

**KARMA TAKVİYELİ (Al/B<sub>4</sub>C-GR) ALÜMİNYUM  
MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN SICAK PRESLEME  
YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ MEKANİK ÖZELLİKLERİ  
VE İŞLENEBİLİRLİĞİ**

**2015  
DOKTORA TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**Engin NAS**

**KARMA TAKVİYELİ (Al/B<sub>4</sub>C-Ni(K)GR) ALÜMİNYUM MATRİSLİ  
KOMPOZİTLERİN SICAK PRESLEME YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ  
MEKANİK ÖZELLİKLERİ VE İŞLENEBİLİRLİĞİ**

**Engin NAS**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makina Mühendisliği Anabilim Dalında  
Doktora Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Haziran 2015**

Engin NAS tarafından hazırlanan “KARMA TAKVİYELİ (Al/B<sub>4</sub>C–Ni(K)GR) ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN SICAK PRESLEME YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ MEKANİK ÖZELLİKLERİ VE İŞLENEBİLİRLİĞİ” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hasan GÖKKAYA

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. 26/06/2015

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Muammer NALBANT (GÜ)



Üye : Prof. Dr. Hasan GÖKKAYA (KBÜ)



Üye : Prof. Dr. İlyas UYGUR (DÜ)



Üye : Doç.. Dr. Cevdet GÖLOĞLU (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Gökhan SUR (KBÜ)



...../...../2015

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

.....

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

Engin NAS

## ÖZET

**Doktora Tezi**

### **KARMA TAKVİYELİ (Al/B<sub>4</sub>C–Ni(K)GR) ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN SICAK PRESLEME YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ MEKANİK ÖZELLİKLERİ VE İŞLENEBİLİRLİĞİ**

**Engin NAS**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Hasan GÖKKAYA**

**Haziran 2015, 185 sayfa**

Bu çalışmada, endüstriyel alanda gittikçe yaygınlaşan karma takviyeli metal matrisli kompozit (MMK) malzemelerin üretilmesinde karşılaşılan sorunları enaza indirmek, üretimi gerçekleştirilen karma takviyeli MMK malzemelerin içerisinde ağırlıkça farklı oranlarda bulunan nikel kaplı grafitin mekanik özellikleri (sertlik, üç nokta eğme ve aşınma) ve işlenebilirlik üzerine etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışmada, matris elemanı olarak ikincil metalurji işlemler (yaşlandırma) ile dayanım özellikleri geliştirilen alüminyum alaşımı Alumix 13, takviye elemanları olarak ise bor karbür (B<sub>4</sub>C) ve üzeri nikel kaplı grafit (Ni(K)Gr) kullanılmıştır. Takviye elemanı olan B<sub>4</sub>C ağırlıkça % 8 oranda sabit tutulup yapı içerisine ağırlıkça % 0, % 3, % 5 ve % 7 oranında ilave edilen diğer bir takviye elemanı üzeri Ni(K)Gr kullanılarak dört farklı karma takviyeli MMK malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Tornalama deneyleri

dört farklı kesme hızı (100, 140, 180 ve 220 m/dak), üç farklı ilerleme miktarında (0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev), sabit kesme derinliği (0,5 mm) ve kuru işleme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Üretilen karma takviyeli MMK malzemelerin aşınma deneyleri ASTM: G99'a göre kuru kayma şartları altında, sabit kayma hızında (0,8 m/s), dört farklı yük ile (10, 20, 30 ve 40 N) ve dört farklı yol (300, 600, 900 ve 1200 m) kat edilerek Pin-on disk aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü ve yığıntı talaş oluşumlarına göre bütün karma takviyeli MMK malzemelerde kesme hızı arttıkça ortalama yüzey pürüzlülük değerinin ve yığıntı talaş oluşumunun azaldığı, ilerleme miktarının artması ile ortalama yüzey pürüzlülük değerinin ve yığıntı talaş oluşumunun arttığı tespit edilmiştir. En iyi ortalama yüzey pürüzlülük değeri olan 1,03  $\mu\text{m}$  0,1 mm/dev ilerleme miktarında ve 220 m/dak kesme hızında K<sub>4</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemede, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değeri olan 2,67  $\mu\text{m}$  ise 0,2 mm/ dev ilerleme miktarında 100 m/dak kesme hızında K<sub>1</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemede elde edilmiştir. En düşük yığıntı talaş değeri 0,1 mm/dev ilerleme miktarında ve 220 m/dak kesme hızında K<sub>4</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemede 0,065 mm, en yüksek yığıntı talaş değeri 100 m/dak kesme hızında K<sub>1</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemede 0,279 mm olarak elde edilmiştir. Aşınma deneylerinde en düşük aşınma değeri K<sub>1</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemede 10 N yük altında 300 m kayma mesafesinde 0,0010 g, en yüksek aşınma kaybı ise 40 N yük altında 1200 m kayma mesafesinde 0,0152 g elde edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler** : Toz metalurjisi (TM), sıcak presleme (SP), metal matrisli kompozit (MMK), işlenebilirlik, mekanik özellikler.

**Bilim Kodu** : 914.3.028

## **ABSTRACT**

**Ph. D. Thesis**

### **PRODUCTION OF HYBRID REINFORCED (Al/B<sub>4</sub>C/Ni(K)GR) ALUMINIUM MATRIX COMPOSITES BY HOT PRESSING METHOD AND THEIR MECHANICAL FEATURES AND MACHINABILITY**

**Engin NAS**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Hasan GÖKKAYA**

**June 2015, 185 pages**

In this study, to be able to decrease the problems encountered while producing the hybrid reinforced composite materials which are widely used in industrial area, we investigated the mechanical features (hardness, three-point bending and wearing) of nickel coated graphite (Ni(K)Gr) included in of hybrid reinforced composite materials in different ratios and its effects on the machinability. In the experimental study, alumix 13, aluminum alloy whose strength has been improved via secondary metallurgical processes (aging), was used as a matrix material. In addition, boron carbide (B<sub>4</sub>C) and Ni(K)Gr were used as reinforcing materials. Four different types of hybrid reinforced composite materials were produced by keeping B<sub>4</sub>C, the reinforcing material, at a constant 8% by weight and with the addition of 0 %, 3 %, 5 % and 7 % Ni(K)Gr (by wt) into the structure. Turning experiments were carried out

at four different cutting speeds (100, 140, 180, 220 m/min), three different feed rates (0,1, 0,15, 0,20 mm/rev), fixed cutting depth (0,5 mm) and under dry cutting conditions. The wearing experiments of the hybrid reinforced composite materials, which had been produced, were carried out at a fixed dry sliding speed (0,8 m/s), with four different loads (10, 20, 30 and 40 N), under dry sliding conditions and by getting over four different ways (300, 600, 900 and 1200 m) on a pin-on disc testing machine according to ASTM:G99. According to obtained average surface roughness and built-up edge (BUE) formations, it was seen that with all the hybrid reinforced composite materials, while the cutting speed increases, the surface roughness value and the amount of BUE formation decrease, and while the feed rate increases, the surface roughness value and the amount of BUE formation increase. The lowest surface roughness value was 1,03  $\mu\text{m}$  with the hybrid reinforced composite material coded as  $K_4$  at 0,1 mm/rev feed rate and 220 mm/min cutting speed. The highest surface roughness value was 2,37  $\mu\text{m}$  with the hybrid reinforced composite material coded as  $K_1$  at 0,2 mm/rev feed rate and 100 mm/min cutting speed. The lowest BUE value was 0,065 mm with the hybrid reinforced composite material coded as  $K_4$  at 0,1 mm/rev feed rate and 220 mm/min cutting speed. The highest BUE value was 0,279 mm with the hybrid reinforced composite material coded as  $K_1$  at 100 mm/min cutting speed. In the wearing experiment, the lowest wearing loss was 0,0010 g with the hybrid reinforced composite material coded as  $K_1$  under 10 N load and in 300 m sliding distance and the highest wearing loss was 0,0152 g under 40 N load and in 1200 m sliding distance.

**Key Words** : Powder metallurgy (PM), hot pressing (HP), metal matrix composite (MMC), machinability, mechanical properties.

**Science Code** : 914.3.028



## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmamın planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren ve mesleğimde kendime model aldığım kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Hasan GÖKKAYA' ya en içten teşekkürlerimi sunarım. Çalıőmam boyunca bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen Yrd.Doç.Dr Ergün EKİCİ, Yrd.Doç.Dr Gökhan SUR, okutman Gökhan ÇETİNKAYA hocalarıma ve Cumayeri Meslek Yüksekokulunda bulunan mesai arkadaşlarıma yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemde büyük emeği olan kıymetli annem Raziye NAS, değerli babam Nurettin NAS ve sevgili kardeőlerime, tez çalıőmam boyunca desteğini hiç bir zaman esirgemeyen kıymetli eőim őennur NAS ve sevgili kızım Nureőőan NAS' a sonsuz sevgi ve őükranlarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
KABUL.....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xx
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xxiii
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 .....	6
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	6
2.1. SICAK PRESLEME TEKNİĞİ KULLANILARAK ÜRETİLEN METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	7
2.2. SICAK PRESLEME TEKNİĞİ KULLANILARAK ÜRETİLEN METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN LİTERATÜR ÇALIŞMASININ GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ.....	27
2.3. METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN İŞLENEBİLİRLİKLERİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	29
2.4. METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN İŞLENEBİLİRLİĞİ ÜZERİNE YAPILAN LİTERATÜR ÇALIŞMASININ GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ.....	54
BÖLÜM 3 .....	56
METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEME ÜRETİM YÖNTEMLERİ .....	56
3.1. KATI FAZ ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	58
3.1.1. Toz Metalurjisi Üretim Yöntemi .....	58
3.1.2. Difüzyon Bağı Yöntemi.....	59

3.1.2.1. Sabit Sıcaklık ve Basınç Altında (İzostatik) Presleme .....	60
3.1.2.2. Sıcak ve Soğuk Haddelme İle Difüzyonlu Birleştirme Metodu....	61
3.2. SIVI FAZ ÜRETİM YÖNTEMLERİ .....	62
3.2.1. Ergimiş Metal Karıştırma Yöntemi .....	62
3.2.2. Sıvı Metal İnfiltrasyon .....	63
3.2.3. Vakum İnfiltrasyon .....	63
3.2.4. Basınçlı İnfiltrasyon .....	64
3.2.5. Atomizasyon (Sprey) Döküm Yöntemi .....	66
3.2.6. Sıkıştırma Döküm Yöntemi .....	67
3.2.7. Plazma Püskürtme Yöntemi .....	68
3.2.8. Sıvı Metal Karıştırma .....	68
3.2.9. Vortex Yöntemi .....	69
3.2.10. Savurmalı (Santrifüj) Atomizasyon Yöntemi .....	70
3.3. DİĞER YÖNTEMLER .....	71
3.3.1. Yarı Katı Karıştırma Yöntemi .....	71
3.3.2. Vidalı Ekstrüzyon .....	72
3.3.3. Reaksiyon (In Situ) Üretim Yöntemleri .....	72
3.3.4. Exzotermik Dispersiyon (XD) Üretim Yöntemi .....	73
BÖLÜM 4 .....	74
MATERYAL VE METOD .....	74
4.1. KARMA TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİNDE KULLANILAN MATRİS (ANA FAZ) MALZEMESİ.....	74
4.2. TAKVİYE ELEMANLARI VE ÖZELLİKLERİ .....	75
4.2.1. Bor Karbür (B <sub>4</sub> C).....	76
4.2.2. Nikel Kaplı Grafit (Ni(K)Gr) Parçacıklar.....	76
4.3. KARMA TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİMİNDE KULLANILAN MAKİNA VE TEÇHİZATLAR .....	77
4.3.1. Kalıp Sisteminin Hazırlanması .....	77
4.3.2. Isıtma Sistemi .....	80
4.3.3. Pres Tezgâhı.....	80
4.3.4. Yoğunluk Ölçüm Cihazı .....	81
4.3.5. Karıştırma Cihazı.....	82

	<b>Sayfa</b>
4.3.6. Kalıp Seti Ana Gövdesinin Hazırlanması.....	83
4.4. KARMA TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN SICAK PRESLEME TEKNİĞİ KULLANARAK ÜRETİMLERİ.....	83
4.4.1. Karma Takviyeli Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Ağırlıkça % Karışım Oranları .....	84
4.4.2. Tozların Hazırlanması .....	85
4.4.3. Karma Takviyeli Metal Matrisli Kompozit Malzeme Üretimleri.....	85
4.5. METALOGRAFİK İNCELEME YÖNTEM VE CİHAZLARI .....	86
4.5.1. Bakalite Alma Cihazı.....	86
4.5.2. Zımparalama ve Parlatma Cihazı.....	87
4.5.3. Optik Mikroskop.....	88
4.5.4. Tarama Elektron Mikroskop.....	90
4.5.6. Sertlik Ölçümü.....	91
4.5.7. Üç Nokta Eğme Testi.....	91
4.6. İŞLENEBİLİRLİK DENEYLERİ.....	92
4.6.1. Kesici Takım ve Takım Tutucu .....	93
4.6.2. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı .....	94
4.7. İŞLENEBİLİRLİK DENEYLERİNDE KULLANILAN KESME PARAMETRELERİ.....	95
4.8. AŞINMA DENEYLERİ.....	95
4.8.1. Aşınma Parametreleri .....	96
BÖLÜM 5 .....	97
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	97
5.1. GİRİŞ.....	97
5.2. METALOGRAFİK İNCELEMELER.....	97
5.2.1. Optik Mikroskop Görüntüsü.....	97
5.2.2. Tarama Elektron Mikroskop Görüntüsü.....	99
5.3. KARMA TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ.....	102
5.3.1. Karma Takviyeli Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Sertlik Değerleri.....	102
5.3.2. Üç Nokta Eğilme Testi .....	103
5.3.3. Yoğunluk .....	105

	<b><u>Sayfa</u></b>
5.4. KARMA TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN AŞINMA DENEYLERİ .....	107
5.4.1. Materyal Metot .....	107
5.4.2. Aşınma Numunelerinin Hazırlanması .....	107
5.4.3. Karma Takviyeli Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Aşınma Davranışları .....	108
5.4.4. Karma Takviye Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Aşınma Yüzeylerinin Optik Ve Sem Görüntüleri .....	115
5.5. KARMA TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN KESME HIZI VE İLERLEME MİKTARLARINA BAĞLI OLARAK ORTALAMA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DEĞERLERİNDEKİ DEĞİŞİM.....	121
5.6. TAKVİYE ELEMANININ (Ni(K)Gr) İŞLENEBİLİRLİK ÜZERİNE ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ .....	133
5.7. ORTALAMA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ.....	135
5.7.1. Kesici Takım Aşınması.....	137
5.8. KESİCİ TAKIM AŞINMASI GENEL DEĞERLENDİRMESİ .....	157
BÖLÜM 6 .....	161
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	161
6.1. SONUÇLAR .....	161
6.2. ÖNERİLER .....	169
KAYNAKLAR .....	170
ÖZGEÇMİŞ .....	185

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1. TM yöntemi ile KM üretim yöntemi görüntüsü .....	3
Şekil 2.1. Karakaş ve arkadaşlarının yaptığı deneysel çalışmada kullanılan kesici takımların aşınma grafikleri görüntüsü.....	30
Şekil 2.2. Kaplamasız ve kaplamalı kesici takımların 1250 mm <sup>3</sup> talaş kaldırma sonrası yanak aşınma grafikleri.....	33
Şekil 2.3. Kesme hızı ve ilerleme miktarına göre ortalama yüzey pürüzlülük değerleri değişim grafikleri.....	36
Şekil 2.4. Üç farklı kesici takımın kesme hızı ve ilerleme miktarına göre ortalama yüzey pürüzlülük değerleri değişim grafikleri görüntüsü .....	38
Şekil 2.5. Takım C' de oluşan YT' nin SEM görüntüsü.....	39
Şekil 2.6. İlerleme miktarının artması ile ortalama yüzey pürüzlülük değişimi .....	40
Şekil 2.7. Kesici takım üzerinde oluşan YT ve aşınma görüntüsü.....	41
Şekil 2.8. Zamana göre kesici takımında oluşan aşınma değerleri grafiği.....	41
Şekil 2.9. Bronz-Bronz-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozit malzemenin 25 dakika işleme süresinde kesme hızına göre ortalama yüzey pürüzlülüğü değişimleri grafiği.....	42
Şekil 2.10. Bronz-Bronz-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozit malzemenin 25 dakika işleme süresinde kesme hızına göre aşınma değişimleri grafiği.....	43
Şekil 2.11. İşlenebilirlik deneyleri sonrası kesici takım üzerinde oluşan YT' ların SEM görüntüleri.....	45
Şekil 2.12. SiC parçacıklarının farklı kesme hızlarında iş parçası yüzeyinde oluşan ortalama yüzey pürüzlülük ve kesici takımında oluşan yanak aşınma grafikleri.....	45
Şekil 2.13. 0,108 mm/dev ilerleme miktarında PCD kesici takımlar ile gerçekleştirilen deney sonuçlarından elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri grafikleri .....	46
Şekil 2.14. 2024 Al alaşımının işlenmesinde kullanılan kesici takımların SEM görüntüleri .....	48

Şekil 2.15. 32 µm parçacık boyutu ve ağırlıkça % 30 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> içeren MMK malzemenin işlenmesinde kesici takımında oluşan yanak aşınmalarının SEM görüntüsü.....	48
Şekil 2.16. Sabit 0,1 mm/dev ilerleme miktarı ve 2 mm kesme derinliğinde üç farklı kesme hızlarında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.....	49
Şekil 2.17. Kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğine bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri grafiği .....	51
Şekil 2.18. Sabit kesme derinliğinde ilerleme miktarı ve kesme hızlarına göre kesici takım üzerinde gerçekleşen yanak aşınma değerleri.....	52
Şekil 2.19. Sabit kesme derinliğinde kesme hızları ilerleme miktarlarına göre elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri grafiği .....	53
Şekil 3.1. Sabit sıcaklık ve basınç altında (izostatik) presleme .....	60
Şekil 3.2. Uçak motoru turbün kanatçığının sabit sıcaklık ve basınç altında presleme yöntemi ile üretim basamakları gösterimi .....	61
Şekil 3.3. Sıcak ve soğuk haddeleme ile difüzyonlu birleştirme metodu .....	62
Şekil 3.4. Vakum infiltrasyon yöntemi .....	64
Şekil 3.5. Basınçlı infiltrasyon yöntemi .....	65
Şekil 3.6. Orta basınçlı infiltrasyon yöntemi .....	65
Şekil 3.7. Savurma basınçlı infiltrasyon tekniği .....	66
Şekil 3.8. Savurmalı atomizasyon ünitesi döndürülebilir .....	71
Şekil 4.1. Matris malzemesi olarak kullanılan Alumix 13 parçacıkları SEM fotoğrafı görüntüsü. ....	74
Şekil 4.2. Takviye elemanı olarak kullanılan B <sub>4</sub> C parçacıkları SEM görüntüsü. ....	76
Şekil 4.3. Takviye elemanı olarak kullanılan üzeri nikel kaplı grafit (Ni(K)Gr) parçacıklarının SEM fotoğraf görüntüsü. ....	77
Şekil 4.4. Tek eksen hareketli zımba ve kalıp sistemi kesit görünüşü. ....	78
Şekil 4.5. Isıl işlem uygulanacak kalıp elemanları görüntüsü.....	79
Şekil 4.6. Isıl işlem sonrası taşlama işlemine tabi tutulan kalıp elemanları görüntüsü. ....	79
Şekil 4.7. Isıtıcı rezistans ve ısı kontrol paneli görüntüsü.....	80
Şekil 4.8. Karma takviyeli MMK malzemelerin üretiminin gerçekleştiği hidrolik pres tezgahı görüntüsü. ....	81
Şekil 4.9. Üretimi gerçekleştirilen karma takviyeli MMK malzemelerin yoğunluklarının belirlenmesinde kullanılan yoğunluk ölçüm kiti görüntüsü. ....	82
Şekil 4.10. Karışım tozlarının hazırlandığı turbula karıştırma cihazı görüntüsü. ....	83

## Sayfa

Şekil 4.11. Refrakter battaniye sarılmış kalıp ana gövde görüntüsü.....	83
Şekil 4.12. Karma takviyeli MMK malzemelerinin üretim sürecinin akış şeması. ...	84
Şekil 4.13. Karma takviyeli MMK malzeme üretim anı görüntüsü.....	86
Şekil 4.14. Üretimi gerçekleştirilen karma takviyeli MMK malzeme görüntüsü. ....	86
Şekil 4.15. Metkon marka ECOPRESS 100 model bakalite alma cihazı görüntüsü. ....	87
Şekil 4.16. Metkon marka FORCIPOL 1V model zımparalama ve parlatma cihazı. ....	88
Şekil 4.17. Bakalite alınmış ve yüzeyi parlatılmış numunelerin mikroskopik yüzey analizlerinin incelenmesinde kullanılan ECLIPSE MA100 optik mikroskop görüntüsü. ....	89
Şekil 4.18. AM413ZT Dino – Lite Capture optik mikroskop görüntüsü.....	89
Şekil 4.19. Deneysel çalışmada kullanılan SEM cihazları.....	90
Şekil 4.20. Üç nokta eğme testinin şematik gösterimi. ....	91
Şekil 4.21. Deneysel çalışmada kullanılan CNC torna tezgâhı görüntüsü.....	92
Şekil 4.22. Deneysel çalışmada kullanılan CBN kesici takım geometrik görüntüsü. 93	
Şekil 4.23. Deneysel çalışmada kullanılan TCLNR 2525 M12 takım tutucu görüntüsü ..... 94	
Şekil 4.24. Deneysel çalışmada kullanılan aşınma cihazının şematik gösterimi.....	95
Şekil 5.1. Karma takviyeli MMK malzemelerin 50X büyütme mikroskopik yapı görüntüleri. ....	98
Şekil 5.2. Karma takviyeli MMK malzemelerin 200X büyütme mikroskopik yapı görüntüleri. ....	99
Şekil 5.3. Üretilen karma takviyeli MMK malzemelerin SEM görüntüleri.....	100
Şekil 5.4. B <sub>4</sub> C parçacıklarının birbirine yaklaşma eğilimi görüntüsü. ....	100
Şekil 5.5. Ni(K)Gr ve B <sub>4</sub> C' nin SEM görüntüsü. ....	101
Şekil 5.6. SP tekniği kullanılarak üretilen karma takviyeli kompozit malzeme içerisindeki grafit (Ni(K)Gr) parçacığının bulunduğu alanın EDS analiz sonucu görüntüsü. ....	101
Şekil 5.7. SP tekniği ile üretilen karma takviyeli MMK malzemelerin mikrosertlik ölçüm değerleri grafiği. ....	103
Şekil 5.8. Çapraz kırılma deneylerinin gerçekleştirilme görüntüsü. ....	103



Şekil 5.9. SP tekniği ile üretilen karma takviyeli MMK malzemelerin çapraz kırılma mukavemet değerlerinin grafiksel gösterimi. ....	104
Şekil 5.10. Karma takviyeli MMK'ların teorik ve deneysel yoğunluklarının Ni(K)Gr ağırlık oranı ile değişim grafiği. ....	106
Şekil 5.11. SP tekniği ile üretilen % 92 Alumix 13 + % 8 B <sub>4</sub> C içeren (K <sub>1</sub> ) kodlu MMK malzeme üzerinde SEM cihazı ile alınan gözenek görüntüsü. ...	106
Şekil 5.12. Karma takviyeli MMK malzemelerin aşınma numuneleri boyutları görüntüsü. ....	108
Şekil 5.13. SP tekniği ile üretilen K <sub>1</sub> kodlu B <sub>4</sub> C takviyeli MMK malzemenin aşınma kaybı grafiği. ....	110
Şekil 5.14. SP tekniği ile üretilen K <sub>2</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemelerin aşınma kaybı grafiği. ....	111
Şekil 5.15. SP tekniği ile üretilen K <sub>3</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemelerin aşınma kaybı grafiği. ....	113
Şekil 5.16. SP tekniği ile üretilen K <sub>4</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemelerin aşınma kaybı grafiği. ....	114
Şekil 5.17. SP tekniği ile üretilen karma takviyeli MMK malzemelerin aşınma kayıpları grafiği. ....	115
Şekil 5.18. SP tekniği ile üretilen karma takviyeli MMK malzemelerin 10 N yük altında 1200 m kayma mesafesinde gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonrası optik yüzey görüntüleri. ....	116
Şekil 5.19. SP tekniği ile üretilen MMK malzemelerin 40 N yük altında 1200 m kayma mesafesinde gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonrası optik yüzey görüntüleri. ....	117
Şekil 5.20. Karma takviyeli MMK malzeme içerisindeki Al alaşımı ve takviye elemanları dağılımının SEM görüntüsü. ....	118
Şekil 5.21. SP tekniği ile üretilen karma takviyeli MMK malzemelerin aşınan yüzeylerin SEM görüntüleri. ....	119
Şekil 5.22. SP tekniği kullanılarak üretilen MMK kompozit malzemenin aşınan yüzeylerinden seçilen 1, 2 ve 3 nolu noktaların bulunduğu alanın elemental yapı analiz sonucu görüntüsü. ....	120
Şekil 5.23. K <sub>1</sub> kodlu MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takımla dört farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme miktarlarında işlenmesinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin grafik gösterimi. ..	122
Şekil 5.24. K <sub>1</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takımla üç farklı ilerleme miktarı ve dört farklı kesme hızlarında işlenmesinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin grafik gösterimi. ....	123

Şekil 5.25. K <sub>2</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takımla dört farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme miktarlarında işlenmesinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin grafik gösterimi.....	125
Şekil 5.26. K <sub>2</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takımla üç farklı ilerleme miktarı ve dört farklı kesme hızlarında işlenmesinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin grafik gösterimi.....	126
Şekil 5.27. K <sub>3</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takımla dört farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme miktarlarında işlenmesinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin grafik gösterimi.....	128
Şekil 5.28. K <sub>3</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takımla üç farklı ilerleme miktarı ve dört farklı kesme hızlarında işlenmesinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin grafiği gösterimi.....	129
Şekil 5.29. K <sub>4</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takımla dört farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme miktarlarında işlenmesinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin grafik gösterimi.....	131
Şekil 5.30. K <sub>4</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takımla üç farklı ilerleme miktarı ve dört farklı kesme hızlarında işlenmesinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin grafik gösterimi.....	132
Şekil 5.31. TiN kaplamalı CBN kesici takımlar ile işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirilen karma takviyeli MMK malzemelerin dört farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme miktarına bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin grafik gösterimi.....	133
Şekil 5.32. TiN kaplamalı CBN kesici takımlar ile işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirilen karma takviyeli MMK malzemelerin üç farklı ilerleme miktarı ve dört farklı kesme hızına bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin grafik gösterimi.....	134
Şekil 5.33. Kesici takımında oluşan YT ve YK' nın şematik görüntüsü.....	138
Şekil 5.34. Kesici takım üzerinde oluşan YT ve YK aşınma SEM görüntüsü.....	139
Şekil 5.35. K <sub>1</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takımla dört farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme miktarında işlenmesinde kesici takım üzerinde oluşan YT değerlerinin grafik gösterimi.....	140
Şekil 5.36. K <sub>1</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takımla üç farklı ilerleme miktarı ve dört farklı kesme hızında işlenmesinde kesici takım üzerinde elde edilen YT değerlerinin grafik gösterimi.....	141

Şekil 5.37. K <sub>2</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takımla dört farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme miktarında işlenmesinde kesici takım üzerinde oluşan YT değerlerinin grafik gösterimi.....	145
Şekil 5.38. K <sub>2</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takımla üç farklı ilerleme miktarı ve dört farklı kesme hızında işlenmesinde kesici takım üzerinde elde edilen YT değerlerinin grafik gösterimi.....	146
Şekil 5.39. K <sub>3</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takımla dört farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme miktarında işlenmesinde kesici takım üzerinde oluşan YT değerlerinin grafik gösterimi.....	149
Şekil 5.40. K <sub>3</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takımla üç farklı ilerleme miktarı ve dört farklı kesme hızında işlenmesinde kesici takım üzerinde elde edilen YT değerlerinin grafik gösterimi.....	150
Şekil 5.41. K <sub>4</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takımla dört farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme miktarında işlenmesinde kesici takım üzerinde oluşan YT değerlerinin grafik gösterimi. ....	153
Şekil 5.42. K <sub>4</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takımla üç farklı ilerleme miktarı ve dört farklı kesme hızında işlenmesinde kesici takım üzerinde elde edilen YT değerlerinin grafik gösterimi.....	154
Şekil 5.43. Karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takımla dört farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme miktarında işlenmesinde kesici takım üzerinde oluşan YT değerlerinin grafik gösterimi. ....	156
Şekil 5.44. K <sub>1</sub> nolu MMK malzemenin 0,10 mm/dev ilerleme miktarında işlenmesi sonucundaki elde edilen SEM fotoğrafları görüntüsü.....	157
Şekil 5.45. K <sub>1</sub> nolu MMK malzemenin 0,20 mm/dev ilerleme miktarında işlenmesi sonucundaki elde edilen SEM fotoğrafları görüntüsü.....	158
Şekil 5.46. K <sub>1</sub> nolu MMK malzemenin 0,20 mm/dev ilerleme miktarı ve 100 m/dak kesme hızında işlenmesi sonucunda elde edilen SEM fotoğrafları görüntüsü. ....	158
Şekil 5.47. K <sub>4</sub> nolu MMK malzemenin 0,20 mm/dev ilerleme miktarı ve 100 m/dak kesme hızında işlenmesi sonucunda elde edilen SEM fotoğrafları görüntüsü. ....	159
Şekil 5.48. K <sub>1</sub> nolu MMK malzemenin 0,20 mm/dev ilerleme miktarı ve 220 m/dak kesme hızında işlenmesi sonucunda elde edilen SEM fotoğrafları görüntüsü. ....	159

Şekil 5.49. K<sub>4</sub> nolu MMK malzemenin 0,20 mm/dev ilerleme miktarı ve 220 m/dak kesme hızında işlenmesi sonucunda elde edilen SEM fotoğrafları görüntüsü. .... 160

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1.	Numune kodlaması ve karışım oranları .....	26
Çizelge 2.2.	Kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlar ile gerçekleştirilen deneylerden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.....	34
Çizelge 3.1.	MMK malzemele üretim yöntemleri.....	57
Çizelge 4.1.	Deneysel çalışmada matris malzemesi olarak kullanılan Alumix 13 tozunun kimyasal bileşimi.....	75
Çizelge 4.2.	Matris malzemesi Alumix 13 tozunun ortalama tane boyutu .....	75
Çizelge 4.3.	1.2344 Kalıp çeliğinin kimyasal bileşimi.....	78
Çizelge 4.4.	Eşitlik 4.1' de gösterilen kısaltmaların açılımı ve birimleri .....	82
Çizelge 4.5.	Karma takviyeli MMK malzemelerin % ağırlıkça karışım oranları ...	85
Çizelge 4.6.	AM413ZT Dino – Lite Capture optik mikroskobun teknik özellikleri.....	90
Çizelge 4.7.	Eşitlik 4.2' de gösterilen kısaltmaların açılımı ve birimleri .....	92
Çizelge 4.8.	CNC torna tezgahının teknik özellikleri.....	93
Çizelge 4.9.	CNMA120408 – MW4 kodlu kesici takımın teknik özellikleri.....	94
Çizelge 4.10.	Deneysel çalışmada kullanılan kesme parametreleri .....	95
Çizelge 4.11.	Karma takviyeli MMK malzemelerin aşındırılmasında kullanılan parametreler.....	96
Çizelge 5.1.	SP tekniği kullanılarak üretimi gerçekleştirilen karma takviyeli MMK malzemelerin takviye ağırlık oranları ve mikro sertlik değerleri.....	102
Çizelge 5.2.	SP tekniği ile üretilen karma takviyeli MMK malzemelerin çapraz kırılma deneyleri sonucu elde edilen çapraz kırılma mukavemet değerleri (ÇKD).....	104
Çizelge 5.3.	Karma takviyeli MMK' ların deneysel ve teorik yoğunluk değerleri.....	105
Çizelge 5.4.	Deneysel çalışmada kullanılan aşınma parametreleri .....	107
Çizelge 5.5.	SP tekniği ile üretilen K <sub>1</sub> kodlu MMK malzemelerin aşınma ortalama kaybı değerleri.....	109

Çizelge 5.6. SP tekniği ile üretilen K <sub>2</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemelerin ortalama aşınma kaybı değerleri.....	110
Çizelge 5.7. SP tekniği ile üretilen K <sub>3</sub> kodlu MMK malzemelerin ortalama aşınma kaybı değerleri .....	112
Çizelge 5.8. SP tekniği ile üretilen K <sub>4</sub> kodlu MMK malzemelerin ortalama aşınma kaybı değerleri .....	113
Çizelge 5.9. K <sub>1</sub> (% 92 Alumix 13 + % 8 B <sub>4</sub> C) MMK malzemesinin TiN kaplamalı CBN kesici takım ile işlenmesinde kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.....	121
Çizelge 5.10. K <sub>2</sub> (% 89 Alumix 13 + % 8 B <sub>4</sub> C + % 3 Ni(K)Gr ) karma takviyeli MMK malzemesinin TiN kaplı CBN kesici takım ile işlenmesinde kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülük değerleri .....	124
Çizelge 5.11. K <sub>3</sub> (% 87 Alumix 13 + % 8 B <sub>4</sub> C + % 5 Ni(K)Gr ) karma takviyeli MMK malzemesinin TiN kaplı CBN kesici takım ile işlenmesinde kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülük değerleri .....	127
Çizelge 5.12. K <sub>4</sub> (% 85 Alumix 13 + % 8 B <sub>4</sub> C + % 7 Ni(K)Gr) karma takviyeli MMK malzemesinin TiN kaplı CBN kesici takım ile işlenmesinde kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülük değerleri .....	130
Çizelge 5.13. K <sub>1</sub> (% 92 Alumix 13 + % 8 B <sub>4</sub> C) MMK malzemesinin TiN kaplamalı CBN kesici takım ile işlenmesinde kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesici takım üzerinde oluşan YT değerleri.....	139
Çizelge 5.14. K <sub>1</sub> kodlu MMK malzemenin kesme hızı ve ilerleme miktarlarına göre kesici takım üzerinde YT ve YK oluşumlarının SEM görüntüleri .....	143
Çizelge 5.15. K <sub>2</sub> (% 89 Alumix 13 + % 8 B <sub>4</sub> C + % 3 Ni(K)Gr) MMK malzemesinin TiN kaplamalı CBN kesici takım ile işlenmesinde kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesici takım üzerinde oluşan YT değerleri .....	144
Çizelge 5.16. K <sub>2</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin kesme hızı ve ilerleme miktarlarına göre kesici takım üzerinde YT ve YK oluşumlarının SEM görüntüleri.....	147
Çizelge 5.17. K <sub>3</sub> (% 87 Alumix 13 + % 8 B <sub>4</sub> C + % 5 Ni(K)Gr) MMK malzemesinin TiN kaplamalı CBN kesici takım ile işlenmesinde kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesici takım üzerinde oluşan YT değerleri .....	148

**Sayfa**

- Çizelge 5.18. K<sub>3</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin kesme hızı ve ilerleme miktarlarına göre kesici takım üzerinde YT ve YK oluşumlarının SEM görüntüleri..... 151
- Çizelge 5.19. K<sub>4</sub> (% 85 Alumix 13 + % 8 B<sub>4</sub>C + %7 Ni(K)Gr) MMK malzemesinin TiN kaplamalı CBN kesici takım ile işlenmesinde kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesici takım üzerinde oluşan YT değerleri ..... 152
- Çizelge 5.20. K<sub>4</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin kesme hızı ve ilerleme miktarlarına göre kesici takım üzerinde YT ve YK oluşumlarının SEM görüntüleri..... 155

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

°C	: Derece Santigrat
µm	: Mikron Metre
Ag	: Gümüş
Al	: Alüminyum
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: Bor Oksit
C	: Karbon
Co	: Kobalt
CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	: Üre
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Fe:	: Demir
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: Demir Üç Oksit
G	: Numunenin Su İçerisindeki Ağırlığı
GPa	: Giga Paskal
H <sub>2</sub> O	: Su
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	: Borik Asit
Hv	: Vickers Sertlik
K	: Kelvin
Kg	: Kilogram
kN	: Kilo Newton
L	: Destekler Arası Mesafe
Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	: Magnezyum Silikat Hidroksit
Mo	: Molibden
MPa	: Mega Paskal
N	: Newton



$N_2$	: Azot
$Ni(NO_3)_2$	: Nikel Nitrat
$NiO$	: Nikel Oksit
$Pt$	: Platin
$Ra$	: Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü ( $\mu m$ )
$Rho$	: Suyun Sıcaklığına Göre Katalogdan Alınan Değer
$Si_3N_4$	: Silisyum Nitrit
$SiO_2$	: Silisyum Dioksit
$t$	: Numunenin Kalınlığı
$Ta$	: Tantal
$Y_2O_3$	: Yitriyum Oksit
$Zr$	: Zirkonyum
$ZrO_2$	: Zirkonyum Oksit
$Al_2O_3$	: Alüminyum Oksit
$B_4C$	: Bor Karbür
$TiB_2$	: Titanyum Diborür
$TRS$	: Eğilme Dayanımı
$W$	: Tungsten
$h-BN$	: Hegzagonal Bor Nitrür
$HCl$	: Hidroklorik Asit
$HF$	: Hidrojen Florür
$HNO_3$	: Nitrik Asit
$MgO.Al_2O_3$	: Magnezyum Aluminat Spinel
$P$	: Kırılma Anında Numuneye Uygulanan Yük
$W$	: Numunenin Genişliği
$\rho$	: Yoğunluk

## KISALTMALAR

AFM	: Atomik Kuvvet Mikroskobu
AISI	: Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü (American Iron and Steel Institute)
BDT	: Bilgisayar Destekli Tasarım
BN	: Bor Nitrür
CBN	: Kübik Bor Nitrür
CVD	: Kimyasal Kaplama Yöntemi (Kimyasal Buhar Biriktirme)
ÇKD	: Çapraz Kırılma Değeri
Dev	: Devir
EDS	: Elemental Yapı Analizi
EDX	: Enerji Dağılımlı X-Işınları Analizi (Energy- Dispersive X-ray Spectroscopy)
FGM	: Özellikleri Fonksiyonel Olarak Değişen Malzeme (Functional Gradient Materials)
HB	: Hardness Brinnel
HRA	: Hardness Rockwell A
ISO	: Ulaslararası Standard (International Organization for Standardization)
KM	: Kompozit Malzeme
MA	: Mekanik Alaşımlama
MAK	: Metal Ana Fazlı Kompozit
MMK	: Metal Matrisli Kompozit
Ni(K)Gr	: Nikel Kaplı Grafit
PCD	: Çok Kristalli Elmas (Polycrystalline Diamond)
PEG	: Polietilen Glikol
PMMK	: Partikül Metal Matrisli Kompozit
PVD	: Kaplama Yöntemi (Fiziksel Buhar Biriktirme)

SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
SIP	: Sıcak İzostatik Presleme
SK	: Sementit Karbür
SMK	: Seramik Matrisli Kompozit
SP	: Sıcak Presleme
TEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
TiAlN	: Titanyum Aliminyum Nitrür
TiC	: Titanyum Karbür
TiCN	: Titanyum Karbon Nitrür
TiN	: Titanyum Nitrür
TM	: Toz Metalürjisi
SiC	: Silisyum Karbür
XRD	: X Işını Kırınım
YK	: Yığıntı Katman
YT	: Yığıntı Talaş
WC	: Tungsten Karbür

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Araştırmacılar, endüstriyel malzemelerin dayanım özelliklerini gün geçtikçe artan endüstriyel beklentileri karşılamak amacıyla, sürekli geliştirme çalışmalarına devam etmektedirler. Bu çalışmaların birçoğu; kompozit malzemelerin (KM) geliştirilmesi üzerinedir. Bu malzemeler, günümüzde geleneksel malzemelerden ayrı düşünülemez bir malzeme grubunu oluşturmaktadır.

Kompozit; metal, seramik, plastik ve refrakter gibi geleneksel malzeme gruplarına, çoğunlukla fiber, kılcal kristal, pulcuk, parçacık vd., formlarda takviye elemanı ilavesiyle elde edilen karma yapılı bir malzemedir. Kompozit malzemelerin genel üretim yöntemleri, ana fazın hal durumuna bağlı olarak sıvı, katı ve katı~sıvı hal olmak üzere üç ana grupta toplanır [1,2].

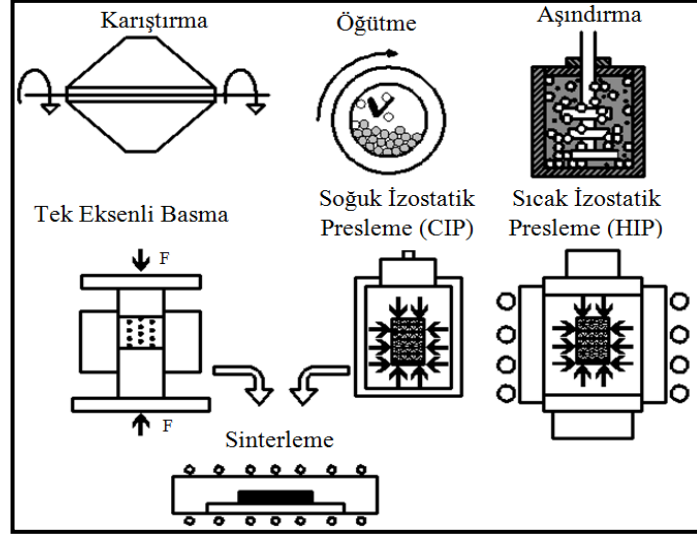
Metal Matrisli Kompozit (MMK) malzemeler son yıllarda önemli gelişim göstermiştir. MMK malzemeler ilk olarak havacılık ve uzay endüstrisi alanında kullanılmıştır. Son zamanlarda ise otomotiv, savunma sanayi, elektronik ve rekreasyon endüstrisinde kullanımları yaygınlaşmıştır [3]. MMK malzemeler en az bir metal ve takviye elemanı olarak fiber, intermetalik partiküller, oksit, karbür gibi seramiklerden en az birini içerirler [4-6]. Günümüzde, katı hal üretim tekniklerinden toz metalürjisi (TM) kompozitlerin üretiminde yaygın kullanım alanına sahiptir [1].

MMK'lerin üretim yöntemlerinin geliştirilmesi ve karşılaşılan üretim zorluklarını azaltarak ekonomik olarak üretilmelerini sağlamak ve kullanım alanlarını yaygınlaştırmak için çalışmalar sürdürülmektedir. MMK'ler yüksek elastikiyet modülüne, yüksek çekme-basma mukavemeti ile aşınma direncine sahip olmaları ve

ayrıca metallerin süneklik ve tokluğunu, seramiklerin yüksek mukavemet ve yüksek elastikiyet modülü özellikleri ile birleştirilmelerinden dolayı, son derece önemli mühendislik malzemeleridirler [1].

Bu üstünlükleri yanında, iyileştirilebilir mekanik özellikler ve düşük yoğunlukları açısından daha da önem kazanmışlardır [7-14]. MMK malzemeler döküm ve TM yöntemi ile üretilmektedir [15]. Sıvı hal üretim yöntemlerinden, ergimiş metal ile seramik, karbür ya da metal oksit partiküllerinin ıslatılmasının zorluğu yüzünden toz metalurjisi yöntemi geliştirilmiştir [16-18].

TM, dökme ve ergitme işlemlerinden daha eski bir işleme teknolojidir. TM parçalarının ham maddesi tozdur [19,20]. TM üretim tekniği, adı üzerinde toz boyutundaki malzemelerin, çeşitli tekniklerle bir araya getirilmesini kapsamaktadır. Bu üretim tekniği, ürünü son formunda veya son formuna çok yakın ebatta, genelde ikincil bir imalat tekniğinin (talaşlı imalat) uygulanmasına gereksinimi olmayan veya azaltılmış, şekilde üretilmesini sağlar. TM üretim tekniği, geleneksel malzeme tozlarının bir araya getirilerek kompozit malzemelerin üretiminde kullanılabilir. Özellikle sementit karbür kesicilerin üretiminde kullanılabilen yegâne üretim tekniğidir [1,19]. Yöntemin uygulanmasına ilişkin şematik resim Şekil 1.1'de gösterilmiştir. Şekil 1.1'de matris ve takviye fazı tozları karıştırılarak istenilen şekildeki kalıba dökülür. Kalıba dökülen tozların bağlanması için pres uygulanır. Tozların bağlanmasını kolaylaştırmak amacıyla, sıkıştırılmış tozlara ergime sıcaklığının altında katı – faz difüzyonunun gerçekleşmesi için yeterli yüksek sıcaklıkta ısı işlem uygulanır [1,21,22].



Şekil 1.1. TM yöntemi ile KM üretim yöntemi görüntüsü [1,21].

TM üretim tekniği metotlarından sıcak presleme (SP) tekniği, preslenmiş tozları tamamen veya kısmen güçlendirmek için sıcaklık ve basıncın eş zamanlı olarak uygulanmasıdır [19,21,22]. Yüksek performanslı malzemeler ve sinterleme davranışı zayıf olan malzemelerin üretilmesi için uygun bir yöntemdir [23]. Ayrıca, sıvı faz yöntemi ile üretilmeyen malzemelerin üretiminde kullanılmakta olup, birçok oksit ve karbür seramiklerin ( $Al_2O_3$ , SiC,  $B_4C$  v.d.) açık atmosfer ortamında grafit kalıplarda veya yüksek sıcaklıklara dayanabilen sıcak iş takım çeliklerinden üretilen kalıplarda SP tekniği ile üretilmektedir [21-23]. SP' nin geleneksel toz konsolidasyonuna göre birçok avantajı mevcuttur. Bu avantajlar;

1. Tek bir operasyon ile tozların preslenmesi,
2. Presleme ve sinterleme işleminin aynı anda gerçekleştirilmesi,
3. Sıcaklık ve basıncın eş zamanlı olarak uygulanması,
4. Kullanım alanı geniş olan sert iş malzemelerinin teorik yoğunluğuna ulaşılması [21],
5. Düzgün iç yapılı malzemelerin üretilmesi,
6. Düşük maliyet [24],

SP tekniğinin kullanıldığı başlıca uygulama alanları ise;

1. Hafif kompozit malzeme üretimi
2. Manyetik kayıt başları üretimi
3. Aşınmaya dirençli malzeme üretimi
4. Titanyum havacılık yapıları
5. Yüksek performans manyetikleri
6. Yarı iletken kaplama hedef malzemeleri
7. Yapay implantlar
8. Zırh delici malzemelerin üretilmesinde kullanılması gibi sıralanabilir [25].

Bu çalışmada, endüstriyel alanda gittikçe yaygınlaşan MMK malzemelerin üretilmesinde karşılaşılan sorunları minimuma indirmek ve üretimi gerçekleştirilen malzemelerin işlenebilirlik özelliklerinin takviye elemanı tipi ve kesme parametrelerine bağlı olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Ağırlıkça farklı oranlarda ilave edilen Ni(K)Gr takviye elemanlarının katı yağlayıcı özelliğe sahip olmasından dolayı MMK'nın işlenebilirlik özelliğini kolaylaştırması amaçlanmış olup, ilave edilen Ni(K)Gr takviye elemanlarının üretilen karma takviyeli MMK malzemelerin aşınma davranışları üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Matris malzemesi olarak Alümix 13 alüminyum alaşımı kullanılmıştır [7,25]. Takviye elemanı olarak ise bor karbür ( $B_4C$ ) ve üzeri nikel kaplı grafit (Ni(K)Gr) malzeme kullanılarak ağırlıkça farklı yüzde oranlarda karma takviyeli MMK malzeme üretimleri gerçekleştirilmiştir. Üretim sonrasında karma takviyeli MMK malzemelerin mikro yapı incelemeleri ve bazı mekanik özellikleri belirlenmiştir. Üretilen karma takviyeli MMK malzemelerin işlenebilirlik deneylerinde kullanılan kesme parametreleri ISO 3685' e göre ürün kataloğu, literatür araştırması ve üretici firmanın önerileri doğrultusunda belirlenmiş olup çok kristalli kübik bor nitrür (CBN) kesici takım kullanılmıştır. İşlenebilirlik deneyleri dört farklı kesme hızı (100, 140, 180 ve 220 m/dak), üç farklı ilerleme miktarında (0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev), sabit kesme derinliği (0,5 mm) ve kuru işleme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Üretilen karma takviyeli MMK malzemelerin aşınma deneyleri ise kuru kayma şartları altında, sabit kayma hızında (0,8 m/s), dört farklı yük (10, 20, 30 ve 40 N) ve dört farklı yol (300, 600, 900 ve 1200 m) kat edilerek gerçekleştirilmiştir. İşlenebilirlik ve aşınma deneyleri sonrası kesici takımlar

ve aşınma numuneleri tarama elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Yapılan işlenebilirlik deneyleri ile üretimi gerçekleştirilen karma takviyeli MMK malzemelerin en uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi, ağırlıkça farklı yüzde oranlarda üretilen karma takviyeli MMK malzemelerin içerisindeki Ni(K)Gr' nin işlenebilirlik ve aşınma davranışları üzerine etkilerinin belirlenmesi ve yeni nesil bu tür malzemelerin endüstriyel alanlarda kullanımının yaygınlaştırılması amaçlanmıştır.



## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Günümüzdeki rekabet ortamında, kaliteli ürünlerin düşük maliyetlerle piyasaya arz edilmesi gerekmektedir. Bu gereklilik, endüstrideki yeni nesil malzemelerin geliştirilerek kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Endüstrideki birçok mühendislik uygulamalarında daha düşük yoğunluklu (hafif) rijit ve yüksek dayanımlı malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Birçok farklı metal alaşımın mekanik özellikleri; grafit, silikon, karbür ve alumina gibi yüksek dayanımlı seramik fazlarla iyileştirilebilmektedir. Metal Matrisli Kompozit (MMK) olarak adlandırılan bu malzemeler klasik alaşımlara iyi bir alternatif teşkil etmektedir [26,27].

1970'li yıllardan sonra MMK'lar, araştırmacıların ilgi odağı haline gelmiştir. Yapılan birçok farklı mühendislik uygulamalarında MMK malzemeler kullanılmaktadır [28]. MMK malzemelerin kullanılmasında iki ana faktör özellikle ön plana çıkmaktadır. Bunlardan birincisi, yeni üretim tekniklerinin, malzemelerin geliştirilmiş mekaniksel özelliklerini daha düşük maliyetlerle elde edilebilmelerine olanak tanınması, diğeri ise seramik takviye oranlarındaki değişim ile metal malzemenin fiziksel özelliklerinde istenildiği kadar takviye oranının artırılıp azaltılmasına imkan tanınmasıdır [27].

Son zamanlarda MMK'ların üretimi için geliştirilen toz metalurjisi (TM) tekniği birçok avantajı beraberinde getirmiştir. Bu yöntemle, geleneksel karıştırmalı döküm yöntemiyle zor elde edilebilen büyük miktarlarda seramik takviye elemanın homojen dağılımı sağlanabilmektedir [2,29].

Parçacıkların homojen dağılımının yanı sıra üretilen parçaların yoğunlukları da MMK'lerin mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. SP ve sıcak izostatik presleme (SIP) ile takviye malzemeleri ilave etmeksizin düşük maliyetle % 90'ın üzerindeki yoğunluklarda numuneler üretilebilmektedir [2,30].

MMK'ların avantajlı özellikleri nedeniyle son yıllarda parçacık takviyeli kompozit malzemelerin TM yöntemiyle üretimleri birçok araştırmacı tarafından araştırılmıştır. Bu çalışmaların çoğu, MMK'lerin üretim yöntemlerinde karşılaşılan sorunların çözümü ve düşük maliyetle üretimi üzerinde odaklanmaktadır. Bu bölümde farklı üretim yöntemleriyle üretilen MMK'ların üretim parametrelerinin mekanik ve fiziksel özellikler üzerine yapılan deneysel çalışmaların genel içeriği özetlenmiştir.

## **2.1. SICAK PRESLEME TEKNİĞİ KULLANILARAK ÜRETİLEN METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR**

Orhan ve arkadaşları, gaz atomizasyon yöntemiyle silindir ebatlarda üretmiş oldukları ağırlıkça farklı oranlara sahip MMK malzemeler de % 99 saflıktaki Al (64 µm) tozunu matris, % 99 saflığa sahip B<sub>4</sub>C (46 µm) tozunu ise takviye elemanı olarak kullanmışlardır. Üretilen MMK malzemenin içerisine B<sub>4</sub>C tozu ağırlıkça % 10, 20, 30 oranında eklenmiştir. Hazırlanan toz karışımları 1200 dev/dak hız ile 1,5 saat boyunca karıştırılmıştır. Karışımı tamamlanan tozlar (Al-B<sub>4</sub>C) ilk olarak 550 MPa basınç altında soğuk izostatik presleme işlemiyle kalıp içerisine kalıplanmıştır. Üretilen MMK malzeme kalıp içerisinden çıkarılmadan SP yöntemi kullanılarak poroziteyi minimuma indirmek ve takviye elemanı olan B<sub>4</sub>C' nin homojen dağılımını sağlamak için 600 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile sinterlenmiştir. SP işlemi 300 MPa basınç altında gerçekleştirilmiştir. Üretilen MMK malzemelerin metalografik incelemeleri tarama elektron mikroskop (SEM) cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca üretilen MMK malzemelerin mikrosertlik sonuçları alınıp değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda Al matrisli B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit malzemenin homojen bir dağılım göstererek üretilebilirliği ve ağırlık oranlarına paralel olarak mikrosertlikler de değişim olduğu belirlenmiştir. MMK

kompozit malzeme içerisindeki takviye elemanının artmasıyla mikro sertlik değerlerinin arttığı tespit edilmiştir [31].

Çalığılı ve arkadaşları, yaptığı çalışmada, SP yöntemiyle imal edilmiş SiC<sub>p</sub> takviyeli Al esaslı kompozit çiftinin difüzyon kaynağı yöntemiyle birleştirilerek kaynak süresinin birleşme üzerindeki etkisini araştırmıştır. Deneylerde kullanılacak α-SiC<sub>p</sub> tozunu 1100 °C' de 30 dakika süreyle suni olarak oksitlendirilerek yüzeyde parçacıkların alüminyum tarafından daha iyi ıslatılmasını sağlayan SiO<sub>2</sub> tabakası oluşturulmuştur. Deneylerde % 99 saflıkta 42 µm tane boyutunda gaz atomizasyon yöntemi ile üretilmiş Al tozu, ağırlıkça % 1 Mg, % 3 Si ve % 5, 10, 20 oranlarında α-SiC<sub>p</sub> takviye elemanları kullanılmıştır. Hazırlanan toz karışımları 30 dakika süreyle 1000 dev/dak hız ile döndürülerek karıştırılmıştır. Homojen olarak karıştırılan toz karışımları kalıp içerisine yerleştirilip 400 MPa basınçta soğuk presleme işlemi gerçekleştirilmiş ve sonrasında hidrolik presin basıncını 200 MPa basınca getirilerek 600 °C sıcaklıkta bekletilerek 12 mm çapında ve 20 mm boyunda üç farklı kompozit malzemenin üretimi gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda SP tekniği ile malzeme üretiminin gerçekleştiği ve takviye elemanlarının yapı içerisinde homojen dağılım sergilediği tespit edilmiştir [32].

Ekinci, toz metalurjisi üretim yöntemini kullanarak farklı oranlarda (% 5, 10 ve 15) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren alüminyum matrisli kompozit malzeme üretmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> karışım tozları yüksek enerjili atritörde (450 dev/dak) farklı sürelerde (1, 2, 3 ve 4 saat) yapılan karıştırma ile elde edilmiştir. Hazırlanan Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> karışım tozları 800 MPa basınc altında tutarak standart çapraz kırılma numuneleri (6,35 mm x 12,7 mm x 31,7 mm) üretilmiştir. Presleme sonrasında numuneler 650 °C'de 4 saat süre ile argon gazı ortamında tüp fırında sinterleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Sinterleme işleminden sonra numunelerin yoğunluk, sertlik ve çapraz kırılma mukavemetleri ölçülerek kompozit malzemelerin mekanik özellikleri, optik ve SEM mikroskop çalışmaları ile de mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda atritörde karışma süresinin artması ile Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün Al matris içerisinde homojen olarak dağıldığı ve bu homojen dağılımın kompozit malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirdiği tespit edilmiştir [33].

Meydanoğlu, 7075 Al alaşım matrisli B<sub>4</sub>C takviyeli MMK malzemelerin aşınma ve korozyon davranışını incelemiştir. Üretilcek MMK malzemeler ticari 7075 Al talaşı ile farklı tane boyutuna sahip B<sub>4</sub>C partiküllerinin sıcak preslenmesi ile elde edilmiştir. MMK malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılan B<sub>4</sub>C' nin parçacık boyutları 10 µm, 25 µm, 30 µm and 75 µm olarak belirlenmiştir. Farklı takviye boyutları ile üretilen MMK malzemelerde ki B<sub>4</sub>C' nin oranı ağırlıkça % 10 olarak belirlenmiştir. Ağırlıkça yüzde oranı belirlenen 7075 Al talaşı ve B<sub>4</sub>C toz karışımları 2 saat süre ile karıştırılmıştır. Hazırlanan toz karışımları kalıp içerisine yerleştirilerek 625 MPa basınç altında 350 °C' de 2 saat süre ile SP işlemi gerçekleştirilmiş ve presleme işleminden sonra kompozit numuneler her seferinde 90° çevrilerek iki kez 350 °C' de çok eksenli preslemeye maruz tutulmuş ve sonrasında MMK malzemelere T6 ısıl işlemi uygulamıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda üretilen MMK kompozit malzemelerin aşınma davranışları incelenmiş ve B<sub>4</sub>C partikül boyutunun artmasıyla malzemelerde meydana gelen aşınma eğiliminde artış olduğu tespit edilmiştir [34].

Hacıoğlu ve arkadaşları, TM yöntemini kullanarak üretilen MMK malzemelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Deneysel alışmalarında Al (125 µm) ve B<sub>4</sub>C (32 µm) tozu kullanılmıştır. Takviye elemanı olan B<sub>4</sub>C' nin oranı ağırlıkça % 10 olarak belirlenmiştir. Al matrisli B<sub>4</sub>C takviyeli MMK kompozit malzemeler tek eksenli preste farklı presleme (200, 400, 600 ve 800 MPa), atmosferik ve argon gaz ortamı altında 550 °C sıcaklıkta farklı sinterleme (2, 3, 4 ve 5 saat) koşullarında üretilmiştir. Üretilen MMK kompozit malzemelerin yoğunluk, mikrosertlik değerleri tespit edilerek optik mikroskop ve elemental yapı analiz (EDS) donanımlı SEM cihazı ile mikroyapı karakterizasyonu ve kırılma yüzey incelemesi gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda, presleme basıncının artması ile yoğunluk değerlerinin doğru orantılı şekilde arttığı, en iyi yoğunluk değerinin ise 600 MPa pres basınçta üretilen numunelerde olduğu gözlenmiştir. Sinterleme sonrasında MMK malzemelerin yoğunluk değerleri incelendiğinde ise en iyi sonucu 600 MPa basınç ve açık atmosfer altında sinterleme işlemi ile olduğu, en iyi sertlik değerinin sinterleme süresinin 5 saat olduğu ve 600 MPa basınçta argon gazı atmosferinde olduğu belirlenmiştir. Mikroyapı görüntülerini incelendiğinde B<sub>4</sub>C partiküllerinin yapı içerisine nispeten homojen dağıldığı tespit edilmiştir [35].

Dikici yaptığı çalışmada, argon atmosferi altında SP yöntemi kullanarak TiC parçacıkları ile Al (% 99 saflıkta <25 µm) – Cu (% 99.9 saflıkta <63 µm) esaslı üç katmanlı MMK malzemeler üretmiştir. Ürettiği MMK malzemeleri 530 °C’ de 24 saat bekletmiş ve sonrasında malzemelere su vermiştir. Su verme işlemi sonrasında 180 °C’ de farklı zaman (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 24, 48 ve 96 saat) periyotların da yağda yaşlandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan işlemlerden sonra MMK kompozit malzemelerin SEM, EDS, XRD (X Işını Kırınım) ve Vickers mikro sertlik ölçümleri gerçekleştirmiş ve karakteristik özellikleri incelenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda, çok katmanlı kompozitin zirve yaptığı sertlik noktasının yaşlandırma süresinin yaklaşık 12 saat olduğu ve yaklaşık olarak 12 saat içinde orta katman sertliğini 140 ile 291 HV (hardness vickers) arttırdığı belirlenmiştir. Yaşlandırma zamanının artması ile kompozitlerin korozyon direncinin azaldığı tespit edilmiştir [36].

Wan–li yaptığı çalışmada, SP yöntemi ile nanokompozit malzeme üreterek Al/SiC nanokompozitlerin mikro yapısının yanı sıra SiC parçacıklarının topaklaşma ve parçacık boyunun etkilerini SEM cihazı kullanarak incelemiştir. Nanokompozit malzeme içerisinde nano boyutlu % 99 saflıkta SiC (20 – 50 nm) ve % 99 saflıkta <45 µm Al tozu kullanılmıştır. Nano kompozit malzemeler için Al/SiC tozları mekanik alaşımlama (MA) yöntemi kullanılarak hazırlanmıştır. Al ve nano boyutlu SiC tozları 2 saat süreyle bilyalı değirmende karıştırılmış ve karışımı gerçekleştirilen nano boyutlu SiC parçacıklarının Al parçacıklarının içine homojen şekilde dağıldığı belirlenmiştir. Benzer şekilde nano boyutlu SiC parçacıklarının yaklaşık 10 saat süre ile karıştırdıktan sonra da Al içerisine homojen bir şekilde dağıldığı belirlenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda, nano ölçekli SiC parçacıklarının Al tozu içerisine homojen şekilde yerleştiği ve Al/SiC nano kompozitin 723 °K sıcaklık ve 100 MPa basınç altında SP yöntemi ile üretilebileceği tespit edilmiştir [37].

Li ve arkadaşları, SiC ile TiB<sub>2</sub>/B<sub>4</sub>C toz karışımlarını kullanarak SP yöntemi ile ürettikleri MMK malzemelerin mikro yapılarını incelemiştir. Yapmış oldukları çalışmada, % 99 saflıkta B<sub>4</sub>C (3 µm), % 92 saflıkta Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> (0.8 µm), % 99 saflıkta α – SiC (2 – 3 µm), % 99 saflıkta TiC (5 µm), % 99 saflıkta Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,38 µm), % 99 saflıkta Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,38 µm) tozları kullanılmıştır. Sinterleme katkı maddesi olarak

$Al_2O_3+Y_2O_3$  alaşımı kullanılmıştır. Üretilen kompozit malzemedeki toz miktarları ağırlıkça % 20  $\alpha - Si_3N_4$ , % 10  $Al_2O_3 + Y_2O_3$  ve % 60  $B_4C$  olarak belirlenmiştir. Hazırlanan toz karışımları 380 dev/dak hız ile dönen değirmende 15 saat süreyle karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi tamamlanan tozların malzeme üretimi grafit kalıplarda 30 MPa basınç ile 1800 – 1850 – 1880 °C sıcaklıklarda 30 ve 50 dakika süre ile vakum ortamında gerçekteştirilmiştir. Kompozit malzemeler 42 mm çapında üretilmiş ve üretilen kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için malzemeler 2 mm X 4 mm X 30 mm – 40 mm ebatlarında kesilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda, üretilen kompozit malzemelerin sertlik, eğilme dayanımı, kopma dayanımı ve yoğunluk değerlerinin 1880 °C sıcaklıkta üretilen kompozit malzemedeki en iyi performans sağladığı yapılan deneylerle belirlenmiş ve bu değerler sırasıyla 88,6 HRA, 554 MPa  $m^{1/2}$  ve % 95,6 olarak ölçölmüştür. Kompozit malzemelerin mikroyapıları SEM ve enerji spektrumu yöntemleri ile analiz edilmiş ve analiz sonuçlarından yapı içerisinde katmanlı tabakanın olduğu belirlenmiştir. Matris arasında çerçeve dağılma fazı ve kabarık dağılma fazının olduğu ve bazı taneler arası yapılarda da  $B_4C$  taneleri bulunduğu yapılan ölçümler ile belirlenmiştir. Mikroyapı analizi ile elde edilen ölçümlerde yeni oluşan fazın, düzgün, ince taneli, katmanlı bir yapı meydana getirdiği ve üretilen MMK malzemelerin özelliklerinin iyileştirilmesinde önemli bir rol oynadığı yapılan çalışma ile tespit edilmiştir [38].

Somunkıran ve Balın, içerisinde ağırlıkça % 67,5 Co (% 99,5 saflıkta 3 – 7  $\mu m$ ), % 27,5 Cr (% 99,5 saflıkta 40  $\mu m$ ) ve % 5 Mo (% 99,95 saflıkta 40  $\mu m$ ) bulunduran metal tozlarını SP tekniğini kullanarak ürettikleri Co27Cr5Mo toz alaşımını 750, 800, 850, 900 °C’de dört farklı sıcaklıkta sinterlemiştir. Sinterleme işlemi sonrasında malzemelerin mikro yapılarını incelemişlerdir. Deneylerde kullanılan numunelerin iç yapısının homojen bir dağılım göstermesi için toz karışımları 360° dönebilen ve 1 litre kapalı hazneye sahip mikser içerisine % 1 oranında polietilen glikol (PEG) yağlayıcı ekleyerek 30 dakika süre ile karıştırılıp granöle edilmiştir. Toz karışımları 40 mm x 10 mm x 5 mm ölçülerinde hazırlanan grafit kalıplara yerleştirilmiştir. Deneysel çalışma için 4 adet numune üretilmiş olup her numune için farklı sinterleme sıcaklığı (750, 800, 850 ve 900 °C) uygulanmıştır. SP tekniğiyle üretilen Co esaslı Co – 27,5Cr – 5Mo toz alaşımındaki ölçölen yoğunluk, sıkıştırılabilirlik, gözeneklilik oranı arşimet prensibi yöntemiyle hesaplanmıştır. Numunelerin

mikroyapı incelemeleri SEM cihazı ile incelenmiştir. SEM görüntülerini incelemek için numuneler sırasıyla 80, 120, 240, 400, 600, 800, 1000, 1200 mesh'lik zımparalarda zımparalanmış ve yüzeyde kalan mikrometrik boyutlardaki abrasiv aşındırıcı partiküllerin, impürityelerin ve yağ gibi görüntü kalitesini engelleyecek kalıntıların temizlenmesi için 1 $\mu$ m' lik elmas pasta kullanılmıştır. Numunelerin mikrosertlik değerleri 750 °C'de 101, 800 °C'de 121, 850 °C'de 157 ve 900 °C'de 204 HV mikrosertlik ölçülmüştür. Yapılan çalışmanın sonucunda alınan yoğunluk değerlerinde sinterleme sıcaklığı arttıkça gözenekliliğin azaldığı belirlenmiştir. HV cinsinden alınan mikrosertlik değerlerine bakıldığında ise 750 °C deki mikrosertlik değeriyle en yüksek sinterleme sıcaklığı olan 900 °C' deki mikrosertlik değeri arasında iki kattan fazla sertlik değerinin olduğu ölçülmüştür. Parlatılan ancak dağlanmayan numunelerin 100X büyütmedeki optik görüntülerine bakıldığında 1 nolu numunedeki gözeneklerin çapının diğer numunelerden daha büyük, keskin köşeli ve düzensiz oldukları SEM görüntüleri ile gözlemlenmiştir. Artan sinterleme sıcaklığıyla birlikte gözeneklilik oranının düştüğü, gözenek çaplarının küçüldüğü ve gözenek dağılımındaki düzensizliğin azaldığı belirlenmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde ise tozların homojen bir şekilde istenilen oranlarda dağıldığı ve artan sıcaklıkla birlikte boyun oluşum oranının arttığı ve gözeneklilik oranının ise azaldığı tespit edilmiştir [39].

Mindivan ve arkadaşları, ikili Al – TiO<sub>2</sub> ve üçlü Al – TiO<sub>2</sub> – C tozları SP yöntemini kullanarak in-situ alüminyum esaslı kompozitler üreterek malzemelerin korozyon duyarlılıklarını ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Yapılan çalışmada, hammadde olarak Al (% 99 saflık 1 – 5  $\mu$ m), TiO<sub>2</sub> (% 94 saflık 0,3 – 1 $\mu$ m), C (% 99 saflık 1 – 2  $\mu$ m) tozları kullanılmıştır. İkili Al – TiO<sub>2</sub> toz sisteminde alüminyum içerisindeki TiO<sub>2</sub> oranı ağırlıkça % 10, üçlü Al – TiO<sub>2</sub> – C toz sisteminde ise ağırlıkça % 10 TiO<sub>2</sub> ve % 1,5 C tozları kullanılmıştır. Karışımı hazırlanan tozlar saf alkol içerisinde 1 saat karıştırılmış ve 70 °C ' de 1 saat kurutulduktan sonra argon gazı atmosferinde 70 bar basınç altında soğuk olarak preslenmiştir. Sonrasında In-situ reaksiyonların olduğu sıcaklık olan 1000 °C ' de, 1 saat süreyle bekletildikten sonra hava ortamında dengeli olarak soğumaya bırakılmıştır. Al' nin ergime sıcaklığı bölgesine geldiğinde 70 bar basınç altında sıcak olarak preslenmiştir. Üretilen kompozitlerin mikroyapısı optik ışık mikroskobu ile incelenmiştir. In-situ kompozitlerin korozyona karşı

duyarlılıkları potansiyodinamik polarizasyon ile belirlemeye çalışılmıştır. Mekanik özellikler ve sertlik ölçümleri oda sıcaklığında yapılmıştır. Yapılan çalışmanın sonunda, ikili Al-TiO<sub>2</sub> kompozitte Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oluşurken, üçlü Al - TiO<sub>2</sub> - C kompozitte ise Al<sub>3</sub>Ti bileşiği belirlenmiştir. Üçlü Al - TiO<sub>2</sub> - C kompozitin sertlik değeri, ikili Al - TiO<sub>2</sub> kompozite nazaran daha yüksek sertlik değerine ulaştığı, düşük sürtünme katsayısı ile birlikte düşük aşınma kaybı ve yüksek korozyon direnci sergilediği tespit edilmiştir [40].

Majumdar ve arkadaşları, MA ile Mo - 0,6Ti0,2Zr - 0,1C alaşımlarını hazırlayarak sıcak izostatik presleme yöntemiyle ürettikleri kapsüllerin mekanik özelliklerini incelemiştir. Deneysel çalışmada kullanılan Mo, Ti, Zr ve C tozlarının parçacık boyutları yaklaşık 1 - 1,5 µm olarak belirlenmiştir. Hazırlanan toz karışımları 400 dev/dak hız ile 20 - 60 - 120 saat karıştırılmıştır. MA ile hazırlanan tozlar 1300 - 1500 °C sinterleme sıcaklığında ve 350 bar basınç altında üretilmiştir. Sıcak izostatik presleme ile üretilen kapsüllerin ince taneli bir mikroyapı ve karbürlerin yapı içerisine tekdüze bir dağılım gerçekleştirdiği belirlenmiştir. Sıcak izostatik presleme yöntemi ile üretilen kapsüllerin sertlik değerinin 500 HK (Hardness Knoop) gibi yüksek bir değerde olduğu ve bunu nedenin ise yapı içerisinde ince taneli karbürlerin olmasından dolayı sertlik değerinin yüksek değerde olduğu tespit edilmiştir [41].

Martinez ve arkadaşları, sıcak izostatik presleme yöntemini kullanarak ürettikleri W alaşımlarının içerisindeki oksit dağılımını incelemiştir. Toz karışımlarının içine başlangıç maddesi olarak elementel tozlar ve nano boyutlu La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (lantan oksit) veya Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (yitriyum oksit) tozları, alaşımların oksitlenme dayanımını artırmak için ise W - Ti ve W - V tozları kullanılmıştır. Yapılan çalışmada kullanılan tozların boyutları W < 5 µm, Ti < 110 µm, V < 41 µm ve alaşımların oksitlere karşı dayanımını artırmak için kullanılan elementel maddelerin boyutları yaklaşık 10 ve 50 nm ölçülmüştür. Hazırlanan toz karışımları MA ile 400 dev/dak hızla 20 saat karıştırıldıktan sonra sıcak izostatik presleme ile 673 °K sıcaklıkta 24 saat süre ile sinterlenmiştir. Sonrasında W alaşımları 1573 °K ve 195 MPa basınç altında 2 saat bekletilerek üretilmiştir. W alaşımlarının mikro yapısı, SEM, XRD ölçüm cihazı ve atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ile incelenmiştir. Mikro sertlik değerleri 2,94 N'luk



kuvvet uygulanarak Vickers mikrosertlik ölçme yöntemi ile belirlenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda üretilen W alaşımlı malzemenin yoğunluk değerlerinin yüksek olduğu belirlenmiştir. W alaşımlı malzemenin ince taneli yapıya sahip olduğu ve mikrosertlik değerlerinin 7 – 13 HV arasında değiştiği tespit edilmiştir [42].

Akarsu ve Addemir, SP yöntemi ile üretilen titanyum diborür ( $TiB_2$ ) katkılı bor karbür ( $B_4C$ ) – silisyum karbür ( $SiC$ ) ve  $TiB_2$  katkısız,  $B_4C/SiC$  kompozit malzemelerin sertlik, kırılma mukavemeti ve yoğunluk üzerine etkilerini incelemiştir. Deneylerde kullanılan tozlar hacimce  $B_4C/SiC$  oranı % 1,5 ile % 4 arası değişen  $B_4C - SiC$  kompozitlerine hacimce % 0 – 4 arasında  $TiB_2$  katkısı yaparak bu üçlü toz karışımı bir atritör içerisinde  $SiC$  tozlar kullanarak 1 saat süre ile karıştırılmıştır. Elde edilen homojen toz karışımlar tek eksenli soğuk presleme ile 200 MPa yük altında preslenmiş ve sonrasında 2250 °C’de 130 MPa basınç ile sıcak preslenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda kırılma mukavemetleri 369,1 MPa’ a kadar değerler alırken en yüksek sertlik değeri 2880 HV olarak ölçülmüştür. Relatif yoğunluk değerlerinin % 89,5 – 93,55 arasında değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca  $TiB_2$  katkılı numuneleri  $TiB_2$  katkısız numuneler ile karşılaştırdıklarında ise  $TiB_2$  katkısının kırılma mukavemeti değerlerini artırdığı ve sertlik değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir [43].

Huang ve arkadaşları, SP yöntemi ile üretilen MMK malzemelerin özelliklerini incelemiştir. Yapılan çalışmada, kullanılan C,  $B_4C$  ve  $SiC$  toz karışımlarına hacimce farklı oranlarda Al tozu ilave edilmiştir. Deneylerde, parçacık boyutu yaklaşık 1,27  $\mu m$   $B_4C$ , 0,88  $\mu m$   $SiC$  ve 1,34  $\mu m$  Al tozu kullanılmıştır. MMK malzemelerin üretimi öncesinde belirli bir orana göre hazırlanan toz karışımları bilyalı değirmende 8 saat boyunca öğütülmüştür. Karıştırılan tozların hacimce oranları sırasıyla % 70 C, % 19  $B_4C$  ve % 11  $SiC$  olarak belirlenmiş ve C,  $B_4C$  ve  $SiC$  karışımlarına hacimce farklı oranlarda (0, % 2,5, % 5 ve % 10) Al tozu eklenmiştir. Karıştırma işlemi gerçekleşen tozlar grafit kalıplarda 2000 °C sıcaklıkta ve 25 MPa basınç altında 30 dakika bekletilerek üretimleri gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri, oksitlenmeye karşı önlemek için SP işlemi esnasında ortama  $N_2$  gazı verilmiştir. Üretilen MMK malzemelerin yoğunlukları Al katkısız olan numune için 1,950  $g.cm^{-3}$ , % 2,5 Al için 2,103  $g.cm^{-3}$ , % 5 Al 2,194  $g.cm^{-3}$ , % 10 Al 2,249  $g.cm^{-3}$  olarak ölçülmüştür. Yapılan

çalışmanın sonucunda yapıdaki alüminyumun (% Al) miktarı arttıkça kompozitin özelliklerini geliştirdiği ve bu oran arttıkça özelliklerin daha az geliştiği bunun nedeninin ise SP sırasında oluşan  $2Al_4C_3 - SiC$  fazı ile alakalı olduğu XRD ölçüm cihazı ile yapılan testler sonucunda tespit edilmiştir [44].

Li ve arkadaşları, Cr, Al ve NiO tozu kullanarak reaktif SP ile  $Al_2O_3 - NiCrAl$  kompozit malzeme üretmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin mikro yapı, oksidasyonlara karşı aşınma direnci ve termik şoklara karşı gösterdiği özellikler incelenmiştir. Deneylerde % 99 saflıkta NiO (20  $\mu m$ ), % 98 saflıkta Cr, Al (2  $\mu m$ ), % 99,9 saflıkta  $\alpha - Al_2O_3$  (35 nm) tozları kullanılmıştır.  $Al_2O_3 - NiCrAl$  in - sitü kompozitleri için NiO, Cr, Al, Ni veya  $\alpha - Al_2O_3$  tozları bilyalı değirmende 24 saat öğütülmüştür. Üretilen kompozitlerde ara katman olarak hacimce % 25, % 52,2 ve % 75  $Al_2O_3$  tozu kullanılmıştır. Karışımda çözücü olarak ethanol kullanılmıştır. Öğütme işlemi bitirilip tozlar kurutulduktan sonra toz karışımlarını nikel kaplı grafit kalıplarda reaktif SP ile kompozit numuneler üretilmiştir. FGM (Functional Gradient Materials) numunelerini üretmek için tozlar üç tabaka halinde istiflenip bileşimin dağılımını eşit tutmak için her tabakada düşük basınç uygulayarak preslenmiştir. Presleme işlemi 900 ve 1250 °C sıcaklıkta 22 MPa basınç altında 30 dakika süreyle uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda, en yüksek eğilme dayanımının hacimce % 25  $Al_2O_3$  içeren kompozit malzemede olduğu, kullanılan fonksiyonel çözücü malzemelerin iyi bir mukavemet, oksidasyon direnci yüksek ve termal şoklara karşı dirençli (1000 °C) kompozit malzemeler üretildiği belirtilmiştir [45].

Sun ve arkadaşları, SP yöntemini kullanarak matris elemanı  $B_4C$  (3 – 5  $\mu m$ ) ve katkı maddesi olarak kullanılan  $Al_2O_3$  ve TiC (1 – 2  $\mu m$ ) tozlarını farklı oranlarda kullanılarak üretilmiş oldukları seramik matrisli kompozit (SMK) malzemelerin mekanik özelliklerini incelemiştir. Deneysel çalışmalarında kullanılacak olan kompozit malzemeler için farklı oranlarda hazırlanan tozlar bilyalı değirmende sementit karbürden yapılmış bilyalar ile 100 saat karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi tamamlanan tozlar  $N_2$  gazı atmosferinde grafit kalıplarda düşük basınçlarda SP yöntemi kullanılarak 3 mm x 4 mm x 36 mm boyutlarında SMK malzemeler üretimi gerçekleştirilmiştir. Numuneler  $T_1$  (ağırlıkça % 100  $B_4C$ ),  $T_2$  (ağırlıkça % 90  $B_4C - % 5 Al_2O_3 - % 5 TiC$ ),  $T_3$  (ağırlıkça % 85,3  $B_4C - % 4,7 Al_2O_3 - % 10 TiC$ ),  $T_4$

(ağırlıkça % 80,5 B<sub>4</sub>C – % 4,5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – % 15 TiC), T<sub>5</sub> (ağırlıkça % 94,7 B<sub>4</sub>C – % 5,3 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – % 0 TiC) olarak adlandırılmıştır. Numuneler farklı sıcaklıklarda ve sabit basınç altında üretilmiştir. Sıcaklık aralıkları T<sub>1</sub> numunesi için 2150 °C, T<sub>2</sub> numunesi için 1900 °C T<sub>3</sub> numunesi için 1900 °C’ de, T<sub>4</sub> numunesi için 1900 °C’ de, T<sub>5</sub> numunesi için 2150 °C olarak kullanılmıştır. Kompozit numuneler 35 MPa basınç altında 35–75 dakika bekletilerek üretilmiştir. Numuneler 1900 °C’ de 60 dakika süre ile sinterlenerek XRD ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda kopma dayanımının, (4,8 Mpa m<sup>1/2</sup> ± 0.4), eğilme mukavemetinin (445,2 MPa±20) ve malzeme sertliğinin (24,8 HV) en yüksek olduğu değer T<sub>3</sub> ile ifade edilen kompozit malzemede ölçülmüştür. Üretilen kompozit malzemelere Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiC’ in ilave edilmesi ile mekanik özelliklerinde iyileşme olduğu tespit edilmiştir [46].

Kim ve arkadaşları, SP yöntemini kullanarak SMK malzemelerin üretimlerini gerçekleştirmiştir. Üretilen SMK malzemelerin yoğunlukları ve mekanik özellikleri (sertlik, eğilme dayanımı, elastik modülü, kopma dayanımı) incelenmiştir. Deneylerde matris elemanı olarak B<sub>4</sub>C, takviye elemanı olarak ise farklı oranlarda (% 0 – 5 – 10) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozu kullanılmıştır. Yapılan çalışmada kullanılan B<sub>4</sub>C ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozunun parçacık boyutları yaklaşık 1,33 µm ölçülmüş ve farklı oranlarda hazırlanan toz karışımları bilyalı değirmende 8 saat süre ile karıştırılıp grafit kalıplara konularak (30 mm x 30 mm) argon gazı atmosferinde 2000 °C sıcaklıkta 30 MPa basınç altında 1 saat bekletilerek üretilmiştir. Mekanik testler için farklı oranlarda üretilen numuneler 3 mm X 4 mm X 25 mm ölçülerine getirilmiştir. Üretilen SMK malzemelerin kimyasal bileşenleri XRD cihazı, mikro yapıları ise SEM cihazı kullanılarak incelenmiştir. SMK malzemelerin elastik modülleri ultrasonik darbe yöntemi ile ölçülmüştür. Kompozit malzemelerin sertlik değerleri Vickers sertlik ölçümü ile 1,96 N yük uygulanarak ölçülmüştür. Eğilme mukavemetlerini çapraz kafa hızı 0,5 mm/dak hız ile çalışan dört nokta eğilme test cihazı ile ölçülmüştür. Kopma dayanımları 15 saniye süre 98 N yük uygulanarak ölçülmüştür. Yapılan çalışmanın sonucunda, B<sub>4</sub>C matrisli kompozit malzemeye Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>’ in ilave edilmesi ile SMK malzemelerin mikro yapı ve sinterleme davranışının belirgin bir şekilde değiştiği gözlenmiştir. Üretilen SMK malzemelerin yoğunluğunda iyileşme olduğu ve bu iyileşmenin mekanik özellikler üzerinde kayda değer bir artış gösterdiği belirlenmiştir. SMK malzeme içerisindeki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>’ ün hacimce % 5 seviyesine

geldiğinde  $Al_2O_3$  ve  $B_4C$  arasında ki yüksek ısı uyumsuzluğundan dolayı kopma dayanımı dışında ki diğer mekanik özelliklerin azaldığı yapılan deneysel çalışma ile tespit edilmiştir [47].

Şahin ve arkadaşları, SP ve reaktif SP tekniğini kullanarak  $B_4C$  içerisine farklı oranlarda SiC ilave edilerek kompozit malzemelerin üretimini gerçekleştirmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin mikro yapı, sertlik, eğilme dayanımı ve yoğunlukları incelenmiştir. Deneylerde kullanılan  $B_4C$  tozunun parçacık boyutu 2,5  $\mu m$  ve SiC tozunun parçacık boyutu yaklaşık 0,55  $\mu m$  ölçülmüştür. Reaktif SP işleminde siyah karbon Elftex 125 ağırlıkça % >98,  $B_4C$  içerisinde ise ağırlıkça % 99,9 saflıkta SiC ve nano boyutlu  $SiO_2$  kullanılmıştır. SP deneyleri için  $B_4C/SiC$  oranı hacimce % 0, 10, 20 ve 30, reaktif SP deneylerinde kullanılan  $B_4C$  ve  $SiO_2$  ve siyah karbon Elftex toz karışımına hacimce % 5, 10, 15, 20 SiC tozu ilave edilerek karıştırılmıştır. Karışımı hazırlanan tozlar tefzel kaplamalı attritör değirmen içerisine SiC bilyalar ve etanol ilave edilerek 2 saat boyunca 600 devir/dak hız ile karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi tamamlanan seramik tozlar 105 °C sıcaklıkta 24 saat bekletilerek kurutulmuştur. Her iki yöntemde üretilecek kompozit malzemeler için karışımı hazırlanan seramik tozlar grafit kalıplarda 2200 °C sıcaklıkta 100 MPa basınç altında 1 saat bekletilerek, 50 mm X 50 mm X 8 mm ölçülerinde deney numuneleri üretilmiştir. Üretilen SMK numunelerin yoğunlukları arşimed tekniği kullanılarak ölçülmüştür. Mekanik testler için hazırlanan numunelerin yüzeyleri parlatılmıştır. Malzemelerin sertlik değerleri Vickers sertlik ölçüm yöntemi kullanılarak 100 g yük uygulanarak mikro sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Eğilme dayanımları, üç nokta eğilme dayanım ölçüm yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. Kompozit numunelerin faz bileşimleri XRD cihazı kullanılarak, mikro yapılarını ise SEM cihazı kullanılarak incelenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda, en yüksek relatif yoğunluk değerini reaktif SP yöntemi ile üretilen hacimce % 15 SiC içeren kompozit malzemede % 95 olarak ölçülmüştür. Üretilen numunelerin en yüksek sertlik değerinin reaktif SP yöntemiyle üretilen numunede (22 HV) hacimce % 20 SiC içeren kompozit malzemede olduğu belirlenmiştir. En yüksek eğilme dayanımının (250 MPa) SP yöntemi kullanılarak hacimce % 100  $B_4C$  içeren malzemede olduğu ve yüksek yoğunluk değerinin reaktif SP yöntemi kullanılarak hacimce % 15 SiC ile üretilen numunelerde yoğunluğun arttığı tespit edilmiştir [48].

Palma ve arkadaşları, sıcak izostatik presleme yöntemini kullanarak 80 mm çapında 115 mm boyunda ve yaklaşık olarak 3,5 kg ağırlığı olan kompozit malzemeleri 240 dakika süreyle 150 MPa basınç altında 1250 °C’ de üretimini gerçekleştirmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin bileşenleri % 45 Ni, % 45 Al, % 7,5 Cr ve % 2,5 Ta olarak belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan tozlar, gaz atomizasyon yöntemi kullanılarak üreten ticari bir firma tarafından temin edilmiştir. Üretilecek kompozit malzemelerin mikro yapısındaki değişiklikleri görmek için farklı parametreler (sıcaklık, basınç, zaman ve malzeme ebatları) seçilmiştir. MMK malzemenin üretimi esnasında nikel kapsülü ve NiAl – Ta – Cr arasında oluşan reaksiyonu önlemek için özel bir kaplama tekniği kullanılmıştır. Üretilen kompozit malzemeler ışık optik ve SEM ile incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplı nikel kapsülü porozite ve çatlak olmadan homojen bir şekilde üretildiği tespit edilmiştir [49].

Zhang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, SP yöntemi ile SMK malzeme üretimini gerçekleştirmiştir. Üretilen TiAl/B<sub>4</sub>C SMK malzemenin mikro yapı, korozyon direnci ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda, eğilme dayanım ve kırılma tokluğu değerleri 437,3 MPa ve 4,85 MPa m<sup>1/2</sup> olarak ölçülmüştür. Üretilen SMK malzeme B<sub>4</sub>C’ nin monolitik fazından daha yüksek değere ulaşmıştır. Potansiyodinamik polarizasyon ölçümleri ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi sonuçları incelendiğinde kompozit malzemelerin korozyona karşı mükemmel direnç gösterdiği tespit edilmiştir [50].

Keçeli ve arkadaşları, SiC tozu ve içerisine farklı oranlarda B<sub>4</sub>C ilave edilerek SMK üretimini gerçekleştirmiştir. Deneysel çalışmada, üretilen SMK malzemelerin termal ve mikro yapı değişimleri incelenmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan SiC ve B<sub>4</sub>C tozlarının boyutu ve yüzey alanı SiC için yaklaşık 0,107 µm ve yüzey alanı 59,6 m<sup>2</sup>/g, B<sub>4</sub>C için 2,54 µm ve yüzey alanı 9,06 m<sup>2</sup>/g olarak ölçülmüştür. Çalışmada beş farklı numune üretilmiş ve üretilen numunelerdeki oranlar ağırlıkça A (% 100 SiC), B (%95 SiC – % 5 B<sub>4</sub>C), C (% 90 SiC – % 10 B<sub>4</sub>C) ve D (% 85 SiC – % 15 B<sub>4</sub>C) olarak belirlenmiştir. Farklı oranlarda hazırlanan toz karışımları bilyalı değirmende 330 dev/dak hız ile dönerek 8 saat karıştırılmıştır. Hazırlanan toz karışımları 5 cm x 5 cm boyutundaki kalıba koyularak 2100 °C sıcaklık ve 50 MPa basınç altında 30 dakika bekletilerek üretilmiştir. Numunelerin yoğunlukları arşimet prensibi yöntemi

kullanılarak, mikro sertlik değerleri vickers sertlik ölçme yöntemi kullanılarak 1000 gram yük altında 15 saniye bekletilerek ölçülmüştür. Yapılan deneysel çalışmanın sonucunda üretilen malzemelerin yoğunlukları 2,38, 2,36, 2,39 ve 2,40 g/cc olduğu, relatif yoğunluk değerlerinin A malzemesi için % 77, B malzemesi için % 77, C malzemesi için % 79 ve D malzemesi için % 80 olarak ölçülmüştür. Malzemelerin SEM görüntüleri incelendiğinde, bütün malzemelerde porozite oluştuğu gözlenmiştir. Üretilen kompozit malzemelerdeki B<sub>4</sub>C oranının artmasıyla yoğunluk, eğilme ve darbe dayanımı değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Darbe dayanımı için en iyi değerin % 5 B<sub>4</sub>C içeren kompozit malzeme ile oluştuğu tespit edilmiştir [51].

Deng ve arkadaşları, SP yöntemi ile üretilen B<sub>4</sub>C/(W, Ti)C seramik matrisli kompozit malzeme üretimini gerçekleştirerek mikro yapı ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Yapılan çalışmada, % 95 saflıkta 3 – 5 µm boyutlarında B<sub>4</sub>C ve % 99 saflıkta 1 – 2 µm (W, Ti)C tozu kullanılmıştır. Matris malzemesi olarak B<sub>4</sub>C kullanılmış ve içerisine ağırlıkça % 10 – 30 – 50 oranında (W, Ti)C ilave edilmiştir. Hazırlanan toz karışımları 150 saat süre ile içerisinde alkol bulunan bilyalı değirmende sementit karbür bilyalar ile karıştırılmıştır. Kurutma işlemi gerçekleştirildikten sonra toz karışımları argon atmosferinde 35 MPa sabit basınç altında yaklaşık 2200 °C sıcaklıkta 20 – 70 dakika bekletilerek üretilmiştir. Numuneler 3 mm x 4 mm x 36 mm boyutlarında üretilmiş ve üretilen numunelerin yoğunlukları arşimet metodu kullanılarak ölçülmüştür. SMK numunelerin üç nokta çapraz kırılma, eğilme dayanımı, kopma dayanımı ve sertliği incelenmiştir. Malzemelerin sertlik ölçümleri vickers sertlik ölçme yöntemi kullanılarak 98 N yüklenme ile gerçekleştirilmiştir. Üretilen SMK malzemeleri sinterleme, öncesinde ve sonrasında XRD cihazı ile tane boyutu ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sinterlenen malzemelerin mikro yapıları ise SEM cihazı ile incelenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda, üretilen kompozit malzemelerin saf B<sub>4</sub>C ile kıyaslandığında mekanik özelliklerinin ve yoğunluklarının iyileştiği belirlenmiştir. En iyi sertlik değerinin ağırlıkça % 50 (W,Ti)C içeren kompozit malzemedeki oluştuğu ve (W,Ti)C oranının artmasıyla kopma dayanım ve eğilme dayanım değerinin arttığı yapılan çalışma ile tespit edilmiştir [52].

Li ve arkadaşları, SP yöntemini kullanarak farklı oranlarda hazırladığı 8 nm boyutunda NiO ve % >99 saflıkta Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> toz karışımlarına, hacimce % 4 oranında Ni tozu ilave ederek kompozit malzeme üretmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Deneyler için hazırlanan toz karışımlarını bilyalı değirmende kaplayarak hidrojen indirgemesi ve SP tekniği kullanılarak iki farklı yolla üretilmiştir. Kompozitlerin toz halindeki karışımı teorik olarak yaklaşık % 98 hacim yoğunluğuna ulaşmaya kadar bilyalı değirmende karıştırılmıştır. A numunesi (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve NiO) 1450 °C'de B numunesi (Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> – 6H<sub>2</sub>O ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ise 1400 °C'de argon gazı atmosferinde 20 MPa basınç altında 1 saat bekletilerek 5 X 2,5 X 30 mm<sup>3</sup> hacminde üretilmiştir. Üretilen numunelerin mikroyapı incelemeleri SEM cihazı ile incelenmiş ve parçacıkların homojen şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda, iki farklı üretim yöntemini birbirleriyle kıyaslandığında, karıştırma sonrasında SP yöntemi kullanılarak elde edilen kompozit malzemelerin diğer yöntem kullanılarak üretilen kompozit malzemeye göre kırılma tokluğunun yüksek, eğilme dayanımlarının düşük olduğu tespit edilmiştir. Kırılma tokluğunun iyileşmesine neden olarak da çatlak ilerlemesinin takviye elemanı tarafından durdurulduğu mikro grafik incelemelerinden tespit edilmiştir [53].

Jiang ve arkadaşları, SP tekniği kullanılarak üretilen B<sub>4</sub>C/BN nanokompozitlerinin hazırlanması ve işlenebilirlik üzerine etkilerini incelemiştir. Deneylerde kullanılacak olan B<sub>4</sub>C tozunun parçacık boyutu 3,5 µm olarak ölçülmüştür. BN kompozitlerinin nano yapıda hazırlanması için borik asit (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) ve üre (CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>) kullanılmıştır. Üretilen B<sub>4</sub>C/BN kompozit malzemesindeki BN oranı ağırlıkça % 0, 10, 20, 30 ve 40 olarak seçilmiştir. Hazırlanan toz karışımları mekanik karıştırıcı içerisine etanol ilave ederek 24 saat süre ile karıştırılmış ve sonrasında yavaş bir şekilde kurutulmuştur. Hazırlanan toz karışımı atmosfer ortamında 550 °C sıcaklıkta 15 saat süre ile bekletilmiş ve sonrasında 850 °C sıcaklıkta N<sub>2</sub> gazı ortamında 6 saat bekletilmiştir. Sonraki işlemde ise toz karışımları 1850 °C sıcaklıkta ve 30 MPa sabit basınç altında N<sub>2</sub> gazı atmosferinde 1 saat süre bekletilerek 3 mm X 4 mm X 30 mm boyutlarında kompozit malzemeler üretilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin kimyasal bileşenleri için XRD ölçüm cihazı , mikro yapıları ise SEM ölçüm cihazı kullanılarak incelenmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin yoğunlukları arşimet prensibi, kopma dayanımı ise üç nokta çapraz kırılma ölçüm cihazı kullanılarak

belirlenmiştir. Kompozit malzemelerin sertlik değerleri vickers sertlik ölçme yöntemi kullanılarak 49 N yük altında ve 15 saniye bekletilerek ölçülmüştür. Yapılan çalışmanın sonucunda, nano boyutlu h – BN partiküllerinin matris içerisine homojen bir şekilde dağıldığı tespit edilmiştir [54].

Estrada–Guel ve arkadaşları, mekanik olarak karıştırdıkları Al – C karışımına metalik malzemeler ilave ederek elde edilen kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini incelemiştir. Yapılan çalışmada, % 98 saflıkta Al, % 99,5 saflıkta Cu, % 99,8 saflıkta Ni ve % 99,9 saflıkta Ag ve C tozları kullanılmıştır. Üretilen kompozit malzeme içerisindeki karışım oranları birinci malzemede ağırlıkça % 100 C – % 10 Cu ikinci malzemede % 90 C – % 15 Cu, üçüncü malzemede % 85 C – % 10 Ni, dördüncü malzemede % 90 C – % 15 Ni, beşinci malzemede % 85 C – % 10 Ag, altıncı malzemede % 90 C – % 10 Ag ve son olarak ise % 85 C – % 10 Ag olarak belirlenmiştir. Hazırlanan toz karışımları silindirik bir kalıpta 950 MPa basınç altında 823 °K sıcaklıkta 3 saat süre ile bekletilerek üretimleri gerçekleştirilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin mikro yapıları SEM mikroskobu, sertlik değerleri ise Wilson Rockwell Instron sertlik ölçüm cihazı kullanılarak incelenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda, güçlendirilmiş Cu – C partiküllerinin Al matrisi içerisine homojen bir şekilde dağıldığı ve Al matris içerisine Ni – C ve Ag – C toz karışımları eklendiğinde ise matris malzeme içerisine homojen şekilde dağılmadığı belirlenmiştir. Akma mukavemeti ve sertlik değerlerinin saf Al' ye göre daha yüksek olduğu, metal tipi ve karıştırma süresinin kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini etkilediği yapılan çalışma ile tespit edilmiştir [55].

Flores – Zamora ve arkadaşları, sıcak ekstrüzyon ve MA yöntemini kullanarak Alüminyum – Grafit kompozit malzeme üreterek mekanik özelliklerini (çekme, basma, akma gerilmesi ve mikroyapı) incelemişlerdir. Yapılan çalışmada, % 99,5 saflıkta ve 325 mesh ölçüsünde Al ve nano boyutta grafit kullanmıştır. Ürettikleri kompozit malzemede grafit oranını ağırlıkça % 0, % 0,25, % 0,50, % 0,75 ve % 1 oranında belirlenmiştir. Karışım tozları bilyesiz karıştırıcı ile 30 dakika süre ile mekanik olarak karıştırılmış ve sonrasında 2 saat süre ile argon gazı atmosferinde yüksek enerjili simoloyer değirmeninde öğütülmüştür. Hazırlanan toz karışımı tek ekseninde 950 MPa basınç altında 2 saat süre ile bekletilmiştir. Üretilen kompozit



malzeme dakikada 50 °K ısıtılarak 823 °K sıcaklıkta 3 saat bekletilmiş ve 823 °K sıcaklıkta 10 mm çapta ekstürizyon edilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda, kompozit malzeme içerisindeki grafit oranı arttıkça akma gerilmesi oranının arttığı, elastikiyet modülünün azaldığı, basma dayanımının arttığı, çekme dayanımının arttığı, üretilen kompozit malzemenin yeniden kristalleşme sıcaklığının saf Al' ye göre daha yüksek olduğu SEM sonuçları ile tespit edilmiştir [56].

Bedir yaptığı çalışmada, nitrojen atmosferi altında SP ile üretmiş olduğu Al –Cu – B<sub>4</sub>C<sub>p</sub> ve Al – Cu – SiC<sub>p</sub> kompozit malzemenin karakteristik özelliklerini incelemiştir. Deneyle için ürettiği kompozit malzemelerde kullandığı tozların parçacık boyutlarını sırasıyla yaklaşık olarak Al için 25 µm, Cu için 63 µm, SiC ve B<sub>4</sub>C için 10 µm seçmiştir. Al matrisli alaşımdaki Cu oranını ağırlıkça % 5 olarak seçmiştir. Üreteceği Al – Cu matrisli SiC takviyeli kompozit malzemede ki SiC ve B<sub>4</sub>C oranlarını % 0 – 10 – 20 – 30 olarak belirlemiştir. Hazırladığı toz karışımlarını AISI H13 sıcak iş takım çeliğinden yaptığı 30 x 40 mm ebatlarındaki kalıpta 25 MPa basınç altında sıcaklığın dakikada 20 °C arttığı 600 °C sıcaklıkta nitrojen atmosferi altında üretmiştir. Üretilen kompozit malzemeleri 530 °C sıcaklıkta 24 saat süre ile ısıtıl işleme tabi tutup sonrasında ise 180 °C sıcaklıktaki yağ banyosunda 8 – 10 saat süre bekleterek en yüksek HB (Brinell Hardness) sertlik değerine ulaştırmıştır. Sonrasında malzemeleri kuru kayma şartlarında oda sıcaklığında 2 – 4 – 6 – 8 ve 10 N yüklerde Pin – on disk tipi aşınma cihazı ile aşınma dirençlerini incelemiştir. Yaptığı çalışmanın sonucunda, kompozit malzemedeki takviye elemanlarının hacimce oranı arttıkça aşınma direnci ve sertliklerinin arttığını tespit etmiştir [57].

Jianxin ve arkadaşı, SP yöntemi ile üretilen seramik matrisli B<sub>4</sub>C/TiC/Mo kompozit malzemelerin iç yapılarındaki TiC'in mikroyapı ve mekanik özelliklere olan etkisini incelemiştir. Üretilen kompozit malzemelerde % 95 saflıkta 3 – 5 µm B<sub>4</sub>C tozu, % 99 saflıkta 1 – 2 µm TiC tozu ve % 99 saflıkta 1 – 2 µm Mo tozları kullanılmıştır. Farklı oranlarda hazırlanan toz karışımları, içerisinde alkol bulunan bilyalı değirmende sementit karbür bilyalarla 100 saat karıştırılmıştır. Kurutma işlemi gerçekleştirilen toz karışımları argon gazı atmosferinde 35 MPa basınç altında maksimum 2150 °C sıcaklıkta 65 – 50 dakika bekletilerek kompozit malzemelerin üretimleri gerçekleştirilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin yoğunlukları arşimet ölçüm

yöntemi ile sertlik değerleri ise 98 N yüklenme ile vickers sertlik ölçüm yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. Sinterlenen malzemelerin mikroyapıları SEM ile incelenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda, üretilen kompozit malzemelerin XRD ölçümleri incelendiğinde TiC' in yapıda görülmediği bunun sebebinin ise sinterleme süresince meydana gelen reaksiyon sonucunda TiC' in B<sub>4</sub>C ile reaksiyona girerek Ti<sub>2</sub>B' ye dönüştüğü belirtilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin mekanik özellikleri incelendiğinde kopma mukavemetinin, eğilme mukavemetinin ve sertlik değerlerinin ağırlıkça % 10 TiC içeren kompozit malzeme en yüksek değerde olduğu tespit edilmiştir [58].

Nie ve arkadaşları, MA ile ürettikleri B<sub>4</sub>C parçacık takviyeli 2024Al matrisli kompozit malzemenin ara yüzey karakteri ve mikroyapısını incelemiştir. Çalışmalarında kullanılan 2024 Al alaşımının kimyasal bileşimini incelediklerinde içerisinde Cu, Mg, Zn, Mn, Cr, Fe ve Ti elementlerini içerdiği belirlenmiştir. MMK malzeme içerisinde bulunan (hacimce % 10) B<sub>4</sub>C' nin parçacık boyutu yaklaşık 7 µm, 2024 alüminyum alaşım tozunun parçacık boyutu ise 24 µm olarak belirlenmiştir. B<sub>4</sub>C içerisinde bulunan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> ve serbest şekilde bulunan elementlerin etkisini yok etmek için hazırlanan B<sub>4</sub>C tozu karıştırma işleminden önce % 5 HF sıvı çözelti içerisinde daldırılarak 40 saat süre ile bekletilmiştir. Karışımı hazırlanan tozlar çelik kalıplara ilk olarak soğuk pres altında 400 MPa basınç ile kalıplandıktan sonra sıcaklık 570 °C de 300 MPa basınç altında SP işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlemden sonra üretilen numune 480 °C sıcaklıkta sıcak ekstrüzyon edilmiştir. Üretilen MMK malzemelerin kimyasal analizi SEM ile incelenmiştir. Çalışmanın mikro yapı analizlerinde parlatılan yüzeyler incelendiğinde yüzeyde porozite ve çatlakların olduğu gözlenmiştir. B<sub>4</sub>C' nin yapı içerisinde homojen bir şekilde dağıldığı belirlenmiştir. MA ile üretilen MMK malzemenin takviye elemanı ve ana faz arasında güçlü bir ara yüzey bağı oluşturduğu tespit edilmiştir [59].

Liu ve arkadaşı, SP yöntemi ile üretilen B<sub>4</sub>C esaslı seramik kompozitlerin aşınma davranışını incelemiştir. Yapılan çalışmada, kullanılan B<sub>4</sub>C ve TiO<sub>2</sub> tozlarının parçacık boyutu sırasıyla 3 – 5 µm ve 1 – 2 µm olarak temin edilmiştir. Deneylerde kullanılan malzemeler 4 farklı oranda üretilmiştir. Üretilen malzemelerde toz oranları

saf B<sub>4</sub>C (ağırlıkça % 100 B<sub>4</sub>C), NT1 (ağırlıkça % 96 B<sub>4</sub>C ve % 4 TiO<sub>2</sub>), NT2 (ağırlıkça %92 B<sub>4</sub>C ve % 8 TiO<sub>2</sub>) ve NT3 (ağırlıkça % 88 B<sub>4</sub>C ve % 12 TiO<sub>2</sub>) kullanılmıştır. Karışımı hazırlanan tozlar bilyalı değirmende sementit karbür bilyalar ve bilyalı değirmene ilave edilen alkol içerisinde 100 saat karıştırılmıştır. Karışımı tamamlanan tozlar hidroklorik asit (HCl) içerisinde tekrar yıkanmıştır. Karıştırma işleminden sonra toz parçacıklarının boyutu yaklaşık 1,5 µm olarak ölçülmüştür. Kurutma işlemi tamamlanan tozlar grafit kalıp içerisine yerleştirilerek N<sub>2</sub> gazı atmosferinde 35 Mpa basınç altında 1900 °C sıcaklıkta 50 dakika bekletilerek 50 mm çapında ve 6 mm genişliğinde üretilmiştir. Malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için malzemeler 3 mm X 4 mm X 36 mm boyutlarına getirilmiştir. Üç nokta çapraz kırılma testleri uygulanarak kopma dayanımları ve eğilme dayanımları ölçülmüştür. Üretilen kompozit malzemelerin sertlik değerleri vickers sertlik ölçme yöntemi kullanılarak 9,8 N yük altında 5 saniye bekletilerek ölçülmüştür. Mikro sertlik değerleri ise Vickers mikro sertlik ölçüm yöntemi kullanılarak 196 N yük altında 30 saniye bekletilerek ölçülmüştür. Mekanik özellikleri belirlenen malzemelerde en iyi değeri NT2 adlı kompozit malzeme gösterirken en kötü değerler % 100 saf B<sub>4</sub>C ile elde edilmiştir. Üretilen NT2 adlı kompozit malzemenin XRD görüntüleri incelendiğinde B<sub>4</sub>C ve TiO<sub>2</sub> arasında gerçekleşen bir reaksiyon olduğu belirlenmiştir. Üretilen malzemelerin aşınma deneyleri abrasif hava jeti ile gerçekleştirilmiştir. Bu işlem için aşındırıcı partikül olarak 150 – 180 µm boyutlarında SiC tozları kullanılmıştır. Aşınma deneyleri için nozul, kompozit malzeme üzerinden 10 mm yükseklikte tutularak gerçekleştirilmiştir. Nozul kompozit malzeme üzerinde farklı açılarda (15°, 30°, 45°, 60°,75° ve 90°) ve nozulun ucundan farklı hızlarda (30, 45, 60 ve 75 m/s) partiküller çıkarak malzeme üzerinde oluşan aşınmalar incelenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda, B<sub>4</sub>C esaslı seramik kompozit SP yöntemi ile üretilirken TiB<sub>2</sub> ile reaksiyona girdiği gözlenmiştir. Aşınma testleri için NT2 kompozit malzeme en iyi aşınma direncini gösterirken en az aşınma direncini saf olarak üretilen B<sub>4</sub>C' de olduğu yapılan deneylerden elde edilen grafiklerden belirlenmiştir. Nozulun duruş açısı 90<sup>0</sup> olarak konumlandırıldığında malzeme üzerinde gerçekleşen aşınma miktarının en yüksek değerde olduğu ve 30° olarak konumlandırıldığında ise en az etkiyi gösterdiği yapılan çalışma ile tespit edilmiştir [60].

Jianxin ve arkadaşı, SP tekniği kullanılarak üretmiş oldukları B<sub>4</sub>C esaslı seramik nozulun aşınma performansını incelemiştir. Yapılan çalışmada kullanılan B<sub>4</sub>C, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiC tozlarının parçacık boyutları sırasıyla B<sub>4</sub>C için 3 – 5 µm, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiC için ise 1 – 2 µm olarak belirlenmiştir. Aşınma deneyleri için B<sub>4</sub>C esaslı beş farklı oranda kompozit malzeme üretilmesi planlanmıştır. Üretilecek olan malzemeler BA0, BAT05, BAT10, BAT15, BAT20 olarak adlandırılmıştır. Adlandırılan malzemelerde B harfi B<sub>4</sub>C' yi A harfi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>' u T harfi TiC' i simgelemekte ve rakamlar ise TiC' in yüzde miktarını göstermek için kodlanmıştır. Üretilen malzeme içerisindeki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>' ün oranı ise B<sub>4</sub>C' nin ağırlıkça 18:1' dir. Karışımı hazırlanmak üzere tozlar bilyalı değirmende alkol içerisinde 150 saat sementit karbür bilyalar ile karıştırılmıştır. Karışımı hazırlanan tozlar kurutma işleminden sonra 35 MPa basınç altında argon gazı atmosferinde 2150 °C sıcaklıkta 60 – 65 dakika bekletilerek SMK malzemeler üretilmiştir. Üretilen malzemelerin yoğunlukları arşimet yoğunluk ölçme yöntemi ile belirlenmiştir. Malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için kompozit malzemeler 3 mm X 4 mm X 36 mm ölçülerine getirilerek üç nokta çapraz kırılma testleri gerçekleştirilmiştir. Malzemelerin sertlikleri vickers sertlik ölçüm yöntemi ile malzeme üzerine 98 N yük uygulanarak belirlenmiştir. B<sub>4</sub>C/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiC kompozitlerinden SP yöntemi ile üretilen nozullar aşınma deneyleri için içerisinde aşındırıcı partikül olarak SiC tozu kullanılarak abrasiv jet hava yöntemi kullanılarak geçirilmiştir. SiC tozları SMK nozul içerisinde 60 m/s hız ile geçerek nozullarda oluşan aşınmalar incelenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda üretilen nozullardaki en iyi mekanik özellikleri % 10 TiC içeren kompozit malzemedeki olduğu en kötü mekanik özelliklerin ise BA0 adlı seramik kompozit malzemedeki olduğu mekanik testler ile gözlemlenmiştir. Nozul malzemesinin sertlik değerinin artması ile nozulun aşınma direncinin arttığı yapılan deneylerle elde edilen grafiklerden belirlenmiştir. En iyi aşınma direncinin BAT10 adlı nozulda görüldüğü en kötü aşınma direncinin ise BA0 adlı nozulda olduğu yapılan çalışma ile tespit edilmiştir [61].

Ekici ve arkadaşları, ön karıştırma işlemi gerçekleştirilerek SP işlemi ile ürettikleri Al – Cu alaşımı toz metal parçalarda kırkendall etkisini incelemiştir. Yapılan çalışmada, % 99 saflıkta 100 µm Al tozu ve 44 µm altı Cu tozu kullanılmıştır. Karışım içerisinde ağırlıkça % 4,5 Cu tozu kullanılarak Al – Cu alaşımının üretilmesi için karışımı hazırlanan tozlar 1 saat süreyle turbulada karıştırma işlemi

gerçekleştirilmiştir. Karıştırılan tozlar kalıp içerisine alınarak ön şekillendirme işlemi için 200 MPa basınç altında soğuk olarak preslenmiş ve devamında 570 °C’ de 200 MPa basınç altında 20 dakika süre ile sıcak olarak preslenmiştir. Deneylerde kullanılacak numunelerin ölçüsü 60 X 60 mm kare kesitli ve yaklaşık olarak 10 mm kalınlıklarda blok numuneler üretilmiştir. SP ile üretilen blok numuneler 550 °C sıcaklıkta 2, 4, 6, 8 ve 10 saat süreyle difüzyon tavlama yapılmıştır. Tavlama öncesi ile sonrası optik ve SEM cihazında mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Karışım tozun gerçek parça yoğunlukları 0.1 mg hassasiyetteki terazide yoğunluk kitiyle ölçülmüştür. Mikro sertlik ölçümleri 100 g yük altında ve 10 sn süre uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda, ön karıştırılmış Al – Cu tozlarının 200 MPa basınç altında 570 °C sıcaklıkta 20 dakika süre ile preslenmesi sonunda yaklaşık % 99 yoğunlukta TM parça üretilmiştir. Bu süre içerisinde Al – Cu difüzyonunun tam olarak gerçekleşmediği ve Cu parçacığının çevresinde (Al matris içinde) çeşitli yoğunluklarda Cu içeren difüzyon gradyanlarının olduğu gözlenmiştir. SP süresince Cu’ nın alüminyum matrise kütsel difüzyonu, Kirkendall etkisiyle Cu taneciğın çevresinde boşluk olduğu belirlenmiştir. Devam eden süreçte Cu’nın Al içerisine tamamen yayınımlı sağlamak için yapılan tavlama sürecinde Cu taneciklerinin yerini tamamen boşluklar aldığı gözlenmiştir. Tavlama işlemiyle Kirkendall etkisi, üretilen TM numunelerinin yoğunluklarını düşürdüğü ve artan difüzyon tava ile TM numunelerinin sertliğinin arttığı tespit edilmiştir [62].

Taşkın ve arkadaşları, SP tekniğı ile ürettikleri Al – Si – Mg – SiC kompozitinde SiC’ ün adhesive aşınma direncine olan etkisini incelemiştir. Deneylerde kullanılan kompozit malzeme oranları Çizelge 2.1’ de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Numune kodlaması ve karışım oranları [63].

Numune	% Al	% Mg	% Si	% SiC
<b>N1</b>	96	1	3	–
<b>N2</b>	91	1	3	5
<b>N3</b>	86	1	3	10
<b>N4</b>	81	1	3	20

Karışımı hazırlanan tozlar SP tekniği kullanılarak 630 °C sıcaklıkta 250 MPa basınçta argon gazı atmosferinde 12 mm çapında ve 10 mm uzunluğunda üretilmiştir. Üretilen Al – Si – Mg – SiC kompozit malzemelerin yoğunlukları sırasıyla 2,61 gr/cm<sup>3</sup>, 2,69 gr/cm<sup>3</sup>, 2,72 gr/cm<sup>3</sup>, 2,76 gr/cm<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Aşınma testleri için blok – on – ring aşınma aparatı kullanılmıştır. Deneyler 10 N ve 20 N' luk yük, 90 dev/dak' lık dönme hızında ve 250, 500, 1000 ve 1500 m' lik yolda aşındırılmış ve kütle kayıpları hesaplanmıştır. Aşındırıcı olarak 380 HV sertliğinde perno kullanılmıştır. Kullanılan pernonun yüzeyi aşınma deneyleri öncesinde 1 µm' lık elmas pasta ile parlatılmıştır. Aşınma işlemleri sonunda numunelerin kütle kayıpları 0,0005 mg hassasiyetindeki elektronik tartıda aşınma öncesi ve sonrası ölçülerek belirlenmiştir. Sonrasında ise aşınma yüzeylerinin kenarları ışık mikroskopuyla incelenmiştir. Numuneler sırasıyla 600 – 800 – 1000 – 1200 meshlik zımparalarla parlatıldıktan sonra 5 µm'lik elmas pasta kullanılarak parlatılmıştır. Parlatılan numuneler Keller (% – 90 H<sub>2</sub>O, % – 2 HF, % – 3 HCl, % – 5 HNO<sub>3</sub>) dağlayıcısıyla dağlandıktan sonra, aşınma bölgelerinden mikro yapılarını incelemek amacıyla optik resimleri alınmıştır. Yapılan çalışmanın sonunca Al – Si – Mg – SiC MMK'ların SP yöntemiyle üretilirliği ve üretim sonucunda SiC partiküllerinin matris içerisinde homojen olarak dağıldığı belirlenmiştir. Al – Si – Mg – SiC MMK'da SiC miktarının artışıyla aşınma direncini arttığı, aşınma oranında N1 > N2 > N3 > N4 gibi bir sıralama deney sonuçlarından ortaya çıkmıştır. SiC ilavesiyle kompozitte meydana gelen aşınma oranı arasında doğru bir orantı olduğu gözlenmiştir. Aşınma işlemi sırasında 10 N ve 20 N yük altında aşınma işlemi gerçekleştirilmiş ve aşındırma işlemi sırasında uygulanan yük ve oluşan muhtemel ısıdan dolayı kompozitte çatlak ve kopmaların oluşmadığı, sürtünme işlemi sırasında sert partiküller yumuşak zeminden yırtarak çıktığı tespit edilmiştir [63].

## **2.2. SICAK PRESLEME TEKNİĞİ KULLANILARAK ÜRETİLEN METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN LİTERATÜR ÇALIŞMASININ GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ**

Araştırmacılar, artan endüstriyel beklentileri karşılamak amacıyla, endüstriyel malzemelerin dayanım özelliklerini, geliştirme çalışmalarına devam etmektedirler. Çalışmaların birçoğu; kompozit malzemelerin geliştirilmesi üzerinedir. Günümüzde,

katı hal üretim tekniklerinden TM kompozitlerin üretiminde yaygın kullanım alanına sahiptir. Yapılan literatür araştırmasında, TM üretim tekniğinde kullanılan SP yönteminin, kompozit malzemelerin üretilebilirliği, uygulanan basıncın mikroyapı, sinterleme süresi, mekanik ve fiziksel özellikleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

SP tekniği üzerine yapılan literatür çalışmaları değerlendirildiğinde;

1. Al matrisli  $B_4C$  takviyeli kompozitin homojen bir dağılım göstererek üretilebilirliği ve ağırlık oranlarına paralel olarak mikrosertlikler de değişim olduğu,
2. Kompozit malzeme içerisindeki takviye elemanının artmasıyla mikro sertlik değerlerinin arttığı,
3. Takviye parçacıklarının alüminyum tarafından daha iyi ıslatılmasını sağlamak için  $SiO_2$  tabakasının oluşturulabileceği,
4. Atritörde karışma süresinin artmasının matris içerisinde takviye elemanının homojen olarak dağıldığı ve bu homojen dağılımın kompozit malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirdiği,
5. Partikül boyutunun artmasıyla malzemelerde meydana gelen aşınma eğiliminin artış gösterdiği,
6. Sinterleme süresinin sertlik değerini etkilediği,
7. Yaşlandırma süresinin sertlik değerini etkilediği,
8. Yaşlandırma zamanının artması ile kompozitlerin korozyon direncinin azaldığı,
9. Sinterleme sıcaklığının artmasıyla birlikte gözeneklilik oranının düştüğü, gözenek çaplarının küçüldüğü ve gözenek dağılımındaki düzensizliğin azaldığı,
10. Alüminyumun % miktarı arttıkça kompozitin özelliklerini geliştirdiği ve bu oran belirli bir değerden sonra üretilen kompozit malzeme özelliklerinin olumsuz yönde etkilediği,
11. Malzemelerin SEM görüntüleri incelendiğinde malzemelerde porozite oluştuğu,
12. SP yöntemi kullanılarak elde edilen kompozit malzemelerin diğer yöntem kullanılarak üretilen kompozit malzemeye göre kırılma tokluğunun yüksek ve eğilme dayanımlarının düşük olduğu,

13. Kompozit malzeme içerisindeki grafit oranı arttıkça akma gerilmesi oranının, basma dayanımının ve çekme dayanımının arttığı, elastikiyet modülünün azaldığı,
14. Kompozit malzemedeki takviye elemanlarının hacimce oranı arttıkça aşınma direnci ve sertliklerinin arttığı,
15. Mekanik alaşımlama ile üretilen MMK malzemenin takviye elemanı ve ana faz arasında güçlü bir ara yüzey bağı oluşturduğu,
16. Mikro yapı analizlerinde parlatılan yüzeyler incelendiğinde yüzeyde porozite ve çatlakların oluştuğu tespit edilmiştir.

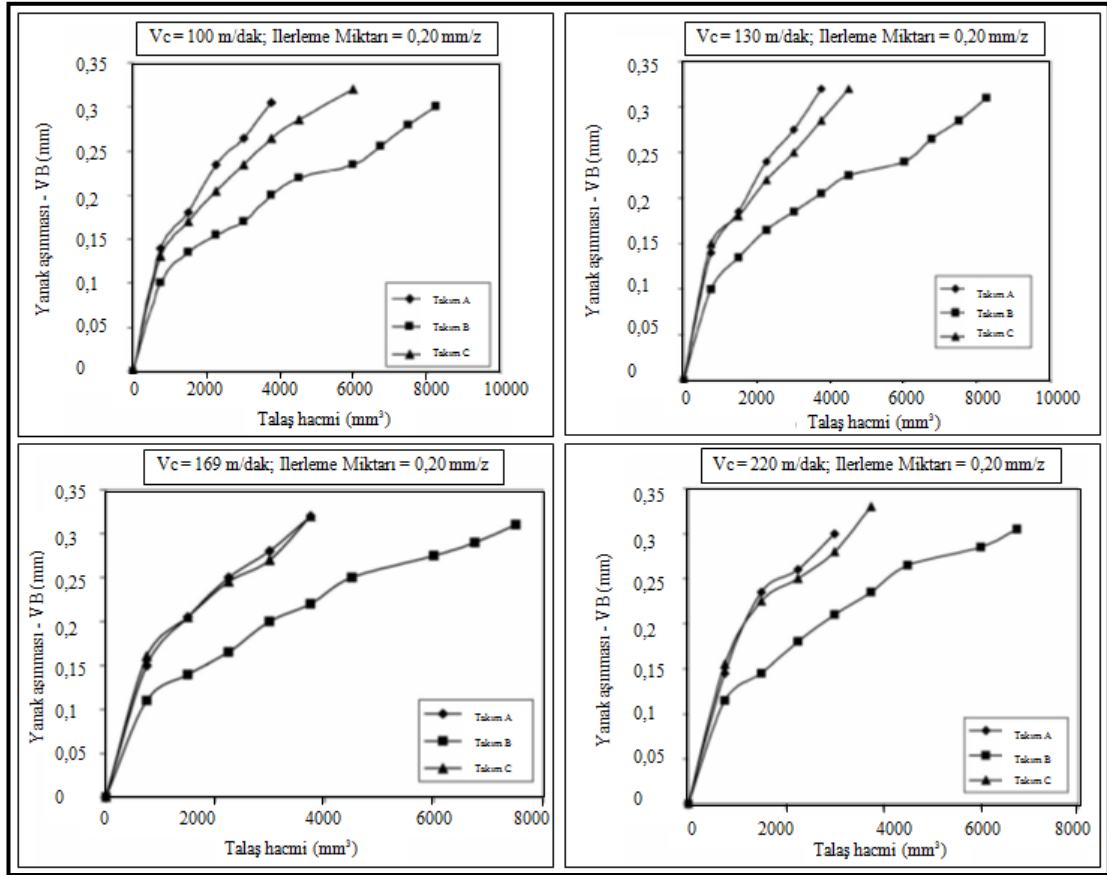
Literatür çalışmaları incelendiğinde karma takviyeli MMK malzemelerin üretiminde SP tekniğinin çok fazla çalışma yapılmadığı daha çok MMK üretiminde kullanıldığı belirlenmiştir. Bu çalışmada, takviye elemanlarında B<sub>4</sub>C (ağırlıkça % 8) tozunun sabit tutularak üç farklı oranda (ağırlıkça % 3, % 5 ve % 7) Ni(K)Gr tozunun ilave edilerek TM üretim yöntemlerinden SP tekniği kullanılarak üretilen karma takviyeli (Al/B<sub>4</sub>C/Ni(K)Gr) MMK malzemelerin üretimleri gerçekleştirilmiştir. Üretilen karma takviyeli MMK malzemelerin mikroyapı, mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Yapı içerisinde ağırlıkça farklı yüzde oranlarda bulunan Ni(K)Gr' nin üretilen karma takviyeli MMK malzemeler üzerine etkileri incelenmiştir.

### **2.3. METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN İŞLENEBİLİRLİKLERİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR**

Karakaş ve arkadaşları, sıvı faz sinterleme yöntemiyle üretmiş oldukları Al – 4Cu/ B<sub>4</sub>Cp MMK malzemelerin frezelenmesi esnasında takımda meydana gelen aşınmaları ve kesme hızının takım aşınması üzerine etkilerini incelemişlerdir. Kesici takımda meydana gelen aşınmaları belirlemek için beş farklı kesme hızı (100, 130, 169, 220, 286 m/dak), sabit ilerleme miktarı (0,20 mm/diş) ve sabit kesme derinliği (1,5 mm) kullanılmıştır. Kesici takımda meydana gelen aşınma mekanizmaları SEM cihazı kullanılarak, yanak aşınmaları ise optik mikroskop ile belirlenmiştir. İşlenebilirlik deneylerinde K20 kalite kaplamasız sementit karbür (SK), CVD (Kimyasal Buhar Biriktirme) tekniği ile kaplanmış K20 kalite TiCN + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiN kaplı ve K20 kalite TiN + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplı üç farklı kesici takım kullanılmıştır. Yapılan



çalışmanın sonucunda bütün kesme hızlarında en iyi aşınma direncini üç katmanlı K20 kalite TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN kaplı kaplamalı takımın gösterdiği yapılan deneyler ile tespit edilmiştir (Şekil 2.1) [64].



Şekil 2.1. Karakaş ve arkadaşlarının yaptığı deneysel çalışmada kullanılan kesici takımların aşınma grafikleri görüntüsü [64].

Acır ve arkadaşları, TM yöntemi ile üretmiş oldukları Al matrisli B<sub>4</sub>C parçacık takviyeli MMK malzemenin yüzey frezeleme işleminde kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Üretilen kompozit malzeme içerisinde bulunan Cu, Al ve B<sub>4</sub>C tozlarının parçacık boyutları yaklaşık 37 µm, 33 µm ve 16 µm boyutlarında ölçülmüştür. Karışımı hazırlanan tozların üretilen kompozit malzeme içerisinde homojen bir şekilde dağılması için 1 saat boyunca 80 dev/dak hız ile karıştırılmıştır. MMK malzemeler 25 MPa basınç ve 585 °C sıcaklıkta 50 mm X 50 mm X 50 mm ebatlarında üretilmiştir. Deneysel çalışmada sabit kesme derinliği (1,5 mm), üç farklı kesme hızı (100, 150 ve 200 m/dak) ve ilerleme miktarı (0,05, 0,10, 0,15 mm/diş) kullanılmıştır. İşlenebilirlik deneyleri kuru

kesme şartlarında TiAlN kaplamalı SK ve kaplamasız SK kesici takımlar ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda ilerleme miktarının artması ile kesme kuvvetlerinde artış olduğu tespit edilmiştir [65].

Übeyli ve arkadaşları, Al-4%Cu/B<sub>4</sub>C metal matrisli kompozit malzemelerin frezelenmesi sırasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülük üzerine etkilerini incelemişlerdir. Deneyler için kullanılacak numuneler TM yöntemi ile üretilmiştir. Kompozit malzeme içerisindeki Al, Cu, B<sub>4</sub>C tozlarının boyutları sırasıyla 37 µm, 33 µm, 16 µm ölçülmüştür. Üretilen metal matrisli kompozit malzeme içerisindeki toz oranlarını % 20 B<sub>4</sub>C ve % 80 Al – 4Cu olarak belirlenmiştir. MMK 25 MPa basınç altın ve 585 °C sıcaklıkta 50 mm X 50 mm X 50 mm ebatlarında üretilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin mikroyapıları incelendiğinde içerisindeki parçacıkların homojen bir şekilde dağıldığı belirlenmiştir. Kompozit malzemelerin işlenebilirlik deneyleri için dört farklı kesme hızı (100, 130, 169 ve 220 m/dak.), üç farklı ilerleme miktarı (0,15, 0,20, 0,25 mm/diş), sabit kesme derinliği (1,5 mm) ve üç farklı kesici uçlar (kaplamasız K20 kalite, K20 kalite TiCN + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiN ve K20 kalite TiN+TiAlN) kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda, bütün takımlarda kesme hızının artması ile ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde artış olduğu belirlenmiştir. En düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin 220 m/dak kesme hızı ve 0,15 mm/diş ilerleme miktarında olduğu gözlenmiştir. Bütün kesme hızı ve ilerleme miktarlarında kaplamalı kesici takımların en iyi aşınma direnci gösterdiği tespit edilmiştir [66].

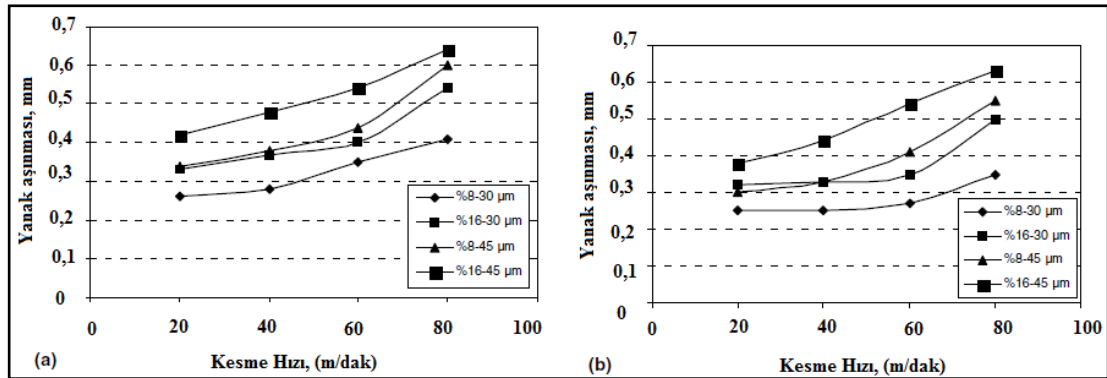
Pul ve arkadaşları, vakumlu infiltrasyon yöntemi ile % 5, % 10 ve % 15 takviye oranında MgO (149 – 210 µm) takviyeli, Al (149 – 210 µm) matrisli MMK malzemeler üretilmiştir. Üretilen MMK malzemelerin mekanik özellikleri (sertlik ve çapraz kırılma değerleri) incelemişlerdir. Yapılan çalışmanın ikinci kısmında ise üretilen kompozit numuneleri dört farklı kesme hızı (150, 200, 250 ve 300 mm/dak), üç farklı ilerleme miktarı (0,075, 0,15 ve 0,225 mm/dev), sabit kesme derinliğinde (1 mm) ve üç farklı kesici takım (SK, CBN ve Kaplamalı CBN) ile işleyerek kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Yapılan çalışmanın sonucunda, kesme hızındaki artışa bağlı olarak, asıl kesme kuvvetlerinde azalma eğilimi görülürken, ilerleme miktarı değerinin artmasıyla asıl kesme kuvvetlerin de artış gözlemlenmiştir. Asıl kesme

kuvvetleri açısından en kararlı sonucu % 10 MgO takviyeli numunelerin işlenmesinde elde edilmiştir [67].

Sur ve arkadaşı, ergimiş metal karıştırma ve sıkıştırılmalı döküm yöntemi ile üretilmiş AA – 6082 ana faz alaşımlı, karma takviye elemanlı metal ana fazlı kompozit (MAK) malzeme üretmiştir. Üretilen kompozit malzemenin üç farklı özellikteki CBN kesici takımlar ile işlenmesi sırasında kesici takım özelliklerinin kesme kuvvetleri üzerine etkilerini incelenmiştir. İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan parametreler üretici firmanın önerisi ve literatüre bağlı olarak beş farklı kesme hızı (100 – 130 – 160 – 190 – 220 m/dak), sabit ilerleme miktarı (0,15 mm/dev) ve sabit kesme derinliği (1 mm) değerleri ISO 3685’te ve TSE 10379’da takım uç yarıçapına bağlı kalınarak verilmesi gereken değer aralığında seçilmiştir. Deneylerde MB8025 kodlu kaplamasız CBN, GBi03 kodlu kaplamalı CBN ve MBC010 kodlu kaplamalı CBN kesici takım kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda CBN kesici takım ana yapısının özellikle yüksek kesme hızlarında etkili rol oynadığı ve bu tür bir MAK malzeme için özellikle seramik bağlayıcılı CBN kesicinin (kaplamalı) kullanılmasının daha uygun olacağı yapılan deneylerle belirlenmiştir. CBN kesici takımlarda kesme kuvveti bileşenlerinin değişiminde kaplama özelliğinin dikkate değer bir etkisinin olmadığı ve karma takviyeli bu kompozitin işlenmesinde ideal kesme hızı esas kesme kuvvetinin değişimine bağlı olarak MB8025 ve GBi03 CBN kesiciler için 160 ~ 190 m/dak kesme hızı aralığında olduğu gözlenmiştir. MBC010 kodlu kesici takım içinse ideal kesme hızının 130 m/dak kesme hızı değerinde olduğu tespit edilmiştir [68].

Çiftçi ve arkadaşları, ergimiş metal karıştırma ve basınçlı döküm yöntemi ile ürettikleri SiC<sub>p</sub> takviyeli Al – 2014 matrisli kompozitlerin kesici takımlarla talaş kaldırma işlemi sonrasında takım aşınmasını incelemiştir. Deneysel çalışmada kullanılan malzemeler 120 mm boyunda ve 28 mm çapında üretilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin işlenebilirlik deneyleri CNC DYNA torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. İşlenebilirlik deneyleri süresince soğutma sıvısı kullanılmamıştır. Ağırlıkça farklı oranlarda üretilen kompozit malzemeleri işlemek için kaplamalı (TiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiCN) ve kaplamasız kesici takımlar kullanılmıştır. Kullanılan kesici takımlar rijit bir takım tutucu ile bağlanmıştır. İşlenebilirlik deneyleri için kesme

parametreleri, dört farklı kesme hızı (20, 40, 60 ve 80 m/dak), sabit ilerleme miktarı (0,12 mm/dev) ve sabit kesme derinliği (1 mm) olarak belirlenmiştir. Kesici takımın yanak aşınmasını takım mikroskobu ile malzeme üzerinde oluşan ortalama yüzey pürüzlülük değerlerini ise Mitutoyo SurfTest 211 ölçüm cihazı ile ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 2.2). Kesici takımlarda oluşan aşınmalar SEM kullanılarak incelenmiştir. Şekil 2.2' de kesici takımda meydana gelen aşınma miktarları gösterilmiştir. Çalışmalarında, kesici takım ömrüne, kesme hızı ve takviye elemanın parçacık boyutunun en fazla etki ettiği belirlenmiştir. Kesici takımları kendi aralarında kıyasladıklarında ise kaplamalı takımların, kaplamasız takımlardan daha az aşındığı SEM görüntülerinden yararlanılarak belirlenmiştir. Kaplamasız kesici takımların, düşük kesme hızlarında daha iyi bir ortalama yüzey pürüzlülüğü oluşturduğu, yüksek kesme hızlarında ise takım aşınmalarındaki artıştan dolayı ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerini olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir [69].



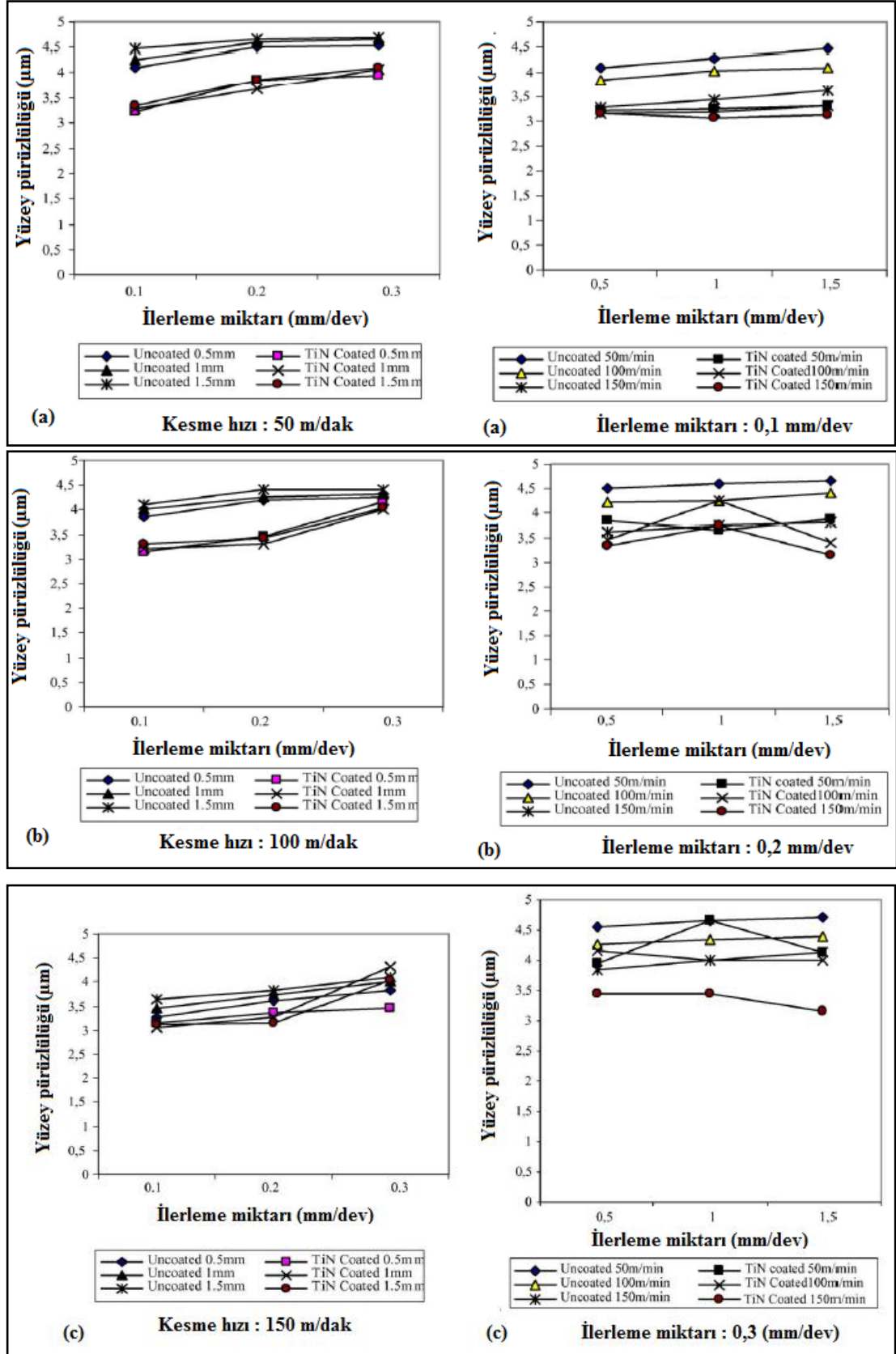
Şekil 2.2. a) Kaplamasız ve b) kaplamalı kesici takımların 1250 mm<sup>3</sup> talaş kaldırma sonrası yanak aşınma grafikleri [69].

Çizelge 2.2. Kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlar ile gerçekleştirilen deneylerden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri [69].

İş parçası malzemeleri	Kesme Hızı (m/dak)	Ortalama yüzey pürüzlülük ( $\mu\text{m}$ )	
		Kaplamalı	Kaplamasız
Ağırlıkça % 8 30 $\mu\text{m}$	20	2,13	1,54
	40	2,8	2,49
	60	2,58	2,4
	80	2,56	2,9
Ağırlıkça % 8 45 $\mu\text{m}$	20	1,9	1,74
	40	2,85	2,26
	60	2,1	2,01
	80	2,63	2,72
Ağırlıkça % 16 30 $\mu\text{m}$	20	2,09	1,85
	40	2,33	2,23
	60	2,29	2,46
	80	2,74	3,14
Ağırlıkça % 16 45 $\mu\text{m}$	20	2,06	2,02
	40	2,5	2,11
	60	2,75	2,08
	80	2,98	2,53

Kılıçkap ve arkadaşları, sıkıştırma döküm yöntemi ile üretmiş oldukları  $\text{SiC}_p$  takviyeli Al matrisli MMK malzemenin işlenebilirlik deneylerinde malzeme üzerinde oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kesici takımlarda meydana gelen aşınmaları incelemiştir. İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan parametreler üç farklı kesme hızı (50, 100 ve 150 m/dak), üç farklı ilerleme miktarı (0,1, 0,2 ve 0,3 mm/dev), üç farklı kesme derinliği (0,5, 1 ve 1,5 mm), kuru kesme şartlarında ve sabit kesme zamanı (90 s) olarak belirlenmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin işlenebilirlik deneyleri MMK malzemeler için tavsiye edilen K10 kalite kaplamalı ve kaplamasız TiC kesici takım seçilmiştir. İşlenebilirlik deneyleri sonrasında elde edilen veriler grafik olarak Şekil 2.3' de gösterilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda, takım aşınmasının kesici takımın yan yüzeyinde meydana geldiği ve kimyasal aşınmaya dair hiçbir belirti oluşmadığı belirlenmiştir. Kesici takımlarda YT oluşumunun oluşmadığı ve kaplamalı TiN kesici takım ile yapılan deneylerde takım aşınmasında

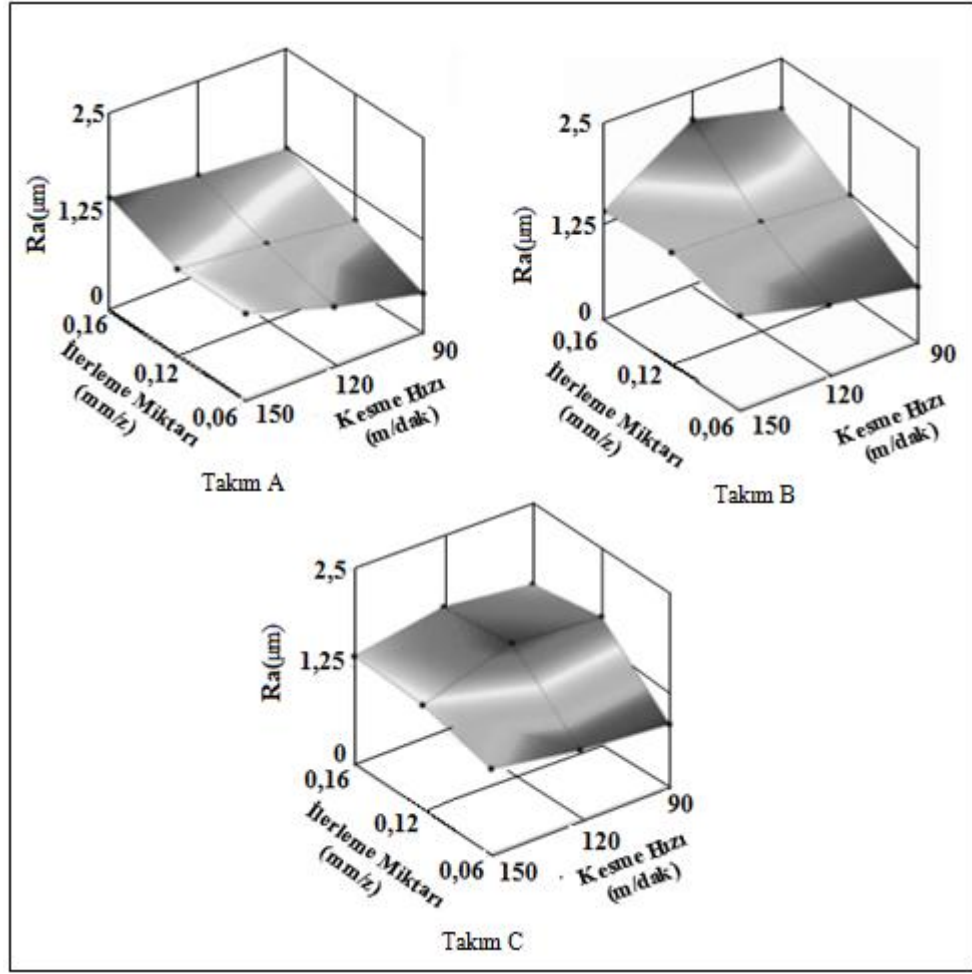
ve iş parçasının ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinde azalma olduğu gözlenmiştir. Takım aşınmasına etki eden en önemli parametrenin kesme hızı olduğu ve 150 m/dak kesme hızında oluşan takım aşınmasının 50 m/dak 'ya göre iki kat daha fazla aşındığı belirlenmiştir. İlerleme miktarının artmasıyla kesici takımda meydana gelen aşınmanın arttığı, kesme derinliğindeki artış ile kesici takımda oluşan aşınmanın az miktarda olduğu, kesme hızının artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerinin iyileştiği tespit edilmiştir [70].



Şekil 2.3. Kesme hızı ve ilerleme miktarına göre ortalama yüzey pürüzlülük değerleri değişim grafikleri [70].

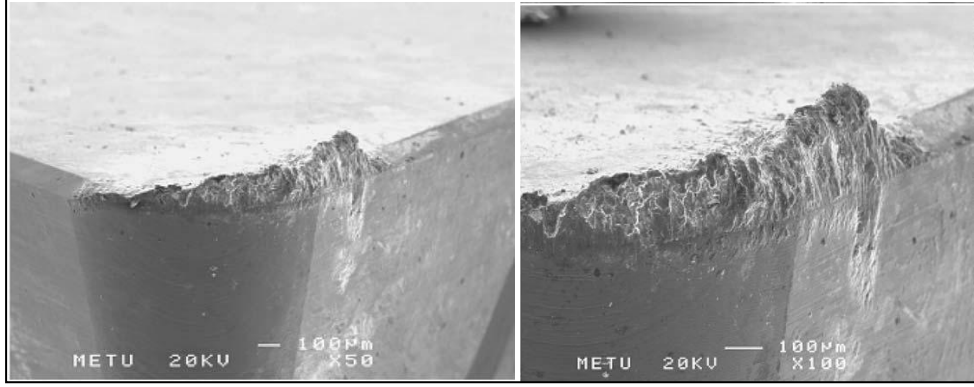
Übeyli ve arkadaşları, TM üretim yöntemi kullanılarak üretilen  $Al_2O_3$  takviyeli Al – 6Zn – 2Mg – 2Cu kompozit malzemenin frezelenmesinde kesme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. MMK malzemelerin işlenebilirlik deneylerinde kullanılan parametreler üç farklı kesme hızı (90, 120, 150 m/dak), üç farklı ilerleme miktarı (0,08, 0,12, 0,16 mm/diş) ve sabit kesme derinliği (1 mm) olarak belirlenmiştir. Deneyler için üç farklı tipte kaplamasız SK (Takım A), TiN kaplamalı SK (Takım B) ve TiCN kaplamalı  $Al_2O_3$  seramik takımlar (Takım C) kullanılmıştır. İşlenebilirlik deneyleri sonrasında elde edilen veriler grafik olarak Şekil 2.4' de gösterilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda, takım A ile yapılan deneylerde ilerleme miktarının ve kesme hızının artması ile ortalama yüzey pürüzlülük değerinin arttığı belirlenmiştir. En düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri 0,08 mm/diş ilerleme miktarında ve 90 m/dak kesme hızında sağlanmıştır. En yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değeri 0,16 mm/diş ilerleme miktarı ve 150 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Takım B ile yapılan çalışmada 0,08 ve 0,12 mm/diş ilerleme miktarında, kesme hızının artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerinin arttığı ve en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri 0,08 mm/diş ilerleme miktarında ve 90 m/dak kesme hızında belirlenmiştir. Takım C ile yapılan deneyde ilerleme miktarının artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerinin arttığı, kesme hızına ve ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülük değerinin 0,8  $\mu m$  ile 1,7  $\mu m$  arasında olduğu gözlenmiştir [71].





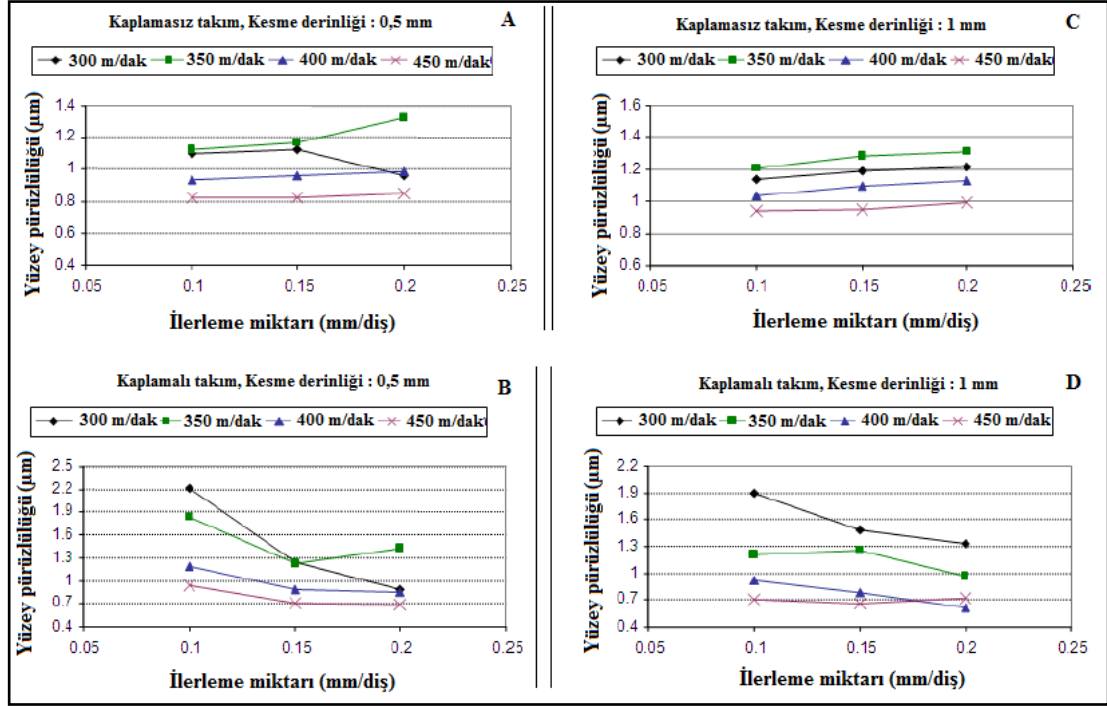
Şekil 2.4. Üç farklı kesici takımın kesme hızı ve ilerleme miktarına göre ortalama yüzey pürüzlülük değerleri değişim grafikleri görüntüsü [71].

Kesici takımların SEM görüntüleri incelendiğinde kesici takımlarda (Takım C) yığıntı talaş (YT) oluştuğu ve oluşan bu yapının kesici takımın ucuna yapışarak abrasiv aşınmaya karşı kesici takımını koruduğu ve en düşük YT oluşumunun kesme parametrelerine bağlı olarak A kesici takımında oluştuğu belirlenmiştir. En yüksek kesme kuvvetinin takım C' de oluştuğu (Şekil 2.5), en düşük kesme kuvvetlerinin A ve B takımında oluştuğu, oluşma nedeninin ise kesici takımların kesme kenarlarındaki geometriden kaynaklandığı tespit edilmiştir [71].



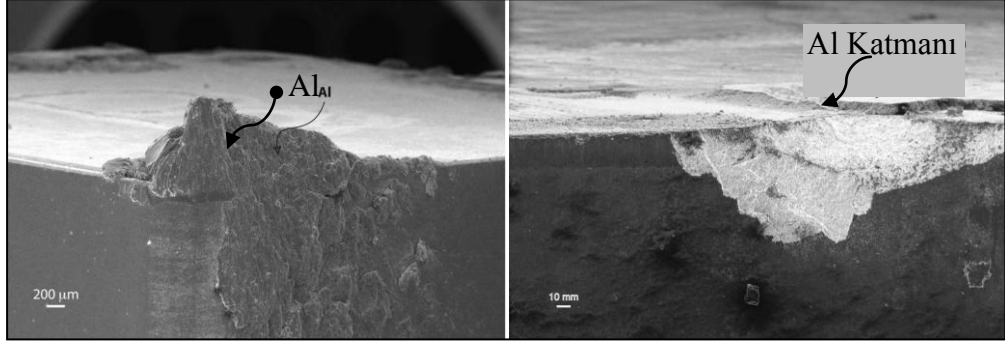
Şekil 2.5. Takım C' de oluşan YT' nin SEM görüntüsü [71].

Turgut ve arkadaşları, MMK malzemenin (Al/SiC) frezelenmesinde kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği ve farklı kesici takımların ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Deneyleerde kullanılan kompozit malzemeler TM üretim tekniği ile üretilmiştir. Üretilen MMK malzemelerde ağırlıkça % 7 Si (10 µm) ve % 5 SiC (8 µm) tozları kullanılmıştır. İşlenebilirlik deneyleri için kullanılan parametreler dört farklı kesme hızı (300, 350, 400 ve 450 m/dak), üç farklı ilerleme miktarı (0,1, 0,15 ve 0,20 mm/diş) ve iki farklı kesme derinliği (0,5, 1 mm) olarak belirlenmiştir. İşlenebilirlik deneylerinde TPKN1603PPR geometride K20 kalitede kaplamasız SK ve TiCN + TiN kaplamalı SK kesici takım kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda ilerleme miktarının ve kesme derinliğinin artmasıyla bütün kesme şartlarında kesme kuvvetinin arttığı ve kesme hızının artması ile kesme kuvvetlerinin azaldığı gözlenmiştir. Kesme kuvveti ölçümlerinde en iyi değerin 0,1 mm/diş ilerleme miktarında ve 400 m/dak kesme hızında gerçekleştiği belirlenmiştir. Kaplamasız takımlar ile yapılan deneylerde ilerleme miktarının artması ile ortalama yüzey pürüzlülük değerinin arttığı, kaplamalı takımlarda ise ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin, ilerleme miktarının artmasıyla azaldığı belirlenmiştir (Şekil 2.6). En iyi ortalama yüzey pürüzlülük değerinin kesme hızının artmasıyla ve en kötü ortalama yüzey pürüzlülük değerinin ise ilerleme miktarının artmasıyla meydana geldiği deney sonuçları ile elde edilmiştir. En ideal ortalama yüzey pürüzlülük değerinin düşük ilerleme miktarında ve yüksek kesme hızında olduğu görülmüştür. Yapılan deneysel çalışmada ise en iyi ortalama yüzey pürüzlülük değerinin 450 m/dak kesme hızında 0,15 mm/dev ilerleme miktarında kaplamalı kesici takım ile elde edildiği tespit edilmiştir [72].

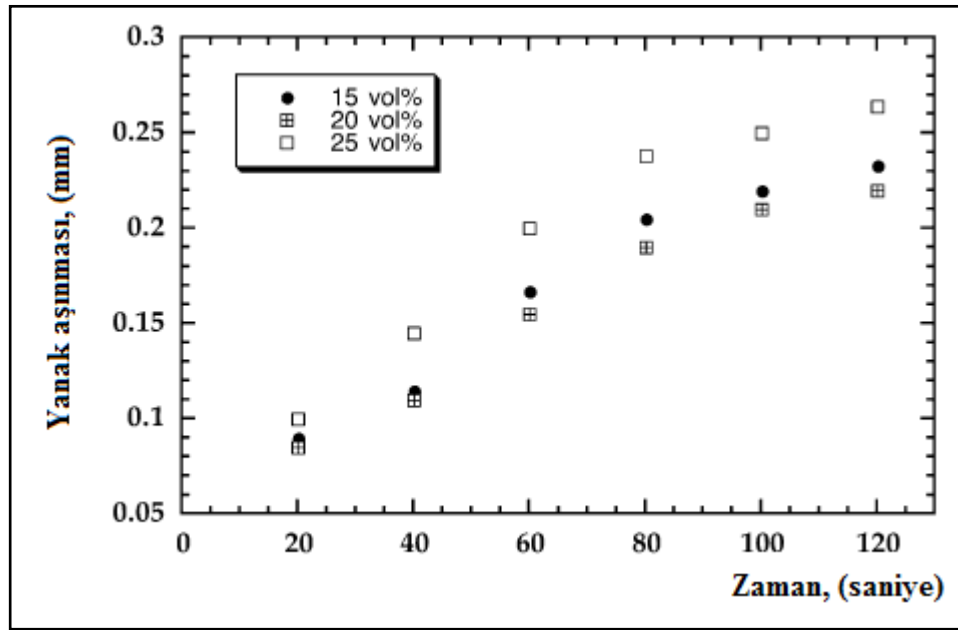


Şekil 2.6. İlerleme miktarının artması ile ortalama yüzey pürüzlülük değişimi [72].

Lucchini ve arkadaşları, partikül metal matrisli kompozit (PMMK) malzemenin tornalanmasında kullanılan kesici takımlar  $Al_2O_3$  ve Mo (molibden) tozları kullanılarak SP tekniği yöntemi ile üretilmiştir. PMMK malzemeler DURALCAN firmasından 112 mm çapta çubuk olarak üretilmiştir. Deneysel çalışmada kesici takımlarda oluşan aşınma mekanizmalarını incelemiştirler. Üretilen kesici takım malzemeleri ISO standartlarına uygun ve Al alaşımlarının işlenmesi için kullanılan SNUN 120808T4 kodlu kesici takım formuna getirilmiştir. İşlenebilirlik deneyleri için kullanılan parametreler literatür çalışmalarında kullanılan parametrelere bağlı olarak sabit kesme derinliği (2 mm), sabit ilerleme miktarı (0,224 mm/dev), sabit kesme hızı (394 m/dak) ve her bir deney için süre 120 saniye olarak belirlenmiştir. İşlenebilirlik deneyleri kuru kesme şartlarında yapılmıştır. Kesici takımlarda oluşan yanak aşınmaları ANSI/ASME B94 55M standartlarına göre ölçülmüştür. Kesici takım aşınma mekanizmaları SEM cihazı kullanarak belirlenmiştir (Şekil 2.7). Yapılan çalışmanın sonucunda en iyi aşınma değerlerinin Şekil 2.8' de görüldüğü üzere hacimce % 20 Mo ilave edilerek üretilen kesici takımdan elde edildiği tespit edilmiştir [73].



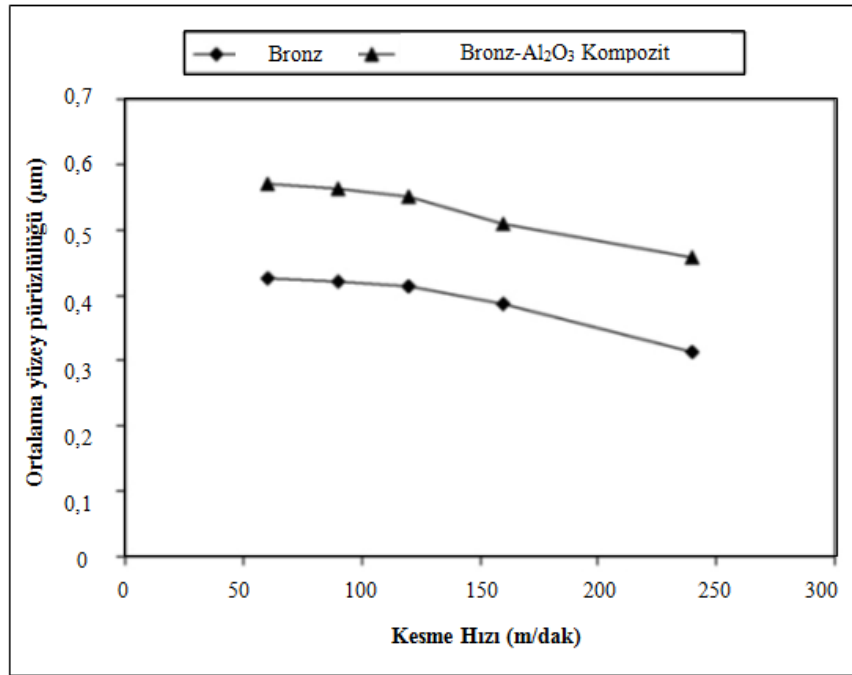
Şekil 2.7. Kesici takım üzerinde oluşan YT ve aşınma görüntüsü [73].



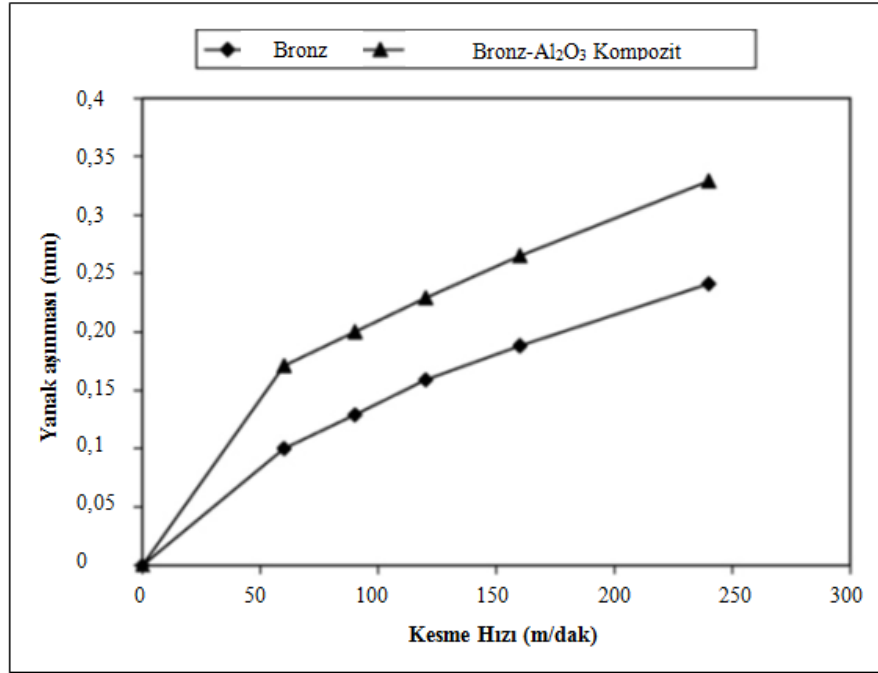
Şekil 2.8. Zamana göre kesici takımda oluşan aşınma değerleri grafiği [73].

Sornakumar ve arkadaşı, ergitme ve karıştırma yöntemiyle bronz –  $Al_2O_3$  kompozit malzemenin tungsten karbür kesici takımlar ile işlenebilirliğini incelemişlerdir. İşlenebilirlik deneyleri için üretilen silindirik bronz –  $Al_2O_3$  malzemelerin işlenmesinde K10 kalite tungsten karbür (WC) kesici takımları kullanılmıştır. İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan parametreler beş farklı kesme hızı (60, 90, 120, 160 ve 240 m/dak), sabit ilerleme miktarı (0,04 mm/dev) ve sabit kesme derinliği (0,4 mm) olarak seçilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda, kesme hızının artmasıyla takımdaki aşınma miktarının arttığı gözlenmiştir. Bronz malzeme ile yapılan deneyde takım aşınmasının düşük değerde olduğu belirlenmiştir. Bronz –  $Al_2O_3$  kompozit malzeme ile yapılan deneyde ise takım aşınma oranının yüksek değerde çıktığı

belirlenmiş ve bunun nedeninin ise kompozit malzeme içerisindeki  $Al_2O_3$ ' ün doğal sertliğinin daha yüksek oluşuna bağlanmıştır. Bronz ve Bronz –  $Al_2O_3$  kompozit malzemede kesme hızı arttıkça kesme kuvvetinde önemli derecede azalma meydana geldiği ve en düşük kesme kuvvetinin 250 m/dak kesme hızında bronz malzemede olduğu belirlenmiştir. Bronz –  $Al_2O_3$  kompozit malzemenin 250 m/dak kesme hızında bronz malzemeye göre kesme kuvvetinin yüksek çıkma nedeninin, içerisinde bulunan  $Al_2O_3$  parçacıklarının sert olmasına bağlanmıştır. Bronz malzeme ile yapılan deneylerde ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde bronz –  $Al_2O_3$  kompozit malzemeye göre daha düşük değerlerde ortalama yüzey pürüzlülük olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 2.9). Ortalama yüzey pürüzlülük değerinin daha düşük değerlerde oluşma nedeninin kompozit malzeme içerisinde bulunan sert  $Al_2O_3$  partiküllerinin bronz malzeme içerisinde olmamasına bağlanmıştır. Kompozit malzeme içerisinde bulunan  $Al_2O_3$  partiküllerinin takımda meydana gelen aşınmaları artırarak ortalama yüzey pürüzlülük değerlerini artırdığı tespit edilmiştir (Şekil 2.10) [74].

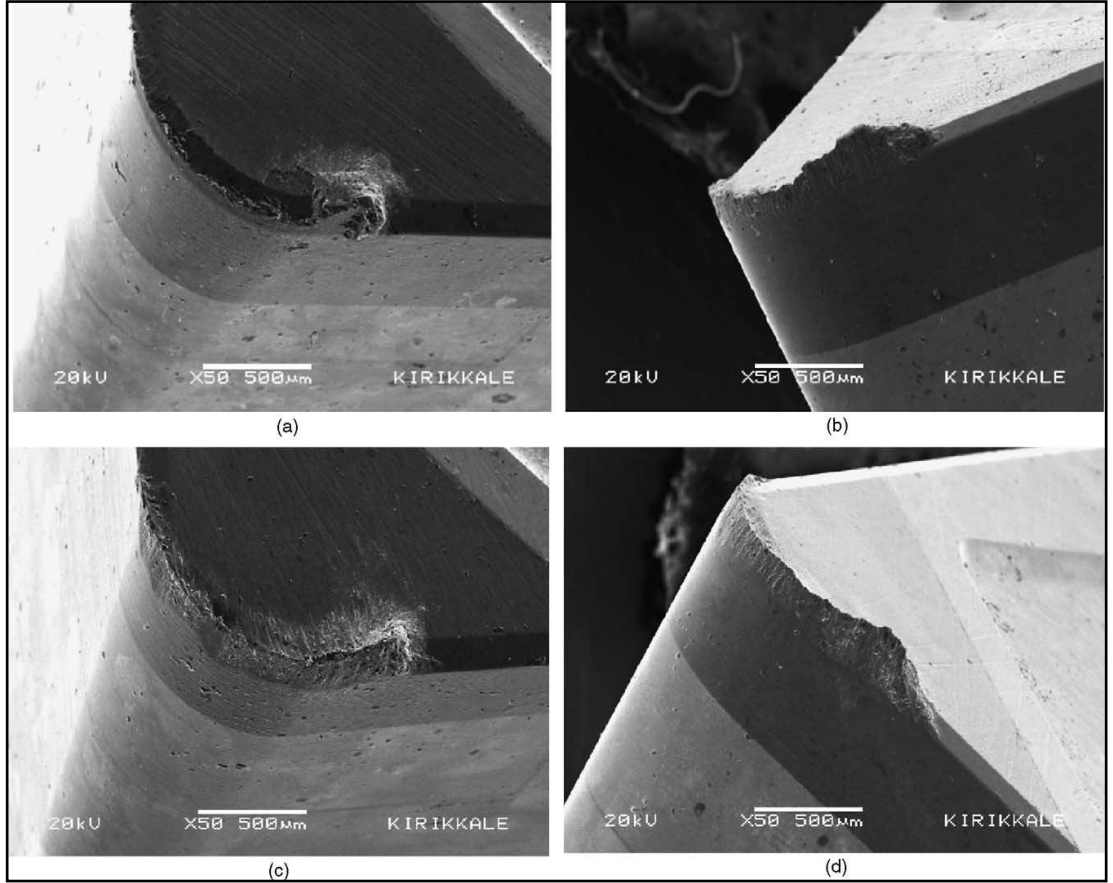


Şekil 2.9. Bronz-Bronz- $Al_2O_3$  kompozit malzemenin 25 dakika işleme süresinde kesme hızına göre ortalama yüzey pürüzlülüğü değişimleri grafiği [74].

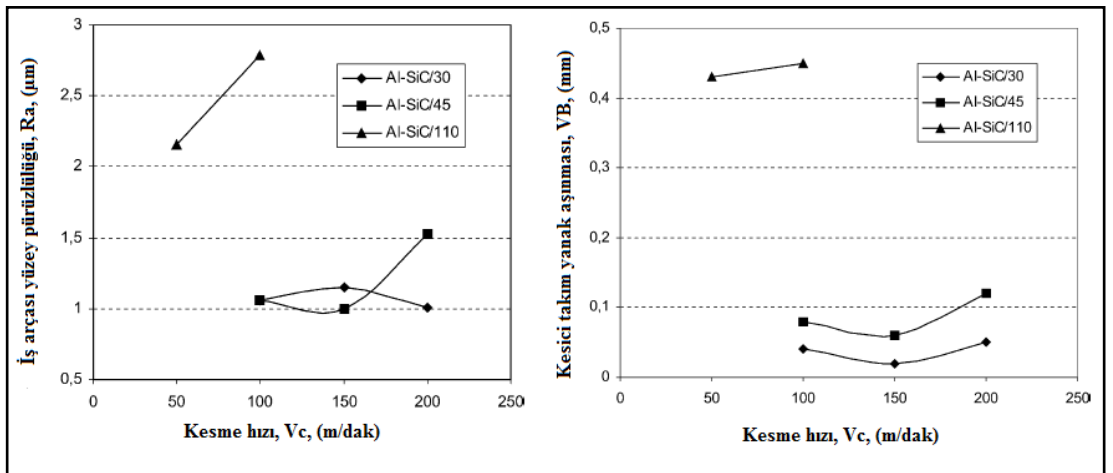


Şekil 2.10. Bronz-Bronz-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit malzemenin 25 dakika işleme süresinde kesme hızına göre aşınma değişimleri grafiği [74].

Çiftçi ve arkadaşları, ergitme karıştırma yöntemi ile üretmiş oldukları ağırlıkça % 16 oranında (30 µm, 45 µm ve 110 µm boyutlarında) SiC takviyeli 2014 AA esaslı kompozit malzemelerin işlenebilirliğini incelemiştir. İşlenebilirlik deneyleri, Mitsubishi Carbide firması tarafından üretilen CCGW 09T308G2 kodlu CBN kesici takım kullanılarak kuru kesme şartlarında CNC DYNA torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan parametreler, sabit ilerleme miktarı (0,12 mm/dev), sabit kesme derinliği (1 mm) ve dört farklı kesme hızı (50 – 100 – 150 ve 200 m/dak) olarak seçilmiştir. Kesici takımda oluşan aşınmalar takım mikroskobu kullanılarak, ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ise Mitutoyo SurfTest 211 ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Aşınmış kesici takımlar SEM cihazı ile incelenmiştir (Şekil 2.11). Deneyler aynı hacimde (2500 mm<sup>3</sup>) talaş kaldırarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen veriler Şekil 2.10' da grafik olarak gösterilmiştir. Yapılan deneysel çalışmanın sonucunda, farklı kesme hızlarında oluşan en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değeri 110 µm boyutlu SiC takviyeli MMK malzemenin işlenmesi sırasında elde edilmiştir (Şekil 2.12). Bunun nedeni SiC parçacığının büyük olmasına bağlanmıştır. Şekil 2.12 incelendiğinde en yüksek takım aşınmasının SiC parçacık boyutunun 110 µm olan MMK' de olduğu, en düşük takım aşınmasının 30 ve 45 µm parçacık boyutlu SiC takviyeli MMK'lerin 150 m/dak kesme hızında olduğu tespit edilmiştir [75].



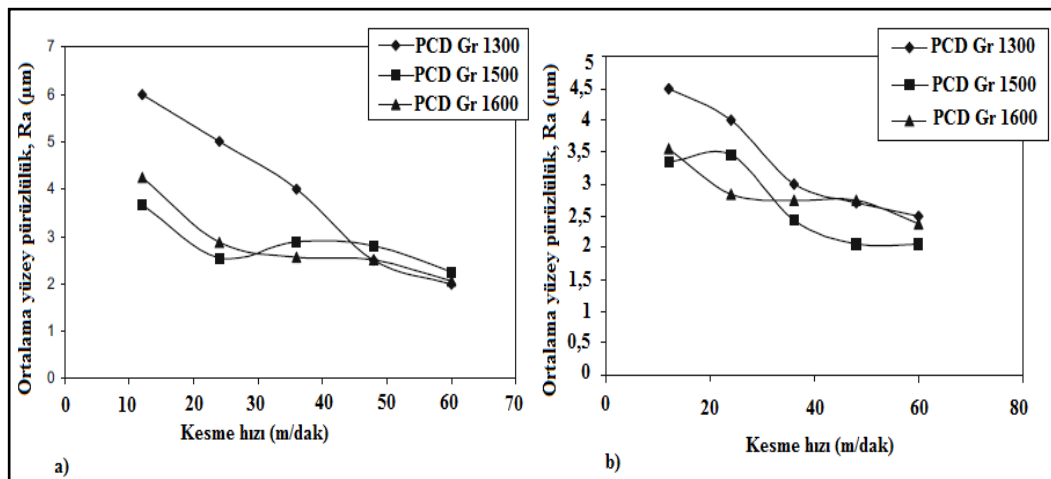
Şekil 2.11. a) Al-SiC/30 (100 m/dak), b) Al-SiC/30 (150 m/dak), c) Al-SiC/45 (100 m/dak) ve d) Al-SiC/45 (150 m/dak) kompozit malzemelerinin işlenebilirlik deneyleri sonrası kesici takım üzerinde oluşan YT' ların SEM görüntüleri [75].



Şekil 2.12. SiC parçacıklarının farklı kesme hızlarında iş parçası yüzeyinde oluşan ortalama yüzey pürüzlülük ve kesici takımda oluşan yanak aşınma grafikleri [75].



Muthukrishnan ve arkadaşları, PCD (Policrystalline Diomand) kesici takımlar kullanarak Al matrisli SiC takviyeli MMK malzemenin işlenebilirliğini araştırmışlardır. MMK malzeme içerisinde ağırlıkça % 15 SiC, % 7,98 Si ve % 0,64 Mg olarak belirlenmiştir. İşlenebilirlik deneyleri için MMK malzemenin ölçüleri 18 mm çapında ve 112 mm uzunluğunda temin edilmiştir. İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan parametreler altı farklı kesme hızı (12 – 24 – 36 – 48 – 60 m/dak.), üç farklı ilerleme miktarı (0,108, 0,20, 0,368 mm/dev.) ve iki farklı kesme derinliği (0,5 ve 0,78 mm) olarak belirlenmiştir. MMK malzemenin işlenmesinde ise PCD 1300, 1500 ve 1600 kesici takımlar kullanılmış ve bütün deneyler kuru kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Ortalama yüzey pürüzlülük değer ölçümleri Mitutoyo SurfTest 301 ölçüm cihazı ile kesici takımlarda meydana gelen takım aşınmaları ise takım mikroskobu ile incelenmiştir. Kesici uçlarda meydana gelen aşınmış yüzeylerin fotoğrafları SEM cihazı kullanarak elde edilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda kesme hızının ve ilerleme miktarının artmasıyla spesifik güç tüketiminin azaldığı belirlenmiştir. İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan kesici takımlardan en iyi performansın PCD 1600 kesici uçun sağladığı deney grafiklerinden gözlemlenmiştir (Şekil 2.13). Kesme hızının artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı, en iyi ortalama yüzey pürüzlülük değerinin PCD 1500 ve PCD 1600 kesici takımlar ile elde edildiği belirtilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde kesici uçlarda yanak ve krater aşınmasının oluştuğu tespit edilmiştir [76].

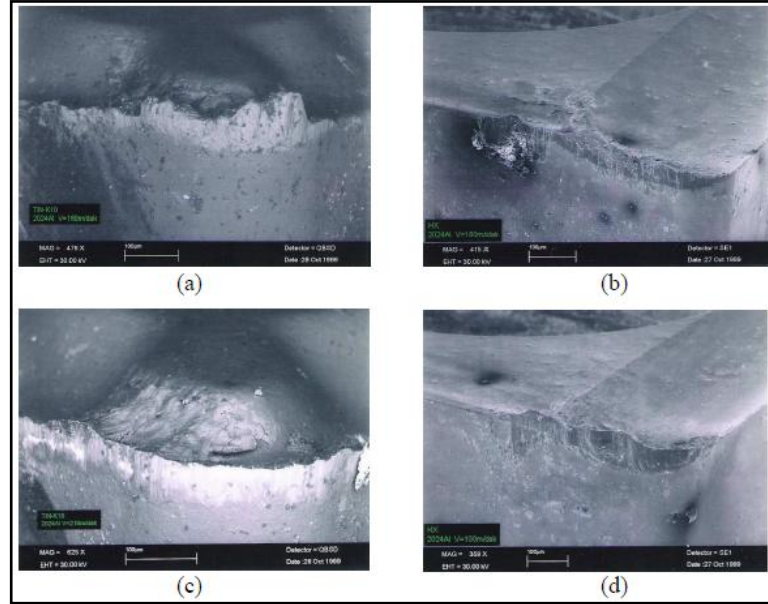


Şekil 2.13. a) 0,5 mm kesme derinliği, b) 0,75 kesme derinliği ve 0,108 mm/dev ilerleme miktarında PCD kesici takımlar ile gerçekleştirilen deney sonuçlarından elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri grafikleri [76].

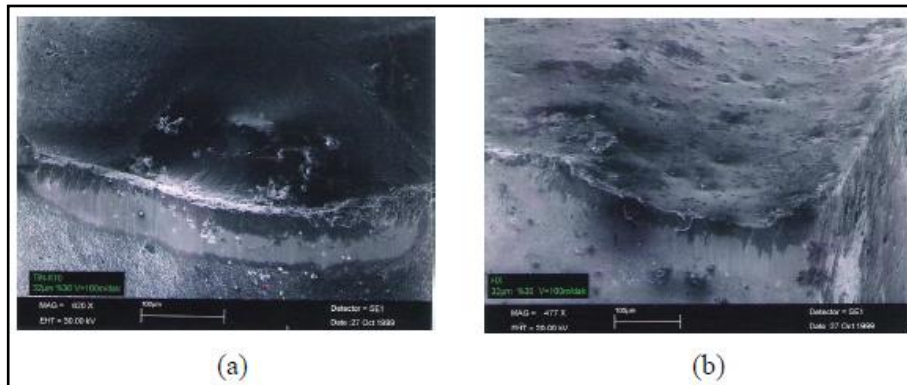
Manna ve arkadaşları, Al/SiC metal matrisli kompozit malzemenin işlenmesinde işlenebilirlik parametrelerinin etkilerini araştırmışlardır. Deneysel çalışmada 80 mm çapında silindirik çubuk malzeme ve işlenebilirlik deneyleri için kesici takım olarak K10 kalite kaplamasız tungsten karbür (WC) kullanılmıştır. İşlenebilirlik deneyleri için kullanılan parametreleri yedi farklı kesme hızı (20, 40, 60, 100, 150, 180 ve 225 m/dak), yedi farklı ilerleme miktarı (0,14, 0,25, 0,3, 0,5, 0,75 ve 1 mm/dev) ve altı farklı kesme derinliği (0,25, 0,5, 0,75, 1, 1,25 ve 1,5 mm) olarak belirlenmiş ve deneyler kuru kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. MMK malzemenin sertliği 115 BHN ve elastikiyet modülü 78 GPa olarak ölçülmüştür. Yapılan çalışmanın sonucunda, kesme hızı arttıkça kesme kuvvetinin azaldığı, ilerleme miktarının ve kesme derinliğinin artması ile kesme kuvvetinin arttığı belirlenmiştir. Kesme derinliğinin artmasıyla yanak aşınmasının arttığı, kesici uçta oluşan YT' nin azaldığı ve en az YT oluşumun 1 mm/dev ilerleme miktarında olduğu SEM görüntüleri incelenerek gözlemlenmiştir. Kesme hızının artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı, ilerleme miktarının ve kesme derinliğinin artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerinin arttığı tespit edilmiştir [77].

Kök, yaptığı çalışmada karıştırılmalı döküm yöntemi olan vorteks (girdap) ile ürettiği Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli MMK malzeme ve 2024 Al alaşımının işlenebilirlik üzerine etkilerini araştırmıştır. Takviye elemanı olan  $\alpha$  – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozunun parçacık boyutu Malvern Laser Size Analyser ölçüm cihazını kullanarak 32  $\mu$ m olarak ölçülmüştür. 2024 Al alaşımlı kompozit malzemedeki takviye elemanı (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ağırlıkça % 30 olarak kullanılmıştır. İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan MMK malzemeler 40 mm çapında ve 140 mm boyunda üretilmiştir. MMK malzemenin mikro yapıları SEM cihazı ile incelenmiştir. İşlenebilirlik deneyleri üç farklı kesme hızı (100 – 160 – 210 m/dak), sabit ilerleme miktarı (0,1 mm/dev), sabit kesme derinliği (2 mm) ve kuru kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. MMK malzemenin işlenmesinde K10 kalite kaplamalı TiN ve kaplamasız HX karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Yapıldığı çalışmanın sonucunda, kesme hızının artması ile kesici takım ömrünün azaldığı ve tüm kesme hızlarında en iyi takım ömrünün 2024 Al malzemenin TiN kaplı (K10 kalite) kesici takım ile en kötü takım ömrünün ise MMK malzemenin HX kaplamasız kesici takım ile işlenmesiyle olduğu gözlemlenmiştir. SEM fotoğrafları incelediğinde ise 160 m/dak kesme hızında 2024 Al alaşımının işlenmesinde en uzun

sürede aşınan K10 kalite kesici takımda oluştuğu ve bunun nedeninin ise kesici uçta bulunan kaplama ile alakalı olduğu belirlenmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan kesici takımların SEM görüntüleri Şekil 2.14 ve Şekil 2.15' de gösterilmektedir.



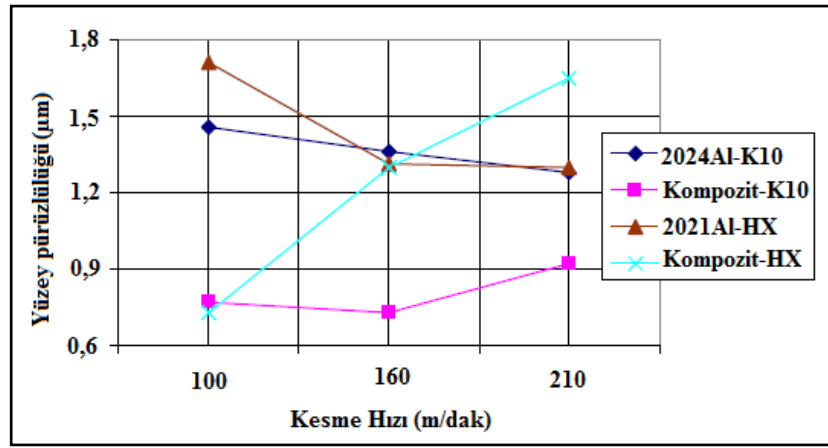
Şekil 2.14. a) 160 m/dak kesme hızında K10 kalite kesici takım, b) 160 m/dak kesme hızında HX kalite kesici takım, c) 210 m/dak kesme hızında K10 kalite kesici takım ve d) 100 m/dak kesme hızında HX kalite kesici takım ile 2024 Al alaşımının işlenmesinde kullanılan kesici takımların SEM görüntüleri [78].



Şekil 2.15. a) 100 m/dak kesme hızında K10 kalite kesici takım ve b) 160 m/dak kesme hızında HX kalite kesici takım ile 32 µm parçacık boyutu ve ağırlıkça % 30 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren MMK malzemenin işlenmesinde kesici takımında oluşan yanak aşınmalarının SEM görüntüsü [78].

Kaplamasız HX takımında 100 m/dak kesme hızında ve kaplamalı K10 kesici takımında 160 m/dak kesme hızında YT oluştuğu belirlenmiştir. Deneysel çalışmada elde edilen

ortalama yüzey pürüzlülük değerleri grafik olarak Şekil 2.16' de gösterilmektedir. Yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirdiğinde ise en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerinin MMK malzemenin kaplamasız HX kalite kesici takım ile 100 m/dak kesme hızında oluştuğu, en kötü ortalama yüzey pürüzlülük değerinin ise 2024 Al alaşımlı malzemenin kaplamasız HX kesici takım ile 100 m/dak kesme hızıyla işlenmesinde oluştuğu tespit edilmiştir [78].

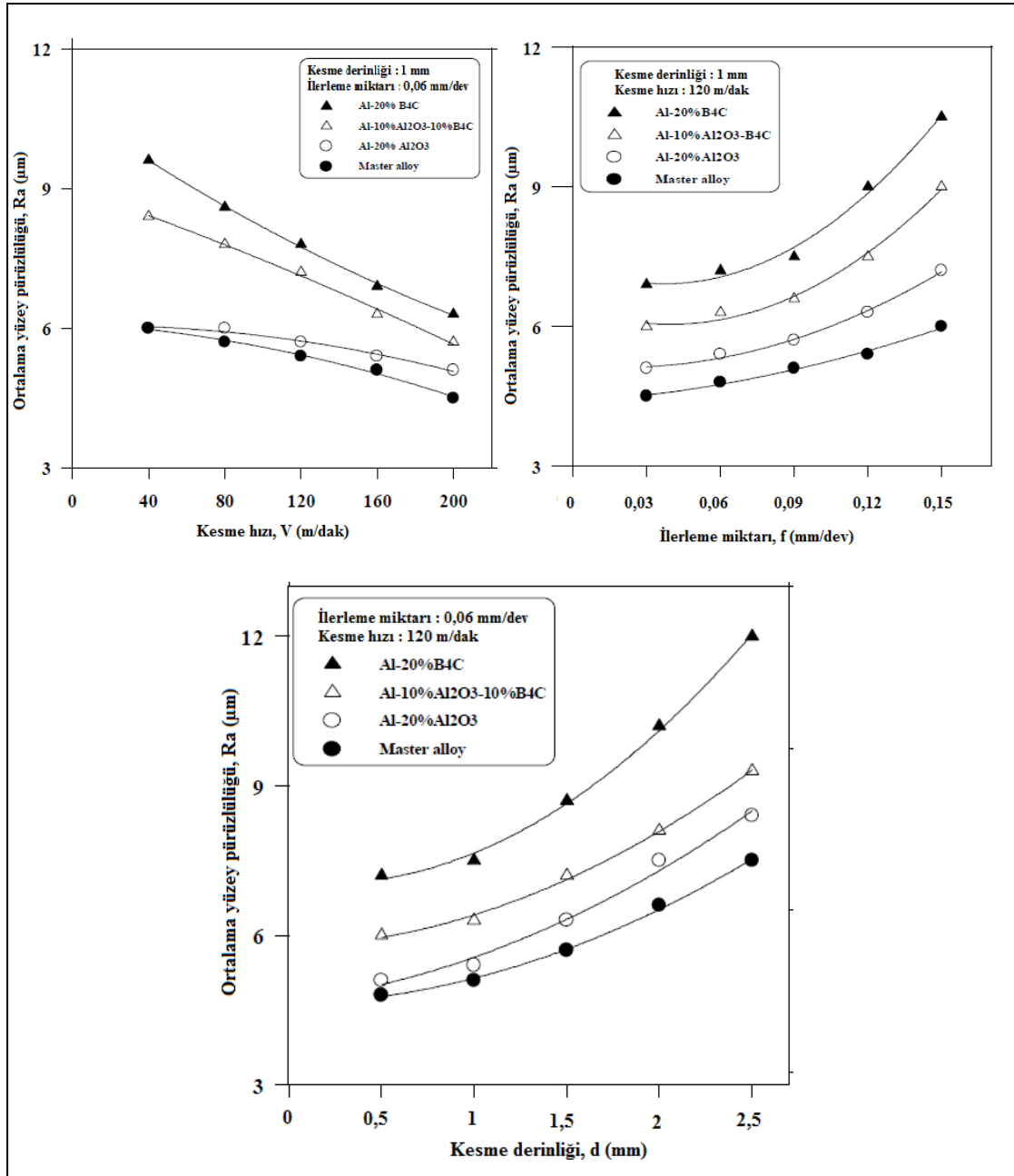


Şekil 2.16. Sabit 0,1 mm/dev ilerleme miktarı ve 2 mm kesme derinliğinde üç farklı kesme hızlarında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri [78].

Übeyli ve arkadaşları, sıvı faz sinterleme yöntemi ile ürettiği Al-4%Cu/B<sub>4</sub>C MMK malzemelerin farklı kesici takımlar (K20 kalite kaplamasız SK, K20 kalite üç katmanlı SK ve K20 kalite çift katmanlı SK) ile frezelenmesi sırasında ilerleme miktarının takım aşınması üzerine etkilerini incelemişlerdir. MMK malzemelerin içerisindeki Al, Cu ve B<sub>4</sub>C tozlarının parçacık boyutları 37, 33 ve 16 µm olarak ölçülmüştür. Üretilen kompozit malzeme içerisindeki toz oranları hacimce % 20 B<sub>4</sub>C ve % 80 Al - % 4 Cu olarak belirlenmiştir. Karışımı hazırlanan tozları 50 MPa basınç altında soğuk olarak preslenmiş ve sonrasında 25 MPa basınçta 585 °C sıcaklıkta nitrojen atmosferinde sinterlenmiştir. Çalışmalarında kesme parametresi olarak beş farklı kesme hızı (100, 130, 169, 220 ve 286 m/dak ), üç farklı ilerleme miktarı (0,15, 0,20 ve 0,25 mm/diş) ile sabit kesme derinliği (1,5 mm) kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda kompozit malzemelerin işlenmesi sırasında bütün kesme hızlarında ilerleme miktarının artması ile takım aşınmalarında azalma oluştuğu belirlenmiştir. Düşük kesme hızı ve yüksek ilerleme miktarlarında takımlarda meydana gelen aşınmaların azaldığı gözlemlenmiştir. Yüksek kesme

hızlarında kesici takımlarda YT oluşumu gözlemlendiği ve bu oluşumun takım üzerinde koruyucu bir tabaka oluşturarak kesici takımda meydana gelen aşınmaları düşürdüğü tespit edilmiştir [79].

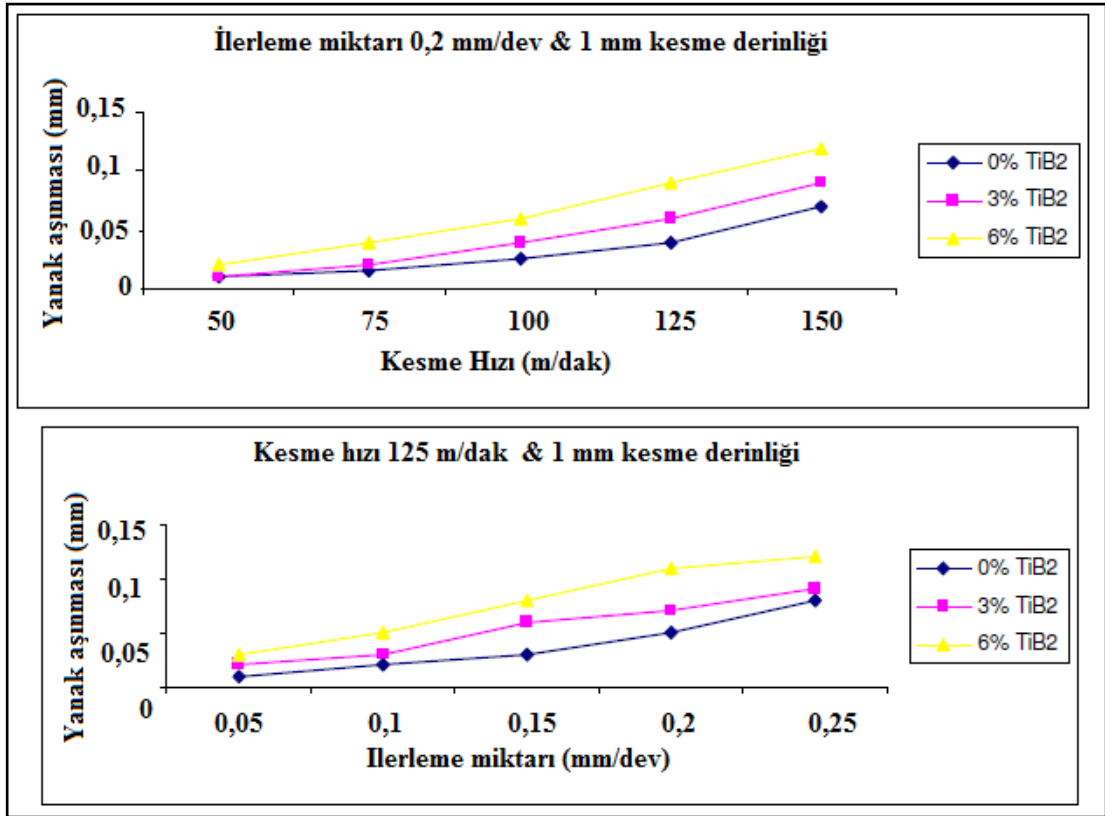
Najem yaptığı çalışmada, ergimiş metal karıştırma yöntemi üretilen  $B_4C$  ve  $Al_2O_3$  takviyeli Al – 2024 matrisli MMK malzemelerin işlenebilirliğini incelemiştir. Deneylerde kullanılan parametreler beş farklı kesme hızı ( 40, 80, 120, 160 ve 200 m/dak), beş farklı ilerleme miktarı (0,03, 0,06, 0,09, 0,12 ve 0,15 mm/dev) ve beş farklı kesme derinliği (0,5, 1, 1,5, 2 ve 2,5 mm) değerlerini kullanmıştır. Deneyler kuru kesme şartlarında ve kesici takım olarak ise iso standartlarına uygun CNMA 120408 TN 010 02 PF SK kesici takımlar ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda, kesme hızının artması ile ortalama yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı ve bütün kesme hızlarında en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerinin saf halde üretilen Al' da gerçekleştiği tespit edilmiştir. (Şekil 2.17). Şekil 2.17 incelendiğinde en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerinin % 20  $B_4C$  ile üretilen MMK malzemede olduğu, düşük kesme hızlarında YT oluştuğu ve YT oluşumunun ortalama yüzey pürüzlülük değerlerini artırdığı belirlenmiştir. İlerleme miktarı ve kesme derinliğinin artması ile ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerinin % 20  $B_4C$  ile üretilen MMK malzemede olduğu, en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerinin saf halde üretilen Al malzemede ve ilerleme miktarının azalması ile kesici takımlarda YT oluşumunu artırdığı, bu artışın ortalama yüzey pürüzlülük değerlerini artırdığı belirtilmiştir. Kesme derinliği, kesme hızı ve ilerleme miktarının artması ile kesici takımda yanak aşınmasının arttığı ve içerisinde % 20  $B_4C$  içeren MMK malzemede gerçekleştiği, en az yanak aşınmasının ise matris elemanı olan Al malzemede gerçekleştiği belirlenmiştir. Kesme kuvvetleri incelendiğinde ise kesme hızının artması ile kesme kuvvetlerinde azalma meydana geldiği tespit edilmiştir [80].



Şekil 2.17. Kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğine bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri grafiği [80].

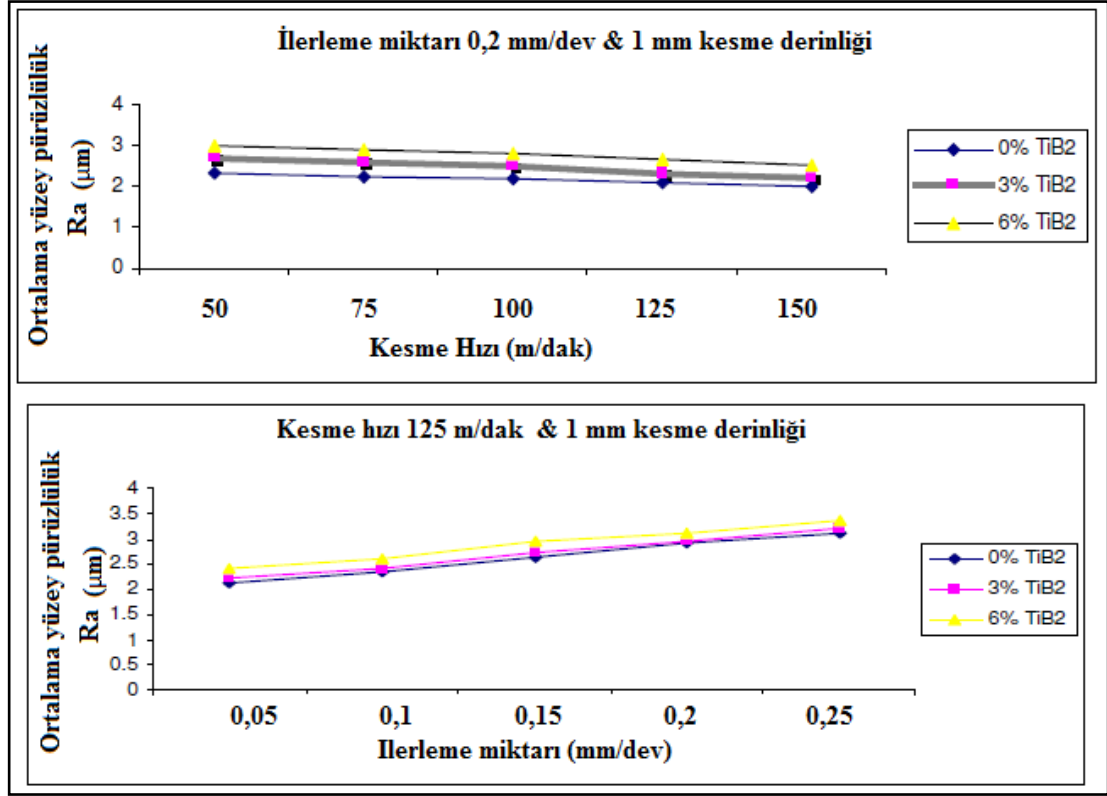
Mahamani yaptığı çalışmada, in – situ yöntemi ile üretmiş olduğu MMK malzemenin (Al – 5Cu/TiB<sub>2</sub>) işlenebilirliğini incelemiştir. Üretilen MMK malzemeler 55 mm çapında ve 350 mm uzunluğunda üretilmiştir. Kompozit malzemelerin mikro yapı görüntüleri SEM ile incelenmiştir. İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan parametreler beş farklı kesme hızı (50, 75, 100, 125 ve 150 m/dak), dört farklı ilerleme miktarı (0,1, 0,15, 0,2, ve 0,3 mm/dev) ve beş farklı kesme derinliği (0,5, 0,75, 1, 1,25 ve 1,5

mm) olarak belirlenmiştir. MMK malzemenin işlenmesinde kaplamasız tungsten karbür kesici takım kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda kesme hızının ve ilerleme miktarının artması ile kesici takım üzerinde yanak aşınması oluşmuştur. Kesi takım üzerinde en fazla yanak aşınmasının içerisinde % 6 TiB<sub>2</sub> içeren MMK malzemenin işlenmesinde olduğu, en düşük yanak aşınmasının ise Al – 5Cu (% 0 TiB<sub>2</sub>) malzemesinin işlenmesinde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2.18) [81].



Şekil 2.18. Sabit kesme derinliğinde ilerleme miktarı ve kesme hızlarına göre kesici takım üzerinde gerçekleşen yanak aşınma değerleri [81].

Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri incelendiğinde ise MMK malzemelerin işlenmesinde kesme hızının artması ile bütün malzemelerde ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri düştüğü, ilerleme miktarının artması ile ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin bütün malzemelerde arttığı gözlenmiştir (Şekil 2.19) [81].



Şekil 2.19. Sabit kesme derinliğinde kesme hızları ilerleme miktarlarına göre elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri grafiği [81].

Muthukrishnan ve arkadaşları, ergitme yöntemi ile üretilen MMK (Al – SiC(10p)) malzemenin işlenebilirliğini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada kullanılan takviye elemanı SiC' in parçacık boyutu 54 – 182  $\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür. Deney numuneleri 50 mm çapında ve 175 mm boyunda üretilmiştir. Malzeme içerisindeki SiC tozu ağırlıkça % 10 olarak belirlenmiştir. İşlenebilirlik deneyleri için kullanılan parametreler üç farklı kesme hızı (200, 300, 400 m/dak), sabit ilerleme miktarı (0,075 mm/dev) ve kesme derinliği (0,5 mm) olarak belirlenmiştir. MMK malzemenin tornalanmasında CNMA 120408 geometriye sahip PCD kesici takım kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda, özgül güç tüketiminin kesici takımdaki aşınmaya bağlı olarak arttığı, kesme hızı arttıkça ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin ve takım ömrünün azaldığı, 400 m/dak kesme hızında ortalama yüzey pürüzlülük değerinin en az olduğu belirlenmiştir. Zamana bağlı olarak gerçekleştirilen deneylerde, en iyi ortalama yüzey pürüzlülük değeri 400 m/dak kesme hızında, en kötü ortalama yüzey pürüzlülük değerinin 200 m/dak kesme hızında gerçekleştiği gözlenmiştir. Yüksek kesme hızlarında SiC parçalarının



MMK malzemeden daha kolay bir şekilde ayrıldığı için ortalama yüzey pürüzlülük değerini iyileştirdiği tespit edilmiştir [82].

Lin ve arkadaşları, ergitme döküm yöntemi ile üretilen Al matrisli SiC takviyeli MMK malzemenin işlenmesinde talaş oluşumunu incelemiştir. Talaş oluşumunu incelemek için kullanılan parametreler sabit kesme derinliği (1,5 mm), sabit ilerleme miktarı (0,4 mm/dev) ve üç farklı kesme hızı (300, 500 ve 700 m/dak) olarak belirlenmiştir. İşlenebilirlik deneylerinde PCD kesici takım (TPG322 COMPAX 1500) kullanılmıştır. Talaş oluşumunu incelenmesi için hızlı durdurma aparatı (quick – stop) kullanılmıştır. MMK malzemenin işlenmesi sırasında hızlı durdurma aparatı kesici takımın talaş kaldırması sırasında devreye girerek kesme esnasında oluşan talaş kopmadan malzeme üzerinde kalmaktadır. MMK malzeme üzerinde kalan talaş kopararak 120, 250, 500 ve 1200 meshlik SiC zımpara ile zımparalanmış ve SiC takviye elemanını görmek için 15, 6, 3 ve 1 µm' luk elmas ile son olarak Al matrisi ortaya çıkarmak için 0,4 µm silica ile parlatılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda, MMK malzemenin işlenmesi süresince matris elemanı olan Al' ye SiC ilave edilmesi ile yarı sürekli talaş oluştuğu belirlenmiştir. Takım talaş yüzeyinden oluşan kayma gerilmesinden dolayı talaşın serbest yüzeyden başlayarak çatlakların oluştuğu gözlenmiştir. Talaşın içerisinde bulunan partiküllerin kesme esnasında matris elemanı içerisinden ayrılması ile talaş yüzeyinde küçük boşluklar oluştuğu SEM görüntüleri incelenerek ortaya çıkarılmıştır. Elde edilen talaş formları yarı sürekli ve testere dişli olarak şekillendiği tespit edilmiştir [83].

#### **2.4. METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN İŞLENEBİLİRLİĞİ ÜZERİNE YAPILAN LİTERATÜR ÇALIŞMASININ GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ**

MMK malzemeler, üretim sonrasında gerekli boyut ve tolerans aralıklarında son şekline getirilmesi için talaşlı imalat işlemine tabi tutulmaktadırlar. MMK malzemelerin içerisindeki takviye elemanlarının yüksek sertliğinden dolayı talaşlı imalat işlemi gerçekleştirilirken kötü işlenebilirlik özelliği gösterebilmektedir. MMK malzemelerin işlenebilirlik özelliğini iyileştirmek için yapı içerisinde kendisinden daha düşük sertlikte bir takviye elemanı kullanılmaktadır.

Yapılan literatür çalışması sonucunda elde edilen bulgular;

1. MMK malzemelerin işlenmesinde en çok kullanılan kesici takımlar SK, CBN ve PCD' dir,
2. Kesme hızının belirli bir orana kadar artması ile ortalama yüzey pürüzlülük değerinin iyileştiği, kesme hızının daha da artması ile ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde artış oluştuğu,
3. İlerleme miktarının artması ile ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı,
4. Kesme hızının artması ile bütün malzemelerde kesme kuvvetlerinin düştüğü, ilerleme miktarının artması ile kesme kuvvetlerinin bütün malzemelerde artış gösterdiği,
5. Al matrisli MMK malzemelerin işlenmesinde ilerleme miktarının artması ile talaş kesit alanındaki artış sebebiyle YT oluşumunun arttığı, kesme hızının artması ile YT oluşumun azaldığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, TM üretim yöntemlerinden SP tekniği ile üretilen dört farklı karma takviyeli MMK malzemelerin içerisindeki Ni(K)Gr' nin mekanik özellik (üç nokta eğme, aşınma) ve işlenebilirliği üzerine etkileri incelenmiştir. Aşınma deneyleri dört farklı kayma mesafesi (300, 600, 900 ve 1200 m), dört farklı yük ( 10, 20, 30 ve 40 N) ve sabit kayma hızında (0,8 m/sn) gerçekleştirilmiştir. İşlenebilirlik deneyleri dört farklı kesme hızı (100, 140, 180 ve 220 m/dak), üç farklı ilerleme miktarı (0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev), sabit kesme derinliği (0,5 mm) ve kuru kesme şartlarında KBN kesici takımlarla gerçekleştirilmiştir. Karma takviyeli MMK malzemelerin aşınma deneylerinde yapı içerisinde bulunan Ni(K)Gr' nin aşınma üzerine etkisi, işlenebilirlik deneylerinde ise kullanılan kesme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi ve kesici takım üzerinde oluşan YT oluşumları değerlendirilmiştir.

## BÖLÜM 3

### METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEME ÜRETİM YÖNTEMLERİ

MMK malzemelerin üretim yönteminin seçiminde ürün kalitesi ve maliyet temel faktördür. Mekanik özelliklerin geliştirilmesi ve ekonomik bir üretim için etkin üretim yöntemleri geliştirmek bu alanda yapılan çalışmaların önemli bir kısmını teşkil etmektedir [84]. Bu amaçla, çeşitli üretim yöntemleri geliştirilmiş olup MMK malzemelerin üretilmesinde kullanılan yöntemler üretim esnasındaki metal matrisin sıcaklığına göre gruplandırılır. MMK malzemelerin üretimlerinde sıvı hal, katı hal ve sıvı-katı arası üretim yöntemleri başlıkları altında üç tip ana üretim yöntemi mevcuttur. MMK malzemelerin üretim yöntemleri toplu olarak Çizelge 3.1' de gösterilmiştir [85].

Çizelge 3.1. MMK malzemele üretim yöntemleri [85].

Katı Faz Üretim Yöntemleri	Sıvı Faz Üretim Yöntemleri	Diğer Yöntemler
Toz Metalürjisi Teknikleri	Sıvı Metal İnfiltrasyon Sıvı hareketi(kapilalite) ve vakum yardımı ile aşağı ve yukarı yönlü ergimiş metal emdirme Basıncılı ergimiş metal emdirme	Yarı Katı Karıştırma (Rheocasting Döküm) (Compcasting Döküm)
	Sıkıştırma Döküm	Vidalı Ekstrüzyon Reaksiyonla (In – Situ) Faz Oluşturma Tekniği
Difüzyon Bağı Yöntemi Sabit sıcaklık ve basınç altında izostatik presleme (her yerde aynı sabit yük) Sıcak ve soğuk haddeleme (hot – cold rolling) ile difüzyonla birleştirme	Santrifüj Döküm	Ekzotermik Dispersiyon (XD)
	Plazma Püskürtme	
	Sıvı Metal Karıştırma Mekanik karıştırma Ultrasonic titreşim ve pizo elektrik ile karıştırma	Basınç Takviyeli Ekzotermik Dispersiyon (PAXD)

### **3.1. KATI FAZ ÜRETİM YÖNTEMLERİ**

Katı faz üretim yöntemleri geleneksel olarak parçacık takviyeli kompozit malzemelerin üretilmesinde kullanılan yöntemlerdir. Matris ve takviye elemanı parçacıklarının karıştırılması, preslenmesi ve sinterlenmesi gibi bir takım işlemler gerektirdiği için maliyetlidir. Sıvı metal karıştırma yöntemiyle karşılaştığında özellikleri daha iyi kompozit malzemeler üretilmektedir [13,86].

Katı faz üretim yöntemleri; parçacık, kısa fiber ve uzun fiberler ile takviyeli MMK malzemelerin üretimlerinde kullanılmaktadır. Sıvı hal üretim yöntemleri ile kıyaslandıklarında;

1. Üretim genelde düşük sıcaklıklarda gerçekleştiriliyor olması nedeniyle, özellikleri kötü yönde etkileyici reaksiyon oluşumu düşüktür,
2. Belirli formlarda boy malzeme üretimine olanak sağlamaktadır,
3. Elde edilen kompozitler mekanik özellikleri bakımından kıyaslandığında, sıvı faz üretim yöntemlerine göre daha iyi fakat dövme yöntemiyle üretilen malzemelere nazaran düşük dayanıma sahiptirler,
4. Sıvı faz üretim yöntemlerine kıyasla daha pahalı bir üretim şeklidir,
5. Hammadde maliyeti (Matris ve takviye fazı) yüksektir,
6. Genelde özel tasarlanmış aparatlarla üretim gerçekleştirilmektedir [7,87].

#### **3.1.1. Toz Metalurjisi Üretim Yöntemi**

Toz metalurjisi (TM) dökme ve ergitme işlemlerinden daha eski bir işleme teknolojidir. TM parçalarının ham maddesi tozdur [20,87]. TM üretim tekniği, adı üzerinde toz boyutundaki malzemelerin, çeşitli tekniklerle bir araya getirilmesini kapsamaktadır. Bu üretim tekniği, ürünü son formunda veya son formuna çok yakın ebatta, genelde ikincil bir imalat tekniğinin (talaşlı imalat) uygulanmasına gereksinimi olmayan veya azaltılmış, şekilde üretilbilmesini sağlamaktadır. Bu yöntemde kuvvetli ara yüzey reaksiyonlarının oluşmaması ve matris – takviye fazı arasında istenmeyen reaksiyonların minimize edilmesi yöntemin avantajıdır [31,88]. TM ile üretilen malzemeler haddeme, döküm gibi geleneksel imalat yöntemleri ile

üretileen malzemelere göre bazı değişik ve avantajlı özelliklere sahiptir. Bu avantajlar, üretimi zor olan alaşımları daha kolay üretme, karmaşık (implantlar, otomotiv parçaları, uçak parçaları v.b.) şekilli parçaların imalat kolaylığı, yoğunluk kontrolü ve ekonomiklik gibi özelliklerdir [31,89,90]. TM ile üretilen MMK malzemelerin başında matris fazı olarak Al ve alaşımları gelmektedir. Al ve alaşımları, bazı korozif ortamlarda bozulmaya karşı iyi mekanik özellik direnci ile düşük yoğunluklarından dolayı kimya, otomotiv, gıda, havacılık ve denizcilik endüstrisindeki birçok uygulamalarda kullanılan malzemelerdir [31,91]. Al matrisli partikül takviyeli kompozitler, ticari Al alaşımları ile kıyaslandığında artan sertlik, yüksek aşınma direnci, mukavemetinin uygunluğu, titreşim azaltıcı ve düşük ısı yayılım katsayısı gibi malzemelerde istenilen üstün özellikleri bir arada bulundurması nedeniyle endüstride daha da önemli bir yere sahip olmaktadır [31,92]. Kompozit malzemelerin üretiminde karşılaşılan temel problem, matris ile takviye malzemeleri arasında etkili bir bağlanmanın elde edilememesidir. Diğer üretim yöntemlerine (metal ergitme, ergimiş metal emdirme, atomizasyon döküm yöntemi) nispeten düşük sıcaklıklarda yapılan TM üretim yöntemi, teorik olarak ara yüzey kinetiğinin daha iyi kontrol edilmesini sağlamaktadır [31,93]. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC, TiC ve B<sub>4</sub>C gibi seramik malzemeler fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı mühendislik alanında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. TM üretim tekniğinde takviye elemanı ve matris oranlarının istenen miktarda ayarlanabilmesi ve şartlara en uygun malzemenin üretimi için malzeme üretilmeden önce tasarlanabilmesi kompozitlerin en önemli avantajı olarak sayılabilmektedir [1,94].

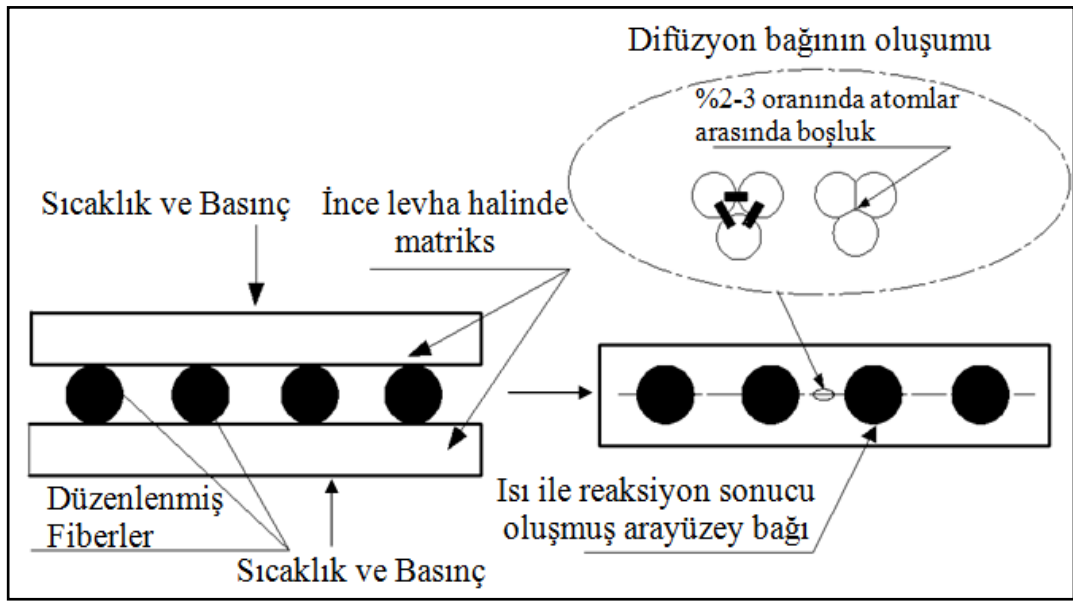
### **3.1.2. Difüzyon Bağı Yöntemi**

Difüzyon bağı oluşturma işlemi katı halde üretim tekniklerinden en pratik olanıdır. Bu yöntemle, MMK malzemeler metal levha veya istenilen karmaşık formlarda üretilebilmektedir. İnce metal plakalar üzerine tek kademeli fiberler istenilen açıda ve hacimde yerleştirilebilmektedir. Bu işlem tamamlandıktan sonra ergime sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta, izostatik preslenerek veya haddelenerek metal – metal teması sağlanmakta ve metal plaka temas noktalarında difüzyon bağı oluşarak paketlenmiş halde kompozit malzemeler üretilebilmektedir. Difüzyonlu birleştirme yöntemi farklı uygulamada yapılabilmektedir. Bunlar;

1. Sabit sıcaklık ve basınç altında (izostatik) presleme,
2. Sıcak ve soğuk haddeleme (hot – cold rolling) ile difüzyonlu birleştirmedir.

### 3.1.2.1. Sabit Sıcaklık ve Basınç Altında (İzostatik) Presleme

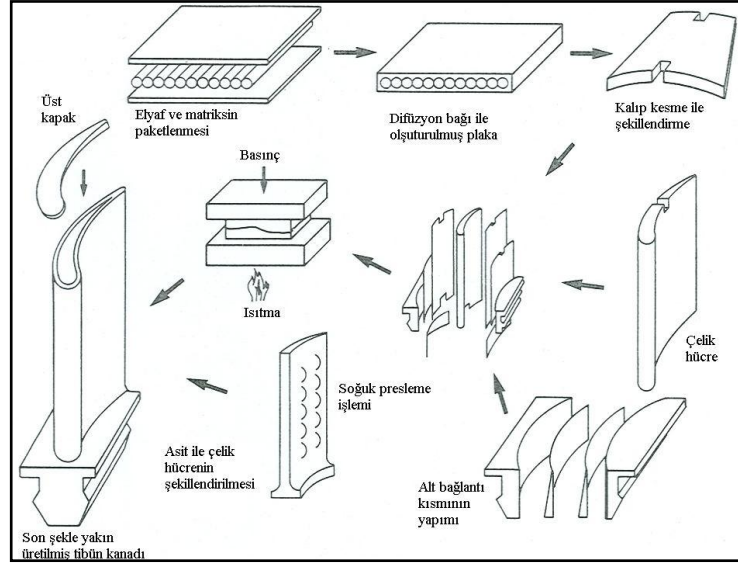
Sabit sıcaklık ve basınç altında presleme ile karmaşık form özelliklerine sahip parçalar rahatlıkla ve ucuz olarak üretilebilmektedir. Bu üretim yönteminde basınç ve sıcaklık kademeli olarak arttırılmakta ve ince matris plakalar arasında metal – metal teması sağlanarak difüzyonlu birleştirme gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.1’de sabit sıcaklık ve basınç altında presleme yönteminin şematik şekli ve Şekil 3.2’de de uygulama alanlarından uçak motoru türbin kanatçığının bu yöntem ile üretim basamakları gösterilmektedir [7,9].



Şekil 3.1. Sabit sıcaklık ve basınç altında (izostatik) presleme [7,9].

Bu işlemden önce, ince metal levhalar ile fiberlerin yüzeylerinin çok temiz ve oksitsiz olması gerekmektedir. Eğer bu şartlar sağlanmazsa matris plakalar arasında bir difüzyon bağı oluşturulamamaktadır. Kompozitlerin dayanımı oluşan bu difüzyon bağı ile doğrudan bağlantılıdır. Matris – matris temas noktalarında difüzyon bağı oluşurken yine matris – fiberler arasında da sıcaklığın etkisi ile reaksiyonla arayüzey bağı oluşmaktadır. Fakat burada kompozitlerin mekanik özelliklerine direkt etkiye bulunan bağ, matris – matris arası difüzyon bağı'nın iyi bir şekilde gerçekleşmesi ile

oluşmaktadır. İşlem basamaklarının eksiksiz olarak yerine getirebilmesi için genellikle fiberlerin yüzeyi plazma püskürtme yöntemi ve iyon kaplama ile çeşitli kaplama metallere kaplanmaktadır [7,95,96].

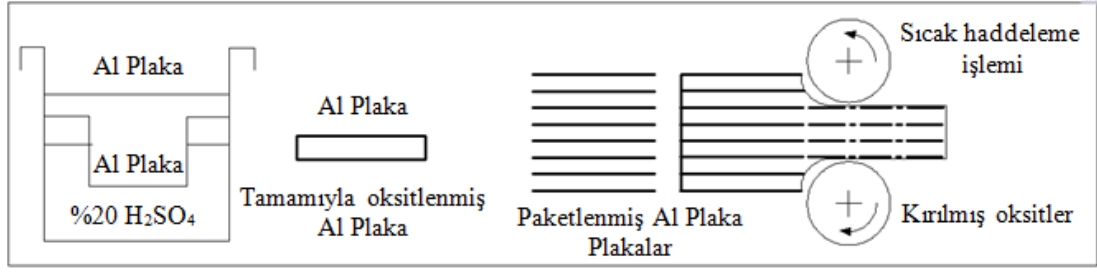


Şekil 3.2. Uçak motoru türbin kanatçığının sabit sıcaklık ve basınç altında presleme yöntemi ile üretim basamakları gösterimi [7,9].

### 3.1.2.2. Sıcak ve Soğuk Haddeme İle Difüzyonlu Birleştirme Metodu

Sabit sıcaklık ve basınçta difüzyon oluşturma yöntemi ile benzerlik göstermektedir. Sıcak ve soğuk haddeme ile difüzyonlu birleştirme yöntemi sadece plaka halinde kompozit malzemeler elde edilmektedir. Karmaşık formlu parçaların imalatı bu yöntemle yapılmamaktadır. Bu yöntemde işlem basamakları olarak, ince levha halindeki metal plakaların uygun işlem ile oksitlendirilmesi, uygun formda paketlenmesi ve sonrasında sıcak ve soğuk haddeme işlemleri ile plaka haline getirilmelerinden oluşmaktadır. Sıcak ve soğuk haddeme ile difüzyonlu birleştirme yöntemi ile kompozit malzemelerin üretimlerinde kullanılan işlem basamakları Şekil 3.3'de gösterilmiştir [7,87,95,96].





Şekil 3.3. Sıcak ve soğuk haddeleme ile difüzyonlu birleştirme metodu. [87,96].

## 3.2. SIVI FAZ ÜRETİM YÖNTEMLERİ

### 3.2.1. Ergimiş Metal Karıştırma Yöntemi

Ergimiş metal karıştırma, sürekli olmayan fiber ve parçacıklarla takviyeli kompozitlerin imalatlarında, en genel kabul görmüş ve pratikte ticari üretime uygun imalat yöntemidir. Ergimiş metal karıştırma yönteminin kolaylığı ve diğer yöntemlere nazaran ucuz olması, parça imalatının çeşitlilik yönünden geniş olması ve büyük miktarlardaki üretimlere olanak tanınması avantajları arasındadır. Ergimiş metal karıştırma yöntemi MMK'lerin kabul görmüş diğer üretim yöntemlerine nazaran oldukça fazla ekonomik ve sayıca çok miktartlı üretimlere uygun bir MMK üretim yöntemidir. Ayrıca bazı çalışmalar, ergimiş metal karıştırma yöntemi ile elde edilen kompozitlerin ürün maliyetinin, diğer metotlarla üretilen kompozitlerin ürün maliyetleri ile karşılaştırıldığında 1/3 oranında daha az olduğunu ve hatta sayıca fazla üretimlerde ise bu oranın 1/10 gibi bir değere düştüğünü göstermektedir [7,97].

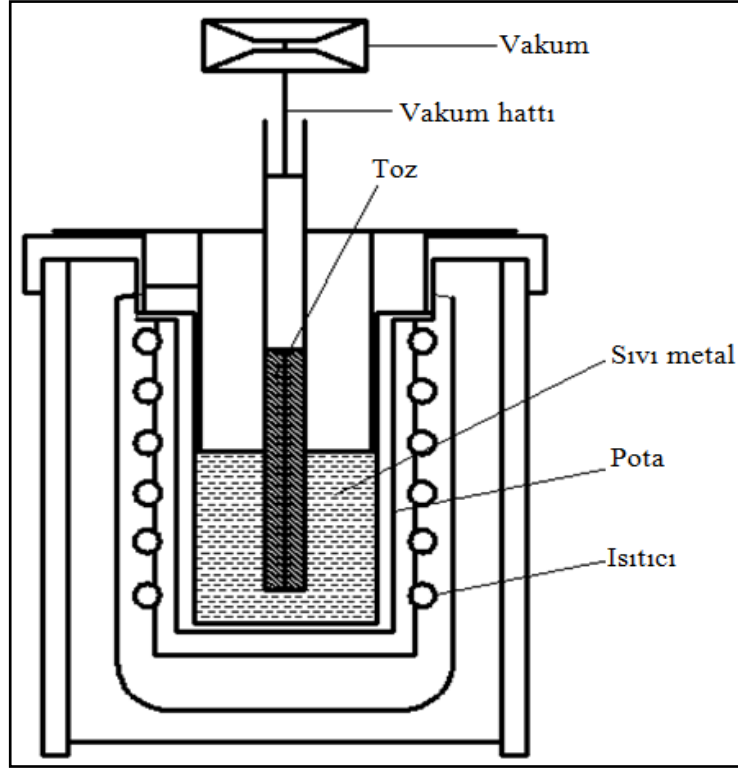
Ergimiş metal karıştırma yöntemi ile MMK malzemelerin üretiminde SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi seramik parçacıklar alüminyum alaşımı sıvı haldeyken ilave edilmektedir. Parçacıkların ilavesi esnasında ve ilave işlemi tamamlandıktan sonra belirli bir süre bir karıştırıcı ile mekanik olarak karıştırılmakta ve daha sonra normal metal parçaların dökümüne benzer bir yolla kalıp içerisine dökülmektedir [13,98]. Bu yöntemin avantajı takviye elamanı ile sıvı metal arasında ıslanabilirliğin artırılmasıdır [13,99]. Bu yöntemle üretilen parçacık takviyeli MMK malzemelerde ekstrüzyon ve dövme gibi ikincil işlemler daha iyi matris – takviye bağı, daha az gözenek miktarı ve daha düzenli parçacık dağılımı sağlayarak, mekanik özelliklerde önemli ölçüde gelişmeler sağlanabilmektedir [13,100].

### **3.2.2. Sıvı Metal İnfiltasyon**

MMK malzemelerin üretim yöntemleri arasında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu işlemde esas prensip, bir kap veya tüp içerisine yerleştirilmiş fiberler arasına sıvı halindeki metal matrisin emdirilmesidir. İlk işlem olarak istenilen profilde ön şekillendirme yapılmakta, fiberlerin yönlendirilmesi ve hacimsel oranı bu aşamada ayarlanmaktadır. Ön şekiller kalıba bir bağlayıcı ile tutturulduktan sonra kalıp içerisine ergimiş metal emdirilmekte ve katılaşmaya bırakılmaktadır. Ergimiş metalin emdirilmesi fiber hacim oranının yüksek olduğu durumlarda biraz daha zordur. Fiberler arası mesafenin az olduğu bu gibi durumlarda ergimiş metal ya basınç altında veya vakumla emdirilmektedir. Böylece matrisin, fiberlerin arasına girmesiyle açığa çıkacak atıl gazlar da yapı içerisinde sıkışmayarak dışarı atılmaktadır. Hızlı ve yüksek üretim kapasitesine sahip olması ve son ürün şekline yakın üretim imkânı sağlaması gibi avantajları nedeniyle bu yöntem, MMK malzeme üretiminde önemli bir yer edinmiştir. Sıvı metal infiltasyon işlemi; atmosfer basıncında, yüksek basınç altında, koruyucu gaz atmosferi altında ya da vakum şartlarında yapılabilmektedir. İşlemlerin vakum altında yapılması fiberlerin yüzey aktivitesini arttırdığından dolayı ergimiş metalin ıslatma kabiliyeti ve kompozitin kalitesini olumlu yönde arttırmaktadır. Uygulamada karşılaşılan bazı problemler bu yöntemle sınırlamalar getirmektedir [101].

### **3.2.3. Vakum İnfiltasyon**

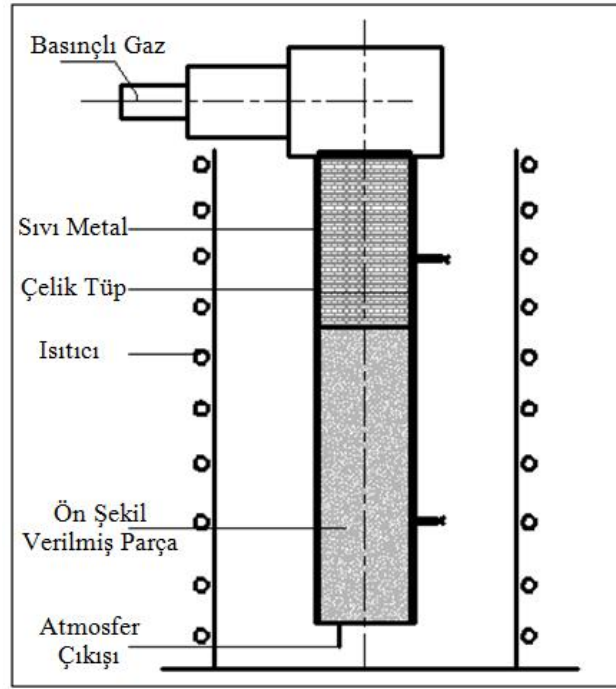
Vakum infiltasyon yönteminde sıvı matris, negatif bir basınç uygulanarak gözenekli takviye içerisine infiltre olmaktadır [102,103]. Yöntem basit ve oldukça ekonomiktir. Vakum infiltasyon yöntemi şematik olarak Şekil 3.4'de gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Vakum infiltrasyon yöntemi [102,103].

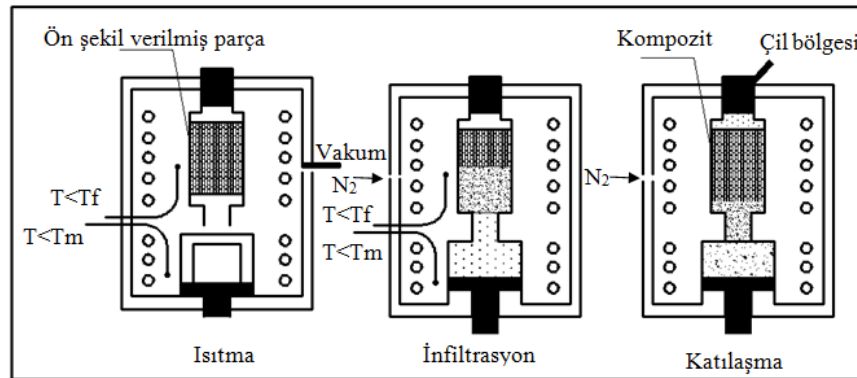
#### 3.2.4. Basınçlı İnfiltrasyon

Basınçlı infiltrasyon yönteminde sıvı matris, ön şekillendirilmiş blok parça veya yatak içerisine basınçlı gaz ile iletilerek kompozit malzemeler üretilmektedir [102,104-106]. Basınçlı infiltrasyon yöntemi şematik olarak Şekil 3.5'de gösterilmektedir. Şekilde 3.5' de çelik tüp içerisine yerleştirilen seramik takviyeye sıvı metal belirli basınçtaki gaz yardımı ile infiltre olmaktadır. İnfiltrasyonu kolaylaştırmak için kalıbın alt kısmında gaz çıkışını sağlayacak kanal bulunmaktadır. Basınçlı infiltrasyon yönteminde infiltrasyon basıncı, takviye hacim oranı, kalıp ön ısıtma sıcaklığı, takviye parçacık boyutu, infiltrasyon süresi ve sıvı metal sıcaklığı işlem parametreleri olarak ele alınmaktadır [102,105,107,108].



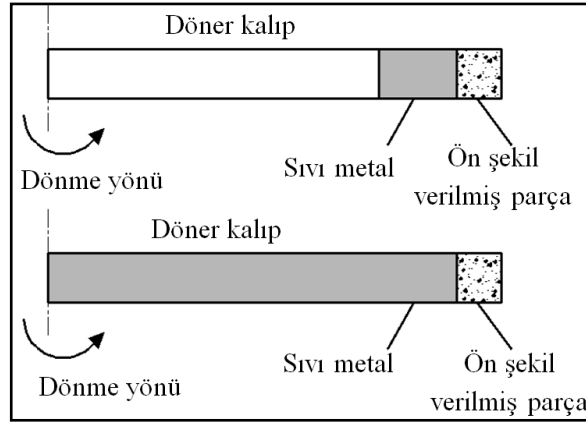
Şekil 3.5. Basınçlı infiltrasyon yöntemi [102,109].

Bu yöntemde, vakum destekli yüksek basınç kullanılarak sıvı matris fiber takviyelere başarı ile infiltre olmakta ve kompozitler basınç altında katılaşmaktadır. Ancak, yüksek basınç uygulanmasının, zaman zaman fiberlerde deformasyona sebep olduğu belirtilmektedir [102,109]. Bu durumu ortadan kaldırmak için orta basınçlı infiltrasyon tekniği geliştirilmiştir ve fiber takviyelere sıvı Al matris başarı ile infiltre edilmektedir [102,110]. Şekil 3.6'da orta basınçlı infiltrasyon yöntemi şematik olarak görülmektedir.



Şekil 3.6. Orta basınçlı infiltrasyon yöntemi [102,110].

Şekil 3.6’da görüldüğü gibi infiltrasyon işlemi 3 aşamada gerçekleştirilmektedir. Birinci aşamada; fiber takviye, sıvı matris sıcaklığının üzerinde bir sıcaklığa ısıtılmaktadır (Tf ve Tm sırasıyla 730 ve 700 °C). İkinci aşamada; 10 bar basıncındaki azot gazı yardımıyla sıvı alüminyum matris, 10 saniye süreyle alümina fiberlere infiltre olmaktadır. İkinci aşamanın hemen ardından gözeneklerin azaltılması için 90 bar basınçtaki azot gazı verilerek sıvı matrisin katılaşması sağlanmaktadır [102,110]. Basınçlı infiltrasyon yöntemi kullanılarak MMK malzeme üretilmesinde farklı bir yöntem geliştirilmiştir [102,111]. Bu yöntemde MMK malzemeler, yüksek basınç kullanılarak savurma tekniğiyle üretilmektedir. Savurma basınçlı infiltrasyon tekniği Şekil 3.7’de gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Savurma basınçlı infiltrasyon tekniği [102,111].

Savurma basınçlı infiltrasyon tekniğinde döner kalıbın dip kısmına sıkıştırılan seramik tozlara, savurma basıncı uygulanarak sıvı matris infiltre edilmektedir. Kalıp dönme hızı, savurma kuvvetini etkilediğinden önemli işlem parametresidir [102,111].

### 3.2.5. Atomizasyon (Sprey) Döküm Yöntemi

Hızlı katılaşma yoluyla direk olarak eriyikten alaşım ve kompozit malzemelerin üretildiği prosese sprej şekil verme, sprej döküm veya sprej biriktirme yöntemi adı verilmektedir. Bu yöntem, ergimiş metalin atomizasyonu ile üretilen damlacıkların püskürtülerek bir kolektör (toplayıcı) üzerinde toplanması sağlanmaktadır. Kolektör üzerinde katılaşarak üretilen bu depozite daha sonra ekstrüzyon, dövme veya haddeme ile şekil verilebilmektedir. Sprej biriktirme yöntemi iki önemli avantaja

sahiptir. Bunlardan birincisi eriyikten direkt olarak tek bir operasyonla net şekillendirilmiş ürün elde etme imkânına sahip olmasıdır. Bu yöntem ingot metalurji (IM) ve toz metalurji (TM) yöntemlerinde uygulanan birçok işlem basamağını azaltarak önemli ölçüde ekonomik kazanç sağlamaktadır. Net şekillendirilmiş ürün elde etmenin avantajları şu şekilde sıralanabilmektedir [112-114].

1. Üretim zamanının kısalması,
2. Hammadde fiyatının azalması,
3. Enerji tüketiminin azalması,
4. Parça performansının iyileştirilmesi,
5. Hurda fiyatının azalması,

Sprey şekil verme yönteminin ikinci avantajı, metalurjik ve mekanik özelliklerde önemli ölçüde iyileşmenin sağlanmasıdır. Sprey şekil verme yöntemiyle üretilmiş ürünler ince taneli, alaşım elementleri makroskopik segregasyonundan arındırılmış ve düşük oksit içermesidir [112,115,116].

### **3.2.6. Sıkıştırma Döküm Yöntemi**

Sıkıştırma döküm yöntemi, en önemli ve en pratik kompozit malzeme üretim yöntemlerinden birisidir. Yapılan araştırmalarda, sıkıştırma döküm ile elde edilen MMK malzemelerin ucuz olarak elde edilebilmesinden dolayı, ileride en çok kullanılacak üretim yöntemi olacağı ifade edilmektedir. Sıkıştırma döküm yöntemi, herhangi bir metalin basınç altında katılaşmasıdır. Bu yöntemle hemen hemen her tipte takviye malzemesi kullanılarak MMK malzeme üretilmesi mümkündür. Takviye malzemesi verilen bir kalıp içine yerleştirilmektedir. Döküm sıcaklığına çıkarılmış sıvı metal, belli bir sıcaklığa ısıtılan takviye malzemesi üzerine dökülmektedir. Katılaşma tamamlanıncaya kadar sıvı metal üzerine yüksek miktarda basınç uygulanmaktadır. Basınç altında katılaşma ile takviye malzemesi ve anayapı metali arasında ara yüzey bağ mukavemeti oldukça olumlu etkilenmektedir. [117].

Sıkıştırma dökümün ana prensibi, doğru ölçülmüş hacimdeki sıvı metalin istenilen sıcaklıktaki kalıba konması ve üst kalıbın inerek veya pistonun yukarı çıkarak metalin katılaşması esnasında basınç uygulamasıdır. Son yıllarda yöntem direkt ve dolaylı olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Yöntem basit ve ekonomik bir yöntem olup yüksek üretim oranlarında otomatikleştirilmiş üretim potansiyeline sahip olmaktadır. Sıkıştırma döküm yöntemi diğer döküm yöntemlerine nazaran uygulanan yüksek basınçtan dolayı gözenek oranı azaltılmış ve küçük taneli mikro yapıya sahip parçalar üretilebilmesine olanak sağlamaktadır. Günümüzde pistonlar, jantlar, rulman parçaları, biletikler, bağlantı milleri, varil başlıkları, fren diskleri, dökme demirden bomba kılıfları gibi parçalar bu teknikle üretilebilmektedir. Sıkıştırma döküm işleminin çeşitli alaşımlarla en kaliteli şekilde gerçekleştirilebilmesi için, yöntemdeki değişkenlerin ürün üzerindeki etkilerinin tam olarak bilinmesi gerekmektedir. Sıkıştırma döküm işlemine etki eden değişkenler olarak döküm anındaki metal sıcaklığı, sıvı metal kalitesi, kalıp sıcaklığı, basınç uygulanma anına kadar geçen süre, uygulanan basınç, bekleme zamanı, kalıp malzemesi ve kalıp tasarımı sayılabilmektedir [118].

### **3.2.7. Plazma Püskürtme Yöntemi**

Plazma püskürtme yönteminde püskürtülecek alaşım, indüksiyon fırınında ergitilmekte ve potaya basınç uygulanmaktadır. Ergimiş alaşım püskürtülürken aynı zamanda, parçacık takviyeler atomize edilmiş sıvı içerisinde enjekte edilerek önceden ısıtılmış alt katman üzerine çökeltilmekte ve toplayıcı üzerinde bir katı çökelti oluşturmaktadır. Soğuma işlemi sonrasında kaplanmış çökelmiş çubuk, haddelenmesi için göbekten çıkartılmaktadır. Bu yöntem, Al gibi ergime noktası nispeten düşük olan metallere uygulanmaktadır. Son parçanın şekli ise, atomize etme şartına, toplayıcı hareketine ve şekline bağlı olmaktadır. Tabaka, içi boş tüp gibi değişik karmaşık şekiller, sistem modife edilerek üretilebilmektedir [17,119-121].

### **3.2.8. Sıvı Metal Karıştırma**

Sıvı metal karıştırma tekniklerinde, ön ısıtma yapılmış veya ön işlemlerden geçerek hazırlanmış takviye malzemeleri, sürekli karıştırılan ergimiş metal içerisinde değişik

yöntemlerle katılmakta ve daha sonra döküm işlemi yapılmaktadır [101]. Sıvı metal karıştırma üretim yönteminin oldukça değişik versiyonu olmakla beraber takviye malzemesinin tamamıyla sıvı haldeki matris içerisine girmesini sağlamak için bazı yaklaşımlar şöyle özetlenebilmektedir [122,123].

1. Bir enjeksiyon tabancası kullanılarak sıvı içerisine taşıyıcı soygaz ile tozların enjeksiyonu,
2. Kalıp dolarken sıvı içerisine seramik parçacıkların ilavesi,
3. Mekanik hareket ile oluşturulan vorteks içerisinden parçacıkların sıvı metale ilavesi,
4. Sıvı içerisine matris alaşımı ve takviye toz karışımından meydana gelen, küçük briketlerin ilavesi ve ardından karıştırılması,
5. Karşılıklı hareket eden çubuklar kullanılarak parçacıkların sıvı içerisine itilmesi,
6. Merkezkaç etki ile ince parçacıkların sıvı içerisine dağılması veya ultrasonik ile sıvı sürekli hareket halinde iken parçacıkların sıvı içerisine enjeksiyonu,
7. Sıfır yerçekimi prosesidir. Bu proses uzun bir zaman dilimi için çok yüksek vakum ve sıcaklıkların birlikte etkisi kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir.

### **3.2.9. Vortex Yöntemi**

Vortex yöntemiyle iyi nitelikli MMK malzeme elde edebilmek için karıştırma hızı, karıştırıcı kabiliyeti, karıştırma sıcaklığı, takviye hızı gibi işlem parametrelerinin hassas olarak kontrol edilmesi gerekmektedir. Kontrolün sağlanamadığı sistemlerde, düşük partikül boyutu ve yüksek hacim oranlarında, özellikle partiküller etrafında porozite oluşmakta ve partikül yığılması görülmektedir [124-126]. Bu yöntemde, iki önemli problem görülmektedir: Birincisi, seramik partiküller genellikle sıvı metal tarafından ıslatılamamaktadır [17,124]. İkincisi, partiküller sıvı metalin yoğunluğuna bağlı olarak sıvı metal içerisinde metalin yüzeyinde yüzme ya da dibe çökme eğilimi göstermektedirler [125,127].

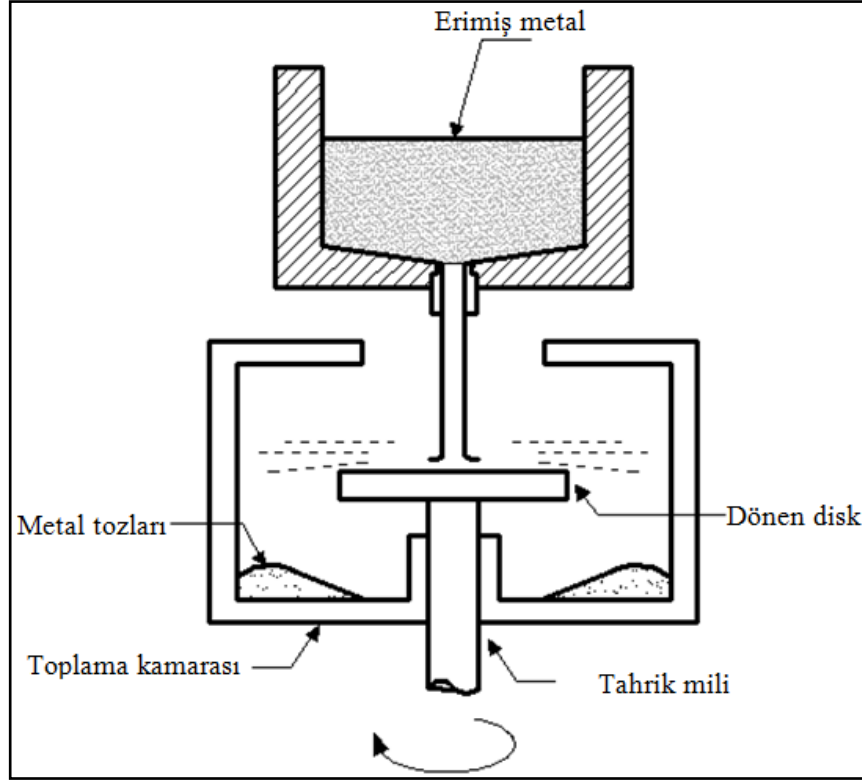


Islatmanın geliştirilmesi için;

1. Katı yüzey enerjisinin arttırılması,
2. Sıvı metal yüzey geriliminin azaltılması,
3. Katı – sıvı arayüzey enerjisinin azaltılması gibi tedbirler alınmaktadır [125,128].

### **3.2.10. Savurmalı (Santrifüj) Atomizasyon Yöntemi**

Savurmalı atomizasyon, ergiyiğin döndürülmesi sonucu oluşan mekanik kuvvet (merkezkaç kuvveti) etkisi ile damlacıkların katılaşması ile parçacıkların oluşturulması esasına dayanmaktadır. Pota ile temasın güçlük yarattığı yüksek sıcaklık malzemeleri veya reaktif malzemeler için çok kullanışlı bir yöntemdir [87,129]. Merkezkaç kuvvetinden dolayı santrifüj atomizasyonu olarak da adlandırılmakta ve iki çeşit santrifüj atomizasyonu vardır. Bunlardan birinde, bir kap içindeki ergiyik metal, ergiyik metalin damlacıklara ayrılması için, uygun bir hızda düşey eksen etrafında döndürülmekte veya bir metal demeti dönen bir disk veya koni üzerine akıtılmaktadır (Şekil 3.8). Diğerinde ise, bir metal çubuk yüksek hızda döndürülmekte ve serbest uça elektron ışını veya plazma arkı vb. ile ergitilmektedir. Bu ikinci tip işlem, döner elektrot atomizasyonu olarak bilinmekte ve çubuk düşey veya yatay ekseninde döndürülebilmektedir [9,110,122,130]. Savurmalı atomizasyon ile yüksek paketlenme yoğunluğu ve kolay akış özelliklerine sahip, temiz ve küresel şekilli tozlar oluşturulabilir. Bu yöntemin olumsuz yönleri düşük üretim hızları, yüksek donanım ve işletme maliyeti ile büyük parça boyutudur [87,128].



Şekil 3.8. Savurmalı atomizasyon ünitesi döndürülebilir [9,87,128].

### 3.3. DİĞER YÖNTEMLER

#### 3.3.1. Yarı Katı Karıştırma Yöntemi

"Compcasting" ve "rheocasting" olarak da adlandırılır. Sıvı metal karıştırma yöntemindeki ıslanabilirlik problemini çözmek için geliştirilen yöntemlerden birisidir. Bu yöntemde, seramik parçacıklar matris içerisine alaşımın sıvı – katı sıcaklığındaki bir sıcaklıkta katılmakta ve bu işlemi daha sonra düşük viskoziteli karışımı mekanik olarak karıştırma işlemi takip etmektedir. Karışımın yarı katı olması, karıştırma esnasında parçacık ilavesini kolaylaştırmaktadır. Seramik parçacıkların topaklanma eğilimi karışım içinde bulunan katı faz yardımıyla engellenmekte ve parçacıklar katı fazlar arasında mekanik olarak tutulmaktadır. Daha sonra sıvı matrisle etkileşime girerek bağ oluşturmaktadır. Ayrıca, mekanik karıştırma sonucu oluşan sürekli deformasyon sonucunda katı fazların kırılmasıyla parçacıkların topaklanması engellenmektedir. Bazı araştırmacılar tarafından bu

yöntemin ıslanabilirliği artırdığı ve iyi bir parçacık dağılımı sağladığı için etkili olduğu belirtilmektedir [13,131,132].

### **3.3.2. Vidalı Ekstrüzyon**

Polimer ürünlerin işlemleri için geliştirilen ve kullanılan vidalı ekstrüzyon yöntemi Dow laboratuvarları tarafından Mg alaşımı esaslı kompozit malzeme üretimi için kullanılmıştır. Yöntemde matris malzemesini oluşturacak olan Mg, küçük parçacıklar halinde takviye partiküller ile birlikte bir haznenin içine doldurulmaktadır. Haznenin ağzı, hazırlanan karışımın, vidalı ekstrüzyon sisteminin içerisine kolayca doldurulabilmesi için uygun bir geometride yapılmıştır. Hazneden beraberce ilerleyen matris ve takviye malzemesi aynı anda hem ısıtılıp hem de karıştırılmaktadır. İlerleme esnasında matris malzemesi ergime sıcaklığı civarına geldiğinde yarı katı yarı sıvı haldeki karışım sistemin sonundaki kalıp içine beslenmektedir. Bu yöntemle sürekli formda kompozit malzeme üretimi yapılabilmektedir [107,122].

### **3.3.3. Reaksiyon (In Situ) Üretim Yöntemleri**

Reaksiyon üretim, matris fazı içerisinde termodinamik olarak dengede olan, parçacık boyutu ve hacim içeriğinin belirlenmesine izin veren bir kompozit malzeme üretim yöntemidir. Takviye elemanlarının denge halinde oluşturulabilmesi için ergimiş matrise dışarıdan katı – sıvı formlarından herhangi birinden alaşımlayıcı katkı maddelerinin ilavesi söz konusudur. Ergiyik içerisinde oluşacak takviye fazlarının, genellikle karbür ya da oksit içerikli seramik parçacıklar halinde oluşması sağlanmaktadır. Aynı zamanda bu ikincil seramik esaslı fazların yapı içerisinde homojen bir dağılım sergilemesi gerekmektedir. Denge halindeki takviye elemanlarının oluşması matris içerisindeki alaşım elementlerine ve miktarına bağlı olduğu için bu yöntem her türlü matris alaşımına uygulanamamaktadır. Bu yöntemin avantajları olarak;

1. Takviye elemanları termodinamik yönden dengededir ve yapı sıcaklık değişimlerinden etkilenmez,

2. Takviye form kontrolü yapılabilir ve aynı zamanda farklı kimyasal ya da fiziksel özelliğe sahip takviye elemanları aynı ortamda oluşturulabilir,
3. Takviye elemanlarının şekli ve boyutları kontrol edilebilir,
4. Metalik ya da intermetalik malzemelere uygulanabilir. İstenilen hacim oranında takviye elemanı ilave edilebilir,
5. Elde edilen kütük haldeki kompozit malzemeler klasik metalürji yöntemi ile (haddeleme, çubuk çekme v.b.) tekrar şekillendirilebilmektedir [7,87].

#### **3.3.4. Exzotermik Dispersiyon (XD) Üretim Yöntemi**

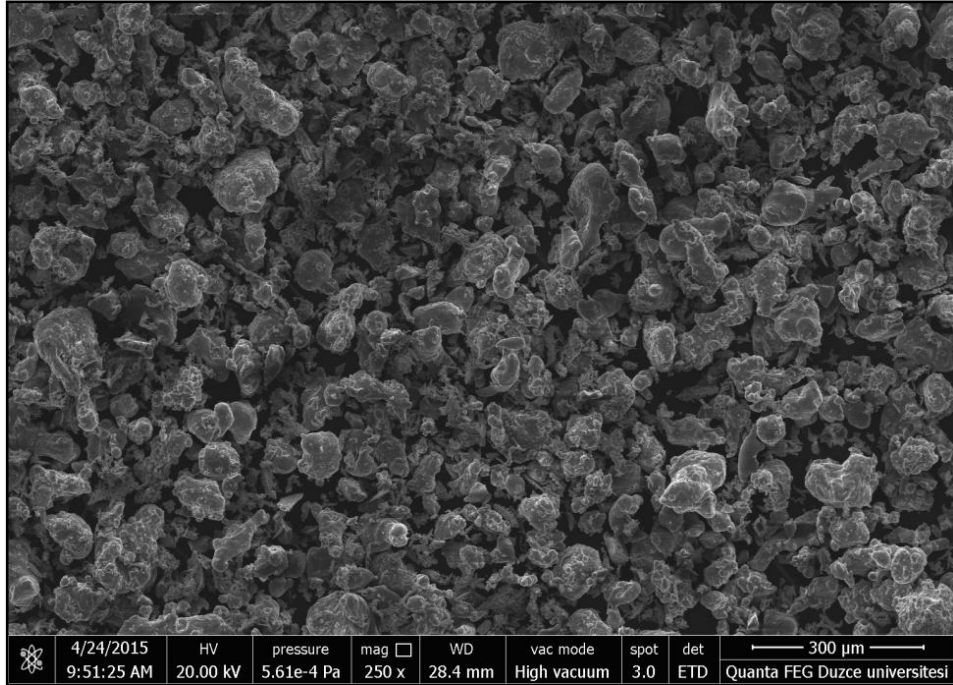
Exzotermik dispersiyon yöntemi Martin Marietta Corp. tarafından geliştirilmiştir. XD prosesinde matris alaşımı ve reaktif bileşenleri katı halde karıştırılmakta ve karışımın her yerinde kendi kendine yayılabilen bir reaksiyon başlamaktadır. Reaksiyonun kendi kendine devamlı olabilmesi için ekzotermik olması gerekmektedir. Bu proses, reaksiyonla meydana gelen yüksek bir sıcaklıkta genel olarak eriyik haldeki bir matris alaşımı içerisine takviye partiküllerinin kararlı bir şekilde dispersiyonu ile sonuçlanmaktadır. Ayrıca sıvı alaşımdaki reaktif bileşenlerin yüksek difüzyonu ileri reaksiyon için onları bir araya getirmeye yardımcı olmakta ve bu sayede reaksiyon oranının artmasına katkıda bulunmaktadır. Prosesin avantajları olarak, takviye ve matris olarak çok sayıda alaşım kullanılabilmesi ve malzemelerin ticari olarak üretilebilir olması verilebilmektedir [133,134].

## BÖLÜM 4

### MATERYAL VE METOD

#### 4.1. KARMA TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİNDE KULLANILAN MATRİS (ANA FAZ) MALZEMESİ

Karma takviyeli MMK malzemelerin üretiminde, Alman firması olan ECKA GRANULES şirketi tarafından üretilen Alumix 13 (ortalama parçacık boyutu <200  $\mu\text{m}$ ) kodlu alüminyum (Al) tozu matris malzemesi olarak kullanılmıştır. Alumix 13 kodlu matris malzemesi; içerisinde % 4,5 Cu ana alaşım elementi bulunan ve AlCuMgSiFe bileşiminden oluşan bir Al alaşım tozudur. Şekil 4.1'de Al parçacıklarının SEM fotoğrafı görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.1. Matris malzemesi olarak kullanılan Alumix 13 parçacıkları SEM fotoğrafı görüntüsü.

Metal tozu üretim teknikleri içerisinde, ince ve küresel tozlar elde etmede en yaygın olarak kullanılan yöntem gaz atomizasyonu yöntemidir. Bu yöntemde gaz cinsi, gaz basıncı, gaz ve sıvı metal akış debileri ile nozul geometrisi gibi üretim parametreleri tozların fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkilemektedir. Gaz atomizasyonunda, sıvı metal demetini parçalamak için basınçlı akışkan olarak hava, azot, argon ve helyum gibi gazlar kullanılabilir [135]

Gaz atomizasyonu metodu kullanılarak ön alaşımlama işlemi uygulanmış, matris malzemenin kimyasal bileşimi Çizelge 4.1’de verilmiştir [136].

Çizelge 4.1. Deneysel çalışmada matris malzemesi olarak kullanılan Alumix 13 tozunun kimyasal bileşimi [136].

Cu	Mg	Si	Fe	Al
4,5	0,52	0,14	0,10	Kalan

Deneysel çalışmada kullanılan Alumix 13 tozunun boyutlarını belirlemek amacıyla DIN/ISO 4497’ye göre elek analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Matris malzemesi Alumix 13 tozunun ortalama tane boyutu.

Ortalama Tane Boyutu ( $\mu\text{m}$ )	250	200	160	100	63	45	<45
Oran %	0	0,8	5,6	31,6	35,4	16,4	10,2

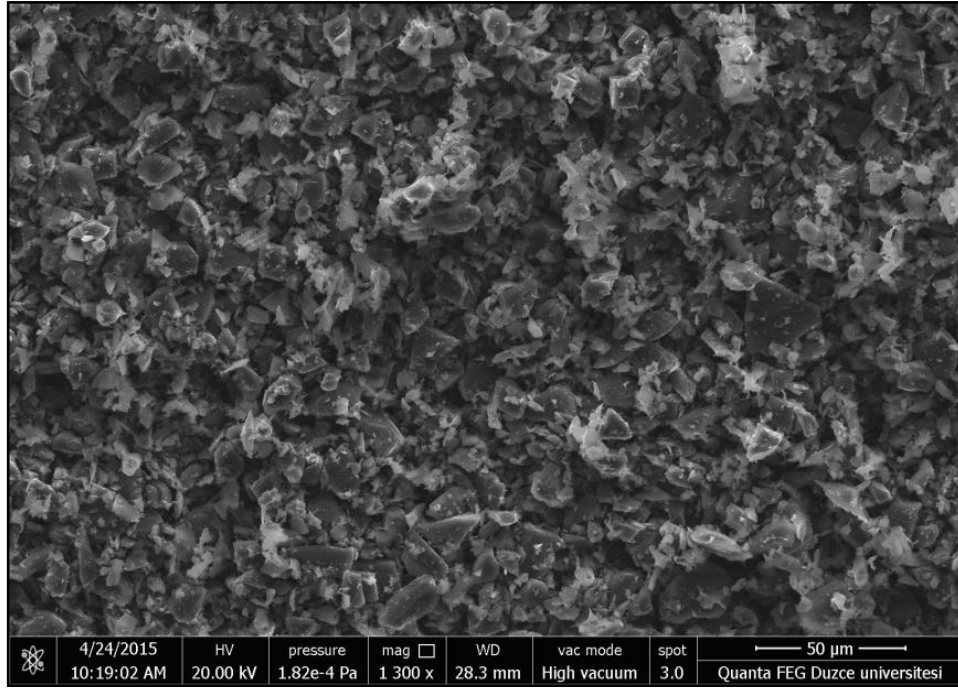
## 4.2. TAKVİYE ELEMANLARI VE ÖZELLİKLERİ

Al matrisli karma takviyeli MMK malzemelerin üretilmesinde iki farklı takviye elemanı kullanılmıştır. Bu elemanlar bor karbür ( $\text{B}_4\text{C}$ ) ve üzeri nikel kaplanmış grafit ( $\text{Ni(K)Gr}$ ) parçacıklarıdır.

#### 4.2.1. Bor Karbür (B<sub>4</sub>C)

Takviye elemanı olarak kullanılan B<sub>4</sub>C mükemmel bir sertlik, olağanüstü bir elastik modül, düşük yoğunluk, yüksek aşınma direnci, erime noktası, termal iletkenlik ve iyi bir kimyasal kararlılığa sahip olan doğada elmas ve CBN' den sonra, en sert malzeme olan mühendislik malzemeleri içinde önemli bir yere sahip seramik bir malzemedir.

Takviye elemanı olarak kullanılan B<sub>4</sub>C (<10 µm) tozu, Alfa – Aeser firmasının Türkiye temsilcisi Kimeks A.Ş.'den temin edilen %99,9 saflıkta <10 µm ortalama parçacık boyutunda kullanılmıştır. B<sub>4</sub>C parçacıklarının SEM fotoğraf görüntüsü Şekil 4.2' de verilmiştir.

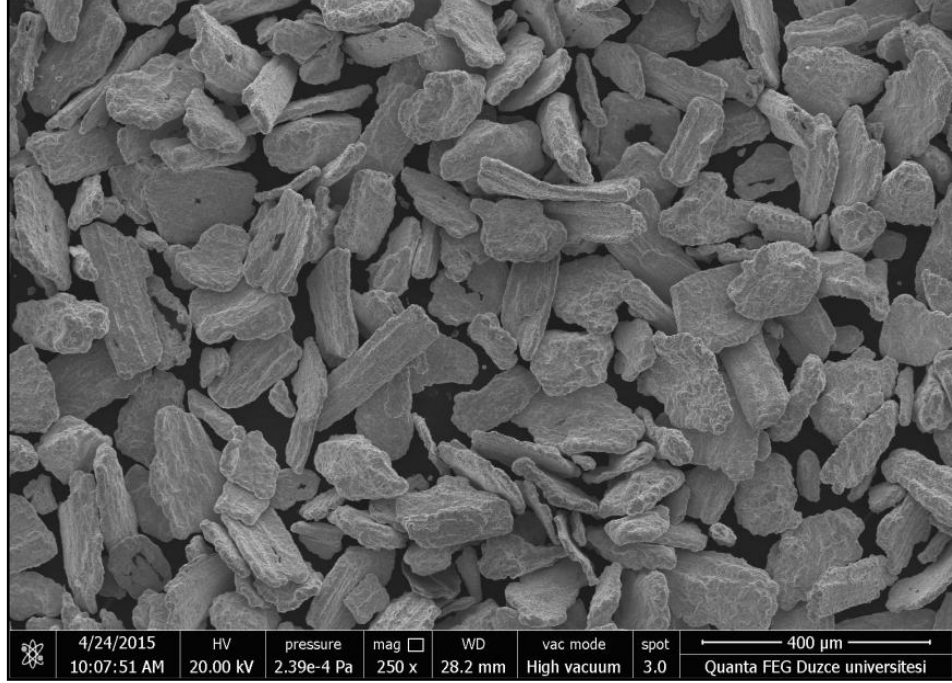


Şekil 4.2. Takviye elemanı olarak kullanılan B<sub>4</sub>C parçacıkları SEM görüntüsü.

#### 4.2.2. Nikel Kaplı Grafit (Ni(K)Gr) Parçacıklar

Deneylerde ana faz elemanı tarafından ıslatılma özelliği iyi olan 150 µm ortalama parçacık boyutunda % 99,9 saflıkta üzeri akımsız kaplama yöntemiyle nikel kaplanmış Gr parçacıklar Alfa – Aeser firmasının Türkiye temsilcisi Kimeks

A.Ş.'den temin edilmiştir [7]. Ni(K)Gr parçacıklarına ait SEM fotoğraf görüntüsü Şekil 4.3'de verilmiştir.



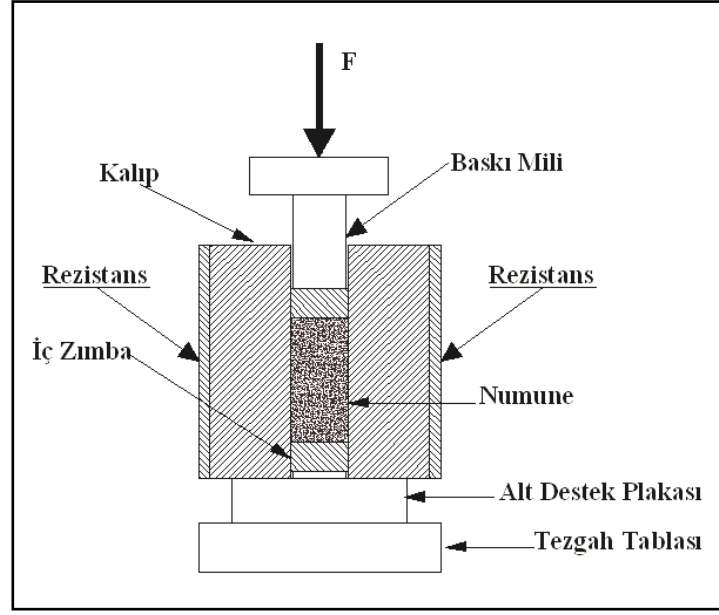
Şekil 4.3. Takviye elemanı olarak kullanılan üzeri nikel kaplı grafit (Ni(K)Gr) parçacıklarının SEM fotoğraf görüntüsü.

### **4.3. KARMA TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİMİNDE KULLANILAN MAKİNA VE TEÇHİZATLAR**

#### **4.3.1. Kalıp Sisteminin Hazırlanması**

Karma takviyeli MMK malzeme üretiminde kullanılan kalıp sistemi ilk olarak Bilgisayar Destekli Çizim – Tasarım (BDT) ortamında tasarlanmıştır. BDT ile hazırlanan tek eksen hareketli zımba ve kalıp sisteminin kesit görünüşü Şekil 4.4' de gösterilmiştir.





Şekil 4.4. Tek eksen hareketli zımba ve kalıp sistemi kesit görünüşü.

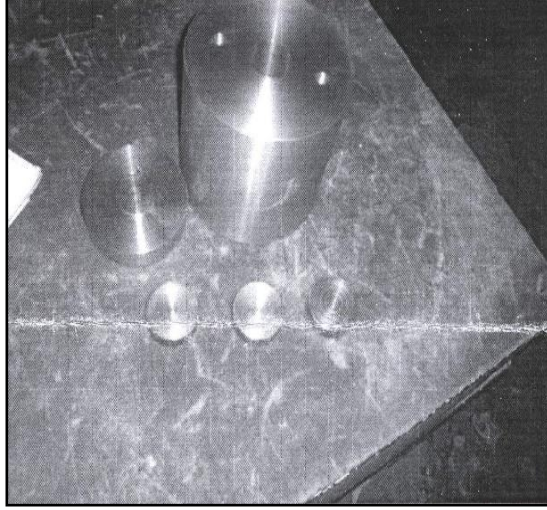
Kalıp sisteminin görevini yerine getirmesi için kalıp malzemesinin yüksek sıcaklıklara dayanabilen bir malzemedен olması gerekmektedir [137]. Yapılan literatür çalışması sonucunda, üretilmesi düşünülen kompozit malzemelerin soğuk olarak kalıplanması ve sonrasında sıcak olarak preslenmesi için kalıp seti elemanlarından baskı zımbası hariç diğer kalıp elemanları 1.2344 sıcak iş takım çeliği kullanılmıştır. Kalıp maliyetini düşürmek için baskı zımbası Ç1050 olarak kullanılmıştır. Kullanılan 1.2344 kalıp çeliğinin kimyasal bileşimi Çizelge 4.3 'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. 1.2344 Kalıp çeliğinin kimyasal bileşimi [138].

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
0,39	1,18	0,44	0,019	0,0006	5,11	1,28	0,91

1.2344 sıcak iş takım çeliği, tokluğu yüksek, ısıl şoklara dayanımlı, yüksek sıcaklıklarda aşınma dayanımı iyi ve yüksek ısıl iletkenliğe sahip malzemedir. Kalıp seti elemanlarından kalıp gövdesinin delik içi ve iç zımbalar taşlama tezgahında taşlanacak olması nedeniyle delik içi gerçek ölçüsünden 0,5 mm küçük ve iç zımbalar ise gerçek ölçülerinden 0,5 mm büyük ölçülerde imatları yapılmıştır. Kalıp elemanlarının bazılarının sertliği 54 HRC sertlik değerine getirilmesi için

ASSAP KORKMAZ ısıtım işlem firmasında ısıtım işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 4.5). Sertleştirme işlemi sonrasında kalıp deliği ve iç zımbalar, istenilen ölçü tamlığına getirilmesi için taşlama işlemine tabi tutulmuştur. Taşlama işlemi, kalıp seti elemanlarının ısıtım işlem esnasında yüksek sıcaklıklara maruz kalacağından ölçülerinde sapma olmasını önlemek için sona bırakılmıştır.



Şekil 4.5. Isıtım işlem uygulanacak kalıp elemanları görüntüsü.

Isıtım işlem sonrasında taşlama işlemine tabi tutulan kalıp sistemi elemanları Şekil 4.6' da gösterilmiştir. Şekil 4.6' da görüldüğü gibi kalıp seti kalıp ana gövde, iç zımbalar, kalıp ana gövde destek plakası ve baskı milinden oluşmaktadır.



Şekil 4.6. Isıtım işlem sonrası taşlama işlemine tabi tutulan kalıp elemanları görüntüsü.

### 4.3.2. Isıtma Sistemi

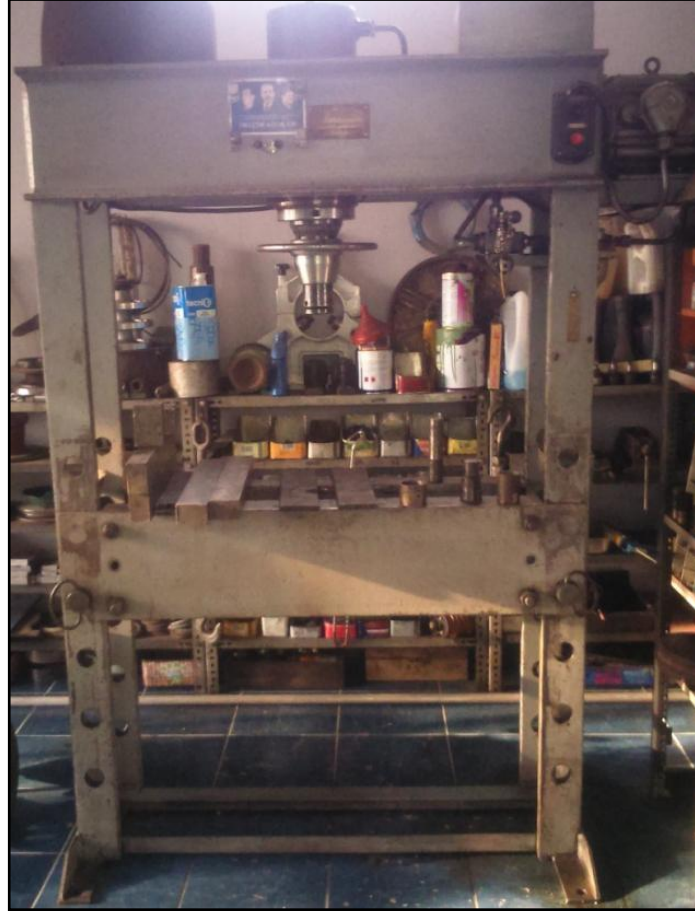
Kalıp sisteminin ısıtılması için yüksek sıcaklıklara dayanabilen ısıtıcı (rezistans) ve ısıtıcının istenilen sıcaklığa ulaştığında, rezistansı kontrol edebilmek için ısı kontrol paneli kullanılmıştır. Kullanılan ısı kontrol paneli görüntüsü Şekil 4.7’ de gösterilmiştir. Matris elemanı Alumix 13 tozunun içerisindeki % Cu oranına göre işlem sıcaklığı 595 °C olacağından rezistansın özelliği bu sıcaklığa ulaşabilen özellikte seçilmiştir. Kalıp sıcaklığının ölçülmesi için K tipi bir ısı çifti (termokupl) kullanılmıştır. Kullanılan K tipi termokuplun maksimum sıcaklık ölçüm aralığı 1200 °C dir.



Şekil 4.7. Isıtıcı rezistans ve ısı kontrol paneli görüntüsü.

### 4.3.3. Pres Tezgâhı

Hazırlanan toz karışımlarının kalıp içerisine soğuk ve sıcak olarak preslenmesi için 60 ton basma kapasiteli hidrolik pres tezgahı kullanılmıştır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Karma takviyeli MMK malzemelerin üretiminin gerçekleştiği hidrolik pres tezgahı görüntüsü.

#### 4.3.4. Yoğunluk Ölçüm Cihazı

Deneysel çalışmada, Alumix 13 matrisli karma takviyeli ( $B_4C/Ni(K)Gr$ ) MMK malzemelerin yoğunluk ölçümleri Arşimed prensibine göre hesaplanmıştır. Yoğunluk ölçümleri Precisa XB 220A Scs 220gr/0,0001gr yoğunluk ölçüm kiti ile ölçülmüştür (Şekil 4.9). Üretilen MMK malzemelerin yoğunluk ölçüm kiti ile yoğunluluğunun belirlenmesinde kullanılan formül Eşitlik 4.1' de gösterilmiştir. Eşitlik 4.1' de gösterilen kısaltmaların açılımı ve birimleri Çizelge 4.4' de gösterilmiştir [139].

$$\rho=W \div G \times Rho \text{ (g/cm}^3\text{)} \dots\dots\dots (4.1)$$

Çizelge 4.4. Eşitlik 4.1' de gösterilen kısaltmaların açılımı ve birimleri.

Simge	Açıklama	Birim
W	Numunenin havadaki ağırlığı	gr
G	Numunenin su içerisindeki ağırlığı	gr
Rho	Suyun sıcaklığına göre katalogdan alınan değer	gr/cm <sup>3</sup>



Şekil 4.9. Üretimi gerçekleştirilen karma takviyeli MMK malzemelerin yoğunluklarının belirlenmesinde kullanılan hassas terazi ve yoğunluk ölçüm kiti görüntüsü.

#### 4.3.5. Karıştırma Cihazı

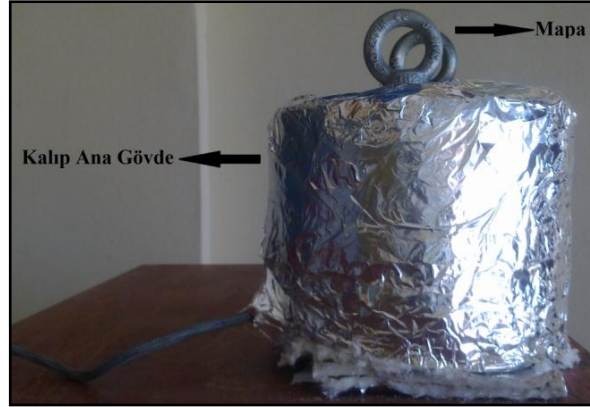
Karışım tozlarının birbiri içerisinde karışımlarının homojen bir şekilde oluşması için Turbula – Model T2 F marka karıştırıcı cihaz ile plastik kap içerisinde karıştırılmıştır. Karışım tozları plastik kap içerisine konulmadan önce plastik kap saf alkol ile temizlenmiştir. Karıştırıcı; iki litre hacimde karıştırma tankı ile birlikte, her türlü dönme, öteleme ve ters dönme hareketlerini aynı anda yapabilme özelliğine sahiptir. Cihaz özelliğiyle parçacıkların homojen bir şekilde kendi aralarında karışmasını sağlamaktadır [2,7]. Turbula – Model T2 F model karıştırıcı cihazı Şekil 4.10' de gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Karışım tozlarının hazırlandığı turbula karıştırma cihazı görüntüsü.

#### 4.3.6. Kalıp Seti Ana Gövdesinin Hazırlanması

Deneysel çalışmada kullanılan, kalıp seti ana gövdesinin ısıtılması sırasında ısı kaybını en aza indirmek için kalıbın etrafı yüksek sıcaklıklara dayanabilen refrakter battaniye ile kaplanmıştır. Refrakter battaniyenin açılmasını önlemek için refrakter battaniyenin üzeri alüminyum folye ile kaplanmıştır (Şekil 4.11). Kalıp ana gövde yüzeyine ısıl işlem öncesi açılan deliklere dış çekilerek kalıp sisteminin rahat bir şekilde taşınması için mapalar monte edilmiştir.

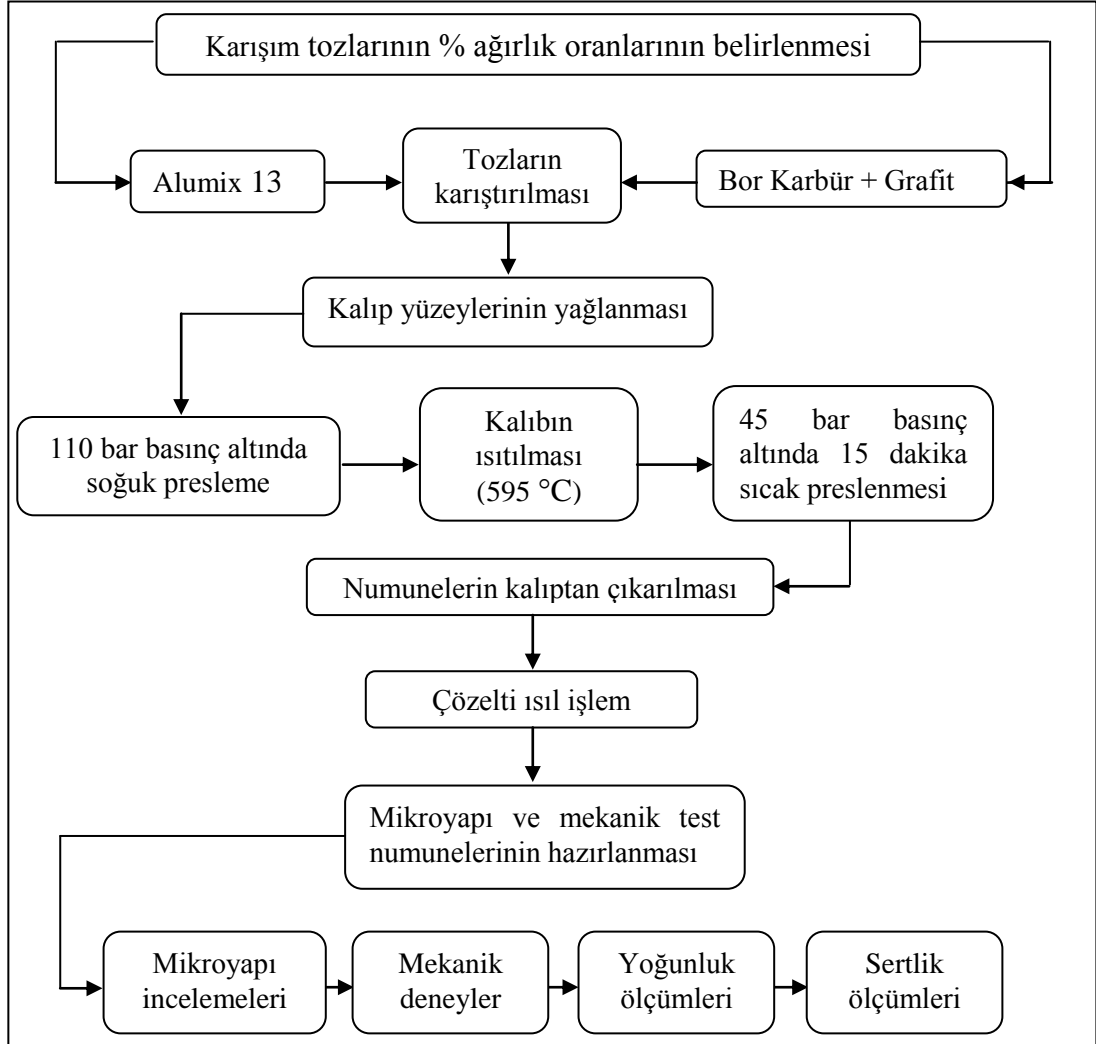


Şekil 4.11. Refrakter battaniye sarılmış kalıp ana gövde görüntüsü.

#### 4.4. KARMA TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN SICAK PRESLEME TEKNİĞİ KULLANILARAK ÜRETİMLERİ

Karma takviyeli MMK malzemelerin üretiminde TM yöntemi kullanılmış ve üretim parametrelerinin belirlenmesi için yapılan literatür araştırmalarından elde edilen

üretim parametreleri kullanılarak ön deneylerle malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Ön deneylerde üretimi gerçekleştirilen karma takviyeli MMK malzemelerin üretim sürecini gösteren akış şeması Şekil 4.12' de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Karma takviyeli MMK malzemelerinin üretim sürecinin akış şeması.

#### 4.4.1. Karma Takviyeli Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Ağırlıkça % Karışım Oranları

Ön deneyler sonrasında, tespit edilen malzeme üretim parametreleri kullanılarak dört farklı karma takviyeli MMK malzemeler üretilmiştir. Karma takviyeli MMK malzemelerin ağırlıkça karışım oranları Çizelge 4.5' de gösterilmiştir. Üretilen karma takviyeli MMK malzemeler K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, K<sub>3</sub> ve K<sub>4</sub> olarak kodlanmıştır.

Çizelge 4.5. Karma takviyeli MMK malzemelerin % ağırlıkça karışım oranları.

No	MMK	Yüzde Oranları (% Ağırlıkça)
1	K <sub>1</sub>	% 92 Alumix 13 + % 8 B <sub>4</sub> C
2	K <sub>2</sub>	% 89 Alumix 13 + % 8 B <sub>4</sub> C + % 3 Ni(K)Gr
3	K <sub>3</sub>	% 87 Alumix 13 + % 8 B <sub>4</sub> C + % 5 Ni(K)Gr
4	K <sub>4</sub>	% 85 Alumix 13 + % 8 B <sub>4</sub> C + % 7 Ni(K)Gr

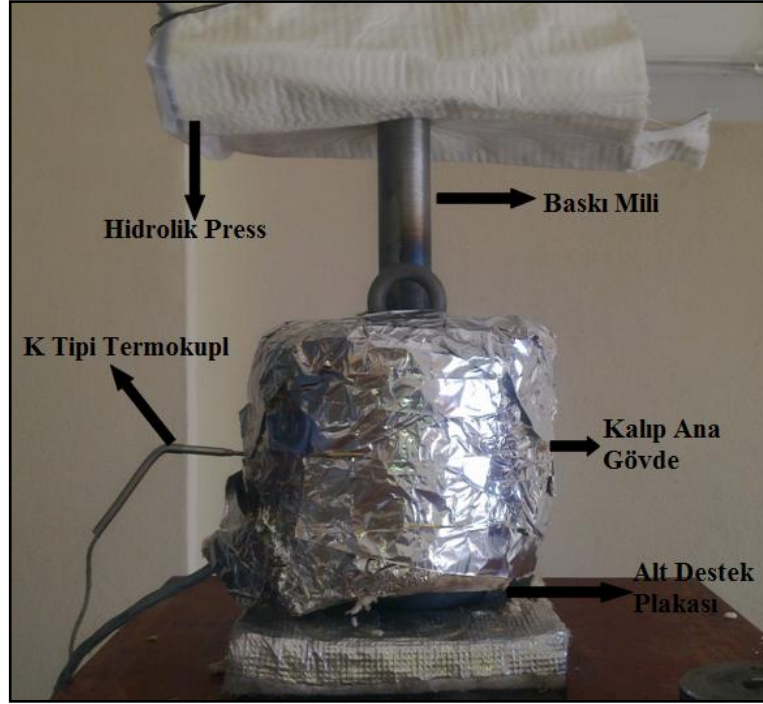
#### 4.4.2. Tozların Hazırlanması

SP tekniği kullanılarak karma takviyeli MMK malzemelerin üretilmesinde kullanılan tozların yüzde oranları (% ağırlıkça) 0,1 mg hassasiyetli Sartorius BL 210S marka dijital terazi ile hazırlanmıştır. Ağırlıkça hazırlanan karışım tozları Turbula – Model T2F marka karıştırıcı ile homojen dağılımı elde etmek amacıyla 20 dakika karıştırılmıştır. Hazırlanan karışım tozları kalıp içerisine kalıplanmadan önce kalıp iç yüzeyi ile delik içerisine yerleştirilecek zımbaların dış çap yüzeyleri yüksek sıcaklıklara dayanıklı Molykote FB – 180 gres ile yağlanmıştır. Yağlama işleminin yapılma nedeni, kalıp sistemi yüksek sıcaklıklara ulaştığında eriyen Alumix 13' ün soğuma işlemi sonrasında kalıp yüzeyine yapışmasını önlemektir. Yağlama işleminin yapılmaması durumunda üretimi gerçekleştirilen karma takviyeli MMK malzemelerin kalıptan çıkışı zorlanmakta ve kalıp ile üretilen karma takviyeli MMK malzeme yüzeyi olumsuz şekilde etkilenmektedir [139-141].

#### 4.4.3. Karma Takviyeli Metal Matrisli Kompozit Malzeme Üretimleri

Karışım tozları ön şekillendirme için 11 MPa (110 bar) basınç uygulanarak soğuk preslenmiş (Şekil 4.13) ve sonrasında üzerine uygulanan basınç kaldırılmıştır. Daha Kalıp sıcaklığı 595 °C ulaştığında numune üzerine 4.5 MPa (45 bar) basınç uygulanarak 15 dakika bekletilmiştir. Numune üzerine uygulanan 4.5 MPa basınç tekrar kaldırılarak kalıp atmosfer ortamında soğumaya bırakılmıştır. Soğuma işlemi gerçekleşen kalıp sistemi içerisinden üretilen karma takviyeli MMK malzemenin çıkarılma işlemi çıkarıcı zımbası ile yapılmıştır.





Şekil 4.13. Karma takviyeli MMK malzeme üretim anı görüntüsü

Toz metalürjisi üretim yöntemlerinden SP tekniği ile 40 mm çapında ve 100 mm uzunluğunda karma takviyeli MMK malzemeler üretilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen karma takviyeli MMK malzeme Şekil 4.14' de gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Üretimi gerçekleştirilen karma takviyeli MMK malzeme görüntüsü.

## 4.5. METALOGRAFİK İNCELEME YÖNTEM VE CİHAZLARI

### 4.5.1. Bakalite Alma Cihazı

Üretilen karma takviyeli MMK malzemelerden küçük örnekler kesilerek metalografik incelemenin kolay bir şekilde yapılmasının sağlanması için bakalite

alma işlemleri Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarında Metkon marka ECOPRESS 100 model cihaz ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Metkon marka ECOPRESS 100 model bakalite alma cihazı görüntüsü.

#### **4.5.2. Zımparalama ve Parlatma Cihazı**

Üretilen karma takviyeli MMK malzemelerden küçük örnekler kesilerek metalografik incelemeleri Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarında Metkon marka FORCIPOL 1V model zımparalama ve parlatma cihazı gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.16 ).



Şekil 4.16. Metkon marka FORCIPOL 1V model zımparalama ve parlatma cihazı.

Bakalit içerisine gömülen numuneler sırasıyla 240, 400, 600, 800 ve 1200 elek numaralı SiC zımpara kağıtlarıyla zımparalanıp daha sonra yüzey çizikleri yeterli seviyede yok edilinceye kadar 1  $\mu\text{m}$ 'lik elmas pasta içeren keçede, düşük hızda parlatılmıştır. Üretilen MMK malzemelerin mikroyapı incelemelerinin daha iyi incelenmesi için numuneler Keller çözeltisi içerisine daldırılmıştır. Ön deneylerde çözelti içerisinde bekleme süresi 18 saniye olarak tespit edilmiştir. MMK numuneler 18 saniye bekletilip çözelti içerisinden çıkarılarak suyun altına tutulmuştur.

#### 4.5.3. Optik Mikroskop

Parlatma ve dağlama işlemleri gerçekleştirilen numunelerin yüzeyleri Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarında bulunan nikon marka ECLIPSE MA100 model optik metal mikroskopunda çeşitli büyütmelerde mikroyapı fotoğrafları görüntüsü alınmıştır (Şekil 4. 17).



Şekil 4.17. Bakalite alınmış ve yüzeyi parlatılmış numunelerin mikroskobik yüzey analizlerinin incelenmesinde kullanılan ECLIPSE MA100 optik mikroskop görüntüsü.

İşlenebilirlik ve aşınma deneyleri sonrasında kesici takım ve aşınma numunelerinin görüntüleri ise Düzce Üniversitesi Cumayeri Meslek Yüksekokulu Makine ve Kalıp laboratuvarında bulunan taşınabilir AM413ZT Dino – Lite Capture optik mikroskop ile fotoğrafları çekilmiştir (Şekil 4.18). Optik mikroskopun teknik özellikleri Çizelge 4.6’ da gösterilmektedir.



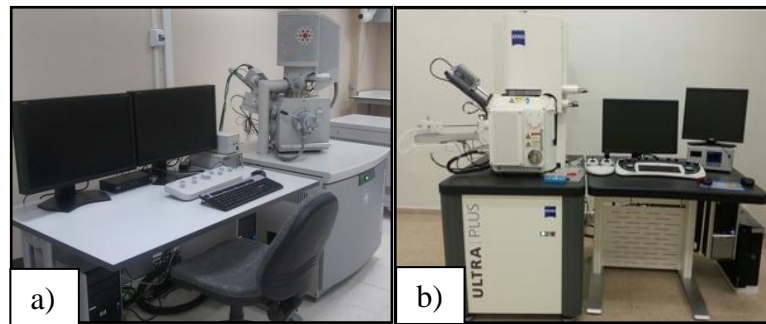
Şekil 4.18. AM413ZT Dino – Lite Capture optik mikroskop görüntüsü.

Çizelge 4.6. AM413ZT Dino – Lite Capture optik mikroskobun teknik özellikleri.

Arayüzey	USB 2.0
Ürün Çözünürlüğü	1.3M pixels. (SXGA)
Büyütme Oranı	20x~50x, 200x
Sensör	Color CMOS
Polarize	Var
Frame Rate	30fps' ye kadar
LED Işığı	8 beyaz LED ışığı
Ağırlık	100(g)
Ölçüleri	10,5cm (H) x 3,2cm (D)
Ambalaj Boyutları	16cm(L) x 16cm(W) x 6cm (H)

#### 4.5.4. Tarama Elektron Mikroskop

İşlenebilirlik ve aşınma deneyleri sonrasında kesici takım ve aşınma numunelerinin görüntüleri Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarında bulunan FEI marka Quanta FEG 250 modeli SEM cihazı (Şekil 4.19 a) ve Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü MARGEM laboratuvarında bulunan CARL ZEISS ULTRA PLUS GEMINI FESEM SEM cihazı (Şekil 4.19 b) kullanılarak çekilmiştir.



Şekil 4.19. a) FEI marka Quanta FEG 250 ve b) CARL ZEISS ULTRA PLUS GEMINI FESEM SEM cihazları

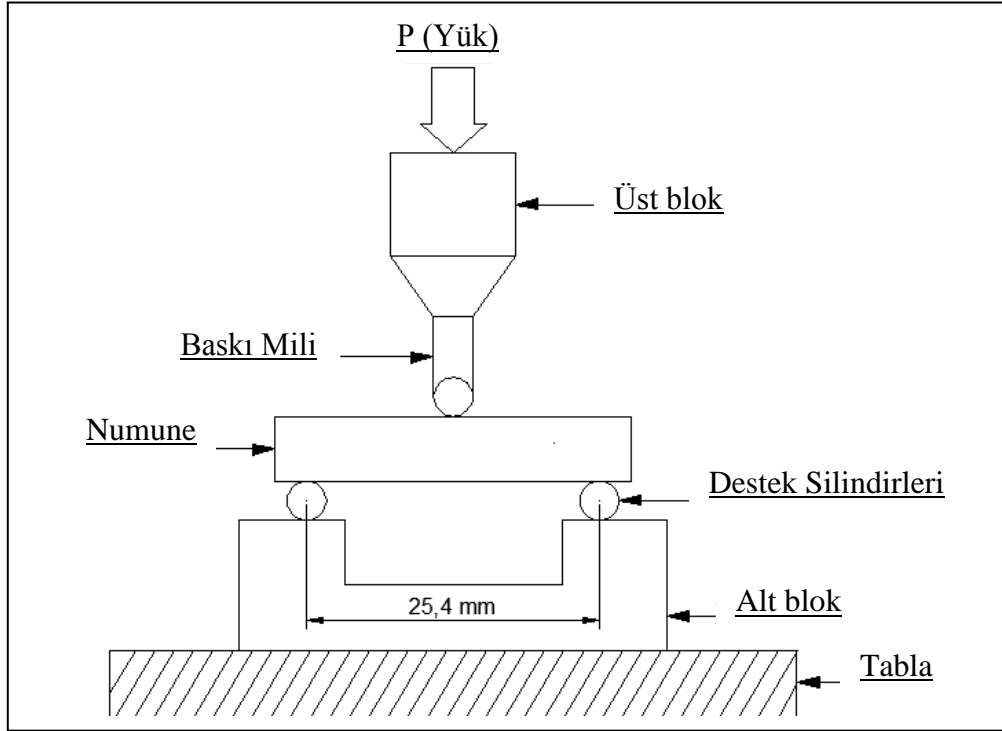
#### 4.5.6. Sertlik Ölçümü

Karma takviyeli MMK malzemelerin sertlik değerleri Emco Test Droskan yarı otomatik sertlik ölçüm cihazı ile numuneler üzerinden dört farklı noktadan ölçüm yapılarak sertlik değerleri (ASTM E – 384) Hardness Vickers (HV 0,2) ölçülmüştür.

#### 4.5.7. Üç Nokta Eğme Testi

Karma takviyeli MMK kompozit malzemelerin, eğilme dayanımı deneyleri Shimadzu AG – IS 100kN marka servo – hydrolic test cihazında gerçekleştirilmiştir. Numuneler test cihazına şematik olarak Şekil 4.20' de gösterildiği gibi yerleştirilerek kırılma işlemi 2,5 kN/sn hızıyla gerçekleştirilmiştir. Eğilme dayanımı (MEIF\_41) standardından Eşitlik 4.2 yardımı ile hesaplanmıştır.

$$TRS = \frac{3.P.L}{2.t^2.W} \dots\dots\dots(4.2)$$



Şekil 4.20. Üç nokta eğme testinin şematik gösterimi.

Eşitlik 4.2' de gösterilen kısaltmaların açılımları ve birimleri Çizelge 4.7' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Eşitlik 4.2' de gösterilen kısaltmaların açılımı ve birimleri.

Simge	Açıklama	Birim
TRS	Eğilme Dayanımı	MPa
P	Kırılma anında numuneye uygulanan yük	N
L	Destekler arası mesafe	25,4 ±0,3 mm
t	Numunenin kalınlığı	6,35 mm
W	Numunenin genişliği	12,70 mm

#### 4.6. İŞLENEBİLİRLİK DENEYLERİ

İşlenebilirlik deneylerinde kullanılacak karma takviyeli MMK malzemeler ISO 3685 standardında önerilen, çap/boy oranı 1/10'u geçmeyecek şekilde hazırlanmıştır. İşlenebilirlik deneyleri Hyundai SKT 160C marka CNC torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.21). CNC torna tezgahının teknik özellikleri Çizelge 4.8' de verilmiştir.



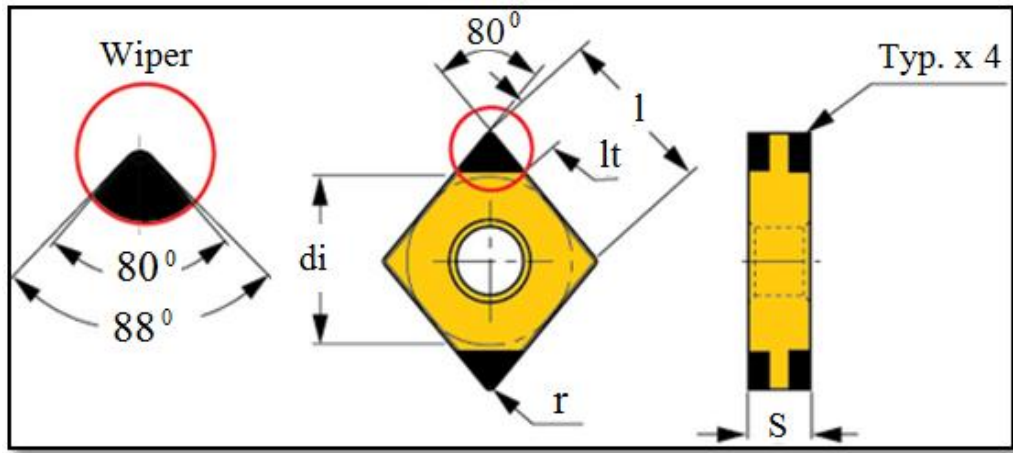
Şekil 4.21. Deneysel çalışmada kullanılan CNC torna tezgâhı görüntüsü.

Çizelge 4.8. CNC torna tezgahının teknik özellikleri.

Teknik Özellikler					
Ayna Çapı	Maksimum İşleme Çapı	Maksimum Tornalama Çapı	Maksimum Tornalama Uzunluğu	Taret Sayısı	Maksimum Devir
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(adet)	dev/dak
152,4	480	285	280	10	4000

#### 4.6.1. Kesici Takım ve Takım Tutucu

Karma takviyeli MMK malzemelerin işlenmesinde ISCAR firmasına ait CNMA120408 ISO kodlu MW4 geometrisine sahip CBN wiper kesici takımlar kullanılmıştır. CBN kesici uçların geometrik özellikleri Şekil 4.22' de, teknik özellikleri ise Çizelge 4.9' da verilmiştir.



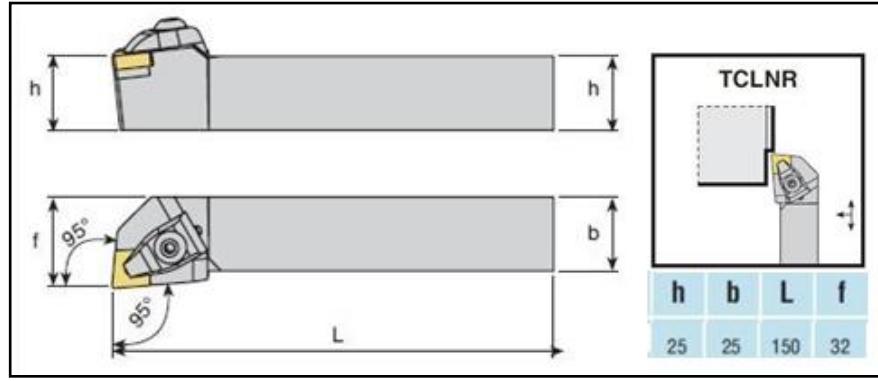
Şekil 4.22. Deneysel çalışmada kullanılan CBN kesici takım geometrik görüntüsü.



Çizelge 4.9. CNMA120408 – MW4 kodlu kesici takımın teknik özellikleri.

Teknik Özellikler									
l	di	S	r	lt	ap (min)	ap (max)	ft (min)	ft (max)	V (min – max)
mm							mm/dev		m/dak
12,90	12,70	4,76	0,80	2,2	0,05	0,50	0,05	0,40	100 – 220

Takım tutucu olarak, CBN kesici takıma uygun olarak TCLNR 2525 M12 takım tutucu kullanılmıştır. Takım tutucuya ait teknik özellikler Şekil 4.23' de verilmiştir.



Şekil 4.23. Deneysel çalışmada kullanılan TCLNR 2525 M12 takım tutucu görüntüsü [142].

#### 4.6.2. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı

Yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçümü için MAHR – Perthometer M1 marka ölçüm cihazı kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü sonuçlarının güvenilirliği açısından pürüzlülük ölçümleri üç tekrarlamalı olarak yapılmıştır. İş parçası üzerinde işleme sırasında oluşan yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ölçümleri için Cut – off (kesme uzunluğu) uzunluğu 0,8 mm ve örnekleme uzunluğu 5,6 mm olarak kullanılmıştır.

#### 4.7. İŞLENEBİLİRLİK DENEYLERİNDE KULLANILAN KESME PARAMETRELERİ

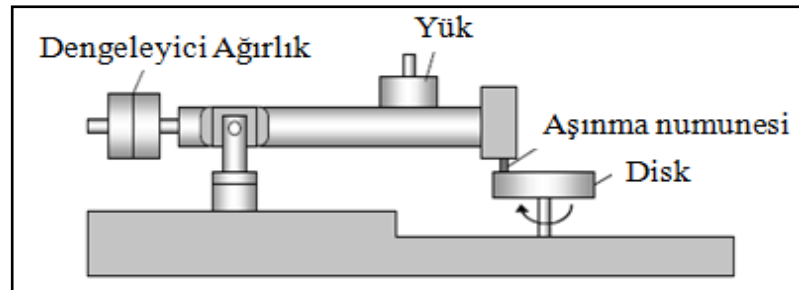
İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan kesme parametreleri ISO 3685' e göre literatür araştırması ve üretici firmanın önerileri doğrultusunda tespit edilmiştir. Deneyler dört farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme miktarı, sabit kesme derinliği ve kuru işleme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan kesme parametreleri Çizelge 4.10' da gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. Deneysel çalışmada kullanılan kesme parametreleri.

Kesme Hızı ( $V_c$ ), m/dak	İlerleme Miktarı (f), mm/dev	Kesme Derinliği (a), mm
100 – 140 – 180 – 220	0,1 – 0,15 – 0,20	0,5

#### 4.8. AŞINMA DENEYLERİ

Üretilen karma takviyeli MMK malzemelerin yapı içerisindeki takviye elemanlarının aşınma üzerine etkilerini incelemek için aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler, Karabük Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde bulunan pin on disk aşınma cihazı kullanılarak oda sıcaklığında kuru ve yağsız kaydırma koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Malzemelerin aşındırılmasında kullanılan cihazın şematik olarak Şekil 4.24' de gösterilmiştir.



Şekil 4.24. Deneylerde kullanılan aşınma cihazının şematik gösterimi [143].

#### 4.8.1. Aşınma Parametreleri

Aşınma deneyleri sabit kayma hızında, dört farklı yük uygulayarak ve dört farklı yol katedilerek gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneylerinde kullanılan parametreler Çizelge 4.11' de gösterilmiştir. Aşınma deneyleri için kullanılan karma takviyeli MMK numuneler 6 mm çapında ve 10 mm uzunluğunda hazırlanmıştır.

Çizelge 4.11. Karma takviyeli MMK malzemelerin aşındırılmasında kullanılan parametreler.

Yük (Newton)	Yol (m)	Kayma Hızı (m/sn)
10 – 20 – 30 – 40	300 – 600 – 900 – 1200	0,8

## BÖLÜM 5

### DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

#### 5.1. GİRİŞ

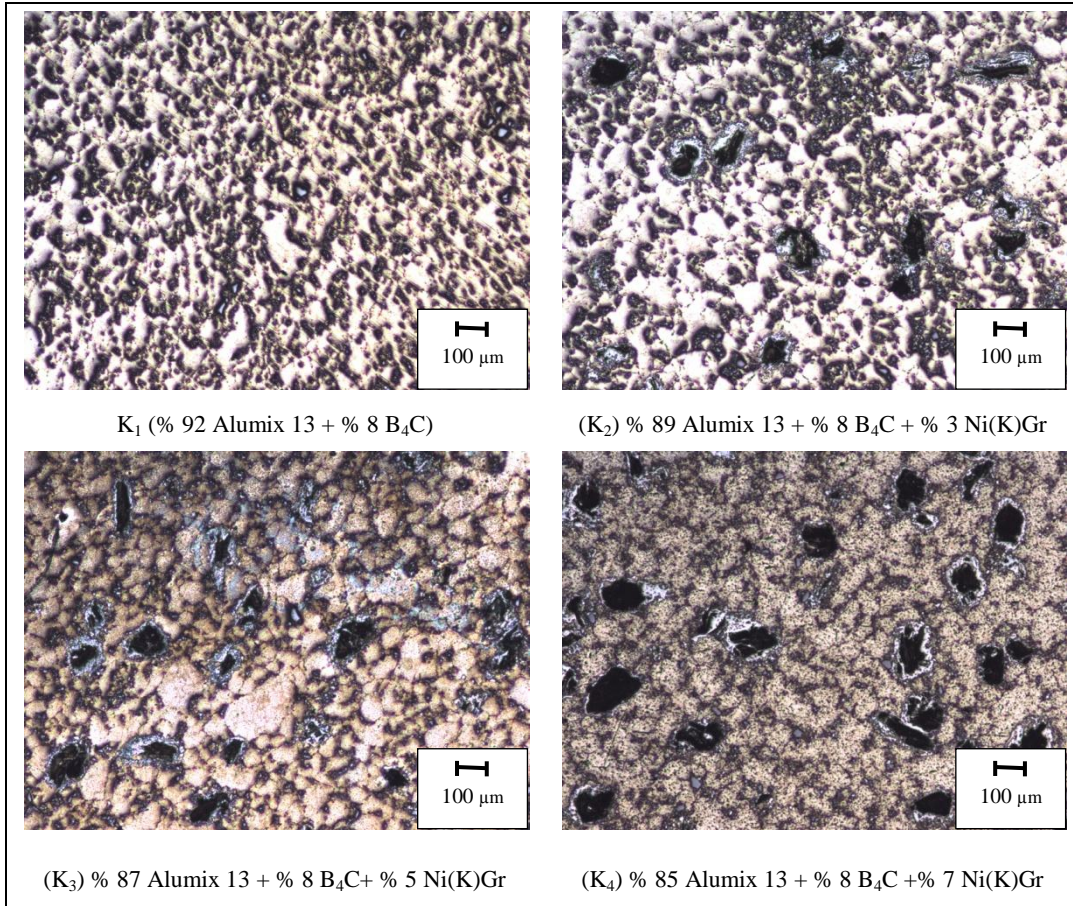
Bu bölümde, Al alaşımı olan Alumix 13 (<200 µm) tozu ve ağırlıkça % 8 B<sub>4</sub>C (<10 µm) tozu sabit tutulup karışım tozları içerisine ağırlıkça % 3 – 5 – 7 oranlarında ortalama tane büyüklüğü 150 µm olan nikel kaplı grafit (Ni(K)Gr) parçacıkları ilave edilerek TM üretim tekniklerinden SP tekniği kullanılarak dört farklı karma takviyeli MMK malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen karma takviyeli MMK malzemelerin metalografik incelemeleri (sertlik, çapraz kırılma mukavemetleri, yoğunluk ve aşınma deneyleri) ve işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirilmiştir.

#### 5.2. METALOGRAFİK İNCELEMELER

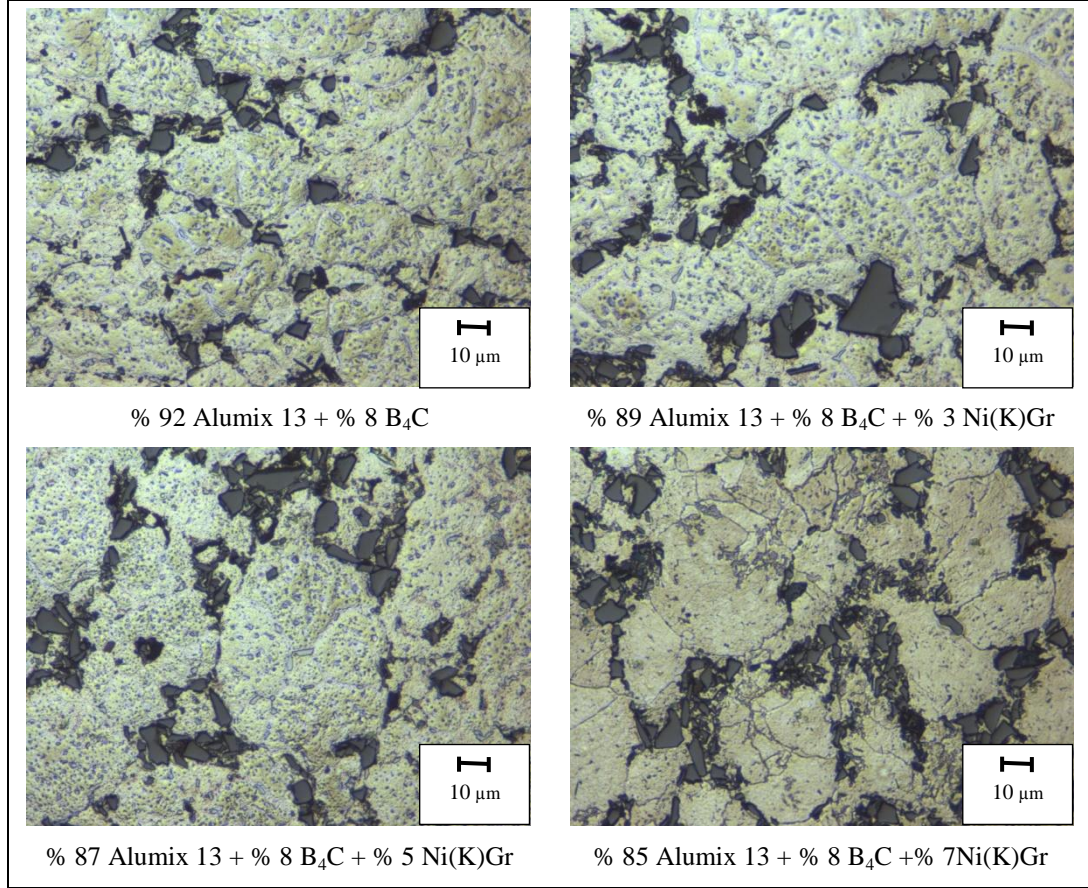
##### 5.2.1. Optik Mikroskop Görüntüsü

Üretimi gerçekleştirilen karma takviyeli MMK malzemelerin matris – takviye elemanı arasında gerçekleşen ara yüzey bağının kontrolü, parçacıkların matris içerisindeki dağılım özellikleri ve yapı içerisindeki gözenekliliğin kontrol edilmesi için mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen karma takviyeli MMK malzemelerin mikro yapı görüntüleri Şekil 5.1 ve Şekil 5.2' de gösterilmektedir.

SP tekniği kullanılarak üretimi gerçekleştirilen karma takviyeli MMK malzemelerin Şekil 5.1' deki 50X ve Şekil 5.2' deki 200X büyütme mikro yapı görüntüleri incelendiğinde takviye elemanlarının nispeten homojen dağılım sergilediği ve B<sub>4</sub>C parçacıklarının bir birine yakınlıkta sergilediği görülmüştür. Bu yakınlık, MMK malzemelerin üretilmesinde matris içerisinde takviye elemanlarının homojen olarak dağılımının elde edilmesinin güç olduğu, parçacık boyutunun küçülmesi ile de yapı içerisinde parçacıkların topaklaşma eğiliminin artış göstermesine bağlanmıştır [13,14]. Topaklaşmanın nedeni olarak ise de katılaşma esnasında, takviye parçacıklarının matrisin katı – sıvı ara yüzeyine doğru itilmesi olarak açıklanabilir [7,95,144-146].



Şekil 5.1. Karma takviyeli MMK malzemelerin 50X büyütme mikro yapı görüntüleri.

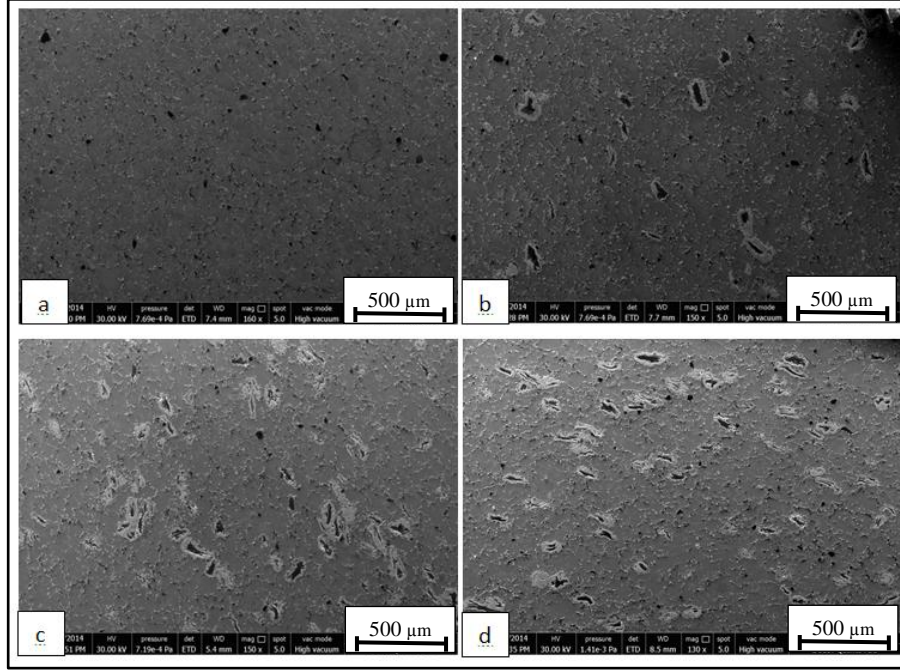


Şekil 5.2. Karma takviyeli MMK malzemelerin 200X büyütme mikroyapı görüntüleri.

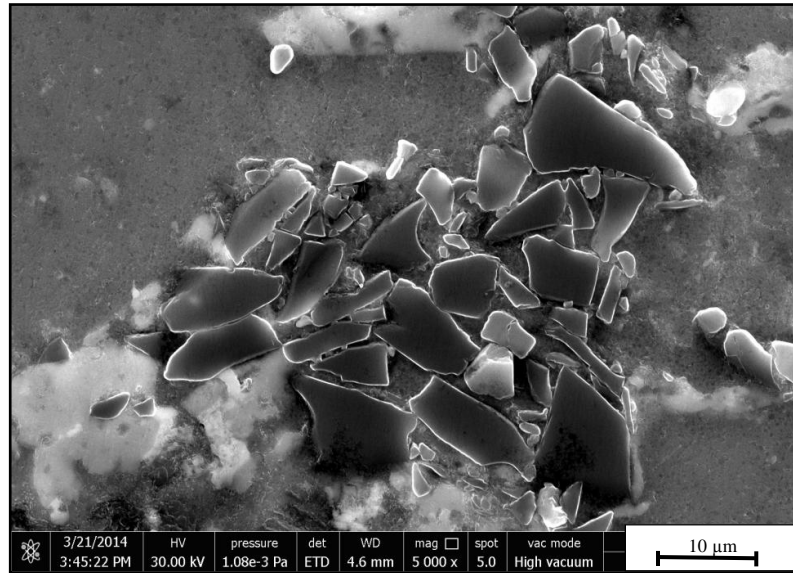
### 5.2.2. Tarama Elektron Mikroskop Görüntüsü

SEM cihazı ile yapılan mikroyapı incelemeleri sonrasında elde edilen mikroyapı fotoğrafları Şekil 5.3’de verilmiştir. Mikroyapı görüntüleri incelemelerinden taneciklerin matris fazı içerisinde nispeten homojen bir dağılım sergilediği gözlenmiştir. Mikroyapı incelemelerinde en iyi homojen tanecik dağılımının ağırlıkça % 3 Ni(K)Gr takviyeli MMK’larda olduğu görülmüştür. Ağırlıkça % 5 ve % 7 Ni(K)Gr takviyeli MMK’larda ise homojen dağılımın yeterince sağlandığı fakat parçacıkların birbirine yakınlaşma gösterdiği gözlenmiştir. Şekil 5.4’ de parçacıkların birbirine yakınlaşma eğilimi görüntüsü verilmiştir. Bu durum literatür ile benzerlik göstermiştir [147-150].

Tanecik yaklaşmasının nedeni, MMK'ların katılaşması sırasında taneciklerin büyüyen dentritler tarafından katı – sıvı ara yüzeyine doğru itilmeleri ve taneciklerin dentritler arasına sıkışarak bir araya toplanmalarına bağlanabilir [125,151-153].

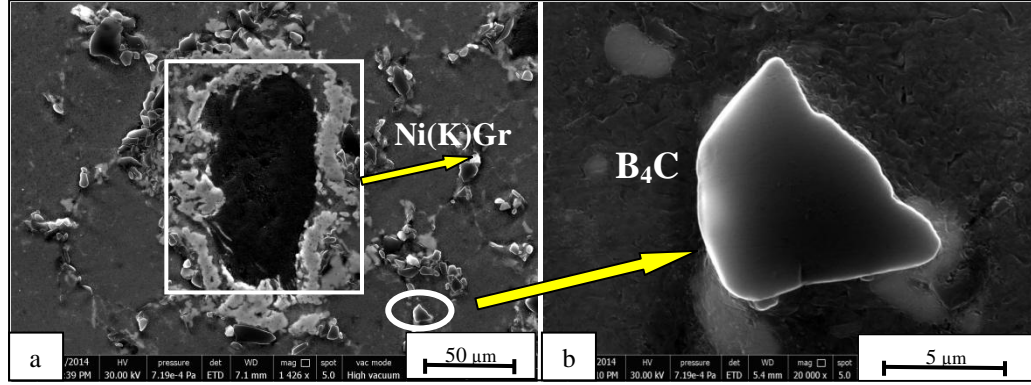


Şekil 5.3. a) K<sub>1</sub> nolu numunenin, b) K<sub>2</sub> nolu numunenin, c) K<sub>3</sub> nolu numunenin ve d) K<sub>4</sub> nolu karma takviyeli MMK malzemelerin SEM görüntüleri.

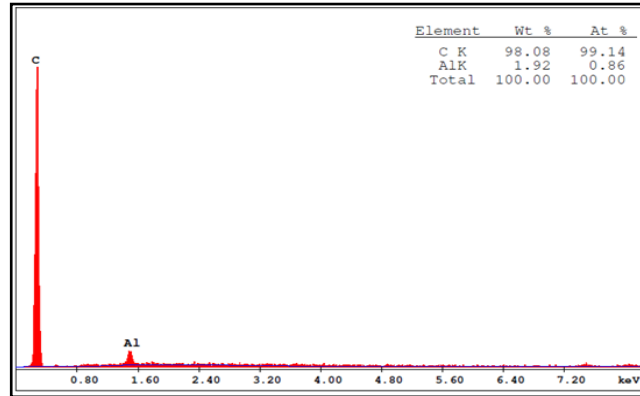


Şekil 5.4. B<sub>4</sub>C parçacıklarının birbirine yaklaşma eğilimi görüntüsü.

Alumix 13 matrisli karma takviyeli MMK malzeme içerisindeki Ni(K)Gr ve B<sub>4</sub>C' nin Şekil 5.5' de SEM görüntüleri verilmiştir. SEM ile elde edilen görüntü üzerinde Ni(K)Gr' nin bulunduğu alanda elemental kompozisyonu tanımlamak için elemental yapı analizi (EDS) yapılmıştır. EDS analiz sonucu Şekil 5.6' da verilmiştir.



Şekil 5.5. a) Grafitin (Ni(K)Gr) SEM dağılım görüntüsü ve b) B<sub>4</sub>C' nin SEM görüntüsü.



Şekil 5.6. SP tekniği kullanılarak üretilen karma takviyeli kompozit malzeme içerisindeki grafit (Ni(K)Gr) parçacığının bulunduğu alanın EDS analiz sonucu görüntüsü.



### 5.3. KARMA TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

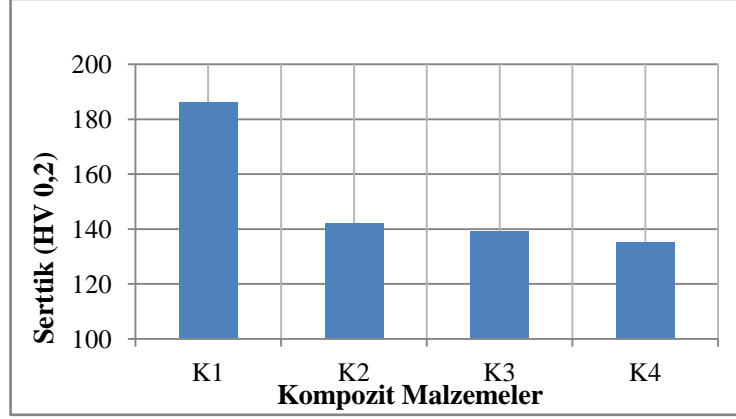
#### 5.3.1. Karma Takviyeli Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Sertlik Değerleri

Dört farklı % ağırlıkça oranlarda üretimleri gerçekleştirilen karma takviyeli MMK numunelerin mikro sertlik değerleri dört tekrarlı ölçülmüş ve aritmetik ortalaması alınarak ölçüm sonuçları Çizelge 5.1’ de, grafik olarak da Şekil 5.7’ de verilmiştir.

Çizelge 5.1. SP tekniği kullanılarak üretimi gerçekleştirilen karma takviyeli MMK malzemelerin takviye ağırlık oranları ve mikro sertlik değerleri.

Numune	Malzeme (% Ağırlıkça)	Mikro Sertlik Değerleri (HV 0,2)
K <sub>1</sub>	% 92 Alumix 13 + % 8 B <sub>4</sub> C	186
K <sub>2</sub>	% 89 Alumix 13 + % 8 B <sub>4</sub> C+% 3 Ni(K)Gr	142
K <sub>3</sub>	% 87 Alumix 13 + % 8 B <sub>4</sub> C+% 5 Ni(K)Gr	139
K <sub>4</sub>	% 85 Alumix 13 + % 8 B <sub>4</sub> C+% 7 Ni(K)Gr	135

Elde edilen karma takviyeli MMK’ların ölçülen sertlik değerlerinden, takviye yüzde ağırlık oranının artmasıyla malzemelerin sertliğinin düştüğü görülmüştür. Mikro sertlik değerleri K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, K<sub>3</sub> ve K<sub>4</sub> nolu karma takviyeli MMK malzemelerde sırasıyla 186, 142, 139 ve 135 HV olarak ölçülmüştür. En düşük mikrosertlik değerinin K<sub>4</sub> nolu karma takviyeli MMK malzemedeki olduğu, en yüksek mikro sertlik değeri ise K<sub>1</sub> nolu MMK malzemedeki ölçülmüştür. Takviye % ağırlık oranlarının artmasıyla karma takviyeli MMK malzemelerin sertliğinde görülen düşüşün nedeni, Ni(K)Gr partikülleri ile matris malzeme arasında zayıf ara yüzey bağının oluşması, bu zayıf ara yüzey bağında çatlakların başlaması ile kırılma ve gevrek Ni(K)Gr parçacıklarının ağırlıkça % oranının artmasından kaynaklandığı söylenebilir. Bu durum literatürle benzerlik göstermektedir [7,154-158].



Şekil 5.7. SP tekniği ile üretilen karma takviyeli MMK malzemelerin mikrosertlik ölçüm değerleri grafiği.

### 5.3.2. Üç Nokta Eğilme Testi

Karma takviyeli MMK malzemelerin çapraz kırılma (üç nokta eğilme) deneylerinde numune üzerine Şekil 5.8' de görüldüğü gibi yük uygulanmıştır. Uygulanan yükün etkisi ile numunenin çapraz kırılma deneyleri üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler Bölüm 4 Eşitlik 4.1' de verilen denklemde yerine konularak çapraz kırılma mukavemetleri hesaplanmıştır.



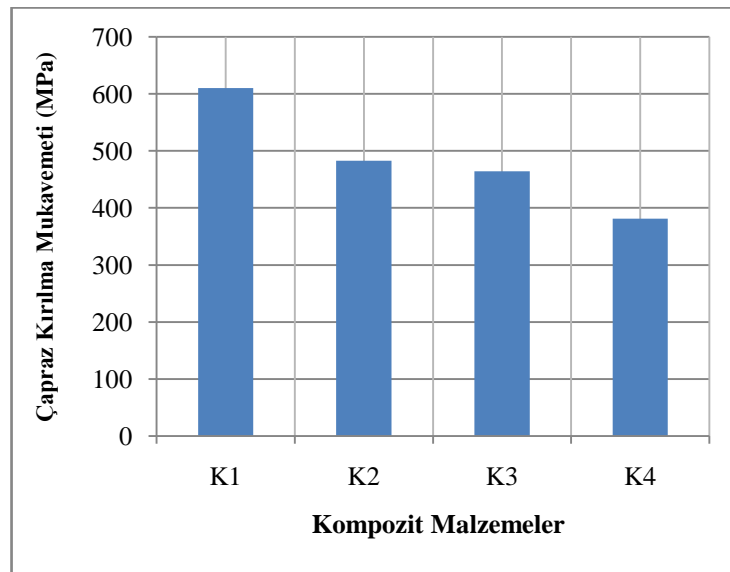
Şekil 5.8. Çapraz kırılma deneylerinin gerçekleştirilme görüntüsü.

Karma takviyeli MMK malzemelerin çapraz kırılma deneyleri sonucu elde edilen kırılmadan sonra mukavemet değerleri Çizelge 5.2' de, grafik olarak ise Şekil 5.9' da verilmiştir.

Çizelge 5.2. SP tekniği ile üretilen karma takviyeli MMK malzemelerin çapraz kırılma deneyleri sonucu elde edilen çapraz kırılma mukavemet değeri (ÇKD).

No	MMK Malzeme	ÇKD (MPa)
1	K <sub>1</sub>	610
2	K <sub>2</sub>	483
3	K <sub>3</sub>	464
4	K <sub>4</sub>	381

Çizelge 5.2 ve Şekil 5.9 incelendiğinde en yüksek çapraz kırılma mukavemet değeri 610 MPa ile K<sub>1</sub> nolu MMK malzeme de oluştuğu, en düşük değeri ise 381 MPa ile K<sub>4</sub> nolu karma takviyeli MMK malzeme de oluştuğu görülmüştür. Ni(K)Gr miktarının artması ile çapraz kırılma sonuçlarında düşüş gözlenmiştir. Bu durumun, grafitin gevrek ve kırılğan yapısından ve K<sub>4</sub> nolu karma takviyeli MMK malzemesinde ki gözenek miktarının artmasından ve aynı zamanda Ni(K)Gr ile Al' nin arasında oluşan zayıf ara yüzey bağından meydana geldiği söylenebilir. Yapılan deneysel çalışma literatür ile uygunluk göstermiştir [87,155].



Şekil 5.9. SP tekniği ile üretilen karma takviyeli MMK malzemelerin çapraz kırılma mukavemet değeri ninin grafiksel gösterimi.

### 5.3.3. Yoğunluk

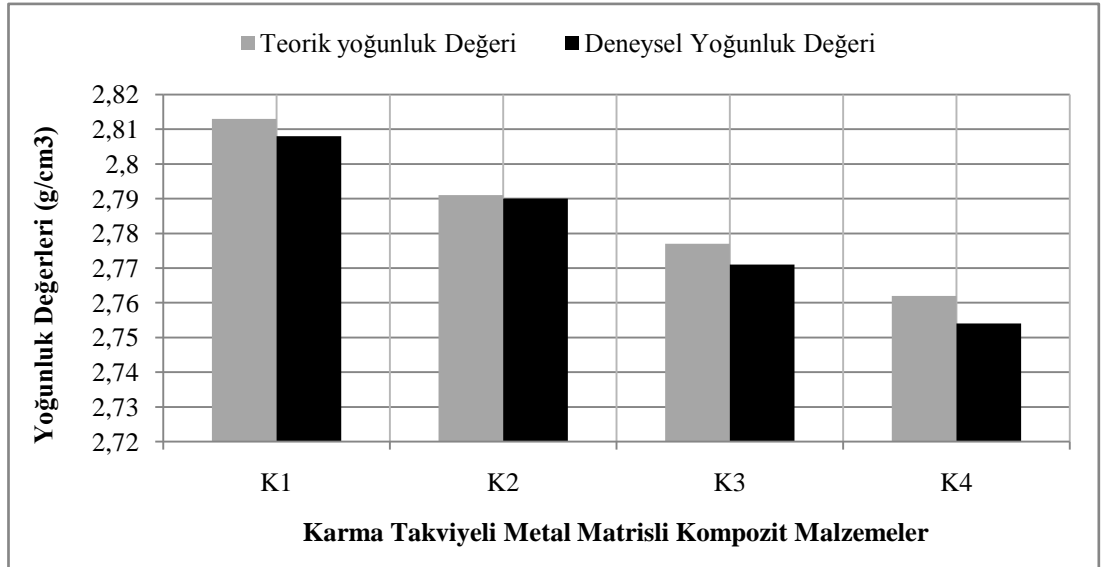
Numunelerin, Arşimet prensibine göre deneysel yoğunlukları, karışımlar kuralına [(matriks özgül ağırlığı x yüzde matriks ağırlık oranı) + (takviye elemanı özgül ağırlığı x yüzde takviye ağırlık oranı)] göre teorik yoğunlukları tespit edilmiştir. Elde edilen teorik ve deneysel yoğunluk ölçüm değerleri Çizelge 5.3' de, grafik olarak da Şekil 5.10' da verilmiştir.

Çizelge 5.3. Karma takviyeli MMK' ların deneysel ve teorik yoğunluk değerleri.

Karışım Oranları % Ağırlık	Deneysel Yoğunluk Değeri (g/cm <sup>3</sup> )	Teorik Yoğunluk Değeri (g/cm <sup>3</sup> )	Yoğunluk Değeri Farkı	Gözenek Miktarı (%)	Teorik Yoğunluk (%)
K <sub>1</sub>	2,808	2,813	0,005	0,17	99,7
K <sub>2</sub>	2,790	2,791	0,001	0,03	99,9
K <sub>3</sub>	2,771	2,777	0,006	0,21	99,7
K <sub>4</sub>	2,754	2,762	0,008	0,28	99,7

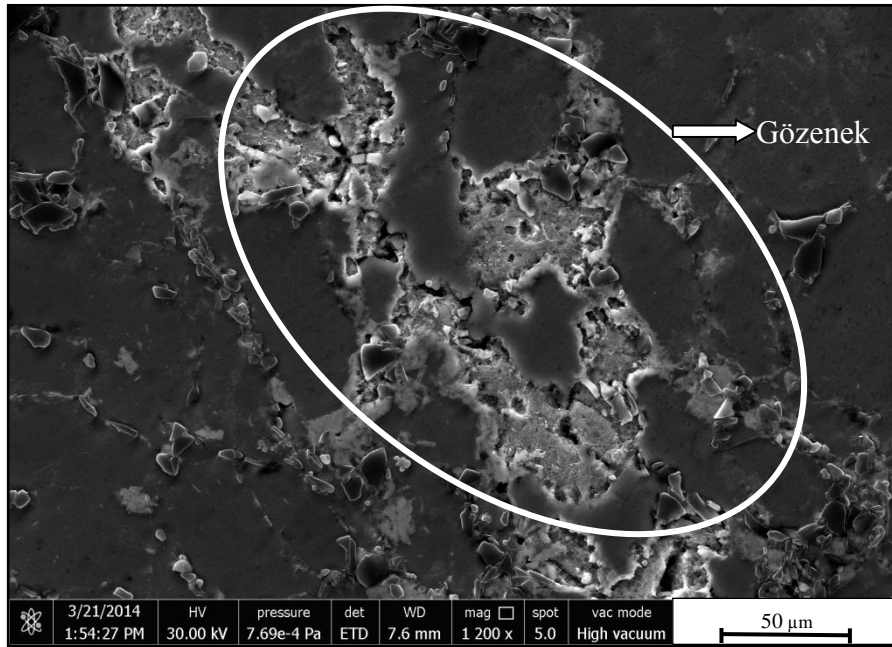
Karma takviyeli MMK malzeme içerisindeki takviye elemanlarından B<sub>4</sub>C tozunun sabit tutulup Ni(K)Gr tozunun ilavesi ile yoğunluğun azaldığı görülmüştür. Yoğunluklarda ki azalma nedeninin takviye elemanlarının (B<sub>4</sub>C/Ni(K)Gr) yoğunluğunun Al alaşımı olan Alumix 13 malzemesinin yoğunluğundan düşük olmasına bağlanabilir [19,87].

Çizelge 5.3' de görüldüğü gibi yapı içerisinde grafit (Ni(K)Gr) ilavesinin % 3' ten % 7' ye çıkarıldığında gözenek miktarında bir artış olmuştur. Bu artış, üretilen karma takviyeli MMK malzemelerin hacminin değişmesine neden olmazken malzemenin ağırlığını düşürerek ağırlık/hacim oranına etkide bulunmuştur. Yüzde gözenek miktarı değerleri düşük değerlerde elde edilmiştir (Çizelge 5.3). Bu durum, literatür ile uyumluluk göstermektedir [7,13,69]. Yüzde gözenek miktarı değerlerinin düşük olmasında SP tekniğinin etkisi olduğu birçok araştırmacı tarafından yapılan çalışmalarla tespit edilmiştir [7,16,87,159-162].



Şekil 5.10. Karma takviyeli MMK'ların teorik ve deneysel yoğunluklarının Ni(K)Gr ağırlık oranı ile değişim grafiği.

Karma takviyeli MMK malzemenin (K<sub>1</sub>) mikroyapı görüntüsü incelendiğinde yapı içerisindeki gözenek oluşumu Şekil 5.11' de gösterilmiştir.



Şekil 5.11. SP tekniği ile üretilen % 92 Alুমix 13 + % 8 B<sub>4</sub>C içeren (K<sub>1</sub>) kodlu MMK malzeme üzerinde SEM cihazı ile alınan gözenek görüntüsü.

## 5.4. KARMA TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN AŞINMA DENEYLERİ

### 5.4.1. Materyal Metot

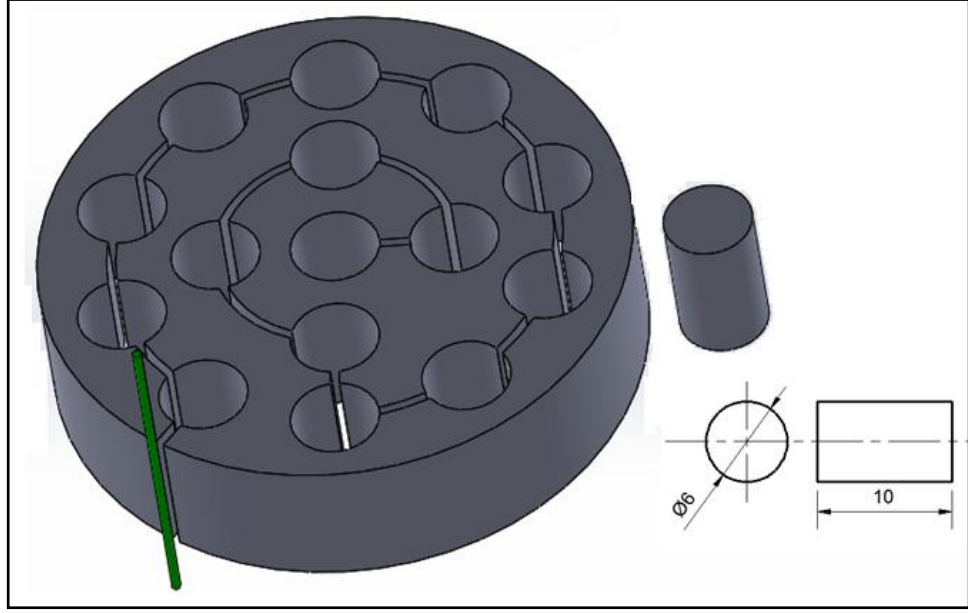
SP tekniği ile ağırlıkça dört farklı oranda üretilen karma takviyeli MMK malzemelerin kuru kayma şartlarında, sabit kayma hızında, dört farklı yük ve yol seçilerek aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Karma takviyeli MMK malzeme içerisinde bulunan takviye elamanı Ni(K)Gr' nin yapı içerisinde oranın artmasının (ağırlıkça % 3, % 5, % 7) aşınma üzerine etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan aşınma parametreleri Çizelge 5.4' de gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. Deneysel çalışmada kullanılan aşınma parametreleri.

Yük (N)	Yol (m)	Kayma Hızı (m/sn)
10 – 20 – 30 – 40	300 – 600 – 900 – 1200	0,8

### 5.4.2. Aşınma Numunelerinin Hazırlanması

Aşınma deneyleri için önce K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, K<sub>3</sub> ve K<sub>4</sub> kodlu kompozit malzemelerden 40 mm çapında ve 10 mm kalınlığında numuneler hazırlanmıştır. Daha sonra hazırlanan numuneler tel erozyon tezgahında 6 mm çapında ve 10 mm kalınlığında kesilerek (Şekil 5.12) hazırlanmıştır.



Şekil 5.12. Karma takviyeli MMK malzemelerin aşınma numuneleri boyutları görüntüsü.

Aşınma deneyleri disk yüzeyine  $90^\circ$  açı ile temas ettirilerek yapılmıştır. Aşınma deneyleri hassas terazi (0,0001 g) ile deney öncesinde ve sonrasında tartılarak aşınma kaybı ağırlık cinsinden bulunmuştur.

#### 5.4.3. Karma Takviyeli Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Aşınma Davranışları

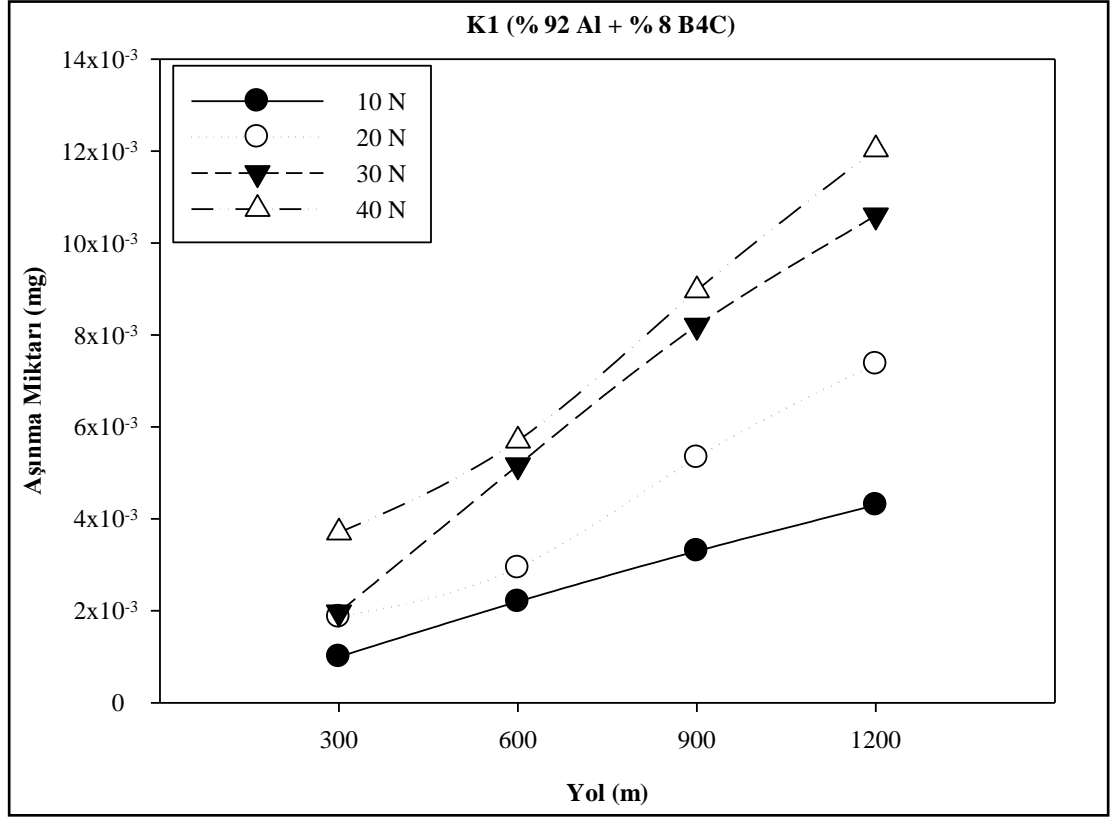
Yapı içerisinde ağırlıkça % 8  $B_4C$  içeren  $K_1$  kodlu karma takviyeli MMK' nın aşınma deneyi ortalama sonuçları Çizelge 5.5' de gösterilmiştir. Çizelge 5.5' de gösterilen aşınma miktarları grafik olarak Şekil 5.13' de gösterilmiştir.

Çizelge 5.5. SP tekniği ile üretilen K<sub>1</sub> kodlu MMK malzemelerin aşınma ortalama kaybı değerleri.

K <sub>1</sub> (% 92 Alumix 13 + % 8 B <sub>4</sub> C)					
Kayma Hızı (m/s)	Yük (N)	Yol (m)			
		300	600	900	1200
Ortalama Aşınma Kaybı (g)					
0,8	10	0,0010	0,0022	0,0033	0,0043
	20	0,0019	0,0029	0,0053	0,0074
	30	0,0020	0,0052	0,0082	0,0106
	40	0,0037	0,0057	0,0090	0,0120

Çizelge 5.5 ve Şekil 5.13' deki grafik incelendiğinde uygulanan dört farklı yük altında (10 – 20 – 30 – 40 N) 300 m kayma mesafesindeki aşınma kayıpları sırasıyla 0,0010, 0,0019, 0,0020 ve 0,0037 g iken 1200 m kayma mesafesindeki aşınma kayıpları % 76,74, % 74,32, % 81,13 ve % 69,16 oranında artış göstererek 0,0043, 0,0074, 0,0106 ve 0,0120 g ölçülmüştür. Sabit kayma hızında, yük ve kayma mesafesi arttığında bütün kompozit malzemelerde aşınma miktarının arttığı görülmüştür.





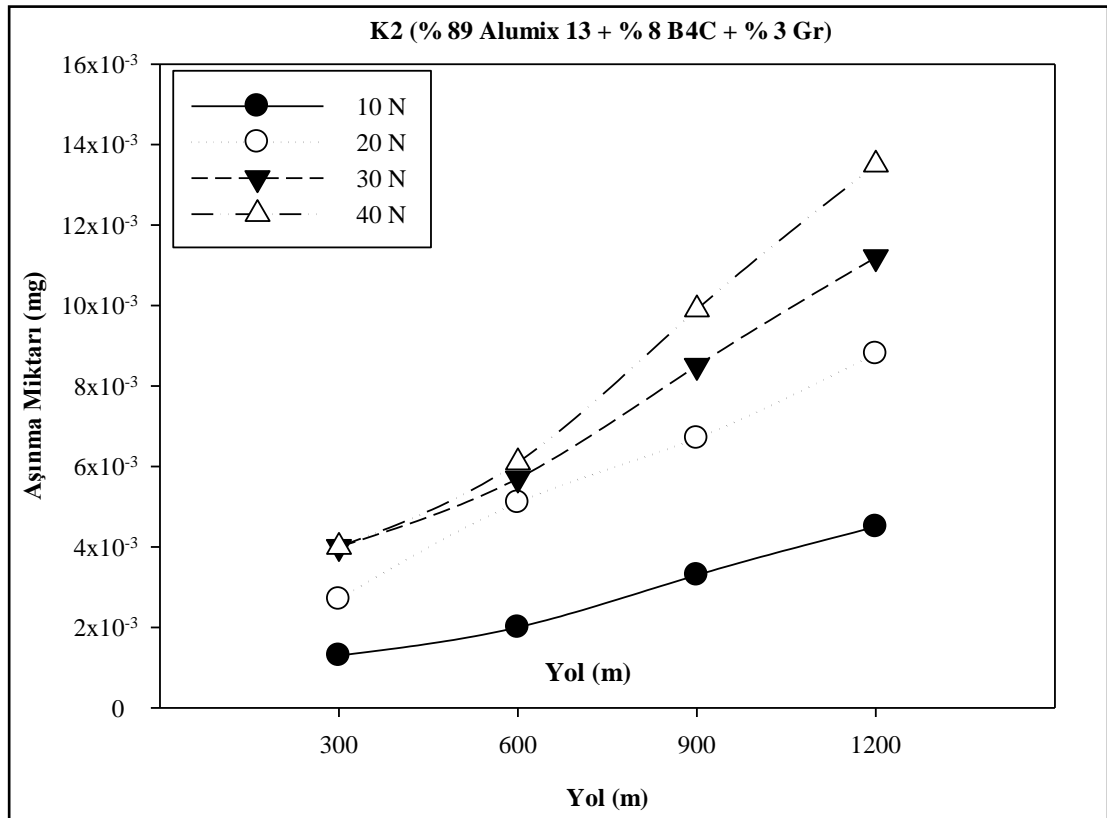
Şekil 5.13. SP tekniği ile üretilen K<sub>1</sub> kodlu B<sub>4</sub>C takviyeli MMK malzemenin aşınma kaybı grafiği.

Yapı içerisinde ağırlıkça % 8 B<sub>4</sub>C + % 3 Ni(K)Gr içeren K<sub>2</sub> kodlu karma takviyeli MMK' nin aşınma deneyi sonuçları Çizelge 5.6' da gösterilmiştir. Çizelge 5.6' da gösterilen aşınma miktarları grafik olarak Şekil 5.14' de gösterilmiştir.

Çizelge 5.6. SP tekniği ile üretilen K<sub>2</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemelerin ortalama aşınma kaybı değerleri.

		<b>K<sub>2</sub> (% 89 Alumix 13 + % 8 B<sub>4</sub>C + % 3 Gr)</b>			
<b>Kayma Hızı (m/s)</b>	<b>Yük (N)</b>	<b>Yol (m)</b>			
		<b>300</b>	<b>600</b>	<b>900</b>	<b>1200</b>
		<b>Ortalama Aşınma Kaybı (g)</b>			
<b>0,8</b>	<b>10</b>	0,0013	0,0020	0,0033	0,0045
	<b>20</b>	0,0027	0,0051	0,0067	0,0088
	<b>30</b>	0,0040	0,0057	0,0085	0,0112
	<b>40</b>	0,0040	0,0061	0,0099	0,0135

Çizelge 5.6 ve Şekil 5.14' deki grafik incelendiğinde uygulanan dört farklı yük altında (10 – 20 – 30 – 40 N) 300 m kayma mesafesindeki aşınma kayıpları sırasıyla 0,0013, 0,0027, 0,0040 ve 0,0040 g iken 1200 m kayma mesafesindeki aşınma kayıpları % 71,11, % 69,31, % 64,28 ve % 97,03 oranında artış göstererek 0,0045, 0,0088, 0,0112 ve 0,0135 g ölçülmüştür. Sabit kayma hızında yük ve kayma mesafesi arttığında K<sub>2</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemede aşınma miktarının arttığı görülmüştür. İçerisine ilave edilen grafit miktarının artması ile malzemelerin mekanik özelliklerindeki değişimden dolayı aşınma miktarlarında artışlar tespit edilmiştir. Bu durum, yapılan diğer çalışmalarla benzerlik göstermiştir. Baradeswaran yaptığı çalışmada Al/grafit malzemenin aşınma davranışlarını incelemiş ve grafit miktarının artmasıyla aşınma kaybının arttığını tespit etmiştir. Grafit miktarının artışıyla yapı içerisinde porozite ve çatlaklar artmakta ve kompozit malzemelerin mekanik özellikleri olumsuz olarak etkilenmektedir [155,163].



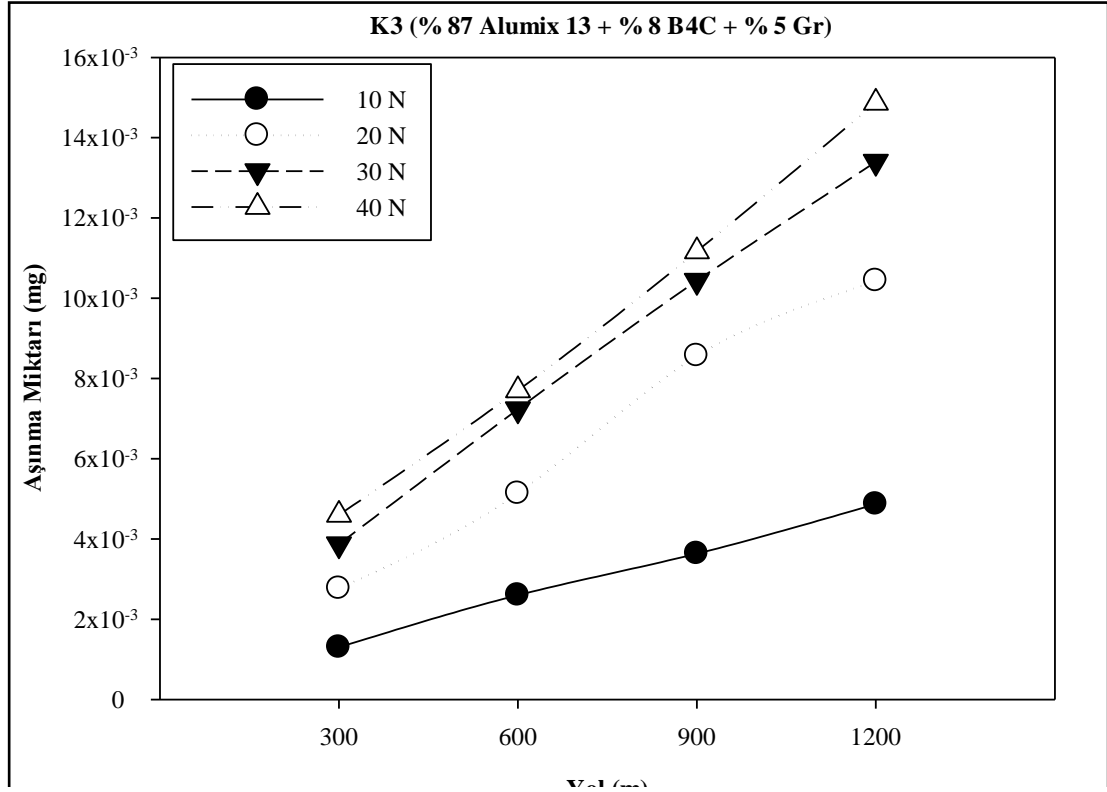
Şekil 5.14. SP tekniği ile üretilen K<sub>2</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemelerin aşınma kaybı grafiği.

Yapı içerisinde ağırlıkça % 8 B<sub>4</sub>C + % 5 Ni(K)Gr içeren K<sub>3</sub> kodlu karma takviyeli MMK' nin aşınma deneyi sonuçları Çizelge 5.7' de gösterilmiştir. Çizelge 5.7' de gösterilen aşınma miktarları grafik olarak ise Şekil 5.15' de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7. SP tekniği ile üretilen K<sub>3</sub> kodlu MMK malzemelerin ortalama aşınma kaybı değerleri.

<b>K<sub>3</sub> (% 87 Alumix 13 + % 8 B<sub>4</sub>C + % 5 Gr)</b>					
<b>Kayma Hızı (m/s)</b>	<b>Yük (N)</b>	<b>Yol (m)</b>			
		<b>300</b>	<b>600</b>	<b>900</b>	<b>1200</b>
<b>Ortalama Aşınma Kaybı (g)</b>					
<b>0,8</b>	<b>10</b>	0,0013	0,0026	0,0036	0,0049
	<b>20</b>	0,0028	0,0051	0,0086	0,0104
	<b>30</b>	0,0039	0,0072	0,0104	0,0134
	<b>40</b>	0,0046	0,0077	0,0112	0,0149

Çizelge 5.7 ve Şekil 5.15' deki grafik incelendiğinde uygulanan dört farklı yük altında (10 – 20 – 30 – 40 N) 300 m kayma mesafesindeki aşınma kayıpları sırasıyla 0,0013, 0,0028, 0,0039 ve 0,0046 g iken 1200 m kayma mesafesindeki aşınma kayıpları % 73,46, % 73,07, % 70,89 ve % 69,12 oranında artış göstererek 0,0049, 0,00104, 0,0134 ve 0,0149 g ölçülmüştür. Sabit kayma hızında yük ve kayma mesafesi arttığında K<sub>3</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemedeki Ni(K)Gr'nin oranının artması (% 5) ile aşınma miktarının arttığı görülmüştür. Bu durum literatür ile benzerlik göstermiştir [155,163].



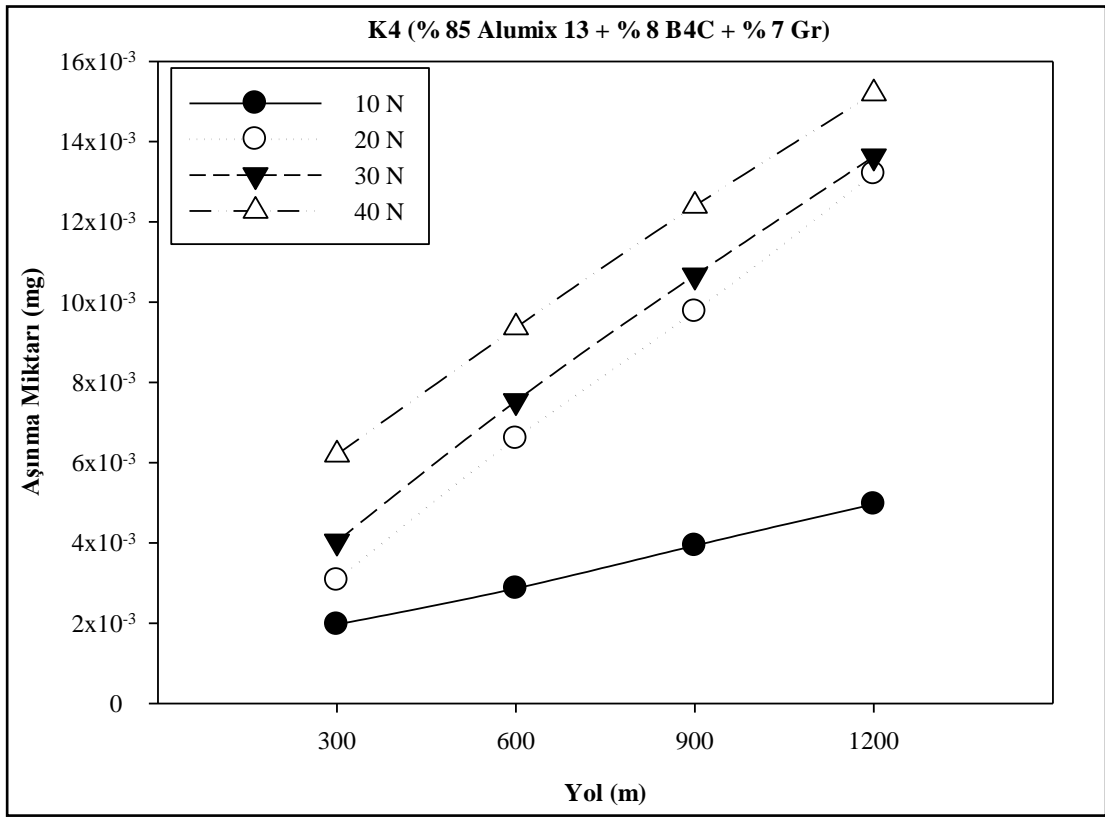
Şekil 5.15. SP tekniği ile üretilen K<sub>3</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemelerin aşınma kaybı grafiği.

Yapı içerisinde ağırlıkça % 8 B<sub>4</sub>C + % 7 Ni(K)Gr içeren K<sub>4</sub> kodlu karma takviyeli MMK' nın aşınma deneyi sonuçları Çizelge 5.8' de gösterilmiştir. Çizelge 5.8' de gösterilen aşınma miktarları grafik olarak Şekil 5.16' da gösterilmiştir.

Çizelge 5.8. SP tekniği ile üretilen K<sub>4</sub> kodlu MMK malzemelerin ortalama aşınma kaybı değerleri.

<b>K<sub>4</sub> (% 85 Alumix 13 + % 8 B<sub>4</sub>C + % 7 Gr)</b>					
Kayma Hızı (m/s)	Yük (N)	Yol (m)			
		300	600	900	1200
<b>Ortalama Aşınma Kaybı (g)</b>					
<b>0,8</b>	<b>10</b>	0,0020	0,0029	0,0039	0,0050
	<b>20</b>	0,0031	0,0066	0,0098	0,0132
	<b>30</b>	0,0040	0,0075	0,0107	0,0136
	<b>40</b>	0,0062	0,0094	0,0124	0,0152

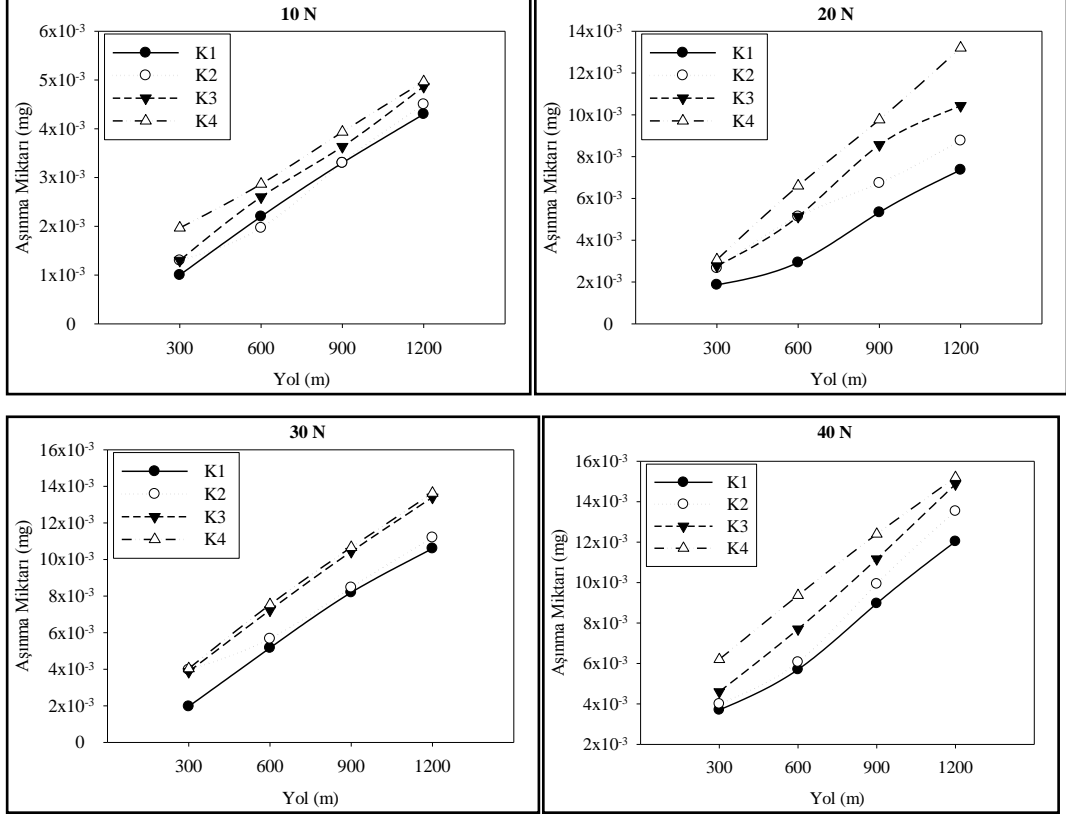
Çizelge 5.8 ve Şekil 5.16' daki grafik incelendiğinde uygulanan dört farklı yük altında (10 – 20 – 30 – 40 N) 300 m kayma mesafesindeki aşınma kayıpları sırasıyla 0,0020, 0,0031, 0,0040 ve 0,0062 g iken 1200 m kayma mesafesindeki aşınma kayıpları % 60, % 76,51, % 70,58 ve % 59,21 oranında artış göstererek 0,0050, 0,00132, 0,0136 ve 0,0152 g ölçülmüştür. Sabit kayma hızında yük ve kayma mesafesi arttığında K<sub>4</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemede Ni(K)Gr'nin oranının artması (% 7) ile aşınma miktarının arttığı görülmüştür. Bu durum literatürle benzerlik göstermiştir [155,163].



Şekil 5.16. SP tekniği ile üretilen K<sub>4</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemelerin aşınma kaybı grafiği.

K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, K<sub>3</sub> ve K<sub>4</sub> kodlu kompozit malzemelerin 10 N, 20 N, 30 N ve 40 N yük altındaki aşınma grafikleri Şekil 5.17' de gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde ağırlık, kayma mesafesi ve yapı içerisindeki Ni(K)Gr miktarının artmasıyla aşınma miktarının arttığı görülmüştür. 10 N, 20 N, 30 N ve 40 N yük altında gerçekleştirilen deneysel çalışmada en az aşınma kaybı 300 m kayma mesafesinde K<sub>1</sub> nolu kompozit malzemede, en fazla aşınma kaybının ise 40 N yük altında 1200 m kayma

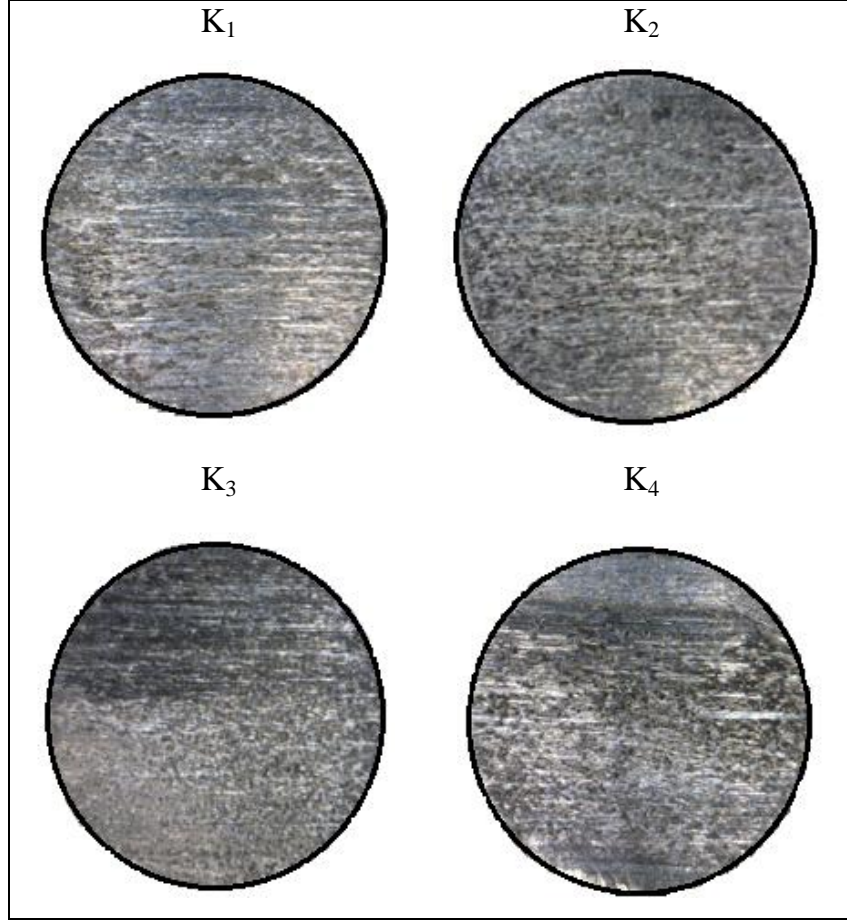
mesafesinde K<sub>4</sub> nolu karma takviyeli MMK malzemede elde edilen numunelerde oluştuğu tespit edilmiştir. Bu durum literatürle benzerlik göstermiştir [155,163].



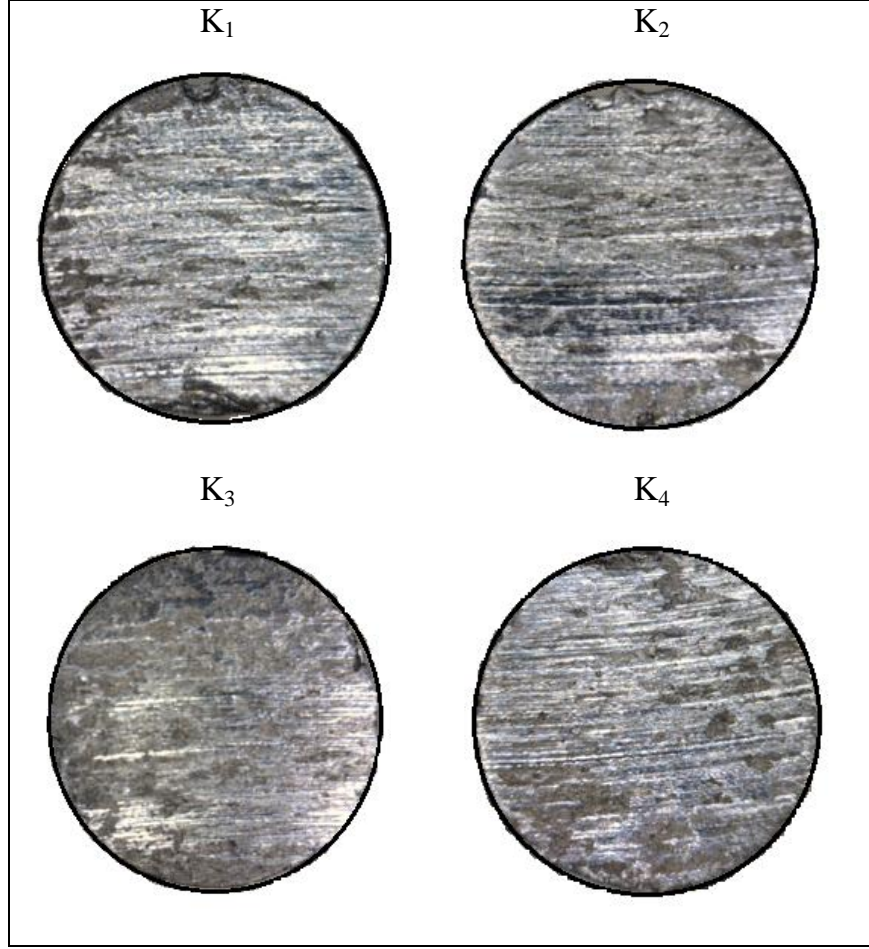
Şekil 5.17. SP tekniği ile üretilen karma takviyeli MMK malzemelerin aşınma kayıpları grafiği.

#### 5.4.4. Karma Takviye Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Aşınma Yüzeylerinin Optik Ve Sem Görüntüleri

Karma takviyeli MMK malzemelerin aşınma yüzeylerinin optik görüntüleri Şekil 5.18 ve Şekil 5.19' da gösterilmiştir. Şekil 5.18 ve Şekil 5.19' daki görüntüler 1200 m kayma mesafesinde 10 N ve 40 N yük uygulanan B<sub>4</sub>C takviyeli K<sub>1</sub> kodlu ve B<sub>4</sub>C ve en yüksek oran içeren (ağırlıkça % 7) Ni(K)Gr takviyeli K<sub>4</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemelere aittir. Görüntüler incelendiğinde, 40 N yük altında yapılan aşınma deneyi sonrası yüzey aşınma çizgileri 10 N yük altında yapılan aşınma deneyi sonrası elde edilen numune yüzeyi aşınma çizgilerinden daha belirgin oluşmuştur. Artan grafit miktarı ile karma takviyeli MMK malzemelerde gözeneklerin arttığı belirgin bir şekilde görülmüştür.



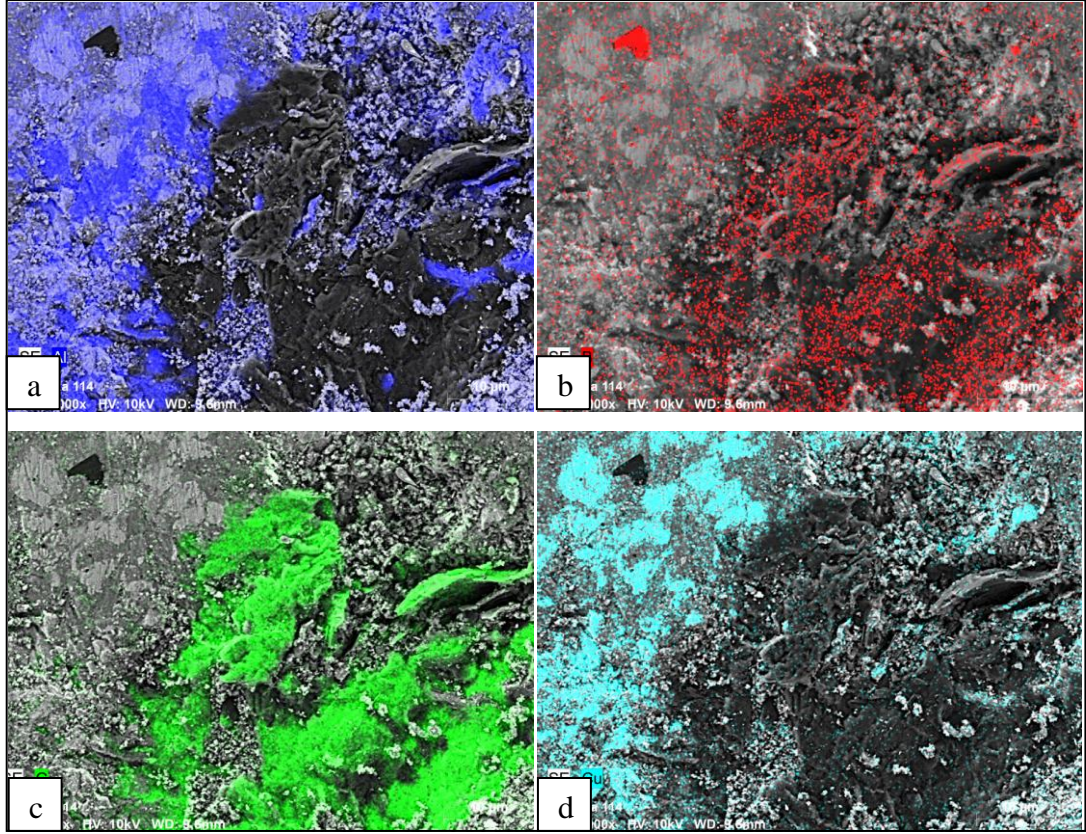
Şekil 5.18. SP tekniği ile üretilen karma takviyeli MMK malzemelerin 10 N yük altında 1200 m kayma mesafesinde gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonrası optik yüzey görüntüleri.



Şekil 5.19. SP tekniği ile üretilen MMK malzemelerin 40 N yük altında 1200 m kayma mesafesinde gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonrası optik yüzey görüntüleri.

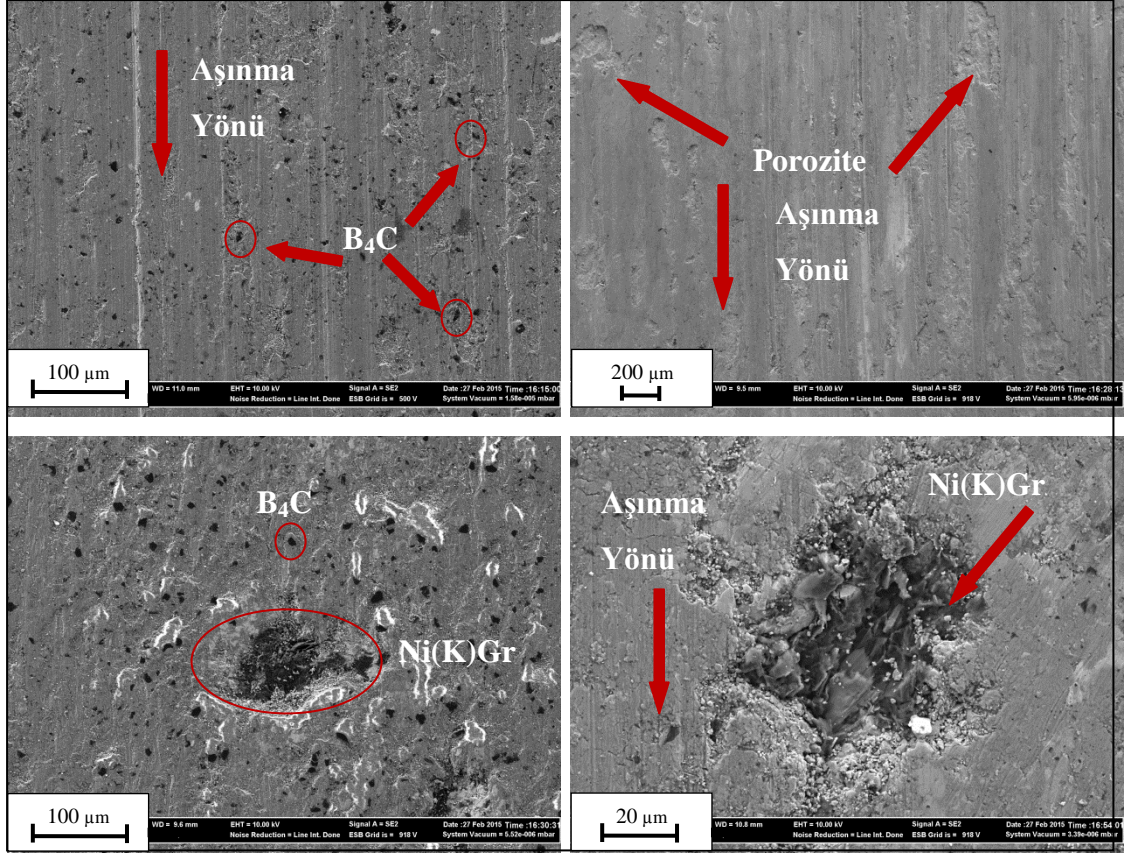
SP tekniği ile üretilen karma takviyeli MMK malzemenin yapı içerisindeki parçacık dağılımlarını belirlemek için SEM cihazı ile analiz yapılmıştır. Elde edilen görüntüler Şekil 5.20' de gösterilmiştir. Mavi (a) renk matris malzemesi olan Al alaşımını, kırmızı (b) renk B<sub>4</sub>C, yeşil (c) renk grafit ve turkuaz (d) rengi Cu' yu temsil etmektedir.





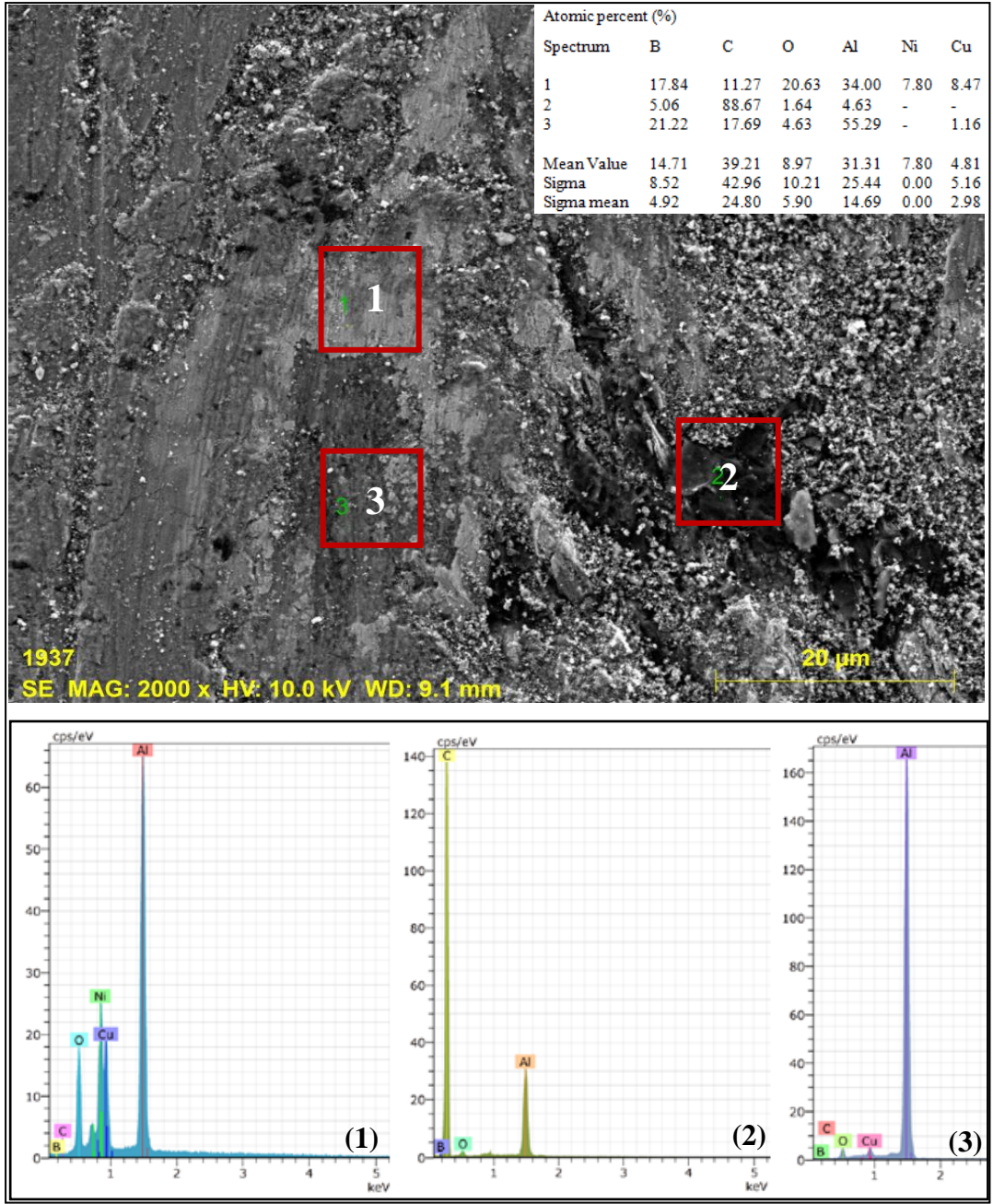
Şekil 5.20. a) Al, b) B<sub>4</sub>C, c) Ni(K)Gr ve d) Cu' nun karma takviyeli MMK malzeme içerisindeki Al alaşımı ve takviye elemanları dağılımının SEM görüntüsü.

Kuru kayma şartları altında gerçekleştirilen aşınma deneylerinin daha iyi anlaşılması için detaylı SEM görüntüleri alınmıştır (Şekil 5.21). Şekil 5.21' deki görüntüler incelendiğinde MMK malzemenin yüzeylerinde abrasiv aşınmanın yönü, malzeme yüzeyindeki gözenekler, B<sub>4</sub>C parçacıkları ve grafit parçacıkları görülmektedir.



Şekil 5.21. SP tekniği ile üretilen karma takviyeli MMK malzemelerin aşınan yüzeylerin SEM görüntüleri.

Aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntü (Şekil 5.22) üzerinde 1, 2 ve 3 nolu noktaların bulunduğu alanlarda elemental kompozisyonu tanımlamak için elemental yapı analizi (EDS) yapılmıştır. Şekil 5.22 incelendiğinde 1, 2 ve 3 nolu noktalarda bulunan % atom miktarları gösterilmiştir.



Şekil 5.22. SP tekniği kullanılarak üretilen MMK kompozit malzemenin aşınan yüzeylerinden seçilen 1, 2 ve 3 nolu noktaların bulunduğu alanın elemental yapı analiz sonucu görüntüsü.

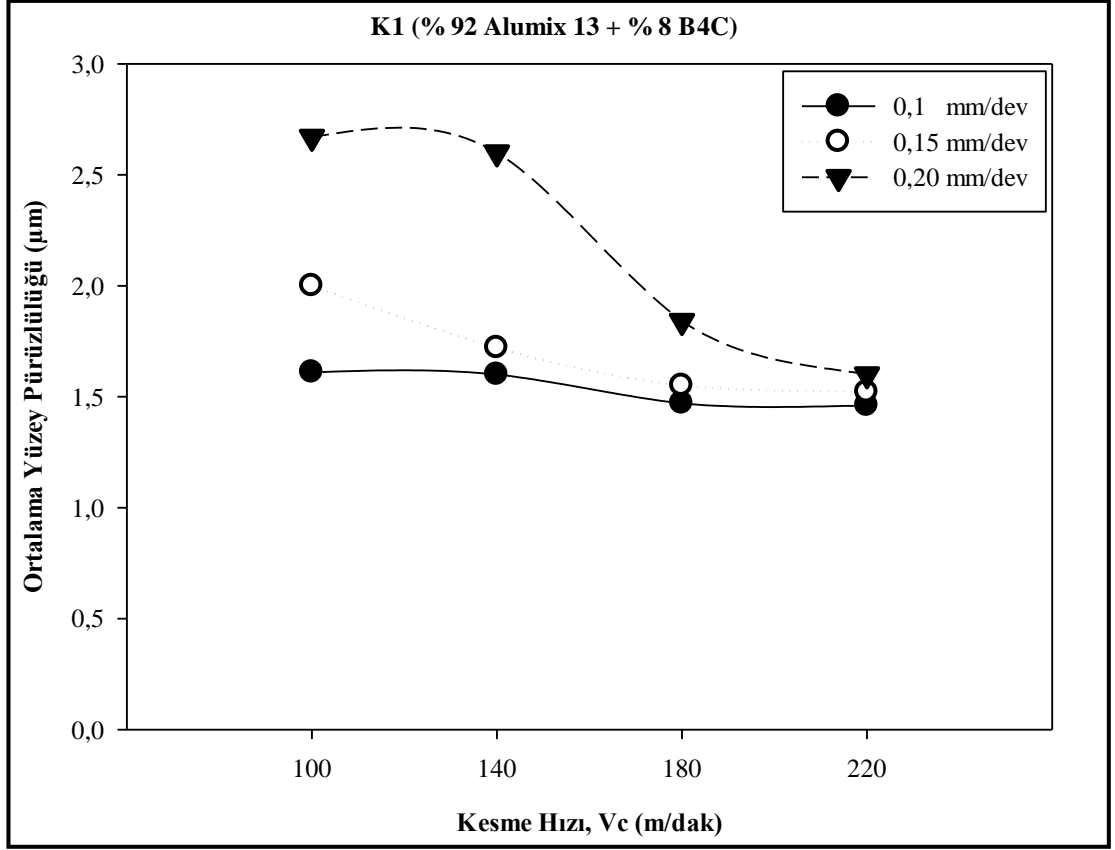
## 5.5. KARMA TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN KESME HIZI VE İLERLEME MİKTARLARINA BAĞLI OLARAK ORTALAMA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DEĞERLERİNDEKİ DEĞİŞİM

Üretilen karma takviyeli MMK malzemelerin seçilen parametrelerde işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirilerek kesme parametrelerinin iş parçası malzemesinin ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kesici takım üzerine etkileri ile karma takviyeli MMK malzemelerin yapı içerisindeki üç farklı oranda ilave edilen takviye elemanı Ni(K)Gr' in işlenebilirlik üzerine etkileri araştırılmıştır.

SP tekniği ile üretilen ağırlıkça % 92 Alumix 13 + % 8 B<sub>4</sub>C içeren K<sub>1</sub> kodlu MMK malzemenin işlenebilirlik deneylerinden kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri Çizelge 5.9' da gösterilmiştir. Çizelge 5.9' da gösterilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 5.23 ve Şekil 5.24' de grafik olarak gösterilmiştir.

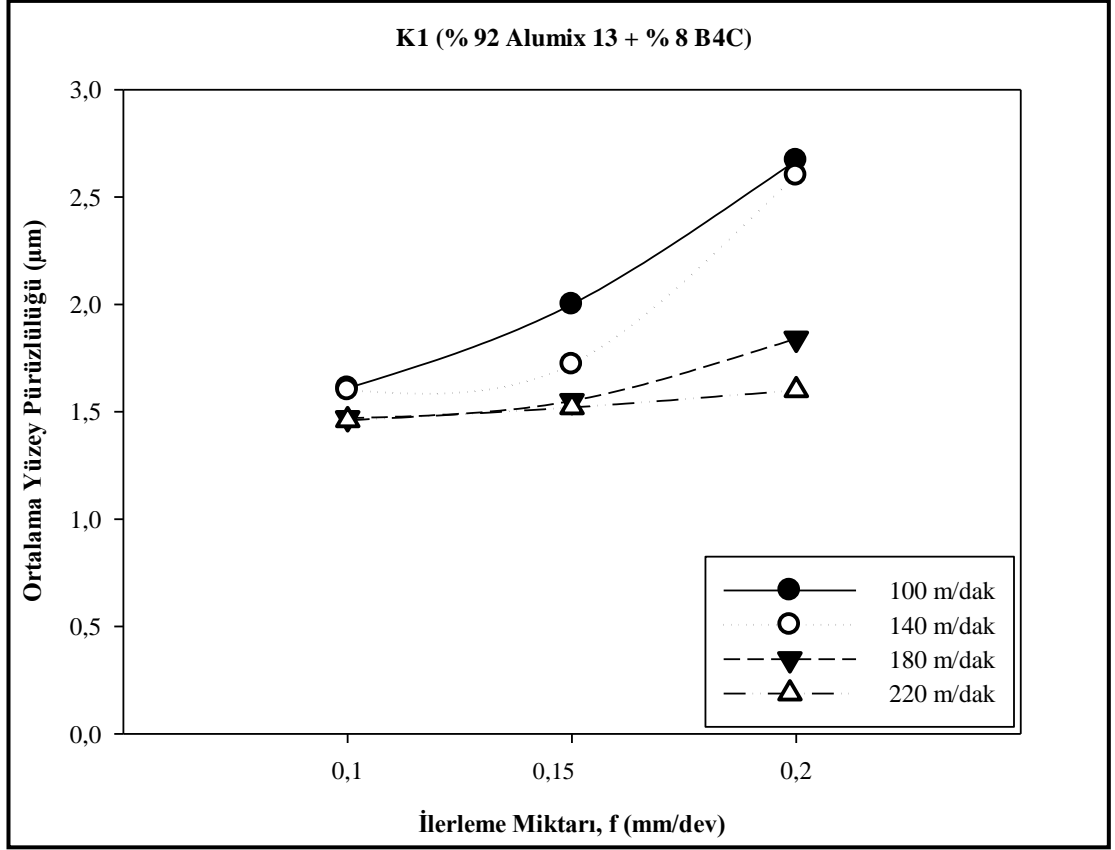
Çizelge 5.9. K<sub>1</sub> (% 92 Alumix 13 + % 8 B<sub>4</sub>C) MMK malzemesinin TiN kaplamalı CBN kesici takım ile işlenmesinde kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

K <sub>1</sub> (% 92 Alumix 13 + % 8 B <sub>4</sub> C)					
Kesme Derinliği (mm)	İlerleme Miktarı (mm/dev)	Kesme Hızı (m/dak)			
		100	140	180	220
Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (µm)					
0,5	0,1	1,61	1,60	1,47	1,46
	0,15	2,00	1,72	1,55	1,52
	0,20	2,67	2,60	1,84	1,60



Şekil 5.23. K<sub>1</sub> kodlu MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takımla dört farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme miktarlarında işlenmesinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin grafik gösterimi.

Şekil 5.23' deki grafik incelendiğinde K<sub>1</sub> kodlu MMK malzemede artan kesme hızıyla birlikte ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde iyileşme gerçekleştiği görülmüştür. En yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin 0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev ilerleme miktarlarında 100 m/dak kesme hızında sırasıyla 1,61 µm, 2,00 µm ve 2,67 µm olarak ölçülmüştür. En düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri üç farklı ilerleme miktarlarında 220 m/dak kesme hızında sırasıyla % 9,3 (1,46 µm), % 24 (1,52 µm) ve % 40 (1,60 µm) oranında iyileşme göstermiştir. En düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerinin 0,1 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızının % 120 oranında artmasıyla 1,46 µm olarak ölçülmüştür. Kesme hızının artması ile iyileşen ortalama yüzey pürüzlülüğü, yüksek kesme hızlarında artan sıcaklığa bağlı olarak deformasyon işleminin kolaylaşması, iş parçası malzemesinin kesici kenar ve burun radyüsü çevresinde rahat bir şekilde deforme edilmesi ve yüksek sıcaklıklarda oluşan akma bölgesine bağlı olarak talaşın kolaylıkla kesme bölgesinden ayrılmasına bağlanabilir [164-166].



Şekil 5.24. K<sub>1</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takım ile üç farklı ilerleme miktarı ve dört farklı kesme hızlarında işlenmesinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin grafik gösterimi.

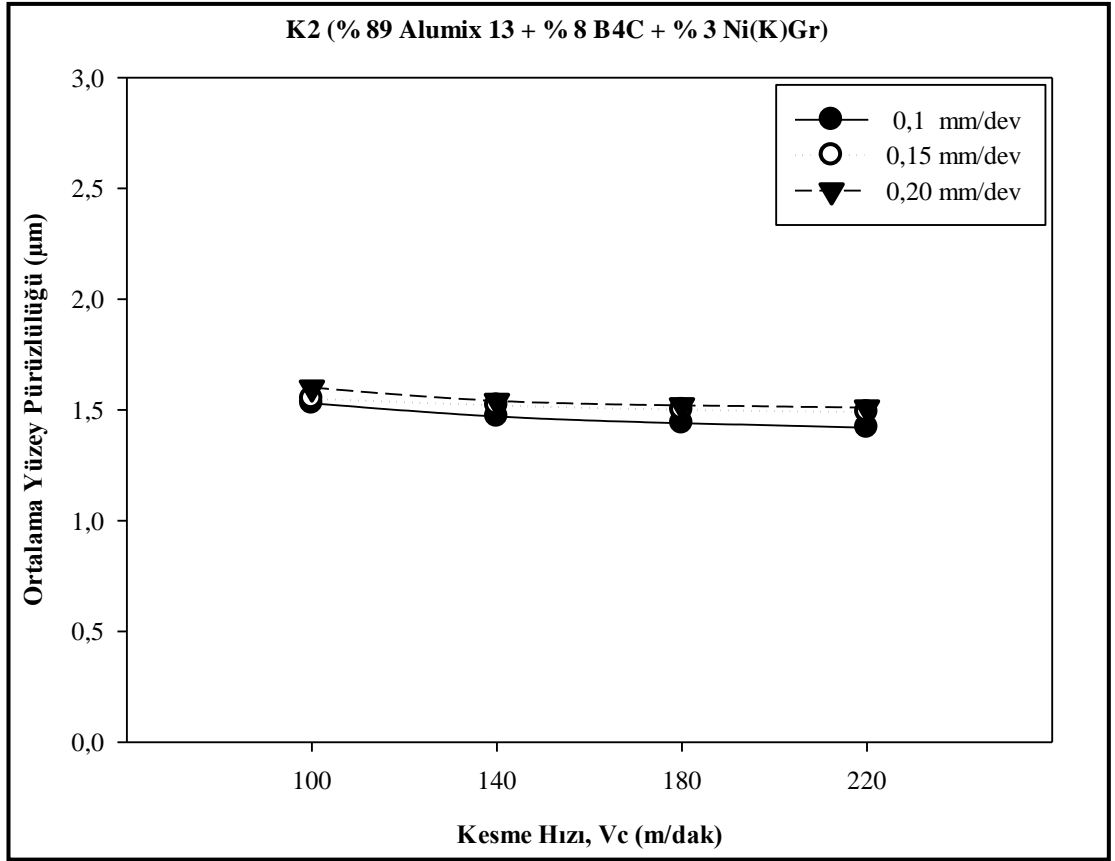
Şekil 5.24' deki grafik incelendiğinde K<sub>1</sub> kodlu MMK malzemede ilerleme miktarının artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde artış gerçekleştiği görülmüştür. En düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri 0,10 mm/dev ilerleme miktarında dört farklı kesme hızlarında (100, 140, 180 ve 220 m/dak) sırasıyla 1,61 µm, 1,60 µm, 1,47 µm ve 1,46 µm olarak ölçülmüştür. En yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ise 0,20 mm/dev ilerleme miktarında dört farklı kesme hızında sırasıyla % 65,8 (2,67 µm), % 62,5 (2,60 µm), % 25,1 (1,84 µm) ve % 9,5 (1,60 µm) oranında artış göstermiştir. En yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerinin 0,20 mm/dev ilerleme miktarında 100 m/dak kesme hızında 2,67 µm olarak belirlenmiştir. İlerleme miktarındaki artışa bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin artışının nedeni, titreşimin düşük ilerleme miktarına oranla daha yüksek titreşim oluşturması ile açıklanabilir. İlerleme miktarındaki artışa bağlı olarak ortalama yüzey

pürüzlülük değerindeki artış beklenen bir özellik olup ortalama yüzey pürüzlülük değerini düşürmek için ilerleme miktarının azaltılması gerekmektedir [164,166].

SP tekniği ile üretilen % 89 Alumix 13 + % 8 B<sub>4</sub>C + % 3 Ni(K)Gr içeren K<sub>2</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin sabit kesme derinliğinde, dört farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri Çizelge 5.10' da gösterilmiştir. Çizelge 5.10' da gösterilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri grafik olarak ise Şekil 5.25 ve Şekil 5.26' da gösterilmiştir.

Çizelge 5.10. K<sub>2</sub> (% 89 Alumix 13 + % 8 B<sub>4</sub>C + % 3 Ni(K)Gr ) karma takviyeli MMK malzemesinin TiN kaplı CBN kesici takım ile işlenmesinde kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

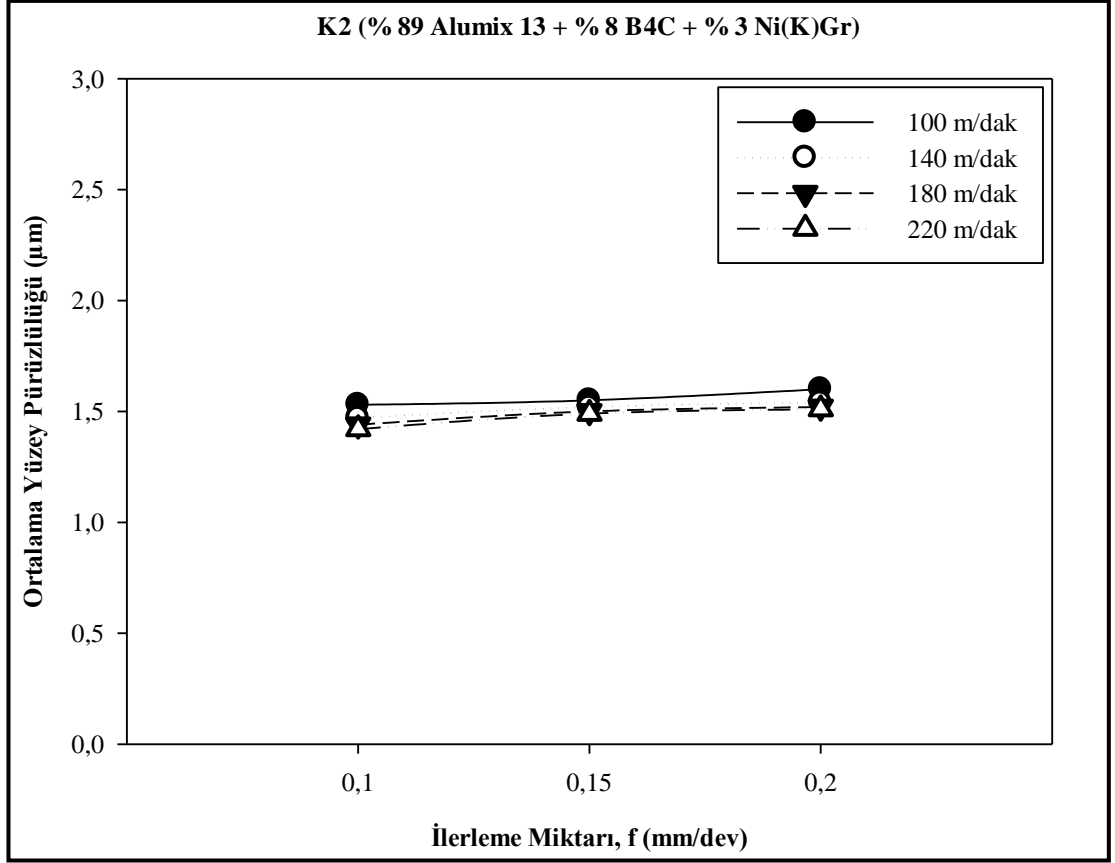
<b>K<sub>2</sub> (% 89 Alumix 13 + % 8 B<sub>4</sub>C + % 3 Ni(K)Gr)</b>					
<b>Kesme Derinliği (mm)</b>	<b>İlerleme Miktarı (mm/dev)</b>	<b>Kesme Hızı (m/dak)</b>			
		<b>100</b>	<b>140</b>	<b>180</b>	<b>220</b>
<b>Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (µm)</b>					
<b>0,5</b>	<b>0,1</b>	1,53	1,47	1,44	1,42
	<b>0,15</b>	1,55	1,52	1,50	1,49
	<b>0,20</b>	1,60	1,54	1,52	1,51



Şekil 5.25. K<sub>2</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takım ile dört farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme miktarlarında işlenmesinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin grafik gösterimi.

Şekil 5.25' deki grafik incelendiğinde K<sub>2</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemede artan kesme hızıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde iyileşme gerçekleştiği görülmüştür. En yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin 0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev ilerleme miktarlarında 100 m/dak kesme hızında sırasıyla 1,53 µm, 1,55 µm ve 1,60 µm olarak ölçülmüştür. En düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri üç farklı ilerleme miktarında 220 m/dak kesme hızında sırasıyla % 7,18 (1,42 µm), % 3,87 (1,49 µm) ve % 5,61 (1,51 µm) oranında iyileşme göstermiştir. En düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerinin 0,1 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızının % 120 oranında artmasıyla 1,42 µm olarak ölçülerek literatür ile benzerlik göstermiştir [164-166].





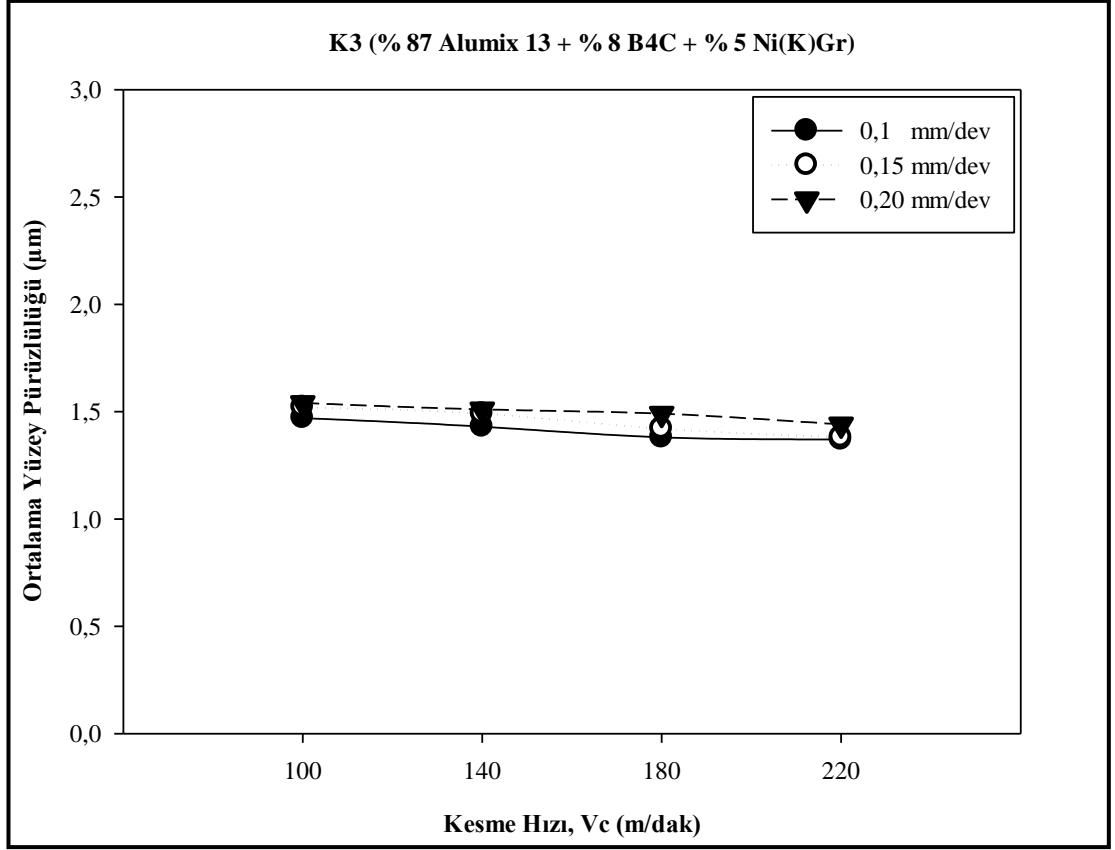
Şekil 5.26. K<sub>2</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takımla üç farklı ilerleme miktarı ve dört farklı kesme hızlarında işlenmesinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin grafik gösterimi.

Şekil 5.26' daki grafikler incelendiğinde K<sub>2</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemede ilerleme miktarının artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde artış elde edilerek literatür ile benzerlik göstermiştir [164,166]. Dört farklı kesme hızında ise kesme hızının artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde iyileşme olduğu görülmüştür. En düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri 0,10 mm/dev ilerleme miktarında dört farklı kesme hızlarında (100, 140, 180 ve 220 m/dak) sırasıyla 1,53 µm, 1,47 µm, 1,44 µm ve 1,42 µm olarak ölçülmüştür. En yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ise 0,20 mm/dev ilerleme miktarında dört farklı kesme hızında sırasıyla % 4,5 (1,60 µm), % 4,7 (1,54 µm), % 5,5 (1,52 µm) ve % 6,3 (1,51 µm) oranında artış göstermiştir. En yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerinin 100 m/dak kesme hızında 0,20 mm/dev ilerleme miktarında 1,60 µm olarak belirlenmiştir.

SP tekniği ile üretilen ağırlıkça % 87 AlumiX 13 + % 8 B<sub>4</sub>C + % 5 Ni(K)Gr içeren K<sub>3</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin işlenebilirlik deneylerinden kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri izelge 5.11' de gösterilmiştir. Çizelge 5.11' de gösterilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri grafik olarak ise Şekil 5.27 ve Şekil 5.28' te gösterilmiştir.

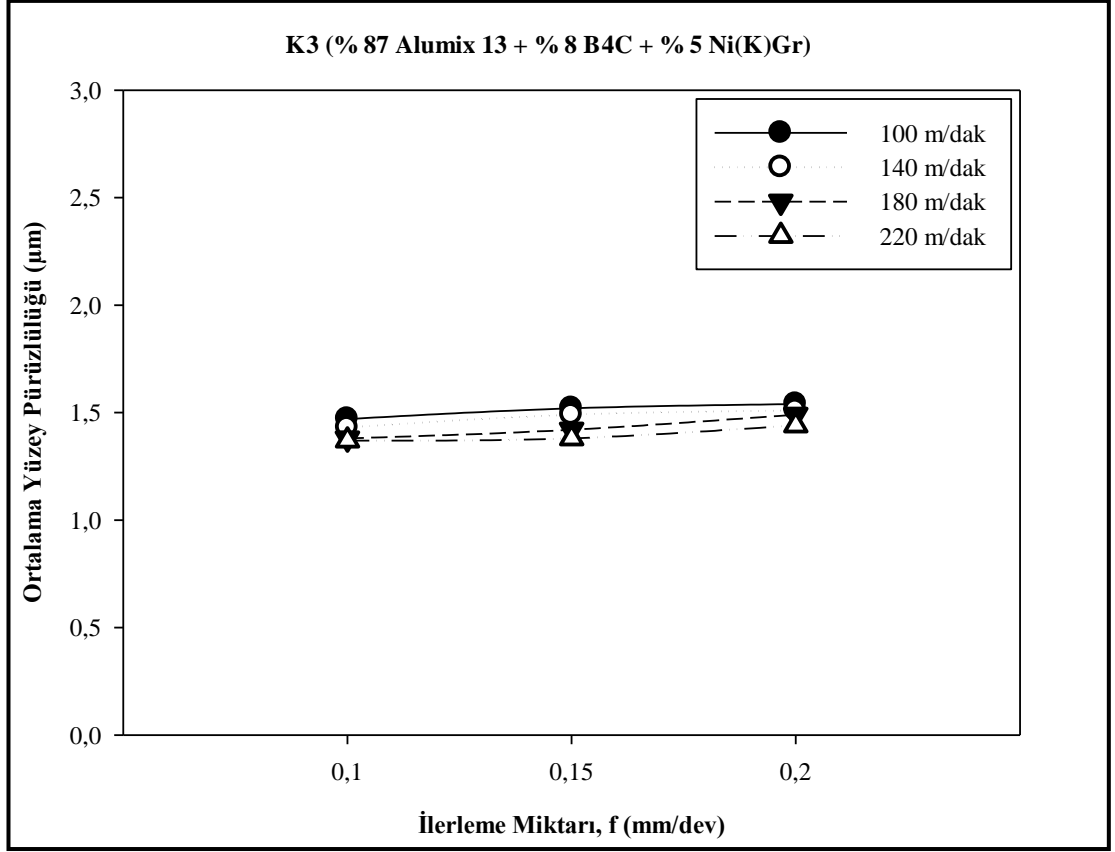
Çizelge 5.11. K<sub>3</sub> (% 87 AlumiX 13 + % 8 B<sub>4</sub>C + % 5 Ni(K)Gr ) karma takviyeli MMK malzemesinin TiN kaplı CBN kesici takım ile işlenmesinde kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

<b>K<sub>3</sub> (% 87 AlumiX 13 + % 8 B<sub>4</sub>C + % 5 Ni(K)Gr)</b>		<b>Kesme Hızı (m/dak)</b>			
<b>Kesme Derinliği (mm)</b>	<b>İlerleme Miktarı (mm/dev)</b>	<b>100</b>	<b>140</b>	<b>180</b>	<b>220</b>
		<b>Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (µm)</b>			
<b>0,5</b>	<b>0,1</b>	1,47	1,43	1,38	1,37
	<b>0,15</b>	1,52	1,49	1,42	1,38
	<b>0,20</b>	1,54	1,51	1,49	1,44



Şekil 5.27. K<sub>3</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takım ile dört farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme miktarlarında işlenmesinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin grafik gösterimi.

Şekil 5.27' deki grafik incelendiğinde K<sub>3</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemede artan kesme hızıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde iyileşme gerçekleştiği görülmüştür. En yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin 0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev ilerleme miktarlarında 100 m/dak kesme hızında sırasıyla 1,47 µm, 1,52 µm ve 1,54 µm olarak ölçülmüştür. En düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri üç farklı ilerleme miktarında 220 m/dak kesme hızında sırasıyla % 6,80 (1,37 µm), % 9,21 (1,38 µm) ve % 6,49 (1,44 µm) oranında iyileşme göstermiştir. En düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerinin 0,1 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızının % 120 oranında artmasıyla 1,37 µm olarak ölçülerek literatür ile benzerlik göstermiştir [164-166].



Şekil 5.28. K<sub>3</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takım ile üç farklı ilerleme miktarı ve dört farklı kesme hızlarında işlenmesinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin grafiği gösterimi.

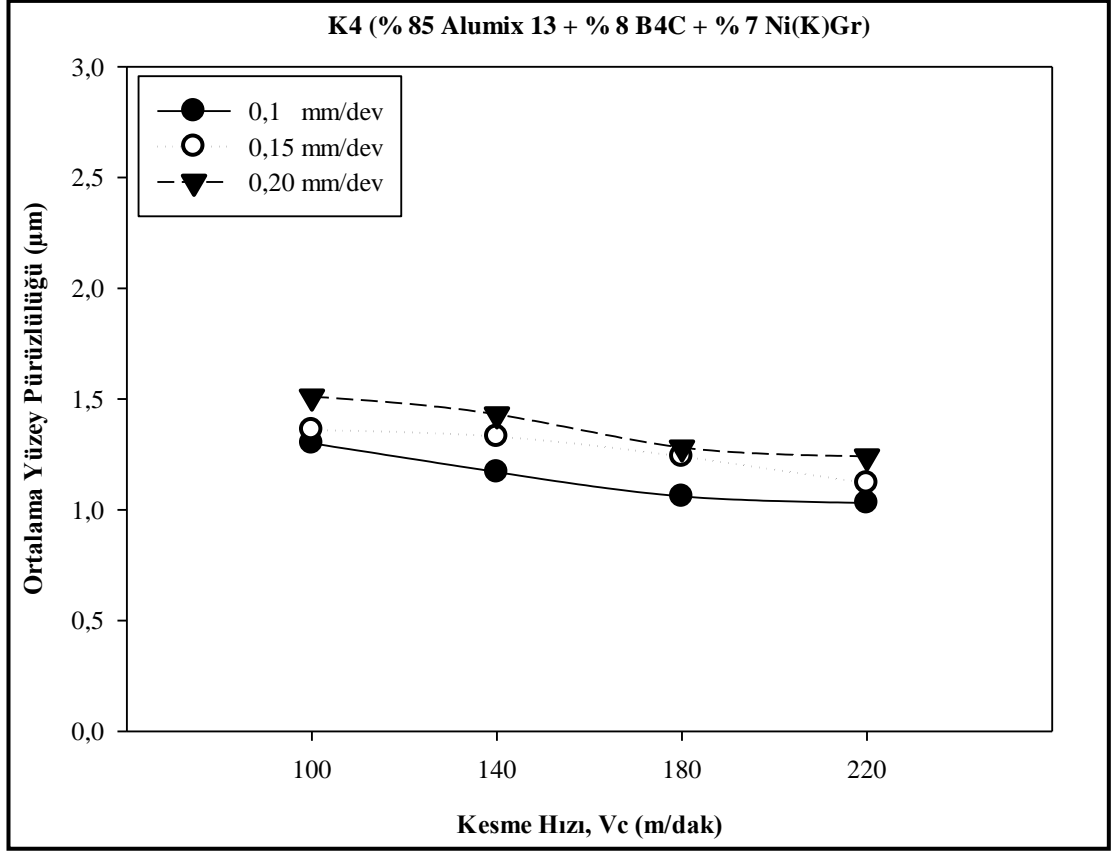
Şekil 5.28' deki grafik incelendiğinde K<sub>3</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemede ilerleme miktarının artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde artış gerçekleştiği görülmüştür. Dört farklı kesme hızında ise kesme hızının artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerin iyileşme olduğu görülmüştür. En düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri 0,10 mm/dev ilerleme miktarında dört farklı kesme hızlarında (100, 140, 180 ve 220 m/dak) sırasıyla 1,47 µm, 1,43 µm, 1,38 µm ve 1,37 µm olarak ölçülmüştür. En yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ise 0,20 mm/dev ilerleme miktarında dört farklı kesme hızında sırasıyla % 4,76 (1,54 µm), % 5,59 (1,51 µm), % 7,97 (1,49 µm) ve % 5,1 (1,44 µm) oranında artış göstermiştir. En yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerinin 100 m/dak kesme hızında 0,20 mm/dev ilerleme miktarında 1,54 µm olarak belirlenmiştir. İlerleme miktarının artması ile bütün kesme hızlarında ortalama yüzey pürüzlülük

değerlerinde artış gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışma literatür ile benzerlik göstermiştir [164,166].

SP tekniği ile üretilen ağırlıkça % 85 Alumix 13 + % 8 B<sub>4</sub>C + % 7 Ni(K)Gr içeren K<sub>4</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin işlenebilirlik deneylerinden kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri e Çizelge 5.12' de gösterilmiştir. Çizelge 5.12' de gösterilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri grafik olarak ise Şekil 5.29 ve Şekil 5.30' de gösterilmiştir.

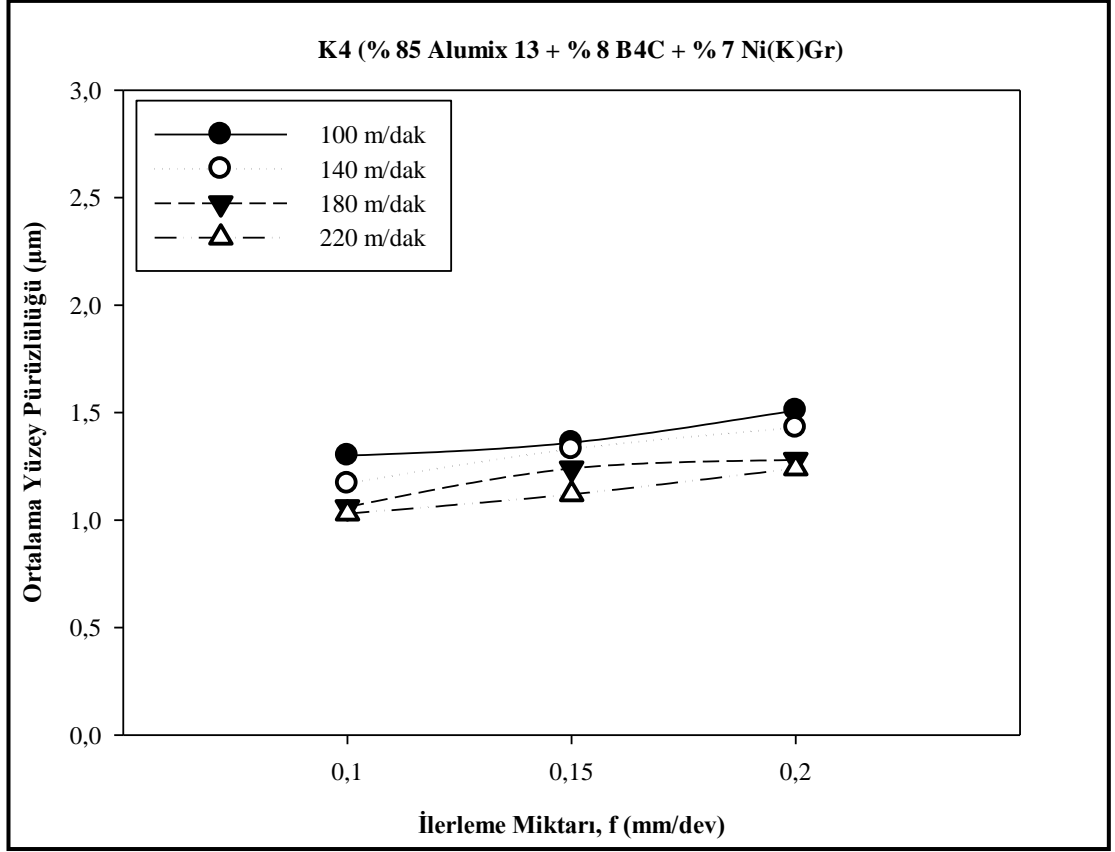
Çizelge 5.12. K<sub>4</sub> (% 85 Alumix 13 + % 8 B<sub>4</sub>C + % 7 Ni(K)Gr) karma takviyeli MMK malzemesinin TiN kaplı CBN kesici takım ile işlenmesinde kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

<b>K<sub>4</sub> (% 85 Alumix 13 + % 8 B<sub>4</sub>C + % 7 Ni(K)Gr)</b>					
<b>Kesme Derinliği (mm)</b>	<b>İlerleme Miktarı (mm/dev)</b>	<b>Kesme Hızı (m/dak)</b>			
		<b>100</b>	<b>140</b>	<b>180</b>	<b>220</b>
		<b>Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (µm)</b>			
<b>0,5</b>	<b>0,1</b>	1,30	1,17	1,06	1,03
	<b>0,15</b>	1,36	1,33	1,24	1,12
	<b>0,20</b>	1,51	1,43	1,28	1,24



Şekil 5.29. K<sub>4</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takım ile dört farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme miktarlarında işlenmesinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin grafik gösterimi.

Şekil 5.29' daki grafik incelendiğinde K<sub>4</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemede artan kesme hızıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde iyileşme gerçekleştiği görülmüştür. En yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin 0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev ilerleme miktarlarında 100 m/dak kesme hızında sırasıyla 1,30 µm, 1,36 µm ve 1,51 µm olarak ölçülmüştür. En düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri üç farklı ilerleme miktarlarında 220 m/dak kesme hızında sırasıyla % 20,7 (1,03 µm), % 17,64 (1,12 µm) ve % 17,88 (1,24 µm) oranında iyileşme göstermiştir. En düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerinin 0,1 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızının % 120 oranında artmasıyla 1,03 µm olarak ölçülmüştür. Yapılan çalışma literatür ile benzerlik göstermiştir [164-166].



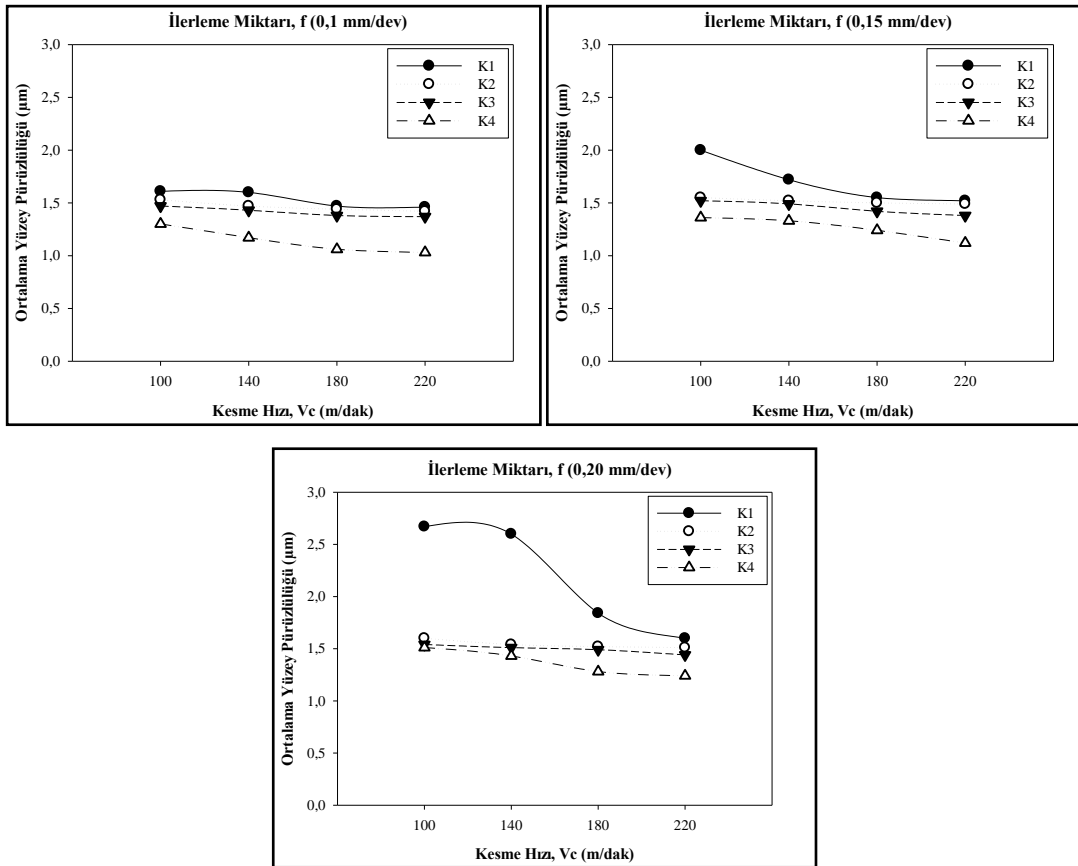
Şekil 5.30. K<sub>4</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takım ile üç farklı ilerleme miktarı ve dört farklı kesme hızlarında işlenmesinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin grafik gösterimi.

Şekil 5.30' daki grafikler incelendiğinde K<sub>4</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemede ilerleme miktarının artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde artış gerçekleştiği görülmüştür. Dört farklı kesme hızında ise kesme hızının artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde iyileşme olduğu görülmüştür. En düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri 0,10 mm/dev ilerleme miktarında dört farklı kesme hızlarında (100, 140, 180 ve 220 m/dak) sırasıyla 1,30 µm, 1,17 µm, 1,06 µm ve 1,03 µm olarak ölçülmüştür. En yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ise 0,20 mm/dev ilerleme miktarında dört farklı kesme hızlarında sırasıyla % 16,15 (1,51 µm), % 22,22 (1,43 µm), % 20,75 (1,28 µm) ve % 20,38 (1,24 µm) oranında artış göstermiştir. En yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerinin 100 m/dak kesme hızında 0,20 mm/dev ilerleme miktarında 1,51 µm olarak belirlenmiştir. İlerleme miktarının artması ile bütün kesme hızlarında ortalama yüzey pürüzlülük

değerlerinde artış gerçekleşmiştir. Yapılan çalışma literatür ile benzerlik göstermiştir [164,166].

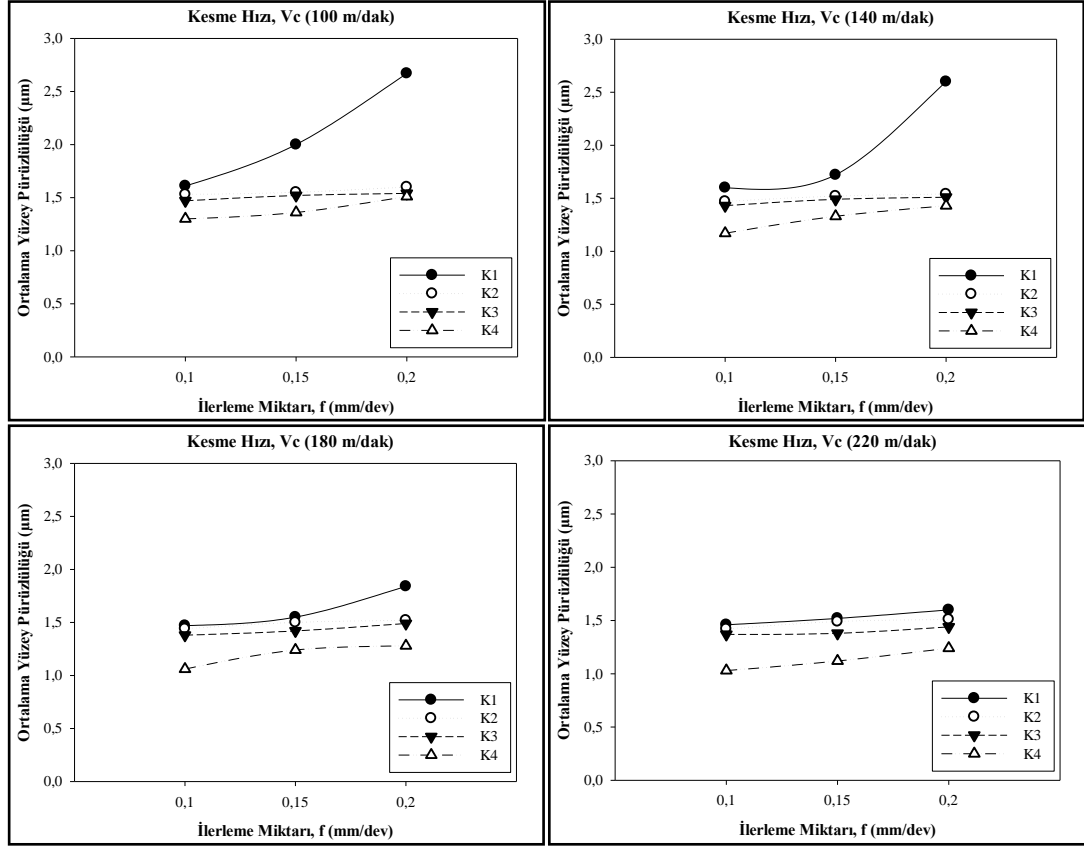
## 5.6. TAKVİYE ELEMANININ (Ni(K)Gr) İŞLENEBİLİRLİK ÜZERİNE ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

SP tekniği ile üretilen K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, K<sub>3</sub> ve K<sub>4</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemelerin içerisinde takviye elemanı olarak bulunan Ni(K)Gr'nin işlenebilirlik üzerine etkisini görmek için yapılan dört farklı kesme hızlarında ve üç farklı ilerleme miktarlarında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 5.31 ve Şekil 5.32' de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.31. TiN kaplamalı CBN kesici takımlar ile işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirilen karma takviyeli MMK malzemelerin dört farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme miktarına bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin grafik gösterimi.





Şekil 5.32. TiN kaplamalı CBN kesici takımlar ile işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirilen karma takviyeli MMK malzemelerin üç farklı ilerleme miktarı ve dört farklı kesme hızına bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin grafik gösterimi.

Şekil 5.31 ve Şekil 5.32’deki grafikler incelendiğinde en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerinin bütün ilerleme miktarında ve kesme hızlarında içerisinde ağırlıkça % 7 oranında Ni(K)Gr takviye elemanı bulunan K<sub>4</sub> nolu karma takviyeli MMK malzemede elde edilmiştir. En yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin ise içerisinde ağırlıkça Ni(K)Gr takviye elemanı bulunmayan K<sub>1</sub> kodlu MMK malzemede elde edilmiştir.

Karma takviyeli MMK malzeme üretiminde takviye elemanı olarak kullanılan grafit miktarının artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde iyileşme gerçekleştiği görülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan grafitin (Ni(K)Gr) iş parçası malzemesinin ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin iyileştirmesi iki nedene bağlanmıştır. İlk olarak grafitin sürtünen yüzeylerde kayma gerilmesi şiddetini azaltıp metal metal temasını önleyerek hem iki kayar yüzey arasında katı yağlayıcı

görevini yerine getirerek sürtünmeyi ve aşınmayı azaltması hem de kompozit malzemenin darbelere karşı direncini geliştirmesine [155,167], İkinci olarak ise MMK malzemelerin üretimi esnasında uygulanan basınç ile deforme olan grafit parçacıklarının işleme esnasında kolaylıkla matris yapıdan ayrılmasına ve grafitin kuru kesme şartlarında katı yağlayıcı olarak kullanılmasına bağlanabilir [2,154,155, 168-170].

## **5.7. ORTALAMA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ**

K<sub>1</sub> kodlu MMK malzemede artan kesme hızıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde iyileşme gerçekleştiği, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin 0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev ilerleme miktarında 100 m/dak kesme hızında sırasıyla 1,61 µm, 2,00 µm ve 2,67 µm olarak ölçülmüştür. En düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri üç farklı ilerleme miktarında 220 m/dak kesme hızında sırasıyla % 9,3, % 24 ve % 40 oranında iyileşme göstermiştir. En düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerinin 0,1 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızının % 120 oranında artmasıyla 1,46 µm olarak ölçülmüştür.

K<sub>1</sub> kodlu MMK malzemede ilerleme miktarının artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde artış gerçekleştiği, en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri 0,10 mm/dev ilerleme miktarında 100, 140, 180 ve 220 m/dak kesme hızlarında sırasıyla 1,61 µm, 1,60 µm, 1,47 µm ve 1,46 µm olarak ölçüldüğü, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ise 0,20 mm/dev ilerleme miktarında dört farklı kesme hızında sırasıyla % 65,8, % 62,5, % 25,1 ve % 9,5 oranında artış gösterdiği, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerinin 0,20 mm/dev ilerleme miktarında 100 m/dak kesme hızında 2,67 µm olarak oluştuğu belirlenmiştir.

Ağırlıkça % 3 Ni(K)Gr içeren K<sub>2</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemede, artan kesme hızıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde iyileşme gerçekleştiği, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin 0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev ilerleme miktarında 100 m/dak kesme hızında sırasıyla 1,53 µm, 1,55 µm ve 1,60 µm olarak gerçekleştiği, en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri üç farklı ilerleme

miktarında 220 m/dak kesme hızında sırasıyla % 7,18, % 3,87 ve % 5,61 oranında iyileşme gösterdiği, en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerinin 0,1 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızının % 120 oranında artmasıyla 1,42 µm olarak tespit edilmiştir.

Ağırlıkça % 3 Ni(K)Gr içeren K<sub>2</sub> kodlu MMK malzemedeki ilerleme miktarının artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde artış gerçekleştiği, en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri 0,10 mm/dev ilerleme miktarında 100, 140, 180 ve 220 m/dak kesme hızlarında sırasıyla 1,53 µm, 1,47 µm, 1,44 µm ve 1,42 µm olarak ölçüldüğü, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin ise 0,20 mm/dev ilerleme miktarında dört farklı kesme hızında sırasıyla % 4,5, % 4,7, % 5,5 ve % 6,3 oranında artış gösterdiği, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerinin 100 m/dak kesme hızında 0,20 mm/dev ilerleme miktarında 1,60 µm olarak tespit edilmiştir.

Ağırlıkça % 5 Ni(K)Gr içeren K<sub>3</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemedeki artan kesme hızıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde iyileşme gerçekleştiği görüldüğü, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin 0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev ilerleme miktarında 100 m/dak kesme hızında sırasıyla 1,47 µm, 1,52 µm ve 1,54 µm olarak ölçüldüğü, en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri üç farklı ilerleme miktarında 220 m/dak kesme hızında sırasıyla % 6,80, % 9,21 ve % 6,49 oranında iyileşme gösterdiği, en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerinin 0,1 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızının % 120 oranında artmasıyla 1,37 µm olarak ölçüldüğü tespit edilmiştir.

Ağırlıkça % 5 Ni(K)Gr içeren K<sub>3</sub> kodlu MMK malzemedeki ilerleme miktarının artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde artış gerçekleştiği, en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri 0,10 mm/dev ilerleme miktarında 100, 140, 180 ve 220 m/dak kesme hızlarında sırasıyla 1,47 µm, 1,43 µm, 1,38 µm ve 1,37 µm olarak ölçüldüğü, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ise 0,20 mm/dev ilerleme miktarında dört farklı kesme hızında sırasıyla % 4,76, % 5,59, % 7,97 ve % 5,1 oranında artış gösterdiği, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerinin 100 m/dak kesme hızında 0,20 mm/dev ilerleme miktarında 1,55 µm olarak tespit edilmiştir.

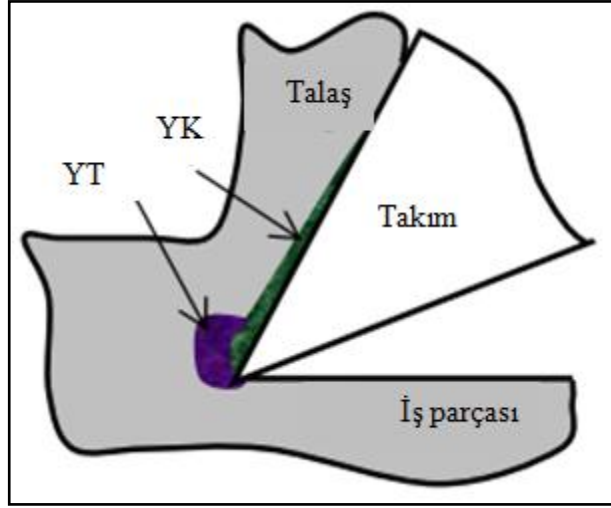
Ağırlıkça % 7 Ni(K)Gr içeren K<sub>4</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemede artan kesme hızıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde iyileşme gerçekleştiği, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin 0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev ilerleme miktarında 100 m/dak kesme hızında sırasıyla 1,30 µm, 1,36 µm ve 1,51 µm olarak oluştuğu, en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri üç farklı ilerleme miktarında 220 m/dak kesme hızında sırasıyla % 20,7, % 17,64 ve % 17,88 oranında iyileşme gösterdiği, en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerinin 0,1 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızının % 120 oranında artmasıyla 1,03 µm olarak tespit edilmiştir.

Ağırlıkça % 7 Ni(K)Gr içeren K<sub>4</sub> kodlu MMK malzemede ilerleme miktarının artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde artış gerçekleştiği, en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri 0,10 mm/dev ilerleme miktarında 100, 140, 180 ve 220 m/dak kesme hızlarında sırasıyla 1,30 µm, 1,17 µm, 1,06 µm ve 1,03 µm olarak oluştuğu, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ise 0,20 mm/dev ilerleme miktarında dört farklı kesme hızında sırasıyla % 16,15, % 22,22, % 20,75 ve % 20,38 oranında artış gösterdiği, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerinin 100 m/dak kesme hızında 0,20 mm/dev ilerleme miktarında 1,51 µm olarak oluştuğu tespit edilmiştir.

### **5.7.1. Kesici Takım Aşınması**

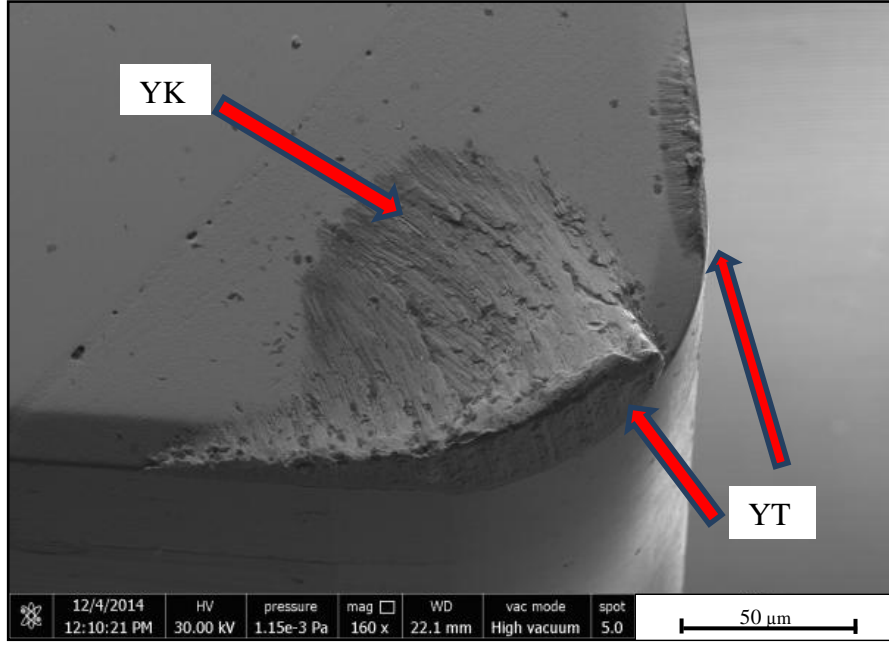
İş parçası malzemesi, takım yüzeyine iki farklı şekilde ve hemen hemen eş zamanlı olarak yapışır. Bunlardan en çok bilineni, iş parçası malzemesinin kesici takımın kesme kenarına yapışması ile oluşan Yığıntı Talaş (YT)'dir. Bir diğer yapışma aşınması ise iş parçası malzemesi kesici takım talaş yüzeyinde geniş alana yayılarak ince katman olarak yapışmasıyla oluşan yığıntı katmanı (YK)'dir [171]. Çoğunlukla düşük ve orta seviyedeki kesme hızlarında görülen YT ve YK, yapılarında birden fazla faz bulunduran alaşımların işlenmesinde, pekleşen iş parçası malzemesinin kesici takım talaş yüzeyinde ve kesici uç etrafında kümelenerek talaşın kesici takımla doğrudan temasını engeller (Şekil 5.33) [171]. YT oluşumu ile yoğun ve hızlı kayma deformasyonu takım yüzeyinden YT yüzeyine taşınır [13,172]. YT' nin kesici takım yüzeyinden atılması esnasında bir kısım kesici takım malzemesi de yığıntı talaşla

birlikte kopup gidebilir [13,173]. Bazı durumlarda YT kesici uç üzerinden iş parçası malzemesine doğru çıkıntı oluşturarak talaş derinliğini artırır ve bu çıkıntı düzensiz bir yapıya sahip olacağı için ortalama yüzey pürüzlülüğünü artırır [13,174].



Şekil 5.33. Kesici takımında oluşan YT ve YK'nın şematik görüntüsü [171].

Bu çalışmada, kesici takım aşınmasını iyi ifade edebilmek için her bir kesici takım üzerinden SEM ve optik görüntüsü alınmıştır (Şekil 5.34). Alınan optik görüntüsü üzerinden YT'nin yükseklik değerleri ölçülmüştür. Fakat YK yalnızca görüntü olarak değerlendirilmiştir.

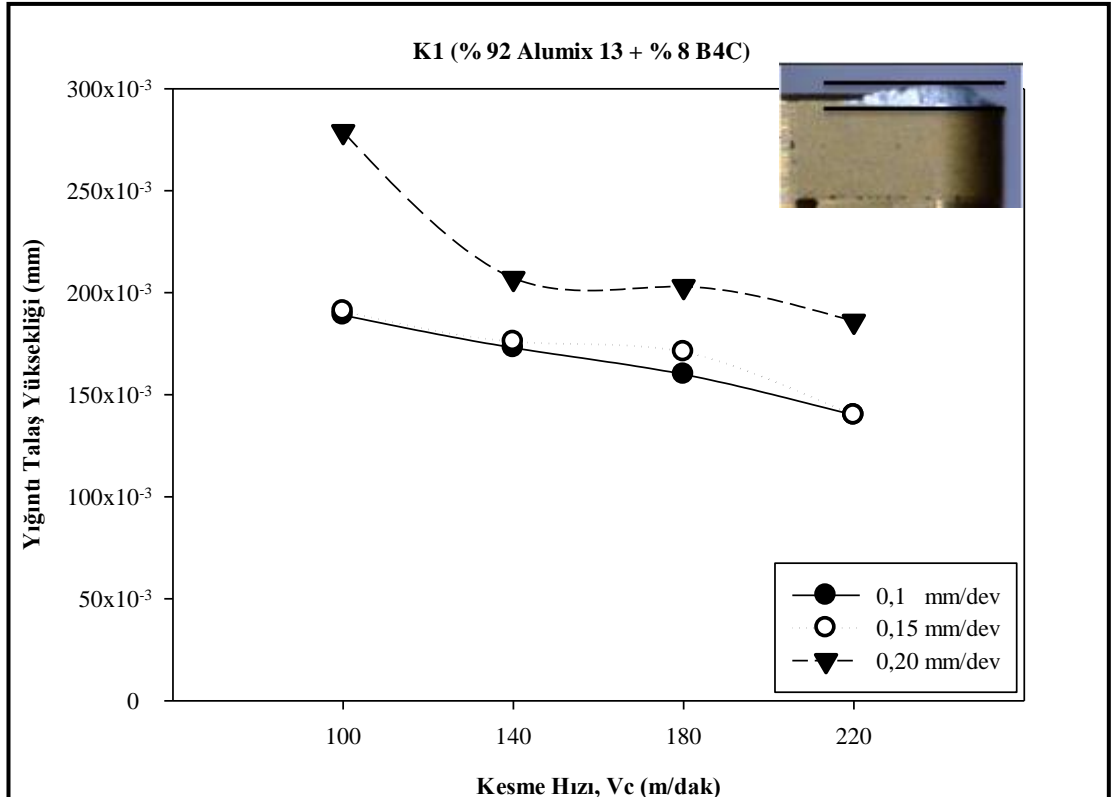


Şekil 5.34. Kesici takım üzerinde oluşan YT ve YK aşınma SEM görüntüsü

SP tekniği ile üretilen ağırlıkça % 92 Alumix 13 + % 8 B<sub>4</sub>C içeren K<sub>1</sub> kodlu MMK malzemenin işlenebilirlik deneyleri sonucunda kesici takım üzerinde oluşan YT değerleri Çizelge 5.13' de grafik olarak ise Şekil 5.35 ve Şekil 5.36' de gösterilmiştir.

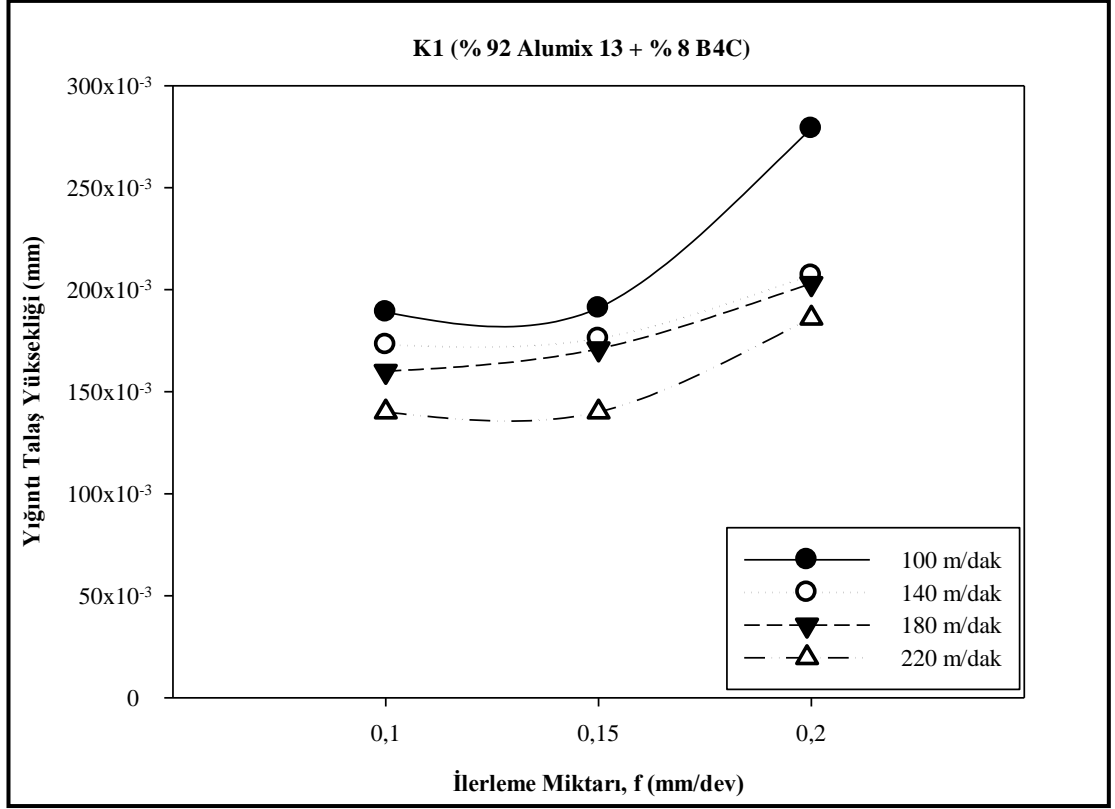
Çizelge 5.13. K<sub>1</sub> (% 92 Alumix 13 + % 8 B<sub>4</sub>C) MMK malzemesinin TiN kaplamalı CBN kesici takım ile işlenmesinde kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesici takım üzerinde oluşan YT değerleri.

K <sub>1</sub> (% 92 Alumix 13 + % 8 B <sub>4</sub> C)		Kesme Hızı (m/dak)			
Kesme Derinliği (mm)	İlerleme Miktarı (mm/dev)	100	140	180	220
		Yığıntı Talaş Yüksekliği (mm)			
0,5	0,1	0,189	0,173	0,160	0,140
	0,15	0,191	0,176	0,171	0,140
	0,20	0,279	0,207	0,203	0,186



Şekil 5.35. K<sub>1</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takım ile dört farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme miktarında işlenmesinde kesici takım üzerinde oluşan YT değerlerinin grafik gösterimi.

Kesme hızının artmasıyla bu yığıntı talaş katmanlarının, genişlik ve yüksekliklerinin azaldığı ve daha kararsız yığıntı talaş katmanları şeklinde oluştuğu bilinmektedir [68]. Şekil 5.35' deki grafik incelendiğinde K<sub>1</sub> kodlu MMK malzemede kesme hızının artması ile kesici takım üzerinde oluşan YT değerlerinin azaldığı görülmüştür. İlerleme miktarının artmasıyla YT değerlerinde artış olduğu görülmüştür. 0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev ilerleme miktarında en yüksek YT değerleri 100 m/dak kesme hızında sırasıyla 0,189 mm, 0,191 mm ve 0,279 mm olarak ölçülmüştür. En düşük YT değerlerinin ise 220 m/dak kesme hızında 0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev ilerleme miktarlarında sırasıyla % 26 , % 26,7 ve % 33,3 oranında iyileşme göstererek 0,140 mm, 0,140 mm ve 0,186 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.36. K<sub>1</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takım ile üç farklı ilerleme miktarı ve dört farklı kesme hızında işlenmesinde kesici takım üzerinde elde edilen YT değerlerinin grafik gösterimi.

İlerleme miktarının artması ile YT oluşumunun arttığı bilinmektedir [175]. Şekil 5.36' daki grafik incelendiğinde bütün kesme hızlarında (100, 140, 180 ve 220 m/dak) en düşük YT değerlerinin 0,10 mm/dev ilerleme miktarında sırasıyla 0,189 mm, 0,173 mm, 0,160 mm ve 0,140 mm, olarak ölçülmüştür. En yüksek YT ölçümleri % 47,6 (0,279 mm), % 19,65 (0,202 mm), % 26,87 (0,203 mm) ve % 24,73 (0,186 mm) oranında artış göstererek 0,20 mm/dev ilerleme miktarında oluşmuştur.

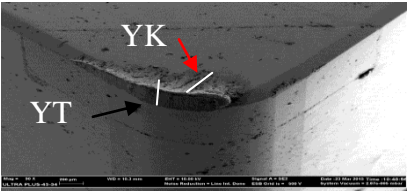
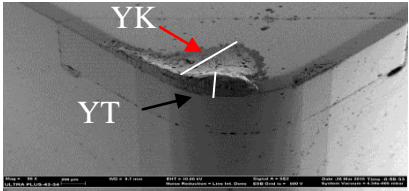
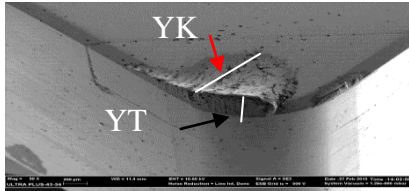
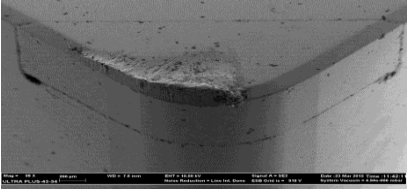
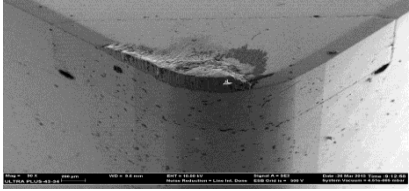
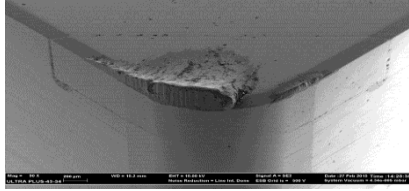
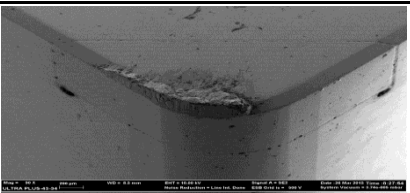
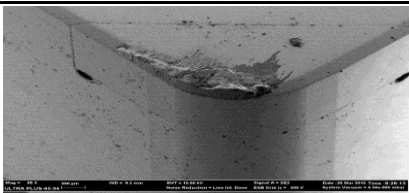
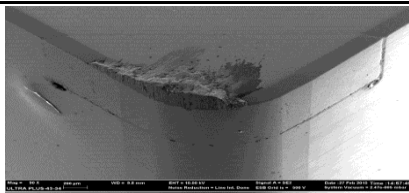
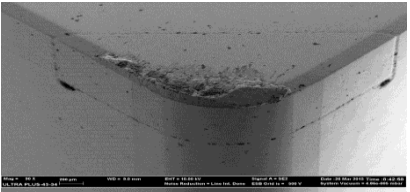
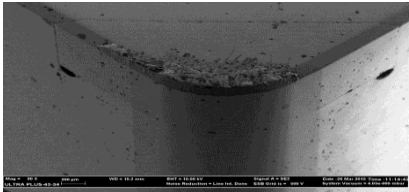
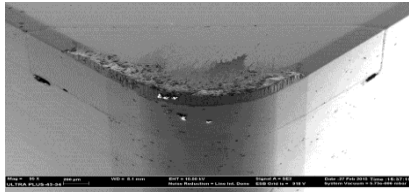
Kuru kesme şartlarında gerçekleştirilen işlenebilirlik deneylerinde kesme hızı ve ilerleme miktarına göre YT oluşumunun etkileri incelendiğinde kesici takım üzerinde oluşan YT arttıkça ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde bir artış olduğu belirlenmiştir. Artan kesme hızına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülük değerlerindeki iyileşme yüksek kesme hızlarında YT talaş oluşumunun düşmesine bağlanmaktadır. Elde edilen değerler literatürle benzerlik göstermiştir [164,176].



MMK malzemelerin işlenmesinde ilerleme miktarının artması ile YT oluşumunun arttığı görülmüştür. İlerleme miktarının artmasıyla talaş kesit alanındaki artış sebebiyle, takım ucuna yığılan talaş miktarında da artış görülmesi normal bir sonuç olarak değerlendirilmektedir [2,177].

K<sub>1</sub> kodlu MMK malzemenin kesme hızı ve ilerleme miktarlarına göre kesici takım üzerinde YT ve YK oluşumlarının SEM görüntüleri toplu olarak Çizelge 5.14' de gösterilmiştir.

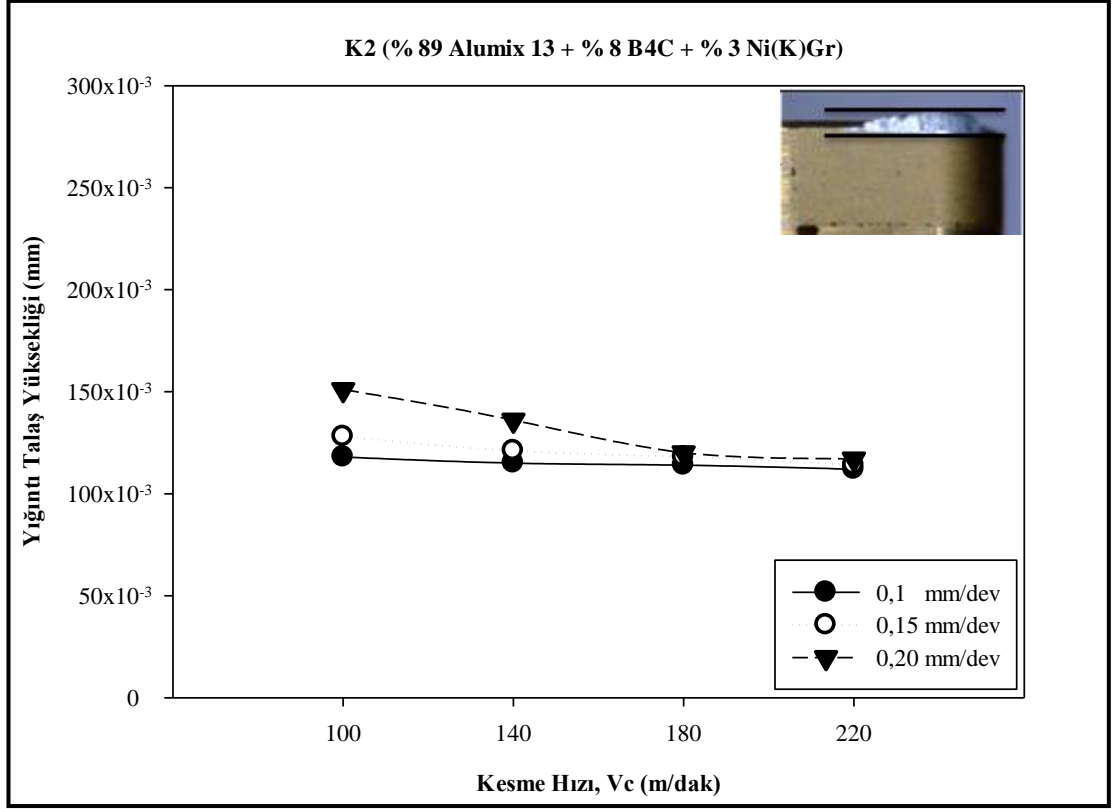
Çizelge 5.14. K<sub>1</sub> kodlu MMK malzemenin kesme hızı ve ilerleme miktarlarına göre kesici takım üzerinde YT ve YK oluşumlarının SEM görüntüleri.

Kesme hızı (m/dak)	0,1 (mm/dev)	0,15 (mm/dev)	0,20 (mm/dev)
100			
140			
180			
220			

SP tekniği ile üretilen ağırlıkça % 89 AlumiX 13 + % 8 B<sub>4</sub>C + % 3 Ni(K)Gr içeren K<sub>2</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin işlenebilirlik deneyleri sonucunda kesici takım üzerinde oluşan YT değerleri izelge 5.15' de grafik olarak ise Şekil 5.37 ve Şekil 5.38' de gösterilmiştir.

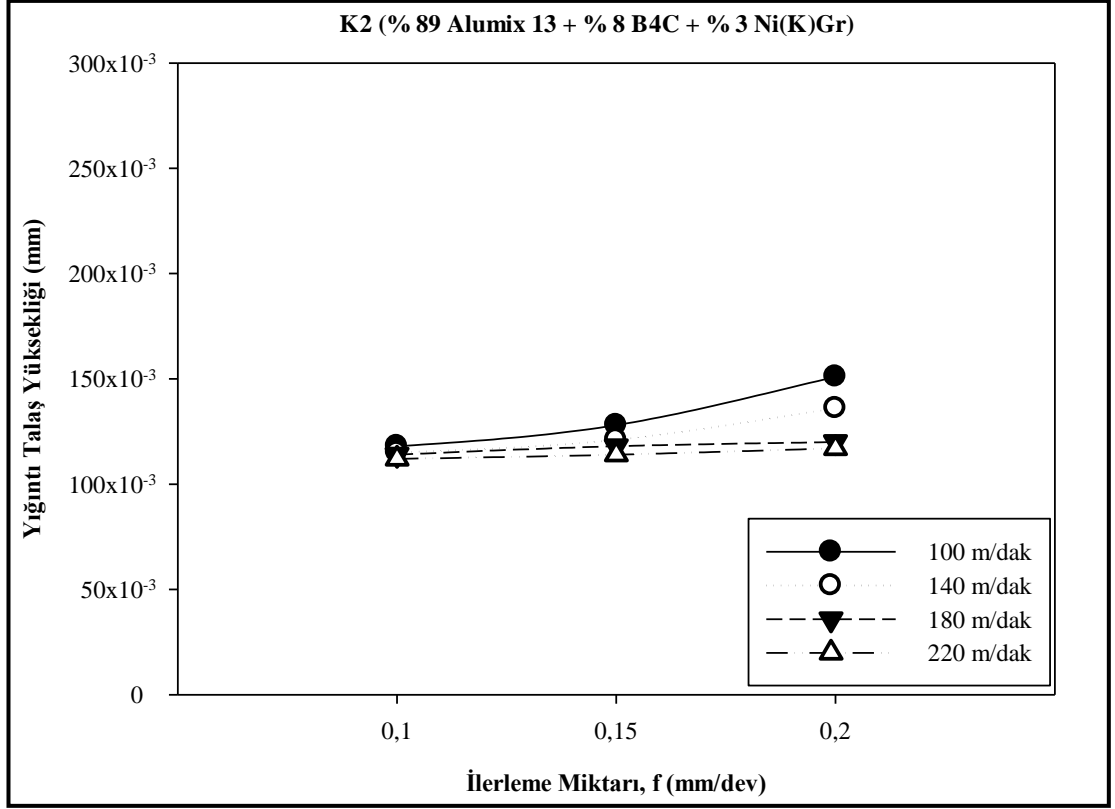
Çizelge 5.15. K<sub>2</sub> (% 89 AlumiX 13 + % 8 B<sub>4</sub>C + % 3 Ni(K)Gr) MMK malzemesinin TiN kaplamalı CBN kesici takım ile işlenmesinde kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesici takım üzerinde oluşan YT değerleri.

<b>K<sub>2</sub> (% 89 AlumiX 13 + % 8 B<sub>4</sub>C + % 3 Ni(K)Gr)</b>					
<b>Kesme Derinliği (mm)</b>	<b>İlerleme Miktarı (mm/dev)</b>	<b>Kesme Hızı (m/dak)</b>			
		<b>100</b>	<b>140</b>	<b>180</b>	<b>220</b>
<b>Yığıntı Talaş Yüksekliği (mm)</b>					
<b>0,5</b>	<b>0,1</b>	0,118	0,115	0,114	0,112
	<b>0,15</b>	0,128	0,121	0,118	0,114
	<b>0,20</b>	0,151	0,136	0,120	0,117



Şekil 5.37. K<sub>2</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takım ile dört farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme miktarında işlenmesinde kesici takım üzerinde oluşan YT değerlerinin grafik gösterimi.

Şekil 5.37' deki grafik incelendiğinde K<sub>2</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemede kesme hızının artması ile kesici takım üzerinde oluşan YT değerlerinin azaldığı görülmüştür. İlerleme miktarının artmasıyla YT değerlerinde artış olduğu görülmüştür. 0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev ilerleme miktarında en yüksek YT değerleri 100 m/dak kesme hızında sırasıyla 0,118 mm, 0,128 mm ve 0,151 mm olarak ölçülmüştür. En düşük YT değerlerinin ise 220 m/dak kesme hızında 0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev ilerleme miktarlarında sırasıyla % 5,08 , % 10,9 ve % 22,5 oranında iyileşme göstererek 0,112 mm, 0,114 mm ve 0,117 mm olarak ölçülmüştür. K<sub>2</sub> kodlu MMK malzeme K<sub>1</sub> nolu malzemede görüldüğü gibi kesme hızının artması ile kesici takım üzerinde oluşan YT değerlerinin azaldığı ilerleme miktarının artmasıyla YT değerlerinde artış olduğu görülmüştür. Yapı içerisine ilave edilen takviye elemanı ağırlıkça %3 Ni(K)Gr' nin YT oluşumunu K<sub>1</sub> kodlu malzemeye göre azalttığı tespit edilmiştir. Yapılan çalışma literatür ile benzerlik göstermiştir [2, 154, 155, 164,167-170,176].

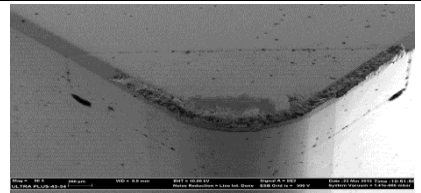
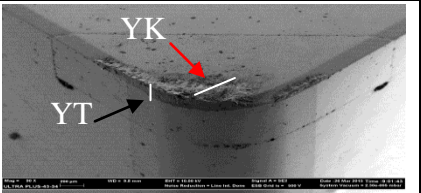
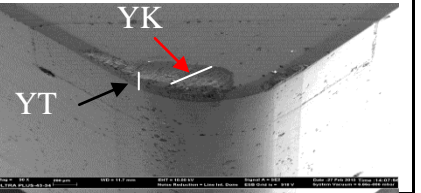
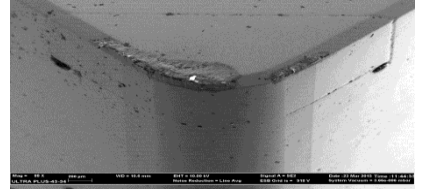
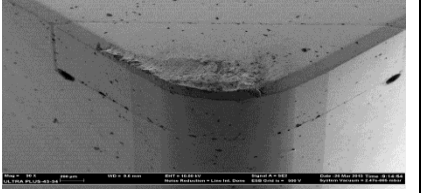
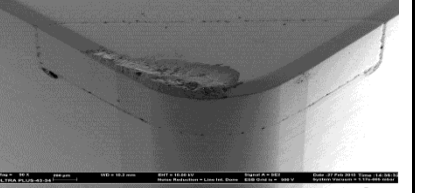
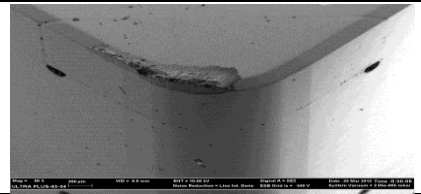
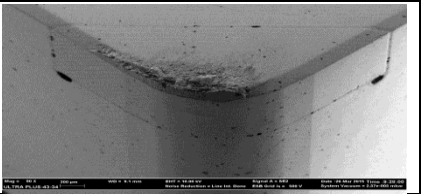
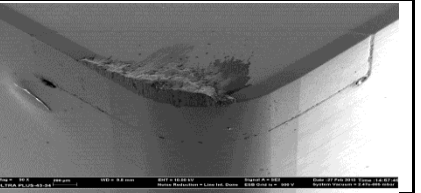
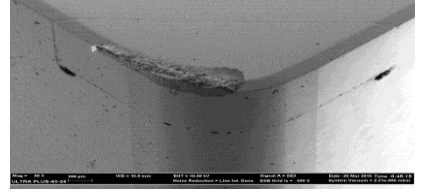
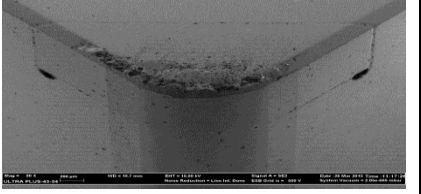
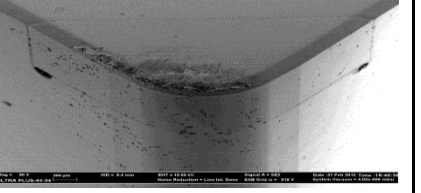


Şekil 5.38. K<sub>2</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takım ile üç farklı ilerleme miktarı ve dört farklı kesme hızında işlenmesinde kesici takım üzerinde elde edilen YT değerlerinin grafik gösterimi.

Şekil 5.38' deki grafik incelendiğinde bütün kesme hızlarında (100, 140, 180 ve 220 m/dak) en düşük YT değerlerinin 0,10 mm/dev ilerleme miktarında sırasıyla 0,118 mm, 0,115 mm, 0,114 mm ve 0,112 mm, olarak ölçülmüştür. En yüksek YT ölçümleri % 27,9 (0,151 mm), % 18,2 (0,136 mm), % 5,2 (0,120 mm) ve % 4,46 (0,117 mm) oranında artış göstererek 0,20 mm/dev ilerleme miktarında oluşmuştur.

K<sub>2</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin kesme hızı ve ilerleme miktarlarına göre kesici takım üzerinde YT ve YK oluşumlarının SEM görüntüleri toplu olarak Çizelge 5.16' da gösterilmiştir.

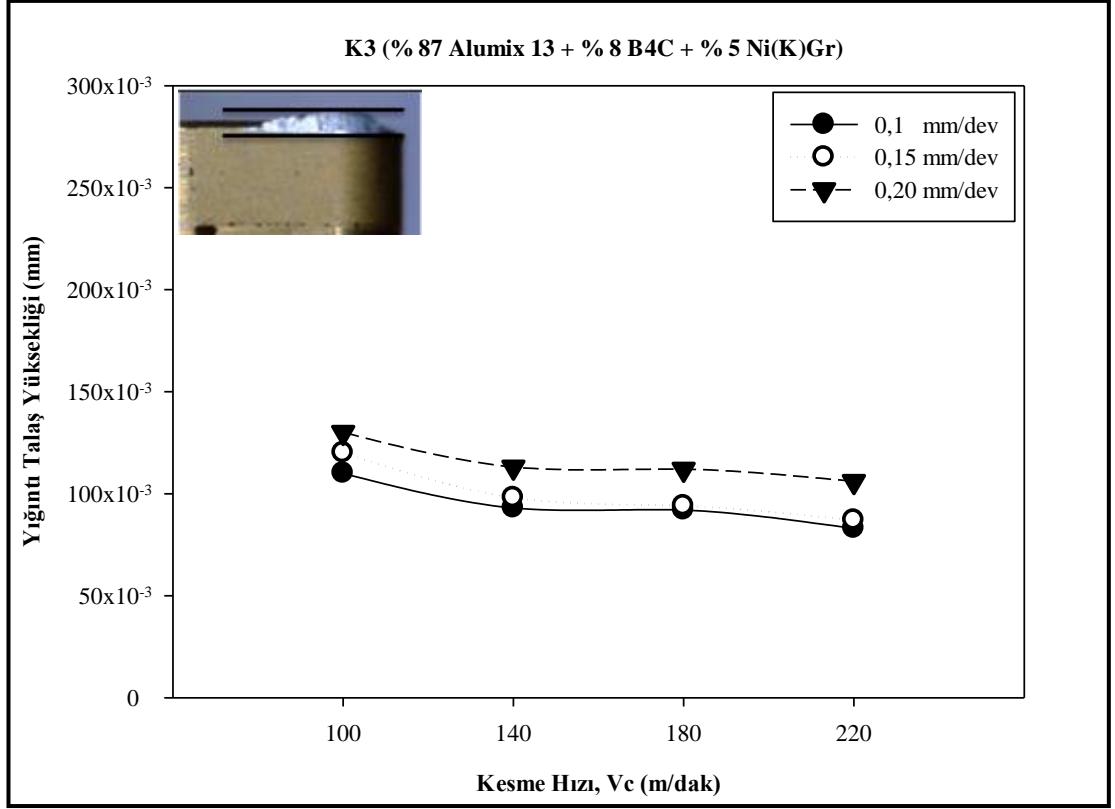
Çizelge 5.16. K<sub>2</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin kesme hızı ve ilerleme miktarlarına göre kesici takım üzerinde YT ve YK oluşumlarının SEM görüntüleri.

Kesme hızı (m/dak)	0,1 (mm/dev)	0,15 (mm/dev)	0,20 (mm/dev)
100			
140			
180			
220			

SP tekniği ile üretilen ağırlıkça % 87 AlumiX 13 + % 8 B<sub>4</sub>C + % 5 Ni(K)Gr içeren K<sub>3</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin işlenebilirlik deneyleri sonucunda kesici takım üzerinde oluşan YT değerleri izelge 5.17' de kesme hızı ve ilerleme miktarına göre Şekil 5.39 ve Şekil 5.40' da gösterilmiştir.

Çizelge 5.17. K<sub>3</sub> (% 87 AlumiX 13 + % 8 B<sub>4</sub>C + % 5 Ni(K)Gr) MMK malzemesinin TiN kaplamalı CBN kesici takım ile işlenmesinde kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesici takım üzerinde oluşan YT değerleri.

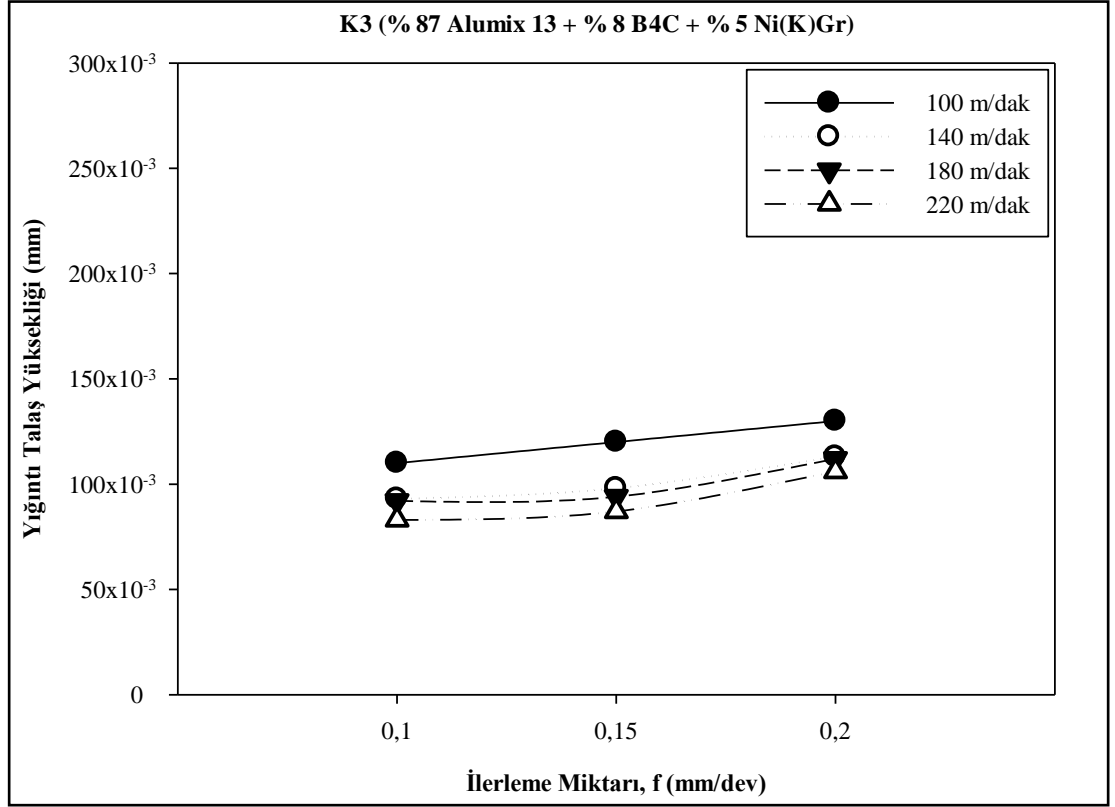
<b>K<sub>3</sub> (% 87 AlumiX 13 + % 8 B<sub>4</sub>C + % 5 Ni(K)Gr)</b>					
<b>Kesme Derinliği (mm)</b>	<b>İlerleme Miktarı (mm/dev)</b>	<b>Kesme Hızı (m/dak)</b>			
		<b>100</b>	<b>140</b>	<b>180</b>	<b>220</b>
		<b>Yığıntı Talaş Yüksekliği (mm)</b>			
<b>0,5</b>	<b>0,1</b>	0,110	0,093	0,092	0,083
	<b>0,15</b>	0,120	0,098	0,094	0,087
	<b>0,20</b>	0,130	0,113	0,112	0,106



Şekil 5.39. K<sub>3</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takım ile dört farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme miktarında işlenmesinde kesici takım üzerinde oluşan YT değerlerinin grafik gösterimi.

Şekil 5.39' deki grafik incelendiğinde K<sub>3</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemede kesme hızının artması ile kesici takım üzerinde oluşan YT değerlerinin azaldığı görülmüştür. İlerleme miktarının artmasıyla YT değerlerinde artış olduğu görülmüştür. 0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev ilerleme miktarında en yüksek YT değerleri 100 m/dak kesme hızında sırasıyla 0,110 mm, 0,120 mm ve 0,130 mm olarak ölçülmüştür. En düşük YT değerlerinin ise 220 m/dak kesme hızında 0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev ilerleme miktarlarında sırasıyla % 24,5, % 27,5 ve % 18,46 oranında iyileşme göstererek 0,083 mm, 0,087 mm ve 0,106 mm olarak ölçülmüştür. Yapı içerisine ilave edilen takviye elemanı ağırlıkça %5 Ni(K)Gr' nin YT oluşumu % 3 Ni(K)Gr' ye oranla daha az oluştuğu tespit edilmiştir [2, 154, 155, 164,167-170,176].



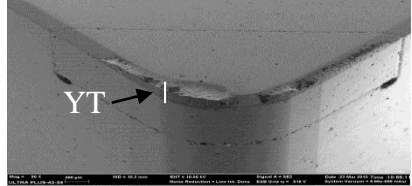
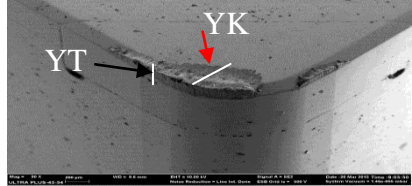

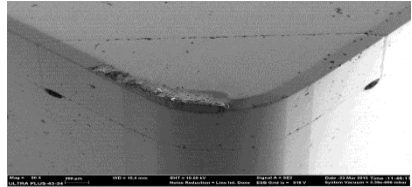
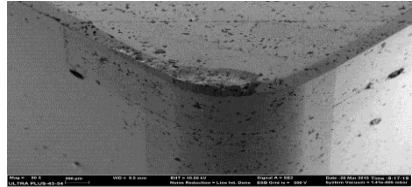
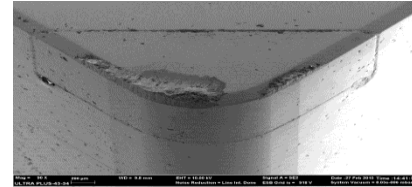
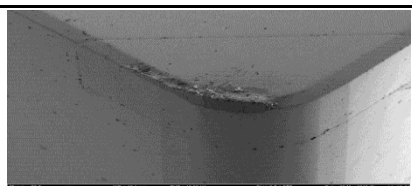
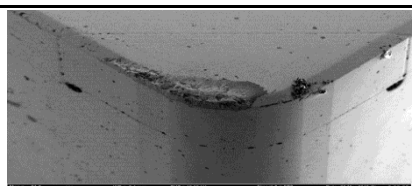
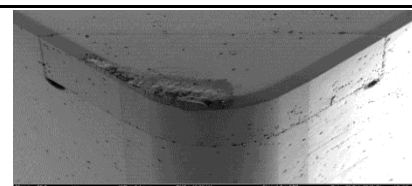
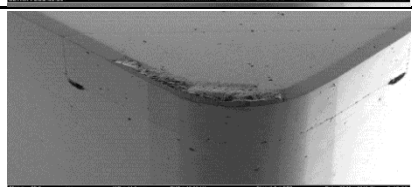
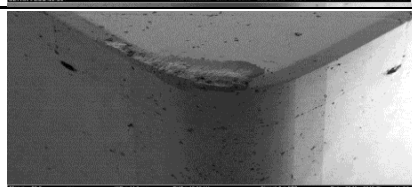
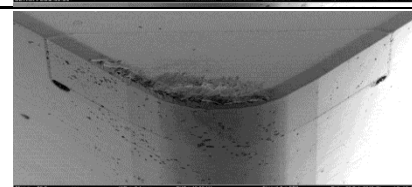


Şekil 5.40. K<sub>3</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takım ile üç farklı ilerleme miktarı ve dört farklı kesme hızında işlenmesinde kesici takım üzerinde elde edilen YT değerlerinin grafik gösterimi.

Şekil 5.40' daki grafik incelendiğinde bütün kesme hızlarında (100, 140, 180 ve 220 m/dak) en düşük YT değerlerinin 0,10 mm/dev ilerleme miktarında sırasıyla 0,110 mm, 0,093 mm, 0,092 mm ve 0,083 mm olarak ölçülmüştür. En yüksek YT ölçümleri % 18,2 (0,130 mm), % 21,5 (0,113 mm), % 21,73 (0,112 mm) ve % 27,7 (0,106 mm) oranında artış göstererek 0,20 mm/dev ilerleme miktarında oluşmuştur.

K<sub>3</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin kesme hızı ve ilerleme miktarlarına göre kesici takım üzerinde YT ve YK oluşumlarının SEM görüntüleri toplu olarak Çizelge 5.18' de gösterilmiştir.

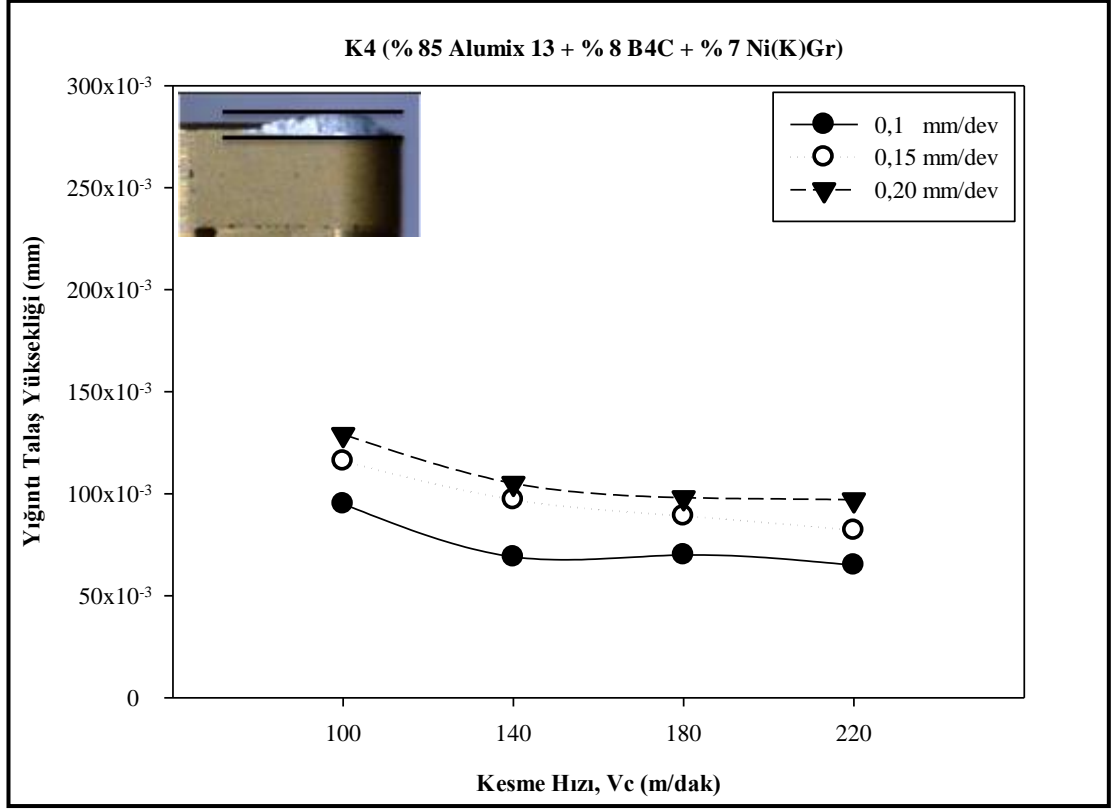
Çizelge 5.18. K<sub>3</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin kesme hızı ve ilerleme miktarlarına göre kesici takım üzerinde YT ve YK oluşumlarının SEM görüntüleri.

Kesme hızı (m/dak)	0,1 (mm/dev)	0,15 (mm/dev)	0,20 (mm/dev)
100			
140			
180			
220			

SP tekniği ile üretilen ağırlıkça % 85 AlumiX 13 + % 8 B<sub>4</sub>C + % 7 Ni(K)Gr içeren K<sub>4</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin işlenebilirlik deneyleri sonucunda kesici takım üzerinde oluşan YT değerleri izelge 5.19' de grafik olarak ise Şekil 5.41 ve Şekil 5.42' de gösterilmiştir.

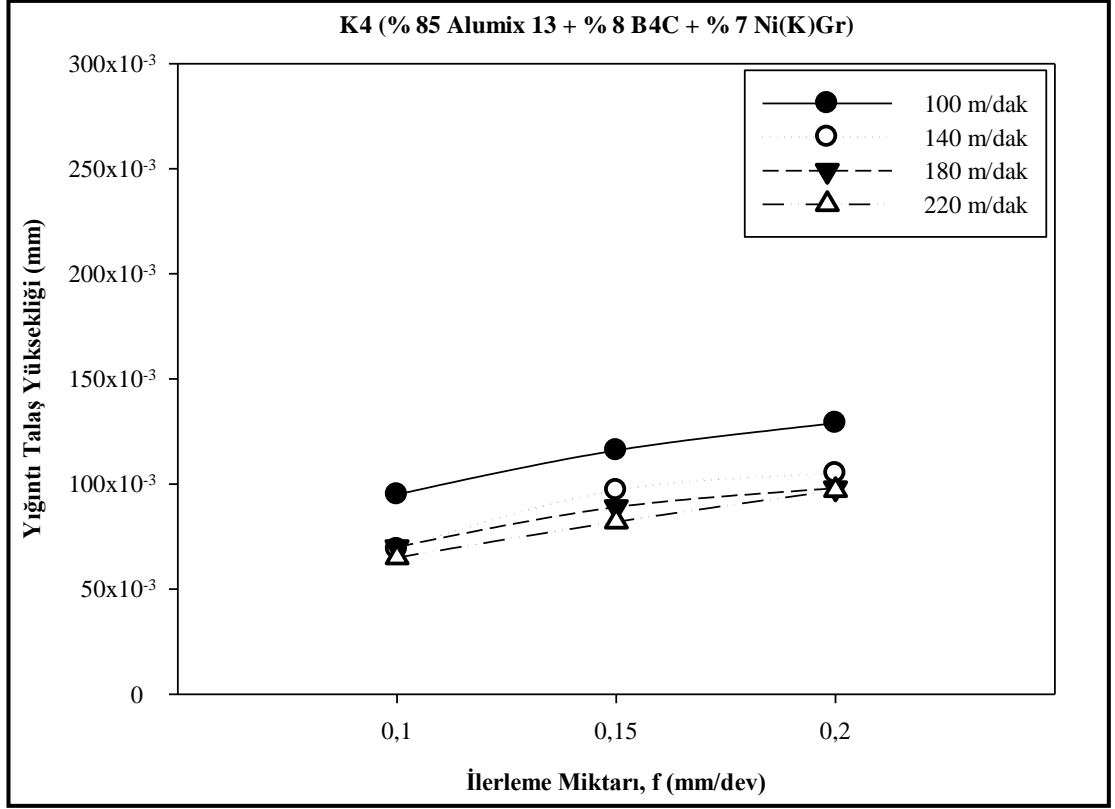
Çizelge 5.19. K<sub>4</sub> (% 85 AlumiX 13 + % 8 B<sub>4</sub>C + %7 Ni(K)Gr) MMK malzemesinin TiN kaplamalı CBN kesici takım ile işlenmesinde kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesici takım üzerinde oluşan YT değerleri.

<b>K<sub>4</sub> (% 85 AlumiX 13 + % 8 B<sub>4</sub>C + % 7 Ni(K)Gr)</b>					
<b>Kesme Derinliği (mm)</b>	<b>İlerleme Miktarı (mm/dev)</b>	<b>Kesme Hızı (m/dak)</b>			
		<b>100</b>	<b>140</b>	<b>180</b>	<b>220</b>
		<b>Yığıntı Talaş Yüksekliği (mm)</b>			
<b>0,5</b>	<b>0,1</b>	0,095	0,069	0,070	0,065
	<b>0,15</b>	0,116	0,097	0,089	0,082
	<b>0,20</b>	0,129	0,105	0,098	0,097



Şekil 5.41. K<sub>4</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takım ile dört farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme miktarında işlenmesinde kesici takım üzerinde oluşan YT değerlerinin grafik gösterimi.

Şekil 5.41' deki grafik incelendiğinde K<sub>4</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemede kesme hızının artması ile kesici takım üzerinde oluşan YT değerlerinin azaldığı görülmüştür. İlerleme miktarının artmasıyla YT değerlerinde artış olduğu görülmüştür. 0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev ilerleme miktarında en yüksek YT değerleri 100 m/dak kesme hızında sırasıyla 0,095 mm, 0,116 mm ve 0,129 mm olarak ölçülmüştür. En düşük YT değerlerinin ise 220 m/dak kesme hızında 0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev ilerleme miktarlarında sırasıyla % 31,57, % 29,3 ve % 24,8 oranında iyileşme göstererek 0,065 mm, 0,082 mm ve 0,097 mm olarak ölçülmüştür. Yapı içerisine ilave edilen takviye elemanı ağırlıkça % 7 Ni(K)Gr' nin YT oluşumu % 3 ile % 5' e oranla azaldığı görülmüştür [2, 154, 155, 164,167-170,176].

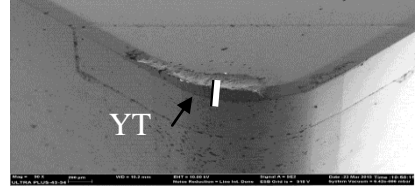
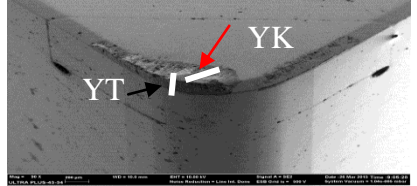
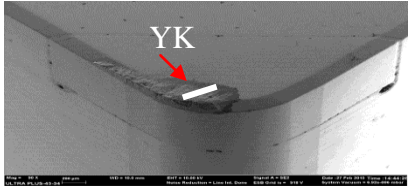
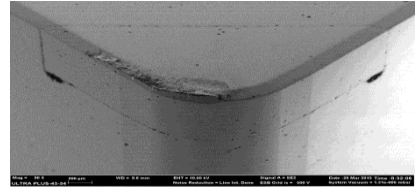
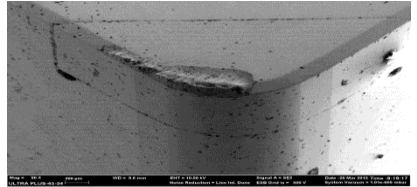
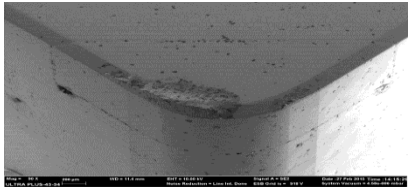
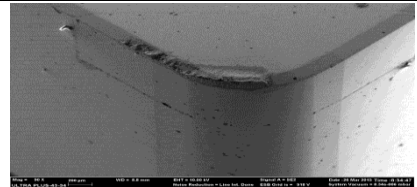
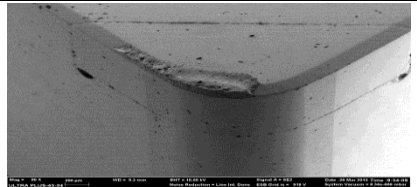
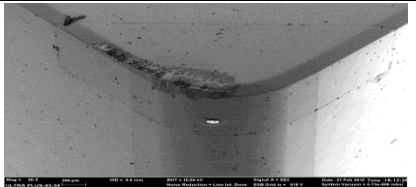
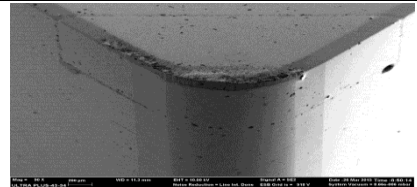
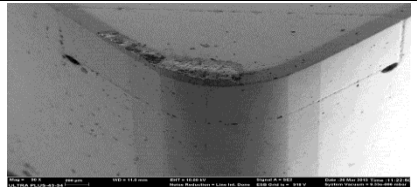
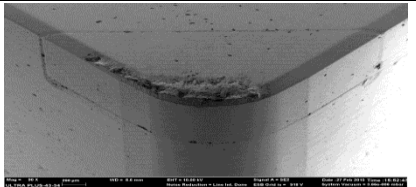


Şekil 5.42. K<sub>4</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takım ile üç farklı ilerleme miktarı ve dört farklı kesme hızında işlenmesinde kesici takım üzerinde elde edilen YT değerlerinin grafik gösterimi.

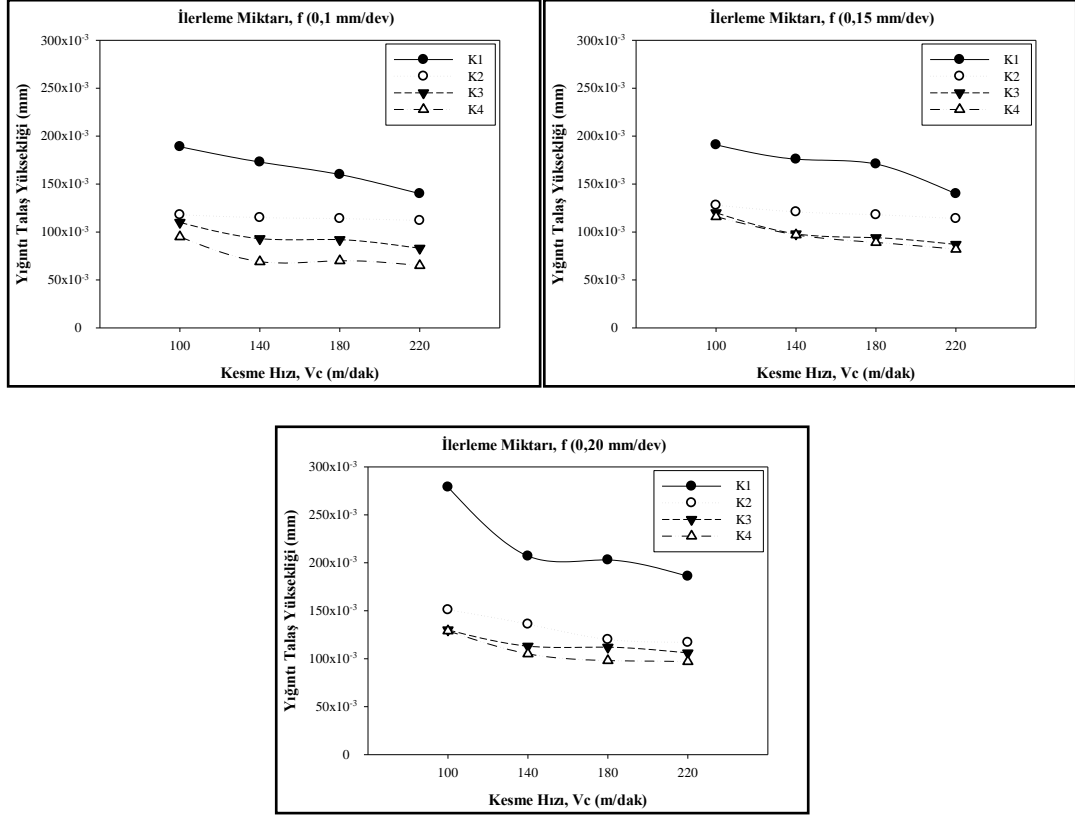
Şekil 5.42' deki grafik incelendiğinde bütün kesme hızlarında (100, 140, 180 ve 220 m/dak) en düşük YT değerlerinin 0,10 mm/dev ilerleme miktarında sırasıyla 0,065 mm, 0,069 mm, 0,070 mm ve 0,095 mm olarak ölçülmüştür. En yüksek YT ölçümleri % 49,2 (0,129 mm), % 40 (0,105 mm), % 52,17 (0,098 mm) ve % 35,7 (0,097 mm) oranında artış göstererek 0,20 mm/dev ilerleme miktarında oluşmuştur.

K<sub>4</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin kesme hızı ve ilerleme miktarlarına göre kesici takım üzerinde YT ve YK oluşumlarının SEM görüntüleri toplu olarak Çizelge 5.20' de gösterilmiştir.

Çizelge 5.20. K<sub>4</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemenin kesme hızı ve ilerleme miktarlarına göre kesici takım üzerinde YT ve YK oluşumlarının SEM görüntüleri.

Kesme hızı (m/dak)	0,1 (mm/dev)	0,15 (mm/dev)	0,20 (mm/dev)
100			
140			
180			
220			

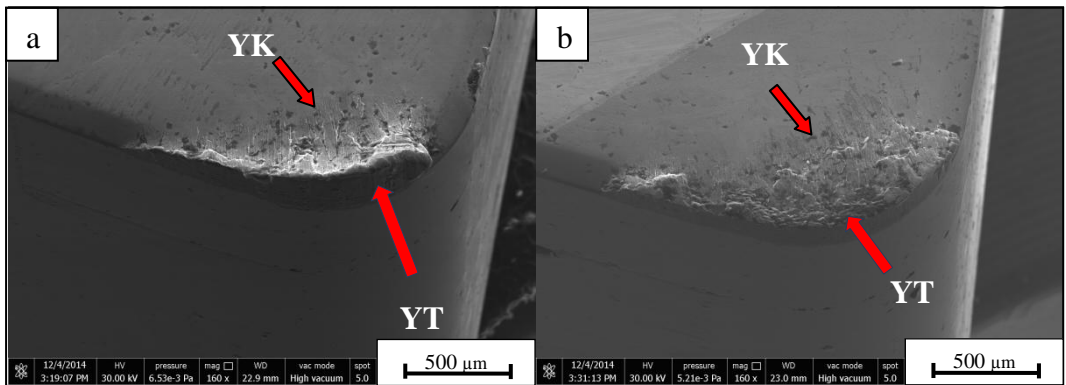
SP tekniği ile üretilen  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  ve  $K_4$  kodlu karma takviyeli MMK malzemelerin YT değerleri ilerleme miktarlarına göre Şekil 5.43' de grafik olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.43. Karma takviyeli MMK malzemenin TiN kaplamalı CBN kesici takımla dört farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme miktarında işlenmesinde kesici takım üzerinde oluşan YT değerlerinin grafik gösterimi.

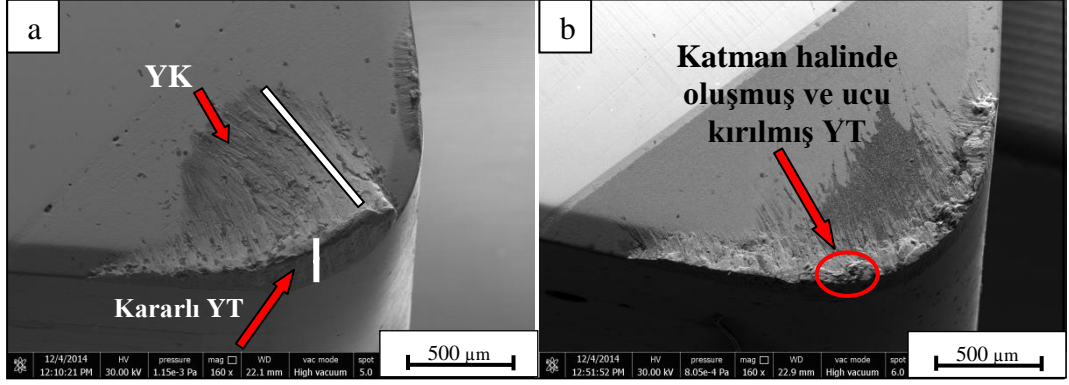
## 5.8. KESİCİ TAKIM AŞINMASI GENEL DEĞERLENDİRMESİ

Kuru kesme şartlarında gerçekleştirilen işlenebilirlik deneylerinde kesme hızı ve ilerleme miktarına göre YT oluşumunun etkileri incelendiğinde kesici takım üzerinde oluşan YT arttıkça ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Artan kesme hızına bağlı olarak kesme hızının artmasıyla YT oluşumunun azaldığı, bu azalmanın ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde iyileşme gösterdiği tespit edilmiştir. Elde edilen değerler literatürle benzerlik göstermiştir [164,176]. Karma takviyeli MMK malzemelerin işlenmesinde ilerleme miktarının artması ile YT ve YK oluşumunun arttığı belirlenmiştir. Bütün karma takviyeli MMK malzemelerde en yüksek YT değerleri 0,20 mm/dev ilerleme miktarında, en düşük YT değerlerinin ise 0,1 mm/dev ilerleme miktarında 220 m/dak kesme hızında oluşmuştur. İlerleme miktarının artmasıyla talaş kesit alanındaki artış sebebiyle, takım ucuna yığılan talaş miktarında da artış görülmesi normal bir sonuç olarak değerlendirilmektedir. Benzer sonuçlar yapılan başka çalışmalarda da ortaya konulmuştur [2,177]. Takım üzerinde oluşan yığıntı katmanının kesme hızının artışına bağlı olarak azalma göstermiştir. Takviye elemanı Ni(K)Gr ve kesme parametrelerin YT ve YK üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılması için kesici takım üzerinde alınan SEM görüntüleri daha ayrıntılı olarak aşağıdaki Şekil 5.44 - Şekil 5.49' da gösterilmiştir.



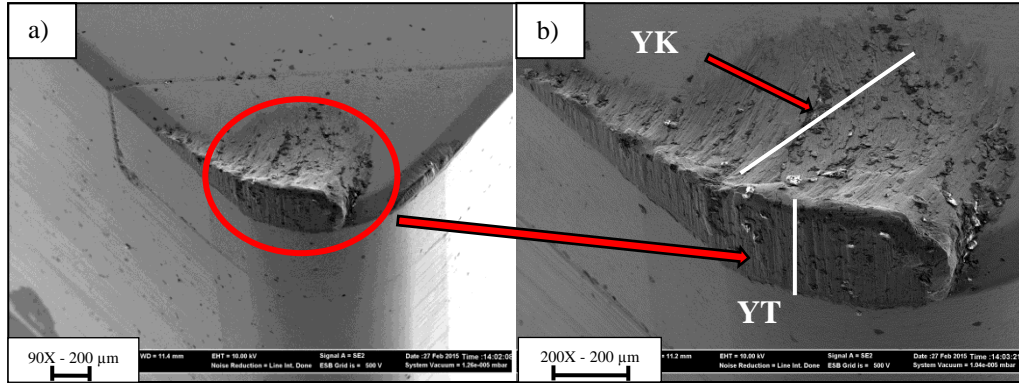
Şekil 5.44. a) 100 m/dak kesme hızı ve b) 220 m/dak kesme hızında K<sub>1</sub> nolu MMK malzemenin 0,10 mm/dev ilerleme miktarında işlenmesi sonucundaki elde edilen SEM fotoğrafları görüntüsü.



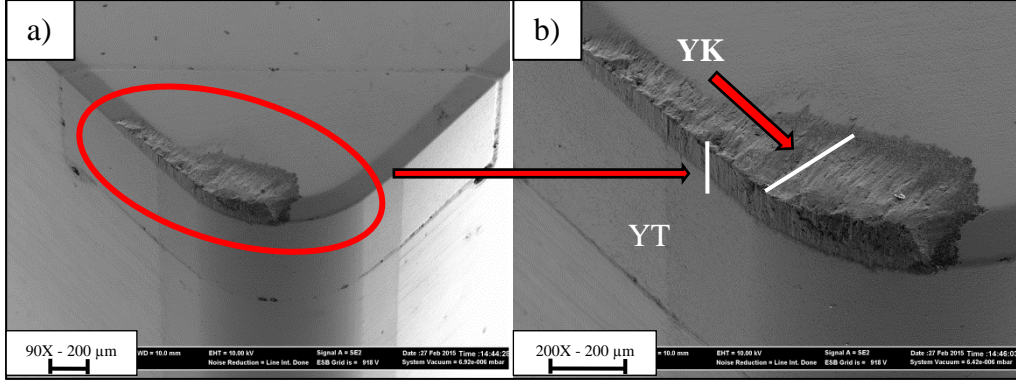


Şekil 5.45. a) 100 m/dak kesme hızı ve b) 220 m/dak kesme hızında  $K_1$  nolu MMK malzemenin 0,20 mm/dev ilerleme miktarında işlenmesi sonucundaki elde edilen SEM fotoğrafları görüntüsü.

$K_1$  ve  $K_4$  nolu MMK malzemenin 100 m/dak kesme hızında 0,20 mm/dev ilerleme miktarında 90X (a) ve 200X (b) yaklaşımda SEM fotoğraf görüntüleri Şekil 5.46 ve Şekil 5.47' de gösterilmiştir.

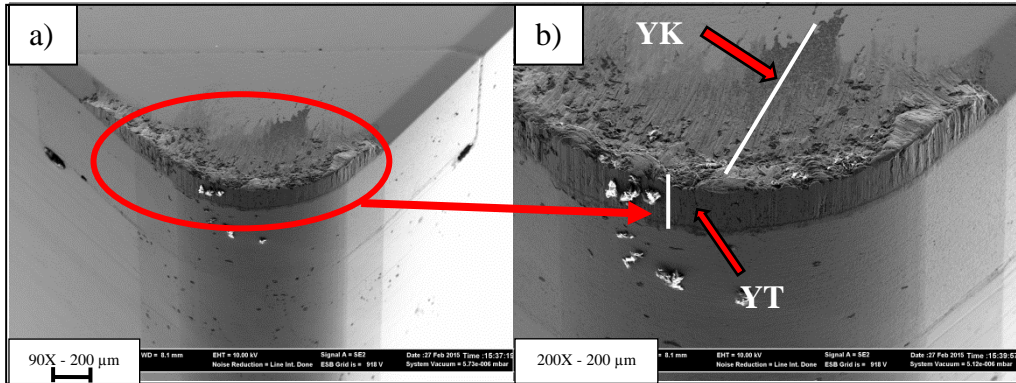


Şekil 5.46. a) 90X ve b) 200X yaklaşımda  $K_1$  nolu MMK malzemenin 0,20 mm/dev ilerleme miktarı ve 100 m/dak kesme hızında işlenmesi sonucunda elde edilen SEM fotoğrafları görüntüsü.

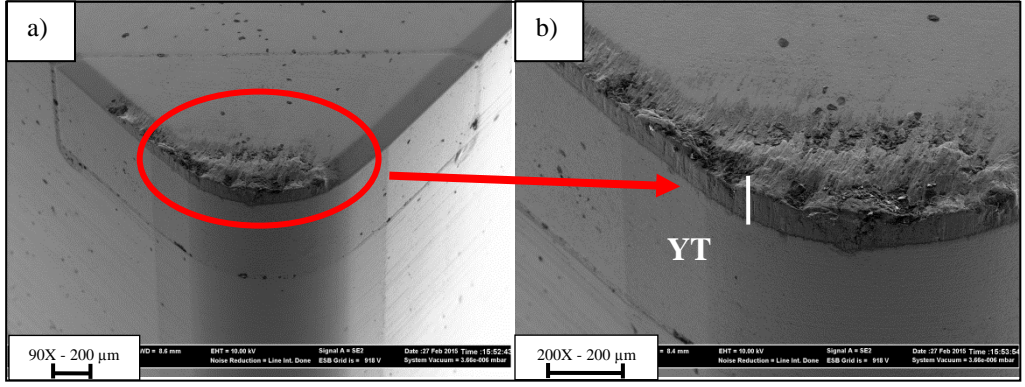


Şekil 5.47. a) 90X ve b) 200X yaklaşımda K<sub>4</sub> nolu MMK malzemenin 0,20 mm/dev ilerleme miktarı ve 100 m/dak kesme hızında işlenmesi sonucunda elde edilen SEM fotoğrafları görüntüsü.

K<sub>1</sub> ve K<sub>4</sub> nolu MMK malzemenin 220 m/dak kesme hızında ve 0,20 mm/dev ilerleme miktarında işlenmesi sonucunda CBN takım üzerinde YT ve YK oluşumu 90X (a) ve 200X (b) büyütmeli SEM fotoğraf görüntüleri Şekil 5.48 ve Şekil 5.49' da gösterilmiştir.



Şekil 5.48. a) 90X ve b) 200X yaklaşımda K<sub>1</sub> nolu MMK malzemenin 0,20 mm/dev ilerleme miktarı ve 220 m/dak kesme hızında işlenmesi sonucunda elde edilen SEM fotoğrafları görüntüsü.



Şekil 5.49. a) 90X ve b) 200X yaklaşımda K<sub>4</sub> nolu MMK malzemenin 0,20 mm/dev ilerleme miktarı ve 220 m/dak kesme hızında işlenmesi sonucunda elde edilen SEM fotoğrafları görüntüsü.

## BÖLÜM 6

### SONUÇ VE ÖNERİLER

#### 6.1. SONUÇLAR

Toz metalurjisi ile MMK malzeme üretim tekniklerinden SP tekniği kullanılarak 40 mm çapında ve 100 mm boyunda üretilen ağırlıkça % 8 B<sub>4</sub>C parçacık takviyeli ve buna ilaveten ağırlıkça % üç farklı oranda (3 - 5 ve 7) Ni(K)Gr katkılı Alumix 13 matrisli kompozit malzemelerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen karma takviyeli MMK malzemelerin mikroyapı, mekanik özellikleri ve CBN kesici uçlar kullanarak tornada işlenebilirliği araştırılmıştır. Mikroyapı ve mekanik özelliklerin incelenmesinden elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

1. SP tekniği kullanılarak üretimi gerçekleştirilen karma takviyeli MMK malzemelerin mikro yapı görüntüleri incelendiğinde takviye elemanlarının nispeten homojen dağılım sergilediği görülmüştür.
2. Mikroyapı incelemelerinde en iyi homojen tanecik dağılımının ağırlıkça % 3 Ni(K)Gr takviyeli MMK'larda olduğu görülmüştür. Ağırlıkça % 5 ve % 7 Ni(K)Gr takviyeli MMK'larda ise homojen dağılımın yeterince sağlandığı fakat parçacıkların birbirine yaklaşma (topaklaşma) gösterdiği tespit edilmiştir.
3. Karma takviyeli MMK'ların ölçülen sertlik değerlerinden, takviye yüzde ağırlık oranının artmasıyla (Ni(K)Gr) malzemelerin sertliğinin düştüğü tespit edilmiştir.

4. En yüksek mikro sertlik deęerinin  $K_1$  nolu MMK malzemede 186 HV mikrosertlik deęerinde olduđu, en dűşük mikro sertlik deęerinin ise  $K_4$  nolu karma takviyeli MMK malzemede 135 HV olarak ölçülműştür.
5. Karma takviyeli MMK'ların en yüksek ÇKD deęeri 610 MPa ile  $K_1$  nolu MMK malzemede olduđu, en dűşük deęerin ise 381 MPa ile  $K_4$  nolu karma takviyeli MMK malzemede oluřmuřtur.
6. Karma takviyeli MMK'ların yapı içerisindeki Ni(K)Gr miktarının artması ile ÇKD sonuçlarında dűřűř gerçekteřmiştir.
7. Karma takviyeli MMK malzeme içerisindeki takviye elemanlarından  $B_4C$  tozunun sabit tutulup Ni(K)Gr tozunun ilavesi ile yoğunluğun azaldığı gözlenmiştir.
8. Karma takviyeli MMK malzeme içerisindeki takviye elemanlarından (Ni(K)Gr)'nin ilavesi ile gözenek miktarında artış oluşmuştur.
9. Koruyucu atmosfer kullanılmadan gerçekteřtirilen SP iřlemi sonrasında en dűşük yoğunluk  $K_4$  nolu ( $2,754 \text{ gr/cm}^3$ ) karma takviyeli MMK kompozit malzemede ölçülműştür.
10. Koruyucu atmosfer kullanılmadan gerçekteřtirilen SP iřlemi sonrasında en yüksek yoğunluk deęerinin ise  $K_1$  nolu MMK malzemede ( $2,808 \text{ gr/cm}^3$ ) ölçülműştür.

Üretilen karma takviyeli MMK malzemelerin pin-on aşınma cihazı kullanılarak gerçekteştirilen aşınma deneylerinden elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

1. Sabit kayma hızında, yük ve kayma mesafesi arttığında bütün kompozit malzemelerde aşınma miktarının arttığı tespit edilmiştir.

2. Karma takviyeli MMK malzeme içerisine ilave edilen Ni(K)Gr'nin ilave edilmesiyle malzemelerin mekanik özelliklerindeki değişimden dolayı aşınma miktarlarında artış tespit edilmiştir.
3. K<sub>1</sub> kodlu MMK malzemeye uygulanan dört farklı yük altında (10 – 20 – 30 – 40 N) 300 m kayma mesafesindeki aşınma kayıpları sırasıyla 0,0010, 0,0019, 0,0020 ve 0,0037 g iken 1200 m kayma mesafesindeki aşınma kayıpları % 76,74, % 74,32, % 81,13 ve % 69,16 oranında artış göstererek 0,0043, 0,0074, 0,0106 ve 0,0120 g ölçülmüştür.
4. K<sub>2</sub> kodlu MMK malzemeye uygulanan dört farklı yük altında (10 – 20 – 30 – 40 N) 300 m kayma mesafesindeki aşınma kayıpları sırasıyla 0,0013, 0,0027, 0,0040 ve 0,0040 g iken 1200 m kayma mesafesindeki aşınma kayıpları % 71,11 , % 69,31, % 64,28 ve % 97,03 oranında artış göstererek 0,0045, 0,0088, 0,0112 ve 0,0135 g ölçülmüştür.
5. K<sub>3</sub> kodlu MMK malzemeye uygulanan dört farklı yük altında (10 – 20 – 30 – 40 N) 300 m kayma mesafesindeki aşınma kayıpları sırasıyla 0,0013, 0,0028, 0,0039 ve 0,0046 g iken 1200 m kayma mesafesindeki aşınma kayıpları % 73,46, % 73,07, % 70,89 ve % 69,12 oranında artış göstererek 0,0049, 0,00104, 0,0134 ve 0,0149 g ölçülmüştür.
6. Sabit kayma hızında yük ve kayma mesafesi arttığında K<sub>3</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemede Ni(K)Gr'nin oranın artması (% 5) ile aşınma miktarının arttığı tespit edilmiştir.
7. K<sub>4</sub> kodlu MMK malzemeye uygulanan dört farklı yük altında (10 – 20 – 30 – 40 N) 300 m kayma mesafesindeki aşınma kayıpları sırasıyla 0,0020, 0,0031, 0,0040 ve 0,0062 g iken 1200 m kayma mesafesindeki aşınma kayıpları % 60, % 76,51, % 70,58 ve % 59,21 oranında artış göstererek 0,0050, 0,00132, 0,0136 ve 0,0152 g ölçülmüştür.

8. Sabit kayma hızında yük ve kayma mesafesi arttığında K<sub>4</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemede Ni(K)Gr'nin oranının artması (% 7) ile aşınma miktarının arttığı tespit edilmiştir.
9. 10 N, 20 N, 30 N ve 40 N yük altında gerçekleştirilen deneysel çalışmada en az aşınma kaybı 300 m kayma mesafesinde K<sub>1</sub> nolu kompozit malzemede, en fazla aşınma kaybının ise 40 N yük altında 1200 m kayma mesafesinde K<sub>4</sub> nolu kompozit malzemede olduğu tespit edilmiştir.

Üretilen karma takviyeli MMK malzemelerin CBN kesici uçlar kullanarak tornalama deneylerinden elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

1. K<sub>1</sub> kodlu MMK malzemede artan kesme hızıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde iyileşme gerçekleştiği, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin 0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev ilerleme miktarında 100 m/dak kesme hızında sırasıyla 1,61 µm, 2,00 µm ve 2,67 µm olarak ölçülmüştür. En düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri üç farklı ilerleme miktarında 220 m/dak kesme hızında sırasıyla % 9,3, % 24 ve % 40 oranında iyileşme göstermiştir. En düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerinin 0,1 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızının % 120 oranında artmasıyla 1,46 µm olarak ölçülmüştür.
2. K<sub>1</sub> kodlu MMK malzemede ilerleme miktarının artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde artış gerçekleştiği, en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri 0,10 mm/dev ilerleme miktarında 100, 140, 180 ve 220 m/dak kesme hızlarında sırasıyla 1,61 µm, 1,60 µm, 1,47 µm ve 1,46 µm olarak ölçüldüğü, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ise 0,20 mm/dev ilerleme miktarında dört farklı kesme hızında sırasıyla % 65,8, % 62,5, % 25,1 ve % 9,5 oranında artış gösterdiği, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerinin 0,20 mm/dev ilerleme miktarında 100 m/dak kesme hızında 2,67 µm olarak olduğu belirlenmiştir.

3. K<sub>2</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemede artan kesme hızıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde iyileşme gerçekleştiği, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin 0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev ilerleme miktarında 100 m/dak kesme hızında sırasıyla 1,53 µm, 1,55 µm ve 1,60 µm olarak gerçekleştiği, en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri üç farklı ilerleme miktarında 220 m/dak kesme hızında sırasıyla % 7,18, % 3,87 ve % 5,61 oranında iyileşme gösterdiği, en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerinin 0,1 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızının % 120 oranında artmasıyla 1,42 µm olarak tespit edilmiştir.
4. K<sub>2</sub> kodlu MMK malzemede ilerleme miktarının artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde artış gerçekleştiği, en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri 0,10 mm/dev ilerleme miktarında 100, 140, 180 ve 220 m/dak kesme hızlarında sırasıyla 1,53 µm, 1,47 µm, 1,44 µm ve 1,42 µm olarak ölçüldüğü, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin ise 0,20 mm/dev ilerleme miktarında dört farklı kesme hızında sırasıyla % 4,5, % 4,7, % 5,5 ve % 6,3 oranında artış gösterdiği, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerinin 100 m/dak kesme hızında 0,20 mm/dev ilerleme miktarında 1,60 µm olarak tespit edilmiştir.
5. K<sub>3</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemede artan kesme hızıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde iyileşme gerçekleştiği görüldüğü, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin 0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev ilerleme miktarında 100 m/dak kesme hızında sırasıyla 1,47 µm, 1,52 µm ve 1,54 µm olarak ölçüldüğü, en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri üç farklı ilerleme miktarında 220 m/dak kesme hızında sırasıyla % 6,80, % 9,21 ve % 6,49 oranında iyileşme gösterdiği, en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerinin 0,1 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızının % 120 oranında artmasıyla 1,37 µm olarak ölçüldüğü tespit edilmiştir.
6. K<sub>3</sub> kodlu MMK malzemede ilerleme miktarının artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde artış gerçekleştiği, en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri 0,10 mm/dev ilerleme miktarında 100, 140, 180 ve 220



m/dak kesme hızlarında sırasıyla 1,47  $\mu\text{m}$ , 1,43  $\mu\text{m}$ , 1,38  $\mu\text{m}$  ve 1,37  $\mu\text{m}$  olarak ölçüldüğü, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ise 0,20 mm/dev ilerleme miktarında dört farklı kesme hızında sırasıyla % 4,76, % 5,59, % 7,97 ve % 5,1 oranında artış gösterdiği, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerinin 100 m/dak kesme hızında 0,20 mm/dev ilerleme miktarında 1,55  $\mu\text{m}$  olarak tespit edilmiştir.

7. K<sub>4</sub> kodlu karma takviyeli MMK malzemede artan kesme hızıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde iyileşme gerçekleştiği, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin 0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev ilerleme miktarında 100 m/dak kesme hızında sırasıyla 1,30  $\mu\text{m}$ , 1,36  $\mu\text{m}$  ve 1,51  $\mu\text{m}$  olarak oluştuğu, en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri üç farklı ilerleme miktarında 220 m/dak kesme hızında sırasıyla % 20,7, % 17,64 ve % 17,88 oranında iyileşme gösterdiği, en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerinin 0,1 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızının % 120 oranında artmasıyla 1,03  $\mu\text{m}$  olarak tespit edilmiştir.

8. K<sub>4</sub> kodlu MMK malzemede ilerleme miktarının artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde artış gerçekleştiği, en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri 0,10 mm/dev ilerleme miktarında 100, 140, 180 ve 220 m/dak kesme hızlarında sırasıyla 1,30  $\mu\text{m}$ , 1,17  $\mu\text{m}$ , 1,06  $\mu\text{m}$  ve 1,03  $\mu\text{m}$  olarak oluştuğu, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ise 0,20 mm/dev ilerleme miktarında dört farklı kesme hızında sırasıyla % 16,15, % 22,22, % 20,75 ve % 20,38 oranında artış gösterdiği, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerinin 100 m/dak kesme hızında 0,20 mm/dev ilerleme miktarında 1,51  $\mu\text{m}$  olarak oluştuğu tespit edilmiştir.

9. Karma takviyeli MMK malzeme içerisindeki grafit miktarının ilave edilmesiyle ortalama yüzey pürüzlülük değerlerini iyileştirdiği tespit edilmiştir.

10. Kuru kesme şartlarında gerçekleştirilen işlenebilirlik deneylerinde kesme hızı ve ilerleme miktarına göre YT oluşumunun etkileri incelendiğinde kesici

takım üzerinde oluşan YT arttıkça ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde bir artış olduğu belirlenmiştir.

11. Artan kesme hızına bağlı olarak kesme hızının artması ile YT talaş oluşumunun düştüğü, ilerleme miktarının artması ile YT talaş oluşumunun arttığı tespit edilmiştir.
12. K<sub>1</sub> kodlu MMK malzemede kesme hızının artması ile kesici takım üzerinde oluşan YT değerlerinin azaldığı, bütün kesme hızlarında (100, 140, 180 ve 220 m/dak) en düşük YT değerlerinin 0,10 mm/dev ilerleme miktarında sırasıyla 0,189 mm, 0,173 mm, 0,160 mm ve 0,140 mm, olarak oluştuğu, en yüksek YT ölçümleri % 47,6, % 19,65, % 26,87 ve % 24,73 oranında artış göstererek 0,20 mm/dev ilerleme miktarında oluştuğu tespit edilmiştir.
13. K<sub>1</sub> kodlu MMK malzemede ilerleme miktarının artmasıyla YT değerlerinde artış oluştuğu, 0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev ilerleme miktarında en yüksek YT değerleri 100 m/dak kesme hızında sırasıyla 0,189 mm, 0,191 mm ve 0,279 mm olarak ölçüldüğü, en düşük YT değerlerinin ise 220 m/dak kesme hızında 0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev ilerleme miktarlarında sırasıyla % 26, % 26,7 ve % 33,3 oranında iyileşme göstererek 0,191 mm, 0,140 mm ve 0,189 mm olarak oluştuğu tespit edilmiştir.
14. K<sub>2</sub> kodlu MMK malzemede kesme hızının artması ile kesici takım üzerinde oluşan YT değerlerinin azaldığı, bütün kesme hızlarında (100, 140, 180 ve 220 m/dak) en düşük YT değerlerinin 0,10 mm/dev ilerleme miktarında sırasıyla 0,118 mm, 0,115 mm, 0,114 mm ve 0,112 mm, olarak oluştuğu, en yüksek YT ölçümleri % 27,9, % 18,2, % 5,2 ve % 4,46 oranında artış göstererek 0,20 mm/dev ilerleme miktarında oluştuğu tespit edilmiştir.
15. K<sub>2</sub> kodlu MMK malzemede ilerleme miktarının artmasıyla YT değerlerinde artış oluştuğu, 0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev ilerleme miktarında en yüksek YT değerleri 100 m/dak kesme hızında sırasıyla 0,118 mm, 0,128 mm ve 0,151mm olarak oluştuğu, en düşük YT değerlerinin ise 220 m/dak kesme

hızında 0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev ilerleme miktarlarında sırasıyla % 5,08, % 10,9 ve % 22,5 oranında iyileşme göstererek 0,112 mm, 0,114 mm ve 0,117 mm olarak oluştuğu tespit edilmiştir.

16. K<sub>3</sub> kodlu MMK malzemede kesme hızının artması ile kesici takım üzerinde oluşan YT değerlerinin azaldığı, bütün kesme hızlarında (100, 140, 180 ve 220 m/dak) en düşük YT değerlerinin 0,10 mm/dev ilerleme miktarında sırasıyla 0,110 mm, 0,093 mm, 0,092 mm ve 0,083 mm olarak oluştuğu, en yüksek YT ölçümleri % 18,2, % 21,5, % 21,73 ve % 27,7 oranında artış göstererek 0,20 mm/dev ilerleme miktarında oluştuğu tespit edilmiştir.

17. K<sub>3</sub> kodlu MMK malzemede ilerleme miktarının artmasıyla YT değerlerinde artış oluştuğu, 0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev ilerleme miktarında en yüksek YT değerleri 100 m/dak kesme hızında sırasıyla 0,110 mm, 0,120 mm ve 0,130 mm olarak oluştuğu, en düşük YT değerlerinin ise 220 m/dak kesme hızında 0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev ilerleme miktarlarında sırasıyla % 24,5, % 27,5 ve % 18,46 oranında iyileşme göstererek 0,083 mm, 0,087 mm ve 0,106 mm olarak oluştuğu tespit edilmiştir.

18. K<sub>4</sub> kodlu MMK malzemede kesme hızının artması ile kesici takım üzerinde oluşan YT değerlerinin azaldığı, bütün kesme hızlarında (100, 140, 180 ve 220 m/dak) en düşük YT değerlerinin 0,10 mm/dev ilerleme miktarında sırasıyla 0,065 mm, 0,069 mm, 0,070 mm ve 0,095 mm olarak oluştuğu, en yüksek YT ölçümleri % 49,2, % 40, % 52,17 ve % 35,7 oranında artış göstererek 0,20 mm/dev ilerleme miktarında oluştuğu tespit edilmiştir.

19. K<sub>4</sub> kodlu MMK malzemede ilerleme miktarının artmasıyla YT değerlerinde artış oluştuğu, 0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev ilerleme miktarında en yüksek YT değerleri 100 m/dak kesme hızında sırasıyla 0,095 mm, 0,116 mm ve 0,129 mm olarak oluştuğu, en düşük YT değerlerinin ise 220 m/dak kesme hızında 0,1, 0,15 ve 0,20 mm/dev ilerleme miktarlarında sırasıyla % 31,57, % 29,3 ve % 24,8 oranında iyileşme göstererek 0,065 mm, 0,082 mm ve 0,097 mm olarak oluştuğu tespit edilmiştir.

## 6.2. ÖNERİLER

Toz metalurjisi üretim yöntemlerinden SP tekniği kullanılarak üretilen Al matrisli B<sub>4</sub>C ve Ni(K)Gr takviyeli MMK malzemelerin üretimi gerçekleştirilmiş olup üretilen malzemelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Mekanik özellikleri sonrasında karma takviyeli MMK malzemelerin CBN kesici takım ile tornalanarak ideal kesme parametreleri bulunmuştur. Son olarak ise üretilen karma takviyeli MMK malzemelerin sabit kayma hızında, farklı yük ve kayma mesafesinde aşınma davranışları incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar göz önünde tutulduğunda bundan sonra gerçekleştirilen çalışmalara katkı sağlaması açısından aşağıdaki öneriler dikkate alınabilir.

1. SP tekniği ile üretilen karma takviyeli MMK malzemelerin darbe, yorulma, çekme dayanımı gibi özellikleri detaylı bir şekilde incelenebilir.
2. Matris ve takviye oranları % ağırlık ve % hacim oranına göre SP tekniği ile üretilip mekanik ve işlenebilirlik özellikleri kendi aralarında mukayese edilebilir.
3. SP tekniği ile üretimde kalıbın ısınma süresini daha aza indirmek için başka bir ısıtma sistemi tasarlanabilir.
4. İşlenebilirlik deneylerinde tek kesici takım yerine birkaç farklı kesici takım kullanılarak kesici takımdaki aşınmalar incelenebilir.
5. SP tekniği ile üretilen karma takviyeli MMK malzemelerin delme, frezeleme, raybalama, vida çekme ve tel erozyonda kesme işlemleri uygulanabilir.
6. Malzemelerin aşındırılmasında sabit kayma hızı iki veya daha fazla alınarak kendi aralarında mukayese edilebilir.

## KAYNAKLAR

1. Nas, E., Gökaya, H., ve Sur, G., "Sıcak presleme yöntemi kullanılarak kompozit malzemelerin üretilebilirliği üzerine bir değerlendirme", *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi / Karaelmas Science and Engineering Journal* 3 (2), 1 – 10, (2013).
2. Ekici, E., "Alüminyum esaslı karma takviyeli kompozitlerin farklı takviye elemanı tipleriyle üretilmesi, mekanik özellikleri ve frezede işlenebilirliğinin incelenmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2012).
3. William, C., and Harrigan, Jr., "Commercial processing of metal matrix composites", *Materials Science and Engineering*, A244: 75 – 79 (1998).
4. Suryanarayana, C., "Mechanical alloying and milling", *Marcel Dekker*, Newyork, (2004).
5. Langman, J. A. C., Symens, R. W., Dinwoodie, J., and Moore, E., *5th International Conference on Composite Materials*, 385 – 387, San Diego, California (1985).
6. Baradaswaran, A., Perumal, E. A., "Influence of B<sub>4</sub>C on the tribological and mechanical properties of Al 7075 – B<sub>4</sub>C Composites", *Composites: Part B* 54: 146 – 152 (2013).
7. Sur, G., "Karma takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin üretimi, mekanik özellikler ve işlenebilirliklerinin incelenmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1 – 242 (2008).
8. Chan, R. W., Haasen, P., and Kramer, E. J., "Structure and properties of composites", *Materials Science and Technology*, 13: 1 – 339 (1993).
9. Groover, M. P., "Fundamentals of modern manufacturing", *Prentice – Hall Inc.*, USA, 251 – 260, 430 – 639 (1996).
10. Jacobs, A. J., and Kilduff, T. F., "Engineering materials technology: structure processing, properties and selection", 5. Edition, *Prentice – Hall Inc.*, USA, 357 – 397, 645 – 749 (2005).
11. Brick, B. M., Gordon, R. B., and Philips, A., "Structure and properties of alloy", Third Edition, *McGraw – Hill Book Company*, 210 – 430 (1965).

12. İnem, B., "The development of the structures and properties of magnesium matrix silicon carbide reinforced composites", Ph.D Thesis, *School of Materials, University of Leeds, England, Leeds*, 1 – 50 (1993).
13. Çiftçi, İ., "Alüminyum esaslı kompozitlerde takviye oranı ve boyutunun mekanik özellikler ve işlenebilirlik üzerine etkisinin araştırılması", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1 – 90 (2003).
14. Sur, G., "Alüminyum esaslı kompozitlerin üretimi ve işlenebilirliğinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1 – 40 (2002).
15. Kaczmar, W. J., Pietrzak, K., and Wlosinski, W., "The production and application of metal matrix composite materials", *Journal of Materials Processing Technology*, 106: 58 – 67 (2000).
16. Turhan, H., Yıldız, T., ve Gülenç, B., "Microstructure and mechanical properties of Cu/FeMnp and Cu/FeCrp metal matrix composites produced by powder metallurgy techniques", *Science and Eng. J of Firat Univ*, 19 (4): 569 – 574, (2007)
17. Lloyd, D. J., "Particle reinforced aluminum and magnesium matrix composites", *International Materials Reviews*, 39 (1): 1 – 23 (1994).
18. Lin, Y. C., Liou, S. S., and Shie, M. T., "Mechanism of plastic deformation of powder metallurgy metal matrix composites of Cu–Sn/SiC and 6061/SiC under compressive stress", *Mater. Sci. And Eng.*, A (373): 1 – 2, 363 – 369. (2004).
19. Nas, E., ve Gökkaya, H., "The reproducibility of the al matrix composite material reinforced with B<sub>4</sub>C via hot pressing technique", *Engineering Science and Technology, an International Journal, JESTECH*, 16(4): 153 – 159 (2013).
20. Angelo, C. P., and Subramanian, R., "Powder Metallurgy: Science, Technology and Applications", ISBN – 978 – 81 – 203 – 3281 – 2 (2008).
21. Hydrogen Program Plan, FY 1993 – FY 1997, **Department of Energy, U. S.** (1998).
22. Kingery, D. W., Bowen K. H., and Uhlmann, D. R., "Introduction to Ceramics", *2nd Ed., John Wiley & Sons*, New York (1976).
23. Upadhyaya, G. S., "Powder metallurgy technology", *Published By Cambridge International Science Publishing*, (2002).
24. Kaya, G., "Mechanical properties of PM Al – SiC composites produced by conventional hot pressing method", Y.Lisans Tezi, *Ortadoğu Teknik Üniversitesi*, Ankara, 81 (1999).

25. Erdoğan, M., "Mühendislik alaşımlarının yapı ve özellikleri – Cilt 2, Demir dışı alaşımlar", Çeviri, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 342 – 345 (2001).
26. Uygur, İ., ve Saruhan, H., "Aluminyum esaslı metal matris kompozit malzemelerin mekanik özellikleri", *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8.Cilt, 1.Sayı (2004).
27. Uygur, I. "Environmentally assisted fatigue response of Al – Cu – Mg – Mn with SiC particulate metal matrix composites" Ph.D.Thesis, **University of Wales**, Swansea (1999).
28. Evert, R. K., and Arsenault, R .J., "Metal matrix composites; mechanism and properties", *Academic Press Inc.*, San Diego, USA, 262 (1991).
29. Davim, J. P., "Diamond tool performance in machining MMCs", *Journal of Materials Processing Technology*, 128: 100 – 105 (2002).
30. Li, A. J., Zhen, Y. H., Yin, Q., Ma, L. P., and Yin, Y. S., "Microstructure and properties of (SiC, TiB<sub>2</sub>)/B<sub>4</sub>C composites by reaction hot pressing", *Ceramics International*, 32: 849 – 856 (2006)
31. Orhan, A., Gür, K. A., ve Çalgılı U., "Al matrisli B<sub>4</sub>C takviyeli kompozitlerin sıcak presleme yöntemiyle üretimi", *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (4) 8 – 13 (2007).
32. Çalgılı, U., Dikbaş, H., ve Taşkın, M., "Sıcak presleme yöntemiyle imal edilmiş SiCp takviyeli alüminyum esaslı kompozitlerin difüzyon kaynağında sürenin birleşme üzerindeki etkisinin incelenmesi", **Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi**, 18 (3); 437-443, 2006
33. Ekinci, Ş. V., "Alümina takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzeme üretimi ve mekanik özelliklerinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1 – 93 (2007).
34. Meydanoğlu, O., "Wear and corrosion behaviors of aluminum matrix boron carbide reinforced composites", *Istanbul Technical University, Institute Of Science And Technology* İstanbul (2006).
35. Hacıoğlu, T., Toptan, F., Dağlılar, S., ve Kerti, I., "Production and characterization of Al – B<sub>4</sub>Cp composites by powder metallurgy method", *IV International Boron Symposium*, 15 – 17/ Ekim / October, (2009)
36. Dikici, B., "Age hardening response of an Al/TiC Hot pressed multi – layered composite: Influence on corrosion", *Journal of Composite Materials published online* 9 September (2011).
37. Wan – li, G., "Bulk Al/SiC nanocomposite prepared by ball milling and hot pressing method", *Trans. Nonferrous Met. SOCC*, 16:398 – 40 China (2006).

38. Li, A., Zhen, Y., Yin, Q., Ma, L., and Yin, Y., "Microstructure and properties of (SiC, TiB<sub>2</sub>)/B<sub>4</sub>C composites by reaction hot pressing", *Ceramics International*, 32: 849 – 856 (2006).
39. Somunkıran, İ., ve Balın, A., "Sıcak presleme tekniğiyle üretilen Co esaslı Co – Cr – Mo toz alaşımında presleme sıcaklığının mikroyapı üzerine etkisi", *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, Turkey (2011).
40. Mindivan, H., Önal, M., Dikici, B., ve Gavgalı, M., "Comparison of corrosion and mechanical properties of Al – based metal matrix composite produced by in situ hot pres method", *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, Türkiye (2009).
41. Majumdar, S., Sharma, G. I., Raveendra, S., Samajdar, I., Bhargava, and P., Tewari, R. "A study on preparation of Mo – 0,6Ti – 0,2Zr – 0,02C alloy by mechanical alloying and hot isostatic pressing, and its characterization", *Materials Chemistry and Physics* 113: 562 – 566 (2009).
42. Martínez, J., Savoini, B., Monge, A. M., Muñoz, A., and Pareja, R., "Development of oxide dispersion strengthened W alloys produced by hot isostatic pressing", *Fusion Engineering and Design*, 86: 2534 – 2537 (2011).
43. Akarsu, C. A., ve Addemir, O., "Titanyum diborür katkısı sıcak preslenmiş bor karbür – silisyum karbür kompozitlerinin özelliklerinin incelenmesi", *IV. Uluslararası Bor Sempozyumu IV International Boron Symposium*, 15 – 17 / Ekim / October, (2009).
44. Huang, Q., Tan, Q., Yang, P., Lu, B., and Yu, H., "Relationship of the properties of hot – pressing C, B<sub>4</sub>C ve SiC composite with the content of additive Al" *Transactions Of NFSOC*, Vol. No.3, Sep. (1995).
45. Li, Q. J., Gu, M. K., Tang, N. J., Xie, H. S., and Zhuang, H. Y., "Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – NiCrAl Composites and functional gradient materials fabricated by reactive hot pressing", *Materials Chemistry and Physics*, 97: 31 – 36 (2006).
46. Sun, J., Liu, C., and Wang, R., "Low pressure hot pressing of B<sub>4</sub>C matrix ceramic composites improved by Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and TiC additives", *Materials Science and Engineering A* 519 : 27 – 31 (2009).
47. Kim, H., Koh, Y., and Kim, H., "Densification and mechanical properties of B<sub>4</sub>C with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as a sintering aid", *J. Am. Ceram. Soc.*, 83: 2863 – 65 (2000).
48. Şahin, F. C., Ergün, N., Turan, E., ve Yücel O., "Preparation of B<sub>4</sub>C/SiC composites", *10th International Conference and Exhibition of the European Ceramic Society*, Berlin (2007).



49. Palma, M, Preuhsb, J., and Sauthoffa, G., "Production scale processing of a new intermetallic NiAl – Ta – Cr alloy for high – temperature application Part II. Powder metallurgical production of bolts by hot isostatic pressing", *Journal of Materials Processing Technology* 136 : 114 – 119 (2003).
50. Zhang, W., Gao, L., Jian, L., Yang, B, and Yin, Y., "TiAl/B<sub>4</sub>C marine material – Fabrication, mechanical and corrosion properties", *Ceramics, International*, 37: 783 – 789 (2011).
51. Keçeli, Z., Ögünç, H., Boyraz, T., Gökçe, H., Addemir, O., ve Öveçoğlu, L. M., "Effects of B<sub>4</sub>C addition on the microstructural and thermal properties of hot pressed sic ceramic matrix composites", *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 37 : 2 (2009).
52. Deng, J., Zhou, J., Feng, Y., and Ding, Z., "Microstructure and mechanical properties of hot – pressed B<sub>4</sub>C/(W,Ti)C ceramic composites", *Ceramics International*, 28 : 425 – 430 (2002).
53. Li, G., Huang, X., and Guo, J., "Fabrication and mechanical properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Ni composite from two different powder mixtures", *Materials Science and Engineering A*, 352: 23 – 28 (2003).
54. Jiang, T., Jin, Z., Yang, J., and Qiao, G., "Investigation on the preparation and machinability of the B<sub>4</sub>C/BN nanocomposites by hot – pressing process" *Journal of Materials Processing Technology*, 561 – 571 (2009).
55. Estrada – Guel, I., Carreño – Gallardo, C., Cardoso – Cortés, J. L., Rocha – Rangel, E., Herrera – Ramírez, J. M., and Martínez – Sánchez, R., "Effect of metallic addition on mechanical properties in an aluminum – graphite composite synthesized by means of mechanical milling", *Journal of Alloys and Compounds*, 495 : 403 – 407 (2010).
56. Flores – Zamora M. I., Estrada – Guel I., Gonzalez – Hernandez J., Miki – Yoshida M., and Martinez – Sanchez R., "Aluminum – graphite composite produced by mechanical milling and hot extrusion", *Journal of Alloys and Compounds* 434 – 435 : 518 – 521 (2007).
57. Bedir, F., "Characteristic properties of Al – Cu – B<sub>4</sub>Cp and Al – Cu – SiCp composites produced by hot pressing method under nitrogen atmosphere", *Materials and Design*, 28 : 1238 – 1244 (2007).
58. Jianxin, D., and Junlong, S., " Microstructure and mechanical properties of hot – pressed B<sub>4</sub>C/TiC/Mo ceramic composites", *Ceramics International*, 35 : 771 – 778 (2009).
59. Nie, C., Gu, J., Liu, J., and Zhang, D., "Investigation on microstructures and interface character of B<sub>4</sub>C particles reinforced 2024Al matrix composites fabricated by mechanical alloying", *Journal of Alloys and Compounds*, 454 : 118 – 122 (2008).

60. Liu, C., Sun, J., "Erosion behaviour of B<sub>4</sub>C – based ceramic composites", *Ceramics International*, 36 : 1297 – 1302 (2010).
61. Jianxin, D., Junlong, S., "Sand erosion performance of B<sub>4</sub>C based ceramic nozzles", *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, 26 : 128 – 134 (2008).
62. Ekici, E., Gülesin, M., ve Özçatalbaş, Y., "Ön karıştırılmış ve sıcak preslenmiş Al – Cu alaşımı toz metal parçalarda kırkendall etkisi ve fiziksel özelliklerin araştırılması", *6th International Powder Metallurgy Conference & Exhibition*, Middle East Technical University Ankara, Turkey (2011).
63. Taşkın, M., Gür, K. A., Çalıgölü, U., Dikbaş, H., ve Çay, V. V., "Sıcak presleme yöntemiyle üretilmiş Al – Si – Mg kompozitinde SiCp 'nin adhesive aşınma direncine etkisinin araştırılması", *11. Uluslararası Denizli Malzeme Sempozyumu*, 724 – 727, Denizli/Türkiye
64. Karakaş, S. M., Acır, A., Ubeyli, M., ve Bilgehan, Ö., "Effect of cutting speed on tool performance in milling of B<sub>4</sub>Cp reinforced aluminum metal matrix composites", *Journal of Materials Processing Technology*, 178 : 241 – 246 (2006).
65. Acır, A., Übeyli, M., Günay, M., Şeker, U., and Turgut, Y., "A study on the cutting force in milling of boron carbide particle reinforced aluminum composite", *Science and Engineering of Composite Materials*, 16:3 (2009).
66. Übeyli, M., Acır, A., Karakaş, S. M., ve Demir, T., "On the surface roughness of Al – 4% Cu/B<sub>4</sub>C metal matrix composites machined by milling operation", *Science and Engineering of Composite Materials*, 15, 131 – 139 (2008).
67. Pul, M., Çalın, R., ve Şeker U., "İnfiltrasyon yöntemiyle üretilmiş Al matrisli Mgo takviyeli kompozitlerin işlenebilirliğinin asıl kesme kuvvetleri açısından değerlendirilmesi", *2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, 11 – 12 Kasım – Balıkesir (2010).
68. Sur, G., ve Gülesin, M., "Karma takviyeli kompozitin CBN kesici takımlarla işlenmesinde kesici takım özelliklerinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri", *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 16 – 18 May Elazığ, Turkey (2011).
69. Ciftci, I., Turker, M., ve Seker, U., "Evaluation of tool wear when machining SiCp – reinforced Al – 2014 alloy matrix composites", *Materials and Design*, 25 : 251 – 255 (2004).
70. Kılıçkap, E., Cakır, O., Aksoy, M., and Inan, A., "Study of tool wear and surface roughness in machining of homogenised SiCp reinforced aluminium metal matrix composite", *Journal of Materials Processing Technology*, 164 – 165 : 862 – 867 (2005).

71. Ubeyli, M., Acir, A., Keles, O., and Akcay, E. C., "Effect of cutting parameters on cutting force and surface roughness in milling alumina reinforced Al – 6Zn – 2Mg – 2Cu Composites", *Powder Metallurgy*, 000 : 00 (2009).
72. Turgut, Y., Çinici, H., Şahin, İ., and Fındık, T., "Study of cutting force and surface roughness in milling of Al/SiC metal matrix composites", *Scientific Research and Essays*, 6(10) : 2056 – 2062 (2011).
73. Lucchini, E., Lo Casto, S., Sbaizero, O., "The performance of molybdenum toughened alumina cutting tools in turning a particulate metal matrix composite", *Materials Science and Engineering*, A357 : 369 – 375 (2003).
74. Sornakumar, T., and Kumar, S. A., "Machinability of bronze – alumina composite with tungsten carbide cutting tool insert", *Journal Of Materials Processing Technology*, 202 : 402 – 405 (2008).
75. Ciftci, I., Turker, M., and Seker, U., "CBN cutting tool wear during machining of particulate reinforced MMCs", *Wear*, 257 : 1041 – 1046 (2004).
76. Muthukrishnan, N., Murugan, M., and Prahlada R. K., "An investigation on the machinability of Al – SiC metal matrix composites using PCD inserts", *Int J Adv Manuf Technol*, 38 : 447 – 454 (2008).
77. Manna, A., and Bhattacharayya, B., "Influence of machining parameters on the machinability of particulate reinforced Al/SiC – MMC", *Int J Adv Manuf Technol*, 25: 850 – 856 (2005).
78. Kök, M., "A study on the machinability of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particle reinforced aluminium alloy composite", *IIBCC 11 th Int. Inorganic – Bonded Fiber Composites Conference*, (2008).
79. Ubeyli, M., Acir, A., Karakaş, S. M., and Bilgehan, Ö., " Effect of feed rate on tool wear in milling of Al–4%Cu/B<sub>4</sub>Cp composite", *Materials and Manufacturing Processes*, 23: 865 – 870 (2008).
80. İnternet: Najem H. S., "Machinability of Al – 2024 reinforced with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and/or B<sub>4</sub>C",  
[http://www.uobabylon.edu.iq/uobcoleges/fileshare/articles/Machinability%20of%20Al – 2024 reinforced%20with%20Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>%20andor%20B<sub>4</sub>C.pdf](http://www.uobabylon.edu.iq/uobcoleges/fileshare/articles/Machinability%20of%20Al%20reinforced%20with%20Al2O3%20andor%20B4C.pdf) (2015).
81. Mahamani, A., " Machinability study of Al – 5Cu – TiB<sub>2</sub> in – situ metal matrix composites fabricated by flux – assisted synthesis", *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, 10-13 : 1243 – 1254 (2011).
82. Muthukrishnan, N., Murugan, M., and Rao P. K., "Machinability issues in turning of Al – SiC(10p) metal matrix composites", *Int J Adv Manuf Technol* 39:211 – 218, DOI 10.1007/s00170 – 007 – 1220 – 8 (2008).

83. Lin, T. J., Bhattacharyya, D., Fergusod, G. W., "Chip formation in the machining of SiC – particle reinforced aluminium – matrix composites", *Composites Science and Technology*, 58 : 285 – 291 (1998).
84. Clyne, T. W., "Metal matrix composites : matrices and processing", encyclopaedia of materials", *Science and Technology, Composites: MMC, CMC, PMC, A Mortensen (ed.), Elsevier*, (2001).
85. Görener, A., "AHP ve TOPSİS yaklaşımlarıyla metal matrisli kompozit imalat makinelerinin seçimi", *Mühendis ve Makine*, 52 : 613, 59 – 71 (2001).
86. Arsenault, R. J. and Wu, S.B., "A comparison of PM vs. Melted SiC/Al composites", *Scripta Metallurgica et Materialia*, 22: 767 – 772 (1998).
87. Günay, M., "Toz metalurjisi yöntemiyle üretilmesi Al – Si/SiCp kompozitlerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması", Gazi Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, Ankara, 1 – 232 (2009).
88. Eksi, A. K., and Bircan, D. A., "Mechanical properties of cold and warm compacted aluminum alloys (Al7XXX)", *Proceedings of 11th International Materials Symposium*, Denizli/Turkiye (2006).
89. Halverson, D. C., Pyzik, A. J., Aksay, I. A., and Snowden, W. E "Processing of boron carbide – aluminium composites", *J. Am. Ceram. Soc.*, 72 (5):775 – 780 (1989).
90. Sonsino, C. M., Schlieper, G., and Huppmann, W. J., "Influence of homogeneity on the fatigue properties of sintered steels", *Int. Journal Powder Metallurgy*, 20 (1) : 45 – 50 (1984).
91. Akgun, S., and Sahin, S., "Influence of age hardening on mechanical properties at SiC/AA7075 composites produced by P/M", *Proceedings of 11th International Materials Symposium*, Denizli/Turkiye (2006).
92. Mindiva, H., Baydogan, M., Kayalı, E. S., and Cimenoglu, H., "Wear behaviour of 7039 aluminum alloy", *Materials Characterization*, 54 : 263 – 269 (2005).
93. Harrigan, W. C., "Commercial processing of metal matrix composites", *Materials Science and Engineering*, 244 : 75 – 79 (1998).
94. Altunkok, N., Demir, A., Ozsert, I., Fındık, F., ve Soy, U., "The investigation of mechanical behaviour and produced Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiCp reinforced Al metal matrix composites", *Proceedings of 11th International Materials Symposium*, Denizli/Turkiye (2006).
95. Yu, X. X., and Lee, W. B., "The design and fabrication of an alumina reinforced aluminum composite material", *Composites : Part A*, 31: 245 – 258 (2000).

96. Flemings, M. C., and Young, K. P., "Rheocasting", *Yearbook of Science and Technology, McGraw – Hill*, New York, 12 – 140 (1978).
97. Hashim, J., Looney, L., and Hashmi, M. S. J., "Metal matrix composites: production by the stir casting method", *Journal of Materials Processing Technology*, 92 – 93: 1 – 7 (1999).
98. Ralph, B., Yuen, H. C., and Lee, B., "The processing of metal matrix composites – an overview", *Journal of Materials Processing Technology*, 63: 339 – 353 (1997).
99. Sukumaran, K., Pillai, S. G. K., Pillai, R. M. Kelukutty, V. S., Pai, B. C., Satyanarayana, K. G. and Ravikumar, K. K., "The effects of magnesium additions on the structure and properties of Al – 7 Si – 10 SiCp composites", *Journal of Materials Science*, 30: 1469 – 1472 (1995).
100. Gül, F., "Seramik parçacık takviyeli kompozitlerin üretim yöntemleri ve özellikleri", *M.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 15: 101 – 114 (1999).
101. İnternet: "Metal matrisli kompozit malzemeler ve üretim yöntemleri" [http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/imalattakompozit/MMK\\_son.pdf](http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/imalattakompozit/MMK_son.pdf) (2008).
102. Çalın, R., "Magnezya parçacık takviyeli al matrisli kompozitin vakum infiltrasyon yöntemi ile üretilmesi ve özelliklerinin incelenmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1 – 119 (2006).
103. Cornie, A. J., Flemings C. M., and Mortensan, A., "Solidification processing of metal matrix composites", *Ceramic Bulletin The American Ceramic Society*, 65: 293 – 303 (1986).
104. Ahlatci, H., Candan, E., and Cimenoglu, H., "Mechanical properties of Al – 60 pct SiCp composites alloyed with Mg", *Met. And Mat. Trans.*, A, 5 : 2127 – 2141 (2004).
105. Fletcher, T. R., Cornie, J. A., and Russell, K. C., "A capacitance technique for studying pressure infiltration", *Mat. Sci. and Eng.*, A 144 : 159 – 163 (1991).
106. Elwahed, M., and Asar, M., "Fabrication of matrix composite by infiltration process – part 2 experimental study", *J. Of Mat. Proc. Tech.*, 86 : 152 – 158 (1999).
107. Şahin, Y., "Kompozit malzemelere giriş", *Gazi Kitabevi*, Ankara, 91 – 134 (2000).
108. Demir, A., and Altinkok, N., "Effect of gas pressure infiltration on microstructure and bending strenght of porous Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiC – reinforced aluminium matrix composites", *Composites Science and Technology*, 64 : 2067 – 2074 (2004).

109. Elomari, S., Skibo D. M., Sundarrajan A., and Richards H., "Thermal expansion behavior of particulate metal – matrix composites", *Composites Science and Technology* 58: 369 – 376 (1997).
110. Ducret, D., Guerjouma El R., Guy P., Baboux C. J., and Merle P., "Characterization of anisotropic elastic constant of continuous alumina fibre reinforced aluminium matrix composite processed by medium pressure infiltration", *Composites Part A*, 31 : 45 – 55 (2000).
111. Wannasin, J., and Flemings M. C., "Fabrication of metal matrix composites by a high – pressure centrifugal infiltration process", *J. Of Materials Processing Technology*, Elsevier, 169: 143 – 149 (2005).
112. Salamcı, E., "Spray Casting" *G.U. J. Sci.*, 17(2) : 155 – 173 (2004).
113. Brooks, R. G., Leatham, A. G., Coombs, J. S., Moore, C., "The osprey process: a novel method for the production of forgings", *Metallurgia & Metal Forming* : 157 – 163 (1977).
114. Apelian, D., Gillen, G., and Leatham, A., "Near net shape manufacturing via the osprey process", *ASM Conf. Proc. Processing of Structural Metals by Rapid Solidification* : 107 – 125 (1986).
115. Leatham, A. G., and Ogilvy, A. J. W., "Commercial – scale application of spray – formed materials", *Journal of Materials Synthesis and Processing*, 5 (1): 5 – 10 (1997).
116. Lavernia, E. J., Baram, J. C., and Grant, N. J., "Developments in gas atomisation and spray deposition", *Metal Powder Report*, 42 (10): 688, 690 – 92, 694 – 95 (1987).
117. Koksall, F., "Al – Cu – SiC ve Al – Cu – B<sub>4</sub>C kompozitlerin sıcak presleme yöntemi ile üretimi ve aşınma özelliklerinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, (2004).
118. Kılıç, C., "Sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilmiş ve soğuk haddelenmiş AlMg<sub>3</sub>/SiCp kompozitinin aşınma özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne, 103 (2008).
119. Acılar, M., "Al/SiC kompozitlerin vakum infiltrasyon yöntemi ile üretimi ve aşınma davranışlarının araştırılması", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fenbilimleri Enstitüsü*, Ankara (2002).
120. Ray, S., "Review synthesis of cast metal matrix particulate composites", *Journal of Materials Science*, 28, 5397 – 5413. (1993).
121. Asthana, R., "Cast metal matrix composites. I: fabrication techniques", *Journal of Materials Synthesis and Processing*, 5, 251 – 278 (1997).

122. Kök, M., "Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Partikül takviyeli 2024 alüminyum metal matriksli kompozitlerin retimi", *Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4: 2 (2001).
123. Akbulut, H., Durman, M., ve Yılmaz, F., "SiC seramik partikül takviyeli alüminyum – silisyum metal esaslı kompozitlerin üretimi ve özelliklerinin incelenmesi", *7. Uluslararası Metalrji ve Malzeme Kongresi*, Ankara, 1183 – 1194 (1993).
124. Ghost, P. K., and Ray, S., "Influence of process parameters on the porosity content in Al(Mg) – alumina cast particulate composite produced by vortex method", *AFS Trans.*, 775 – 782 : 88 – 214 (1988).
125. Hanumanth, G. S., and Irons, G. A., "Particle incorporation by melt stirring for the production of metal – matrix composites", *Journal of Materials Science*, 28 : 2459 – 2465 (1993).
126. Gl, F., ve İnem, B. "Dkm yoluyla SiC takviyeli kompozitlerin geliştirilmesi", *Savunma Sanayindeki Teknolojik Gelişmeler Sempozyumu*, 5 – 6 Haziran, Kara Harp Okulu, Ankara (1997).
127. German, R. M., "Powder Metallurgy & Particulate Materials Processing", eviri Editörleri: Sarıtas, S., Türker, M., Durlu, N., *MPIF*, New Jersey, 4 – 272 (2007).
128. Bahçeci, E., "Al Matrisli Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> takviyeli kompozit malzeme üretimi ve işlenebilirliğinin karakterizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 4 – 24 (2006).
129. İnternet: "Türk toz metalurjisi derneği", <http://www.turktoz.gazi.edu.tr/ttmd.tr.htm> (2004).
130. Ekerer, A., F., "Alumina – SiC Partikül destekli T/M Al – matriksli kompozitlerin üretilmesi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 68 (2007).
131. Sukumaran, K., Pillai, S. G. K., Pillai, R. M. Kelukutty, V. S., Pai, B. C., Satyanarayana, K. G., and Ravikumar, K. K., "The effects of magnesium additions on the structure and properties of Al – 7 Si – 10 SiCp composites", *Journal of Materials Science*, 30 : 1469 – 1472 (1995).
132. Suresh, K. R., Niranjan, H. B., Jebaraj, P. M., and Chowdiah M. P., "Tensile and wear properties of aluminium composites", *Wear*, 255 : 638 – 642 (2003).
133. Huda, D., Baradie, M. A., and Hashmi, M. S. J., "Metal matrix composites: Manufacturing aspects. Part I", *Journal of Materials Processing Technology*, 37 : 513 – 528 (1993).

134. İnternet: Sivil havacılık sitesi "Alüminyum esaslı kompozit malzemeler", [http://indir.sivilhavacilik.net/dokuman/Harun YILMAZ](http://indir.sivilhavacilik.net/dokuman/Harun_YILMAZ) (2010).
135. Uslan, İ., Küçükarslan, S., "Kalay Tozu Üretimine Gaz Atomizasyonu Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(1) : 1-8 (2010).
136. İnternet: Ecka Granules, "Alumix 13 alaşım tozu" [http://www.ecka – granules.com/en/products/aluminum – and – aluminum – alloys/](http://www.ecka-granules.com/en/products/aluminum-and-aluminum-alloys/) (2011).
137. Ay İ., ve Okoldan G., "Sıcak iş takım çeliklerine uygulanan ısıl işlemler ve bir uygulama", *UlusalEO8*, (1997).
138. İnternet : Assab, "Sıcak iş takım çeliği", [http://www.assab.com.tr/turkish/1152\\_TRK\\_HTML.htm](http://www.assab.com.tr/turkish/1152_TRK_HTML.htm) (2013).
139. Karaşoğlu, M., and Karaoğlu, S. "Investigations of the effects of process and material factors on microstructure and mechanical properties in aluminum matrix composites, produced by powder metallurgy", *Engineering and Machinea*, 55- 649 : 17 – 23 (2014).
140. Li, Y. Y., Ngai, L. T., Zhang, T. D., Long, Y., and Xia, W., "Effect of die wall lubrication on warm compaction powder metallurgy", *Journal of Materials Processing Technology*, 129 (1 – 3) : 354 – 358 (2002).
141. Gode, C., "Mechanical properties of hot pressed SiCp and B<sub>4</sub>Cp/Alumix 123 composites alloyed with minor Zr", *Composites : Part B* 54 : 34 – 40 (2013).
142. İnternet : " TCLNR 2525 M12 takım tutucu ", [http://www.briol – nastroje.cz](http://www.briol-nastroje.cz) (2014).
143. Ahlatci, H., Koçer, T., Candan, E., and Çimenoglu, H., "Wear behaviour of Al/(Al<sub>2</sub>O<sub>3p</sub>+SiCp) hybrid composites", *Tribology International* 39 : 213 – 220 (2006).
144. Satyanarayana, K. G., Ojha, S. N., Naresh Nath Kumar, D., and Sastry, G., V., S., "Studies on spray casting of Al – alloys and their composites", *Materials Science and Engineering*, A304 – 306 : 627 – 631 (2001).
145. Shaw, M. C., "Metal cutting principles", *Oxford University Press*, Oxford, 1 – 9 (1989).
146. Sandvik Coromant, "Modern metal cutting – A practical handbook", English Edition, *Sandvik Coromant*, Sweden, I – III (1994).
147. Hasırcı, H., and Gül F., "Investigation of abrasive wear behaviours in B<sub>4</sub>C /Al composites depending on reinforcement volume fraction", *SDU International Technologic Science*, 2 : 1 (2010).



148. Toptan, F., ve Kerti, I., "B<sub>4</sub>C ile takviye edilen alüminyum matrisli kompozitlerin döküm yöntemi ile üretimi", *12. Uluslararası Metalurji – Malzeme Kongresi*, 808 – 812 (2006).
149. Akın, G., Mindivan, H., Çimenoğlu, H., ve Kayalı, E. S., "Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen alüminyum matrisli bor karbür takviyeli kompozitlerin aşınma davranışının incelenmesi", *12. Uluslararası Metalurji – Malzeme Kongresi*, 735 – 740 (2006).
150. Kennedy, A. R., and Brampton, B., "The Reactive wetting and incorporation of B<sub>4</sub>C particles into molten aluminum", *Scripta Materialia*, 44, 1077 – 1082, (2001).
151. Sur, G., Şahin, Y., and Gökkaya, H., "Methods, production of aluminum based particulate reinforced composites using molten metal mixing and squeeze casting", *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.*, 20 (2), 233 – 238 (2005).
152. Mortensen, A., Cornie, J. A., and Flemings, M. C., "Solidification processing of metal – matrix composites", *JOM*, 40 (2) : 12 – 19 (1988).
153. Doğan, A. M., Kanca E., ve Kök M. "Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partikül takviyeli 6061 alüminyum metal matriksli kompozitlerin üretimi." *International Iron & Steel Symposium*, Karabük, Türkiye (2012).
154. Baradeswaran, A., and Perumal, E. A., "Study on mechanical and wear properties of Al 7075/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> /graphite hybrid composites", *Composites: Part B* 56 : 464 – 471 (2014).
155. Baradeswaran, A., and Perumal, E. A., "Wear and mechanical characteristics of Al 7075/graphite composites", *Composites : Part B* 56 : 472 – 476 (2014).
156. Ravindran, P., Manisekar, K., Narayanasamy, R., and Narayanasamy, P., "Tribological behaviour of powder metallurgy – processed aluminium hybrid composites with the addition of graphite solid lubricant", *Ceramics International*, 39 : 1169 – 1182 (2013).
157. Suresha, S., and Sridhara, K. B., "Wear characteristics of hybrid aluminium matrix composites reinforced with graphite and silicon carbide particulates", *Composites Science and Technology*, 70 : 1652 – 1659 (2010).
158. Mahdavi, S., Akhlaghi, F., "Effect of the graphite content on the tribological behaviour of Al/Gr and Al/30SiC/Gr composites processed by in situ powder metallurgy (IPM) Method", *Tribol Lett*, 44 : 1 – 12 (2011).
159. Lee, S. H., Yeo, S. J., Hong, H. S., Yoon, J. D., and Na, H. K., "The fabrication process and mechanical properties of SiCp/Al – Si metal matrix composites for automobile air – conditioner compressor pistons", *Journal of Materials Processing Technology*, 113 : 202 – 208 (2001).

160. Seo, Y. H., and Kang, C. G., "The effect of applied pressure on particle – dispersion characteristics and mechanical properties in melt – stirring squeeze – cast SiCp/Al composites", *Journal of Materials Processing Technology*, 55 : 370 – 379 (1995).
161. Özdemir, İ., Çöcen, Ü., and Önel, K., "The effect of forging on the properties of particulate – SiC – reinforced aluminium – alloy composites", *Composites Science and Technology*, 60 : 411 – 419 (2000).
162. Han, Y., Liu, X., and Bian, X., "In situ TiB<sub>2</sub> particulate reinforced near eutectic Al – Si alloy composites", *Composite Part A*, 33 : 439 – 444 (2002).
163. Hocheng, H., Yen, SB., Ishihara, T., and Yen, BK., "Fundamental turning characteristics of a tribology – favoured graphite/aluminum alloy composite material", *Composites* 28A : 883 – 90 (1997).
164. Kumar, A., Mahapatra, M. M., and Jha K. P., "Effect of machining parameters on cutting force and surface roughness of in situ Al – 4.5%Cu/TiC metal matrix composites", *Measurement*, 48 325 – 332 (2014).
165. Venkatesh, R., Hariharan, A. M., and Muthukrishnan, N. "Machinability studies of Al/SiC/ (20p) MMC by using PCD insert (1300 grade)", *Proceedings of the World Congress on Engineering, WCE*, Vol II (2009).
166. Gökkaya, H., "AA5052 alaşımının işlenmesinde işleme parametrelerinin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak incelenmesi", *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12 (3) 295 – 301 (2006).
167. Yang, JB., Lin, CB., Wang, TC., and Chu, HY., "The tribological characteristics of A356.2Al alloy/Gr(p) composites", *Wear*, 257:941 – 52 (2004).
168. Ames, W., and Alpas, AT. "Wear mechanisms in hybrid composites of graphite – 20Pct SiC in A356 aluminium alloy (Al – 7 Pct Si – 03 Pct Mg) ", *Metall Mater Trans A.*, 26A : 85 – 98 (1995).
169. Kestursatya, M., Kim, JK, and Rohatgi, PK., "Wear performance of copper – graphite composite and leaded copper alloy", *Mater Sci Eng.*, A339 : 150 – 8 (2003).
170. Yen, BK., and Ishihara, T., "Effect of humidity on friction and wear of Al – Si eutectic alloy and Al – Si Alloy – graphite composites", *Wear*, 169 – 75. (1996).
171. Gökkaya, H., ve Nalbant, M., "Kesme hızının yığıntı katmanı ve yığıntı talaş oluşumu üzerindeki etkilerinin SEM ile incelenmesi" *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 22 (3) : 481 – 488 (2007).

172. Lee, T.H., "An experimental and theoretical investigation for the machining of hardened alloy steels", PhD. Thesis, *The University of New South Wales*, Sydney, Australia, 10 – 120 (2007).
173. Coelho, R. T., Yamada, S., leRoux, T., Aspinwall, D. K., and Wise, M. L. H., "Conventional machining of an aluminium based SiC reinforced metal matrix composite (MMC) alloy", *Proceedings 30<sup>th</sup> MATADOR*, 125 – 133 (1993).
174. Kopaci, J. and Bahor, M., "Interaction of the technological history of a workpiece material and the machining parameters on the desired quality of the surface roughness of a product", *Journal of Materials Processing Technology*, 92 – 92: 381 – 387 (1999).
175. Gökkaya H., "The effects of machining parameters on cutting forces, surface roughness, built-up edge (BUE) and built-up layer (BUL) during machining AA2014 (T4) alloy", *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, 56 : 9, 584-593 (2010).
176. Gomez – Parra, A., Alvarez – Alcon, M., Salguero, J., Batista M., and Marcos M., "Analysis of the evolution of the built – up edge and built – up layer formation mechanisms in the dry turning of aeronautical aluminium alloys", *Wear*, 302 1209 – 1218 (2013).
177. Sanjay, K. M., "Composites manufacturing", 2002by *CRC Press LLC*, ISBN 0 – 8493 – 0585 – 3 (2002).
178. Oishi, K., "Mirror cutting of aluminium with sapphire tool", *Journal of Materials Processing Technology*, 62 : 331 – 334 (1996).

## ÖZGEÇMİŞ

Engin NAS, (d. 03 EKİM 1983, Bafra/ SAMSUN), Öğr. Gör. / Düzce Üniversitesi;

İlköğrenimini Bafra Kuşçular Köyü İlkokulunda, ortaöğrenimini Bafra Cumhuriyet Ortaokulunda tamamlayan NAS, Bafra Endüstri Meslek Lisesi Makine bölümünde aldığı eğitimin ardından, 2005 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Öğretmenliği programında lisansını tamamladı. Aynı üniversitede 2005 yılında başladığı Yüksek lisans eğitimini 2008 yılında tamamladı. Şu an Düzce Üniversitesi, Cumayeri Meslek Yüksekokulu Makine ve Metal Teknolojileri Bölümünde Öğretim Görevlisi (2009-..) olarak çalışmaktadır. Düzce Üniversitesi'nde çalıştığı yıllarda çeşitli idari görevlerde bulunmuştur; Yüksekokul Müdür Yardımcısı, Bölüm Başkan Yardımcısı. Askerlik görevini kısa dönem olarak tamamlamış NAS evli ve bir kız çocuğu sahibidir.