



Al 6061/B₄C/GNP Hibrit Kompozitin İşlenmesinde Takım Aşınma Davranışlarının İncelenmesi

Investigation of Tool Wear Behaviors in The Machining of Al 6061/B₄C/GNP Hybrid Composite

Selçuk Yağmur¹ , Muharrem Pul^{2*} 

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Müh. Bölümü, Ankara, TÜRKİYE

²Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, 71450 Kırıkkale

Başyuru/Received: 31/03/2022

Kabul / Accepted: 29/07/2022

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/07/2022

Son Versiyon/Final Version: 31/07/2022

Öz

Bu çalışmada Al 6061 alaşımı içerisinde farklı oranlarda bor karbür (B₄C) ve grafen nanoplaka (GNP) takviye edilen hibrit kompozit malzemenin tornada işleme deneyleri yapılarak kullanılan kesici takımların aşınma davranışları incelenmiştir. B₄C ve GNP katkısının takım aşınması üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Deneysel çalışmanın ilk aşamasında vortex yöntemiyle farklı B₄C ve GNP takviye oranlarında hibrit kompozit malzemeler üretilmiştir. Üretilen kompozit numuneler üzerinde kuru işleme koşullarında, sabit kesme derinliğinde, üç farklı kesme hızı ve ilerleme değeri kullanılarak CNC tornada işleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. İşleme deneylerinde kullanılan kesici takımların dijital mikroskop görüntüleri çekilerek aşınma davranışları değerlendirilmiştir. Hibrit kompozit yapı içerisindeki B₄C takviye oranının artışına bağlı olarak, tüm kesme parametrelerinde takım aşınmalarında önemli miktarlarda artışlar olduğu görülmüştür. Kompozit yapı içerisindeki GNP katkısının işlenebilirliği bir miktar kolaylaştırdığı, grafinin katı yağlayıcı özellik sergilediği ve takım aşınmalarını azaltıcı etki gösterdiği anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Al 6061 alaşımı, B₄C, GNP, Kompozit, İşlenebilirlik, Takım aşınması”

Abstract

In this study, the wear behavior of the used cutting tools was investigated by performing lathe machining experiments of the hybrid composite material reinforced with bor carbide (B₄C) and graphene nanoplate (GNP) in different proportions into the Al 6061 alloy. It was aimed to determine the effect of B₄C and GNP additives on tool wear. In the first stage of the experimental study, hybrid composite materials with different B₄C and GNP reinforcement ratios were produced by the vortex method. Machining experiments were carried out on the produced composite specimens in dry machining conditions, at constant cutting depth, using three different cutting speeds and feed rates. The wear behavior of the cutting tools used in machining experiments was evaluated by taking digital microscope images. Due to the increase in the B₄C reinforcement ratio in the hybrid composite structure, significant increases in tool wear were observed in all cutting parameters. It has been understood that the GNP additive in the composite structure facilitates the machinability somewhat, graphene exhibits solid lubricant properties and reduces tool wear

Key Words

“Al 6061 alloy, B₄C, GNP, Composite, Machinability, Tool wear”

1.Giriş

Günümüzde geleneksel mühendislik malzemelerine alternatif olarak geliştirilen farklı özellikteki kompozit malzemelerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bunlardan biriside metal esaslı ve seramik parçacık takviyeli kompozit malzemelerdir. Metal matrisli kompozitlerde (MMK) en çok tercih edilen matris malzemelerinin başında alüminyum ve magnezyum gibi hafif metaller gelmektedir. 1930'lardan beri, alüminyum alaşımları uçak parçalarının üretimi için tercih edilen malzeme olmuştur. Daha iyi şekillendirilebilirlik, kaynak edilebilirlik, korozyona ve aşınmaya karşı direnç ve düşük maliyet ile birlikte bu alaşım serisinin sunduğu dikkate değer mukavemet/ağırlık oranı, onu hafif araçların üretimi için potansiyel bir malzeme haline getirmektedir. AA 6061 popüler alaşımlardan biridir ve uygun ısıl işleme kompozit mukavemetini değiştirme olasılığı nedeniyle matris malzemesi olarak kullanılmaktadır (Kareem vd, 2021). Bu metaller içerisine takviye edilen güçlendirici elemanlar ise Al_2O_3 , SiC, B_4C , TiC, MgO, TiB_2 vb. seramik esaslı metal oksitler ve karbürlerdir. Bu tür takviye elemanlarının katıldığı alüminyum matrisli kompozitler en yaygın MMK çeşidini oluşturmaktadır. Son zamanlarda MMK kompozitlerin içerisine ikinci bir takviye elemanı da ilave edilerek hibrit kompozitler üretilmeye başlanmıştır. Nano grafen plaka (GNP) bu ikinci takviye elemanlarından birisidir. Karbon esaslı nano malzemelerin takviye edildiği hibrit kompozitlerin mekanik özelliklerinin araştırıldığı çalışmalar literatürde yer almaktadır (Khan vd, 2021; Ammisetty vd, 2021; Patil vd, 2022; Ergül vd, 2020). Farklı yöntemler ile üretilen bu tür MMK malzemelerin nihai kullanım yerlerine göre işlenerek şekillendirilmesi gerekmektedir. Ancak kompozit yapı içerisindeki çok sert fazda olan seramik esaslı takviye elemanları sebebiyle talaşlı imalatlarında birtakım zorluklar yaşanmaktadır. İşlenebilirlik terimi, kesme kuvvetleri, takım aşınması, talaş oluşumu ve yüzey kalitesi gibi faktörlerle tanımlanır. Bu faktörlerin oluşumuna; malzemenin özellikleri, kesici takımın tipi, kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği ve kesme sıvısının kullanılıp kullanılmadığı gibi parametreler etki eder. Talaşlı imalatta genellikle minimum takım aşınma oranı, düşük enerji tüketimi ve iyi yüzey kalitesi beklenir. Takım ömrünü ve talaş kaldırma oranını artırmak için optimum kesme parametreleri ve kesme koşullarının sağlanması gerekir (Anthony ve Ajith Kumar, 2017). Özellikle kesici takım maliyetleri toplam işleme maliyeti içerisinde önemli bir yer tutar. Artan enerji maliyetleri ve imal edilen parçaların ekonomikliği açısından MMK malzemelerin işlenebilirliği ve kesici takım aşınma davranışlarının incelenmesi konusundaki araştırmalar giderek artmaktadır. Yapılan çalışmalarda kesici takımlar üzerinde genel olarak, yanak aşınması ve yığıntı talaş (BUE) oluşumundan söz edilmektedir (Gökkaya ve Nalbant, 2007). Literatürdeki benzer bir çalışmada Al/SiC-MMC'nin yüksek hızda ve düşük kesme derinliğinde işlenmesi sırasında BUE oluşmadığı ifade edilmiştir. Ancak düşük kesme hızında kesici takımlarda yanak aşınması ve BUE oluştuğu belirtilmiştir (Mannaa ve Bhattacharayya, 2003). Talaşlı imalatlar sırasında oluşan takım aşınmalarının en önemli nedeni olarak kompozit yapı içerisindeki takviye elemanlarının çok sert fazda olmasına dikkat çekilmektedir. Konuyla ilgili literatür incelendiğinde, talaşlı işlemlerde farklı aşınma mekanizmalarının etkili olduğu, kesme hızının artmasına bağlı olarak takım aşınmasının da arttığı ve kesici takım ucunda BUE oluştuğundan bahsedilmektedir (Verma vd, 2019; Davima vd, 2007; Kannan ve Kishawy, 2008; Özçalbaş 2003; Kılıçkap, 2005; Pedersen ve Ramulu, 2006). Yapılan bir çalışmada karıştırmalı döküm yöntemiyle AA7075/B4C ve AA7075/B4C/RHA hibrit kompozitler üreterek tornada işleme deneyleri yapmıştır. Deneyler sonucunda takım aşınmasında kesme hızının en etkili parametre olduğu ifade edilmiştir (Verma vd, 2019). Yapılan çalışmalarda genel olarak kesme hızı ve ilerlemenin artmasına bağlı olarak takım aşınma miktarlarının da arttığı ifade edilmektedir (Kannan ve Kishawy, 2006; Zhang, 2000; Najem, 2013).

Bu deneysel çalışmada ilk aşamada, Al 6061 matrisli ve farklı oranlarda B4C+GNP takviyeli kompozit malzemeler karıştırmalı döküm yöntemiyle üretilmiştir. Daha sonra CNC tornada işlenebilirlik deneyleri yapılarak kullanılan kesici takımlardan çekilen dijital mikroskop görüntüleri üzerinden aşınma davranışları incelenmiştir.

2.Malzeme ve Yöntem

Bu deneysel çalışmada hibrit kompozit malzemelerin üretiminde matris malzemesi olarak kullanılan Al 6061 alaşımı ile takviye elemanları bor karbür (B4C) ve grafen nano plaka (GNP)'nin bazı teknik özellikleri Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Deney malzemelerinin teknik özellikleri

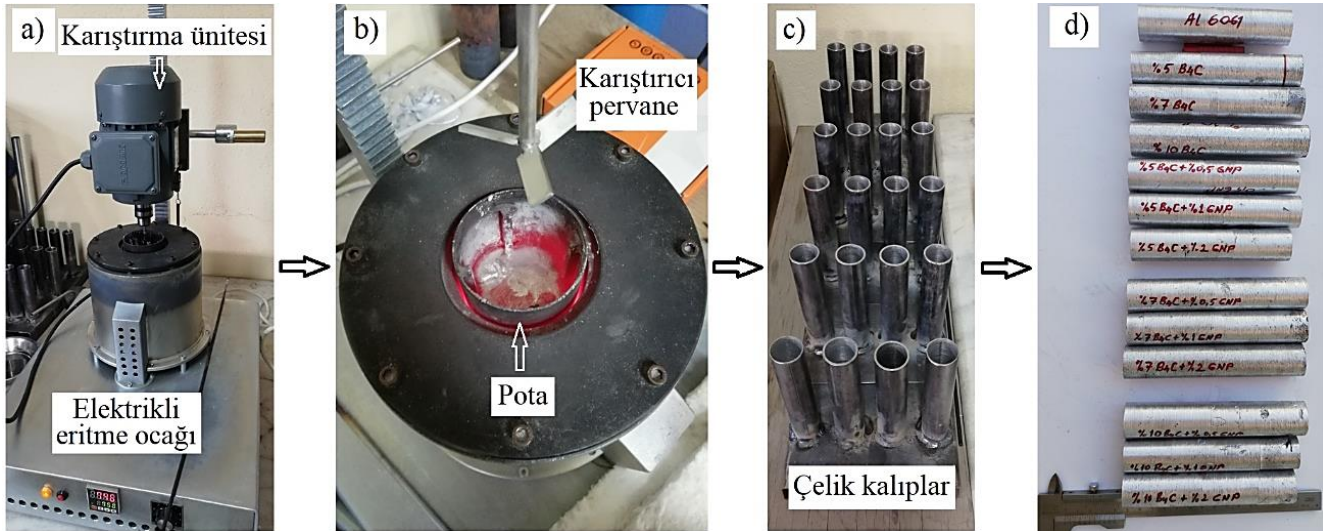
Al 6061								
%Fe	%Si	%Cu	%Mn	%Mg	%Zn	%Ti	%Cr	%Al
0,70	0,40-0,80	0,60-1,10	0,15	0,80-1,20	0,25	0,15	0,04-0,35	Kalan
Yoğunluk			Sertlik		Erime Noktası		Çekme Dayanımı	
2,52 g/cm ³			2650 Knoop		2760°		-44 µm	
B4C								
%B						%C		
78,28						21,72		
Yoğunluk			Sertlik		Erime Noktası		Tane Boyutu	
2,52 g/cm ³			2650 Knoop		2760°		-44 µm	
GNP								
Yoğunluk			Tane Boyutu		Erime Noktası		Çekme Dayanımı	
1,19 g/cm ³			6-16 nm		3600°		130 000 MPa	

Deney tasarımında kullanılan matris malzemesi Al 6061 ile takviye elemanları B4C ve GNP'nin karışım oranları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Hibrit kompozit karışım oranları

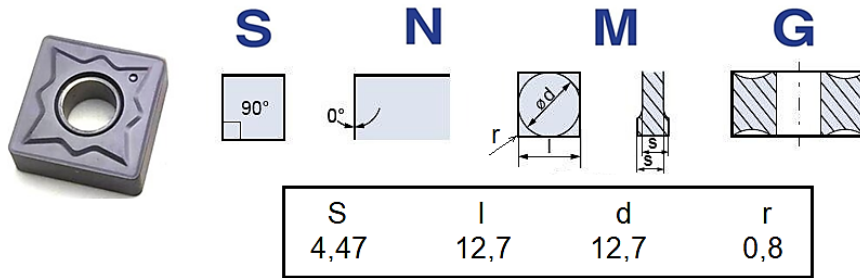
Malzeme	Hibrit kompozit numunelerin matris ve takviye oranları % wt												
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13
%Al 6061	100	95	93	90	94,5	94	93	92,5	92	91	89,5	89	88
%B4C	-	5	7	10	5	5	5	7	7	7	10	10	10
%GNP	-	-	-	-	0,5	1	2	0,5	1	2	0,5	1	2

Hibrit kompozit malzemelerin üretiminde vorteks (karıştırmalı döküm) yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla ilk olarak külçe halindeki matris malzemesi Al 6061 alaşımı eritme ocağı içerisinde 750°C 'ye kadar eritme işlemine tabi tutulmuştur. Bu sırada 300°C ön ısıtma işlemi yapılan B4C ve GNP takviye elemanları ocak potasındaki sıvı Al 6061 içerisine ilave edilerek 900 rpm hızda 5 dakika süre ile karıştırma işlemi yapılmıştır. Son olarak 30 mm çapında ve 150 mm boyundaki çelik kalıplar içerisinde dökülerek soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan hibrit kompozitler kalıplar içerisinde çıkarılarak işlenebilirlik deneyleri için kaba tornalama işlemleri yapılmıştır. Şekil 1'de üretimi tamamlanmış olan hibrit kompozit malzemeler ile hibrit kompozitlerin vorteks yöntemiyle üretimleri sırasında çekilen fotoğraflar verilmektedir.



Şekil 1. Vorteks döküm ünitesi a), Karıştırıcı pervane ve döküm potası b), Kompozitlerin döküldüğü çelik kalıplar c), Kalıplardan çıkarılarak ön tornalama işlemi yapılan kompozit numuneler d)

Üretimi tamamlanan hibrit kompozit malzemelerin tornada işlenebilirlik deneyleri başlatılmıştır. İşleme deneyleri Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda bulunan JOHNFORD TC 35 marka, Bilgisayar Sayısal Denetimli (CNC) torna tezgahı'nda yapılmıştır. İşleme deneylerinde Lamina marka SNMG 12 04 08 NN LT 10 kodlu kesici takımlar kullanılmıştır. Kesici takım geometrik özellikleri Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2. Tornalama deneylerinde kullanılan SNMG 12 04 08 NN LT 10 kodlu kesici takım

Bu deneysel çalışmadaki tornalama deneylerinde 3 farklı kesme hızı, 3 farklı ilerleme değeri ve sabit kesme derinliği kullanılmış olup tüm işleme deneyleri kuru kesme koşullarında gerçekleştirilmiştir. Her numune için yapılan işleme deneylerinde kullanılan kesme parametreleri ve deney sayısı Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. İşleme parametreleri

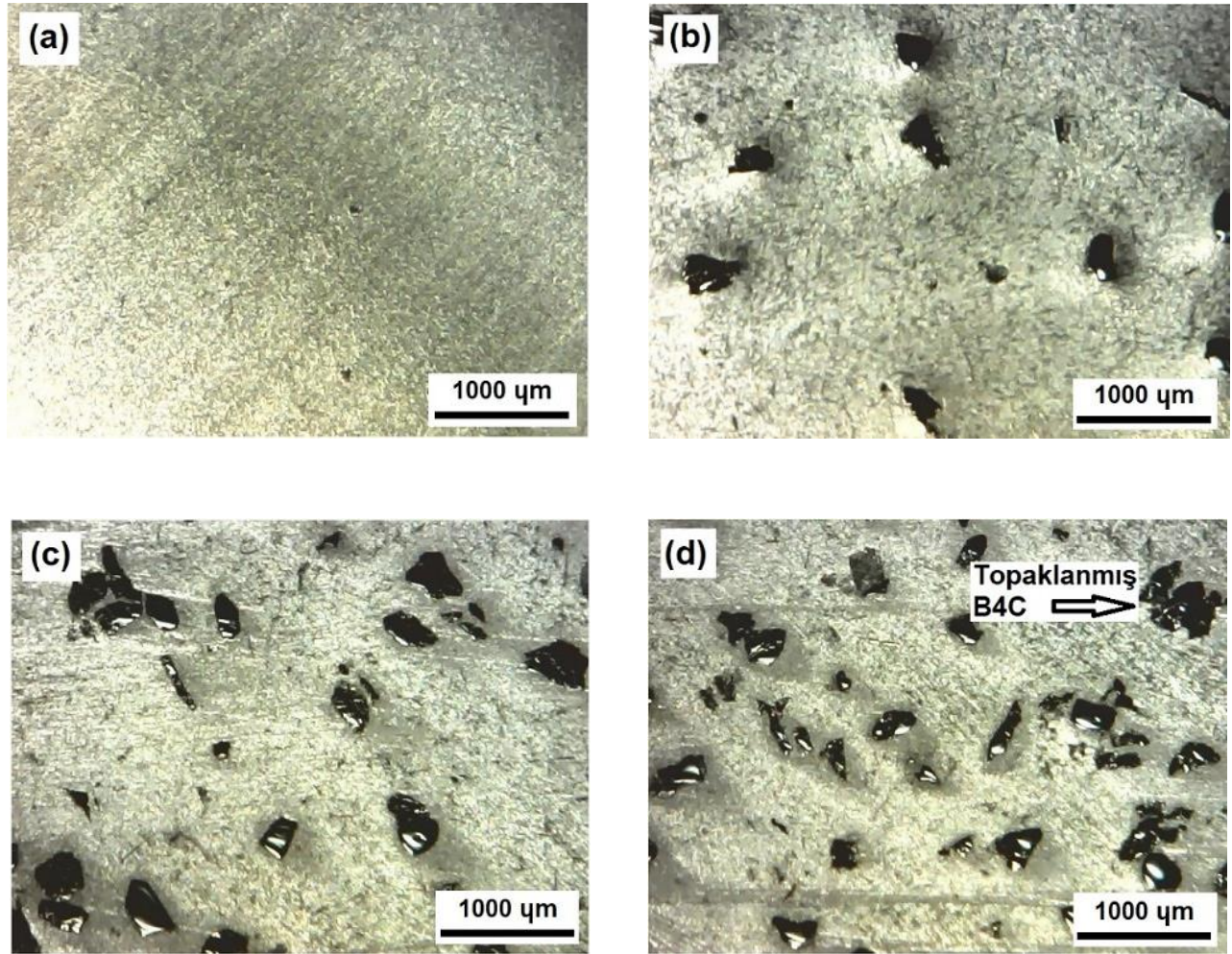
	İşleme (mm/dev)			Kesme derinliği
	0,08	0,12	0,16	
Kesme Hızı (80 m/dak)	0,08	0,12	0,16	1 mm
Kesme Hızı (120 m/dak)	0,08	0,12	0,16	
Kesme Hızı (160 m/dak)	0,08	0,12	0,16	

Tablo 3'te görüldüğü gibi her numune için 9 deney, 13 farklı malzeme için toplamda 117 işleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Her işleme deneyi yeni ve hiç kullanılmamış kesici uç ile yapılmıştır. İşleme deneylerinde kullanılan kesici uçların dijital mikroskop ile görüntüleri çekilerek aşınma davranışları incelenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Mikroyapıların Değerlendirilmesi

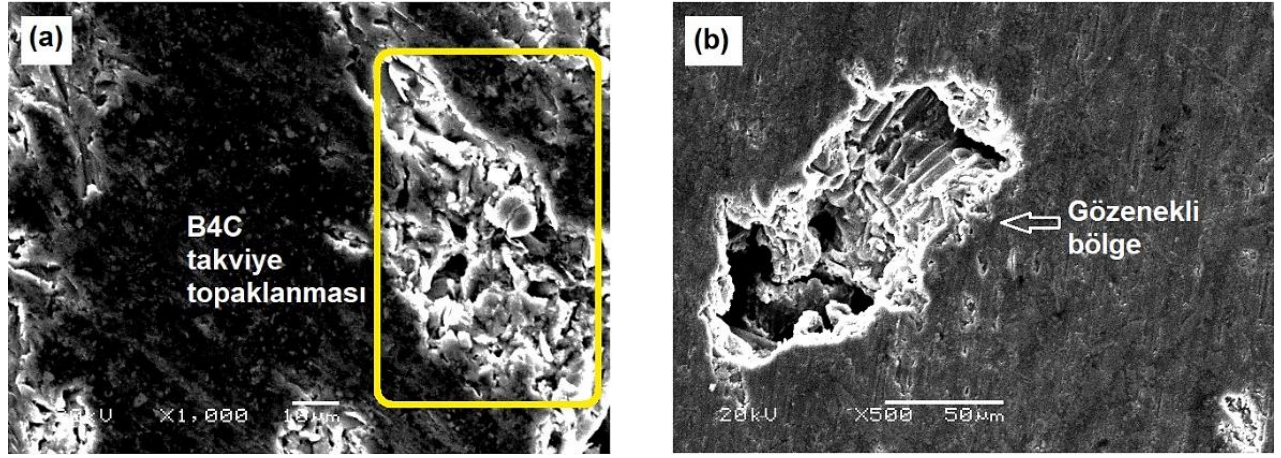
Vorteks yöntemiyle üretilen kompozitlerin mikroyapılarını incelemek üzere dijital mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile görüntüleri çekilmiştir. Şekil 3'te dijital mikroskop, Şekil 4'te ise SEM görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 3. (a) Al 6061 matris malzemesi, (b) %5 B4C takviyeli Al 6061 matrisli kompozit, (c) %7 B4C takviyeli Al 6061 matrisli kompozit, (d) %10 B4C takviyeli Al 6061 matrisli kompozit

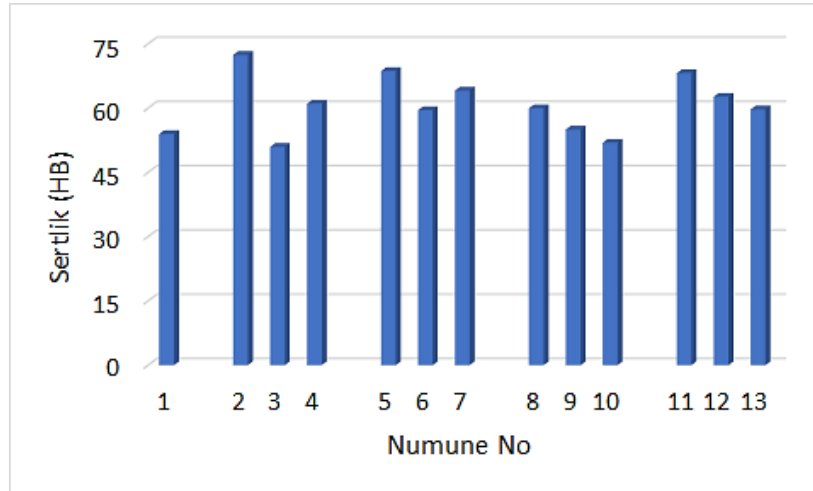
Şekil 3'te yer alan dijital mikroskop görüntülerine bakıldığında kompozit yapı içerisindeki takviye elemanı B4C parçacıklarının dağılımı görülmektedir. B4C takviye oranının artmasıyla parçacık dağılımındaki homojenlik bir miktar daha iyileşmekte olduğu anlaşılmaktadır. Ancak Al 6061 matris malzemesi içerisindeki B4C parçacıklarının miktarındaki artışla birlikte yer yer takviye topraklanmalarının meydana geldiği anlaşılmaktadır. B4C takviye topraklanmasının bu tür parçacık takviye metalik kompozitlerde çok sık rastlanan bir malzeme davranışı olduğu bilinmekte ve literatürde yer almaktadır (Tabandeh-Khorshid vd, 2016; Na, 2019). Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan vorteks yöntemi kolay uygulanması ve maliyetinin daha az olması gibi avantajlarının yanında, düşük homojenite ve düzensiz takviye dağılımı gibi bazı dezavantajları da olmaktadır. Özellikle karıştırma sırasında ve potadan kalıplara dökülmesi aşamalarında sıvı matris içerisindeki takviye parçacıklarının belli bir yöne doğru hareket etmesi veya

toplanması mümkün olabilmektedir. Bu olumsuz durum aynı zamanda kompozit yapı içerisinde gözenekli bölgelerin oluşmasına da neden olarak malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Takviye toplanması ve/veya beraberinde oluşan gözeneklilik aynı zamanda işlenebilirlik yönündende istenmeyen bir durumdur. Talaşlı işlem sırasında sıradışı kesme davranışları görülmekte ve istikrarlı sonuçların elde edilmesi zorlaşmaktadır. Şekil 4'teki SEM görüntülerinde kompozit yapı içerisindeki B4C takviye toplanması ve gözenekli bölgeler gösterilmiştir.



Şekil 4. (a) Topaklanmış B4C takviye elemanı SEM görüntüsü, (b) Gözenekli bölge SEM görüntüsü

Bu tür metal matrisli kompozit yapıların mekanik davranışlarının en önemlilerinin başında sertlik değeri olduğu bilinmektedir. Talaşlı imalatta malzemenin işlenebilirliğini etkileyen önemli faktörlerden biriside malzemenin sertliğidir. Üretilen kompozit malzemelerin sertlik değerlerinin belirlenmesi amacıyla Brinell yöntemi kullanılarak sertlik ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen değerlere göre Şekil 5'teki grafik oluşturulmuştur.

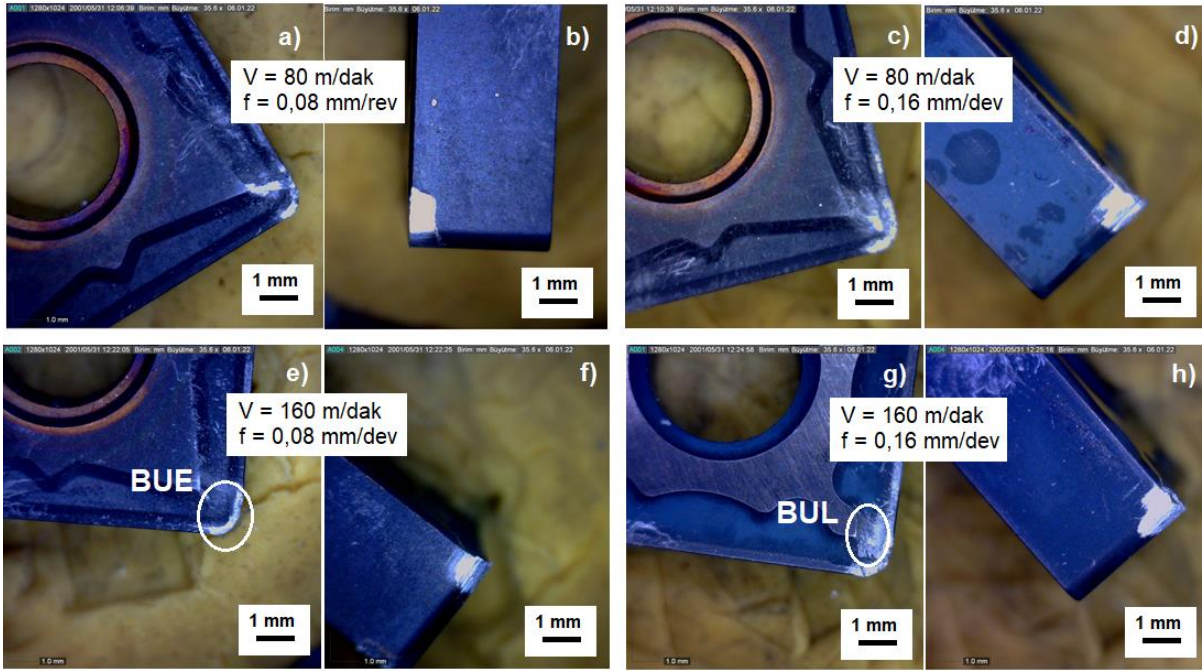


Şekil 5. Deney numuneleri sertlik değerleri

Şekil 5'teki grafik incelendiğinde en yüksek sertlik değerlerinin %5 B4C takviyeli kompozit numunelerden elde edildiği anlaşılmaktadır. Her ne kadar sert fazdaki B4C oranı yükselmiş olsada, kompozit yapının sertlik değerinde aynı oranda yükselme olmadığı görülmektedir. Yapı içerisindeki B4C parçacıklarının artmasıyla birlikte toplanmaya bağlı olarak gözeneklilik artmakta, böylece bir bütün olarak bakıldığında kompozit yapının sertlik değeri düşmektedir. Ancak 1 numaralı saf Al 6061 numuneye göre sertlik değerlerinin genel olarak arttığı ifade edilebilir. En yüksek sertlik değeri %5 B4C takviyeli numunede 72,4 HB olarak ölçülürken, en düşük sertlik değeri %7 B4C takviyeli numunede 50,9 HB olarak ölçülmüştür. Kompozit yapı içerisine B4C ile birlikte takviye edilen GNP nano malzemenin sertlik değerleri üzerinde bir miktar azaltıcı etki yaptığı da söylenebilir. Her üç B4C takviye oranında da GNP miktarının artmasıyla birlikte sertlik değerlerinde azalma olduğu Şekil 5'teki grafikten anlaşılmaktadır. Grafikten çıkarılacak diğer sonuç ise en düşük sertlik değerlerinin genel olarak %7 B4C takviyeli 3,8,9 ve 10 numaralı kompozit yapılardan elde edilmiş olmasıdır. Bu tür parçacık takviyeli alüminyum kompozit malzemelerde en sık karşılaşılan olumsuzlukların başında, homojen olmayan takviye dağılımı gelmektedir. Kompozit yapı içerisindeki toplanmaların mekanik özellikleri azalttığı literatürde yer almaktadır (Şenel ve Gürbüz, 2021; Güler ve Bağcı, 2020). Bu çalışmada üretilen kompozit malzemelerin içerisinde en düşük homojenitenin %7 B4C takviyeli numunelerde meydana geldiği söylenebilir. Homojen olmayan dağılım sonucunda yapı içerisindeki takviye elemanlarının belli bölgelerde toplanarak gözeneklilik değerlerini yükselttiği ifade edilebilir. Sertlik değerlerindeki bu kararsız durumun işlenebilirlik deneylerinden elde edilecek sonuçlar üzerinde de etkili olacağı anlaşılmaktadır.

3.2. Kesici Takım Aşınma Davranışlarının Değerlendirilmesi

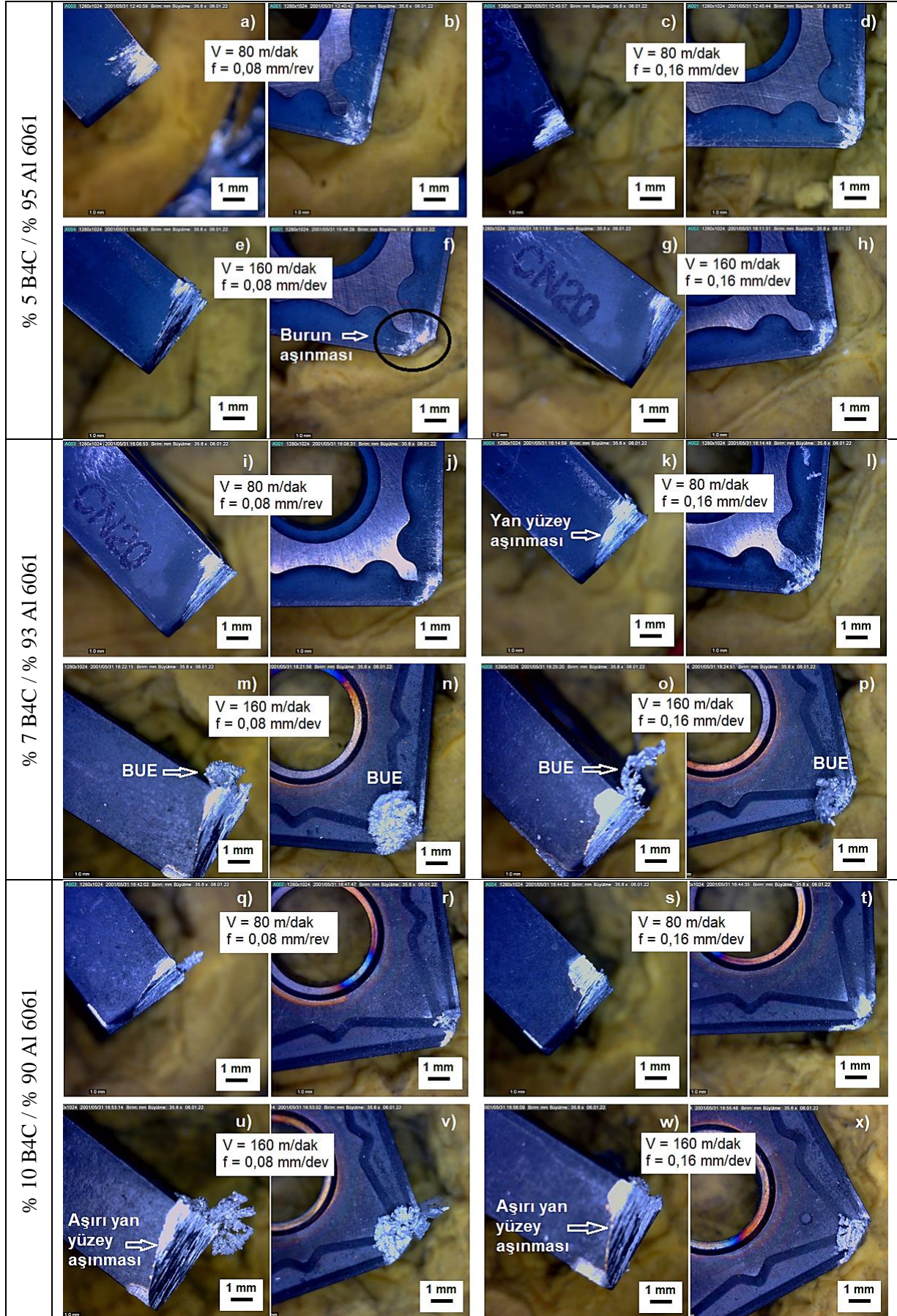
Vorteks yöntemiyle üretilen Al 6061 matrisli, B4C ve GNP takviyeli kompozitlerin tornada işleme deneyleri sonrası kesici takımların üst ve yan yüzeylerinden çekilen mikroskop görüntüleri Şekil 6-10'da verilmiştir. İşleme deneylerinde 3 farklı kesme hızı ve 3 farklı ilerleme değeri kullanılmıştır. Ancak takım aşınmalarındaki farkların daha net incelenebilmesi amacıyla, en düşük kesme hızı 80 m/min ile en yüksek kesme hızı 160 m/min ve en düşük ilerleme değeri 0,08 mm/dev ile en yüksek ilerleme değeri olan 0,16 mm/dev'deki işlemlerde kullanılan kesici takımların mikroskop görüntülerinin seçilmiştir.



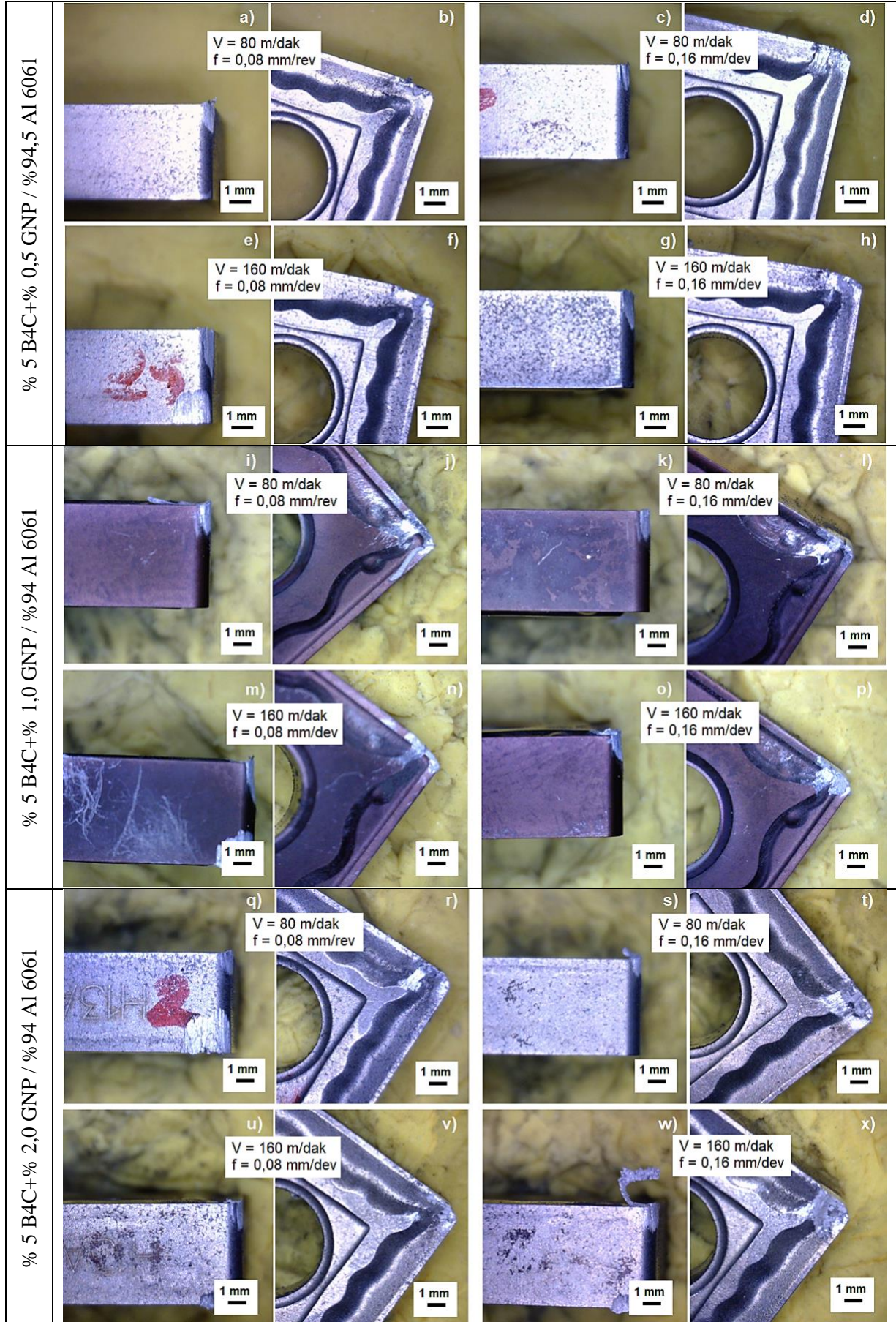
Şekil 6. Saf Al 6061 matris malzemesinin işlenmesinde kullanılan kesici takımlar

Şekil 6'daki kesici takım görüntülerine bakıldığında, tüm kesici takımlarda az miktarda yığıntı talaş (BUE) olduğu açıkça görülmektedir (Şekil 6.e ve Şekil 6.g). Özellikle yumuşak ve sünek malzemelerin talaşlı imalatlarında BUE oluşumu çok sık rastlanmaktadır. Talaşlı imalat işleminde, iş parçası malzemesi kesici takım üzerine iki şekilde yapışmaktadır. Birincisi, kesici kenar üzerine iş parçası malzemesinin yapışmasıdır. Bu durum BUE oluşumu olarak adlandırılmaktadır. İkincisi, iş parçası malzemesi kesici takım talaş yüzeyinde geniş bir alana yayılarak yığıntı katmanı (BUL) yapışma mekanizması oluşturmuştur. İşleme sırasında talaşın takım yüzeyine sürtünmesiyle oluşan yüksek sıcaklık, talaşın kesici takımın üst yüzeyine yapışmasını kolaylaştırmakta ve BUE/BUL meydana gelmektedir. Alüminyumun talaşlı imalatı sırasında takım ucunda meydana gelen BUE ve BUL oluşumları literatürde yer alan farklı çalışmalarda ifade edilmiştir (Verma vd, 2019; Davima vd, 2007; Kannan ve Kishawy, 2008; Özçatalbaş 2003; Kılıçkap, 2005; Pedersen ve Ramulu, 2006). Ancak Şekil 6'da yer alan takım görüntüleri incelendiğinde hem ilerleme hem de kesme hızındaki değişimlerin, takım aşınmaları üzerinde çok fark oluşturmadığı ifade edilebilir. Takım aşınma mekanizmasından ziyade alüminyum malzemenin takım ucuna sıvanması ve yapışması şeklinde bir etki meydana geldiği söylenebilir. Zira, işleme deneylerinde kullanılan kesici takımın malzemesinin alüminyum ve alüminyum alaşımlarının işlenmesinde kolay aşınmayacak yapıya ve sertliğe sahip olduğu rahatlıkla ifade edilebilir.

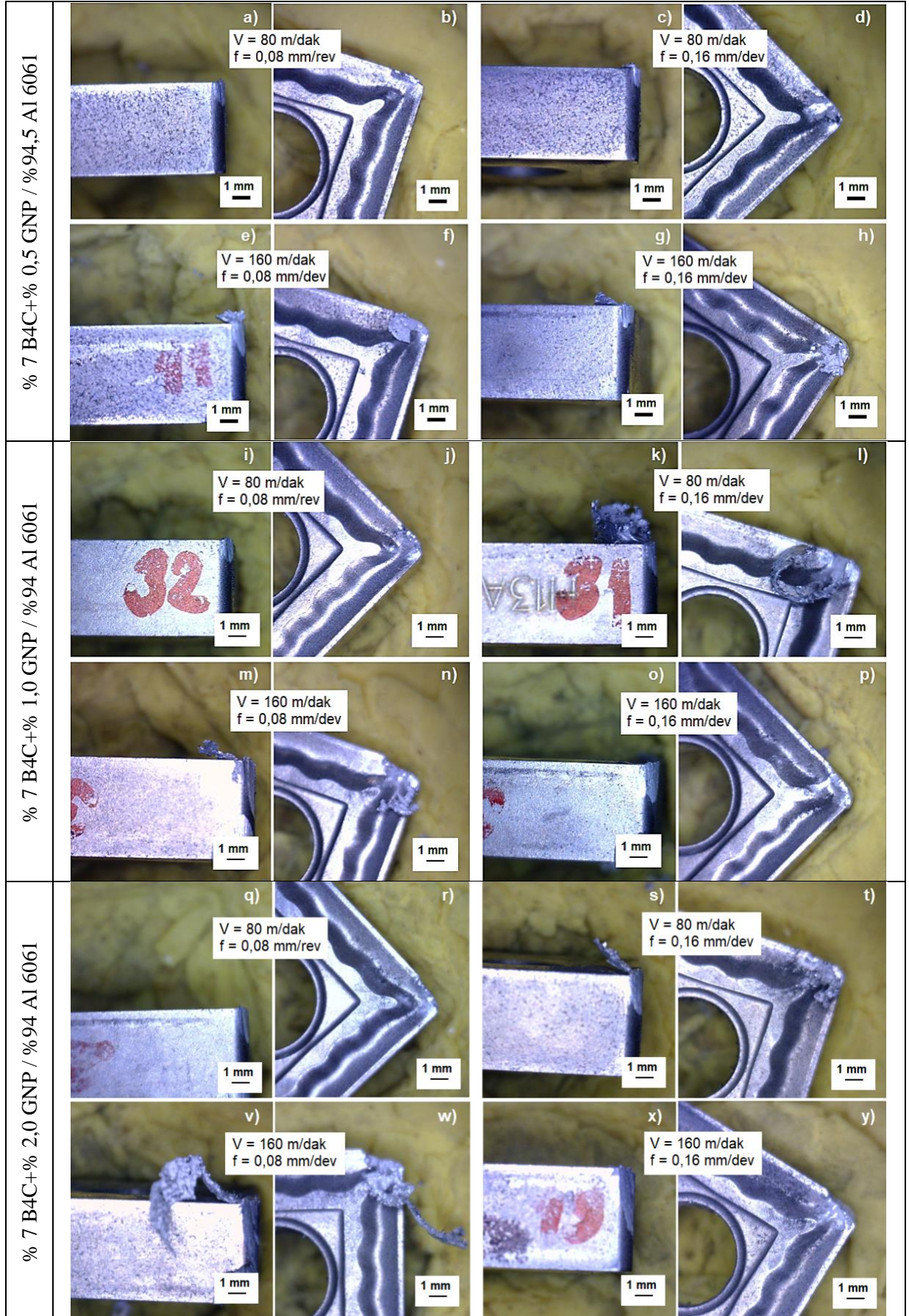
BUE ve BUL oluşumu üzerinde etkili olan diğer husus ise kesici takımın geometrik yapısıdır. SNMG takımlardaki talaş kırıcı form ve düz olmayan talaş yüzeyi nedeniyle BUL oluşumu daha az miktarda gerçekleşmiştir. Çıkan talaşların düz talaş yüzeyine sahip takımlara göre daha az sürtünme maruz kalmaktadır. SNMG takımlarda talaş kırıcı formun etkisiyle, çıkan talaş akışının daha kolay olmakta ve takım yüzeyini daha kısa sürede uzaklaşmaktadır. Dolayısıyla SNMG takımlarda ısı ve sürtünmenin etkisiyle meydana gelen takım aşınmaları ve BUE/BUL oluşumu, düz talaş yüzeyine sahip takımlara göre daha az gerçekleşmektedir.



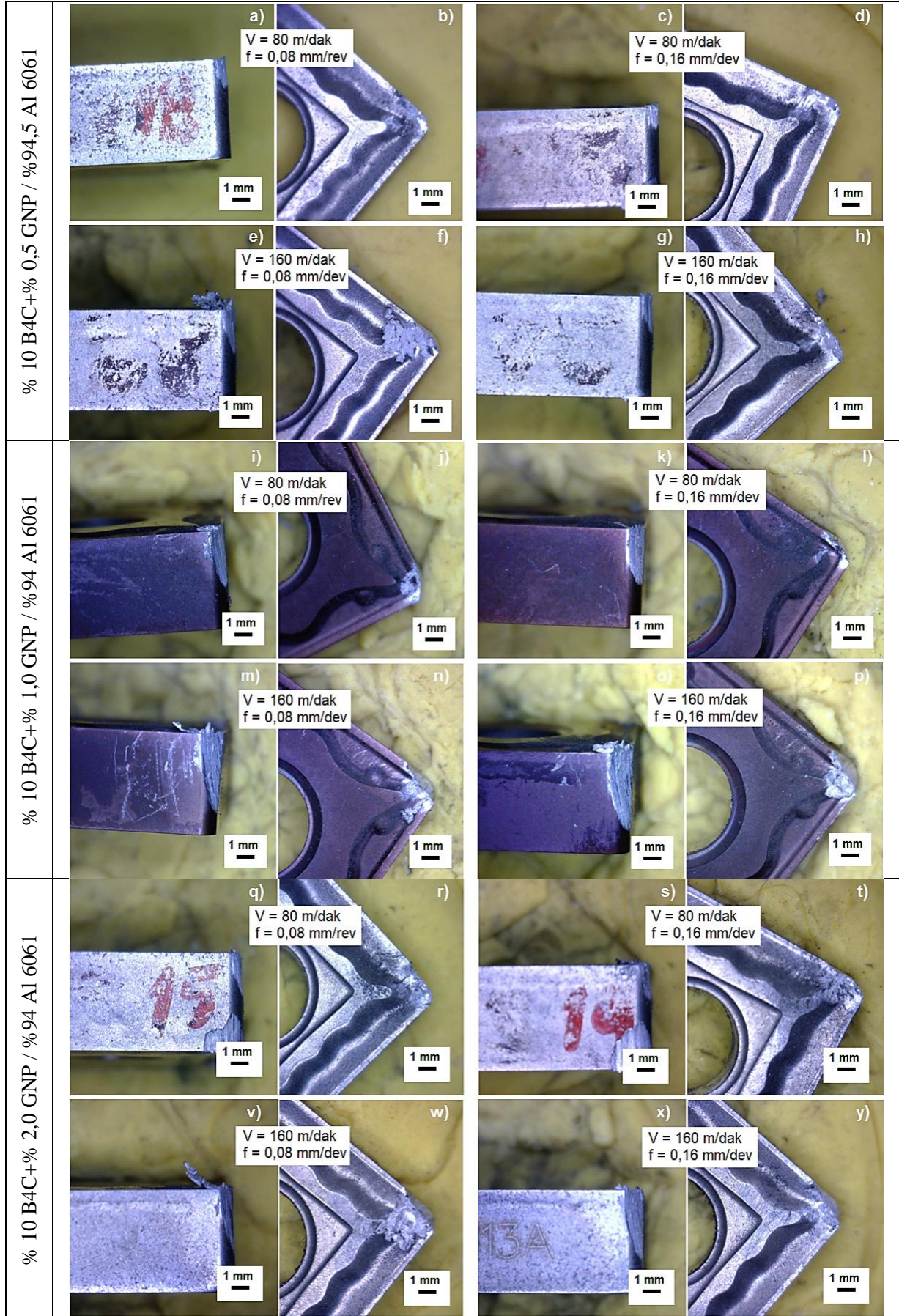
Şekil 7. B4C takviyeli Al 6061 kompozit malzemenin işlenmesinde kullanılan kesici takımlar



Şekil 8. %5 B4C/GNPtakviyeli Al 6061 kompozit malzemenin işlenmesinde kullanılan kesici takımlar



Şekil 9. %7 B4C/GNPtakviyeli Al 6061 kompozit malzemenin işlenmesinde kullanılan kesici takımlar



Şekil 10. %10 B4C/GNPtakviyeli Al 6061 kompozit malzemenin işlenmesinde kullanılan kesici takımlar

Şekil 7-10'daki kesici takım uçları toplu olarak incelendiğinde iki cins takım aşınma mekanizmasının etkili olduğu görülmektedir. Bunların birincisi BUE, ikincisi yan yüzey aşınmasıdır. Şekil 7-10'daki kesici takım görüntülerinden anlaşılacağı üzere BUE'nin BUL'dan daha fazla etkili olduğu ifade edilebilir. Takım aşınmalarının değerlendirilmesini ilerleme miktarına, kesme hızına ve kompozit yapı içerisindeki takviye elemanlarına göre olmak üzere üç bölümde değerlendirilmiştir.

3.2.1. İlerleme Miktarının Etkisi

Talaş kaldırma işlemlerinde kesici takımların aşınması üzerinde etkili kesme parametreleri; ilerleme miktarı, kesme hızı, kesme derinliği, soğutma sıvısı kullanımı, malzeme ve kesici takım cinsi olarak sıralanabilir. Bu parametreler içerisinde kesmeyle ilgili olan ilerleme miktarının ayrı bir önemi vardır. İşleme sırasında genellikle talaş (kesme) derinliği sabit kalarak ilerleme miktarları değiştirilmektedir. İşlemede çıkan talaşın kesiti, takım aşınması ve özellikle BUE oluşumu üzerinde önemli etkiye sahiptir. İşleme sırasında çıkan talaş kesitindeki artışla birlikte BUE miktarlarının artacağı bilinmektedir. Talaş kesiti aşağıdaki eşitlikten hesaplandığına göre:

$$S=f \times a \quad (f=\text{ilerleme} \quad a = \text{talaş derinliği}) \quad (1)$$

İlerleme miktarının artmasıyla talaş kesit alanındaki artış sebebiyle, takım ucuna yığılan talaş miktarında da artış görülmesi normal bir sonuç olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca talaş kesitinin artmasıyla çıkan talaşların takım talaş yüzeyine, sürtünen miktarının daha fazla olduğu ifade edilebilir. Böylece takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünme nedeniyle 2. deformasyon bölgesinde daha fazla sıcaklık meydana gelecektir. Dolayısıyla takımlarda ısı ve sürtünmenin etkisiyle meydana gelen talaş yapışmaları veya sıvanmaları artarak BUE/BUL oluşumu üzerinde etkili olmaktadır. Ayrıca, ilerleme miktarındaki artmasının tesiri ile takım ucundaki sıcaklığında artarak aşınmayı kolaylaştırdığı ifade edilebilir. Literatürde yer alan çalışmada benzer sonuçlar rapor edilmiştir (Lin vd, 2003).

Şekil 7-10 incelendiğinde, ilerleme miktarındaki artışın ilk etapta BUE ve BUL miktarları üzerinde daha fazla etki yaptığı ifade edilebilir. Bu durum genel olarak beklendiği gibi ilerleme miktarının artmasıyla BUE ve BUL miktarlarının da arttığı şeklindedir (Şekil 7 m-o, u-w, Şekil 8 e-g, i-k). Ancak yapılan bu deneysel çalışma ile bazı farklı sonuçlarda ortaya çıkmıştır. Hatta genel kanaatin aksine 0,08 mm/d ilerlemede 0,16 mm/d ilerleme göre daha az BUE ve BUL oluşumunun meydana geldiği deneyler söz konusudur (Şekil 7 m-o ve u-w). İlerleme miktarının artmasıyla çıkan talaş kesiti her ne kadar artmış olsa da, işleme sırasında fazla miktarda yığılan talaşın bir kısmı koparak takım ucundan uzaklaşabilmektedir. Böyle bir durumda düşük ilerleme miktarındaki BUE ve/veya BUL miktarı yüksek ilerlemeye göre azalmaktadır (Şekil 9 m-o ve v-x, Şekil 10 e-g ve v-x).

3.2.2. Kesme Hızının Etkisi

Kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetleriyle birlikte takım aşınma miktarlarının da artmakta olduğu literatürde sıklıkla yer almaktadır. Karıştırımlı döküm yöntemiyle üretilen AA7075/B4C ve AA7075/B4C/RHA hibrit kompozitleri üzerinde tornada işlenebilirlik deneylerinin yapıldığı bir çalışmada takım aşınmasında kesme hızının en etkili parametre olduğu belirtilmektedir (Verma vd, 2019). Başka bir çalışmada, takım aşınmasının iki faktörden güçlü bir şekilde etkilendiği, bunların kesme hızı ve ardından kesme derinliği olduğu belirtilmiştir (Srivathsan vd, 2016). Kesme hızının artmasıyla genel olarak BUE miktarının azaldığı literatürde yer almaktadır. Artan kesme hızı ile kesici takım yüzeyindeki talaş yapışmalarının daha az olduğu gözlenmiştir. Kesme hızının artmasıyla, kesme bölgesinde artan sıcaklık nedeniyle plastik deformasyon meydana gelmektedir. Bu durumda artan sıcaklıkla birlikte kesme bölgesindeki yumuşama, takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünmeyi azaltarak talaşın malzemeden ayrılmasını kolaylaştırmaktadır. Dolayısıyla talaş yüzeyini daha kolay terk eden talaşın yapışarak BUE veya BUL oluşturma eğilimi azalmaktadır.

Şekil 6-10'daki görüntüler incelendiğinde genel olarak yan yüzey aşınma mekanizmasının BUE ve BUL oluşumuna göre daha etkili olduğu ifade edilebilir. Bu durum takımların talaş yüzeylerinden çekilmiş olan görüntülerden daha net anlaşılmaktadır (Şekil 7 f-h, j-i, n-p, r-t, v-x, Şekil 10 i-k, m-o, v-x). Yan yüzey aşınmasıyla birlikte kesici takım uç kısmının da ciddi oranda aşındığı görülmektedir. Aşınma miktarı neredeyse karşı yüzdeki kesici kenarı etkileyecek miktara ulaşmıştır (Şekil 7 u-w). Kesme hızının artmasıyla birlikte takım-talaş ara yüzeyinde oluşan sıcaklık artmaktadır. Bu durumun takım aşınması üzerinde olumsuz etki yaptığı bilinmektedir. Benzer bir deneysel çalışmada, takım ve malzeme ara yüzünde işleme sırasında oluşan yüksek sıcaklığın takım aşınmasını artırdığını bildirilmiştir (Najem, 2013).

3.2.3. B4C ve GNP Takviye Elemanlarının Etkisi

Bu deneysel çalışmada üretilen hibrit kompozitler içerisinde takviye elemanı olarak ilave edilen B4C, tabiatta bulunan en sert üçüncü bileşik malzeme olarak bilinmektedir. Kompozit yapı içerisinde matris malzemesi Al 6061'e göre çok sert fazda bulunan B4C'nin etkisi çok açık olarak görülmüştür. Şekil 6'da yer alan saf Al 6061 malzemenin işlendiği kesici takım aşınma miktarları ile, Şekil 7'de yer alan farklı oranlarda B4C takviyeli kompozit malzemelerin işlendiği kesici takımların aşınmaları arasında çok önemli miktarda farkların olduğu görülmektedir. B4C oranının artmasına bağlı olarak takım aşınmalarında ciddi miktarda artışların olduğu Şekil 7'deki görüntülerden anlaşılmaktadır. Tüm B4C takviye oranlarında kayda değer takım aşınmaları meydana gelmiştir. Ancak %5 B4C takviyeli Al 6061 kompozitlerin işlendiği takımlar ile, %10 B4C takviyeli Al 6061 kompozitlerin işlendiği takımlar arasında neredeyse iki katı daha fazla aşınma olduğu, Şekil 7 a-c-e-g ile yine Şekil 7 q-s-u-x 'te yer alan takım görüntülerinden tespit edilebilir. Kompozit yapı içerisinde yer alan B4C tanecikleri yan yüzey aşınma mekanizmasını ortaya çıkarmıştır. Kesici takımlarda meydana gelen yan yüzey aşınmalarında abrasif aşınma mekanizmasının etkili olduğu ifade edilebilir. B4C çok yüksek sertlik değeri olan seramik bir malzeme türüdür. İşleme deneyleri yapılan kompozit malzemeler içerisindeki takviye elemanı B4C parçacıklarının kesici takım

kenarlarına sürtünerek adeta bir zımpara aşındırıcısı gibi etki yaptığı söylenebilir. Kompozit yapı içerisindeki B4C oranının yükselmesine birlikte, kesici takımlarda meydana gelen aşınma miktarlarında artış göstermiştir.

Ayrıca kesici takımlarda meydana gelen aşınma davranışlarında bazen sıra dışı durumların meydana gelmesi ise işlenen malzemenin karasız yapısıyla ilişkilendirilebilir. Kompozit yapı içerisindeki B4C'nin çok homojen olmayan dağılımı, yer yer oluşan B4C topaklanmaları ve/veya gözenekli mikro yapı bu tür takım davranışlarına neden olabilmektedir (Şekil 3 ve 4). Kompozit yapı içerisinde B4C ile birlikte yer alan diğer takviye elemanı GNP 'nin takım aşınmalarına etkisi Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'da yer alan takım görüntülerinden anlamak mümkündür. Şekil 8, 9 ve 10'daki takımlar ile Şekil 4'teki takımların işlediği kompozit malzemeler içerisindeki B4C oranları aynıdır. Ancak Şekil 7'deki takım aşınma oranları Şekil 8, 9 ve 10'da yer alan takımlara göre daha fazla olduğu açıkça görülmektedir. İşleme deneylerinde aynı kesme derinliği, aynı ilerleme ve kesme hızı değerleri kullanılmış olmasına rağmen GNP katkılı hibrit kompozitlerin işlendiği takımlardaki aşınma miktarları azalmıştır. Bu durumun en önemli sebebi olarak, grafenin kuru yağlayıcı özelliğini göstermek mümkündür. Alüminyum içerisinde %0,5-%1 ve %1,5 GNP katılarak üretilen kompozitlerin işlenebilirlik çalışmasında da GNP 'nin yağlama özelliği gösterdiği ifade edilmiştir (Na vd, 2019). Özellikle Şekil 7'de yer alan takımlarda meydana gelen aşırı yanak aşınması miktarlarının azaldığı görülmektedir. Üç farklı hibrit kompozitin (Al7075+SiC+B4C+Grafen) işlenebilirlik deneylerinin yapıldığı çalışmada, B4C takviyeli kompozitlerde kullanılan kesici takımlarda genel olarak yanak aşınması görülürken, grafen takviyeli kompozitlerde kullanılan kesici takımlarda krater aşınmasının daha yaygın olduğu ifade edilmiştir (Ajithkumar ve Anthony Xavier 2019). Kompozit yapı içerisinde yer alan GNP oranının artmasıyla takım aşınmalarında önemli farklılıkların olmadığı Şekil 8, 9 ve 10'daki takım görüntülerinden anlaşılmaktadır. Bu durumda en düşük oran olan %0,5 GNP takviyesi ile kesici takımların aşınma miktarlarının önemli ölçüde azaltılabileceği söylenebilir. GNP takviye oranının %0,5'ten %2 oranına çıkması ile kesici takım aşınmalarında kayda değer bir farklılık meydana gelmemiştir. Al 6061 matrisli, B4C ve GNP takviyeli kompozitlerin işlenmesinde takım aşınma miktarları üzerinde asıl etkiyi B4C takviye elemanı yapmıştır. B4C takviye oranına bağlı olarak aşınma miktarları artarken, aynı kompozit yapılar içerisinde ilave edilen GNP 'nin yağlama özelliği göstererek takım aşınmalarını azalttığı ortaya çıkmıştır.

4.Sonuçlar

Vorteks yöntemiyle üretilen Al 6061 matrisli ve B4C/GNP takviyeli hibrit kompozitlerin işlenmesinde kesici takımların sergilediği aşınma davranışlarının incelenmesi çalışmasından elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

Vorteks yöntemi uygulanarak hibrit kompozit deney numuneleri başarıyla üretilmiştir. Ancak Kompozit yapı içerisindeki B4C takviye elemanı dağılımında istenilen seviyede homojenlik elde edilememiştir. Kompozit yapı içerisinde yer yer B4C takviye topaklanmalarıyla birlikte gözenekli bölgeler meydana gelmiştir. Bu kompozit malzeme yapısı işlenebilirlik üzerinde bazı istikrarsız sonuçların elde edilmesinde etki yapmıştır. Genel olarak tüm işleme deneylerinde takım ucunda belli oranlarda BUE ve az miktarda BUL meydana gelmiştir. Özellikle ilerleme miktarındaki artışın BUE ve BUL miktarları üzerinde daha fazla etki yaptığı görülmüştür. Artan kesme hızı ile kesici takım yüzeyindeki talaş yapışmalarının daha az olduğu BUE ve BUL miktarlarının nispeten azaldığı tespit edilmiştir. Kesme hızının artmasıyla birlikte yan yüzey aşınmasının daha fazla etkili olduğu anlaşılmıştır. Kompozit yapı içerisindeki B4C oranının artmasına bağlı olarak takım aşınmalarında ciddi miktarda artışların olduğu, bu aşınmaların daha ziyade yan yüzey aşınma mekanizması olarak gerçekleştiği görülmüştür. Kompozit yapı içerisinde yer alan GNP nano takviye elemanının işlenebilirlik ve takım aşınmaları üzerinde olumlu etkisi olduğu anlaşılmıştır. Bu durumun, grafenin (GNP) kuru yağlayıcı özelliğinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Al 6061 matrisli, B4C ve GNP takviyeli kompozitlerin işlenmesinde takım aşınma miktarları üzerinde B4C takviye elemanının, ilerleme ve kesme hızına göre daha fazla etkili olduğu kanaatine varılmıştır.

Referanslar

- Ajithkumar, J. P., & Anthony Xavier, M. (2019). Flank and crater wear analysis during turning of Al 7075 based hybrid composites, Mater. Res. Express, 6(8), 086560. doi:10.1088/2053-1591/ab196e
- Ammisetty, S., Chintamreddy, V.K., & Reddy, K.H. (2021). Investigation on mechanical, microstructural and machining characteristics of B4C - graphene reinforced aluminium hybrid nanocomposites. Advances in Materials and Processing Technologies. 1-18. doi:10.1080/2374068X.2021.1946749
- Anthony, X. M., & Ajith Kumar J. P. (2017). Machinability of Hybrid Metal Matrix Composite -A Review. Procedia Engineering, 174, 1110–1118. doi:10.1016/j.proeng.2017.01.264
- Davima, J. P., Silva, J., & Baptista, A.M. (2007). Experimental cutting model of metal matrix composites (MMCs), J. Mater. Process. Technol., 183(2-3), 358–362. doi:10.1016/j.jmatprotec.2006.10.025
- Ergül, E., Kurt, H.E., Oduncuoğlu, M., Çivi C., & Eyici, G. (2020). Investigation Of Wear Weight Loss in Aluminum Matrix Composites. The International Journal of Materials and Engineering Technology. 003,160-170

- Gökkaya H., & Nalbant, M. (2007). Investigating the effects of cutting speeds over the built-up layer and built-up edge formation with SEM. *J. Fac. Eng. Arch. Gazi. Univ.*, 22(3), 481-488.
- Güler, Ö., & Bağcı, N. (2020). A short review on mechanical properties of graphene reinforced metal matrix composites. *J. Materres. Technol.* 9(3), 6808–6833. Doi:10.1016/j.jmrt.2020.01.077
- Kannan, S., & Kishawy, H.A. (2008). Tribological aspects of machining aluminium metal matrix composites. *Journal of Material Processing Technology*, 198(1-3), 399-406. doi:10.1016/j.jmatprotec.2007.07.021
- Kannan, S., & Kishawy, H.A. (2006). On the role of reinforcements on tool performance during cutting of metal matrix composites. *J. Manuf. Processes.*, 8(2), 67–75. doi.org/10.1016/S1526-6125(07)00006-0
- Kareem, A., Abdudeen, J.A.O.A., Ahammed, T., & Ziout, A. (2021). A Review on AA 6061 Metal Matrix Composites Produced by Stir Casting. *Materials*. 14, 175. <https://doi.org/10.3390/ma14010175>
- Kılıçkap, E., Çakır, O., Aksoy, M., & İnan, A. (2005). 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, 862-867. doi:10.1016/j.jmatprotec.2005.02.109
- Khan, M., Din, R.U., Basit, M.A., Wadood, A., Husain, S.W., Akhtar, S., & Aune, R.E. (2021). Study of microstructure and mechanical behaviour of aluminium alloy hybrid composite with boron carbide and graphene nanoplatelets. *Materials Chemistry and Physics*, 271, 124936. doi:10.1016/j.matchemphys.2021.124936
- Lin, J.T., Bhattacharyya, D., & Kecman, V. (2003). Multiple regression and neural Networks analyses in composites machining. *Composites Science and Technology*, 63(3-4), 539-548. doi:10.1016/S0266-3538(02)00232-4
- Mannaa, A., & Bhattacharayya, B. (2003). A study on machinability of Al/SiC-MMC. *Journal of Materials Processing Technology*, 140(1-3), 711–716. doi:10.1016/S0924-0136(03)00905-1
- Najem S. H. (2013). Machinability of Al-2024 reinforced with Al₂O₃ and/or B₄C. *University of Babylon Journal*, 21, 84-96.
- Na, H.B., Xu, L.H., Han, G.C., Liu, S.K., Lu, L.H. (2019). Machinability Research on the Micro-Milling for Graphene Nano-Flakes Reinforced Aluminum Alloy. *Metals*, 9, 1102. doi:10.3390/met9101102
- Özcatalbaş, Y. (2003). Chip and built-up edge formation in the machining of in situ Al₄C₃-Al composite. *Materials & Design*, 24(3), 215–221. doi:10.1016/S0261-3069(02)00146-2
- Patil, A., Banapurmath, N.R., Hunashyal, A.M., Meti, V.K.V., & Mahale, R.S. (2022). Development and Performance analysis of Novel Cast AA7076-Graphene Amine-Carbon Fiber Hybrid Nanocomposites for Structural Applications. *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 12(2), 1480-1489. doi:10.33263/BRIAC122.14801489
- Pedersen, W., & Ramulu, M. (2006). Facing SiCp/Mg metal matrix composites with carbide tools. *Journal of Materials Processing Technology*, 172(39), 417-423. doi:10.1016/j.jmatprotec.2005.07.016
- Srivathsan, A., Srinivasa, P.R., & Vignesh, A. (2016). Machinability Studies on Turning Al 6061 alloy with 10% Reinforcement of B₄C on MMC. *MATEC Web of Conferences*. 40, 01002. doi:10.1051/mateconf/20164001002
- Şenel M.C., & Gürbüz, M. (2021). Investigation on Mechanical Properties and Microstructure of B₄C/Graphene Binary Particles Reinforced Aluminum Hybrid Composites. *Metals and Materials International*. 27, 2438–2449. Doi:10.1007/s12540-019-00592-w
- Tabandeh-Khorshid, M., Omrani, E., Menezes, P.L., & Rohatgi, P.K. (2016). Tribological performance of self-lubricating aluminum matrix nanocomposites: Role of graphene nanoplatelets. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 19(1), 463-469. doi:10.1016/j.jestch.2015.09.005
- Verma, N., Vettivel, S.C., Rao, P.S., & Zafar, S. (2019). Processing tool wear measurement using machine vision system and optimization of machining parameters of boron carbide and rice husk ash reinforced AA 7075 hybrid composite. *Mater. Res. Express*, 6(8), 0865f3. doi:10.1088/2053-1591/ab2509
- Zhang, H. (2000). Plastic Deformation and chip Formation Mechanics during Machining of Copper, Aluminium and an Aluminium Matrix Composite, PhD. Thesis, University of Windsor, Canada.