olarak MIT'deki araştırmalar mekanik karıştırma yönteminin esasını oluşturmuştur. Sıvıyı karıştırma genellikle matkap, çark veya çoklu çarkların merkezde dönen mil üzerine monte edilmesi ile sağlanır [42,43]. Dendritik olamayan yapının oluşması için karıştırma katılaşma esnasında uygulanır. Şekil 4,4'de basit bir mekanik karıştırma ünitesi görülmektedir. Ünite

bir pota ve potanın içerisinde sıvı metali karıştıran bir karıştırıcıdan oluşmaktadır. Bu ünite MIT’de yapılan metal ve kompozit parça dökümlerinin araştırmalarında kullanılmıştır. Bu cihaz koruyucu atmosfer ortamı veya vakum ortamı ile birleştirilmiştir ve metallerin yüksek ergime derecelerinde havayla teması azaltılmıştır. [41]

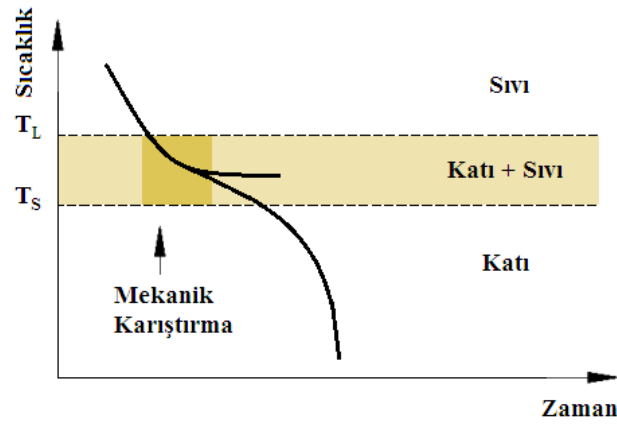


Şekil 4.4. Mekanik karıştırma ünitesi [31]

Bir başka yöntem ise sürekli mekanik karıştırma ünitesidir. Bu cihaz basit mekanik karıştırma ünitesinin geliştirilmesiyle dizayn edilmiştir. Bu cihazla yüksek karıştırma gerçekleştirilebilir. Metal tabakasının altında karıştırma çok iyidir ve hava ile temas minimuma iner. Soğumanın oldukça hızlı olması ince yapı üretir. Sürekli rheo-döküm yönteminde döküm sıcaklığına gelmiş sıvı bekleme potasından aşağıya doğru akarken karışma ve katılaşma eşzamanlı olur. Ergimiş metal mekanik olarak karıştırılır. Soğumadan dolayı oluşan dendritik yapı karıştırma ile küçük katı parçacıklara ayrılır ve sıvı metal içerisine dağılır. Sonuçta katı metal parçacıklar ve sıvı metal birlikte potanın altındaki nozuldan çıkar. Yarı-katı metal ünitelerden direk şekillendirilir (rheo-döküm) veya daha sonra kullanılmak üzere ön malzeme olarak katılaşır [41,42]. Şekil 4.5’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Sürekli mekanik karıştırma ünitesi [42,44]

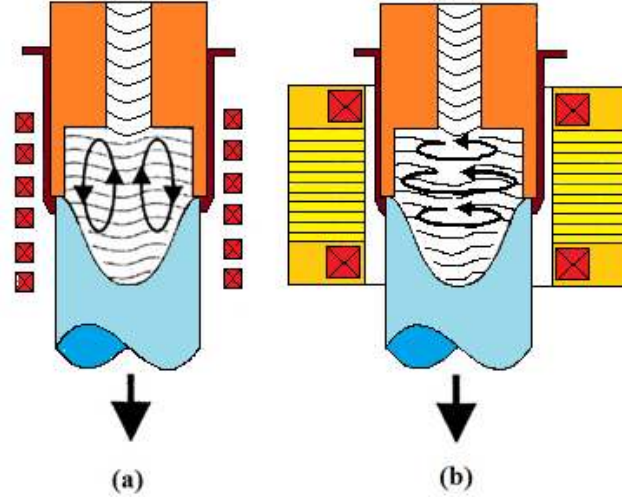


Şekil 4.6. Mekanik karıştırma ile ön malzeme üretiminde zaman-sıcaklık ilişkisinin şematik olarak gösterimi [43,45]

4.2.2. Elektromanyetik Karıştırma Yöntemi

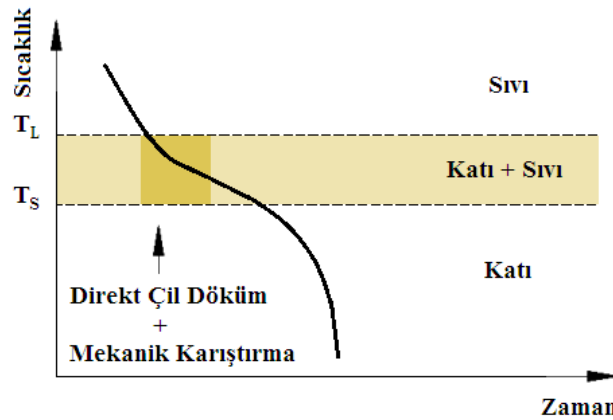
Mekanik karıştırmada karşılaşılan problemleri gidermek amacıyla elektromanyetik karıştırma yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde, sürekli döküm ünitesinde oluşturulan elektromanyetik karıştırma ile dendritik olmayan mikroyapıya sahip çubuklar üretilmiştir.

Bu yöntem ile üretilen ürünlerde $30\mu\text{m}$ - $100\mu\text{m}$ arasında tanecik boyutunun elde edildiği belirtilmiştir [42, 43]. Elektromanyetik karıştırma yatay, dikey, yatay + dikey olarak 3 farklı şekilde oluşturulabilir. Manyetik karıştırma yönteminde başlıca problem üretim maliyetinin yüksek olmasıdır. Üretilen kütüklerin bütün bölgelerinde mikro yapının homojen ve tam küresel olmaması (rozet şeklinde olması) da büyük bir problemdir [41,46]. Şekil 4.7’de elektromanyetik karıştırma ünitesi şematik olarak gösterilmiştir.

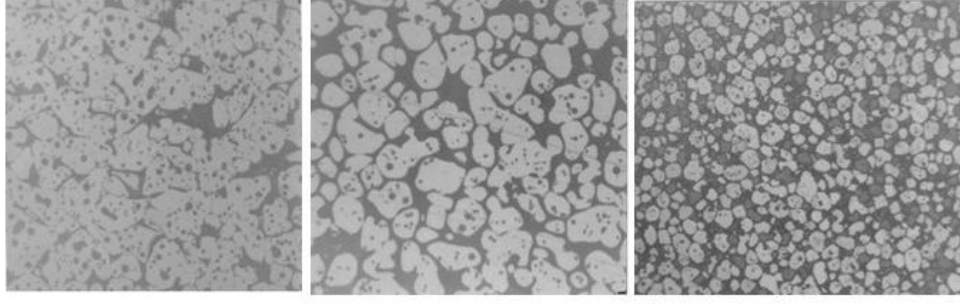


Şekil 4.7. Elektromanyetik karıştırıcının şematik gösterimi a)dikey elektromanyetik karıştırıcı b)yatay elektromanyetik karıştırıcı [47].

Bu yöntemde katılaşma sırasında doğrudan-çil ve sürekli döküm teknikleri elektromanyetik karıştırma ile birleştirilmiştir. ince taneli ($30\text{-}100\ \mu\text{m}$) üniform yapıya sahip yarı-katı şekillendirmeye hazır numuneler 100 mm çapa kadar üretilebilmektedir. Bu yöntemle üretilen numuneler bir yerden bir yere taşınabilir ve taşındığı yerde istenilen ölçülerde kesilerek yeniden ısıtılıp tikso-şekillendirme ile parça üretilebilir [43,46].



Şekil 4.8. Manyetik karıştırma yönteminin zaman-sıcaklık grafiğinde şematik olarak gösterimi [43].



Şekil 4.9. Manyetik karıştırma ile üretilmiş malzemeye ait mikro yapı görüntüsü [48]

4.2.3. SIMA-RAP (Strain Induced Melt Activation -Recrystallization and Partial Melting)

Termomekanik yöntem SIMA (Strain Induced Melt activation: Gerinimin neden olduğu sıvı aktivasyonu) olarak da bilinir. Gerinimin neden olduğu sıvı aktivasyonu küresel mikro yapı üretim yöntemlerinden katı metalden üretilen tek yöntemdir [41].

SIMA prosesi dört farklı aşamada meydana gelir. İlk olarak, alaşım tipik bir dendritik yapı içeren uygun boyutlarda döküm numunesi elde edilir. Daha sonra, yeniden kristalleşme sıcaklığının üstünde veya altında yüksek oranlarda deformasyona tabi tutularak dendritik yapıdan ince uzun taneli yapıya dönüştürülür. Üçüncü aşama, küresel mikro yapı elde etmek için solidus-likidus sıcaklıkları arasına ısıtılır ve son olarak yarı-katı hale gelmiş parça şekillendirilir [49]. Alaşım deforme edildiğinde dislokasyon yoğunluğu artar. Final aşamasında sıcaklık artar ve deforme edilen alaşım katı durumda kalırken yeniden kristalleşmeye maruz kalır. Gerilme altında olmayan taneler çekirdeklenir, gerilme altındaki taneler ise büyür. Bu yeni taneler yüksek açılı tane sınırına sahiptir. Katılaşma sıcaklığının üzerinde ısıtma esnasında, yüksek enerjili tane sınırlarına sıvı nüfuz eder ve tanelerin parçalanmasına neden olur. Yarı-katı durumda, bu ısıtma zamanı ve sıcaklığının, tane büyüme miktarını ve küreselleşme derecesini kontrol etmesi beklenmektedir [50].

Yeniden ısıtma sıvı-katı bölgede belirlenen bir sıcaklığa ısıtmayı ve bazen de belirlenen sıcaklıkta izotermal bekletmeyi içerir. Bu yeniden ısıtma işlemi uygun sıvı oranı elde etmek ve katı fazın dendritik yapıdan küresel yapıya dönüşümünün sağlanması amacıyla yapılır. Fakat uzun bekletme zamanı tane kabalaşması ile sonuçlanır. Tane kabalaşması yarı-katı ön malzemenin tiksotropik özelliklerinin ve yarı-katı şekillendirilmiş parçanın mekanik özelliklerinin kötüleşmesine neden olur [51].

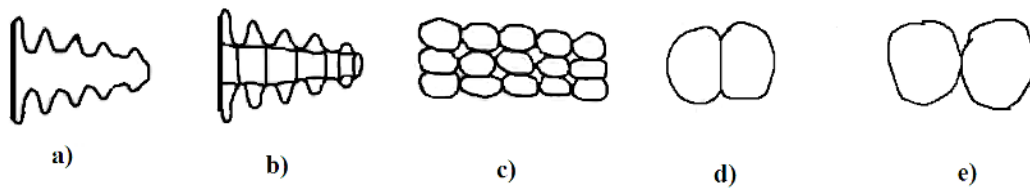
SIMA yöntemi, diğer yöntemlere göre (manyetik karıştırma vb.) daha ekonomik olup çok daha iyi küreselleşmiş mikroyapı üretir ve bu da iyi akış özellikleri sağlar. SIMA yöntemi yarı-katı parça üretiminde ticari olarak kullanılmaya başlanmıştır. [36, 52, 53,54]

SIMA yönteminde tercih edilen malzeme başlangıçta, dendritik yapıya sahip olan veya olmayan tamamen katı bir haldedir. Malzeme ekstrüzyon, haddeleme, gerilme etkisiyle uzama ya da basma etkisiyle deforme edilmiş olabilir. Deformasyon düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilebilir. Fakat; sıcaklık yükseldiğinde yapının yeniden kristalleşmesi meydana gelmektedir. Artan sıcaklıktan sonraki adım alaşımın ergimesine izin vermektedir. Bu ergime yapıdaki, dökümden sonra tane sınırları ve dendrit kolları arasında mikrosegregasyondan dolayı oluşan düşük ergime bölgelerinde başlamaktadır [55].

Ekstrüzyonla soğuk şekil verme yöntemlerinden biriyle üretilmiş veya deformasyon uygulanmış malzemede uygulanan deformasyon miktarına bağlı olarak dislokasyon yoğunluğu artar. Dislokasyon yoğunluğu yarı-katı hale ısıtma prosesi sırasında birincil α -fazının küresel hale dönüşmesinin ana sebebidir. Dislokasyon yoğunluğu ne kadar artarsa yeniden kristalleşecek taneler için o kadar fazla çekirdek merkezi oluşur ve dolayısıyla tane yapısı o kadar incelir. 100 μm den daha küçük boyutta birincil α -fazı tanelerin üretilmesi aşağıda verilen parametrelere bağlıdır [56];

- Alaşım kompozisyonu
- Başlangıç döküm mikroyapısı
- Deformasyon miktarı
- Yeniden ısıtma (yarı-katı) sıcaklığı
- Isıtma süresi

Termomekanik yöntemdeki mikroyapı gelişimi, Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

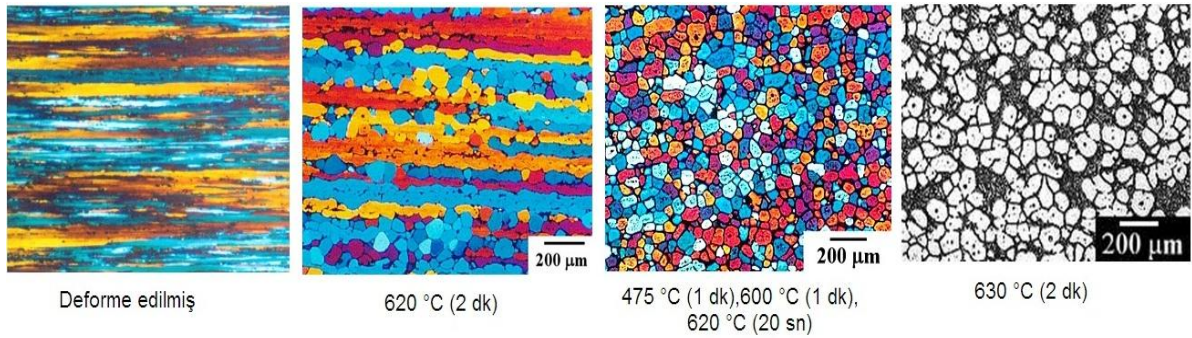


Şekil 4.10. Termomekanik yöntemdeki mikroyapı gelişiminin gösterimi; a) dendrit kolları, b) küçük deformasyondan sonra dendrit kollarının durumu, c) tane yönelmesi ve uzama, d) uzama sonrası tane içi, e) tanelerin ayrılması [56].

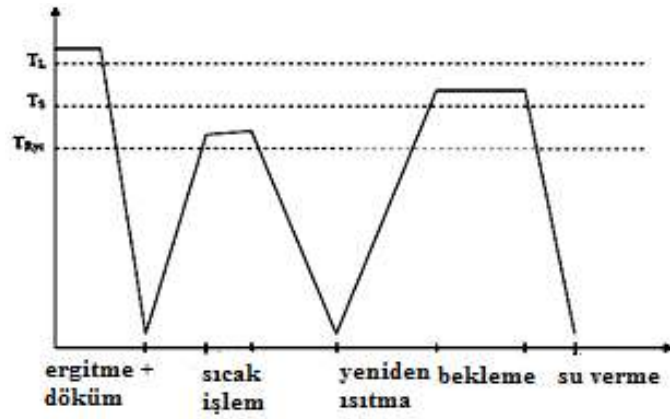


Şekil 4.11. Soğuk deformasyon ve sima yöntemi uygulanan alaşıma ait mikroyapılar [48]

Günümüzde, dövme alüminyum alaşımlarının tikso şekillendirilmesi ile ilgili çalışmaların çoğu SIMA prosesi yoluyla yapılmaktadır. Bu proses, plastik deformasyon ve yeniden kristalleşme yoluyla meydana gelen yüksek açılı tane sınırlarının yarı-katı sıcaklıktaki sıvı metal tarafından ıslatılmasıyla ince ve küresel yapı ile sonuçlandığı bilimsel anlayışa dayanmaktadır. SIMA prosenin bir modifikasyonu maksimum gerilme sertleşmesi sağlamak için yeniden kristalleşme sıcaklığının altında bir sıcaklıkta soğuk islemenin sıcak işlemeye değişimi yoluyla Kirkwood ve çalışma arkadaşları tarafından yapılmıştır. Proses sırası Şekil 4.13’ de ki şematik diyagramda gösterilmektedir. SIMA prosesi ile ilgili bilimsel çalışmalar, çoğunlukla, proses parametrelerinin (plastik deformasyon miktarı, yeniden ısıtma sıcaklığı ve bu sıcaklıkta tutma süresi) etkilerinin kavranmasına yöneliktir. Uygun seçilmiş proses koşulları ile, katı faz taneleri genellikle boyut olarak ince, morfoloji olarak küresel ve dağılım olarak üniormdur [40].

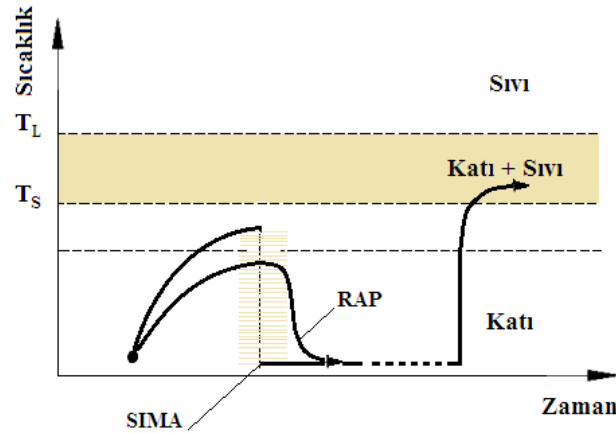


Şekil 4.12. Soğuk deformasyon uygulanmış alaşımın farklı sıcaklık ve bekletme süreleri sonrası oluşan mikroyapıları [48].



Şekil 4.13. Modifiye edilmiş SIMA yöntemi için şematik proses sırası [36].

$T > T_{\text{solidus}}$ e kısmi ergime, yapıyı ısıtma yolu ile basitçe küresel yapı üretebilir; ancak yüksek sıcaklıklarda uzun süre tutma, istenmeyen tane/küresel büyüme oranını yükseltebilir [55]. Küreselleşme akış davranışında pozitif bir etkiye sahipken tane büyümesi ve birleşmesi akış davranışında zararlı bir etki yapmaktadır [57]. SIMA ve RAP Recrystallization and Partial Melting: Yeniden kristalleşme ve kısmi ergitme işlemi) işlemlerinin şematik olarak zaman-sıcaklık eğrisinde gösterimi Şekil 4.14'de verilmiştir.

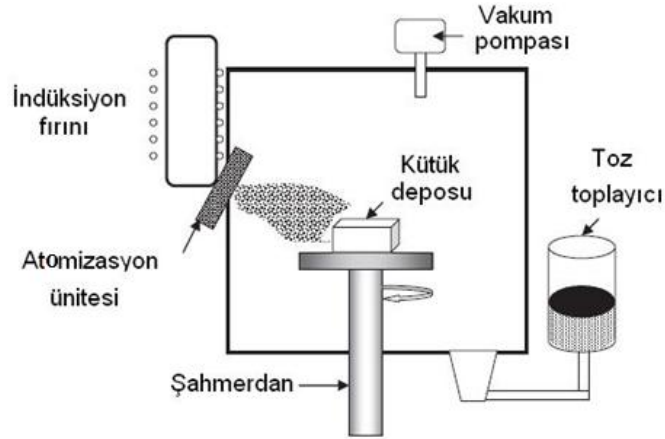


Şekil 4.14. SIMA ve RAP işlemlerinin şematik olarak zaman-sıcaklık eğrisinde gösterimi [43].

4.2.4.Sprey Döküm

Hızlı katılaşma yoluyla direk olarak ergiyikten alaşım ve kompozit malzemelerin üretildiği prosese spray şekil verme, spray döküm veya spray biriktirme yöntemi denilmektedir. Spray döküm prosesinde dört ana ünite mevcuttur. Bunlar eritme ve

dağıtma ünitesi, gaz atomizasyon cihazı, atomize edici gaz kaynağı için dağıtma ve kontrol sistemi, depozit ünitesidir [58].



Şekil 4.15. Sprey şekillendirmenin şematik gösterimi [59].

Proses şematik olarak Şekil 4.15’de verilmiştir. Bu yöntemde ergimiş metalin inert gazla atomizasyonu ile üretilen damlacıkların püskürtülerek bir kollektör (toplayıcı) üzerinde toplanması sağlanır. Kollektör üzerinde katılaşarak üretilen bu ön malzemeye daha sonra ekstrüzyon, dövme veya haddeleme ile şekil verilebilir. Sprey biriktirme yönteminin en önemli avantajı eriyikten direk olarak tek bir operasyonla net şekillendirilmiş ürün elde etme imkanıdır [58]. Sprey dökümde katılaşma hızı 103-104 Ks-1 gibi yüksek değerlerde olmasına rağmen, katı halde soğuma toz metalurji yöntemine oranla yavaştır. Hızlı katılaştırma ile ince ve homojen mikroyapı, alaşım elementlerinin artırılmış katı çözünürlüğü, azaltılmış segregasyon elde etmek mümkündür. Sprey dökümde ince çökelti üretilmesine rağmen, bu çökelti toz metalurji yöntemiyle üretilenlerden daha büyüktür [58].

4.2.5.Düşük Sıcaklıklardan Döküm Yöntemi

Tikotropik hammadde üretimi için son zamanlarda bu teknik geliştirilmiştir. Bu yöntemde sıvı metal ergime derecesinin hemen üzerindeki bir sıcaklıktan (yaklaşık 5-30°C) kalıba dökülerek katılaştırılır. Sonuç olarak çok ince ve dendritik olmayan yapı elde edilir. Bu yöntemde elde edilen ön malzemelerin tane boyutu ~100 µm’dir. Yeniden ısıtma işleminde mikro yapı küreselleşir ve hızla tiksotropik şekillendirme uygulanır [42,43]

Sıvı döküm sıcaklığının etkisi yaklaşık 40 yıl önce Cahlmers ve arkadaşları tarafından tanımlanmıştır. Araştırmacılar döküm sıcaklığının azalmasının eşekslenli

bölgenin oluşmasını teşvik ettiğini ve sütunsal tane bölgesinin oluşumunu engellediğini bulmuşlardır. Buna ilaveten döküm sıcaklığının düşmesi eşeksiz taneleri incelemiştirlerdir [42].

4.2.6. Kimyasal Tane İnceltme Yöntemi

Kimyasal tane inceltme günümüzde Al alaşımlarının sürekli dökümünde de kullanılmaktadır. Bu teknik aynı zamanda hammadde üretimi içinde önemlidir. Tane inceltici heterojen çekirdeklenmeyi meydana getirmek üzere belirlenen oranlarda sıvı metale dökümden önce ilave edilir. Genellikle Titanyum veya Bor bazlıdır. Heterojen çekirdeklenme oranının artırılması dendritik büyümeye engel olmasından dolayı ince ve eşeksiz yapılar elde edilir. Katı sıcaklığının üzerindeki sıcaklıkta yeniden ısıtma işlemi ile birincil faz katı parçacıklar küresel hale dönüşür ve tıksa şekillendirilir [41,42,52,60].

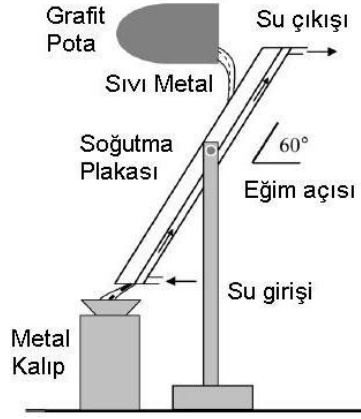
Yüksek oranda katkı maddesi kullanarak Al alaşımları için uygun mikro yapıya sahip ürünler elde edilmesine rağmen 100 µm'den küçük tane boyutunu elde etmek çok zordur ve hurdanın yeniden kullanım problemi ortaya çıkar [52].

Uygun tane inceltme yöntemi ile yeniden ısıtma ve tıksa-şekillendirme için gerekli yapı oluşturulabilir. Ancak kimyasal tane inceltme yöntemi tek başına kullanılmaz. Diğer hammadde üretim metotlarıyla (manyetik karıştırma veya düşük döküm sıcaklığında döküm vb.) birlikte de kullanılabilir [41].

Tane inceltici olarak sadece bor kullanılması yapıyı inceltmekle birlikte ilk oluşan katı fazın küreselleşmesi üzerine büyük etkiye sahiptir. Tane inceltme yönteminin en Önemli dezavantajı ise tane incelticilerin metalik olmayan inklüzyonlar üretmesidir. Bu inklüzyonlar ürünün mekanik özelliklerini kötüleştirir [61].

4.2.7. Eğimli Soğuma Plakasına Döküm Yöntemi

Eğimli soğutma plakasına döküm yöntemi ilk olarak 2000'li yılların başında Haga tarafından geliştirilmiştir [62]. Yöntem oldukça basit olup şekil 4.16'de gösterildiği gibi sıvı metalin yüksek döküm sıcaklığından sürekli soğutulan eğimli bir plaka üzerinden metal kalıba dökümünden oluşmaktadır [63].



Şekil 4.16. Eğimli soğutma plakasına döküm işleminin şematik olarak gösterimi [63]

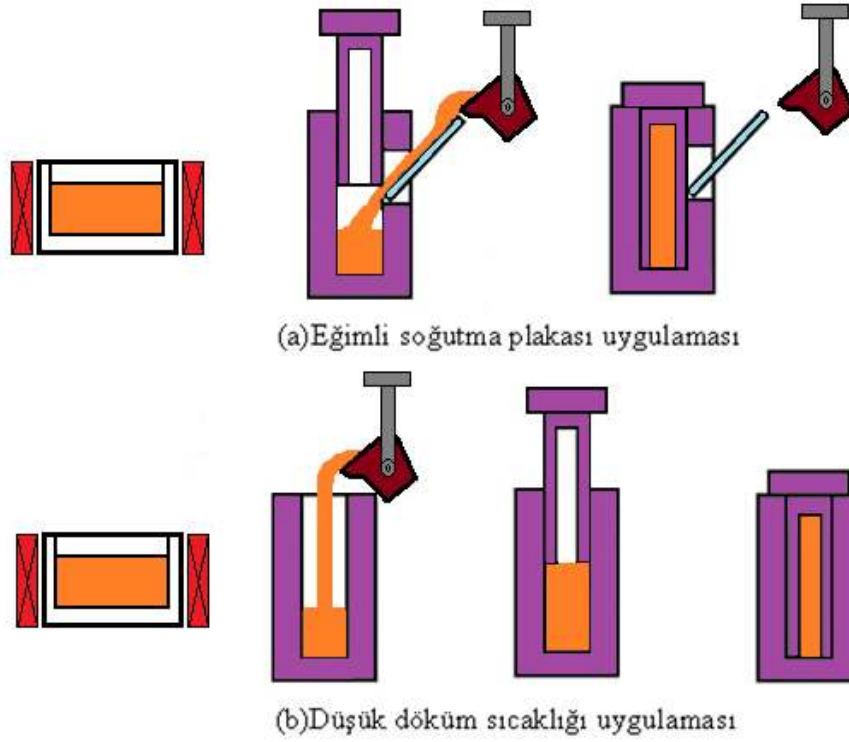
Bu yöntemde döküm sıcaklığı, eğimli soğuma plakasının uzunluğu, eğimli soğuma plakasının eğimi, eğimli soğuma plakasının malzemesi ve döküm yapılan kalıbın malzemesi gibi çeşitli parametreler son mikro yapı üzerinde etkilidir [64].

Yarı- katı döküm için ön malzeme üretiminde katı fazın morfolojisi ve boyutunun uniform oluşmaması ciddi bir problemdir. Eğimli soğuma plakasına döküm yöntemi ile üretilen ingotlarda istenen dendritik olmayan mikro yapıyı elde etmek için, optimum döküm sıcaklığı ve soğuma mesafesine ihtiyaç vardır [65].

Mikroyapı değişiminde oldukça önemli bir parametre de sıvının eğimli soğuma plakasına teması esnasında yüksek ısı transferi ve eğimli plakada yerçekimi etkisinden kaynaklanan güçlü kesme gerilmesidir. Sıvı metal eğimli soğuma plakasına temas ettiği an yüksek ısı transferinden dolayı birincil α -Al fazının çekirdeklenmesi meydana gelir. Sıvının hareketi esnasında yerçekiminden kaynaklanan kesme gerilmesi henüz yeni oluşan birincil α -Al fazı dendritlerini yüzeyden ayırır veya eğimli plaka yüzeyinde büyüyen dendrit kollarını kırar. Kopan veya ayrılan her bir dendrit parçası sıvı içinde dağılır. Sıvı tarafından kuşatılan ve büyümeye devam eden katı parçacıklar akan sıvı ile birlikte plakanın alt noktasından kalıba girer. Daha fazla büyümeye fırsat bulamayan dendrit parçacıkları birbiriyle çarpışabilir ve bir araya toplanabilirler. Katılaşma sonunda birincil faz olan α -Al hücreleri rozet şeklinde ve nadir olarakta küresel şeklinde teşekkül eder[64,65,66].

Yapılan araştırmalara göre eğimli soğuma plakası eğiminin α -Al fazının morfolojisi üzerinde önemli etkileri olduğu tespit edilmiştir. Bazı araştırmacılar eğimli plakanın üzerinde akış esnasında alt tabaka, orta tabaka ve üst tabaka olmak üzere 3 tabakanın meydana geldiğini rapor etmişlerdir. Bu tabakalar farklı oranlarda ısı transferinden dolayı

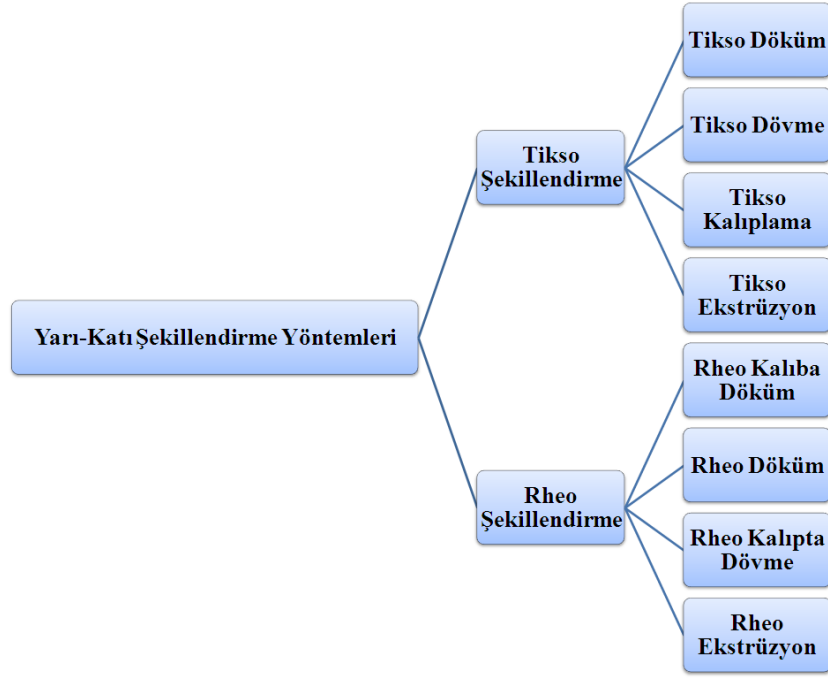
meydana gelmektedir. Alt tabaka; eğimli plakaya temas eden katı tabakadır, sıvı ve eğimli plaka arasında yoğun ısı transferinden dolayı oluşan ilk katı fazı içerir. Orta tabaka; sıvı ve dendrit kollarından oluşan yarı-katı süspansiyonu içerir. Burada dendrit kolları eğimli plaka yüzeyinin dikey doğrultusunda ilk katı fazın büyümesi ile oluşur. Üst tabaka ise bütünüyle sıvıdır. Burada ısı transfer oranı orta tabakadan daha yüksektir. Eğimli plakanın eğimi arttığında kayma gerilmesinin yoğunluğu ve kayma gerinimi oranı da artar. Sonuç olarak daha fazla katı partikül alt tabakadan ayrılır veya orta tabakadan kırılır (kopar). Ayrıca plaka eğiminin artması ile katı fazın oluşum hızı, kırılma ve ayrılma arttığından dolayı alt tabakanın kalınlığı azalır. Sonuç olarak, oluşan katı partiküller kalan sıvı ile beraber kalıba dökülür. [41].



Şekil 4.17. Farklı basit rheo-döküm yöntemi gösterimleri (a)eğimli soğutma plakasından döküm, (b)Düşük döküm sıcaklığından döküm yöntemi (LSC)[67].

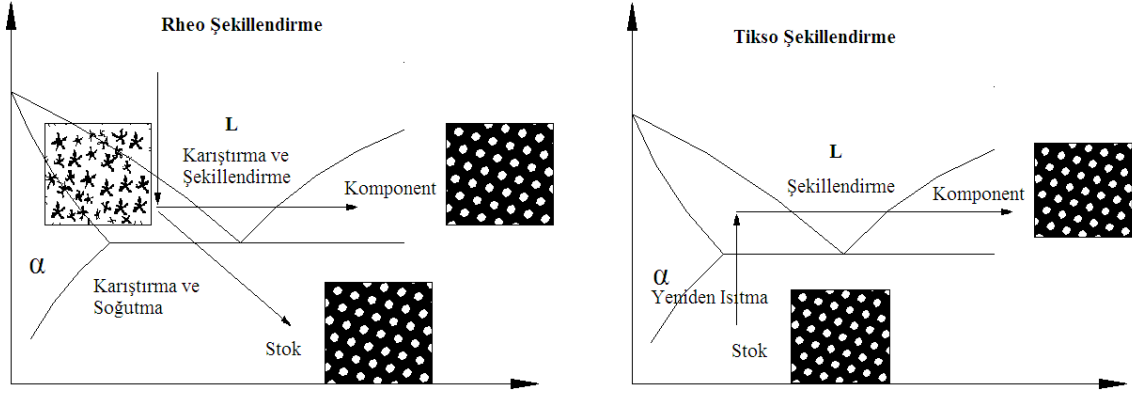
4.3.Yarı-Katı Şekillendirme Yöntemleri

Yarı-katı şekillendirme yöntemleri kendi arasında tikso ve rheo olmak üzere iki ana bölüme ayrılabilir.

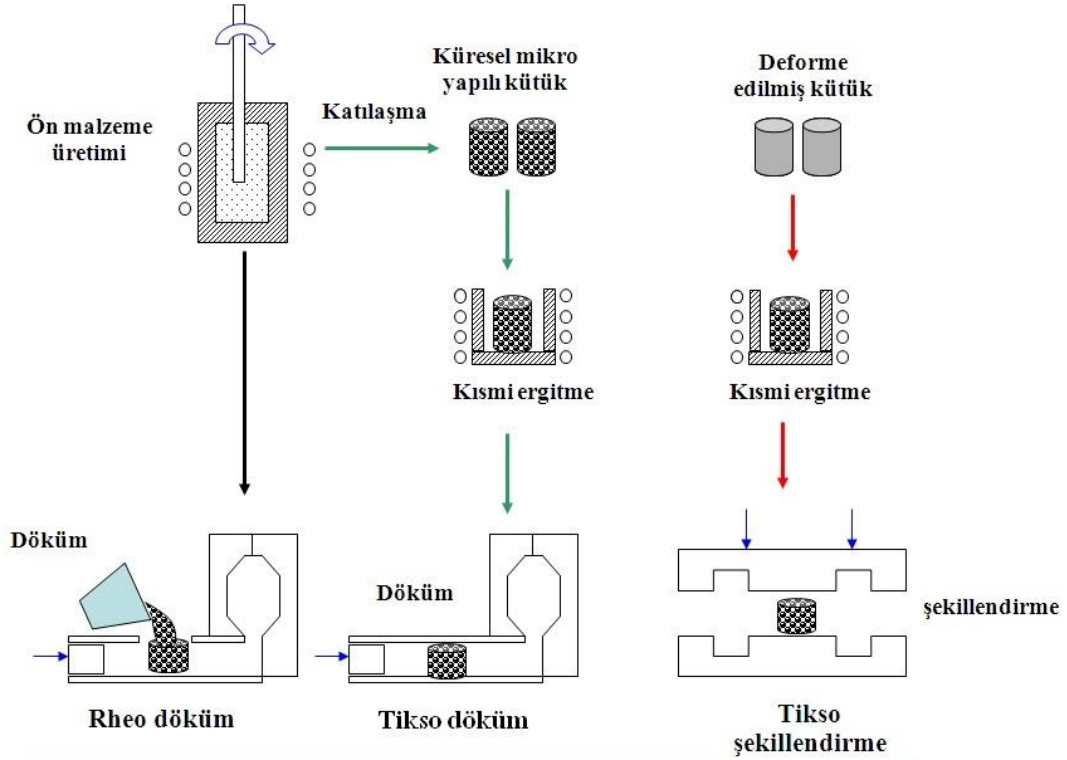


Şekil 4.18. Yarı-katı metal şekillendirme yöntemlerinin sınıflandırılması [45].

Tikso' yönteminde, malzeme küresel mikroyapı elde etmek için önceden işlenir. Daha sonra katılaştıran hammaddeye, yeniden likidüs-solidüs aralığı içinde uygun bir sıcaklığa ısıtılmasıyla şekil verilir. Bu tip yaklaşımın dezavantajı yeniden ısıtmanın söz konusu olmasından dolayı orta maliyette olmasıdır. Yarı katı işlemenin alternatif bir dalı "reo" işlemidir. Burada sıvı yarı-katı aralığa soğutulur ve soğutma esnasında dendritlerden çok küresel mikroyapı elde etmek üzere olan bir yöntemdir. Burada malzeme katılaştırmadan ve yeniden ısıtmadan yarı-katı durumdan direkt olarak işlenir. 'Rheo' yöntem 'tikso' yöntemlerden daha geçerli bir maliyete sahiptir [30].



Şekil 4.19. Tikso şekillendirme ve Rheo şekillendirme [68]



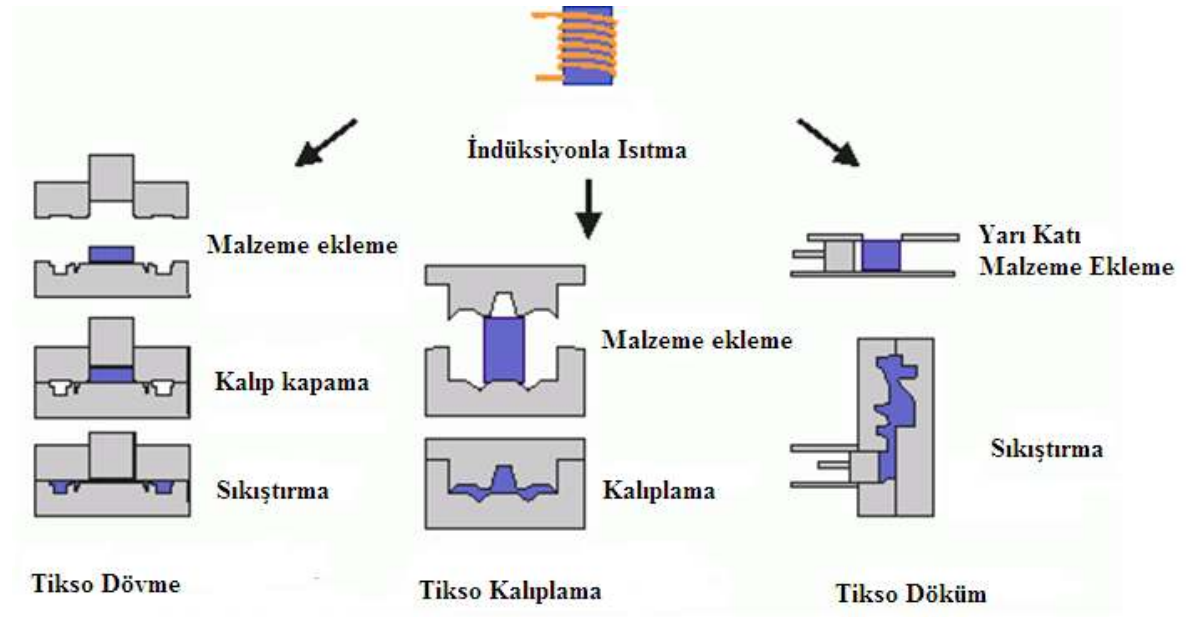
Şekil 4.20. Yarı katı metal işleme için üç ana yöntem [35].

4.3.1. Tikso Şekillendirme

Kısmi ergitilmiş non-dendritik alaşımın metal kalıp içerisine, yaklaşık olarak son şekline yakın basıldığı şekillendirme prosesi tikso döküm, tikso dövme ya da genel olarak tikso şekillendirme olarak adlandırılır. Tikso döküm çoğunlukla bir şahmerdan ya da çekiç yoluyla basınçlı dökümdeki gibi kalıp içine enjekte edilen metalin işlemi olarak adlandırılır ve gerçekte ilk SSM işi basınçlı döküm makineleri ve kalıplarına yapılmıştır. İki açık yarım olarak bulunan kalıp içinde yer alan metalin iki yarım kalıp tarafından birleştirilmesi

tikso dövme olarak adlandırılır. Ancak; kalıp içinde yarı-katı alaşımın deformasyonu ve akışı her iki proseste de pür sıvı ve pür katıdan farklıdır ve bu durum tikso şekillendirme olarak adlandırılır, genellikle tercih edilendir [52].

Tikso şekillendirmede, metaldeki malzeme akışı pistonun etkisi ile başlar ve metalin tiksotropik doğası gereği çok düşük basınçta boşluk içine metal akışına izin verir. Sadece şekillendirme stroğunun sonunda basınç, tamamen sıkışmış komponentin şekil alması için seçilmiş seviyeye yükselir. Basınç altındaki süre, alaşıma ve parça geometrisine bağlıdır ve normalde sadece birkaç saniye tutulur, çünkü; kalıp içine ısı transferi yüksek basınçta tam anlamıyla etkilidir. Şekillendirme döngüsünün bitiminde kalıplar açılır ve parça çıkarılır [69].



Şekil 4.21. Tikso şekillendirme yöntemleri [35]

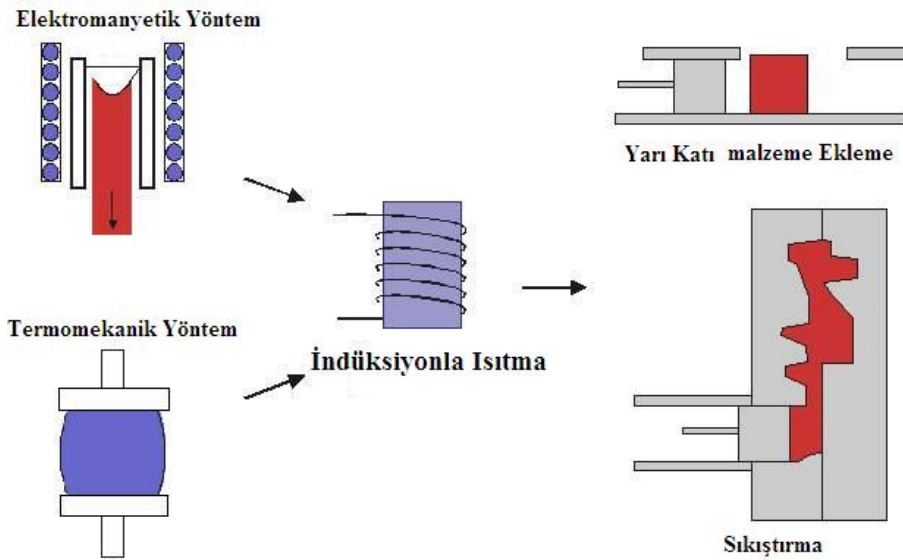
4.3.1.1. Tikso Döküm

Tikso-döküm olarak adlandırılan yarı-katı döküm tekniğinde, özel yöntemlerle hazırlanmış küremsi tane (hücre) yapısına sahip yarı mamul indüksiyonla yarı-katı duruma ısıtılarak pres döküm makinesinde kalıba enjekte edilir [42 ,52,60]. Buna tikso yarı-katı döküm denir. Şekil 4.22’de yarı-katı şekillendirme presinin şematik gösterimi verilmiştir. Yarı mamulün (billet) düşük katı hacim oranında şeklini koruması zor olduğu için genellikle tikso-döküm yarı-katı malzemede katı hacim oranının yüksek ($>50\%$) olması istenilir [60,70].

Tikso döküm yöntemin avantajı metal ergitme ve sıvı işlem araç ve gereçlerinin elimine edilmesidir. Geleneksel pres döküm makineleriyle karşılaştırıldığında daha düşük sıcaklıklarda çalışılmaktadır ve yarı katı durumdaki metal kalıbı düzlemsel akış ile doldurur. Bu durum kalıpta meydana gelen termal gerilimleri önemli derecede azaltır ve karmaşık şekilli parçaların türbülanssız dolmasına izin verir. Ayrıca küçük miktardaki hacimsel çekme nedeniyle üretimi zor olan parçalar istenilen ölçüye yakın elde edilebilmektedir. Bu işlemde kesme ve işlemeye gerek duyulmaması veya işleme paylarının düşük tutulması zaman ve enerji tasarrufu sağlar [71].

Tikso döküm yönteminde 3 temel işlem mevcuttur,[72];

1. Ön malzeme üretimi
2. Ön malzemeyi yarı katı bölgesine yeniden ısıtma
3. Şekillendirme (Yarı katı durumda bulunan ön malzemeyi enjeksiyon pistonu ile kalıba basma).



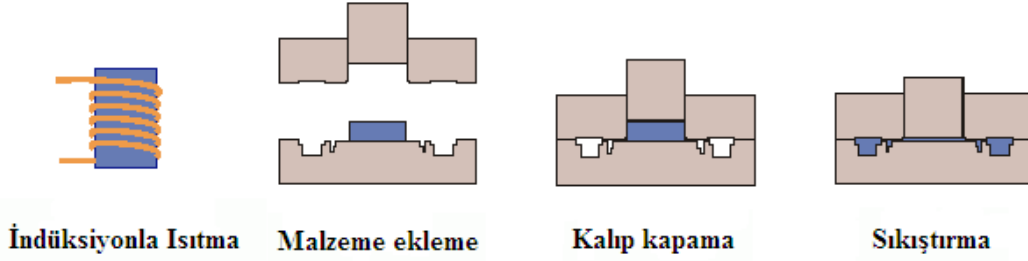
Şekil 4.22. Şekil 4.23. Tikso döküm yönteminin şematik olarak gösterimi [35].

4.3.1.2. Tikso Dövme

Tikso-dövme klasik dövmeye benzerlik gösterir. Yarı katı sıcaklığa ısıtılan kütük kalıp ile pres arasına konulur ve preslenir. Kütük kalıbın şeklini alır. Tiksotropik yapıya sahip kütük kalıbı tamamen doldurur. Yarı katı dövme için gerekli sıvı oranı %50'nin altında olmaktadır [73].

Tikso-dövme yöntemi daha çok dövme Al alaşımlarına uygulanmakta olup tikso dövme ile üretilen Al parçaların mekanik özellikleri, sıkıştırma (squeeze) döküme göre

daha düşük olmasına karşın yorulma özelliklerinin daha üstün olduğu bildirilmiştir [74]. Ekstrüze haldeki dövme Al alaşımları tikso dövme işlemi ön malzeme hazırlığına gerek duyulmadan başarıyla şekillendirilebildiği rapor edilmektedir [75,76].



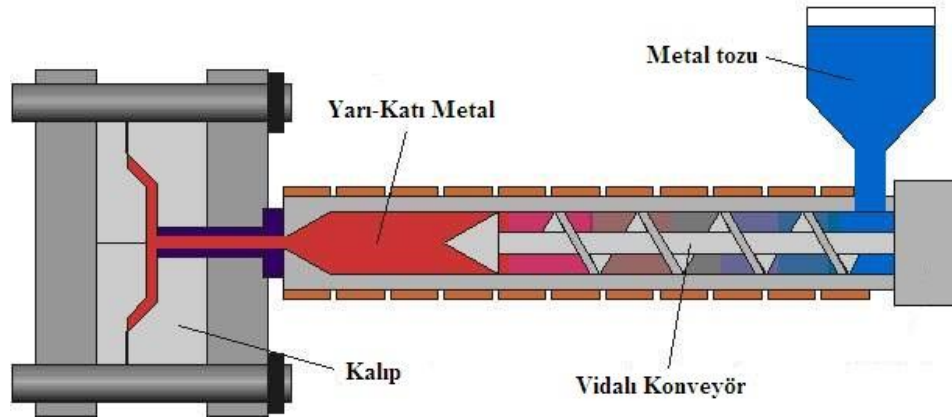
Şekil 4.23. Tikso dövme yönteminin şematik olarak gösterimi [35].

4.3.1.3. Tikso Kalıplama

Genellikle ticari magnezyum alaşımlarının şekillendirilmesinde kullanılan tikso kalıplama işlemi için plastik enjeksiyon kalıplama makinası ve hammadde olarak da 2-3 mm boyutunda ince küçük metal parçalar (granüller, talaşlar) kullanılmaktadır.

Kullanılan ham madde katı durumdadır. Yarı-katı şekillendirme için uygun granüller, kısmi ergitilerek kalıplanmaktadır. Yarı katı şekillendirme atmosfer kontrollü olarak gerçekleşir. Magnezyum gibi hafif metallerden elde edilen elektronik parçaların üretiminde kullanılan birçok makine mevcuttur [42,43].

Tikso kalıplama işlemi, alüminyum, magnezyum gibi hafif metallerin farklı takviye elemanlarıyla kompozit malzeme üretilmesinde de kullanılan bir yöntemdir. Tikso kalıplama metodu kullanılarak son şekle yakın üretim yapılabilir. Bu işlemde, bir kalıp içerisine (genellikle grafit) yarı-katı metalin düşük presleme yükleriyle şekillendirilmesi yapılmaktadır. Bu yöntem ile üretilen alaşımın mikro yapısı, bir sıvı matris içinde katı metal veya seramik küreleri içermektedir. Metal, sıvı ötektikle çevrili katı kürelerden oluştuğundan dolayı tiksotropik davranış gösterir. Klasik döküm teknolojisiyle birlikte, plastik enjeksiyon makinesinin şekil yapma kabiliyetini birleştirerek daha karmaşık geometrili ve yüksek yoğunluklu parçalar elde edilebilir. Şekil 4.24’de tikso kalıplama makinesinin şematik gösterimi verilmiştir [41].



Şekil 4.24. Tikso kalıplama yönteminin şematik olarak gösterimi [35]

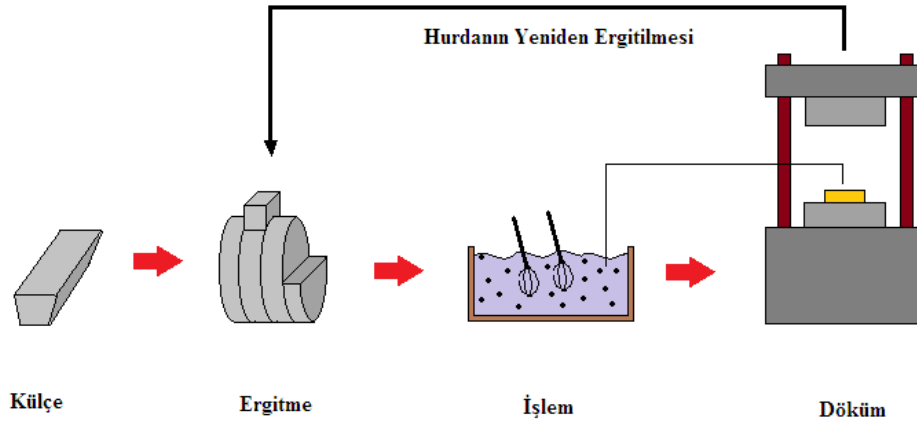
4.3.2. Rheo Şekillendirme

Sıvı durumdan yarı-katı bölgeye inerek yapılan yarı-katı üretim yöntemleri; rheodöküm, rheo-dövme, rheo-ekstrüzyon'dur. Malzemelerin reolojik davranışlarını gösteren en önemli parametresi malzemelerin viskozitesidir(η). Yarı-katı metal alaşımlarının gerçek viskozitesi bulunabilir [34,77,78].

4.3.2. 1. Rheo Döküm

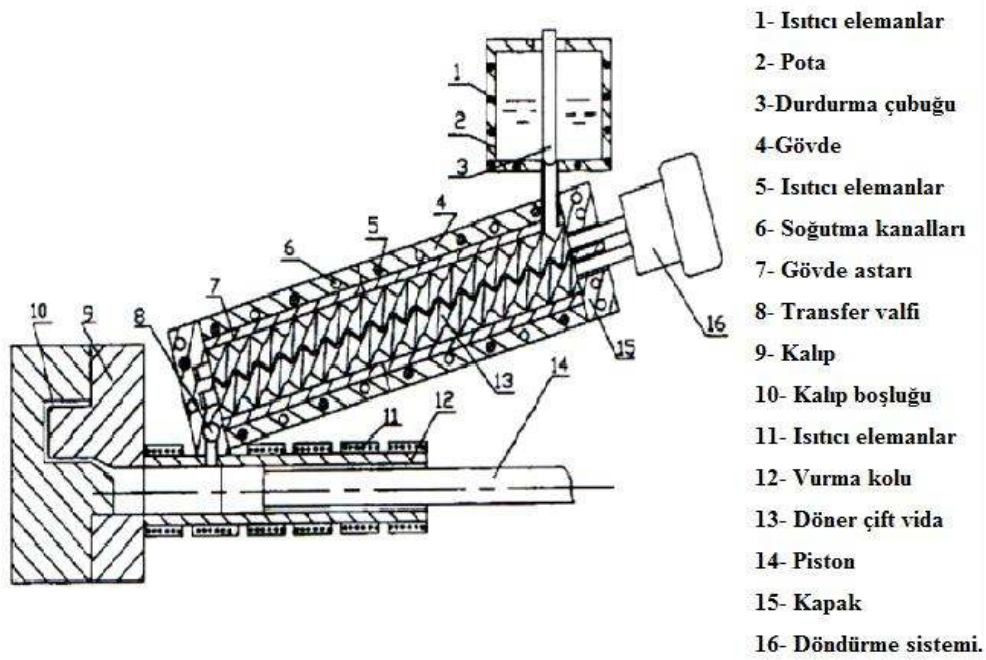
Katılaşma esnasında sıvı haldeki metal karıştırılarak dendritik olmayan yapı elde etme işlemi rheo-döküm olarak tanımlanmaktadır. Rheo-döküm; yarı-katı şekillendirme araştırmalarının merkezinde olmasına karşın, araştırmaların başlangıcında ticari olarak yaygınlaşacağı düşünülmemiştir [45].

Bu yöntemle göre; sıvı metalin katılaşması esnasında kullanılan mekanik karıştırma, elektromanyetik karıştırma ve sima yöntemiyle küresel mikro yapıya sahip yarı katı mamül üretilir. Üretilen küresel mikro yapıya sahip yarı-katı haldeki malzeme pres döküm makinesinde preslenerek şekillendirme işlemi yapılır. Rheo döküm özellikle son yıllarda gelişmiştir. Bu gelişim küçük laboratuvarlar da başlamıştır. Bu yöntemler ile üretilen malzemelerin tane boyutu 100-400 μm arasındadır. Basit bir yöntem olmasına rağmen seramik karıştırıcının aşınmaya uğraması, hamurumsu malzemenin gaz içermesi ve oksitlenmesi, katı oranının kontrolünün zorluğu nedeniyle bu üretim yöntemi ticari amaçlı olarak kullanılmamaktadır [41].



Şekil 4.25. Rheo döküm yönteminin şematik olarak gösterimi[79].

Rheo-kalıplama Tikso-kalıplamaya benzer olan bu yöntemde besleme stoku olarak sıvı metal şarj edilmektedir [42]. Rheo-kalıplama, Rheo-döküm ile enjeksiyon kalıplamanın kombine edildiği net-şekli veren bir yarı-katı şekillendirme yöntemidir.

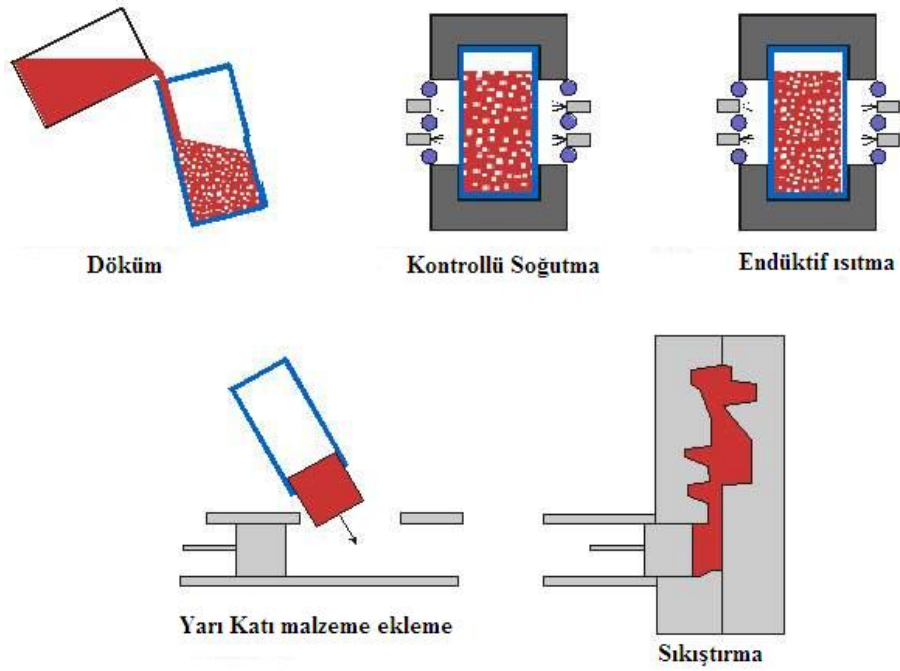


Şekil 4.26. Rheo-kalıplama ünitesinin şematik olarak gösterimi [80]

Son yıllarda Al alaşımlarının şekillendirilmesinde reo-kalıplama yöntemi başarıyla kullanılmaktadır. Bu yöntem döküm Al alaşımlarına uygulanabildiği gibi dövme Al alaşımlarının şekillendirilmesinde de kullanılmakta olup bu yöntemle ince taneli, metaller arası bileşiklerin homojen olarak dağılımının sağlanması ve gözenek miktarı % 0,5'ten daha az yapılar elde edilmesi mümkün olmaktadır [81].

4.3.2. 2.Yeni Rheo Döküm Yöntemi

Yeni rheo-döküm yöntemi adıyla bilinen bu yöntem Japonya'da UBE Endüstri Limited şirketi tarafından geliştirilmiş olup UBE yöntemi olarak da bilinmektedir [54]. Bu yöntemde; sıvı ergime sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta eğimli potaya dökülür ve potanın etrafında tane çekirdeklenmesi meydana gelir. Döküm sıcaklığı ergime sıcaklığına yakın olduğu için tane boyutu küçüktür. Bu yöntem eğimli plakaya döküm yöntemi prensibine dayanır [82].



Şekil 4.27. Yeni rheo döküm yönteminin şematik gösterimi [35]

- 1) Sıvı haldeki alaşımın soğutucu kalıp veya tabakayla teması ve kalıp ile temas halinde iken birincil α -Al fazının ergiyikte oluşması,
- 2) Yalıtılmış potalarda veya soğutulmuş plakalarda çok miktarda çekirdek içeren metal oluşturulması,
- 3) Kontrollü soğuma ile tam küresel ön malzeme oluşumu ve ilave soğutma ile biçimlendirme için gerekli katı miktarının ayarlanması,
- 4) Yalıtılmış pota ters çevrilerek yarı katı haldeki numunenin yüzeyi oksitlenmeden korunur ve kalıba basılarak şekillendirme işlemi gerçekleştirilir [45].

Düşük sıcaklıklardan döküm yöntemi ile hammadde üretimi basit ve ekonomik bir teknik olduğu için ilgi çekmektedir ve geleceği parlak görülmektedir. Ancak, sıcaklık kontrolü problemleri nedeni ile geniş ölçekli üretimde homojen mikro yapı elde edilememesi endüstriyel kullanımına engel oluşturmaktadır [42].

4.4. Yarı-Katı Üretim Yönteminin Avantajları

Yarı-katı üretim yönteminin en önemli avantajlarından birisi son şekle yakın bir malzeme üretimidir. Ayrıca; ince kesitli parçalarda şekillendirebilme fırsatı ile birlikte mükemmel bir malzeme yüzeyi elde edilmektedir. Bununla birlikte işlem sıcaklığının da düşük olması birçok yönden avantaj sağlamaktadır. Yarı-katı işlem klasik döküm yöntemleriyle karşılaştırıldığında, klasik yöntemlerde malzemenin %100' lük kısmının sıvı olması kalıplama işlemi sırasında gaz absorbe etmesine neden olmaktadır. Yarı-katı üretim yönteminde böylesi bir durum yok denebilecek kadar minimum seviyelerdedir. Ayrıca işlem sıcaklığı düşük olduğu için çekme azdır. Bununla birlikte çekme boşlukları ve sıcak yırtılma gibi hatalarda minimum seviyelerdedir [83].

Bir alaşımın yarı-katı halde şekillendirilebilmesi için ince küresel tane yapısına sahip olması gerekmektedir. Eşeksenel mikroyapıya sahip alaşımlar, tiksotropik özellik gösterir. Yani yarı-katı halde dendritik mikroyapılı alaşımlara göre yüksek akışkanlık özelliğine sahiptir. Mikroyapılarının üniform olması, üretilen parça özelliklerinin iyi olmasını sağlar.

Yöntemin başlıca avantajları:

- 1- Yarı katı halde şekil verme için gerekli olan sıcaklık normal döküm sıcaklığından daha azdır. Bu kalıp ömrünü uzatır ve proses süresini kısaltır,
- 2- Yüksek otomasyon ve üretilebilirlik sağlar,
- 3- Yüksek basınç altında kalıbın dolması, küçük parçalara şekil verme ve ince kesitlerin daha iyi dolmasına imkan verir,
- 4- Düşük tolerans limitlerinde parçanın yaklaşık kesin şekli elde edilir,
- 5- Isıtma, döküm için istenen enerjinin % 65' i kadardır,
- 6- Kalıptaki laminer akış nedeniyle malzemede daha az gaz ve makroporozite oluşur,
- 7- Yarı-katı halde şekil verme ile daha az katı-sıvı büzülmesi ve mikroporozite oluşur,
- 8- Kalıp malzemesi olarak metalik olmayan ucuz seramik malzemeler kullanılabilir,
- 9- Birçok alaşım grubuna bu yöntem başarıyla uygulanabilir,

10- Yolluk ve çıkıcı gibi dizaynlara gereksinim yoktur [84].

4.5. Yarı-Katı Üretim Yönteminin Dezavantajları

Tüm döküm yöntemlerinin olduğu gibi yarı-katı üretim yönteminin de bir takım dezavantajları vardır. Bunlar:

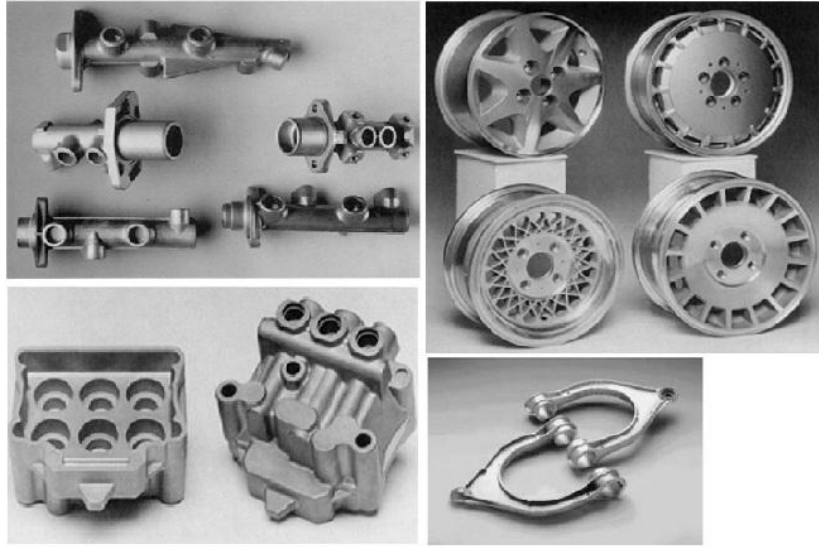
- 1- Özel hazırlanmış hammadde gerekir,
- 2- Hammadde üretim maliyeti yüksektir,
- 3- Özel dizayn gerektiğinden cihazlar pahalıdır,
- 4- İlk yatırım maliyeti yüksektir,
- 5- Konunun uzmanı kişilere ihtiyaç vardır [84].

4.6. Yarı-Katı Şekillendirmenin Uygulama Alanları

Yarı-katı halde şekil verme yöntemi, konvansiyonel döküm yöntemlerinin yerini almaktadır. Bu yöntem otomobil jantları, fren silindirleri, antilock fren valfleri, makine pistonları, kompresor yuvaları, direksiyon kutusu, fren dengeleme valfleri, elektrikselsel birleştiriciler ve çeşitli yataklarda kullanılmaktadır [30].

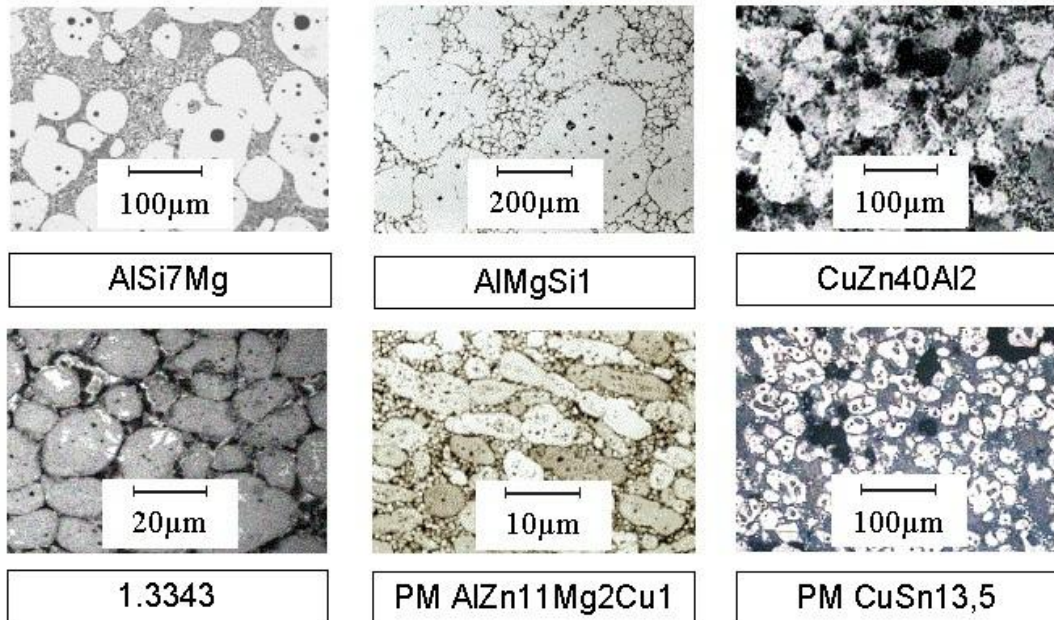
Yarı-katı üretim teknolojisi, özellikle askeri uygulamalarda, uzay ve havacılık sektörü, yakıt tankları, otomobil ön ve arka aksları, motor parçaları, fren diskleri, kilitlemesiz fren sistemi, süspansiyon parçaları, şasi, jantlar v.s. gibi yüksek nitelikli ve çok iyi bir yüzey kalitesi gerektiren parçaların üretilmesi için idealdir [37].

Alüminyum jantlar, ilk olarak kokil kalıba döküm veya sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilmekteydi. Yarı-katı halde şekillendirme yöntemi bu yöntemlerden daha sonra geliştirilmiştir [84] Alüminyum otomobil jantları, yarı-katı üretim teknolojisi ile üretildiğinde diğer yöntemlerle üretilen jantlara nazaran, iyi mekanik özelliklere sahip, daha izotropik ve daha yoğun yapılıdır [37].



Şekil 4.28. Yarı-katı şekillendirme ile üretilmiş bazı Al parçalar

Yarı-katı üretim teknolojisi ile karmaşık şekilli parçalar bile, kolaylıkla üretilabilmektedir. Ayrıca, yarı-katı işlemin elektronik (özellikle cep telefonu ve bilgisayar teknolojileri alanında) ve otomotiv endüstrilerinde uygulaması yoğun bir şekilde devam etmektedir. Çünkü yarı-katı işlem klasik döküm yöntemlerindeki genel işlem aşamalarından daha avantajlıdır. Bu avantajlar; kalıp ömrü, işlemlerin iyileştirilmesi, üretim kusurlarının azaltılması ve son şekle yakın parçaların elde edilmesidir [85].



Şekil 4.29. Yarı katı şekillendirilmiş farklı alaşımlara ait mikroyapı görüntüleri [35].

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Çalışmanın Amacı

Mühendislik malzemelerinin geleceğini temsil eden metal matrisli kompozitlerde özgül mukavemet, aşınma direnci, korozyon direnci ve elastiklik modülü özelliklerinin iyileştirilmesi için güçlü seramik takviye ediciler metal matrisle birleştirilirler.

Metal matrisli kompozitler bilimsel, teknolojik ve ticari öneme sahiptirler. Çeşitli takviye malzemeleriyle güçlendirilen alüminyum metal matrisli kompozitler düşük yoğunluk, yüksek mukavemet ve iyi aşınma direnci gibi birçok üstünlüğe sahiptirler. Parçacık takviyeli kompozitler; günümüzde uçak, otomotiv, savunma ve elektronik endüstrisinde ve diğer yüksek sıcaklık dayanımı ve yüksek aşınma direnci gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu gibi malzemelere duyulan ihtiyaç metal matrisli kompozit malzeme üretiminin önemini bir defa daha ortaya koymuş ve farklı teknik ve metot kullanılarak bu konudaki araştırmalara yön vermişlerdir.

Bilindiği gibi özellikle havacılık, otomotiv, savunma ve uzay endüstrisinde hafif yoğunluklu yüksek dayanımlı malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Daha da iyi sonuçlar elde edilebilmesi için gelişmiş ülkelerde bu konudaki çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmanın amacı ise; günümüz endüstrisinde kullanılmakta olan geleneksel üretim metotlarından başka metotlar kullanılarak, yüksek dayanımda ve düşük yoğunlukta malzeme üretmektir.

Bu çalışmada; alüminyum-silisyum esaslı (ağırlıkça; Al %93, Si %7) matrise %5 B₄C, %10 B₄C, %15 B₄C, %20 B₄C takviyeli kompozitler üretilmesi ve bunların yarı katı-sıvı aralığında şekillendirilerek özelliklerinin incelemesi amaçlanmıştır. Üretilen yeni B₄C takviyeli Al-Si esaslı kompozitlerin özellikleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM), X ışınları kırınımı (XRD) ve X ışını enerji dağılım spektrometresinden (EDS) faydalanılarak irdelendi. Ayrıca numunelerin mikro sertlik değerleri de ölçülerek sonuçlar bunlarla beraber yorumlandı.

5.2. Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Numunelerin Üretimi

Bu çalışmada, öncelikle katkısız olarak saf Alüminyum silisyum tozlarından referans malzemesi elde edilmiş ve daha sonra bu referans malzemeye belirli ağırlık oranlarında (%5-10-15-20) B₄C tozları katılarak bor karbür takviyeli alüminyum-silisyum

esaslı kompozitler üretilmiş, yarı katı-sıvı aralığında şekillendirilerek özellikleri incelenmiştir. Üretilen numunelerin özelliklerine ; yarı katı şekillendirme yönteminin, takviye oranının, takviye tane boyutunun, presleme basıncının, sinterleme atmosferinin ve sinterleme sıcaklığının nasıl etki ettiğini belirlemek amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM)'dan yararlanılmıştır. X ışınları kırınımı (XRD) tayini ile üretilen numunelerde bulunan fazlar tespit edilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu enerji dağılım x ışını spektrometresi (SEM-EDS) tekniği kullanılarak sistemde oluşan fazların kimyasal içeriği belirlenmeye çalışılmıştır.

5.2.1. Kullanılan Tozlar ve Özellikleri

Deney numunelerinin üretiminde kullanılan tozlar piyasadan hazır olarak temin edilmiştir. Bunlardan Al tozları Alman Merck firmasından temin edilmiş olup tane boyutu 64 μm dir. Deneyde kullanılan Si ise öğütülerek 37 μm tane boyutuna getirilmiştir. Takviye malzemesi olarak ise BMBT firmasından temin edilen B_4C tozu kullanılmıştır.

Tablo 5.1. Deney numunelerinin üretiminde kullanılan bor karbür tozunun kimyasal ve fiziksel özellikleri

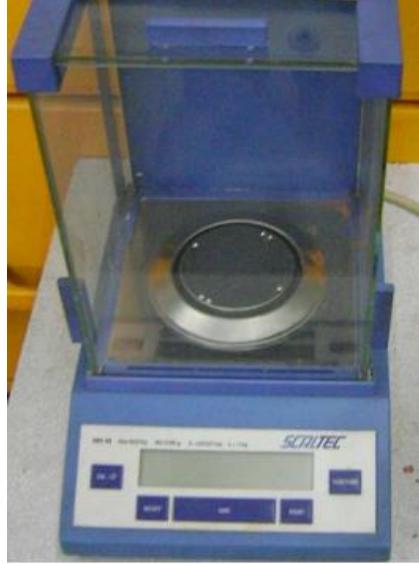
B: C Oranı	3,85
C	% 21,8
N	% 0,7
O	% 1
Fe	% 0,05
Si	% 0,15
Al	% 0,05
Diğer	% 0,5
Spesifik Yüzey Alanı	6 - 9 m^2/g
Ham Yoğunluk	1,5 – 1,7 g/cm^3
Boyut Dağılımı : % 90	6,5 μm
% 50	2,5 μm
% 10	0,4 μm

Tablo 5.2. Deney numunelerinin üretiminde kullanılan alüminyum tozunun kimyasal ve fiziksel özellikleri

Al	≥ 97.0
Pb	≤ 0.03
As	≤ 0.0005
Fe	≤ 1.0
Tutuşma Sıcaklığı	400 °C
Çözünürlük	(20 °C) (reaksiyon)
Ergime Noktası	660 °C
Molar Kütle	26,98 g / mol
Yoğunluk	2.70 g / cm ³ (20 °C)
Kaynama Noktası	2467 °C

5.2.2.Toz Karışımlarının Hazırlanması

Toz karışımları Scaltec marka 0,0001 gr hassasiyetteki terazide (şekil 5.1) tartılarak Tablo 5.3’de verilen bileşimde hazırlanmıştır.

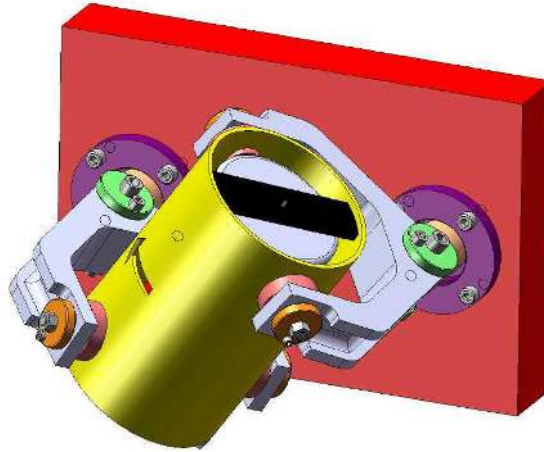


Şekil 5.1. Numune bileşimlerinin hazırlanmasında kullanılan hassas terazi

Tablo 5.3. Üretilen deney numunelerinin toz bileşimleri

Numune Kodu	% Al (Ağırlıkça)	% Si (Ağırlıkça)	% B ₄ C (Ağırlıkça)	Yapılan İşlem
N1	93	7	-	Toz Metalurjisi
N2	88.35	6.65	5	Toz Metalurjisi
N3	83.7	6.3	10	Toz Metalurjisi
N4	79.05	5.95	15	Toz Metalurjisi
N5	74.4	5.6	20	Toz Metalurjisi
N6	93	7	-	Yarı Katı Şekillendirme
N7	88.35	6.65	5	Yarı Katı Şekillendirme
N8	83.7	6.3	10	Yarı Katı Şekillendirme
N9	79.05	5.95	15	Yarı Katı Şekillendirme
N10	74.4	5.6	20	Yarı Katı Şekillendirme

Tablo 5.3. deki ağırlık oranlarına göre hazırlanan tozları karıştırma işlemi için Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü Laboratuvarında bulunan şekil 5.2’de görülen 88-tipi, kapalı toz hazneli, iki kg toz kapasiteli, üç boyutlu dönebilen bir karıştırıcı kullanılmıştır.



Şekil 5.2. Numunelerin üretiminde kullanılan 88-tipi mikserin şematik görüntüsü

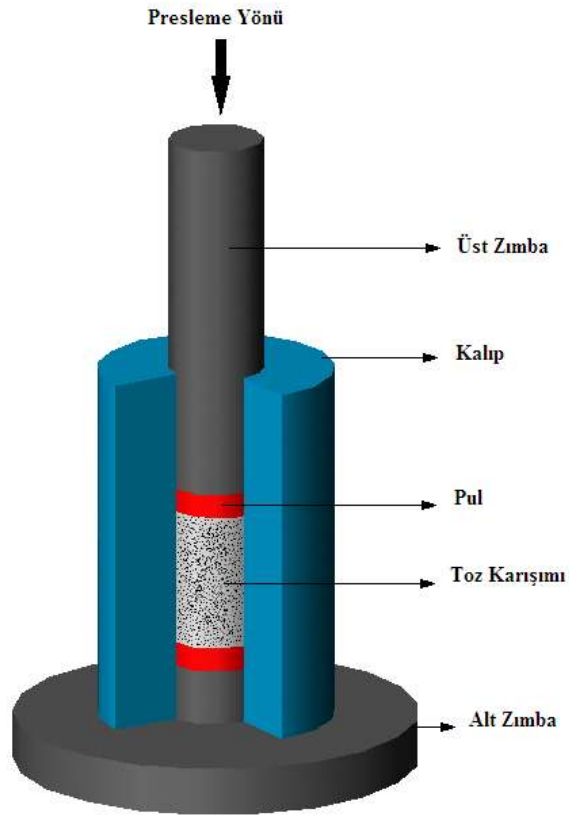
Numunelerin üretiminde kullanılan 88-tipi cihaz çalıştırıldıktan sonra tozun iyice karışabilmesi için toz haznesi 360°'lik turlarla her yöne dönebilmekte ve böylece tozların birbiriyle iyice karışması sağlanmaktadır. Karıştırma işlemi için tozlar belirtilen ağırlık oranlarında mikser haznesine eklenmiş ve hava almayacak şekilde kapağı kapatılmıştır.

Böylece cihaz çalıştırılmış ve yaklaşık 45 dakika boyunca, 20 dev/dak hızda tozlar karıştırılmıştır.

5.2.3. Tozların Kalıplanması

45 dakika harmanlanan Al-Si/B₄C kompozit toz karışımları, soğuk presleme ile ön şekillendirilmiştir. Bu ön şekillendirme işleminde Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Laboratuvarında bulunan 40 tonluk “Hidrolik San” marka tek yönlü hidrolik pres kullanılmıştır. Al-Si/B₄C kompozit tozları soğuk presleme ile ön şekillendirilmesinde takım çeliğinden yapılmış bir metal kalıp kullanılmıştır.

Tozların kolay şekillendirilebilmesi ve kalıp içerisinden şekillendirilen toz kütlelerinin kolay çıkarılabilmesi için kalıp iç yüzeyleri ve zımbalar çinko stearat yağlayıcı ile sıvanmıştır. Tozların ön şekillendirilmesi işlemlerinde 450 MPa yük kullanılmıştır. Şekil 5.3’de Al-Si/B₄C kompozit tozların soğuk presleme işleminde kullanılan metal kalıbın şematik görüntüsü verilmektedir.



Şekil 5.3. Kompozit tozların soğuk presleme işleminde kullanılan metal kalıbın şematik görüntüsü

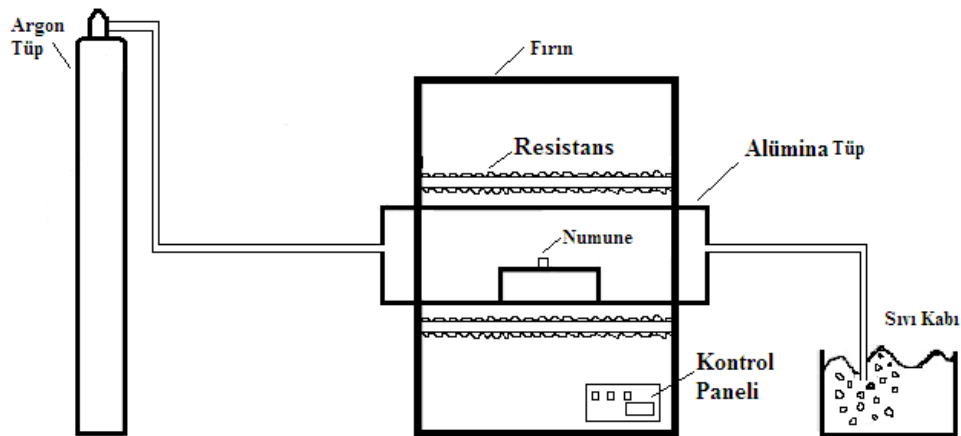
5.2.4. Sinterlenme

Preslenen numune tozlarının sinterlenmesi işlemi, Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü Laboratuvarında bulunan “PROTHERM” marka, boru tipi atmosfer kontrollü fırında yapılmıştır. Bu fırın içerisinde ısıtma işlemi heating rezistanslarla sağlanmakta ve max. 1200°C’ye çıkabilmektedir

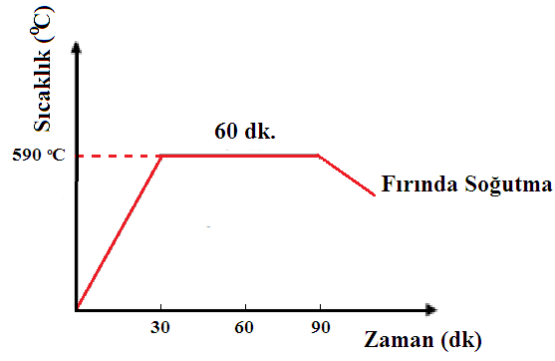


Şekil 5.4. Deneysel çalışmalarda kullanılan boru tipi fırın.

Sinterleme işlemleri tüp fırında, argon gazı ortamında yapılmıştır. Şekil 5.6’ da tüp fırınında yapılan sinterleme işleminin şematik gösterimi verilmiştir. Sinterleme işlemi, şekil 5.7’de sinterleme sıcaklık-zaman grafiğinde görüldüğü gibi numuneler 590°C ‘ye 30dk çıkma süresi 590°C de 60dk bekleme süresi ile yapılmıştır. Daha sonra fırın ortamında numunelerin soğuması beklenmiştir.



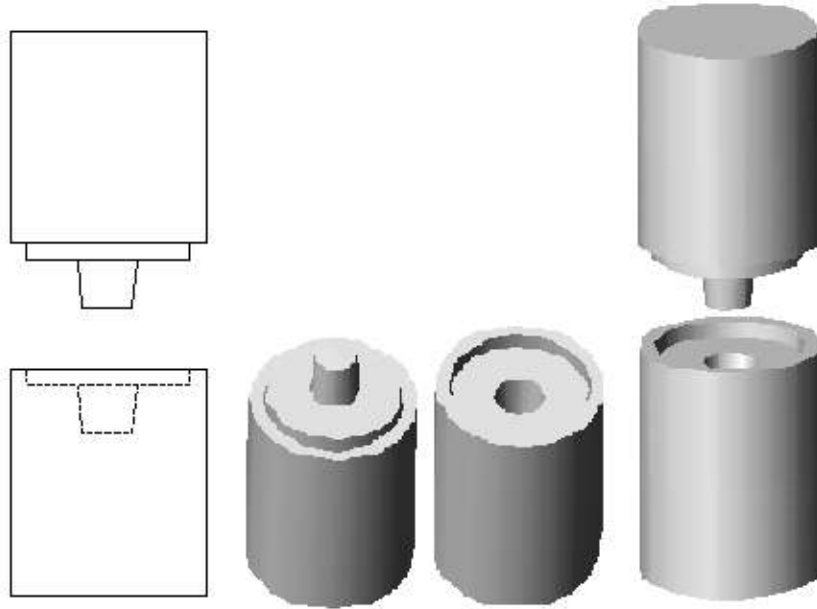
Şekil 5.6. Sinterleme fırınının şematik gösterimi.



Şekil 5.7. Sinterleme parametresi grafiği

5.2.5. Numunelerin Tekrar ısıtılması ve yarı katı şekillendirilmesi

Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen ikinci numuneleri yarı katı şekil verme için Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümünde bulunan SFL marka fırın kullanılmıştır. Numuneler 620 °C fırın sıcaklığında 20dk süre ile tutulmuş ve Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümünde bulunan Hidrolik San marka preste şekil 5.8 de gösterilen kalıp ile 1dk süre ile preslenerek numunelerin yarı katı aralığında şekillenmesi sağlanmıştır.



Şekil 5.8. Kompozitlerin yarı katı şekillendirilmesi işleminde kullanılan metal kalıbın şematik görüntüsü.

5.3. Mikroyapı İncelemeleri İçin Numune Hazırlanması ve Mikroyapı Çalışmaları

Üretilen numuneler mikro yapı analizleri için kesilerek istenilen boyutlara getirildi. Numuneler şekil 5.9 a ve b 'de görülen sulu döner zımparalama cihazlarıyla parlatılmıştır. Parlatma işlemi kalından inceye doğru sırasıyla 400-600-800-1000-1200-2500 ve 3000 mesh' lik zımparalarla yapılmıştır. Daha sonra 3 μ m, 1 μ m 'lik elmas süspansiyon ve elmas yağlayıcı yardımı ile çuha üzerinde parlatma işlemi yapılmıştır. Çuha ile parlatma kademesinde alkol kullanılmış ve ayrıca tüm parlatma işlemlerinden sonra da numuneler alkolle yıkanmıştır. Daha sonra dağlama işlemine geçilmiştir. Dağlama işlemi için KELLER (1 ml HF, 1,5 ml HCl, 2,5 ml HNO₃, 95 ml H₂O) dağlayıcısı seçilmiş ve numuneler 30 sn sürede dağlanmıştır.



Şekil 5.9. Parlatma cihazları, (a) kaba parlatmaların yapıldığı, (b) ince parlatmaların yapıldığı cihaz

Hazırlanan numunelerin mikroyapılarının tespiti, B₄C takviyesine bağlı olarak mikroyapıda ne gibi değişimlerin meydana geldiği ve sinterleme işlemlerinin yapılmasında ne ölçüde başarılı olunduğunu anlayabilmek amacıyla, Fırat Üniversitesi, Fen Edebiyat fakültesi, Fizik Bölümü, laboratuvarında bulunan JEOL JSM 7001F FE-SEM marka Scanning Electron Microscope (SEM) cihazı ve buna bağlı Enerji Dispersive spektroph (EDS) yüzey analiz cihazı kullanılmıştır.



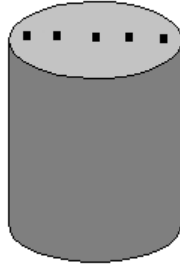
Şekil 5.10. Mikroyapı incelemelerinin yapıldığı JEOL marka taramalı elektron mikroskobu

5.4. X-Isını Kırınımı incelemeleri

Farklı bileşimde üretilen numunelerin sinterlenmeleri ve yarı katı şekillendirilmeleri sonucunda numunelerde meydana gelebilecek faz ve bileşikler tespit etmek amacıyla Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme mühendisliğinde bulunan SHIMADSU marka XRD-6000 kullanılarak X-ray diffraction (XRD) analizleri yapılmıştır.

5.5. Mikro sertlik Deneyi

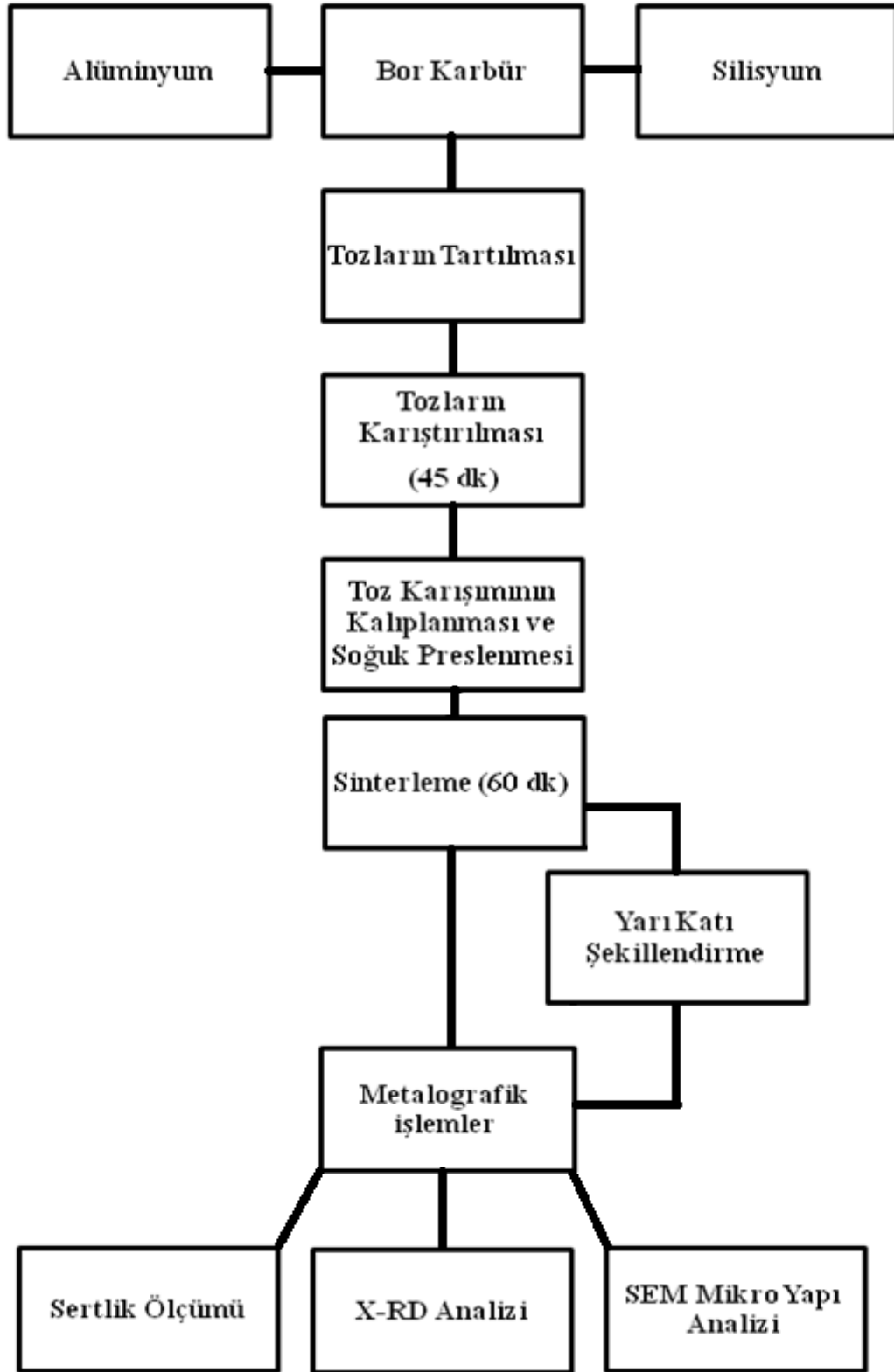
Mikrosertlik ölçümleri; Fırat Üniversitesi, Metalurji Malzeme Mühendisliği' nde bulunan LEICA MHF-10 marka mikrosertlik test cihazında HV sertlik skalası ile 200 gr' lık yük altında gerçekleştirilmiştir. Sertliğin tam olarak belirlenmesi için numunelerin şekil 5.11'de görüldüğü gibi orta, uç ve ara bölgelerinden sertlik değerleri ölçülmüş ve her bir numuneden toplam 5-6 adet sertlik değeri alınmıştır. Daha sonra bu değerlerin ortalaması alınarak numunelerin ortalama sertlik değerleri bulunmuştur. Daha sonra bu değerler, bilgisayar ortamına aktararak mikrosertlik grafikleri çizilmiştir.



Şekil 5.11. Mikrosertlik ölçüm numunesinin şematik resmi



Şekil 5.12. Mikrosertlik ölçme cihazı

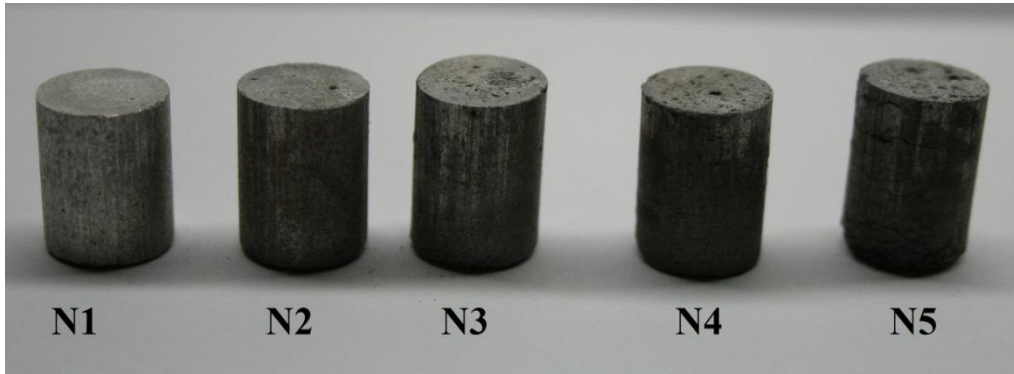


Şekil 5.13. Numunelerin üretimi ve yapılan deneylerin akış diyagramı

6. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

6.1. Deney Numunelerinin Makroyapı Analizleri

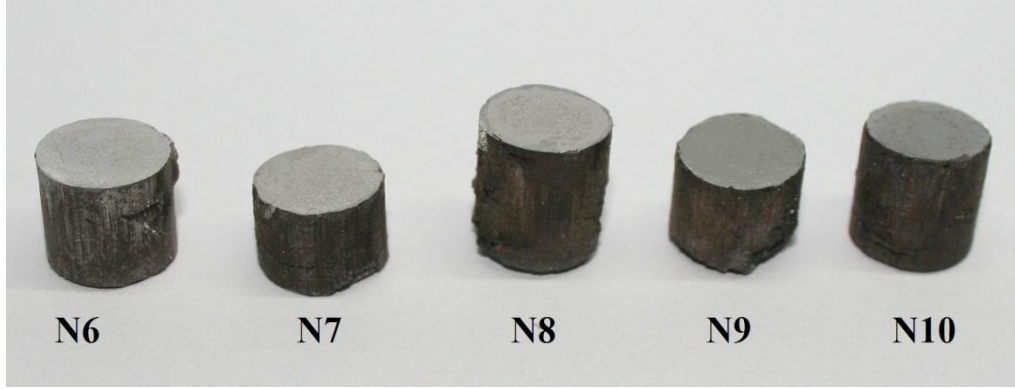
Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen Al-Si matrisli B₄C takviyeli kompozitlerin makro yüzey fotoğrafı şekil 6.1’de verilmiştir. N1, N2, N3, N4, N5 numunelerine ait makroyüzey fotoğrafları incelendiğinde; Al-Si den üretilen N1 numunesinin diğer numunelere kıyasla daha açık renkte olduğu ve yüzeyinde gözle görülür boşluk ve çatlakların olmadığı tespit edilmiştir. Al- Si matrisli ağırlıkça %5, %10, %15, %20 B₄C takviyeli üretilen N2, N3, N4, N5 nolu kompozit malzemelerde ise yer yer gözle görülür boşlukların olduğu fakat malzeme yüzeylerinde herhangi bir çatlakın olmadığı tespit edildi. Bor karbür takviyeli olarak üretilen numunelerin renklerinin karbür oranı ile orantılı olarak daha koyu renkte olduğu ve en koyu görünüme %20 takviye oranına sahip N5 numunesinde olduğu tespit edildi.



Şekil 6.1. Sinterleme sonrası elde edilen numunelerin fotoğrafı

Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen ve yarı katı şekillendirilen Al-Si matrisli B₄C takviyeli kompozitlerin makro yüzey fotoğrafı şekil 6.2’de verilmiştir. N6, N7, N8, N9, N10 numunelerine ait makroyüzey fotoğrafları incelendiğinde; Al-Si den üretilen N6 numunesinin diğer numunelere kıyasla daha açık renkte olduğu ve yüzeyinde gözle görülür boşluk ve çatlakların olmadığı tespit edilmiştir. N6 numunesinin renginin açık olmasının sebebi içerisinde bor karbür içermemesidir. Al- Si matrisli ağırlıkça %5, %10, %15 %20 B₄C takviyeli üretilen N7, N8, N9, N10 nolu kompozit malzemelerde ise yer yer gözle görülür boşlukların olduğu fakat malzeme yüzeylerinde herhangi bir çatlakın olmadığı tespit edildi. Bor karbür takviyeli olarak üretilen numunelerin renklerinin karbür oranı ile orantılı olarak daha koyu renkte olduğu ve en koyu görünüme %20 takviye oranına sahip N10 numunesinde olduğu tespit edildi. Yarı katı şekillendirilen kompozitlerin

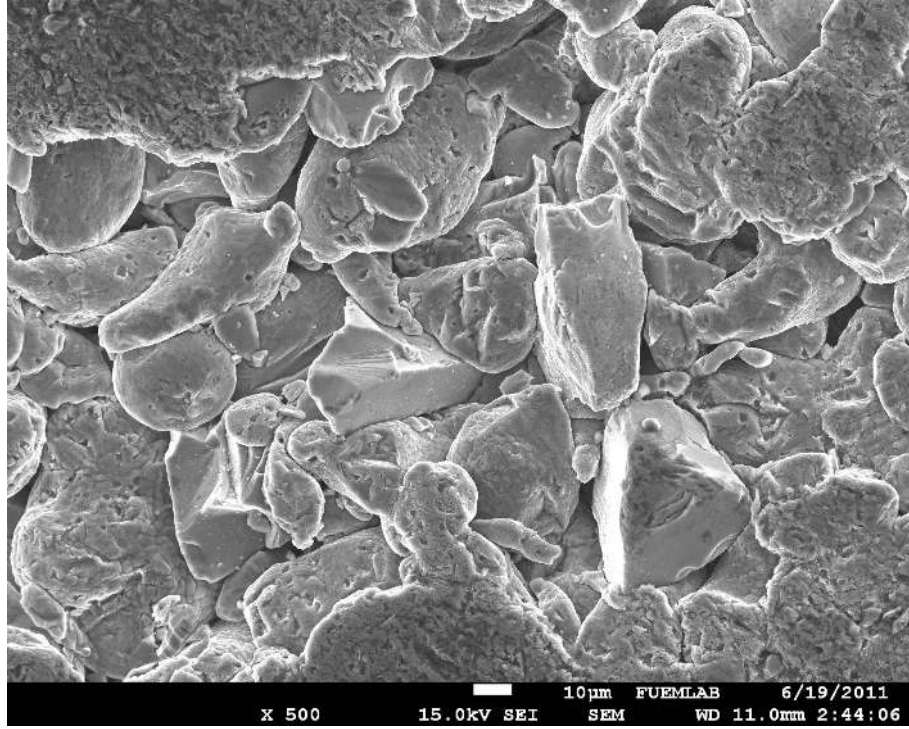
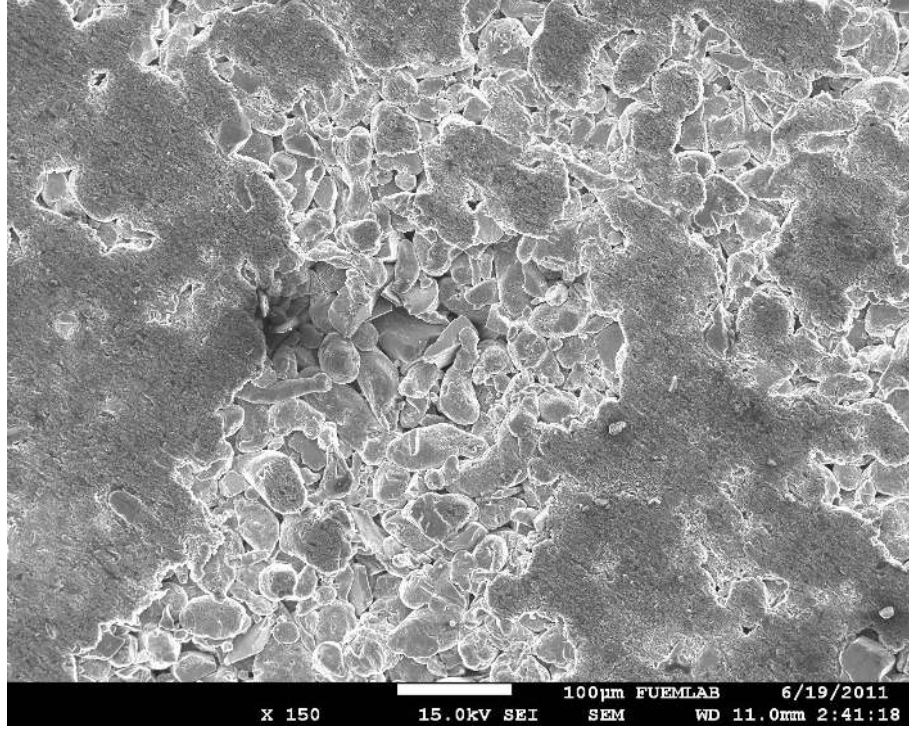
şekillendirme işlemi sırasında uygulanan kuvvetin etkisi ile köşelerinde çapaklar ve ezilmeler oluşmuştur.



Şekil 6.2. Yarı katı şekillendirme sonrası elde edilen numunelerin fotoğrafı

6.2. Deney Numunelerinin SEM Analizleri ve EDS Analiz Sonuçları

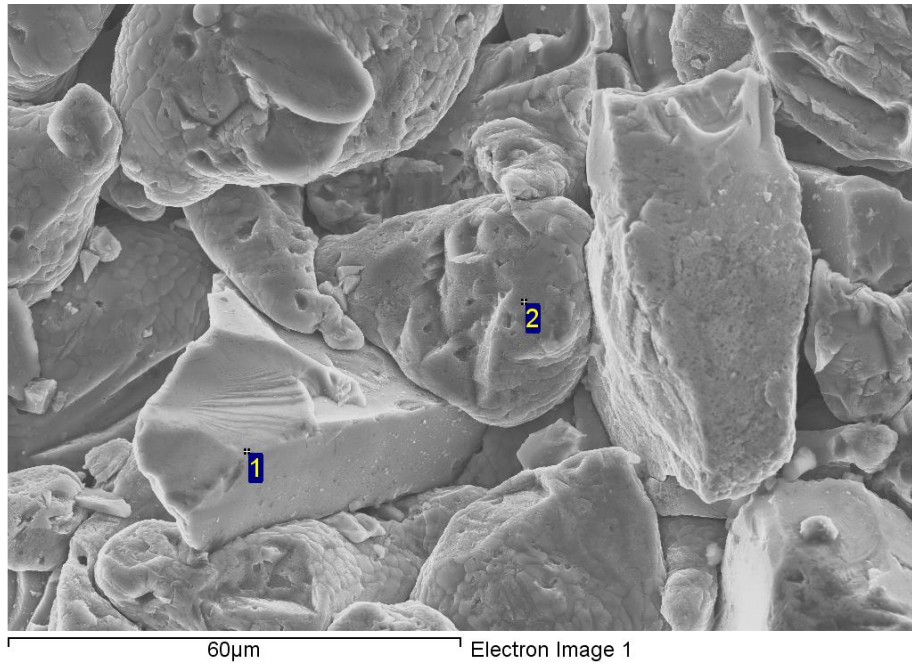
N1 numunesi karbür takviyeli numunelere referans numune olarak kabul edilebilir. N1 numunesinin şekil 6.3’de verilen SEM fotoğrafları incelendiğinde Al ve Si toz taneciklerinin birbirleriyle kaynaşmaya başladığı açıkça görülmektedir. Numunedeki toz taneciklerinin sıcaklık etkisi ile yapısının bozulduğu, taneciklerin birbirleriyle etkileşiminin arttığı ve bu yüzden tanecik Yapısının değiştiği tam anlamıyla görülmektedir. Fakat malzeme yüzeyinde yer yer gözenekler tespit edilmiştir bunun nedeninin tanecik etkileşiminin malzemede homojen bir şekilde gerçekleşmediğini göstermektedir. Taneciklerin birbirleriyle bağlanması, elde edilen kompozit numunenin mukavemetini de olumlu yönde geliştirmektedir.



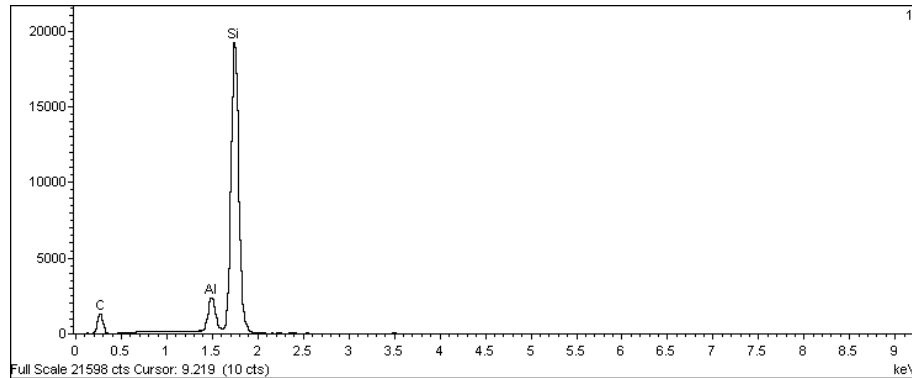
Şekil 6.3. N1 Numunesine ait SEM fotoğrafı. (a) X 150 ve (b) X 500

SEM fotoğrafı Şekil 6.4’ de verilmiştir. EDS analizleri numune üzerindeki iki farklı noktadan alınmış ve bu noktaların matris ve karbürlere denk gelmesi sağlanmıştır. N1 numunesine ait EDS analiz grafiği Şekil 6.5-6.6’ da ve sonuçları Tablo 6.1-6.2’ verilmiştir. Bu numune ait EDS analiz sonuçları incelendiğinde; 1. bölgede %47.15 C, %4.55 Al,

%48.30 Si, 2. bölgede, %4.96C, %92.57 Al, %2.47 Si, elementleri yüzde ağırlık oranları saptanmıştır. Genel olarak yüzde ağırlık oranları; spektrum alınan bölgede sınırlı kalmak şartıyla ne kadar oranda hangi element veya elementlerden olduğunu göstermektedir. EDS analiz sonuçları değerlendirildiğinde analiz sonuçlarında görüldüğü gibi alüminyum, silisyum ve karbon elementleri tespit edilmiştir. Numunede oluşan yapı içinde elementlerin çözünürlükleri, hem sıcaklığa hem de atom yarıçapları arasındaki farka bağlı olarak, belirli oranlarda matris içinde eriyerek katı eriyik oluşumuna katkıda bulunurlar. Ancak, alaşım elementlerinin çözünürlüklerinin sınırlı kaldığı görülmektedir nedeninin sinterleme sıcaklığına ve süresine bağlı olduğu düşünülmektedir.



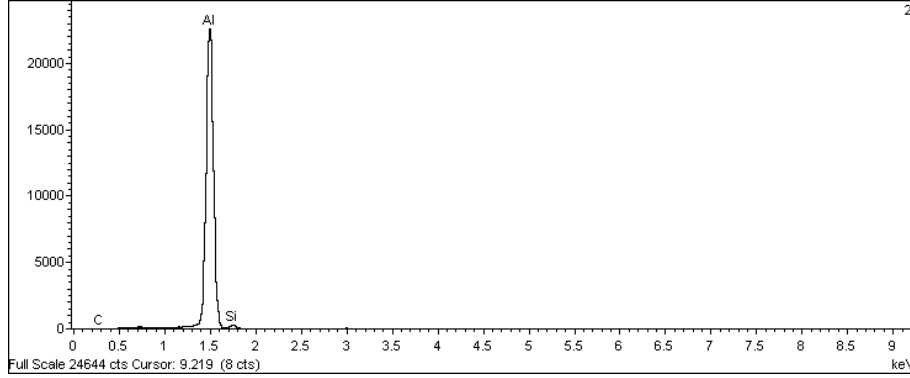
Şekil 6.4. N1 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı.



Şekil 6.5. N1 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo 6.1. N1 numunesine ait 1no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
C	21.03	0.2642	47.15	0.49	67.52
Al	9.15	1.1917	4.55	0.08	2.90
Si	88.85	1.0901	48.30	0.45	29.58
Totals			100.00		



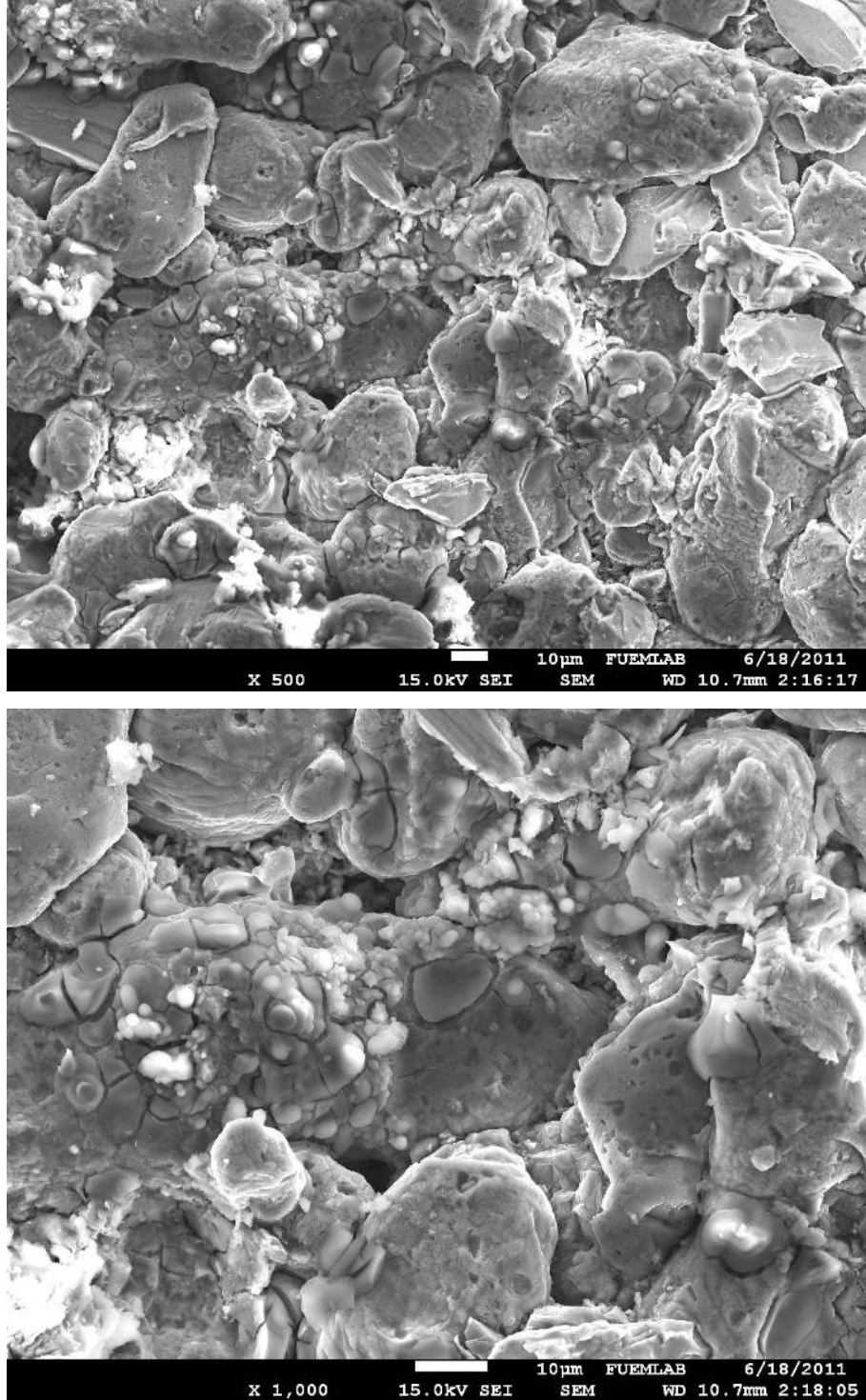
Şekil 6.6. N1 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo 6.2. N1 numunesine ait 2no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
C	0.72	0.1933	4.96	0.74	10.50
Al	93.46	1.3376	92.57	0.73	87.27
Si	1.11	0.5954	2.47	0.13	2.24
Totals			100.00		

N2 numunesi %5 bor karbür takviyeli olarak üretilmiştir. N2 numunesinin SEM fotoğrafı şekil 6.7'de verilmiştir.

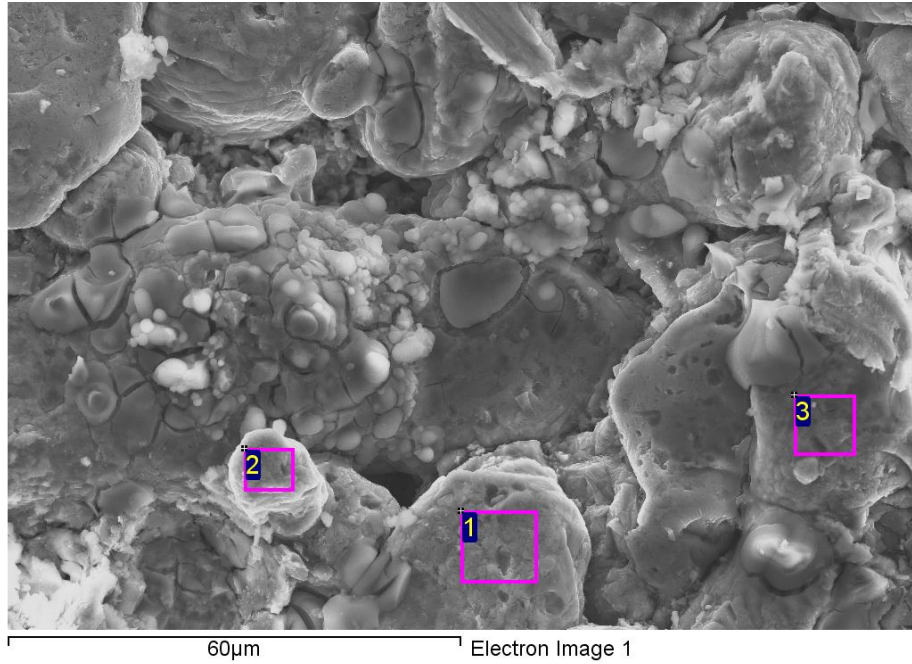
Üretilen numuneye ait SEM fotoğraflarında düşük parçacık oranlarında parçacıkların içyapıda homojen bir şekilde dağıldıkları görüldü. Parçacık hacim oranı ve parçacık boyutuna bağlı olarak bazı bor karbür parçacıklarının yer yer bir araya gelerek kümелendiği gözlemlendi. Takviye elemanı boyutunun azalmasıyla parçacık topaklanmalarının oluşması sonucu, porozite oranının artması doğaldır. %5 takviye oranı içeren kompozitde elektron mikroskobu ile yapılan mikroyapı incelemeleri matrisle parçacık arasında çözünme oluşmadığını göstermiştir. Malzeme yüzeyi incelendiğinde gözeneklilik ve boşlukların bulunduğu; ancak sinterlemenin iyi ve oldukça homojen olarak gerçekleştiği görülmektedir. Numunedeki matrisi oluşturan toz taneciklerinin sıcaklık etkisi ile yapısının bozulduğu ve taneciklerin birbirleriyle kaynaştığı görülmüştür.



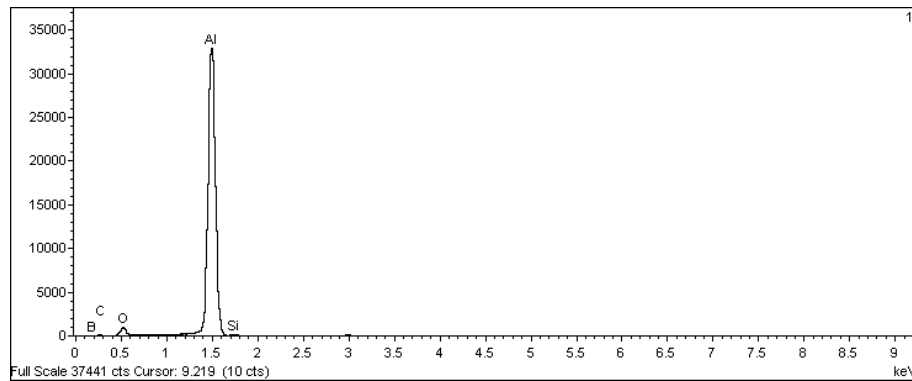
Şekil 6.7. N2 Numunesine ait SEM fotoğrafı. (a) X 500 ve (b) X 1000

N2 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı Şekil 6.8’ de verilmiştir. EDS analizleri numune üzerindeki üç farklı noktadan alınmış ve bu noktaların matris ve karbürlere denk gelmesi sağlanmıştır. N2 numunesine ait EDS analiz grafiği Şekil 6.9-6.11’ de ve sonuçları Tablo 6.3-6.5’de verilmiştir. Bu numune ait EDS analiz

sonuçları incelendiğinde; 1. Bölgede %16.97 B, %6.60 C, %9.05 O, %66.81Al, %0.57 Si, 2. bölgede, %5.52C, %31.48 O, % 62.43 Al, %0.56 Si, 3. bölgede, %9.06 C, %16.64 O, %72.42 Al, %1.88 Si, elementleri saptanmıştır. EDS analiz sonuçları değerlendirildiğinde yapı içerisinde bor, alüminyum, silisyum, karbon ve oksijen elementleri tespit edilmiştir. Numune yüzeyinde oksitler görülmüş ve yüzeyde intermetalik bileşikler oluşmaya başladığı düşünülmektedir. Bir numaralı bölgenin analizi ele alındığında matris malzemesiyle sıvanmış durumda yaklaşık %16.97'lik bir bor elementi görülmektedir. Bor karbür parçacıklarının fotoğraflarda belirgin olarak görülmemesinin genel sebebi parçacık boyutunun düşük olmasıdır.



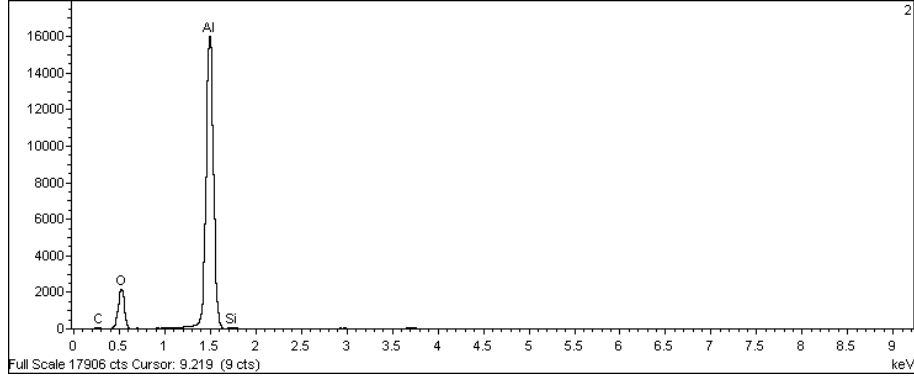
Şekil 6.8. N2 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı.



Şekil 6.9. N2 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo 6.3. N2 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.

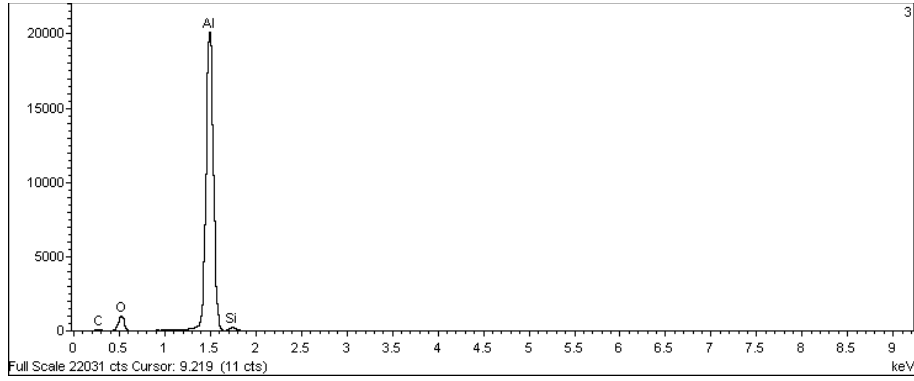
Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
B	1.31	0.0489	16.97	4.57	30.30
C	1.91	0.1841	6.60	0.77	10.60
O	12.44	0.8727	9.05	0.55	10.92
Al	130.80	1.2427	66.81	3.71	47.78
Si	0.60	0.6744	0.57	0.06	0.39
Totals			100.00		



Şekil 6.10. N2 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo 6.4. N2 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
C	1.33	0.2703	5.52	0.56	9.66
O	31.79	1.1355	31.48	0.37	41.32
Al	63.32	1.1401	62.43	0.47	48.60
Si	0.34	0.6705	0.56	0.06	0.42
Totals			100.00		

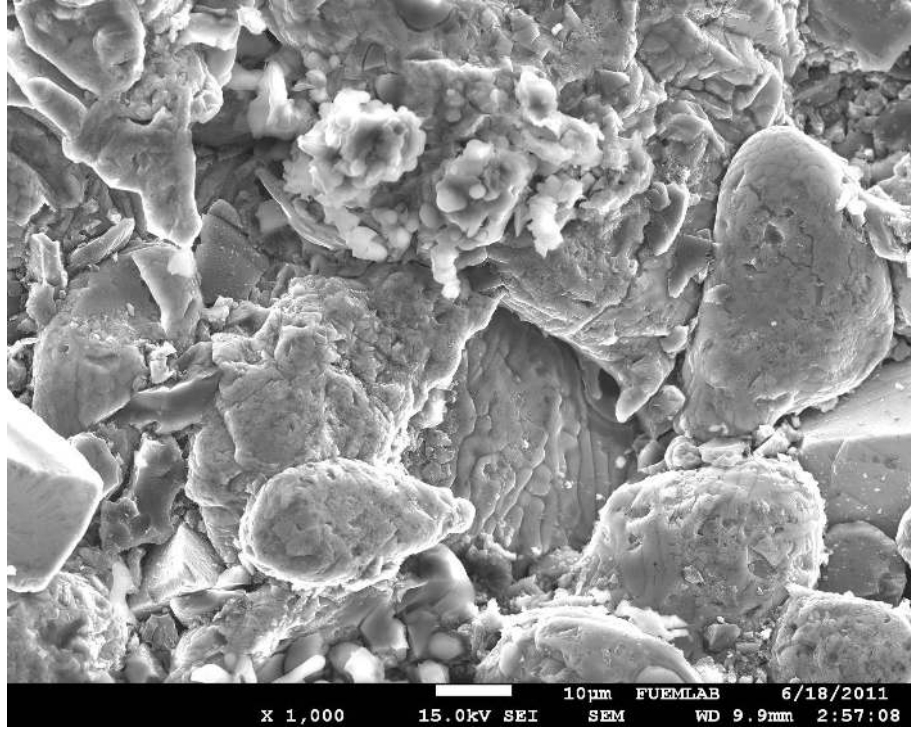
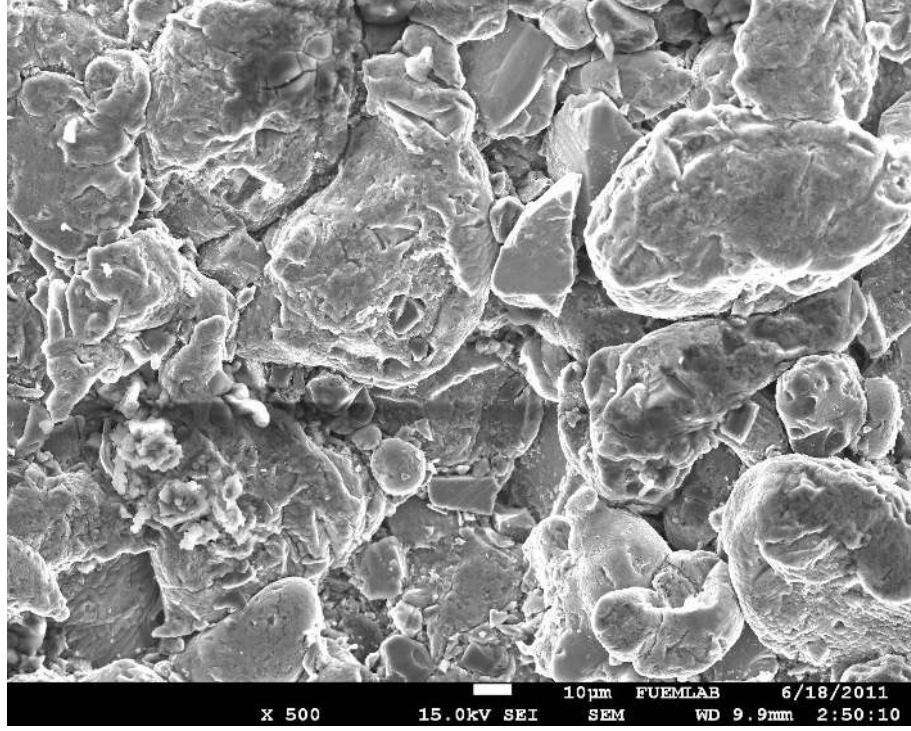


Şekil 6.11. N2 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo 6.5. N2 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
C	1.95	0.2374	9.06	0.64	16.60
O	14.55	0.9626	16.64	0.33	22.88
Al	79.94	1.2152	72.42	0.58	59.05
Si	1.11	0.6470	1.88	0.09	1.48
Totals			100.00		

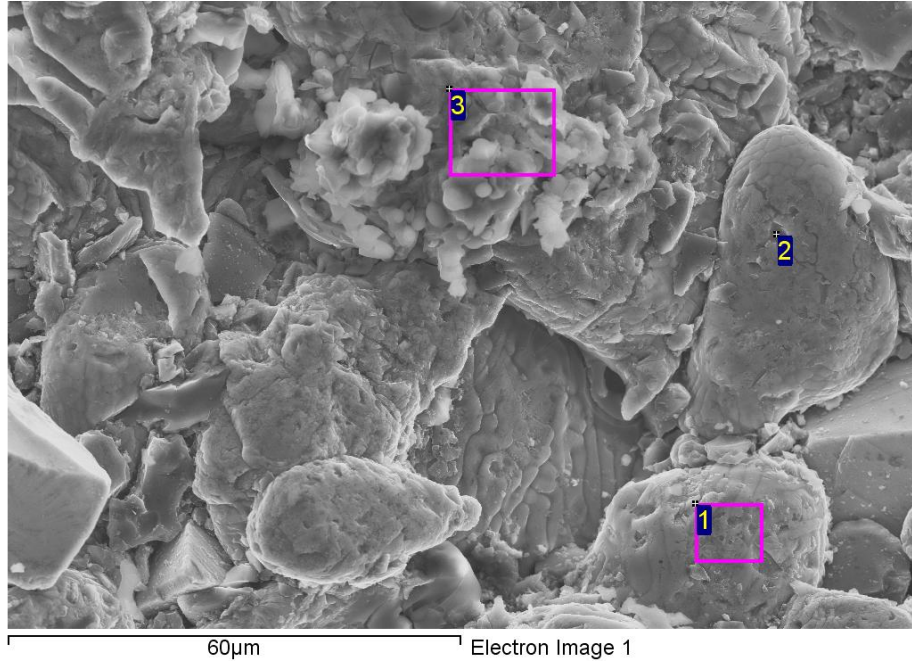
N3 numunesi %10 Bor karbür takviyeli olarak üretilmiştir. N3 numunesinin şekil 6.12’de verilen SEM fotoğrafları incelendiğinde; numunedeki matrisi oluşturan toz taneciklerinin sıcaklık etkisi ile yapısının bozulduğu ve taneciklerin birbirleriyle kaynaştığı görülmüştür. %10 takviye oranı içeren kompozitde elektron mikroskobu ile yapılan mikroyapı incelemeleri matrisle parçacık arasında çözünme oluşmadığını göstermiştir. B₄C takviye oranı %10 olan alüminyum matrisli kompozitin mikro yapı fotoğrafı incelendiğinde %5 takviye oranında olduğu gibi B₄C dağılımının homojen ve partikül boyutunun küresele yakın olduğu görülmüştür. Malzeme yüzeyi incelendiğinde gözeneklilik ve boşlukların bulunduğu; ancak sinterlemenin iyi ve oldukça homojen olarak gerçekleştiği görülmektedir



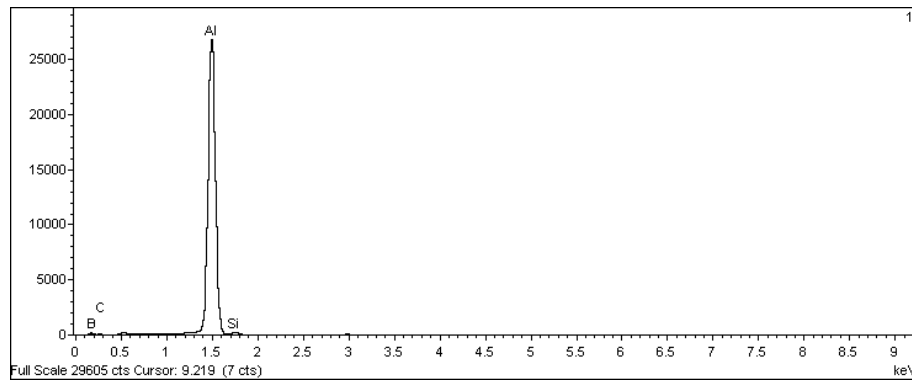
Şekil 6.12. N3 Numunesine ait SEM fotoğrafı. (a) X 500 ve (b) X 1000

N3 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı Şekil 8.12’ de verilmiştir. EDS analizleri numune üzerindeki üç farklı noktadan alınmış ve bu noktaların matris ve karbürlere denk gelmesi sağlanmıştır. N3 numunesine ait EDS analiz grafiği Şekil 6.13-6.16’ da ve sonuçları Tablo 6.6-6.8’de verilmiştir. Bu numune ait EDS analiz

sonuçları incelendiğinde; 1. Bölgede %43.32 B, %6.33C, %49.59Al, %0.76 Si, 2. bölgede, %23.77 B, %4.62 C, % 71.15 Al, %0.46 Si, 3. bölgede, %34.48 B, %5.98 C, %23.99 O, %35.04 Al, %0.51 Si, elementleri saptanmıştır. Matris ve takviye üzerinden farklı noktalardan alınan EDS analizlerine baktığımızda; yapı içerisinde bor, alüminyum, silisyum, karbon ve oksijen elementleri tespit edilmiştir. Saf bor karbür kristallerinin hafif parlaksı bir yapıda olduğu gözlemlenmiştir.



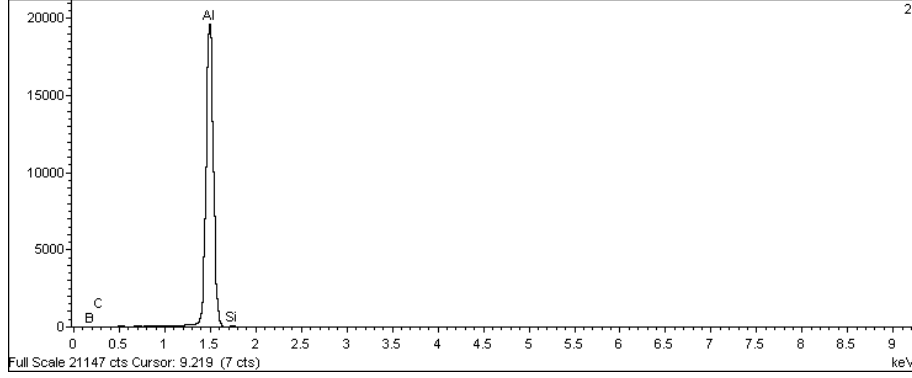
Şekil 6.13. N3 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı.



Şekil 6.14. N3 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo 6.6. N3numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları

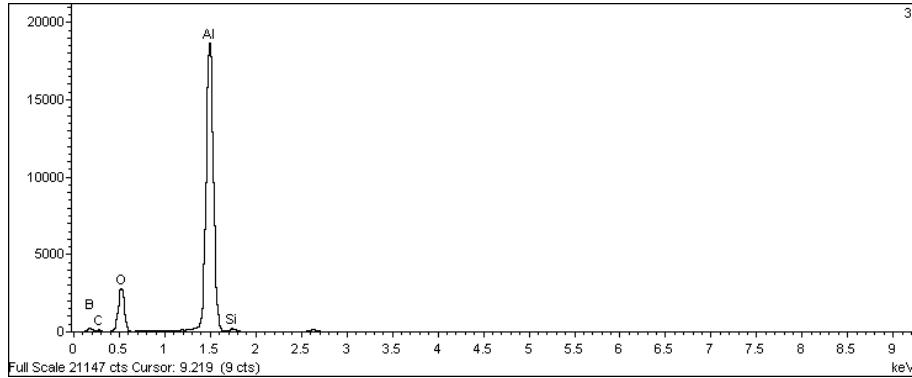
Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
B	4.74	0.0644	43.32	2.54	62.62
C	1.48	0.1378	6.33	0.80	8.24
Al	105.89	1.2562	49.59	2.24	28.72
Si	0.98	0.7603	0.76	0.06	0.42
Totals			100.00		



Şekil 6.15. N3 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo 6.7. N3numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
B	0.94	0.0472	23.77	6.17	41.99
C	0.62	0.1590	4.62	0.99	7.34
Al	77.68	1.2980	71.15	5.80	50.35
Si	0.26	0.6666	0.46	0.07	0.32
Totals			100.00		



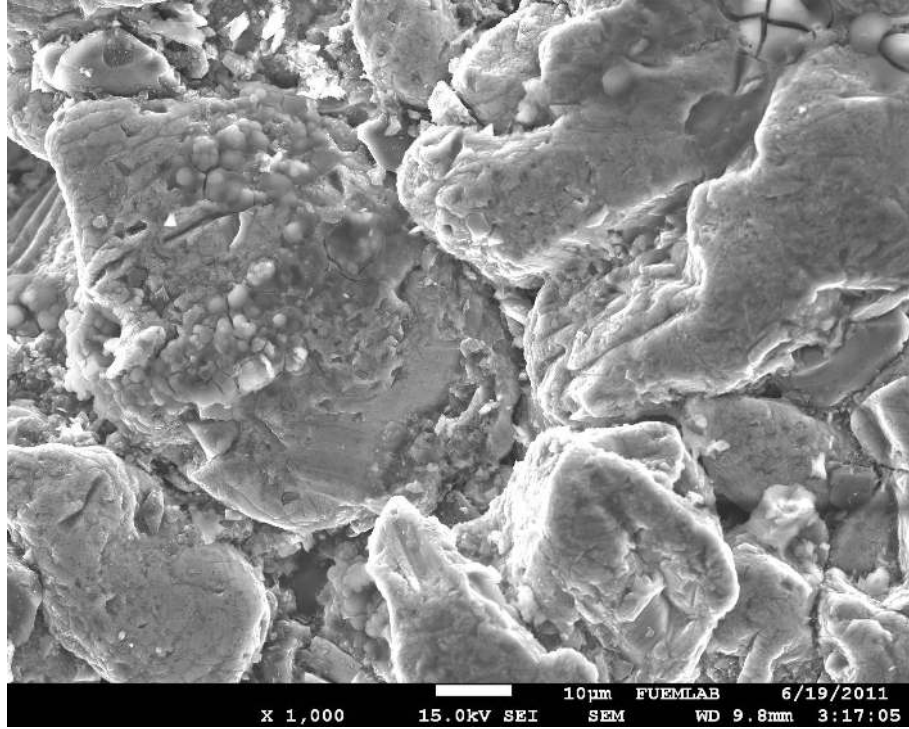
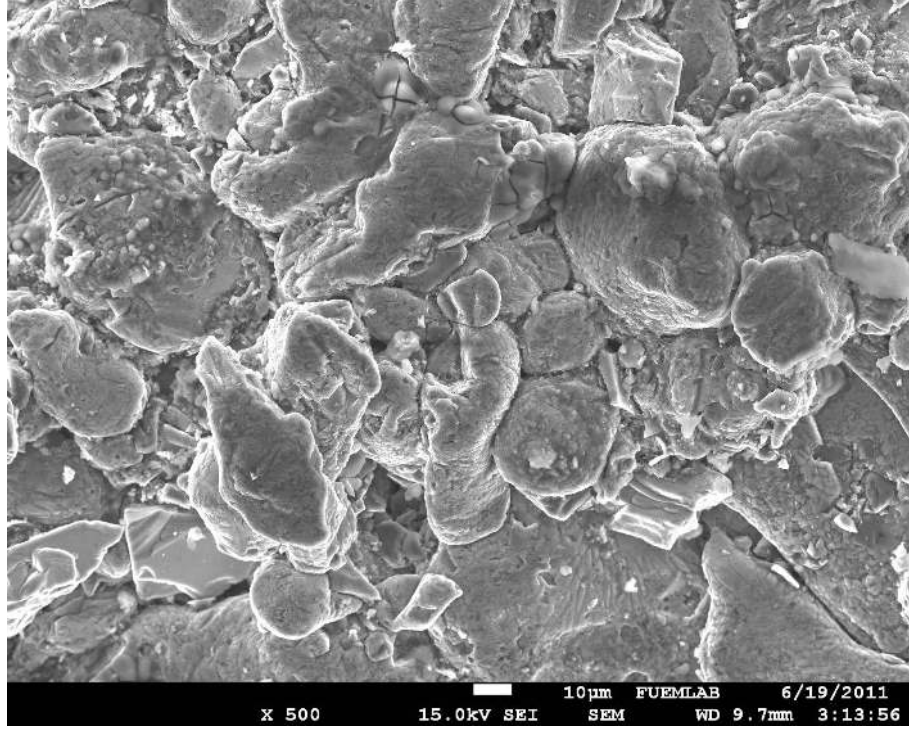
Şekil 6.16. N3 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo 6.8. N3numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
B	5.17	0.0803	34.48	2.23	49.04
C	1.98	0.1776	5.98	0.62	7.65
O	40.98	0.9144	23.99	0.86	23.06
Al	73.53	1.1235	35.04	1.22	19.97
Si	0.77	0.8050	0.51	0.04	0.28
Totals			100.00		

N4 numunesi %15 Bor karbür takviyeli olarak üretilmiştir. N4 numunesinin SEM fotoğrafı şekil 6.17’de verilmiştir. Numunedeki matrisi oluşturan toz taneciklerinin birbirleriyle kaynaştığı ve mikro yapı fotoğrafında %5 ve %10 B₄C takviye oranındaki gibi küreselliği koruyamadığı görülmektedir.

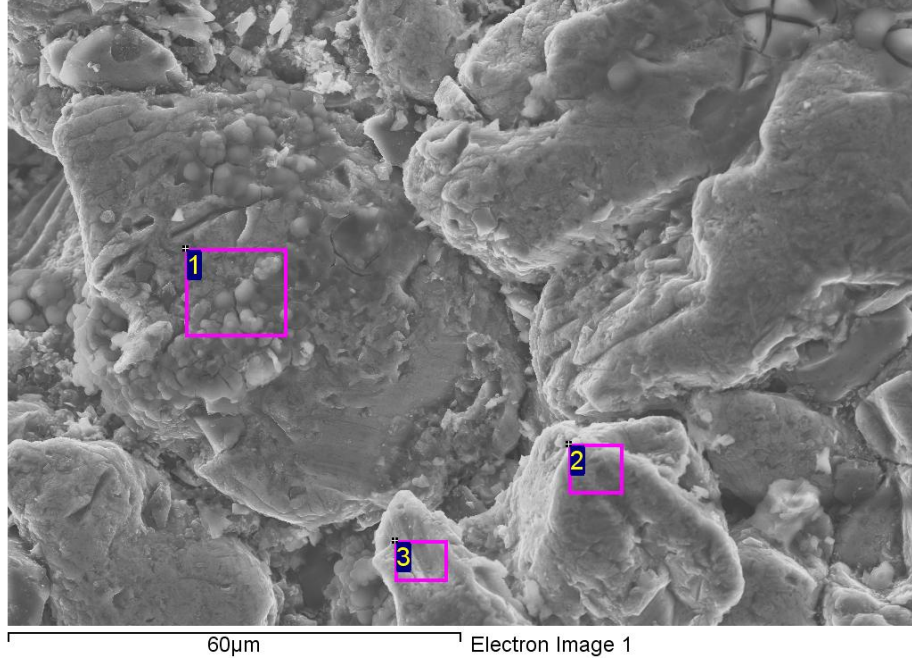
Numunelerde parçacıkların içyapıda homojen bir şekilde dağıldıkları görüldü, daha homojen bir yapının oluşması için mekanik alaşımlama yönteminin iyi sonuçlar vereceği düşünülmektedir. Malzeme yüzeyi incelendiğinde gözeneklilik ve boşlukların bulunduğu , B₄C parçacıklarının genellikle tane sınırlarında toplandığı gözlenmiştir. Malzeme yüzeyi incelendiğinde gözeneklilik ve boşlukların parçacık oranına göre arttığı söylenebilir ancak sinterleme işlemi başarılı olarak gerçekleşmiş, matrisi oluşturan tanelerin kaynaştığı görülmektedir.



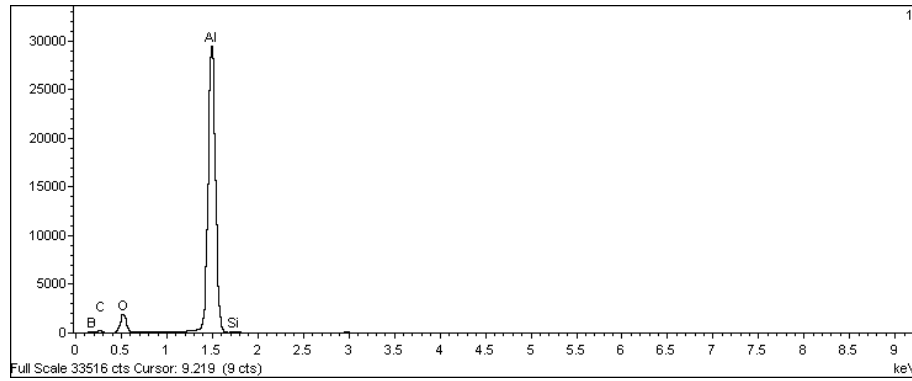
Şekil 6.17. N4 Numunesine ait SEM fotoğrafı. (a) X 500 ve (b) X 1000

N4 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı Şekil 8.12’ de verilmiştir. EDS analizleri numune üzerindeki üç farklı noktadan alınmış ve bu noktaların matris ve karbürlere denk gelmesi sağlanmıştır. N4 numunesine ait EDS analiz grafiği Şekil 6.19-6.21’ de ve sonuçları Tablo 6.9-6.11’de verilmiştir. Bu numune ait EDS analiz

sonuçları incelendiğinde; 1. Bölgede %29.17 B, %10.16 C, %14.93 O %45.46 Al, %0.29 Si, 2. bölgede, %40.61 B, %10.62 C, % 4.91 O, % 43.61 Al, %0.24 Si, 3. bölgede, %52.24 B, %16.70 C, %7.21 O, %23.52 Al, %0.34 Si, elementleri saptanmıştır.



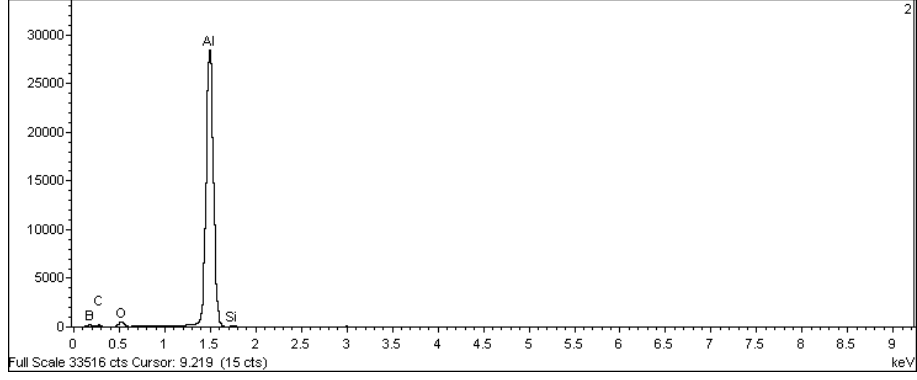
Şekil 6.18. N4 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı.



Şekil 6.19. N4 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo 6.9. N4numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları

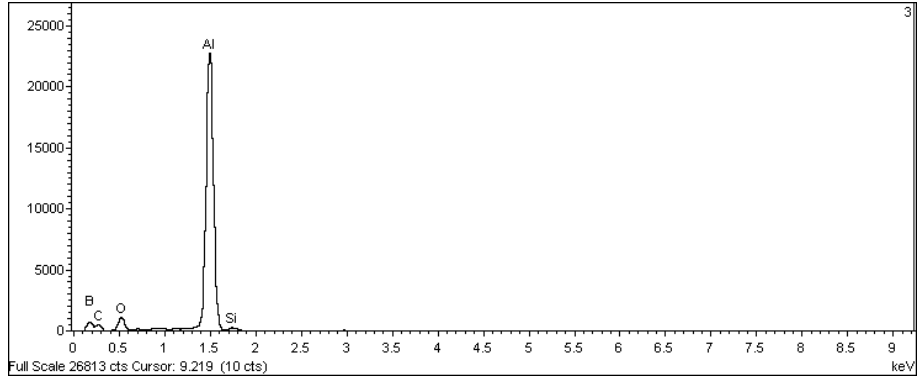
Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
B	4.47	0.0670	29.17	2.59	43.71
C	4.17	0.1797	10.16	0.70	13.70
O	28.57	0.8370	14.93	0.59	15.12
Al	121.92	1.1730	45.46	1.69	27.30
Si	0.50	0.7600	0.29	0.03	0.16
Totals			100.00		



Şekil 6.20. N4 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo 6.10. N4numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
B	6.47	0.0718	40.61	2.18	57.15
C	3.55	0.1508	10.62	0.77	13.46
O	8.05	0.7386	4.91	0.25	4.67
Al	117.36	1.2138	43.61	1.62	24.59
Si	0.42	0.7817	0.24	0.03	0.13
Totals			100.00		



Şekil 6.21. N4 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

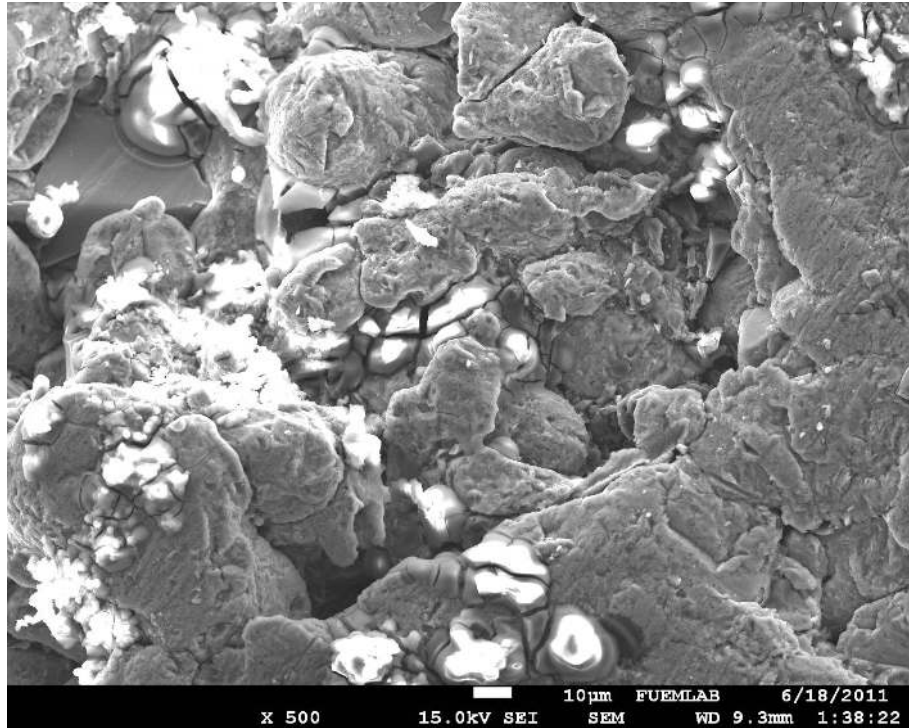
Tablo 6.11. N4numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları

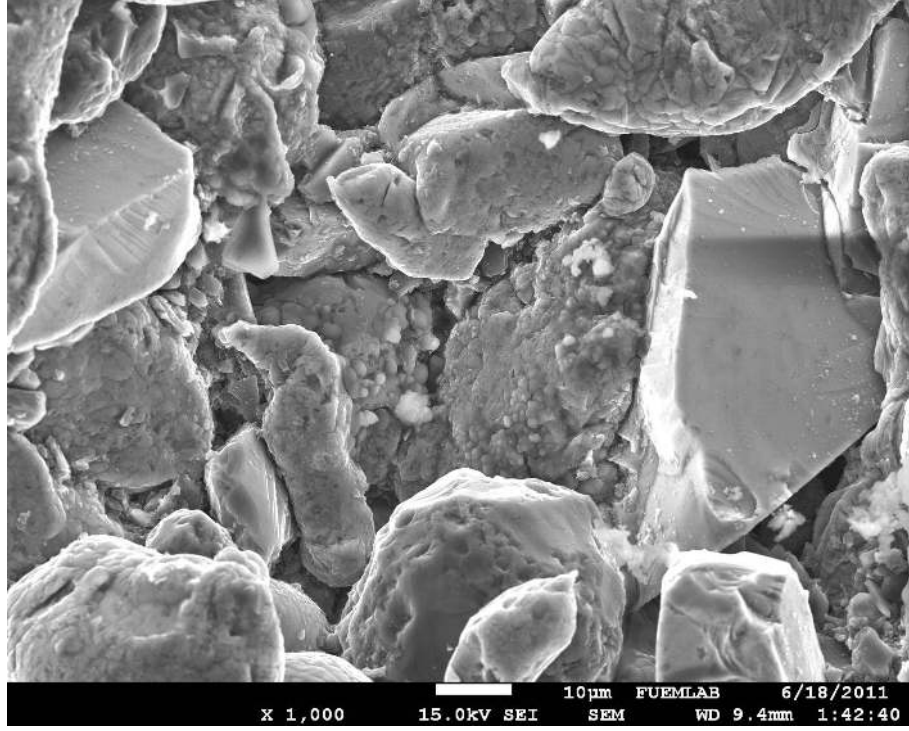
Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
B	22.08	0.1223	52.24	1.09	63.94
C	8.42	0.1459	16.70	0.70	18.40
O	16.70	0.6703	7.21	0.22	5.96
Al	94.03	1.1569	23.52	0.54	11.53
Si	1.06	0.8957	0.34	0.02	0.16
Totals			100.00		

N5 numunesi %20 Bor karbür takviyeli olarak üretilmiştir. N5 numunesinin şekil 6.22'de verilen SEM fotoğrafları incelendiğinde; numunedeki matrisi oluşturan toz taneciklerinin sıcaklık etkisi ile yapısının bozulduğu ve taneciklerin birbirleriyle kaynaştığı görülmüştür

Matris içerisindeki B_4C oranı arttıkça, parçacıklarının daha fazla topaklanmalarının olduğu söylenebilir. Takviye elemanı boyutunun azalmasıyla parçacık topaklanmalarının oluşması sonucu, porozite oranının artması doğaldır. Çünkü topaklanmalar sonucu, matris malzemesi ile B_4C parçacıklarını arasında yeterli yüzey bağı oluşamamış ve bu bölümlerde poroziteler oluşmuştur. Takviye oranının artması ve Takviye parçacık boyutunun küçük olması sonucu porozite değerleri artış göstermiştir. Bu mikroyapı resimlerinde de görülmektedir

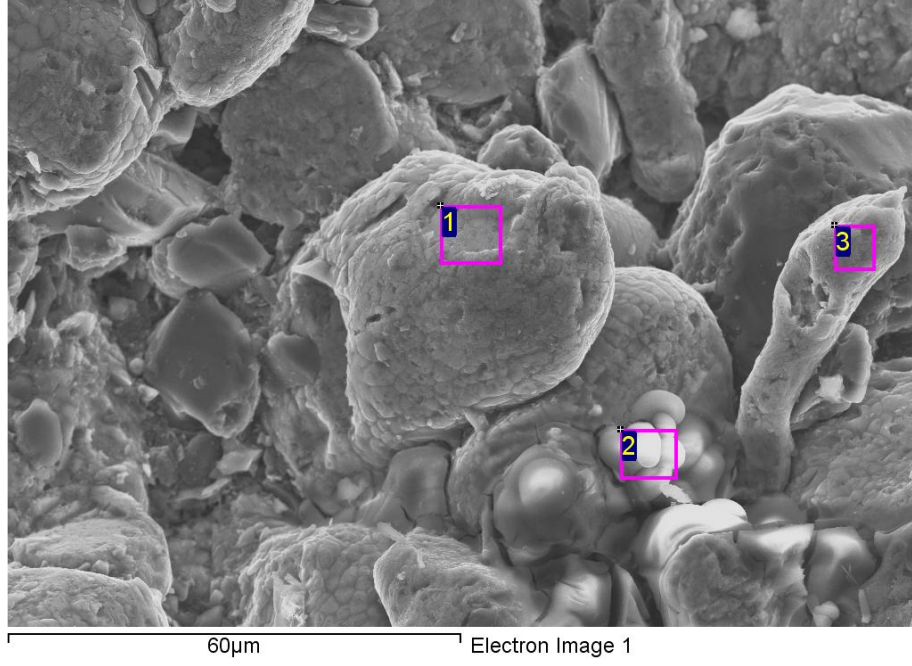
B_4C takviye oranı %20 olan alüminyum matrisli kompozitin mikro yapı fotoğrafından takviye oranının daha fazla olması sebebiyle partiküllerin küreselliklerini tam olarak koruyamadıkları anlaşılmaktadır. Parçacık oranından en fazla etkilenen özellik kopma uzamasıdır. Çünkü; parçacık-matris ve parçacık-parçacık ara yüzeyleri çentik etkisi yaparak sünekliği azaltmaktadır. Aynı durum benzer şartlarda araştırma yapan araştırmacılar tarafından da gözlenmiştir. Malzeme yüzeyi incelendiğinde gözeneklilik ve boşlukların bulunduğu; ancak sinterlemenin iyi ve oldukça homojen olarak gerçekleştiği görülmektedir. Bu gözeneklerin uygulanan presleme basıncının yetersizliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



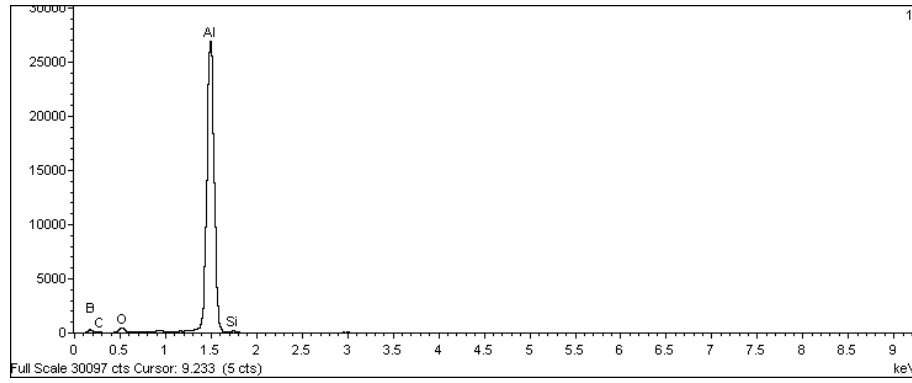


Şekil 6.22. N5 Numunesine ait SEM fotoğrafı. (a) X 500 ve (b) X 1000

N5 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı Şekil 8.12’ de verilmiştir. EDS analizleri numune üzerindeki üç farklı noktadan alınmış ve bu noktaların matris ve karbürlere denk gelmesi sağlanmıştır. N5 numunesine ait EDS analiz grafiği Şekil 6.23-6.26’ da ve sonuçları Tablo 6.12-6.14’de verilmiştir. Bu numune ait EDS analiz sonuçları incelendiğinde; 1. Bölgede %46.55 B, %8.64 C, %3.92 O %40.54 Al, %0.35 Si, 2. bölgede, %30.44 B, %5.00 C, % 26.69 O, % 29.64 Al, %8.24 Si, 3. bölgede, %60.80 B, %8.83 C, %2.59 O, %26.00 Al, %1.79 Si, elementleri saptanmıştır.



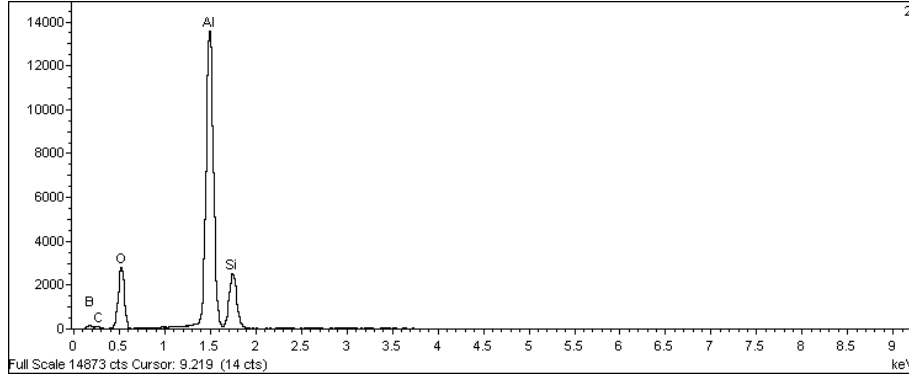
Şekil 6.23. N5 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı.



Şekil 6.24. N5 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo 6.12. N5numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları

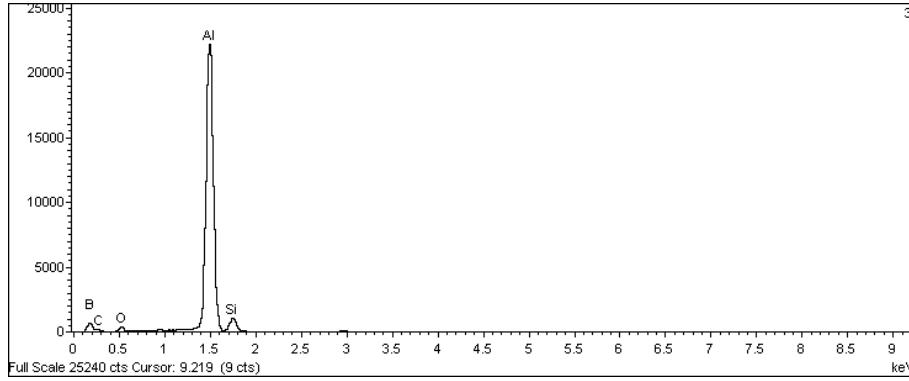
Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
B	7.67	0.0768	46.55	1.98	63.46
C	2.60	0.1403	8.64	0.79	10.60
O	6.13	0.7282	3.92	0.22	3.61
Al	105.79	1.2162	40.54	1.51	22.14
Si	0.60	0.8008	0.35	0.04	0.18
Totals			100.00		



Şekil 6.25. N5 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo 6.13. N5numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
B	3.63	0.0741	30.44	2.72	44.75
C	1.47	0.1822	5.00	0.63	6.61
O	40.27	0.9372	26.69	1.08	26.51
Al	53.26	1.1161	29.64	1.18	17.46
Si	11.17	0.8418	8.24	0.34	4.66
Totals			100.00		



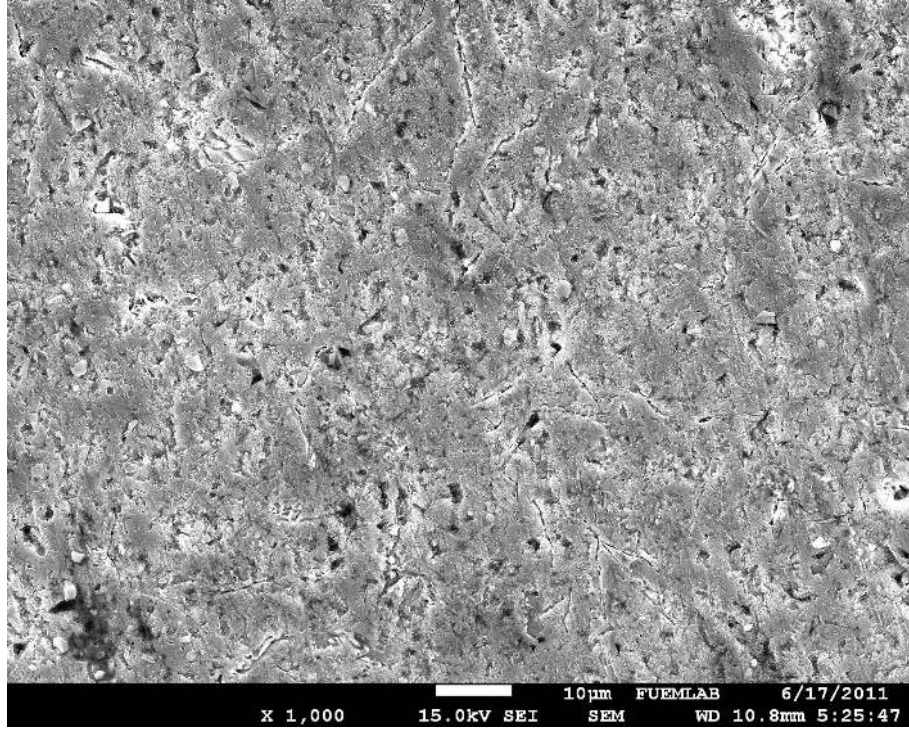
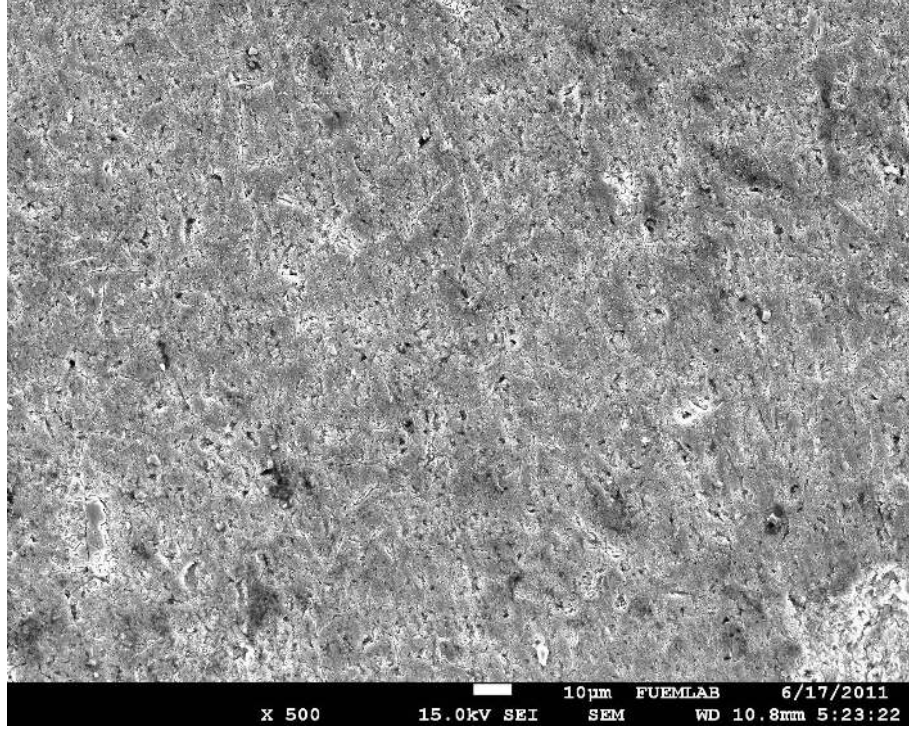
Şekil 6.26. N5 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo 6.14. N5numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
B	18.85	0.1098	60.80	1.06	74.51
C	3.09	0.1241	8.83	0.68	9.74
O	4.91	0.6722	2.59	0.13	2.14
Al	87.85	1.1973	26.00	0.67	12.76
Si	4.51	0.8942	1.79	0.06	0.84
Totals			100.00		

N6 numunesi yarı katı şekillendirilmiş karbür takviyeli numunelere referans numune olarak kabul edilebilir. N6 numunesinin şekil 6.27'de verilen SEM fotoğrafları incelendiğinde; yapı içerisindeki taneciklerinin sıcaklık ve basıncın etkisi ile birbirleriyle kaynaşıp çözündüğü açıkça görülmektedir. Fakat malzeme yüzeyinde yer yer mikro

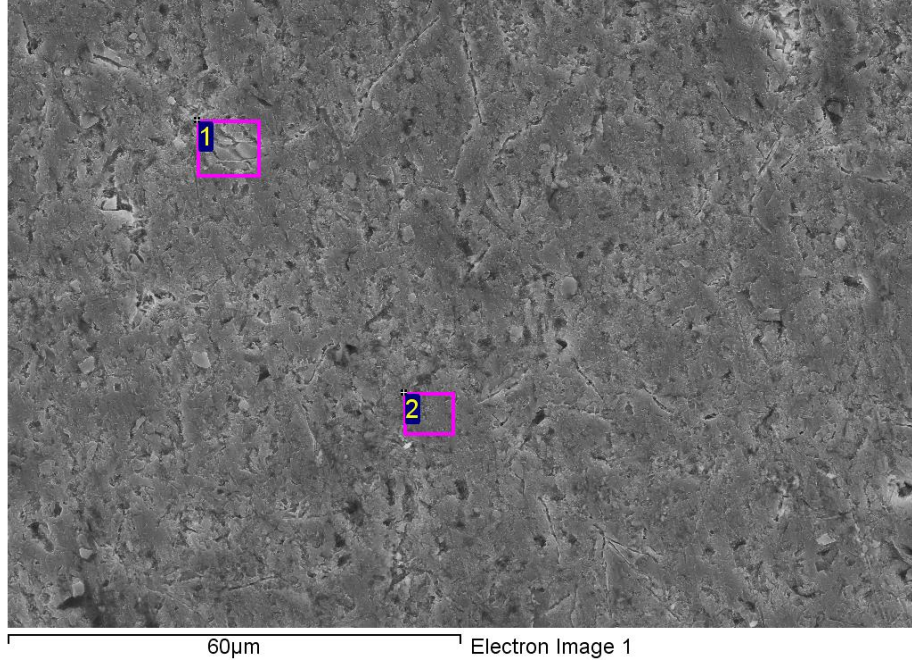
gözenekler tespit edilmiştir. N1 numunesi ile kıyaslayacak olursak yarı katı şekillendirme yöntemi tanelerin birbirleri ile tamamen birleşmesini sağladığından mikro gözenek minimuma inmiştir. Bu durum SEM fotoğraflarından da anlaşılacağı gibi malzemenin yapısında küresellik oranının düşük olduğunu göstermektedir. Taneciklerin birbirleriyle birleşerek minimum gözenekli bir yapı oluşturması, elde edilen kompozit numunenin mukavemetini de olumlu yönde geliştirmektedir.



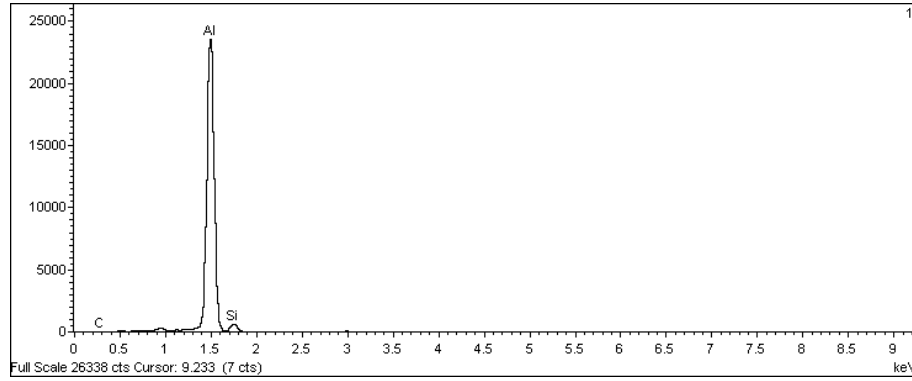
Şekil 6.27. N6 Numunesine ait SEM fotoğrafı. (a) X 500 ve (b) X 1000

N6 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı Şekil 6.28’ de verilmiştir. EDS analizleri numune üzerindeki iki farklı noktadan alınmış ve bu noktaların matris ve karbürlere denk gelmesi sağlanmıştır. N6 numunesine ait EDS analiz grafiği Şekil 6.29-6.30’ da ve sonuçları Tablo 6.15-6.16’da verilmiştir. Bu numune ait EDS analiz sonuçları

incelendiğinde; 1. bölgede %7.79 C, %86.60 Al, %5.62 Si, 2. bölgede, %5.09 C,% 9.80 O, %74.48Al, %10.62 Si, elementleri saptanmıştır.



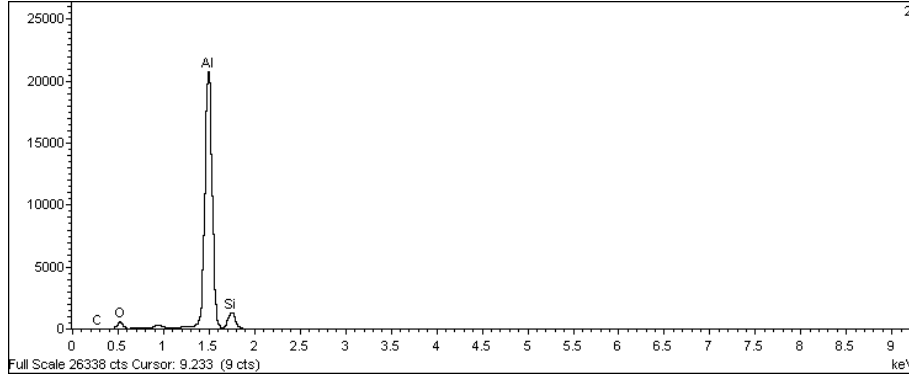
Şekil 6.28. N6 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı.



Şekil 6.29. N6 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo 6.15. N6 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
C	1.48	0.1967	7.79	0.69	15.98
Al	110.93	1.3253	86.60	0.66	79.09
Si	3.35	0.6163	5.62	0.15	4.93
Totals			100.00		



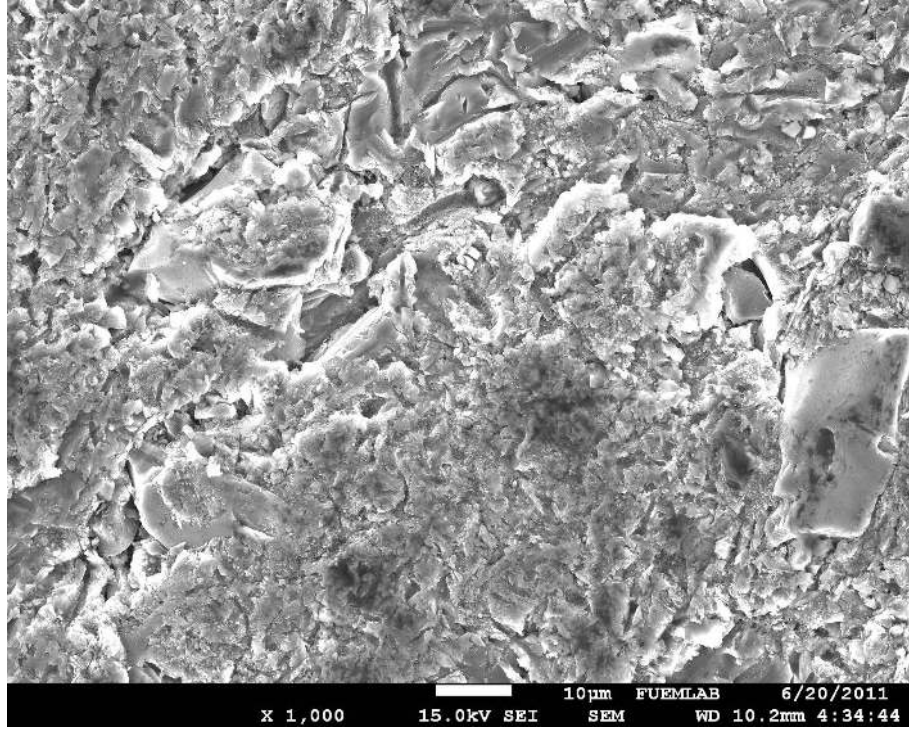
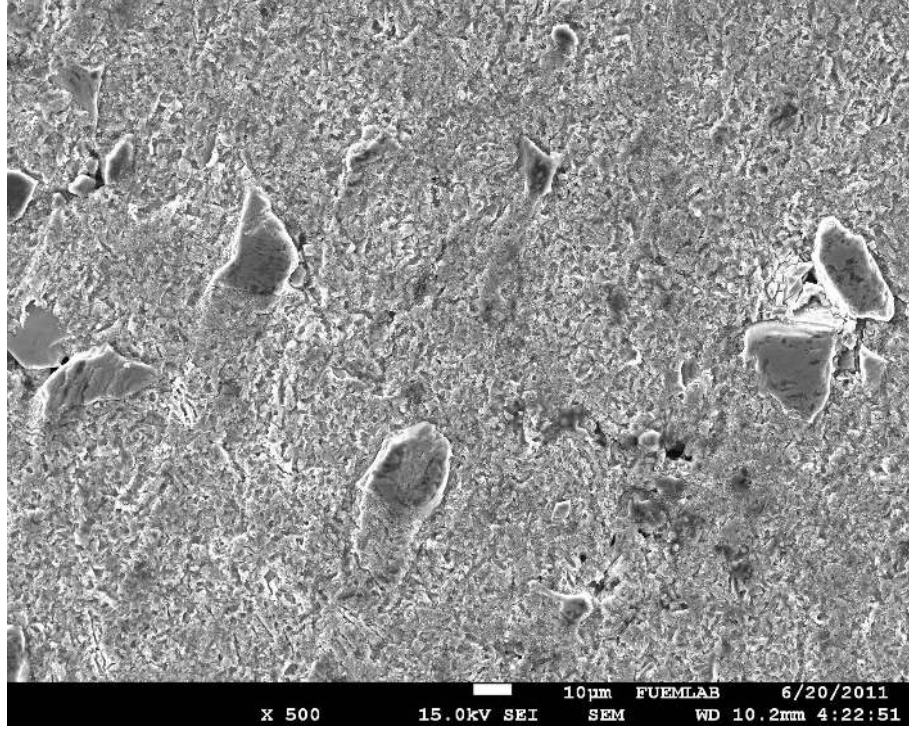
Şekil 6.30. N6 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo 6.16. N6 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
C	1.08	0.2054	5.09	0.60	10.15
O	9.32	0.9235	9.80	0.31	14.68
Al	97.15	1.2673	74.48	0.56	66.11
Si	7.16	0.6552	10.62	0.19	9.06
Totals			100.00		

N7 numunesi %5 bor karbür takviyeli olarak üretilmiş ve yarı katı şekillendirilmiştir. N7 numunesinin SEM fotoğrafı şekil 6.31'de verilmiştir. Üretilen numuneye ait SEM fotoğraflarında parçacıkların içyapıda homojen bir şekilde dağıldıkları görüldü. Malzeme yüzeyinde yer yer mikro gözenekler tespit edilmiştir fakat N2 numunesi ile kıyaslayacak olursak yarı katı şekillendirme yöntemi tanelerin birbirleri ile tamamen birleşmesini sağladığından mikro gözeneklerin minimum seviyede olduğu ve bor karbür parçacıklarının matrise daha iyi tutunduğu söylenebilir. Mikroyapıda gözlemlenen mikro gözeneklerin kalıp içi atmosferden, yarı-katı durumda mevcut yapı içindeki gaz ve faz dönüşümünden kaynaklandığı düşünülebilir. Alüminyum alaşımlarının sıvı durumda sıcaklığa bağlı olarak gaz emmesi ve eritilebilmesi oldukça yüksektir. Numunelerin, kısa sürede yarı-katı sıcaklığa ısıtılması ve yarı-katı malzemenin kısa sürede preslenmesi boşlukların giderilmesinde önemlidir. %5 takviye oranı içeren ve yarı katı şekillendirilen kompozitde elektron mikroskobu ile yapılan mikroyapı incelemeleri matrisle parçacık arasında çözünme oluşmadığını göstermiştir. Fakat yarı katı şekillendirme işleminin matris ve parçacık arasındaki bağlantıyı kuvvetlendirdiği düşünülmektedir.

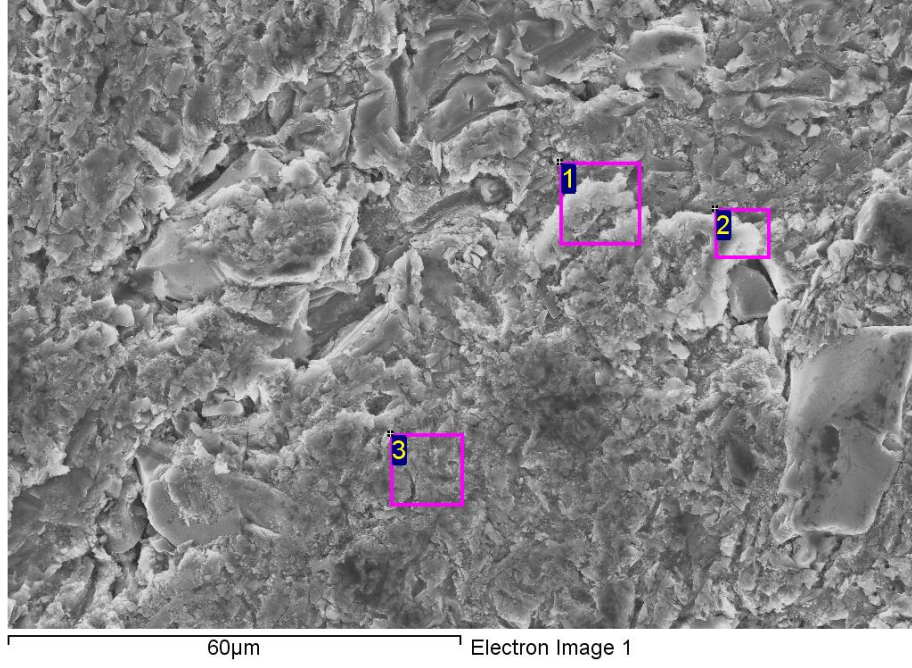
Numunedeki matrisi oluşturan taneciklerin sıcaklık ve basıncın etkisi ile yapısının bozulduğu ve taneciklerin birbirleriyle kaynaştığı görülmüştür. Yarı-katı sıcaklıkla şekil faktörünün değişmesi, artan sıvı faz oranı ile açıklanabilir. Artan yarı-katı sıcaklıkla sıvı faz oranı artmakta bunun sonucunda tanelerin şekil faktörü de değişmektedir



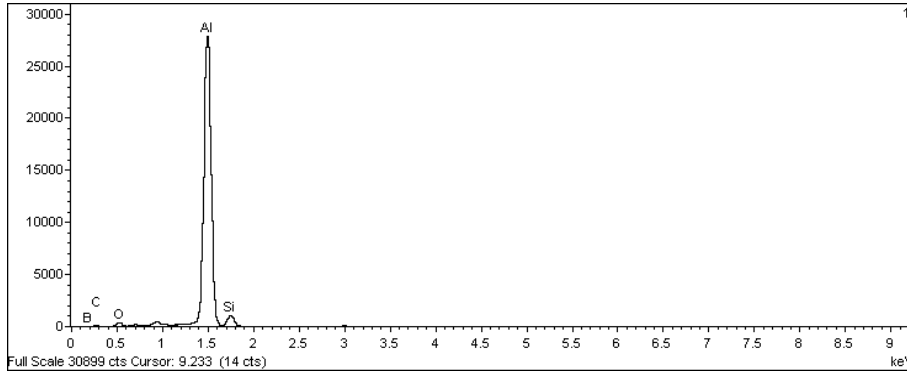
Şekil 6.31. N7 Numunesine ait SEM fotoğrafı. (a) X 500 ve (b) X 1000

N7 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı Şekil 6.32’ de verilmiştir. EDS analizleri numune üzerindeki üç farklı noktadan alınmış ve bu noktaların matris ve karbürlere denk gelmesi sağlanmıştır. N7 numunesine ait EDS analiz grafiği Şekil 6.33-6.35’ de ve sonuçları Tablo 6.17-6.19’da verilmiştir. Bu numune ait EDS analiz

sonuçları incelendiğinde; 1. Bölgede %3.10 B, %8.78 C, %5.39 O %76.40 Al, %6.32 Si, 2. bölgede, %12.79 B, %6.02 C, % 5.97 O, % 70.19 Al, %5.03 Si, 3. bölgede, , %7.69 C, %11.74 O, %71.62 Al, %8.95 Si, elementleri saptanmıştır.



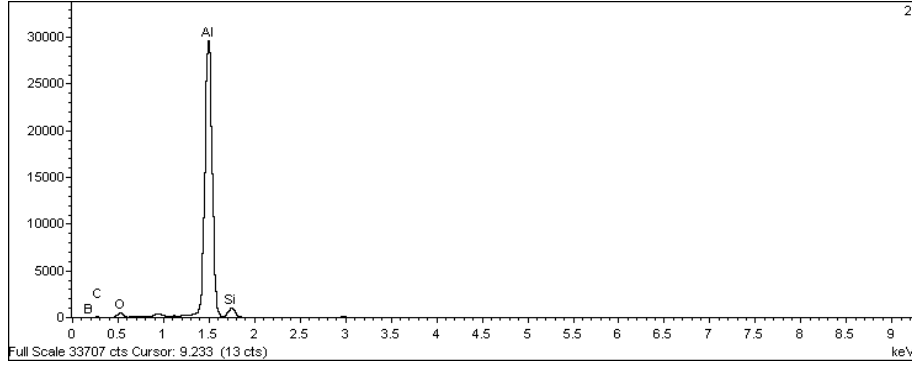
Şekil 6.32. N7 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı.



Şekil 6.33. N7 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo 6.17. N7 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları

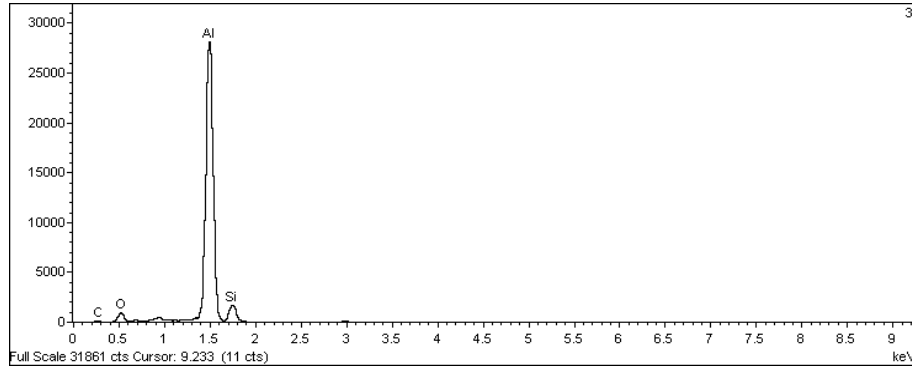
Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
B	0.15	0.0413	3.10	7.57	6.51
C	2.08	0.2022	8.78	1.02	16.57
O	5.44	0.8642	5.39	0.48	7.63
Al	114.30	1.2801	76.40	6.01	64.18
Si	4.78	0.6468	6.32	0.51	5.10
Totals			100.00		



Şekil 6.34. N7 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo 6.18. N7 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
B	0.77	0.0446	12.79	5.67	24.45
C	1.49	0.1824	6.02	0.81	10.35
O	6.98	0.8609	5.97	0.45	7.72
Al	121.02	1.2700	70.19	4.60	53.78
Si	4.57	0.6689	5.03	0.35	3.70
Totals			100.00		



Şekil 6.35. N7 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

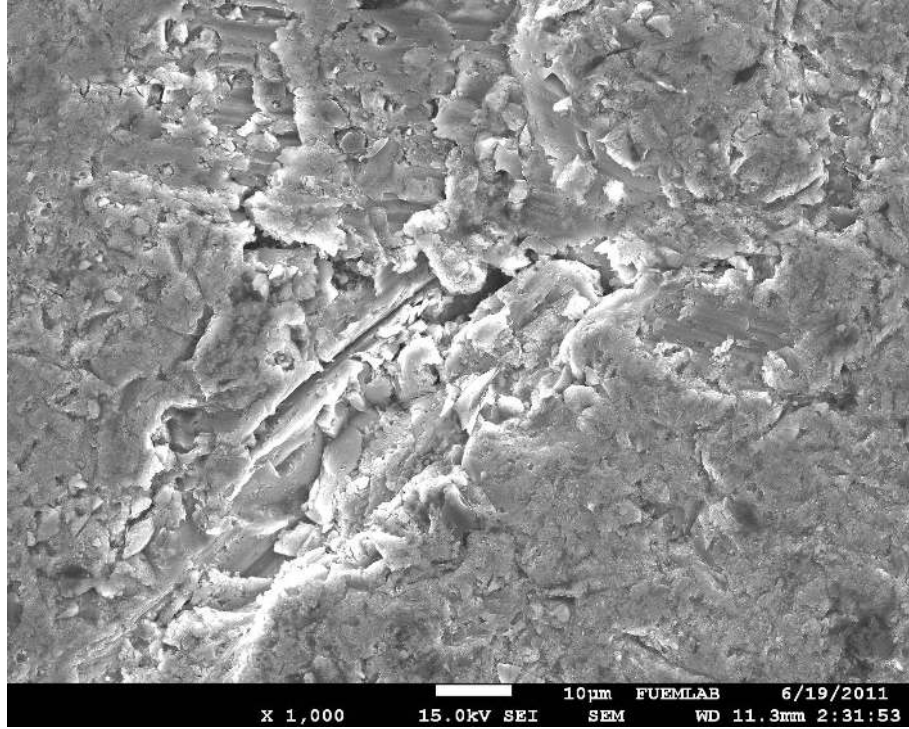
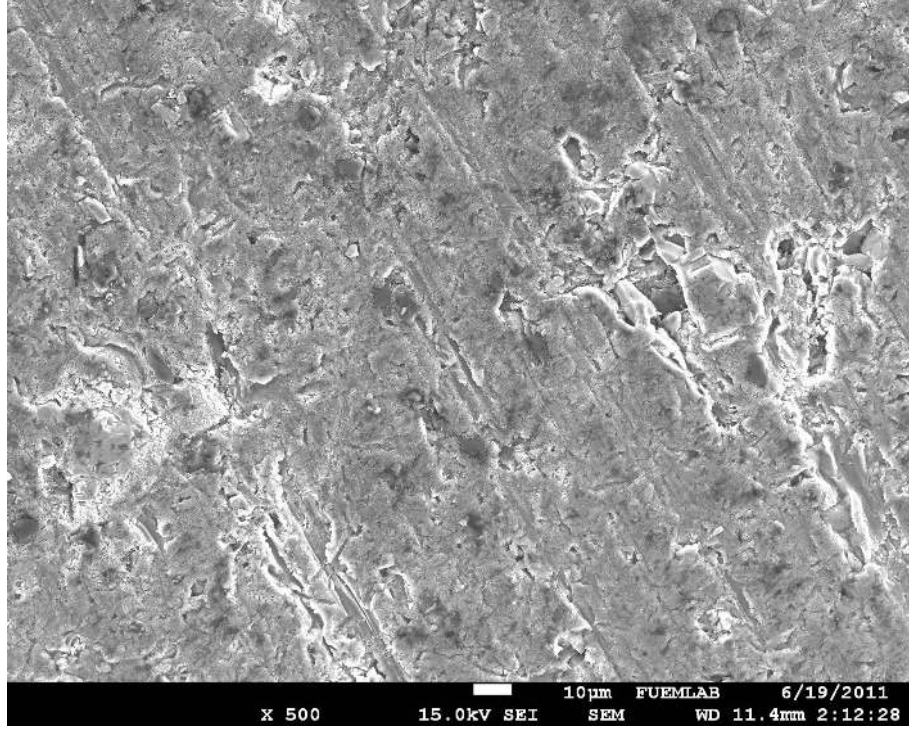
Tablo 6.19. N7 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
C	2.15	0.2163	7.69	0.58	14.73
O	13.92	0.9189	11.74	0.28	16.88
Al	115.27	1.2469	71.62	0.52	61.06
Si	7.64	0.6615	8.95	0.15	7.33
Totals			100.00		

N8 numunesi %10 Bor karbür takviyeli olarak üretilmiş ve yarı katı şekillendirilmiştir. N8 numunesinin şekil 6.36'da verilen SEM fotoğrafları incelendiğinde; parçacıkların içyapıda homojen bir şekilde dağıldıkları görüldü. Malzeme yüzeyinde yer yer mikro gözenekler tespit edilmiştir fakat N3 numunesi ile kıyaslayacak olursak yarı katı şekillendirme yöntemi tanelerin birbirleri ile tamamen birleşmesini sağladığından mikro

gözeneklerin minimum seviyede olduğu ve bor karbür parçacıklarının matrise daha iyi tutunduğu söylenebilir.

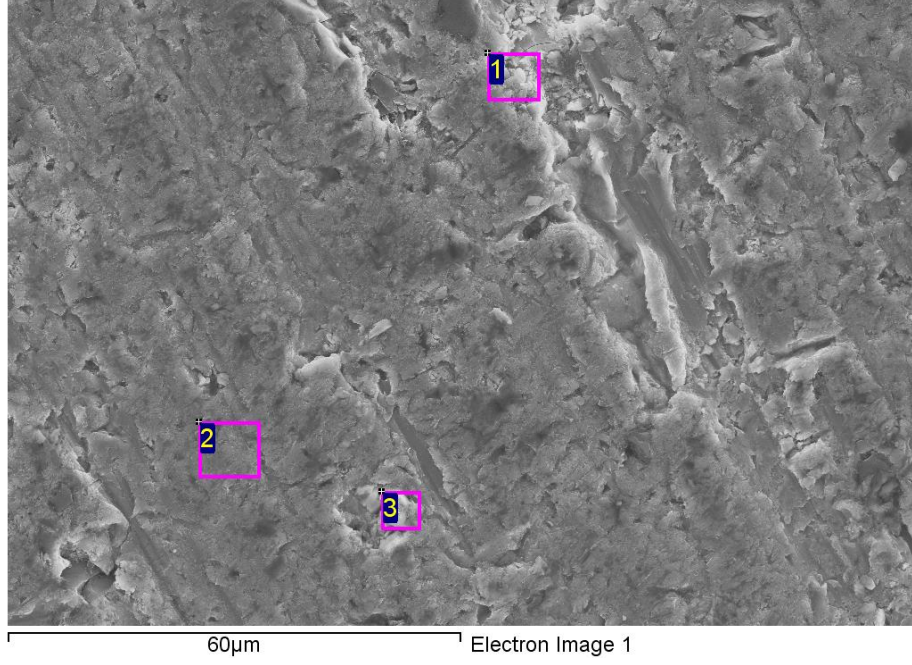
%10 takviye oranı içeren ve yarı katı şekillendirilen kompozitte elektron mikroskobu ile yapılan mikroyapı incelemeleri matrisle parçacık arasında tam bir çözünme oluşmadığını göstermiştir. Fakat yarı katı şekillendirme işleminin matris ve parçacık arasındaki bağlantıyı kuvvetlendirdiği düşünülmektedir. Numunedeki matrissi oluşturan taneciklerin sıcaklık ve basıncın etkisi ile yapısının bozulduğu ve taneciklerin birbirleriyle kaynaştığı görülmüştür.



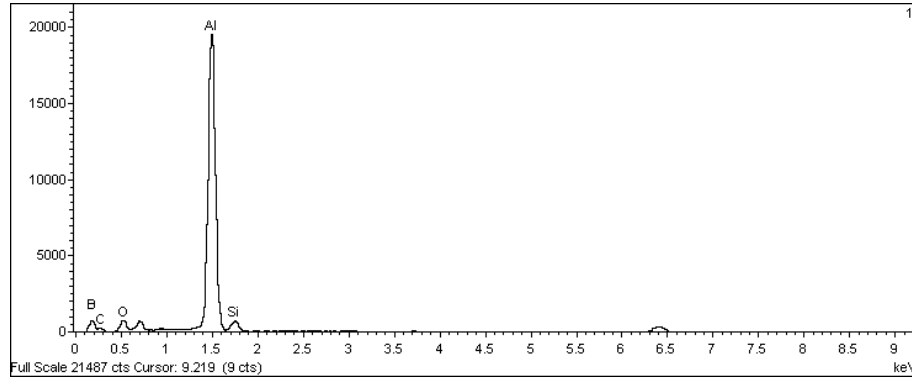
Şekil 6.36. N8 Numunesine ait SEM fotoğrafı. (a) X 500 ve (b) X 1000

N8 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı Şekil 6.37’ de verilmiştir. EDS analizleri numune üzerindeki üç farklı noktadan alınmış ve bu noktaların matris ve karbürlere denk gelmesi sağlanmıştır. N8 numunesine ait EDS analiz grafiği Şekil 6.38-6.40’ da ve sonuçları Tablo 6.20-6.22’ verilmiştir. Bu numune ait EDS analiz

sonuçları incelendiğinde; 1. Bölgede %58.90 B, %11.37 C, %5.46 O % 23.15 Al, %1.13 Si, 2. bölgede, %7.54 C, % 4.30 O, % 80.91 Al, %7.25 Si, 3. bölgede, , %4.75 C, %4.99 O, %88.37 Al, %1.89 Si, elementleri saptanmıştır.



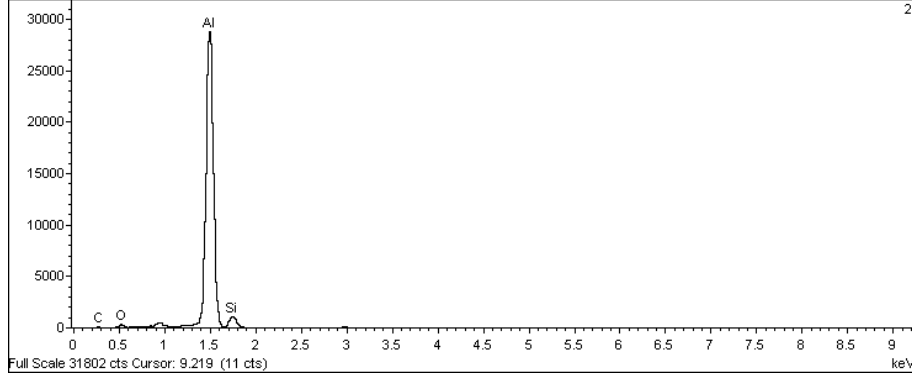
Şekil 6.37. N8 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı.



Şekil 6.38. N8 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo 6.20. N8 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları

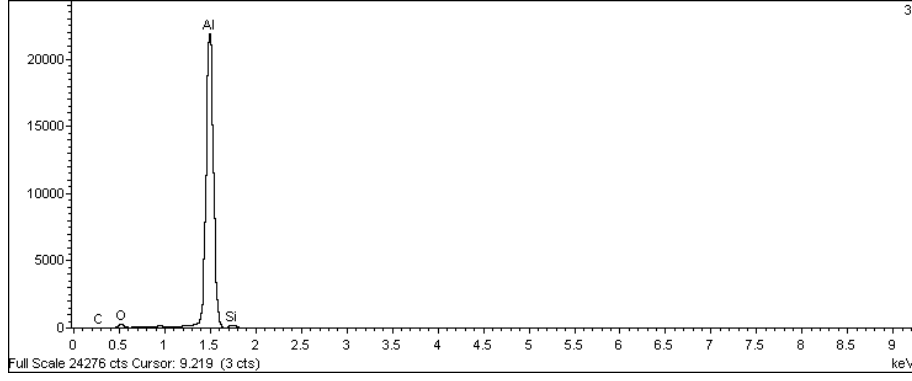
Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
B	21.24	0.1221	58.90	1.05	71.37
C	4.39	0.1307	11.37	0.71	12.40
O	10.89	0.6752	5.46	0.21	4.47
Al	80.22	1.1736	23.15	0.57	11.24
Si	3.02	0.9062	1.13	0.04	0.53
Totals			100.00		



Şekil 6.39. N8 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo 6.21. N8 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
C	1.73	0.2027	7.54	0.63	15.11
O	4.27	0.8754	4.30	0.22	6.47
Al	119.03	1.2964	80.91	0.59	72.20
Si	5.21	0.6333	7.25	0.15	6.22
Totals			100.00		



Şekil 6.40. N8 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

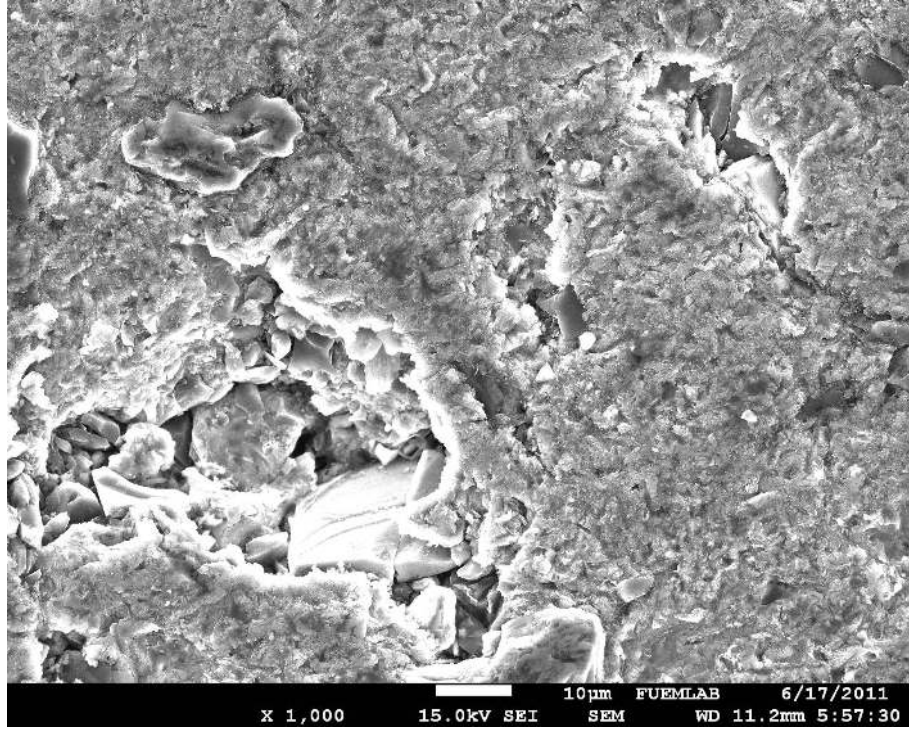
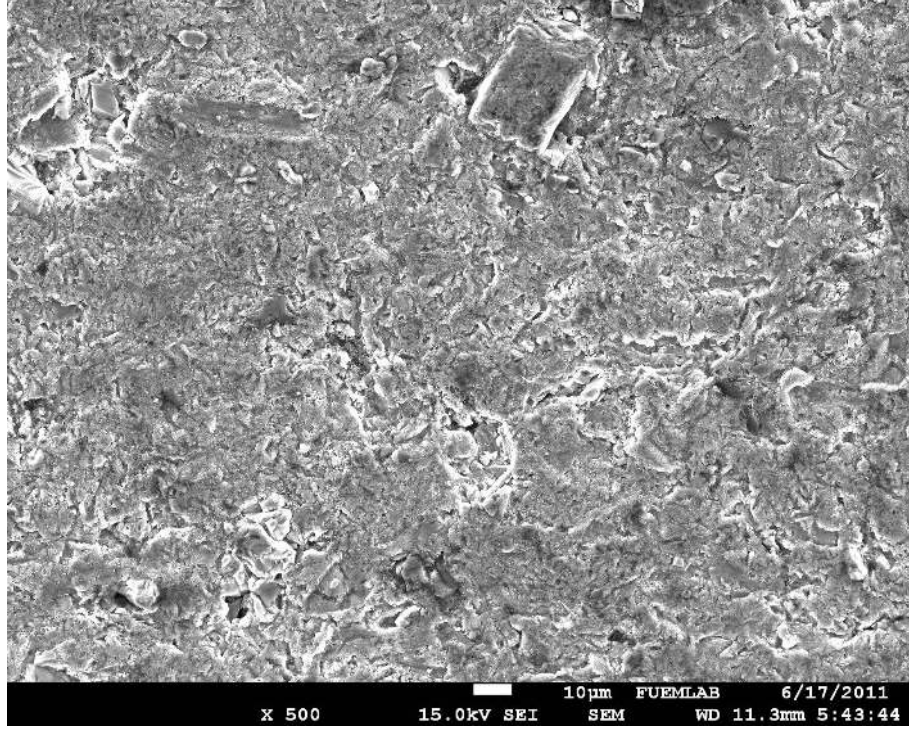
Tablo 6.22. N8 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
C	0.76	0.2019	4.75	0.69	9.76
O	3.61	0.9176	4.99	0.28	7.70
Al	90.91	1.3045	88.37	0.70	80.88
Si	0.90	0.6043	1.89	0.11	1.66
Totals			100.00		

N9 numunesi %15 Bor karbür takviyeli olarak üretilmiş ve yarı katı şekillendirilmiştir. N9 numunesinin şekil 6.41'de verilen SEM fotoğrafları incelendiğinde; parçacıkların içyapıda homojen bir şekilde dağıldıkları görüldü. Malzeme yüzeyinde yer yer mikro gözenekler tespit edilmiştir fakat N4 numunesi ile kıyaslayacak olursak yarı katı şekillendirme yöntemi tanelerin birbirleri ile tamamen birleşmesini sağladığından mikro

gözeneklerin minimum seviyede olduğu ve bor karbür parçacıklarının matrise daha iyi tutunduğu söylenebilir.

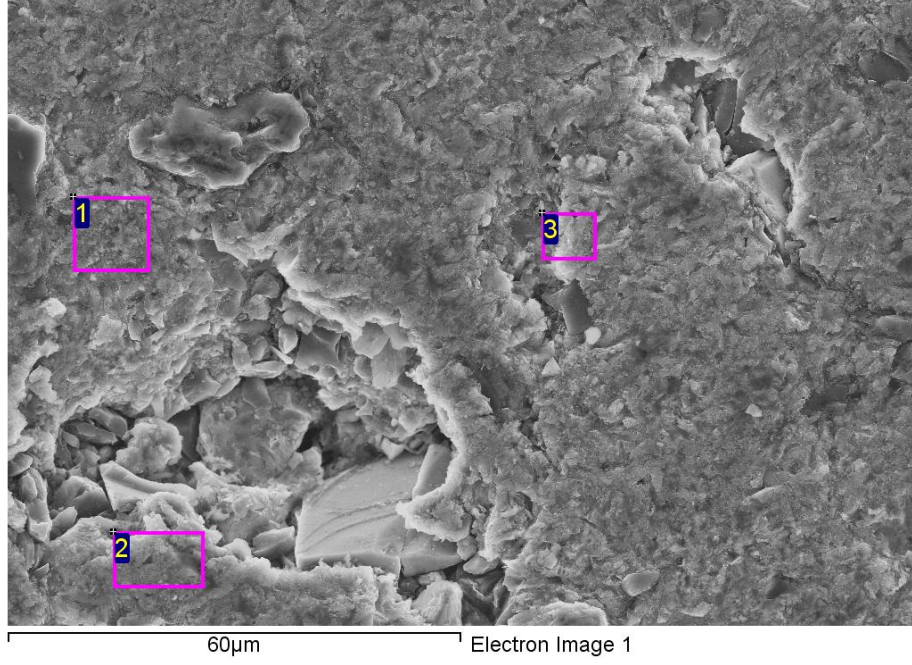
Matris mikroyapısının esası Al-Si'dan oluşan ve ağırlıkça %15 B₄C konsantrasyonuna sahip olan bu numunede; Düşük ergime sıcaklığına sahip matris yapısı, tane sınırlarına nüfuz ederek yarı-katı sıcaklıkta Parçacık yüzeylerini sararak ıslatığı, yarı katı sıcaklıkta tane sınırlarındaki kısmi ergime başladığı ve tane sınırı boyunca devam ettiği düşünülmektedir.



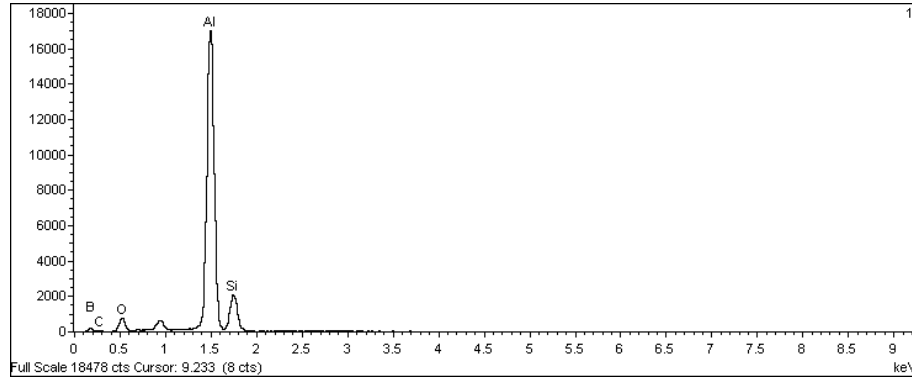
Şekil 6.41. N9 Numunesine ait SEM fotoğrafı. (a) X 500 ve (b) X 1000

N9 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı Şekil 6.42’ de verilmiştir. EDS analizleri numune üzerindeki üç farklı noktadan alınmış ve bu noktaların matris ve karbürlere denk gelmesi sağlanmıştır. N9 numunesine ait EDS analiz grafiği Şekil 6.43-6.45’ de ve sonuçları Tablo 6.23-6.25’ de verilmiştir. Bu numune ait EDS analiz

sonuçları incelendiğinde; 1. Bölgede %41.64 B, %6.49 C, %9.12 O % 35.67 Al, %7.08 Si, 2. bölgede, %55.59 B, %15.79 C, % 7.06 O, % 19.28 Al, %2.29 Si, 3. bölgede, % 9.56 B, %9.41 C, %46.34 O, %64.77 Al, %9.92 Si, elementleri saptanmıştır.



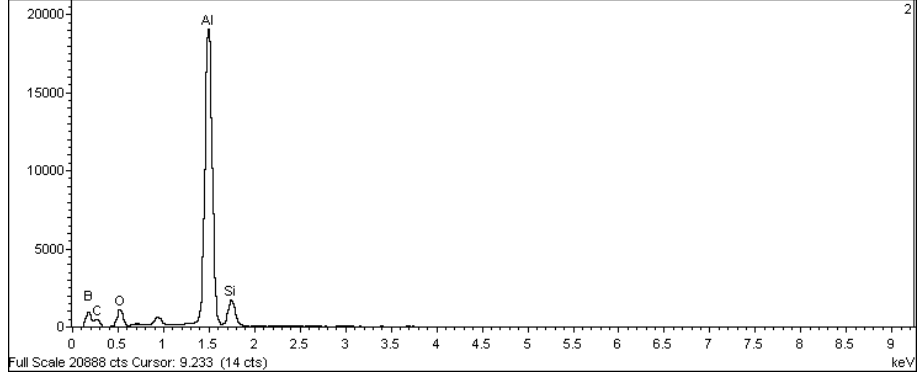
Şekil 6.42. N9 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı.



Şekil 6.43. N9 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo 6.23. N9 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları

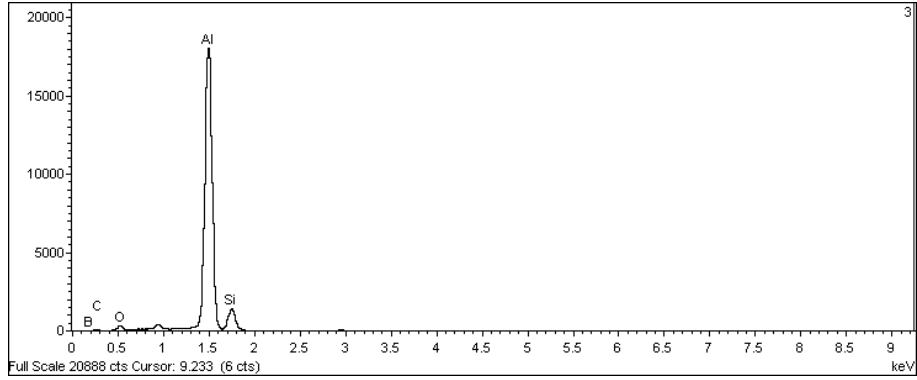
Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
B	5.54	0.0713	41.64	2.51	58.93
C	1.77	0.1462	6.49	0.80	8.26
O	13.14	0.7727	9.12	0.45	8.72
Al	79.61	1.1971	35.67	1.55	20.23
Si	10.95	0.8303	7.08	0.32	3.85
Totals			100.00		



Şekil 6.44. N9 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo 8.24. N9 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
B	29.79	0.1326	55.59	0.99	66.83
C	8.92	0.1399	15.79	0.69	17.08
O	18.86	0.6615	7.06	0.21	5.73
Al	89.92	1.1544	19.28	0.42	9.29
Si	8.61	0.9294	2.29	0.06	1.06
Totals			100.00		



Şekil 6.45. N9 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo 6.25. N9 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
B	0.44	0.0445	9.56	8.07	18.36
C	1.87	0.1914	9.41	1.26	16.27
O	5.50	0.8348	6.34	0.64	8.22
Al	84.83	1.2590	64.77	5.82	49.82
Si	7.16	0.6936	9.92	0.91	7.33
Totals			100.00		

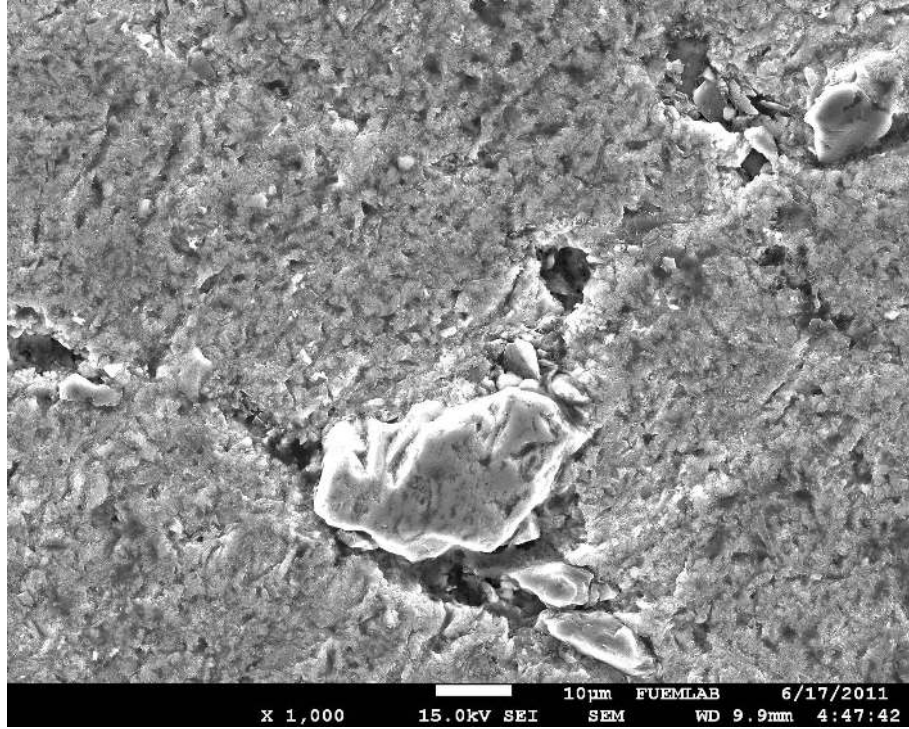
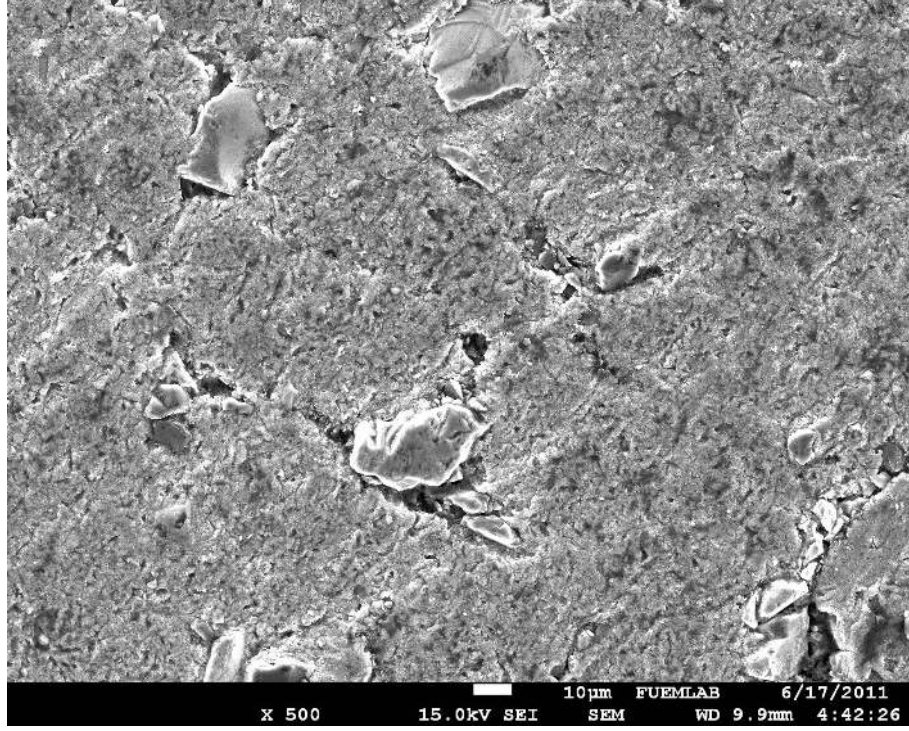
N10 numunesi %20 Bor karbür takviyeli olarak üretilmiş ve yarı katı şekillendirilmiştir. N5 numunesinin şekil 6.46'da verilen SEM fotoğrafları incelendiğinde; matrisi oluşturan yapı içerisindeki taneciklerinin sıcaklık ve basıncın etkisi ile birbirleriyle kaynaşıp çözündüğü açıkça görülmektedir. Malzeme yüzeyinde yer yer mikro gözenekler

tespit edilmiştir fakat N5 numunesi ile kıyaslayacak olursak yarı katı şekillendirme yöntemi tanelerin birbirleri ile tamamen birleşmesini sağladığından mikro gözeneklerin minimum seviyede olduğu ve bor karbür parçacıklarının matrise daha iyi tutunduğu söylenebilir.

Matris içerisindeki B_4C oranı arttıkça, parçacıklarının daha fazla topaklanmalarının olduğu söylenebilir. Takviye elemanı boyutunun azalmasıyla parçacık topaklanmalarının oluşması, porozite oranının artması doğaldır. Çünkü topaklanmalar sonucu, matris malzemesi ile B_4C parçacıklarını arasında yeterli yüzey bağı oluşmamış ve bu bölümlerde poroziteler oluşmuştur. Fakat numunenin yarı katı şekillendirilmesi ile porozite miktarının minimum düzeye indirildiği görülmektedir.

Yarı katı sıcaklıkta şekillendirilmiş numuneler iç gerilme nedeniyle daha fazla sıvı faz üretmiştir. Bunun sonucu olarak, kılcal etki ile mikroyapıda katı-katı arayüzeyinde tam ıslatma gerçekleşmiş ve parçacık matris birleşim noktalarında yetersiz sıvı miktarının neden olacağı mikro gözenek oluşumu en aza indirilmiştir. Sıvı segregasyonun olduğu bölgelerde sıvı fazın katılaşması sonucu meydana gelen mikro gözeneklerin varlığı tespit edilmiştir. Yarı katı şekillendirmede sıvı fazın yoğun olduğu bölgelerde mikro düzeyde sıcak yırtılmalar oluşabilir, sebebi tane sınırlarında oluşan mikro segregasyonlardır.

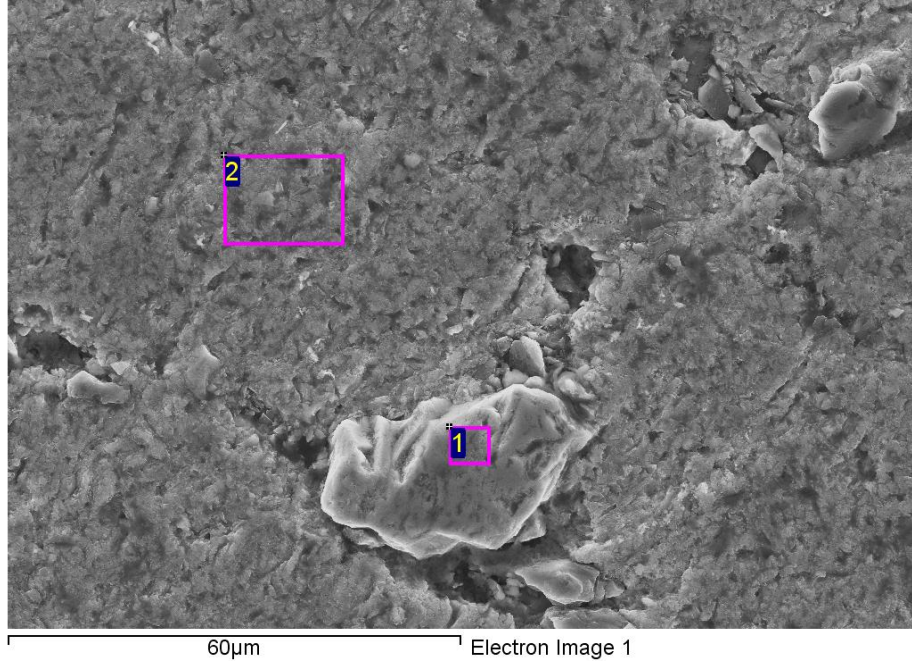
Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen kompozitlerin yarı katı şekillendirilmesi ile mikroyapıda oluşan segregasyon, porozite, inklüzyon hataları önemli derecede elimine edilebilmektedir ve malzemenin mekanik özelliklerini arttıracakları düşünülmektedir



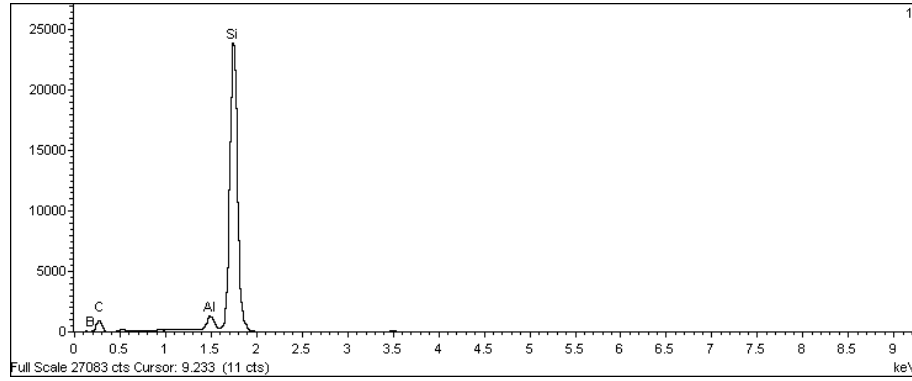
Şekil 6.46. N10 Numunesine ait SEM fotoğrafı. (a) X 500 ve (b) X 1000

N10 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı Şekil 6.47’ de verilmiştir. EDS analizleri numune üzerindeki iki farklı noktadan alınmış ve bu noktaların matris ve karbürlere denk gelmesi sağlanmıştır. N10 numunesine ait EDS analiz grafiği Şekil 6.48-6.49’ da ve sonuçları Tablo 6.26-6.27’ verilmiştir. Bu numune ait EDS analiz

sonuçları incelendiğinde; 1. Bölgede %8.09 B, %37.76 C, % 1.87Al, %52.28Si, 2. bölgede, %3.00 B, %12.67 C, % 78.33 Al, %6.01 Si, 3. bölgede, % 9.56 B, %9.41 C, %46.34 O, %64.77 Al, %9.92 Si, elementleri saptanmıştır.



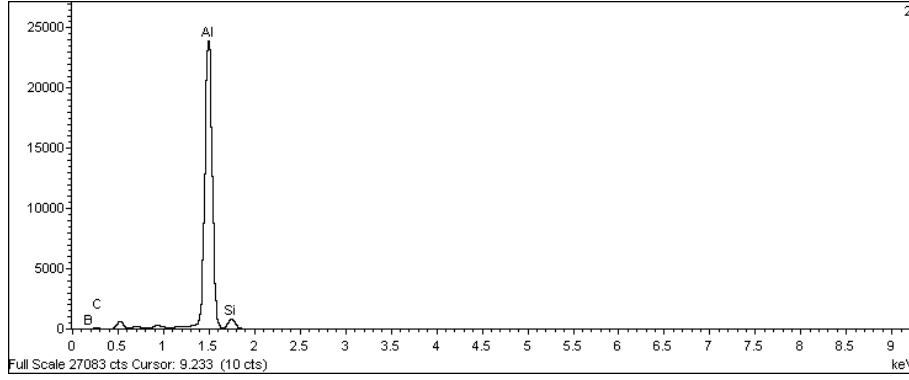
Şekil 6.47. N10 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı.



Şekil 6.48. N10 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo 6.26. N10 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
B	0.94	0.0545	8.09	5.37	12.85
C	17.10	0.2121	37.76	2.29	53.99
Al	4.83	1.2128	1.87	0.12	1.19
Si	126.11	1.1297	52.28	3.10	31.97
Totals			100.00		



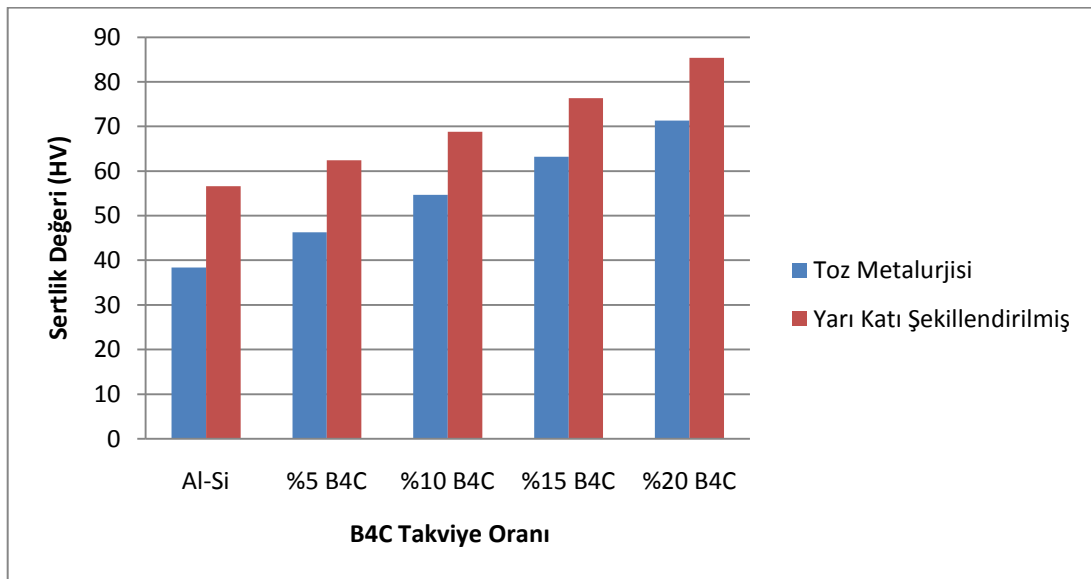
Şekil 6.49. N10 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo 6.27. N10 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
B	0.14	0.0409	3.00	9.19	6.24
C	2.83	0.2009	12.67	1.50	23.70
Al	113.48	1.3022	78.33	7.46	65.25
Si	4.30	0.6433	6.01	0.59	4.81
Totals			100.00		

6.3. Mikrosertlik Sonuçları

Sertlik ölçümlerinden anlaşılabacağı üzere kompozitlerde takviye oranı arttıkça numunenin sertlik değerlerinde artış görülmüştür (Şekil 6.50). Grafikte de görüldüğü üzere, en yüksek sertlik değeri %20 B₄C içeren yarı katı şekillendirilmiş N10 numunesinde 85,4 HV olarak tespit edilmiştir. Yarı katı şekillendirilen numunelerin sertlik değerleri normal numuneler ile kıyaslandığında sertliğin arttığı görülmekte, numunelerin sertlik değerlerinin beklentileri karşıladığı düşünülmektedir.

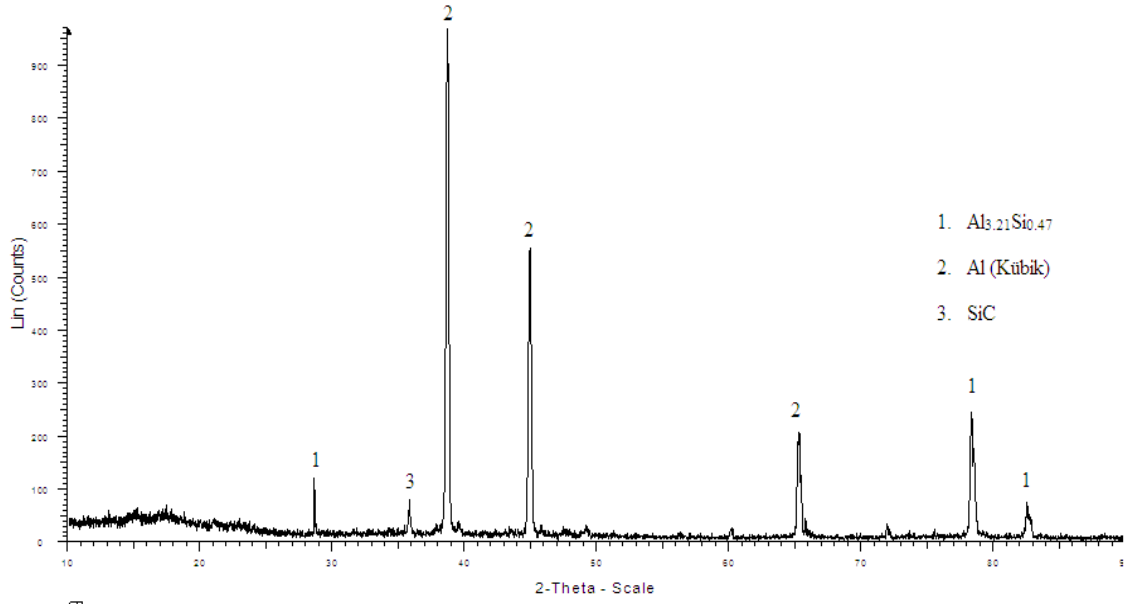


Şekil.6.50. B₄C takviye oranının ve yarı katı şekillendirme yönteminin sertliğe etkisi

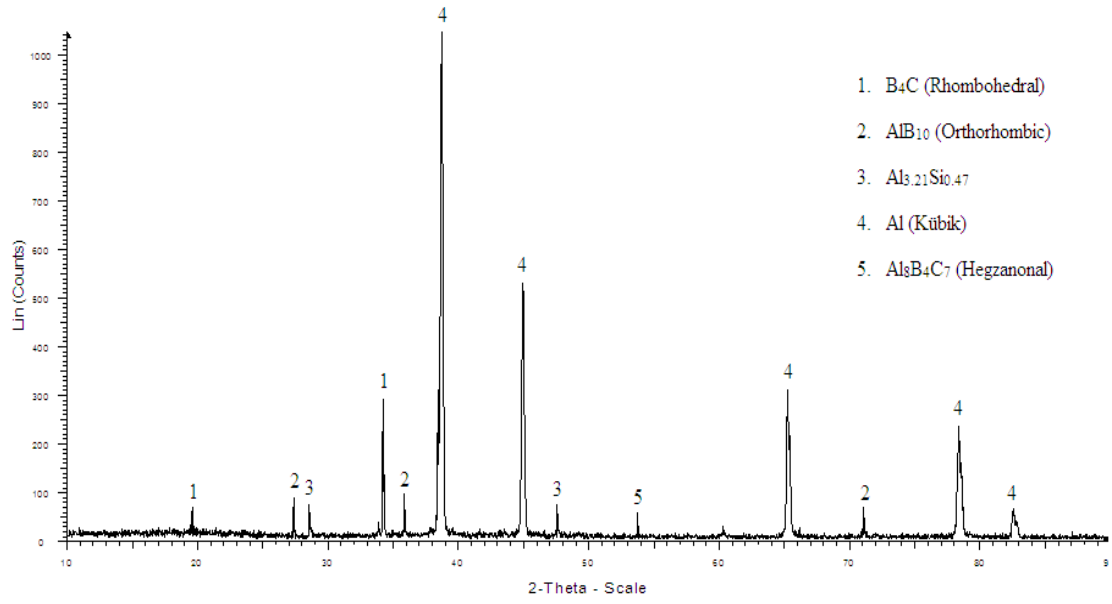
Toz metalurjisi ile üretilen numunelerin elde edilen sertlik sonuçları değerlendirildiğinde matris malzemesi ile üretilen N1 numunesinin sertlik değeri en düşük olduğu, B₄C takviyeli numunelerin sertliklerinin daha fazla olduğu görülmekte ve partikül ilavesinin malzemenin sertliğini artırdığı anlaşılmaktadır. Toz metalurjisi ile üretilen numunelerde en yüksek sertlik 71.3 HV olarak %20 B₄C takviyeli N5 numunesinde ölçülmüştür.

6.5. X-RD Analiz Sonuçları

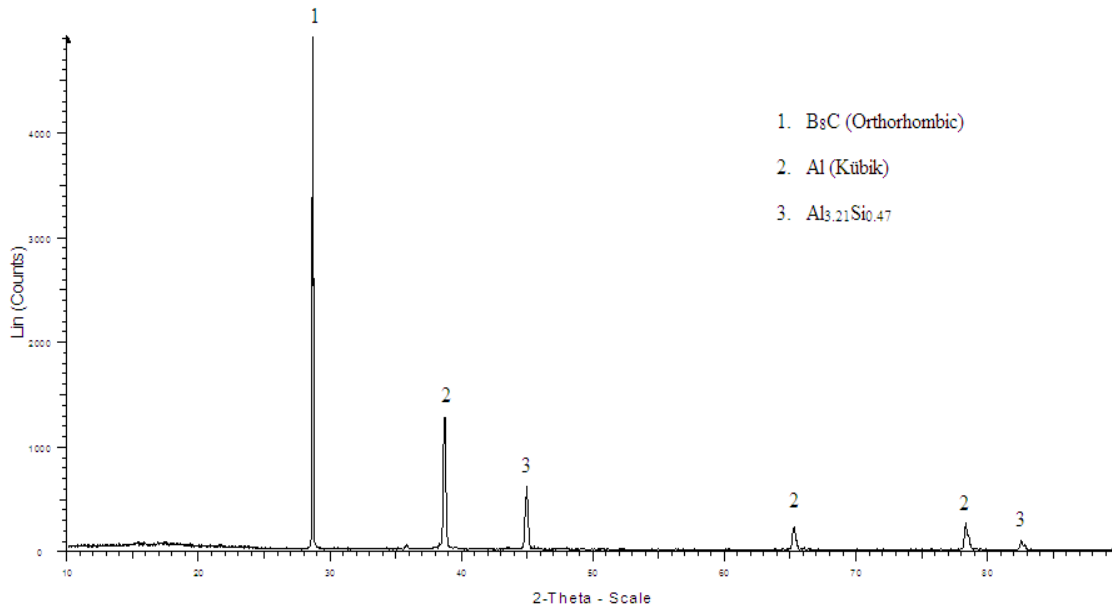
Numunelerden alınan X-RD analizi sonuçlarında oluşan faz ve bileşikleri gösteren grafikler Şekil 6.51-6.60' da verilmiştir. Numunelere ait X-RD grafikleri incelendiğinde Al (Kübik), Al_{3,21}Si_{0,47}, Al₄SiC₄(Hegzanonal), Al₄C₃(Rhombohedral), B (Kübik), B (Tetragonal), B₄C (Rhombohedral), B₈C (Orthorhombic), AlB₁₀ (Rhombohedral), AlB₁₂ (Tetragonal), Al₃SiB₄₈ (Tetragonal), Al₈B₄C₇ (Hegzanonal), Al₄Si₂C₄ (Rhombohedral) faz ve bileşiklerinin oluştuğu tespit edilmiştir.



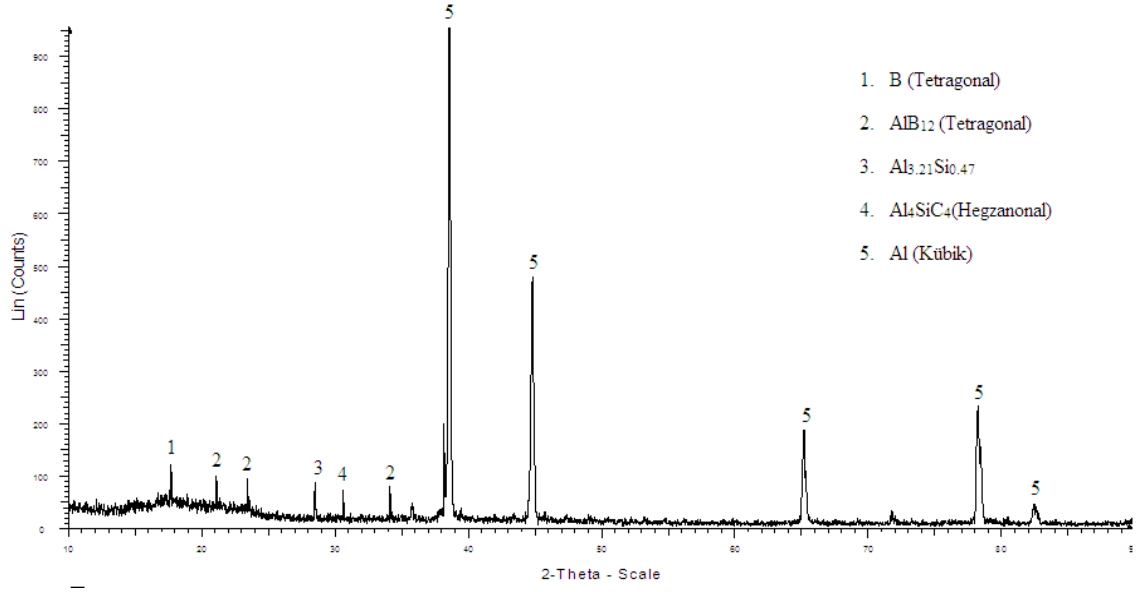
Şekil 6.51. N1 numunesine ait XRD analizi.



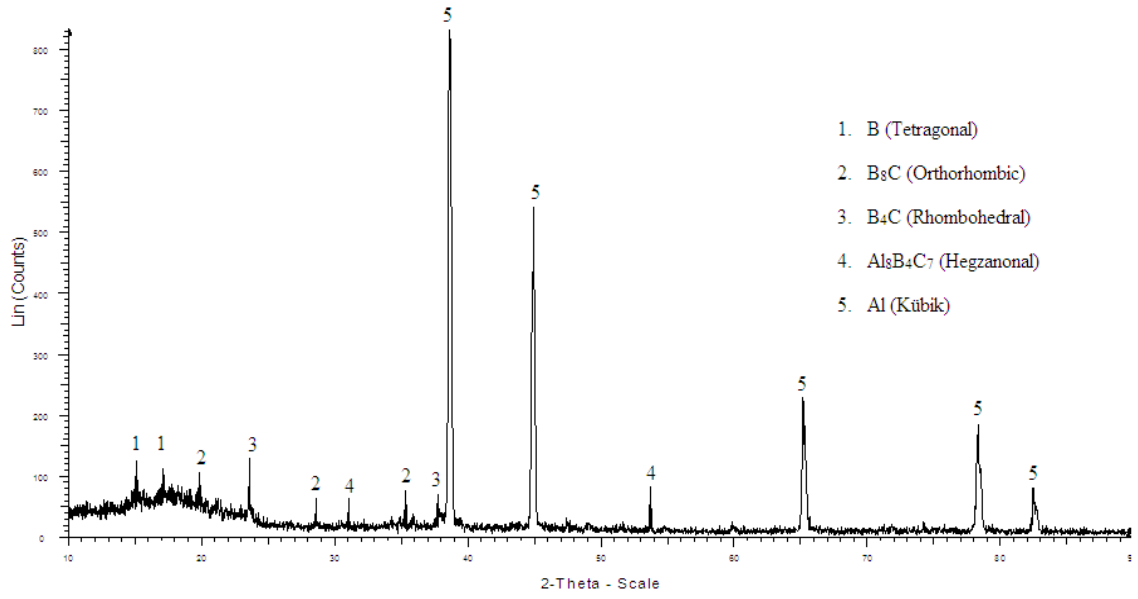
Şekil 6.52. N2 numunesine ait XRD analizi.



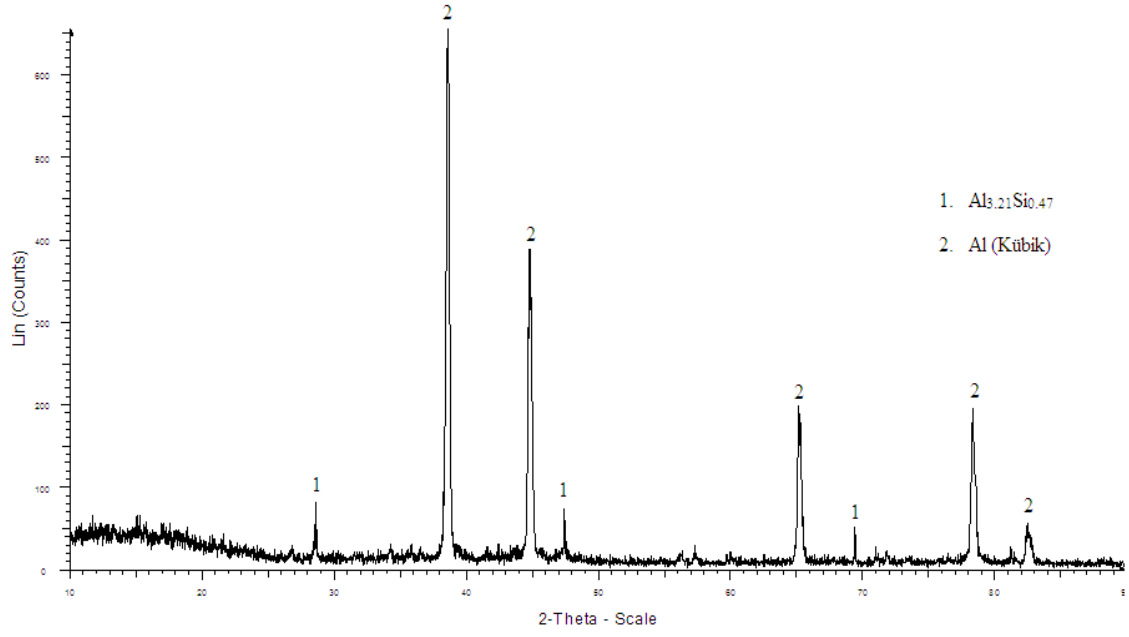
Şekil 6.53. N3 numunesine ait XRD analizi.



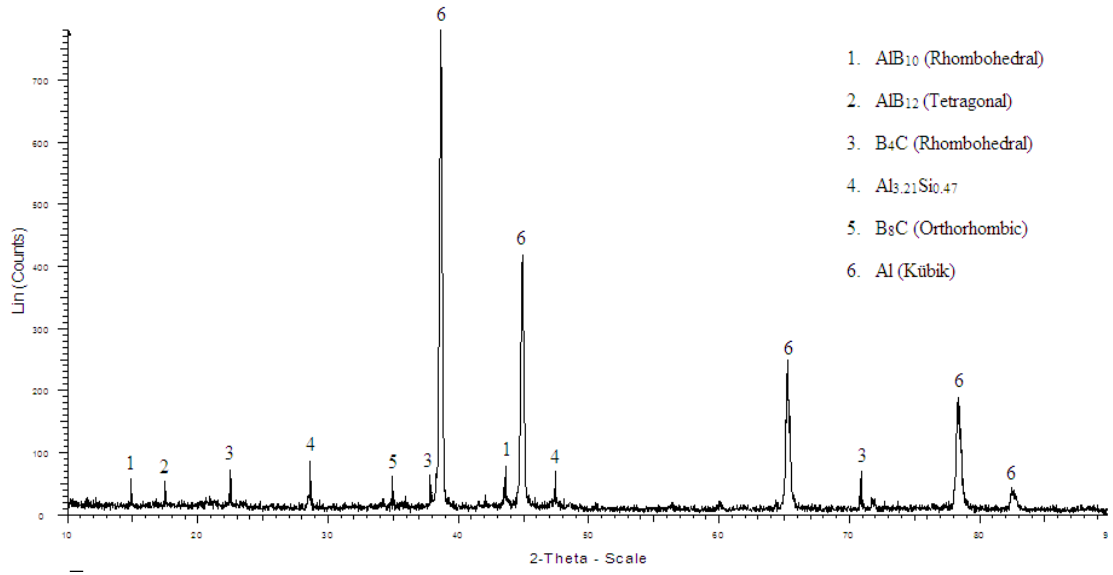
Şekil 6.54. N4 numunesine ait XRD analizi.



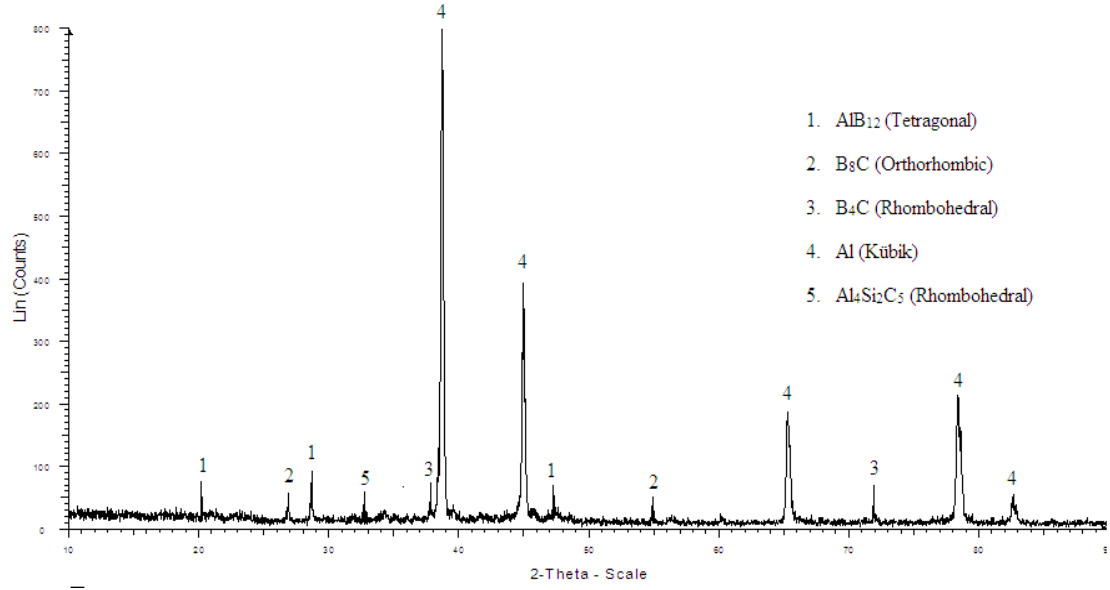
Şekil 6.55. N5 numunesine ait XRD analizi.



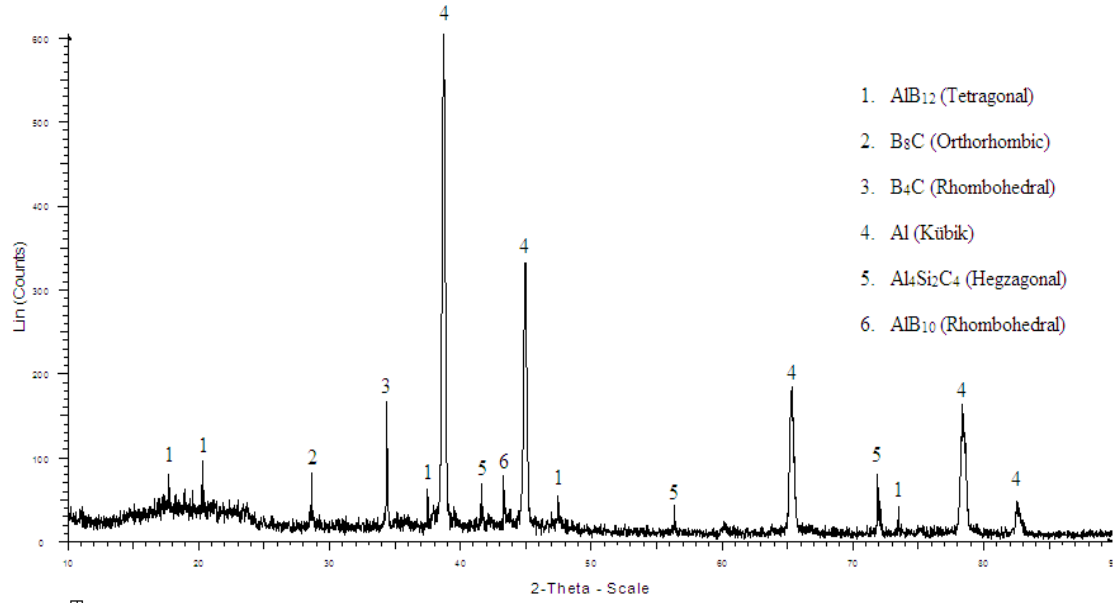
Şekil 6.56. N6 numunesine ait XRD analizi.



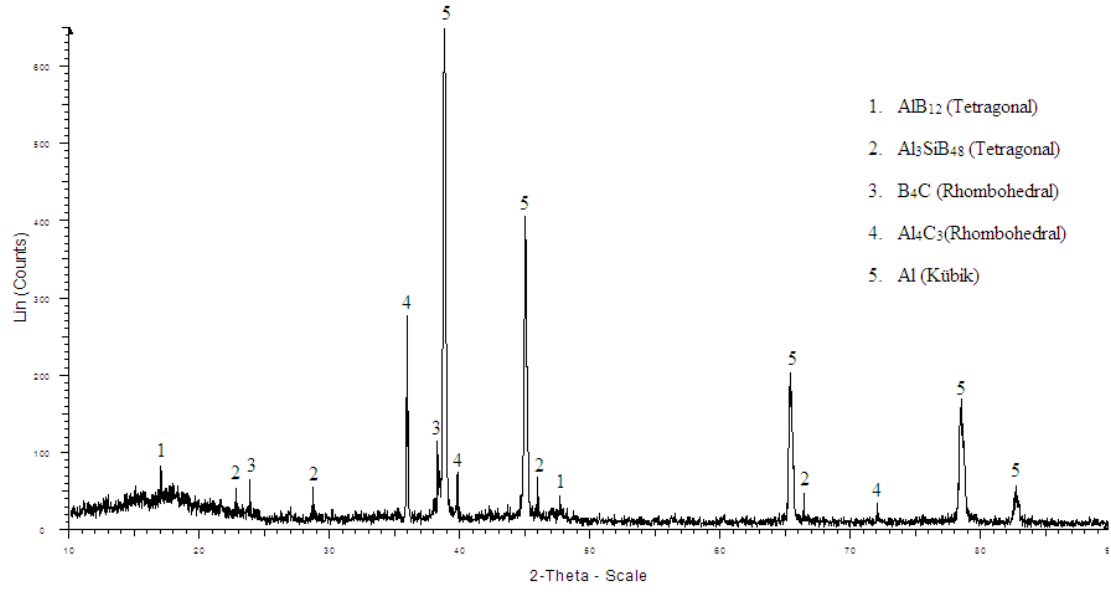
Şekil 6.57. N7 numunesine ait XRD analizi.



Şekil 6.58. N8 numunesine ait XRD analizi.



Şekil 6.59. N9 numunesine ait XRD analizi.



Şekil 6.60. N10 numunesine ait XRD analizi.

7. GENEL SONUÇLAR

1. Al-Si matrisli ve ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 bor karbür takviye katkılı kompozitler, 450 Mpa basınç ta soğuk preslenmiş 590°C de argon atmosferi altında sinterlenerek üretilebilmiştir.
2. Üretilen ikincil numuneler 620 °C’de 20dk süre ile yeniden ısıtılmış ve 1dk süre ile preslenerek şekillendirilmiştir.
3. Al-Si matrisli bor karbür takviyeli kompozitler bu şartlar altında üretilebilmekte ve yarı katı şekillendirilebilmektedir.
4. SEM incelemelerinde tüm numunelerde matris içindeki takviye dağılımının iyi olduğu söylenebilir.
5. Mikroyapı çalışmalarında yarı katı şekillendirme işlemiyle porozitnin azaldığı gözlemlenmiştir ve daha yoğun bir kompozit elde edilmiştir.
6. Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen kompozitlerin yarı katı şekillendirilmesi ile mikroyapıda oluşan segregasyon, porozite, inklüzyon hataları önemli derecede elimine edilebilmektedir ve malzemenin mekanik özelliklerini arttıracakı düşünülmektedir
7. Al-Si dan üretilen numunenin sertliği ile kıyaslandığında artan bor karbür oranı ile sertlik değerlerinde artış olmuştur.
8. Toz metalurjisi ile üretilen numunelerde en yüksek sertlik 71.3 HV olarak %20 B₄C takviyeli N5 numunesinde ölçülmüştür.
9. En yüksek sertlik değeri %20 bor karbür içeren yarı katı şekillendirilmiş N10 numunesinde 85,4 HV olarak tespit edilmiştir. Yarı katı şekillendirilen numunelerin sertlik değerleri normal numuneler ile kıyaslandığında sertliğin arttığı görülmektedir.
10. X ışınları kırınımı (XRD) tayini ile üretilen numunelerde bulunan fazlar tespit edilmiş; numunelerde iki tür bor karbüre rastlanmıştır bunlar B₄C ve B₈C dir.
11. XRD analizinde matrisi oluşturan Al-Si arasında Al_{3,21}Si_{0,47}, Al₄SiC₄ bileşikleri oluşmuştur. Matris ve takviye parçacıkları arasında ise AlB₁₀, AlB₁₂, Al₃SiB₄₈, Al₈B₄C₇ bileşikleri oluşmuştur.

KAYNAKÇA

- [1] **Boyer, E. H., Gall, L.**, 1992, Metal Handbook, Desk Edition, Aluminum Society For Metals Park, 6.1- 6.11, Ohio.
- [2] **Ünal, N.**, 1991, Malzeme bilgisi, Akdeniz Üniversitesi Basımevi, Yayın No:37, 122 s., Antalya.
- [3] **Car, E.**, 1999, Alüminyum üretimi birincil ve ikincil üretim süreçleri, alüminyum alaşımları, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, Alüminyum Komisyonu, Yayın No: 2, İstanbul.
- [4] **Onaran, K.**, 1999, Malzeme bilimi, Bilim Teknik yayınevi, 383 s., İstanbul.
- [5] Kocaeli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 2007., Alüminyum - Silisyum Döküm Alaşımları , Proje I, Aralık, Kocaeli.
- [6] **Erdoğan, M.**, 2001, Mühendislik alaşımlarının yapı ve özellikleri, Nobel Yayınları, 135-138, Ankara.
- [7] **Ermış, H. M., Yaman, B., Küçükkaragöz, S., Çiğdem, M.**, 2003, Etial 145 Al-Si (A.A332) alaşımlarının modifikasyonu, 2. Alüminyum Sempozyumu, 98-113, Seydişehir.
- [8] **Baypınar, F.**, 2005, Alüminyum döküm alaşımlarına Al5Ti1B ile tane inceltme işlemi uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- [9] **Lee, Y.C., Dahle, A.K., Stjohn, D.H., Hutt, J.E. C.**, 1998. The effect of grain refinement and silicon content on grain formation in hypoeutectic Al-Si alloys, Journal of Materials Processing Technology, A (259), 43-52.
- [10] **Eruslu, N.**, 1984, Alüminyum alaşımlarının dökümü ve yapı kontrolü, Segem Yayınları, 7-95, İstanbul.
- [11] **Ibarra D.G.**, 1999, Control of grain refinement of Al-Si alloys by thermal analysis, Department of Mining and Metallurgical Engineering McGill University, Montreal Canada 1-38.
- [12] **Çavuşoğlu, E., Eruslu, N., Akdeniz, A., Altımoğlu A.**, 1978, Alüminyum ve alaşımlarında aşılama ile tane küçültme, 3. Ulusal Alüminyum Kongresi, 136-139, Seydişehir.
- [13] **Uygun, G., Bozkurt, N., Geçkinli, E.**, 1986, Alüminyum bor ile tane küçültme ve bor dağılımının oto radyografi ile tespiti, 4. Ulusal Metalurji Kongre ve Sergisi, 753-765, Seydişehir.

- [14] **Altun, F.**, 2005, Bor, BOREN Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü, Ankara, 7-8, 12, 14, 23, 37-39.
- [15] **Jones, B.R., Prunier, A.R.Jr., Pyzik, A.J.**, 1999. Brake or clutch components having a ceramic-metal composite friction material, United States Patent, No: 5957251.
- [16] URL-1, <http://www.concentric.net>
- [17] TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, 2003, Bor rapor, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Dergisi, 134: 11-14, 17-19, Ankara.
- [18] **Thevenot, F.**, 1990. Boron carbide-A comprehensive review, Journal of European Ceramic Society, 205-225
- [19] **Mori, T.**, 2007. Handbook on the physics and chemistry of rare earths, Chapter 238, Higher Borides, Vol. 38, 105-173.
- [20] **Raman, V., Bhatia, G., Mishra, A., Sengupta, P.R., Rashmi, M.S.**, 2005. Development of carbon–ceramic composites, Materials Science and Engineering: A, 412, 1-2, 5, 31-36.
- [21] **Sarıkaya, Ö.**, 2003. Al-12Si Malzeme üzerine plazma püskürtme tekniği ile Al-Si+B₄C kaplama, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 141s.
- [22] **Mary T.S.**, 1994. Boron carbide, Minerals Review, 6, 113-115.
- [23] **Pyzik, A.J., Aksay, I.A.**, 1987. Multipurpose boron carbide-aluminum composite and its manufacture via the control of the microstructure, United States Patent, No: 4702770 dated 27.10.1987.
- [24] **Büyükcü, G.**, 2000. Bor karbür/silisyum karbür kompozitlerinin üretimi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [25] ETİ Holding A.Ş. Genel Müdürlüğü Planlama ve Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı, 2003, Bor karbür ön fizibilite etüdü, ETİ Holding A.Ş., 4, 5, 7, 9, 10, Ankara.
- [26] <http://www.feldinternational.com>
- [27] <http://sites.securemgr.com>
- [28] **Yetgin, S.H., Köken, A., Aydın, M., Ünal, R.** (2005), Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilmiş Al-B₄C MMK’lerde Karıştırıcı Tipi ve Takviye Oranının Mekanik ve Mikro yapı Özelliklerine Etkisi, 4. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, 18-22 Mayıs, Sakarya, 622-631.
- [29] **Lee, B.-S., Kang, S.**, 2001. Low-temperature Processing of B₄C-Al Composites ViaInfiltration Technique, Materials Chemistry and Physics, 67:249-255.

- [30] **Kırtay, S.**, 1997, Etial 24 ve Etial 44 alaşımlarına yarı-katı halde şekil verilmesi, mikroyapı ile mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [31] **Türkeli, A.**, 1995, Yarı-Katı durumda döküm, şekil verme ve rafinasyon prosesler, Metalurji Dergisi, Sayı: 98, 37-43, Ankara.
- [32] **Türkeli, A.**, 1991, Yarı-Katı durumda döküm ve şekil verme, 4. Denizli Malzeme sempozyumu, 1-10.
- [33] **Roplekar, J.K., Dantzig, D.A.**, 2001, A Study of solidification with a rotating magnetic field, International Journal of Cast Metals Research, Vol. 14, pp. 79-95.
- [34] **Flemings, M.C.**, 1991. Behavior of metal alloys in the semi-solid state, Metallurgical Transactions A, Vol. 22A, pp. 957-980.
- [35] URL-4, www.thixoschmieden.de/
- [36] **Türkeli, A.**, 1993. Dövme alüminyum alaşımından SIMA yöntemi ile tiksotropik malzeme üretimi, 5. Denizli Malzeme Sempozyumu, 1-11.
- [37] **Eisen P., Young K.**, 2000. Diecasting system for semi-liquid and semisolid metal casting-applications, Proceedings of alloys Sixth International Conference on Semisolid Processing of Alloys and Composites, pp. 41-46.
- [38] **Tzimas, E., A. Zavaliangos**, 1999, Material Selection for Semisolid Processing, Materials and Manufacturing Processes, Vol. 14.
- [39] **Huang W., Li, T., Lin X., Wang, L.**, 2004, Formation of semisolid globular structures under shearing, Proceedings of the 8th International Conference on the Processing of Semi-Solid Alloys and Composites.
- [40] **Bozkurt, U.**, 2005, Mechanical properties and microstructure evolution of thixoformed aluminum alloys, M.S. Thesis, Boğaziçi University.
- [41] **Özer, M.**, 2010, Yarı-katı döküm tekniği ile üretilen Al-Si alaşımlarında yapı-özellik ilişkisinin incelenmesi, Doktora Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- [42] **Fan, Z.**, 2002. Semisolid Metal Processing, International Materials Reviews, 47(2): 49-85.
- [43] **Figueredo, A.**, Science and technology of semi-solid metal processing, North America Die Casting Association, USA, 2.1-2.17, (2001).
- [44] **Flemings, M., Riek,R., Young K.**, 1976, Rheocasting, Mater sci. Eng. 25:103- 117.
- [45] **Kılıçlı, V.**, 2010, Yarı-katı döküm tekniğiyle üretilen Al-Zn alaşımlarında yapı-özellik ilişkisinin incelenmesi, Doktora Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

- [46] **Atkinson, H.V., Kapranos,P., Liu, D., Chayong, S.A., Kirkwood, D.,** 2002, Thixoforming of normally wrought aluminium alloys, *Materials Science Forum*, 396-402:131-136.
- [47] **Gerhard, H, Liudmila K., Renie B., Frederik K., and Reiner K.,** Semi-solid Forming of Aluminium and Steel – Introduction and Overview
- [48] **Sukangkana. L.,** Semi-Solid Processing, *Advanced Materials and Manufacturing Processes* 2/2553
- [49] **Saklakoğlu, N.E.,**2004, SIMA Prosesiyle yarı katı halde mikroyapı oluşumu, *Metalurji Dergisi*, Sayı: 138.
- [50] **Buynacek, C.J., Winterbottom, W.L.,** 2000, High volume semi-solid forming of aluminum master cylinders, *SAE 2000 World Congress*,
- [51] **Wang, S., Li, Y., Chen, W. and Zheng, X.,** Microstructure evolution of semi-solid 2024 alloy during two-step reheating process”, 2008, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 18 (4): 784-788.
- [52] **Kirkwood, D.H.,** 1994, Semisolid metal processing, *International Materials Reviews*, 39 (5): 173-189 .
- [53] **Türkeli, A., Akbaş, N.,** 1996, Formation of non-dendritic structure in 7075 wrought aluminum alloy by SIMA process and effect of heat treatment, *Proceedings of Fourth International Conference on the Semi-Solid Processing of Alloys and Composites*, Sheffield, UK, 71-74.
- [54] **Nafisi, S. and Ghomashchi, R.,** 2005, Semi-solid metal processing routes: an overview, *Canadian Metallurgical Quarterly*, 44 (3): 289-304.
- [55] **Kirkwood, D.H., Sellars, C. M., Boyed. L.G.E.,** 1992, Thixotropic materials, U.S. Patent 5,133,811.
- [56] **Tezimas, E.,** 1997, Evolution of microstructure and rheological behavior of alloys in the semi solid state, Ph. D. Thesis, Drexel University, 1-12.
- [57] **Kliauga, A.M., Ferrante, M.,** 2002, Comparison of flow behaviour and microstructure and texture development of aluminium alloy A356 in semi-solid state submitted to two different thermomechanical treatments, *Materials Science and Technology*, Vol. 18, pp. 820-826.
- [58] **Salamcı, E.,** 2004, Spray döküm, *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 17(2):155-173.
- [59] **Czerwinski, F.,**2007, *Semisolid Processing Origin of Magnesium Molding, Magnesium Injection Molding*, Springer US, USA, 81-145.

- [60] **Atkinson, H.V.**, 2005, Modelling the semisolid processing of metallic alloys, *Progress in Materials Science* ,50: 341–412.
- [61] **Nafisi, S., Ghomashchi, R.**, 2007, Boron-based refiners: advantages in semi-solid-metal casting of Al–Si alloys, *Materials Science and Engineering A*, 452-453: 437-444.
- [62] **Haga, T. and Suzuki, S.**, 2001, Casting of aluminium alloy ingots for thixoforming using a cooling slope, *Journal of Materials Processing Technology*, 118 (1-3): 169-172.
- [63] **Birol, Y.**, 2008, Cooling slope casting and thixoforming of hypereutectic A390 alloy, *Journal of Materials Processing Technology*, 207 (1-3): 200-203.
- [64] **Taghavi, F., Ghassemi, A.**, 2009, Study on the effects of the length and angle of inclined plate on the thixotropic microstructure of A356 aluminum alloy, *Materials and Design*, 30:1762–1767.
- [65] **Birol, Y.**, 2007, A357 Thixoforming feedstock produced by cooling slope casting, *Journal of Materials Processing Technology*, 186: 94–101.
- [66] **Legoretta, C.E., Atkinson, H.V., Jones, H.**, 2008, Cooling slope casting to obtain thixotropic feedstock II: observations with A356 alloy, *Journal of Mater Science*, 43:5456-5469.
- [67] **Haga, T., Kapranos, P.**, 2002, Simple rheocasting process, *Journal of Materials Processing Technology*, 130-131:594-598.
- [68] **Witulski, T., Morjan, U., Niedick, I., Hirt, G.**, 1998, The thixoformability of aluminium alloys, In: *Proceedings of the Fifth International Conference on Semi- Solid Processing of Alloys and Composites*, Colorado School of Mines, Colorado, USA, pp. 353-360.
- [69] **Kenney, M.P., Courtois, J.A., Evans, R.D., Farrior, G.M., Kyonka, C.P., Koch, A.A., Young, K.P.**, 1998, Semi-solid metal casting and forging, *Metals Handbook*, Ninth Edition, Vol.15, pp. 327-338.
- [70] **Basner, T.G.**, 2001, The effect of processing on the mechanical and fatigue properties of semi solid formed A357 Aluminium, Ph. D Thesis, The University of Michigan, USA.
- [71] **Wu, C.**, 2004, A numerical study of high pressure die casting with light alloys”, M.Sc.Thesis , Mechanical and Materials Engineering, Queen’s University, Kingston-Ontario, Canada, 1-10.
- [72] **Yang, S.J.J.**, 2004, Analysis and development of a simple procedure for measuring the rheological properties of thixotropic magnesium alloys, M.Sc.Thesis, University of Queen’s, Mechanical Engineering, Kingston-Ontario, Canada, 1-16.

- [73] **Kopp, R., Neudenberger, D., Winning, G.,** 2001, Different concepts of thixoforging and experiments for rheological data, *Journal of Materials Processing Technology*, 111 (1-3): 48-52.
- [74] **Chen, C.Y., Sekhar, J.A., Backman, D.G. and Mehrabian, R.,** 1979, Thixoforging of aluminium alloys, *Materials Science and Engineering*, 40 (2):265-272,
- [75] **Birol, Y.,** 2008, Thixoforging experiments with 6082 extrusion feedstock, *Journal of Alloys and Compounds*, 455 (1-2): 178-185.
- [76] **Birol, Y.,** 2008, Comparison of thixoformability of AA6082 reheated from the as-cast and extruded states, *Journal of Alloys And Compounds*, 461(1-2): 132-138 .
- [77] **Lashkari, O.,** 2006, Le Comportement Rheologique De l'alliage A356 semi-solide, *Ph. D. Thesis*, University of Quebec, Natural Sciences and Engineering, Canada, 10-20:49.
- [78] **Martin, C.L., Kumar, P., Brown, S.,** 1994, Constitutive modeling and characterization of the flow behavior of semi-solid metal alloy slurries- II. Structural evolution under shear formation, *Acta metal. Mater.*, 42(11):3603-3614.
- [79] **Basner, T.G.,** 2001, The effect of processing on the mechanical and fatigue properties of semi solid formed A357 Aluminium, *Ph. D Thesis*, The University of Michigan, USA.
- [80] **Ji, S., Fan, Z., and Bevis, M.J.,** 2001, Semi-solid processing of engineering alloys by a twin-screw rheomoulding process, *Materials Science and Engineering A*, 299 (1- 2): 210-217.
- [81] **Fan, Z., Fang X. and Ji S.,** 2005, Microstructure and mechanical properties of rheo-diecast (RDC) aluminium alloys, *Materials Science and Engineering A*, 412: 2898-306.
- [82] **Atkinson, H.V., Kapranos, P., Chayong, P.S., Liu, D., Kirkwood, D. And Camacho, A. M.,** 2002, Alloy Development For Thixoforming, *Epsrc Project-Gr/M89096*, Sheffield ,1 7.
- [83] <http://www.shef.ac.uk/materials>.
- [84] *ASM Handbook Vol. 15, Ninth Edition*, ISBN 0-87170-007-7, Ohio, USA, 327-338, 1990.
- [85] **Aztekin, H.,** 2008, Hipo-ötektik Al-Si bazlı alaşımlarda yarı-katı işlemlerle yeni metal matris kompozit üretimi, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük

ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Sivas'ın Gürün ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Güründe tamamladı. 2005 yılında girdiği Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümünden 2009 yılında mezun oldu. Aynı yıl Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Eğitimi A.B.D. Malzeme Bilim Dalında Yüksek lisans öğrenimine başlayan Niyazi Yılmaz ÇOLAK aynı anabilim dalında yüksek lisans çalışmalarına devam etmektedir.