

Al MATRİSLİ MgO TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN FARKLI KESİCİ UÇLARLA TORNALANMASINDA KESME HIZININ AŞINMA DAVRANIŞINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Gültekin UZUN^a, MuharremPUL^{b*}, Recep ÇALIN^c, Ulvi ŞEKER^d

^aGazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü
Tel: 0-312-2028686 uzun.gultekin@gazi.edu.tr Ankara/TÜRKİYE

^bKırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
Tel: 0-318-3574242 mpul@kku.edu.tr Kırıkkale/TÜRKİYE

^cKırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
Tel: 0-318-3574242 calin34@kku.edu.tr Kırıkkale/TÜRKİYE

^dGazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü
Tel: 0-312-2028686 useker@gazi.edu.tr Ankara/TÜRKİYE

Özet

Kompozit malzemelerin kullanım alanlarındaki artışa bağlı olarak talaşlı imalatları ve işlenebilirlikleri konusundaki araştırmalarda hız kazanmıştır. Bu çalışmada, karıştırmalı döküm yöntemi kullanılarak Al matrisli ve MgO takviyeli kompozit malzemeler % 5, % 10 ve % 15 takviye-hacim (T-H) oranlarında üretilerek, sementit karbür (SK) ve kaplamalı sementit karbür (KSK) kesici uçlar ile işleme deneyleri yapılmıştır. İşleme deneyleri; bilgisayar sayısal denetimli torna tezgahında (BSD) 150, 200, 250, 300 m/min kesme hızlarında, 0,15 mm/rev ilerleme değerinde ve 1 mm sabit kesme derinliğinde gerçekleştirilmiştir. İşleme deneylerinden sonra, kesici uçların tarama elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri alınarak aşınma davranışları incelenmiştir. Kesici uçların SEM görüntüleri değerlendirildiğinde; kesici uçların uç kısmında yığıntı talaş (BUE) olduğu, kompozit yapı içerisindeki MgO takviye oranlarındaki artışla birlikte BUE miktarının da artış gösterdiği, kesme hızının artışına bağlı olarak BUE miktarının azaldığı, bütün kesici uçlarda kayda değer bir aşınmanın oluşmadığı, SK uçlarda çok az miktarda yan yüzey aşınmasının meydana geldiği sonucuna varılmış olup, genel olarak en kararlı sonuçlar KSK uçlarla elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kompozit, MgO, İşleme, Takım aşınması

1.Giriş

Günümüzde kompozit malzemelerin üretiminde, çeşitli mühendislik malzemeleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozitlerin, mükemmel mekanik özellikleri, farklı birleşim ve şekillerde üretilibilmeleri, yorulma, tokluk, yüksek sıcaklık, oksitlenme ve aşınma dayanımlarının yüksek olması nedeniyle bütün endüstriyel alanlarda gün geçtikçe kullanımları artmaktadır [1]. Ana elemanı (matris malzemesi) metal olan kompozitler bunlardan birisidir. Bu kompozitlerin içerisine takviye elemanı olarak, genellikle seramik esaslı SiC, Al₂O₃, SiO₂ ve MgO gibi malzemeler ilave edilmektedir. Metal matrisli kompozitlerin (MMK) üretiminde kullanılan sıvı hal işlemlerinden biriside karıştırmalı döküm yöntemidir [2]. Bu yöntemde, yüksek teknolojilere ve pahalı gereçlere ihtiyaç duyulmamaktadır.

MMK'lerin ticari olarak kullanımlarının belirlenmesinde en önemli kriterlerden birisi de talaşlı işleme karşı gösterdikleri davranışları ve performanslarıdır. Bu konuyla ilgili araştırmalarda, genel olarak, kesme hızı ve ilerlemenin artması ile hem kesme kuvvetinin hem de takım aşınmasının arttığı belirtilmektedir [3, 4]. MMK malzemelerin içerisindeki seramik özellikli takviye elemanlarının aşındırıcı ve sert yapıda olmaları nedeniyle çok zor talaş kaldırılabilirdiği, kesme hızının takım aşınması üzerinde

en etkili parametre olduğu ve kesme hızının 50 m/min'den 150 m/min'e çıkmasıyla aşınmanın iki katına çıktığı ifade edilmiştir [5].

Günümüzde seramik takviyeli MMK malzemelerin talaşlı imalatında kullanılan kesici uçlar sınırlı sayıdadır. Yapılan çalışmalarda çoğunlukla, kübik bor nitrür (KBN) ve çok kristalli elmas (ÇKE) kesici uçların kullanıldığı belirtilmektedir. MMK malzemelerin işlenebilirliğinin değerlendirilmesinde daha çok kesici uçların performansı ve ömrü araştırılmıştır. Talaşlı işlemler sırasında meydana gelen takım aşınmalarının en önemli sebebi olarak takviye elemanlarının sertliği gösterilmiştir [6, 7]. Takviye elemanlarının genellikle koparak matris malzemesinden ayrıldığı ve takım ucunda yığılmalara neden olduğu birçok araştırmada ifade edilmiştir. [8-10].

Yapılan bazı çalışmalarda; sementit karbür (SK) uçların kaba işlemlerde, KBN ve ÇKE uçların ise hassas işlemlerde uygun olduğu, KBN ve ÇKE uçların MMK malzemelerin işlenmesinde uzun ömürlü oldukları ve takım yüzeylerinde diğerlerine nazaran en az seviyede aşınma olduğu vurgulanmaktadır [11]. Ayrıca, ÇKE uçlar ile işleme deneylerinde malzeme yapışmasının çok daha az olduğu ve SK uçlara göre 50 kat daha iyi performans gösterdiği belirtilmektedir [12, 13]. İşleme deneylerinde, ilerleme miktarının kesme kuvvetleri üzerinde etkili olduğu, ilerleme miktarının artmasıyla; kesme kuvvetlerinin artış gösterdiği ve takım üzerinde yığıntı talaş (BUE) oluşumunun artarak, takım aşınmasını hızlandırdığı belirtilmektedir [14, 15]. Ayrıca, düşük kesme hızlarında ve kaba talaş işlerinde SK kesici uçların kullanılabilmesi ve daha ekonomik olacağı da ifade edilmiştir [4, 12].

Bu çalışmada, Al matrisli MgO takviyeli kompozitler karıştırmalı döküm yöntemiyle; % 5, % 10 ve % 15 Takviye-hacim (T-H) oranlarında üretilerek, elde edilen numuneler bir dizi işleme deneyine tabi tutulmuştur. İşleme deneylerinde, sementit karbür (SK) ve kaplamalı sementit karbür (KSK) olmak üzere iki ayrı kesici takım kullanılmıştır. Bu deneyler, kuru kesme şartlarında, dört ayrı kesme hızında, üç farklı ilerlemede ve sabit kesme derinliğinde gerçekleştirilmiştir. İşleme deneylerinde kullanılan, her kesici takımı, tarama elektron mikroskopunda (SEM) takım aşınma davranışları incelenmek üzere görüntüler alınmıştır. İşleme deneylerine ve SEM görüntülerine ait sonuçlar, üretilmiş olan üç farklı takviye-hacim (T-H) oranındaki MMK malzemeye ve kesme parametrelerine göre kesici takım aşınması yönünden değerlendirilmiştir.

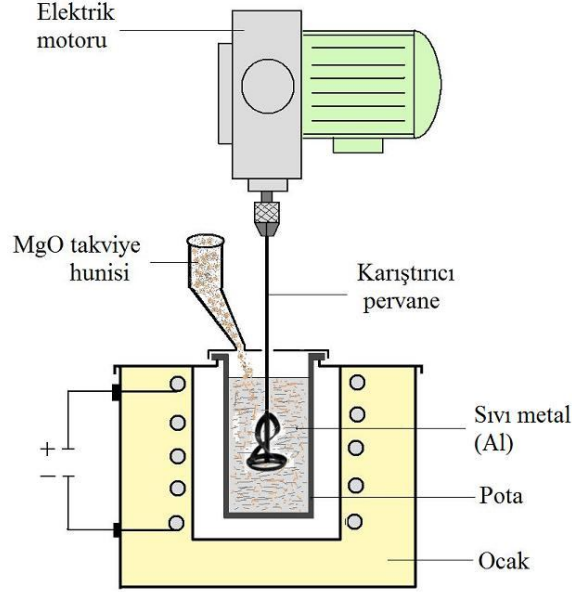
2. Deneysel Çalışmalar

2.1. MMK Numunelerin Karıştırmalı Döküm Yöntemiyle Üretilmesi

Kompozit numunelerin üretiminde; matris malzemesi olarak, EN AW 1050 A standardında, % 99,5 saflığında alüminyum, takviye elemanı olarak ise, 105 µm - 149 µm tane büyüklüğünde magnezya (MgO) parçacıkları kullanılmıştır.

Kompozit numunelerin üretimi için; matris malzemesi Al, pota içerisine konarak ergitme işlemine başlanmış ve sıvı matris sıcaklığı 750°C'a çıkıncaya kadar beklenmiştir. Sıvı matris malzemesini karıştırmak üzere hazırlanan düzenek sıvı metal içerisine daldırılarak karıştırma işlemine başlanmıştır. Karıştırma devri kademeli olarak 500 rev/min'ne çıkarılarak, takviye oranına göre belirlenen miktardaki MgO tozu, karıştırma işlemi devam ederken sıvı metal içerisine ilave edilmiştir. Takviye elemanı MgO'in sıvı matris malzemesi Al içerisine ilavesi tamamlandıktan sonra, karışım içerisindeki MgO parçacıklarının homojen dağılımını sağlamak amacıyla, 4 - 5 dakika süreyle 500 rev/min hızında karıştırma işlemine devam edilmiştir. Karıştırma tamamlandıktan hemen sonra, pota ocak içerisinden çıkarılarak, elde edilen karışım 30 mm çapında ve 100 mm boyundaki çelik kalıplar içerisine dökülerek oda sıcaklığına soğumaya bırakılmıştır. Aynı işlemler her T-H oranı için ayrı ayrı uygulanmıştır. Elde

edilen kompozit numunelerin mikroyapılarını incelemek üzere SEM fotoğrafları çekilmiştir. Kompozit numunelerin üretiminde Şekil 1'de görülen deney düzeneği kullanılmıştır



Şekil 1- Karıştırılmalı döküm deney düzeneği

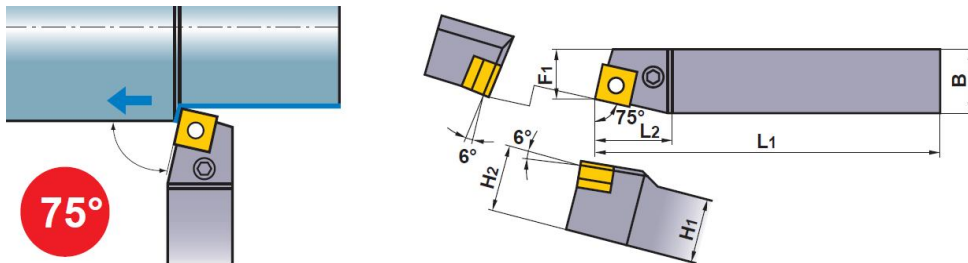
2. MMK Numunelerin İşleme Deneyleri

İşleme deneyleri, Bilgisayar Sayısal Denetimli (BSD) torna tezgahında, kuru kesme şartlarında, dört farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme ve sabit kesme derinliğinde gerçekleştirilmiştir. Kesme derinliği ve ilerleme hızları ISO 3685'te [16] belirtildiği gibi kesici takım uç yarı çapına bağlı olarak, gereken değer aralığında olacak şekilde seçilmiştir. Kesme parametrelerinin gösterildiği tablo, Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1- Deneylerde kullanılan kesme parametreleri ve seviyeleri

Kesme hızı (V), m/min	İlerleme (f), mm/rev	Kesme derinliği (a), mm
150 - 200 - 250 - 300	0,15	1

Talaşlı işleme deneylerinde, ISO 3685 standardında belirtilen özelliklere ve deneylerin yapılacağı şartlara uygun olarak, Şekil 2'de gösterilen Mitsubishi Carbide marka *PSBNR 2525 M12* kodlu takım tutucu kullanılmıştır.



Ölçüler (mm)					
H1	B	L1	L2	H2	F1
25	25	150	25	25	22

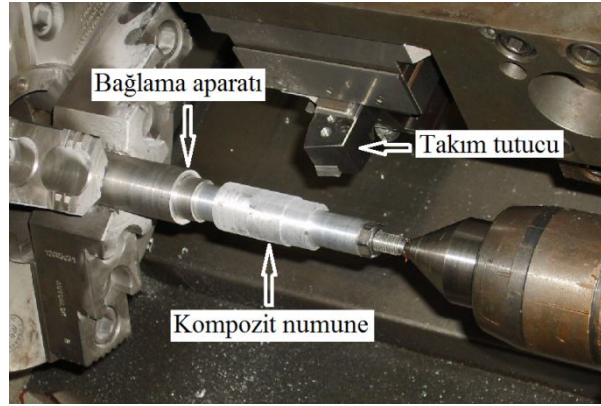
Şekil 2 - Mitsubishi Carbide PSBNR 2525 M12 kodlu takım tutucu [17]

İşlenebilirlik deneyleri, üç takviye-hacim oranına ait numuneler üzerinde, Sandvik marka, Sementit Karbür (SK) ve Kaplamalı Sementit Karbür (KSK) kesici uçlar olmak üzere, iki ayrı kalitede seçilen kesici uçlar ile gerçekleştirilmiştir. Kesici uçların ISO kodları, yapı ve geometrik özellikleri ile teknik bilgileri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2 - Kullanılan kesici uçların özellikleri [18]

Takım Kodu	Kalite Üretici Kodu	Ana Karbür Yapısı	ISO Geometri Tanımlama Kodu	Kesici Takım Geometrisi
SK	Sandvik 432-H13A	WC-TiCTaC +Bağlayıcı: Co	SNMA120408	
KSK	Sandvik 432-KR-3210	WC-TiCTaC Kaplamalı + Bağlayıcı: TiN- Al ₂ O ₃	SNMA120408-KR	

Hazırlanan numuneler; BSD torna tezgahında kolay, hassas ve kısa zamanda işleme şartları dikkate alınarak imal edilen bir bağlama aparatı ile talaşlı işleme deneyine tabi tutulmuştur. Şekil 3'te üretilen kompozit numunenin BSD torna tezgahında, bağlama aparatıyla işlenmesi gösterilmektedir.

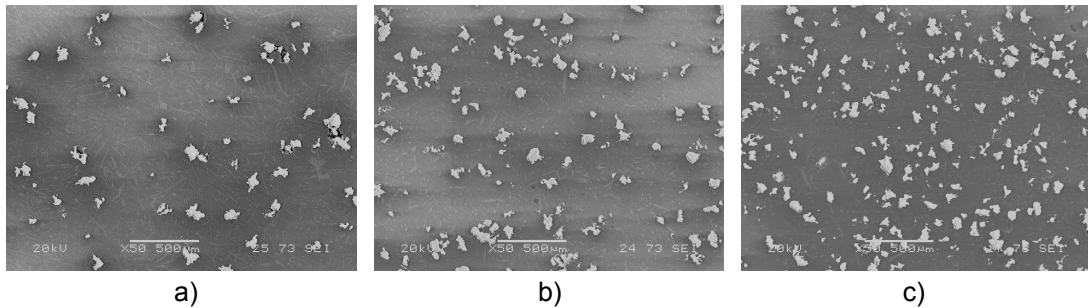


Şekil 3 - MMK numunenin BSD torna tezgahında işlenmesi

3. Deney Sonuçları ve Tartışma

3.1. Mikroyapı Özellikleri ve T-H Oranının MgO Parçacık Dağılımına Etkisi

Üretimi tamamlanan MMK numunelerdeki kompozit yapıyı incelemek üzere, % 5, % 10 ve % 15 MgO T-H oranındaki numunelerin SEM görüntüleri alınmıştır. Şekil 4'te MMK numunelerin mikroyapılarına ait SEM görüntüleri verilmiştir.



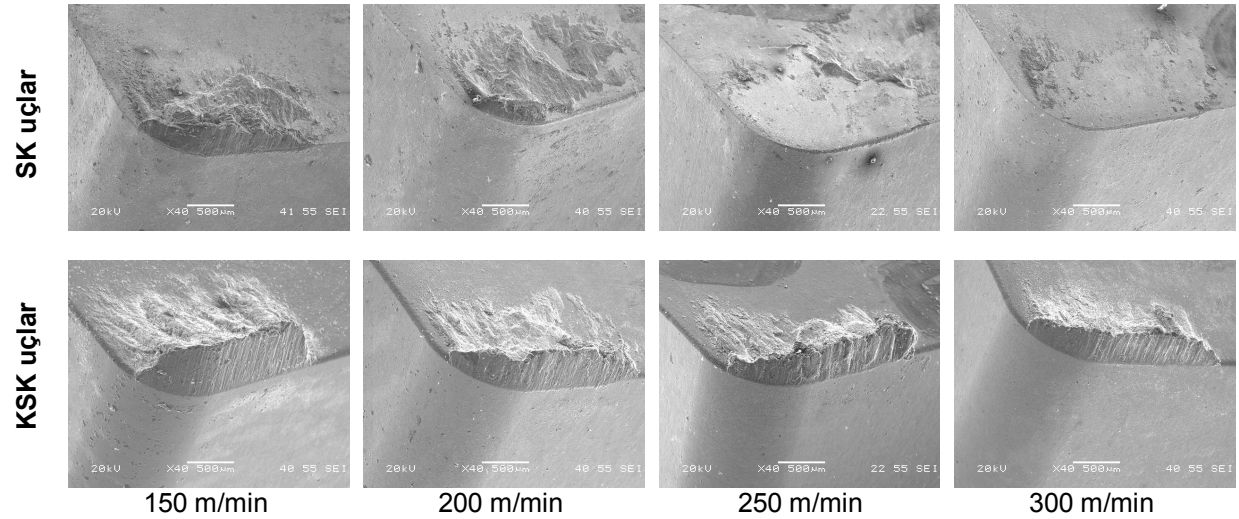
Şekil 4 - Takviye-hacim oranına bağlı olarak üretilen kompozit numunelerin mikroyapıları
a) % 5 MgO b) %10 MgO c) %15 MgO

SEM görüntüleri incelendiğinde; genel olarak bütün T-H oranlarında, MgO parçacıklarının homojen yakın bir dağılımı görülmektedir. T-H oranının artmasıyla, MgO parçacıklarının üretilen kompozitlerin

içerisinde homojen dağılımının da arttığı ve en iyi dağılımın % 15 MgO takviyeli kompozitte olduğu görülmektedir. Matris malzemesi Al'un takviye elemanı MgO'ü genel olarak iyi ıslattığı ve gözenek miktarının oldukça düşük olduğu SEM görüntülerinden anlaşılmaktadır. Genel olarak görülen bu olumlu yapı özelliklerinden anlaşılacağı üzere, karıştırmalı döküm deneylerinde seçilen 750°C'luk sıvı Al sıcaklığının yeterli olduğu, en fazla 500 dev/dak olan karıştırma hızı ve 5 dakika'lık karıştırma süresinin de yeterli kabul edilebileceği ancak, takviyenin daha fazla homojen dağılımını sağlamak ve ıslatmayı daha da iyileştirmek için bu değerlerin bir miktar üzerine çıkılabileceği söylenebilir. Benzer uygulama ve sonuçlar, Sur, Şahin ve Gökkaya'nın [19] çalışmalarında da ortaya konmuştur. Ayrıca, 105 µm - 149 µm parçacık büyüklüğüne sahip MgO'in karıştırmalı döküm yöntemi ile Al matris içerisine ilave edilmesinin uygun olduğu ve başarılı olarak üretilebileceği de ifade edilebilir.

3.2. Kesici Takım Davranışlarının İncelenmesi

İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan kesici uçlarla yapılan işleme deneylerinden sonra kesici uçlardaki aşınma davranışını incelemek üzere SEM görüntüleri alınmıştır. Bu amaçla, % 5 MgO, % 10 MgO ve % 15 MgO takviyeli kompozit numunelerin 150, 200, 250 ve 300 m/min kesme hızlarında ve 0,15 mm/rev ilerleme miktarındaki aşınma davranışları, SK ve KSK uçlar için incelenmiştir. Şekil 5'te % 5 MgO takviyeli kompozit numunelerin işlenmesinde kullanılan SK ve KSK uçların SEM görüntüleri verilmiştir.



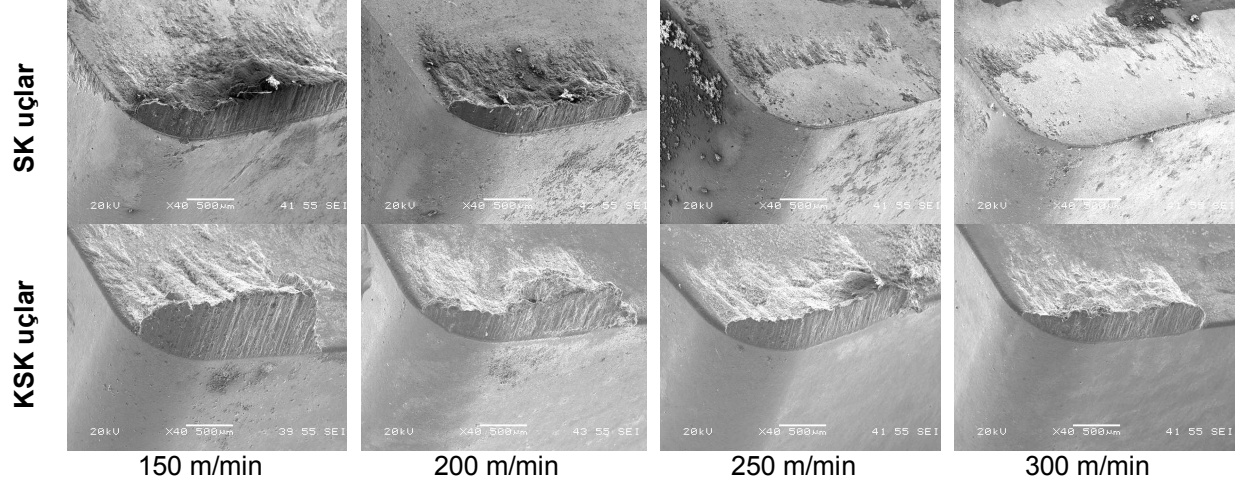
Şekil 5 - % 5 MgO takviyeli kompozit numunelerin 0,15 mm/rev ilerleme miktarında, 150, 200, 250 ve 300 m/min kesme hızlarında işlenmesinde kullanılan SK ve KSK uçların SEM görüntüleri

Şekil 5'teki SEM görüntüleri incelendiğinde; % 5 MgO takviyeli numunenin işlenmesinde SK ve KSK uçlar ile yapılan deneyler sonucunda kesme hızının artışı ile kesici üzerindeki talaş yapışmasının (BUE) azaldığı gözlenmiştir. Genel olarak, kesme hızının artmasıyla BUE'nin azalması beklenen bir davranış olup literatürle paralellik arz etmektedir. Bu durumu, kesme hızının artmasıyla beraber kesme bölgesinde artan sıcaklığa bağlı olarak plastik deformasyonun ve ısıl yumuşama ile takım-talaş ara yüzeyinde sürtünmenin azalmasıyla talaş akışının kolaylaşması olarak açıklamak mümkündür [20, 21].

KSK takım ile yapılan deneylerde 150 m/min kesme hızında her iki kesici içinde en yüksek BUE oluşumu gerçekleşmiştir. Kesme hızının artışı ile BUE oluşumunu azaldığı gözlenmiştir. SK takımında 250 ve 300 m/min kesme hızlarında BUE oluşumu yok denecek kadar azalmıştır. SK takım için en yüksek BUE, 150 m/min kesme hızında oluşurken, 200 m/min kesme hızında oluşan BUE'nin yaklaşık % 50 azaldığı söylenebilir. Her iki takım % 5 MgO takviyeli numune için değerlendirildiğinde, SK takım üzerinde oluşan BUE'nin, KSK takıma göre daha az gerçekleştiği tespit edilmiştir. Takım aşınmalarına

bakıldığında, sadece SK uçlarda 250 m/min ve 300 m/min kesme hızlarında çok az miktarda yan yüzey (yanak) aşınmasının meydana geldiği görülmektedir.

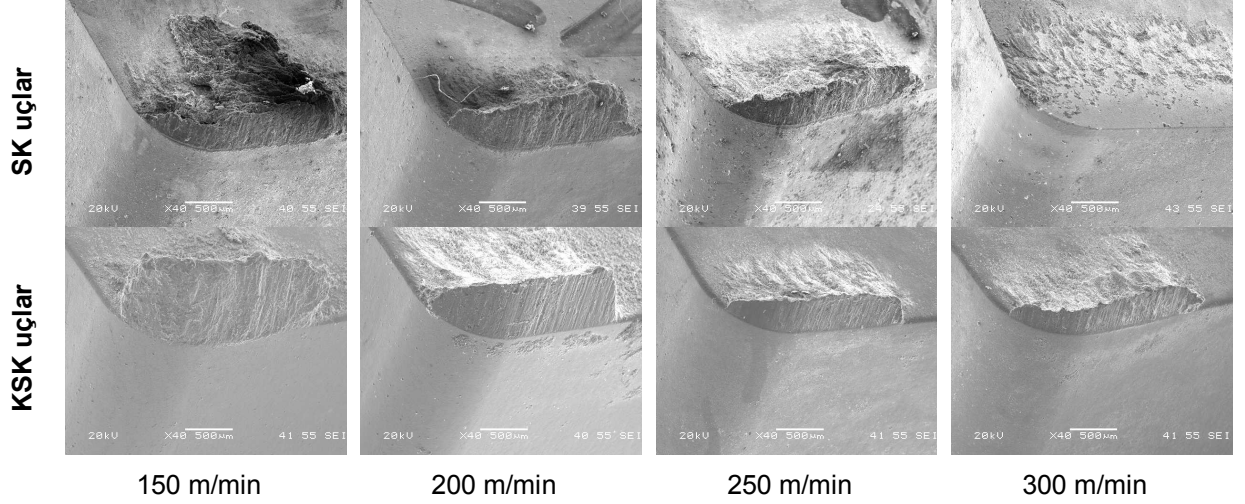
Şekil 6'da % 10 MgO takviyeli kompozit numunelerin işlenmesinde kullanılan SK ve KSK uçların SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 6 - % 10 MgO takviyeli kompozit numunelerin 0,15 mm/rev ilerleme miktarında, 150, 200, 250 ve 300 m/min kesme hızlarında işlenmesinde kullanılan SK ve KSK uçların SEM görüntüleri

Şekil 6'daki SEM görüntüleri incelendiğinde; % 10 MgO takviyeli numunenin işlenmesinde % 5 MgO takviyeli numunede olduğu gibi kesme hızının artışı ile BUE oluşumunun azaldığı gözlenmiştir. KSK takım ve SK takım içinde en yüksek BUE oluşumu, yine 150 m/min kesme hızında ve KSK takım ile elde edilmiştir. Kesme hızının artışı ile KSK takımında BUE'nin bir miktar azaldığı görülmüştür. SK takımında 250 m/min ve 300 m/min kesme hızlarında BUE oluşumu gerçekleşmezken, 150 m/min ve 200 m/min kesme hızlarında % 5 MgO takviyeli numuneye göre daha fazla BUE'nin oluştuğu gözlenmiştir. SK kesici uçlarda, % 5 MgO takviyeli numunelerde olduğu gibi, bütün kesme hızlarında az miktarda yanak aşınması meydana gelmiştir. % 10 MgO takviyeli numunelerin takım aşınmasındaki bir miktar artışı, sert yapıdaki MgO takviye oranının iki katına çıkmasına atfedebiliriz.

% 5 MgO takviyeli numune de olduğu gibi %10 MgO takviyeli numunenin işlenmesinde BUE oluşumunun SK takım üzerinde KSK takıma göre daha az gerçekleştiği tespit edilmiştir. Ayrıca, MgO takviye oranını artmasıyla, % 5 MgO takviyeli numuneye göre %10 MgO takviyeli numunede BUE oluşumun daha fazla olduğu gözlenmiştir. Şekil 7'de % 15 MgO takviyeli kompozit numunelerin işlenmesinde kullanılan SK ve KSK uçların SEM görüntüleri verilmiştir.

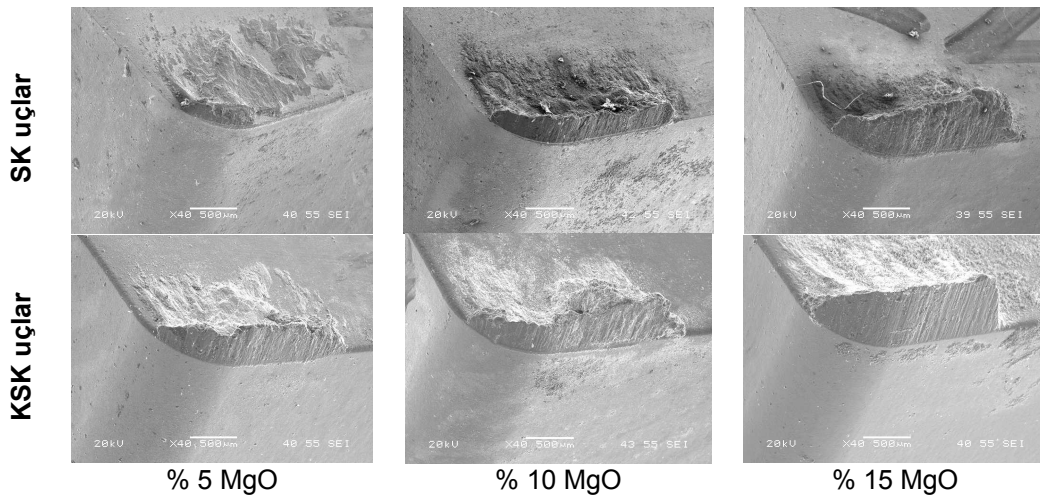


Şekil 7 - % 15 MgO takviyeli kompozit numunelerin 0,15 mm/rev ilerleme miktarında, 150, 200, 250 ve 300 m/min kesme hızlarında işlenmesinde kullanılan SK ve KSK uçların SEM görüntüleri

Şekil 7'deki SEM görüntüleri incelendiğinde; % 15 MgO takviyeli numunenin işlenmesinde %5 ve %10 MgO takviyeli numunelerde olduğu gibi kesme hızının artışı ile BUE oluşumunun azaldığı gözlenmiştir. Diğer takviye oranlarındaki numunelerde olduğu gibi, en yüksek BUE oluşumu 150 m/min kesme hızında KSK takım ile tespit edilmiştir. Kesme hızının artışı ile KSK takımında BUE'nin azaldığı görülmüştür. SK takımında 300 m/min kesme hızlarında çok az miktarda BUE oluşumu gerçekleşirken, 150, 200 ve 250 m/min kesme hızlarında %5 ve %10 MgO takviyeli numunelere göre daha fazla BUE'nin oluştuğu görülmüştür.

% 5 ve %10 MgO takviyeli numunelerde olduğu gibi %15 MgO takviyeli numunenin işlenmesinde BUE oluşumunun SK takımında, KSK takıma göre daha az gerçekleştiği tespit edilmiştir. Ancak, diğer iki numuneye göre, takviye oranının en fazla olduğu %15 MgO takviyeli numunede, genel olarak bütün kesme hızlarında en yüksek BUE oluşumları gözlenmiştir. Takım aşınması yönünden bakıldığında, SK uçlarda, yine çok az miktarda yanak aşınmasının dışında başka bir aşınma mekanizması görülmemektedir.

MgO takviye oranlarının BUE oluşumu üzerindeki etkilerinin daha iyi kıyaslanabilmesi için 200 m/min kesme hızında 0,15 m/rev ilerleme miktarında %5, %10, %15 MgO takviyeli kompozit numunelerin işlenmesinde kullanılan SK ve KSK uçların SEM görüntüleri ayrıca Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8 - 250 m/min kesme hızında, 0,15 mm/rev ilerleme miktarında, %5, %10, %15 MgO takviyeli kompozit numunelerin işlenmesinde kullanılan SK ve KSK uçların SEM görüntüleri

Şekil 8. incelendiğinde takviye oranının artışı ile SK ve KSK uçlarında oluşan BUE'nin artışı açıkça görülmektedir. Özellikle SK takımında bu durum daha ayrıntılı bir şekilde gözlenmektedir. SEM görüntülerine bakıldığında, herhangi bir BUE ölçümü yapılmamakla birlikte, her takviye oranının artmasıyla, BUE miktarının yaklaşık olarak % 50 oranında artış gösterdiği söylenebilir.

4. Sonuçlar

%5, %10, %15 MgO takviyeli kompozit numunelerin karıştırmalı döküm yöntemiyle üretimi ve 1 mm sabit kesme derinliğinde, 0,15 mm/rev ilerleme miktarında, 150, 200, 250 ve 300 m/min kesme hızlarında işlenmesi sonucu elde edilen bulgular aşağıda sıralanmıştır:

Karıştırmalı döküm yöntemiyle kompozit malzemeler başarıyla üretilmiş ve bütün T-H oranlarında genellikle kararlı bir mikroyapı gözlenmiştir.

T-H oranının artmasıyla, matris malzemesi Al içerisindeki MgO takviye parçacıklarının daha homojen dağılım sergilediği tespit edilmiştir.

Bütün kesici uçlarda kayda değer oranda takım aşınması gözlenmemiş olup sadece SK uçlarda çok az miktarda yan yüzey aşınmasının meydana geldiği görülmüştür. Takım aşınması yönünden her iki ucun iyi performans gösterdiği görülmektedir.

% 5, % 10, % 15 MgO takviyeli numunelerin işlenmesinde BUE oluşumunun SK takım üzerinde KSK takıma göre daha az gerçekleştiği tespit edilmiştir.

SK ve KSK uçlar ile yapılan deneyler sonucunda kesme hızının artışı ile kesici üzerindeki talaş yapışmasının (BUE) azaldığı gözlenmiştir.

SK uçlara oranla, KSK uçlar üzerindeki kaplamanın talaş yapışmasını (BUE) artırıcı etki gösterdiği tespit edilmiştir.

MgO takviye oranının artışı ile SK ve KSK uçlarında oluşan BUE'nin de artışı görülmüştür.

Bu tür kompozit malzemelerin işlenmesinde, BUE oluşumu dikkate alındığında, daha ucuz olan SK uçların kullanılması önerilmektedir.

BUE oluşumu yüzey kalitesini de olumsuz yönde etkileyeceğinden, bu tür kompozitlerin işlenmesinde, SK ve KSK uçların, 150 m/min ve 200 m/min gibi düşük kesme hızlarında kullanılmaması, en az 250 m/min ve daha üzeri kesme hızlarının tercih edilmesi tavsiye edilmektedir.

Kaynaklar

[1] Chan, R.W., Haasen, P., Kramer, E.J., "Structure and properties of composites", Materials Science and Technology, No13, 1993,1-339.

[2] Şahin, Y., Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Kitabevi, Ankara, 2000, 91-134.

[3] Lin, J.T., Bhattacharyya, D., Kecman, V., "Multiple regression and neural networks analyses in composites machining", Composites Science and Technology, 63, 2003, 539-548.

[4] GÜNAY, M., " Toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiş Al-Si/SiCp kompozitlerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması" Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2009.

[5] KILIÇKAP, E., ÇAKIR, O., AKSOY, M., İNAN, A., "Study of tool wear and surface roughness in machining of homogenised SiC-p reinforced aluminium metal matrix composite", Journal of Materials Processing Technology, 164-165, 2005, 862-867.

[6] Kannan, S. Kishawy, H.A., "Tribological aspects of machining aluminium metal matrix composites", Journal of Material Processing Technology, 198, 2008, 399-406.

[7] Çiftçi, İ., Türker, M., Şeker, U., "Evaluation of tool wear when machining SiCp reinforced Al-2014 alloy matrix composites", Materials and Design, 25, 2004, 251-255.

- [8] Ding, X., Liew, W.Y.H., Liu, X.D., "Evaluation of machining performance of MMC with PCBN and PCD tools", *Wear*, 259, 2005, 1225-1234.
- [9] Pul, M., "Al matrisli MgO takviyeli kompozitlerin infiltrasyon yöntemi ile üretilmesi ve işlenebilirliğinin değerlendirilmesi", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010.
- [10] Özçatalbas, Y., "Investigation of the machinability behaviour of Al₄C₃ reinforced Al-based composite produced by mechanical alloying technique", *Composites Science and Technology*, 63, 2003, 53-61.
- [11] HUNG, N.P., LOH, N.L., XU, Z.M., "Cumulative tool wear in machining metal matrix composites Part II: Machinability", *Journal of materials processing technology*, 58, 1996, 114-120.
- [12] DAVİM, P.J., "Diamond tool performance in machining metal–matrix composites", *Journal of Materials Processing Technology*, 128, 2002, 100-105.
- [13] DING, X., LIEW, W.Y.H., LIU, X.D., "Evaluation of machining performance of MMC with PCBN and PCD tools", 15th International Conference on Wear of Materials, *Wear*, 259, 2005, 1225-1234.
- [14] PEDERSEN, W., RAMULU, M., "Facing SiCp/Mg metal matrix composites with carbide tools", *Journal of Materials Processing Technology*, 172, 2006, 417-423.
- [15] MANNAA, A., BHATTACHARAYYA, B., "A study on machinability of Al/SiC-MMC", *Journal of Materials Processing Technology*, 140, 2003, 711-716.
- [16] ISO 3685, "Tool-life testing with single-point turning tools", 1993, 1-12.
- [17] Mitsubishi, "Turning Tools Catalog", Mitsubishi Materials Corporation, Japan, 2008, 1-400.
- [18] Sandvik Coromant, "Modern metal cutting—A practical handbook", English Edition, Sandvik Coromant, Sweden, I-III, 1994.
- [19] Sur, G., Şahin, Y. ve Gökkaya, H., "Ergimiş metal karıştırma ve basınçlı döküm yöntemi ile alüminyum esaslı tanecik takviyeli kompozitlerin üretimi", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Vol 20, No 2*, 2005, 233-238.
- [20] Trent, E.M., "Metal cutting", Butterworths Press, London, 1989, 1-171.
- [21] Zhang, H., "Plastic Deformation and chip Formation Mechanics during Machining of Copper, Aluminium and an Aluminium Matrix Composite", PhD. Thesis, University of Windsor, Canada, 2000, 5-106.