

**İn-situ Reaksiyon ile AlB₂ Takviyeli Metal Matrisli Kompozitlerin
Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması**

Proje No: 107M023

Doç.Dr. Ramazan KAYIKCI

Doç.Dr. Adem DEMİR

Doç.Dr. Sakıp KÖKSAL

Mayıs 2010

SAKARYA

ÖNSÖZ

Bu çalışma 1001 Araştırma Destek Programı Kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenen alüminyum ana yapılı AlB_2 borür takviyeli kompozitlerin döküm yöntemi ile üretimi ve mekanik özelliklerinin incelenmesine yönelik bir proje çalışmasıdır. Çalışmada çeşitli bor cevherlerinin ilavesi ile yüksek aspekt oranlı AlB_2 borür yapılarının oluşturulabileceği görülmüş ve elde edilen AlB_2 yapıları boyutsal ve hacimsel olarak optimize edilmiştir. Optik mikroskop, SEM, XRD ve yaş analiz tekniklerinin kullanıldığı çalışmada, üretilen kompozitler sertlik, çekme, basma, aşınma ve mekanik işleme testlerine tabi tutulmuştur. Testler sonucunda kompozitlerin takviye oranlarının artmasına bağlı olarak sertlik, çekme ve basma dayanımlarında % 300 oranına kadar artışlar gözlenmiştir. Üretilen kompozitlerin sürtünme katsayılarının ve ağırlık kayıplarının ise matris alaşımına göre daha düşük olduğu görülmüştür.

Bu çalışmadan elde edilen verilerle iki doktora tezi tamamlanmış ve burslu öğrenci statüsünde iki bilim insanının yetişmesi sağlanmıştır. Çalışmadan çeşitli ulusal ve uluslar arası bilimsel yayın hazırlanmış, bunların bir kısmı hali hazırda yayımlanmış bir kısmı ise sunum veya değerlendirme aşamasında beklemektedir.

Proje ekibi olarak, 1001 Araştırma Destek Programı Kapsamında 107M023 No'lu projemizi destekleyen TÜBİTAK Araştırma Destek Programları Başkanlığına (ARDEB) en içten teşekkürlerimizi sunarız.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
TABLolar LİSTESİ	xviii
ÖZET.....	xxiii
ABSTRACT.....	xxiv
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. LİTERATÜR TARAMASI.....	5
2.1. Al-B sistemleri	5
2.1.1. AlB ₂ sentezleme teknikleri	5
2.1.1.1. Basit çözeltiye alma tekniği.....	6
2.1.1.2. Oksit redüksiyonu tekniği.....	6
2.1.1.3. KBF ₄ tuzları indirgeme tekniği;.....	8
2.2. Al-B ikil faz diyagramı ve peritektik reaksiyon sıcaklığı.....	11
2.3. AlB ₂ ve AlB ₁₂ alüminyum borür yapılar	15

2.3. AlB ₂ fleyklerinin morfolajisi	18
2.4. AlB ₂ kompozitlerde takviye oranları ve mekanik özellikler	24
BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	37
3.1. Giriş	37
3.2. Başlangıç Materyalleri.....	37
3.3. Deneysel ekipman ve teknikler	39
3.3.1. Eğritme ocakları ve Ergitme Fırınları	40
3.3.1.1. İndüksiyon ergitme sistem.....	40
3.3.1.2. Elektrik Direnç Ergitme Fırını	43
3.3.3. Ezme döküm sistemi ve filtreleme	45
3.3.4. Su soğutmalı yolluk sistemi.....	46
3.3.5. Potalar ve kalıplar.....	47
3.3.5.1. Savurma döküm kalıbı.....	47
3.3.5.2. AlB ₂ borür yapılarının sentezlenmesi ve optimizasyonunda kullanılan potalar.....	48
3.3.6. Deneysel Yöntemler	50
3.3.6.1. Bor oksit, boraks ve borik asit ilavesi ile AlB ₂ borür yapılarının oluşturulmasına yönelik deneysel yöntemler.....	50
3.3.6.2. AlB ₂ borür yapılarının genişlik, kalınlık ve aspekt oranları üzerine etki eden parametrelerin belirlenmesine yönelik deneysel yöntemler	52
3.3.6.2.2. “AlB ₂ (Katı) + Al(Sıvı)” bölgesinde bekleme zaman ve sıcaklık faktörlerinin AlB ₂ yapıları üzerine etkilerini belirlemeye yönelik olarak yapılan deneysel yöntemler	55

3.3.6.3. Doğrudan döküm yöntemi ile AlB ₂ kompozitlerinin üretilmesine yönelik yapılan deneysel yöntemler	56
3.3.6.4. AlB ₂ kompozitlerinde takviye içeriklerinin artırılmasına yönelik yapılan deneysel yöntemler.....	58
3.3.6.4.1. Doğrudan döküm yöntemi ile (tek adımlı olarak) AlB ₂ takviye içeriklerinin artırılmasına yönelik yapılan deneysel yöntemler	58
3.3.6.4.2. AlB ₂ takviye içeriklerinin savurma döküm yöntemi ile artırılmasına yönelik yapılan deneysel yöntemler	60
3.3.6.4.3. Filtreleme yöntemi (Ezme döküm yöntemi) ile AlB ₂ takviye içeriklerinin artırılmasına yönelik deneysel yöntemler	62
3.4. Karakterizasyon Çalışmaları	64
3.4.1. Optik analiz.....	64
3.4.1.1. AlB ₂ borür yapılarının uzunluk ve kalınlık ölçümleri.....	65
3.4.1.2. % porozite ölçümleri	66
3.4.1.3. Tane boyutu ölçümleri.....	67
3.4.2. Takviye içeriklerinin belirlenmesi	68
3.4.2.1. Yaş analiz yöntemi ile % B tespiti	68
3.4.2.2. % AlB ₂ takviye içeriğinin hesaplanması	70
3.4.3. Yoğunluk ölçümleri.....	70
3.4.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	71
3.4.5. XRD incelemeleri.....	71
3.4.6. Yaşlanma ısıl işlemi (T6)	71
3.4.7. Sertlik Ölçümleri.....	72
3.4.8. Çekme ve basma dayanım testleri.....	72

3.4.9. Sürtünme ve aşınma testleri.....	73
3.4.10. Kesme (işleme) testi.....	74
3.4.10.1.Kesme testleri için AlB ₂ borür takviyeleri kompozit ve matris alaşımlarının üretimi.....	74
3.4.10.2.Kesme Deneyleri.....	74
3.5. Deney Tasarımı ve Taguchi Metodu.....	76
3.5.1. Ortogonal diziler	77
3.5.2. Sinyal / gürültü oranı.....	77
3.5.3. Etkileşimler.....	78
3.5.4. Varyans analizi.....	79
3.5.4.1. Kareler toplamı (varyasyon).....	79
3.5.4.2. Serbestlik derecesi.....	79
3.5.4.3. Varyans.....	80
3.5.4.4. F testi.....	80
3.5.4.5. Faktörlerin toplam değişime etkilerinin yüzdesi.....	81
3.5.4.6. Doğrulama deneyleri.....	81
BÖLÜM 4. DENEYSEL SONUÇLAR.....	83
4.1. Giriş.....	83
4.2. Bor oksit, boraks ve borik asit ilavesi ile AlB ₂ borür yapılarının oluşturulmasına yönelik deneysel sonuçlar	84
4.3. AlB ₂ borür yapılarının genişlik, kalınlık ve aspekt oranları üzerine etki eden parametrelerin belirlenmesine yönelik deneysel sonuçlar	91

4.3.1. “Soğuma hızı” ve “alüminyum matris alaşımı” faktörlerinin AlB_2 yapıları üzerine etkileri.....	92
4.3.2. “ $AlB_{2(katı)} + Al_{(sıvı)}$ ” bölgesinde “tutma zamanı” ve “tutma sıcaklığı” faktörlerinin AlB_2 yapıları üzerine etkileri	101
4.4. Doğrudan döküm yöntemi ile AlB_2 kompozitlerin üretimine yönelik deneysel sonuçlar.....	109
4.4.1. Doğrudan ve su soğutmalı yolluk sistemi ile üretilen kompozitlerinin karşılaştırılmasına yönelik olarak yapılan deneylere ait sonuçlar	109
4.4.2. Su soğutmalı yolluk sistemi ile doğrudan döküm yöntemi ile üretilen yüksek aspekt oranlı AlB_2/Al , $AlB_2/Al-Si$, $AlB_2/Al-Cu$ ve $AlB_2/Al-Mg$ kompozitlerden elde edilen sonuçlar	111
4.5. AlB_2 Kompozitlerinde takviye içeriklerinin artırılmasına yönelik yapılan deneylere ait sonuçlar.....	116
4.5.1. AlB_2 takviye içeriklerinin tek adımlı doğrudan döküm yöntemi ile artırılmasına yönelik optimizasyon çalışmalarından alınan sonuçlar	117
4.5.2. AlB_2 takviye içeriklerinin savurma döküm yöntemi ile artırılmasına yönelik deneysel sonuçlar	122
4.5.3. Ezme döküm yöntemi ile AlB_2 takviye içeriklerinin artırılmasına yönelik deneysel sonuçlar.....	130
4.6. Üretilen kompozitlere ait sertlik, çekme ve basma, aşınma, işleme testleri	137
4.6.1. Sertlik test sonuçları	138
4.6.2. Çekme dayanımı test sonuçları	140
4.6.3. Basma dayanımı test sonuçları.....	144
4.6.4. Kesme (işleme) test sonuçları	147
4.6.4.1. Kesme testi.....	147
4.6.4.2. Kesme testleri için kompozit üretimine ait sonuçlar.....	147
4.6.4.3. Kesme(işleme) Test Sonuçları	149
4.6.5. Sürtünme ve aşınma test sonuçları.....	151

BÖLÜM 5. SONUÇLARININ İRDELENMESİ.....	153
BÖLÜM 6. GENEL SONUÇLAR.....	182
KAYNAKLAR	186

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

V_f	:Takviye oranı
V_m	:Matris oranı
σ_m	:Matris oranı mukavemeti
σ_f	:Fiber çekme mukavemeti
σ_K	:Kompozit çekme mukavemeti.
V_{Mim}	:Kritik takviye hacim oranı
E_f	:Takviye elastik modülü
E_m	:Matris elastik modülü
E_K	:Kompozit elastik modülü
DRA	:Alüminyum matrisli kısa fiber takviyeli kompoziti
DRTi	:Titanyum matrisli kısa fiber takviyeli kompoziti
SS	:Kareler toplamı
SS_e	: Hata kareler toplamı
SS_T	: Toplam kareler toplamı
S/N	: Sinyal Gürültü oram
S^2	: Gözlem değerlerinin varansı
SS_{ep}	: Pooling varyasyonu
V_{ep}	: Pooling varyansı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2. 1.	Linberg tüp fırın şematik gösterimi	6
Şekil 2. 2.	Şematik ergimiş metal kesit görüntüsü	7
Şekil 2. 3.	a) 1360 °C’de Boraks ilavesi ile, b) 1360 °C’de Bor oksit ilavesi ile ve c) 900 °C’de Boraks ilavesi ile üretilen numuneye ait mikro yapı görüntüsü	8
Şekil 2. 4.	Üretilen Al-3 wt.%B master alaşımına ait SEM görüntüsü.....	10
Şekil 2. 5.	Üretilen Al-3 wt.%B master alaşımına ait XRD analizi.....	10
Şekil 2. 6.	Al-B ikili faz diyagramı	12
Şekil 2. 7.	Al-%2B Master alaşımı.....	13
Şekil 2. 10.	a) Al-2% B belirli bir oryantasyona sahip master alaşımı b) Al-2 % B master alaşımının 1050 °C’de 24 saat ısıl işlem sonrası	15
Şekil 2. 11.	AlB ₂ kristal kafes yapısı	15
Şekil 2. 12.	Isıl çevrim şeması	16
Şekil 2. 13.	a)800 C’de 70 saat bekleme sonrası, b.)su ortamında ve c.) su ortamında katılaşma sonrası AlB ₂ kristal yapıları.....	17
Şekil 2. 14.	Kompleks yapıya sahip α-AlB ₁₂ kristal kafes görünümü.....	18
Şekil 2. 15.	Al-1,8B çözeltilisinin 1300 C’de a) argon atmosferi altında, b) yağ, c) su ve d) tuzlu su ortamında katılaşma sonrası mikro yapı görüntüsü	21
Şekil 2. 16.	900 C’de a) beklemesiz, b) 1 saat, c) 20 saat ve d) 70 saat bekleme sonrası alınan mikro yapı görüntüsü	22
Şekil 2. 17.	AlB ₂ Fleyklerini filtreleme düzeneği	26

Şekil 2. 18.	Isıl çevrim şeması	26
Şekil 2. 19.	a) master alaşımı, b) % 4, c) % 10 ve d) % 20 AlB ₂ kompoziti	27
Şekil 2. 20.	a) Al-Cu matris alaşımı b) %10 ve c) %20 AlB ₂ /Al-Cu kompozitine ait SEM görüntüsü	29
Şekil 2. 21.	% 20 AlB ₂ /Al-Cu kompozitine ait kırık yüzey SEM görüntüsü a) kırık yüzey A ve b) karşı kırık yüzey B	30
Şekil 2. 22.	Al-%4 B kompozitine ait mikro yapı görüntüsü.....	31
Şekil 2. 23.	Al-%5 Cu-%4 B kompozitine ait mikro yapı görüntüsü.....	31
Şekil 2. 24.	Düşük aspekt oranlı AlB ₂ kompozitine ait kırık yüzey SEM görüntüsü ve kırık yüzeye ait EDX analizi.....	33
Şekil 2. 25.	Savurma döküm sistemi şematik görünümü.....	34
Şekil 2. 27.	Mesafeye bağlı olarak takviye içeriği değişimi	35
Şekil 2. 28.	Mesafeye bağlı olarak vickers mikro sertlik değişimi	35
Şekil 2. 29.	Kalıp iç yüzeyinden mesafeye bağlı olarak hacimsel aşınma kaybı.....	36
Şekil 3. 1.	Sentezleme işlemine alınmadan önce hazırlanan bor cevherlerine ait makro yapı görüntüleri	39
Şekil 3. 2.	İndüksiyon eğritme sistemi.....	41
Şekil 3. 3.	İndüksiyon ocak görüntüsü.....	42
Şekil 3. 4.	İndüksiyon bobini ve içerisinde ergitme potasının görünümü	43
Şekil 3. 5.	Düşük eğritme sıcaklıkları için Elektrik Direnç Ergitme ocağı	44
Şekil 3. 6.	Düşey eksenli Savurma Döküm Makinesi	45
Şekil 3. 7.	Ezme döküm sistemi ve üzerinde filtreleme kalıbı.....	46
Şekil 3. 8.	Su soğutmalı yolluk sistemi.....	47

Şekil 3. 9.	Savurma döküm kalıbı ve ölçüleri	48
Şekil 3. 10.	İndüksiyon bobini için çelik pota.....	49
Şekil 3. 11.	Üç bölmeli çelik pota	50
Şekil 3. 12.	AlB ₂ borür yapılarının sentezlenmesine yönelik ısıtım çevrim şeması	52
Şekil 3. 13.	200 gr'lık sıvı alüminyumun kalıp içerisinde görünümü	54
Şekil 3. 14.	Üç farklı potada katılaştırılan numunelerin soğuma eğrileri	55
Şekil 3. 15.	Su soğutmalı yolluk sistemi temsili görüntüsü.....	57
Şekil 3. 16.	Doğrudan döküm yönteminde kullanılan grafit pota ve döküm sonrası üretilmiş AlB ₂ kompoziti	58
Şekil 3. 17.	a) 100 cm ² , b) 75 cm ² 'lik bor oksit temas yüzey alanı için kalıp geometrisi	59
Şekil 3. 18.	Savurma döküm kalıbı ve içerisinde savurma pota görüntüsü	61
Şekil 3. 19.	Savurma döküm yöntemi ile üretilen kompozitler üzerinden karakterizasyon amacı ile belirlenen bölgeler.....	62
Şekil 3. 20.	a) ezme döküm yöntemi ile üretilen kompozit görüntüsü, b) kompozitler üzerinden hazırlanan test numuneleri ve c) test numunelerinin temsili görüntüsü ve ölçüleri	64
Şekil 3. 21.	AlB ₂ borür yapılarının genişlik ve kalınlık ölçümleri.....	65
Şekil 3. 22.	a) 5 dak 0,02 µm'luk elmas pasta ile parlatma sonrası, b) 15 dk 0,02 µm'luk elmas pasta ile parlatma sonrası optik görüntü.....	66
Şekil 3. 23.	Tipik bir % porozite ölçümü.....	67
Şekil 3. 24.	Tipik tane boyut ölçümü	68
Şekil 3. 25.	Yaş analiz yöntemi düzeneği ve ekipmanları	69
Şekil 3. 26.	Yaşlanma ısıtım işlem çevrim şeması(T6 ısıtım işlemi)	72

Şekil 3. 27.	Deneyde kullanılan sistem donanımı	75
Şekil 3. 28.	Gelen kesme kuvvetlerinin hazırlanan yazılımda görünümü	76
Şekil 4. 1.	Tipik bir bor mineralinin ilavesi ile üretilen deney numunesine ait makro yapı görüntüsü deney numunesine ait makro yapı görüntüsü.....	85
Şekil 4. 2.	Alüminyum matris alaşımı ve AlB_2 borür yapılarının yer aldığı bölümden alınan XRD analiz sonucu	86
Şekil 4. 3.	Alüminyumun bor oksit ile reaksiyonu sonucunda oluşan cüruf tabakası üzerinden alınan XRD analiz sonucu.....	86
Şekil 4. 5.	a) %37 HCl çözeltisi ile 5 dak. dağlama sonrasında numuneler üzerinden alınan SEM görüntüsü ve b) AlB_2 borür yapısının mikroskop lamı üzerinde optik mikroskop görüntüsü.....	88
Şekil 4. 6.	a)1400 °C’de silisyum katkılı alüminyum matris alaşımı kullanılarak 7 °C/sn soğuma hızında üretilen 4 no’lu deney numunesine b) 5 °C/sn soğuma hızında 5 no’lu deney numunesine ve c) 3,3 °C/sn soğuma hızında 6 no’lu deney numunesine ait mikro yapı görün	96
Şekil 4. 7.	a)1400 °C’den 5 °C/sn soğuma hızında saf Al, b) Al-Si, c) Al-Cu ve d) Al-Mg alüminyum matris alaşımı kullanılarak üretilen deney numunelerine ait mikro yapı görüntüsü	97
Şekil 4. 8.	1400 °C’den 3,3 °C/sn soğuma hızında a) saf Al, b)Al-Si c) Al-Cu ve d) Al-Mg alüminyum matris alaşımı kullanılarak üretilen sırası ile 3, 6, 9 ve 12 no’lu deney numunesine ait mikro yapı görüntüsü.....	98
Şekil 4. 9.	a) 1400 °C’den 7 °C/sn ve b) 3,3 °C/sn soğuma hızında katkısız alüminyum matris alaşımı kullanılarak üretilen 1 ve 3 no’lu deney numunelerine ait SEM görüntüsü.....	99
Şekil 4. 10.	Al-Si alüminyum matris alaşımı ile a)7 °C/sn, b) 5 °C/sn ve c) 3,3 °C/sn soğuma hızında üretilen numuneye ait optik mikroskop görüntüsü	101

Şekil 4. 12.	a) 900 °C’de 20 dak. bekleme sonrası elde edilen 7 no’lu deney numunesine, ve b) 900 °C’de 60 dak. bekleme sonrası elde edilen 8. deney numunesine ait mikro yapı görüntüsü	106
Şekil 4. 13.	a)700 °C’de 60 dak. bekleme sonrası elde edilen 2 no’lu deney numunesine, b) 800 °C’de 60 dak. bekleme sonrası elde edilen 4 no’lu Deney numunense ve c) 900 °C’de 60 dak. bekleme sonrası elde edilen 8 no’lu deney numunesine ait mikro yapı görüntüsü	107
Şekil 4. 14.	a) 900 °C’de 20 dak. ve b) 180 dak. bekleme sonrası elde edilen 7 ve 9 no’lu deney numunesine ait mikro yapı görüntüsü.....	108
Şekil 4. 15.	900 °C’de 20 dak. ve 180 dak bekleme sonrası elde edilen 7 ve 9 no’lu deney numunesine ait SEM görüntüsü.....	109
Şekil 4. 16.	a) Doğrudan ve b) Su soğutmalı yolluk üzerinden grafit potaya yapılan döküm numunelerine ait mikro yapı görüntüsü	110
Şekil 4. 17.	1400 °C’de su soğutmalı yolluk sistemi üzerinden dökülerek üretilen a)AlB ₂ /Al, b)AlB ₂ /Al-Si, c) AlB ₂ /Al-Cu ve d) AlB ₂ /Al-Mg kompozitlerine ait mikro yapı görüntüsü.....	112
Şekil 4. 18.	1400 °C’de su soğutmalı yolluk sistemi üzerinden dökülerek üretilen a)AlB ₂ /Al, b)AlB ₂ /Al-Si, d) AlB ₂ /Al-Cu kompozitlerine ait SEM görüntüsü	113
Şekil 4. 19.	Faktörlerinin grafiksel gösterimi	120
Şekil 4. 20.	Tutma zamanı ve Bor oksit yüzey alını faktörlerinin karşılıklı etkileşim (A x C) grafığı	121
Şekil 4. 21.	Faktörlerinin sistem üzerindeki dereceleri	122
Şekil 4. 22.	savurma döküm yöntemi ile üretilen AlB ₂ kompozitine ait makro yapı görüntüsü.....	123
Şekil 4. 23.	a)Master AlB ₂ kompozitine, b) AlB ₂ ’ce zengin ve fakir bölgelerin yer aldığı ara bölgeye, c) AlB ₂ ’ce fakir ve d) AlB ₂ ’ce zengin bölgeye ait optik mikroskop mikro yapı görüntüsü	124

Şekil 4. 24.	a) AlB_2 master kompozitine ve b) AlB_2 'ce zengin bölgeye ait SEM görüntüsü.....	125
Şekil 4. 25.	AlB_2/Al kompoziti 1, 3 ve 6. Bölgeye ait mikro yapı görüntüsü	130
Şekil 4. 26.	a) %3 AlB_2 takviye içeriğine sahip master kompozite b) 20 bar'lık basınç altında üretilen, c) 60 Bar basınç altında (basınç yönüne paralel) ve d) 60 Bar basınç altında (basınç yönüne dik) üretilen kompozitlere ait mikro yapı görüntüsü....	132
Şekil 4. 27.	a) 20 bar basınç altında b) 60 Bar basınç altında üretilene kompozitlere ait 5x büyütmede mikro yapı görüntüleri.....	133
Şekil 4. 28.	a) %3 AlB_2 takviye içeriğine sahip master kompozite b) 20 bar basınç altında üretilen, c) 60 Bar basınç altında (basınç yönüne paralel) ve d) 60 Bar basınç altında (basınç yönüne dik) üretilen kompozitlere ait SEM görüntüleri.....	134
Şekil 4. 29.	Savurma döküm yöntemi ile üretilen a)% 10 AlB_2/Al , b) %10 $AlB_2/Al-Cu$ ve c)%10 $AlB_2/Al-Si$ kompozitleri ve matris alaşımlarına ait çekme-uzama eğrileri	141
Şekil 4. 30.	Ezme döküm yöntem ile üretilen a)% 30 AlB_2/Al kompoziti ve matris alaşımı, b) % 30, %10 ve matris alaşımlarına ait çekme-uzama eğrileri	142
Şekil 4. 31.	Kompozitlere ait tipik bir kırık yüzey SEM görüntüsü.....	144
Şekil 4. 32.	Ezme döküm yöntem ile üretilen a)% 30 AlB_2/Al kompoziti ve b) %30 $AlB_2/Al-Cu$ kompoziti ve matris alaşımlarına ait basma gerilmesi eğrileri.....	145
Şekil 4. 33.	İşleme testleri için üretilen kompozit görüntüsü	148
Şekil 4. 34.	a) AlB_2 'ce zengin ve fakir bölgeye ait makro yapı, b) AlB_2 'ce zengin ve fakir ara bölgeye ait mikro yapı görüntüsü	149
Şekil 5. 1.	1400 °C'de boraks, borik asit ve bor oksit ilavesi ile üretilen kompozitlere ait a) % AlB_2 oranları ve (b) alüminyum kaybı.....	154
Şekil 5. 2.	a) 1400 °C'de boraks, borik asit ve bor oksit ilavesi ile sentezlenen AlB_2 borür yapılarının ortalama aspekt oranı ve b) porozite ve yoğunluk değişimi	155

Şekil 5. 3.	1400 °C’de soğuma hızına bağlı olarak AlB_2 kalınlık ve genişlik değişimleri	157
Şekil 5. 4.	800 °C’de “ $AlB_{2(katı)} + Al_{(sıvı)}$ ” bölgesinde tutma sıcaklığı değişimine karşılık AlB_2 borür yapılarının genişlik ve kalınlık değişimleri	158
Şekil 5. 5.	800 °C’de “ $AlB_{2(katı)} + Al_{(sıvı)}$ ” bölgesinde tutma zamanı değişimine karşılık AlB_2 borür yapılarının genişlik ve kalınlık değişimleri.....	158
Şekil 5. 6.	Soğuma hızına bağlı olarak kompozitlerde tane boyut değişimi.....	160
Şekil 5. 7.	Su soğutmalı yolluk sistemi ile üretilen kompozitlere ait ortalama a) % AlB_2 oranı ve b) ortalama % porozite ve yoğunluk değişimleri	161
Şekil 5. 8.	Su soğutmalı yolluk sistemi ile üretilen kompozitlere ait ortalama AlB_2 a) genişlik ve b) kalınlık değişimi.....	162
Şekil 5. 9.	Savurma döküm numunesinde AlB_2 ’ce fakir ve AlB_2 ’ce zengin bölgeye ait % AlB_2 takviye oranı değişimi	164
Şekil 5. 10.	Melgarejo ve arkadaşlarına ait savurma yönüne bağlı olarak AlB_2 takviye oranı değişimi	165
Şekil 5. 11.	a) Savurma döküm öncesi ve sonrası kompozit türlerine karşılık % AlB_2 takviye oranı değişimi, b) Savurma döküm yöntemi ile üretilen kompozitlere ait teorik ve gerçek yoğunluk değerleri değişimi	165
Şekil 5. 12.	a) Kalıp dış yüzeyinden iç kısmına doğru belirlenen altı bölgeye ait % mikro porozite değişimi ve b) AlB_2 ’ce zengin ve AlB_2 ’ce fakir bölgelere ait ortalama % mikroporozite değişimi	166
Şekil 5. 13.	Kalıp dış yüzeyinden iç kısmına doğru belirlenen altı bölgeye ait ortalama tane boyut değişimi	167
Şekil 5. 14.	Savurma döküm yöntemi ile üretilen kompozitlere ait ortalama AlB_2 uzunluk ve aspekt oranları ve b) kalınlık değişimi	168

Şekil 5. 15.	a) Ezme Döküm yöntemi ile üretilen kompozitlere ait ortalama % AlB_2 değişimi ve b) Ezme döküm yöntemi ile üretilen kompozitlere ait ortalama % porozite değişimi	169
Şekil 5. 16.	Ezme döküm yöntemi ile üretilen kompozitlere ait ortalama yoğunluk değişimi	170
Şekil 5. 17.	Ezme Döküm yöntemi ile üretilen kompozitlere ait ortalama uzunluk, kalınlık ve aspekt oranı değişimi	171
Şekil 5. 18.	Kalıp dış yüzeyinden iç yüzeyine doğru belirlenen altı bölgeye ait T6 işlemi öncesi ve sonrası ortalama HB sertlik değişimi.....	173
Şekil 5. 19.	Ezme döküm yöntemi ile üretilen kompozitlerde takviye oranına bağlı sertlik değişimi	174
Şekil 5. 20.	Savurma döküm yöntemi ile üretilen AlB_2/Al , $AlB_2/Al-Si$ ve $AlB_2/Al-Cu$ kompozit ve matris alaşımlarına ait akma ve çekme gerilimleri	175
Şekil 5. 21.	Ezme döküm yöntemi ile üretilen AlB_2/Al ve $AlB_2/Al-Cu$ kompozit ve matris alaşımlarına ait akma ve çekme gerilimleri.....	176
Şekil 5. 22.	Ezme döküm yöntemi ile üretilen AlB_2/Al ve $AlB_2/Al-Cu$ kompozit ve matris alaşımlarına ait basma çekme ve akma gerilimleri	178
Şekil 5. 23.	a)sürtünme hız ve b) sürtünme yükünün artmasına bağlı olarak matris ve kompozitlere ait sürtünme katsayısı değişimleri	179
Şekil 5. 24.	a)sürtünme hız ve b) sürtünme yükünün artmasına bağlı olarak matris ve kompozitlere ait kütle kaybı değişimleri.....	179
Şekil 5. 25.	Matris ve kompozit malzemelerine ait a) 500 m/dk ve b) 1000 m/dk kesme hızında ilerleme hızına karşılık F_z kesme kuvveti değişimi	180
Şekil 5. 26.	Matris ve kompozit malzemelerine ait a) 500 m/dk ve b) 1000 m/dk kesme hızında ilerleme hızına karşılık R_a değişimi.....	181

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2. 1.	Bazı $Al_{(s)} + AlB_{2(K)} = AlB_{2(K)}$ peritektik sıcaklık değerleri	12
Tablo 2. 2.	Üç farklı soğuma rejimi ile sentezlenen AlB_2 kristallerinin latis ölçüleri, yoğunluk ve kimyasal analiz sonuçları.....	16
Tablo 2. 3.	Soğuma ortamına bağlı olarak AlB_2 yapılarının boyut değişimi.....	20
Tablo 2. 4.	900 °C’de tutma zamanına bağlı olarak AlB_2 yapılarının boyut değişimi.....	23
Tablo 2. 5.	“ $Al_{(s)} + AlB_{2(k)}$ ” bölgesinde soğuma hızına bağlı olarak AlB_2 yapılarının boyut değişimi	23
Tablo 2. 6.	Farklı kompozisyona sahip kompozitlerde AlB_2 boyutsal değişimi.....	24
Tablo 2. 7.	Takviye içeriğine bağlı olarak AlB_2 yapılarının boyut değişim	28
Tablo 2. 8.	% 4, % 10 ve % 20 takviye içeriğine sahip kompozit ve matris alaşımın basma dayanımı ve çekme dayanımı test sonuçları.....	29
Tablo 2. 9.	Düşük aspekt oranlı AlB_2 kompozitlerinin ortalama çekme testi sonuçları.....	32
Tablo 3. 1.	Matris alaşımı olarak seçilen alüminyum alaşımları ve % kimyasal kompozisyonu	37
Tablo 3. 2.	AlB_2 borür yapılarının sentezlenmesinde kullanılan bor mineralleri ve % B oranı	38
Tablo 3. 3.	30 gr’lik alüminyum için %3 bor eldesi dikkate alınarak hesaplanan mineral miktarları ve alüminyum kaybı.....	51
Tablo 3. 4.	Soğuma hızı ve Matris alaşımı faktörlerinin seviyeleri ve değerleri	53
Tablo 3. 5.	“ $AlB_{2(Katı)} + Al_{(Sıvı)}$ ” bölgesinde tutma zamanı ve sıcaklık faktör ve seviyeleri	56

Tablo 3. 6. Tek adımlı AlB ₂ takviye içeriğinin artırılması yönelik yapılan deneyler ait faktör ve seviye değerleri	59
Tablo 3. 7. L ₈ ortogonal serisi faktör ve seviye değerleri.....	60
Tablo 3. 8. Aşınma ve sürtünme testleri için belirlenen faktör, seviye ve seviye değerleri ..	73
Tablo 3. 9. Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlüğü testleri için belirlenen faktör ve seviye değerleri.....	74
Tablo 3. 10. Kayıp Fonksiyonu Tipleri	76
Tablo 3. 11. Ortogonal dizilerden L ₄ ve L ₉	77
Tablo 4.1. Bor minerali ilavesi ile üretilen deney numunelerine ait % B değerleri, ortalamaları ve ortalama % B dikkate alınarak hesaplanan % AlB ₂ oranları.....	89
Tablo 4. 2. Bor minerali ilavesi ile sentezlenen AlB ₂ borür yapılarına ait genişlik, kalınlık ve aspekt oranları ve bunlarının ortalamaları.....	90
Tablo 4. 3. Bor minerali ilavesi ile üretilen numunelerden ölçülen yoğunluk değerleri ve ortalamaları.....	91
Tablo 4. 4. Bor minerali ilavesi ile üretilen numunelere ait % porozite ölçümleri ve ortalamaları.....	91
Tablo 4. 5. Deneysel parametreler ve AlB ₂ genişlik ölçümleri ve bunlarının ortalamaları	93
Tablo 4. 6. Deneysel parametreler ve AlB ₂ kalınlık ölçümleri ve bunlarının ortalamaları	94
Tablo 4. 7. Deneysel parametreler ve AlB ₂ aspekt oranları ve bunlarının ortalamaları.....	95
Tablo 4. 8. Farklı soğuma hızlarında üretilen numunelere ait matris alaşımı tane boyut değerleri ve ortalamaları.....	99
Tablo 4. 9. “AlB ₂ (Siv1) + Al(Siv1)” bölgesinde “tutma zamanı” ve “tutma sıcaklığı” parametrelerine bağlı olarak ölçülen AlB ₂ genişlikleri ve bunlarının ortalama değerleri	102

Tablo 4. 10. “AlB ₂ (katı) + Al(sıvı)” bölgesinde “tutma zamanı” ve “tutma sıcaklığı” parametrelerine bağlı olarak ölçülen AlB ₂ kalınlıkları ve bunlarının ortalama değerleri.....	103
Tablo 4. 11. “AlB ₂ (katı) + Al(sıvı)” bölgesinde “tutma zaman” ve “tutma sıcaklığı” parametrelerine bağlı olarak ölçülen AlB ₂ aspekt oranları ve bunlarının ortalama değerleri.....	104
Tablo 4. 12. Doğrudan grafit potaya dökülerek üretilene döküm numunesine ait AlB ₁₂ ve AlB ₂ boyutları.....	111
Tablo 4. 13. Su soğutmalı yolluk sistemi kullanılarak elde edilen numuneler üzerinden alınan % B, ortalama %B ve % AlB ₂ oranları	114
Tablo 4. 14. Su soğutmalı yolluk sistemi kullanılarak elde edilen kompozitlere ait AlB ₂ boyutları ve aspekt oranları	115
Tablo 4. 15. Su soğutmalı yolluk sistemi kullanılarak üretilen kompozitlere ait % porozite ölçüm değerleri ve bunlarının ortalama değerleri.....	116
Tablo 4. 16. Su soğutmalı yolluk sistemi kullanılarak üretilen kompozitlere ait yoğunluk ölçümleri ve bunlarının ortalama değerleri	116
Tablo 4. 17. Taguchi deney metodu için deney numunelerinden ölçülen % B değerleri, buların ortalamaları ve S/N oranları	117
Tablo 4. 18. S/N oranlarına göre faktör seviyeleri ortalaması	118
Tablo 4. 19. ANOVA varyans analiz tablosu	119
Tablo 4. 20. A2D1 optimum şartları için tahminin ortalama S/N oranları ve % B değerleri ve güven aralıkları	120
Tablo 4. 21. AlB ₂ /Al-Cu kompozitine ait % B ölçümleri.....	125
Tablo 4. 22. savurma işlemi sonrasında AlB ₂ 'ce zengin bölgelerden alınan %B değerleri, bunlarının ortalamaları, ortalama % B değerleri dikkate alınarak hesaplanan % AlB ₂ oranları.....	126

Tablo 4. 23. Savurma döküm sonrasında AlB_2 'ce zengin (kompozit) ve fakir (matris) bölgelerden alınan yoğunluk ölçümleri ve ortalamaları.....	127
Tablo 4. 24. Yoğunluk karşılaştırma tablosu	128
Tablo 4. 25. Kalıp dış yüzeyinden iç yüzeyine doğru belirlenen altı bölgeye ait % porozite ölçüm değerleri	128
Tablo 4. 26. Kalıp dış yüzeyinden iç yüzeyine doğru belirlenen altı bölgeye ait ortalama tane boyut değeri	129
Tablo 4. 27. Master kompoziti, 20 ve 60 bar basınç altında ezme döküm yöntemi ile üretilen AlB_2/Al ve $AlB_2/Al-Cu$ kompozitine ait % B değerleri, bunlarının ortalamaları ve % AlB_2 oranları.....	135
Tablo 4. 28. Master kompoziti, 20 ve 60 bar'lık basınç altında Ezme döküm yöntemi ile üretilen $AlB_2/Al-Cu$ kompozitine ait % porozite ölçümleri ve bunlarının ortalamaları.....	136
Tablo 4. 29. 20 ve 60 bar'lık basınç altında filtreleme yöntemi ile üretilen AlB_2 kompozitlerine ait AlB_2 genişlik, kalınlık ve aspekt oranları.....	137
Tablo 4. 30. kalıp dış yüzeyinden iç yüzeyine doğru belirlenen altı bölgeye ait T6 işlemi öncesi ve sonrası ölçülen ortalama HB sertlik değerleri verilmiştir.	138
Tablo 4. 31. Savurma döküm sonrası üretilen % 10 AlB_2 içeriğine sahip kompozitler ve matris alaşımlarına ait ortalama HB sertlik değerleri	139
Tablo 4. 32. Ezme döküm yöntemi ile üretilen kompozitlere ait sertlik değeri ve bunlarının ortalamaları.....	140
Tablo 4. 33. Savurma ve ezme döküm yöntemi ile üretilen kompozitlere ait UTS, akma ve % uzama değerleri.....	143
Tablo 4. 34. Ezme döküm yöntemi ile üretilen kompozit ve matris alaşımlarına ait basma gerilmesi ve akma gerilmesi değerleri	146
Tablo 4. 35. İşlem testleri için üretilen kompozite ait % B ve % AlB_2 oranları.....	149

Tablo 4. 36. Kesme deney parametreleri, F_z kesme kuvvetleri ve bunlarının ortalamaları...	150
Tablo 4. 37. Kesme deney parametreleri, R_a yüzey pürüzlülük değerleri ve bunlarının ortalamaları.....	151
Tablo 4. 38. Saf Al matris, % 30 AlB_2/Al ve $AlB_2/Al-Cu$ kompozitlerine ait sürtünme katsayıları	152
Tablo 4. 39. Al matris, % 30 AlB_2/Al ve $AlB_2/Al-Cu$ kompozitlerine ait kütle kayıp değerleri.....	152
Tablo 5. 1. Deppisch ve arkadaşlarına ve deneysel çalışmalara ait AlB_2 takviye oranının bağlı olarak AlB_2 genişlik ve kalınlık değişimleri	172
Tablo 5. 2. $AlB_2/Al-Cu$ kompozit ve Al-Cu matris alaşımına ait mekanik özellikler	177

ÖZET

Bu çalışma 1001 Araştırma Destek Programı Kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenen alüminyum ana yapılı AlB_2 borür takviyeli metal matris kompozitlerin döküm yöntemi ile üretimi ve mekanik özelliklerinin incelenmesine yönelik bir proje çalışmasıdır. Çalışmada ülkemizde bulunan çeşitli bor cevherlerinin ilavesi ile farklı alüminyum matrisleri içerisinde yüksek aspekt oranlı AlB_2 borür takviye yapılarının oluşturulması ve doğrudan döküm yöntemi ile Al- AlB_2 türü metal matrisli kompozit üretimini amaçlayan yeni bir yöntem kullanılmıştır. Kompozit üretimi doğrudan döküm yolu ile (in-situ) gerçekleştirilmiştir. Döküm yöntemi olarak, gravite döküm, savurma döküm ve ezme döküm yöntemlerinden faydalanılmıştır.

SEM, XRD ve yaş analiz tekniklerinin kullanıldığı çalışmada, üretilen kompozitler sertlik, çekme, basma, aşınma ve mekanik işleme testlerine tabi tutulmuştur. Sonuçlar üretilen kompozitlerin takviye oranlarının artmasına bağlı olarak sertlik, çekme ve basma dayanımlarında % 300 oranına kadar artış olduğunu göstermiştir. Üretilen kompozitlerin sürtünme katsayılarının ve ağırlık kayıplarının ise matris alaşımına göre daha düşük olduğu görülmüştür. Sonuçlar ayrıca Al- AlB_2 türü metal matrisli kompozitlerin otomobil fren diskleri gibi hafiflik ve yüksek aşınma dayanımı gerektiren yerlerde kullanım potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Metal matrisli kompozitler, İn-situ kompozitler, Alüminyum borür, AlB_2 , Al-B alaşımı, Bor, Bor oksit.

ABSTRACT

This study is aimed at investigating the manufacturing and mechanical properties of an aluminum based cast metal matrix composites which is supported by TÜBİTAK through the 1001 Research Support Program. During the study, to produce high aspect AlB_2 boride reinforcing for Al- AlB_2 type metal matrix composite a new method of direct casting has been used. Production of the composite was realized in-situ (directly from the melt) via casting. Gravity casting, centrifugal casting and squeeze casting have been employed as casting methods.

As characterization and property measurements of the composites, SEM, XRD and wet chemical analysis techniques, hardness, tensile and compression tests and machining were used. Results showed that, depending on the increase in the reinforcement phase up to 300 % increase in the strength of the composite has been achieved. The friction coefficients and material lost during sliding wear of the produced composites have been lower compared to their matrix. Results also showed that the new Al- AlB_2 type metal matrix composites have high potential to use for such parts where a high wear resistance and high strength are necessary as automotive brake rotors.

Key words: Metal matrix composites, In-situ composites, Aluminium boride, AlB_2 , Al-B alloys, Boron, Boron okside.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Metal matrisli kompozitler, sürekli fiber, kısa fiber ve partikül takviyeli metal matrisli kompozitler şeklinde üç ana başlık altında sınıflandırmaktadır. Sürekli fiber takviyeli kompozitler fiber yönünde yüksek mekanik özelliklere sahipken, Kısa fiber ve partikül takviyeli kompozitlerinin üretim kolaylığı, düşük üretim maliyeti ve ikincil üretim olanaklarına sahiptir. Kısa fiber ve partikül takviyeli alüminyum ana yapılı kompozitlerin (DRA) yüksek spesifik özellikleri ve düşük üretim maliyetleri nedeni ile özellikle otomotiv, havacılık ve uzay endüstrisinde yaygın olarak tercih edilmektedir. Özellikle otomotiv parçaları için yüksek spesifik dayanım, modül, iyi aşınma direnci gibi özelliklere sahip olan DRA metal matris kompozitler fren rotorları, fren caliperleri, motor blokları, motor silindirleri ve motor pistonları gibi birçok otomotiv parçaları için geniş bir üretim potansiyeline sahiptir(Miracle, 2001).

Metal matrisli kompozitlerin üretimleri in-situ ve ex-situ üretim teknikleri ile yapılabilmektedir. İn-situ üretim tekniğinin de güçlendirici elemanlar sonrada karıştırma döküm, infiltrasyon, toz metalürjisi teknikleri kullanılarak doğrudan yapılmaktadır. Zor, pahalı ve problemlili bir yöntem olan ex-situ üretim yönteminde güçlendirici fazının matris tarafından ısıtılması ve homojen bir yapının elde edilmesi oldukça güçtür. Ex-situ üretim tekniğine nazaran daha avantajlı olan in-situ üretim yönteminde, güçlendirici fazın matris içerisinde yer alan element ve bileşiklerin (reaktans elementler ve bileşikler) ekzotermik reaksiyonu sonucunda kendiliğinden oluşur. Güçlendirici fazın dışarıdan herhangi bir mekanik bir etkiye maruz kalmadan matris içerisinde kendiliğinden oluşması kompozite, homojen dağılım, mükemmel ara yüzey bağına ve termodinamik olarak kararlılık gibi bir takım üstün özellikler kazandırmaktadır(Tjong, 2000).

Son on beş yılda üzerinde çalışılmaya başlanan alüminyum ana yapılı AlB_2 kompozitleri, diğer SiC ve Al_2O_3 takviyeli kompozitler de olduğu gibi yüksek spesifik mekanik ve fiziksel özelliklere sahiptir. İn-situ üretim yöntemi ile de üretim potansiyeline sahip olan alüminyum ana yapılı AlB_2 kompozitleri, döküm gibi basit üretim teknikleri kullanılarak kolaylıkla üretilmektedir(Hall, 1999).

Piyasada alüminyum alaşımlarının dökümünde tane inceltici katkı(Nafisi, 2007; Nafisi, 2006; Birol, 2006; Birol, 2007; Birol, 2008) ve alüminyum ve alaşımlarının iletkenliğinin artırmak amacı ile kullanılan ticari Al-B alaşımları(Cooper, 1996; Cooper, 1997; Karabay, 2008; Karabay, 2005; Karabay, 2006), alüminyum ana yapılı AlB_2 kompozitlerinin üretiminde geniş bir kullanım potansiyeline sahiptir. Yüksek performanslı AlB_2 kompozitlerinin üretilmesi için Al-B ikili sistemlerinin çok iyi bilinmesi gereklidir. Ticari Al-B ikili alaşımları, KBF_4 florit tuzları kullanılarak yaklaşık 800 °C'de üretildikleri için yapılarında düşük aspekt oranlı AlB_2 ve AlB_{12} borür fazlarını içermektedir(Wang, 2005). Yapı içerisinde yer alan kompleks şekilli AlB_{12} borürleri gevrek ve kırılğan özelliğe sahiptir ve yüksek mekanik özelliklerinin elde edilmesi için matris içerisinde yer alması istenmemektedir. Alaşım içerisinde yer alan düşük aspekt oranlı AlB_2 ve kompleks şekle sahip AlB_{12} borürlerinin elemine edilebilmesi için Al-B alaşımın yüksek sıcaklığa (yaklaşık 1300-1400 °C) çıkılarak borürlerin burada sıvı alüminyum tarafından çözülmesi gerekmektedir. Al-B eriyiği içerisinde yer alan borun yüksek aspekt oranlı AlB_2 borür yapılarına dönüşebilmesi için ise bu yüksek sıcaklıktaki Al-B eriyiğinin hızlı bir şekilde oda sıcaklığına soğutulması gerekmektedir(yaklaşık > 50°C/dk)(Deppisch, 1997).

İn-situ üretim tekniği ile üretim imkanına sahip olan AlB_2 kompozitlerinde, takviye fazı olan AlB_2 borür yapıları, sıvı Al-B alaşımı içerisinde yer alan bor ve alüminyum atomunun (reaktans elementlerin) ekzotermik reaksiyonları sonucunda kendiliğinden oluşmaktadır(Melgarejo, 2009; Torres, 2007; Suarez, 2003). Üretim parametrelerinin optimizasyonuna bağlı olarak, matris içerisinde kendiliğinden oluşan AlB_2 borür yapıları değişik uzunluk, kalınlık ve aspekt oranlarında (uzunluk/ kalınlık oranı) (29 ile 167) altıgen fleykler şeklinde sentezlenebilmektedir(Deppisch, 1998).

Ticari Al-B alaşımlarının üretiminde, bor kaynağı olarak kullanılan KBF_4 tuzlarının, Bor oksitin (B_2O_3) hidroflorik asit (HF) tarafından indirgenerek üretildikleri için oldukça pahalıdır. Yapılan literatür çalışmalarında AlB_2 kompozitlerinin üretimi için ticari Al-B alaşımlarına alternatif olarak Türkiye için stratejik öneme sahip bor cevherlerinin kullanılabileceği görülmüştür. Hall ve arkadaşlarının oksit redüksiyonu tekniği kullanarak AlB_2 kompoziti üretmeye yönelik olarak yaptıkları çalışmada ülkemiz de bol ve ucuz olarak bulunan bor oksit ve boraks minerallerini kullanmak sureti ile % 10 bor içeriğine sahip Al-B alaşımları ürettikleri rapor etmişlerdir(Hall, 2000-a). Çalışmada Bor oksitin ve boraksın sıvı

alüminyum tarafından redüksiyonunun söz konusu olduğu yöntemde redüksiyon sonrasında katı alümine, sıvı Na ve elementel borun ortaya çıktığı belirtilmiş ve ortaya çıkan katı alümina ve sıvı Na'nın cüruf formunda sıvı alüminyumun üst kısımlarında kaldığı, elementsel borun ise artan redüksiyon sıcaklığına bağlı olarak sıvı alüminyum tarafından çözüldüğü ifade edilmiştir.

Bilindiği gibi kompozitlerin mekanik özellikleri takviye içeriğine bağlı olarak artmakta ve kompozitin mekanik özelliklerinde bir artışının sağlanması için takviye içeriğinin belirli bir kritik değerin üzerinde olması gereklidir. AlB_2 kompozitlerinin üretiminde yüksek takviye içeriğinin sağlanması için yüksek bor içeriğine sahip Al-B çözeltisinin elde edilmesi gereklidir. Al-B ikili faz diyagramı dikkate alındığında borun sıvı alüminyum içerisinde çözünürlüğün çok düşük olduğu görülür. Bor çözünürlüğü $1300\text{ }^\circ\text{C}$ 'de ancak % 2 civarındadır ve bu oran yaklaşık %4 AlB_2 takviye içeriğine denk gelmektedir. Sıvı alüminyum içerisinde çözünen bor miktarının artırılabilmesi için Al-B çözeltisinin $1600\text{--}1700\text{ }^\circ\text{C}$ gibi yüksek sıcaklıklara çıkarılması gereklidir (Hall, 2000-c). Ne var ki bu sıcaklık alüminyumun kaynama sıcaklığına çok yakındır ve bu sıcaklıklarda alüminyum kayıpları fazla olmaktadır. Bu nedenle AlB_2 kompozitlerinin üretiminde bu kadar yüksek sıcaklıklar tercih edilmemektedir.

AlB_2 kompozitlerinde takviye içeriğinin artırılmasına yönelik olarak deppisch ve arkadaşları geliştirmiş oldukları filtreleme sistemi ile bu problemin üstesinden gelmeyi başarmışlardır (Deppisch, 1997). Deppisch'nin grubu önceden $1300\text{ }^\circ\text{C}$ 'de ürettikleri %4 takviye içeriğine sahip AlB_2 kompozitini $700\text{ }^\circ\text{C}$ 'de tekrar ergiterek filtreleme işlemine almışlar ve bu şekilde takviye içeriğini % 40 değerine kadar çıkardıklarının rapor etmişlerdir. Ancak yapılan mikroyapı incelemelerinde yapıda süreksizliklerin mevcut olduğu ve AlB_2 'ce zengin bölgelerde AlB_{12} yapılarının oluşmaya başladığını görülmüştür.

Buna paralel olarak AlB_2 kompozitlerinde takviye içeriğinin artırmaya yönelik olarak Suarez gurubunun yapmış oldukları çalışmada düşük aspekt oranı ve düşük takviye içeriğine sahip ticari Al-B alaşımını, geliştirmiş oldukları Savurma Döküm sistemi yardımı ile derecelendirilmiş (fonksiyonel) bir kompozit üretmişler ve AlB_2 'ce zengin bölgelerde takviye içeriğini %20'lerin üzerine çıkardıklarını rapor etmişlerdir (Pinto, 2006; Duque, 2005).

Suarez gurubu yapıları diğer bir derecelendirilmiş (fonksiyonel) kompozit üretmeye yönelik olarak yapmış oldukları çalışmalarda düşük aspekt oranlı AlB_2 yapılarına sahip ticari Al-B alaşımları kullanmışlardır. Çeşitli oranlarda hacim içeriğine sahip düşük aspekt oranlı AlB_2

kompozitleri geliştirilen savurma döküm sistemi ile 850°C de 20G savurma kuvveti ile savrulmuştur. Savurma işlemi ile yoğunluğu sıvı alüminyumun (2,40gr/cm³) daha yüksek olan AlB₂ (3,17gr/cm³) yapıları kalıp dış bölgelerine savurarak kalıp dış bölgelerinde takviye içeriğini %30'ların üzerine çıktığı ifade edilmiştir(Melgarejo, 2008).

İn-situ üretim yöntemine alternatif olarak Kubota ve arkadaşları AlB₂ kompozitlerinin üretiminde ex-situ üretim yöntemini kullanmışlardır. Mekanik alaşımlama tekniğinin kullanıldığı bu çalışmada %9,5 ve %37,5 takviye içeriğine sahip iki farklı AlB₂ kompoziti üretmişlerdir(Kubota, 2008; Kubota 2004). Yapılan çalışmada 173 Mpa olan matris alaşımın kompratif basma kuvveti %37 AlB₂ takviye içeriği ile 620 MPa'a ve 158 HV sertlik değerine sahip matris alaşımının sertlik değerinin ise % 37 takviye içeriği ile 187 HV değerine çıkardıklarını rapor etmişlerdir.

BÖLÜM 2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Al-B sistemleri

2.1.1. AlB₂ sentezleme teknikleri

AlB₂ kompozitlerinde güçlendirici eleman olarak alüminyum matris alaşımı içerisinde kendiliğinden oluşan AlB₂ borürleri, çeşitli teknikler kullanılarak sentezlenmektedir. Düşük ve yüksek aspekt oranlı olarak iki farklı şekilde sentezlene bilen AlB₂ borürleri, alüminyum matris alaşımı içerisinde yer alan bor ve alüminyum atomlarının ekzotermik reaksiyonları sonucunda kendiliğinden oluşmaktadır.

İn-situ AlB₂ kompozitlerinin üretiminde takviye elemanı olan AlB₂ borür yapılarının sentezlenmesi;

1. Al-B çözeltisinin hazırlanması ve
2. AlB₂ borür yapılarının sentezlenmesi şeklinde iki aşamadan oluşmaktadır.

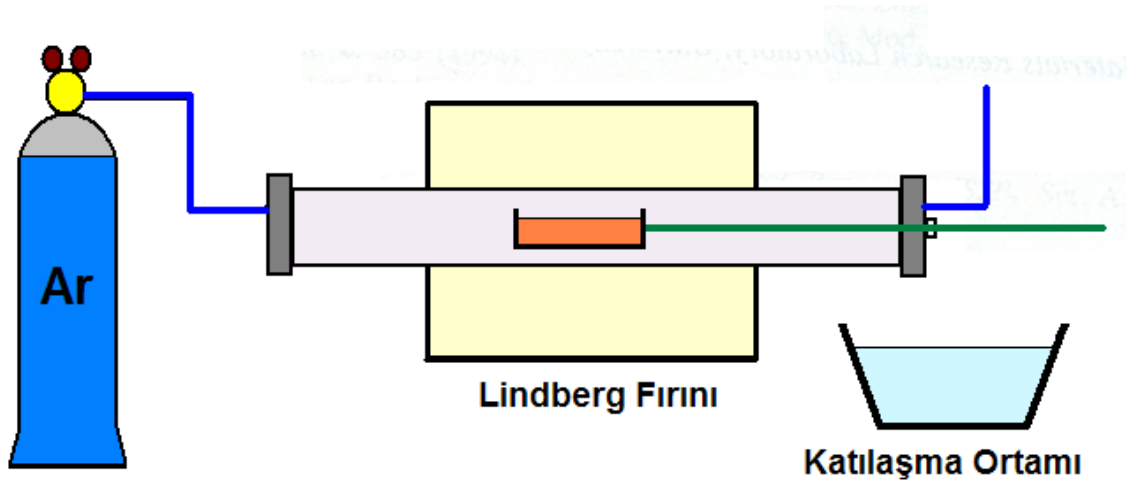
Al-B çözeltisinin hazırlanması genel olarak amorf bor tozları, KBF₄ tuzları, Bor oksit ve boraks minerallerin, sıvı alüminyum içerisine ilavesi ile yapılır iken, AlB₂ borürlerinin sentezlenmesi ise sıvı Al-B çözeltisi içerisinde yer alan bor ve alüminyum atomlarının reaksiyonu ile kendiliğinden oluşmaktadır(Deppisch, 1998).

Al-B çözeltisinin hazırlanmasında;

- a) Basit çözeltilere alma
- b) Oksit redüksiyonu ve
- c) KBF₄ tuzları indirgeme teknikleri şeklinde üçe ayrılmaktadır.

2.1.1.1. Basit çözeltili alma tekniği

Oldukça basit bir yöntem olan basit çözeltili alma tekniğinde, Al-B çözeltisinin hazırlanması %99,9 safiyete sahip atomize amorf bor tozlarının ısı etkisi ile sıvı alüminyuma ilavesi ile yapılmaktadır. Basit bir yöntem olmasına karşın Amorf bor tozlarının üretiminin zor ve pahalı olması bu tekniğin kısıtlamakta ve kompozitlerin üretim maliyetini artırmaktadır.



Şekil 2. 1. Linberg tüp fırın şematik gösterimi(Deppisch, 1998)

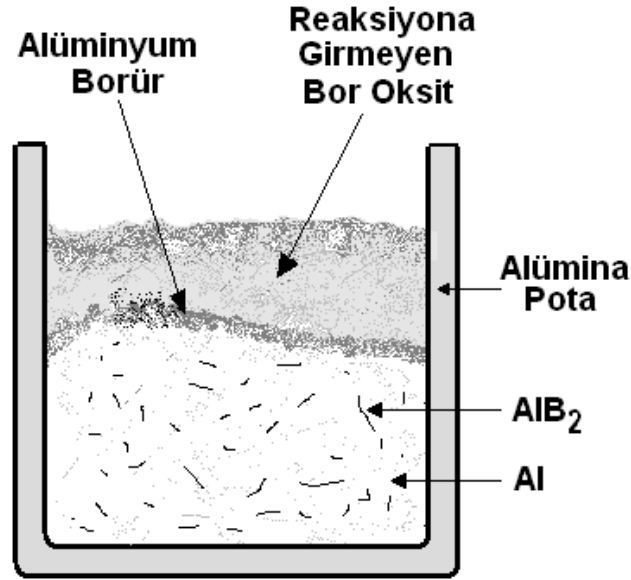
Deppisch ve arkadaşlarının basit çözeltili alma tekniğini yardımcı ile Al-B çözeltisi hazırlamaya yönelik olarak yaptıkları çalışmada, %99,999 safiyette amorf bor tozları ile %99,999 safiyete sahip alüminyum alaşımını Şekil 2.1'de görülen lindberg tüp fırını içerisinde 1300 °C' de 1 saat 6895 Pa basıncında argon atmosferi altında ısıl işleme almışlar ve şekilde % 1,8 bor içeriğine sahip Al-B çözeltisi hazırladıklarını rapor etmişlerdir(Deppisch, 1998).

2.1.1.2. Oksit redüksiyonu tekniği

Oksit redüksiyonu tekniğinde, oksijen içeren bor oksit ve boraksın sıvı alüminyum ile oksitlerin redüksiyonu ve serbest kalan borun sıvı alüminyum tarafından çözeltili alınması söz konusudur. Ülkemizde ucuz ve bol miktarda bulunan bor oksit ve boraksın kullanıldığı bu teknik ile 1000 µm uzunluğunda ve 1µm kalınlığında AlB₂ borür yapıları başarılı bir şekilde sentezlene bilmektedir.

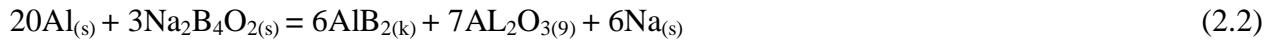
Hall ve Economy (Hall, 2000-a) yaptıkları çalışmada boraks ve bor oksit kullanarak yüksek aspekt oranlı AlB₂ yapılarını oluşturduklarını ifade etmişlerdir. Hall ve Economy yaptıkları

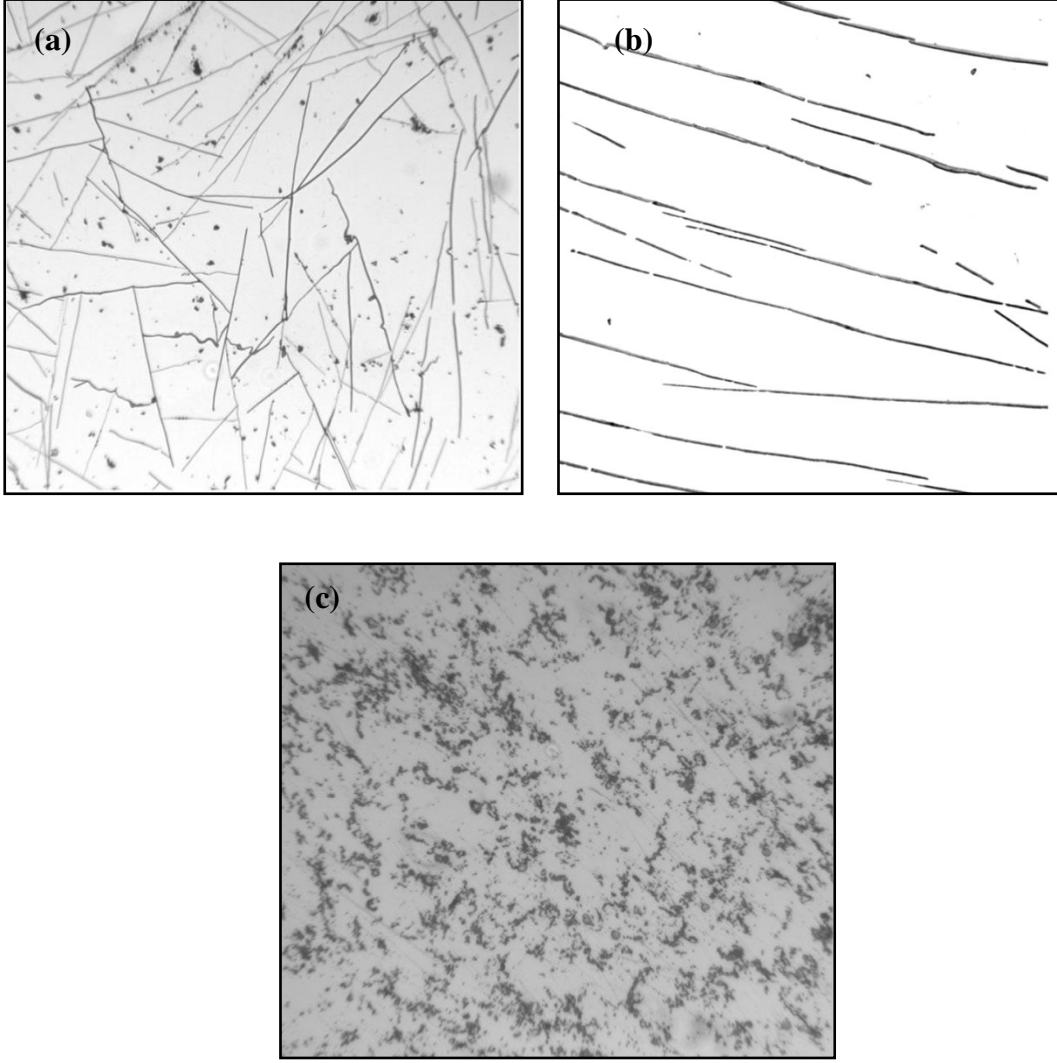
bu çalışmada %99.999 safiyette yaklaşık 100 gr alüminyum ile 50 gr boraks veya bor oksit tozlarının Şekil 2’de görülen (51mm çapında 70mm yüksekliğinde) alümina pota içerisinde 900 ve 1360°C de argon atmosferi altında ısıl işleme almışlardır



Şekil 2. 2. Sematik ergimiş metal kesit görüntüsü(Hall, 2000-a)

Isıl işlem sırasında denklem 1 ve 2 ‘de verilen reaksiyonların gerçekleştiğini rapor edilen çalışmada reaksiyon sonrasında ortaya çıkan katı alümina (Al₂O₃) ve diğer yüksek borürlerin sıvı alüminyum üst yüzeyinde cüruf olarak kaldığını ve serbest kalan elementel borun ise sıvı alüminyum ile ekzotermik reaksiyon oluşturarak AlB₂ intermetalik bileşimini oluşturduğunu belirtilmiştir.





Şekil 2. 3. a) 1360 °C’de Boraks ilavesi ile, b) 1360 °C’de Bor oksit ilavesi ile ve c) 900 °C’de Boraks ilavesi ile üretilen numuneye ait mikro yapı görüntüsü

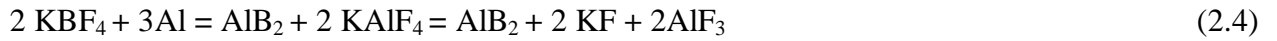
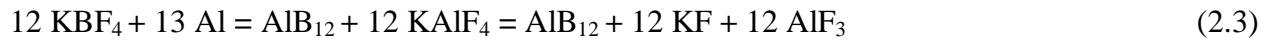
Şekil 2.3a ve Şekil 2.3b’de yapılan çalışma sonunda bor oksit (B_2O_3) ve boraksın ($Na_2B_4O_7$) 1360°C de sıvı alüminyum ile reaksiyonu sonucunda üretilen numunelerden alınan mikro yapı görüntülerinde, yapıda yer alan borun tamamının yüksek aspekt oranlı AlB_2 borürleri şeklinde çökeldiği ve AlB_{12} yapılarının ise yapıda bulunmadığı belirtilmiştir. Bor oksit ve boraksın alüminyum ile 900°C de ısıl işleme alınması sonucunda ise AlB_2 yapılarının eşeksensli ve küçük partiküller şeklinde yapıda yer aldığı rapor edilmiştir(Şekil 2.3a’te görüldüğü gibi).

2.1.1.3. KBF_4 tuzları indirgeme tekniği;

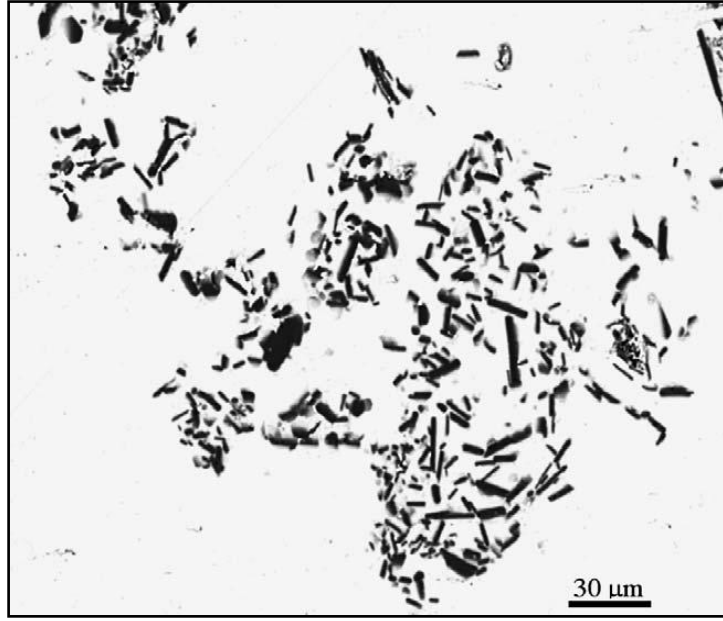
KBF_4 tuzları indirgeme tekniğinin ile Al-B çözeltilisinin hazırlanmasında, KBF_4 tuzlarının yaklaşık 800 °C de sıvı alüminyum tarafından indirgenmesi ile yapılmaktadır. Ticari Al-B

alaşımının üretiminde yaygın olarak kullanılan teknikte yapıda bulunan bor düşük aspekt oranlı AlB_2 borürleri ve/veya kompleks şekilli AlB_{12} borürleri şeklinde yer almaktadır.

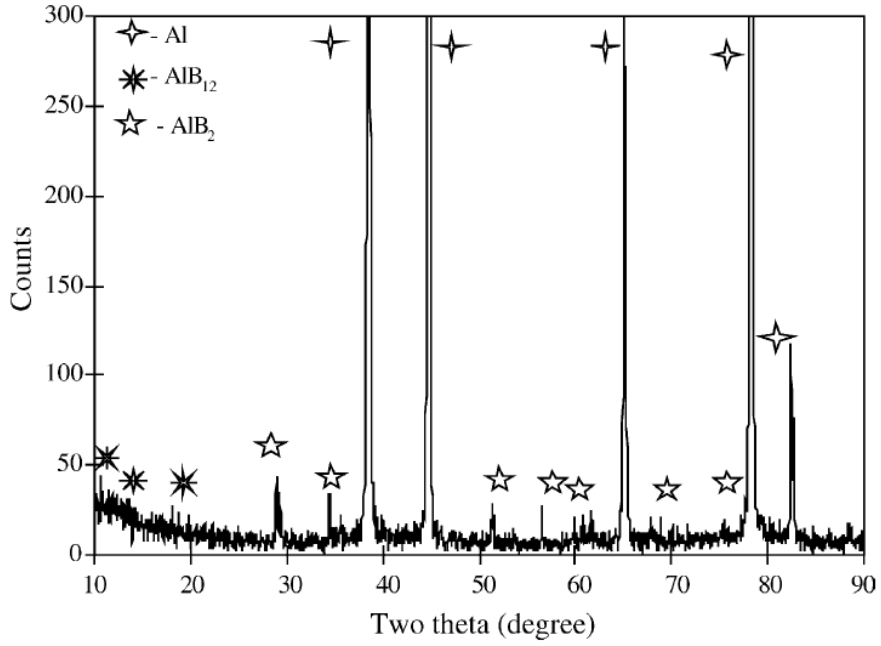
X. Wang Al-B master alaşımlarında AlB_2 formlarının araştırılmasına yönelik olarak yaptıkları çalışmada(Wang, 2005), 850 °C de sıvı alüminyum içerisinde yer alan mekanik bir karıştırıcı yardımı ile KBF_4 tozları ilave etmişler ve bu şekilde % 3 bor içeriğine sahip Al-B alaşımı ürettiklerini rapor etmişlerdir.



850 °C de sıvı alüminyum ile KBF_4 tuzları arasında denklem 3 ve 4’de verilen reaksiyonların geliştiği rapor edilen çalışmada, reaksiyonlar sonucunda ortaya çıkan KAlF_4 , KF ve AlF_3 bileşiklerinin cüruf formunda sıvı metalin üst yüzeyinde biriktiği ve AlB_2 ve AlB_{12} yapılarının ise matris alaşımı içerisinde çökeldiği rapor edilmiştir. Şekil 5’te üretilen numune üzerinden alınan XRD analiz sonuçları da bunu destekler nitelik taşıdığı gözlemlenerek, yapıda alüminyum pikinin yanında AlB_2 ve AlB_{12} borür piklerinin de yer aldığı görülmüştür. Şekil 4’de üretilen numuneye ait mikro yapı fotoğrafında alüminyum matris alaşımı içerisinde çökelen borür yapılarının eşeksenli ve salkımlı bir dağılım sergilediği gözlemlenmiştir.



Şekil 2. 4. Üretilen Al-3 wt.%B master alaşımına ait SEM görüntüsü(Wang, 2005)



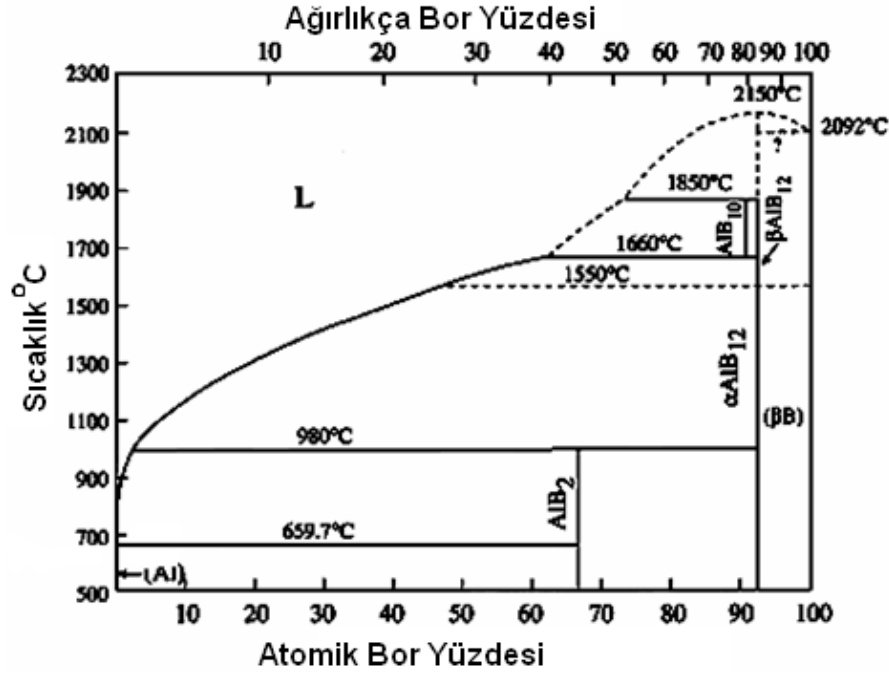
Şekil 2. 5. Üretilen Al-3 wt.%B master alaşımına ait XRD analizi(Wang, 2005)

N. El-Mahallawy ve arkadaşları alüminyum, K_2TiF_6 ve KBF_4 arasında gelişen reaksiyon sistemini araştırmaya yönelik olarak yaptıkları çalışmada KBF_4 tuzlarını sıvı alüminyum ile 800 °C ve 1000 °C de iki farklı sıcaklıkta ısıl işleme almışlardır.

Numuneler üzerinden alınan XRD ve mikro yapı analizleri sonucunda 800 °C de ısıl işleme alınan numunelerde yalnız AlB_2 yapıları gözlemlenmiş, 1000°C'de ısıl işleme alınan numunelerde ise hem AlB_2 hem de AlB_{12} yapılarının yer aldığı görülmüştür.

2.2. Al-B ikil faz diyagramı ve peritektik reaksiyon sıcaklığı

AlB_2 kompozitlerinin üretiminde Yüksek aspekt oranlı AlB_2 yapılarına sahip ve kırılğan özellik taşıyan AlB_{12} yapıları içermeyen bir mikro yapı elde edilmesi için Al-B ikili faz sisteminin çok iyi bilinmesi gereklidir. Şekil 2.6'de Al-B ikil denge diyagramında(Duschanek, 1994; Serebryauskli, 1961), 659,48 °C'de, %0,055 bor kompozisyonunda ($Al_{(S)} = AlB_{2(K)} + Al_{(K)}$) ötektik, ~1000 °C ve atomik %0,55 bor kompozisyonun da ise ($Al_{(S)} + AlB_{12(K)} = AlB_{2(K)}$) peritektik reaksiyon bölgelerine sahip olduğu görülmektedir. Al-B ikili sistemi dikkate alındığında, sıvı alüminyum içerisinde yer alan borun liküdü sıcaklığının altında ilk önce AlB_{12} borürlerini çekirdeklediği ve peritektik sıcaklığa kadar büyüyen AlB_{12} yapılarının, peritektik sıcaklığın altında eşekslenli ve düşük aspekt oranlı AlB_2 borür yapılarına dönüşeceği görülmektedir. Yüksek aspekt oranlı AlB_2 borür yapılarının elde edilebilmesi için liküdü sıcaklığının üzerindeki çözeltinin hızlı bir şekilde peritektik sıcaklığının altına soğutularak burada AlB_{12} borür yapıları yerine AlB_2 borür yapısının çekirdeklemesi sağlanmalıdır.



Şekil 2. 6. Al-B ikili faz diyagramı(Carlson, 1990)

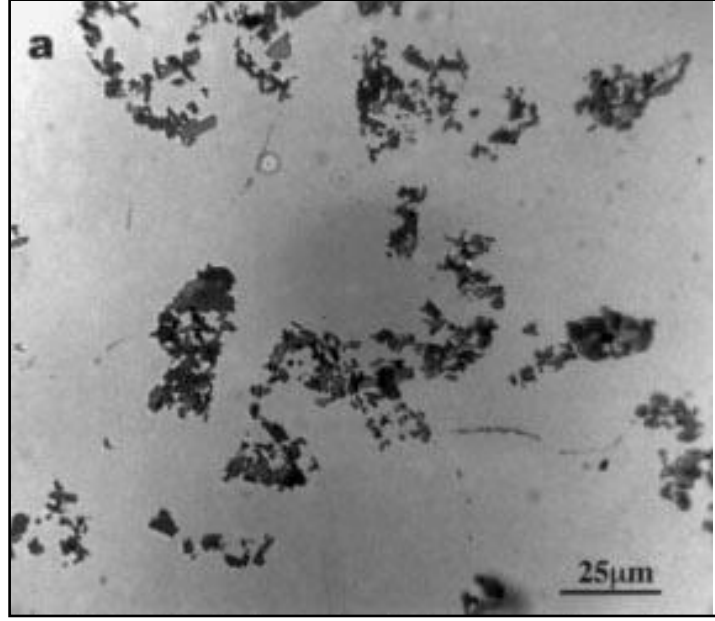
AlB₂ yapılarının morfolojileri üzerinde önemli etkiye sahip olan peritektik reaksiyon sıcaklığı ile ilgili yapılan literatür çalışmalarında çelişkili açıklamalar bulunmaktadır. Aşağıda yapılan literatür çalışmalarından toplanan peritektik reaksiyon sıcaklıklarının bazıları özetlenmiştir.

Tablo 2. 1. Bazı Al_(s) + AlB_{12(K)} = AlB_{2(K)} peritektik sıcaklık değerleri

Araştırmacı	Tarih	Peritektik Sıcaklık, °C	Referans
Mirkovic ve arkadaşları	2004	972	(Mirkovic, 2004)
Fjellstedt, Jarfors ve El-Benawy	2001	914	(Fjellstedt, 2001)
Hall ve Economy	1999	956±5	(Hall 2000-b)
Campbell ve Kattner	1999	1030	(Campbell, 1999)
Brinkman, Duszczyk ve Katgerman	1997	975	(Brinkman, 1997)

Hall ve economy (Hall, 2000-b) Al_(s) + AlB_{12(K)} = AlB_{2(K)} peritektik dönüşüm sıcaklığının, AlB₂ fleykleri üzerine etkisini incelemeye yönelik olarak yaptıkları çalışmada, Şekil 2. 7'de mikro yapı görüntüsü yer alan düşük aspekt oranlı ticari Al-%2B master alaşımını kullanmışlardır. 795, 895, 949, 955, 965, 985 ve 1050 °C'de çeşitli sıcaklık ve sürelerde ısı

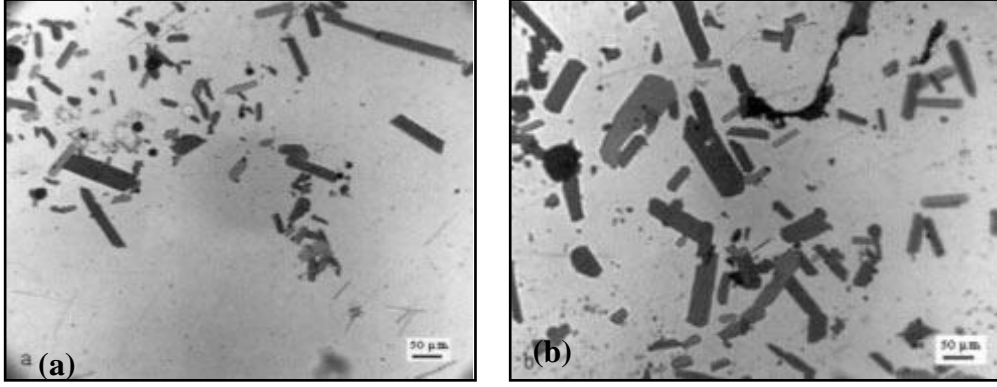
işleme tabi tutukları Al-B alaşımlarında meydana gelen mikro yapı değişimlerini gözlemlemişlerdir. Çalışma sonunda elde edilen mikro yapı görüntülerinde, 950 °C'nin altına ısıtılma alınan numunelerde düşük aspekt oranlı AlB_2 borür yapılarının yer aldığı (Şekil 2. 8), 950 °C nin üzerinde ısıtılma alınan numunelerde ise yüksek aspekt oranlı AlB_2 yapıları ve kompleks şekle sahip AlB_{12} yapılarının yer aldığını gözlemlenmiştir (Şekil 2. 9).



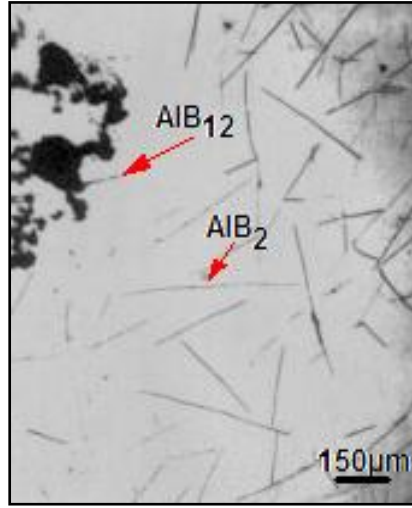
Şekil 2. 7. Al-%2B Master alaşımı

Bu sonuçlar 950°C nin üzerinde düşük aspekt oranlı AlB_2 yapılarının bir kısmının, sıvı alüminyum içinde çözünerek yüksek aspekt oranlı AlB_2 yapılarına dönüştüğünü (faz diyagramının izin verdiği oranda %0.55B), çözünmeyerek geriye kalan AlB_2 borür yapılarının ise AlB_{12} yapılarına dönüştüğünü göstermiştir.

Şekil 2. 8'da 895 °C de 24 ve 72 saat ısıtılma alınmış numunelerden alınan mikro yapı görüntülerinde, 950°C'nin altında düşük aspekt oranlı AlB_2 yapıları, AlB_{12} yapılarına dönüşmemiş ve artan tutma süresine bağlı olarak eşeksensel bir şekilde kabalaşmış (büyümüş) olduğu görülmektedir.

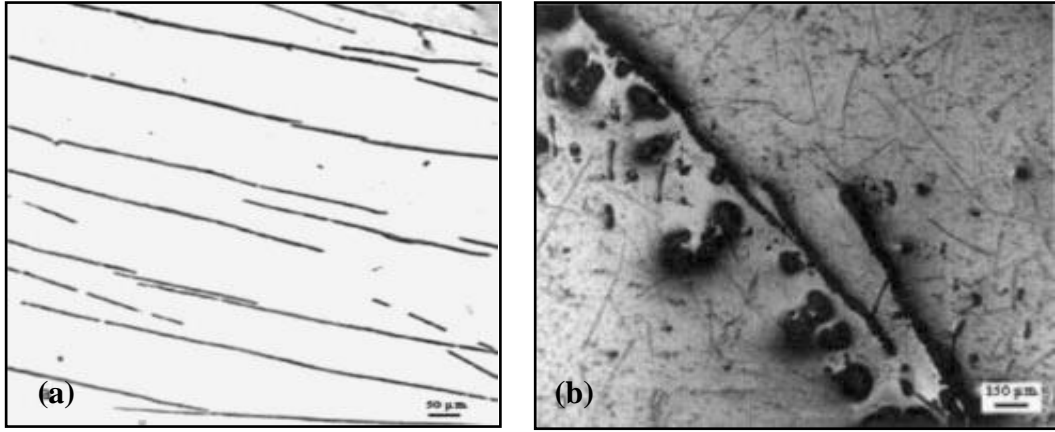


Şekil 2. 8. a) Al-2 % B, 895 °C, 24 h. b) Al-2 wt.% B, 895 °C, 72 h ısıtım işlemi sonrası



Şekil 2. 9. 950 °C'nin üzerinde 24 saat ısıtım işlemi sonrası

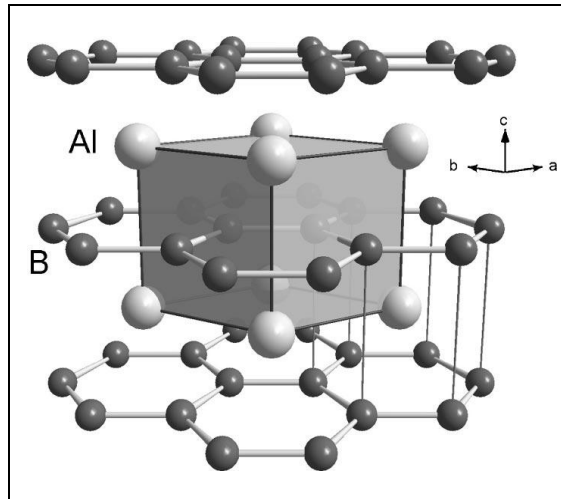
Aynı çalışmada Hall ve economy yüksek aspekt oranlı AlB_2 yapılarının peritektik sıcaklığının üzerinde kararlılığını belirlemek amacı ile yüksek aspekt oranlı ve belirli bir oryantasyona sahip %2 bor içeren Al-B alaşımını, peritektik sıcaklığın üzerinde (1050 °C'de) 24 saatlik ısıtım işlemine almışlardır. Şekil 2. 10'de görüldüğü gibi yüksek aspekt oranlı AlB_2 yapıları dejenerasyona uğrayarak rasgele yönelmiş, yüksek aspekt oranlı AlB_2 yapılarına ve kompleks şekilli AlB_{12} yapılarına dönüşmüştür. Bu sonuçlar belirli bir oryantasyona sahip yüksek aspekt oranlı AlB_2 yapılarının, peritektik sıcaklığının üzerinde çözüldüğünü ve yeni bir form kazandığını göstermiştir(Hall, 2000-b).



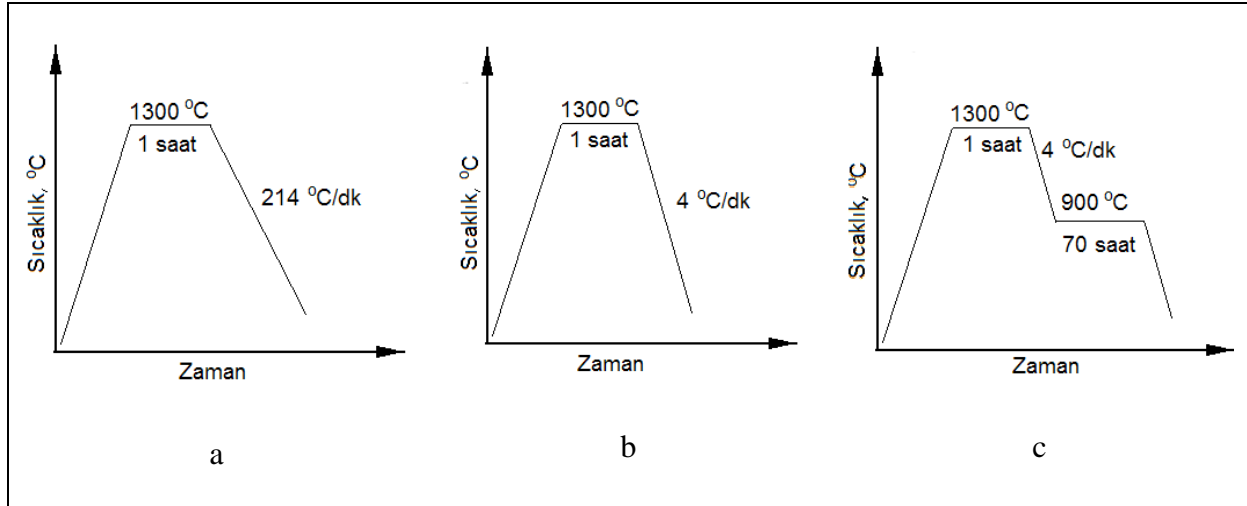
Şekil 2. 10. a) Al-2% B belirli bir oryantasyona sahip master alaşımı b) Al-2 % B master alaşımının 1050 °C'de 24 saat ısıl işlem sonrası

2.3. AlB_2 ve AlB_{12} alüminyum borür yapılar

Yüksek (uzunluk/kalınlı oranı=100 ile 500) ve düşük (uzunluk/kalınlı oranı=5 ile 10) aspekt oranlı iki farklı morfolojiye sahip AlB_2 yapıları, hegzogonal kristal kafes yapısına sahiptir ve $P6/mmm$ grubunda yer almaktadır. Şekil 2. 11'da kristal kafes yapısı verilen AlB_2 hegzogonal kristal kafes yapısının da $a = b = 3,0054 \text{ \AA}$, $c = 3,25276 \text{ \AA}$ $\alpha = \beta = 90^\circ$, $\gamma = 120^\circ$ değerinde olduğu görülmektedir. XRD analizlerinde düşük ve yüksek aspekt oranlı AlB_2 borür yapılarının her ikisi de (001), (100), (101), (110) ve (201) piklerini göstermektedir(Deppisch, 1998).



Şekil 2. 11. AlB_2 kristal kafes yapısı(Loa, 2002)



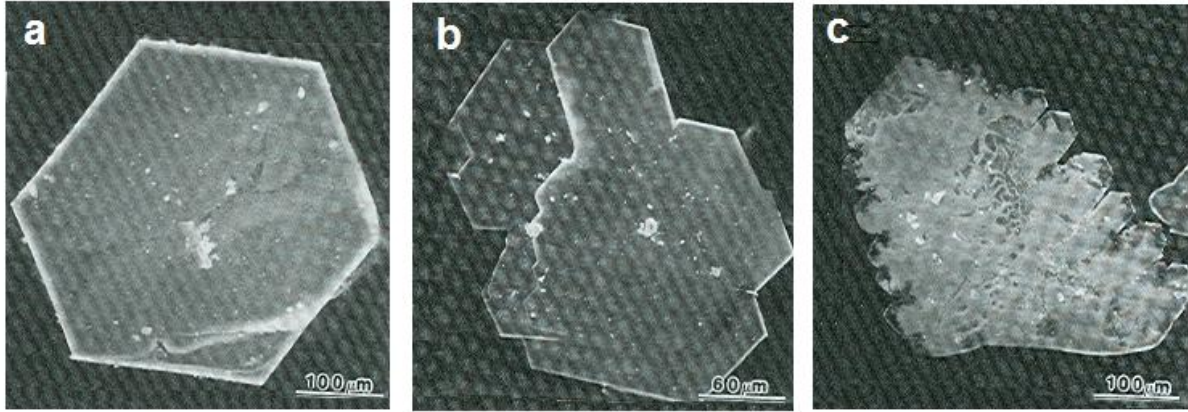
Şekil 2. 12. Isıl çevrim şeması

Deppisch ve arkadaşlarının AlB_2 kristal yapılarının morfolojisini araştırmaya yönelik olarak yaptıkları çalışmada üç farklı soğuma rejiminde sentezlenen AlB_2 borür yapılarının latis parametreleri ve kimyasal kompozisyonunu analiz etmişlerdir. Yapılan çalışmada hazırlanan Al-1,8B alaşımları, 1300 °C'de 1 saat bekleme sonrası Şekil 2. 12'te verilen soğuma rejimleri dikkate alınarak katılaştırılmıştır. AlB_2 kristallerinin $3C_3H_7OH+HgCl_2$ asit çözeltisi ile alüminyum matris alaşımından ayrılarak XRD ve kimyasal analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları Tablo 2'te standart değerleri ile birlikte görülmektedir(Deppisch, 1998).

Tablo 2. 2. Üç farklı soğuma rejimi ile sentezlenen AlB_2 kristallerinin latis ölçüleri, yoğunluk ve kimyasal analiz sonuçları(Deppisch, 1998)

Özellikler	900 °C'de 70 saat bekleme	4 C/dk soğuma hızı ile katılaşma	214 °C/dk soğuma hızı katılaşma
Latis parametresi,a standart a=3,005 Å	3,0054	3,0056	3,0052
Latis parametresi,c standart c=3,253 Å	3,25276	3,25271	3,25274
Yoğunluk, g/cc standart=3,17gr/cc	2,94	2,96	2,95
AlB_2 'de ağırlıkça % bor oranı teorik = %44,5	47,05	47,01	47,11
AlB_2 'de ağırlıkça % alüminyum oranı teorik =%55,5	52,93	52,96	52,87

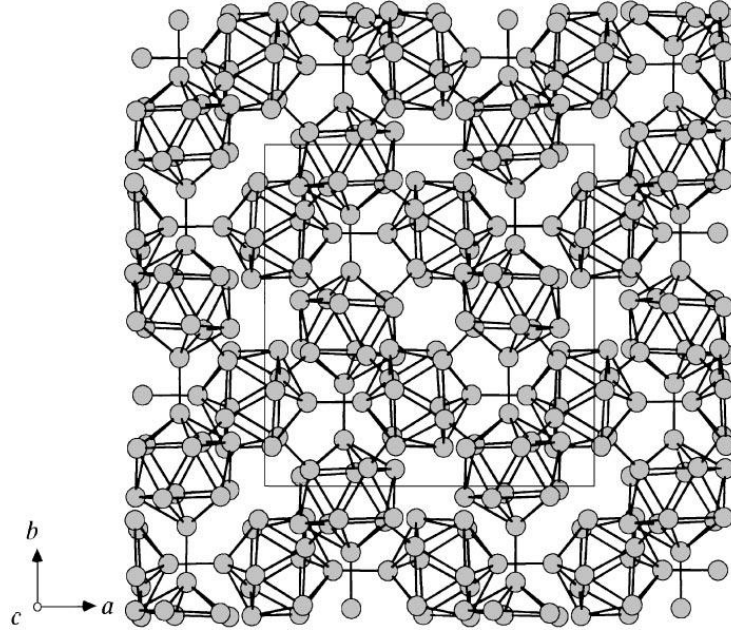
Yapılan kimyasal analizler sonucunda borür yapıların, AlB_2 bileşimi yerine $Al_{0,9}B_2$ bileşimine daha yakın olduğu (bor = %47,1; alüminyum = %52,9) ve AlB_2 kristallerinin deneysel olarak yoğunluğunun $2,95\text{gr/cm}^3$ olduğu görülmektedir. Ayrıca yapılan çalışmalarda AlB_2 kristallerinin yüksek aspekt oranlı ve fleyk şeklinde olması, AlB_2 kristallerinin 0001 yönünde büyüme hızının diğer yönler göre daha düşük olmasından kaynaklandığını göstermiştir(Deppisch, 1998).



Şekil 2. 13. a)800 C’de 70 saat bekleme sonrası, b.)su ortamında ve c.) su ortamında katılaşıma sonrası AlB_2 kristal yapıları

Üç farklı soğuma rejimi sonunda elde edilen AlB_2 kristallerinin SEM görüntüsü Şekil 2. 13’de verilmiştir. “Al + AlB_2 ” bölgesinde (900°C) tutma zamanının artması ile fleyklerin şekillenmesi için yeterli zaman ayrılmış ve mükemmel hegzagonal yapıları elde edilmiştir. Argon ve su ortamında katılaştıran numunelerde ise AlB_2 hegzagonal yapılarının deforme olduğu, hatta tuzlu su ortamında katılaştırılan numunelerde dentiritik büyümeye doğru yöneldiği görülmektedir(Deppisch, 1998).

Düşük aspekt oranlı ve kompleks şekle sahip AlB_{12} kristalleri oda sıcaklığında kararsızdır ve gevrek bir özelliğe sahiptir. Bu nedenle AlB_2 kompozitlerin üretiminde mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilediği için yapıda yer alması istenmemektedir. Yüksek borür yapıları olarak sınıflandırılan AlB_{12} borürleri, βAlB_{12} ve αAlB_{12} borürleri şeklinde iki farklı forma sahiptir. Genellikle yapıda gözlenen αAlB_{12} borürlerinin kristal kafes yapısı Şekil 2. 14’de verilmiştir. Özellikleri birbirinden çok farklı olan bu borürlerde; βAlB_{12} yapıları hegzagonal kristal sıkı paket sistemine sahipken, αAlB_{12} yapıları basit kübik kafes sistemine sahiptir(Hall, 1995).



Şekil 2. 14. Kompleks yapıya sahip α -AlB₁₂ kristal kafes görünümü(Higashi, 2000)

2.4. AlB₂ fleyklerinin morfolajisi

Bilindiği gibi sürekli fiber takviyeli kompozitler anizotropik özellik gösterdikleri için fiber yönünde yüksek mekanik özelliklere sahipken, rasgele yönlenmiş kısa fiber takviyeli kompozitlerin üretimlerinin kolay ve ekonomik olması bu tür kompozitleri daha avantajlı hale getirmiştir. Süreksiz fiber takviyeli kompozitlerde homojen dağılıma sahip takviye fazlarının morfolojisi kompozitin mekanik özellikleri üzerinde önemli etkiye sahiptir. Kompozitlerde rastgele yönlenmiş düşük aspekt oranlı güçlendiriciler sertlik ve aşınma özellikleri açısından daha iyi sonuçlara sahipken, yüksek aspekt oranlı (uzunluk/kalınlık oranı) takviye elemanları yük taşıma kabiliyetlerinin iyi olması nedeniyle yüksek mukavemet ve elastik modül için önemlidir.

Çeşitli alüminyum alaşımları kullanılarak üretilen alüminyum ana yapılu AlB₂ kompozitlerinde takviye eleman olan AlB₂ fleyklerinin morfolojisi kompozitin fiziksel ve mekanik özellikleri açısından önemlidir. AlB₂ fleyklerinin morfolojisi uzunluk, kalınlık ve aspekt oranları şeklinde karakterize edilmektedir. Alüminyum matris alaşımı içerisinde AlB₂ fleykleri, düşük ve yüksek aspekt oranlı olarak iki farklı formda bulunmaktadır.

Düşük aspekt oranlı AlB₂ kompozitleri, KBF₄ tuzlarının veya boraksın peritektik sıcaklığın altında sıvı alüminyum içerisine ilavesi ile kolaylıkla elde edilebilmektedir. Çeşitli oranlarda bor içeriğine sahip ticari Al-B alaşımları KBF₄ tuzları kullanılarak üretildikleri için

yapılarında zaten düşük aspekt oranlı AlB_2 yapıları bulunmaktadır. Alüminyum matris alaşımı içerisinde salkımlı bir dağılıma sahip düşük aspekt oranlı AlB_2 yapıları yaklaşık 10 μ m uzunluğunda ve 3 μ m kalınlığındadır.

Düşük aspekt oranlı AlB_2 yapılarına karşın yüksek aspekt oranlı AlB_2 kompozitlerinin üretimi o kadar kolay olmamaktadır. Yüksek aspekt oranlı AlB_2 yapılarının elde edilebilmesi için Al-B çözeltilisinin peritektik sıcaklığın üzerine çıkarılması ve hızlı bir şekilde peritektik sıcaklığın altına inilmesi gerekmektedir. Yüksek aspekt oranlı AlB_2 kompozitlerinin üretiminde dikkat edilmesi gereken iki husus göze çarpmaktadır. Bunlar, hızlı bir şekilde peritektik sıcaklığın altına inilerek AlB_{12} yapılarının oluşmasının engellenmesi ve yüksek aspekt oranlı AlB_2 yapılarının oluşturulmasıdır. Deppisch ve arkadaşları yaptıkları çalışmada Al-3,3Cu-1,8B alaşımını 1360 °C'den peritektik sıcaklığın altına 50 °C/dk'lık soğuma hızıyla inmek suretiyle, AlB_{12} borür yapılarını içermeyen, yüksek aspekt oranlı AlB_2 kompoziti ürettiklerini rapor etmişlerdir(Deppisch, 1997).

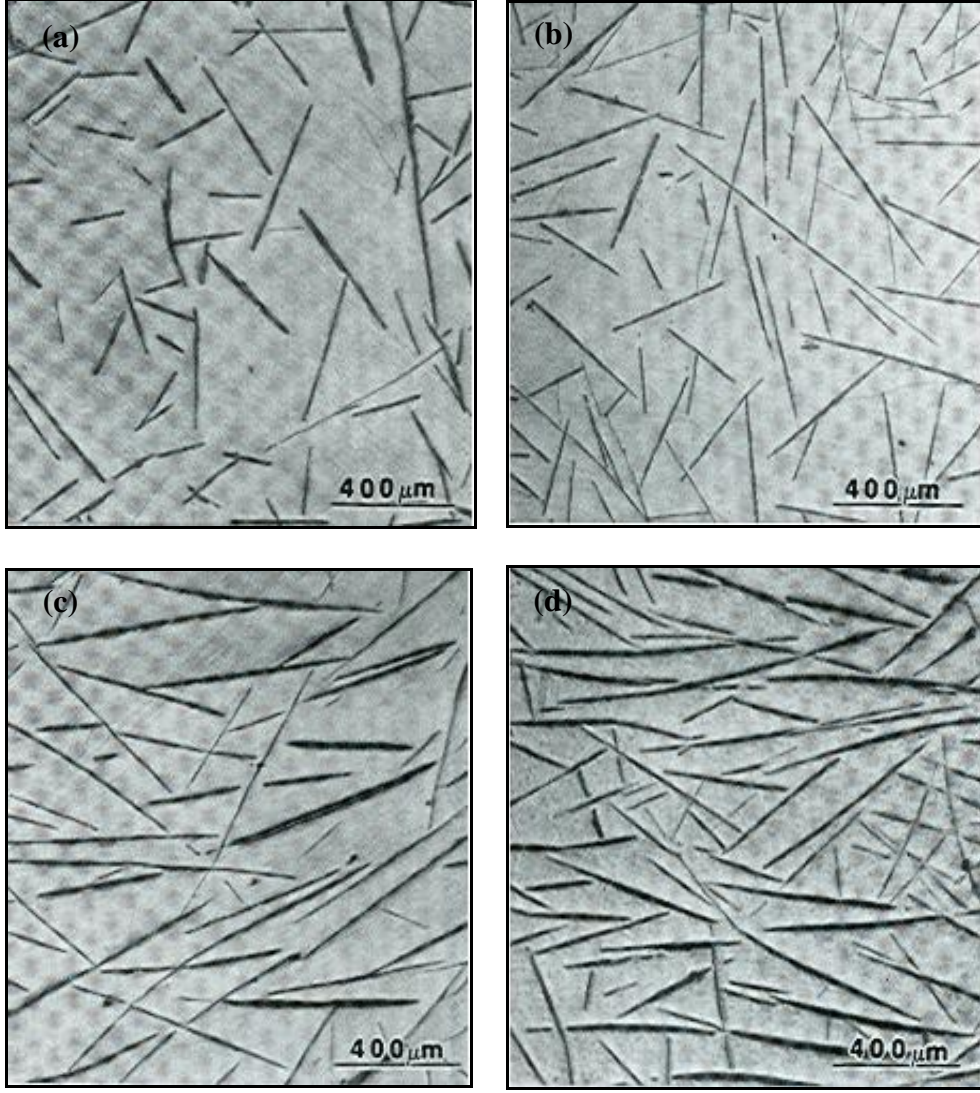
Deppisch ve arkadaşlarının yapmış oldukları başka bir çalışmada ısıtma parametrelerinin AlB_2 yapılarının boy, kalınlık ve aspekt oranları üzerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada ısıtma parametreleri olarak, soğuma hızı, $AlB_2 + Al$ bölgesinde bekleme zamanı ve bekleme sıcaklığı seçilmiştir. Soğuma hızının AlB_2 fleyklerinin uzunluk, kalınlık ve aspekt oranları üzerine etkilerinin belirlenmesi amacı ile yapılan deneysel bölümde, Al-%1,8B alaşımını 1300 C'de oda sıcaklığına, 4, 30, 103 ve 214 °C/dk'de inilmiştir. Deneyler sonrasında numuneler üzerinden ölçülen AlB_2 fleyklerin boy, kalınlık ve aspekt oranları Tablo 3'de verilmiştir. Tablo 3'de belirtildiği gibi katılma hızının artmasına bağlı olarak AlB_2 fleyklerin boyları 180 μ m'dan 400 μ m'a yükselmiş, kalınlıkları 6,2 μ m'den 2,4 μ m'ye kadar inmiş, buna bağlı olarak da aspekt oranları 29'den 167 değerine yükselmiştir(Deppisch, 1998).

Tablo 2. 3. Soğuma ortamına bağlı olarak AlB₂ yapılarının boyut değişimi(Deppisch, 1998)

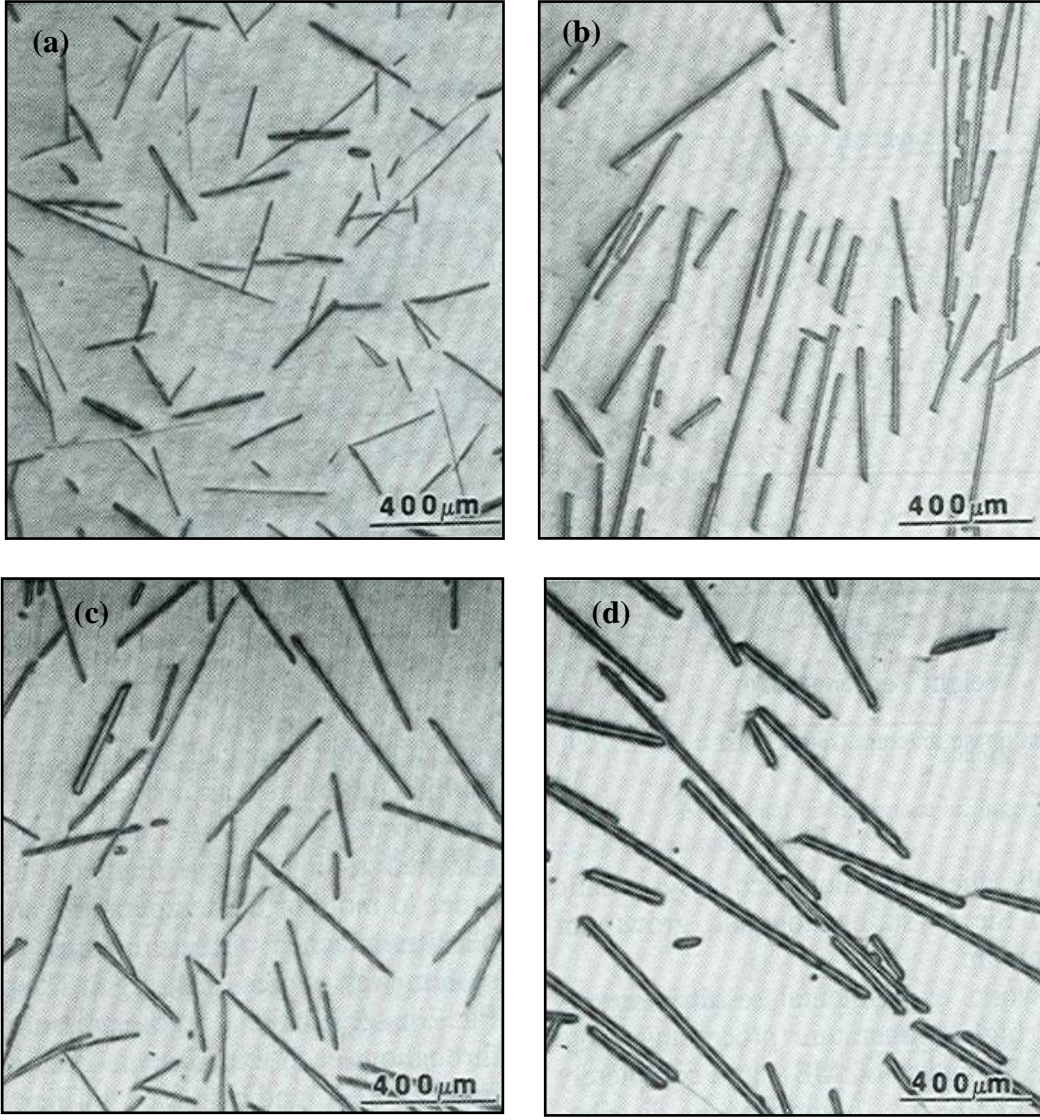
Soğuma ortamı	Soğuma Hızı, °C/dk	Genişlik (G), mm	Kalınlık (K), µm	Aspekt oran (G/K)	Takviye oranı, %
Argon	4	0,18±0,10	6,2±2,80	29	3,99
Yağ	30	0,29±0,07	3,9±0,70	74	3,94
Su	103	0,39±0,20	3,6±0,13	108	3,91
Tuzlu su	214	0,40±0,16	2,4±0,70	167	3,85

Şekil 2. 15’de dört farklı katılma ortamında katılaştırılan deney numunelerine ait mikro yapı görüntülerinde, sıvı alüminyum içerisinde yer alan borun tamamının AlB₂ borürleri şeklinde çökeldiği ve en düşük uzunluğa sahip AlB₂ yapıları argon atmosferi altında katılaştırılan numunelerde, en yüksek uzunluğa sahip AlB₂ yapılarının ise tuzlu su ortamında katılaştırılan numunelerde yer aldığı gözlemlenmiştir(Deppisch, 1998).

AlB₂ bölgesinde bekleme zamanının ve sıcaklığının AlB₂ yapılarına etkisini belirlemek amacı ile yapılan deneysel çalışmalar bölümünde, aynı alaşım 1300 °C’den argon atmosferi altında 4 C/dk soğuma hızı ile 900 ve 800 °C’ye inilmiş ve bu sıcaklıkta 0, 1, 20 ve 70 saat beklenmiştir. Şekil 2. 16’de 900 °C’de 0, 1, 20 ve 70 saat bekleme zamanı ile ısıtılma işlemi alınmış numunelerden alınan mikroyapı resimleri görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi bekleme yapılmayan numunede AlB₂ fleyklerinin daha ince ve kısa yapıda iken bekleme zamanının artmasına bağlı olarak kalınlıkları ve uzunlukları artmıştır. Tablo 4’de numuneler üzerinden yapılan ölçümler sonucunda alınan ortalama AlB₂ uzunluk, kalınlık ve aspekt oranları görülmektedir. “AlB₂ + Al” bölgesinde bekleme zamanının artmasına bağlı olarak AlB₂ fleyklerinin uzunlukları 180 µm’den 70 saat bekleme sonrasında 500 µm’ye, kalınlıkları 6,2 µm’den 12,4 µm’ye yükselirken, bunlara bağlı olarak değişen aspekt oranları ise 29’dan 42 değerine yükselmiştir.



Şekil 2. 15. Al-1,8B çözeltilisinin 1300 C'de a) argon atmosferi altında, b) yağ, c) su ve d) tuzlu su ortamında katılaşma sonrası mikro yapı görüntüsü



Şekil 2. 16. 900 C'de a) beklemesiz, b) 1 saat, c) 20 saat ve d) 70 saat bekleme sonrası alınan mikro yapı görüntüsü(Deppisch, 1998)

Tablo 2. 4. 900 °C’de tutma zamanına bağılı olarak AlB₂ yapılarının boyut değişimi(Deppisch, 1998)

Tutma zamanı, saat	Uzunluk (W), mm	Kalınlık (T), µm	Aspekt oran (W/T)	Takviye içeriği, %
0	0,18±0,1	6,2±2,8	29	3,93
1	0,29±0,14	7,8±1,2	37	3,91
20	0,34±0,21	9,3±5,9	37	3,90
70	0,50±0,43	12,4±4,5	42	3,88

“AlB₂+Al” bölgesinde soğuma hızının AlB₂ yapıları üzerine etkilerinin araştırılması amacı ile yapılan çalışmalarda ise argon atmosferi altında “AlB₂ + Al” bölgesinde 240 °C/sn ve 0,2 °C/sn’lik soğuma hızı kullanılmıştır. Tablo 17’de “AlB₂ + Al” bölgesinde iki farklı soğuma hızına sahip numunelerden alınan AlB₂ fleyklerinin ortalama uzunluk, kalınlık ve aspekt oranları verilmiştir. Soğuma hızının azalmasına bağılı olarak AlB₂ fleyklerinin uzunluk, kalınlık ve aspekt oranları artmıştır. 0,2 °C/sn soğuma hızına sahip numunede ortalama 250 µm uzunluğunda, 6,8 µm kalınlığında ve 37 aspekt oranlı AlB₂ yapıları gözlenirken, 240 C/sn soğuma hızına sahip numuneler de ise 180 µm uzunluğunda, 6,2 µm kalınlığında ve 29 aspekt oranlı AlB₂ yapılar gözlenmiştir.

Tablo 2. 5. “Al_(s) +AlB_{2(k)}” bölgesinde soğuma hızına bağılı olarak AlB₂ yapılarının boyut değişimi(Deppisch, 1998)

Soğuma Hızı, °C/dk	Genişlik (G), mm	Kalınlık (K), µm	Aspekt oran (G/K)
240	0,18±0,10	6,2±2,8	29
0,2	0,25±0,13	6,8±2,7	37

Yüksek aspekt oranlı AlB₂ yapılarının elde edilmesi için ısıl işlem parametrelerinin yanında katkı elemanlarının az miktarda da olsa etkili olduğu tespit edilmiştir. Deppisch ve arkadaşlarının yapmış oldukları farklı çalışmalarda Al-%1,8B ve Al-%3,3Cu-1,8B alaşımlarını argon atmosferi altında ısıl işleme almışlardır. Tablo 6’da ısıl işlem parametreleri ve numuneler üzerinden alınan AlB₂ uzunluk, kalınlık ve aspekt oranları verilmiştir.

Tablo 2. 6. Farklı kompozisyona sahip kompozitlerde AlB₂ boyutsal değişimi(Deppisch, 1997; Deppisch, 1998)

Kompozisyon	Isıl Parametre	AlB ₂ Fleyk Uzunluk (μm)	AlB ₂ Fleyk Kalınlık (μm)	AlB ₂ Fleyk Aspekt Oranı
Al-%1,8B	Argon atmosferi altında 1300 °C’de oda sıcaklığına soğuma	180±100	6,2±2,8	29
Al-%3,3Cu-%1,8B	Argon atmosferi altında 1360 °C’de 600 °C’ye soğuma	176±89	3,0±1,8	59

Tablo 2. 6’da görüldüğü gibi % 3,3’lük bakır katkısının AlB₂ yapılarının uzunluklarını ortalama 180μm’den 176 μm’ye, kalınlıklarını ise 6,2 μm’den 3 μm’ye indirmiştir. Buna bağlı olarak da aspekt oranları 29’dan 59 değerine yükselmiştir.

Özet olarak, Alüminyum ana yapılı AlB₂ kompozitleri yüksek ve düşük aspekt oranlı olarak iki farklı şekilde sentezlene bilmektedir. Düşük aspekt oranlı AlB₂ kompozitleri, peritektik sıcaklığın altında (<900 °C) KBF₄ ilavesi ile üretilebilmektedir. Yüksek aspekt oranlı AlB₂ kompozitleri üretimi düşük aspekt oranlı AlB₂ kompozitleri kadar kolay olmamaktadır. Ve yüksek aspekt oranlı AlB₂ yapılarının elde edilebilmesi için peritektik sıcaklığın üzerine çıkılması ve bu sıcaklıktan AlB₁₂ yapılarının oluşumuna izin verilmeden peritektik sıcaklığın altına hızlı bir şekilde inilerek, yüksek aspekt oranlı AlB₂ fleyklerinin çekirdeklenmesi gereklidir. Yapılan çalışmalarda katkı elemanlarının ve çeşitli ısıl işlem parametrelerinin AlB₂ yapılarının uzunluk, kalınlık ve aspekt oranlarını etkilediği görülmüştür.

2.5. AlB₂ kompozitlerde takviye oranları ve mekanik özellikler

Genellikle metal matrisli kompozitlerde, Sünek ve tok özelliğe sahip matris alaşımı içerisine yüksek mukavemet ve rijitliğe sahip takviye elemanının ilavesi ile mekanik özellikleri artırılmaktadır. Matris içerisine ilave edilen bu takviye elemanının oranı ve aspekt oranı kompozitin mekanik özellikleri için birinci derecede önemlidir. Teorik olarak metal matrisli kompozitlerde mekanik özellikler takviye elemanının oranlarının ve takviye elemanının aspekt oranının artmasına bağlı olarak yükselmektedir. Yüksek performanslı bir Metal matrisli kompozit maksimum düzeyde mekanik özelliklerin elde edebilmesi için takviye

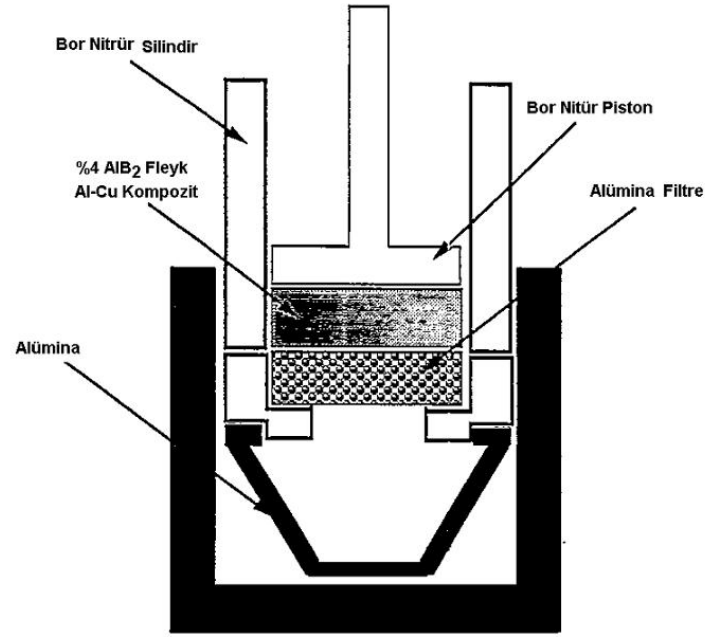
elemanının oranının belitli bir kritik (V_{\min}) değerin üzerinde ve aspekt oranının 100 değerin üzerinde olması gereklidir(Rohatgi, 2001).

Bilindiği gibi Alüminyum ana yapılu AlB_2 kompozitlerinin üretiminde Al-B ikili sistemleri kullanılmaktadır ve yüksek takviye oranına sahip bir kompozit üretimi için yüksek bor oranına sahip Al-B alaşımlarının elde edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. KBF_4 tuzlarının ilavesi ile ve ülkemizde bol ve ucuz olarak bulunan bor oksit ve boraks ilavesi ile çeşitli oranlarda (<%20 B) Al-B alaşımları başarılı bir şekilde elde edile bilmektedir.

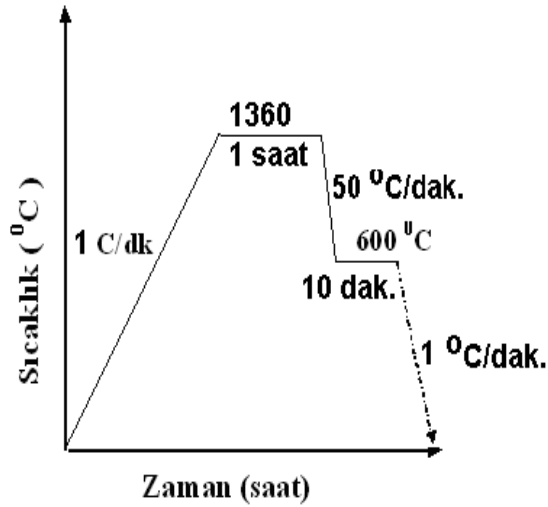
Ticari olarak üretilen Al-B alaşımları peritektik sıcaklığın (<1000 °C) altında üretildikleri için düşük aspekt oranlı AlB_2 yapılarını içermektedirler. Bu nedenle çeşitli oranlarda takviye içeriğine sahip düşük aspekt oranlı AlB_2 kompozitleri kolaylıkla üretilmektedir.

Yüksek aspekt oranlı AlB_2 kompozitlerin üretimi düşük aspekt oranlı AlB_2 kompozitleri kadar kolay olmamaktadır. Yüksek aspekt oranlı AlB_2 kompozitlerin üretiminde iki hususun göz önünde bulundurulması gereklidir. Bunlardan birincisi yüksek sıcaklıkta (1360 °C) Al-B çözeltilsinin hazırlanması ve çözeltilinin AlB_{12} yapılarının oluşumuna izin vermeyecek hızda peritektik sıcaklığın altına inilerek, yüksek aspekt oranlı AlB_2 yapılarının çekirdeklenmesi gerekmektedir(Hall, 1999). Yüksek takviye oranının elde edilmesi için yüksek bor oranına sahip Al-B çözeltilsinin hazırlanması gereklidir. Al-B ikili faz diyagramı dikkate alındığında 1300 °C'de yaklaşık olarak %2 civarındadır ve bu değer çok düşüktür. Bu şekilde ancak tek adımlı olarak %4 takviye oranına sahip AlB_2 kompozitlerinin üretimine izin vermektedir. Takviye içeriğinin artırılmasında yaşanan bu sıkıntı Deppisch ve arkadaşlarının geliştirdikleri filtreleme sistemi ile aşabilmişlerdir. Bu yöntemle, yüksek aspekt ve düşük takviye içeriğine sahip kompozitlerin takviye içerikleri %40'a değerine kadar yükseltile bilmektedir(Hall, 2000-c).

Deppisch ve arkadaşlarının Yüksek aspekt oranlı ve yüksek hacim içerikli kompozit üretmeye yönelik olarak geliştirmiş olukları filtreleme sistemi Şekil 2. 17'da görülmektedir. Filtreleme sistemi; silindirik bor nitrür kalıp ve sıvı metali sıkıştırmak amacı ile kullanılan bor nitrür pistondan oluşmaktadır. Filtreleme işleminin 750 C'de 6895 Pa basıncında argon atmosferi altında gerçekleştirilen sitemde 5,7 cm çapına, 0,64 cm yüksekliğinde ve 24 ppm'lik alümina filtreler kullanılmaktadır(Deppisch, 1997).

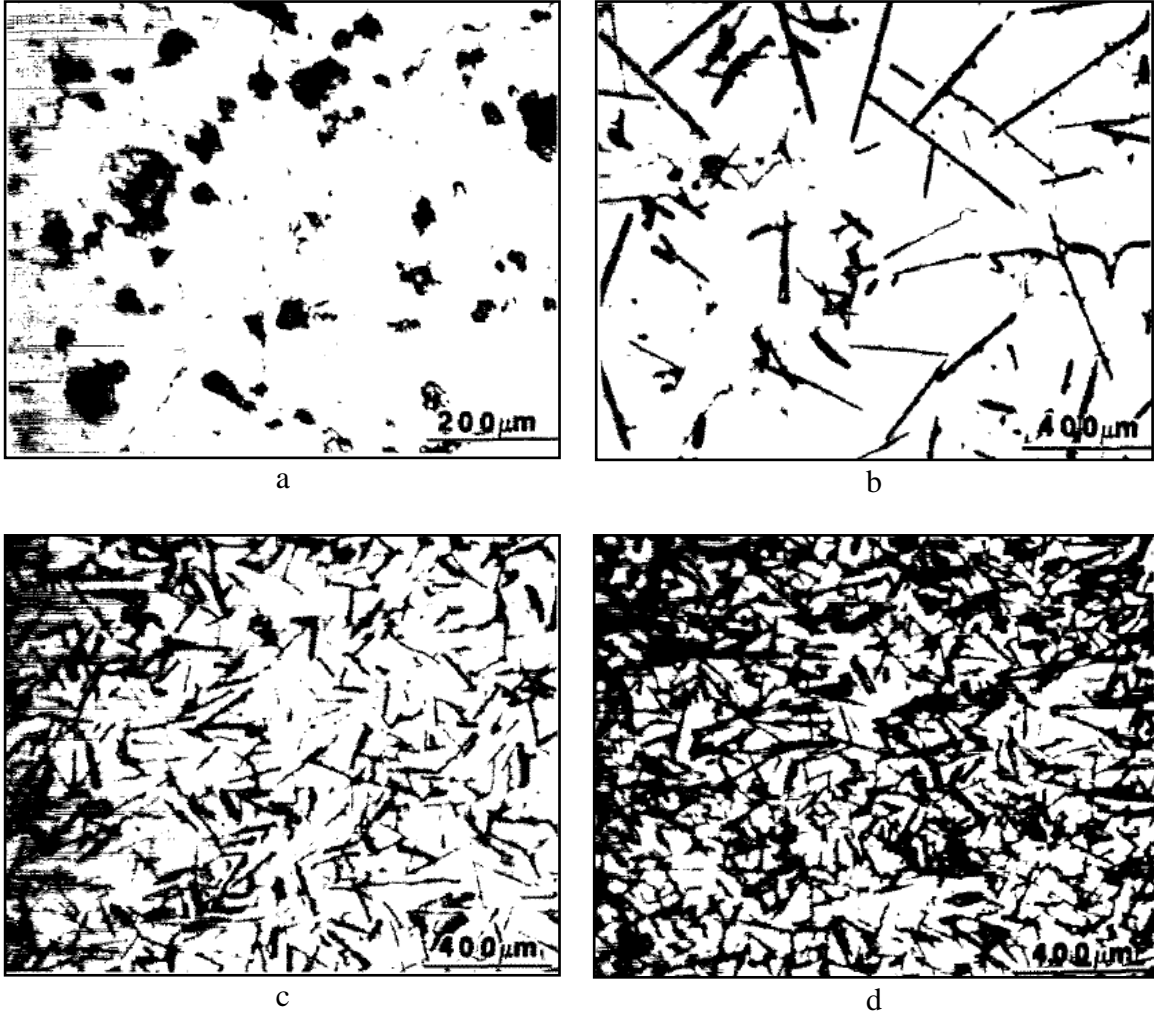


Şekil 2. 17. AIB₂ Fleyklerini filtreleme düzeneği(Deppisch, 1997)



Şekil 2. 18. Isıl çevrim şeması

Deppisch ve arkadaşlarının yüksek aspekt oranlı AIB₂ kompozitlerinin mekanik özelliklerini araştırmaya yönelik olarak yaptıkları çalışmada, ilk önce Al-%3,3Cu-%1,8B master alaşımını Şekil 2. 18'da yer alan ısıl çevrim şeması dikkate alınarak %4 hacim oranına sahip yüksek aspekt oranlı Al/AIB₂ kompozitini üretmişlerdir. İkinci olarak üretmiş oldukları kompozitleri 750 °C'de tekrar ergiterek filtreleme işlemine tabi tutmuşlar ve bu şekilde %10 ve %20 takviye içeriğine sahip kompozitler ürettiklerini rapor etmişlerdir.



Şekil 2. 19. a) master alaşımı, b) % 4, c) % 10 ve d) % 20 AlB_2 kompoziti (Deppisch, 1997)

Şekil 2. 19'da yapılan çalışmalar sonucunda üretilen %4, %10 ve %20 takviye içeriğine sahip kompozitler ve master alaşımının mikro yapı görüntüleri verilmiştir. Şekil 2. 19a'de düşük aspekt oranlı AlB_2 yapılarına sahip master alaşımı, Şekil 2. 19b'de master alaşımın 1360C'de ısıl işlem sonrasında elde edilen mikro yapı görüntüleri verilmiştir. Şekil 2. 19c'de filtreleme sonrası üretilen %10 takviye içeriğine sahip AlB_2 kompoziti, Şekil 2. 19b'de ise %20 takviye içeriğine sahip AlB_2 kompozitinin mikro yapı görüntüsü verilmiştir.

Şekilde düşük aspekt oranlı AlB_2 yapıları ısıl işlem sonrası homojen dağılıma sahip, yüksek aspekt oranlı AlB_2 yapılarına dönüştüğü görülmektedir. Şekilde aynı zamanda filtreleme işlemi ile takviye içeriğinin arttığı ve AlB_2 fleyklerinin aspekt oranlarının ise takviye içeriğinin artmasına bağlı olarak azaldığı görülmektedir.

Tablo 7'de üretilen kompozitlerden alınan ortalama AlB_2 fleyk uzunluk, kalınlık ve aspekt oranları verilmiştir. Tabloda artan hacim içeriğine bağlı olarak AlB_2 fleyklerinin uzunlukları

176 μm 'dan 76 μm 'ye düşmüş, kalınlıkları ise 3 μm 'den 4,2 μm 'ye yükselmiştir ve buna bağlı olarak aspekt oranları 59'dan 18 değerine kadar önemli bir düşüş göstermiştir. Çalışmada Aspekt oranlarında gözlenen düşüşün filtreleme işlemi sırasında uygulanan basıncın AlB_2 fleyklerine zarar vermesinden kaynaklandığı rapor edilmiştir. Ayrıca çalışmada yapılan mikro yapı analizlerinde, filtreleme işlemi sonucunda üretilen kompozitler de AlB_2 yapılarının heterojen bir dağılım gösterdiği ve üretilen kompozitlerde itici zımbanın üst kısımlarda AlB_2 yapılarının oryantasyon meyilli bir dağılım sergilerken, alt kısımlarda rastgele dağılım sergilediği görülmüştür(Deppisch, 1997).

Tablo 2. 7. Takviye içeriğine bağlı olarak AlB_2 yapılarının boyut değişim(Deppisch, 1997)

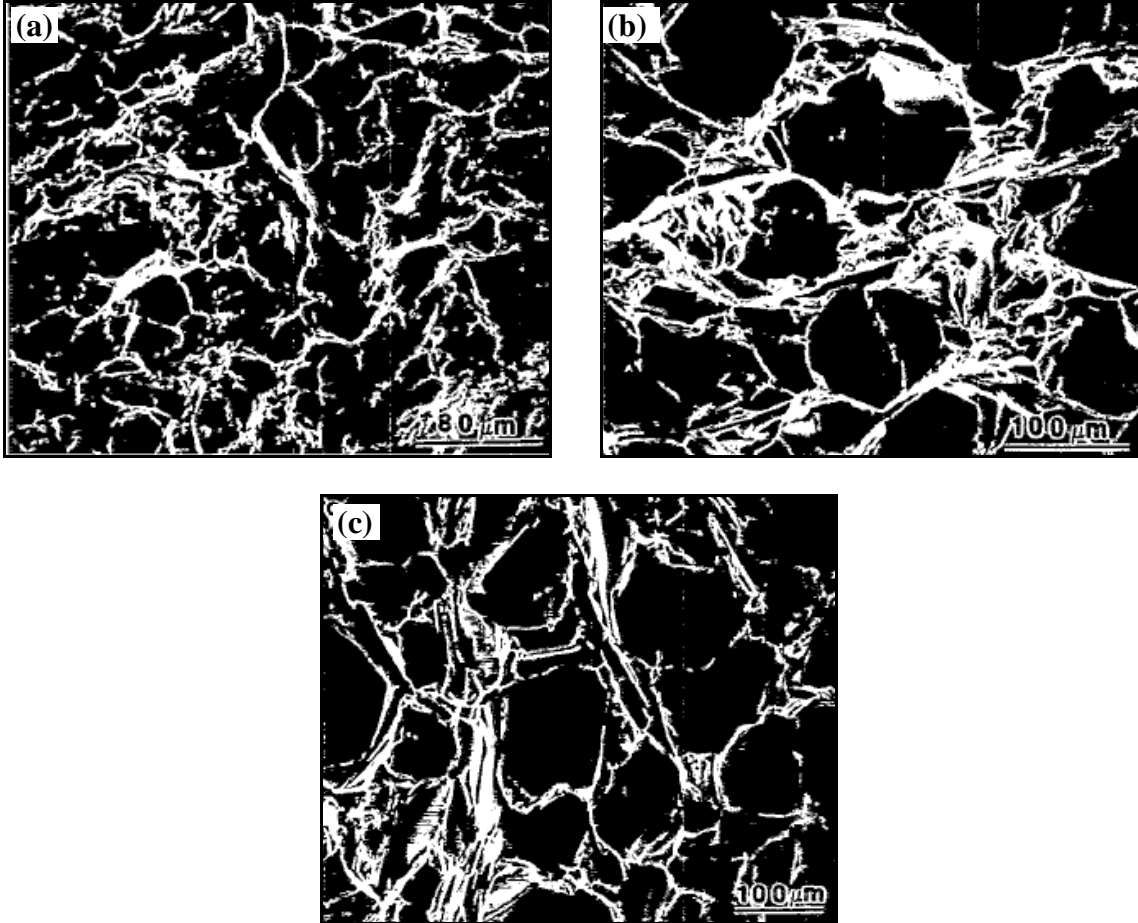
Kompozit takviye içeriği	Genişlik (G), μm	Kalınlık (K), μm	Aspekt oran (G/K)
%4 AlB_2 /(Al-3,3Cu)	176+89	3,0+1,8	59
%10 AlB_2 /(Al-3,3Cu)	126+57	3,5+2,4	36
%20 AlB_2 /(Al-3,3Cu)	76+32	4,2+1,9	18

Yapılan çalışmada üretilen %4, %10, %20 hacim içeriğine sahip AlB_2 kompozitleri ve %3,3 bakır içeriğine sahip matris alaşımları basma ve çekme testine tabi tutulmuştur. Analizler sonucunda elde edilen E, σ_y ve UTS değerleri Tablo 8'de görülmektedir. Tabloda AlB_2 takviye içeriğinin artması ile kompozitlerin mekanik özellikleri matris alaşımına göre önemli bir artış göstermiştir. En yüksek çekme elastik modülü %20 AlB_2 takviye içeriğine sahip kompozitte 94 GPa olarak tespit edilmiş, en yüksek UTS değeri ise %20 takviye içeriğine sahip rastgele yönlendirilmiş kompozitte 131MPa, yönlendirilmiş yapıya sahip kompozitte ise bu değer 188 Mpa olarak tespit edilmiştir.

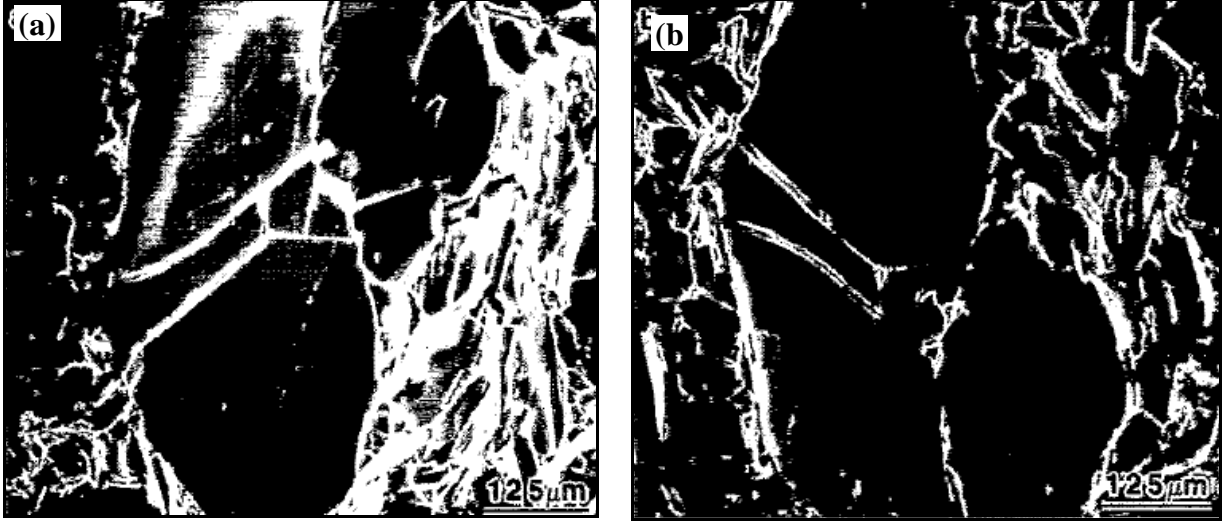
%10 ve %20 takviye içeriğine sahip AlB_2 kompozitlerin kırılma yüzey analizinde AlB_2 /Al-Cu arasında mukemmel arayüzey bağına sahip olduğu ve kırık yüzeylerde AlB_2 yapılarının ayrışmadığı tespit edilmiştir (Şekil 2. 20). Şekil 2. 21a ve 21b'de %20 hacim içeriğine sahip AlB_2 kompozitinin karşılıklı kırık yüzey SEM görüntüsü verilmiştir. Şekillerde kırık yüzeylerin birbirinin aynı ve ayna görünümüne sahip olduğu görülmektedir. Ayna yüzeyler üzerinden alınan auger microprobe atomic concentration (A.C.) test sonuçlarının her iki yüzey için aynı dataları vermiştir. Bu sonuçlar, kırılmanın AlB_2 /Al-Cu ara yüzeyinden olmadığını göstermiştir.

Tablo 2. 8. % 4, % 10 ve % 20 takviye içeriğine sahip kompozit ve matris alaşımın basma dayanımı ve çekme dayanımı test sonuçları(Deppisch, 1997)

Mekanik Özellikler	Al-Cu matris	Rastgele yönlendirilmiş % 4 $AlB_2/Al-Cu$	Rastgele yönlendirilmiş % 10 $AlB_2/Al-Cu$	Rastgele yönlendirilmiş % 20 $AlB_2/Al-Cu$	Yönlendirilmiş % 20 $AlB_2/Al-Cu$
Basma, E (Gpa)	69	77	86	97	-
Basma, σ_y (Mpa)	98	123	144	182	-
Çekme, E (Gpa)	68	-	82	94	106
Çekme, σ_y (Mpa)	75	-	115	128	185
Çekme, UTS (Mpa)	97	-	128	131	188
150 C'de Çekme, UTS (Mpa)	-	-	-	130	-



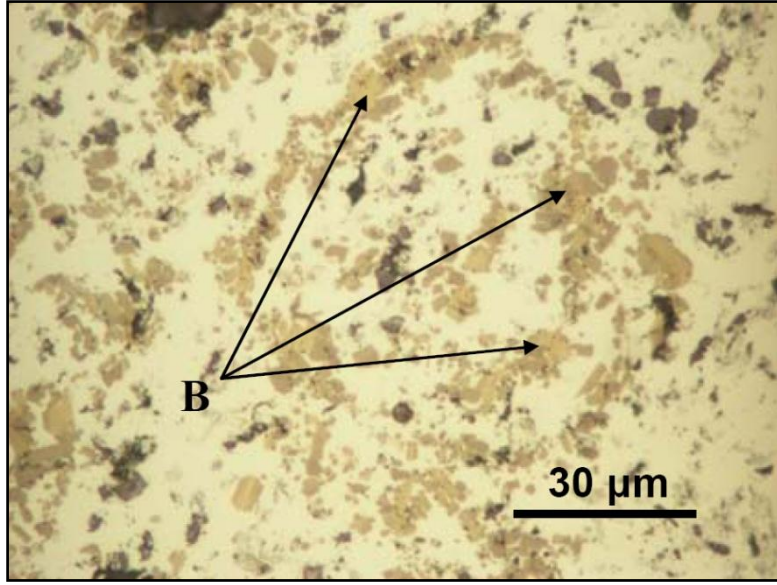
Şekil 2. 20. a) Al-Cu matris alaşımı b) %10 ve c) %20 $AlB_2/Al-Cu$ kompozitine ait SEM görüntüsü(Deppisch, 1997)



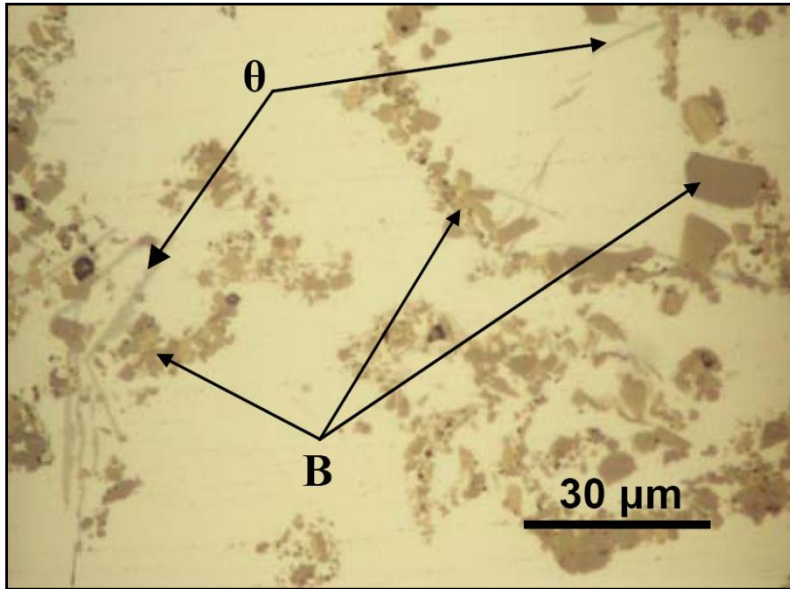
Şekil 2. 21. % 20 AlB₂/Al-Cu kompozitine ait kırık yüzey SEM görüntüsü a) kırık yüzey A ve b) karşı kırık yüzey B(Deppisch, 1997)

Calderson ve arkadaşlarının düşük aspekt oranlı AlB₂ kompozitlerine yönelik olarak yaptıkları çalışmada çeşitli oranlarda bor ve bakır oranına sahip düşük aspekt oranlı kompozitlerin yaşlanma ısıl işlem parametrelerinin mekanik özellikler üzerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada düşük aspekt oranlı kompozitler, 540 °C'de çözeltiye alınmış, buzlu su ortamında su verilmiştir. Su verme işleminin ardından numuneler 130 ve 190 C'de 0,5 ile 4 saat arasında suni yaşlandırmaya alınmıştır(Calderon, 2008).

Şekil 2. 22'de Al-%4B kompozitinin, Şekil 2. 23'de Al-%5Cu-%4B kompozitinin mikroyapı görüntüsünde, Kompozitlerde AlB₂ takviye içeriği %12,79 iken porozite oranı ise %1,6 olarak tespit edilmiştir. Şekil 2. 22 alüminyum matris alaşımı içerisinde gömülü düşük aspekt oranlı AlB₂ yapıları görülmektedir. Şekil 2. 23'de ise alüminyum matris alaşım içerisinde düşük aspekt oranlı AlB₂ yapıları ve Al₂Cu inter metalik bileşiği yer almaktadır. Ölçüleri 1 ile 20 µm arasında değişim gösteren düşük aspekt oranlı AlB₂ yapıları küçük gruplar halinde veya salkımlı bir dağılım göstermektedir ve Al₂Cu intermetalik bileşiğinin yanında yer almaktadır(Calderon, 2008)



Şekil 2. 22. Al-%4 B kompozitine ait mikro yapı görüntüsü(Calderon, 2004)



Şekil 2. 23. Al-%5 Cu-%4 B kompozitine ait mikro yapı görüntüsü(Calderon, 2004)

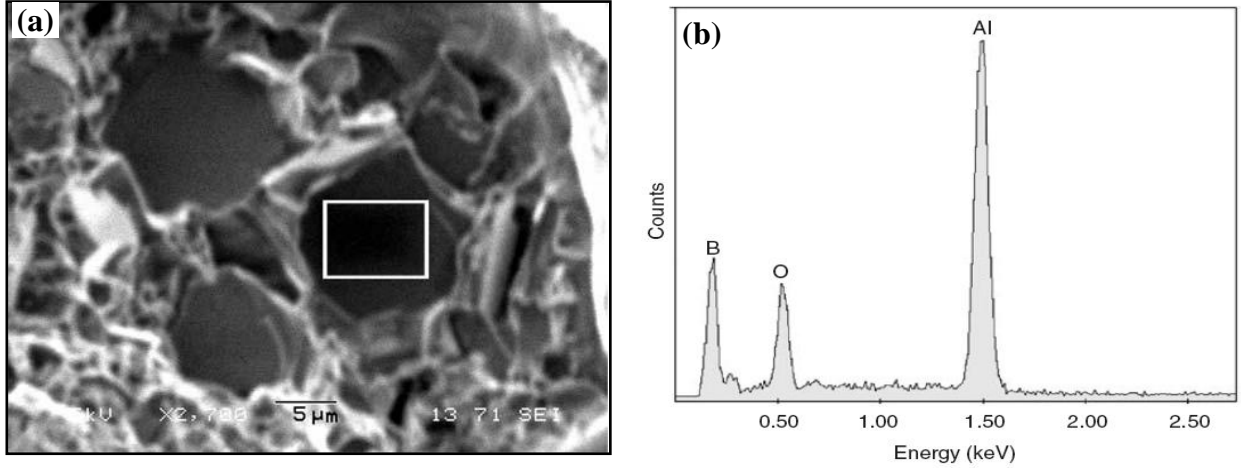
Yapılan çalışmada çekme testleri sonucunda alınan mekanik özellikler Tablo 9’da verilmiştir. Çekme testinde üç farklı kompozizasyon sahip kompozitler T6 ısı işlemine alınmıştır. T6 ısı işlemi kapsamında numuneler 130 ve 190 C’de iki farklı sıcaklıkta 4 saat yaşlandırma ısı işlemine alınmıştır. Yapılan çekme testleri sonucunda Bor oranının artmasına bağlı olarak numunelerde yüzde uzama değeri azalmış, UTS ve akma değeri artmıştır. Çalışmada en

yüksek UTS değeri Al-%5Cu-%5B kompozisasyonuna sahip numunede yaklaşık 250 MPa, akma mukavemeti ise 245 MPa olarak tespit edilmiştir(Calderon, 2008).

Tablo 2. 9. Düşük aspekt oranlı AlB₂ kompozitlerinin ortalama çekme testi sonuçları(Calderon, 2008)

Kompozit	Isıl işlem	Elastik modül (Gpa)	UTS (Mpa)	Akma muk. (Mpa)	% Uzama
Al-%2,5Cu-%2 B	Solüsyon	55,21	160	91	3,13
	130 C'de 4 saat yaşlanma	75,77	205	144	2,5
	190 C'de 4 saat yaşlanma	58,09	201	156	1,03
Al-%3,7Cu-%3 B	Solüsyon	73,54	170	124	1,4
	130 C'de 4 saat yaşlanma	62,14	235	175	1,41
	190 C'de 4 saat yaşlanma	60,85	244	164	1,92
Al-%5Cu-%4B	Solüsyon	69,8	245	164	2,22
	190 C'de 4 saat yaşlanma	60,2	244	171	1,68

Yapılan çalışmalarda kırık yüzey analizlerinde gevrek kırılmaya yakın bir yüzey görüntüsü elde edilmiş, yapıda AlB₂ partiküllerinin ayrışmadığı ve bu bağlamda matris ile güçlendirici arasındaki yapışmanın çok iyi sağlandığı görülmüştür. Şekil 2. 24a'de Al-%2,5Cu-%2B kompozisasyonuna ait kompozitin kırık yüzey SEM görüntüsünde gevrek kırılma özelliği gösteren numunede küçük altıgen şekilli AlB₂ bölgeler görülmektedir. Altıgen şekilli bölgelerden alınan EDS (Şekil 2. 24b) analiz sonuçlarında altıgen bölgelerde alüminyum, bor ve oksijen pikleri gözlenmiştir. Çalışmada bor ve alüminyum piklerinin AlB₂ borür yapılarını işaret ettiği, oksijen pikinin ise test proseslerinden kaynaklandığı rapor edilmiştir(Calderon, 2008).

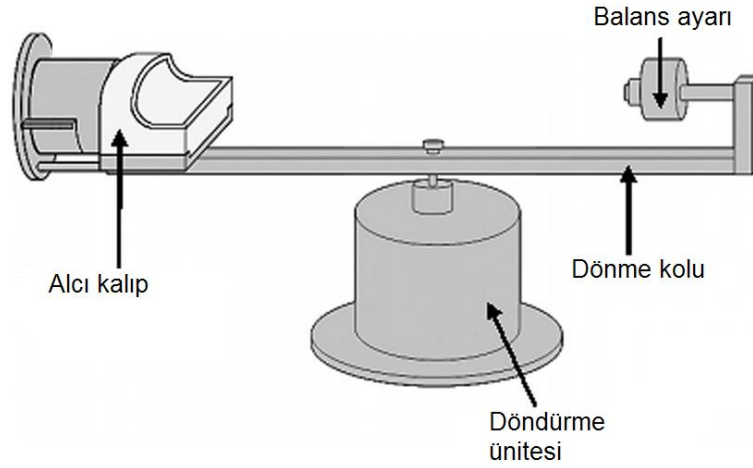


Şekil 2. 24. Düşük aspekt oranlı AlB₂ kompozitine ait kırık yüzey SEM görüntüsü ve kırık yüzeye ait EDX analizi(Calderon, 2008)

2.6. Fonksiyonel AlB₂ Kompozit üretimi ve özellikleri

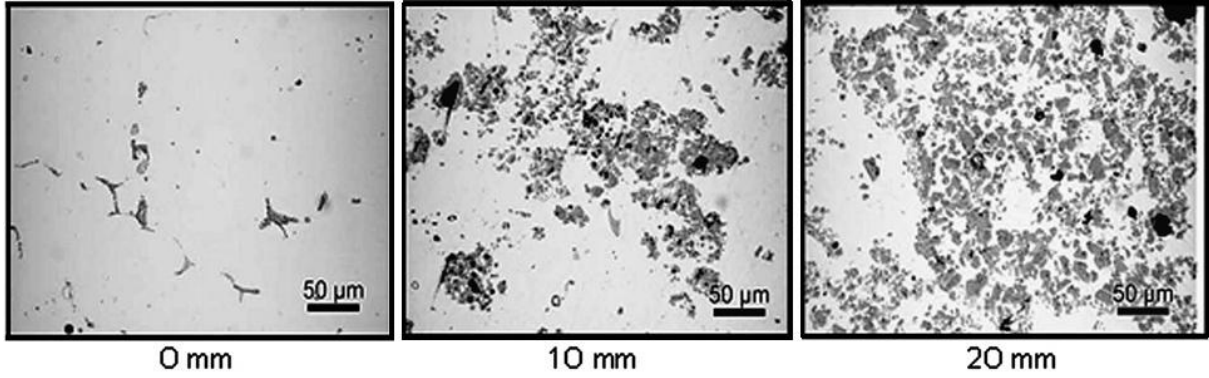
AlB₂ kompozitleri dereceli kompozit üretimi için de birçok avantajlara sahiptir. genellikle yüzey modifikasyonu amacı ile üretilen dereceli kompozitler yüksek yüzeysel tribolojik özellikler sunmaktadır(Pinto, 2006; Duque, 2005; Melgarejo, 2006). AlB₂ fleyklerinin yüksek sertlik ve aşınma özellikleri nedeni ile fonksiyonel kompozitler için büyük bir potansiyel arz etmektedir. sıvı alüminyum (2,40gr/cm³ yoğunluklu) içerisinde kendiliğinden oluşan AlB₂ fleykleri (3,19gr/cm³ yoğunluğa sahip) savurma kuvveti yardımı ile segrage olabilmektedir. Savurma kuvveti yardımı ile AlB₂'ce zengin bölgelerde takviye içeriği bakımından %30 değerine kadar çıkabilen fonksiyonel AlB₂ kompozitleri başarılı bir şekilde üretilmektedir(Melgarejo, 2008). Fonksiyonel AlB₂ kompoziti üretmeye yönelik olarak Suarez gurubunun yaptıkları çalışmalarda AlB₂'ce zengin bölgelerde yüksek tribolojik özellikler elde ettiklerini rapor etmişlerdir.

Fonksiyonel AlB₂ kompoziti üretimi ve mekanik özelliklerini araştırmaya yönelik olarak Suarez gurubunun yaptıkları çalışmalarda Şekil 2. 25'de görülen santrifüj döküm sistemini yardımı ile fonksiyonel AlB₂ kompoziti üretmeyi başarmışlardır. Çalışmada 800 °C'de getirdikleri düşük aspekt oranlı AlB₂ kompoziti, Şekil 2. 25'de görülen alçı kalıp içerisine dökülmüş ve 400 d/d dönme hızı ile savurma işlemine tabi tutulmuştur(Melgarejo, 2008).



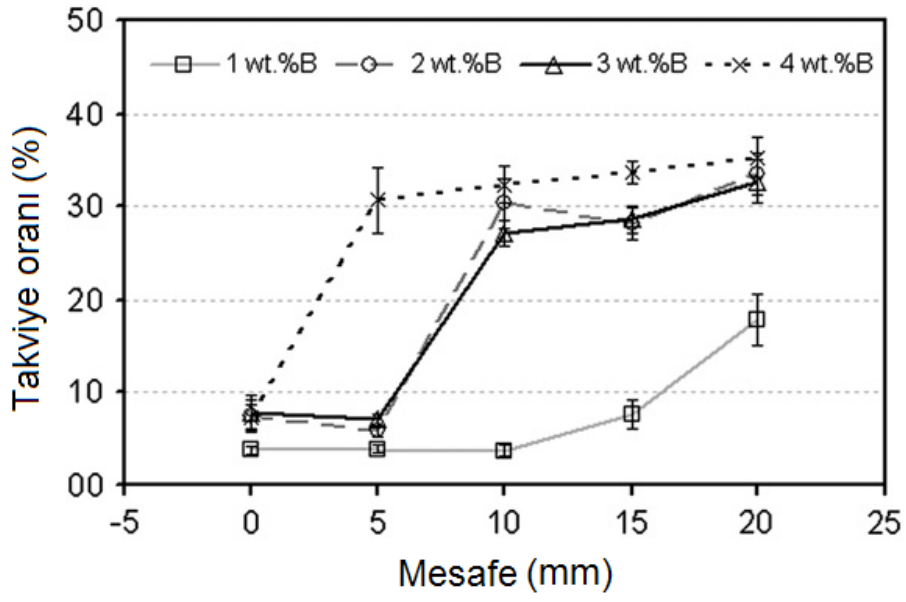
Şekil 2. 25. Savurma döküm sistemi şematik görünümü(Melgarejo, 2008)

Suarez gurubunun Al-%2Mg-B alaşımı ile yaptıkları bu çalışmada %1, %2, %3 ve %4 bor oranına sahip dört farklı aşımı savurmuşlar ve mikro yapı, sertlik ve aşınma özelliklerini incelemişlerdir. Şekil 2. 26a, 26b ve 26c'de Al-%2Mg-%2B alaşımının savurma işlemi sonrasında alınan üç farklı bölgeye ait mikro yapı görüntüsü verilmiştir. Şekilde iç bölgelerde AlB_2 yapıları gözlenmez iken kalıp dış bölgelerine doğru AlB_2 orür yapılarının arttığı görülmektedir. Ayrıca orta bölgelerde matris içerisinde guruplar halinde bulunan AlB_2 yapıları en dış bölgede daha homojen hale gelmiştir.

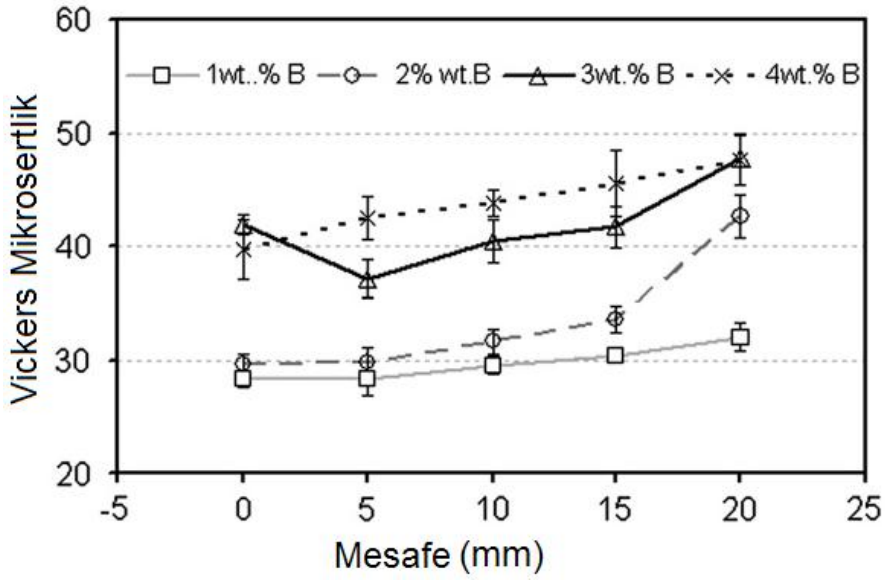


Şekil 2. 26. Al-%2Mg-%2B alaşımının savurma işlem sonrası mikro yapı görünümü(Melgarejo, 2008)

Yapılan çalışma sonrası dört farklı alaşıma ait hacim içeriklerindeki değişim incelenmiştir. Şekil 2. 27'de üretilen kompozitlerin savurma yönüne karşılık AlB_2 takviye içeriklerindeki değişimler verilmiştir. Hacim içeriklerinin savurma yönünün iç kısımlarından dış kısımlarına doğru arttığı görülmektedir. Takviye içeriğinin maksimum %30 değerine kadar çıktığı çalışmada takviye içeriğindeki artışın %2, %3 ve %4 bor içeriğine sahip alaşımlarda belli bir mesafeden sonra yavaşladığı görülmektedir.



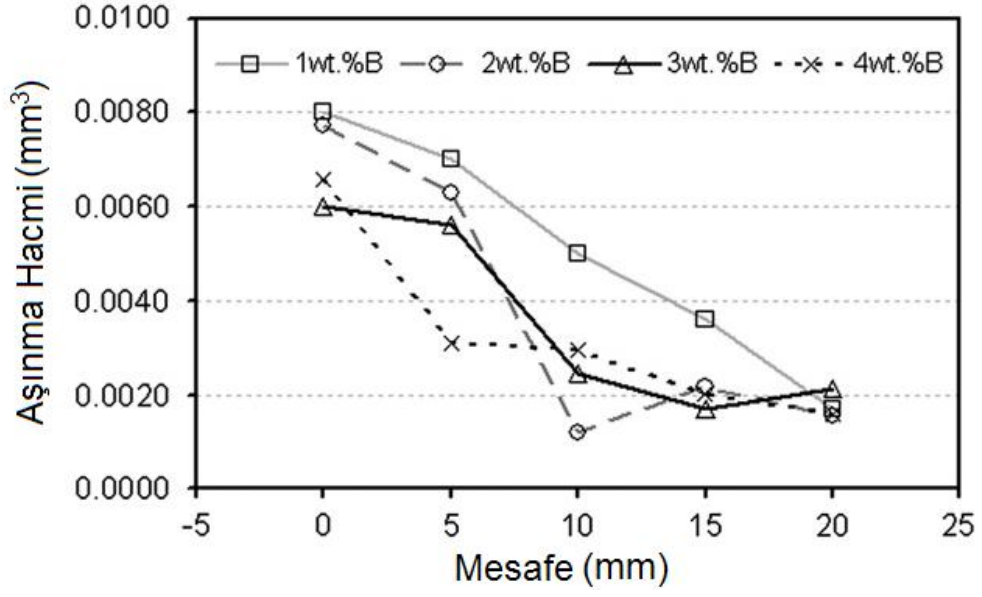
Şekil 2. 27. Mesafeye bağlı olarak takviye içeriği değişimi (Melgarejo, 2008)



Şekil 2. 28. Mesafeye bağlı olarak vickers mikro sertlik değişimi (Melgarejo, 2008)

Yapılan çalışmaya ait Vickers mikrosertlik değişimleri sertlik ölçümleri Şekil 2. 28'de verilmiştir. Sertlik değerinin kalıp iç kısmından dış kısmına doğru arttığı, yani artan bor oranına bağlı olarak Vickers mikro sertlik değerinin arttığı görülmektedir.

Şekil 2. 29'te kalıp dış yüzeyinden iç kısımlara doğru alınana numunelere üzerinden yapılan aşınma testleri sonucunda alınana hacimsel aşınma kayıpları görülmektedir.



Şekil 2. 29. Kalıp iç yüzeyinden mesafeye bağlı olarak hacimsel aşınma kaybı(Melgarejo, 2008)

Şekil 2. 29’te kalıp dış yüzeylerinde hacimsel aşınma kayıplarının çok düşük olduğu ve en düşük aşınma kaybının %4 bor içeriğine sahip kompozit ile yapılan çalışmalar sonucunda AlB_2 ’ce zengin bölgelerde ($<0,0020 \text{ mm}^3$) olduğu görülmektedir.

BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Giriş

Deneysel çalışmalar bölümünde, deneylerde kullanılan materyaller, ekipmanlar, deneysel teknikler ve optimizasyon çalışmalarına yönelik bilgilere yer verilmiştir. Önce başlangıç materyal ve ekipmanları tanıtılmış, yapılan deneysel tekniklerinin tanıtımının ardından, son olarak kompozitlerin karakterizasyon çalışmalarına yer verilmiştir.

3.2. Başlangıç Materyalleri

AlB₂ kompozitlerinin üretiminde matris alaşımı olarak, saf Al, Al-Si, Al-Cu ve Al-Mg alaşımları kullanılmıştır. Saf Al alaşımı olarak %99,98 safiyete sahip ticari ETİAL 8 alaşımı, Al-Si alüminyum alaşımı için %5,93 silisyum içeren ticari ETİAL 177 alaşımı, Al-Mg alüminyum alaşımı için ise %3,65 magnezyum içeriğine sahip ticari ETİAL 150 alaşımı kullanılmıştır. Al-Cu alüminyum alaşımı için ise ticari alaşımlar yerine %99,98 safiyete sahip ETİAL 8 alaşımı içerisine % 4 oranında %99,6 safiyete sahip saf bakır doğrudan ilavesi ile üretilen Al-%4Cu alaşımı kullanılmıştır. Deneylerde bakır ilavesi, saf alüminyumun bor oksit ile 1400 °C'de ısıtılmasına ardından, bu sıcaklıkta ilave edilmiş ve 15 dak. beklenmiştir. Tablo 3.1'de matris alaşımı olarak kullanılan alüminyum alaşımlarının katkı elementleri ve kimyasal kompozisyonları verilmiştir.

Tablo 3. 1. Matris alaşımı olarak seçilen alüminyum alaşımları ve % kimyasal kompozisyonu

Alaşım	Element, %							
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	B	Al
ETİAL 8	0,13	0,29	0,00	0,00	0,00	0,002	0,00	99,60
ETİAL 177	5,93	0,82	0,12	0,24	0,04	0,00	0,03	92,60
ETİAL 220	0,40	0,30	3,46	0,14	0,58	0,05	0,00	95,10
ETİAL 153	0,33	0,23	0,00	0,16	3,65	0,01	0,06	95,02

Tablo 3.1’de taralı kutucuk içerisinde alüminyum alaşımına ait ana alaşım elementi ve ağırlıkça % oranı belirtilmiştir. Ayrıca tabloda ETİAL 8 alaşımına 1400 °C’de %4’lük bakır ilavesi ile alaşımın bakır oranı ağırlıkça %3,46’ya yükseltilmiş olduğu görülmektedir.

Kompozitlerinin üretiminde, bor kaynağı olarak bor oksit, boraks ve borik asitten oluşan üç farklı bor minerali kullanılmıştır. Eti Maden İşletmeleri Müdürlüğü, Bandırma bor ve asit Fabrikasından teminin edilen bor minerallerinin formülleri ve ihtiva ettikleri % bor oranları Tablo 3.2’de yer almaktadır.

Tablo 3. 2. AlB₂ borür yapılarının sentezlenmesinde kullanılan bor mineralleri ve % B oranı

Mineral	Formül	% B oranı
Boraks	Na ₂ B ₄ O ₇	21,48
Borik asit	H ₃ BO ₃	17,5
Bor oksit	B ₂ O ₃	31,05

Bor minerallerinin ihtiva ettikleri fiziksel suyun bertaraf edilmesi amacı ile bor oksit ve boraks mineralleri 600 °C’de 30 dak’lık kalsinasyon işlemine tabi tutulmuştur. Kalsinasyon işlemi, 300 cm³ kapasiteli paslanmaz çelik pota içerisinde elektrik direnç ergitme fırını yardımı ile yapılmıştır. Borik asit minerali, fiziksel su içermemesi ve 600 °C’de bünyesinde bulunan kimyasal suyu kaybederek bor okside dönüşmesi nedeniyle kalsinasyon işlemine alınmamıştır[DPT Bor tuzları raporu, 2001]. Hazırlanan bor cevherlerine ait makro yapı resimleri Şekil 3.1’de görülmektedir. Şekil 3.1a’de 600 °C’de 30 dk kalsinasyon işlemine alınmış bor oksit minerali, Şekil 3.1b’de 600 °C’de 30 dk kalsinasyon işlemine alınmış boraks minerali ve Şekil 3.1c’de ise kalsinasyon işlemine alınmamış borik asit minerallerine ait makro yapı görüntüleri yer almaktadır.



a) Bor oksit minerali (B_2O_3)



b) Boraks minerali ($Na_2B_4O_7$)



c) Borik asit minerali (H_3BO_3)

Şekil 3. 1. Sentezleme işlemine alınmadan önce hazırlanan bor cevherlerine ait makro yapı görüntüleri

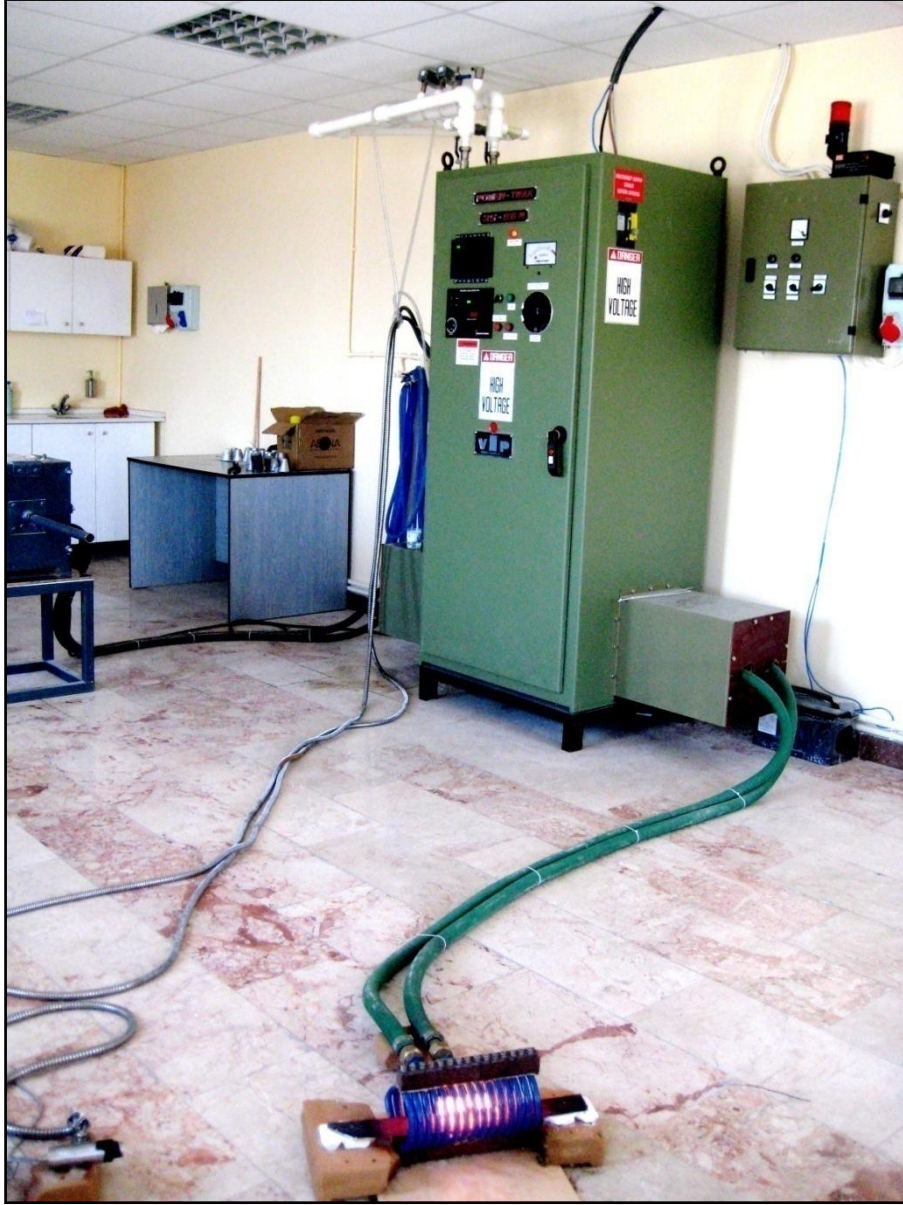
3.3. Deneysel ekipman ve teknikler

AlB₂ kompozitlerinin üretimi ve optimizasyonunda kullanılan ekipman ve tekniklerinin tanıtılmasının amaçlandığı bu bölümde deneysel çalışmalarda kullanılan ergitme ocaklar, ergitme fırınları, savurma döküm sistemi, filtreleme ve ezme döküm sistemleir, kalıplar ve deneylerde optimizasyon amacı ile kullanılan “Taguchi Deneysel Tasarımı” hakkında bilgilere yer verilecektir.

3.3.1. Eğritme ocakları ve Ergitme Fırınları

3.3.1.1. İndüksiyon ergitme sistem

Yapılan literatür çalışmalarında, bor oksit ve boraks ilavesi yüksek aspekt oranlı AlB_2 kompozitlerinin üretilebilmesi için yüksek ergime sıcaklığına (> 1400 °C) sahip alüminyum ergitme ocaklarına ihtiyaç duyulmuş, Bu nedenle yapılan deneysel çalışmalarda, yüksek ergitme sıcaklık ve gücüne sahip indüksiyon sistemlerinden faydalanma yoluna gidilmiştir, bu amaca yönelik olarak deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere 107M023 numaralı Tübitak proje kapsamında 35-96R Inductotherm marka indüksiyon sistemi temin edilmiştir. Şekil 3.2'de resmi görülen indüksiyon sistemi 35 KW gücünde ve 8 kg alüminyum ergitme kapasitesine sahiptir. Ocak sistemi ve bobini sistemi şeklinde iki bölümden oluşan indüksiyon sistemi 15 gr ile 8000 gr arasında alüminyum eğrite bilme olanağına sahiptir.



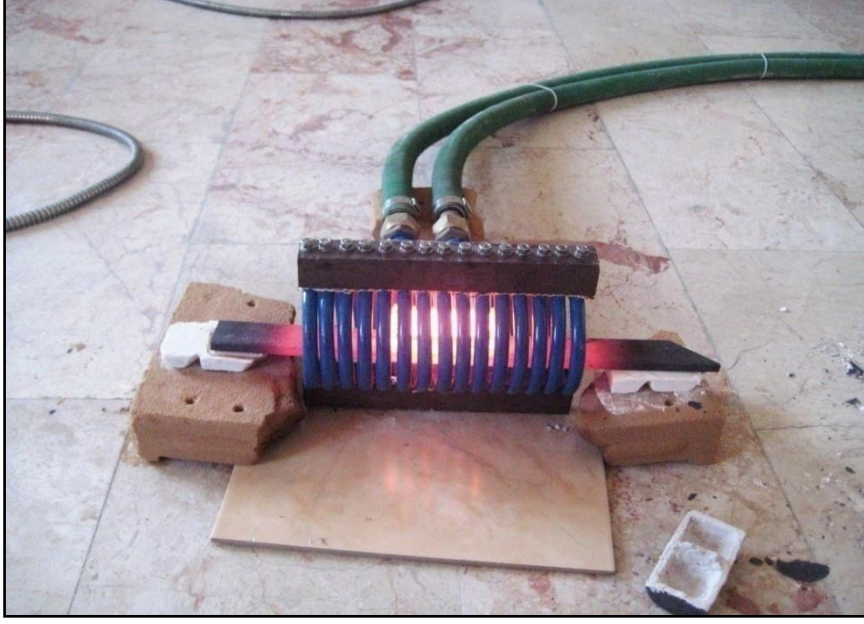
Şekil 3. 2. İndüksiyon eğritme sistemi

Ocak sisteminde sıcaklık kontrolleri, lazer okuyuculu alüminyum pirometre yardımı ile sağlanmaktadır.



Şekil 3. 3. İndüksiyon ocak görüntüsü

Bobin sistemi; Isıl işlem fırınları ve eğritme ocaklarına göre yüksek soğuma hızı (Maks. 20 °C/sn) ve yüksek ergitme sıcaklığı (> 1400 °C) gibi birçok avantaja sahip olan indüksiyon bobin sistemi, 15 ile 1000 gr arasında alüminyum ergitme olanağına sahiptir. 14 sarımlı, 240 mm uzunluğunda ve 100 mm çapında olan indüksiyon bobin sistemi, AIB₂ kompozitlerinin optimizasyonunu ve küçük çaplı eğritmeler için özel olarak tasarlanmıştır. Yapılan çalışmalarda ergitme işlemleri, İndüksiyon bobini için özel olarak tasarlanmış ısıl işlem potalarından faydalanılmıştır. Şekil 3.4’de indüksiyon bobini ve içerisinde ergitme potası görülmektedir. Yapılan çalışmalarda, ergitme potalarının indüksiyon bobinine zarar vermesinin engellenmesi amacı ile ergitme potaları 50x5x1 cm boyutundaki çelik lamalar yardımı ile indüksiyon bobinine temas etmeyecek şekilde yerleştirilmiştir. İndüksiyon bobin sisteminde, sıcaklık kontrolleri lazer okuyuculu alüminyum ve çelik için kalibre edilmiş lazer okuyuculu optik pirometreler yardımı ile yapılmıştır ve buna ek olarak K-tip daldırma termokupulları ile sıcaklık kontrolleri desteklenmiştir.



Şekil 3. 4. İndüksiyon bobini ve içerisinde ergitme potasının görünümü

3.3.1.2. Elektrik Direnç Ergitme Fırını

AlB₂ kompozitlerinin takviye içeriklerinin artırılmasına yönelik olarak yapılan çalışmalarda, kompozitlerin “AlB₂(Katı) + Al(Sıvı)” bölgesine çıkarılması ve bu sıcaklıktan savurma veya filtreleme işleminin uygulanması gerekmektedir. Bu amaca yönelik olarak yapılan deneysel çalışmalarda Elektrik Direnç Ergitme Ocağından faydalanılmıştır. Bu amaca yönelik olarak imal edilen Elektrik Direnç Ergitme Ocağı Şekil 3.5’de görülmektedir. Düşük ergitmeler için kullanılan Elektrik Direnç Ergitme ocağı 220 V ve 2 A belsem gücü ile, 10 kg alüminyum ergitme kapasitesine, Maksimum 950 °C ergime sıcaklığına ve 20 °C/dak ısıtma hızına sahiptir. Ocakta sıcaklık kontrolleri K-Tipi terokapıllar yarımı ile otomatik sıcaklık kontrolörleri vasıtası ile sağlanmıştır. Düşük eğritmeler için imal edilen ocak ayrıca boraks ve bor oksidin kalsinasyo içinde faydalanılmıştır.



Şekil 3. 5. Düşük eğritme sıcaklıkları için Elektrik Direnç Ergitme ocağı

3.3.2. Savurma döküm sistemi ve makinesi

Savurma döküm yöntemi ile AlB_2 kompozitlerinin takviye içeriklerinin artırılması amacı ile savurma döküm yönteminden faydalanılmıştır. Bu amaca yönelik 107M023 nolu Tübitak projesi kapsamında Şekil 3.6'de görülen düşey eksenli savurma döküm istemi temin edilmiştir. Maksimum 1500 d/d dönme hızına sahip olan savurma döküm sistemi, 10 kg alüminyum savurma kapasitesine sahiptir. Savurma döküm makinesi için özel olarak tasarlanan kontrol ünitesi sayesinde, devir hızı 30-1500 d/d arasında, savurma süreleri ise 1-15 dakika aralığında ayarlanabilme olanağına sahiptir.



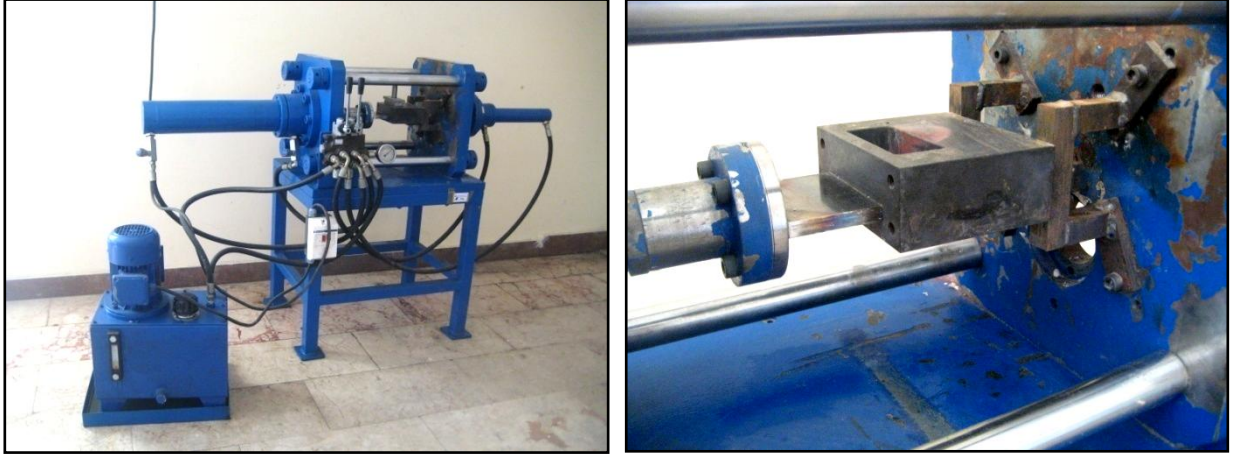
Şekil 3. 6. Düşey eksenli Savurma Döküm Makinesi

Yapılan çalışmalarda, “ $AlB_2(Katı) + Al(Sıvı)$ ” bölgesinde AlB_2 kompozitlerinin viskoz özellik taşımlarından dolayı sağlıklı bir akışkanlık sağlanamamış ve buna bağlı olarak da dökümler sağlıklı bir şekilde yapılamamıştır. Bu nedenle savurma işlemlerinde AlB_2 kompozitleri, savurma döküm için tasarlanan çelik potalar içerisinde ergitilmiş ve aynı pota içerisinde savurma işlemine alınmıştır.

Savurma döküm makinesi ile sıvı metalin savrulması, savurma potaları içerisinde $800\text{ }^\circ\text{C}$ 'de eğritilen AlB_2 kompoziti, Şekil 3.22 ve Şekil 3.24'de görüldüğü gibi savurma döküm makinesinde yar alan kalıp içerisine konularak, 1000 d/d dönme hızında, 5 dakikalık süreyle savrulmuştur. Bu şekilde, savurma işlemi öncesinde sıcaklık kayıpları en aza indirilmiş ve savurma işlemleri daha güvenilir bir şekilde yapılabilmektedir.

3.3.3. Ezme döküm sistemi ve filtreleme

AlB_2 kompozitlerinin takviye içeriklerinin artırılmasında savurma döküm sistemine alternatif olarak filtrelene yönteminden de faydalanılmıştır. Yapılan çalışmalarda kompozitlerinin filtreleme amacı ile 107M023 nolu Tübitak projesi kapsamında temin edilen ezme döküm makinesinden faydalanılmıştır. Şekil 3.7'de resmi görülen ezme döküm makinesi max. 1000 Bar basma ve 1500 gr alüminyum ezme kapasitesine sahiptir.



Şekil 3. 7. Ezme döküm sistemi ve üzerinde filtreleme kalıbı

3.3.4. Su soğutmalı yolluk sistemi

AlB₂ kompozitlerinin üretiminde yüksek aspekt oranı AlB₂ yapılarının elde edilmesi ve kırılğan özelliğe sahip AlB₁₂ yapılarının oluşumunun engellene bilmesi için yüksek sıcaklıktaki (~1400 °C) Al-B çözeltilsinin hızlı bir şekilde “AlB_{2(sıvı)} + Al_(katı)” bölgesine inilmesi gerekmektedir. Deppisch ve arkadaşları AlB₂ kompozitlerinin üretiminde AlB₁₂ yapılarından kaçınmak için çözeltilsinin < 50 °C/dak’lık soğuma hızı ile “AlB_{2(sıvı)} + Al_(katı)” bölgesine inilmesi gerektiği ve soğuma hızının artmasına bağlı olarak AlB₂ yapılarının aspekt oranlarının arttığını rapor etmişlerdir. Bu bilgiler dikkate alınarak yapılan deneysel çalışmalarda beklenen hızlı soğumanın sağlanması amacı ile Su Soğutmalı Yolluk Sistemi tasarlanmıştır.

Şekil 3.8’de ölçü ve fotoğrafı verilen Su soğutmalı yolluk sisteminin imalatında sıvı metalin temas ettiği yüzeyler ısı iletiminin artırılması amacı ile 2 mm kalınlığında bakır saçlar kullanılmıştır. Sıvı alüminyumun bakır ile reaksiyonunu engellemek amacı ile sıvı metalin temas ettiği yüzeyler bor nitrür boya ile kaplanmıştır ve boyama işlemi her döküm öncesi tekrarlanmıştır. Su soğutmalı yolluk sistemi üzerinde yer alan, açı ayar kolu vasıtası ile sıvı metalin akış hızı değiştirilebilmekte ve bu sayede sıvı metalin soğuma hızı ayarlanabilmektedir. Sistemin soğutulması ise 17 l/dak akış debisinde şebeke su ile sağlanmaktadır.



Şekil 3. 8. Su soğutmalı yolluk sistemi

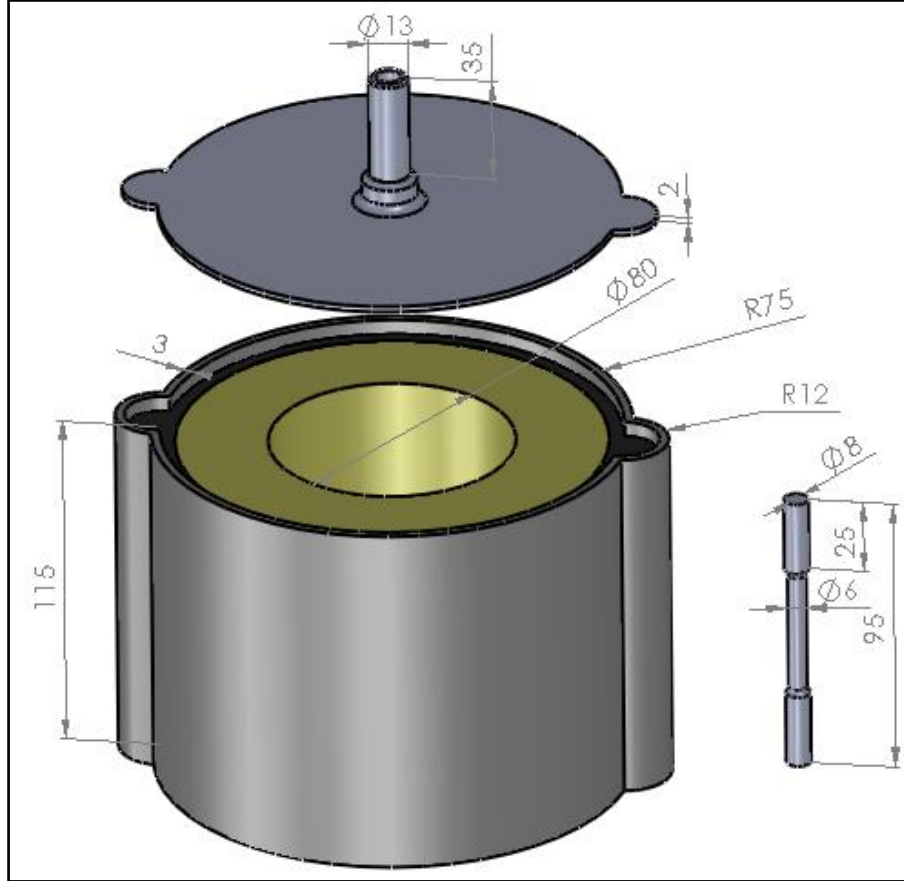
3.3.5. Potalar ve kalıplar

Bu deneysel bölümde, yapılan çalışmalar kapsamında AlB_2 yapılarının sentezlenmesi ve kompozitlerinin takviye içeriklerinin artırılması amacı ile tasarlanmış kalıp ve potalar hakkında bilgiler yer almaktadır.

3.3.5.1. Savurma döküm kalıbı

Savurma döküm yöntemi ile AlB_2 takviye içeriklerinin artırılması amacı ile Şekil 3.12’de görülen savurma döküm kalıbı kullanılmıştır. Kalıp tasarımında, AlB_2 borür yapılarının toplanması amacı ile kalıp üzerinde 20 mm çapında iki adet kapan dizayn edilmiştir. Tek kullanımlık olarak imal edilen savurma döküm kalıpları, 2 mm kalınlıkta çelik sac kullanılarak imal edilmiştir. Çelik sacdan imal edilen savurma kalıbının sıvı alüminyum ile

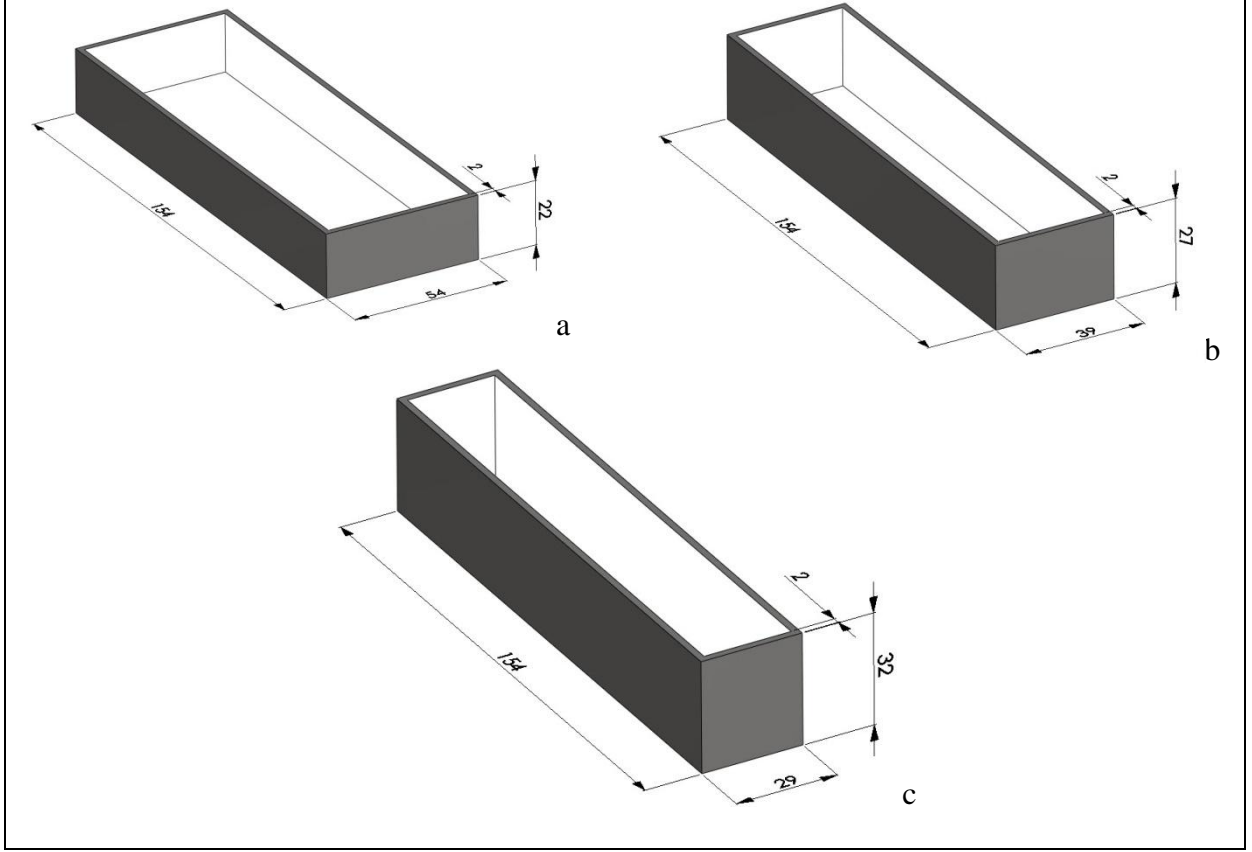
reaksiyonunun engelleme amacı ile kalıbın iç yüzeyleri 2 mm kalınlığında zirkon ve bor nitrür boya ile kaplanmıştır. Savurma döküm kalıpları kullanılarak üretilen numuneler üzerinden çekme testleri için kalıp üzerinden yer alan AlB_2 'ce zengin ve fakir bölgelerden Şekil 3.9'da gösterilen ölçülere göre çekme numuneleri hazırlanmıştır.



Şekil 3. 9. Savurma döküm kalıbı ve ölçüleri

3.3.5.2. AlB_2 borür yapılarının sentezlenmesi ve optimizasyonunda kullanılan potalar

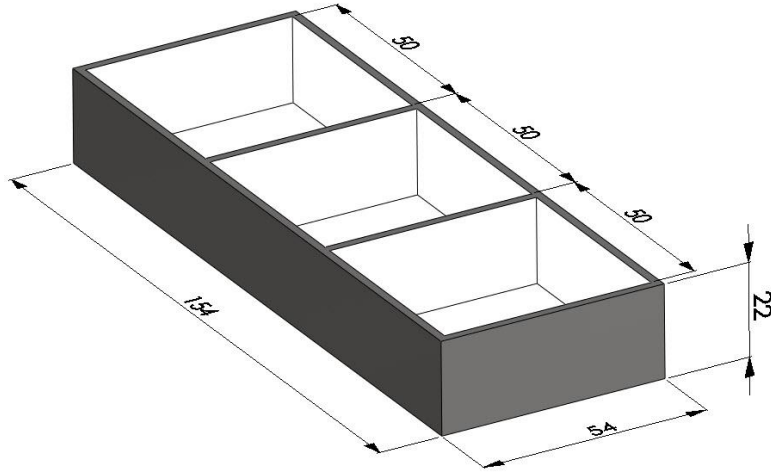
Deneyisel çalışmalarda AlB_2 borür yapılarının sentezlenmesi ve karakterizasyonunda diğer ergitme fırın ve ocaklarına nazaran (tüp fırın, elektrik direnç ergitme fırını vs.) kullanım kolaylığı, geniş kullanım sıcaklık ve soğuma hızı nedeniyle indüksiyon bobini tercih edilmiştir ve bu nedenle indüksiyon bobini ile yapılan çalışmalarda, yüksek sıcaklık ve yüksek soğuma hızına dayanıklı ısıl işlem potalara ihtiyaç duyulmuştur. bu ihtiyaçlar doğrultusunda yapılan araştırmalar sonucunda Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de görüntüleri verilen çelik potalar tasarlanmıştır.



Şekil 3. 10. İndüksiyon bobini için çelik pota

Tasarlanan potalar 2 mm kalınlıkta çelik saçtan imal edilmiş ve sıvı alüminyumun pota ile reaksiyona girmesinin engellenmesi amacı ile kalıp iç yüzeyleri bor nitrür ve zirkonyum oksit esaslı izolasyon malzemesi ile 2 mm kalınlıkta kaplanmıştır. Kalıplara izolasyon malzemesinin tatbikinde, ilk önce zirkon boyası fırça yardımı ile kalıp iç yüzeylerine tatbik edilmiş, 200 °C'de 15 dakika kurutma işlemine alınmış ve son olarak izolasyon kaplamasında oluşabilecek çatlaklıkların kapatılması amacı ile bor nitrür (BN) izolasyon boyası ile ikinci defa kaplanmıştır.

Şekil 3.10(a, b ve c)'de üç farklı geometriye sahip çelik potalar AlB_2 yapılarının morfolojilerinin (boyutsal) optimizasyonu için tasarlanmış ve bu şekilde üç farklı geometri ile üç farklı soğuma hızının elde edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 3. 11. Üç bölmeli çelik pota

Şekil 3.11’de ise AlB_2 borür yapılarının sentezlenmesine yönelik olarak yapılan çalışmalarda kullanılmak üzere tasarlanmış ergitme potası görülmektedir. Tasarlanan kalıp zirkon ve bor nitrür izolasyon malzemesi ile eşit olarak üç bölmeye ayrılmış. Bu sayede borik asit, bor oksit ve boraks ilavesinin AlB_2 borür yapılarının sentezlenmesi tek bir pota içerisinde yapılması sağlanmıştır. Bu sayede deneysel hatalar eşitlenmiş ve kullanılan bor mineralleri arasında daha güvenilir bir kıyaslama olanağı sağlanmıştır.

3.3.6. Deneysel Yöntemler

Yapılan deneysel yöntemlerin tanıtıldığı bu bölümde AlB_2 yapılarının sentezlenmesi, AlB_2 yapılarının boyutsal optimizasyonu, AlB_2 takviye içeriğinin artırılmasına yönelik olarak yapılan deneysel yöntemler hakkında bilgiler içermektedir.

3.3.6.1. Bor oksit, boraks ve borik asit ilavesi ile AlB_2 borür yapılarının oluşturulmasına yönelik deneysel yöntemler

Bu bölümde, bor oksit, borak ve borik asit mineralleri kullanılarak yüksek aspekt oranlı AlB_2 borür yapılarının sentezlenmesi ve bor minerallerinin birbirleri ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak matris alaşımı olarak %99,6 safiyete sahip 30 gr’lik ETİAL 8 alaşımı kullanılmıştır. Önceki bölümde bahsedildiği gibi bor oksit ve boraks mineralleri kalsinasyon işlemine tabi tutulmuş, borik asit minerali ise kalsinasyon işlemine alınmamıştır.

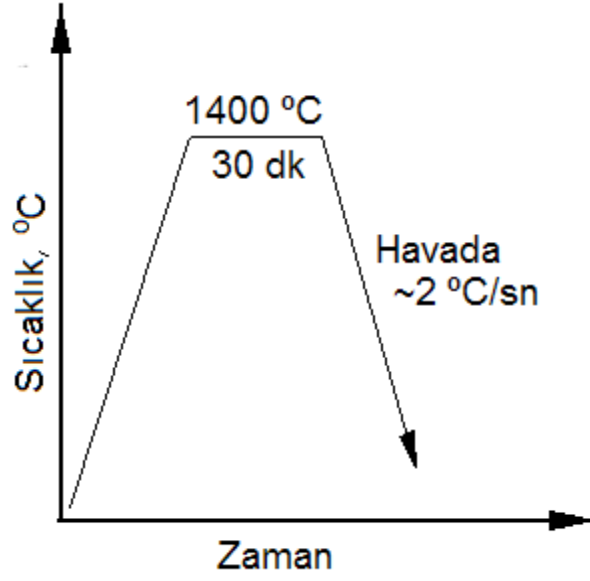
Deneysel olarak giren bor miktarlarının eşitliğinin sağlanması amacı ile kullanılan bor minerallerinin % B miktarları teorik olarak hesaplanmış ve buna göre 30 gr alüminyum matris alaşım içerisinde % 3 bor elde için gerekli mineral miktarı hesaplanmıştır. Tablo 3.3’de bor mineralleri, teorik olarak hesaplanan % B oranları, % 3 bor eldesi için gerekli mineral miktarları ve buna bağlı olarak beklenen alüminyum kayıpları verilmiştir.

Tablo 3. 3. 30 gr’lık alüminyum için %3 bor eldesi dikkate alınarak hesaplanan mineral miktarları ve alüminyum kaybı

Mineral			% 3 Bor eldesi için		% Al kaybı
Adı	Formül	Bor oranı (%)	Mineral miktarı (gr)	Al kaybı (gr)	
Boraks	Na ₂ B ₄ O ₇	21,48	4,3	2,68	8,93
Borik asit	H ₃ BO ₃	17,5	5,3	4,62	15,4
Bor oksit	B ₂ O ₃	31,05	2,9	0,67	2,23

Tablo 3.3’de 30 gr’lık alüminyum alaşımını dikkate alındığında % 3’lük bor eldesi için en az mineral miktarının 2,9 gr ile bor oksit mineralinde olduğu ve en az alüminyum kaybının ise 0,67 gr ile yine aynı mineralde olduğu görülmektedir. % 3’lük bor içeriği için en fazla mineral ihtiyacının borik asit mineralinde 30 gr alüminyum için 5.3 gr civarında olduğu ve en fazla alüminyum kaybı yine aynı mineralde yaklaşık 4.62 gr olduğu görülmektedir.

30 gr’lık alüminyum külçeler sırası ile 4,3 gr boraks, 2,9 gr bor oksit ve 5,3 gr borik asit minerali ile Şekil 2’de görülen üç bölmeli olarak imal edilmiş çelik pota içerisinde ayrı ayrı şarj edilmiştir. Çelik pota içerisinde yer alan karışımlar indüksiyon bobini yardımı ile 1400 °C’de 30 dk ısıtılma işlemi alınmış ve havada (~2 °C/sn) soğutulmuştur. Şekil 3.12’de AlB₂ borür yapılarının sentezlenmesine yönelik olarak kullanılan ısıtılma şeması görülmektedir.



Şekil 3. 12. AlB₂ borür yapılarının sentezlenmesine yönelik ısı çevrim şeması

3.3.6.2. AlB₂ borür yapılarının genişlik, kalınlık ve aspekt oranları üzerine etki eden parametrelerin belirlenmesine yönelik deneysel yöntemler

Bu deneysel bölüm AlB₂ borür yapılarının morfolojilerinin ve AlB₂ yapılarının genişlik, kalınlık ve aspekt oranları üzerine etki eden parametrelerin belirlenmesi ve yüksek aspekt oranlı AlB₂ yapılarının elde edilmesine yönelik optimizasyon çalışmalarını içermektedir. Bu amaca yönelik olarak bu deneysel bölüm;

- a- “Soğuma hızı” ve “alüminyum matris alaşımı” faktörlerinin AlB₂ yapıları üzerine etkilerini belirlemeye yönelik yapılan deneysel yöntemler
- b- “AlB_{2(sıvı)} + Al_(katı)” bölgesinde bekleme zaman ve sıcaklık faktörlerinin AlB₂ yapıları üzerine etkilerini belirlemeye yönelik olarak yapılan deneysel yöntemler şeklinde iki bölüme ayrılmıştır.

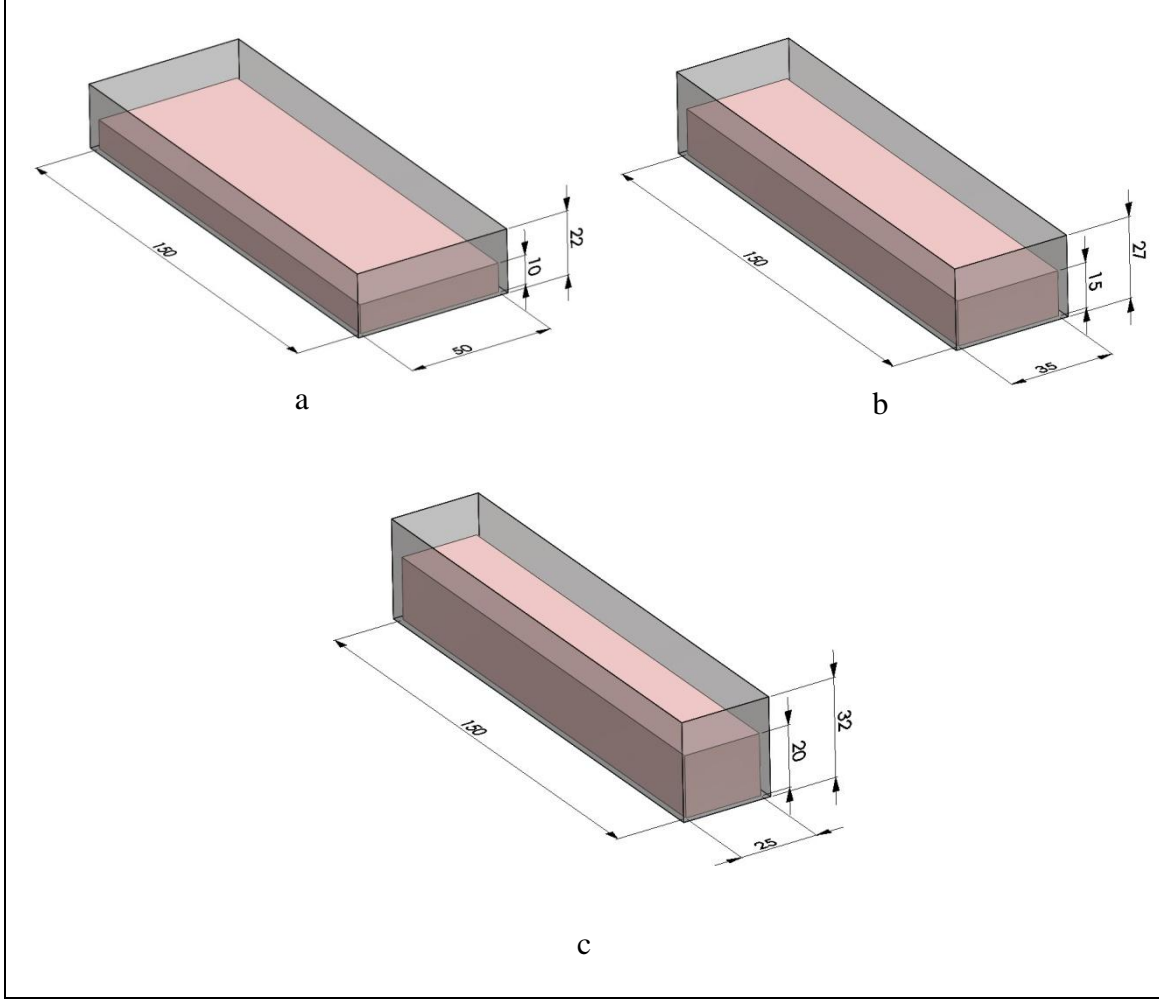
3.3.6.2.1. “Soğuma hızı” ve “matris alaşımı” faktörlerinin AlB₂ yapıları üzerine etkilerini belirlemeye yönelik yapılan deneysel yöntemler

Bu bölümde AlB₂ yapılarının uzunluk, kalınlık ve aspekt oranları üzerine etki eden “soğuma hızı” ve “matris alaşımı” faktörleri ele alınmıştır. Tablo 3.4’de “soğuma hızı” ve “matris alaşımı” faktörlerinin seviyeleri ve seviye değerleri verilmiştir.

Tablo 3. 4. Soğuma hızı ve Matris alaşımı faktörlerinin seviyeleri ve değerleri

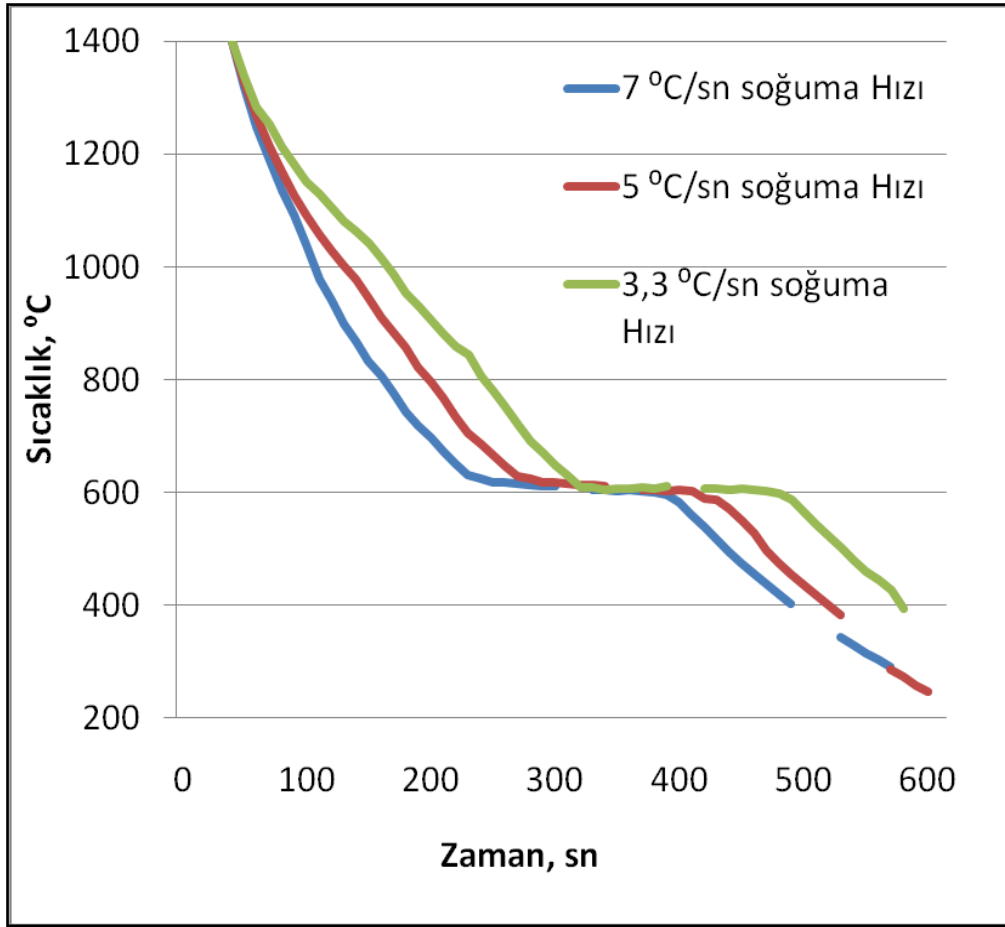
Faktör	Seviye			
	1	2	3	4
Soğuma hızı	3,3 °C/sn	5 °C/sn	7 °C/sn	-
Matris alaşımı	Saf Al	Al-Si	Al-Cu	Al-Mg

Üç farklı soğuma hızının elde edilmesi amacı ile Şekil 3.14’de yer alan üç farklı modüle (yüzey alan / hacim) sahip çelik potalar tasarlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak üç farklı kalp içerisine yerleştirilen 200 gr’lık alüminyum külceler katılma sırasında geometrik modül farkından dolayı üç farklı soğuma hızı vermiştir. Şekil 3.13’de 200 gr’lık sıvı alüminyumun tasarlanan kalıplar içerisinde aldığı geometrik modüller görülmektedir. Bu geometrik modüle sahip çelik potalar üzerinden alınan soğuma eğrileri Şekil 3.14’de verilmiştir. Şekil 3.14a’de görüldüğü gibi daha geniş yüzey alanına sahip olan kalıp içerisinde alüminyum alaşımının daha hızlı soğudu (~7 °C/sn), Şekil 3.14b’de ondan daha küçük yüzey alanına sahip olan kalıp içerisinde alüminyum alaşımının soğuma hızının biraz azaldığı (~5 °C/sn) ve Şekil 3.14c’de en küçük yüzey alanına sahip kalıp içerisinde yer alan alüminyum alaşımının ise en yavaş soğuma hızına sahip olduğu (~3,3 °C/sn) görülmektedir. Deneylerde sıcaklık datalarının alınması, optik pirometreler yardımı ile okunan dataların, Canon Digital IXUS70 marka video kaydedicisine aktarılması ile sağlanmıştır. Deneysel hatalarının minimuma indirilmesi amacı ile her deney için en az üçer adet soğuma eğrisi alınmıştır.



Şekil 3. 13. 200 gr'lık sıvı alüminyumun kalıp içerisinde görünümü

Matris alaşımının AlB_2 borür yapıları üzerine etkilerini belirlemek amacı ile katkısız, % 5,94 silisyum, 3,46 bakır ve 3,65 magnezyum katkılı dört farklı alüminyum matris alaşımı seçilmiştir. 200 gr şeklinde hazırlanan matris alaşımları 50 gr kalsine edilmiş bor oksit tozları ile Şekil 3.14'de üç farklı soğuma modülüne sahip çelik potalar içerisinde indüksiyon bobini yardımı ile 1400 °C'de 1 saat ısıl işleme alınmıştır.



Şekil 3. 14. Üç farklı potada katılaştırılan numunelerin soğuma eğrileri

Deneysel bölümde, üç farklı soğuma hızının ve dört farklı matris alaşımı faktörlerinin bütün kombinasyonları dikkate alınmış ve $3 \times 4 = 12$ farklı deney yapılmıştır. Deneysel hatalarının minimuma indirilmesi amacı ile her deneysel durum üçer defa tekrarlanmıştır.

3.3.6.2.2. “ $AlB_2(Katı) + Al(Sıvı)$ ” bölgesinde bekleme zaman ve sıcaklık faktörlerinin AlB_2 yapıları üzerine etkilerini belirlemeye yönelik olarak yapılan deneysel yöntemler

“ $AlB_2(Katı) + Al(Sıvı)$ ” bölgesinde bekleme zamanı ve sıcaklığının AlB_2 borür yapılarının boy kalınlık ve aspekt oranları üzerine etkilerinin belirlemeye yönelik olarak yapılan bu deneysel bölümde 700 °C, 800 °C ve 900 °C’de üç farklı bekleme sıcaklığı ve 20, 60, 180 dak’dan oluşan üç farklı tutma zamanı seçilmiştir. Tablo 3.5’de “ $AlB_2(Katı) + Al(Sıvı)$ ” bölgesinde tutma sıcaklık ve zaman faktörlerinin seviye ve değerleri verilmiştir.

Tablo 3. 5. “ $AlB_2(Katı) + Al(Sıvı)$ ” bölgesinde tutma zamanı ve sıcaklık faktör ve seviyeleri

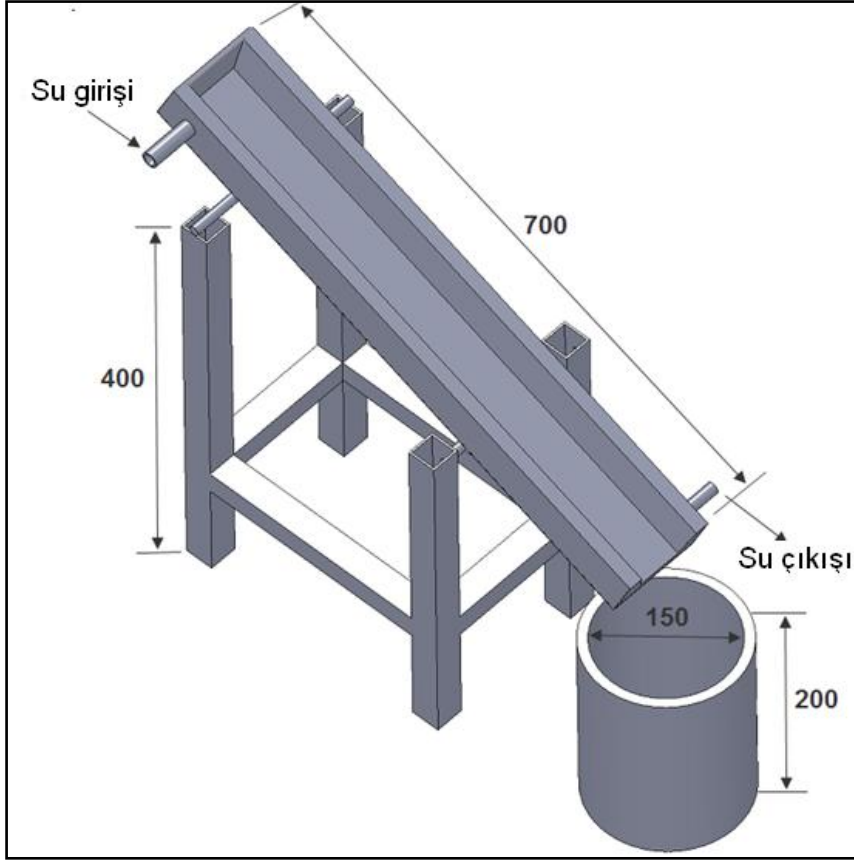
Faktör	Seviye		
	1	2	3
Tutma sıcaklık	700 °C	800 °C	900 °C
Tutma zaman	20 dak.	60 dak.	180 dak.

“ $AlB_2(Katı) + Al(Sıvı)$ ” bölgesinde bekleme zamanı ve sıcaklığının AlB_2 yapılarına etkilerini belirlemek amacı ile matris alaşımı olarak % 4 takviye içerikli ve ortalama 500 μm uzunlukta ve 0,3 μm kanlıkta AlB_2 yapılarına sahip $AlB_2/Al-Si$ kompoziti kullanılmıştır. Master alaşımı üzerinden alınan 30 gr’lık numuneler 40 cm^3 kapasiteli alümina pota içerisinde Tablo 3.5’te yer alan sıcaklık ve zaman parametrelerine dikkat edilerek ısıl işleme alınmıştır. Deneysel numunelerinin ısıl işlemi, maksimum 1100 °C ergitme sıcaklığına sahip Protherm marka elektrik direnç ergitme fırını kullanılmış ve numuneler ısıl işlemler sonrasında fırın içerisinde kendiliğinden katılaşmaya bırakılmıştır.

Bu deneysel bölümde, üç farklı tutma sıcaklığı ve üç farklı tutma zamanı dikkate alınarak $3 \times 3 = 12$ farklı deney yapılmıştır. Deneysel hatalarının minimuma indirilmesi amacı ile her deneysel durum üçer defa tekrarlanmıştır.

3.3.6.3. Doğrudan döküm yöntemi ile AlB_2 kompozitlerinin üretilmesine yönelik yapılan deneysel yöntemler

Yüksek aspekt oranlı AlB_2 kompozitlerinin doğrudan döküm yöntemi ile üretimine yönelik olarak yapılan bu deneysel bölümde saf Al, Al-Si, Al-Cu ve Al-Mg’den oluşan dört farklı matris alaşım seçilmiş, bor kaynağı olarak ise bor oksit mineralinden faydalanılmıştır. Deneysel Saf Al matris alaşım olarak ETİAL 8, Al-Si matris alaşım için ETİAL 177, Al-Mg matris alaşımı için ETİAL 150 alaşımları kullanılmıştır. Deneysel Al-Cu matris alaşımı, ETİAL 8 alaşımının bor oksit ile sentezlenmesi sonrasında 1400 °C’de % 4 oranında 99,99 safiyete sahip bakır çubuklarının doğrudan sıvı Al-B alaşımına ilavesi ile sağlanmıştır.



Şekil 3. 15. Su soğutmalı yolluk sistemi temsili görüntüsü

Hazırlanan 6 kg'lık matris alaşımları 500 gr küçük kürceler halinde 1 kg'lık kalsine edilmiş bor oksit ile birlikte indüksiyon ocağına şarj edilmiştir. Ocağın sıcaklığı ~ 7 °C/dak'lık ısıtma hızı ile 1400 °C'ye çıkarılmış, bu sıcaklıkta 1 saat bekleme sonrası, Al-B eriyik doğrudan grafit potaya veya Şekil 3.15'de şematik olarak gösterildiği gibi su soğutmalı yolluk sistemi üzerinden grafit potaya dökülmüştür. Bu sayede alüminyum matris içerisinde AlB_{12} yapılarının oluşumu engellenmeye ve yüksek aspekt oranlı AlB_2 yapılarının oluşturulmasına çalışılmıştır. Bakır (Cu) katkılı matris alaşımında bakır ilavesi 1400 °C'de 45 dak bekleme sonrası ilave edilmiş, 15 dak. beklendikten sonra dökümleri yapılmıştır. Şekil 3.16'de dökümlerde kullanılan grafit pota ve üretilen döküm numunesi görülmektedir.



Şekil 3. 16. Doğrudan döküm yönteminde kullanılan grafit pota ve döküm sonrası üretilmiş AlB_2 kompoziti

3.3.6.4. AlB_2 kompozitlerinde takviye içeriklerinin artırılmasına yönelik yapılan deneysel yöntemler

AlB_2 kompozitlerinin üretiminde takviye içeriklerinin artırılması esas alınan bu deneysel bölümde takviye içeriklerinin artırılmasında kullanılan deneysel yöntemler hakkında bilgiler yer almaktadır. Bu kapsamda tek adımlı olarak, savurma döküm ve filtreleme yöntemleri kullanılarak takviye içeriklerinin artırılmasına yönelik olarak yapılan deneysel yöntemler tanıtılacaktır.

3.3.6.4.1. Doğrudan döküm yöntemi ile (tek adımlı olarak) AlB_2 takviye içeriklerinin artırılmasına yönelik yapılan deneysel yöntemler

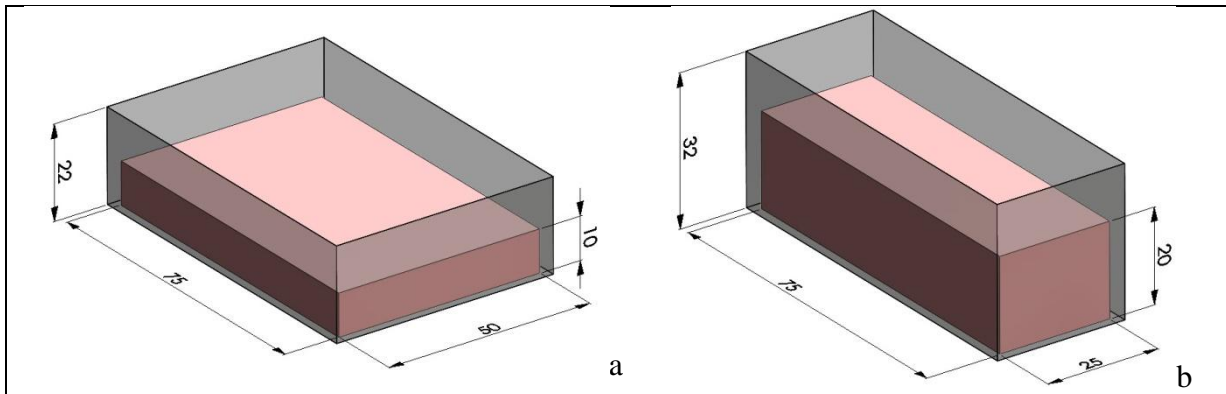
Bu amaca yönelik olarak tek adımlı döküm yöntemi kullanılarak AlB_2 kompozitlerinin takviye içerikleri artırılmaya çalışılmıştır. Bu amaca yönelik olarak “tutma sıcaklığı”, “tutma zaman”, “alüminyum matris alaşımı”, “bor oksidin sıvı alüminyum ile temas yüzey alanı” ve bunların karşılıklı etkileşimleri dikkate alınmıştır. Bor oksit ilavesi ile maksimum takviye içeriğinin elde edilmesine yönelik olarak tasarlanan bu optimizasyon çalışmasında Taguchi deneysel metodundan faydalanılmıştır. Normal şartlarda iki seviyeli dört faktör için $2 \times 2 \times 2 \times 2 = 16$ adet deney yapılması gerekirken bu yöntemin kullanılması ile deney sayısı 8’e

düşürülmüştür. Deneylerde belirlenen faktör ve seviyeleri kolon simgeleri ile birlikte Tablo 3.6’da verilmiştir.

Tablo 3. 6. Tek adımlı AlB₂ takviye içeriğinin artırılması yönelik yapılan deneyler ait faktör ve seviye değerleri

Kolonu Simgesi	Faktörler	Seviye	
		1	2
A	Tutma Zamanı, dak	30	90
B	Tutma Sıcaklığı Sıcaklık, °C	1350	1400
C	Bor Oksit Temas Yüzey Alanı, cm ²	100	75
D	Matris Alaşımı	Saf Al	Al-Si

Yapılan literatür çalışmalarında bor oksit ilavesi ile AlB₂ borür yapılarının sentezlenmesinde, reaksiyon sonucunda ortaya çıkan alümina tabakanın bor çözünlüğünü azalttığı rapor edilmiştir[Hall 2000]. Bu amaca yönelik olarak Taguchi deneysel tasarım metodunda [C] kolunu iki seviyeli olarak “bor oksit ile temas yüzey alanı” faktörüne ayrılmıştır. Faktör seviyeleri için iki farklı yüzey geometrisine sahip kalıp tasarlanarak (şekil 3.17) 100’er gramlık alüminyum külceler kullanılmıştır ve bu şekilde yüzey geometrisinden dolayı “100 cm²” ve “75 cm²”’lik iki farklı temas yüzey alanı elde edilmiştir.



şekil 3. 17. a) 100 cm², b) 75 cm²’lik bor oksit temas yüzey alanı için kalıp geometrisi

Deneylerde Saf Al matris alaşımı için ETİAL 8 alaşımı ve Al-Si alüminyum matris alaşımı için ETİAL 177 alaşımı kullanılmıştır. Hazırlanan 100 gr’lik alüminyum alaşımları şekil 3.11’de belirlenen kalıplar içerisine tüm yüzeyleri bor oksit ile temas edecek şekilde (bor oksit içerisine gömülerek) yerleştirilmiştir. Hazırlanan karışımlar indüksiyon bobini içerisindedir.

faktör A ve B seviyeleri dikkate alınarak ısıtılma alınmış ve ısıtılma sonrasında alaşım havada kendiliğinden soğumaya bırakılmıştır.

Taguchi deney tasarımı dikkate alınarak gerçekleştirilen deneysel tasarımında L_8 ortogonal serisi kullanılmıştır. Belirlenen faktör ve seviyeleri dikkate alınarak L_8 ortogonal serisi Tablo 3.78’de görüldüğü gibi düzenlenmiştir. Ortogonal seride A kolonu “Tutma zamanı”, B kolonu “Tutma sıcaklığı”, C kolonu “Bor oksit temas yüzey alanı” ve D kolonu “katkı elementi” faktörleri için kullanılmıştır. A x B kolonu “Tutma sıcaklığı” ve “Tutma zamanı” faktörlerinin, A x C kolonu “Tutma sıcaklığı” ve “Bor oksit temas yüzey alanı” faktörlerinin ve A x D kolonu ise “Tutma sıcaklığı” ve “Katkı elementi” faktörlerinin karşılıklı etkileşim kolonlarını temsil etmektedir.

Tablo 3. 7. L_8 ortogonal serisi faktör ve seviye değerleri

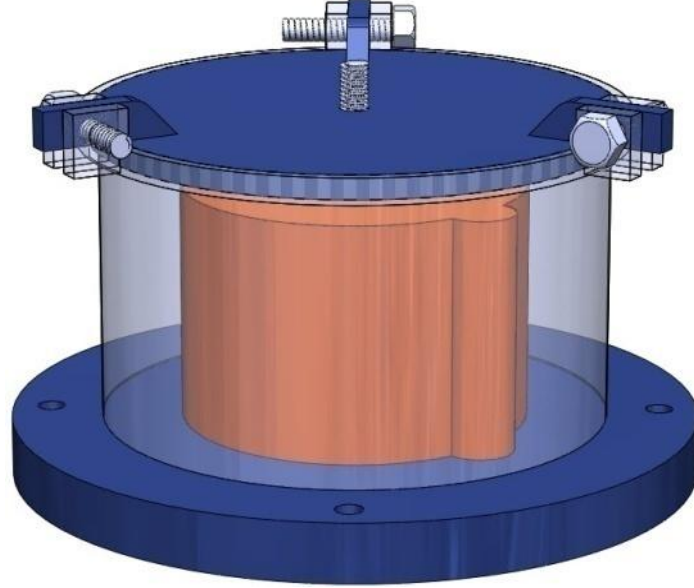
Deney No.	Kolon simgesi						
	A	B	A x B	C	A x C	A x D	D
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

3.3.6.4.2. AlB_2 takviye içeriklerinin savurma döküm yöntemi ile artırılmasına yönelik yapılan deneysel yöntemler

Savurma döküm yönteminde, yoğunluğu sıvı alüminyumdan ($2,40\text{gr/cm}^3$) daha yüksek olan AlB_2 ($3,19\text{ gr/cm}^3$) borür yapılarının savurma kuvveti yardımı ile savurma kalıbı üzerinde tasarlanan kapan bölgelerine biriktirilmesi söz konusudur.

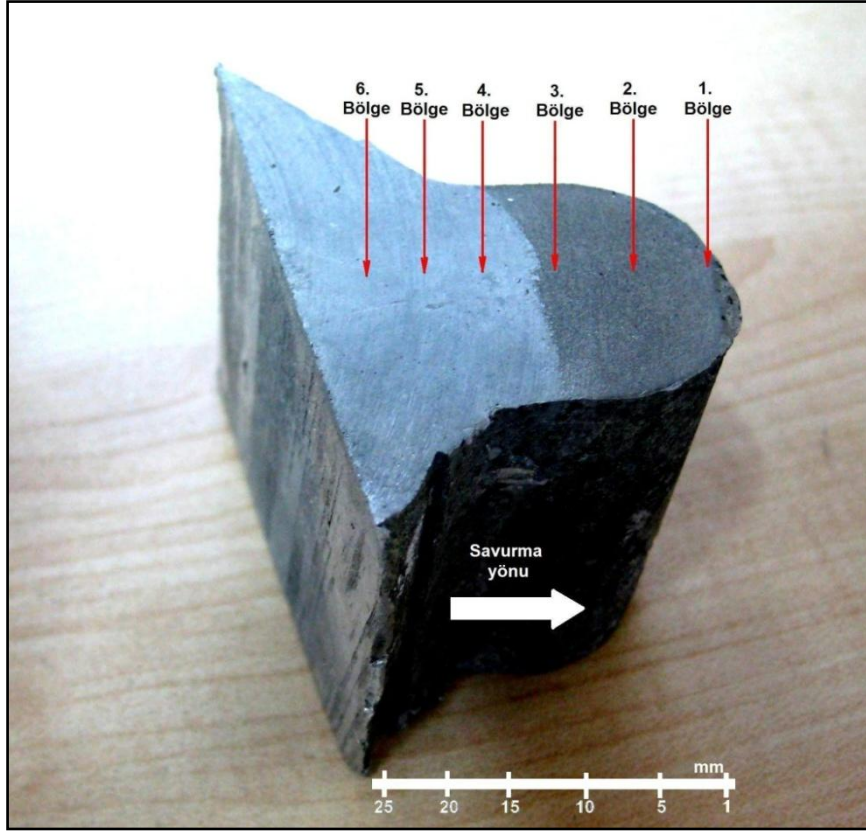
Bu amaca yönelik olarak Şekil 3.12’de yer alan savurma kalıbı içerisine konulan 1500 gr’lık ~%3 AlB_2 takviye içeriğine sahip AlB_2/Al , $AlB_2/Al-Si$, $AlB_2/Al-Cu$ ve $AlB_2/Al-Mg$ kompozitleri, direnç ergitme fırınında $800\text{ }^\circ\text{C}$ ’ye çıkarılmıştır. Burada 20 dak beklendikten

sonra, Şekil 3.18’de görülen savurma döküm makinesi üzerinde bulunan kalıp içerisine konularak, 1000 d/d dönme hızında 5 dakika savurma işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 3. 18. Savurma döküm kalıbı ve içerisinde savurma pota görüntüsü

Savurma işlemi sonrasında döküm üzerinde yer alan kapan bölgeleri karakterizasyon amacı ile kesilerek alınmıştır. Her bir döküm için ikişer adet olan kapan bölgelerinin biri çekme testleri için kullanılmış, diğeri ise Şekil 3.19’de görüldüğü gibi altı bölgeye ayrılarak metalografik incelemeler, yoğunluk ölçümleri, % bor oranı tayini ve sertlik ölçümlerinde kullanılmak üzere ayrılmıştır.



Şekil 3. 19. Savurma döküm yöntemi ile üretilen kompozitler üzerinden karakterizasyon amacı ile belirlenen bölgeler

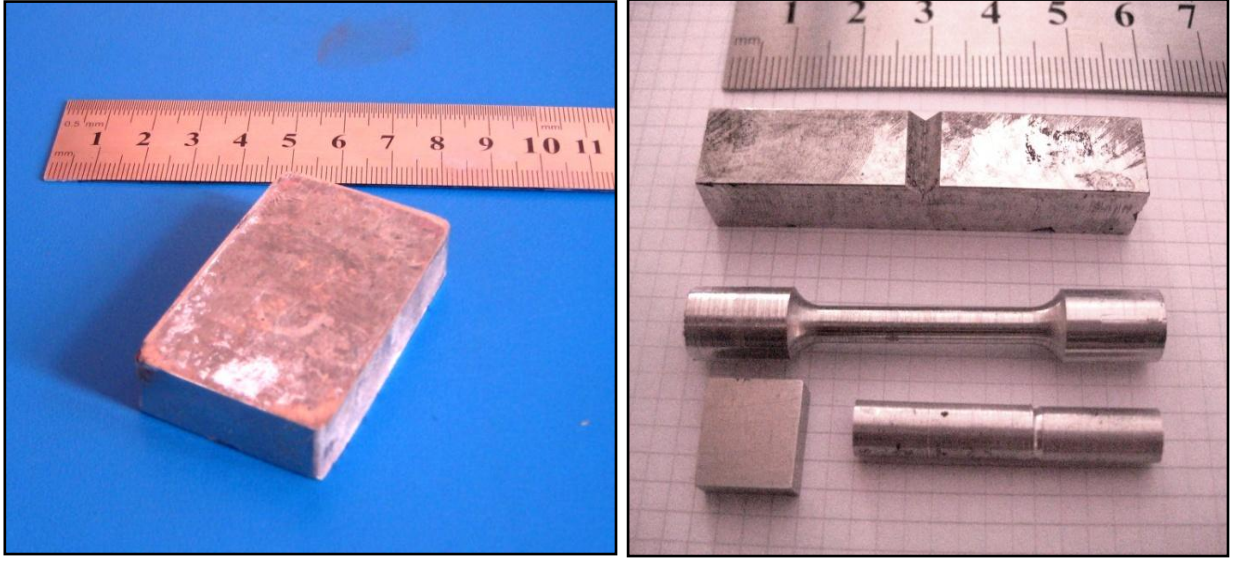
3.3.6.4.3. Filtreleme yöntemi (Ezme döküm yöntemi) ile AlB_2 takviye içeriklerinin artırılmasına yönelik deneysel yöntemler

Yapılan deneysel çalışmalarda AlB_2 takviye içeriklerinin artırılmasına yönelik olarak, savurma döküm yöntemine alternatif olarak filtreleme sisteminden de faydalanılmıştır. Deppisch ve arkadaşlarının yaygın olarak kullandıkları filtreleme sisteminde, AlB_2 kompozitlerinin " $AlB_{2(Katı)} + Al_{(Sıvı)}$ " bölgesine çıkarılması ve bu bölgede sıvı haldeki alüminyum matris alaşımının filtre yardımı ile katı AlB_2 partiküllerinden ayrılması söz konusudur. Çalışmada AlB_2 kompozitlerinin takviye içeriklerinin artırılması amacı ile Şekil 3,7'de yer alan ezme döküm sisteminden faydalanılmıştır. Deppisch ve arkadaşlarının tasarladığı filtreleme sisteminden farklılıklar içeren sistemde, filtreleme işlemi seramik alümina fitreler yerine, sistem üzerinde yer alan 0,5 mm'lik tahliye kanalları vasıtası ile yapılmaktadır.

Yapılan çalışmalarda % 10 AlB_2 takviye içeriğine sahip kompozitlerinin üretimi için Şekil 3,7'de görülen kalıp içerisine konulan % 3 AlB_2 içeriğine sahip 300 gr'lık kompozitler 800

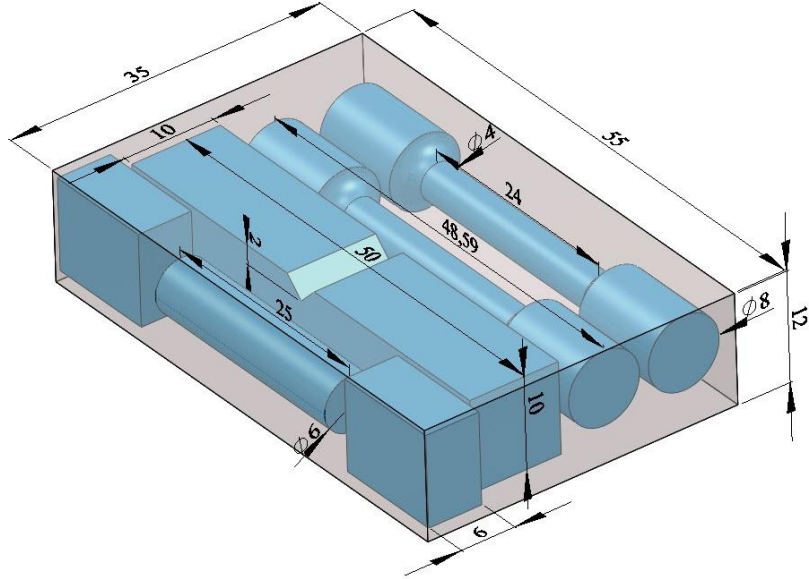
C'de 20 Bar basınç altında, % 30 AlB_2 içeriğine sahip kompozitlerini üretimi için ise % 3 AlB_2 içeriğine sahip 750 gr'lık kompozitlerin 800 C'de 60 Bar basınç altında filtrelemek sureti ile yapılmıştır.

Filtreleme işlemi sonrasında Şekil 1'de 55 x 34 x 10 ölçülerinde yaklaşık 50 şer gramlık % 10 ve % 30 AlB_2 takviye içeriğine sahip AlB_2/Al ve $AlB_2/Al-Cu$ kompozitler üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin matris alaşımları ile karşılaştırılması amacı ile kompozitlerinin matris alaşımları, 800 C'de 60 bar'lık basınç altında aynı deneysel şartlar göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Üretilen kompozit ve matris alaşımlarının karakterizasyonu amacı üretilen kompozitler üzerinden Şekil 20'de belirtilen bölgelerde optik, sertlik, yaş analiz, aşınma, çekme dayanımı ve basma dayanımı testleri için numuneler hazırlanmıştır.



a

b



Şekil 3. 20. a) ezme döküm yöntemi ile üretilen kompozit görüntüsü, b) kompozitler üzerinden hazırlanan test numuneleri ve c) test numunelerinin temsili görüntüsü ve ölçüleri

3.4. Karakterizasyon Çalışmaları

AlB₂ kompozitlerinin karakterizasyonunu için kullanılan yöntemlerinin tanıtıldığı bu bölümde Optik, XRD, SEM, Yaş analiz, Yoğunluk, Brinell sertlik, çekme testleri hakkında bilgiler verilecektir.

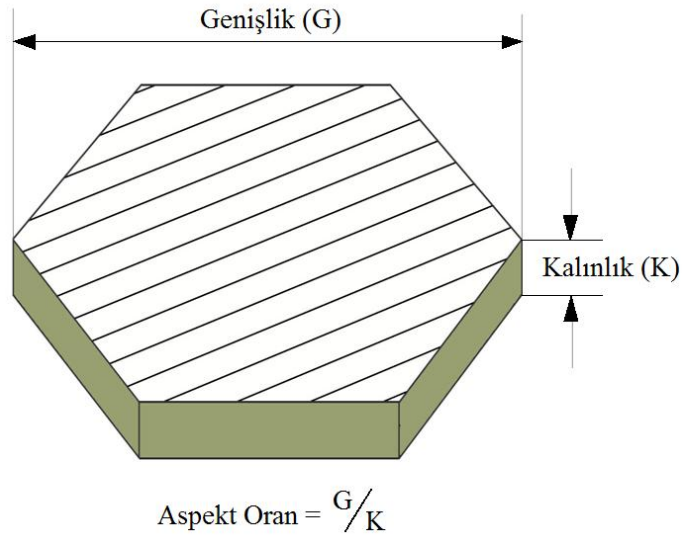
3.4.1. Optik analiz

Yapılan deneysel çalışmalar optik analiz yöntemine yer verilmiş ve AlB₂ borür yapılarının uzunluk, kalınlık ve aspekt oranları, % porozite ve tane boyutu ölçümleri optik analiz

yöntemlerinden faydalanılarak yapılmıştır. Bu amaca yönelik olarak üretilen kompozit üzerinden alınan 1 cm³'lük numuneler sırası ile 220, 600, 1200 ve 2400 gritlik elmas manyetik zımpara ile zımparalanmış ve zımparalama sonrası otomatik parlatma cihazı yardımı ile 0,02 µm'lik elmas pasta süspansiyonu ile 15 dak parlatılmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinden optik görüntüleri ise Nikon Eclipse L150 marka optik mikroskobu yardımı ile alınmıştır.

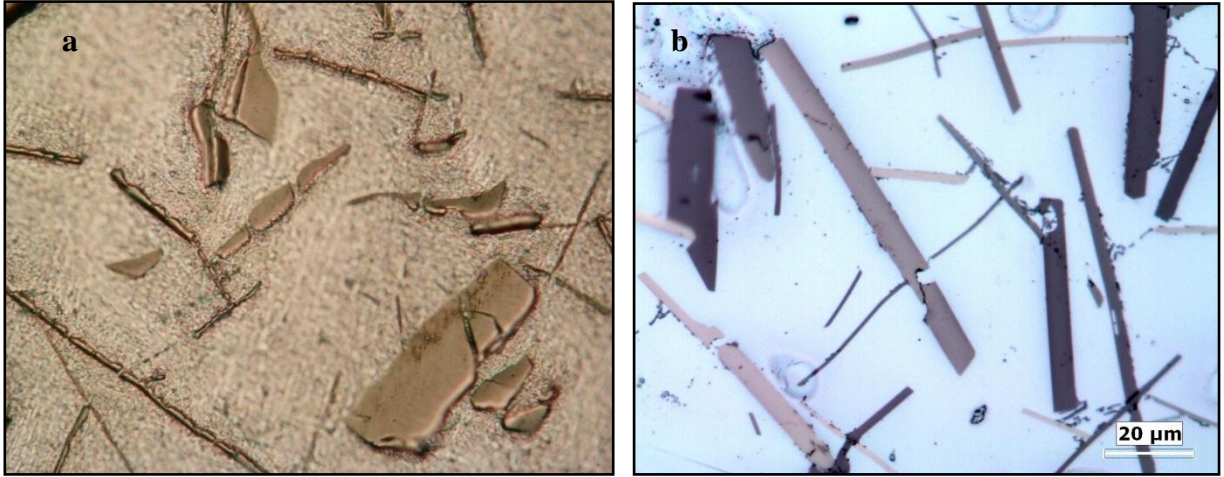
3.4.1.1. AlB₂ borür yapılarının uzunluk ve kalınlık ölçümleri

Çalışmada AlB₂ borür yapılarının Şekil 3.21'de şematik olarak görüldüğü gibi genişlik ve uzunluk ölçümleri alınmış ve bunlara bağlı olarak AlB₂ borür yapılarının Genişlik/kalınlık oranları (aspekt oranları) hesaplanmıştır.



Şekil 3. 21. AlB₂ borür yapılarının genişlik ve kalınlık ölçümleri

AlB₂ yapılarının ortalama genişlik, kalınlık ve aspekt oranları optik mikroskop üzerine monte edilen Clemex Vision Lite marka görüntü analiz programından faydalanılarak yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda AlB₂ yapılarının karakterizasyonu amacı ile optik mikroskop yardımı ile ölçülene genişlik ve kalınlık değerlerinin sağlıklı olması amacı ile parlatma süreleri optimize edilmiştir.



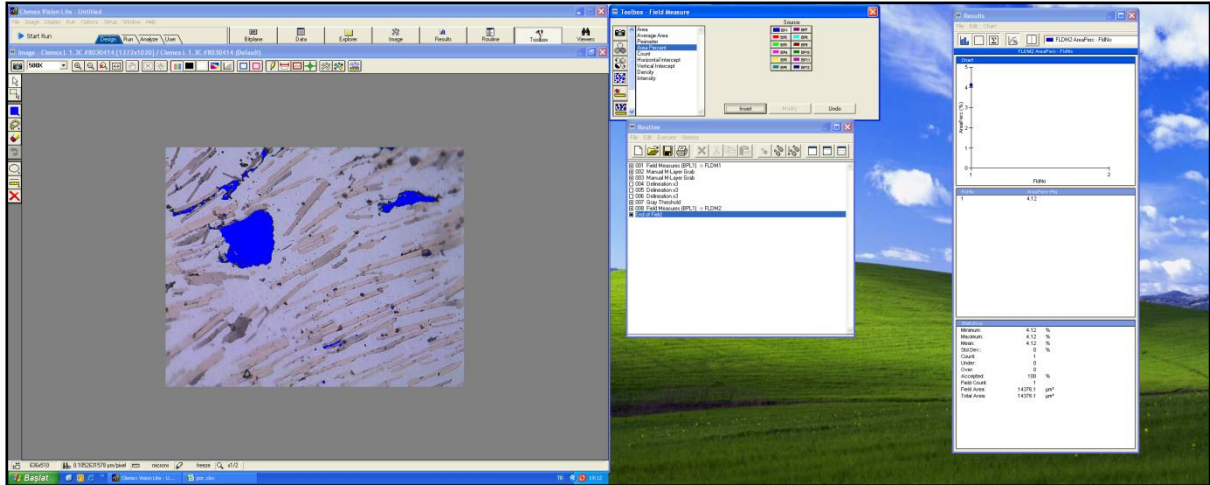
Şekil 3. 22. a) 5 dak 0,02 µm'luk elmas pasta ile parlatma sonrası, b) 15 dk 0,02 µm'luk elmas pasta ile parlatma sonrası optik görüntü

Şekil 3.21'de 5 ve 15 dak otomatik parlatma cihazında 0,02 µm'luk elmas pasta ile parlatma sonrasında alınana optik görüntüler verilmiştir. Optik görüntülerde 5 dak parlatma sonrası matris alaşımına göre daha sert olan AlB_2 borür yapılarının parlatma yüzeyinden daha yüksekte olduğu, 15 dak. parlatma sonrasında ise matris ile takviye fazının seviyelerinin yakın olduğu, hemen hemen aynı seviyede olduğu görülmektedir. Şekil 3.21b'de AlB_2 yapılarının aynı seviyede görülmesine rağmen bazı kısımlarının yine de alüminyum matris alaşımı ile aynı seviyede olmadığı görülmektedir. Bu seviye farklılığı AlB_2 borür yapılarının kalınlığını olması gerekenden daha kalın görünmesine neden olmaktadır. Mikro yapıda gözlemlenen bu sıkıntılar, görüntü analiz programı yardımı ile AlB_2 yapılarının kalınlıklarının karakterizasyonunu zorlaştırmaktadır. Bu nedenle AlB_2 yapılarının kalınlıklarının karakterizasyonunda AlB_2 fleykleri üzerinde en ince bölgelerden kalınlık ölçümleri yapılarak bu sıkıntı aşılmıştır. Yapılan çalışmada AlB_2 borür yapılarının Şekil 3.22'de görüntü analiz programı yardımı ile AlB_2 borür yapılarının genişlik ve kalınlık ölçümleri için temsili tipik bir örnek verilmiştir.

3.4.1.2. % porozite ölçümleri

Üretilen kompozitlerde yüksek mekanik ve fiziksel özelliklerin elde edilebilmesi için % porozite seviyesinin belirli bir değerinin altında tutulması (<% 0,1) gerekir. Bu nedenle yapılan çalışmalarda % porozite seviyeleri de dikkate alınmış ve kompozit üretiminde % porozite seviyesi azaltılmaya çalışılmıştır.

Yapılan çalışmalarda üretilen kompozit ve matris alaşımlarının % porozite ölçümlerinde, Clemex Vision Lite marka görüntü analiz programından faydalanılmıştır. % porozite ölçümlerinde güvenilirliğin artırılması amacı ile numunelerin mikro yapı fotoğrafları en büyük büyütmede(50x) alınmış ve her numune için 5'er adet % porozite ölçümü yapılmıştır. Şekil 3.23'de tipik bir Clemex Vision Lite marka görüntü analiz programının yardımı ile % porozite ölçüm işlemi görülmektedir.

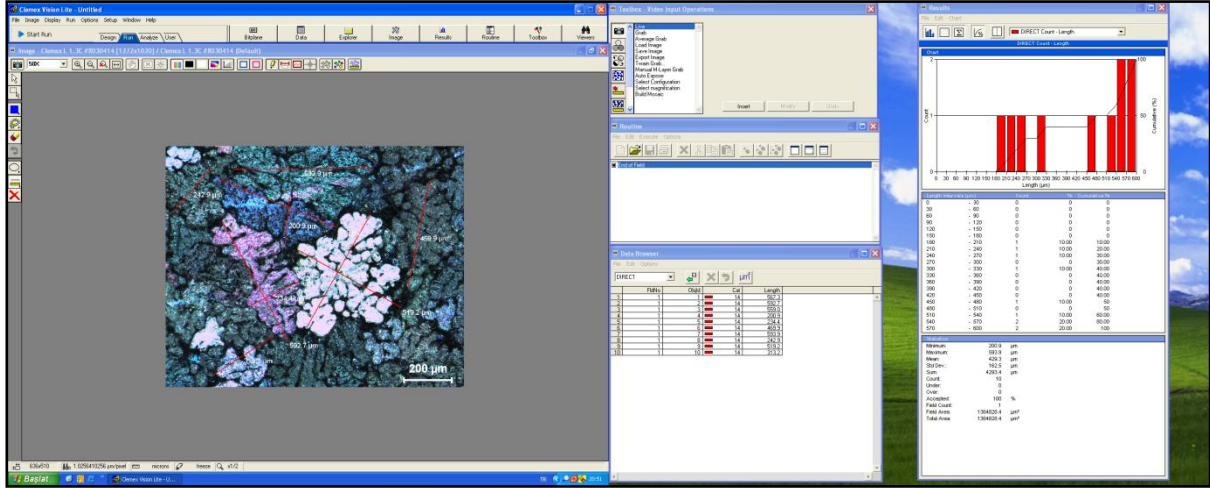


Şekil 3. 23. Tipik bir % porozite ölçümü

3.4.1.3. Tane boyutu ölçümleri

Bilindiği gibi mühendislik malzemelerinde tane boyutu mekanik özellikler üzerinde önemli etkiye sahiptir ve tane boyutu küçüldükçe malzemelerinin mekanik özellikleri artırmaktadır. Bu nedenle yapılan karakterizasyon çalışmalarında AIB₂ kompozitlerinin tane boyutları ile de ilgilenilmiştir.

Yapılan çalışmalarda tane boyutlarının belirlemek amacı ile optik inceleme için parlatılan numuneler %25 HCl çözeltisi ile 1 dk dağlanmıştır. Hazırlanan numunelerin Nikon Eclipse L150 marka optik mikroskobu ile fotoğrafı çekilerek Clemex Vision Lite marka görüntü analiz programı yardımı ile tane boyutları ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerinin güvenilirliklerini artırmak amacı ile hazırlanan her numuneden 5'er adet ölçüm yapılmıştır. Şekil 3.24'te tipik bir tane boyut ölçümü görülmektedir.



Şekil 3. 24. Tipik tane boyut ölçümü

3.4.2. Takviye içeriklerinin belirlenmesi

Görüntü analiz yöntemi ile AIB₂ kompozitlerinde takviye içeriklerinin belirlenmesinde parlatmadan kaynaklanan sıkıntılar nedeniyle sağlıklı sonuçlar elde edilememektedir. Bölüm 3.4.1.1' de belirtildiği gibi AIB₂ yapıları parlatma sonrasında olması gerekenden daha kalın görülmesi, AIB₂ takviye içeriğini olmasın gerekenden daha büyük oranda ölçülmesine neden olmaktadır. Bu nedenle yapılan çalışmalarda AIB₂ takviye içeriklerinin belirlenmesin amacı ile farklı yöntemlerin kullanılmasına karar verilmiştir. Bu amaca yönelik olarak % B oranlarının tespiti ile dolaylı olarak AIB₂ takviye içeriklerinin belirlenmesi yoluna gidilmiştir. Ne ver ki kompozitlerin % B oranlarının tespiti, bor atom çapının çok küçük olması nedeni ile bir çok enstrümantal yöntemlerle mümkün olamamıştır. Yapılan araştırmalar sonrasında, genellikle bor cevherlerinin % B oranlarını belirlemek amacı ile kullanılan ve diğer yöntemlere nazaran daha güvenilir sonuçlar veren Yaş Analiz yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir.

3.4.2.1. Yaş analiz yöntemi ile % B tespiti

Yapılan çalışmalarda % B oranlarının tespiti Yaş Analiz yöntemi ile şu şekilde yapılmıştır;

Üretilen kompozitlerden alınan 2.5g'lık numuneler ters kral suyunda (40 ml HNO₃ + 20 ml HCl) çözülmüştür. Çözelti 250 ml'lik balon jöje içerisine alınmış ve saf su ilavesi ile çözelti 250 ml'ye tamamlanmış, Balon jöjeden alınan 30 ml'lik çözelti 100ml erlen içerisine alınarak içerisine 5-10 damla fenolftalein indikatörü ilave edilmiştir. Çözeltinin asitliği derecesi ph=8 (açık pembe renk) oluncaya kadar 0,1 N NaOH çözeltisi ile titre edilmiş. Asitlik derecesi

ph=8 olan çözelti içerisinde 3-4 gr kadar mannitol ilave edilerek, borik asidin iyonlaşması sağlanarak ortam renksiz hale getirilmiştir (ph>8). Çözelti 0,1N NaOH çözeltisi ile tekrar açık pembe rengi (ph=8) elde edilinceye kadar titre edilmiştir. Bu esnada, sarf edilen 0,1N NaOH çözeltisi dikkate alınarak yüzde bor miktarı dolaylı olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.25’de yaş analiz düzeneği ve kullanılan ekipmanlar görülmektedir.



Şekil 3. 25. Yaş analiz yöntemi düzeneği ve ekipmanları

Örneğin 30 ml’lik hazırlanan çözeltinin titrasyonu sonucunda Büret üzerinden okunan 9 ml değeri dikkate alınarak % bor miktarı şöyle hesaplanmaktadır;

Değerler;

A= alınan numune ağırlığı, 2,5 g

T=toplam çözelti miktarı, 250 ml

M= balon jodeden alınan çözelti miktarı, 30 ml

P= Büretde okunan değer, 9 ml

G= bor atomunun ağırlığı, 10,81 mg

N= NaOH çözeltisi molar derişimi, 0,1 M/l

$$\% B = (T * P * G * N) / (2,5 * 10) \quad (3.1)$$

3.4.2.2. % AlB₂ takviye içeriğinin hesaplanması

Al-B faz diyagramında görüldüğü gibi oda sıcaklığında Al-B alaşımının içerisindeki borürlerin tamamı AlB₂ bileşiği şeklinde bulunmaktadır[faz diy.]. Bu nedenle, kompozitin ağırlıkça yüzde AlB₂ takviye fazı içeriği hesaplanırken, yaş analiz yöntemi ile elde edilen yüzde bor miktarı göz önünde bulundurulmuştur. Örneğin % 2 B içeriğine sahip bir kompozitin ağırlıkça % AlB₂ içeri şu şekilde hesaplanmıştır.

$$\% AlB_2 = [(m_A + 2 * m_B) / m_B] * \% B \quad (3.2)$$

$$=[(26,98+2*10,81)/10,81]*2 \quad (3.3)$$

$$= 4,495 \quad (3.4)$$

burada, m_B; borun atom ağırlığı, 10,81 mg, m_{Al}; alüminyumun atom ağırlığı, 26,98 mg'dır

3.4.3. Yoğunluk ölçümleri

Üretilen kompozit ve matris alaşımlarının yoğunluklarının ölçümünde Arşimet yönteminden faydalanılmıştır. Bu amaca yönelik olarak üretilen kompozit ve matris alaşımlarından şerit testere yardımı ile alınan 0,125 cm³'lük numunelerin her tarafı sırayla 80, 150, 400, 600, 1000 ve 1200 gritlik zımparalarla zımparalanmıştır. Hazırlanan numunelerin suda ve havada ağıtlıkları ölçülerek, denklem 3.1 eşitliği yadımı ile yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. Arşimet düzeneğinde 0,978 kg/mm³ yoğunluğa sahip saf su kullanılmış ve sistemin güvenilirliğinin artırılması amacı ile her bir deney için üçer adet ölçüm yapılmıştır.

$$D = m_{Kuru} / (m_{Kuru} - m_{Yaş}) \quad (3.5)$$

Burada d; yoğunluk, g/cm³, m_{Kuru}; kuru ağırlık, m_{Yaş}; yaş ağırlık

3.4.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Üretilen kompozitlerde AlB_2 yapılarının morfolajisinin ve intermetalik bileşiklerin belirlenmesi amacı ile SEM ve EDS yöntemlerinden faydalanılmıştır. Bu amaca yönelik olarak Jeol jsm-5600 marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. 1 cm^3 'lük SEM ve EDX analiz için hazırlanan numuneler %37 HCl çözeltisi ile 5 dak derin dağlama işlemine alınmıştır. Dağlama sonrasında yüzeylerde asit kalıntılarının bertaraf edilmesi amacı ile numuneler saf su ve alkol ile yıkanmıştır.

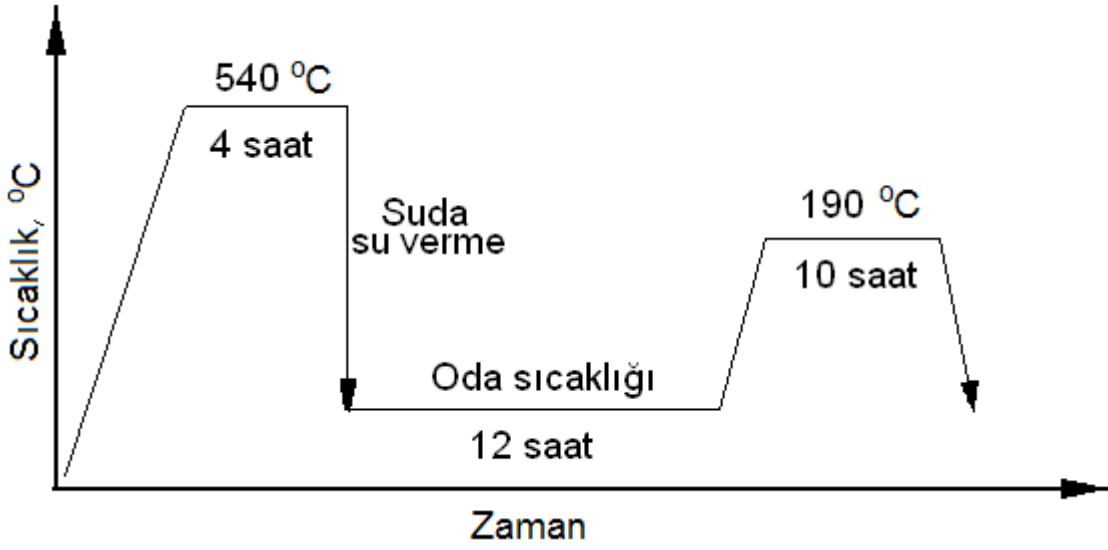
3.4.5. XRD incelemeleri

Yapılan çalışmalarda AlB_2 yapılarının tespitinde, XRD analizlerinden faydalanılmıştır. Bu amaca yönelik olarak Rigaku marka D/MAX/2200/PC tip cihaz kullanılmıştır. Yapılan XRD taramaları, $10^\circ < 2\theta < 90^\circ$ tarama aralığında, 40 kV-30 mA ve Cu/K- α ışınımı kullanılarak, $0,02^\circ\text{ mm}^{-1}$ tarama hızında gerçekleştirilmiştir.

3.4.6. Yaşlanma ısı işlemi (T6)

Kompozitlerinin ve matris alaşımının fiziksel ve mekanik özelliklerin artırılması amacı ile üretilen kompozit ve matris alaşımlarının bazılarında yaşlanma ısı işlemi uygulanmıştır.

Yapılan çalışmada yaşlanma ısı işlemi için protherm marka ısı işlem fırını kullanılmıştır. Yaşlanma ısı işlemi; Şekil 3.26'de görüldüğü gibi sırası ile $540\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 4 saat çözeltiye alma, $60\text{ }^\circ\text{C}$ 'de suda su verme, 12 saat oda sıcaklığında doğal yaşlandırma ve $190\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 10 saat suni yaşlandırma işlemlerinden oluşmaktadır.



Şekil 3. 26. Yaşlanma ısıl işlem çevrim şeması(T6 ısıl işlemi)

3.4.7. Sertlik Ölçümleri

Üretilen kompozitlerinin sertlik değerlerinin belirlenmesi amacı ile üretilen numunelerin Brinell (HB) sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik ölçümleri için numunelerin hazırlanmasında şu aşamalar uygulanmıştır; yaklaşık 1 cm³'lük numunelerin şerit testere yardımı ile üretilen kompozitlerden alınması, numunelerden sağlıklı ölçümler alınması amacı ile Fenolik kaplama tozu ile bekalite alınması. Sertlik ölçümü yapılacak yüzeyin sırası ile 60, 120, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 gritlik zımpara ile zımparalanması ve 1 µm'lik alümina süspansiyonu ile 15 dak. parlatma işlemleridir

Hazırlanan numune yüzeyleri üzerinden Struers Buramin-500 EMCO marka sertlik test cihazı yarımı ile her numunede 3'er adet Brinell (HB) sertlik değerleri alınmıştır. Bütün Brinell sertlik (HB) ölçümlerinde, bilye çapı (D) Φ 2,5 mm, yük(P); 31,25 Kgf, yükün uygulanma süresi 15 sn olarak seçilmiştir.

3.4.8. Çekme ve basma dayanım testleri

Çalışmalarda çekme deneyleri için filtreleme ve savurma döküm yöntemleri ile üretilen kompozit ve matris alaşımlarından faydalanılmıştır. Çekme numuneleri ASTM-E8M standartlarında CNC tezgahında hazırlanmıştır. Çekme dayanımı testleri öncesi AlB₂/Al-Si ve AlB₂ /Al-Cu kompozit ve matris alaşımları T6 ısıl işlemine alınmıştır. Çekme testleri oda sıcaklığında Instron 3369 model 50 kN çekme ve basma kapasitesine sahip universal test cihazından yapılmıştır. Çekme dayanım testlerinde % uzama ölçümleri için her çekme testi

için ilk bot (L_0) 20 mm olarak belirlenmiştir ve bütün çekme testleri 1 mm/dk'lık çekme hızında gerçekleştirilmiştir.

Basma dayanımı için üretilen kompozit ve matris alaşımlarından 6 mm çapında ve 12 mm uzunluğunda test numuneleri hazırlanmıştır. Numunelerinin tüm yüzeyleri $0,02\mu$ 'luk elmes past ile parlatılmıştır. Basma dayanımı testleri yine aynı Instron 3369 model 50 kN çekme ve basma kapasitesine sahip üniversal test cihazından oda sıcaklığında yapılmıştır

3.4.9. Sürtünme ve aşınma testleri

Yapılan çalışmalarda kompozitlerin aşınma davranışlarının belirlenmesi amacı ile üretilen % 30 AlB_2 takviye içeriğine sahip AlB_2/Al ve $AlB_2/Al-Cu$ kompozitlerinin ve saf Al matris alaşımlarına sürtünme ve aşınma testleri yapılmıştır. Aşınma testleri, pin-on-disk aşınma test cihazı ile kuru kayma şartlarında gerçekleştirilmiştir. Aşınma testlerinde üretilen kompozit ve matris alaşımından alınan 6 mm çap ve 12 mm boyunda silindirik pim numuneleri, 56,3 HRC sertlik değerine sahip AISI 4140 çelik disk karşısında aşındırılmıştır. Testlerde kullanılan çelik disk 100 mm çapında, 5 mm kalınlığında ve yüzey pürüzlülüğü $0,188-0,388 \mu m$ Ra değerindedir.

Aşınma deneyleri Tablo 3.8'de görüldüğü gibi üç farklı malzeme, üç farklı hız ve üç farklı yük altında yapılmıştır. Deneyler 1000 m kayma mesafesinde, $22^\circ C$ sıcaklıkta ve % 56 nem oranında yapılmıştır.

Tablo 3. 8. Aşınma ve sürtünme testleri için belirlenen faktör, seviye ve seviye değerleri

Faktörler	Seviler ve değerleri		
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Malzeme	Saf Al (matris)	% 30 AlB_2/Al	% $AlB_2/Al-Cu$
Yük (N)	10	20	40
Hız ($m s^{-1}$)	0,4	0,8	1,2

3.4.10. Kesme (işleme) testi

3.4.10.1. Kesme testleri için AlB₂ borür takviyeleri kompozit ve matris alaşımlarının üretimi

Yapılan çalışmalarda Kesme testleri için savurma ve ezme döküm yöntemi ile yeterli büyüklük ve takviye içeriğine sahip kompozitler üretilmemiştir. Bu nedenle işleme özelliklerinin testi için kompozit malzeme üretiminde alternatif çözüm yoluna gidilmiştir. bu bağlamda kompozitleri ve matris alaşımlarının üretimi; 1600mm uzunluk, 110mm çapında silindirik kalıplar içerisinde savurma döküm yöntemi ile yapılmıştır. Dökümlerde su soğutmalı yolluk sistemi kullanılarak üretilen 1,5kg %3 AlB₂ takviye içeriğine sahip Al-%3Mg matrisli kompozitler ve Al-%3Mg matris alaşımı kullanılmıştır. Dökümler matris ve kompozit için 800 °C'de 1000 d/d dönme hızında yapılmıştır.

3.4.10.2. Kesme Deneyleri

Genel olarak yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine kesme hızı, ilerleme hızı, takım malzemesi ve iş parçası önemli derecede etkili faktörler arasında yer almaktadır. yapılan çalışmada kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etki eden faktör ve seviyelerinin tespitinde mevcut literatür çalışmaları dikkate alınmıştır. Tablo 3.9'de kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü için belirlenen deney parametreleri ve seviye değerleri verilmiştir. Deneylerde TCGT 110204R-UX CP500 ISO kodlu kesici uç takımları kullanılmıştır. Kompozit ve matris alaşımlarının işlenmesinde talaş derinliği 0,25 mm ve iş parçasının çapı 160 mm olarak belirlenmiştir. Çalışmada kompozitlerin ve matris alaşımının işleme özelliklerinin karşılaştırılması amacı ile Tablo 3.9'da verilen deneysel şartlar dikkate alınmış ve deneyler kompozit ve matris alaşımı için ayrı ayrı yapılmıştır.

Tablo 3. 9. Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü testleri için belirlenen faktör ve seviye değerleri

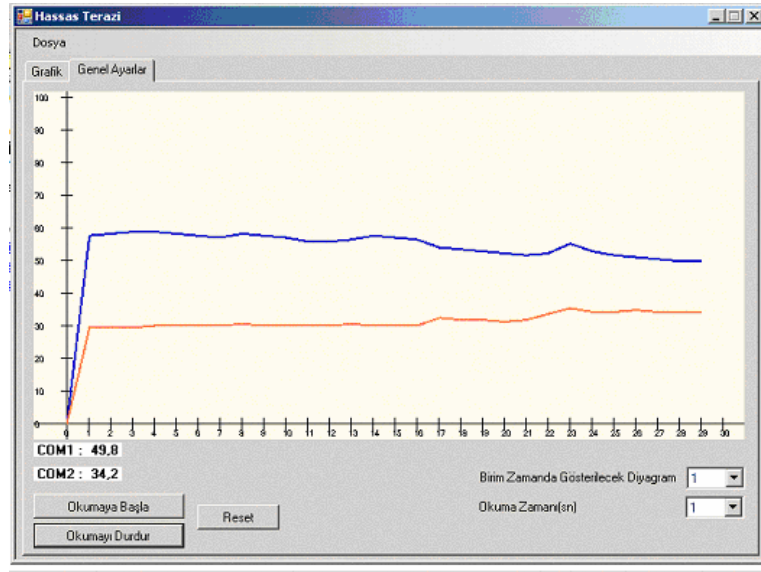
Faktörler	Seviler	
	Seviye 1	Seviye 2
Kesme Hızları ($v = m/dk$)	500	1000
İlerleme Hızları ($s = mm/dev$)	0,08	0,20

Tornalama işleminde kesme kuvvetini ölçmek için özel tasarlanmış bir dinamometre ve malzeme yüzey pürüzlülüğünü ölçmek için kutu tipi yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılmıştır. Şekil 3.27'de deneyde kullanılan sistem donanımı gösterilmiştir.



Şekil 3. 27. Deneyde kullanılan sistem donanımı

Tornalama işlemi sırasında kesici takım üzerine gelen kesme kuvvetlerinin kayıt altına alınması ve kuvvet değişimlerinin görülmesi amacıyla bir bilgisayar ve özel olarak hazırlanmış bir yazılımdan yararlanılmıştır. Dijital çeviriciler ile bilgisayar arasında bağlantı yapılarak sinyaller bilgisayara aktarılmış ve oluşturulan yazılımla veriler kayıt altına alınmıştır. Hazırlanan yazılımla kuvvetler Newton (N) cinsinden kaydedilmiştir. Şekil 3.28’de özel olarak hazırlanmış yazılımın ara yüzünü göstermektedir. Kuvvetler, kesme kuvveti ve ilerleme kuvveti olmak üzere iki farklı bileşen olarak F_s ve F_v ölçülmüştür. Bu kabiliyet kesme işleminin detaylı analizine imkan sağlamaktadır.



Şekil 3. 28. Gelen kesme kuvvetlerinin hazırlanan yazılımda görünümü

3.5. Deneysel Tasarım ve Taguchi Metodu

Ürüne ve üretim performansını geliştirmek için kullanılan taguchi deneysel metodu sisteme etki eden proseslerinin saptanması, etkinlik derecelerinin belirlenmesi ve sisteme ait faktörlerin etkileşim durumlarını belirlemeye yönelik olarak sistem optimizasyonlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Sistem optimizasyonu için güçlü bir araç olarak kabul edilen taguchi deneysel metodunda sisteme de kalite kaybına neden olan etmenler ortaya konularak sistemin optimizasyonu sağlanmaktadır. Taguchi deneysel metoduna göre kalite kaybı fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$L = k(y-m)^2 \quad (3.6)$$

Kolay bir şekilde kayıp fonksiyonunu hesap etmeye yarayan bu taguchi kayıp formül proste görülen değişiklikleri ölçmek için kullanılmaktadır.Taguchi kayıp fonksiyonunu üçe ayırmaktadır. Tablo 3.8' kayıp fonksiyonlar ve denklemleri verilmiştir[Taguchi 1989].

Tablo 3. 10. Kayıp Fonksiyonu Tipleri [Taguchi 1989]

Karakteristik Tipi	Kayıp
En yüksek - en iyi	$k (I / y^2)$
Nominal - en iyi	$k (y - m)^2$
En düşük - en iyi	$k (y)^2$

En küçük - en iyi kayıp karakteristiğinin için alüminyum alaşımlarının dökümünde % porozite oranı, işlenmiş bir yüzeyin yüzey pürüzlülük (Ra) değeri, sürtünme katsayısı, aşınma oranı, en yüksek - en iyidir için çekme mukavemet, sertlik ve yakıt tasarrufu örnek olarak verilebilir

3.5.1. Ortogonal diziler

Taguchi deneysel metodunda deneysel durumları ifade etmek için ortogonal diziler oluşturularak ifade eder. Hazırlanan Ortogonal deney dizileri faktör seviyelerinin tek tek değiştirmek yerine, faktör seviyelerinin eş zamanlı olarak değişimine olanak sağlar. Örneğin 3 seviyeli 5 faktörlü oluşan bir deneyde kombinasyonlar kullanıldığında $5^3 = 625$ tane deney yapılması gerekli iken geliştirilen ortogonal tablolarla bu sayı 36'ya düşmektedir. Buna ek olarak geliştirilen ortogonal serilerde karşılıklı etkileşimlerde ifade edilebilmektedir

Taguchi deneysel metodu için geliştirilen bu ortogonal dizilerde genellikle faktörler, 2, 3 ve 4 seviyeli olmaktadır. Ancak bu faktör seviyeleri bir takım metodlar ile artırılabilir. Deneysel çalışmalarda en çok L_4 , L_8 , L_{16} , L_9 , L_{18} ve L_{27} ortogonal dizileri kullanılmaktadır. Tablo 3.9'de L_4 ve L_9 ortogonal dizileri görülmektedir [Ross 1988].

Tablo 3. 11. Ortogonal dizilerden L_4 ve L_9

Deneme No	Sütun No		
	1	2	3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

L_4

Deneme No	Sütun No			
	1	1	3	4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

L_9

3.5.2. Sinyal / gürültü oranı

Taguchi deneysel metodunda kalite karakteristiğini ifade eden Sinyal/gürültü oranı bir performans ölçütü olarak düşünülmektedir ve kayıp fonksiyonu ile ilgilidir. S/N oranı çok sayıda tekrarı tek bir değerde toplamaktadır. örneğin deneysel durum için alınan beş adet sürtünme kaybını tek bir S/N oranı ile ifade edilebilmektedir. [İdiz 1999]. S/N oranları, kayıp

fonksiyonun daha önce belirtilen tipleri ile ilişkili olarak 3 tane S/N oranı bulunmaktadır.
[Ross 1988, Lochner 1990]

- 1- En büyük en iyi (Larger the better)
- 2- En küçük en iyi (Smaller the better)
- 3- Nominal en iyisi (Nominal the best)

Performans karakteristiğinin en düşük - en iyi olduğu durumda

$$S/N = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n y_i^2\right) \quad (3.7)$$

En yüksek - en iyi olduğu durumda;

$$S/N = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}\right) \quad (3.8)$$

Nominal - en iyi olduğu durumda:

$$S/N = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n \frac{y_i}{s^2}\right) \quad (3.9)$$

Taguchi deneysel tasarımında daha güvenilir değerlerinin alınabilmesi için güçlü bir kalite ölçütü olan S/N oranlarının kullanılması önerilmektedir[Ross 1988].

3.5.3. Etkileşimler

Bir deneysel tasarımda yer alan faktörlerin karşılıklı etkileşimlerini ifade etmektedir. A x B şeklinde ifade edilir ve A ve B faktörlerinin etkileşim durumunu ifade eder. Her ikisinin de yer alması durumunda sistem üzerinde etkiye sahip olması durumu olarak ifade edilmektedir. Örneğin sıcaklık insan rahatsızlığı açısından önemi bir etkiye sahip değilken, havanın hem sıcaklık hem de nemli olması insan rahatsızlığı açısından önemli bir etkiye sahiptir. Deneysel çalışmalarda etkileşim faktörlerinin önceden tespit edilmesi zordur. Taguchi deneysel

taşarımın da karşılıklı etkileşimin belirlene bilmesi için ortogonal seri üzerinde etkileşim bir karşılıklı etkileşim sütunu tanımlanması ve hesaplar dahil edilmesi gereklidir[Ross 1988].

3.5.4. Varyans analizi

Bir deneysel çalışmada sisteme etki eden faktörlerin belirlenmesi ve sistem üzerine olumsuz etkiye sahip faktörlerin, negatif etkilerinin azaltılmasına çalışılır. Sistem üzerine etki eden faktörlerinin kontrol altına alınması gerekir. Taguchi deneysel tasarımımda faktörlerinin etkinlik ve etkinlik derecelerinin belirlemek amacı ile deneysel verilerin yorumlanması varyans (ANOVA) analizleri metodu ile yapılmaktadır. Varyans analizlerinde, kareleri toplamı, serbestlik derecesi, karelerin ortalaması gibi matematiksel niceliklerden yararlanılmaktadır. Bu matematiksel nicelikler aşağıda tanımlanacaktır[İdiz 1999].

3.5.4.1. Kareler toplamı (varyasyon)

A ve B faktörleri ve A x B etkileşimleri dikkate alınarak toplam varyasyon Denklem;

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_{AXB} + SS_e \quad (3.10)$$

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^N yi^2 \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.13)$$

A faktörü için varyans denlemi;

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{K_A} \left(\frac{Ai^2}{n_{A_i}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.14)$$

Anova tablosunda yer alan hata varyasyonu denklemini;

$$SS_e = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AXB} \quad (3.15)$$

3.5.4.2. Serbestlik derecesi

ANOVA tablolarının hazırlanmasında gerekli olan bir diğer nicelik serbestlik derecesidir. Toplam serbestlik derecesi deneme sayısının bir eksikğine eşittir ve aşağıdaki formül ile ifade edilir.

$$v_T = N - 1 \quad (3.17)$$

A ve B faktörünün serbestlik derecesi faktör seviyelerinin bir eksigidir ve şöyle ifade edilmektedir;

$$v_A = k_A - 1 \quad , \quad v_B = k_B - 1 \quad (3.18)$$

etkileşimlerin serbestlik dereceleri iki faktörün serbestlik derecelerinin çarpımına eşittir ve şu şekilde ifade edilmektedir;

$$v_{AXB} = (v_A)(v_B) \quad (3.19)$$

Hata serbestlik derecesi ise toplam serbestlik derecesinden faktörlerin serbestlik derecelerinin çıkarılması ile bulunmaktadır.

$$v_e = v_T - v_A - v_B - v_{AXB} \quad (3.20)$$

3.5.4.3. Varyans

ANOVA tabloların için gerekli olan bir diğer nicelik ise hata Varyans değeridir ve aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$V_e = \frac{SS_e}{v_e} \quad (3.21)$$

her bir faktörün ise varyans değeri, faktörün varyasyonunun serbestlik derecesine bölünmesi ile bulunur. Aşağıda A faktörüne ait varyans formülü verilmiştir.

$$V_A = \frac{SS_A}{v_B} \quad (3.22)$$

3.5.4.4. F testi

Anova tablolarında faktörlerin etkinliklerinin ortaya koymaya yarayan F Test değeri faktörün varyansının hata varyansına bölünmesi ile bulunur. Aşağıda A faktörün ait F Test formülü verilmiştir.

$$F_A = \frac{V_A}{V_e} \quad (3.23)$$

Anova tablosunda yer alan nicelikleri yorumu şöyle yapılmaktadır; Her faktör için hesaplanan F test değerleri F tablo değerleri ile karşılaştırılmaktadır. Eğer hesaplanan F test değeri tablolardaki F (F tablo) değerinden büyük ise faktör proses ve ürün üzerinde etkiye sahip olmadığı, şayet F test değeri F (F tablo) değerinden küçük ise faktörün proses ve ürün üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı sonucu çıkarılır. Tablolarda ki F tablo değeri ise F tabloları üzerinde, hatanın serbestlik derecesi ile faktörün serbestlik derecelerinin kesiştiği yerdeki değerdir[Ross 1988].

Aanova tablolarında dikkat edilmesi gerekenler diğer bir husus ise etkinliği çok düşük olan faktörlerinin Pooling (V_{ep}) yani hata olarak kabul edile bilmeleridir. Bu şekilde pooling yapılan faktörün varyasyonu ve hata varyasyonunun iptal edilerek değerlendirme yeniden yapılırı.[Ross 1988, İdiz 1999].

3.5.4.5. Faktörlerin toplam değişime etkilerinin yüzdesi

Faktörlerin toplam değişim olan etkilerinin hesaplanması aşağıda yer alan formüller yardımı ile hesaplanmakta, bu sayede sisteme etki eden faktörlerin etkinlik yüzdeleri çıkarılabilmektedir[27], [25].

$$SS'_A = SS_A - (V_e) (v_A) \quad (A \text{ faktörü için}) \quad (3.24)$$

$$P = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100 \quad (A \text{ faktörü için}) \quad (3.25)$$

3.5.4.6. Doğrulama deneyleri

Taguchi deneysel tasarımında olmazsa olmaz niceliklerden biride doğrulama deneyleridir. Hesaplamalar sonucunda faktörler grafiksel olarak gösterilerek proses için optimum şartlar belirlenir. Belirlenen optimum şartlar dikkate alınarak tahmini ortalama kalite karakteristiği değerleri ve güven aralığı belirlenir. Optimum şartlar dikkate alınarak yapılan doğrulama deneyleri sonrasında alınan kalite karakteristik değerinin hesaplanan güven aralığında olup olmadığına bakılır. Değerin hesaplanan güven aralığında olması yapılan deneyin doğru olduğunu, güven aralığının altında veya üstünde kalması durumunda ise deneysel

tasarımda hata yapıldığını gösterir. Bu durumda deneyin tekrar baştan gözden geçirilerek hatanın belirlenerek düzeltilmesi gerekir[İdiz 1999].

BÖLÜM 4. DENEYSEL SONUÇLAR

4.1. Giriş

Bor oksit ilavesi ile AlB_2 kompozitlerinin üretim ve mekanik özelliklerinin araştırılmasına yönelik olarak hazırlanan bu çalışmada deneysel sonuçları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

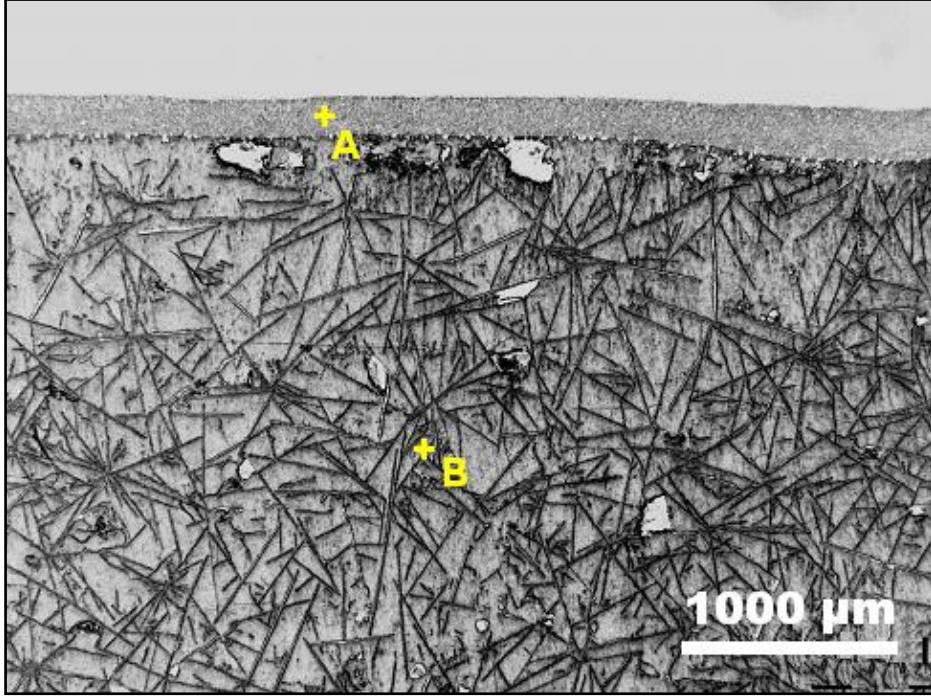
- 2- Bor oksit, boraks ve borik asit ilavesi ile AlB_2 borür yapılarının sentezlenmesine yönelik deneysel sonuçlar
- 3- AlB_2 borür yapılarının genişlik, kalınlık ve aspekt oranları üzerine etki eden parametrelerin belirlenmesine yönelik deneysel sonuçlar
 - a- Soğuma hızı ve alüminyum matris alaşımı katkı elementi faktörlerinin AlB_2 yapıları üzerine etkileri
 - b- " $AlB_{2(katı)} + Al_{(sıvı)}$ " bölgesinde bekletme zaman ve sıcaklık faktörlerinin AlB_2 yapıları üzerine etkileri
- 4- Doğrudan döküm yöntemi ile AlB_2 kompozitlerinin üretilmesine yönelik deneysel sonuçlar
- 5- AlB_2 kompozitlerinde takviye içeriklerinin artırılmasına yönelik deneysel sonuçlar
 - a- Doğrudan döküm yöntemi ile (tek adımlı olarak) AlB_2 takviye içeriklerinin artırılmasına yönelik deneysel sonuçlar
 - b- AlB_2 takviye içeriklerinin savurma döküm yöntemi ile artırılmasına yönelik deneysel sonuçlar
 - c- Ezme döküm (filtreleme) yöntemi ile AlB_2 takviye içeriklerinin artırılmasına yönelik deneysel sonuçlar

6- Üretilen kompozitlerin sertlik, aşınma, kesme (işleme), çekme dayanımı ve basma dayanımı testlerine ait deneysel sonuçlar

şeklinde beş bölümde ele alınmıştır ve her bölümlerde genel olarak üretilen kompozitlerin karakterizasyonu amacı ile makro ve mikro yapı incelemeleri, % AlB_2 ölçümleri, AlB_2 borür yapılarına ait genişlik, kalınlık ve aspekt oranlarına ait ölçümler, yoğunluk ölçümleri, % porozite ölçümleri, sertlik, çekme dayanımı, basma dayanımı, işleme, aşınma testlerine, SEM, XRD ve spektral analiz ölçümlerine yer verilmiştir.

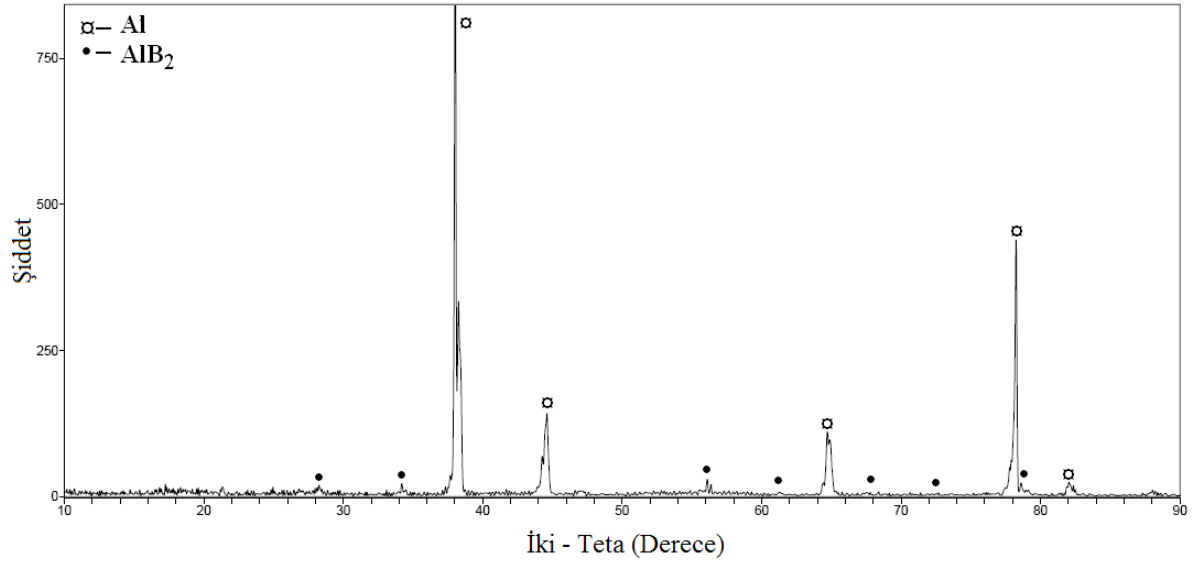
3.2. Bor oksit, boraks ve borik asit ilavesi ile AlB_2 borür yapılarının oluşturulmasına yönelik deneysel sonuçlar

Bor oksit, boraks ve borik asitten oluşan üç farklı bor minerali ilavesi ile bor sentezlenmesi ve alüminyum içerisinde AlB_2 yapılarının oluşturulması amaçlanan bu bölümde % 3 bor içerecek şekilde, aynı deneysel şartlar göz önünde bulundurularak 1400 °C'de bor oksit, boraks ve borik asit mineralleri sıvı alüminyum içerisine doğrudan ilave edilmiştir. Bu sıcaklıkta bir saat bekleme sonrasında çözelti havada kendiliğinden soğumaya bırakılmıştır. Yapılan çalışmada bor minarelerinin ilavesi ile üretilen numunelerin hepsinde bor minerallerinin sıvı alüminyum ile temas eden dış kısımlarında cüruf tabakasının yar aldığı ve onun altında alüminyum matris alaşımı içerisinde rastgele dağılmış yüksek aspekt oranlı AlB_2 borür yapılarının teşekkül ettiği gözlenmiştir. Şekil 4.1'de bor oksit ilavesi ile üretilen deney numunesine ait makro yapı görüntüsünde alüminyum matris alaşımı içerisinde siyah renkte (B) yaklaşık 500 µm uzunluğunda AlB_2 yapılarının ve numunenin üstünde (A) yaklaşık 200 µm kalınlığında cüruf tabakasının yer aldığı görülmektedir.

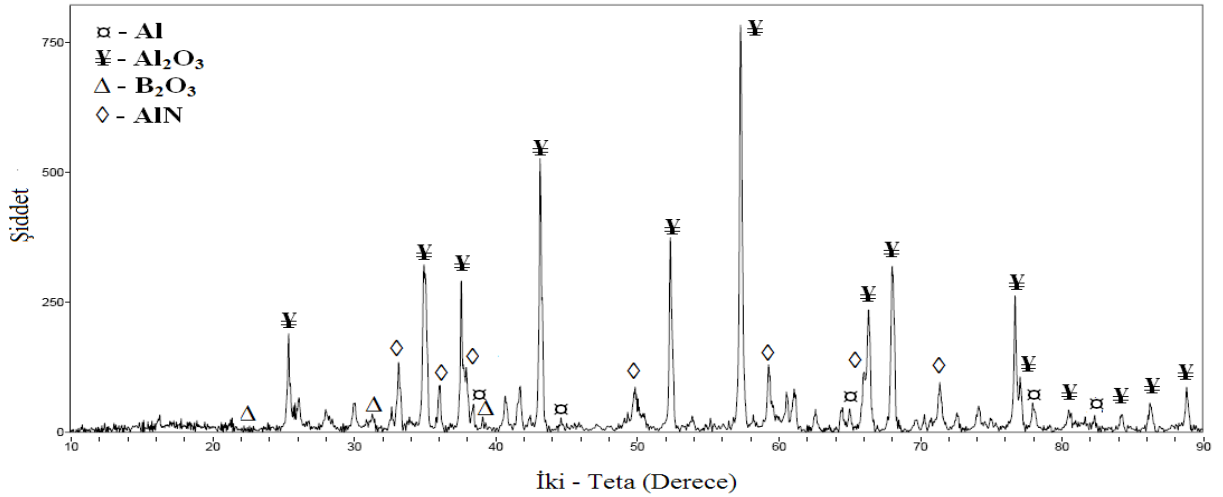


Şekil 4. 1. Tipik bir bor mineralinin ilavesi ile üretilen deney numunesine ait makro yapı görüntüsü deney numunesine ait makro yapı görüntüsü

Sentezleme işlemi sonrasında oluşan fazların tespiti amacı ile Şekil 4.2’de makro yapı görüntüsü üzerinde belirlenen A ve B bölgelerinden XRD analizleri yapılmıştır. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de sırası ile A ve B bölgelerinden alınan XRD analiz sonuçlarında, A bölgesinde alüminyum ve AlB_2 borür pikleri, B bölgesinde ise alüminyum pikinin yanında bor oksit ve alüminyum oksit piklerinin yer aldığı görülmektedir.

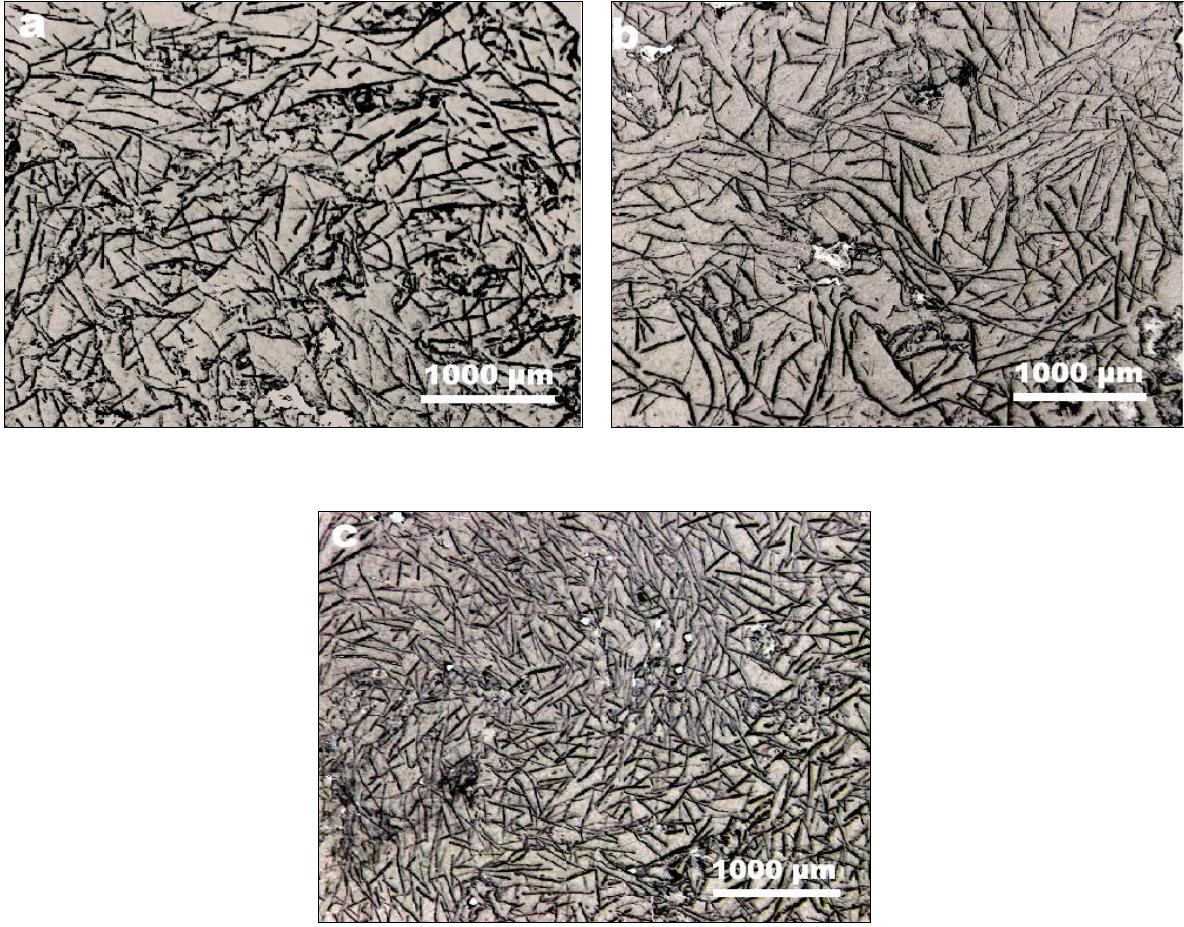


Şekil 4. 2. Alüminyum matris alaşımı ve AlB₂ borür yapılarının yer aldığı bölümden alınan XRD analiz sonucu

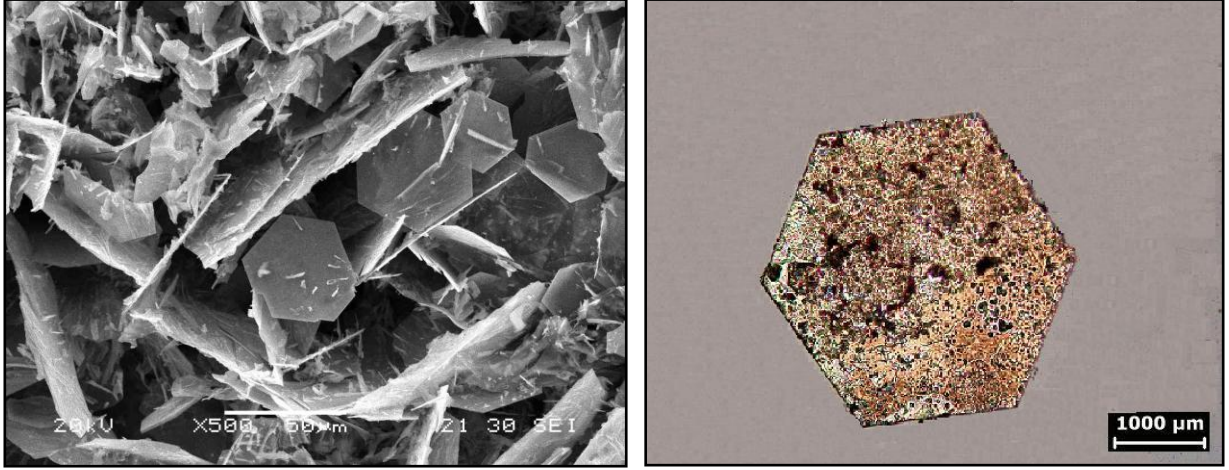


Şekil 4. 3. Alüminyumun bor oksit ile reaksiyonu sonucunda oluşan cüruf tabakası üzerinden alınan XRD analiz sonucu

Şekil 4.4a, Şekil 4.4b ve Şekil 4.442c'de sırası ile boraks, borik asit ve bor oksit ile üretilen deney numunelerine ait makro yapı görüntüleri verilmiştir. Şekillerde beyaz renkte alüminyum matris alaşımı içerisinde siyah AlB₂ borür yapıları görülmektedir. Her üç makro yapı fotoğrafında da AlB₂ yapılarının uzun çubuklar şeklinde yer aldığı görülmektedir. Makro yapı görüntülerinde AlB₂ borür yapılarının bor oksit ilavesi ile üretilen numunelerinde daha yoğun olduğu ve en uzun AlB₂ borür yapılarının borik asit ilavesi ile üretilen numuneye ait olduğu göze çarpmaktadır.



Şekil 4. 4. a) Boraks ilavesi ile, b) Borik asit ilavesi ile, c) bor oksit ilavesi ile sentezlenen AlB_2 borür yapıları AlB_2 borür yapılarının morfolojilerinin tanımlanması amacı ile üretilen numuneler üzerinden SEM görüntüleri alınmıştır. % 37 HCl çözeltisi ile alüminyum matris alaşımının tamamen yok edilerek geride kalan AlB_2 yapısından elde edilen SEM görüntüsü Şekil 4.5a'de verilmiştir. Şekilde AlB_2 borür yapılarının altıgen şekilli, ince, uzun ve fleykler şeklinde ve düzensiz (rastgele) dağılıma sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4. 5. a) %37 HCl çözeltisi ile 5 dak. dağlama sonrasında numuneler üzerinden alınan SEM görüntüsü ve b) AlB₂ borür yapısının mikroskop lamı üzerinde optik mikroskop görüntüsü

Şekil 4.5b’de %37 HCl çözeltisi ile dağlanması sonrasında mikroskop lamı üzerine konularak alınan tipik bir AlB₂ borür yapısına ait mikro yapı resmi verilmiştir. Mikro yapıda AlB₂ borür yapısının eş eksenli altıgen fleyk şeklinde olduğu görülmektedir. Ayrıca AlB₂ yapılarının alüminyum gibi HCl çözeltisi içerisinde çözünmediği ve es eksenli görünümünü koruduğu görülmektedir.

Bor oksit, boraks ve borik asit ilavesi ile üretilen numunelerin % AlB₂ takviye içeriklerinin belirlenmesi amacı ile üretilen numunelerin % B değerleri ölçülmüştür. Tablo 4.1’de üretilen numunelerin üzerinden alınan % B ölçümleri, bunlarının ortalamaları ve ortalama % B oranları dikkate alınarak hesaplanan AlB₂ takviye oranları verilmiştir.

Tablo 4. 1. Bor minerali ilavesi ile üretilen deney numunelerine ait % B değerleri, ortalamaları ve ortalama % B dikkate alınarak hesaplanan % AlB₂ oranları

Mineral Türü	Matris içerisinde ölçülen ağırlıkça % B oranı			Ort. %B	Ort. % AlB ₂
	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm		
Boraks	1,78	1,4	1,53	1,57	3,53
Borik asit	1,82	1,76	1,82	1,8	4,05
Bor oksit	2,53	2,7	2,32	2,52	5,67

Tablo 4.1'den üç farklı bor mineralinin ilavesi ile üretilen numunelerden ölçülen en yüksek % B içeriği bor oksit ilavesi ile üretilen deney numunesinde (ortalama % 2,53) olduğu, en düşük bor içeriği ise boraks ilavesi ile üretilen deney numunesinde (ortalama % 1,57) olduğu görülmektedir. Bu ortalama % bor miktarları dikkate alınarak hesaplanan en yüksek takviye oranı ise bor oksit ilavesi ile üretilen numunede (ortalama % 5,67 seviyesinde) yer aldığı görülmektedir. Buna göre alüminyum içinde doğrudan bor sentezlemeye yönelik çalışmalarda bor oksit ilavesinin diğer minerallere göre daha verimli olduğu görülmüştür.

Tablo 4.2'de üç farklı bor minerali ilavesi ile üretilen numunelerden ölçülen AlB₂ fleyk genişlik, kalınlık ve aspekt oranları için ölçülmüş gözlem değerleri ve bunlarının ortalamaları verilmiştir. Tabloda sentezlenen AlB₂ yapılarının genişliklerinin 210 µm ile 362 µm arasında değiştiği ve en yüksek AlB₂ uzunluğunun boraks ilavesi ile üretilen numunede ortalama 350 µm, en düşük AlB₂ uzunluğu ise bor oksit ilavesi ile üretilen numunede ortalama 215 µm değerinde olduğu görülmektedir. Tabloda üç farklı bor mineralinin ilavesi ile sentezlenen AlB₂ borür yapılarının kalınlığının 1µm'nin altında olduğu (0,34 µm ile 0,65 µm arasında değiştiği) görülmektedir. Ayrıca Tablo 4.2'te en ince AlB₂ yapılarının boraks ilavesi ile üretilen numunede ortalama 0,43 µm, en kalının AlB₂ borür yapılarının ise borik asit ilavesi ile üretilen numunede ortalama 0,52 µm değerinde olduğu görülmektedir. AlB₂ genişlik ve kalınlık değerleri dikkate alınarak ölçülen AlB₂ aspekt oranları, en yüksek, boraks ilavesi ile üretilen numunede 820, en düşük AlB₂ aspekt oranı ise bor oksit ilavesi ile üretilen numunede ortalama 431 değerinde olduğu görülmektedir.

Tablo 4. 2. Bor minerali ilavesi ile sentezlenen AlB_2 borür yapılarına ait genişlik, kalınlık ve aspekt oranları ve bunlarının ortalamaları

Mineral türü		Ölçüm değerleri			Ortalama değerler
		1.ölçüm	1.ölçüm	2.ölçüm	
Genişlik, μm	Boraks	336,15	351,6	362,9	350,17
	Borik asit	285,92	318,7	332,48	312,36
	Bor oksit	210,6	221,4	214,1	215,37
Kalınlık, μm	Boraks	0,432	0,374	0,488	0,43
	Borik asit	0,344	0,574	0,652	0,52
	Bor oksit	0,447	0,545	0,513	0,5
Aspekt oran	Boraks	777,78	940,11	743,65	820,51
	Borik asit	831,1	555,23	509,94	632,09
	Bor oksit	471,14	406,24	417,35	431,58

Tablo 4.3’de boraks, borik asit ve bor oksit ilavesi ile üretilen numuneler üzerinden alınan yoğunluk ölçümleri verilmiştir. Numunelerden alınan yoğunluk ölçümlerinde yoğunluk değerlerinin değiştiği ve yoğunluk değerinin bor oksit ilavesi ile üretilen numunede $2,23 \text{ g/cm}^3$, borik asit ilavesi ile üretilen numunelerde değerlerin ortalama $1,9 \text{ g/cm}^3$ seviyesinde olduğu görülmektedir. numunelerde ölçülen yoğunluk farklı farklı bulunmasının nedeni döküm sıcaklığının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 4. 3. Bor minerali ilavesi ile üretilen numunelerden ölçülen yoğunluk değerleri ve ortalamaları

Mineral Türü	Yoğunluk ölçümleri, g/cm ³				Ort. Yoğunluk, g/cm ³
	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	4.ölçüm	
Boraks	1,99	2,01	2,02	2,02	2,01
Borik asit	1,92	1,93	1,92	1,9	1,9
Bor oksit	2,23	2,24	2,24	2,23	2,23

Tablo 4.4’da boraks, borik asit ve bor oksit ilavesi ile üretilen döküm kompozit numuneler üzerinden alınana % gözenek (porozite) ölçümleri yer almaktadır. Tabloda üretilen numunelerin porozite seviyelerinin oldukça yüksek olduğu ve en yüksek % porozite değerin borik asit ilavesi ile üretilen numunede (ortalama % 14,76), en düşük porozite değeri ise borik asit ilavesi ile üretilen numunede (ortalama % 6,81) olduğu görülmektedir.

Tablo 4. 4. Bor minerali ilavesi ile üretilen numunelere ait % porozite ölçümleri ve ortalamaları

Mineral Türü	Porozite ölçümleri, %			Ort. % Porozite
	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	
Boraks	15,03	11,78	10,1	12,3
Borik asit	16,41	13,31	14,58	14,76
Bor oksit	6,96	6,88	6,6	6,81

4.3. AlB₂ borür yapılarının genişlik, kalınlık ve aspekt oranları üzerine etki eden parametrelerin belirlenmesine yönelik deneysel sonuçlar

AlB₂ borür yapılarının kalınlık, genişlik ve aspekt oranları üzerine etki eden faktörlerin belirlenmesine yönelik olarak hazırlanan bu bölüm de “soğuma hızı”, “alüminyum matris” ve “AlB_{2(katı)} + Al_(sıvı) bölgesinde “tutma zamanı” ve “tutma sıcaklığı” faktörleri irdelenmiştir. Bu amaca yönelik olarak bölüme ait deneysel sonuçlar iki başlık altında sunulmuştur.

- a. “Soğuma hızının” ve “alüminyum matris alaşımı” faktörlerinin etkileri
- b. AlB₂ bölgesinde “tutma zamanı” ve “tutma sıcaklığı” faktörlerinin etkileri.

4.3.1. “Soğuma hızı” ve “alüminyum matris alaşımı” faktörlerinin AlB₂ yapıları üzerine etkileri

“Soğuma hızı” ve “alüminyum matris alaşımı” faktörlerinin birlikte ele alındığı bu bölümde, üç farklı soğuma hızı ve üç farklı alüminyum matris alaşımından faydalanılmıştır. Bu göre bölümde, Tablo 4.7’de da görüleceği üzere, üç farklı soğuma hızı ve dört matris alaşımı için bütün olasılıklar dikkate alınmak sureti ile $3 \times 4 = 12$ farklı deney yapılmıştır. Deneylerde üretilen numunelerin karakterizasyonu için optik mikroskop, SEM ve AlB₂ borür yapıları üzerinden alınan genişlik, kalınlık ve aspekt oraları ölçümlerinden faydalanılmıştır.

Tablo 4.5’de yapılan deneyler, deneylere ait parametre seviyeleri ve AlB₂ borür yapıları üzerinden alınan genişlik ölçümleri verilmiştir. Tabloda AlB₂ borür yapılarının uzunluluk değerinin 96 µm ile 616 µm arasında deneysel parametreler bağılı olarak değiştiği görülmektedir. Deneysel parametrelere göre en yüksek genişliğe sahip AlB₂ borür yapılarının 7 °C/sn soğuma hızında Al-Si matris ile üretilen 4 no’lu deney numunesinde ortalama 497 µm, en düşük genişliğe sahip AlB₂ borür yapılarının ise 3,3 °C/sn soğuma hızında Al-Cu matris alaşımı ile üretilen 9. deney numunesinde ortalama 74 µm olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.6’de üretilen deney numuneleri üzerinden alınana AlB₂ kalınlık ölçümleri ve bunlarının ortalamaları verilmiştir. Tablo 4.6 incelendiğinde kullanılan deneysel parametrelerin AlB₂ borür yapılarının kalınlıkları üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı ve AlB₂ borür yapılarının kalınlığının 0,32 µm ile 1,10 µm arasında değişiklik gösterdiği görülmüştür. Tablo 4.6’da en ince AlB₂ borür yapılarının 5 °C/sn soğuma hızında Al-Mg matris alaşımı ile üretilen 11 no’lu deney numunesinde ortalama 0,60 µm, en kalın AlB₂ yapıları ise 3,3 °C/sn soğuma hızında Al-Cu matris alaşımı kullanılarak üretilen 9 no’lu deney numunesinde ortalama 0,73 µm değerinde olduğu görülmektedir.

Tablo 4. 5. Deneysel parametreler ve AlB₂ genişlik ölçümleri ve bunlarının ortalamaları

Deney no.	Matris alaşımı	Soğuma hızı, °C/sn	Genişlik ölçümleri, µm				Ort. AlB ₂ genişliği, µm
			1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	4.ölçüm	
1	Saf Al	7	417,1	400,3	410,9	392,3	405,15
2	Saf Al	5	241,3	214,1	230	225	227,6
3	Saf Al	3,3	98,6	78,5	113,9	80	92,75
4	Al-Si	7	616,8	570	402,3	400	497,28
5	Al-Si	5	201,2	207,3	205	210	205,88
6	Al-Si	3,3	231,3	111,7	155,8	239,8	184,65
7	Al-Cu	7	178,3	202,1	224,9	200,6	201,48
8	Al-Cu	5	165,7	160,1	162	167	163,7
9	Al-Cu	3,3	74,9	70,7	68,9	82,1	74,15
10	Al-Mg	7	463,1	400,9	457	418	434,75
11	Al-Mg	5	143,88	170,53	206,28	146,84	166,88
12	Al-Mg	3,3	125	132	125	130,01	128,02

Tablo 4. 6. Deneysel parametreler ve AlB₂ kalınlık ölçümleri ve bunlarının ortalamaları

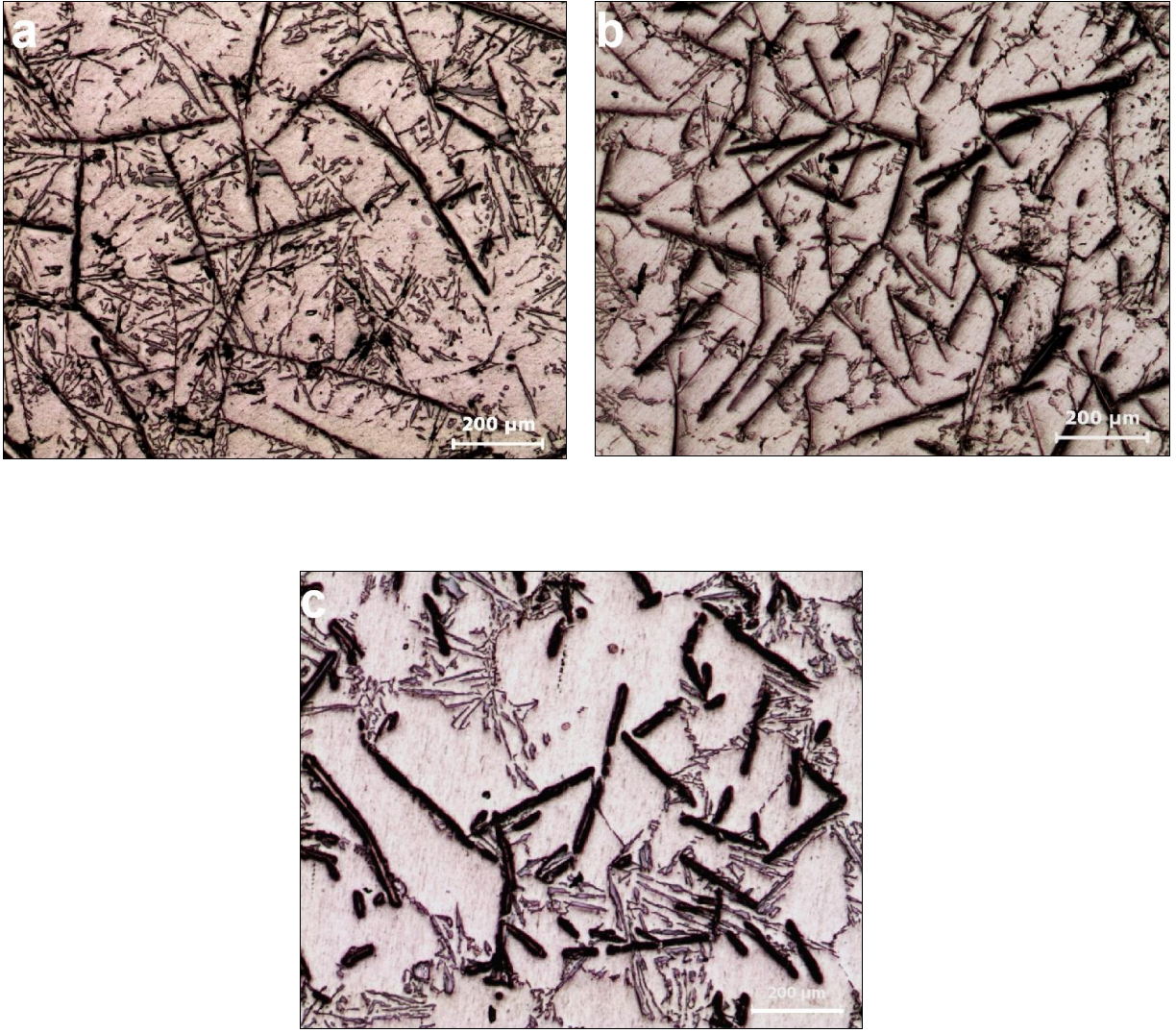
Deney No.	Matris alaşımı	Soğuma hızı, °C/sn	Kalınlık ölçümleri, µm				Ort. AlB ₂ kalınlığı
			1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	4.ölçüm	
1	Saf Al	7	0,58	0,58	0,69	0,62	0,62
2	Saf Al	5	0,73	0,57	0,7	0,51	0,63
3	Saf Al	3,3	0,36	0,47	1,1	0,55	0,62
4	Al-Si	7	0,68	0,32	0,57	0,88	0,61
5	Al-Si	5	0,71	0,74	0,93	0,51	0,72
6	Al-Si	3,3	1,07	0,46	0,58	0,78	0,72
7	Al-Cu	7	0,65	0,45	0,85	0,92	0,72
8	Al-Cu	5	0,76	0,96	0,53	0,59	0,71
9	Al-Cu	3,3	0,5	0,85	1,01	0,55	0,73
10	Al-Mg	7	0,52	0,5	0,75	0,72	0,62
11	Al-Mg	5	0,71	0,53	0,47	0,7	0,6
12	Al-Mg	3,3	0,73	0,6	0,82	0,59	0,69

Tablo 4. 7. Deneysel parametreler ve AlB₂ aspekt oranları ve bunların ortalamları

Deney No.	Matris alaşımı	Soğuma Hızı, °C/sn	Aspekt oran ölçümleri, (genişlik/kalınlık)				Ort. Aspekt
			1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	4.ölçüm	
1	Saf Al	7	715,4	694,9	594,6	632,7	659,4
2	Saf Al	5	330,5	377,8	328,5	441,1	369,5
3	Saf Al	3,3	277,7	167,2	103,5	145,4	173,4
4	Al-Si	7	905	1803,8	708,2	453	967,5
5	Al-Si	5	284,1	281,2	219,9	411,6	299,2
6	Al-Si	3,3	215,5	242	269,7	309,2	259,1
7	Al-Cu	7	274,3	449,1	264,5	218,4	301,5
8	Al-Cu	5	217,7	167,1	307,9	285,2	244,5
9	Al-Cu	3,3	149,8	83,1	68,2	149,2	112,6
10	Al-Mg	7	890,5	801,8	609,3	580,5	720,5
11	Al-Mg	5	203,7	324	438,2	209,7	293,9
12	Al-Mg	3,3	171,2	220	152,4	220,3	191

Tablo 4.7’de üretilen 12 farklı parametreye sahip deney numuneleri üzerinden ölçülen AlB₂ borür yapılarının aspekt (genişlik/kalınlık) oranları verilmiştir. Tablo 4.7’de deneysel parametrelere bağlı olarak AlB₂ yapılarının aspekt oranlarının 83 ile 1800 değerleri arasında değiştiği görülmektedir. Yapılan deneylerde en yüksek AlB₂ aspekt oranı 7 °C/sn soğuma hızında Al-Si alüminyum matris alaşımının kullanıldığı 7 no’lu deneyden (ortalama 967) elde edilmiştir. En düşük aspekt oranlı AlB₂ borür yapıları ise 3,3 °C/sn soğuma hızında Al-Cu alüminyum matris alaşımının kullanıldığı 9 no’lu deneyden (ortalama 112 değerinde) elde edildiği görülmektedir.

Şekil 4.6’da Soğuma hızının AlB₂ genişlikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi amacı ile seçilmiş deney numunelerine ait mikro yap görüntüleri verilmiştir. Şekil 4.6a, Şekil 4.6b ve Şekil 4.6c’de 1400 °C’den sırası ile 7 °C/sn, 5 °C/sn ve 3,3 °C/sn soğuma hızlarında silisyum katkılı matris alaşımı kullanılarak üretilen 4, 5 ve 6 no’lu deney numunelerine ait mikro yapı görüntüleri verilmiştir.

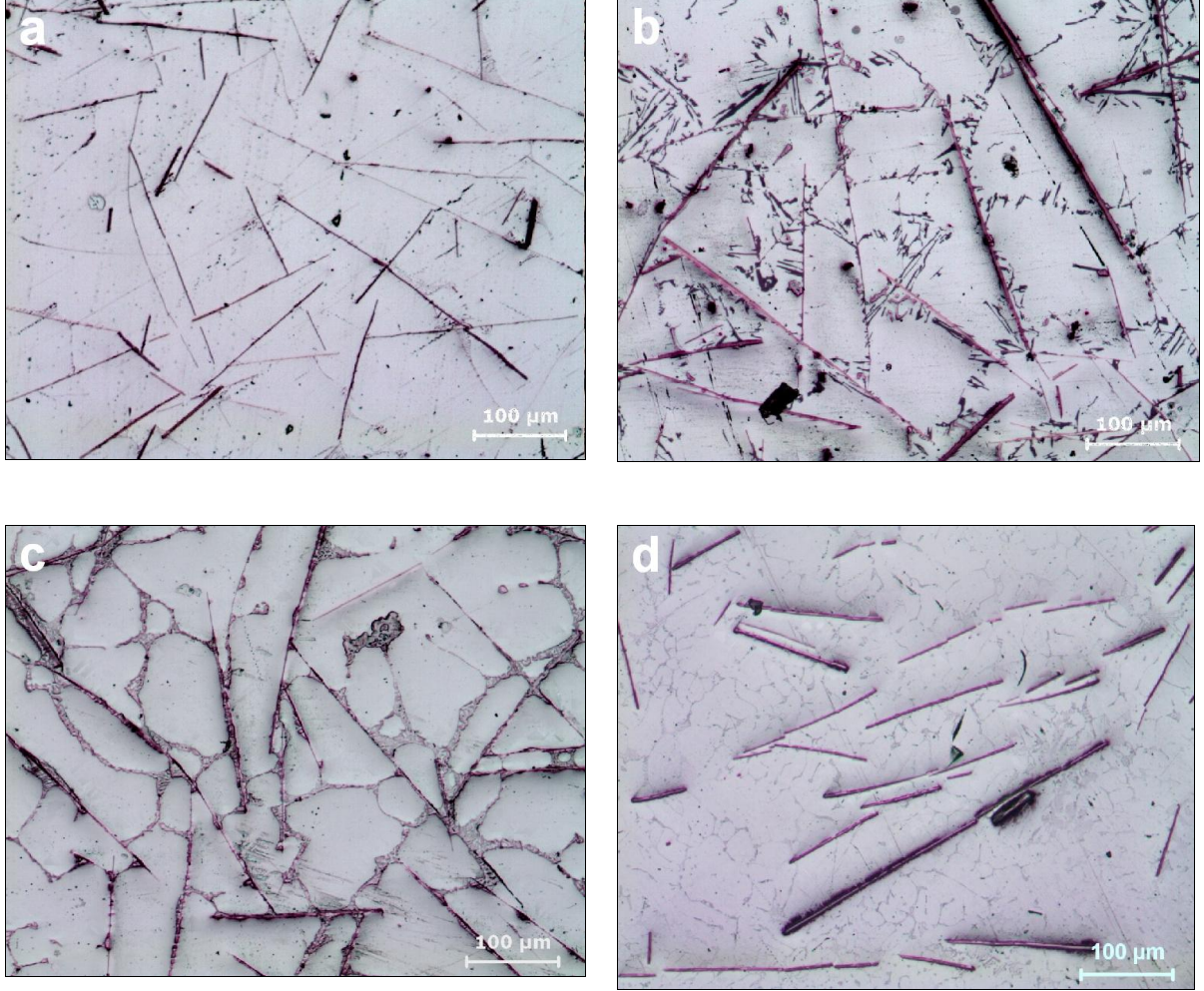


Şekil 4. 6. a)1400 °C'de silisyum katkılı alüminyum matris alaşımı kullanılarak 7 °C/sn soğuma hızında üretilen 4 no'lu deney numunesine b) 5 °C/sn soğuma hızında 5 no'lu deney numunesine ve c) 3,3 °C/sn soğuma hızında 6 no'lu deney numunesine ait mikro yapı görün

Şekil 4.6'da alüminyum matris alaşım içerisinde ötektik silisyum kristalleri ve uzun AlB_2 yapıları görülmektedir. Mikro yapı görüntülerinden, en yüksek uzunluğa sahip AlB_2 yapısının Şekil 4.6a'da 7 °C/sn soğuma hızında üretilen 4 no'lu deney numunesinde ve en düşük uzunluğa sahip AlB_2 yapılarının ise Şekil 4.6c'de 3,3 °C/sn soğuma hızı ile üretilen 6 No'lu deney numunesinde yer aldığı görülmektedir.

Şekil 4.7'da alüminyum matris alaşımına ait katkı elementlerinin mikro yapı ve AlB_2 fleyk genişlikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi amacı ile seçilen 2, 5, 8 ve 11 no'lu deney numunelerine ait mikro yapı görüntüleri verilmiştir. Şekil 4.7a, Şekil 4.7b, Şekil 4.7c ve Şekil

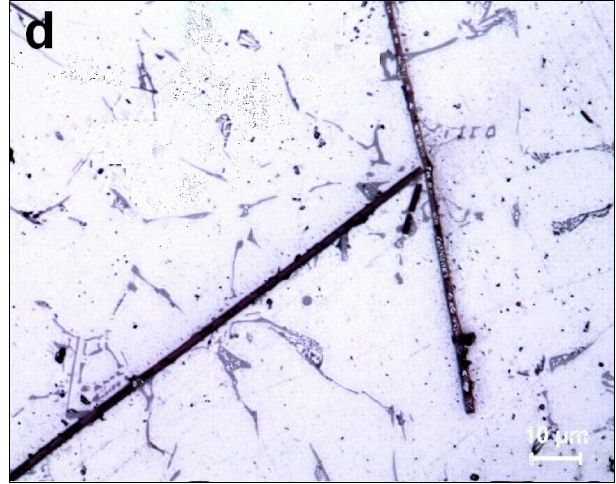
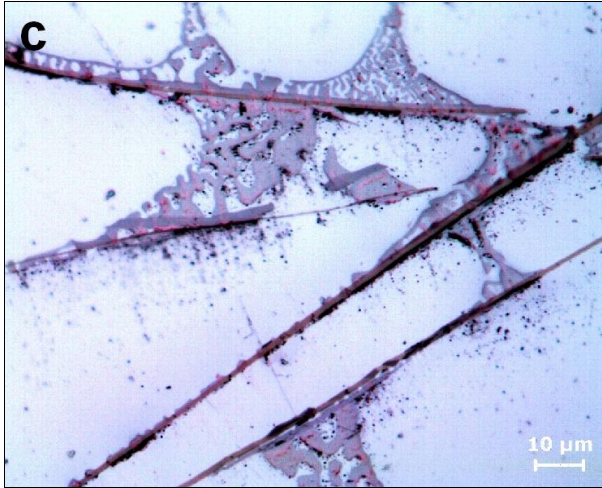
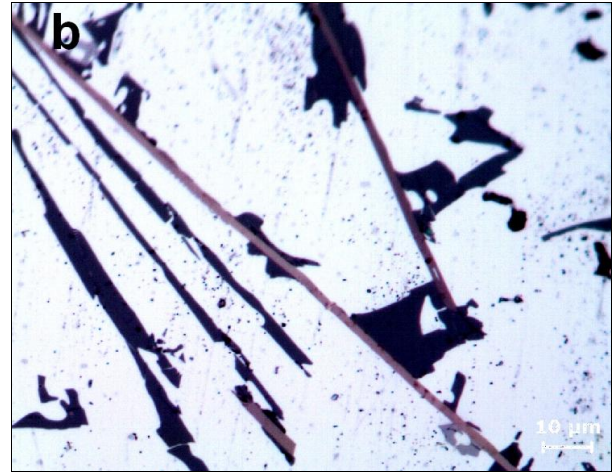
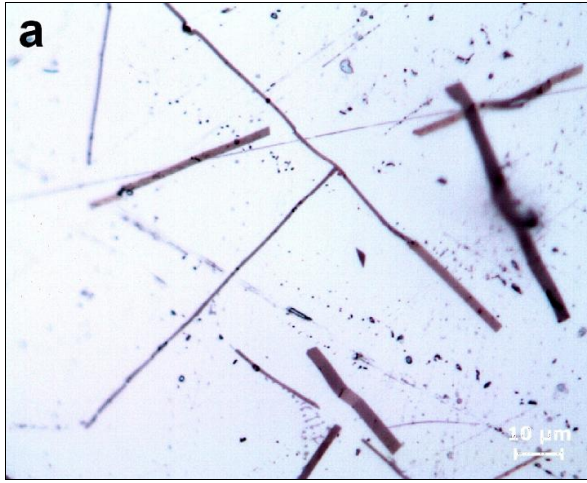
4.7d'da 5 °C/sn soğuma hızında sırası ile saf Al, Al-Si, Al-Cu ve Al-Mg alüminyum matris alaşımları kullanılarak üretilen deney numunelerine ait mikro yapı resimleri görünmektedir.



Şekil 4. 7. a)1400 °C'den 5 °C/sn soğuma hızında saf Al, b) Al-Si, c) Al-Cu ve d) Al-Mg alüminyum matris alaşımı kullanılarak üretilen deney numunelerine ait mikro yapı görüntüsü

Şekil 4.7'de verilen mikro yapı görüntülerinde, AlB₂ yapılarına ait genişliklerin önemli bir değişim sergilemediği görülmektedir. Bunun yanında mikro yapı görüntülerinde, saf Al matris alaşımı ile üretilen 2 no'lu deney numunesinde alüminyum matris alaşımı içerisinde yalnızca uzun AlB₂ borür yapıları yer aldığı, Şekil 4.7b'de Al-Si alüminyum matris alaşımının kullanılarak üretilen 5 No'lu deney numunesinde uzun AlB₂ borür yapılarının yanında gri renkte ötektik silisyum kristalleri, Şekil 4.7c'de Al-Cu matris alaşımı kullanılarak üretilen 8 no'lu deney numunesinde AlB₂ borür yapılarının yanında AlCu₂ intermetalik bileşikleri ve Şekil 7d'de Al-Mg matris alaşımı ile üretilen 11 no'lu deney numunesinde ise uzun AlB₂ yapılarının yanında AlMg₂ intermetalik bileşiklerinin yer aldığı görülmektedir.

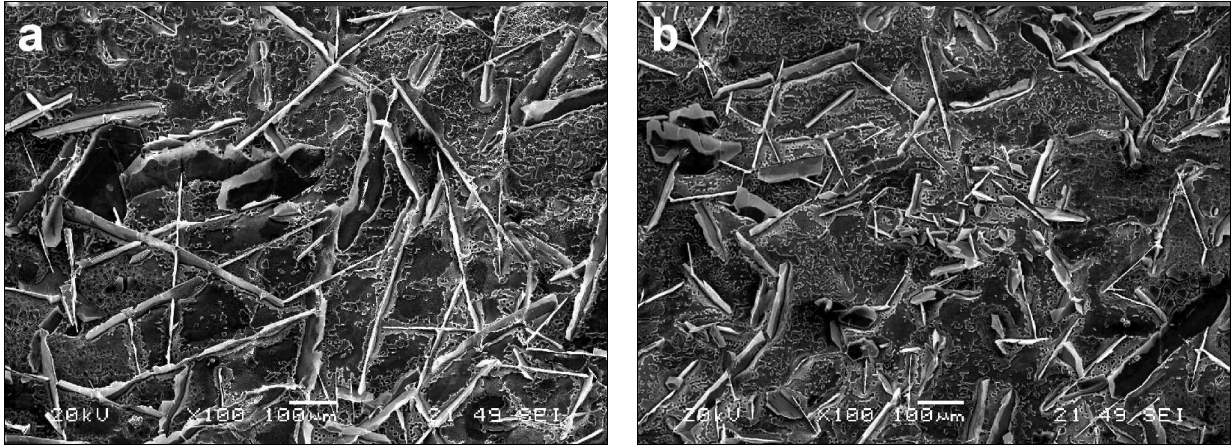
Şekil 4.8’de alüminyum matris alaşımına ait ana katkı elementlerinin AlB_2 borür yapılarının kalınlıklarına etkisinin belirlenmesi amacı ile seçilmiş 3, 6, 9 ve 12 no’lu deney numunelerine ait mikro yapı görüntüleri yer almaktadır. Şekil 4.8a, Şekil 4.8b, Şekil 4.8c ve Şekil 4.8d’de $3,3\text{ }^\circ\text{C/sn}$ soğuma hızında sırası ile saf Al, Al-Si, Al-Cu ve Al-Mg alüminyum matris alaşımları kullanılarak üretilen deney numunelerine ait mikro yapı görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 4. 8. $1400\text{ }^\circ\text{C}$ 'den $3,3\text{ }^\circ\text{C/sn}$ soğuma hızında a) saf Al, b) Al-Si c) Al-Cu ve d) Al-Mg alüminyum matris alaşımı kullanılarak üretilen sırası ile 3, 6, 9 ve 12 no’lu deney numunesine ait mikro yapı görüntüsü

Şekil 4.8’de alüminyum matris alaşımına ait matris alaşımının AlB_2 yapılarının kalınlıklar üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı ve AlB_2 borür yapılarının kalınlıklarının $1\text{ }\mu\text{m}$ 'nin altında yer aldığı görülmektedir.

Şekil 4.9a ve Şekil 4.9b’de 7 ve 3,3 C/sn iki farklı soğuma hızına sahip 1 ve 3 no’lu deney numunelerine ait SEM görüntüleri verilmiştir. SEM görüntülerinde soğuma hızının azalmasına karşılık AlB₂ borür yapılarının genişliğinin azaldığı görülmektedir. Şekil 4.9a’da 7 C/sn soğuma hızında AlB₂ borür yapılarının uzunluklarının yaklaşık 500 µm iken Şekil 4.9b’de 3,3 C/sn soğuma hızında AlB₂ borür yapılarının genişliklerinin yaklaşık 100 µm civarında olduğu görülmektedir.



Şekil 4. 9. a) 1400 °C’den 7 °C/sn ve b) 3,3 °C/sn soğuma hızında katkısız alüminyum matris alaşımı kullanılarak üretilen 1 ve 3 no’lu deney numunelerine ait SEM görüntüsü

Üretilen numunelerin tane boyut dağılımlarının belirlenmesine yönelik olarak % 37 HCl çözeletisi ile 5 dk dağlandıktan sonra görüntü analiz programı yardımı ile tane boyutları ölçülmüştür. Tablo 4.8’de farklı soğuma hızlarında üretilen numuneler üzerinden ölçülen ortalama matris alaşımlarının tane boyutları yer almaktadır.

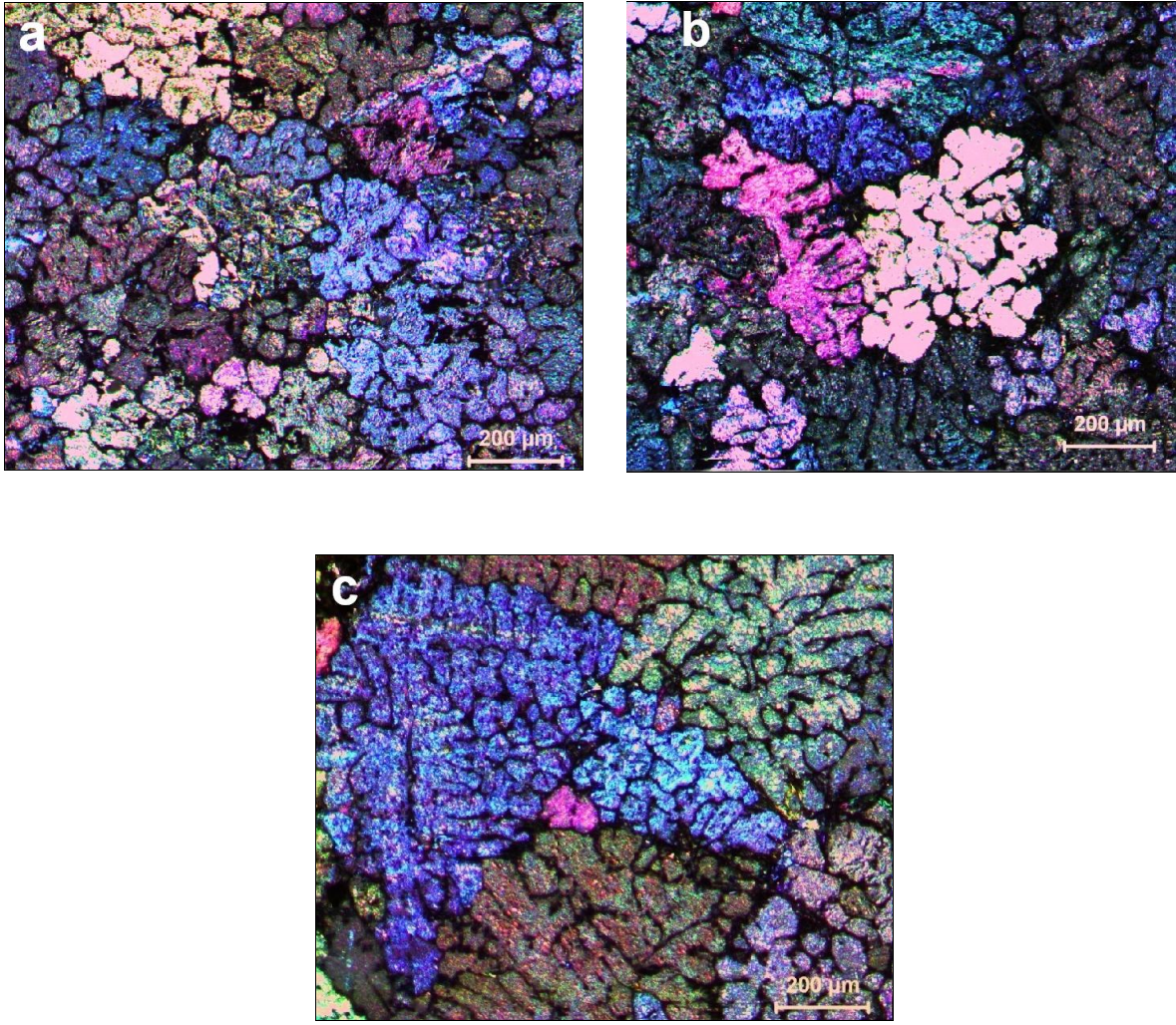
Tablo 4. 8. Farklı soğuma hızlarında üretilen numunelere ait matris alaşımı tane boyut değerleri ve ortalamaları

Soğuma Hızı, °C/sn	Tane boyutu, µm			Ort.
	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	
7	1165	1800	1285	1417
5	464	534	423	474
3,3	340	290	314	315

Tablo 4.8’de ortalama tane boyutunun soğuma hızının artmasına bağlı olarak arttığı ve en büyük tane boyutunun 3,3 °C/sn soğuma hızında üretilen numunelerde 1417 µm, en küçük

tane boyutu ise 7 °C/sn soğuma hızında üretilen numunelerde ortalama 315 µm olduğu görülmektedir.

Şekil 4.10'da sırası ile Al-Si matris alaşımı ile 7 °C/sn, 5 °C/sn ve 3,3 °C/sn soğuma hızlarında üretilen 4, 5 ve 6 no'lu deney numunelere ait mikro yapı görüntüleri verilmiştir. Şekil 4.10'da farklı renklerde görülen tane boyutlarının soğuma hızının artmasına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Şekilde üzerinde en küçük tane boyutu Şekil 10a'da 7 C/sn soğuma hızında, en büyük tane boyutu ise Şekil 10c'de 3,3 °C/sn soğuma hızında üretilen numunelere ait olduğu görülmektedir.



Şekil 4. 10. Al-Si alüminyum matris alaşımı ile a)7 °C/sn, b) 5 °C/sn ve c) 3,3 °C/sn soğuma hızında üretilen numuneye ait optik mikroskop görüntüsü

4.3.2. “ $AlB_2(katı) + Al(sıvı)$ ” bölgesinde “tutma zamanı” ve “tutma sıcaklığı” faktörlerinin AlB_2 yapıları üzerine etkileri

“ $AlB_2(katı) + Al(sıvı)$ ” bölgesinde bekleme zaman ve sıcaklığının AlB_2 yapıları üzerine etkilerinin belirlenmesi amacı ile yapılan bu deneysel bölümde üç tutma zamanı ve üç tutma sıcaklığı dikkate alınarak $3 \times 3 = 9$ farklı parametreye sahip deney numuneleri hazırlanmıştır. Bu bölüme ait sonuçlarının sunumunda, karşılaştırmaların sağlıklı yapılabilmesi amacı ile deneylerde kullanılan master kompozite (“ $AlB_2(katı) + Al(sıvı)$ ” bölgesinde hiç bekletilmemiş) ait sonuç bilgileri yer almaktadır.

Deneylerde master kompozit olarak önceki bölümde bor oksit ilavesi ile 1400 °C’de 7 °C/sn soğuma hızında silisyum katkılı alüminyum matris alaşımı kullanılarak üretilen, % 4 AlB₂ takviye içeriğine sahip, AlB₂/Al-Si kompoziti kullanılmıştır.

Tablo 4. 9. “AlB_{2(sıvı)} + Al_(sıvı)” bölgesinde “tutma zamanı” ve “tutma sıcaklığı” parametrelerine bağlı olarak ölçülen AlB₂ genişlikleri ve bunlarının ortalama değerleri

Deney No.	Tutma Sıcaklığı, °C	Tutma Zamanı, dak	Genişlik ölçümleri, µm					Ort. Genişlik
			1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	4.ölçüm	5.ölçüm	
1	700	20	512	403	336	400	461	422
2	700	60	364	380	347	387	333	362
3	700	180	319	305	369	360	320	334
4	800	20	534	324	302	318	326	360
5	800	60	264	328	323	308	270	298
6	800	180	326	203	240	270	240	255
7	900	20	321	276	307	210	358	294
8	900	60	200	335	240	327	222	264
9	900	180	181	234	206	204	132	191
Master kompozit			617	570	402	400	497	497

Tablo 4.9’de 9 farklı deney numunesi ve master kompozitine ait AlB₂ genişlik ölçümlerinde en yüksek ortalama genişlik değerinin master alaşımında 497 µm, en küçük ortalama AlB₂ uzunluğunun ise master kompozitinin 900 °C’de 180 dakika bekleme sonrasında elde edilen 9. deney numunesinde, ortalama 197 µm seviyesinde olduğu görülmektedir.

Tablo 4.10. “AlB_{2(katı)} + Al_(sıvı)” bölgesinde “tutma zamanı” ve “tutma sıcaklığı” için yapılan deney numuneleri ve master kompozitine ait AlB₂ kalınlık değerleri ve bunlarının ortalamaları verilmiştir. Tablo 4.10’da yapılan 12 farklı deney numunesinden alınan AlB₂ borür yapılarının kalınlıklarının 0,32 µm ile 3,58 µm arasında değişiklik gösterdiği ve bekleme zamanının ve sıcaklığının artmasına bağlı olarak AlB₂ borür yapılarının kalınlıklarının arttığı görülmekte. Tabloda ayrıca master kompozitinde 0,61 µm olan AlB₂ kalınlıklarının, 900

°C’de 180 dak. bekleme sonrasında ortalama 3,32 µm seviyesine kadar yükselmiş olduğu görülmektedir.

Tablo 4. 10. “AlB_{2(katı)} + Al_(sıvı)” bölgesinde “tutma zamanı” ve “tutma sıcaklığı” parametrelerine bağlı olarak ölçülen AlB₂ kalınlıkları ve bunlarının ortalama değerleri

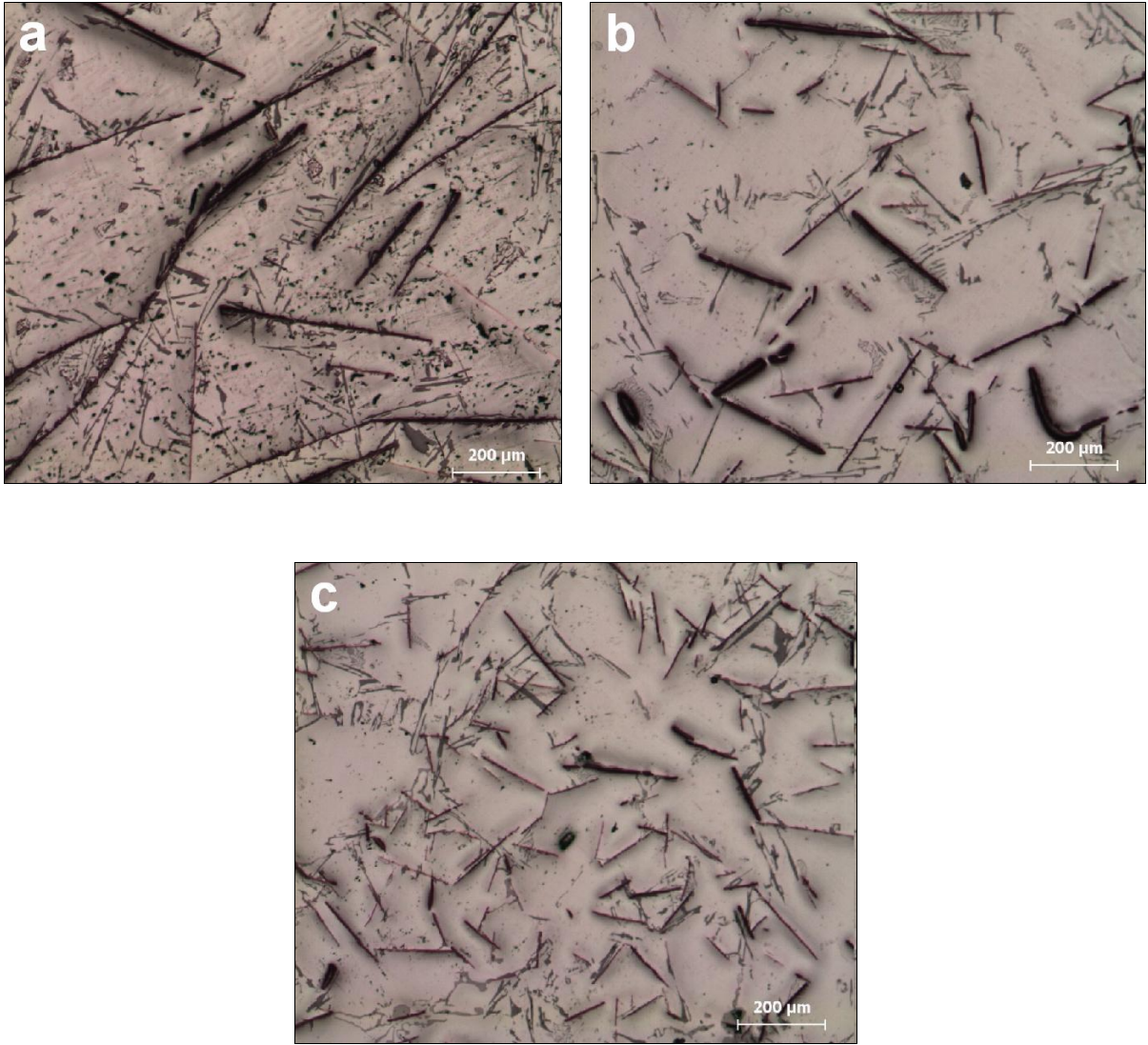
Deneş No.	Tutma Sıcaklığı, °C	Tutma Zamanı, dak	Kalınlık ölçümleri, µm					Ort. Kalınlık
			1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	4.ölçüm	5.ölçüm	
1	700	20	0,84	0,53	0,57	0,57	0,73	0,66
2	700	60	1,11	1,20	3,10	0,98	0,99	1,48
3	700	180	1,08	2,77	1,05	1,59	1,31	1,56
4	800	20	1,48	1,32	0,97	0,86	1,39	1,20
5	800	60	1,71	1,74	1,57	1,54	1,39	1,59
6	800	180	1,58	2,09	1,94	1,46	3,4	2,09
7	900	20	2,40	1,74	4,92	2,42	1,99	2,69
8	900	60	2,56	3,95	2,03	2,81	2,83	2,84
9	900	180	2,11	3,58	2,59	3,47	4,86	3,32
Master kompozit			0,68	0,32	0,57	0,88	0,61	0,61

Tablo 4. 11. “AlB₂(katı) + Al_(sıvı)” bölgesinde “tutma zaman” ve “tutma sıcaklığı” parametrelerine bağlı olarak ölçülen AlB₂ aspekt oranları ve bunlarının ortalama değerleri

Deney No.	Tutma Sıcaklığı, °C	Tutma Zamanı, dk	Aspekt oranı ölçümleri (Genişlik/Kalınlık)					Ort. Aspekt oranı
			1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	4.ölçüm	5.ölçüm	
1	700	20	569	760	591	703	628	650
2	700	60	328	317	112	396	333	297
3	700	180	295	110	351	226	244	246
4	800	20	361	245	313	369	235	305
5	800	60	154	189	206	200	194	189
6	800	180	206	97	124	185	71	137
7	900	20	134	159	62	87	180	124
8	900	60	78	85	118	116	78	95
9	900	180	86	65	80	59	27	63
Master Alaşımı			905	1804	708	453	812	937

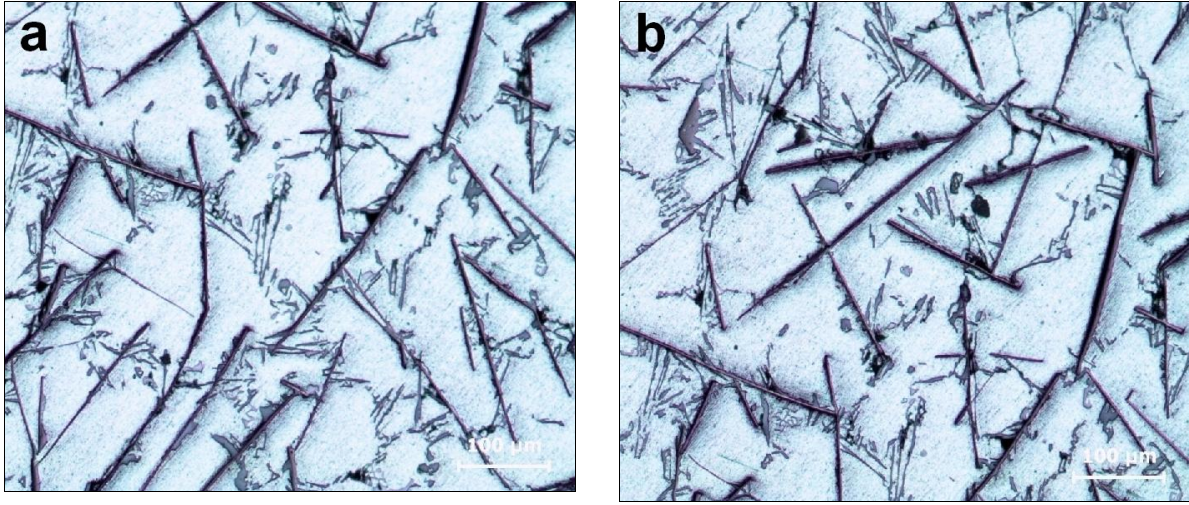
Tablo 4.11’de yapılan deneyler ve master kompozitine ait AlB₂ aspekt oranları ve bunlarının ortalama değerleri verilmiştir. Tablo 4.11’de AlB₂ aspekt oranlarının 27 ile 937 değerleri arasında değişiklik gösterdiği ve en yüksek aspekt oranlı AlB₂ yapılarının master kompozitin de ortalama 937 değerinde iken, en küçük aspekt oranlı AlB₂ yapılarının 900 °C’de 180 dak. bekleme sonrasında elde edilen 9 no’lu numunesinde ortalama 63 değerinde ölçüldüğü görülmektedir.

Şekil 4.11’de AlB₂ bölgesinde tutma sıcaklığının AlB₂ genişlikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi amacı ile yapılan 3, 6 ve 9 no’lu deney numunelerine ait mikro yapı görüntüleri verilmiştir Şekil 4.11a, Şekil 4.11b ve Şekil 4.11’de sırası ile 700, 800 ve 900 °C’de 180 dak. bekleme sonrasında elde edilen deney numunelere ait mikro yapı görüntülerinde, AlB₂ yapılarının genişliklerinin tutma sıcaklığının artmasına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Seçilen mikro yapı görüntülerinde en büyük uzunluğa sahip AlB₂ borür yapılarının 700 °C’de 180 dak. bekleme sonrasında elde edilen 3 no’lu deney numunesinde, düşük uzunluğa sahip AlB₂ yapılarının ise Şekil 4.11d’de 900 °C’de 180 dakika bekleme sonrası elde edilen 3 no’lu deney numunesinde yer aldığı görülmektedir.



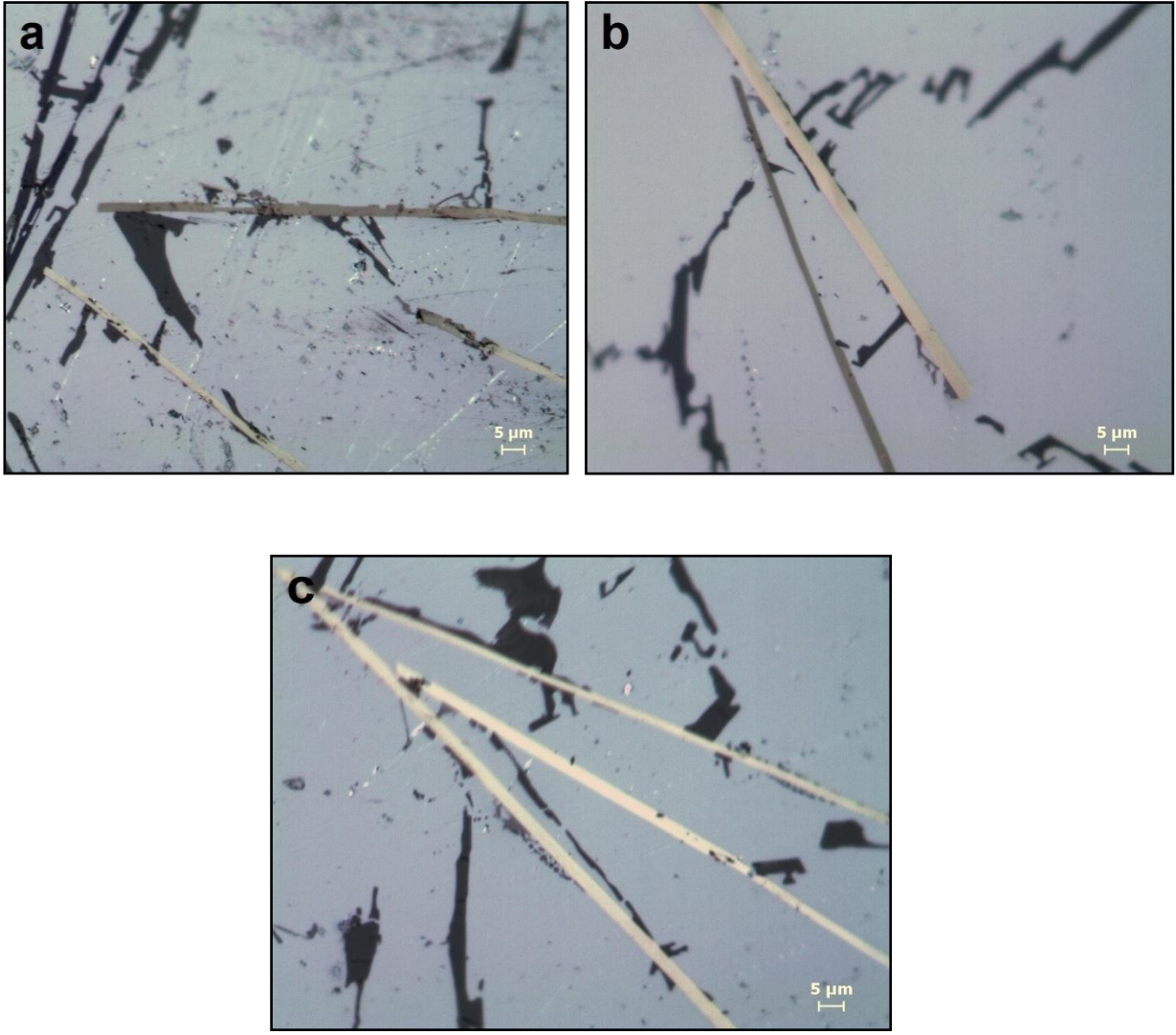
Şekil 4. 11. 700 °C’de 180 dak. bekleme sonrası elde edilen 3. deney numunesine, b) 800 °C’de 180 dak. bekleme sonrası elde edilen 6 no’lu deney numunesine ve c) 900 °C’de 180 dak. bekleme sonrası elde edilen 9 no’lu deney numunesine ait mikro yapı görüntüsü

Şekil 4.12’de tutma zamanının AlB_2 genişliklerine etkilerinin belirlenmesi amacı ile seçilmiş 7 ve 8 no’lu deney numunelerine ait mikro yapı görüntüleri verilmiştir. Şekil 4.29 ve Şekil 4.30’de 900 °C’de 20 ve 60 dak. bekleme sonrası elde edilen deney numunelerine ait mikro yapı görüntülerinde artan bekleme zamanına karşın AlB_2 fleyk genişliklerinin azalmış olduğu görülmektedir.



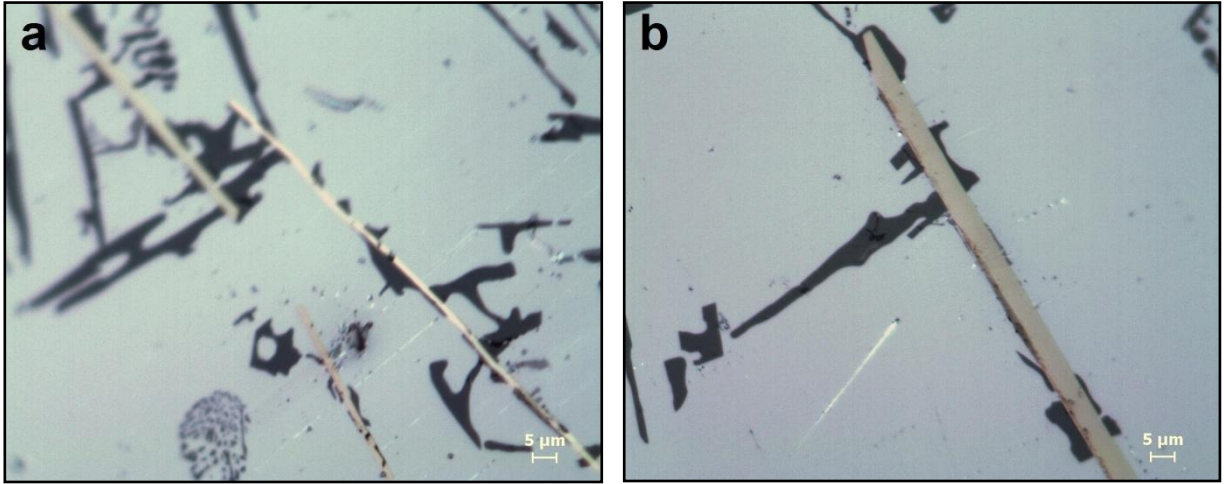
Şekil 4. 12. a) 900 °C’de 20 dak. bekleme sonrası elde edilen 7 no’lu deney numunesine, ve b) 900 °C’de 60 dak. bekleme sonrası elde edilen 8. deney numunesine ait mikro yapı görüntüsü

Yapılan deneylerde, tutma zamanının AlB_2 kalınlıkları üzerine etkilerinin belirlenmesi amacı ile 2, 4 ve 7 no’lu deney numunelerine ait mikro yapı görüntüleri verilmiştir. Şekil 13a, Şekil 4.13b ve Şekil 4.13c’da sırası ile 700, 800 ve 900 °C’de 60 dak. bekleme sonrası elde edilen 2, 4 ve 7 no’lu deney numunelerine ait mikro yapı görüntüleri verilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi artan tutma sıcaklığın bağılı olarak AlB_2 yapılarının kalınlıklarının arttığı görülmektedir. Şekil 4.13a’de 700 °C’de 60 dak. bekleme sonrasında 1 μm civarında olan AlB_2 kalınlıklarının, Şekil 4.13c’de 900 °C’de 60 dak. bekleme sonrasında yaklaşık 2 μm civarına kadar yükselmiş olduğu görülmektedir.



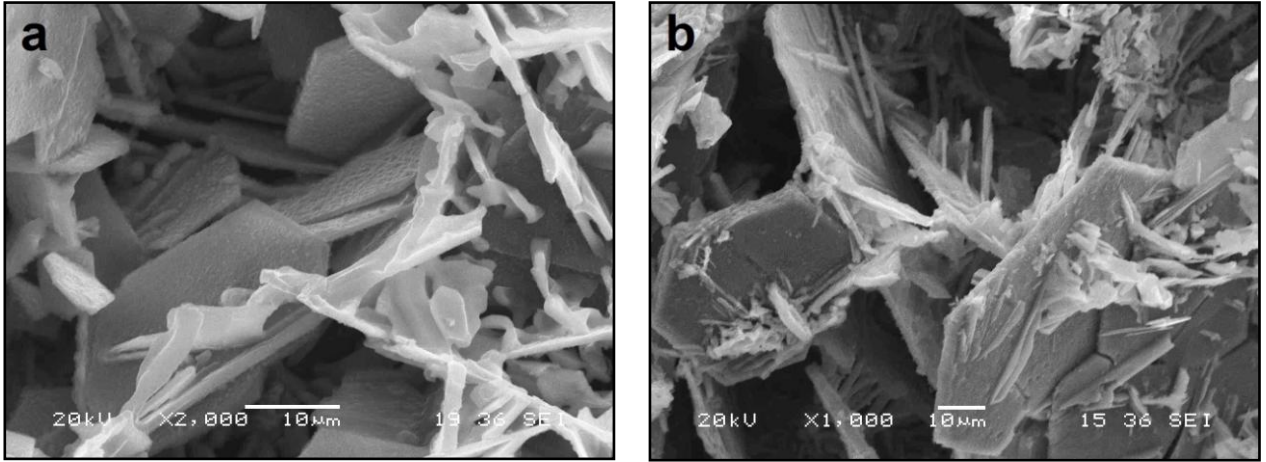
Şekil 4. 13. a)700 °C’de 60 dak. bekleme sonrası elde edilen 2 no’lu deney numunesine, b) 800 °C’de 60 dak. bekleme sonrası elde edilen 4 no’lu Deney numunense ve c) 900 °C’de 60 dak. bekleme sonrası elde edilen 8 no’lu deney numunesine ait mikro yapı görüntüsü

Şekil 4.14’de tutma sürelerinin AIB_2 borür yapılarının kalınlıklarına etkilerinin gösterilmesi amacı ile seçilmiş 7. ve 8. deney numunelerine ait mikro yapı görüntüleri verilmiştir. Şekil 4.14a ve Şekil 4.14b’de sırası ile 900 °C’de 20 ve 180 dak. bekleme sonrasında elde edilen deney numuneleri üzerinden alınan optik görüntülerde artan tutma zamanına bağlı olarak arttığı görülmektedir. ayrıca seçilen mikro yapı görüntülerinde, Şekil 4.14a’de 900 °C’de 20 dak. bekleme sonrasında yaklaşık 1 μm olan AIB_2 kalınlıklarının, Şekil 14b’da 180 dak. bekleme sonrasında yaklaşık 5 μm seviyesine kadar yükselmiş olduğu görülmektedir.



Şekil 4. 14. a) 900 °C'de 20 dak. ve b) 180 dak. bekleme sonrası elde edilen 7 ve 9 no'lu deney numunesine ait mikro yapı görüntüsü

Şekil 4.15'da tutma sürelerinin AlB_2 kalınlıkları üzerine etkilerinin belirlenmesi amacı ile 7 no'lu ve 9 no'lu deney numunelerin ait SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 4.15a ve Şekil 4.15b'da 900 °C sırası ile 20 ve 180 dakika beklenilerek elde edilen numunelere ait SEM görüntülerinde artan bekleme sıcaklığına bağlı olarak AlB_2 yapılarının kalınlıklarının arttığı görülmektedir. ayrıca Şekil 4.15a ve Şekil 4.15b'de SEM görüntülerinde, silisyum kristallerinin kompleks şekillerde, AlB_2 borür yapılarının ise ince ve düzgün altıgen plakalar şeklinde olduğu görülmektedir.



Şekil 4. 15. 900 °C’de 20 dak. ve 180 dak bekleme sonrası elde edilen 7 ve 9 no’lu deney numunesine ait SEM görüntüsü

4.4. Doğrudan döküm yöntemi ile AlB₂ kompozitlerin üretimine yönelik deneysel sonuçlar

Bu deneysel bölümde tek adımlı olarak, doğrudan döküm yöntemi ile yüksek aspekt oranlı AlB₂ kompozitlerinin üretimi için yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara yer verilmiştir. Bu deneylerde kompozit üretimi, indüksiyon ocağında 1400 °C’de bor oksit ilavesi ile hazırlanan Al-B eriyiğinin, doğrudan ve su soğutmalı yolluk sistemi üzerinden grafit potalara dökülmesi ile gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde irdelenene sonuçlar;

- i. Doğrudan ve su soğutmalı yolluk sistemi ile üretilen kompozitlerinin karşılaştırılmasına yönelik olarak yapılan deneylere ait sonuçlar ve
- ii. Su soğutmalı yolluk sistemi ile doğrudan döküm yöntemi ile üretilen yüksek aspekt oranlı AlB₂/Al, AlB₂/Al-Si, AlB₂/Al-Cu ve AlB₂/Al-Mg kompozitlerden elde edilen sonuçlar

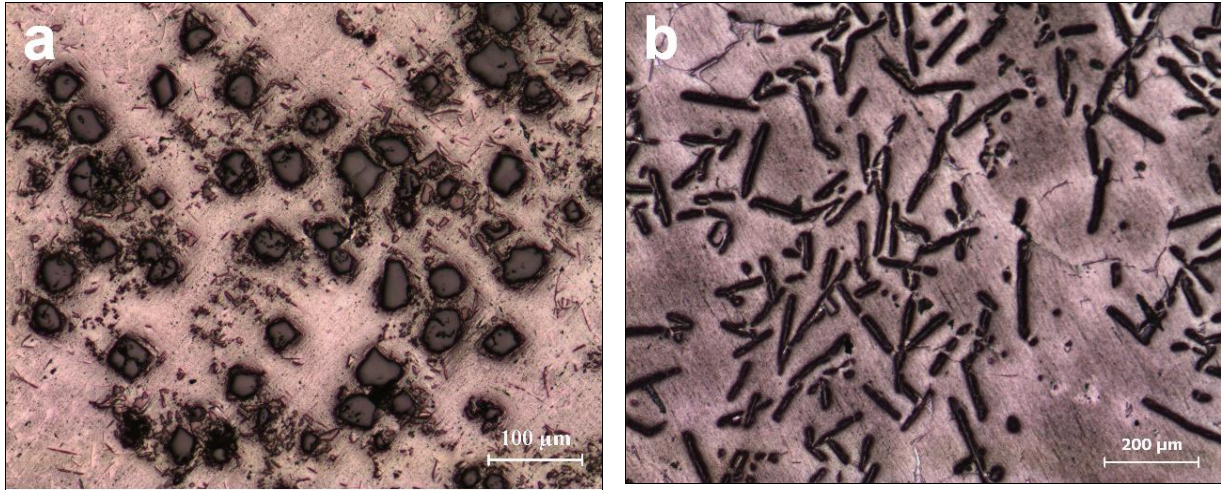
şeklinde iki bölüm altında ele alınacaktır.

4.4.1. Doğrudan ve su soğutmalı yolluk sistemi ile üretilen kompozitlerinin karşılaştırılmasına yönelik olarak yapılan deneylere ait sonuçlar

Döküş şeklinin mikro yapıya etkilerinin araştırılmasına yönelik olarak yapılan bu deneysel çalışmalarda, 1400 °C’de Al-B sıvı çözeltilerin doğrudan ve su soğutmalı yolluk sistemi

üzerinden grafit potalara dökümleri yapılmıştır. Bölüme ait deneylerde sağlıklı sonuçlarının alınması amacı ile her iki döküş şeklinde de ticari saflıkta alüminyum matris kullanılmıştır.

Şekil 4.16'da 1400 °C'de doğrudan ve su soğutmalı yolluk sistemi üzerinden grafit potaya yapılan döküm numunelerine ait mikro yapı görüntüleri verilmiştir. Şekil 4,16a'da doğrudan döküm yöntemi ile üretilen numunede alüminyum matris alaşımı içerisinde gri renkte ve eşeksenli AlB_{12} yapıları ve kırmızı renkte küçük AlB_2 borür yapılarının yer aldığı görülmektedir. Mikro yapı görüntüsünde AlB_{12} borür yapılarının yoğunluğunun AlB_2 borür yapılarına göre daha fazla ve boyutlarının daha büyük olduğu görülmektedir. Şekil 4.16b'de su soğutmalı yolluk sistemi kullanılarak üretilen deney numunesinde ise eşeksenli AlB_{12} yapılarının yerini uzun AlB_2 borür yapılarının aldığı görülmektedir.



Şekil 4. 16. a) Doğrudan ve b) Su soğutmalı yolluk üzerinden grafit potaya yapılan döküm numunelerine ait mikro yapı görüntüsü

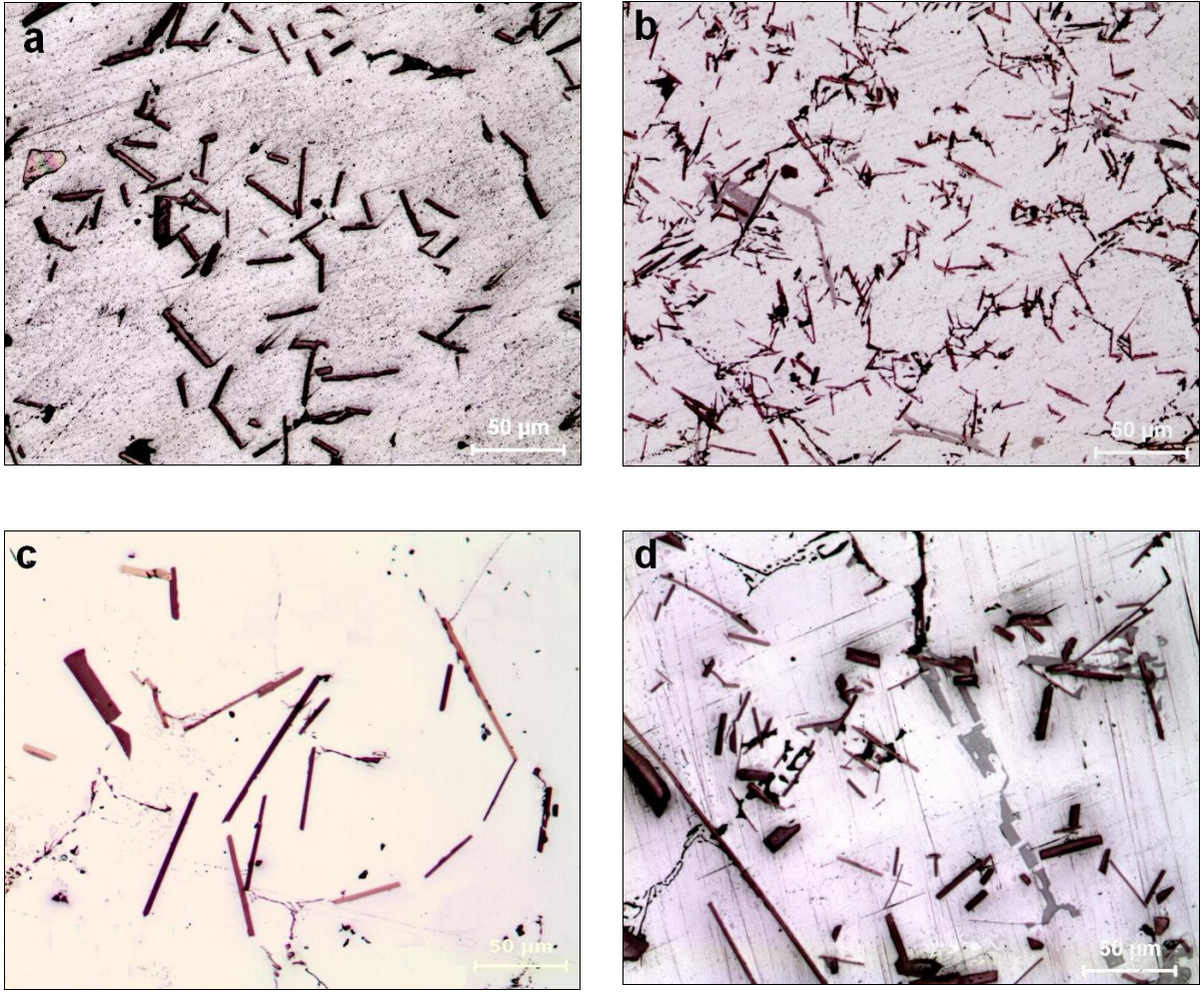
Tablo 4.12'da doğrudan grafit potaya dökülerek üretilen kompozit numuneleri üzerinden ölçülen AlB_{12} ve AlB_2 borür yapılarına ait ölçüm sonuçları ve bunlarının ortalamaları verilmiştir. Tablo 4.12'de doğrudan grafit potaya dökülerek üretilen kompozitlerde AlB_{12} borür yapılarının çapının ortalama 35 µm civarında olduğu, AlB_2 borür yapılarının ise ortalama 8,7 µm uzunluğunda, 0,7 µm kalınlığında ve bunlara bağlı olarak değişen aspekt oranlarının ise 12,43 değerinde olduğu görülmektedir.

Tablo 4. 12. Doğrudan grafit potaya dökülerek üretilene döküm numunesine ait AlB_{12} ve AlB_2 boyutları

Borür türü	Ölçülen boyut	Ölçüm değerleri, μm			Ort.
		1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	
AlB_{12}	Çap	36,70	35,40	33,50	35,20
AlB_2	Genişlik	8,3	8,38	7,51	8,10
	Kalınlık	0,50	0,35	0,75	0,70
	Aspekt oran	12,50	11,89	13,16	12,43

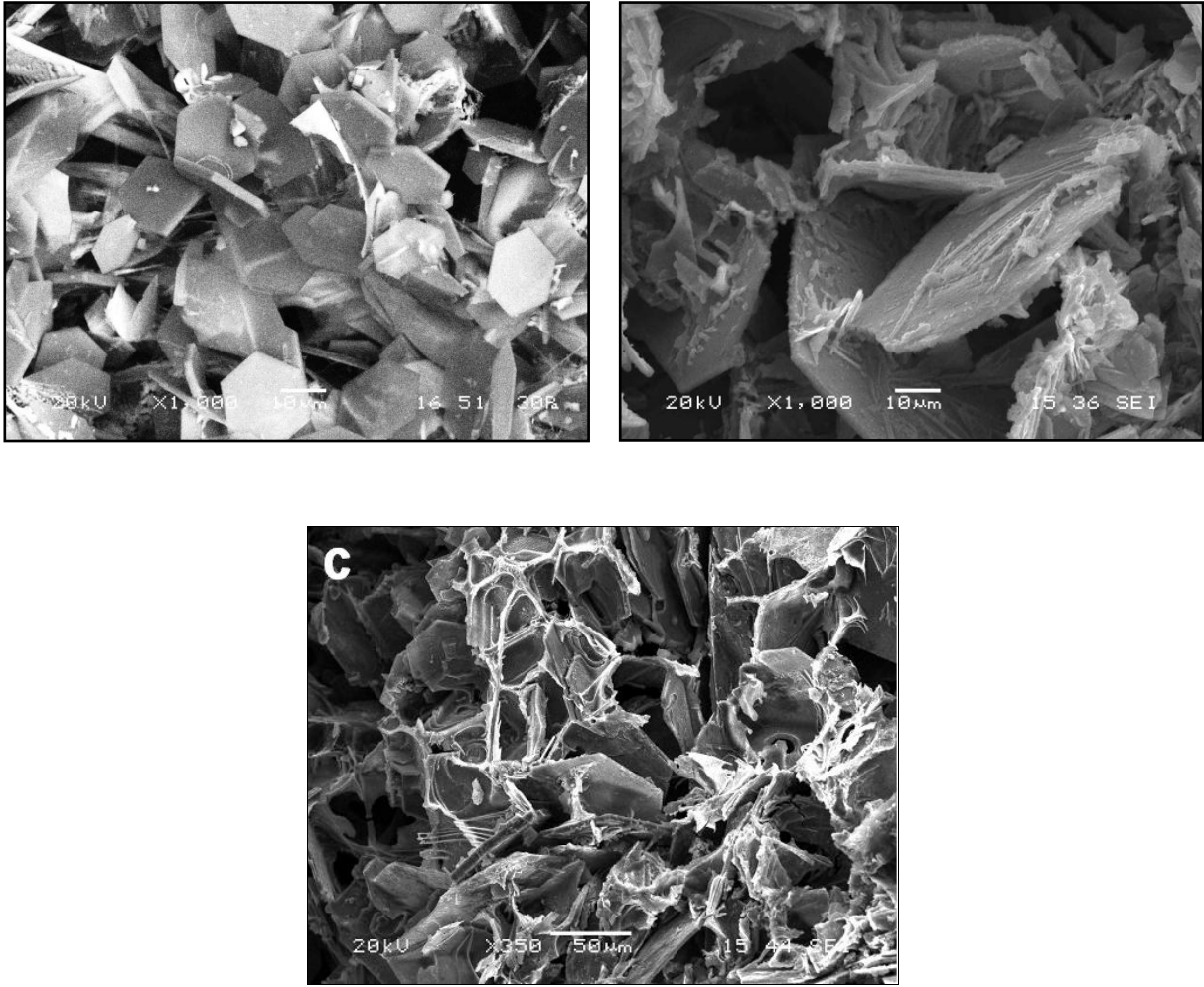
4.4.2. Su soğutmalı yolluk sistemi ile doğrudan döküm yöntemi ile üretilen yüksek aspekt oranlı AlB_2/Al , $AlB_2/Al-Si$, $AlB_2/Al-Cu$ ve $AlB_2/Al-Mg$ kompozitlerden elde edilen sonuçlar

Su soğutmalı yolluk sistemi ile AlB_{12} yapılarını içermeyen, yüksek aspekt oranlı AlB_2 kompozitlerinin üretimlerinin hedeflendiği bu deneysel bölümde katkısız, silisyum, bakır ve magnezyum katkılı matris alaşımı kullanılarak yüksek aspekt oranlı AlB_2/Al , $AlB_2/Al-Si$, $AlB_2/Al-Cu$ ve $AlB_2/Al-Mg$ kompozitleri üretilmiş ve bunlarının karakterizasyonlarına yer verilmiştir. Çalışmada indüksiyon ocağında 1400 °C’de ergitilen matris alaşımlarına bor oksit ilave edilmiş, bu sıcaklıkta bir saat bekleme sonrasında elde edilen sıvı Al-B alaşımının dökümü su soğutmalı yolluk sistemi üzerinden grafit potalara yapılmıştır. çalışmada her matris için 4 kg ağırlığında AlB_2/Al , $AlB_2/Al-Si$, $AlB_2/Al-Cu$ ve $AlB_2/Al-Mg$ kompozitleri üretilmiştir. Üretilen kompozitlere ait mikro yapı görüntüleri Şekil 4.17(a,b,c,d)’de gösterilmiştir.



Şekil 4. 17. 1400 °C’de su soğutmalı yolluk sistemi üzerinden dökülerek üretilen a)AlB₂/Al, b)AlB₂/Al-Si, c) AlB₂/Al-Cu ve d) AlB₂/Al-Mg kompozitlerine ait mikro yapı görüntüsü

Mikro yapı görüntülerinde yüksek aspekt oranlı AlB₂ borür yapılarının yer aldığı görülmekte ve kompozitlerinin hiç birinde eşksenli AlB₁₂ borür yapılarının yer almadığı görülmektedir. Şekil 4.17a’da AlB₂/Al kompozitinde yalnız AlB₂ yapıları görülürken Şekil 4.17b’de AlB₂/Al-Si kompozitinde AlB₂ borür yapılarının yanında ötektik silisyum kristalleri, Şekil 4.17c’de AlB₂/Al-Cu kompozitinde AlCu₂ intermetalik bileşikleri ve Şekil 4.17d’de ise AlB₂/Al-Mg kompozitinde ise AlMg₂ intermetalik bileşiklerinin yer aldığı görülmektedir.



Şekil 4. 18. 1400 °C’de su soğutmalı yolluk sistemi üzerinden dökülerek üretilen a)AlB₂/Al, b)AlB₂/Al-Si, d) AlB₂/Al-Cu kompozitlerine ait SEM görüntüsü

Şekil 4.18’de sırası ile üretilen AlB₂/Al, AlB₂/Al-Si ve AlB₂/Al-Cu kompozitlerine ait SEM görüntüleri verilmiştir. SEM görüntülerinde AlB₂ borür yapılarının genel olarak altıgen ve ince fleykler şeklinde yer aldığı görülmektedir. SEM görüntülerinde Şekil 4.18a’da AlB₂/Al kompozitler SEM görüntülerinde yalnız AlB₂ borür yapıları gözlenmektedir. Şekil 4.18b’de AlB₂/Al-Si kompozitine ait SEM görüntüsünde AlB₂ borür yapılarının üzerinde ötektik silisyum kristallarının yer aldığı, Şekil 4.18c’de AlB₂/Al-Cu kompozitine ait SEM görüntüsünde ise AlB₂ borür yapılarının üzerinde alüminyumun ile bakırın oluşturmuş Al₂Cu olduğu intermetalik bileşiklerin yer aldığı görülmektedir.

Tablo 4.13’de su soğutmalı yolluk sistemi kullanılarak elde edilen kompozitlere ait % B oranları, bunlarının ortalamaları ve ortalama % B oranları dikkate alınarak hesaplanan % AlB₂ oranları verilmiştir.

Tablo 4. 13. Su soğutmalı yolluk sistemi kullanılarak elde edilen numuneler üzerinden alınan % B, ortalama %B ve % AlB₂ oranları

Kompozit Türü	% B ölçüm değerleri, %			Ort. %B oranı	Ort. % AlB ₂ oranı
	Y1	Y2	Y3		
AlB ₂ /Al	1,66	1,89	2,05	1,86	4,2
AlB ₂ /Al-Si	1,2	1,06	1,35	1,2	2,71
AlB ₂ /Al-Cu	1,66	1,73	1,77	1,72	3,87
AlB ₂ /Al-Mg	1,2	1,23	1,21	1,21	2,73

Tablo 4.13’de % B oranının % 1,2 ile % 2,05 oranlarında değiştiği ve en yüksek bor oranının ortalama % 1,86 ile saf Al matris ile üretilen AlB₂/Al kompozitinde gözlenirken, en düşük % B değerinin % 1,20 ile Al-Si matris ile üretilen kompozit numunesinde yer aldığı görülmektedir. Bu ortalama değerlere göre hesaplanan % AlB₂ oranının ise en yüksek AlB₂/Al kompozitinde % 4,20 değerinde, buna karşılık en düşük AlB₂ oranının ise AlB₂/Al-Si kompozitinde ortalama % 2,71 olduğu görülmektedir.

Tablo 4.14’de su soğutmalı yolluk sistemi kullanılarak ölçülen AlB₂ genişlik, kalınlık ve aspekt oranlarına ait ölçüm değerleri ve bunların ortalamaları verilmiştir. Tablo 4.16’de AlB₂ yapılarının genişlik değerinin en yüksek AlB₂/Al kompozitinde 36,10 µm, en yüksek AlB₂ aspekt oranı 59,88 değeri ile yine AlB₂/Al kompozitinde gözlenmektedir. Tabloda AlB₂ kalınlıklarında bir değişikliğin söz konusu olmadığı ve yaklaşık olarak ortalama 0,60 µm civarında kaldığı görülmektedir.

Tablo 4. 14. Su soğutmalı yolluk sistemi kullanılarak elde edilen kompozitlere ait AlB_2 boyutları ve aspekt oranları

Kompozit türü		Ölçülen değerler, μm						Ort. Değer
		1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	4.ölçüm	5.ölçüm	6.ölçüm	
Genişlik	AlB_2/Al	34,2	38,4	67,00	29,01	32,02	16,02	36,10
	$AlB_2/Al-Si$	34,94	30,86	22,67	38,66	30,8	25,82	30,62
	$AlB_2/Al-Cu$	31,04	47,15	30,31	20,69	31,7	33,56	32,41
	$AlB_2/Al-Mg$	43,18	32,84	39,8	30,3	30,7	30,08	34,48
Kalınlık	AlB_2/Al	0,7	0,56	0,6	0,55	0,63	0,6	0,61
	$AlB_2/Al-Si$	0,53	0,45	0,89	0,53	0,57	0,89	0,64
	$AlB_2/Al-Cu$	0,56	0,57	0,76	0,61	0,57	0,53	0,60
	$AlB_2/Al-Mg$	0,67	0,53	0,47	0,53	0,63	0,8	0,60
Aspekt Oranı	AlB_2/Al	48,86	68,57	111,67	52,73	50,79	26,67	59,88
	$AlB_2/Al-Si$	66,38	69,09	25,38	73,45	54,33	28,91	52,92
	$AlB_2/Al-Cu$	55,43	83,18	39,93	33,71	55,92	63,76	55,32
	$AlB_2/Al-Mg$	64,86	62,4	84,55	57,57	48,61	37,52	59,25

Tablo 4.15’de su soğutmalı yolluk sistemi kullanılarak üretilen kompozitler üzerinde ölçülen % porozite değerleri ve bunlarının ortalamaları verilmiştir. Tablo 4.15’de su soğutmalı yolluk sistemi kullanılarak üretilen kompozitlerinin % porozite değerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Hazırlanan tabloda en yüksek porozite değeri % 7,41 ile AlB_2/Al kompozitinde, en düşük porozite değeri ise ortalama % 6,59 ile $AlB_2/Al-Si$ kompozitlerinde gözlenmektedir.

Tablo 4. 15. Su soğutmalı yolluk sistemi kullanılarak üretilen kompozitlere ait % porozite ölçüm değerleri ve bunlarının ortalama değerleri

Kompozit Türü	Porozite ölçümleri, %			Ort. % porozite
	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	
AlB ₂ /Al	6,92	7,05	8,25	7,41
AlB ₂ /Al-Si	0,33	18	1,45	6,59
AlB ₂ /Al-Cu	12,39	5,11	3,12	6,87
AlB ₂ /Al-Mg	9,00	0,49	10,5	6,66

Tablo 4. 16. Su soğutmalı yolluk sistemi kullanılarak üretilen kompozitlere ait yoğunluk ölçümleri ve bunlarının ortalama değerleri

Kompozit Türü	Yoğunluk ölçümleri, g/cm ³			Ort. yoğunluk
	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	
AlB ₂ /Al	2,16	2,25	2,21	2,21
AlB ₂ /Al-Si	2,45	2,46	2,45	2,46
AlB ₂ /Al-Cu	2,37	2,37	2,37	2,37
AlB ₂ /Al-Mg	2,416	2,41	2,39	2,40

Tablo 4.16’de su soğutmalı yolluk sistemi kullanılarak üretilen kompozitler üzerinden alınan yoğunluk değerleri ve bunlarının ortalamalar verilmiştir. Tablo 4.16’de üretilen kompozitlere ait yoğunluk değerlerinin 2,46 g/cm³ ile 2,16 g/cm³ arasında değişiklik gösterdiği ve en yüksek yoğunluğa sahip kompozitinin 2,45 g/cm³ yoğunluk değeri ile AlB₂/Al-Si kompozitinde tespit edilmiştir.

4.5. AlB₂ Kompozitlerinde takviye içeriklerinin artırılmasına yönelik yapılan deneylere ait sonuçlar

AlB₂ kompozitlerinde takviye içeriklerinin artırılmasına yönelik olarak yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar;

- AlB₂ takviye içeriklerinin tek adımlı doğrudan döküm yöntemi ile artırılmasına yönelik optimizasyon çalışmalarından alınan sonuçlar
- Savurma döküm yöntemi ile AlB₂ takviye içeriklerinin artırılmasına yönelik deneysel sonuçlar ve
- Ezme döküm yöntemi ile AlB₂ takviye içeriklerinin artırılmasına yönelik deneysel sonuçlar

şeklinde üç bölümde ele alınmıştır.

4.5.1. AlB₂ takviye içeriklerinin tek adımlı doğrudan döküm yöntemi ile artırılmasına yönelik optimizasyon çalışmalarından alınan sonuçlar

AlB₂ takviye içeriklerinin tek adımlı olarak artırılmasına yönelik olarak “sıcaklık”, “zaman”, “bor oksit ile temas yüzey alanı” ve “matris alaşımı” faktörleri eş zamanlı olarak optimize edilmeye çalışılmıştır. Bu deneylerde Taguchi deneysel tasarım metodundan faydalanılmıştır.

Taguchi deney tasarımına göre yapılan sekiz deneye ait gözlem değerleri, bunların ortalamaları ve “Larger the better“ performans ölçütü için hesaplanan S/N oranları Tablo 4.17’te verilmiştir.

Tablo 4. 17. Taguchi deney metodu için deney numunelerinden ölçülen % B değerleri, bunların ortalamaları ve S/N oranları

Deney No.	Ölçülen değer, % B			Ort. % B	S/N
	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm		
1	1,50	1,50	1,56	1,52	3,64
2	0,88	0,97	0,8	0,88	-1,15
3	0,94	1,03	0,99	0,98	-0,16
4	1,17	1,33	1,46	1,32	2,3
5	1,04	0,98	1,13	1,05	0,39
6	2,08	1,97	2,56	2,2	6,7
7	1,99	1,77	1,93	1,9	5,53
8	1,61	1,56	1,6	1,59	4,01

Tablo 4.17’de Taguchi deneysel tasarımı için yapılan deneylere ait alınan gözlem değerlerine bakıldığında % B oranlarının % 0,80 ile % 2,56 arasında değiştiğini ve en yüksek % B oranının 6. Deney numunesinde ortalama % 2,20 civarında olduğu görülmektedir.

Tablo 4.18’de S/N performans ölçütüne göre hesaplanmış ortalama faktör seviyeleri verilmiştir. Tablo 4.18’de verilen faktör seviyelerinin ortalamalarına bakıldığında en yüksek faktör seviyelerinin ortalaması D faktörünün 1. seviyesinde 4,54 değerinde, en düşük faktör seviyesi ortalaması ise D faktörünün 2. seviyesinde 0,77 değerinde olduğu görülmektedir.

Tablo 4. 18. S/N oranlarına göre faktör seviyeleri ortalaması

Faktörler	Seviye	
	1	2
A	1,16	4,16
B	2,4	2,92
C	2,35	2,96
D	4,54	0,77

Tablo 4. 19. ANOVA varyans analiz tablosu

Faktörler	Kareler Toplamı S	Serbeslik Derecesi f	Karalar Ortalaması	Teorik F F _(hesap)
A	17,97	1	17,97	31,10 [♦]
B [#]	0,55	1	0,55	0,95
C [#]	0,75	1	0,75	1,3
D	28,47	1	28,47	49,29 [♦]
A x B [#]	0,97	1	0,97	1,68
A x C	6,35	1	6,35	10,99 ⁺
A x D [#]	0,04	1	0,04	0,07
Toplam	52,78	3	17,59	
e	2,31	4	0,58	

#, Hata

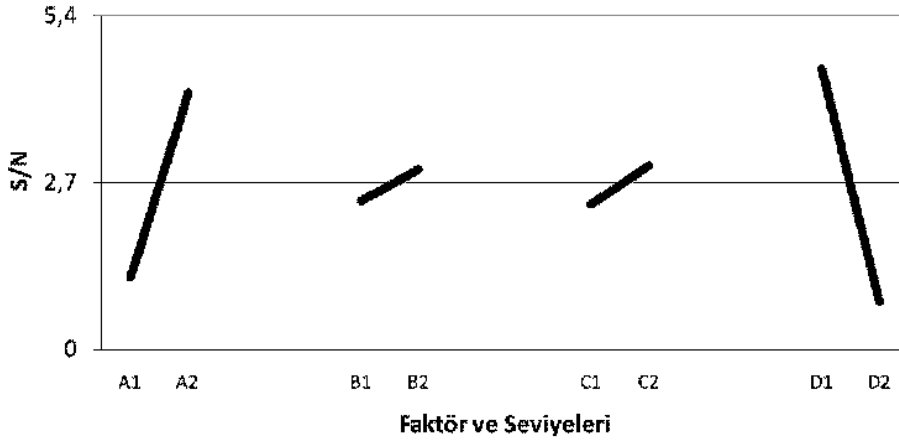
¥, 0,90 güven düzeyi için (4,54)

+,0,95 güven düzeyi için (7,75)

♦,0,99 güven düzeyi için (21,00)

Tablo 4.19’de faktörlerin etkinlik derecelerinin belirlenmesi amacı ile “Larger the beter” performans ölçütü için hazırlanan ANOVA analiz tablosu görülmektedir. % Bor oranının artırılması amacı ile deneysel faktör seviyelerinin optimizasyonuna yönelik olarak hazırlanan anova analiz tablosunda % B oranları üzerinde D (matris alaşımı) faktörünün 49,9 F değeri ile birinci sırada etkili olduğu ve 10,99 F değeri ile A (tutma sıcaklığı) faktörünün ise onu takip ettiği görülmektedir. Ayrıca Anova tablosunda B (Tutma sıcaklığı) ve C (Bor oksit temas yüzey alanı) faktörünün sitem üzerinde önemli etkiye sahip olmadığı ve A x C (Tutma zamanı ve bor oksit temas yüzey alanı) faktörlerinin karşılıklı etkileşimlerinin etkili olduğu görülmektedir. Tablo 17’de Anova tablosunda etkisi olmadığı düşünülen B (Tutma sıcaklığı), C (bor oksit temas yüzey alanları), A X B (Tutma zamanı ve sıcaklığı etkileşim) ve A x D (Tutma zaman ve Matris alaşımı etkileşimi) faktörleri “pooling” yapılarak diğer faktörlerin etkinlikleri daha da belirgin hale getirilmiştir.

Şekil 4.19’da maksimum % B için optimum faktör seviyelerinin belirlenmesi amacı ile faktörlerin grafiksel gösterimi yer almaktadır.



Şekil 4. 19. Faktörlerinin grafiksel gösterimi

Şekil 4.19’da faktörlerin grafiksel gösteriminden de anlaşılacağı gibi sistem üzerinde D (Matris alaşımı) ve A (Tutma zamanı) faktörlerinin etkili olduğu, B (Tutma sıcaklığı) ve C (Bor oksit temas yüzey alanı) faktörlerinin ise % B oranları üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı görülmektedir. Faktörlerin grafiksel gösteriminde maksimum % B için optimum şartların A2D1 olduğu görülmektedir (B ve C faktörlerinin etkilerinin sistem üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadıkları için optimizasyon parametrelerine dahil edilmemiştir). Sonuç olarak Taguchi deneysel metodunda, maksimum % B eldesi için yapılacak deneylerde saf Al alüminyum matris alaşımının kullanılması ve tutma zamanının mutlaka 90 dakika olması gerektiği sonucuna varılmıştır.

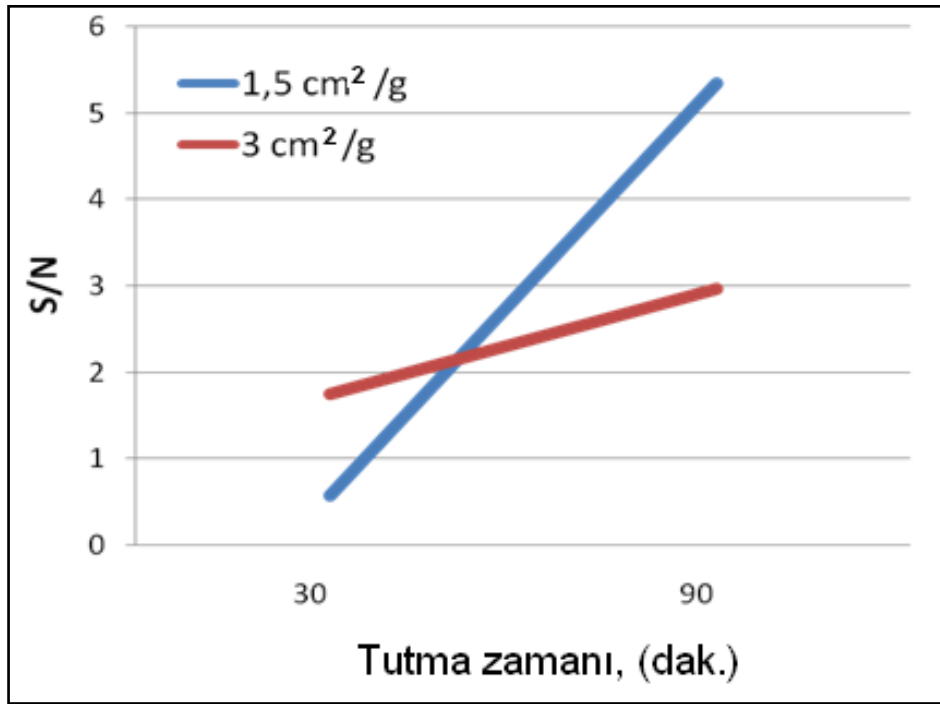
Tablo 4.20’de optimum şartlar dikkate alınarak yapılan hesaplanan tahmini S/N oranı, ortalama % B değeri ve S/N ve %B için tahmini güven aralıkları verilmiştir.

Tablo 4. 20. A2D1 optimum şartları için tahminin ortalama S/N oranları ve % B değerleri ve güven aralıkları

Nicelik	S/N oranları için	% B oranı için
Optimum şartlar	A2D1	A2D1
Ortalama değer, μ	6,04	2,01
$\alpha=0,05$ için güven aralığı	$5,05 < \mu < 7,03$	$1,85 < \mu < 2,27$

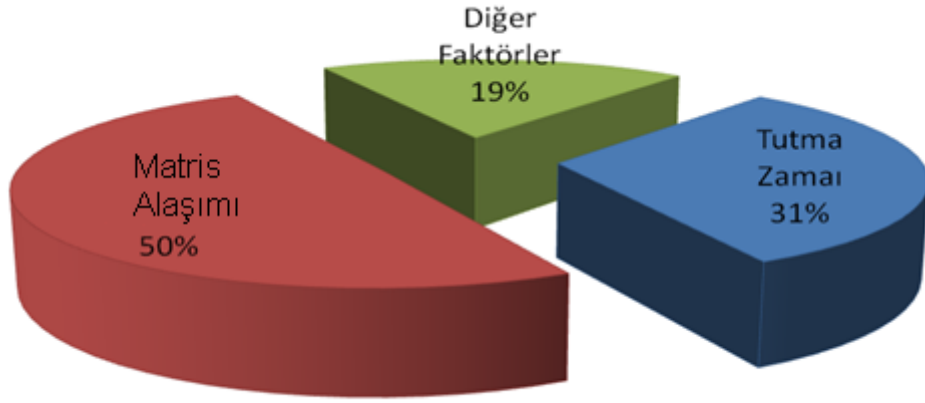
Tablo 4.17’de saf Al matris ile ve 90 dakika beklenilerek yapılan deneylerde beklenen ortalama % B oranının $\mu = \% 2.01$ olduğu ve tahmini güven aralığının ise $1.85 < \mu < 2.27$

olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmada, 6 ve 7 no'lu deneylerin A2D1 optimum şartlarını sağladığı için doğrulama deneyinin yapılmasına ihtiyaç duyulmamıştır. Optimum parametreler sahip olan 6 no'lu deneyde ortalama % B değerinin % 2,20, S/N oranının 6,70 olduğu, 7 no'lu deney için ise % B değeri % 1,90, S/N oranı 5,53 olduğu görülmektedir ve bu iki değerine bakıldığında ikisinin de Tablo 4.20'da belirtilen güven aralığında olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar deneylerde uygulanan Taguchi deneysel tasarım metodunun doğru uygulandığını vermektedir.



Şekil 4. 20. Tutma zamanı ve Bor oksit yüzey alanı faktörlerinin karşılıklı etkileşim (A x C) grafiği

Şekil 4.20'de Tutma zamanı ve Bor oksit yüzey alanı faktörlerinin karşılıklı etkileşim (A x C) grafiği verilmiştir. Şekil 4.20'de bor oksit temas yüzey alanının yüksek olması durumunda zaman faktöründen çok etkilendiğini, yüzey alanı faktörünün düşük olması durumunda ise zaman faktöründen önemli düzeyde etkilenmediğini göstermektedir. Yani maksimum % B elde edilebilmesi için yüzey alanının yüksek olması durumunda bekleme süresinin uzun tutulması gerekmektedir.

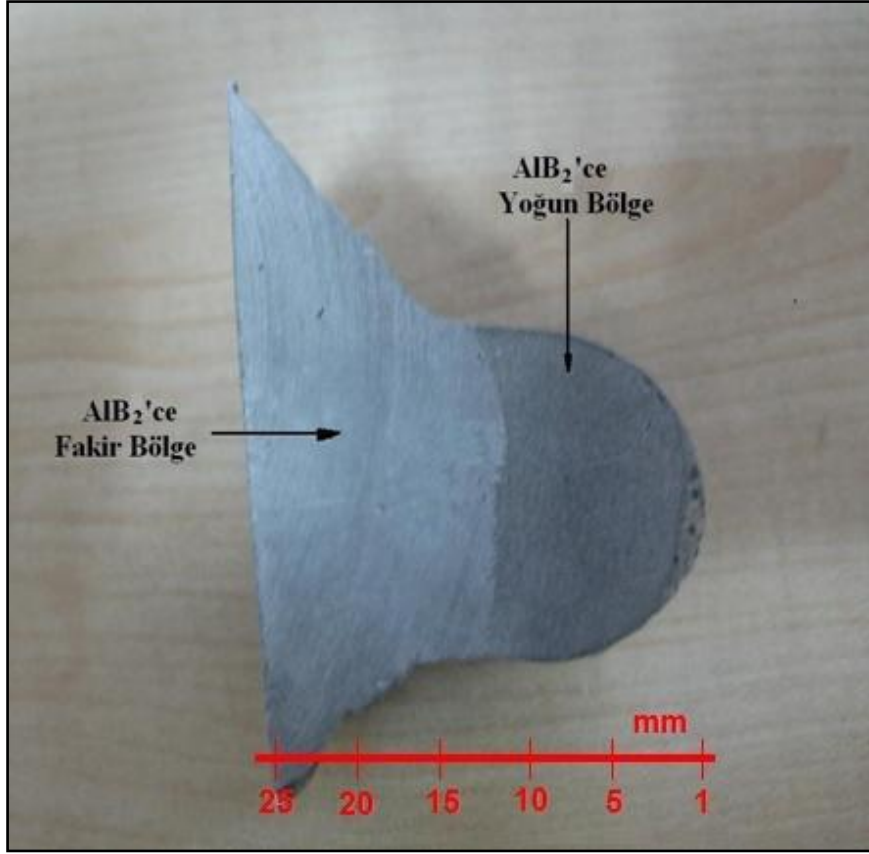


Şekil 4. 21. Faktörlerinin sistem üzerindeki dereceleri

Sistem üzerine etki eden faktörlerinin yüzdelerinin saptanması amacıyla Şekil 4.21’de gösterilen grafik verilmiştir. grafikten yapılan optimizasyon çalışmalarında % B oranları üzerinde en çok etki eden faktörün, % 50 ‘lik etki ile matris aşımı faktörü, onu % 31 etki ile tutma zamanı faktörü izlemektedir. Sistemde kontrol edilemeyen diğer faktörlerin toplam etkisinin ise % 19 oranında olduğu görülmektedir.

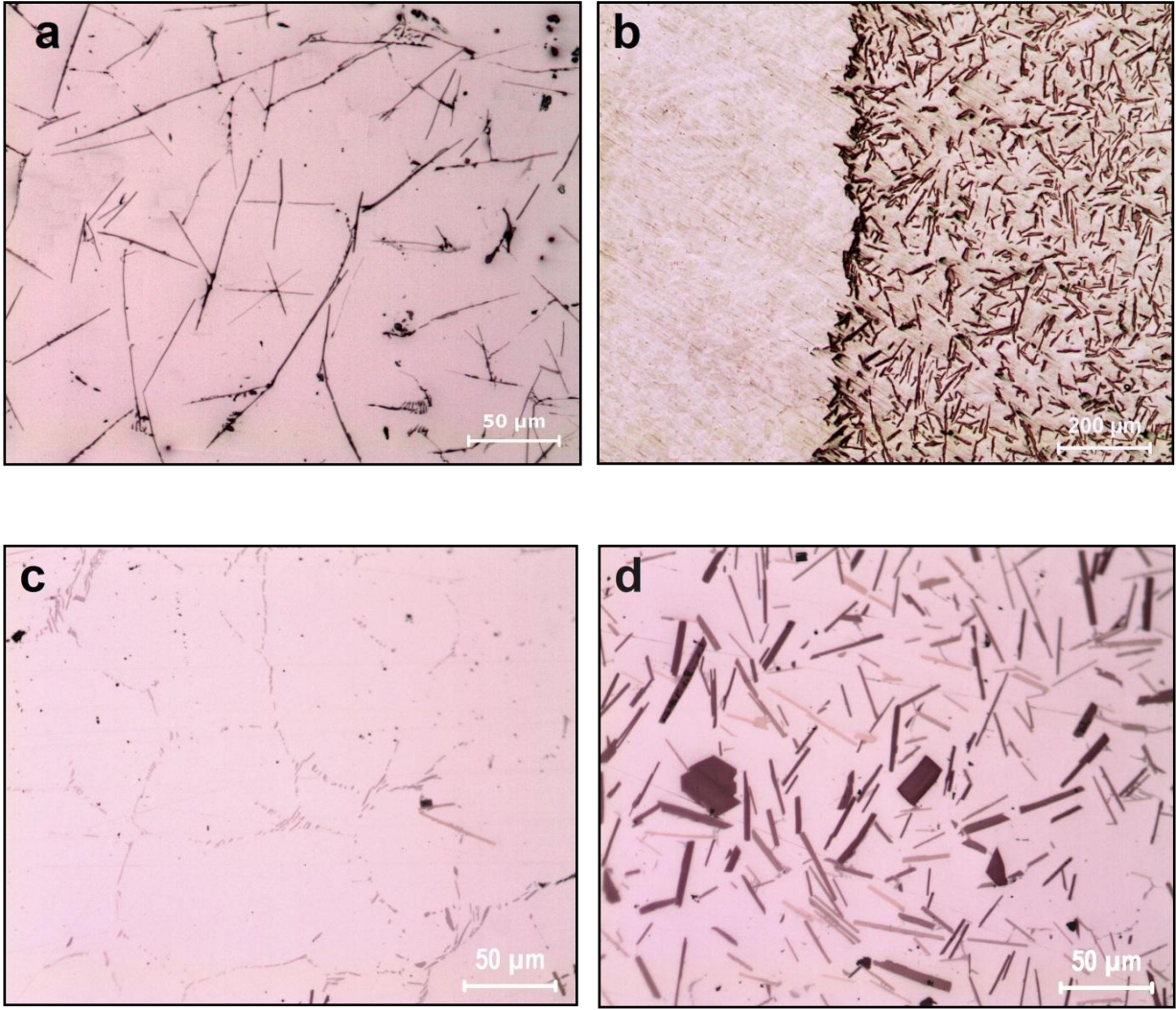
4.5.2. AlB_2 takviye içeriklerinin savurma döküm yöntemi ile artırılmasına yönelik deneysel sonuçlar

Savurma döküm yöntemi kullanılarak AlB_2 takviye içeriklerinin artırılmasının amaçlandığı bu bölümde başlangıç alaşımı olarak su soğutmalı yolluk sistemi kullanılarak üretilen düşük takviye içeriğine sahip AlB_2 kompozitleri kullanılmıştır. Bu amaca yönelik olarak düşük takviye içeriğine sahip kompozitler 800 °C’de 5 dakika savurma işlemine tabi tutulmuştur. Şekil 4.22’de Savurma işlemi sonrasında elde edilen bir deney numunesine ait makro yapı görüntüsü yer almaktadır. Şekil 4.22’de üretilen kompozitin AlB_2 ’ce zengin ve AlB_2 ’ce fakir iki farklı bölgenin mevcut olduğu görülmektedir. Şekilde koyu renkteki AlB_2 ’ce zengin bölgenin kalıp dış kısımlarında yer aldığı ve yaklaşık 3 cm²’lik bir bölgeyi işgal ettiği görülmektedir.



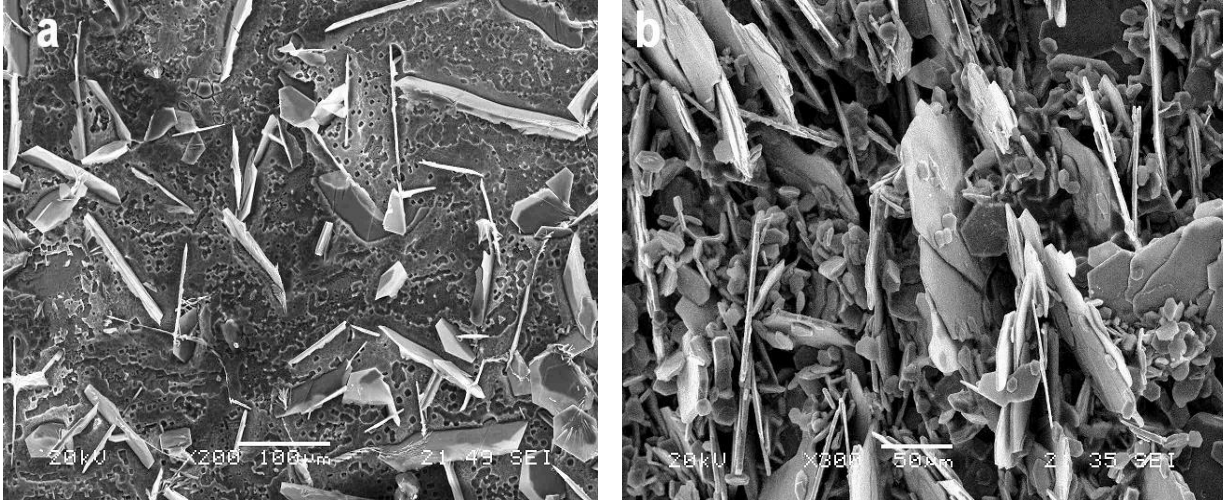
Şekil 4. 22. savurma döküm yöntemi ile üretilen AlB_2 kompozitine ait makro yapı görüntüsü

Şekil 4.23b'de AlB_2 'ce zengin ve AlB_2 'ce fakir bölgelerinin yer aldığı ara bölgeye ait mikro yapı görüntüsünde AlB_2 'ce zengin ve AlB_2 'ce zengin bölgelerin savurma kuvvetinin etkisi ile birbirinde keskin bir şekilde ayrıldığı görülmektedir. Matris alaşımının savurma süresince yaklaşık 5 dakika sıvı kalması ve savurma kuvvetinin yeterince olması neticesinde AlB_2 'ce zengin ve AlB_2 'ce fakir bölgelerinin dereceli bir geçiş olmada keskin bir şekilde bir birinden ayrıldıkları görülmektedir.



Şekil 4. 23. a) Master AlB_2 kompozitine, b) AlB_2 'ce zengin ve fakir bölgelerin yer aldığı ara bölgeye, c) AlB_2 'ce fakir ve d) AlB_2 'ce zengin bölgeye ait optik mikroskop mikro yapı görüntüsü

Şekil 4. 23a'da savurma işleminde kullanılan yaklaşık % 3 AlB_2 içeriğine sahip master kompozitine ait mikro yapı görüntüsü verilmiştir. Master kompozitine ait mikro yapı görüntüsünde matris alaşımı içerisinde ince AlB_2 borür yapılarının homojen ve rastgele yönleneş bir dağılıma sahip olduğu görülmektedir. Şekil 4.23c ve Şekil 4.23d'de savurma işlemi sonrasında oluşan sırası ile AlB_2 'ce zengin ve fakir bölgeye ait optik mikroskopta alınan mikro yapı görüntüleri verilmiştir. Mikro yapı görüntülerinde savurma sonrasında AlB_2 borür yapılarının tamamının AlB_2 'ce zengin bölgelerde toplandığı ve Şekil 4.23c'de AlB_2 'ce fakir bölgede ise AlB_2 borür yapılarının yer almadığı görülmektedir.



Şekil 4. 24. a) AlB₂ master kompozitine ve b)AlB₂'ce zengin bölgeye ait SEM görüntüsü

Şekil 4.24a ve Şekil 4.24b'de sırası ile master kompozitine ve savurma sonrasında elde edilen AlB₂'ce zengin bölgeye ait SEM görüntüleri verilmiştir. SEM görüntülerinde düşük AlB₂ takviye oranına sahip master kompozitin savurma işlemi sonrasında AlB₂ takviye oranının AlB₂'ce zengin bölgelerde artmış olduğu görülmektedir.

Tablo 21'de üretilen kompozitler üzerinde % B dağılımlarının tespiti amacı ile AlB₂/Al-Cu kompoziti üzerinden Şekil 3.11'de belirtilen 1. ve 3. Bölge (AlB₂'ce zengin bölgenin) ve 5. bölge (AlB₂'ce fakir) bölgelerde % B ölçümleri ve bunlarının ortalamaları verilmiştir.

Tablo 4. 21. AlB₂/Al-Cu kompozitine ait % B ölçümleri

Gözlem Bölgesi	% B ölçüm değerleri			Ort.
	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	
1. bölge	5,48	4,63	4,88	5,00
3. bölge	4,5	4,9	5,2	4,87
5. bölge	0,001	0,02	0,1	0,04

Tablo 4.23'de en yüksek bor çözünürlüğünün 1. bölgede AlB₂'ce zengin bölgenin en dış bölümünde % 5 olduğu ve onu % 4,87değeri ile 3. Bölgenin izlediği görülmektedir. AlB₂'ce fakir bölgeyi temsil eden 5. bölgede ise % B oranı hızlı bir şekilde düşerek sıfır değerine yaklaşmış olduğu görülmektedir.

Su soğutmalı yolluk sistemi kullanılarak üretilen düşük takviye içeriğine sahip kompozitlerinin, savurma döküm yöntemi ile takviye içeriklerinin artırılmasının söz konusu olduğu bu deneysel bölümde alüminyum matris alaşımlarının katkı elementlerinin AlB₂

takviye oranları üzerine etkilerinin belirlenmesi amacı ile katkısı, silisyum ve bakır katkılı üç farklı alüminyum matrisli kompozitler (AlB_2/Al , $AlB_2/Al-Si$, ve $AlB_2/Al-Cu$) savurma işlemine alınmıştır. Savurma işlemi sonrasında üretilen kompozitlere ait % B oranları, bunlarının ortalamaları ve ortalama % B değerleri dikkate alınarak hesaplanan % AlB_2 oranları Tablo 4.22’de verilmiştir.

Tablo 4. 22. savurma işlemi sonrasında AlB_2 ’ce zengin bölgelerden alınan %B değerleri, bunlarının ortalamaları, ortalama % B değerleri dikkate alınarak hesaplanan % AlB_2 oranları

Matris alaşımı	Kompozit türü	Ölçüm % Bor değerleri			Ort. % B oranı	Ağırlıkça % AlB_2 oranı
		1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm		
Saf Al	AlB_2/Al	5,2	4,33	4,22	4,58	10,31
Al-Si	$AlB_2/Al-Si$	5,03	4,47	4,97	4,82	10,85
Al-Cu	$AlB_2/Al-Cu$	5,48	4,63	4,88	5	11,24

Tablo 4.22’de savurma işlemi sonrasında düşük takviye içeriğine sahip kompozitlerin takviye içeriklerinin AlB_2 ’ce zengin bölgelerde yaklaşık % 11 civarına kadar yükselmiş olduğu ve en yüksek % AlB_2 takviye içeriğinin $AlB_2/Al-Cu$ kompozitinde ortalama % 11,24 en düşük AlB_2 takviye oranı ise AlB_2/Al kompozitinde ortalama % 10,31 değerinde olduğu görülmektedir.

Bundan sonraki sonuçların sunumunda, savurma işlemi ile yaklaşık %10 AlB_2 içeriğine sahip olana AlB_2 ’ce zengin bölgeler “kompozit”, Takviye içeriği sıfır yakın olan AlB_2 ’ce fakir bölgeler “matris” olarak ifade edilecektir. Tablo 4.23’de savurma döküm sonrası AlB_2 ’ce zengin (kompozit) ve fakir (matris) bölgelerden alınan yoğunluk ölçümleri ve ortalamaları verilmiştir.

Tablo 4. 23. Savurma döküm sonrasında AlB_2 'ce zengin (kompozit) ve fakir (matris) bölgelerden alınan yoğunluk ölçümleri ve ortalamaları

Kompozit türü	Bölge	Yoğunluk ölçümleri, g/cm^3			Ort.
		1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	
AlB_2/Al	Kompozit	2,72	2,72	2,72	2,72
	Matris	2,68	2,68	2,68	2,68
$AlB_2/Al-Si$	Kompozit	2,72	2,72	2,73	2,72
	Matris	2,66	2,67	2,66	2,67
$AlB_2/Al-Cu$	Kompozit	2,82	2,83	2,83	2,83
	Matris	2,78	2,79	2,78	2,79

Tablo 4.23'de savurma işlemi ile kompozit olarak tanımlanana AlB_2 'ce zengin bölgelerinin yoğunluklarının, matris olarak tanımlanan AlB_2 'ce fakir bölgelerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Arıca Tablo 4.23'de en yüksek yoğunluk değerinin $AlB_2/Al-Cu$ kompozitinde $2.82 g/cm^3$ olduğu, en düşük yoğunluk değerinin ise Al matris alaşımında $2,68 g/cm^3$ değerinde olduğu görülmektedir.

Tablo 4.24'de Denklem 1'de verilen karışımlar kuralı denklemi ile hesaplanmış teorik yoğunluk ve deneysel yoğunluk değerlerinin karşılaştırılması Tablo 4.24'de verilmiştir. Arşimet düzeneği ile ölçülen yoğunluk dererlerinin, % AlB_2 takviye içerikleri dikkate alınarak hesaplanan teorik yoğunluklarının karşılaştırılmasının yapıldığı tabloda teorik değerler ile ölçülen değerlerinin biri birine çok yakın olduğu ve en yüksek teorik ve deneysel yoğunluk değerinin $AlB_2/Al-Cu$ kompozitinde $2,83 g/cm^3$ civarında olduğu görülmektedir.

$$\rho_c = V_m \cdot \rho_m + V_t \cdot \rho_t$$

4.1

Tablo 4. 24. Yoğunluk karşılaştırma tablosu

Kompozit Türü	AlB ₂ takviye içeriği, %	Ölçülen matris yoğunluğu, g/cm ³	Ölçülen kompozit yoğunluğu, g/cm ³	Hesaplanan kompozit yoğunluğu, g/cm ³
AlB ₂ /Al	10,30	2,68	2,72	2,73
AlB ₂ /Al-Si	10,90	2,67	2,72	2,72
AlB ₂ /Al-Cu	11,20	2,77	2,83	2,83

Üretilen kompozitlerde savurma yönüne bağlı olarak % porozite değişimlerinin belirlenmesi amacı ile kalıp dış yüzeyinden iç yüzeyine doğru Şekil 3.23’de görülen altı bölgeden ortalama % porozite değerleri alınmıştır. Tablo 4.25’de üretilen kompozitler üzerinden alınan % porozite sonuçları görülmektedir. % porozite sonuçlarına göre hazırlanan Tablo 4.25’de, genel olarak kalıp dış yüzeyinden uzaklaştıkça % porozite oranının azaldığı ve en yüksek % porozite değerinin AlB₂/Al kompozitinde 1. bölgede % 1,42, en düşük % porozite değerinin ise AlB₂/Al-Cu kompozitinde 4. bölgede % 0,2 oranında olduğu görülmektedir.

Tablo 4. 25. Kalıp dış yüzeyinden iç yüzeyine doğru belirlenen altı bölgeye ait % porozite ölçüm değerleri

Kompozit türe	Kalıp dış yüzeyinden uzaklık, mm					
	AlB ₂ ’ce fakir bölge			AlB ₂ ’ce zengin bölge		
	25 mm	20 mm	15 mm	10 mm	5mm	1 mm
AlB ₂ /Al	0,17	0,19	0,019	1,94	2,00	1,43
AlB ₂ /Al-Si	0,22	0,22	0,21	0,4	0,46	0,86
AlB ₂ /Al-Cu	0,05	0,29	0,07	0,32	0,20	0,59

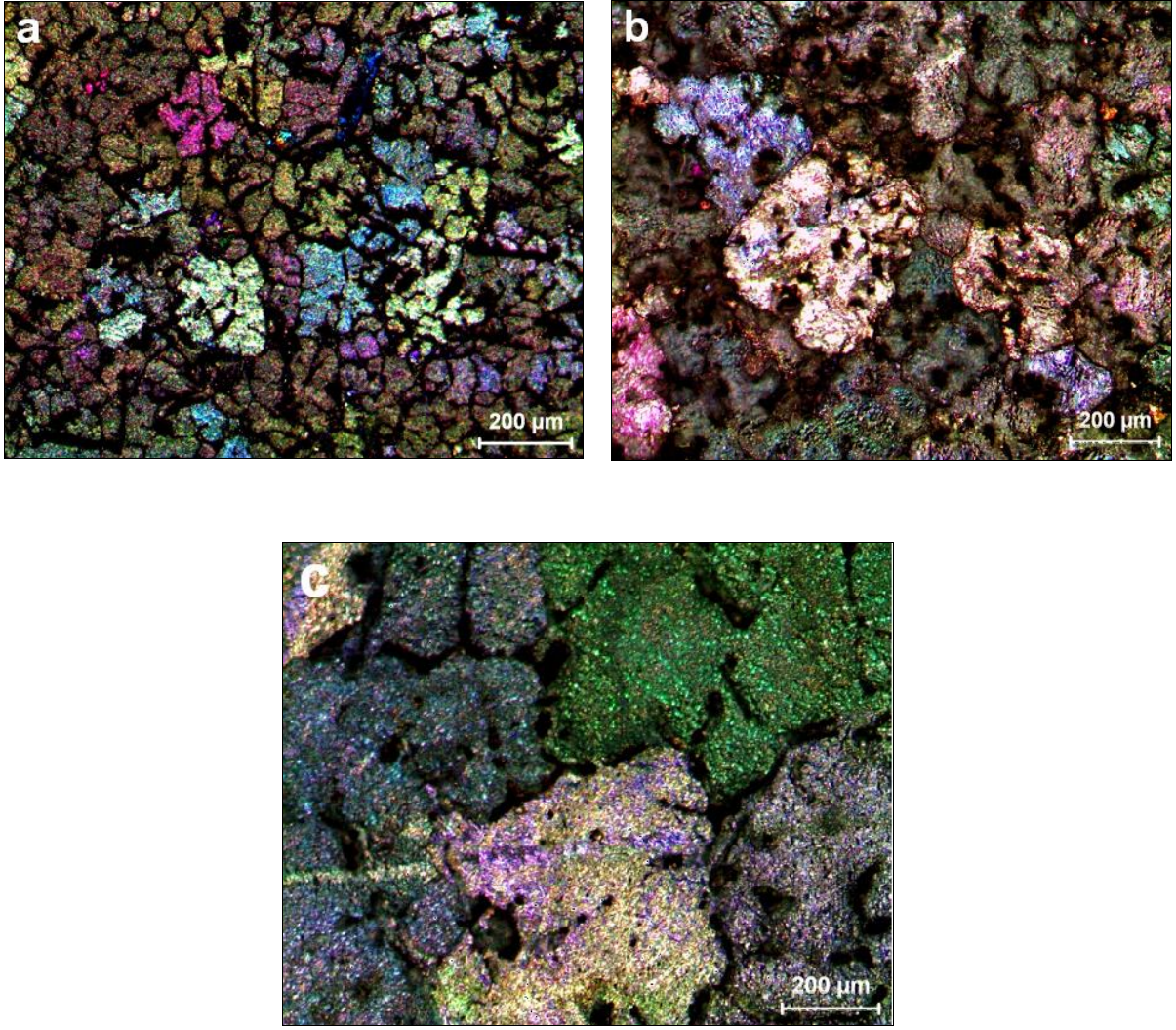
Savurma yöntemi ile üretilen kompozitlerde, savurma yönüne bağlı olarak tane dağılımlarının belirlenmesi amacı ile Şekil 3.23’de belirlenen altı bölgeden ortalama tane boyut değerleri alınmıştır. Tablo 4.26’da deneyler sonrasında alınan tane boyut değerleri görülmektedir. Tablo 4.26’da kompozitlerin tane boyutlarının kalıp dış yüzeyinden uzaklaştıkça arttığı görülürken, en düşük ortalama tane boyutu AlB₂/Al-Si kompozitinde 1.

bölgede 55 μm civarında, en yüksek tane boyutu ise $\text{AlB}_2/\text{Al-Cu}$ kompozitinde 6. bölgede yaklaşık 600 μm civarında olduğu görülmektedir.

Tablo 4. 26. Kalıp dış yüzeyinden iç yüzeyine doğru belirlenen altı bölgeye ait ortalama tane boyut değerli

Kompozit türe	Kalıp dış yüzeyinden uzaklık, mm					
	AlB_2 'ce fakir bölge			AlB_2 'ce zengin bölge		
	25 mm	20 mm	15 mm	10 mm	5mm	1 mm
AlB_2/Al	556	418	305	212	192	147
$\text{AlB}_2/\text{Al-Si}$	396	439	306	69	71	55
$\text{AlB}_2/\text{Al-Cu}$	600	400	346	170	158	110

Şekil 4.25a, Şekil 4.25b ve Şekil 4.25c'de AlB_2/Al kompozitlerinin tane boyutlarının belirlenmesi amacı ile sırası ile 1. bölge, 3. bölge ve 6. bölgelere ait mikro yapı görüntüleri verilmiştir. Şekil 4.25'de görüldüğü gibi, kompozitlerinin tane boyutlarının kalıp dış yüzeyinden uzaklaştıkça arttığı ve en küçük tane boyutu Şekil 4.25a'de 1. Bölgede, en büyük tane boyutu ise Şekil 4.25c'de 6. bölgede yer aldığı görülmektedir.

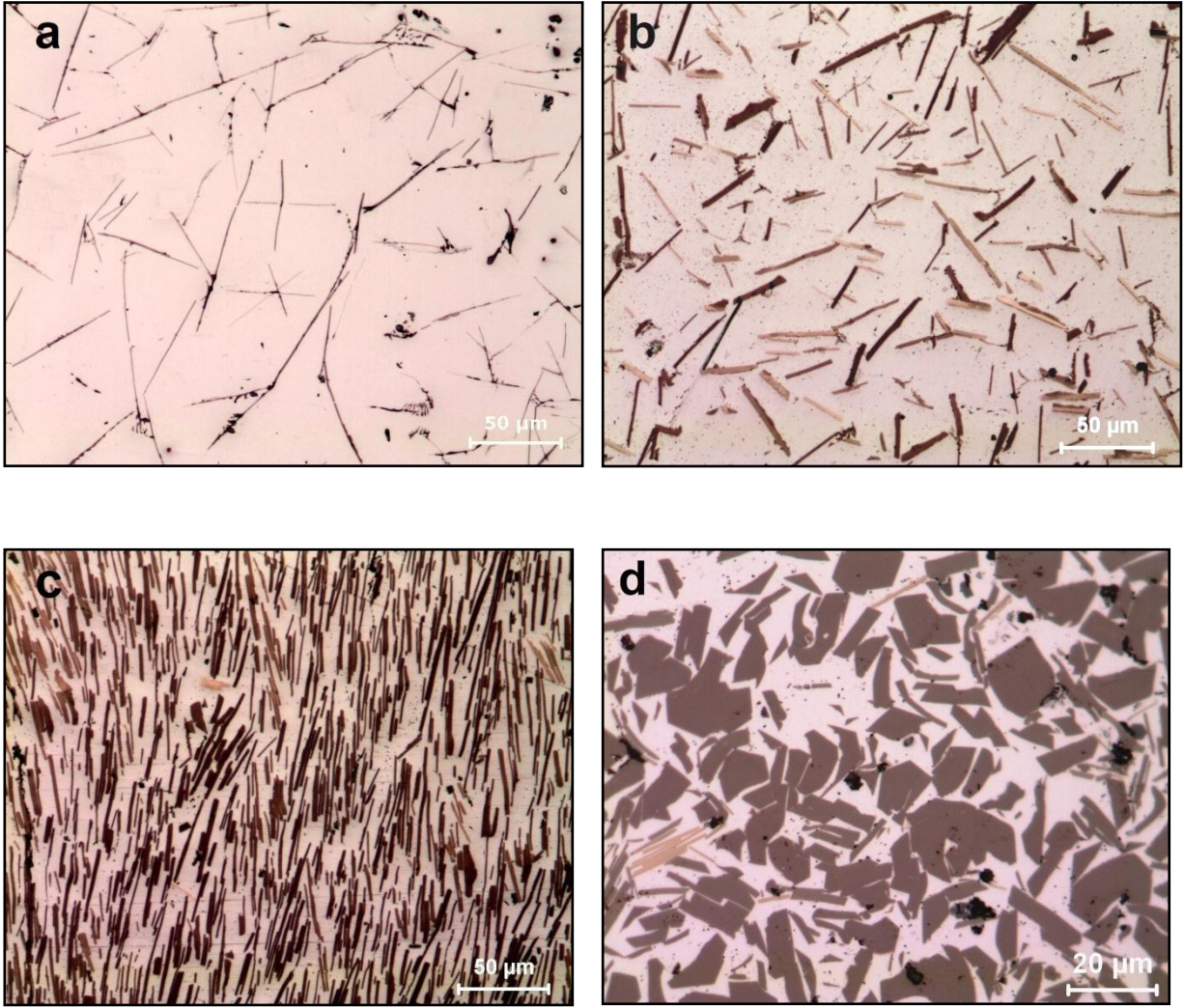


Şekil 4. 25. AlB₂/Al kompoziti 1, 3 ve 6. Bölgeye ait mikro yapı görüntüsü

4.5.3. Ezme döküm yöntemi ile AlB₂ takviye içeriklerinin artırılmasına yönelik deneysel sonuçlar

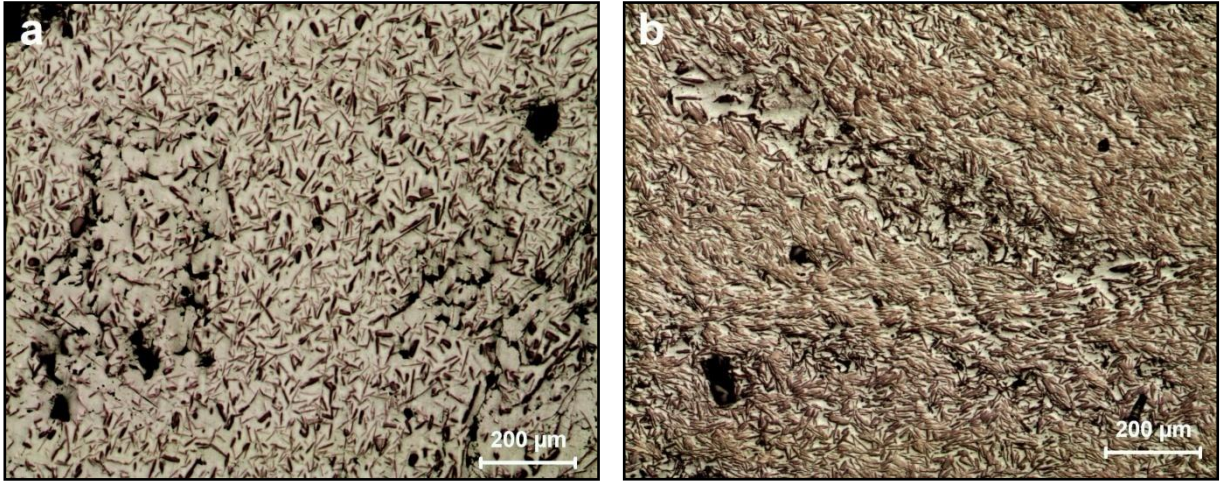
AlB₂ takviye içeriklerinin artırılması amacı ile ezme dökümü yönteminin kullanıldığı bu bölümde, 800 °C’de yarı katı haldeki, düşük AlB₂ takviye içeriğine sahip AlB₂/Al ve AlB₂/Al-Cu kompozitlerinin 20 ve 60 bar basınç altında ezme döküm yöntemi ile takviye içerikleri artırılmıştır. Ezme döküm yöntemi ile kompozitlerde AlB₂ takviye içeriğinin artırılması teknik olarak, 800 °C’de (“Al_(sıvı) + AlB_{2(katı)}” bölgesinde) sıvı halde bulunan matrisin kalıba uygulanan basınç etkisi ile kalıp üzerinde yer alan tahliye kanallarından süzülerek sıvı matris içerisinde AlB₂ konsantrasyonunun artırılmasını sağlamak üzere uygulanmıştır. .

Şekil 4.26a'de deneylerde kullanılan % 3 AlB_2 takviye içeriğine sahip master AlB_2 kompozitinin mikro yapı görüntüsü verilmiştir. Şekil 4.26a'da Alüminyum matris içerisinde yer alan ince AlB_2 yapılarının homojen ve seyrek bir dağılıma sergilediği görülmektedir. Şekil 4.26b'de 20 bar basınç altında ezme döküm yöntemi ile üretilen kompozite ait mikro yapı görüntüsünde AlB_2 borür yapılarının konsantrasyonunun arttığı ve düzensiz ve homojen bir dağılıma sahip olduğu görülmektedir. Şekil 4.26c ve Şekil 26d'de 60 bar basınç altında üretilen kompozitlere ait sırası ile uygulanan basınca dik ve paralel yöndeki mikro yapı görüntüleri verilmiştir. Şekillerde 60 bar basınç altında AlB_2 borür yapılarının yoğunluğunun önemli oranda arttığı ve AlB_2 borür yapılarının ezme ve filtreleme basıncı yönünde istiflenerek belirli bir oryantasyon kazandığı görülmektedir.

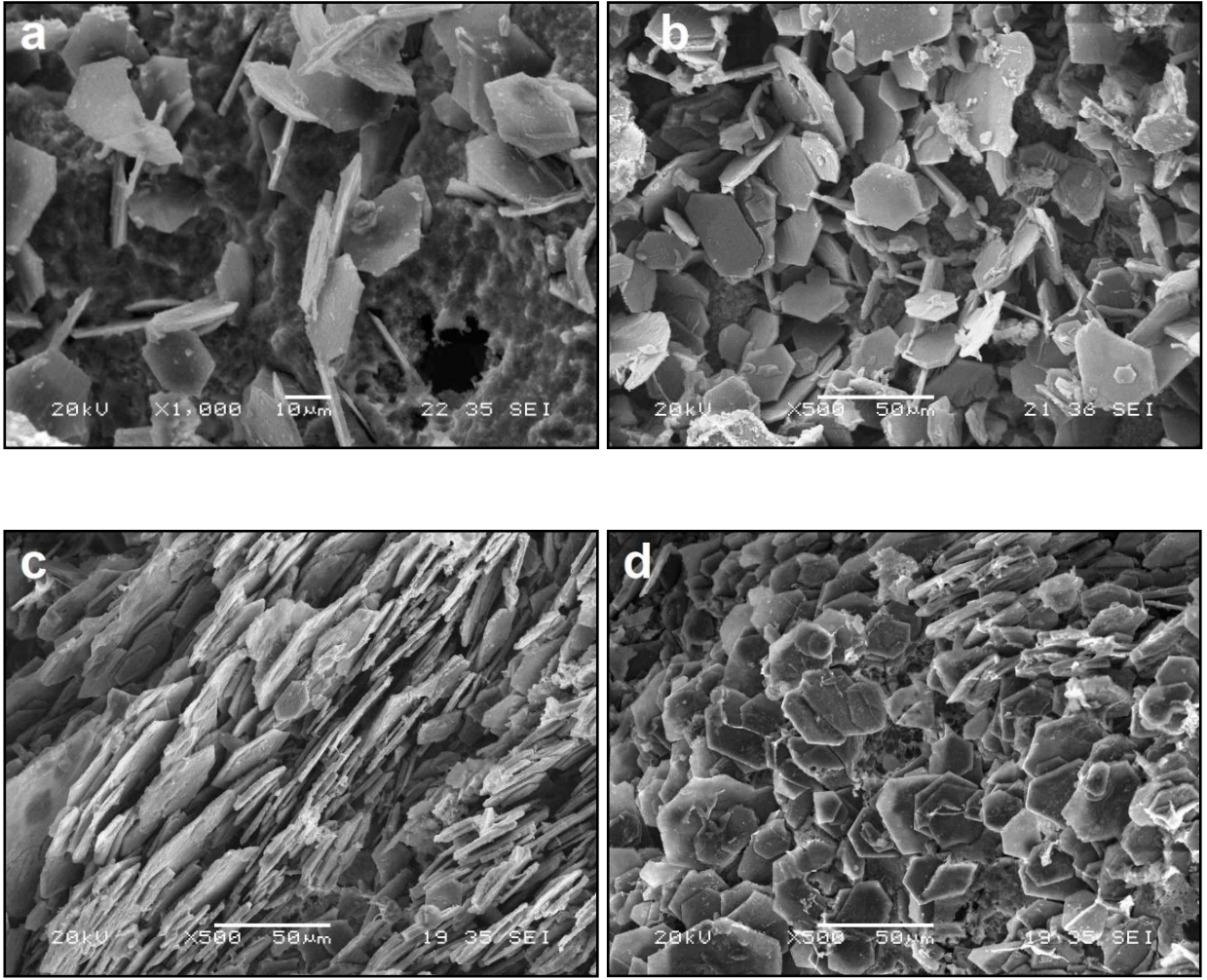


Şekil 4. 26. a) %3 AlB₂ takviye içeriğine sahip master kompozite b) 20 bar'lık basınç altında üretilen, c) 60 Bar basınç altında (basınç yönüne paralel) ve d) 60 Bar basınç altında (basınç yönüne dik) üretilen kompozitlere ait mikro yapı görüntüsü

Şekil 4.27a'da 20 bar'lık basın uygulanarak, Şekil 4.27b'de ise 60 bar'lık basınç uygulanarak üretilen kompozitlere ait genel mikro yapı görüntüleri verilmiştir. Üretilen kompozitlerin mikro yapı görünümüne genel olarak bakıldığında 20 bar basınç altında üretilen kompozitin mikro yapı görüntüsünde süreksizliklerinin ve porozite boşluklarının yer aldığı görülmektedir. Şekil 4.66'de 60 bar basınç altında ezme döküm yöntemi ile üretilen kompozite ait mikro yapı görüntüsünde ise porozite boşluklarının azalmış olmasına rağmen süreksizliklerin hala devam ettiği, buna ek olarak yapıda ince AlB₂ yapılarının yanında kompleks şekilli AlB₁₂ borür yapılarının yer aldığı görülmektedir.



Şekil 4. 27. a) 20 bar basınç altında b) 60 Bar basınç altında üretilene kampozitlere ait 5x büyütmede mikro yapı görüntüleri



Şekil 4. 28. a) %3 AIB₂ takviye içeriğine sahip master kompozite b) 20 bar basınç altında üretilen, c) 60 Bar basınç altında (basınç yönüne paralel) ve d) 60 Bar basınç altında (basınç yönüne dik) üretilen kompozitlere ait SEM görüntüleri

Şekil 4.28a'da master kompozitine, Şekil 4.28b'de 60 bar basınç altında üretilen, Şekil 2.28c (basınç yönüne paralel) ve Şekil 4.28d'de (basınç yönüne dik) 60 bar basınç altında basınç altında üretilen kompozitlere ait SEM görüntüleri verilmiştir. SEM görüntülerinde AIB₂ borür yapılarının oranının düşük olduğu ve ince altıgen fleykler şeklinde gelişmiş güzel dağılıma sergilediği görülmektedir. Şekil 4.28b'de 20 bar basınç altında AIB₂ borür yapılarının dağılımlarını koruduğu ve bunda karşın oranlarının artmış olduğu görülmektedir. Şekil 4.28c ve Şekil 4.28d'de 60 bar basınç altında AIB₂ borür yapılarının oranının önemli oranda arttığı ve fleyk şeklindeki AIB₂ borür yapılarının ezme basıncı yönünde istiflenerek belirli bir oryantasyon kazandığı görülmektedir.

Tablo 4.27’de 800 °C’de 20 ve 60 bar basınç altında üretilen ve master kompozitine ait % B ölçümleri, bunlarının ortalamaları ve ortalama % B oranları dikkate alınarak hesaplanmış % AlB_2 içerikleri verilmiştir. Tablo 4.27’de uygulanan ezme basıncının artmasına bağlı olarak AlB_2 takviye içeriklerinin arttığı görülmektedir. Ayrıca hazırlanan tabloda yapılan filtrele işlemleri sonrasında en yüksek AlB_2 takviye içeriklerinin 60 bar basınç altında üretilen kompozitinde yaklaşık % 30 civarında olduğu görülmektedir.

Tablo 4. 27. Master kompoziti, 20 ve 60 bar basınç altında ezme döküm yöntemi ile üretilen AlB_2/Al ve $AlB_2/Al-Cu$ kompozitine ait % B değerleri, bunlarının ortalamaları ve % AlB_2 oranları

Kompozit türü	Üretim	Ölçülen % Bor oranları			Ort. % B	Ort. % AlB_2
		1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm		
AlB_2/Al	Doğrudan döküm	1,83	1,90	1,80	1,84	4,15
	20 Bar basınç altında ezme döküm	3,90	4,70	4,30	4,30	9,68
	60 Bar basınç altında ezme döküm	15,70	14,35	13,50	14,52	32,66
$AlB_2/Al-Cu$	Doğrudan döküm	1,66	1,89	2,05	1,87	4,20
	20 Bar basınç altında ezme döküm	4,50	4,20	4,30	4,33	9,75
	60 Bar basınç altında ezme döküm	13,76	13,50	13,06	13,44	30,24

Tablo 4.28’de Master kompoziti ve 20 ve 60 bar filtreleme basıncı uygulanarak üretilen kompozitlere ait % AlB_2 takviye oranları, % porozite ve yoğunluk değerleri verilmiştir. Tabloda genel olarak % porozite değerinin artmasına bağlı olarak kompozitlerinin yoğunluk değerlerinin azalmış olduğu görülmektedir. Tabloda en yüksek porozite değeri doğrudan döküm yöntemi ile üretilen AlB_2/Al kompozitinde ortalama % 7,41, en düşük porozite değerinin 60 bar basınç altında üretilen AlB_2/Al kompozitinde ortalama % 0,92 oranında olduğu görülmektedir. Ölçülen en düşük yoğunluk değeri doğrudan döküm yöntemi ile üretilen AlB_2/Al kompozitinde $2,21 \text{ g/cm}^3$, en yüksek yoğunluk değeri ise 60 bar basınç altında üretilen AlB_2/Al kompozitinde $2,80 \text{ g/cm}^3$ ’dür.

Tablo 4. 28. Master kompoziti, 20 ve 60 bar'lık basınç altında Ezme döküm yöntemi ile üretilen $AlB_2/Al-Cu$ kompozitine ait % porozite ölçümleri ve bunlarının ortalamaları

Kompozit türü	Üretim yöntemi	Takviye içeriği, %	Porozite, %	Yoğunluk, g/cm^3
AlB_2/Al	Doğrudan döküm	4,15	7,41	2,21
	20 Bar basınç altında ezme döküm	9,68	0,97	2,65
	60 Bar basınç altında ezme döküm	32,66	0,92	2,80
Al Matris alaşımı	60 Bar basınç altında ezme döküm	0	-	2,67
$AlB_2/Al-Cu$	Doğrudan döküm	4,2	6,87	2,37
	20 Bar basınç altında ezme döküm	9,75	1,72	2,72
	60 Bar basınç altında ezme döküm	30,24	1,46	2,73
Al-Cu Matris alaşımı	60 Bar basınç altında ezme döküm	0	-	2,77

Tablo 4. 29. 20 ve 60 bar'lık basınç altında filtreleme yöntemi ile üretilen AIB₂ kompozitlerine ait AIB₂ genişlik, kalınlık ve aspekt oranları

Üretim türü		AIB ₂ ebatları ve aspekt oranları, µm					Ort. değerler
		1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	4.ölçüm	5.ölçüm	
20 Bar basınç altında ezme döküm	Genişlik	30,02	31,3	30,89	33,67	26,16	30,41
	Kalınlık	0,81	0,51	0,59	0,64	0,54	0,62
	Aspekt	36,87	61,93	52,35	52,89	48,13	50,43
60 Bar basınç altında ezme döküm	Genişlik	29,15	22	32,15	30,04	32	29,07
	Kalınlık	0,63	0,79	0,6	0,6	0,48	0,62
	Aspekt	46,64	27,91	53,63	49,73	66,74	48,93

Tablo 4.29'de 20 ve 60 bar ezme basıncı uygulanarak üretilen kompozitlere ait AIB₂ genişlik, kalınlık ve aspekt oranları verilmiştir. Tablo 4.29'de iki farklı filtreleme basıncı ile üretilen kompozitlerde AIB₂ yapılarının genişlik ve aspekt oranlarının önemsiz düzeyde de olsa değişimin gözlenirken, kalınlıklarında önemli bir değişim gözlemlenmemiştir. Tabloda filtreleme basıncının artmasına karşın, AIB₂ yapılarının kalınlıklarının ortalama 0,62 µm seviyesinde kaldığı, genişliklerinin 30,41 µm'dan 29,07 µm'a, aspekt oranlarının ise 50,43 değerinden 48,93 değerine düştüğü görülmektedir.

4.6. Üretilen kompozitlere ait sertlik, çekme ve basma, aşınma, işleme testleri

Yapılan çalışmalarda doğrudan döküm yöntemi ile ancak <% 4 AIB₂ takviye oranına sahip kompozitler üretilmiştir. Çalışmada düşük oranda gözlenen AIB₂ takviye oranlarının artırılması amacı ile ezme döküm ve savurma döküm yöntemlerinden faydalanılmıştır.

Yapılan optimizasyonlar sonucunda savurma döküm yöntemi ile en fazla %10, ezme döküm yöntemi ile de en fazla % 32 AlB_2 takviye içeriğine sahip kompozitler üretilebilmiştir. doğrudan döküm yöntemi ile üretilen kompozitlerde yüksek oranda porozite içermeleri nedeniyle doğru sertlik, çekme basma sonuçları alınamamış ve bu bölümde savurma ve ezme döküm yöntemleri kullanılarak üretilen kompozitlere ait sonuçlar sunulmuştur.

4.6.1. Sertlik test sonuçları

Savurma ve ezme döküm yöntemi kullanılarak Üretilen kompozitlerin sertlik ölçümlerinde AlB_2 takviye içeriği, üretim yöntemleri, alüminyum matris alaşımına ait katkı elementi ve T6 ısıl işlem durumları dikkate alınmıştır.

Tablo 4.30'de savurma işlemi sonrasında ölçülen sertlik değeri verilmiştir. tabloda sertlik değeri, kalıp dış yüzeyinden iç kısımlara doğru altı bölgede T6 ısıl işlemi öncesi ve sonrasında alınmıştır.

Tablo 4. 30. kalıp dış yüzeyinden iç yüzeyine doğru belirlenen altı bölgeye ait T6 işlemi öncesi ve sonrası ölçülen ortalama HB sertlik değerleri verilmiştir.

Kompozit türü Türü	Kalıp dış yüzeyinden uzaklık					
	AlB_2 'ce fakir bölge			AlB_2 'ce zengin bölge		
	25 mm	20 mm	15 mm	10 mm	5mm	1 mm
AlB_2/Al	40,3	42,8	42,9	31,2	29,4	32,7
$AlB_2/Al-Si$	59	59	59	54,9	53,1	50,9
$AlB_2/Al-Cu$	66	66,5	69	53	48,1	47,2
$AlB_2/Al-Si (T6)$	88	86	82	47	53	56
$AlB_2/Al-Cu (T6)$	87	79	85	60	52	54

Tabloda kalıp dış yüzeylerinde HB sertlik değerinin en yüksek olduğu ve iç bölgelere doğru azaldığı görülmektedir. Tabloda ayrıca T6 ısıl işlemi ile kompozit ve matris alaşımlarının HB sertlik değerlerinin arttığı gözlemlenirken, en yüksek HB sertlik değeri $AlB_2/Al-Cu$

kompozitinde T6 ısıt işlemleri sonrasında 1. Bölgede 91 HB olarak ölçülmüş, en düşük sertlik değeri ise AlB₂/Al kompozitinde 6. Bölgede 32,7 HB olarak ölçülmüştür.

Savurma döküm yöntemi ile üretilen kompozitlerde AlB₂'ce zengin ve fakir iki farklı bölge tespit edilmiştir. kompozitler üzerinde yapılan % AlB₂ ölçümlerinde AlB₂'ce zengin bölgelerde takviye içeriğinin yaklaşık % 10, AlB₂'ce fakir bölgelerde ise AlB₂ oranının sıfır değerine yakın olduğu görülmüştür. bu nedenle AlB₂'ce zengin bölgeler kompozit, AlB₂'ce fakir bölgeler ise matris olarak ifade edilecektir.

Tablo 4.31'de savurma döküm sonrasında kompozit olarak tanımlanan % 10 AlB₂ içeriğine sahip AlB₂'ce zengin (1. 2. ve 3. bölgeler) ve matris alaşımı olarak tanımlanan % 0,01 AlB₂ içeriğine sahip AlB₂'ce fakir bölgelerden alınan (4. 5. ve 6. bölgeler) ortalama HB sertlik değerleri T6 ısıt işlemleri durumları ile birlikte verilmiştir.

Tablo 4.31. Savurma döküm sonrası üretilen % 10 AlB₂ içeriğine sahip kompozitler ve matris alaşımlarına ait ortalama HB sertlik değerleri

Tablo 4. 31. Savurma döküm sonrası üretilen % 10 AlB₂ içeriğine sahip kompozitler ve matris alaşımlarına ait ortalama HB sertlik değerleri

Kompozit Türü	Sertlik, HB	
	Kompozit	Matris
% 10 AlB ₂ /Al	42	31,1
% 10 AlB ₂ /Al-Si	59	53
% 10 AlB ₂ /Al-Cu	67,2	49,4
% 10 AlB ₂ /Al-Si (T6)	85,3	52
% 10 AlB ₂ /Al-Cu (T6)	83,7	55,3

Tablo 4.31'de kompozitleinin sertlik değerlerinin matris alaşımlarına göre daha yüksek olduğu ve en yüksek sertlik değerinin 85,3 HB ile AlB₂/Al-Si kompozitinde T6 ısıt işlemleri sonrasında elde edildiği görülmektedir.

Yapılan çalışmalarda AlB₂ takviye içeriklerinin artırılması amacı ile ezme döküm yönteminden faydalanılmıştır ve iki farklı basınç altında % 10 ve % 30 oranında AlB₂ takviye

içeriğine sahip AlB_2/Al ve $AlB_2/Al-Cu$ kompozitleri üretilmiştir. Tablo 4.32’de ezme döküm yöntemi ile üretilen kompozitlerinin takviye içerikleri, HB sertlik değeri ve bunların ortalamaları verilmiştir.

Tablo 4. 32. Ezme döküm yöntemi ile üretilen kompozitlere ait sertlik değeri ve bunlarının ortalamaları

Kompozit türü	AlB_2 takviye içeriği, %	Sertlik ölçümleri, HB			
		1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	Ort.
AlB_2/Al	0	31	29	31	30.3
	10	68	64	54	62.0
	30	97	93	92	94.0
$AlB_2/Al-Cu$	0	47	53	52	50.7
	10	97	93	92	94.0
	30	114	126	123	121.0

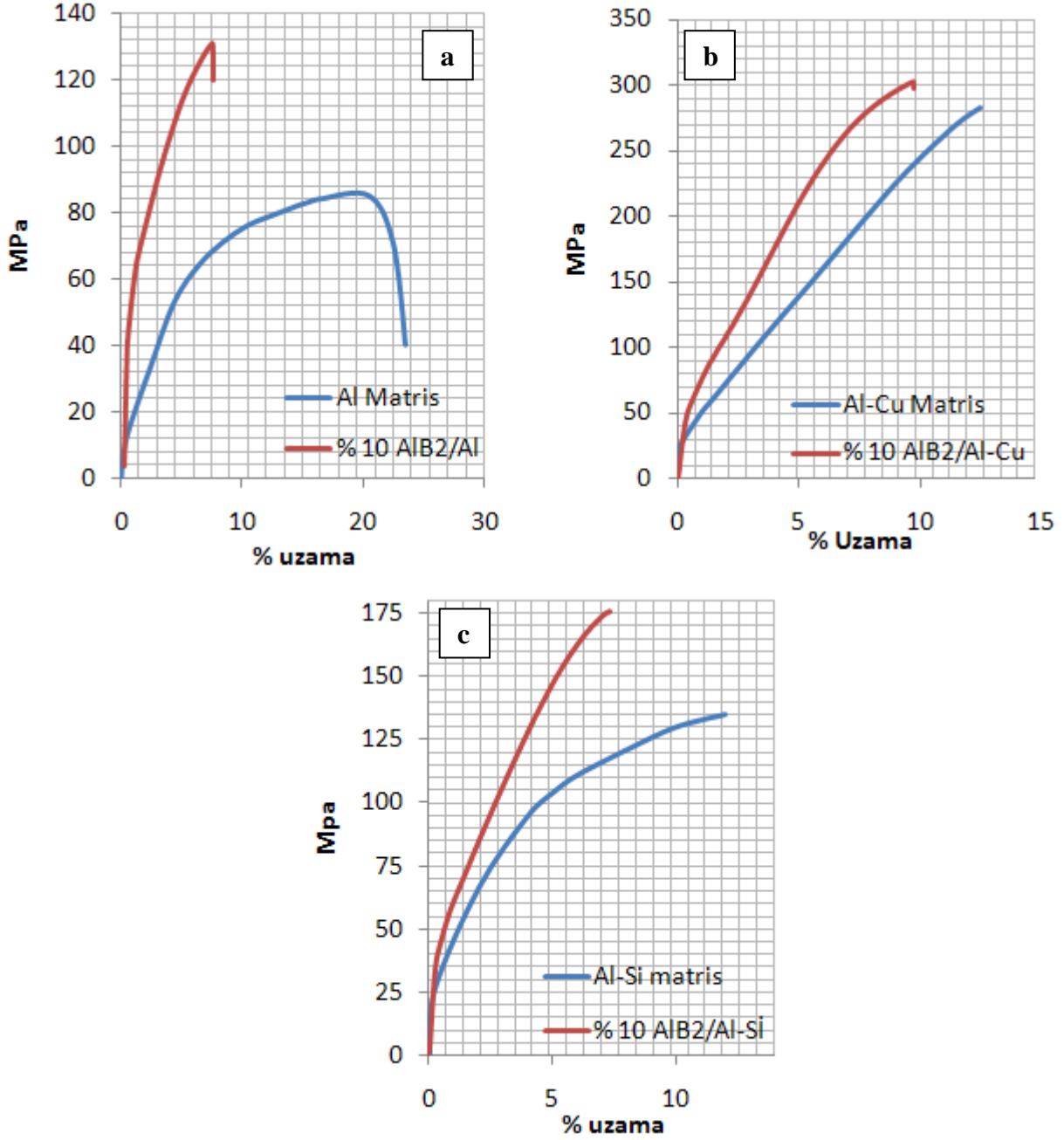
Tablo 4.32’de ezme döküm yöntemi ile üretilen kompozitlerde takviye içeriklerinin artmasına bağlı olarak Sertlik değerlerinin arttığı görülmektedir. Matris alaşımlarına ait katkı elementinin de önemli oranda etkili olduğu görülen sertlik değerlerinde en yüksek HB sertlik değeri % 30 AlB_2 içeriğine sahip $AlB_2/Al-Cu$ kompozitinde ortalama 121 HB olduğu görülmektedir.

4.6.2. Çekme dayanımı test sonuçları

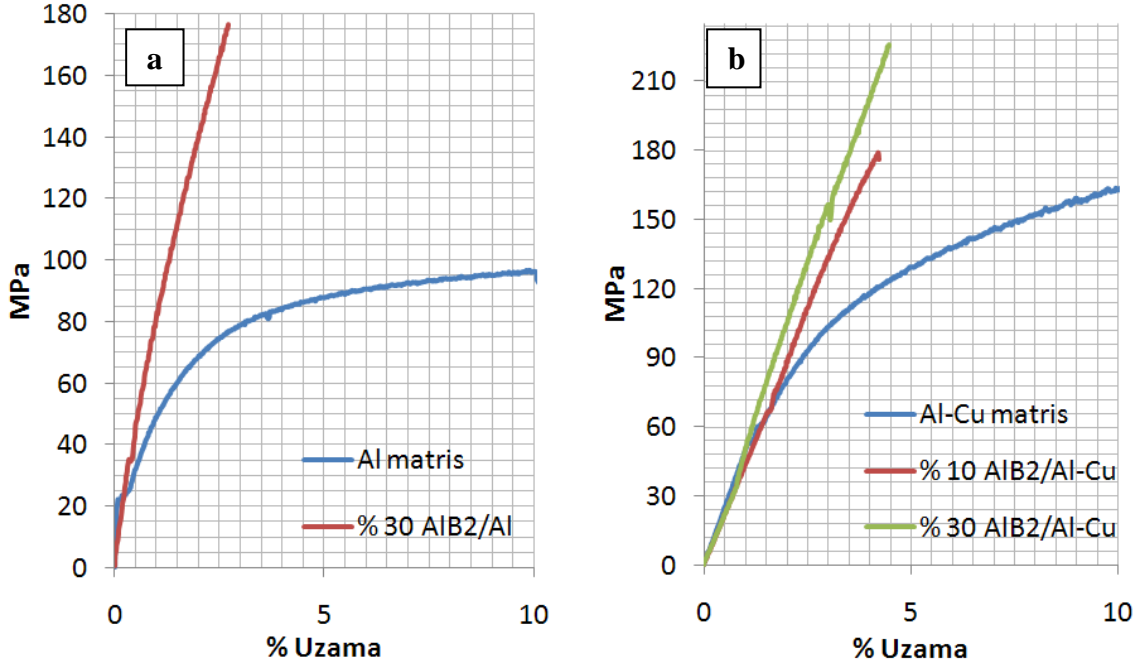
Yapılan çalışmalarda AlB_2 kompozitlerinin çekme testlerinin yapılması amacı ile savurma ve ezme döküm yöntemi ile üretilen kompozit ve matris alaşımları kullanılmıştır. İki farklı üretim yöntemi kullanılarak üretilen kompozitler testler öncesinde T6 ısıl işlemine alınmıştır.

Şekil 4.29’da savurma işlemi sonrasında üretilen % 10 AlB_2 takviye içeriğine sahip kompozit ve matris alaşımlarına ait çekme eğrileri verilmiştir. Grafiklerde çekme eğrilerinin karşılaştırılması amacı ile kompozitler matris alaşımları ile birlikte verilmiştir. Çekme eğrilerinde % 10 AlB_2 takviye içeriğine sahip AlB_2/Al , $AlB_2/Al-Cu$ ve $AlB_2/Al-Si$ kompozitlerinin her üçünün de matris alaşımlarına göre akma ve çekme dayanımlarının daha yüksek seviyelerde olduğu görülmektedir. Eğrilerde % uzama değerlerine bakıldığında

kompozitlerinin % uzama değerlerinin matris alaşımlarına göre düşük seviyelerde olduğu görülmektedir. Grafiklerde matris aşımına göre en yüksek çekme dayanımı artışının AlB_2/Al kompozitinde, en düşük çekme dayanımı artışının ise $AlB_2/Al-Cu$ kompozitinde yer aldığı görülmektedir.



Şekil 4. 29. Savurma döküm yöntemi ile üretilen a)% 10 AlB_2/Al , b) %10 $AlB_2/Al-Cu$ ve c)%10 $AlB_2/Al-Si$ kompozitleri ve matris alaşımlarına ait çekme-uzama eğrileri



Şekil 4. 30. Ezme döküm yöntemi ile üretilen a) % 30 AlB₂/Al kompoziti ve matris alaşımı, b) % 30, %10 ve matris alaşımlarına ait çekme-uzama eğrileri

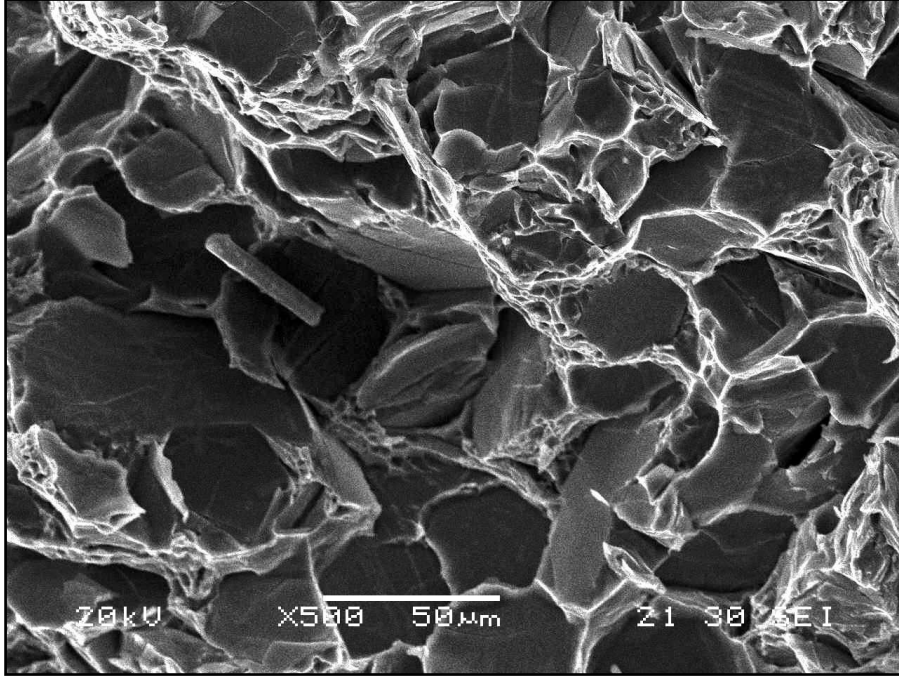
Şekil 4.30'da ezme döküm yöntemi ile üretilen %10, %30 AlB₂ takviye içeriğine sahip AlB₂/Al, AlB₂/Al-Cu ve matris alaşımlarına ait çekme eğrileri verilmiştir. İki farklı basınç altında üretilen kompozitlerin çekme mukavemetlerinin % 30 AlB₂ içeri ile artmış olduğu görülmektedir. Grafiklerde en yüksek çekme gerilmesi artışının savurma döküm yönteminde olduğu gibi AlB₂/Al kompozitinde gözlenmektedir. Grafiklerde % uzama değerleri dikkate alındığında matris alaşımlarının % uzama değerlerinin kompozitlere göre oldukça yüksek seviyelerde olduğu görülmektedir. Şekil 4.30b'de Al-Cu matris alaşımı ile yapılan çalışmada matris alaşımının takviye içeriğinin % 10 oranına çıkarılması kompozitin çekme gerilmesini azaldığı, takviye içeriğinin % 30 oranına çıkarılması ile kompozitin çekme gerilmesini matrise göre tekrar yükseldiği görülmektedir.

Tablo 4.33'de savurma ve ezme döküm yöntemi ile üretilen kompozit ve matris alaşımlarına ait akma, çekme ve % uzama değerleri takviye içerikleri ile birlikte verilmiştir.

Tablo 4. 33. Savurma ve ezme döküm yöntemi ile üretilen kompozitlere ait UTS, akma ve % uzama değerleri

Özellikler			Çekme Testleri		
Kompozit Türü	Takviye içeriği	Üretim Yöntemi	UTS, Mpa	Akma, Mpa	% Uzama
AlB ₂ /Al	0	Savurma Döküm	84	56	22,8
AlB ₂ /Al	10	Savurma Döküm	131	64	7,89
AlB ₂ /Al-Si	0	Savurma Döküm + T6	135	79	6,2
AlB ₂ /Al-Si	10	Savurma Döküm + T6	176	82	7
AlB ₂ /Al-Cu	0	Savurma Döküm + T6	281	235	0,9
AlB ₂ /Al-Cu	10	Savurma Döküm + T6	293	226	9,4
AlB ₂ /Al	0	Ezme Döküm	105	60	24
AlB ₂ /Al	30	Ezme Döküm	177	137	2,9
AlB ₂ /Al-Cu	0	Ezme Döküm + T6	293	100	20
AlB ₂ /Al-Cu	10	Ezme Döküm + T6	279	128	3,35
AlB ₂ /Al-Cu	30	Ezme Döküm + T6	226	160	2,15

Tablo 4.33’da AlB₂ kompozitlerin UTS ve akma dayanımlarının takviye içeriklerinin artmasıyla birlikte arttığı görülmektedir. savurma ve ezme döküm yöntemlerinin kullanılması ile üretilen kompozitlerde UTS ve akma dayanımlarının savurma döküm yönteminde aynı takviye içeriği için daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. kompozitlerinin % uzama değerleri genel olarak artan takviye içeriğine karşın azalmıştır. Matris alaşımlarına göre çekme dayanımında en büyük artış 105 MPa değerinden 177 MPa değerine yükselerek % 30 AlB₂ takviye içeriğine sahip AlB₂/Al kompozitinde gözlenmektedir. Tabloda katkısız alüminyum alaşımlarında UTS ve akma değerlerinde bakır katkılı alüminyum alaşımlarına göre daha fazla olduğu görülmektedir.

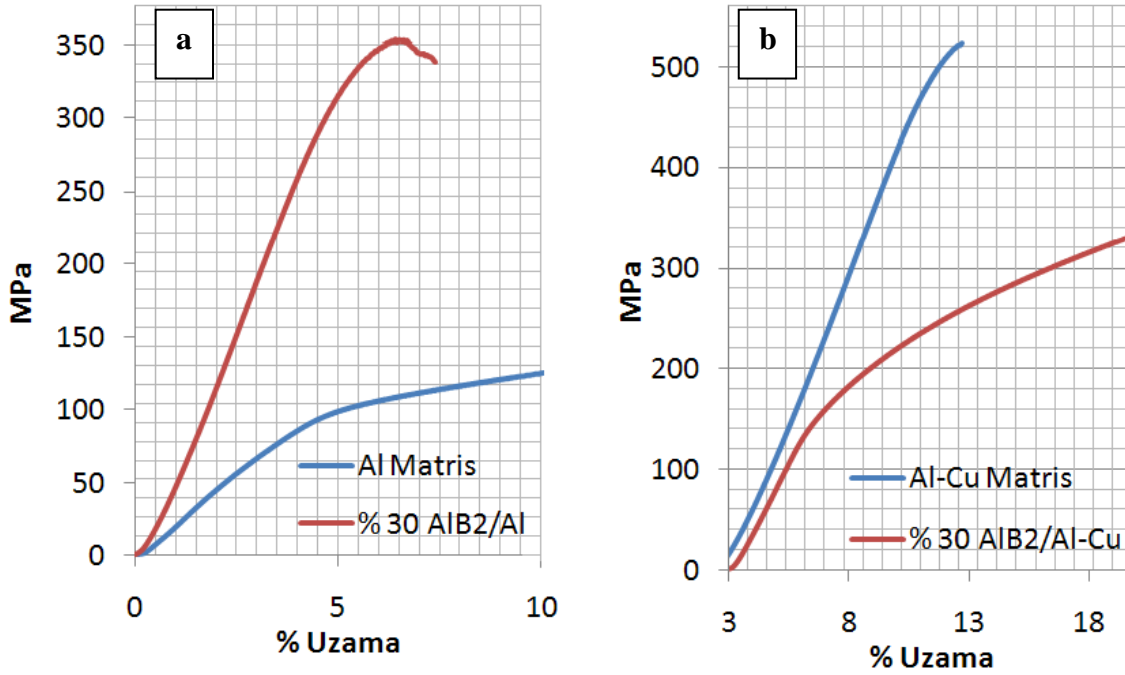


Şekil 4. 31. Kompozitlere ait tipik bir kırık yüzey SEM görüntüsü

Şekil 4.31’de kompozitlere ait tipik bir kırık yüzey SEM görüntüsü verilmiştir. kırık yüzey analizlerinde gevrek ve sünek kırılma özelliklerinin her ikisini de taşıdığı görülmektedir. kırık yüzeylerde genellikle AlB_2 partiküllerinin bulunduğu bölgelerde gevrek, matris alaşımının mevcut olduğu ara bölgelerde ise sünek kırılmanın yer aldığı görülmektedir.

4.6.3. Basma dayanımı test sonuçları

Çalışmalarda basma testleri için ezme döküm yöntemi ile üretilmiş % 30 ve % 10 AlB_2 takviye içeriğine sahip AlB_2/Al ve $AlB_2/Al-Cu$ kompozitleri ve matris alaşımları kullanılmıştır. $AlB_2/Al-Cu$ kompoziti ve matris alaşımı Basma testleri öncesinde T6 ısıtılmasına alınmıştır.



Şekil 4. 32. Ezme döküm yöntem ile üretilen a)% 30 AlB₂/Al kompoziti ve b) %30 AlB₂/Al-Cu kompoziti ve matris alaşımlarına ait basma gerilmesi eğrileri

Şekil 4.32’de basma sonrasında %30 AlB₂ takviye içeriğine sahip kompozitlerin ve bunlarının matris alaşımlarına ait basma gerilme-% uzama eğrileri verilmiştir. Grafiklerde her iki kompozit türünde de basma gerilmesinin matris alaşımlarına göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Matris alaşımına göre en yüksek basma gerilmesi artışı çekme gerilmesinde olduğu gibi yine AlB₂/Al kompozitinde gözlenmektedir. Grafiklerde en yüksek basma gerilmesi % 30 AlB₂/Al-Cu kompozitinde 500 MPa üstünde olduğu görülmekte ve bunun yanında grafiklerde kompozitlerin % uzama değerlerinin matrisi alaşımlarına göre oldukça düşük olduğu ve en düşük % uzama değerinin % 30 takviye içeriğine sahip AlB₂/Al kompozitinin sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 4. 34. Ezme döküm yöntemi ile üretilen kompozit ve matris alaşımlarına ait basma gerilmesi ve akma gerilmesi değerleri

Kompozit Özellikler			Basma Testleri	
Kompozit Türü	Takviye içeriği	Üretim Yöntemi	Basma gerilmesi, MPa	Basma Akması, MPa
AlB ₂ /Al	0	Ezme Döküm	121	68
AlB ₂ /Al	10	Ezme Döküm	241	123
AlB ₂ /Al	30	Ezme Döküm	354	287
AlB ₂ /Al-Cu	0	Ezme Döküm + T6	298	145
AlB ₂ /Al-Cu	10	Ezme Döküm + T6	329	156
AlB ₂ /Al-Cu	30	Ezme Döküm + T6	523	449

Tablo 4.34’de ezme döküm Yöntemi ile üretilen kompozit ve matris alaşımlarına ait basma gerilmesi ve basma akma gerilmesi değeri verilmiştir. Tabloda basma gerilmesinin ve basma akma gerilmesi değerlerinin kompozitlerin takviye içeriklerinin artmasına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Al-Cu esaslı kompozitlerde basma gerilmesi ve akma gerilmesi değerlerinin saf Al esaslı kompozitlere nazaran daha yüksek seviyelerde olduğu görülmektedir. Saf Al matrisli kompozitte 121 MPa olan maks. basma gerilmesi % 10 AlB₂ ilavesi ile 241 MPa, %30 AlB₂ içeriği ile 354 MPa yükselmiştir. Al-Cu matris alaşımlı kompozitte ise basma gerilmesi 298 MPa’dan % 10 AlB₂ takviye içeriği ile 329 MPa’a, % 30 AlB₂ takviye içeriği ile 523 MPa’a yükselmiştir.

Şekil 4.33’de basma testleri sonrasında % 30 AlB₂ takviye içeriğine sahip AlB₂/Al ve AlB₂/Al-Cu ve matris alaşımlarına ait makro yapı görüntüleri verilmiştir. Şekilde matris alaşımlarının her ikisinin de sünek özellik gösterdiği ve basma yüküne bağlı olarak çaplarının arttığı görülmüştür. % 30 AlB₂ takviye içeriğine sahip kompozitler ise tipik gevrek kırılma özelliği taşımış ve 45° açı oluşturarak kırılmış olduğu görülmektedir.

4.6.4. Kesme (işleme) test sonuçları

Yapılan çalışmalarda Kesme testleri için savurma ve ezme döküm yöntemi ile yeterli büyüklük ve takviye içeriğine sahip kompozitler üretilmemiştir. Bu nedenle işleme özelliklerinin testi için kompozit malzeme üretiminde alternatif çözüm yoluna gidilmiştir. bu bağlamda kompozitleri ve matris alaşımlarının üretimi; 1600mm uzunluk, 110mm çapında silindirik kalıplar içerisinde savurma döküm yöntemi ile yapılmıştır. Bu bölümde kesme testlerine geçmeden önce kesme testleri için kısa literatür bilgisi ve kesme testleri için üretilmiş kompozitlere ait sonuçlara yer verilecektir.

4.6.4.1. Kesme testi

Dönel hareket yapan silindirik bir iş parçası üzerinden talaş kaldırarak şekil verme işlemine tornalama denir. Tornalama işlemi, herhangi bir malzemenin işlenebilirlik davranışlarının değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bir malzemenin işleme kabiliyeti için birincil derecede önemli özellikler yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleridir.

Yüzey Pürüzlülüğü; Talaşlı imalatta üretilen parçalar gözle incelendiği zaman yüzey her ne kadar düz gibi görünse de mikroskobik ölçekte incelendiğinde yüzeylerde girinti ve çıkıntıların (asperiti) bulunduğu görülmektedir. İşlenen yüzeyin kalitesini bu asperitlerin boyutları ve miktarları etkilemektedir. İşlenmiş bir yüzeyin pürüzlülüğü uygun bir profilometre ile ölçülerek genellikle R_a cinsinden ifade edilir.

Kesme kuvvetleri; Kesme kuvvetleri tezgâh gücünün belirlenmesinde önemli rol oynayan parametrelerdendir. Tornalama işleminde, talaş kaldırma sırasında meydana gelen dirençleri yenmek için gerekli olan toplam talaş kaldırma kuvveti F_z ; kesme kuvveti F_s , ilerleme kuvveti F_v ve radyal kuvvet F_r olmak üzere üç bileşene ayrılır. Genel olarak dik (ortogonal) kesme işlemlerinde, oluşan bileşke kuvvetin (talaş kaldırma kuvvetinin) % 70 'ni kesme, %25'sini ilerleme ve % 5'ni de radyal kuvvet oluşturmaktadır.

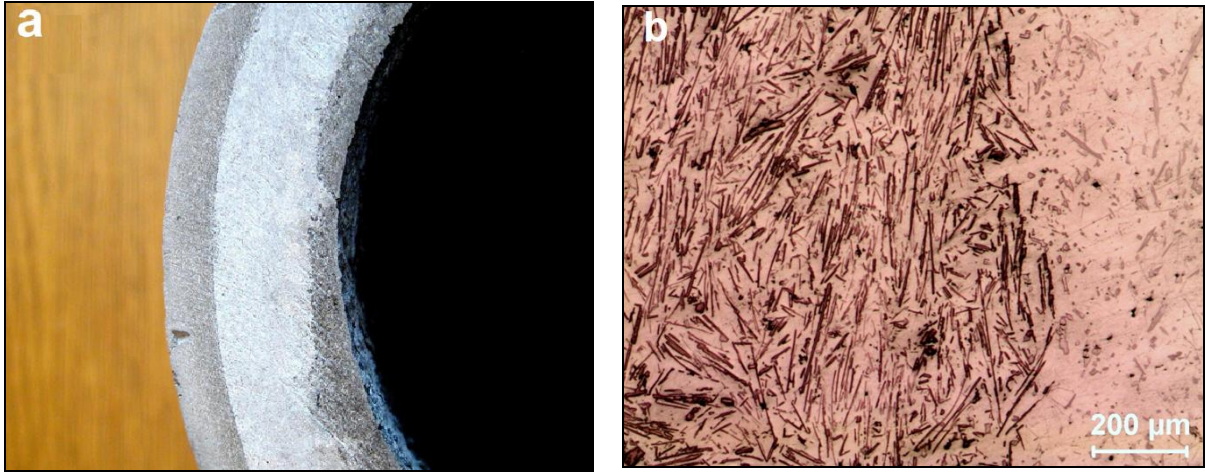
4.6.4.2. Kesme testleri için kompozit üretime ait sonuçlar

Kompozitlerinin işleme özelliklerinin testi için savurma döküm yöntemi kullanılarak üretilen kompozite ait makro yapı görüntüsü Şekil 4.33'de görülmektedir. Döküm üzerinde makro yapı değişimlerinin tespiti amacı ile dökümler şekilde görülen bölgeden kesilmiş ve 1200 gritlik zımparalama sonrasında % 20 HCl asit çözeltisi ile dağlanmıştır.



Şekil 4. 33. İşleme testleri için üretilen kompozit görüntüsü

Şekil 4.33 ve Şekil 4.34a'da dökümler üzerinde AlB_2 'ce zengin ve AlB_2 'ce fakir iki bölgenin mevcut olduğu görülmektedir. Yapıda AlB_2 'ce zengin (siyah) bölgenin döküm dış kısımlarını çepeçevre sardığı ve yaklaşık 5 mm kalınlığında olduğu görülmektedir. Şekil 4.34b'de AlB_2 'ce zengin bölgelerinin ayrıldığı ara bölgeye ait mikro yapı görüntüsü verilmiştir. Şekil 4.34b'de AlB_2 'ce zengin ve AlB_2 'ce fakir bölgelerinin birbirinde keskin bir şekilde ayrıldığı görülmektedir. AlB_2 'ce zengin bölgede AlB_2 borür yapılarının homojen dağılıma sahip olduğu ve AlB_2 'ce fakir bölgelerde ise AlB_2 borür yapılarının yer almadığı görülmektedir.



Şekil 4. 34. a) AlB₂'ce zengin ve fakir bölgeye ait makro yapı, b) AlB₂'ce zengin ve fakir ara bölgeye ait mikro yapı görüntüsü

İşleme özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmak üzere üretilen kompozitler üzerinden yaş analiz yöntemi ile % AlB₂ takviye içerikleri test edilmiştir. Tablo 4.35'de yaş analiz sonrasında AlB₂'ce zengin ve fakir bölgeye ait % B ve % AlB₂ oranları verilmiştir. Tabloda AlB₂'ce fakir bölgelerde AlB₂ takviye oranı sıfıra yakın olduğu AlB₂'ce zengin bölgelerde ise AlB₂ takviye oranının % 12 seviyesinde olduğu görülmektedir.

Tablo 4. 35. İşlem testleri için üretilen kompozite ait % B ve % AlB₂ oranları

Kompozit	Bölge	% B	% AlB ₂
AlB ₂ /Al-Mg	AlB ₂ 'ce zengin bölge	5,52	12,420
	AlB ₂ 'ce fakir bölge	~0	~0

Çalışmada kompozitlerin kesme testleri için 5 mm kalınlıktaki AlB₂'ce zengin bölgeler kullanılmıştır. Her kesme testi sonrasında AlB₂'ce zengin bölgenin geçilip geçilmediği kontrol edilerek testlerin AlB₂'ce zengin bölgede yapılması sağlanmıştır.

4.6.4.3. Kesme(işleme) Test Sonuçları

Genel olarak dik (ortogonal) kesme işlemlerinde, oluşan bileşke kuvvetin (talaş kaldırma kuvvetinin) % 70 'ni kesme, %25 'şini ilerleme ve % 5 'ni de radyal kuvvet oluşturmaktadır.

Bu yüzden deneylerde radyal kuvvet çok küçük bir miktar olduğu için ihmal edilmiştir. Buna göre yapılan çalışmada bileşke talaş kaldırma kuvveti;

$$F_z = \sqrt{F_s^2 + F_v^2}$$

formülü ile elde edilmiştir. her bir deneysel durum üçer defa tekrarlanmıştır. Tablo 3’de deneysel parametreler, hesaplanan F_z kesme kuvvetleri ve bunlarının ortalamaları verilmiştir.

Tablo 4. 36. Kesme deney parametreleri, F_z kesme kuvvetleri ve bunlarının ortalamaları

Malzeme türü	Kesme Hızları, m/dk	İlerleme Hızları, mm/dev	Ölçülen kesme kuvvetleri, N				Ort. değerler
			1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	4.ölçüm	
Matris	500	0,08	311.7	312.4	313.1	317.5	313.7
Matris	500	0,20	348.7	347.4	345.7	351.6	348.3
Matris	1000	0,08	517.8	518.2	526.4	518.4	520.2
Matris	1000	0,20	581.0	583.6	528.0	541.8	558.6
Kompozit	500	0,08	302.2	315.8	319.8	327.0	316.2
Kompozit	500	0,20	402.9	409.0	421.4	427.7	415.3
Kompozit	1000	0,08	382.6	403.0	425.3	444.8	413.9
Kompozit	1000	0,20	442.6	455.5	443.1	455.0	449.0

Tablo 4.36’de matris ve % 10 AlB_2 takviye içeriğine sahip kompozitlerinin kesme kuvvetlerinin 302 N ile 581 N arasında değiştiği görülmektedir. Genel olarak tabloda ilerleme hızının artmasına karşılık kesme kuvvetinin arttığı görülmektedir. En yüksek ortalama F_z kesme kuvveti 1000 m/dak kesme ve 0,20 mm/dev ilerleme hızında matris alaşımının işlenmesinde 558 N seviyesinde, en düşük ortalama kesme kuvveti ise yine matris alaşımında 500 m/dk kesme, 0,08 mm/dev ilerleme hızında 313 N seviyesinde yer aldığı olduğu görülmektedir.

Yapılan çalışmada R_a yüzey ölçüm testlerinde kutu tipi yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır ve her bir deney için üç farklı R_a ölçüm değeri alınmıştır Tablo 4.37’de yapılan

kesme testleri sonrasında ölçülen R_a yüzey pürüzlülük değerleri ve bunlarının ortalamaları deneysel parametreler ile birlikte verilmiştir.

Tablo 4. 37. Kesme deney parametreleri, R_a yüzey pürüzlülük değerleri ve bunlarının ortalamaları

Malzeme türü	Kesme Hızları, m/dk	İlerleme Hızları, mm/dev	Ölçülen R_a Değerleri, μm			Ort. değerler
			1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	
Matris	500	0,08	1,5	1,4	1,2	1,4
Matris	500	0,20	3,5	3,5	3,4	3,5
Matris	1000	0,08	1,3	1,3	1,8	1,4
Matris	1000	0,20	3,7	3,7	3,6	3,7
Kompozit	500	0,08	1,1	1,0	1,3	1,1
Kompozit	500	0,20	2,8	2,6	3,1	2,8
Kompozit	1000	0,08	1,7	1,5	1,3	1,5
Kompozit	1000	0,20	3,8	3,9	3,9	3,9

Tablo 4.37’de matris ve kompozite ait yüzey pürüzlülük değerlerinin $1 \mu\text{m}$ ile $3,9 \mu\text{m}$ arasında değiştiği görülmektedir. Genel olarak yüzey pürüzlüğü R_a değerinin ilerleme hızı ile arttığı görülmektedir. Tabloda en düşük R_a değeri 500 m/dak kesme ve $0,08 \text{ mm/dev}$ ilerleme hızında işlenen kompozit malzemesinde $1,1 \mu\text{m}$ olduğu, en yüksek R_a değeri ise yine kompozitte 1000 mm/dk kesme ve $0,20 \text{ mm/dev}$ ilerleme hızında $3,9 \mu\text{m}$ seviyesinde yer aldığı görülmektedir.

4.6.5. Sürtünme ve aşınma test sonuçları

Aşınma testleri, pin-on-disk aşınma test cihazı ile kuru kayma şartlarında 1000 m kayma mesafesinde yapılmıştır. Tablo 4.38’de yapılan aşınma testlerine ait matris ve kompozit malzemelerinin sürtünme katsayıları verilmiştir. Tabloda matris ve kompozitlere ait sürtünme testlerinde matris ve kompozitlerinin sürtünme katsayılarının $0,3211 \mu$ ile $0,6405 \mu$ değerleri arasında değiştiği görülmektedir. Genel olarak tabloda en düşük sürtünme katsayısı değerlerinin $\% 30 \text{ AlB}_2$ takviye oranına sahip kompozitte, en yüksek sürtünme katsayısı ise saf Al matris alaşımında yer aldığı görülmektedir.

Tablo 4. 38. Saf Al matris, % 30 AlB₂/Al ve AlB₂/Al-Cu kompozitlerine ait sürtünme katsayıları

Malzemeler	Yük (N)	Sürtünme katsayısı (μ)		
		0,4 m/s	0,8 m/s	1,2 m/s
Saf Al Matris	10	0,6405	0,5386	0,5345
	20	0,6047	0,5178	0,4942
	40	0,5116	0,4453	0,4481
% 30 AlB ₂ /Al	10	0,5625	0,5163	0,4295
	20	0,5228	0,4828	0,3672
	40	0,4238	0,325	0,3211
% 30 AlB ₂ /Al-Cu	10	0,6062	0,5380	0,5091
	20	0,5592	0,5164	0,5037
	40	0,4436	0,3982	0,3875

Tablo 4.39’de yapılan aşınma testleri sonrasında Saf Al matris, % 30 AlB₂/Al ve % 30 AlB₂/Al-Cu kompozitine ait kütle kayıp değerleri verilmiştir. Tabloda ağırlık kayıplarının 0,0162 gr ile 0,1986 gr değerleri arasında değiştiği görülmektedir. Tabloda numunelerinin kütle kayıplarının, artan yüke ve artan sürtünme hızına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Tabloda % 30 AlB₂ takviye oranına sahip kompozitlerinin saf Al matris alaşımına göre önemli oranda az ağırlık kaybına maruz kaldığı görülmektedir.

Tablo 4. 39. Al matris, % 30 AlB₂/Al ve AlB₂/Al-Cu kompozitlerine ait kütle kayıp değerleri

Malzemeler	Yük (N)	Kütle kaybı (g)		
		0,4 m/s	0,8 m/s	1,2 m/s
Saf Al Matris	10	0,0537	0,0668	0,0768
	20	0,1055	0,1082	0,1192
	40	0,1654	0,1724	0,1986
% 30 AlB ₂ /Al	10	0,0214	0,0348	0,0467
	20	0,0805	0,1026	0,1247
	40	0,1298	0,1441	0,1686
% 30 AlB ₂ /Al-Cu	10	0,0162	0,0235	0,0258
	20	0,0389	0,0571	0,0772
	40	0,0648	0,0981	0,1173

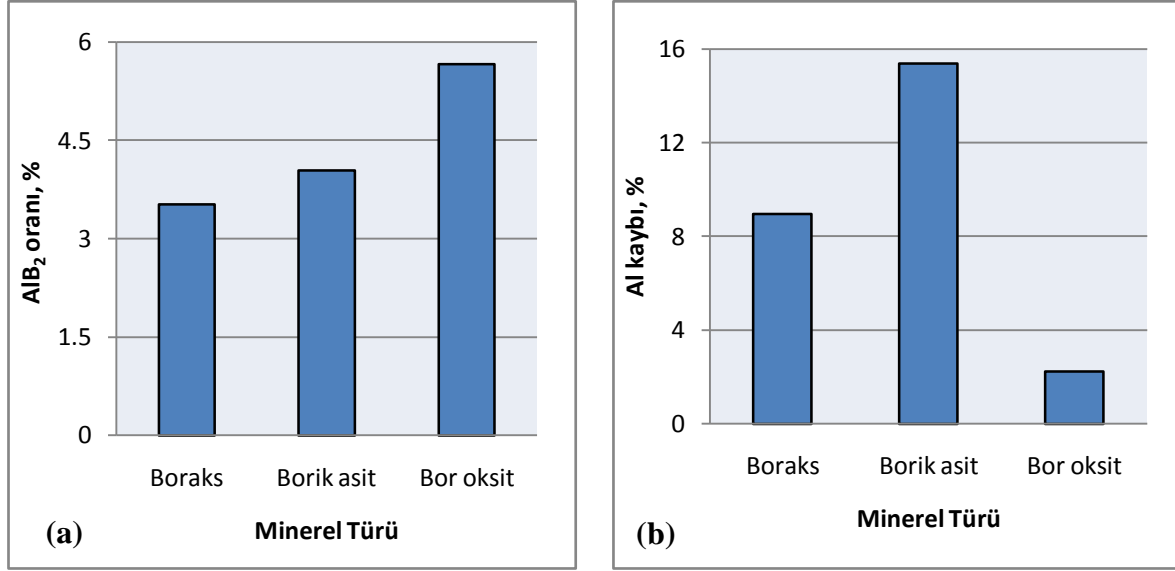
BÖLÜM 5. SONUÇLARININ İRDELENMESİ

Bu bölümde yüksek aspekt oranlı AlB_2 borür yapılarının oluşturulması, AlB_2 kompozitlerinin üretim yöntemleri ve takviye içeriklerinin artırılmasına yönelik olarak yapılan deneylerden alınan sonuçlar irdelenmiştir.

AlB_2 kompozitlerinin üretimine yönelik olarak yapılan literatür çalışmalarında bor kaynağı olarak KBF_4 ticari Al-B alaşımlarının kullanıldığı görülmektedir. Alüminyum alaşımlarının dökümünde tane inceltici eleman olarak da kullanılan ticari Al-B alaşımları, KBF_4 tuzlarının ilavesi ile üretildikleri için oldukça pahalıdır. Bu çalışmada pahalı Al-B alaşımları yerine buna alternatif olabilecek çeşitli bor minerallerinin ilavesi ile AlB_2 kompozitlerinin in-situ (yerinde reaksiyon) yöntemi ile üretimi amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak ülkemizde bol ve ucuz olarak bulunan bor oksit, borik asit ve boraks mineralleri seçilmiştir. Üç farklı bor mineralinden, AlB_2 kompozitlerinin üretim potansiyellerinin belirlenmesine yönelik olarak yapılan deneysel çalışmalar % AlB_2 oranları, AlB_2 borür yapılarının aspekt oranları, % porozite, yoğunluk ve % alüminyum kayıpları bakımından karşılaştırma yapma imkanı sağlamıştır.

Şekil 4.4(a,b ve c)'de sırası ile bor oksit, boraks ve bor oksit ilavesi ile üretilen numunelere ait makro yapı görüntülerinde her üç numunede de yaklaşık 500 μm uzunluğunda ince AlB_2 borür yapılarının 1400 °C'de oluşturulabildiği görülmektedir. Şekil 5.1a'da verilen ortalama % AlB_2 oranlarına bakıldığında en yüksek AlB_2 oranının bor oksit ilavesi ile üretilen numunede ortalama % 5,5 oranında olduğu ve onu % 3,5 oranı ile borik asit ilavesi ile üretilen numunenin izlediği görülmektedir. En düşük AlB_2 oranı ise boraks ilavesi ile üretilen numunede ortalama ağırlıkça % 3 civarında seyrettiği görülmüştür. Borik asit ve boraks mineralleri ile üretilen numunelerde AlB_2 oranının daha düşük seviyelerde seyretmesi muhtemel nedeni Tablo 3.3'e bakıldığında aynı AlB_2 oranı için borik asit ve boraks mineral miktarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Buna göre aynı AlB_2 oranı için daha fazla reaksiyon süresine ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan deneylerde borik asit ve boraks ilavesi ile üretilen numunelerde 1 saatlik sentezleme süresi yetersiz kalmış ve % AlB_2 oranları bor oksit mineraline göre daha düşük seviyelerde kalmasına neden olmuştur. Bunun yanında Şekil

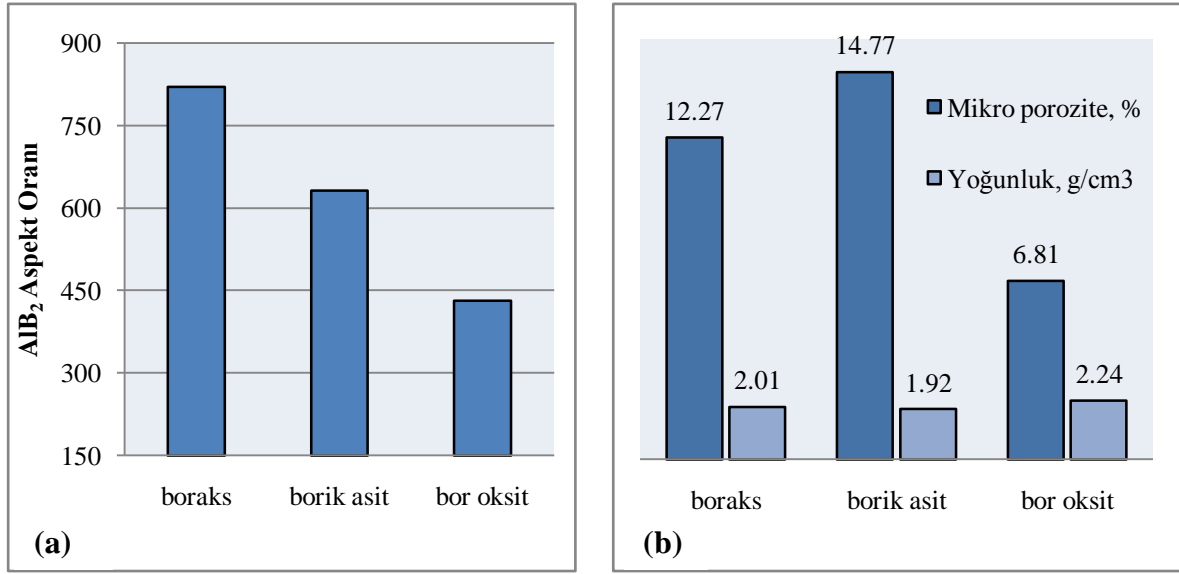
5.1a'ya baktığımızda borik asit ve boraks mineralleri ile üretilen numunelerde alüminyum kayplarının bor oksit mineraline göre 3 ile 5 kat daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 5. 1. 1400 °C'de boraks, borik asit ve bor oksit ilavesi ile üretilen kompozitlere ait a) % AlB₂ oranları ve b) alüminyum kaybı

Borik asit, boraks ve bor oksit ilavesi ile oluşturulan AlB₂ borür yapılarının ortalama aspekt oranları dikkate alınarak bir kıyaslama yapıldığında (bakınız Şekil 5.2a) en uzun aspekt oranlı AlB₂ borür yapılarının ortalama 820 ile boraks ilavesi ile üretilen numunede, en düşük aspekt oranlı AlB₂ yapılarının ise ortalama 431 ile bor oksit ilavesi ile üretilen numunede yer aldığı görülmektedir. Şekil 5.1a ve Şekil 5.2a'da AlB₂ oranının artmasının bağılı olarak AlB₂ borür yapılarının aspekt oranlarının düştüğü görülmektedir. Bunun muhtemel nedeni Şekil 4.4'de verilen mikro yapı görüntülerine bakıldığında matris içerisinde AlB₂ borür yapılarının diğer borür yapıları tarafından engellenmesi olarak tahmin edilmektedir. Bu nedenle AlB₂ takviye oranının artması AlB₂ borür yapılarının aspekt oranlarının düşmesine neden olmuştur.

Şekil 5.2b'de bor minerallerinin ilavesi ile üretilen numunelere ait ortalama % porozite ve yoğunluk değerleri verilmiştir. Numunelerde porozite oranlarının yüksek olduğu ve yoğunluklarının ise düşük olduğu görülmektedir. Numunelerde gözlemlenen yoğunluk değerlerinin düşük olmasının muhtemel nedeni porozite oranının yüksek olmasına bağlanabilir. Numunelerde porozite oranlarının yüksek olmasının en olası nedeni ise sentezleme işleminin yüksek sıcaklıklarda yapılması sonucu bor katkısı bünyesinde yer alan hidrojen atomlarının alüminyum içerisinde çözünerek katılaşma sırasında gözenek oluşturması ile açıklanabilir.



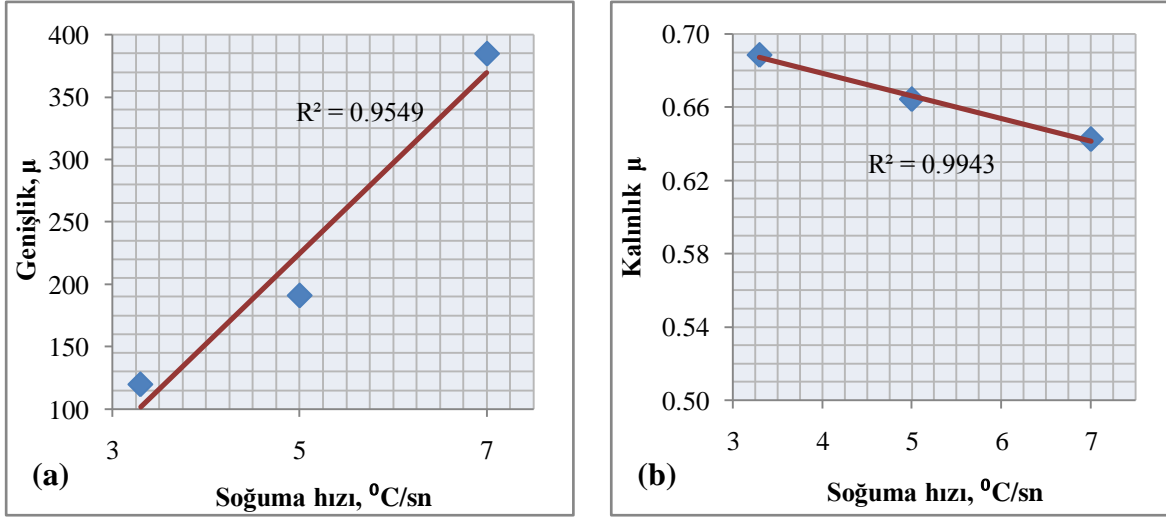
Şekil 5. 2. a) 1400 °C’de boraks, borik asit ve bor oksit ilavesi ile sentezlenen AlB₂ borür yapılarının ortalama aspekt oranı ve b) porozite ve yoğunluk değişimi

Bu sonuçların alınması bor oksit dışındaki bor minerallerinin kullanımının gerek takviye yapısı gerekse kompozitin yoğunluğu açısından verimsiz olduğunu göstermiştir. Dolayısı ile çalışmasının bundan sonraki bölümünde yüksek üretim potansiyeli nedeniyle AlB₂ kompozitlerinin üretiminde sadece bor oksit minerali kullanılmıştır. Bu amaca yönelik olarak bor oksit ilavesi ile AlB₂ kompozitlerinin üretim özelliklerinin araştırılmıştır. Şekil 4.1’de bor oksit ilavesi ile 1400 °C’de üretilen numuneye ait makro yapı görüntüsünde alüminyum matris alaşımı içerisinde siyah renkte uzun AlB₂ yapıları ve numunenin üst kısmında alüminyumun bor oksit ile reaksiyonu sonrasında oluşan cüruf tabakası görülmektedir.

Benzer çalışmada Hall ve arkadaşlarının (Hall, 2000-b) ifade ettiği gibi bor oksidin 800 °C’de sıvı alüminyum ile temas ettiği kısımlarda Deneklem 2.1’de verilen reaksiyonun geliştiği ve bunun sonucunda elemental bor ve katı Al₂O₃ bileşiklerinin ortaya çıktığı rapor edilmiştir. Reaksiyon sonrasında oluşan bor, artan sıcaklığa bağlı olarak sıvı alüminyum tarafından çözülmüş, katı Al₂O₃ ise cüruf formunda sıvı metalin üst kısımlarında birikmiştir. Sıvı alüminyum içerisinde yer alan bor daha sonra peritektik reaksiyon sıcaklığının altında alüminyum ile ekzotermik reaksiyon oluşturarak AlB₂ borür yapılarına dönüşmüştür. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de numune ve cüruf üzerinden alınan XRD analizleri bunu doğrulamaktadır. Şekil 4.2’de numune üzerinden alınan XRD analizinde yalnız Al ve AlB₂ piklerinin gözlenmesi, alüminyum matris alaşımı içerisinde yer alan uzun çubuksu yapıların AlB₂ borür yapılarının olduğunu göstermektedir. Şekil 4.3’de numune üzerinde yer alan XRD analizinde gözlenen bor oksit piki ise bor oksidin tamamının alüminyum ile reaksiyona girmediğinin

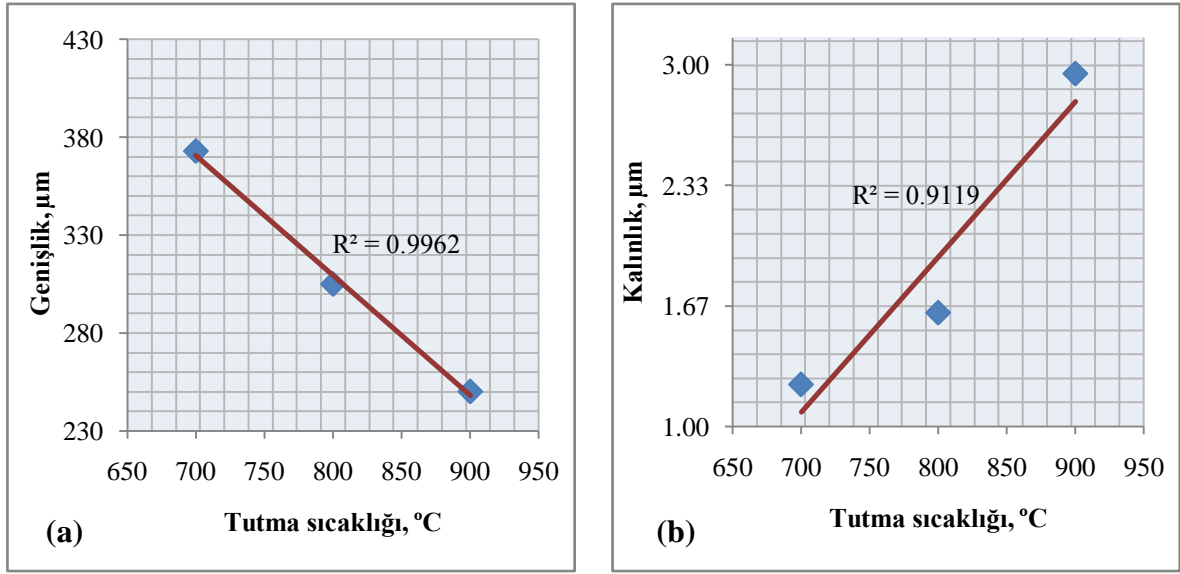
göstermektedir, cüruf tabaklarında görülen AlN piki, kalıpların boyanması amacı ile kullanılan BN ile alüminyum reaksiyona uğrayarak AlN intermetalik bileşimini oluşturduğunu göstermektedir. Şekil 4.5a'da numuneler üzerinden alınan SEM görüntüsünde ve Şekil 4.5b'da AlB₂ borür yapısının optik görüntüsünde, alüminyum matris alaşımı içerisinde in-situ yöntemi ile kendiliğinden oluşan AlB₂ borür yapılarının 1 µm altında ince altıgen plaklar şeklinde olduğunu göstermektedir.

Kompozit literatüründe yüksek performanslı bir kompozit için takviye fazının aspekt oranı 100 değerinde olması gerektiği rapor edilmektedir (Rohatgi, 2001; Taya, 1989). AlB₂ kompozitlerinin bor oksit ilavesi ile üretiminde takviye fazı olan AlB₂ borür yapılarının genişlik, kalınlık ve buna bağlı olarak da aspekt oranları, üretim parametrelerine bağlı olarak değiştirilebilmektedir. Bu amaca yönelik olarak yapılan optimizasyon çalışmalarında soğuma hızı ve “AlB₂(katı) + Al(sıvı)” bölgesinde bekleme zamanı ve sıcaklığının AlB₂ borür yapıların genişlik, kalınlık ve aspekt oranları üzerine etkileri araştırılmıştır. Soğuma hızının AlB₂ borür yapılarının boyutları üzerine etkilerinin araştırılması amacı ile bor oksit ilavesi ile 1400 °C'de hazırlanan sıvı Al-B, Al-Si-B, Al-Cu-B ve A-Mg-B alaşımları 3.3, 5 ve 7 °C/sn üç farklı soğuma hızında oda sıcaklığına soğutulmuştur. Çalışmada Şekil 5.3(a ve b)'de görüldüğü gibi AlB₂ borür yapılarının genişliklerinin soğuma hızının artmasına bağlı olarak arttığı kalınlıklarının ise azaldığı görülmektedir. Soğuma hızı ile AlB₂ borür yapılarının genişliklerinin artması ve kalınlıklarının azalmasının muhtemel sebebi Deppisch ve arkadaşlarının (Deppisch, 1998) rapor ettiği gibi AlB₂ borür yapılarının anizotropik büyüme özelliğine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Depisch ve arkadaşları (Deppisch, 1998) soğuma hızının artmasına bağlı olarak AlB₂ borür yapıların (00001) yönünde diğer yönlere nazaran büyüme hızının yavaşladığı ve buna bağlı olarak AlB₂ borür yapılarının anizotropik büyüme oranının arttığını rapor etmişlerdir. Bu çalışmada da buna benzer şekilde düşük soğuma hızı ile üretilen (3,3 °C/sn) numunede genişliklerin daha düşük kalınlıklarının daha yüksek olduğu, buna karşın yüksek soğuma hızına sahip (7 °C/sn) numunede ise genişliklerin daha yüksek, kalınlıklarının ise daha düşük olduğu görülmektedir. Buna göre soğuma hızının artmasına bağlı olarak genişlik/kalınlık oranı 120/0,69= 174'den 390/0,63=620'ye yükseldiği görülmektedir. Bu sonuçlar AlB₂/Al tipi kompozitlerde AlB₂ yapılarının aspekt oranı açısından yeterli olduğunu göstermektedir.

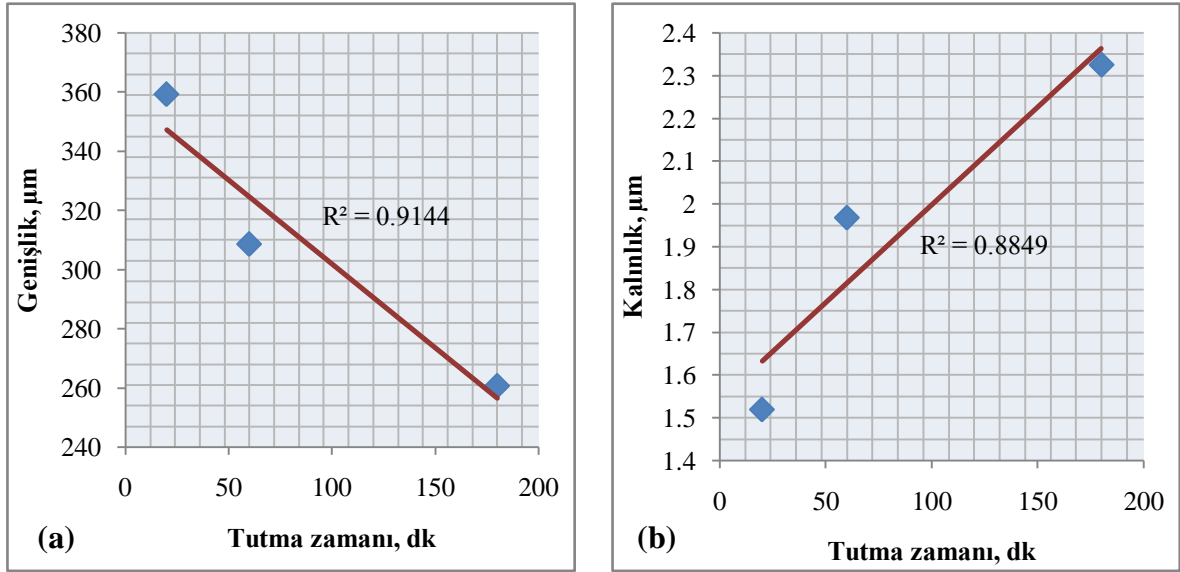


Şekil 5. 3. 1400 °C’de soğuma hızına bağlı olarak AlB₂ kalınlık ve genişlik değişimleri

Çalışmada AlB₂ borür yapılarının boyutlarının optimizasyonu amacı ile “AlB_{2(katı)} + Al_(sıvı)” bölgesinde bekleme sıcaklık ve zamanının etkileri de araştırılmıştır. Çalışmada önceden üretilen ortalama 500 μm genişliğinde ve 0,7 μm kalınlığında AlB₂ borür yapılarına sahip AlB₂/Al-Si kompozitleri 700, 800 ve 900 °C’de 20, 60 ve 180 dak. ısıl işleme alınmıştır. Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’de tutma zamanı ve tutma sıcaklığının artmasına bağlı olarak AlB₂ borür yapılarının kalınlıklarının arttığı, genişliklerinin ise azaldığı görülmektedir. Şekil 5.4a ve Şekil 5.5a ’de artan sıcaklık ve zamana bağlı olarak AlB₂ borür yapılarının küçülmesi muhtemelen kompozitin ergitilmesi sonucunda 500 μm genişliğindeki AlB₂ borür yapılarının parçalandığını ve artan sıcaklık ve zamana bağlı olarak AlB₂ borür yapılarının uç kısımlarından sıvı alüminyum tarafından çözüldüğünü göstermektedir. Şekil 5.4b ve Şekil 5.5b’de tutma sıcaklık ve zamanının artmasına bağlı olarak AlB₂ borür yapılarının kalınlıklarının artması ise muhtemelen sıvı alüminyum içerisinde çözünen bor atomlarının AlB₂ kristallerinin (0001) düzleminde büyümesine katkıda bulunduğu düşünülmektedir.



Şekil 5. 4. 800 °C’de “AlB_{2(katı)} + Al_(sıvı)” bölgesinde tutma sıcaklığı değişimine karşılık AlB₂ borür yapılarının genişlik ve kalınlık değişimleri

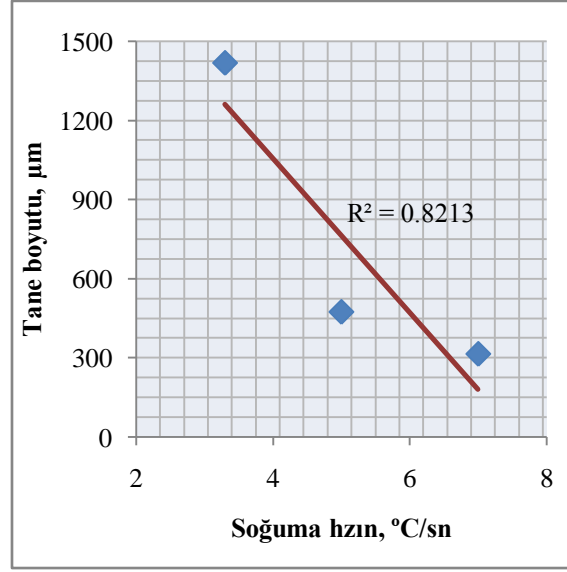


Şekil 5. 5. 800 °C’de “AlB_{2(katı)} + Al_(sıvı)” bölgesinde tutma zamanı değişimine karşılık AlB₂ borür yapılarının genişlik ve kalınlık değişimleri

Tane boyut analizi sonuçları soğuma hızının değişimine bağlı olarak kompozitlerin tane boyut dağılımının değiştiği ve Şekil 5. 6’da görüleceği üzere ortalama tane boyut değerinin artan soğuma hızına bağlı olarak arttığını göstermiştir. 7 °C/sn soğuma hızı ile üretilen kompozitlerde ortalama 150 µm gibi küçük seviyelerde gözlenen tane boyut değeri, azalan

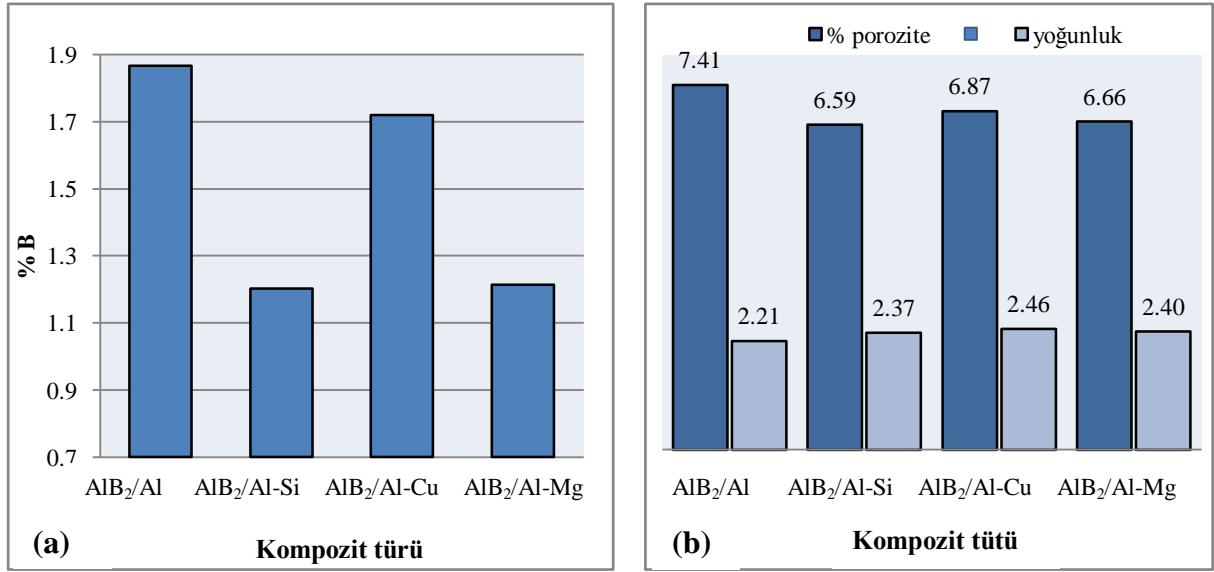
soğuma hızına bağlı olarak 3,3 °C/sn soğuma hızında ortalama 1400 µm seviyesine kadar ulaştığı görülmüştür.

AlB₂ kompozitlerinin üretiminde takviye fazı olan AlB₂ borür yapılarının oluşturulması için Al-B çözeltilerinin hazırlanması ve AlB₁₂ borür yapılarının oluşmasına izin verilmeden peritektik sıcaklığın altında AlB₂ borür yapılarının oluşturulması gerekmektedir. Alınan sonuçlar yüksek aspekt oranlı AlB₂ kompozitlerinin döküm yöntemi ile üretilmesine yönelik olarak yapılan deneylerde ocaktan 1400 °C'den doğrudan grafit potaya dökülerek üretilen kompozitlere ait mikro yapı görüntülerinde, eşekenli AlB₁₂ ve düşük aspekt oranlı AlB₂ borür yapılarının yer aldığını göstermiştir(Şekil 4.16). Bunun nedeni muhtemelen doğrudan yapılan dökümlerde, Deppisch ve arkadaşlarının (Deppisch, 1997) rapor ettikleri gibi yüksek aspekt oranlı AlB₂ borür yapılarının sentezlenmesi için gerekli soğuma hızının (>50 °C/dk) sağlanamadığı ve bu nedenle yapıda eşeksiz AlB₁₂ borür yapılarının oluştuğu düşünülmektedir. Çalışmada AlB₁₂ borür yapılarının oluşumunun engellenmesi için gerekli hızlı soğumanın sağlanması amacı ile 1400 °C'de bor oksit ilavesi ile hazırlanan Al-B, Al-Si-B, Al-Cu-B ve Al-Mg-B çözeltileri su soğutmalı yolluk sistemi üzerinden geçirilerek grafit potalara dökülmüştür. Çalışmaya ait mikro yapı görüntülerinde (Bkz. Şekil 4.17) görüldüğü gibi kompozitlerinin hiç birinde AlB₁₂ borür yapılarının mevcut olmadığı görülmüş, buna karşın yapıda yüksek aspekt oranlı AlB₂ borür yapıları tespit edilmiştir. Buna göre muhtemelen sıvı Al-B alaşımının su soğutmalı yolluk sistemi üzerinden geçirilmesi ile AlB₁₂ borür yapılarının oluşumuna izin verilmeden peritektik sıcaklığın altına inildiği ve burada in-situ AlB₂ borür yapılarının çekirdeklendiği var sayılmaktadır.



Şekil 5. 6. Soğuma hızına bağlı olarak kompozitlerde tane boyut değişimi

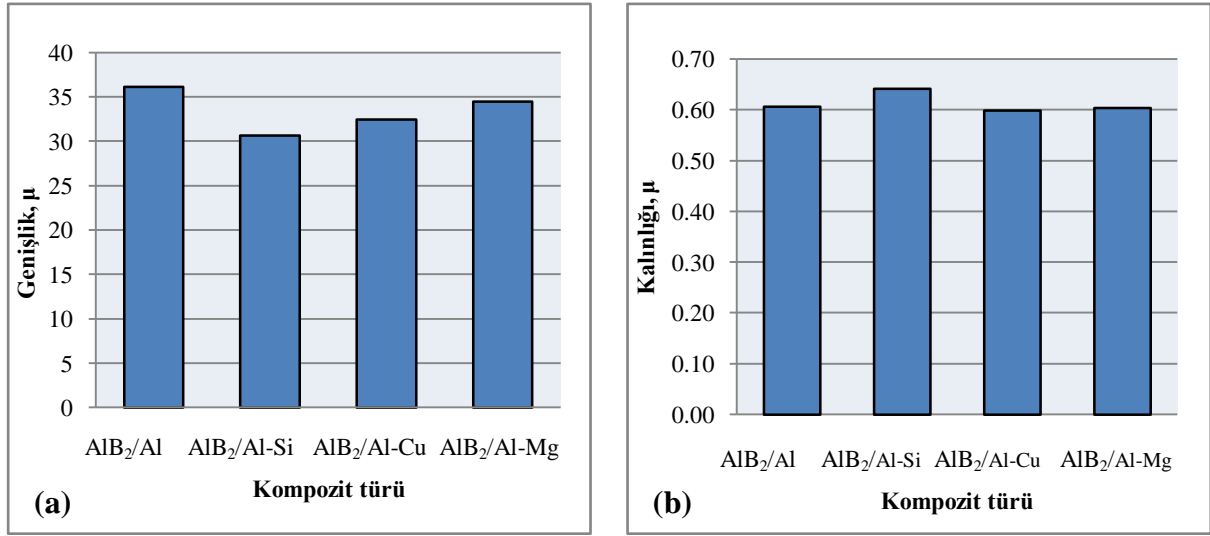
Şekil 5.7a'da 1400 °C'de 1 saat bor oksit ilavesi ile indüksiyon ocağında doğrudan döküm yöntemi ile üretilen kompozitlere ait % B oranlarına bakıldığında, % B çözünürlüğünün ortalama % 1,2 ile % 1,9 arasında değiştiği görülmektedir. % B oranları arasında gözlemlenen farklılığın nedeni matris alaşımına ait katkı elementlerinin bor çözünürlüğünü azaltmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. En yüksek % B oranının yaklaşık % 1,9 oranı ile AlB₂/Al kompozitinde, en düşük %B çözünürlüğünün, yaklaşık % 1,2 ile AlB₂/Al-Si ve AlB₂/Al-Mg kompozitlerinde gözlenmesi bunu kanıtlar nitelik taşımaktadır. Al-Cu matrisli kompozitte ise bor oranının saf Al matrisli kompozit kadar yüksek olmasının muhtemel sebebi matris alaşımına ait bakır katı elementinin 1400 °C'de Al-B alaşımının hazırlanmasının ardından ilave edilmesinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir.



Şekil 5. 7. Su soğutmalı yolluk sistemi ile üretilen kompozitlere ait ortalama a) % AlB₂ oranı ve b) ortalama % porozite ve yoğunluk değişimleri

Şekil 5.7a’da su soğutmalı yolluk sistemi kullanılarak üretilen kompozitlerin yoğunluk ve % porozite seviyelerine bakıldığında, porozite seviyelerinin oldukça yüksek (~ % 7) olduğu buna bağlı olarak da kompozitlerin yoğunluklarının düşük (~ 2,4 gr/cm³) seviyelerde olduğu görülmektedir. % porozite oranlarının yüksek olmasının muhtemel sebebinin döküm sıcaklığının ve soğuma hızının yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 5.8’da su soğutmalı yolluk sistemi ile doğrudan döküm yöntemi ile üretilen kompozitlere ait AlB₂ borür yapılarının genişlik ve kalınlık değişimlerine bakıldığında matris alaşımlarına göre önemli bir değişimin söz konusu olmadığı ve genişliğinin ortalama 30 µm, kalınlığının ise ortama 0,60 µm seviyesinde seyrettiği görülmektedir.



Şekil 5. 8. Su soğutmalı yolluk sistemi ile üretilen kompozitlere ait ortalama AlB₂ a) genişlik ve b) kalınlık değişimi

Yapılan çalışmalar kapsamında AlB₂ kompozitlerinin takviye içeriklerinin artırılması amacı ile doğrudan döküm yöntemi, savurma döküm yöntemi ve ezme döküm yöntemlerinden faydalanılmıştır. Tek adımlı doğrudan döküm yöntemi ile AlB₂ takviye içeriklerinin artırılması amacı ile Bölüm 4.3.1’de Taguchi deneysel metodu kullanılmış ve AlB₂ takviye oranları üzerinde etkisi olduğu düşünülen “tutma sıcaklığı”, “tutma zamanı”, “bor oksidin alüminyum ile temas yüzey alanı” ve “matris alaşımı” faktörleri optimize edilmeye çalışılmıştır. Çalışma sonucunda % AlB₂ oranları üzerinde en etkili faktörünün “tutma zamanı” ve “matris alaşımı” faktörlerinin olduğu görülmüştür. buna göre bor oksit ilavesi ile tek adımı olarak maksimum düzeyde AlB₂ takviye oranının elde edilebilmesi için alüminyum ile bor oksidin sentezlenmesinde tutma zamanının yüksek (180 dakika) ve matris alaşımı olarak katkısız alüminyum alaşımının (%99,96 safiyete sahip alüminyum alaşımının) kullanılması gerektiği tespit edilmiştir. Optimum şartlar dikkate alınarak yapılan doğrulama deneylerinde bor oksit ilavesi ile en yüksek % AlB₂ takviye oranının % 4,5 seviyesine kadar çıktığı görülmüştür.

Yalpan literatür çalışmalarında Hall ve arkadaşları (Hall, 2000-b) bor oksit veya boraks ilavesi ile AlB₂ kompozitlerinin üretiminde, alüminyumun bor oksit veya boraks ile temas eden ara bölgede meydana gelen sert ve inert özellik taşıyan Al₂O₃ tabakasının alüminyum ile bor oksidin reaksiyonunu engelleyerek % B çözünürlüğünü azalttığını rapor etmişlerdir. Bu amaca yönelik olarak Taguchi deneysel tasarım metodunda dahil edilen “bor oksidin

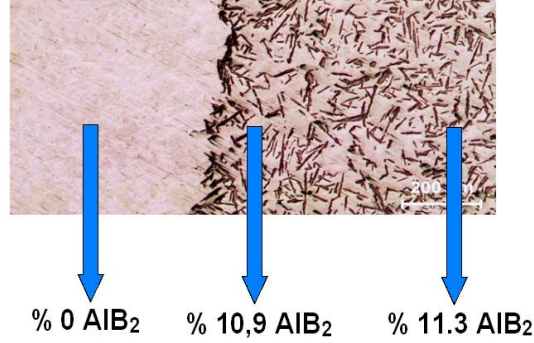
alüminyum ile temas yüzey alanı” faktörünün % B çözünürlüğü üzerinde “tutma zamanı” ve “matris alaşımı” faktörleri kadar etkili olmadığı görülmüştür.

Taguchi deneysel tasarımında % AlB₂ takviye içerikleri üzerinde en etkili faktörün “matris alaşımı” faktörünün olduğu görülmüş ve maksimum oranda % AlB₂ takviye oranı için saf Al matris alaşımın tercih edilmesi gerektiğini göstermiştir. Yapılan çalışmalarda döküm yolu ile üretilen kompozitlerde bunu destekler nitelik taşımaktadır. Döküm yolu ile üretilen kompozitlerde AlB₂ takviye oranını saf Al ve Al-Cu matrisli kompozitlerde maksimum seviyede iken Al-Si ve Al-Mg matris alaşımli kompozitlerde daha düşük seviyelerdedir. Çalışmada Al-Cu matrisli kompozitlerinin üretiminde matris alaşımına ait katkı elementi (Cu), bor oksidin saf Al ile reaksiyona alınması ardından ilave edilmiştir. Bu nedenle Al-Cu matrisli kompozitler saf Al matrisli kompozitler kadar yüksek AlB₂ takviye oranına sahip olduğu varsayılmaktadır.

Alınan sonuçlardan doğrudan döküm yöntemi ile AlB₂ takviye oranları en fazla % 4,5 olduğu görülmüştür. Bu oran metal matrisli kompozitler için oldukça düşüktür. Bu nedenle doğrudan döküm yönteminde gözlemlenen bu darboğazın aşılması amacı ile savurma döküm ve ezme döküm yöntemlerinde faydalanılmıştır.

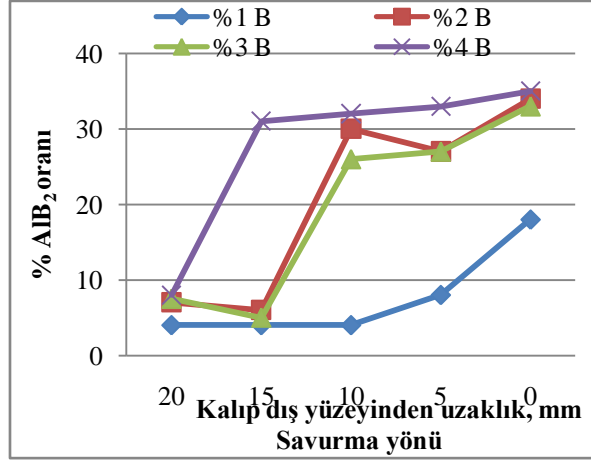
Savurma döküm yöntemi ile AlB₂ takviye fazının oranının artırılması amacı ile doğrudan döküm yöntemi ile üretilen kompozitler, 800 °C’de ergitilmiş ve bu sıcaklıkta 25 G savurma kuvveti ile 5 dakika savrulmuştur. Savurma sonrasında üretilen numunelerde optik incelemelerde (bakınız Şekil 4.22 ve Şekil 4.23) yapıda AlB₂’ce zengin ve fakir iki bölgenin mevcut olduğu görülmektedir. Şekil 5.9’den görüleceği üzere AlB₂’ce zengin bölgelerde AlB₂ borür yapılarının oranının yaklaşık % 10 civarında, AlB₂’ce fakir bölgelerde ise AlB₂ oranının sifıra yakın olduğu görülmektedir. Bu ayrışma savurma kuvveti etkisi altında yoğunluğu sıvı alüminyuma (2,41g/cm³) göre daha yüksek olan AlB₂ borür (3,19 g/cm³) yapılarının kalıp dış bölgelerine doğru savrulmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 5.9’de AlB₂’ce zengin ve fakir bölgelerinin birbirinden keskin bir şekilde ayrıldığı ve AlB₂’ce zengin bölgelerde takviye oranının birbirine çok yakın olduğu, AlB₂ takviye fazının homojen ve gelişi güzel dağılım sergilediği görülmektedir. Bunun muhtemelen savurma kuvveti ile kalıp dış bölgelerine sürüklenen AlB₂ borür yapılarının viskoziteyi artırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Sıvı alüminyuma göre daha yoğun olan AlB₂ borür yapıları savurma kuvveti etkisi ile kalıp dış bölgelerine doğru sürüklenerek viskoziteyi artırmıştır. Viskozite değeri savurma

kuvvetinin yenemeyeceği değere ulaştığında AlB_2 borür yapıları bu bölgede hapsolmuş ve bu sayede AlB_2 borür yapıları bu bölgelerde belirli bir orada kalmıştır.

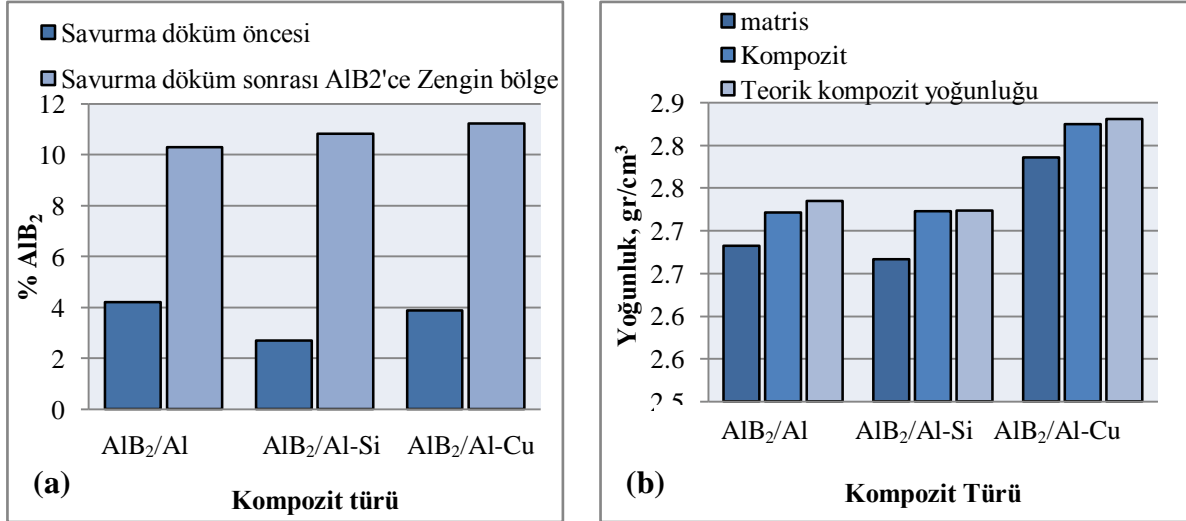


Şekil 5. 9. Savurma döküm numunesinde AlB_2 'ce fakir ve AlB_2 'ce zengin bölgeye ait % AlB_2 takviye oranı değişimi

Benzer şekilde Melgarejo ve arkadaşlarına (Melgarejo, 2008) savurma döküm yöntemi ile derecelendirilmiş AlB_2 takviyeli kompozit üretmeye yönelik olarak yaptıkları çalışmada, % 1, % 2, % 3 ve % 4 bor oranına sahip $AlB_2/Al-Mg$ başlangıç kompozitlerini $850\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 20 G savurma kuvveti ile savurma işlemine almışlardır. Şekil 5.10'de üretilen numunelere ait savurma kuvveti yönünde % AlB_2 takviye oranları verilmiştir. Savurma sonrasında AlB_2 takviye oranlarının savurma yönünde arttığı görülmektedir. Şekilde % 1 bor oranına sahip kompozit dışında ki diğer kompozitlerin hepsinde belirli bir mesafede ani bir % AlB_2 artışı gözlenmiştir. Bu mesafeden sonra artışın neredeyse yok denecek kadar az olduğu görülmektedir.



Şekil 5. 10. Melgarejo ve arkadaşlarına ait savurma yönüne bağlı olarak AlB₂ takviye oranı değişimi (Melgarejo, 2008)



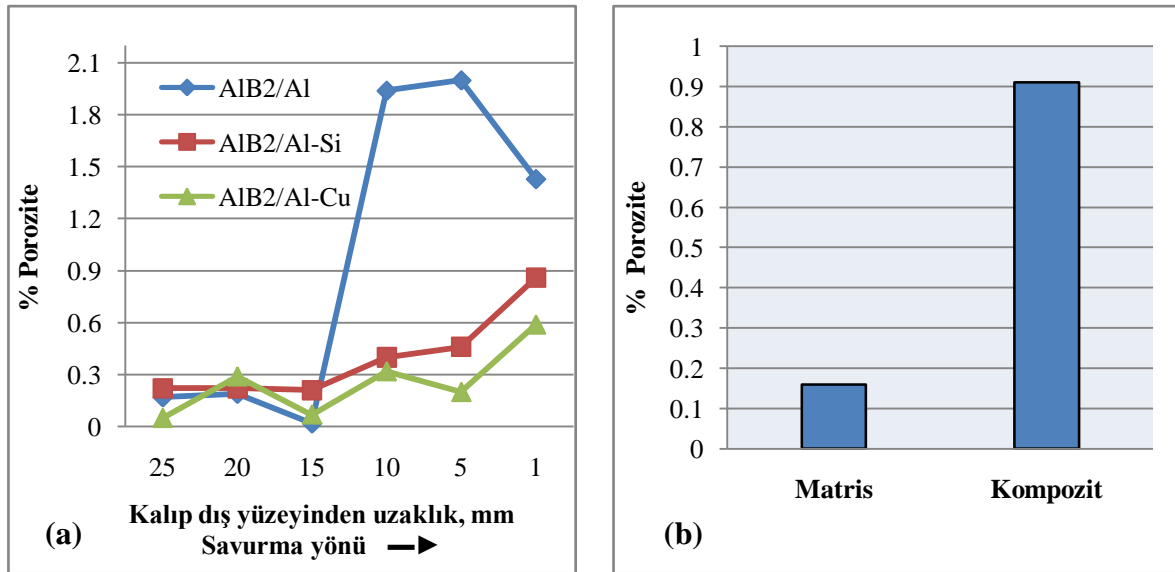
Şekil 5. 11. a) Savurma döküm öncesi ve sonrası kompozit türlerine karşılık % AlB₂ takviye oranı değişimi, b) Savurma döküm yöntemi ile üretilen kompozitlere ait teorik ve gerçek yoğunluk değerleri değişimi

Şekil 5.11a'de AlB₂/Al, AlB₂/Al-Si ve AlB₂/Al-Cu kompozitlerine ait savurma döküm öncesinde ve sonrasında alınan % AlB₂ takviye oranları dikkate alınarak oluşturulmuş grafik verilmiştir. Grafikte savurma işlemi öncesinde % 4'un altında AlB₂ takviye oranına sahip kompozitlerin, savurma işlemi sonrasında AlB₂'ce zengin bölgelerde takviye oranlarının yaklaşık üç kat artışla % 10 seviyesine üstüne çıktığı görülmektedir.

Savurma döküm sonrasında kompozitlerin ve matris alaşımlarının yoğunluk değerlerine bakıldığında, kompozitlerin yoğunluk değerlerinin, matris alaşımlarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun muhtemel nedeni düşük yoğunluğa sahip matris alaşımın içerisinde yer alan (3,17g/cm³ yoğunluğa sahip) AlB₂ borür yapılarının kompozitinin yoğunluğunda artışa neden olmasıdır. Şekil 5.11b'de karışımlar kuralı dikkate alınarak %

AlB₂ oranlarına göre hesaplanan teorik yoğunluk değerinin, gerçek yoğunluk değerleri ile uyumlu olması bu öngörüyü destekler nitelik taşımaktadır. Ayrıca teorik yoğunluk değerleri ile deneysel yoğunluk değerlerinin birbirine yakın seyretmesi yapılan çalışmalarda % AlB₂ ölçümlerinin doğru yapıldığını ve karışımlar kuralı gereği AlB₂ takviyeli kompozitlerin yoğunluk değerlerinin hesaplanabileceğini göstermektedir.

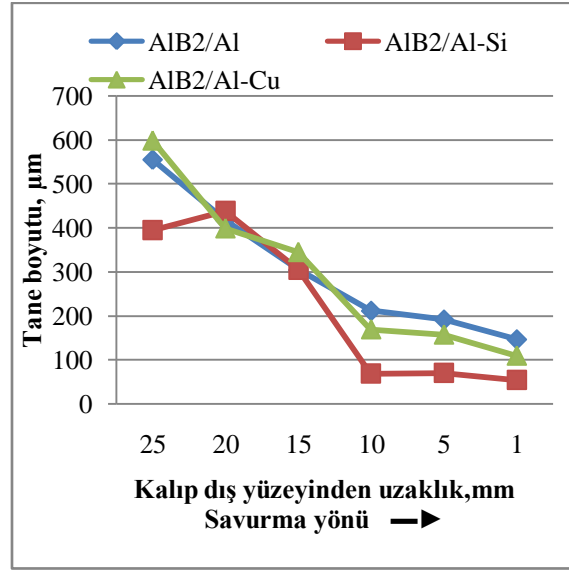
Şekil 5.12a'da savurma döküm yöntemi ile üretilen kompozitler üzerinde savurma yönüne göre % porozite değişimlerine bakıldığında, savurma yönüne bağlı olarak porozite seviyesinin arttığı görülmektedir. Şekilde porozite seviyesinin 15 mm'lik mesafeden sonra (AlB₂'ce zengin bölge) ani bir artışın söz konusu olduğu görülmektedir. Şekil 5.12b'de savurma işlemi sonrasında AlB₂'ce zengin ve fakir bölgelerden alınan ortalama % porozite seviyelerine bakıldığında AlB₂'ce zengin bölgelerde % porozite seviyesinin 8 kat daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun en muhtemel nedeninin AlB₂'ce zengin bölgede viskositenin yüksek olması nedeni ile bu bölgedeki porozite boşluklarının bertaraf edilememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



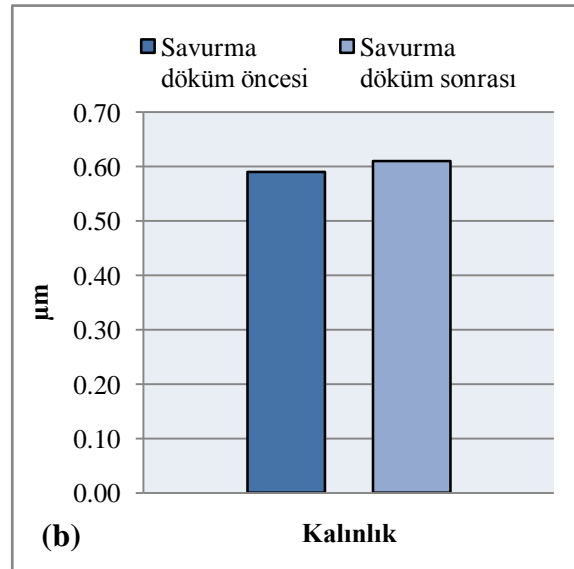
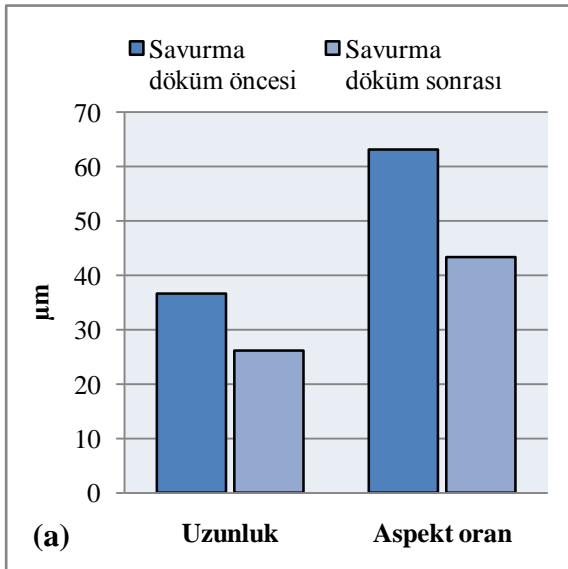
Şekil 5. 12. a) Kalıp dış yüzeyinden iç kısmına doğru belirlenen altı bölgeye ait % mikro porozite değişimi ve b) AlB₂'ce zengin ve AlB₂'ce fakir bölgelere ait ortalama % mikroporozite değişimi

Savurma döküm sonrasında üretilen numuneler üzerinden alına tane boyutlarına bakıldığında, genel olarak savurma döküm yöntemlerinde olduğu gibi kalıp dış kısmından iç kısmına doğru tane boyutlarının yükseldiği görülmektedir. Bunun kalıp dış bölgelerinde soğuma hızının daha yüksek olması ve soğuma hızının kalıp iç bölgelerine doğru azalmasından kaynakladığı

varsayılmaktadır. Şekil 5.13’de kompozitlerinin tane boyut dağılımına dikkatli bakıldığında, AlB_2 ’de zengin bölgelerde(1 ile 10 mm’lik mesafede) tane boyut değişiminin çok düşük olmasına karşılık, AlB_2 ’ce fakir bölgeler (10 ile 25 mm’lik mesafede) daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu nedenle AlB_2 ’ce zengin bölgelerde AlB_2 borür yapılarının tane inceltme mekanizmalarının harekete geçerek bu bölgelerde tane boyutunun olması gerekenden daha düşük seviyede kalmasına neden olmuştur(Nafisi, 2007; Nafisi 2006).



Şekil 5. 13. Kalıp dış yüzeyinden iç kısmına doğru belirlenen altı bölgeye ait ortalama tane boyut değişimi

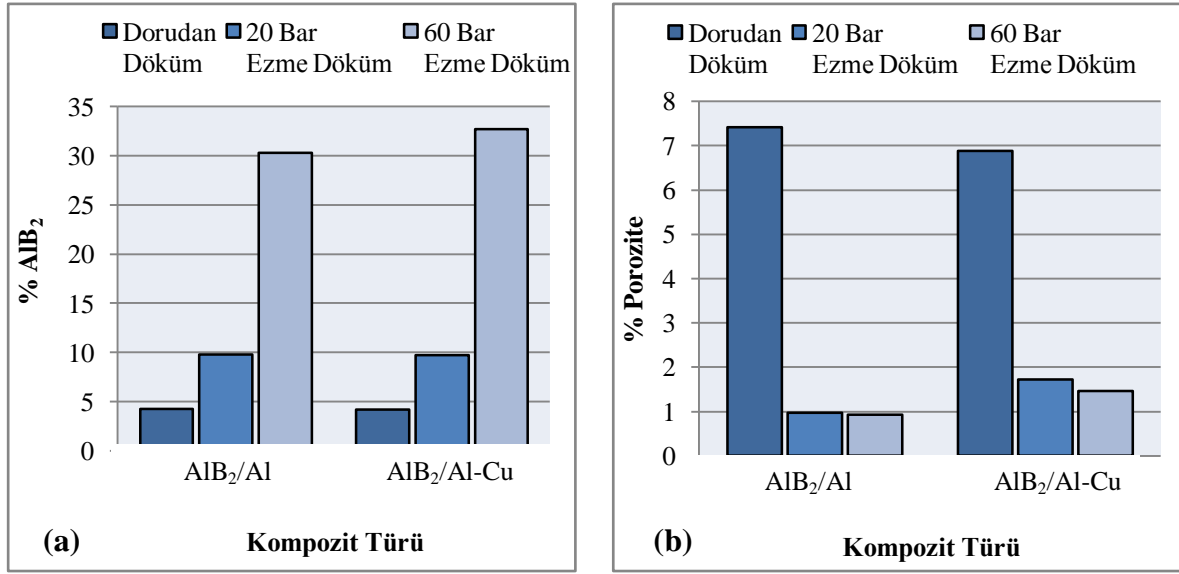


Şekil 5. 14. Savurma döküm yöntemi ile üretilen kompozitlere ait ortalama AlB_2 uzunluk ve aspekt oranları ve b) kalınlık değişimi

Savurma işlemi ile AlB_2 borür yapılarının uzunluk ve aspekt oranlarının değişimine bakıldığında Şekil 5.14b'de savurma işlemi öncesi ve sonrasında AlB_2 borür yapılarının kalınlığında önemli bir değişim gözlenmemiş ve $0,60 \mu m$ seviyesinde kalmıştır. Şekil 5.14a'da görüldüğü gibi doğrudan döküm yöntemi ile $35 \mu m$ seviyesinde olan AlB_2 borür yapılarının genişliği, savurma işlemi ile $25 \mu m$ seviyesine düşmüştür. Buna bağlı olarak 60 değerinin üzerinde olan aspekt oranları savurma sonrasında 40 değerine düşmüştür. Bunun muhtemel nedeninin savurma kuvvetinin etkisi ile geniş AlB_2 borür yapılarının kırılması olduğu düşünülmektedir.

Çalışmada AlB_2 takviye oranlarının artırılmasında savurma döküm yöntemine alternatif olarak ezme döküm yönteminden de faydalanılmıştır. Ezme döküm yöntemi ile AlB_2 takviye oranlarının artırılması, $800 \text{ }^\circ C$ 'de ($AlB_{2(katı)} + Al_{(sıvı)}$ bölgesinde) ergitilen kompozitlerinin kalıba uygulanan basıncın etkisi ile kalıp üzerinde yer alan tahliye kanallarından sıvı matris alaşımının süzülmesi ile sıvı matris içerisinde AlB_2 oranının bu şekilde artırılması sağlanmıştır. Çalışmada $800 \text{ }^\circ C$ 'de 20 ve 60 bar ezme basıncı yardımı ile % 10 ve % 30 AlB_2 takviye içeriğine sahip kompozitler başarı ile üretilmiştir. Benzer bir çalışmada Deppisch (Deppisch, 1997) ve Economy (Hall, 1999) gurubunun ezme döküm yöntemi ile % 10 ve % 20 AlB_2 takviye içeriğine sahip kompozitler ürettiklerini rapor etmişlerdir.

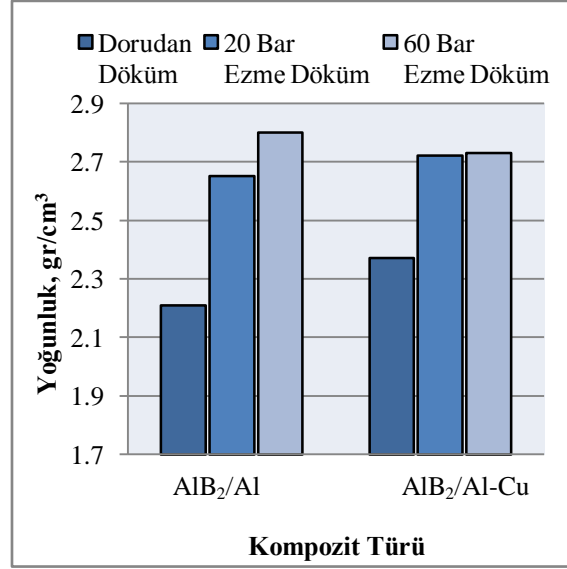
Şekil 5.15a'da doğrudan döküm yöntemi ile, 20 ve 60 Bar ezme basıncı altında üretilen kompozitler ait % AlB_2 oranları verilmiştir. Grafikte yaklaşık % 4 oranında olan AlB_2 borür yapılarının oranının 20 Bar basınç ile 2,5 kat artarak % 10 seviyesine, 60 Bar basınç ile de 8 kat artarak % 30 seviyesinin üzerine çıktığı görülmektedir. Bu sonuçlar takviye oranının artırılmasında ezme döküm yönteminin etkili bir yöntem olduğunu göstermiştir.



Şekil 5. 15. a) Ezme Döküm yöntemi ile üretilen kompozitlere ait ortalama % AlB₂ değişimi ve b) Ezme döküm yöntemi ile üretilen kompozitlere ait ortalama % porozite değişimi

Şekil 5.15b’de ezme döküm yöntemi ile üretilen kompozitlere ait porozite oranlarına bakıldığında, doğrudan üretim yöntemi ile yüksek porozite seviyesine sahip olan kompozitin porozite seviyesinin, uygulanan ezme basıncının artmasına bağlı olarak azaldığı görülmüştür. Çalışmada ezme döküm yöntemi ile porozite seviyesi % 7 seviyesinden, AlB₂/Al kompozitleri için % 1, AlB₂/Al-Cu kompozitleri için ise % 1,5 seviyesine kadar düşürülmüştür. Bunun uygulanan basınca bağlı olarak matris içerisindeki boşlukların tahliye edilmiş olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 5.16’de kompozitler üzerinden alınan yoğunluk değerleri dikkate alınarak çizilen grafikte, kompozitlerin yoğunluk değerlerinin, % porozite oranları ile orantılı bir şekilde değiştiğini görülmektedir. Grafikte, % porozite seviyesinin düşmesine bağlı olarak kompozitlerinin yoğunluk değerlerinin arttığı görülmektedir.

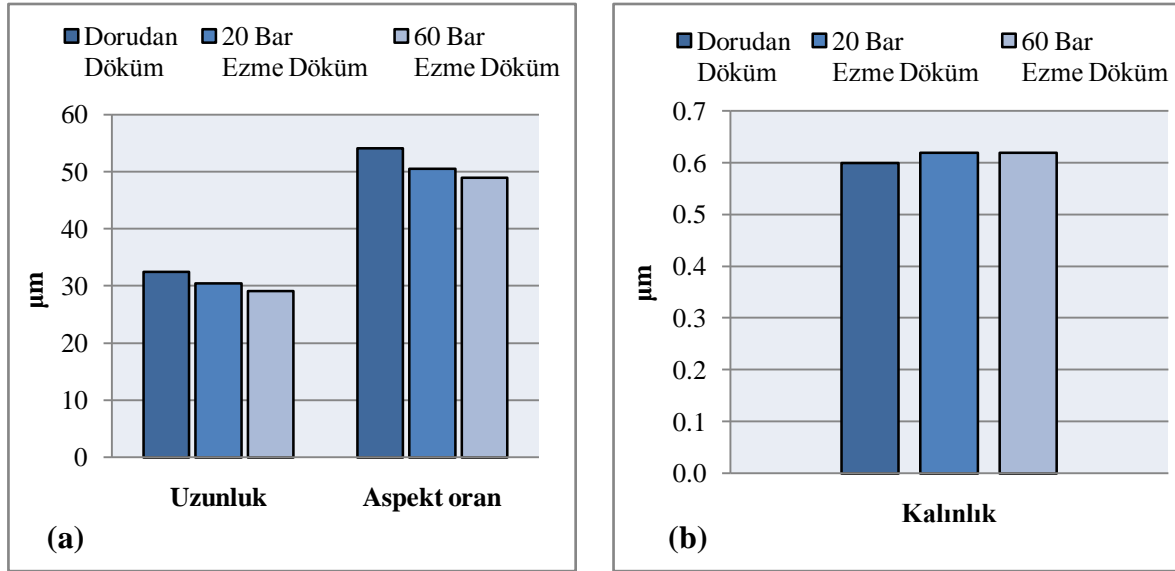


Şekil 5. 16. Ezme döküm yöntemi ile üretilen kompozitlere ait ortalama yoğunluk değişimi

Şekil 4.26a'da görüldüğü gibi 20 bar basınç altında ezme döküm yöntemi ile üretilen kompozitlerde AlB₂ yapılarının rasgele ve homojen bir dağılım sergilediği görülmüştür, 60 bar basınç altında üretilen kompozitlerde ise yapıda süreksizliklerinin mevcut olduğu ve AlB₂ borür yapılarının yer aldığı bölgelerde AlB₁₂ borür yapılarının yer aldığı görülmüştür 60 bar'lık basınç altında üretilen kompozitlerde, Deppisch ve arkadaşlarının (Deppisch, 1997) rapor ettikleri gibi filtreleme işlemi sırasında AlB₂ borür yapılarının homojen bir şekilde filtrelenemeyerek yapıda AlB₂ borür yapılarının dağılımında süreksizliklerin yer aldığı görmüştür. Bunun yanında yapıda görülen AlB₂'ce yoğun bölgelerde AlB₁₂ borür yapılarının gözlenmesinin Al-B faz diyagramından görüleceği üzere AlB₂'ce yoğun bölgelerde % 40,3'lük ötektik kompozisyonun üzerine çıkılarak AlB₂ borür yapılarının bir kısmının AlB₁₂ borür yapılarına dönüşmüş olabilir. Şekil 4.26 ve Şekil 4.27'ye bakıldığında 20 bar basınç altında rastgele yöneliş olan AlB₂ borür yapılarının, 60 bar basınç altında uygulanan basınç yönüne paralel olacak şekilde belirli bir yönelme kazandığı görülmektedir. Bunun muhtemel bir nedeni AlB₂ takviye oranının artması için AlB₂ borür yapıları uygulanan ezme basıncının etkisi ile AlB₂ borür yapılarının basma yönünde istiflenmesidir. Şekil 4.26c'ye bakıldığında AlB₂ takviye oranının % 30 seviyesine çıkarılabilmesi için ister istemez belirli bir yönelim kazanması gerektiği görülmektedir.

Buna benzer bir yöntem ile Deppisch ve arkadaşlarının(Deppisch, 1997) yaptıkları çalışmada AlB₂ takviye oranını % 30 seviyesinin üzerine çıkardıklarını rapor etmişlerdir. Bu çalışmada alınan sonuçlara benzer şekilde % 10 AlB₂ takviye oranına sahip kompozitlerde AlB₂ borür

yapılarının rastgele dağılıma ve mikro yapıda süreksizliklerinin mevcut olduğunu rapor etmişlerdir. Gene bu çalışmada elde edilen sonuçlara benzer şekilde % 20 AlB₂ takviye içeriğine sahip kompozitlerde kısmi olarak AlB₂ borür yapılarının yönlenme kazandığını ve yapıda süreksizliklerin bulunduğu, AlB₂'ce zengin bölgelerde AlB₁₂ borür yapılarının oluştuğunu rapor etmişlerdir.



Şekil 5.17. Ezme Döküm yöntemi ile üretilen kompozitlere ait ortalama uzunluk, kalınlık ve aspekt oranı değişimi

Tablo 5.17’de görüldüğü gibi AlB₂ borür yapılarının genişliklerinin ezme basıncı ile 30 µm seviyesinde iken 20 ve 60 bar basınç altında 30 µm seviyesinin altına düştüğü ve AlB₂ borür yapılarının kalınlıklarında ise önemli bir değişim gözlenmeyerek yaklaşık 0,60 µm’luk bir dağılıma sahip olduğu görülmektedir. Şekil 5.17’den görüleceği üzere ezme döküm yöntemi ile 20 ve 60 bar ezme basıncı altında üretilen kompozitlerin AlB₂ borür yapılarının aspekt oranlarında önemli bir değişim sağlamadığı gözlenmemiş ve AlB₂ yapılarının aspekt oranları yaklaşık 50 seviyesinde kalmıştır.

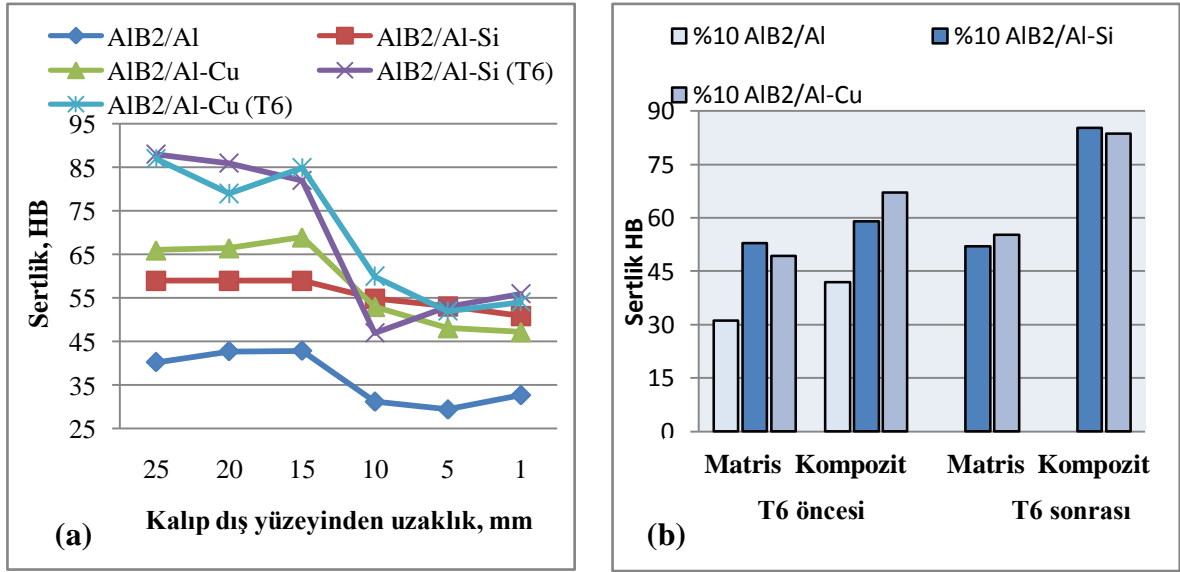
Bu çalışmaya benzer şekilde Deppisch ve arkadaşları (Deppisch, 1997) filtreleme yöntemi ile yaptıkları çalışmada kompozitlerinin takviye içeriklerinin artışına bağlı olarak Tablo 5.3’de görüldüğü gibi AlB₂ takviye fazının genişliklerinin azaldığını rapor etmişler, genişliklerdeki artışın filtreleme basıncı ile uzun AlB₂ borür yapılarının kırılarak AlB₂ borür yapılarının genişliklerinin azalmasına bağlanmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar Tablo 5.3’de görüldüğü gibi Deppisch ve arkadaşlarının aksine, AlB₂ borür yapılarının genişliklerinin 20 ve 60 bar basınç altında genişliklerinin önemli oranda azalmadığını göstermiştir. Bunun

muhtemel nedeni bu çalışmadan üretilen AlB₂ borür yapılarının genişliklerinin yukarıda bahsedilen çalışmada elde edilen borür yapılarına kıyasla daha küçük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 5. 1. Deppisch ve arkadaşlarına (Deppisch 1997) ve deneysel çalışmalara ait AlB₂ takviye oranının bağlı olarak AlB₂ genişlik ve kalınlık değişimleri

Çalışmalar	AlB ₂ Takviye oranı, %	Genişlik, µm	Kalınlık, µm
Bu çalışmaya ait	3	32	0,60
	10	30,41	0,62
	30	29,07	0,62
Deppisch ve arkadaşlarına ait	4	176	3,0
	10	126	3,5
	20	76	4,2

Üretilen kompozitler üzerinden alınan sertlik değerlerine bakıldığında savurma döküm yöntemi ile üretilen kompozitlerde savurma yönüne bağlı olarak sertlik değerlerinin değiştiği görülmüştür. Kompozitin sertlik değerlerinin kalıp dış kısımlarından 10 mm'ye kadar (AlB₂'ce zengin bölgelerde) yüksek seviyede iken, 10 mm'lik mesafeden sonra (AlB₂'ce fakir bölgede) ani bir düşüşe uğradığını görülmüştür. Bu nedeni alüminyum matris içerisine ilave edilen AlB₂ takviye elemanının kompozitin sertlik değerini artırmasıdır.



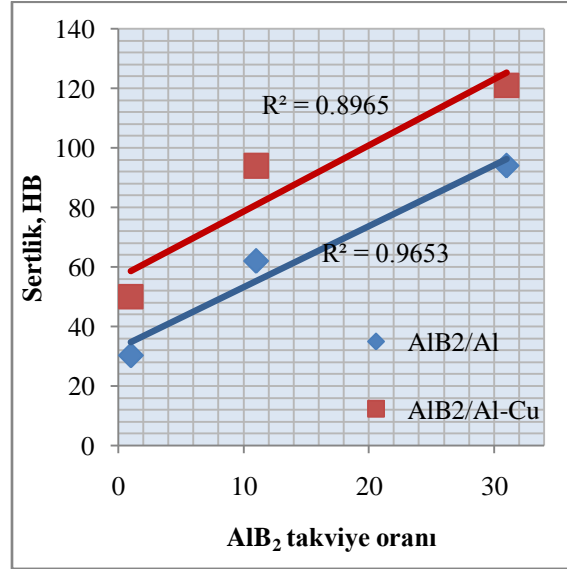
Şekil 5. 18. Kalıp dış yüzeyinden iç yüzeyine doğru belirlenen altı bölgeye ait T6 işlemi öncesi ve sonrası ortalama HB sertlik değişimi

Savurma döküm yöntemi ile üretilen kompozitlerde AlB₂'ce zengin ve fakir bölgelerden oluşan iki farklı bölgenin mevcut olduğu ve bu iki bölgenin birbirinde keskin bir şekilde ayrıldığı vurgulanmıştır. Şekil 5.18a'da sertlik değerleri bunu desteklemektedir. Kompozit olarak tanımlanan % 10 AlB₂ takviye oranına sahip AlB₂'ce zengin bölgelerde HB sertlik değerinin yüksek seviyelerde ve birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir, matris olarak tanımlanan % AlB₂ oranı sıfır değerine yakın olduğu AlB₂'ce fakir bölgelerde ise HB sertlik değerlerinin düşük seviyede ve birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir.

Şekil 5.18b'de savurma döküm sonrasında matris ve kompozit olarak tanımlanan AlB₂'ce fakir ve zengin bölgelerden T6 ısıl işlemi öncesi ve sonrasında alınana ortalama sertlik değerleri görülmektedir. Grafikte % 10 AlB₂ içeriğine sahip kompozitlerinin (AlB₂'ce zengin bölgelerin) sertlik değerlerinin, matris alaşımlarına (AlB₂'ce fakir bölgelere) göre yüksek seviyelerde olduğu görülmektedir. Ayrıca hazırlanan grafikte kompozitin sertlik değeri üzerinde AlB₂ takviye içeriğinin yanında, T6 ısıl işleminin ve matris alaşımının da etkili olduğu görülmektedir. Alınan sonuçlar en yüksek sertlik değerinin silisyum ve bakır katkılı alüminyum matris alaşımı ile üretilen kompozitte T6 ısıl işlemi sonrasında 75 HB sertlik değerinin üstünde olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmadan alınan sonuçlar ezme döküm yöntemi ile AlB₂ takviye içeriği 60 bar basınç altında % 30 değerine kadar yükseltilebildiğini göstermiştir. Şekil 5.19'da ezme döküm sonrasında üretilen kompozitlere sertlik değerleri dikkate alınarak çizilen grafikte, savurma

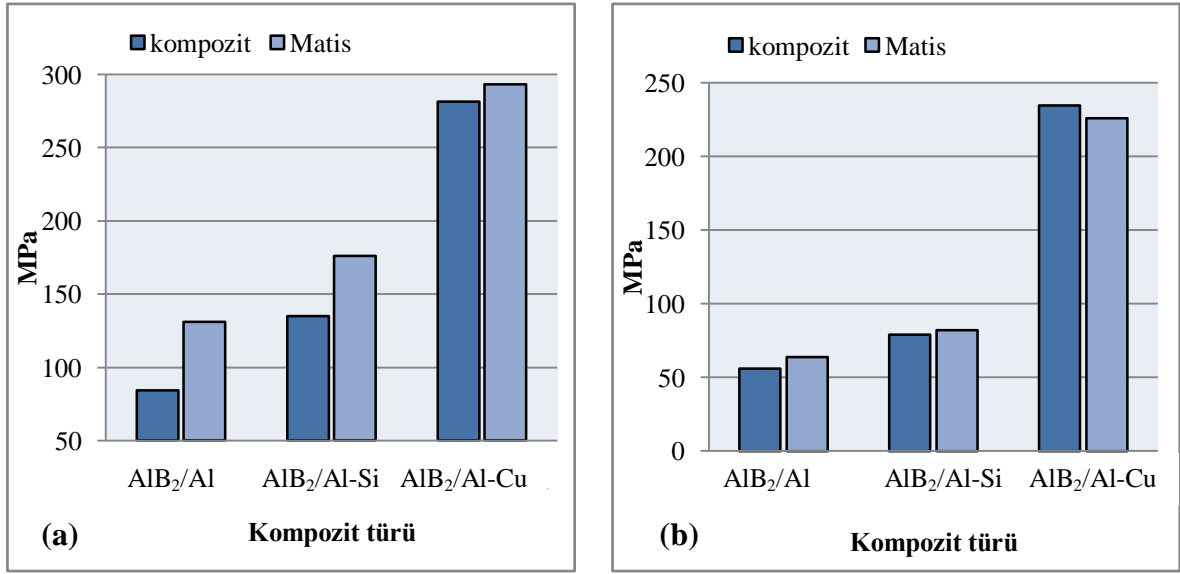
döküm yönteminde olduğu gibi takviye oranının artmasına bağlı olarak, kompozitlerin sertlik değerinin arttığı görülmüştür. Şekil 5.19'da görüleceği üzere ezme döküm yöntemi ile en yüksek sertlik değerinin % 30 AlB_2 /Al-Cu kompozitinde ortalama 120 HB seviyesine çıkmaktadır.



Şekil 5. 19. Ezme döküm yöntemi ile üretilen kompozitlerde takviye oranına bağlı sertlik değişimi

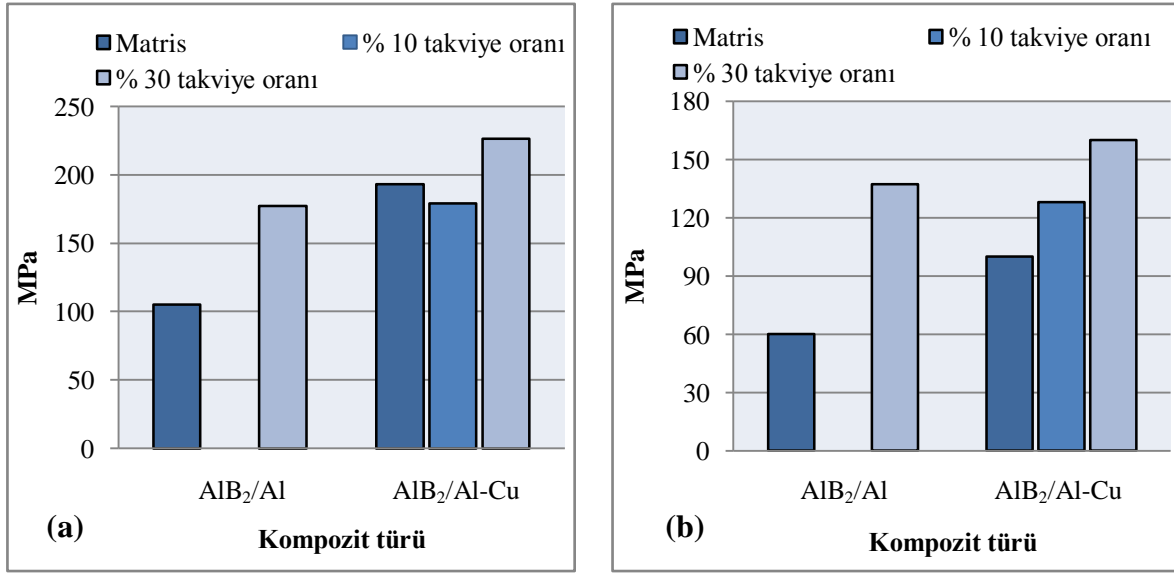
Savurma ve ezme döküm yöntemi ile üretilen % 10 ve % 30 AlB_2 takviye içeriğine sahip kompozitlerde çekme testleri yapılmıştır. Çalışmada doğrudan döküm yöntemi ile üretilen kompozitlerin yüksek oranda porozite içermeleri nedeni ile çekme testlerinde doğru sonuçlar vermediği anlaşıldığından çekme testlerinin sunumunda yalnızca porozite değerleri daha düşük olan savurma ve ezme döküm yöntemi ile üretilen kompozitler dikkate alınmıştır.

Şekil 5.20'de savurma döküm yöntemi ile üretilen AlB_2/Al , $\text{AlB}_2/\text{Al-Si}$ ve $\text{AlB}_2/\text{Al-Cu}$ kompozit ve matris alaşımlarına ait akma ve çekme gerilmeleri verilmiştir. Şekil 5.20a'da kompozitlerinin çekme gerilmelerinin matris alaşımlarına göre daha yüksek seviyelerde seyrettiği görülmektedir. Matris alaşımının da etkili olduğu görülen çekme gerilmelerinde en yüksek çekme gerilmesi $\text{AlB}_2/\text{Al-Cu}$ kompozitinde 300 MPa civarında olduğu görülmüştür. Şekil 20b'de AlB_2/Al ve $\text{AlB}_2/\text{Al-Cu}$ kompozitlerin de akma gerilmesinin matris alaşımlarına göre yüksek seviyelerde olduğu görülmektedir. $\text{AlB}_2/\text{Al-Cu}$ kompozitinde ise akma gerilmesinin matris alaşımına göre düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 5. 20. Savurma döküm yöntemi ile üretilen AIB₂/Al, AIB₂/Al-Si ve AIB₂/Al-Cu kompozit ve matris alaşımlarına ait akma ve çekme gerilimleri

Şekil 4.21’de ezme döküm yöntemi ile üretilen kompozit ve matris alaşımlarına ait akma ve çekme mukavemetleri verilmiştir. Grafiklerde Al matris alaşımına % 30 oranında AIB₂ ilavesi matris alaşımının çekme ve akma mukavemetleri önemli oranda artırmıştır. 100 MPa civarında olan matris alaşımın çekme mukavemeti % 30 AIB₂ ilavesi ile 177 MPa seviyesine yükselmiştir. Al-Cu matris alaşımında AIB₂ takviye oranının artmasına bağlı olarak akma mukavemetleri artmıştır. Al-Cu matrisli kompozitlerde %10 AIB₂ ilavesi matris alaşımının çekme mukavemetini düşürmüş, % 30 AIB₂ ilavesi ile tekrardan yükselişe geçmiştir. Sonuçlar bu çalışmada en yüksek çekme gerilmesinin % 30 AIB₂ takviye oranına sahip AIB₂/Al-Cu kompozitinde 220 MPa elde edildiğini teyit etmiştir.



Şekil 5. 21. Ezme döküm yöntemi ile üretilen AlB₂/Al ve AlB₂/Al-Cu kompozit ve matris alaşımlarına ait akma ve çekme gerilimleri

Kompozit mukavemetinde genel bir kural olan karışımlar kuralı gereği kompozitlerin mekanik özellik matrise ilave edilen takviye elemanın özellik ve oranına bağlı olarak değişmektedir. Genellikle artan takviye içeriğine bağlı olarak kompozitlerinin mekanik özellikleri artmaktadır. Kompozitlerde mekanik özelliklerde bir artışın sağlanabilmesi için matrisi içerisindeki takviye oranının belirli bir kritik değerinin üzerinde olması gerekmektedir(Taya, 1989). Takviye oranının bu değerin altında kalması matris alaşımının mekanik özelliklerini azaltmaktadır. Karışım kuralı gereği bu kritik V_{min} değeri matris alaşımının mekanik özelliğinin artmasına bağlı olarak artmaktadır ve düşük mekanik özelliğe sahip matris alaşımında bu değer daha düşüktür. Şekil 5.20 ve Şekil 5.21’de savurma ve ezme döküm yöntemi ile üretilen % 10 AlB₂ kompozitleri ve matris alaşımlarına ait çekme ve akma gerilmeleri verilmiştir. Grafiklerde AlB₂/Al ve AlB₂/Al-Si kompozitlerinde %10 takviye oranı matris alaşımlarının akma ve çekme mukavemetlerinin arttığı görülmektedir. Bu sonuç, bu tür kompozitlerde kritik V_{min} değerini aştığını göstermektedir. Çekme ve akma gerilmesi daha yüksek seviyede olan Al-Cu matris alaşımında ise bu oran % 10 AlB₂ takviye oranı ile çelişkili sonuçlar vermiştir. Muhtemelen % 10 AlB₂ takviye oranı AlB₂/Al-Cu kompoziti için V_{min} değerinin altında kaldığını göstermektedir. % 30 AlB₂/Al-Cu kompozitinde matris alaşımına göre akma ve çekme gerilmelerinin yüksek seviyede olması % 30 AlB₂ takviye oranı ile bu kritik V_{min} değerinin aştığını göstermektedir.

Genellikle metal matrisli kompozitlerde sünek ve tok matris alaşımı içerisine, daha rijit ve mukavim olan güçlendiriciler ilave edilmektedir. Matrise ilave edilen takviye oranına bağlı olarak kompozitinin % uzama değerleri azalmaktadır. Sonuçlar bu çalışmadan elde edilen kompozitlerde de bu kuralın geçerli olduğunu göstermiştir. Şekil 4.29 ve Şekil 4.30'de ezme ve savurma döküm yöntemi ile üretilen kompozitlerde, AlB_2 ilavesi ile kompozitlerinin % uzama değerlerinin önemli oranda düştüğü görülmektedir.

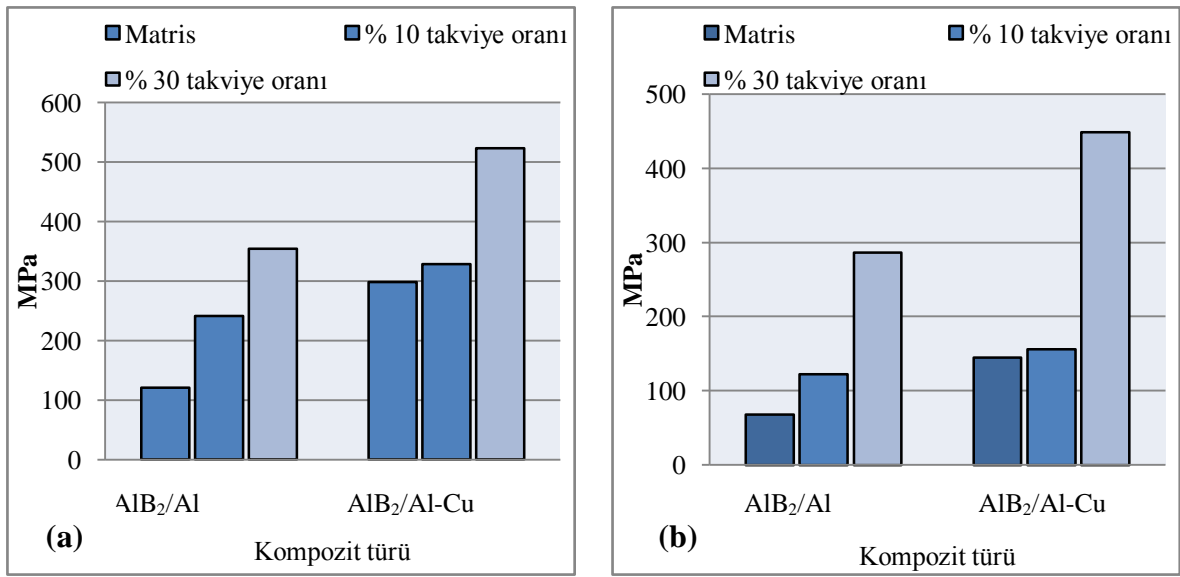
Benzer bir çalışmada Deppisch ve arkadaşları (Deppisch, 1997) ezme döküm yöntemi ile ürettikleri kompozitlere çekme ve basma testleri yapmışlardır. Yaptıkları testlere ait sonuçlar Tablo 5. 2'de verilmiştir. Tabloda kompozitlerin çekme, akma ve elastik modüllerinin artan takviye içeriğine bağlı olarak arttığını rapor etmişlerdir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ile yulardan verilen çalışmadan elde edilen sonuçlar arasında benzerlik vardır. Bu çalışma sonuçlarına benzer şekilde 75 MPa olan matris alaşımın çekme mukavemetinin % 10 AlB_2 takviye oranı ile 128 MPa'a, % 20 AlB_2 takviye oranı ile 131 MPa'a yükseldiği rapor edilmiştir.

Tablo 5. 2. AlB_2/Al -Cu kompozit ve Al -Cu matris alaşımına ait mekanik özellikler (Deppisch, 1997)

Mekanik Özellikler	Al -Cu matris alaşımı	Rastgele yönlendirilmiş %4 AlB_2/Al -Cu	Rastgele yönlendirilmiş %10 AlB_2/Al -Cu	Rastgele yönlendirilmiş %20 AlB_2/Al -Cu	Yönlendirilmiş %20 AlB_2/Al -Cu
Basma, E (Gpa)	69	77	86	97	-
Basma, σ_y (Mpa)	98	123	144	182	-
Çekme, E (Gpa)	68	-	82	94	106
Çekme, σ_y (Mpa)	75	-	115	128	185
Çekme, UTS (Mpa)	97	-	128	131	188
150 °C'de Çekme, UTS (Mpa)	-	-	-	130	-

Şekil 5.22'de yapılan bu çalışmaya ait ezme döküm yöntemi ile üretilen AlB_2/Al ve AlB_2/Al -Cu kompozit ve matris alaşımlarının basma çekme ve akma gerilmesi değerleri verilmiştir. Şekil 5.22'de kompozitlerinin AlB_2 takviye oranlarının artmasıyla bağlı olarak kompozitlerinin çekme ve akma gerilmelerinin arttığı görülmektedir. Grafikte en yüksek basma gerilmesi % 30 AlB_2 takviye oranına sahip AlB_2/Al -Cu kompozitinde 500 MPa'ın üzerinde olduğu

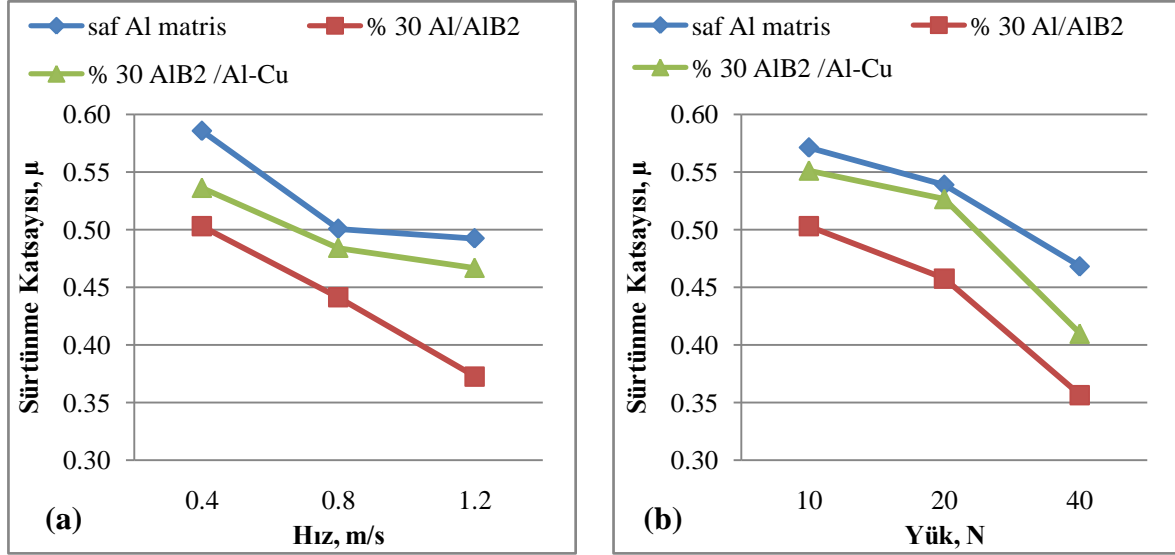
görülmüştür. Akma değeri ise yine % 30 AlB_2 takviye içeriğine sahip $AlB_2/Al-Cu$ kompozitinde 450 MPa civarında tespit edilmiştir. Tablo 5.4’de Deppisch ve arkadaşlarının (Deppisch, 1997) ürettikleri kompozitler üzerinden aldıkları basma elastik modül ve akma gerilmesine bakıldığında artan AlB_2 takviye oranına bağlı olarak kompozitlerin basma elastik modülünün ve akma gerilmesinin arttığı görülmektedir. Yapılan çalışmada 98 MPa olan akma gerilmesine sahip Al-Cu matris alaşımın, % 10 AlB_2 takviye oranı ile 144 MPa’a , % 20 AlB_2 takviye oranı ile 182 MPa’a yükseldiği görülmektedir.



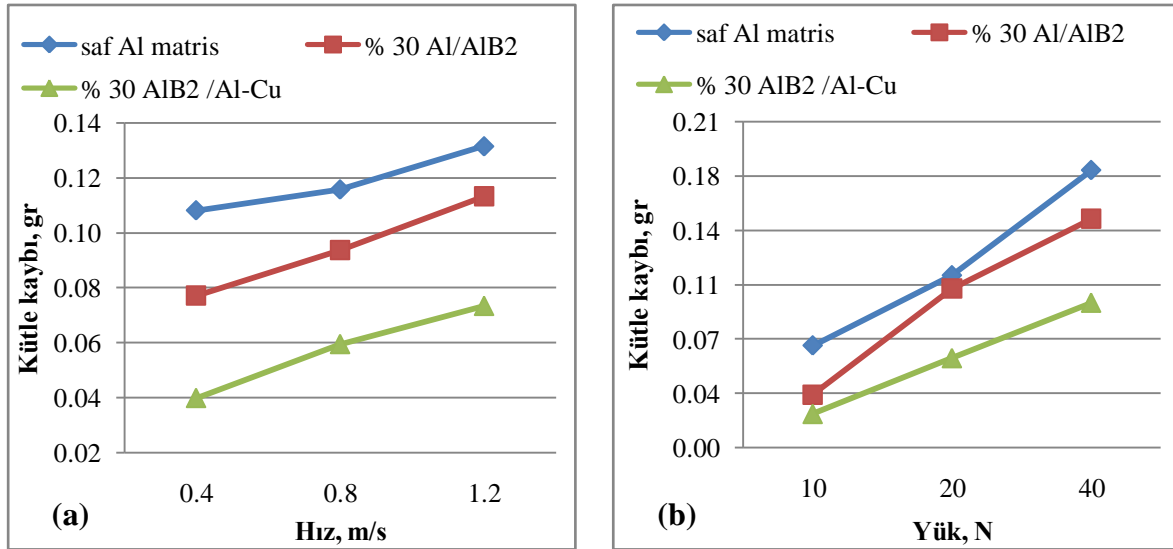
Şekil 5. 22. Ezme döküm yöntemi ile üretilen AlB_2/Al ve $AlB_2/Al-Cu$ kompozit ve matris alaşımlarına ait basma çekme ve akma gerilimleri

Üretilen kompozitlerin aşınma özelliklerinin belirlenmesi amacı ile kompozit ve matris alaşımları farklı aşınma yükü ve aşınma hızında aşınma testlerine tabi tutularak kompozit ve matris alaşımları sürtünme katsayıları ve ağırlık kayıpları bakımından karşılaştırılmıştır. Şekil 5.23 ve Şekil 5.24’de üretilen kompozit ve matris alaşımlarına ait yük ve sürtünme mesafesine bağlı olarak sürtünme katsayıları ve ağırlık kaybı değişimleri verilmiştir. Şekil 5.23’de sürtünme hızı ve yüküne karşılık matris ve kompozitlere ait sürtünme katsayıları görülmektedir. Şekilde aşınma hızının ve aşınma yükünün artmasına karşılık matris ve % 30 AlB_2 kompozitlerinin sürtünme katsayılarının azaldığı görülmektedir. Şekil 5.23a’da aşınma hızının artmasına karşın en yüksek sürtünme katsayısı matris alaşımında iken en düşük sürtünme katsayısı % 30 AlB_2 takviye içeriğine sahip kompozitlerde olduğu görülmektedir. Şekil 5.23b’de uygulanan yükün artmasına karşılık matris ve kompozitlerinin sürtünme katsayılarının arttığı ve en yüksek sürtünme katsayısı yine saf matris alaşımında iken en

düşük aşınma kaybı % 30 AlB₂ takviye oranının sahip AlB₂/Al-Cu kompozitinede yer aldığı görülmektedir.



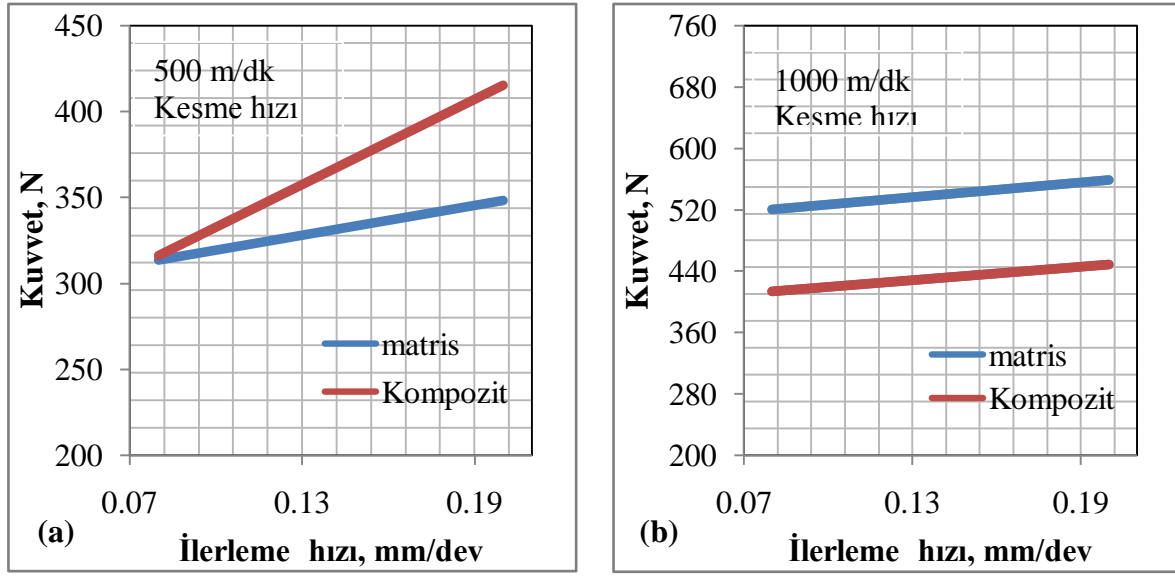
Şekil 5. 23. a) sürtünme hız ve b) sürtünme yükünün artmasına bağlı olarak matris ve kompozitlere ait sürtünme katsayısı değişimleri



Şekil 5. 24. a) sürtünme hız ve b) sürtünme yükünün artmasına bağlı olarak matris ve kompozitlere ait kütle kaybı değişimleri

Şekil 5.24'de Kompozit ve matris alaşımlarının artan sürtünme hız ve sürtünme yüküne karşılık kütle kayıpları görülmektedir. Kompozit ve matris alaşımının artan yük ve artan sürtünme hızına karşılık kütle kayıplarının önemli oranda arttığı görülmektedir. Şekil 5.24a'da saf Al matris alaşımının ağırlık kaybının 0,12 gr civarında ve yüksek olduğu

görülmektedir. Şekilde en düşük ağırlık kaybı ortalama 0,06 gr ile % 30 AlB₂/Al-Cu kompozitinde yer aldığı görülmektedir. Şekil 5.24b'de aşınma yükünün artmasına karşılık kompozit ve matris alaşımının kütle kaybının arttığı görülmektedir. Şekil 2b'de en düşük ağırlık kaybının % 30 AlB₂/Al-Cu kompozitinde iken en yüksek kütle kaybı saf Al matris alaşımına ait olduğu görülmektedir.

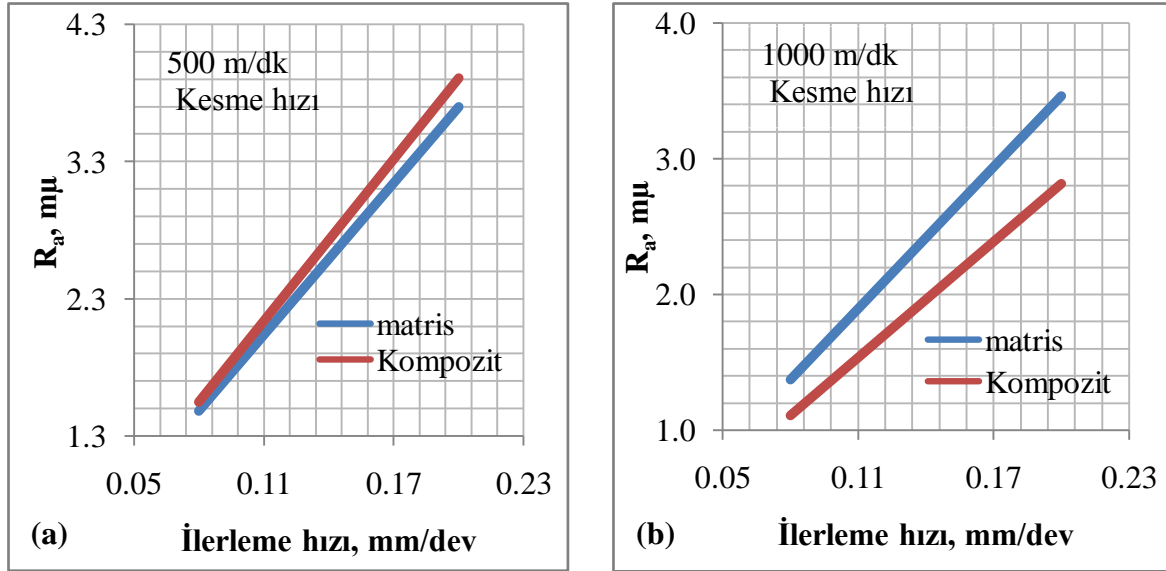


Şekil 5. 25. Matris ve kompozit malzemelerine ait a) 500 m/dk ve b) 1000 m/dk kesme hızında ilerleme hızına karşılık F_z kesme kuvveti değişimi

Bir malzemenin işleme kabiliyeti için birincil derecede önemli özellikler yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleridir. Her iki özelliğinde iş parçası ve işleme tezgahı için düşük seviyede olması istenir. Yapılan çalışmada kompozit ve matris alaşımlarının işleme özelliklerinin belirlenmesi amacı ile % 12 takviye oranına sahip AlB₂/Al-Mg kompoziti ve Al-Mg matris alaşımı üç farklı ilerleme hızı ve iki farklı kesme hızında işlem testine alınmış ve kesme kuvvetleri(F_z) ve yüzey pürüzlülüğü(R_a) açısından karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.25'de matris ve kompozite ait kesme kuvvetleri değişimi verilmiştir. Şekilde matris ve kompozit malzemelerinin ikisi içinde ilerleme hızlarının artmasına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin arttığı görülmektedir. Şekilde kesme hızlarının artmasına bağlı olarak kompozit ve matris alaşımlarının kesme kuvvetlerinin arttığı görülmektedir. Şekil 5.25a ve Şekil 5.25b'de kompozitlerinin işlenmesinde kesme hızlarının artmasına karşılık kesme kuvvetlerinin matris alaşımına göre daha az olduğu görülmektedir. Şekil 5.25a'de 500 m/dk kesme hızında en düşük kesme kuvveti matris alaşımında gözlenirken, Şekil 5.25b'de 1000

m/dk ilerleme hızında en düşük kesme kuvveti kompozit malzemede gözlenmektedir. Şekillerde matris ve kompozitin işlenmesinde en düşük kesme kuvvetinin 0,08 mm/dev ilerleme hızı ve 500 m/dk kesme hızında yaklaşık 320 N seviyesinde olduğu görülmektedir.



Şekil 5. 26. Matris ve kompozit malzemelerine ait a) 500 m/dk ve b) 1000 m/dk kesme hızında ilerleme hızına karşılık R_a değişimi

Şekil 5.26'de üretilen kompozit ve matris alaşımına ait R_a yüzey pürüzlülüğü değişimleri verilmiştir. Şekilde yüzey pürüzlülük değeri R_a 'nın ilerleme hızı ile önemli oranda değişime uğradığı ve en küçük R_a değerine sahip kompozit ve matris alaşımı için ilerleme hızının 0,08 mm/dk seviyesinde olması gerektiği görülmektedir. Şekil 5.26a'da 500 m/dk ilerleme hızında kompozit ve matris alaşımına ait R_a değerlerinin aynı seviyede seyrettiği görülmektedir. Şekil 5.26b'de kesme hızının 1000 m/dk çıkarılması ile kompozitin R_a değerinin matris alaşıma göre düştüğü görülmektedir. Alınan grafikler % 10 AlB_2 takviye içeriğine sahip kompozitlerinin yüzey pürüzlülüğü R_a için işleme performanslarının daha iyi olduğu, yani kompozitlerinin torna ile işlenmesinde, matris alaşımına göre daha düzgün yüzeyler verdiğini göstermektedir.

BÖLÜM 6. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada bor oksit ilavesi ile alüminyum matrisli AlB_2 kompozitinin üretimi ve mekanik özellikleri incelenmiştir. İlk önce farklı bor cevherleri ile AlB_2 borür yapıları in-situ (yerinde reaksiyon) yöntemi ile oluşturulmuş ve AlB_2 borür yapılarının boyutları üzerine etki eden parametreler incelenmiştir. İkinci aşamada doğrudan, savurma ve ezme döküm yöntemleri kullanılarak kompozitlerin AlB_2 takviye oranlarının artırılması üzerinde durulmuştur. Son aşamada ise kompozitlerinin çekme dayanımı, basma dayanımı, setlik, aşınma ve işleme özellikleri irdelenmiştir. Buna göre çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- 1- Bor minerallerinin ilavesi ile AlB_2 kompozitlerinin üretim potansiyellerinin araştırılmasına yönelik olarak yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar bor minerallerinin ilavesi ile AlB_2 kompozitlerinin üretilebileceğini göstermiştir. Ancak, bor oksit ilavesi ile üretilen deney numunesinin diğer bor minerallerine göre düşük aspekt oranlı AlB_2 yapılarına sahip olmalarına rağmen, yüksek % AlB_2 oranı, yüksek yoğunluk, düşük porozite ve düşük alüminyum kaybı gibi özelliklerinden dolayı AlB_2 kompozitlerinin üretimi için daha yüksek üretim potansiyeline sahip olduğu görülmüştür.
- 2- 1400 °C’de bor oksit ilavesi ile yüksek aspekt oranlı AlB_2 yapılarının oluşturulmasına yönelik olarak yapılan çalışmalarda, alüminyum matris alaşımı içerisinde in-situ (yerinde reaksiyon) yöntemi ile yüksek aspekt oranlı AlB_2 borür yapıları oluşturulabilmiştir. Oluşan yüksek aspekt oranlı AlB_2 yapılarının altıgen plaklar şeklinde olduğu ve matris içerisinde homojen dağılıma sahip olduğu görülmüştür.
- 3- AlB_2 borür yapılarının genişlik ve kalınlıkları üzerine etki eden faktörlerinin belirlenmesine yönelik olarak yapılan çalışmalarda, AlB_2 borür yapılarının genişlik ve kalınlıkları üzerinde soğuma hızının, “ $AlB_{2(sıvı)} + Al_{(katı)}$ ” bölgesinde tutma sıcaklık ve tutma zamanının etkili olduğu, alüminyum matris alaşımının ise önemli bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür. Düşük kalınlık ve yüksek genişliğe sahip (yüksek aspekt oranlı) bir AlB_2 borür takviye fazının elde edilmesi için üretim proseslerinde soğuma

hızının yüksek, “ $AlB_{2(sıvı)} + Al_{(katı)}$ ” bölgesinde bekleme sıcaklığının ve bekleme zamanının düşük tutulması gerektiği tespit edilmiştir.

- 4- Doğrudan döküm yöntemi ile AlB_2 kompozitlerinin üretiminde, AlB_{12} borür yapılarının oluşumunun engellenmesi ve yüksek aspekt oranlı AlB_2 borür yapılarının elde edilebilmesi için yüksek sıcaklıktaki Al-B çözeltilisinin hızlı bir şekilde soğutulması peritektik sıcaklığının altına inilmesi gerektiği tespit edilmiştir. Döküm yöntemi ile AlB_{12} yapıları içermeyen ve yüksek aspekt oranlı AlB_2 kompozitlerinin üretimi için su soğutmalı yolluk sisteminin bir alternatif çözüm olabileceği görülmüştür.
- 5- Bor oksit ilavesi ile % AlB_2 takviye oranlarının artırılmasına yönelik olarak yapılan tek adımlı (doğrudan döküm yöntemi ile) üretim yönteminde % AlB_2 oranının en yüksek % 4,5 mertebesine kadar artırılabilirdiği ve AlB_2 takviye oranının üzerinde “matris alaşımı” ve “tutma zamanı” faktörlerinin etkili olduğu görülmüştür. % 4,5 AlB_2 takviye oranı için bor oksidin saf Al matris alaşımı ile 1400’de 180 dakika ısıl işlem alınması gerektiği tespit edilmiştir.
- 6- Yapılan çalışmalarda doğrudan döküm yöntemine alternatif olarak savurma ve ezme döküm yöntemlerinden de faydalanılmıştır. Savurama döküm yöntemi ile takviye içeriği en fazla % 10 seviyesine kadar çıkarılabilirken, ezme döküm yöntemi ile % 30 seviyesinin üzerine çıkarılmıştır. Ezme döküm yönteminde yüksek AlB_2 içeriğine rağmen yapıda gözlenen süreksizlikler ve AlB_{12} borür yapıları bu yöntemi kompozit üretim performansı açısından dezavantajlı hale getirmiştir. Daha düşük takviye içeriğine sahip olan savurma döküm yönteminde, ezme döküm yöntemine nazaran porozite seviyelerinin düşük olması, yoğunluklarının yüksek olması ve AlB_2 borür yapılarının homojen dağılıma sahip olması bu yöntemi AlB_2 kompozitlerinin üretim performansı açısından daha avantajlı hale getirdiği görülmüştür.
- 7- Savurma ve ezme döküm yöntemleri ile takviye içerikleri artırılan kompozitler üzerinde yapılan sertlik ölçümlerinde, kompozitlerinin HB sertlik değerlerinin artan takviye içeriğine bağlı olarak arttığı görülmüştür. Üretilen kompozitlerde sertlik değerlerinin, AlB_2 takviye oranlarının yanında matris alaşımına ve kompozite uygulanan T6 ısıl işleminin de önemli derecede etkili olduğu görülmüştür. Üretilen kompozitler üzerinde en yüksek sertlik ölçümü, % 30 takviye içeriğine sahip Al-Cu matrisli kompozitte T6 ısıl işlemi sonrasında ortalama 120 HB olarak ölçülmüştür.

- 8- Yapılan çekme dayanımı testlerinde kompozitlerin çekme ve akma dayanımlarının matris alaşımlarına göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada savurma yöntemi ile üretilen % 10 AlB₂ takviye oranına sahip kompozitlerde çekme dayanımlarının, Saf Al matrisli kompozitte 84 MPa'dan 131 MPa (% 60 oranında), Al-Si matrisli kompozitinde 135 MPa'dan 176 MPa (% 30 oranında) ve Al-Cu matrisli kompozitinde 281 MPa'dan 293 MPa (% 4 oranında) seviyesine yükseldiği tespit edilmiştir.
- 9- Ezme döküm yöntemi ile üretilen kompozitlerde çekme dayanımlarının % 30 AlB₂ oranı ile saf Al matrisli kompozitlerde 105 MPa'dan 177 MPa'a (% 69 oranında), Al-Cu matrisli kompozitlerde 293MPa'dan 226MPa'a (% 19 oranında) yükseldiği tespit edilmiştir.
- 10- Yapılan basma dayanımı testlerinde artan AlB₂ takviye oranına bağlı olarak kompozitlerin basma-çekme ve basma akma dayanımlarının arttığı tespit edilmiştir. Çalışmada saf al matrisli kompozit için 121 MPa basma-çekme dayanımı % 10 AlB₂ takviye oranı ile 241 MPa (% 99 oranında), % 30 takviye oranı ile 354 MPa (% 193 oranında) yükseldiği görülmüştür. Al-Cu matrisli kompozitte ise 298 MPa olan matris alaşımının basma-çekme dayanımı % 10 AlB₂ takviye oranı ile 329 MPa (% 10 oranında), % 30 AlB₂ takviye oranı ile 523 MPa (% 75 oranında) seviyesine yükseldiği tespit edilmiştir.
- 11- Yapılan basma testlerinde basma-akma gerilmelerinin artan takviye oranına bağlı olarak Saf Al ve Al-Cu matrisli kompozitlerin her ikisinde de artış gözlenmiştir. Saf Al matrisli kompozitte, 68MPa olan matris alaşımının basma-akma gerilmesinin % 10 AlB₂ takviye oranı ile 123 MPa (%80 oranında), % 30 AlB₂ takviye oranı ile 287 MPa'a (% 300 oranında) artış gözlenmiştir. Al-Cu matrisli kompozitte ise 145 MPa olan matris alaşımının basma-akma dayanımı, % 10 AlB₂ takviye oranı ile 156 MPa (% 7 oranında), % 30 AlB₂ takviye oranı ile 449 MPa (% 200 oranında) arttığı tespit edilmiştir.
- 12- Çalışmada kompozit ve matris alaşımının işlenmesinde kesme kuvvetleri açısından önemli farklılıklarının olmadığı görülmüştür. Yapılan kesme kuvveti analizlerinde kompozit ve matris alaşımının her ikisinde de ilerleme ve kesme hızının artmasına bağlı olarak kesme kuvvetinin arttığı görülmüş ve 500 m/dk ilerleme hızında en düşük kesme kuvveti matris alaşımında gözlenirken, 1000 m/dk ilerlem hızında en düşük kesme kuvveti kompozit malzemedeki gözlenmiştir.

- 13- Yüzey pürüzlülüğü R_a açısından kompozit ve matris malzemesi arasında önemli bir farkın söz konusu olmadığı görülmüştür. En düşük R_a yüzey pürüzlülük değerinin 0,08 mm/dev ilerleme hızında ve 1000 m/dk kesme hızında işlenen % 12 AlB_2 takviye oranına sahip kompozitte 1,1 μ olarak tespit edilmiştir.
- 14- Saf Al matris alaşımına % 30 AlB_2 takviye oranının ilavesinin matris alaşımında sürtünme katsayısını iki kat azalttığı görülmüştür. Sürtünme katsayılarının artan yük ve artan aşınma hızına bağlı olarak düştüğü görülmüş ve en düşük sürtünme katsayısı 40 N yük altında, 1,2 m/s sürtünme hızında % 30 AlB_2/Al kompozit malzemede 0,3211 μ olarak tespit edilmiştir. En yüksek sürtünme katsayısı 10 N yük altında, 0,4 m/s sürtünme hızında aşınma testlerine maruz kalan saf Al matris alaşımında 0,6405 μ olarak tespit edilmiştir.
- 15- Çalışmada saf Al ve kompozitlere ait aşınma testlerinde % 30 AlB_2 takviye oranına sahip kompozitlerin aşınma kayıplarının saf matris alaşımına göre yaklaşık 2 kat daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Artan aşınma yükü ve hızına bağlı olarak kompozit ve matris alaşımında ağırlık kaybının önemli oranda arttığı görülmüştür. En yüksek ağırlık kaybı 40 N yük altında 1,2 m/s aşınma hızına maruz kalan saf Al matris alaşımında (0,1986 gr) olduğu, en düşük ağırlık kaybının ise 10 N yük altında ve 0,4 m/s aşınma hızına maruz kalan % 30 $AlB_2/Al-Cu$ kompozit malzemede (0,0162 gr) meydana geldiği tespit edilmiştir.
- 16- Bundan sonraki yapılacak çalışmalarda maksimum düzeyde mekanik özellikler için AlB_2 borür yapılarının aspekt oranlarının mekanik özellikler üzerine etkileri araştırılmalı ve optimize edilmesi önerilmektedir.
- 17- Bundan sonraki yapılacak çalışmalarda AlB_2 borür yapılarında gözlemlenen yönelmenin mekanik özellikler üzerine etkilerinin belirlenmesi önerilmektedir.
- 18- Kompozitlerinin işlem özellikleri farklı takviye oranları için yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri açısından incelenmesi AlB_2 kompozitlerinin işleme özellikleri açısından daha iyi sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Miracle, 2001 D.B. Miracle, Metal Matrix Composites for Space Systems: Current Uses and Future Opportunities, *Composites Science and Technology*, 65 (2001) 2526-2540
- Tjong, 2000 S.C. Tjong, Z.Y. Ma, Microstructural and Mechanical Characteristics of In-situ Metal Matrix Composites, *Materials Science and Engineering*, 29 (2000) 49-113.
- Nafisi, 2007 S. Nafisi, R Ghomashchi, Boron-based Refiners: Implications in conventional casting of Al–Si alloys, *Materials Science and Engineering A* 452–453 (2007) 445–453.
- Nafisi, 2006 S. Nafisi, R. Ghomashchi, Grain Refining of Conventional and Semi-solid A356 Al–Si Alloy, *Journal of Materials Processing Technology* 174 (2006) 371–383.
- Birol, 2006 Y. Birol, An Improved Practice to Manufacture Al–Ti–B Master Alloys by Reacting Halide Salts with Molten Aluminium, *Journal of Alloys and Compounds* 420 (2006) 71–76.
- Birol, 2007 Y. Birol, Production of Al–Ti–B Master Alloys from Ti Sponge and KBF_4 , *Journal of Alloys and Compounds* 440 (2007) 108–112.
- Birol, 2008 Y. Birol, Production of Al–Ti–B Grain Refining Master Alloys from $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ and K_2TiF_6 , *Journal of Alloys and Compounds* 458 (2008) 271–276.
- Cooper, 1997 PS Cooper, MA, Kearns, R Cook, Effects of Residual Transition Metal Impurities on Electrical Conductivity and Grain Refinement of EC Grade Aluminium, The 126th TMS Annual Meeting in Orlando, Florida, February 9–13, 1997.
- Cooper, 1996 Cooper PS, Kearns MA. Removal of transition metal impurities in aluminium melts by boron additives. *Material Science Forum* 1996;217–222:141–6.

- Karabay, 2006 S. Karabay, Modification of AA-6201 alloy for manufacturing of high conductivity and extra high conductivity wires with property of high tensile stress after artificial aging heat treatment for all-aluminium alloy conductors, *Materials and Design* 27 (2006) 821–832.
- Karabay, 2008 S. Karabay, Influence of AlB_2 compound on elimination of incoherent precipitation in artificial aging of wires drawn from redraw rod extruded from billets cast of alloy AA-6101 by vertical direct chill casting, *Materials and Design* ,29 (2008) 1364–1375.
- Wang, 2005 X.Wang, The formation of AlB_2 in an Al–B master alloy, *Journal of Alloys and Compounds* 403 (2005) 283–287.
- Deppisch, 1997 C. Deppisch, G. Liu, J.K. Shang, J. Economy, Processing and Mechanical Properties of AlB_2 flake reinforced Al-alloy composites, *Materials Science and Engineering*, A225 (1997) 153-161.
- Deppisch, 1998 C. Deppisch, G. Liu, A. Hall, Y. Xu, A. Zangvil, J.K. Shang, J. Economy, The crystallization and growth of AlB_2 single crystal flakes in aluminum, *Journal of Materials Research*, 13-12 (1998) 3485-3497.
- Hall, 1999 A.C Hall, Pathways to A Family of Low Cast, High Performance, Metal Matrix Composites Based on AlB_2 in Aluminum, The University of Tulsa, 1999.
- Hall, 2000-A A.C. Hall, J.Economy, The $\text{Al}_L + \text{AlB}_{12} \rightarrow \text{AlB}_2$ peritectic transformation and its role in the formation of high aspect ratio AlB_2 flakes, *Journal of Phase Equilibria*, 21 (2000) 63-69.
- Hall, 2000-B C. Hall, J. Economy. “Preparing high- and low-aspect ratio AlB_2 flakes from borax or boron oxide”. *JOM* 52(2), 42-44. (2000).
- Hall, 2000-C A. C. Hall and J. Economy. “A new discontinuously reinforced aluminum metal matrix composite (MMC): Al + AlB_2 flakes”. *State of the Art in Cast Metal Matrix Composites in the Next Millennium, Proceedings of a Symposium at the 2000 TMS Fall Meeting, St. Louis, MO, United States, Oct. 8-12, 2000.* 273-281. (2000).

- Suarez, 2003 O.M. Suarez, Precipitation hardening of a novel aluminum matrix composite, *Materials Characterization* 49 (2003) 187– 191.
- Duque, 2005 N. B. Duque, Z. H. Melgarejo, O. M. Suarez, Functionally graded aluminum matrix composites produced by centrifugal casting, *Materials Characterization*, 55 (2005) 167– 171.
- Pinto, 2006 Z. H. M. Pinto, Fabrication and characterization of functionally graded Al/AlB₂ matrix composites for high wear aerospace applications using centrifugal casting, master of science, Mechanical Engineering University Of Puerto Rico Mayagüez Campus, 2006.
- Melgarejo, 2006 Z. H. Melgarejo, O. M. Suarez, K. Sridharan, Wear resistance of a functionally-graded aluminum matrix composite, *Scripta Materialia*, 55 (2006) 95–98.
- Melgarejo, 2008 Z. H. Melgarejo, O. M. Suárez, K.Sridharan, Microstructure and properties of functionally graded Al–Mg–B composites fabricated by centrifugal casting, *Composites: Part A* 39 (2008) 1150–1158.
- Calderon, 2004 H. E. Calderon, Efectos de La Deformacion Mecanical Sobre Compuestos de Matriz de Aluminio Tratados Termicamente, Maestro en Ciencias, Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayagüez, 2004.
- Calderon, 2008 H. E. Calderon, O. M. Suarez, Thermomechanical Effects on Aluminum Matrix Composites Reinforced with AlB₂ Particles, *Journal of Composite Materials*, 42 (2008) 2651-2672.
- Kubota, 2004 M. Kubota, J. Kaneko, M. Sugamata, Properties of Al-AlB₂ Materials Processed by Mechanical Alloying and Spark Plasma Sintering, *materials forum*, 28 (2004) 1365-1370.
- Kubota, 2008 M.Kubota, J. Kaneko, M. Sugamata, Properties of mechanically milled and spark plasma sintered Al–AlB₂ and Al–MgB₂ nano-composite materials, *Materials Science and Engineering A* 475 (2008) 96–100.
- Duschanek, 1994 H. Duschanek and P. Rogl, The Al-B (Aluminum-Boron) System, *Journal of Phase Equilibria*, 15 (1994) 543.

- Serebryauskli, 1961 V.T. Serebryanskil, V. Epelbaum, Phase Diagram of the Aluminum-Boron system, 12 (1961) 748-750.
- Carlson, 1990 O.N. Carlson, Bull, Alloy Phase Diagrams, 11-6 (1990) 560-566.
- Mirkovic, 2004 D. Mirkovic, J. Gröbner, R. Schmid-Fetzer, O. Fabrichnaya, H. L. Lukas, Experimental study and thermodynamic re-assessment of the Al-B system, J. Alloys Compds., 384 (2004)168–174
- Fjellstedt, 2001 J. Fjellstedt, A.E.W. Jarfors, T. El-Benawy, Experimental investigation and thermodynamic assessment of the Al-rich side of the Al-B system, Materials and Design 22Ž2001.443-449.
- Campbell, 1999 C.E. Campbell, U.R. Kattner, A Thermodynamic Assessment of the Ni-Al-B System, Journal of Phase Equilibria, 20 (1999) 485-496.
- Brinkman, 1997 H.J. Brinkman, J. Duszczyk and L. Katgerman ,In-situ formation of TiB₂ in a P/M aluminum matrix, Scripta materialia, 37 (1997) 293-297.
- Loa, 2002 I. Loa, K. Kunc, K. Syassen, Crystal structure and lattice dynamics of AlB₂ under pressure and implications for MgB₂, Physical Review, B 66, 134101 (2002).
- Higashi, 2000 I. Higashi, Crystal Chemistry of α -AlB₁₂ and γ -AlB₁₂, Journal of Solid State Chemistry 154 (2000) 168-176.
- Rohatgi, 2001 P. Rohatgi, Cast Metal Matrix Compozites: Past, Present ve Future, American Foundry Society, Silver Anniversary Paper, Div. 2. AFS Transactions, 01-133 (2001) 1-25.
- İdiz, 1999 S. İdiz , Deney tasarımı ve Taguchi Metodu Ürün ve Proseslerinin Optimizasyonu, Federal Mogul Yayınlar, Maşukiye, Şubat 1999.
- Ferhan, 2003 M. Ferhan, Çok Yanıtlı Taguchi Tasarım metodu ve Alüminyum Sanayinde Bir Uygulama, Sakarya Üniversitesi, Haziran 2003.

- Ross, 1988 P. J. Ross , Taguchi Techniques for Quality Engineerin, McGraw – Hill, Newyork, 1988.
- Taguchi, 1989 T. Taguchi ,E. Elsayed, T. Hsiangt, Quality Engineering In Production Systems, McGraw-Hill International Editions,Engineering Series,1989.
- Lochner, 1990 R. H. Lochner, J. E. Matar, Designing For Quality “ An Introduction To The Best Of Taguchi And Western Methods Of Statistical Experimental Design, Chapman And Hall, London, Newyork, Tokyo, Melbourne, Madras, 1990.

TÜBİTAK

PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No: 107M023
Proje Başlığı: “ İn-situ reaksiyon ile AlB ₂ Takviyeli Metal Matrisli Kompozitlerin Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması”
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Doç.Dr.Ramazan KAYIKCI (Yürütücü) Doç.Dr.Adem DEMİR (Araştırmacı) Doç.Dr.Sakıp KÖKSAL (Araştırmacı)
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Esentepe Kampüsü, Serdivan-Sakarya
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi:
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 01.09.2007-28.02.2010
Öz (en çok 70 kelime) Bu çalışma alüminyum ana yapılı AlB ₂ takviyeli metal matris kompozitlerin döküm yöntemi ile üretimi ve mekanik özelliklerinin incelenmesine yönelik bir proje çalışmasıdır. Çalışmada çeşitli bor cevherlerinin ilavesi ile alüminyum matrisleri içerisinde AlB ₂ borür takviye yapılarının oluşturulması ve doğrudan döküm yöntemi ile Al-AlB ₂ türü metal matrisli kompozit üretimini amaçlayan yeni bir yöntem kullanılmıştır. Döküm yöntemi olarak, gravite döküm, savurma döküm ve ezme döküm yöntemlerinden faydalanılmıştır.
Anahtar Kelimeler: Metal matrisli kompozitler, İn-situ kompozitler, Alüminyum borür, AlB ₂ , Al-B alaşımı, Bor, Bor oksit.
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu mu? Evet Gerekli Değil X

Fikri Ürün Bildirim Formu'nun tesliminden sonra 3 ay içerisinde patent başvurusu yapılmalıdır.

Projeden Yapılan Yayınlar:

1. "Bor Oksit İlavesi ile Sentezlenen Borür Takviyeli Alüminyum Matrisli Döküm Kompozit Üretiminin İncelenmesi", 17-18 Nisan 2008 Tarihlerinde Ankara'da düzenlenen 2. Ulusal Bor Çalıştayında sözlü olarak sunuldu.
2. "AlB₂ Takviyeli Alüminyum Metal Matrisli Kompozitlerin Üretilirliği ve Döküm Sıcaklığının Takviye Fazı Üzerine Etkisinin İncelenmesi" Ramazan Kayıkcı, Ömer Savaş ve Osman Kurtuluş, 12th International Materials Symposium (IMSP 2008), 15-17 Ekim 2008, Denizli. (Sözlü olarak sunuldu).
3. "Use of Taguchi's method to investigate the variation of Boride Structures in an in-situ Al/AlB₂ composite", 15th International Conference on Composite Structures (ICCS15), 15-17 June 2009, Porto, Portugal, (Sözlü olarak sunuldu).
4. "Fabrication of functionally graded Al/AlB₂ composite by centrifugal casting" 15th International Conference on Composite Structures (ICCS15), 15-17 June 2009, Porto, Portugal, Sözlü olarak sunuldu).
5. "The Effect of the Ratio of Reinforcement on the Wear Behaviour of in-situ Fabricated Al/AlB₂ Composites. 15th International Conference on Composite Structures (ICCS15), 15-17 June 2009, Porto, Portugal, (Sözlü olarak sunuldu).
6. "Bor Oksit ilavesi ile AlB₂/Al Kompozitlerin Üretiminin İncelenmesi", 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (İATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye, (Sözlü olarak sunuldu).
7. "Application of Taguchi method to investigate the effect of some factors on in-situ formed flake structures of Al/AlB₂ composite", Ramazan Kayıkcı, Ömer Savaş, Sakip Köksal. (Manuscript Journal of Composite Structure, Elsevier, dergisine gönderildi, hakem değerlendirmesi aşamasında).
8. "The Effect of reinforcement rate on wear behaviours of Al-AlB₂ flake composites produced via an in-situ method", Ramazan Kayıkcı, Osman Kurtuluş, Adem Demir. (Manuscript Journal of Composite Structure, Elsevier, dergisine gönderildi, hakem değerlendirmesi aşamasında).
9. Doktora Tezi, Ömer SAVAŞ, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsüne Sunuldu, Nisan 2010.
10. Doktora Tezi, Osman KURTULUŞ, Yazım Aşamasında.