

## Alüminyum Matrisli Bor Karbür Takviyeli Kompozit Malzemeye Uygulanan Delik Delme İşleminde Kesme Parametrelerinin Etkileri

Faik OKAY<sup>1,\*</sup> , Serkan ISLAK<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu Meslek Yüksekokulu, Kastamonu, Türkiye

<sup>2</sup>Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kastamonu, Türkiye

### MAKALE BİLGİSİ

**Alınma:** 08.03.2021

**Kabul:** 02.04.2021

#### Anahtar Kelimeler:

Delme

İlerleme kuvveti

Yüzey Pürüzlülüğü

Toz metalurjisi

### ÖZET

Bu çalışmada, toz metalürjisi yöntemiyle üretilen alüminyum matrisli bor karbür (B<sub>4</sub>C) malzemeye delik delme işlemindeki kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve ilerleme kuvveti üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deney parametreleri olarak; 5 mm çaplı HSS matkapla 20-30-40-50 m/dak kesme hızı ve 0.1-0.2-0.3-0.4 mm/dev ilerleme miktarı kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, B<sub>4</sub>C takviyesiyle ilerleme kuvveti ve moment değerlerinin düştüğü görülmüştür. İlerleme miktarının artmasıyla kuvvet ve moment değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. En düşük ilerleme kuvveti değeri 20 m/dak kesme hızı, 0.1 mm/dev ilerleme miktarında 180 N olarak takviyeli numunede ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü değerleri, ilerleme miktarının artmasıyla artmış, kesme hızının artmasıyla birlikte azalmıştır. B<sub>4</sub>C takviyesi yüzey kalitesini artırmıştır. En düşük yüzey pürüzlülüğü değeri çalışmada kullanılan en yüksek kesme hızı ve en düşük ilerleme miktarında, takviyeli numunede, 2.448 µm olarak ölçülmüştür.

## Effects of Cutting Parameters in Drilling Process Applied to Boron Carbide Reinforced Aluminum Matrix Composite Material

### ARTICLE INFO

**Received:** 08.03.2021

**Accepted:** 02.04.2021

#### Keywords:

Drilling

Thrust force

Surface roughness

Powder metallurgy

### ABSTRACT

In this study, the effects of cutting parameters on the surface roughness and thrust force were investigated during the drilling process on aluminum matrix boron carbide (B<sub>4</sub>C) material produced by powder metallurgy method. As experiment parameters; cutting speed of 20-30-40-50 m/min and a feed rate of 0.1-0.2-0.3-0.4 mm/rev were used with 5 mm diameter HSS drill. As a result of the experiments, it was seen that the thrust force and moment values decreased with B<sub>4</sub>C reinforcement. It has been determined that the force and moment values increase as the amount of feed increases. The lowest thrust force value was measured at 20 m/min cutting speed, 180 N at 0.1 mm/rev feed rate, measured on the reinforced sample. The surface roughness values increased with the increase of the feed rate and decreased with the increase of the cutting speed. B<sub>4</sub>C reinforcement increased the surface quality. The lowest surface roughness value was measured as 2.448 µm in the reinforced sample at the highest cutting speed and the lowest feed rate used in the study.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sanayi devrimi ile beraber makineleşme çağına başlaması ve bunu sonucunda insan gücü ile yapılan birçok işin makineler yardımıyla yapılması, insanoğlunu yeni araştırma alanlarına yöneltmiştir. Teknolojideki hızlı gelişmeler sonucunda araştırmalar ürünlerini vermeye başlamış ve geleneksel malzemelere oranla daha üstün özelliklere sahip yeni malzemeler üretilmiştir [1]. Yeni geliştirilen malzemelerden birisi de kompozit malzemelerdir. Kompozit malzemeler, sürekli faz ve takviye fazı olmak üzere iki fazdan oluşur ve matris fazından daha üstün özelliklere sahiptir. Ayrıca sertlik, mukavemet ve aşınma direnci gibi mükemmel özellikleri nedeniyle çeşitli uygulamalarda büyük ilgi görmektedir [2]. Alüminyum hafif olmasının yanında yüksek mukavemet ve süneklik özellikleri sayesinde tercih edilir [3]. Bununla birlikte tokluğunun ve korozyon direncinin iyi olması, takviye malzemesi ile bağ kuvvetinin iyi olması nedeniyle matris malzemesi olarak yaygın

\* Sorumlu yazar, e-posta: fokay@kastamonu.edu.tr

bir şekilde kullanılır [4]. Savunma sanayi, havacılık, otomotiv, gemi yapımı, elektronik ve daha pek çok sektörde uygulama alanı bulmaktadır [5-8]. Alüminyum matrisli kompozitlerde birçok takviye elemanı kullanılmaktadır. Bunların başında bor karbür ( $B_4C$ ) gelmektedir. Düşük yoğunluğu ( $2.52 \text{ gr/cm}^3$ ) ve çok iyi mekanik ve kimyasal özellikler göstermesi nedeniyle tercih edilmektedir [9]. Bu kompozitler birçok farklı yöntemle üretilebilmektedir [10]. Bu yöntemlerin başında Toz metalurjisi (TM) yöntemi gelmektedir. Bu yöntem, metal tozlarının karıştırılıp belirli sıcaklık değerlerinde, üretilecek parçanın boyutlarına sahip bir kalıp içinde preslenmesi ve ardından uygun bir sıcaklıkta sinterleme işlemi ile gerçekleştirilen bir imalat yöntemidir [11]. TM yönteminin tercih edilmesinin en önemli sebebi parçacıkların homojen dağılımıdır. Bu yöntemde, metal tozları karıştırılarak istenilen parça şekli ve ebadına göre kalıpta preslenerek başarıyla üretilmektedir [12].

İmalat sektöründeki en önemli hedef, dünyadaki rekabetin hızla artmasından dolayı kaliteli ürünün düşük maliyetlerle üretilmesidir. Sektör çalışanları maliyetleri düşürme konusuna yoğunlaşmışlardır. Hammaddeleri israf etmemek için kesme parametrelerinin ve koşullarının çok iyi belirlenmesi gerekir. Aynı zamanda kesici takım ömrünün artırılması ve ürün kalitesinin yükseltilmesi ihmal edilmemelidir. Ancak uygun işleme koşulları maliyeti yükseltebilir. Ürünlerin istenilen toleransta ve yüzey kalitesinde işlenebilmesi için birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda işlenebilirliğe etki eden birçok etken belirlenmiştir. Bunların başında, tezgah, takım, iş parçası malzemesi, kullanılan yöntem, kesme hızı, talaş kesiti ve ilerleme miktarı gelmektedir [13, 14]. Kesme işlemi gerçekleştirilirken oluşan kuvvetler hem takımın hem de parça üzerinde etkili olduklarından işleme kalitesi bu durumdan olumsuz etkilenebilir [15]. Kesme kuvvetleri talaş kaldırma işleminde son derece önemli bir yere sahiptir. Aynı zamanda kesme hızı ve derinliği, ilerleme miktarı, kesicinin uç geometrisi ile iş parçası malzemesine bağlı olarak değişkenlik gösterebilir [16]. Delik açma işlemi en çok kullanılan talaşlı imalat yöntemlerindedir. Delik açma işlemi, kılavuz çekme, delik büyütme, raybalama vb. operasyonlardan önce gerçekleştirilmek zorundadır. Ayrıca makine montaj ekipmanı olarak kullanılan cıvata, perçin, pim vb. bağlantı elemanlarının kullanımı için de delik açma operasyonlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Tüm bu durumlar delik açma işleminin kullanımını artırmakla beraber önemini de yükseltmiştir. Delme işleminin parça içerisinde kapalı bir bölgede gerçekleşmesi, talaşın helis kanalları aracılığı ile takım üzerinden tahliye edilmesi, talaş sıkışmasına bağlı olarak takım kırılmaları ve kesme sırasında oluşan yüksek sıcaklıklar bu operasyonu karmaşık ve zorlu bir hale getirmektedir [17, 18]. Yaşanan bu zorluklar delik delme işlemi üzerinde yapılan çalışmaları daha değerli ve anlamlı kılmaktadır [19].

Literatürde alüminyum matrisli kompozitlere delik delme işlemiyle ilgili birçok çalışmanın yapıldığı görülmektedir.

Javdani ve Sorkhabi  $B_4C$  takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin mekanik ve mikroyapı özelliklerini incelemişlerdir.  $B_4C$  takviyesinin %10'u geçmesiyle çekme dayanımının azaldığı ve mekanik özelliklerin bozulduğunu belirtmişlerdir [20]. Motorcu ve Ekici, toz metalurjisi-sıcak presleme yöntemi ile üretilen  $B_4C$  takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin işlenebilirlik özelliklerini incelemişlerdir. İlerleme miktarının artmasıyla eksenel kuvvetin arttığını kesme hızının artmasıyla da azaldığını belirtmişlerdir. Delme işleminde en etkin parametrenin %96 ile  $B_4C$  takviyesi olduğunu kaplamalı kesici takımların delme parametreleri üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığını ifade etmişlerdir. En düşük eksenel kuvvet ve tork değerlerinin sertlik değeri en düşük olan %5  $B_4C$  numunede ölçüldüğünü belirtmişlerdir [21]. Karabulut ve arkadaşları,  $B_4C$  takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin mekanik özellikleri ve işlenebilirliği üzerine yaptıkları çalışmada yüzey pürüzlülüğünün,  $B_4C$  oranı ve kesme hızı arttıkça azaldığını, ilerleme hızı ve kesme derinliği arttıkça da yükseldiğini ifade etmişlerdir. Yüzey kalitesi için en önemli parametrenin kesme hızı (%63) olduğunu daha sonra sırasıyla ilerleme hızı ve kesme derinliğinin geldiğini vurgulamışlardır [22]. Hayjehneh ve arkadaşları, alüminyum matrisli hibrit kompozitlere delik delme işleminde devir sayısı ve ilerleme miktarı arttıkça kesme kuvveti ve moment değerlerinin de arttığını belirtmişlerdir [23]. Aynı şekilde Ramulu ve arkadaşları da alüminyum matrisli kompozitlere delik delme işleminde kesme hızı ve ilerleme miktarı arttıkça moment ve kesme kuvveti değerlerinin arttığını ifade etmişlerdir [24]. Palanikumar ve Muniaraj, alüminyum matrisli hibrit kompozitlere delik

delme işleminde en önemli parametrelerin kesme kuvveti ve ilerleme miktarı olduğunu belirtmişlerdir [25]. Samy ve arkadaşları, alüminyum matrisli B<sub>4</sub>C takviyeli kompozitlerin, delik delme işleminde düşük kesme hızında ve düşük ilerleme miktarlarında yüzey kalitesinin bozuk olduğunu saptamışlardır [26]. Ahamed ve arkadaşları, alüminyum matrisli kompozitlerin işlenmesinde yüksek ilerleme miktarlarında oluşan ısının difüzyon hızına bağlı olarak kesici takıma yapışan parçacıklarla birlikte yüzey kalitesini bozduğunu ifade etmişlerdir [27]. Shabo ve arkadaşları, alüminyum matrisli kompozitlerin işlenebilirlik özelliklerini araştırdıkları çalışmalarında sünek matrisin içerisine sert parçacıkların eklenmesiyle malzemenin deformasyon davranışının değiştiğini belirtmişlerdir. Düşük takviye oranlı malzemenin işlenmesinde yığıntı talaş oluşumu gözlemlenmiştir [28]. Tinga, alüminyum matrisli B<sub>4</sub>C takviyeli kompozitlerin işlenebilirliği incelemiş, düşük takviye oranlarındaki malzemelerin delinmesinde kesici takımın maruz kaldığı sıvanmanın yüzey kalitesini bozduğunu belirtmiştir. Ayrıca takviyeli numunelerin yüzey kalitesinin daha yüksek olduğunu saptamıştır [29].

Literatürdeki diğer çalışmalar değerlendirildiğinde alüminyum matrise farklı takviye elemanları katıldığı B<sub>4</sub>C ile yapılan çalışmaların sınırlı olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca diğer çalışmalarda alüminyum matrisli kompozitlerin döküm veya soğuk presleme tekniği ile üretildiği görülmektedir. Bu çalışmada sıcak presleme tekniği başarıyla uygulanmış ve TM yöntemiyle üretilen alüminyum matrisli B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit malzemeye delik delme işleminde kesme parametrelerine bağlı ilerleme kuvveti, moment ve yüzey pürüzlülüğü değerleri araştırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Çalışmada, matris malzemesi olarak 15-30 µm tane boyutlarında alüminyum, takviye olarak ortalama 10 µm tane büyüklüğünde B<sub>4</sub>C tozları kullanılmıştır. Tozlar 200 dev/dak dönüş hızında 1 saat süreyle mekanik alaşımlama işlemine tabi tutulmuştur. Karıştırılan tozlar Tablo 1'deki hacim oranına göre 550°C sıcaklığında ve 35 MPa basınçta sıcak presleme yöntemiyle üretilmiştir. Üretilen numunelerin boyutları 24x24x8 mm'dir.

Tablo 1. Deney numunelerinin hacimce oranları (Volume rates of the test samples)

Numune	Hacimce oran (%)	
	Al	B <sub>4</sub> C
N1	100	0
N2	92	8

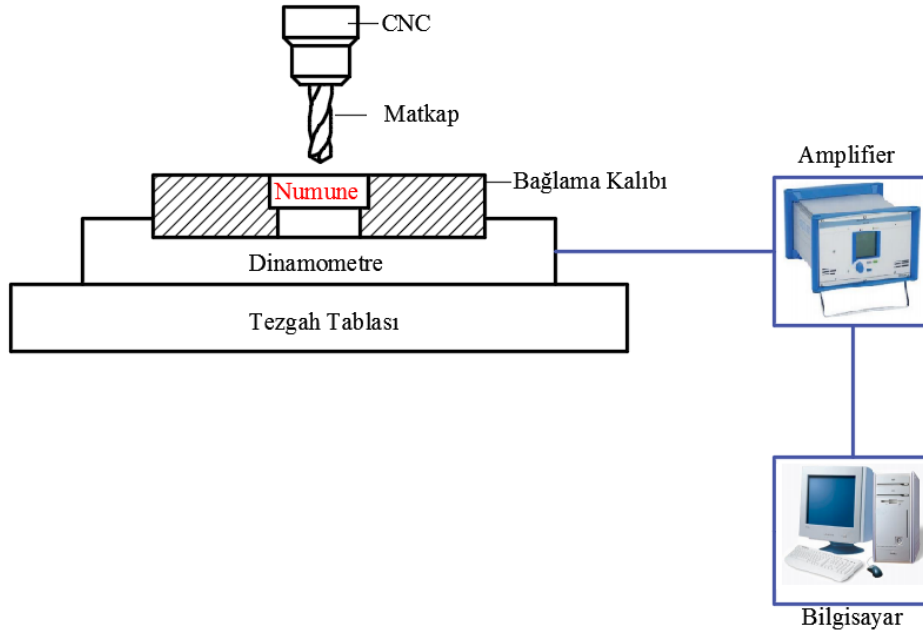
Çalışmada, mikroyapı incelemeleri için FEI QUANTA 250 FEG marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Ayrıca numunelerin sertliği Brinell sertlik ölçme cihazıyla ölçülmüştür.

İşlenebilirlik deneyleri Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliğinde bulunan JOHNFORD VMC-550 işleme merkezinde yapılmıştır. Deneylerde 5 mm çaplı HSS matkaplar ve Tablo 2'de verilen parametreler kullanılmıştır. Deneylerde, ilerleme kuvveti, moment, yüzey pürüzlülüğü gibi temel işlenebilirlik göstergeleri araştırmak amacıyla tüm deney kombinasyonları hesaplanıp 32 adet deney yapılmıştır.

Tablo 2. İşleme parametreleri (Machining parameters)

Uç açısı	°	118
Kesme hızı	m/dak	20 - 30 - 40 - 50
İlerleme miktarı	mm/dev	0.1 - 0.2 - 0.3 - 0.4

İşlenebilirlik deneylerinde, ilerleme kuvveti ve moment ölçümü için Kistler 9272 tipi dinamometre kullanılmıştır. Dinamometreden elde edilen sinyaller Kistler 5070-A Amplifier kullanılarak veriye dönüştürülmüştür. Verilerin işlenmesi için Dynoware yazılımı kullanılmıştır. Delinecek numuneler bağlama kalıbı ile birlikte dinamometreye bağlanarak tezgâh tablasına sabitlenmiştir (Şekil 1).

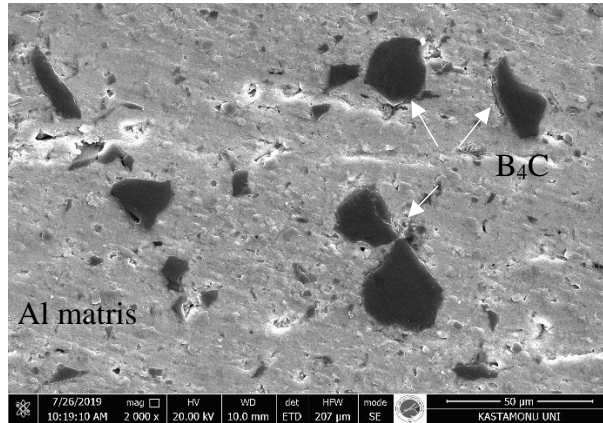


Şekil 1. Deney düzeneği (Experimental setup)

### 3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

#### 3.1. Mikroyapı ve Sertlik Sonuçlarının Değerlendirilmesi (Evaluation of Microstructure and Hardness Results)

Çalışmada kullanılan kompozit malzemenin yüzey görüntüsü Şekil 2’de verilmiştir. SEM görüntüsü incelendiğinde, alüminyum matris içerisinde keskin köşeli B<sub>4</sub>C’lerin gömülü olarak konumlandığı görülmektedir. Ayrıca B<sub>4</sub>C tanelerinin alüminyum matris içerisinde homojen dağıldığı söylenebiliriz.

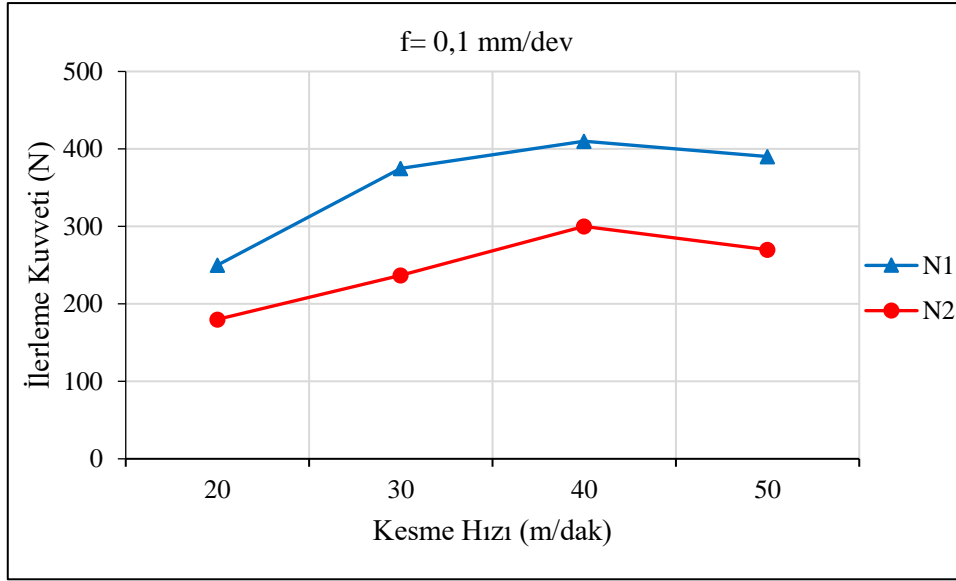


Şekil 2. Numune yüzeyinin SEM görüntüsü (SEM image of the sample surface)

Numunelerin sertliği Brinell sertlik ölçme cihazıyla 60 kg yük ve 1/8" çaplı bilye kullanılarak ölçülmüştür. Katkısız 1 numaralı numunenin sertliği 75 HB, takviyeli numunenin sertliği 80 HB olarak ölçülmüştür. Takviye elemanının sertliği matrisin sertliğinde yüksek olduğu için takviyeli numunenin sertliği artmıştır [30].

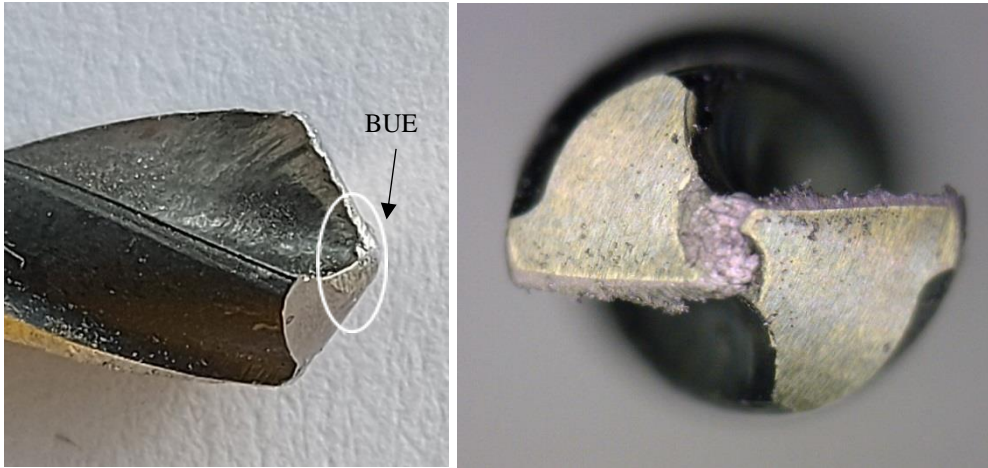
#### 3.2. İlerleme Kuvveti ve Momentin Değerlendirilmesi (Evaluation of Thrust Forces and Moment)

Kesme hızına bağlı ilerleme kuvvetinin değişimi Şekil 3’de verilmiştir. Her bir ilerleme miktarında yapılan deneylerde aynı eğilim mevcuttur. Şekil 3’de 0.1 mm/dev ilerleme miktarında kesme hızına bağlı ilerleme kuvvetinin değişimi verilmiştir.



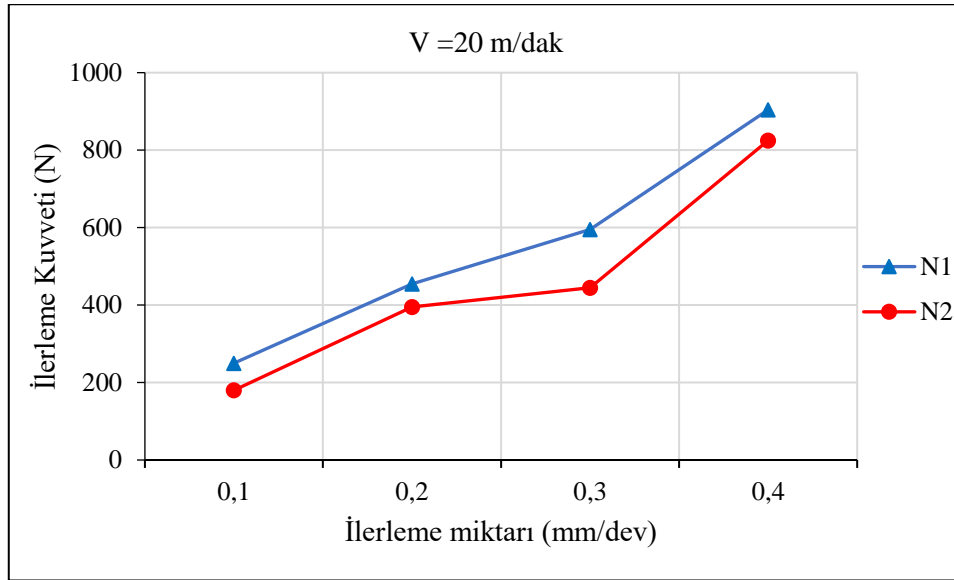
Şekil 3. Kesme hızına bağlı ilerleme kuvveti değerleri (Thrust force values depending on the cutting speed)

Kesme hızının 20m/dak'dan 40 m/dak'ya artmasıyla her iki numune de ilerleme kuvvetleri artmıştır (Şekil 3). Kesme hızının 40m/dak'dan 50 m/dak'ya çıkmasıyla da ölçülen ilerleme kuvveti değerleri azalmıştır. Kesme hızındaki artışla ölçülen ilerleme kuvvetini azalmasını, kesme bölgesindeki sıcaklığın artmasıyla daha kolay deformasyon olmasına atfedebiliriz [31]. En yüksek ilerleme kuvveti değeri 40 m/dak kesme hızında 410 N olarak katkısız numune de ölçülmüştür. B<sub>4</sub>C takviyesinin etkisiyle ilerleme kuvveti değerleri azalmıştır. N1 kodlu numune katkısız alüminyum olduğu için matkaba sıvanma eğilimi mevcuttur. Sıvanmanın etkisiyle ölçülen ilerleme kuvveti değerleri de artmıştır [32]. Şekil 4'de matkapta oluşan talaş sıvanması açıkça görülmektedir.



Şekil 4. Matkapta oluşan talaş sıvanması (Built up edge formed in the drill)

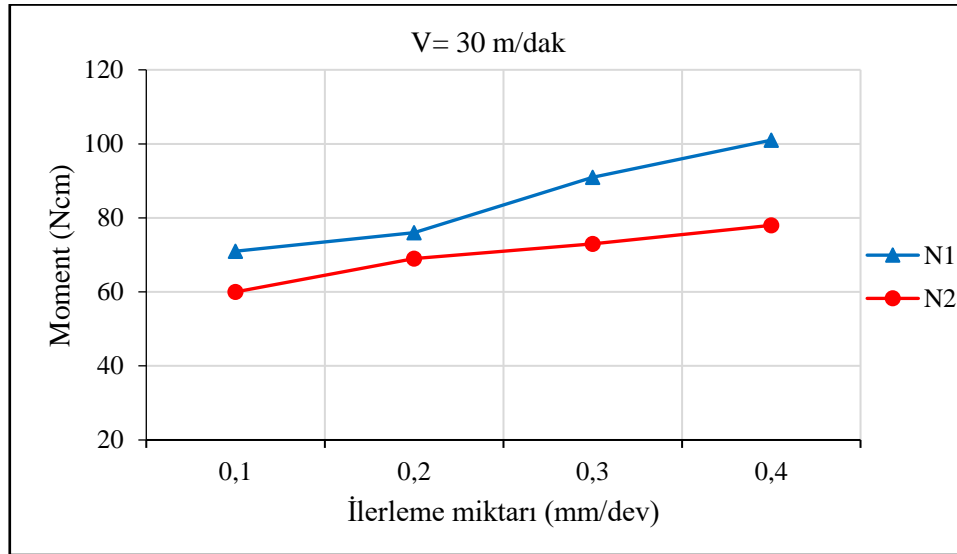
İlerleme miktarına bağlı ilerleme kuvvetinin değişimi Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. İlerleme miktarına bağlı ilerleme kuvveti değerleri (Thrust force values depending on the feed rate)

Şekil 5'deki grafik incelendiğinde ilerleme miktarının artmasıyla her iki numunede de ölçülen ilerleme kuvveti değerleri artmıştır. Bu artışın nedeni olarak ilerleme hızının artmasıyla kaldırılan talaş hacminin artması şeklinde açıklayabiliriz [13]. Grafik incelendiğinde 20 m/dak kesme hızındaki deneylerde ölçülen en yüksek ilerleme kuvveti değerinin 0.4 mm/dev ilerlemede 904 N olduğu görülmektedir. Yapılan diğer kesme hızlarındaki deneylerde de aynı eğilim mevcuttur.

Çalışmada yapılan deneyler sonucunda tüketilen güç hakkında fikir vermesi açısından ilerleme miktarına bağlı moment değerlerinin değişimi Şekil 6'da verilmiştir.

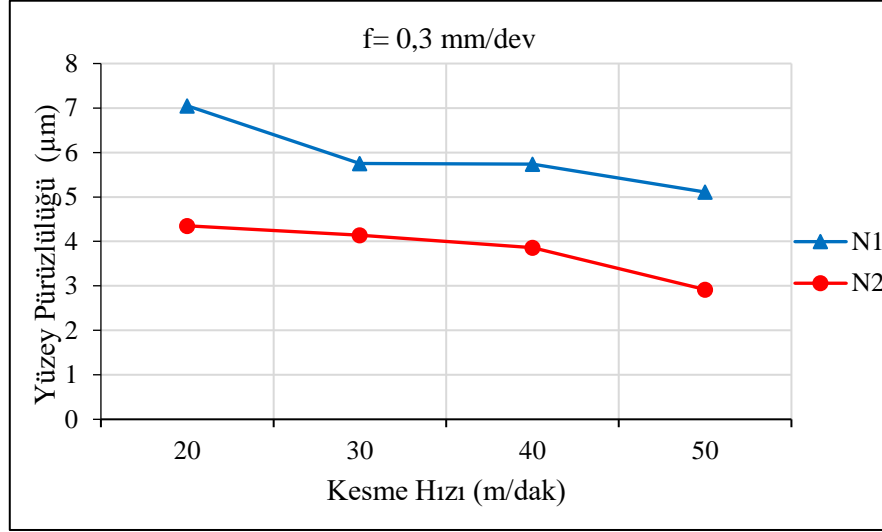


Şekil 6. İlerleme miktarına bağlı moment değerleri (Moment values depending on the feed rate)

Şekil 6.'daki grafik incelendiğinde kuvvet grafiklerinde olduğu gibi ilerleme miktarı arttıkça moment değerleri de artmıştır. Aynı şekilde bu artışı da talaş kesitinin artması ile ilişkilendirebiliriz [33]. 30 m/dak kesme hızında yapılan deneyde en yüksek momentin 0.4 mm/dev ilerlemede katkısız numunede 101 Ncm olarak ölçülmüştür.

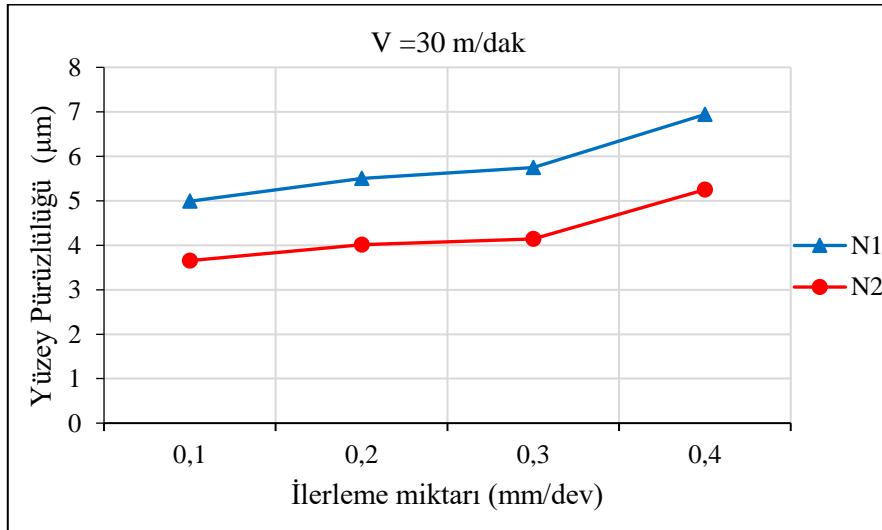
### 3.3. Yüzey Pürüzlülüklerinin Değerlendirilmesi (Evaluation of Surface Roughnesses)

Kesme hızına bağlı numunelerdeki yüzey pürüzlülüğünün değişimi Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğü değerleri (Surface roughness values depending on the cutting speed)

Şekil 7’deki grafik incelendiğinde kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğü değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bunun nedenini olarak, kesme hızının artmasıyla ile yükselen enerji tüketimin kesme esnasında ısı enerjisine dönüşmesi ile ortaya çıkan sıcaklığın plastik deformasyonu ve talaş akışını kolaylaştırdığı, buna bağlı olarak da yüzey kalitesinde bir iyileşme olduğu şeklinde açıklanabilir [34]. B<sub>4</sub>C takviyesiyle numunedeki sıvanma eğilimi azaldığından takviyeli numunenin (N2) yüzey pürüzlülüğü değerleri daha düşük çıkmıştır. Tinga yaptığı çalışmada takviye miktarındaki artışın yüzey kalitesini iyileştirdiğini ifade etmiştir [29]. 0,3 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri en yüksek kesme hızın olan 50 m/dak kesme hızında N2 kodlu numunede 2.918 µm olarak ölçülmüştür. Şekil 8’de ilerleme miktarına bağlı yüzey pürüzlülüğün değişimi verilmiştir.



Şekil 8. İlerleme miktarına bağlı yüzey pürüzlülüğü değerleri (Surface roughness values depending on the feed rate)

Çalışmada kullanılan tüm kesme hızlarında (20-30-40-50 m/dak) ilerleme miktarı arttıkça ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri de artmıştır. Artan kesme hızlarıyla kesme kuvvetleri de artacaktır. Takım üzerinde artan bu yükler de yüzey kalitesini olumsuz şekilde etkileyecektir [35]. 30 m/dak kesme hızında yapılan deneylerde en büyük yüzey pürüzlülüğü değeri 0.4 mm/dev ilerlemede N1 kodlu numunede 6.941 µm olarak ölçülmüştür.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada alüminyum matrisli B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit malzemenin HSS matkapla delinmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Farklı kesme hızlarında ve farklı ilerleme miktarında yapılan deneylerle ilerleme kuvveti, moment ve yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Alüminyum matrise B<sub>4</sub>C takviyesi sertlik değerini artırırken ölçülen kuvvet ve moment değerlerini ise düşürmüştür. Yapılan takviyenin işlenebilirlik özelliklerini artırdığını söyleyebiliriz.
- İlerleme kuvveti kesme hızına göre değerlendirildiğinde, her iki numunede de 40 m/dak'da en yüksek kuvvet ve moment değerleri ölçülmüştür.
- En düşük ilerleme kuvveti değeri 20 m/dak kesme hızı, 0.1 mm/dev ilerleme miktarında 180 N olarak takviyeli numunede ölçülmüştür.
- Yüksek kesme hızı ve ilerleme miktarlarında yapılan deneylerde talaşın tahliyesinin zor olduğundan dolayı kuvvet ve moment değerlerinin yüksek çıktığı değerlendirilmektedir.
- N1 kodlu katkısız numunenin delinmesinde karşılaşılan matkaba sıvanma eğilimi yüzey kalitesini olumsuz etkilemiştir. Tüm kesme parametrelerinde B<sub>4</sub>C takviyeli numenelerin yüzey kalitesi daha iyi çıkmıştır.
- Çalışmada kullanılan bütün kesme hızı değerlerinde, ilerleme miktarının artmasıyla ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri sürekli olarak artmıştır.
- En düşük yüzey pürüzlülüğü değeri çalışmada kullanılan en yüksek kesme hızı olan 50 m/dak kesme hızı ve 0.1 mm/dev ilerleme miktarında, takviyeli numunede, 2.448 µm olarak ölçülmüştür.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. N. Chawla, K. K. Chawla, Metal matrix composites, Springer Science Business Media, Inc., Boston, 5-101, 2006.
2. K.L. Narayana, M. M. Benal, H. K. Shivanand, Effect of graphite on aluminium matrix composites fabricated by stir casting route—A review, Materials Today: Proceedings, 2020.
3. H. Liao, W. Zhang, C. Chen, B. Chen, G. Xue, H. Zhu, Hybrid reinforced aluminum matrix composites fabricated by selective laser melting, Intermetallics, 131:107080, 2021.
4. B. S. Yigezu, M. M. Mahapatra, P. K. Jha, Influence of reinforcement type on microstructure, hardness, and tensile properties of an aluminum alloy metal matrix composite, Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering, 1 (4): 124-130, 2013.
5. J. H. Shin, H. J. Choi, D. H. Bae, The structure and properties of 2024 aluminum composites reinforced with TiO<sub>2</sub> nanoparticles, Materials Science and Engineering: A, 607: 605-610, 2014.
6. V. Chak, H. Chattopadhyay, T. L. Dora, A review on fabrication methods, reinforcements and mechanical properties of aluminum matrix composites, Journal of Manufacturing Processes, 56:1059-1074, 2020.
7. H. Gökmeşe, U. Taşçı, B. Bostan, Investigation of microstructure and hardness properties of aged AA 7075 matrix B<sub>4</sub>C/SiC reinforced composite-hybrid materials, Journal of Boron, 5(2):73-82, 2020.
8. N. V. Babu, T. V. Moorthy, Synthesis and characterization of Al7075/SiC composite by stir casting. In Applied Mechanics and Materials, Trans Tech Publications Ltd, 592: 760-764, 2014.
9. H. Guo, Z. Zhang, Processing and strengthening mechanisms of boron-carbide-reinforced aluminum matrix composites, Metal Powder Report, 73(2): 62-67, 2018.
10. M. Pul, Alüminyum 7075 Matrisli kompozitlerde SiC, B<sub>4</sub>C Ve TiB<sub>2</sub> takviye elemanlarının mekanik özelliklere etkilerinin karşılaştırılması, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7 (1): 180-193, 2019.
11. A. Orhan, A.K. Gür, U. Çalgılı, Al matrisli B<sub>4</sub>C takviyeli kompozitlerin sıcak presleme yöntemiyle üretimi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, c. (4): 8-13, 2007.
12. A. Ekşi, D. A. Bircan, Mechanical properties of cold and warm compacted aluminum alloys (Al7XXX). In Proceedings of 11th International Materials Symposium, 19-21 April 2006, Denizli.
13. F. Memiş, Y. Turgut, AISI 2205 Dupleks paslanmaz çeliğin CNC torna tezgâhında işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerinin deneysel araştırılması, İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları, 1 (1): 22-33, 2020.



14. M. Ay, A. Kalyon, CNC torna tezgâhında 17-4 PH paslanmaz çeliğin işleme parametrelerinin deneysel olarak belirlenmesi, 6. International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 Mayıs 2011, Elazığ.
15. Y. Işık, M.C. Çakır, Hız çeliği takımlar için kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin deneysel olarak incelenmesi, Teknoloji, 1-2: 111-118, 2001.
16. B. Özlü, H. Demir, E. Nas, CNC tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etki eden parametrelerin matematiksel olarak modellenmesi, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi 3(2): 75-86, 2014.
17. Ş. Bayraktar, Y. Sıyambaş, Y. Turgut, Delik delme prosesi: bir araştırma, SAÜ Fen Bilim Enstitüsü Dergisi, 21: 124-124, 2017.
18. A. Çakır, AA 7075 ve AA 2024 Alüminyum Malzemelerine Delik Delinmesinde Soğutma Yöntemlerinin İşleme Performansına Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2015.
19. B. Yılmaz, G. Uzun, A. Güllü, Ti6Al4V malzemeye uygulanan delme işleminde kesme parametrelerinin itme kuvveti, kesme momenti ve kesme sıcaklığına etkileri, İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları, 1 (3): 1-8, 2020.
20. A. Javdani, A.H. Daei-Sorkhabi, Microstructural and mechanical behavior of blended powder semisolid formed Al7075/B4C composites under different experimental conditions, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 28(7): 1298-1310, 2018.
21. A. R. Motorcu, E. Ekici, Al/B<sub>4</sub>C kompozitlerin karbür matkaplarla delinmesinin değerlendirilmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(4): 259-266, 2016.
22. Ş. Karabulut, H. Karakoc, R. Çıtak, Influence of B<sub>4</sub>C particle reinforcement on mechanical and machining properties of Al6061/B4C composites, Composites Part B: Engineering, 101: 87-98, 2016.
23. M. T. Hayajneh, A. M. Hassan, A. T. Mayyas, Artificial neural network modeling of the drilling process of self-lubricated aluminum/alumina/graphite hybrid composites synthesized by powder metallurgy technique, Journal of Alloys and Compounds, 478(1-2): 559-565, 2009.
24. M. Ramulu, P. N. Rao, H. Kao, Drilling of (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) p/6061 metal matrix composites, Journal of materials processing technology, 124(1-2): 244-254, 2002.
25. K. Palanikumar, A. Muniaraj, Experimental investigation and analysis of thrust force in drilling cast hybrid metal matrix (Al-15% SiC-4% graphite) composites, Measurement, 53: 240-250, 2014.
26. G. S. Samy, S. T. Kumaran, Measurement and analysis of temperature, thrust force and surface roughness in drilling of AA (6351)-B<sub>4</sub>C composite, Measurement, 103: 1-9, 2017.
27. A. R. Ahamed, P. Asokan, S. Aravindan, M. K. Prakash, Drilling of hybrid Al-5% SiCp-5% B<sub>4</sub>Cp metal matrix composites, The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology, 49(9-12): 871-77, 2010.
28. C. Shoba, N. Ramanaiah, D. N. Rao, Effect of reinforcement on the cutting forces while machining metal matrix composites—an experimental approach, Engineering Science and Technology, an International Journal, 18(4): 658-663, 2015.
29. S. Tinga, AA6061 matrisli B<sub>4</sub>C ve SiC takviyeli kompozit malzemelerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2019.
30. H. S. Kim, On the rule of mixtures for the hardness of particle reinforced composites, Materials Science and Engineering: A, 289(1-2): 30-33, 2000.
31. İ. Çiftçi, Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme hızının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 20(2): 205-209, 2005.
32. C. Rubenstein, The torque and thrust force in twist drilling—II. Comparison of experimental observations with deductions from theory, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 31(4): 491-504, 1991.
33. L-P. Wang, L-J. Wang, Y-H. He, Z-J. Yang, Prediction and computer simulation of dynamic thrust and torque in vibration drilling, Proc Inst Mech Eng Part B J Eng Manuf, 212(6): 489-497, 1998.
34. M. Günay, Toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiş Al-Si/SiCp kompozitlerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2009.
35. G. Meral, AISI 1050 Malzemenin delinmesinde delme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve delik kalitesi üzerindeki etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010.