

T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**SiC PARTİKÜL TAKVİYELİ ALÜMİNYUM METAL
MATRİKSLİ MALZEMELERİN DELİNMESİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Zülküf DEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR

HAZİRAN - 2006

T.C

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

DIYARBAKIR

ZÜLKÜF DEMİR tarafından yapılan "SİC PARTİKÜL TAKVİYELİ ALÜMİNYUM METAL MATRİKSLİ MALZEMELERİN DELİNMESİNİN ARAŞTIRILMASI" konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Makine Eğitimi Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir

Jüri Üyesinin

Ünvanı

Adı Soyadı

Başkan: Yrd.Doç.Dr. SEDAT KOLUKISA

Üye : Yrd.Doç.Dr. EROL KILIÇKAP

Üye : Yrd.Doç.Dr. ORHAN ÇAKIR (Danışman)

[Handwritten signatures of Sedat Kolukisa, Erol Kılıçkap, and Orhan Çakir]

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 23/06/2006

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

12.07.2006

[Handwritten signature of Necmettin Pirinçcioğlu]

Prof. Dr. Necmettin. PİRİNÇCİOĞLU

ENSTİTÜ MÜDÜRÜ



TEŐEKKÜR

Tez çalıőmamda, benden yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Makina Mühendisliği Bölümü öğretim elemanı Yrd. Doç Dr. Orhan ÇAKIR'a, Mühendislik-Mimarlık Fakóltesi öğretim üyesi Yrd. Doç Dr. Zihni TEMEL'e, Makina Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Yrd. Doç Dr. Erol KILIÇKAP'a, Makina Mühendisliği Bölümü öğretim elemanı Arő. Gör. Ahmet YARDIMEDEN'e ve Fen-Edebiyat Fakóltesi Matematik Bölümü'ndeki öğretim elemanlarına bana verdikleri desteklerinden dolayı teőekkür ederim.

Ayrıca tez çalıőmam, Dicle Üniversitesi Araştırma Projeleri Koordinasyonu tarafından DÜAPK-04-MF-60 proje kodu altında desteklenmiőtir. Bu desteklerinden dolayı Dicle Üniversitesi Araştırma projeleri Koordinasyonu'na teőekkür ederim.

ZÜLKÜF DEMİR

AMAÇ	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
BÖLÜM 1 - DELİK DELME İŞLEMİ VE MEKANİĞİ	
1.1. Delik delme işlemi ve işleme işleminin özellikleri	1
1.2. Delik delme işleminin mekaniği	2
1.3. Kesici uç kenarı	3
1.4. Kesici ağız (kenar)	4
1.5. Delik delme işleminde kesme kuvvetleri ve kesme gücü	15
BÖLÜM 2 - METAL MATRİKSLİ KOMPOZİT MALZEMELER	
2.1. Giriş	21
2.2. Metal matrisli kompozitler (MMK)	24
2.2.1. MMK Malzemelerin Kompozitler İçerisindeki önemi	26
2.2.2. MMK Malzemelerin uygulama alanları	28
2.2.3. SiC (Silisyum karbür)	30
2.2.4. Alüminyum matrisli SiC partiküllü metal matrisli kompozit malzemeler	31
BÖLÜM 3 - ALÜMİNYUM MATRİKSLİ SiC PARTİKÜL TAKVİYELİ METAL MATRİKS KOMPOZİT MALZEMELERİN DELİNMESİ	
3.1. Giriş	35
3.2. Matkap malzemeleri	36
3.3. Matkap malzemelerinin kaplanması ve delme işlemine etkileri	38
3.4. Kesme hızının etkisi	47

3.5. İlerleme değerinin etkisi	49
3.6. Takım geometrisi	52
3.7. Kesme sıvısının kullanımı ve etkileri	54
BÖLÜM 4 – DENEYSEL ÇALIŞMA	57
4.1. Seçilen malzeme ve özellikleri	57
4.2. Deneylerde kullanılan tezgah ve cihazlar	58
BÖLÜM 5 – DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER	61
5.1. Takım ömrü	61
5.2. Yüzey pürüzlülüğü	67
5.3. Deneysel sonuçların değerlendirilmesi	69
BÖLÜM 6 – GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	72
KAYNAKLAR	75
TABLO LİSTESİ	79
ŞEKİL LİSTESİ	80
ÖZGEÇMİŞ	82

AMAÇ

SiC partikül takviyeli alüminyum metal matriksli kompozit (MMK) malzemeler günümüzde yaygın kulanı alanı bulan yeni nesil mühendislik malzemelerindedir. Yaygın kullanımı dolayısıyla, bunların şekillendirilmesi de önemli bir durumu gelmiştir.

İmalat yöntemleri içerisinde talaşlı işleme metotları önemli bir yer tutar. Mühendislik malzemelerinin neredeyse tamamının talaşlı işleme yöntemleri ile şekillendirilmesi mümkündür. Boyutsal hassasiyetin ve yüksek yüzey kalitesinin istendiği durumlarda talaşlı işleme yöntemleri diğer imalat yöntemleri içerisinde ayrıcalıklı bir konuma sahiptir. Farklı talaşlı işleme yöntemleri içerisinde silindirik deliklerin elde edilmesi ancak delme işlemi ile gerçekleştirilebilmektedir. Delme işleminin talaşlı işleme yöntemleri içerisinde yaygınlığı yaklaşık olarak %30 civarındadır.

SiC partikül takviyeli alüminyum MMK malzemelerin talaşlı işlenmesi birçok araştırmaya konu olmuştur. Delme işlemi de benzer şekilde çalışılan konulardan birisidir. SiC partiküllerinin sertliği nedeniyle oluşan takım aşınması ve yüzey kalitesinin istenen özelliklere sahip olmaması nedeniyle birçok çalışma yapılmış ve bu çalışmaların ortaya koyduğu değişik sonuçlar endüstriyel uygulamalarda kullanıma sunulmuştur.

Yapılan deneysel çalışmada, SiC partikül takviyeli alüminyum MMK malzemelerin delinmesinde takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü parametreleri incelenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda, seçilen kesici takım malzemesinin önemli olduğu ve sert metal uçlu matkapların yüksek hız çeliği (HSS) kesici takım malzemesinden imal edilen matkaplara göre daha yavaş aşındığı görülmüştür. Farklı kesme hızları ve ilerleme oranları kullanılarak yapılan deneysel çalışmada; kesme hızının takım aşınması üzerinde etkili olurken, ilerleme oranı değerinin ise yüzey pürüzlülüğü üzerinde etken olduğu gözlemlenmiştir. Ülkemizdeki çalışmalara temel olabilecek sonuçlar ve karşılaşılan problemlere öneriler sunulmuştur.

ÖZET

SiC partikül takviyeli alüminyum metal matriksli kompozit malzemeler yüksek dayanım ve aşınma direnci yanında hafiflikleri dolayısıyla endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemeler uzay ve nükleer endüstriler yanında otomotive ve medikal endüstriler tarafından yoğun olarak kullanılmaktadır.

Talaşlı işleme yöntemleri yüksek boyutsal hassasiyet ve yüzey kalitesi istenen makina parçalarının imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır. Delme işlemi talaşlı işleme yöntemlerinde birisidir ve silindirik deliklerin elde edilmesinde kullanılmaktadır. SiC partikül takviyeli alüminyum metal matriksli kompozitlerin delinmesi birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Bu çalışmaların sonuçları endüstriyel uygulamalar için yararlı sonuçlar sağlamıştır.

Bu çalışmada, SiC partikül takviyeli alüminyum metal matriksli kompozit malzemelerin delinmesi değerlendirilmiştir. Önceki çalışmalara bağlı olarak deneysel çalışma yapılmış ve takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü parametreleri incelenmiştir. Takım aşınmasında kesme hızının ve yüzey pürüzlülüğünde ilerleme oranının etkili olduğu gözlenmiştir.

Bu tez, aşağıdaki gibi altı bölüm şeklindedir:

Bölüm 1 delme işlemi ve bunun mekaniği konusunda genel bilgiler içermektedir.

Metal matriksli kompozitler ve SiC partikül takviyeli alüminyum metal matriksli kompozitler Bölüm 2’de incelenmiştir.

Bölüm 3, bu malzemelerin delinmesi konusunda yapılan çalışmaları detaylı olarak değerlendirmiştir.

Bölüm 4 deney prosedürü hakkında detaylı bilgi vermekte ve deneysel çalışmanın sonuçları ve değerlendirmeler Bölüm 5’de verilmiştir.

Bölüm 6 genel sonuçları ve endüstriyel uygulamalar için bazı öneriler sunmaktadır.

ANAHTAR KELİMELELER: SiC partikül takviyeli alüminyum metal matriksli malzemeler, Delme, Takım ömrü, Yüzey pürüzlülüğü

SUMMARY

SiC particle reinforced aluminium metal matrix composite materials have been wide industrial applications because of high strength and wear resistance as well as lightness. These materials have been extensively used in automotive and medical industries as well as aerospace and nuclear applications.

Machining processes have been greatly used to manufacture machine parts which have high dimensional accuracy and surface finish quality. Drilling is one of the important machining processes to produce cylindrical holes. Drilling of SiC particle reinforced aluminium metal matrix composites have been studied by various researches. Results of these studies have provided useful information for industrial applications.

In this study, drilling of SiC particle reinforced aluminium metal matrix composite materials have been reviewed. According to early studies, experimental study was carried out to investigate tool wear and surface roughness parameters. It was observed that tool wear was affected by cutting speed and surface roughness by feed rate.

The thesis was based on six chapters as follow:

Chapter 1 provided general information about drilling process and its mechanics.

Metal matrix composites and SiC particle reinforced aluminium metal matrix composite materials have been examined in Chapter 2.

Chapter 3 reviewed studies based on the drilling of these materials and results were discussed in detail.

Chapter 4 gives details of experimental procedure and the results and conclusions of the experimental study were provided in Chapter 5.

Chapter 6 contained general conclusions and some suggestions for industrial applications.

KEYWORDS: SiC particle reinforced aluminium metal matrix materials, Drilling, Tool life, Surface roughness

BÖLÜM 1

DELİK DELME İŞLEMİ VE MEKANİĞİ

1.1. Delik delme ve işleme işleminin özellikleri

Matkap olarak adlandırılan bir kesici takım kullanılarak iş parçası üzerinden silindirik profile sahip boşluklar elde etme işlemi, delik delme işlemi olarak adlandırılır. Delik delme işleminde matkap tezgahları kullanılır. Matkap tezgahlarına matkap ucu denilen bir kesici takım bağlanarak delik delme işlemleri gerçekleştirilir [1-3].

Matkap tezgahına bağlanan matkap ucu olarak adlandırılan kesici takım ile yapılan delik delme işlemindeki kesme işlemi, matkap ucunun kendi eksenini etrafında dönmesi ve Z eksenini doğrultusunda kendi eksen vektörü üzerinde iş parçasına doğru düşey doğrultuda yaptığı hareketle gerçekleşir [1-3].

Delik delme; herhangi bir iş parçası üzerinde önceden mevcut olmayan silindirik profile sahip bir deliği delmektir. Delik genişletme ise matkap ucu ile önceden delinmiş bir deliğin çapını büyütme için talaşlı işleme yöntemiyle işlemektir. Delik delme işleminde, kullanılan matkap ucunun eksenini ile delinecek deliğin eksenini çakıştırılması zorunluluğu vardır. Delinecek deliğin çapı kullanılan matkap ucunun çapına eşit olur. Delik delme işleminde daha büyük çaplı matkap uçlarla delik delinecekse delinecek delik önce küçük çaplı matkap ucu ile daha sonra yaklaşık olarak matkap çapı 5 mm büyütülerek kademeli bir şekilde büyük çaplı delikler delinebilir. Matkap uçları mandrenlerle matkap tezgahına bağlanabildiği gibi büyük çaplı matkaplar, saplarının sahip olduğu mors koniği profilinden dolayı matkap tezgahlarına direkt olarak da bağlanabilirler [1-3].

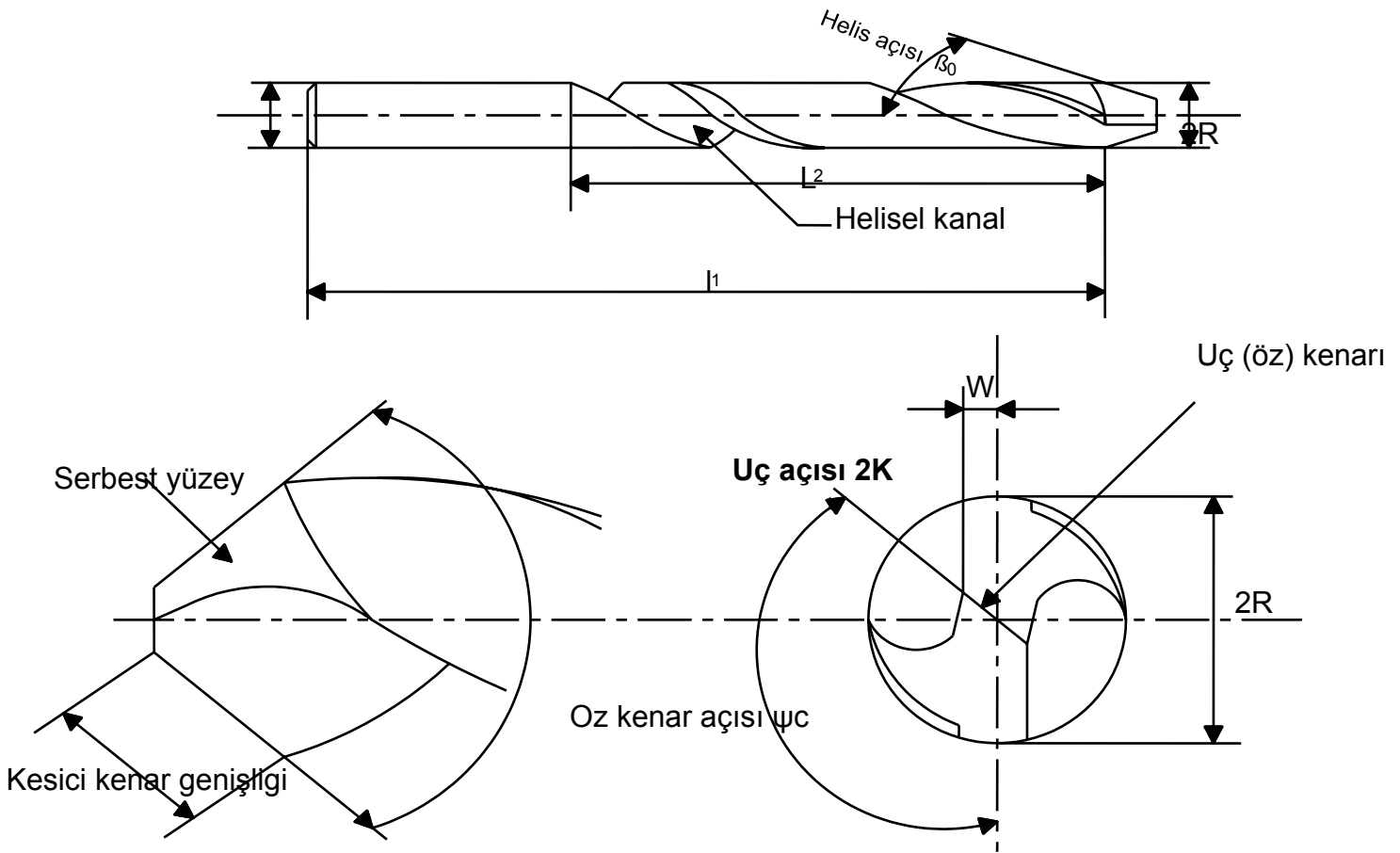
Tezgah: Temel plaka, kolon, sütun, hız kutusu, ana mil (takım mili), ilerleme mekanizması, tabla gibi ana elemanlardan oluşur. Takım ana mile, parça ise tablaya tespit edilir [1].

Takım ana mile, iş parçası tablaya bağlanır. Ana mil yatay pozisyonundadır. Araba takım ile birlikte kolona bağlı olan yatay kol üzerinde ileri – geri hareket edebilir, kolun uzunluğuna göre istenilen konuma ayarlanabilir ve yatay bir düzlemde istenilen yöne doğru 360⁰ dönebilir. Bu şekilde çeşitli yüksekliklerde ve genişliklerde olan iş parçalarına delikler

delinebilir. Bu tezgahın konstrüksiyonunda ilerleme ve kesme hareketi ile kolun dikey yönde konumunu ayarlamak için ayrı motorlar kullanılmaktadır. Tezgah 80 mm çapında delikler işleyebilir.

1.2. Delik delme işleminin mekaniği

Örnek bir helisel matkap ucu Şekil 1.1’de gösterilmiştir [2].



Şekil 1.1. Helisel matkap ucu geometrisi [2]

Helisel bir matkap ucunun, bir uç kenarı mevcuttur. Bu uç kenarı matkap ucunun sonunda bulunan iki adet kesici kenarın (ağzın) birleşmesinden meydana gelmektedir. Bu kesici kenar Z eksenine (dikey konumda) matkabın uzun ekseni ile (k_t) gibi bir eğim açısı yapmaktadır. Helisel matkabın ayrıca talaşın delik içerisinden dışarıya (yukarıya) doğru boşaltılmasını sağlayan helisel kanalın helis açısı (β_0)’dır. Matkap ucu üzerinde bulunan

helisel kanallar ve kenarlar kesme işlemi yapmazlar, bunlar sadece talaşın yukarıya doğru hareket ettirilerek dışarıya atılmasını sağlarlar. Matkabın uç (öz) kenarının genişliği $2w$ ve öz kenarının eğim açısı ise (ψ_c) 'dir. Kesici kenarın merkezden itibaren simetrik bir kenarı daha mevcut olup bu kesici kenarların birleştiği (kesiştigi) yer matkabın özünü, uç kenarı oluşturmaktadır. Kesici kenarlar (h) kalınlığında talaşı keserek ve matkap ucunun üzerinde bulunan helisel kanallar ve kenarlar vasıtasıyla kesilen talaşı dışarıya atarak kesici takımın iş parçası malzemesi içine doğru hareket etmesini sağlar. Tork (dönme) kuvvetleri de kesme işlemi yapmasını ve aynı zamanda ilerlemesini sağlar ki bu kuvvetler delik delme işleminin mekaniğini hesaplamak için gereklidir. Delik delme işleminin mekaniğini incelemek için öz kenarının ve kesici kenarın bulunduğu bölgelerin analizinin yapılması gerekmektedir [2].

1.3. Kesici uç kenarı

Uç kenarı kesme işlemi yapmaz, sadece iş parçası malzemesinin delik delinecek kısmın merkezinde ezerek çentik açmak şeklinde bir operasyon gerçekleştirmektedir. Kesme (talaş kaldırma) yasalarının yerine çentik işleme mekaniği burada kullanılmaktadır. Sertleştirme testinde olduğu gibi işlem basit bir prosesten oluşuyorsa, uç kenarı üzerinde aktif olan itme kuvveti aşağıdaki gibi tanımlanabilir [2].

$$T_{zi} = A_{ch} \cdot H_B \dots\dots\dots(1.1)$$

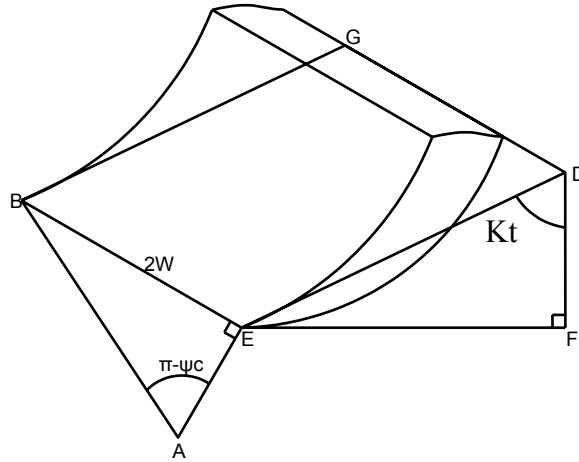
Burada H_B iş parçası malzemesinin Brinell Sertliği ve A_{ch} ise açılmış olan çentik bölgesinin alanıdır. A_{ch} uç uzunluğu ile dağılan talaşın kesici kenar ile temas bölgesinin uzunluğunun hesaplanmasıyla bulunabilir.

$$\frac{2w}{\sin(\pi - \psi_c)} = \text{uç uzunluğudur} \dots\dots\dots(1.2)$$

$$\frac{c}{2 \cos \gamma_t} = \text{temas uzunluğudur} \dots\dots\dots(1.3)$$

İki kesici kenarın talaş ile temas bölgesi oluştuğu için temas uzunluğu [Denklem 1.3] 2 ile çarpılmalıdır. Bunun sonucunda A_{ch} alanı aşağıdaki gibi olur.

$$A_{ch} = \frac{2wc}{\sin(\pi - \psi_c) \cos k_t} \dots\dots\dots(1.4)$$

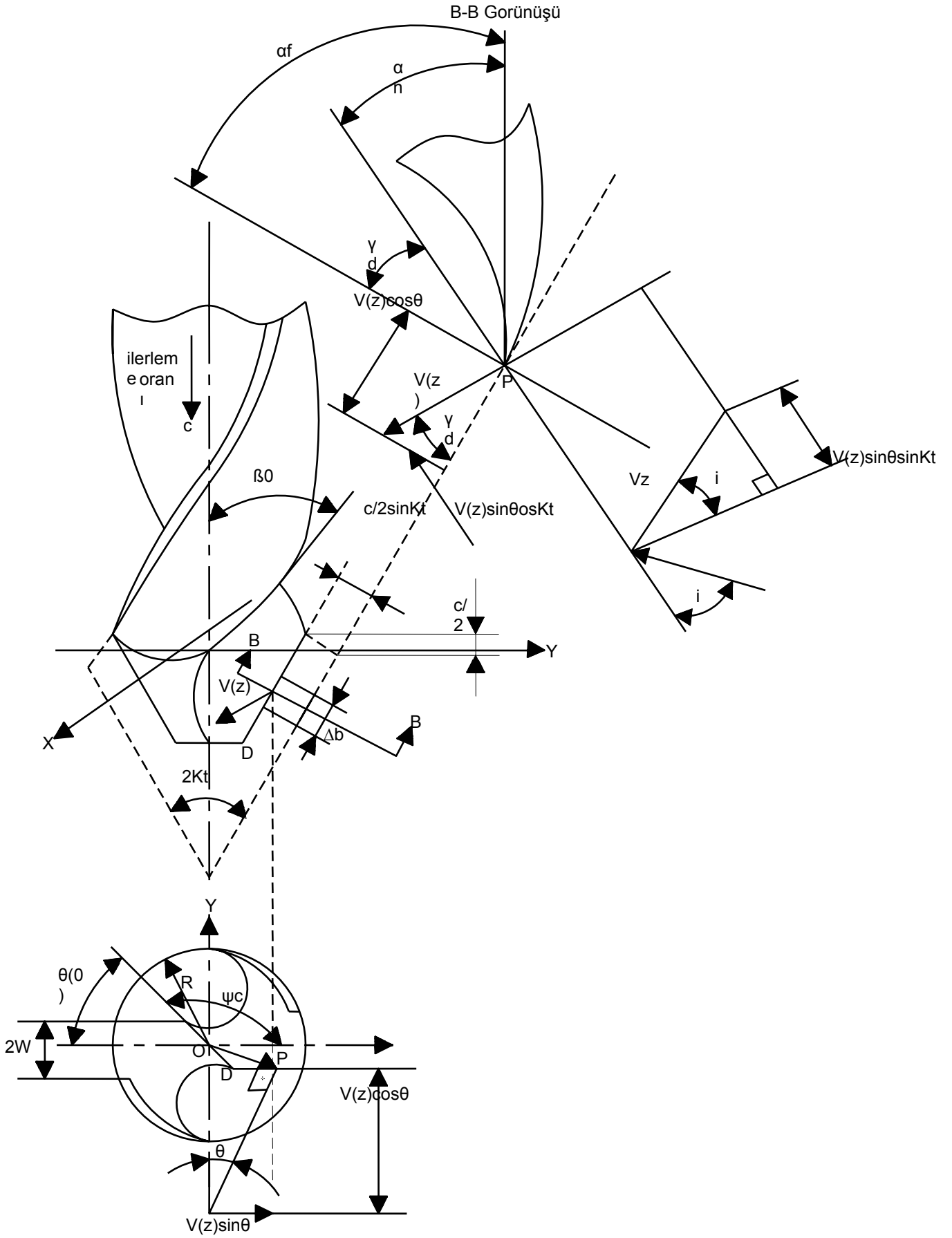


Şekil 1.2 . Denklem 1.4'ü ispatlamak için matkap ucunun bir kesici kenarının geometrik şeklidir [2]

Yaklaşık ve basit bir metotla hesaplanmış olan uç kuvveti doğru analizler için bir önem teşkil etmez. Uç kenarının geometrisi çentik açma mekaniği oldukça karışık olduğundan tanımlamak için ampirik faktörü hesaplandığı gibi deneylerin yapılması gerekir ve yapılan deneylerin kalibrasyonu yapılarak detaylı matematiksel modellerin geliştirilmesi gerekir. Son zamanlarda uç kenarının geometrisi, takım üreticileri tarafından minimum bir düzeyde matkap ucunun iş parçası malzemesinin yüzeyine daldırarak (çentik oluşturarak) açık bir şekilde geliştirmişlerdir. Bunun sonucunda pratik uygulamalarda uç kenarının kuvveti, kesme kuvvetinin % 10 – 15 olduğu tespit edilmiştir. Uç kenar genişliğinin (2w) olduğu müddetçe tork (dönme) kuvvetinin oldukça küçük bir değerde olduğu tespit edilmiştir [2].

1.4. Kesici ağız (kenar)

Matkap ucu kesici kenarının geometrisi oldukça karmaşıktır. Ortogonal kesme modeli ve oblik kesme modeli düzlemler arası transfer tekniği için helis açısı, talaş açısı ve kesici



Şekil 1.3 . Helisel matkap ucunun mekanik modeli [2]

kenar boyunca kesme işlemi yapan oblik kesme açısının tanımlanması gerekir. Çünkü simetrik olan iki kesici kenarın çakıştığı yerde belli bir genişlikte uç oluşmasına neden olmaktadır. Ayrıca matkap ucu çapının var olması, helis açısı, talaş açısı ve delik delme işlemi sırasında ki kesme işleminin açısı gibi değerler; uç kenarının olduğu (iki kesici kenarın çakıştığı) yerde bulunmaktadır [1,2].

Delik delme işleminin geometrik modeli Şekil 1.3'te gösterilmiştir [2]. Bu şekilde, delik delme işleminde oblik kesme modeli açıklanmıştır. Matkap ucunun eksen Z eksen (düşey eksen) üzerindedir. Kesici kenar X eksenine paralel bir şekilde matkap ucunun ekseninden itibaren simetrik bir yapıya sahiptir. Kesici kenarın normal eksen Y eksenine paraleldir. Kartezyen koordinat sisteminde matkap ucunun merkezi O ile gösterilmiştir.

Uç kenarı ile kesici kenarın kesiştiği bölge (helisin bitiş yeri) ki bu bölgede (düzlem XY düzlemidir.) $Z=0$ dır. Uç kenarın, matkap ucunun merkezinden itibaren olan uzunluğu (w)'dir ve uç kenarının eğim açısı ψ_c 'dir. Bu bilgiler detaylı olarak şekil(2.4)'te gösterilmiştir [2.b]. Matkap ucunun merkezi ile kesici kenar ve uç kenarının kesiştiği nokta arasındaki nokta aşağıdaki denklemde gösterilmiştir.

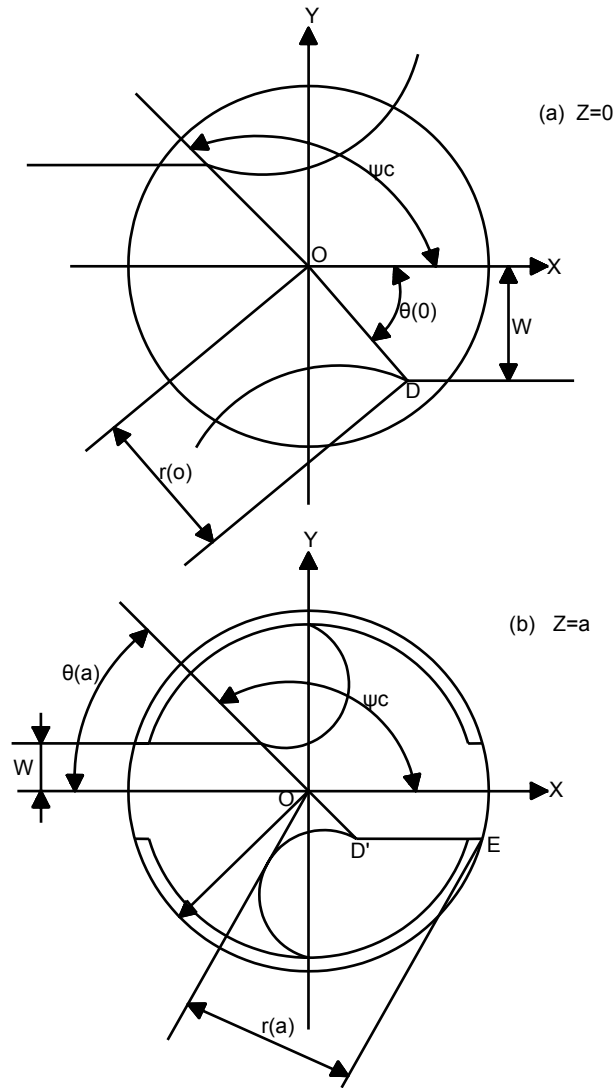
$$r(o) = \frac{w}{\sin(\pi - \psi_c)} \dots\dots\dots(1.5)$$

$r(o)$ değerinin, kartezyen koordinatları üzerindeki değerleri

$$\begin{aligned} X(o) &= r(o) \cos(\pi - \psi_c), \\ Y(0) &= w, \\ Z &= 0 \end{aligned} \quad \text{dır.}$$

Helis doğrultusu ile kesici kenar, $Z=a$ gibi ve yarıçapı R olduğu bir değerde kesişirler.

Kesici kenarın en dış kenarındaki noktası ile matkap ucunun merkezi arasındaki çevresel uzunluk $r(a)=R$, bu değer kartezyen koordinatlar üzerindeki değerlerinin denklemlerle gösterimi aşağıda gibidir.



Şekil 1.4. Helisel matkap ucunun kesici ucunun (kesici ağızların kesiştiği düzlem) ve arka kısmının (helisel kanal ve kesici ağızın bittiği yer) üstten görünüşü [3].

$$\begin{aligned}
 X(a) &= R \cos \theta_{(a)}, \theta(a) = \sin^{-1}(w/R), \\
 Y(a) &= w, \\
 z &= a,
 \end{aligned}
 \dots\dots\dots(1.6)$$

Burada R matkap ucunun yarıçapıdır. Kesici kenarın bütün uzunluğunun XY düzlemi üzerindeki izdüşümü Z=a için hesaplanırsa

$$D^1E = DE \sin K_t = b \sin K_t \dots\dots\dots(1.7)$$

Burada $b=DE$: İş parçası malzemesini kesen kenarın uzunluğudur. Kesici kenar boyunca helis açısının değişmesine rağmen ortalama (nominal) helis açısı (β_0) olup bu açı kesici ağzın matkap ucunun eksenini ile yaptığı açıdır.

$$\tan \beta_0 = \frac{2\pi R}{L_p} \dots\dots\dots(1.8)$$

Burada L_p kesici kenar üzerindeki herhangi bir noktanın, matkap ucunun eksenini etrafında bir tur attığı zaman matkap üzerindeki noktanın Z eksenini doğrultusunda (düşey konumda) aldığı yoldur.

Kesici kenar üzerindeki $P(X,Y,Z)$ noktası Şekil 1.2'de gösterilmiştir. Kesici kenarın (XY) düzlemi üzerine izdüşümü düşürüldükten sonra Z eksenini üzerinde Z' 'nin değeri

$$D^1P = Z \tan K_t \dots\dots\dots(1.9)$$

olur. Matkap ucunun eksenleri ile P noktası arasındaki çevresel uzunluk

$$r(z) = \sqrt{y(0)^2 + [x(0) + D^1P]^2} = \sqrt{w^2 + [w \cot(\pi - \psi_c) + Z \tan K_t]^2} \dots\dots\dots(1.10)$$

Kartezyen koordinatları ile gösterimi

$$\begin{aligned} X(z) &= r(z) \cos(\theta_{(z)}), \\ Y(z) &= r(z) \sin(\theta_{(z)}), \end{aligned} \dots\dots\dots(1.11)$$

P noktasındaki helis açısı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\beta(z) = \frac{2\pi r_{(z)}}{2P} \dots\dots\dots(1.12)$$

Helis açısı, $\beta_{(z)}$ 'nin değeri değiştikçe değişir. Kesme hızı (V), $r_{(z)}$ yarıçapına dik olup XY düzlemi üzerinde bileşeni vardır. Bu bileşenlerin geometrik bağıntıları Şekil 1.3'de gösterilmiştir. Ancak detaylı bir gösterim Şekil 1.5'te gösterilmiştir [3]. Bu şekil'e göre

$$\begin{aligned} V_{x(z)} &= V \cos \theta_{(z)}, \\ V_{y(z)} &= V \sin \theta_{(z)}, \end{aligned} \dots\dots\dots(1.13)$$

Kesme hızının kesici kenar üzerine izdüşümü (K_t) eğim açısı ile düşürülürse

$$V_t = V_y \sin K_t = V \sin \theta_{(z)} \sin K_t \dots\dots\dots(1.14)$$

Oblik kesme açısı (i) kesme hızı (V_t) ile kesme kenarın normali arasındaki açıdır. Buna göre [2];

$$\sin i = \frac{V_t}{V} = \sin \theta_{(z)} \sin K_t \dots\dots\dots(1.15)$$

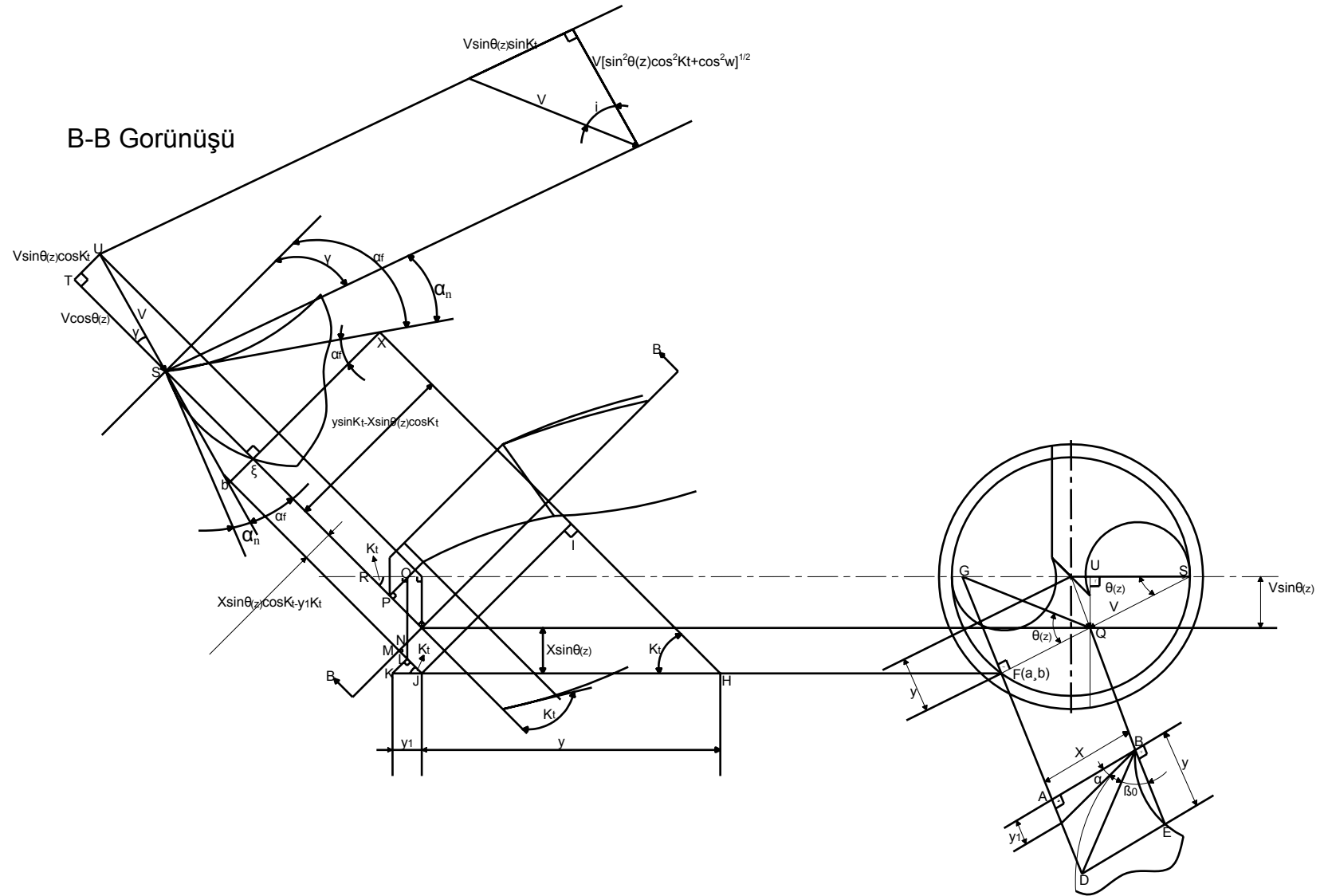
Şekil 1.5’de normal talaş açısı γ_n , boşluk açısı α ve kesme kenarı üzerindeki oblik kesme açısı (i) ile gösterilmiştir. Helis açısı ve nominal boşluk açısı (r) yarıçapına dik olan düzlemde gösterilmiştir. Q noktasındaki helis açısı (β_0) aşağıdaki gibi yazılabilir(BDE) üçgeninden

$$\tan(\beta_0) = \frac{2\pi r}{L} \dots\dots\dots(1.16)$$

Burada L matkap ucunun kesme işlemini yapmak için kendi eksenini etrafında bir tur döndüğünde, matkap ucunun z (düşey) eksen doğrultusunda gitmiş olduğu yoldur. Diğer bir tabirle matkap ucunun düşey eksenindeki adımıdır. Helis açısı, kesme kenarı boyunca değişik değerler alabilir. Ancak buna rağmen uç yarıçapın (r), matkap ucunun çapına (R) eşit olduğu durumda tanımlanmıştır.

Nominal boşluk açısı α , matkap ucunun kesici kenar üzerindeki noktası kesici kenar doğrultusunda olduğu zaman Galloway tarafından aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

$$\tan \alpha = [\sin \theta_{(z)} - \cos \theta_{(z)} \cot \phi_{(z)}] \cot K_t \dots\dots\dots(1.17)$$



ekil 1.5. Helisel matkap ucunun sahip olduğu değerler arasındaki geometrik bağlantı.[3]

Burada $\sin \theta_{(z)} = \frac{w}{r}$, $\phi_{(z)}$ ise uç eğim açısıdır. ($\phi_{(z)} = \pi - \psi_c$)'dir. $2K_t$ ise matkap ucunun uç açısıdır. $2w$ ise uç kenarının genişliğidir. Helis açısında olduğu gibi nominal boşluk açısı da (r) 'ye bağlı bir değerdir. Boşluk açısı çevresel uzunluk ve kesici kenar cinsinden tanımlanabilir. Q noktasındaki normal talaş açısı, kesici kenara dik olan düzlemde kesici takım hızı ile talaş yüzeyine teğet arasında ölçülmüştür.

$$\tan(\beta_0) = \frac{x}{y} \dots\dots\dots(1.18)$$

Etkili talaş açısı (γ_f) aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$\tan \gamma_f = \frac{x \cos \theta_{(z)}}{y \sin K_t - x \sin \theta_{(z)} \cos K_t} \dots\dots\dots(1.19)$$

Bu denklemde pay ve payda (y)'ye bölünürse etkili talaş açısı (γ_f) aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\tan \gamma_f = \frac{\tan \beta_{(0)} \cos \theta_{(z)}}{\sin K_t - \tan \beta_{(0)} \sin \theta_{(z)} \cos K_t} \dots\dots\dots(1.20)$$

normal talaş açısı γ_n

$$\gamma_n = \gamma_f - \gamma \dots\dots\dots(1.21)$$

ve

$$\tan \gamma = \frac{V \sin \theta_{(z)} \cos K_t}{V \cos \theta_{(z)}} \dots\dots\dots(1.22)$$

yazılabilir.

(2.20), (2.21) ve (2.22) denklemlerinin düzenlenmesi sonucunda

$$\tan \gamma_n = \frac{\tan(\beta_0)}{\sin K_t} [\cos \theta_{(z)} + \sin \theta_{(z)} \tan \theta_{(z)} \cos^2 K_t] \tan \theta_{(z)} \cos K_t \dots \dots \dots (1.23)$$

(1.20) denkleminde görülmektedir ki normal talaş açısının değeri, kesici kenar üzerindeki herhangi bir noktanın açısının değeri $[\theta_{(z)}]$ ve helis açısı (β_0) değiştiği zaman değişir. Herhangi bir matkap ucu için talaş açısı (γ_n) , kesici kenar boyunca değeri mevcut olup bu değer.

$$\theta_{(z)} = \sin^{-1} \frac{w}{r} \dots \dots \dots (1.24)$$

şeklinde olur.

Matkap ucunun yarıçapı boyunca varolan normal talaş açısı;

$$\tan \alpha = \frac{y_1}{x} \dots \dots \dots (1.25)$$

şeklinde olur. b ve Q noktalarının B görünüşü üzerine izdüşümleri indirilerek referans boşluk açısı

$$\tan \alpha_f = \frac{x \sin \theta_{(z)} \cos K_t - y_1 \sin K_t}{x \cos \theta_{(z)}} \dots \dots \dots (1.26)$$

şeklinde olur.(2.17) ve (2.25) denklemlerinden

$$\tan \alpha_f = \frac{\sin \theta_{(z)} \cos K_t - \tan \alpha \sin K_t}{\cos \theta_{(z)}} = \cot \phi \cos K_t \dots \dots \dots (1.27)$$

normal boşluk açısı

$$\alpha_n = \gamma - \alpha_f \dots \dots \dots (1.28)$$

Bu da (2.22) ve (2.28) denklemlerinden

$$\tan \alpha_n = \frac{\tan \theta_{(z)} \cos K_t - \cot \phi \cos K_t}{1 + \tan \theta_{(z)} \cot \phi \cos^2 K_t},$$

$$\tan \alpha_n = \frac{\tan \alpha \sin K_t}{\cos \theta_{(z)} + \tan \theta_{(z)} \cos K_t [\sin \theta_{(z)} \cos K_t - \tan \alpha \sin K_t]} \dots \dots \dots (1.29)$$

şeklinde olur. Oblik kesme işleminin eğim açısı (i) ki bu açı kesici kenarın normali ile talaşlı işleminin gerçeklediği yüzey üzerindeki durumda (i) açısı gerçek görünüş olan (V) kesme hızının meydana geldiği Şekil 1.5'in C görünüşündeki üçgeninden geometrik denklemi

$$\sin i = \frac{V \sin \theta_{(z)} \sin K_t}{V} = \sin \theta_{(z)} \sin K_t \dots \dots \dots (1.30)$$

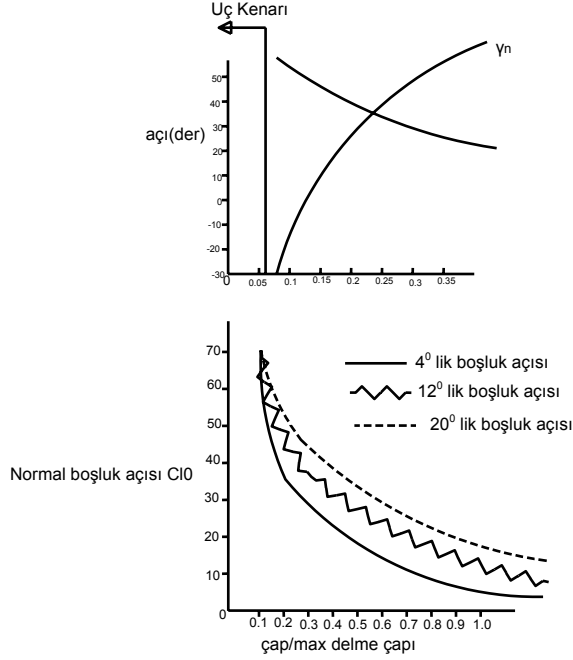
şeklinde olur. Yukarıda yazılan bütün geometrik denklemlere rağmen ilerleme hızının değeri hesaplanmamıştır. Genel olarak bu mantığa uygun bir yaklaşımdır.

Yukarıdaki geometrik bağıntılardan görülmektedir ki temel parametreler olan (γ_n) ve (i) açıları kesici kenar için kesin bir şekilde tanımlanmışlardır. Delik delme işleminin mekaniği, uç kenarının geometrisi ile oldukça karmaşıktır.

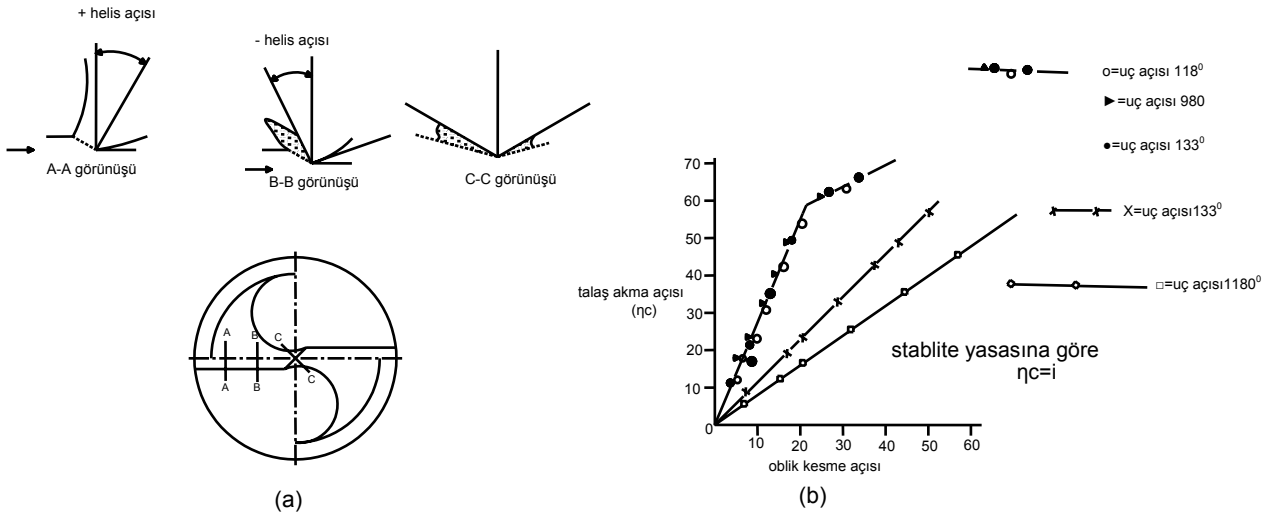
Oxford Üniversitesi'nin delik delme işlemindeki talaş oluşumu ile ilgili rasgele yapılan çalışmalarda kesme işleminin en dıştaki yarıçapta meydana geldiği ve uç kenarının kesme yapmadığı ve sadece iş parçası malzemesini ezerek etrafına püskürttüğünü açıklanmıştır. Delik delme işleminde şematik olarak oluşan talaş biçimi Şekil 1.6'de gösterilmiştir. Bu şekle göre akış açısı $\eta = f(i)$ dir. Fakat Stabler'in Şekil 1.7'de gösterilmiş olan talaş akış yasası uygulanmaya konulmamıştır [3].

1931'den önce matkap uçlarında sabit talaş açısı için kesici kenarları kavisli yapılırdı. Bu kavisler tahmini olarak rasgele verilir. Delik delme işleminde uygulanan bu metot delik delme işleminde geometrik denklemleri yazmak için zorluklar oluşturmaktaydı. yapılan bir çok başarılı uygulamalar, uç kenarının kavisli hale getirilmesinin

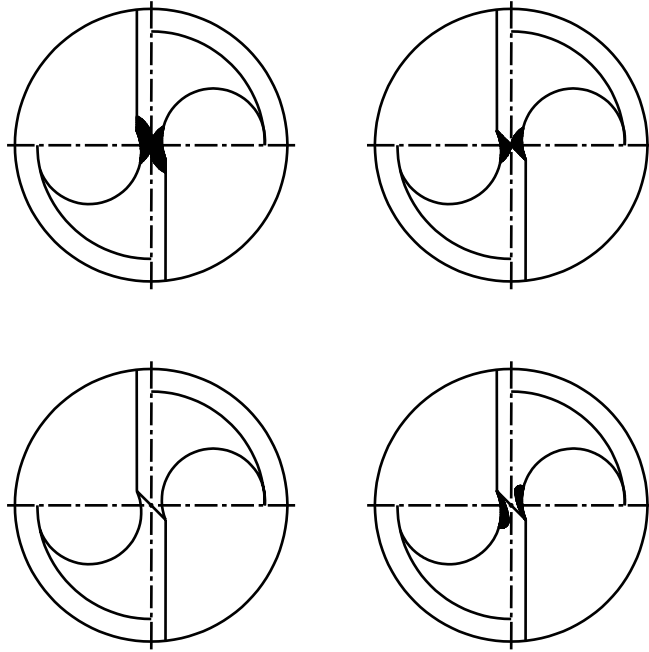
oluşturduğu olumsuz etkiler ortadan kaldırılarak yapılmıştır. Uç kenarının kavisi ile ilgili bir çok değişik biçimler Şekil 1.8’de gösterilmiştir [3].



Şekil 1.6. Kesici kenar boyunca matkap ucunun açısı değerleri.[3]



Şekil 1.7. Delik delme prosesinde oluşumu ve talaş akışı ile oblik kesme açısının değerleri [3].



Şekil 1.8 . Matkap ucunun değiştirilmiş bir kaç görünüşü [3].

Genel olarak delik delme işleminde etkili olan bazı parametrelerin sayısal değerleri aşağıdaki gibidir.

Helis açısı: 28° - 32°

Kama açısı: 118°

Nominal boşluk açısı: 8° - 12°

Helis açısının değeri değişmemesine rağmen pratik uygulamalarda, sert metallere delik delme işleminde nominal boşluk açısı azaltılır ve kama açısı arttırılır. Daha yumuşak malzemelere delik delme işleminde ise bu işlemin tersi uygulanır. Yani kama açısı azaltılır ve boşluk açısının değeri arttırılır [3].

1.5. Delik delme işleminde kesme kuvvetleri ve kesme gücü

Matkap ucu ile delik delme işleminin geometrik yapısı karmaşık olmasına rağmen kesici kenar boyunca oluşan kesme kuvvetleri hesaplanabilir. Eğer matkap ucunun kesici

kenarı d_z ve Δ_b gibi küçük değerlerdeki genişlik ve yükseklikte iş parçasından ayrılan talaş büyüklüğü ele alınırsa bu talaş parçasının genişlik ve yükseklik ölçülerine göre alanı

$$dA_{(z)} = \Delta b h \dots\dots\dots(1.31)$$

burada kalınlığı (h) ve genişliği Δ_b talaş matkap ucunun iki kesici ağzı tarafından talaş kesilir. Burada

$$\Delta b = \frac{d_z}{\cos K_t} \dots\dots\dots(1.32)$$

Bu denklemde talaş kalınlığı (h) yazıldığı üçgünden yazılabilir. Talaş akışı ve radyal yönde etkili olan teğetsel kesme kuvvetler (kesme hızına paralel olan kuvvetler) aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\begin{aligned} dF_{t(z)} &= kt_{c(z)} dA + kt_e \Delta b_1, \\ dF_{f(z)} &= kf_{c(z)} dA + kf_e \Delta b_1, \dots\dots\dots(1.33) \\ dF_{r(z)} &= kr_{c(z)} dA + kr_e \Delta b_1, \end{aligned}$$

Bu değerler: Doğrultusunda değişik değerler olan helis açısı, normal talaş açısı ve oblik açılar için kesme katsayılarıdır. Kenar katsayıları kt_e , kf_e ve kr_e değerleri deneysel olarak hesaplanmıştır. Kesme kuvvetinin bileşenlerinin değerleri (dF_t , dF_f ve dF_r) olan kuvvetlerin (X,Y,Z) koordinat eksenleri üzerindeki değeri aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\begin{aligned} dF_{x(z)} &= [dF_f \sin \gamma - dF_t \cos \theta - dF_r \sin i], \\ dF_{y(z)} &= [dF_r (\sin \gamma \sin i \cos K_t) - dF_f \cos \gamma \cos K_t - dF_t \sin \theta], \dots\dots\dots(1.34) \\ dF_{z(z)} &= [dF_f \cos \gamma \sin K_t - dF_r (\cos i \cos K_t + \sin i \sin \gamma \sin K_t)], \end{aligned}$$

Kesici kenar üzerinde meydana gelen toplam itme ve tork kuvvetlerinin elemanları

$$M = \frac{b}{\Delta b} = \frac{b \cos K_t}{d_z} \text{ şeklinde hesaplanabilir. Matkap ucunun her iki kesici kenarı tarafından}$$

uygulanan toplam itme kuvveti ve oluşan tork kuvveti aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$itmekuvvti = 2 \sum_{m=1}^m dFz_{(z)}, \dots\dots\dots(1.35)$$

$$Torkkuvveti = 2 \sum_{m=1}^m dFt_{(z)} \cdot r_{(z)},$$

Kesici kenar üzerinde oluşan toplam itme kuvveti uç kenarın ve kesici kenar kuvvetinin toplamından oluşmaktadır. Uç kenarı tarafından oluşan tork kuvveti engellenebilir.

Delik delme işleminde uç kenarının mevcut olmasından dolayı oblik kesme işleminin geometrisi oldukça karmaşıktır. Araştırmacılar ve okuyucular genellikle bu konuda Armarego tarafından yapılan çalışmalardan yararlanmaktadır. Helisel matkap uçları ile yapılan delik delme işleminde kesici kenar boyunca oluşan helis açısı, talaş açısı ve boşluk açıları gibi uç kenarı ve kesici kenar geometrisinin modeli doğru bir şekilde tanımlanması gereklidir. Çünkü bu parametreler kesme mekaniğinde; titreşim ve takım aşınması için etkilidirler [2].

Matkap ucu ile talaş kaldırma işleminde kesme hareketi, matkabın dönme hareketine bağlı olarak

$$V = \pi dn / 1000(m / dak) \dots\dots\dots(1.36)$$

şeklinde yazılabilir. Burada (d) matkabın çapı (mm), (n) dönme hızı (dev/dak)'dır. Kesme işleminde kesici ağzın çapına bağlı olarak keme hızı ağız boyunca değişecektir. Matkap ucunun en dış kenarında kesme hızı maksimum değere ulaşırken merkezinde ise sıfırdır. Kesme hızı değişken olmasına rağmen uygulamalarda (d) çapına karşılık gelen kesme hızı kabul edilir.

Kesme hızları deneysel çalışmalar sonucunda hazırlanmış olan malzemenin özelliğine göre kesme hızının değerini veren cetvellerden ve istenen teknik ve ekonomik özelliklere göre tayin edilebilir. Denklem (1.36)'dan

$$n = 1000V / \pi d \dots\dots\dots(1.37)$$

denklemi elde edilir. Matkap ucunun dönme hızı denklem (2.37) ile hesaplanarak matkap tezgahı fener milinin dönme hızı (d/dak) cinsinden bulunan değere en yakın bir değere

ayarlanır. Delik delme işleminde meydana gelen kesme kuvveti (F_t), ilerleme kuvveti (F_f) ve radyal kuvvet (F_r) ile gösterilirse delik delme işleminde sadece (F_t) ve (F_f) kuvvetleri etkili olmaktadır. Bir kesici ağza karşılık gelen kesme kuvveti

$$F_t = A_{ch} k_t \dots\dots\dots(1.38)$$

Burada k_t özgül kesme kuvveti olup

$$k_t = 1.2k_{t11}h^{-z} \quad \text{veya}$$

$$k_{th} = k_{t11}h^{-1} \text{ değeri ile} \dots\dots\dots(1.39)$$

$$k_t = 1.2k_{th}$$

k_{t11} ve k_{th} değerleri deneysel çalışmalar sonucunda hazırlanan cetvellerden alınabilir. Çarpan olarak belirlenen 1.2 ise matkapla talaş kaldırma işleminin özelliklerini yansıtan düzeltme faktörüdür.

$$F_t = 2Ft_z = \frac{dc}{2} k_s \dots\dots\dots(1.40)$$

şeklinde olur. Kesme kuvvetine bağlı olarak matkap ucunun bir kesici ağzına tekabül eden kesme momenti

$$Mt_z = Ft_z \frac{d}{4} \dots\dots\dots(1.41)$$

ve iki ağza gelen toplam kesme momenti

$$F_t = 2Ft_z$$

olursa

$$Mt = 2Ft_z \frac{d}{4} = Ft \frac{d}{4} \dots\dots\dots(1.42)$$

şeklinde olur. Denklem 1.40 ve 1.42 ortak çözümlerse

$$Mt = \frac{d^2 ck_s}{8.10^3} [N.m] \dots\dots\dots(1.43)$$

Burada d (mm), c(mm/dev), k_s (N/mm²) ve Mt(Nm) olarak bulunur.

Toplam ilerleme kuvveti (Ff)

$$Ff = 2Ff_{(z)} + Fr = Ff + Fr \dots\dots\dots(1.44)$$

olur. Yapılan deneylere göre aksenal kuvvetin % 40'ı (Ff) ilerleme kuvveti, %57'si (Fr) radyal kuvvet ve geri kalan %3 de sürtünme kuvvetidir.

Eksenal kuvvet özellikle ilerlemeyi sağlayan elemanları, yatakları ve rulmanları zorlamaktadırlar. Tezgahın konstrüksiyonu yapılırken bu elemanlar belirli bir aksenal kuvvet değerine (Ff_{rmax}) göre hesaplanır. Çalışma sırasında güvenlik açısından

$$Ff_r < Ff_{rmax} \dots\dots\dots(1.45)$$

olması istenir. Delik delme işlemi sırasında harcanan güç, kesme ve ilerleme için gereken güçtür. Kesme gücü, açılmal hız

$$w = \frac{\pi n}{30} \text{ olmak üzere}$$

$$Pt = M_t w = \frac{\pi}{30} M_t n = \frac{M_t n}{9550} (kw) \dots\dots\dots(1.46)$$

şeklinde yazılabilir.

İlerleme gücü

$$P_f = F_f u = \frac{F_f c n}{60.1000.1000} (kw) \dots\dots\dots(1.47)$$

Burada (u) ilerleme hızıdır, M_t (Nm), F_f (N), n (dev/dak) dir. F_f (daN) ve M_t (daN.m) olarak ifade edilirse

$$P_t = \frac{M_t n}{955} (kw) \dots\dots\dots(1.48)$$

$$P_f = \frac{F_f c n}{60.1000.1000} (kw)$$

şeklinde olur.

Toplam güç

$$P_{top} = P_t + P_f \dots\dots\dots(1.49)$$

şeklinde olur. Bu konuda yapılan araştırmalara göre ilerleme gücü toplam gücün %0.5 ile %1.5'u arasındadır. Pratik olarak bu gücün değeri ihmal edilebilir.

Tezgah gücü M_t (Nm) olmak üzere

$$P_m = \frac{P_t}{\eta_m} = \frac{M_t n}{9550\eta_m} (kw) \dots\dots\dots(1.50)$$

Burada (η_m) tezgahın verimidir. (1.43) denklemini dikkate alınırsa

$$P_m = \frac{d^2 c k_s n}{8.10^3.9550\eta_m} = \frac{d^2 c k_s n}{764.10^5 \eta_m} \dots\dots\dots(1.51)$$

şeklinde yazılabilir.

BÖLÜM 2

METAL MATRIKSLİ KOMPOZİT MALZEMELER

2.1. Giriş

1970’li yılların sonlarından itibaren malzeme teknolojisindeki hızlı gelişmeler, mühendislik uygulamalarında, değişik özelliklere sahip malzemeler yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır [4]. Günümüzde imalat proseslerinde, imalat teknolojisi ve mühendislik kadar ekonomiklik de önemli bir faktördür. Bu nedenle kullanılacak hammaddenin de ekonomik olmasına dikkat edilmesi gerekir. Bu durumda karşımıza kompozit malzemeler çıkmaktadır [5]. Mühendislikte kullanılan malzemeler genellikle metaller, seramikler ve organiklerdir. Bu üç grubun üstün ve zayıf yönleri vardır. Tüm özelliklerinin belirli bir seviyenin üstünde olduğu ve seçilmesi işleminde yanlış yapma riski en az olan malzemeler metallerdir. Plastik ve seramik malzemeler de çok cazip olan bazı özelliklerinden dolayı mühendislik alanında artan bir kullanıma sahiptir. Bu üç grubun yanında, aynı yada farklı gruplardan iki yada daha fazla malzemenin uygun olan özelliklerini tek malzemedeki toplamak veya yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesi ile elde edilen, kompozit malzemeler olan adlandırılan malzemeler de mevcuttur. Atomal veya molekül düzeyde birleştirilen malzemeler, makroskopik olarak homojen olduklarından kompozit malzeme olarak sınıflandırılmazlar (Tablo 2.1) [6].

Tablo 2.1. Metal, seramik ve plastik malzemelerin bazı özelliklerinin karşılaştırılması [6]

Malzeme Grubu	Yoğunluk	Dayanım	Tokluk	Isıl Kararlık	Biçimlendirme	Birleştirme
Metaller	Yüksek	Orta	İyi	Orta	Orta	Orta
Seramikler	Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek	Kötü	Kötü
Plastikler	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	İyi	İyi

Kompozit malzemelerin oluşturulmasında aşağıda örnek olarak verilen değişik özelliklerden biri yada bir kaçının bir araya getirilmesi amaçlanır. Bu özellikler; çekme dayanımı, rijitlik, kırılma tokluğu, yüksek sıcaklıktaki özellikler, elektrik iletkenliği, ağırlık, estetik görünüm, yorulma dayanımı, aşınma dayanımı, korozyona dayanıklılık, ısıl iletkenlik, akustik iletkenlik ve ekonomikliktir. İnsanoğlu binlerce yıldardan beri kullandığı birçok

malzeme kompozit malzemedir. Örneğin, balçık içine saman karıştırılarak elde edilen kerpiç bir kompozit malzemedir. Ağaç dalları ve kemiklerin yapısı, kompozit malzemelere birer örnektir. Kompozit malzemelerin bilinçli olarak ele alınması ve bilimsel yaklaşımlarla incelenmesi 1940'lı yıllarda cam takviyeli plastiklerin kullanımı ile başlamıştır. Önemli ilk uygulamalara örnek olarak radar kubbeleri, tekne gövdeleri, elyaf takviyeli borular gösterilebilir [6].

Günümüzde kompozit malzemeler, havacılık ve uzay endüstrileri yanında kara ve deniz taşımacılığı, çeşitli spor malzemeleri (yüksek atlama sırtıkları, bisiklet, tenis, sörf, yat ve yarış tekneleri v.s.), tıp gereçleri, robot yapımı (eylemsizlikleri az ve rijit olduklarından), kimya sanayi (korozyona dayanıklı olduklarından), elektroteknik ve müzik aletleri yapımı gibi birçok uygulama sahası bulmuş durumdadır.

Kompozit malzemeleri oluşturma seçenekleri sonsuzdur; dolayısıyla bunların sınıflandırılması oldukça zordur. Sınıflandırma değişik açılardan yapılabilir, örneğin yapısal özelliklere göre yapılan bir sınıflandırma;

- a) Elyaf Kompozit malzemeler (CTP)
- b) Parçacıklı Kompozit malzemeler (beton)
- c) Tabakalı Kompozit malzemeler (formika)

Bir diğer sınıflandırma ise matriks türüne göre yapılmaktadır. Buna göre;

- a) Plastik matriksli kompozit malzemeler
- b) Metal matriksli kompozitler
- c) Seramik matriksli kompozitler

Kompozit malzemeler, birbiri ile karışmayan iki yada daha fazla malzemenin bir yada daha fazla takviye elemanı kullanılarak yeni özelliklere sahip elde edilen malzemelerdir. Elde edilen kompozit malzeme, karıştırılan malzemelerin tüm özelliklerinin yanında takviye elemanlarının yardımıyla yeni özellikler de kazanmaktadırlar. Kompozit malzemelerin kullanılacağı alana göre seçilen takviye elemanı çok çeşitlidir ve matriks, fiber partikül, pul veya tabaka şeklindedir.

Kompozit malzemeler; yüksek mekanik dayanımı, tokluk, ısıl iletkenlik, aşınmaya karşı dirençli, kırılma dayanımı ve boyutsal özelliklerin korunması gibi çeşitli mühendislik özellikleri diğer malzemelerden daha iyi olan malzemelerdir [5-7].

Metal matriksli kompozit (MMK) malzemelerin geliştirilerek kullanılması, malzeme bilim alanında son yıllarda gerçekleştirilen en büyük buluşlardan biridir. Başlangıçta sürekli elyaf takviyeli MMK'lar üzerinde yoğun çalışmalar yapılmıştır. Ancak bu elyafların üretim güçlükleri ve yüksek maliyetlerinden dolayı süreksiz elyaf ve parçacık takviyeli MMK malzemeler üretilmiştir.

MMK malzemeler plastik matriksli malzemelere göre daha yüksek dayanım ve rijitliğe sahip olup yöne bağımlılıkları daha az ve yüksek sıcaklık dayanımları daha iyidir. MMK malzemeler, süneklik ve tokluk ile seramiğe özgü yüksek dayanım ve elastiklik modülü gibi özellikler birleşirler. Ayrıca bu malzemelerin plastik matriksli malzemeler ile karşılaştırılmayacak kadar yüksek ısıl kararlılıkları vardır. Matriksin ergime sıcaklığı, matriks ve elyafın reaksiyona girip girmemesi ile ilgilidir. MMK malzemeler, dayanım/ağırlık oranı en düşük olan malzemelerdir. Matriks olarak tüm metaller kullanılabilir. Ancak uygulamalarda genellikle alüminyum, magnezyum ve titanyum gibi hafif metaller tercih edilmektedir. Kullanılan takviye elemanları; sürekli veya kırılmış elyaf, kılcak kristaller (whisker), pul veya parçacık biçiminde olabilir. Takviye elemanları olarak; metaller(bor), karbürler (SiC, B₄C), nitrürler (Si₃N₄, AlN), oksitler (Al₂O₃, SiO₂) ile bazı elementler (C) kullanılabilir [6].

Al kübik yüzey merkezli, kristal kafes yapısına sahip olup çok küçük oranlarda alaşım elementi alabilir. Alaşım elementinin artması durumunda alüminyum atomlarından ve alaşım elementlerinin çözünmeyen kısımlarında sert ve kırılğan kristal çeşitleri oluşur. Bu oran şekillendirilmek istenen döküm malzemeler için %3 – 8 oranındadır. Ancak Al – Si alaşımı istisnai bir durum oluşturur ve % 11,7' de ötektik noktaya sahip olur [8].

SiC (silisyum karbür), elmasa benzer bir yapıya sahiptir. Düşük yoğunluk, yüksek rijitlik ve dayanımı yanında, ısıl kararlılığı da çok iyidir. Paracık halinde kolaylıkla büyük miktarlarda ve ucuz olarak elde edilebilir. Elyaf olarak edilmesi daha zordur. İnce karbon veya volfram elyaf üzerine kimyasal buhar çökeltme yöntemiyle, 100 – 150 µm çapında sürekli elyaf olarak elde edilebilir. Ayrıca çoğu kez bir yüzey kaplanması da uygulanır. Bunun dışında polikarbosilan elyaftan başlayarak karbon elyafa benzer şekilde, birçok

kimyasal ve ısıl işlemler uygulanarak 15 µm çapında SiC elyaf üretilmektedir. Bunun yanında araştırma amacıyla kılcal kristaller de kullanılmaktadır [6].

Kompozit malzemelerin kullanım uygulamalarının artması, bu malzemelerin şekillendirilmesi konusunu da beraberinde getirmiştir. Malzemelerin şekillendirilmesi içerisinde talaşlı işleme operasyonu yaklaşık olarak %70'lik bir paya sahiptir. Bu nedenle kompozit malzemelerin talaşlı işlenebilirlikleri gündeme gelmektedir. Metal matriksli malzemelerin mühendislik alanında kullanılmasında birçok problem ile karşılaşmaktadır. Bu problemlerden biri de metal matriksli malzemelerin talaşlı işlenmesi sırasında kesici takımında meydana gelen aşırı aşınma ve hasardır [9].

Bu çalışmada SiC partikül takviyeli Al matriksli kompozit malzemelerin delinmesi konusu hakkında araştırma yapılmıştır. Bu çalışmada günümüze kadar bu konuda yapılmış olan çalışmalar detaylı olarak değerlendirilerek bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Yapılan çalışmalarda kesici takım malzemesinin önemli olduğu ve uygun kesme sıvısının kullanımı ile kesici takım performansı (daha uzun kesici takım ömrü ve daha iyi yüzey kalitesi olarak) arttırabilir. Bu çalışmalarda seçilen ilerleme oranı değerlerinin ve kesme hızı değerlerinin, seçilecek işleme parametrelerini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlara dayanarak optimum delme işlemi parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Daha uzun kesici takım ömrü ve daha iyi yüzey pürüzlülüğü değerlerinin elde edilebilmesi için öneriler ortaya konmuştur.

2.2. Metal matriksli kompozitler (MMK)

Kompozit, metal, seramik, organik gibi malzemelerden aynı yada farklı gruptaki malzemelerden birden fazla malzemenin bir araya getirilerek, homojen olmayan bir şekilde karışımıdır [6]. Diğer bir ifade ile genel olarak karışmayan iki veya daha fazla katı malzemenin makroskopik olarak karışımlarına verilen addır. Malzemelerin karışmaz olmaları malzeme içerisinde fazlar arası büyük miktarlarda ara yüzey oluşmasına neden olur.

Kompozitlerde sürekli olan faza matriks adı verilir. Kesintili (parçalı) veya elyaf (fiber) şeklindeki fazlar ise matrikslerde ayrı bölgeler olarak malzemeler içerisinde yer alırlar. İki malzeme orijinal malzemelerle elde edilmeyen bir özellik kombinasyonu elde etmek için birleştirildiğinde kompozitler elde edilir. Optimum özellikler elde etmek için bir malzemenin

diğer malzeme içerisine kontrollü bir şekilde dağıtılması ile ayrı malzeme karıştırılarak kompozit (Kompozit) bir malzeme oluşturulur. Kompozit malzemelerin elde edilmesindeki amaç, farklı malzemelerin değişken olan özelliklerinin optimum düzeyde , hatta kompozitin daha üstün özelliklere sahip olmasını sağlamak amacıyla bir malzeme (kompozit) üzerinde bir araya getirilmesidir [10].

Kompozit malzemeler aşağıda verilen özelliklere sahip olmalıdırlar.

- a) İnsan yapısı olması, dolayısıyla doğal bir malzeme olamaması gerekir.
- b) Kimyasal bileşimleri birbirinden farklı ve belirli bir ara yüzeylerle ayrılmış, en az iki malzemenin bir araya getirilmiş olması gerekir.
- c) Farklı malzemelerin 3 boyutlu olarak bir araya getirilmiş olması gerekir. Diğer bir ifade ile atomsal veya molekül değil de partiküller şeklinde bir araya getirilmiş olmaları gerekir.

Kompozit malzemeler genellikle aşağıdaki özelliklerine göre elde edilmesi amacıyla üretilirler;

- a) Mekanik dayanım, basınç, çekme, eğilme, çarpma dayanımı.
- b) Yorulma dayanımı aşınma direnci, korozyon direnci.
- c) Kırılma tokluğu.
- d) Yüksek sıcaklığa dayanıklılık, ısı iletkenliği ve ısı direnç.
- e) Elektrik iletkenliği ve elektriksel direnç.
- f) Akustik iletkenlik, ses tutuculuğu veya ses yutuculuğu.
- g) Rijitlik, ağırlık, görünüm ve benzeri şekilde sıralanabilir [11].

Kompozit malzemeleri elde etme şekillerine göre sınıflandırmak oldukça zordur. Bu nedenle kompozit malzemeler matriks elemanlarına ve takviye elemanlarına göre sınıflandırılmıştır. Ayrıca takviye elemanının elde edilme şekline göre de sınıflandırabilirler.

Matriks elemanlarına göre kompozit malzemeler

- a) Plastik matriksli malzemeler
- b) Metal matriksli malzemeler
- c) Seramik matriksli malzemeler
- d) Karbon / grafit matriksli malzemeler

Takviye elemanlarına göre kompozit malzemeler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilirler;

- a) Fiber takviyeli (elyafı) kompozit malzemeler
- b) Parçacıklı kompozit malzemeler
 - 1) Dağılımla (dispersiyonla) mukavetlendirilmiş
 - 2) Partikül takviyeli kompozit malzemeler
- c) Tabakalı kompozit malzemeler

Takviye elemanının elde ediliş biçimine göre sınıflandırma

- a) Elyaf takviyeli kompozit malzemeler (ETKM): Burada matriks kuvvetleri elyafa iletilir.
- b) Küçük parçalarla dayanımı artırılmış malzemeler: bu parçacıklar (0.01 – 0.1 μm) metal malzemede dislokasyonların hareketini engelleyerek dayanımı arttırmaları.
- c) İri parçacık takviyeli kompozit malzemeler: yükü matriks ve takviye elemanı birlikte taşırlar.

2.2.1. MMK Malzemelerin Kompozitler İçerisindeki Önemi

MMK malzemeler plastik kompozit malzemeler kadar kullanılmamasına rağmen değişik olumlu özelliklerinden dolayı günümüzde mühendislik alanındaki kullanımları oldukça yaygındır. MMK malzemeler plastik kompozit malzemelere oranla dayanım ve rijitlik özellikleri karşılaştırma yapılamayacak oranda yüksektir. MMK kompozit malzemelerde yöne bağıllık daha az ve yüksek sıcaklık dayanımları plastiktik kompozit malzemelere oranla daha iyidir. MMK malzemeler metallere ait özellikleri (süneklik ve tokluk), seramiğe özgü özellikleri (yüksek dayanım ve elastiklik modülü) ile birleştirmektedir. MMK malzemelerin sıcaklık dayanımları plastik kompozit malzemelerin ısı kararlılıkları ile karşılaştırılmayacak oranda yüksektir. MMK malzemelerin ergime sıcaklıkları matrisin ergime sıcaklığı, matris ve elyafın reaksiyona girip girmemesi ile ilgilidir. MMK malzemelerin özgül ağırlıkları oldukça düşüktür.

MMK malzemeler elde edilirken matriks malzemesi olarak bütün metal malzemeler kullanılabilirler fakat özgül ağırlıklarının düşük olan Al, Mg ve Ti gibi metaller genellikle

matriks elemanı olarak kullanılmaktadırlar. Çünkü MMK malzemeler genellikle uzay ve havacılık sanayinde kullanıldığı için bu malzemelerin hafif olması tercih edilmektedir.

Kullanılan takviye malzemeleri, sürekli veya kırılmış elyaf, kılcal kristaller (whisker), pul veya parçacık şeklinde olabilirler. Takviye elemanları olarak: metaller (bor), karbürler(SiC, B₄C), nitrürler (Si₃CN₄, AlN), oksitler (Al₂O₃, SiO₂) ile bazı elementler kullanılmaktadırlar. Bunların arasında en fazla kullanılanları, bor elyaf, grafit elyaf, SiC ve Al₂O₃ takviyeleridir.

MMK malzemelerden istenen özellikler; yüksek dayanım, yüksek rijitlik, ısı iletkenlik, ısı genleşme özellikleridir. Üretim yöntemlerine göre MMK malzemelerden istene özellikler ise; üretim yöntemine uygun olması, matrisin sıvı veya katı halde olması, üretim yönteminin gerçekleştirildiği sıcaklık, matris ile ara yer reaksiyonları ve ekonomiklik en önemlileridir [6,7,12-14].

MMK malzemeleri elde edilirken kullanılan takviye elemanları büyük bir öneme sahiptirler. Bu nedenle MMK malzemelerin elde edilme proseslerinde kullanılan takviye elemanlarının özelliklerinin bilinmesi gerekir.

Partikül takviyeli MMK malzemeler; yüksek elastik modül ve mukavemet, yüksek aşınma direnci, üretimin diğer takviye türlerine göre kolay, çok çeşitli ve düşük maliyetli olarak yapılması sonucu bu konuda yapılan çalışmaları önemli hale getirmiştir.

Metal matriksinin kullanılan takviye elemanına uygun olmalıdır. Matriks elemanı olarak: Alüminyum, bakır, magnezyum, titanyum gibi değişik malzemeler saf olarak kullanılabildiği gibi alaşımlarıyla birlikte de kullanılabilir. Takviye elemanının matriks elemanını yeterli miktarda ıslatması gerekir. Takviye elemanı ile matriks elemanı arasında oluşan ara yüzeyin mekanik özellikleri açısından matriks elemanı ve takviye elemanının uygunluğuna dikkat edilmelidir. Ara yüzeyde ıslatma etkisinin meydana gelmesi için ara bağ mukavemetinin sıvının yüzey gerilmesine galip gelmesi gerekmektedir. Ara yüzey bölgesinde ıslatma etkisini etkileyen en önemli faktör partikül dağılımıdır. Ara yüzeyde partikül dağılımının homojen olması için partikül boyutunun, sıvının viskozitesinin ve katılma hızının yüksek olması gerekir.

Düşük yoğunluk ve iyi süneklik davranışının yanı sıra takviye elemanları ile güçlendirilmesi sonucunda, rijitlik, dayanım, yorulma ve aşınma direncindeki artışlar alüminyum matriksli kompozit malzemelerin kullanımını cazip hale getirmiştir.

En az iki bileşenden oluşan metal matriksli kompozit malzemelerde genelde matriks metaldir, fakat saf metal çok nadir olarak matriks elemanı olarak kullanılır. Metal matriks kompozit malzemelerde kullanılan matriks (metal) elemanı genellikle bir alaşımdır. İkinci bir bileşen ise takviye elemanıdır [15].

Metal matriks malzemelerin yüksek ergime sıcaklıkları nedeniyle, polimer sistemlerine göre çok daha yüksek üretim ve şekil verme yöntemlerinin kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu nedenle metal matriksli kompozit malzemelerin üretiminde takviye elemanları olan grafit, bor, silisyum karbür, alümina gibi refrakter karakterli, yüksek mekanik özelliklere sahip olan takviyeler kullanılır [15-21].

Metal matriksli kompozit malzemelerin dayanımı, elastik modülü, tokluk ve darbe dayanımı, sertlik ve aşınma direnci, ısı dayanımı gibi, mekanik ve fiziksel özelliklerinin istenilen düzeyde olması metal matrikslerin özellikleri ile ilgili olduğu kadar takviye elemanının yapısına, dağılımına, boyutlarına ve karışım oranlarına da bağlıdır [15].

2.2.2. MMK Malzemelerin Uygulama Alanları

MMK malzemelerin üretilmesindeki zorluklara rağmen, bu malzemelerin klasik malzemelere olan üstünlükleri, endüstride geniş bir uygulama alanı bulmasına sebep olmuştur. Bu özellikler ve buna bağlı uygulama alanları aşağıda özet olarak verilmiştir.

a. Rijitlik

MMK malzemelerin, özgül rijitlik ve rijitliğin artırılması ile ilgili potansiyel oluşturması, bu malzemelerin kullanılmasını cazip hale getirmiştir. Rijitlik mühendislik biliminin kritik bir tasarım parametresidir. Elastik sapmanın önlenmesi veya buna karşı direncin artırılması oldukça zordur. Dönen parçalar, destek parçaları gibi parçalar çalışma koşullarından dolayı yüksek dayanım, tokluk gerektirmektedirler. Rijitliğin ön planda olduğu transmisyon elemanları, hassas ölçü aletleri, bisikletlerin gövdeleri, yat direkleri, sondaj tijleri

birer MMK malzemelerdir. Ektrüzyon yöntemi ile üretilen 10 m uzunluğunda ve 45 cm çapında yelken direği tek parçada imal edilmiştir [19,20].

b. Dayanım

Takviye elemanları ile malzeme dayanımının, buna bağlı olarak akma sınırının, yorulma dayanımının yükseltilmesi bir çok tasarımda gerekli bir faktördür. Ancak bu mekanik özelliklerin iyileştirilmesi çoğu zaman kırılma tokluğunun azalmasına neden olur. Genelde, MMK malzemeleri yüksek dayanım özelliklerinden dolayı çok az uygulama alanı bulurlar [16-18].

c. Sürünme Direnci

Sürekli fiber takviyeli MMK malzemelerin sürünme dirençleri iyidir. Örnek olarak gaz türbinlerinin jet motorlarıdır. Burada amaç rotor bıçaklarının ve arka disklerin daha hafif malzemelerden imal edilmesidir. Titanyumun sürünme dayanımı iyi olmadığı için bu amaçla kullanılamaz. Titanyum matrisli sürekli seramik fiber takviye elemanı ile kullanılarak sürünme direnci artırılabilir [15,19].

d. Aşınma Direnci

MMK malzemelerin uygulama amaçlarına uygun, aşınma hızının en az on kat azaltılabilmesi için, değişik aşınma şartlarına bağlı olarak çeşitli takviye malzemeleri kullanılabilir. Ayrıca maliyetin düşürülmesi, yeterli ısı iletkenliğinin sağlanması için sadece aşınan veya aşınma riski olan yüzeylere takviye uygulanabilir. Genellikle aşınma direnci gereksinimi, tokluk, rijitlik, ısıya dayanıklılık ve iyi ısı iletimi gibi diğer özelliklerle birleştirilerek uygulanır [15,19].

e. Yoğunluk

Yoğunluk, MMK malzemelerin uygulama alanları için cazip bir özelliktir. Bazı uygulamalarda takviye malzemesinin yapısına bağlı olarak yoğunluk artabilir ancak bu artış, rijitliğin artması ile dengelenir. Dayanım, rijitlik gibi bir çok mekanik özelliklerde değişiklik yapılmadan daha hafif kompozit malzemelerin üretimi mümkündür [15,19].

f. Isıl Genleşme

Seramiklerin düşük olan ısı genleşme özelliklerinden yararlanılarak, değişik ısı genleşme katsayısına sahip MMK malzemeler üretmek mümkündür. Bu tür MMK malzemeler elektronik parçaları için çok idealdir.

2.2.3. SiC (Silisyum Karbür)

SiC (silisyum karbür), elmasa benzer bir yapıya sahiptir düşük yoğunluğu, yüksek rijitlik ve dayanım yanında, ısı kararlılığı da çok iyidir [21].

Silisyum karbürün oksidasyon direnci, yüksek sıcaklıklarda mukavemet ve rijitliğini koruma özelliği bor filamanlarından daha iyidir. Ergimiş alüminyum SiC filamanları üzerindeki etkisi de bor filamanlarına göre çok düşüktür. Bu nedenle alüminyum matrikslerin pekiştirilmesinde kullanılan bor filamanları SiC ile kaplanırlar.

SiC filamanları kimyasal buhar kaplama tekniği ile üretilirler. Bor ve silisyum karbür filamanlarının üretiminde kullanılan reaktörler benzerdir. Kaplama, tungsten veya karbon tek filamanları üzerine yapılır. Kullanılan tungsten tel filamanının tipik çapı 0.01 mm'dir. Tungsten filamanı, 1200⁰C hidrojen gazının etiltri-klor-silan gibi silan bileşiklerinin ısı ayrışmasıyla SiC ile kaplanır. Akışkan yatakta SiC üretimi, tel üzerine kaplama tekniğine göre daha ekonomiktir. 0.03mm çapında ve 25.4 mm uzunluğundaki "tohum fiber"lerin akışkan yatakta 1200 – 1260⁰C de % 79 organ, %18 hidrojen, %1.8 metiltri-klor-silan ve % 0.8 metilen içeren gaz karışımı ile reaksiyonuyla SiC fiberleri üretilir. Bu yöntemle üretilen SiC filamanlarının çekme mukavemeti 17500 kg/cm² dan küçüktür. Gaz karışımının bileşimindeki değişimler mukavemeti etkilememekle beraber, karışıma safsızlıkların girmesi durumunda mukavemette büyük oranlarda azalma görülür.

Tungsten tel üzerine kaplanarak üretilen SiC – W filamanları yüksek sıcaklıkta mükemmel ısı kararlılığına sahiptir. Bu filamanların 1370⁰C de çekme mukavemetinde % 30 oranında bir azalma olmaktadır. Bu filamanların dezavantajları yoğunluğunun yüksek olmasıdır. 0.1 mm ve 0.14 mm çapında üretilen filamanlar yüksek sıcaklık uygulamaları için

uygun özelliklere sahiptir. Isıl kararlılıkları ve ergimiş matriks malzemelerinden etkilenmemeleri nedeniyle ekstra kaplamaya ihtiyaç duymazlar.

SiC fiberlerinin yanı sıra kullanılan diğer bir pekiştirici de SiC whiskerlerdir. Hızlı bir gelişme gösteren SiC whiskerleri $20 - 50 \times 10^{-6}$ mm çapında ve 0.03mm uzunluğunda üretilirler. SiC whiskerlerle pekiştirilmiş metallerin önemli bir avantajı, ekstrüzyon, haddeleme, kalıpta dövme ve presleme gibi plastik şekil verme tekniklerinin, whiskerlerde mekaniksel bir hasar meydana uygulanabilmesidir. Plastik deformasyonun yanı sıra, toz metalürjisi tekniği ile metalik matrikslerin SiC whiskerleri ile pekiştirilmesi mümkündür. Kompleks geometriye sahip parçalar sıcak izostatik presleme yöntemi ile ekonomik bir şekilde üretilebilirler. Preslenmiş parçalar, minimum düzeyde bitirme işlemlerine ihtiyaç duyarlar. SiC whiskerleri ile pekiştirilmiş metalik kompozit malzemelere , klasik şekillendirme tekniklerinin uygulanabilir bir sistemdir [7].

2.2.4. Alüminyum matriksli SiC partiküllü metal matriksli kompozit malzemeler

2024, 6061 alüminyum alaşımları SiC karbür iplikleri ile pekiştirilerek mukavemetleri arttırılabilir. Alüminyum – silisyum karbür kompozit malzemelerinin aksenal çekme mukavemetleri iyi olup pekiştiricilere dik yöndeki mukavemetleri çok iyi değildir [7].

Malzeme bilimindeki araştırmalar daha hafif, yüksek mukavemet ve tokluk özelliklerine sahip, yüksek sıcaklık değerlerinde iyi sürünme, yorulma ve aşınma direnci gösteren mühendislik malzemelerini geliştirmeye doğru olmuştur. Bu malzemelere uzay, hava ve otomotiv teknolojisindeki araçlarda performansı arttırmak için ihtiyaç duyulmaktadır.

MMK malzemelerin birbiriyle kimyasal reaksiyona girmeyen en az iki malzemeyi içerdiğinden beri değişik oranlarda, değişik malzemeler kullanılarak MMK malzemeler değişik uygulama alanlarında kullanılmıştır. Al matriksi içindeki SiC partikülleri kompozit malzemenin elastik modülünü gerilme dayanımını arttırır. Al matriksinin yoğunluğundaki dislokasyonlar SiC ile matriks arasında farklı ısı iletme katsayılarının oluşmasına neden olur. Genellikle toz metalürjisi yöntemiyle, harmanlama, sıkıştırma, sinterleme ve plastik deformasyona uğratarak üretilirler. Harmanlama, en önemli üretim safhasıdır. Çünkü bu aşamada metalik toz partiküller, diğer katkı elemanları ile karıştırılır. Metalik ve metalik olmayan partiküller arasındaki karışım kümeleri oluşturmayan iyi bir harmanlama; partikül

boyutu, harmanlama hızı, harmanlama süresi ve harmanlama çeşidi gibi değişik parametrelerde başarılı bir şekilde elde edilmiştir. Küçük boyutlu partiküller dislokasyonların yayılmasını sınırlandırır. Bu nedenle partiküllerin boyutu mikron seviyesine düştükçe karışım kümeleri (yığılma) oluşumu en önemli problemdir.

Hong ve Kao başarılı bir şekilde $03 \geq \mu\text{m}$ boyuta sahip SiC partikülleri Al matriksi içerisine mekanik alaşımlama yöntemiyle uygulamışlar. Bu uygulama sonucunda takviye edilmiş partikül boyutlarının düştükçe kümeleşmenin arttığı görülmüştür. Bu proses nano boyutundaki toz partiküllerinin içine iyi dağıtılmış takviye elemanın (SiC) sentezidir. Bu proses doğal olarak büyük oranlardaki takviye elemanlarının metal partiküllerinin içine kompozit bir katı forma sahip olmasını gerektirir [22].

SiC partiküllü Al matriks kompozit malzemelerin tungsten karbiden daha sert olduğu keşfedildiğinden beri kompozit malzemelerin içerisinde en önemli bir yere sahip olmuştur. Fakat Al/ SiC MMK malzemelerin talaşlı işlenebilme problemlerinden dolayı bu malzemelerin mühendislik uygulamalarında geniş bir şekilde kullanımlarını engellemiştir. Bu malzemelerin talaşlı işleme operasyonları sırasında sert olan Al/ SiC MMK malzemelerin SiC partikülleri değişik zaman aralıklarıyla küçük sert kesici kenarlar şeklinde kesici takım ile temas ederler. Bu temas sonucunda kesici takım yüzeyinde, öğüten mil şeklinde aşındırma etkisi oluşturmaktadır. Al/SiC MMK malzeme kesici takım ile temas halinde olduğu sırada oluşan yeni yüzey ile kesici kenar arasındaki temas sonucu sürtünme, yüksek sıcaklık ve basınç oluşur. Bu durum Al/SiC MMK malzemelerin kesici kenara yapışmasına neden olur. Bu sırada kesici kenara çok miktarda partikülün yapışması sonucu “built – up edge” olarak adlandırılan yığılma ağız oluşur. Eğer bu yığılma ağız oluşumu belli bir süre devam ederse kötü yüzey oluşumuna neden olur. Kötü yüzey kalitesinden dolayı bu malzemelerin mühendislik uygulamalarında ekonomiklik açısından kullanımını sınırlandırmıştır [23].

Al / SiC MMK malzemelerin yüksek elastisite modülü, yüksek dayanım ve düşük ısı etkenlik özelliklerine sahiptirler. Bu özellikler, Al / SiC MMK malzemelerin düşük üretim maliyetinden dolayı çeşitli araç gereç ve optik malzemelerin üretimi için çok cazibeli hale getirmiştir. Çok hassas olan ve birkaç yönden değişik doğrultulardan uygulanan kuvvetlere maruz kalan, yöne bağlı kararlılığı, mikro deformasyon dayanımı gibi özelliklerin iyi olmasını isteyen parçaların üretiminde Al / SiC MMK malzemelerin kullanımı büyük avantajlar sağlamaktadır. Çünkü bu özelliklerin sağlanmadığı bazı durumlarda, bazı iç gerilmeler ki bu

iç gerilmeler oluşan ısı sonucunda ortaya çıkarlar ve bunlar önüne geçilemeyen şoklara ve titreşimlere sebep olmaktadır. Bu yüzden düşük gerilme şartlarında Al / SiC MMK kompozit malzemelerin deformasyon davranışını anlamak çok önemlidir [24].

Al / SiC MMK malzemelerin iç yapısı ile ilgili olan en önemli özellikler yüksek derecede yoğun olan dislokasyonlar ve iç gerilmelerdir. Bu özellikler SiC ile Al matriksi arasındaki ısı iletkenlik katsayılarının farklı olması sonucu meydana gelmektedirler. Dislokasyon yoğunluğunun artması Al / SiC_p MMK malzemelerin iç yapısının gerilim mekanizması ile ilgilidir. Büyük oranda var olan gerilmeler önceki deformasyonların artmasına neden olmaktadır. Birçok teorik çalışmaya rağmen Al / SiC_p MMK malzemelerin iç gerilmeleri ve bu gerilmelerin etkileri hakkında çok az bir bilgi elde edilmiştir [25].

Son yıllarda MMK malzemeler, büyük potansiyele sebep olan otomobil, uzay endüstrisi, elektronik araç – gereçleri ve spor malzemelerinin yapımın gibi alanlarda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Al / SiC MMK malzemeler düşük harmanlama ve üretim özelliklerinden dolayı yüksek kararlılık, yüksek gerilme dayanımı, yüksek ısı ve aşınma dayanımı ve hafiflik istenen bir çok yapının bileşeni olmaya aday göstermektedir. Ancak bunların sonucunda tokluk ve kırılma dayanımı gibi özellikler azalmaktadır. Kırılma dayanımı ve tokluk özelliklerinin artırılması için temelde iki yaklaşım söz konusudur. Bunlardan biri mikro yapıyı ilgilendiren takviye elemanının boyutu ve matriks malzemesinin özellikleridir. Diğeri ise makro yapının tokluk mekanizmasıdır. Bunların etkileri, SiC_p ile takviye edilmiş ve takviye edilmemiş iki değişik bölge ele alınarak bunların kırılma dayanımı ve tokluk özellikleri ölçülmüştür. Bunun sonucunda takviye edilmiş kompozit malzemenin tokluk ve kırılma direncinin kayda değer bir oranda arttığı görülmüştür. Makro yapıda ise takviye elemanı (SiC_p) parçacıklarının katılma değeri (yoğunluğu), parçanın kalınlığı doğrultusunda daima değiştirilerek MMK malzemenin kırılma direnci artırılmaktadır [25].

A 359 Al alaşımlarının belli ölçülerdeki (boyutlardaki) parçacıkların eklentisi dayanım üzerinde etkisi mevcuttur. Matriks içerisine % 20 – 30 oranlarında 700 dev / dak dönem hızı şartlarında SiC partikül takviyeleri eklentisi gerilme dayanımını sürekli olarak arttırmaktadır. Buna karşın 1300 dev/ dak dönme hızı ve %30 – 40 oranlarındaki SiC takviye elemanı (SiC) eklentisi gerilme dayanımını azaltmaktadır. % 20 oranındaki SiC parçacık eklentisi gerilme dayanımını arttıran en ideal takviye miktarıdır. Fakat bu durumda takviye

elemanın dağılımına katkıda bulunmaktadır. Elastik modül, %20 – 40 arasındaki oranlarda SiC takviye elemanın katılımı dikkate alınmış ve bunun sonucunda SiC partiküllerinin katılım miktarı arttıkça sertliğin arttığı görülmüştür [25].

Al matriksli kompozit malzemeler, düşük özgül ağırlığı, yüksek dayanım ve iyi aşınma direnci ile süreksiz, whisker, fiber ve partikül şeklindeki takviye elemanları ile desteklenerek üretilmektedirler. Partikül takviyeli MMK malzemeler iyi mekanik ve aşınma özellikleri göstermemektedirler.

Partikül takviyeli MMK malzemeler, toz metalurjisi, sıkıştırma kalıpları, karışık v.b. gibi değişik üretim yöntemleri mevcuttur. Toz metalurjisi yönteminin pahalı olması sıkıştırma kalıp yöntemiyle yapılan üretimi daha cazip hale getirmiştir [26].

BÖLÜM 3

ALÜMİNYUM MATRİKSİLİ SiC PARTİKÜL TAKVİYELİ METAL MATRİKS KOMPOZİT MALZEMELERİN DELİNMESİ

3.1. Giriş

İmalat yöntemleri içerisinde en yaygın olarak talaşlı işleme metotları kullanılmaktadır. Bunun temel nedenleri, talaşlı imalat yöntemleri ile hem boyutsal hassasiyeti yüksek makine parçalarının imalatı mümkündür, hem de yüzey kalitesi yüksek parçalar imal edilir. Çeşitli talaşlı imalat yöntemleri içerisinde delme özel bir yer tutar. Delme işlemi ile silindirik geometriye sahip şekillerin elde edilmesi mümkündür. Talaşlı işleme yöntemleri içerisinde delme yaklaşık olarak %30 bir uygulama alanına sahiptir .

Deleme işleminin SiC partikül takviyeli Al-MMK kompozitlerde uygulanması birçok çalışmaya konu olmuştur. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar çok çeşitli şekilde ortaya konabilir. Bu çalışmada izlenecek yol genel olarak aşağıda belirtilen şekilde yapılacaktır:

- a. Delmede kullanılan matkaplar için uygun kesici takım malzemelerinin incelenmesi
- b. Belirlenen matkap malzemelerinde kaplama teknolojinin uygulanması ve bunların MMK malzemelerin delinmesindeki etkileri
- c. Delme işleminde etken işleme parametrelerinden birisi olan kesme hızının MMK malzemelerin delinmesinde oynadığı etkinlik
- d. İlerleme değerinin belirlenmesi ve bunun MMK malzemelerde etkilerinin ortaya konması
- e. Matkap geometrisinin MMK malzemelerin delinmesinde etkileri
- f. Kesme sıvısının kullanılması ve bunun MMK malzemelerin delinmesindeki önemi

Yukarıda belirlenen sıralamaya göre gerekli detaylı incelemeler ve değerlendirmeler aşağıda alt başlıklar şeklinde yapılmıştır.

3.2. Matkap malzemeleri

Kompozit malzemelerin çok geniş avantajları olduğundan dolayı kullanma alanları oldukça fazladır. Bu nedenle bu malzemelerin talaşlı işlenmesi zorunluluğu doğmuştur. Böylece bu malzemelerin talaşlı işlenebilirliğinin araştırılması zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Kompozit malzemeler sert ve talaşlı işlenebilirliklerinin az olması nedeniyle bu malzemelerin talaşlı işlenmesinde kullanılacak kesici takım malzemeleri sınırlıdır. Bu kesici takımlar tek ağızlı olarak imal edilerek kullanılabilirler gibi çok ağızlı olarak da imal edilerek talaşlı işleme operasyonlarında kullanılmaktadırlar. Bu kesici takımlar: HSS (yüksek hız çeliği), stellite, sert metal, sermet, seramik, kubik bor nitrür (CBN) ve elmas olmak üzere değişik çeşitleri mevcuttur [7,9]

Türkçe adı yüksek hız çeliği olarak bilinen HSS (high speed steel) kesici takımlar, Taylor tarafından geliştirilmiş olup tek kesici ağızlı ve kesici ağızlı olarak ekonomik bir şekilde imatları mümkündür. Bu kesici takımlar endüstride yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Ancak bu kesici takımların Al matriksli SiC partikül takviyeli kompozit malzemelerin talaşlı işlenmesinde veya delinmesinde istenilen sonuçları vermektedirler. Bu nedenle HSS kesici takımın üzerine değişik yöntemlerle değişik kaplama yöntemleri uygulanarak kompozit malzemelerin delinmesinde kullanılmaktadırlar [7].

Stellite grubu kesici takımlar, bünyelerinde Co, Cr ve W bulunduran yüksek karbon oranı içeren kesici takımlardır. Bu kesici takımlar döküm yöntemiyle imal edilirler. Genellikle bu kesici takımların alaşım oranları $\%(38 - 46)$ Co, $\%(25 - 35)$ Cr, $\%(4 - 25)$ W ve $\%(1 - 3)$ C şeklindedir. İçerdiği alaşım elemanlarından dolayı maliyetleri yüksek olan bu kesici takım malzemeleri gevrek yapılarından dolayı çok yaygın olarak kullanılmamaktadırlar.

Yapılarının gevrek olmasından dolayı darbe dayanımları düşük olan bu kesici takım malzemeler Al matriksli, SiC partikül takviyeli kompozit malzemelerin talaşlı işlenmesi proseslerinde ve delinmesinde kullanıldığı zaman olumsuz sonuçlar meydana gelmektedir [28].

Sinter karbür adı ile bilinen sert metal kesici takım malzemeler WC, TiC, TaC, NbC gibi karbür bileşiklerinin kobalt (Co) sinterlenmesiyle elde edilmektedir. Sert metaller, sert ve yüksek dayanım özelliklerinden dolayı aşınma dayanımları ve toklukları çok iyi olan kesici

takım malzemeleridir. PCD (çok kristalli elmas) ve CBN (kübik bor nitrür) ile elmas kaplamalar için çok iyi bir altyapı oluştururlar. Bu kesici takımlar PCD, CBN ve elmas kaplamalar için çok iyi bir alt yapı oluştururlar [9].

Sermetler esas olarak metalik bağ ile bağlanmış seramiklerdir. Bu gruptaki kesici takımlarda $\%(8 - 25)$ Ni, $\%115\text{Mo}_2\text{C}$ ve $\%(60 - 80)\text{TiC}$ bulundurmaktadır. Ayrıca WC, Co ve TiN içerebilirler. Bu kesici takımlar sert metallere göre daha gevrek yapıdadırlar bu nedenle bu kesici takımlar darbeli talaşlı işleme operasyonlarında kullanılması olumlu sonuçlar vermemektedirler. Bu nedenle bu kesici takımlar MMK kompozit malzemelerin talaşlı işlenmesi operasyonlarında kullanılmazlar [9].

Bu kesici takımlar TiC temelli yapının üzerine nikel (N) ve molibden (Mo) bağlanır. Bu kesici takımlar yüksek sıcaklıklara kadar sertliklerini koruyabilmektedirler. Bu kesici takımların ihtiva ettikleri TiC derecesi daha yüksek kesme hızlarında talaşlı işleme imkanı sağlayabilmektedir. Yüksek kesme hızlarında kesici takım üzerinde oluşacak krater aşınmasının azalmasına neden olur. Düşük kesme hızlarında ise yığılma aşınmasına neden olur [29].

Seramik kesici takımlar sert metallere göre daha yüksek sıcaklıklara kadar dayanım göstermektedirler. Bu kesici takımlar kaplamasız yada çok tabakalı kaplanmış olarak MMK kompozit malzemelerin talaşlı işlenmesi operasyonlarında kullanılmaktadırlar. Seramikler grubunda yer alan ve kırılma tokluğu Al_2O_3 'ün kırılma tokluğunun yaklaşık olarak iki katı olan SiN seramik kesici takımlar daha yüksek bağ kuvvetine sahiptirler. Bu kesici takımların ısıl genişleme katsayılarının düşük olmaları nedeniyle ve iyi ısıl şok direnç göstermeleri nedeniyle MMK kompozit malzemelerin talaşlı işlenmesinde kullanılabilirler.

Kesici takım malzemesi olarak kullanılan kübik bor nitrür doğal olarak bulunmaz. Hegzagonal bor nitrürden, 1500°C sıcaklık ve 80 Kbar basınç altında sıkıştırılarak elde edilmektedirler. Elmaştan sonra bilinen en sert malzemedir. Bu sertlik değeri kullanıldığında oluşan sıcaklık artışı ile azalmaktadır. Metallerin talaşlı şekillendirilmesi operasyonlarında, özellikle yüksek sıcaklıklarda bu kesici takımlar endüstriyel alanda hızlı aşınma olmaksızın yüksek kesme hızlarında talaşlı işleme imkanı sağladıklarından dolayı çok yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu kesici takımlar sert metallere göre daha yüksek kesme hızlarında talaşlı

işleme imkanı sağlamaktadırlar. Ayrıca MMK kompozit malzemelerin talaşlı işlenmesi operasyonlarında kullanılmaktadırlar.

Elmas karbonun tetragonal formudur. Hem doğal olarak hem de yapay olarak bulunabilen en sert malzemedir. Bu özelliklerinden dolayı elmas, kesici takım malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. Elmas, atmosferik basınçta, 1500 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda tekrar grafitte dönüşür. Talaş kaldırma sırasında karbonun çözünmesi ya da demire difüzyon yöntemiyle geçmesi sonucunda, demir esaslı malzemelerin talaşlı işlenmesinde elmasın kullanılması olumsuz sonuçlar vermektedir. Elmas kesici takımlar; yüksek silisyumlu alüminyum alaşımlarının, bakır ve alaşımlarının, sinterlenmiş tungsten karbürlerin, camın cam – fiberin, plastik ve karbon plastik kompozit malzemelerin ve yüksek alüminyum oksitli seramiklerin talaşlı işlenmesi yöntemlerinde kullanılmaktadırlar. Çelik malzemelerinin talaşlı işlenmesi operasyonlarında kullanılması tavsiye edilmeyen bu kesici takımlar, Al – Si alaşımlarının talaşlı işlenmesi operasyonlarında yaklaşık olarak 150 m/dak kesme hızlarında talaşlı işleme olanağı sağlamaktadırlar [9].

3.3. Matkap malzemelerinin kaplanması ve delme işlemine etkileri

Kesici takımların kesici yüzeylerinin kaplanması, metalin talaşlı işlenmesi proseslerinde kesici sıvıların kesici takım üzerindeki etkilerinin bir çoğunu kuru işleme şartlarında yerine getirmektedirler. Son yıllarda kesici takımlar fiziksel buhar depolama (PVD) tekniğiyle titanyum - alüminyum - nitrat (TiAlN) kaplaması geliştirilmiştir. TiAlN ile kaplanan kesici takımlar (matkap uçları) yüksek sertlik özelliği ve yüksek sıcaklıklarda oksitleme direnci gösterirler. Yüksek oksitlenme direnci, kesici takım uç kısmında oluşan oksit tabakasına difüzyon sonucu Al ile birlikte zengin alüminyum oksit tabakasının oluşmasını, iç kısımlara ise oksijenin difüzyon ile zengin titanyum oksit tabakasının oluşmasını sağlar. Bu katmanlar tarafından oksijenin difüzyona uğrayarak iç kısımdaki (kaplamanın altındaki) yapının oksijenle reaksiyona girerek oksit oluşturması engellenir. Gri dökme demir, temperlenmiş çeliklerin ve alüminyum alaşımlarının talaşlı işlenmesinde (PVD) tekniğiyle yapılan kaplamada kesme sıvılarının kullanılması gerekliliği azalmıştır. TiAlN kesici takımlara yapılan kaplamaya düşük oranlarda (%3 – 5) krom (Cr), eklentisi oksitlenme direncini daha da güçlendirir. Ayrıca otomotiv sanayisinde, silindir bloklarında, motor bloklarında (PVD) kaplama yöntemiyle yapılan TiAlN kaplaması bu makine parçalarında

gerekli olan gerilme dayanımını ve aşınma direncini sağlarlar. Metalin talaşlı işlenmesi sırasında serbest haldeki grafit, dayanımı ve sertliği azaltır.

Talaşın kesikli olduğu talaşlı işleme proseslerinde kesici takım – talaş temas bölgesi az olup böylece gerekli olan kesme kuvveti ve harcanan güç azalmaktadır.

PVD tekniğiyle yapılan kaplama sonucunda; dökme demirin talaşlı işlenmesinde maliyet düşer, otomotiv endüstrisinde yapılan talaşlı işleme proseslerinde daha iyi (uzun) kesici takım ömrü, daha yüksek kesme hızları ve ilerleme oranları şartlarında işleme imkanları sağlar.

Delik delme işlemlerinde matkap ucunun yüksek aşınma ve ani kırılmalar gibi kesici takımın körelmesine neden olan oluşumlar söz konusu değildir; ancak matkap ucunun bütün ömrü ele alınmaktadır. Yüksek hız çeliği helisel matkap uçlarında, kesici takım ömrü serbest yüzeydeki kenar aşınması ve kesişme kenarındaki aşınmaya bağlıdır. Serbest yüzey aşınması üç safhada oluşur. Birinci safhada işleme prosesinin ilk birkaç dakikasında aşınma hızlı bir şekilde meydana gelir. İkinci safhada meydana gelen aşınma sabit aşınmadır. Üçüncü safhada ise kesme zamanına bağlı olarak adhezyon (yapışma) mekanizmasının oluşmasına yardımcı olan aşınmanın meydana geldiği safhadır. İkinci aşınma safhası pratik olarak kesici takım ömrünü tespit edebilme olanağı sağlar.

Matkap ucunun aşınma miktarı, kesme ucunda aşınan alanın, kesici yüzey alanının %66'sı olduğu zaman matkap ucunun köreltiği kabul edilir.

Basit TiN kaplanmış matkap ucunun kaplanmamış matkap uçlarına göre gri dökme demirin kuru talaşlı işlenmesi şartlarında daha iyi performans göstermektedir. TiAlN kaplamaya kromun eklenmesi ile kesici takım ucunun performansı fazla miktarda artar. Kromun eklenmesi ile yapılan deneylerin sonucunda matkap ucunun performansının (kesici takım ömrünün) 7.3 ve 10.8 oranında arttığı görülmüştür.

Kesme sıvılarının kullanılmasıyla talaş kaldırma bölgesinde oluşan ısı azaldığından dolayı göreceli olarak kesici takım aşınması da azalır. Kesme sıvısının kullanımı çevre kirliliğine neden olmasından ve yeniden kazanma maliyetinin yüksek olmasından dolayı tercih edilmemektedir. İmalat maliyetinin düşürülmesi ve kesici takım performansının

artırılması amacıyla, talaş kaldırma proseslerinde kuru işleme şartlarında kesici takımın ömrünü arttırmak, aşınma miktarını azaltmak amacıyla kesici takımların üzerine PVD (fiziksel buhar depolama) ve CVD (kimyasal buhar depolama) yöntemleriyle değişik kaplamalar yapılmaktadır [30].

Tomac ve Tonnessen CVD yöntemiyle TiN, TiCN ve Al₂O₃ kaplanmış kesici takımlarla Al matriksli SiC partikül takviyeli kompozit malzemelerin delinmesinde diğer malzemelerden daha iyi performans gösterdiğini tespit etmiştir [31].

Kuru talaşlı işleme şartları altında kaplanmış olan kesici takımlar, karışık termal ve mekanik yüklenme şartları altında sertliklerini ve tokluklarını garanti ederler. Özellikle yüksek sıcak sertlik değeri, kuru talaşlı işleme şartları altında çok önemlidir. Çünkü sıcaklığın yükselmesi kesici takımın sertliğini kaybetmesine neden olur. HSS kesici takımlar yüksek sıcaklıklar (400⁰C)'da sertliklerini ve aşınma dirençlerini kaybederler [32].

PVD veya CVD yöntemiyle tek tabaka yada çok tabakalı olarak kaplanmış sert metal plaketer çok iyi performans göstermektedirler. ISO standartlarına göre özellikle K kalite sert metal plaketer MMK malzemelerin talaşlı işlenmesi operasyonlarında yaygın olarak kullanılmaktadır [9].

Bu kesici takımlarda (sert metaller) WC – Co bağlayıcılı olanlar dökme demirlerin ve demir olmayan alaşımların talaşlı işlenmesi operasyonlarında kullanılmaktadır. WC – Co bağlayıcılı ve TiC, TaC ve NbC ekleyicilerini içeren sert metal kesici takımların aşınma dirençlerini yüksek sıcaklıklarda koruyarak kesme özelliklerini korurlar ve genellikle gerilmeleri çok düşük olmaktadır [29].

CVD tekniğiyle TiC ve TiN kaplanmış kesici takımlar tokluklarını sürekli korurlar ve TiC kaplaması talaş ile kesici takım arasındaki sürtünmeyi azaltarak kesme kuvvetlerinin %25 oranında azalmasını sağlar. TiC kaplaması, kesici takımda krater aşınmasını azaltır. TiC ve TaC kaplama miktarının artırılması krater aşınması direncini artırır [29].

HSS kesici takımların TiAlN ile kaplanması sonucu, kaplamanın ısı iletkenlik katsayısının düşük olmasından dolayı kesici takım yüksek sıcaklıklarda sertliğini ve tokluğunu korur. TiAlN kaplamanın sertliğinin yüksek olmasından dolayı düşük sürtünme

katsayısı ve yüksek aşınma direnci gösterirler. TiN kaplama TiAlN kaplamadan daha iyi performans göstermektedir. Çünkü TiN kaplamanın ısı iletkenlik katsayısı ve ısıyı absorbe etme özelliği (TiAlN) kaplamadan daha iyidir [32].

CVD (kimyasal buhar depolama) yöntemiyle kesici takımların yüzeyinin kaplanması olayı ilk olarak 1969 yılında görülmekte olup PVD (fiziksel buhar depolama) yöntemiyle kesici takımların yüzeylerinin kaplanması olayı ise ilk olarak 1979 yılında ticari amaçlı olarak gerçekleştirilmiştir [30].

PVD ve CVD kaplama yöntemleriyle HSS ve sert metal kesici takımların üzerine TiN, TiAlN, TiC, TiCN, WC, HfN, Al₂O₃ ve TiAlCrN gibi kaplamalar yapılmaktadır. Bu kaplamalar tek tek yapıldığı gibi birkaç tanesi aynı kesici takım üzerine çok katmanlı olarak da uygulanabilmektedir [33].

CVD yöntemiyle yapılan kaplamalarda çatlaklar, gözenekler ve yüksek pürüzlülük görülmekte olup PVD yöntemi ile yapılan kaplamada çatlak olmamakla birlikte çok az miktarda da gözenek ve pürüzlülük oluşmaktadır. CVD yöntemiyle yapılan kaplamada taban yapısı ile kaplanmış tabaka arasında daha iyi adhezyon (yapışma) gerçekleşmesi için kesme kenarı honlanmalıdır. PVD yöntemi ile yapılan kaplamada honlama gerekmekte olup keskin kenarlarda oldukça iyi adhezyon sağlanmaktadır [33].

TiN kaplanmış HSS kesici takımlarla paslanmaz çeliklere, 0.05mm/dev den daha az ilerleme oranı şartlarında delikler delinirken, kesici takım ömrü artmıştır [29]. TiN kaplamalı kesici takımlarla yapılan talaşlı işleme proseslerinde sabit yüzey pürüzlülüğü ve talaş yüksekliği için uygun kesme hızı $V=75$ m/dak olduğu deneyler sonucunda tespit edilmiştir [30].

TiN kaplamalı kesici takımlarda kesici takımın körlenmesine neden olan dış kenar aşınmasının en büyük nedeninin düşük kesme hızı ve yüksek ilerleme oranları şartlarında yapılan talaşlı işleme operasyonları olduğu tespit edilmiştir [30].

TiN kaplamalı matkap uçları ile paslanmaz çeliklere yüksek kesme hızı ve ilerleme oranları şartlarında yapılan talaşlı işleme prosesi matkap ucunun helisel kanalında talaşlanma olmasına neden olduğu görülmüştür [30].

Kuru talaşlı işleme şartlarında kesici takımların yüksek sıcaklıklarda kendi sertliklerini ve tokluklarını korumaları istenir. Temperlenmiş çeliklere iyi taneli WC (tungsten karbid) kesici matkap uç takımlarla delik delindiğinde, kesici takımın yüksek sıcak kesme sertliğinin arttığı görülmüştür [32].

WC karbid kesici takımların TiC ve TaC karbidlerle talaşlanmasıyla daha yüksek sıcaklıklarda sertliklerini korumaları sağlanabilir. Kuru işleme şartlarında ise TiN Al eklenerek (TiAlN) yapılan kaplamanın düşük termal iletkenliği sağlanarak, yüksek sıcaklıklarda da kaplanmış tabakanın sertliğini koruyarak kesici takımın performansını koruduğu görülmüştür. TiAlN yüksek sertlik ve yüksek aşınma direnci gösterir. TiAlN'ın çelik malzemelere karşı olan düşük sürtünme özelliğinden dolayı kesme kuvvetlerinin düşmesine ve böylece talaşlı işleme yöntemlerinde sıcaklığın azalmasına neden olmaktadır [32].

TiN kaplanmış ve ucu yuvarlatılmış bir kesici takımla paslanmaz çeliğe delik delindiği zaman itme ve dönme kuvvetlerinin azaldığı tespit edilmiştir [30].

PVD kaplama tekniği geliştirildikten sonra dökme demir, temperlenmiş çelikler ve alüminyum alaşımlarının talaşlı işlenmesi operasyonlarında kesme sıvılarının kullanımı azalmıştır. TiAlN kaplamaya çok düşük oranlarda Cr (krom) eklenmesi yapılarak oksitlenme direnci artırılabilir. Kaplanmamış Co – HSS kesici takımlarla ve üzerine TiN, $Ti_{0.59}Al_{0.14}N$, $Ti_{0.27}Al_{0.19}Cr_{0.54}N$ ve $Ti_{0.21}Al_{0.24}Cr_{0.45}N$ kaplama yapılmış Co – HSS kesici takımlarla delikler delinmiş ve bunun sonucunda bu kesici takımların ömürleri delinen delik sayısı cinsinden verilmesi gerektiği ortaya konmuştur [34].

Bütün kesici takımlarla delik delme operasyonlarında kesici takım ucunda, kesici ağızlarda, uç kenarlarda ve matkap ucunun öz kısmında yığılma ağız oluşumu meydana geldiği görülmüştür [34].

Bu talaşlı işleme operasyonu sonucunda, kaplanmış HSS kesici takımların ve kaplanmasız HSS kesici takımların kuru işleme ve ıslak işleme şartları altındaki deliğin yüzey

pürüzlülüğü, çap büyümesi veya küçülmesi ve ortalama delik çapı ölçülmüş olup bunların sonuçları Tablo 3.1, Tablo 3.2 ve Tablo 3.3 'de gösterilmiştir.

Kaplanmış olan kesici takımlarla Al alaşımı 356 malzemesine delik delinmesi sonucunda işlenmiş yüzeyin yüzey pürüzlülüğü Tablo 3.1'de gösterilmiştir. Bu tabloda da görülmektedir ki kaplanmış kesici takımlarla kuru talaşlı işleme şartları altında delinmiş olan deliklerin yüzey kalitesi daha iyidir [35].

Tablo 3.2'de verilmiş olan işleme şartları altında kullanılan kesici takım kaplama çeşitlerine göre delinen deliğin çap büyümesi veya küçülmesi gösterilmiştir. Buradaki negatif değerler deliğin aşağı doğru çapının büyüdüğünü, pozitif değerler ise aşağı doğru delik çapının küçüldüğünü göstermektedir. Deliğin artan derinlik ile birlikte kaplanmamış kesici takımlarda çapın küçüldüğü görülmektedir [35].

Tablo 3.1. Kullanılmış değişik matkap uçları ile delinmiş olan deliklerin yüzey pürüzlülük miktarları (Ra) [35]

Test	Kaplamasız	TiAlN/TiN	TiAlN	MoS ₂
1	2.64	2.85	0.78	0.95
2	3.48	1.03	1.44	3.06
3	3.87	2.29	1.73	2.09
4	3.40	2.21	3.23	4.91
5	8.98	8.75	9.68	8.72
6	6.68	7.48	8.16	7.25
7	8.65	6.47	8.46	9.34
8	7.22	5.56	7.83	7.52

Kaplanmamış, TiN, TiN/TiAlN , TiAlN ve MoS₂ kaplamalı kesici matkap uçları ile delik delme işleminde kesme sıvısı kullanıldığında yüzey pürüzlülüğünün arttığı ve aynı şartlar altında yüzey pürüzlülüğünün artan kesme hızı ve ilerleme oranına göre fazla değişmediği görülmektedir. Ancak soğutma sıvısı kullanılmış olan bütün kesici takımlarla yapılmış olan talaşlı işleme operasyonlarında yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir [35].

Tablo 3.2. Değişik matkap uçları ile delinmiş olan deliklerin ortalama delik çapları (delik çapının kararlılığı) [35]

Test	Kaplamasız	TiAlN/TiN	TiAlN	MoS ₂
1	4.6187	4.5834	4.5660	4.5751
2	4.6306	4.5663	4.5672	4.5904
3	4.6179	4.5764	4.5701	4.5875
4	4.6107	4.5695	4.5637	4.5902
5	4.6504	4.5964	4.5992	4.6099
6	4.6364	4.5825	4.5869	4.5838
7	4.6271	4.5535	4.5596	4.5877
8	4.6229	4.5654	4.5602	4.5840

Tablo 3.3. Kullanılmış değişik matkap uçları ile delinmiş olan deliklerin çaplarında meydana gelen büyüme veya küçülme miktarı [35]

Test	Kaplamasız	TiAlN/TiN	TiAlN	MoS ₂
1	-0.0107	-0.0230	-0.0094	-0.0017
2	0.0192	0.0047	-0.0195	-0.0080
3	-0.0141	0.0248	-0.0010	-0.0080
4	0.0049	0.0050	0.0047	0.0045
5	0.0502	0.0314	0.0440	0.0573
6	0.0328	0.0304	0.0389	0.0318
7	0.0401	0.0764	0.0240	0.0010
8	0.0278	0.0296	0.0180	0.0272

Soğutma sıvısının kullanıldığı talaşlı işleme operasyonlarında sıcaklık değerinin bütün kesici takımlar için (kaplamalı – kaplamasız) düşük olduğu görülmektedir; ancak kaplamalı kesici takımlarda artan ilerleme oranı ile birlikte kesme hızı değeri de arttırıldığı zaman oluşan sıcaklık değeri önemli oranda azaldığı görülmekte olup diğer kesici takımlarda ise önemli bir farklılık görülmemiştir [35].

HSS matkap uçlarına TiN kaplama yapıldığı zaman önemli oranda talaşlı işleme operasyonlarında sıcaklık oluşumu önemli oranda azaldığı görülmüştür. TiAlN ve MoST kaplamalı kesici takımlarla delinen deliklerin, deliğin arttıkça çapının büyüdüğü görülmektedir [35].

MoST kaplamalı kesici matkap uçları ile yapılan talaşlı işleme operasyonlarında kesme sıvısının da kullanıldığı operasyonlarda kesici takım ucunda yığılma ağız oluşumunun meydana geldiği görülmüştür; ancak bu durum kaplanmamış kesici takımlarla ıslak talaşlı işleme operasyonlarında meydana gelmediği görülmüştür [35].

Elmas kaplamalı kesici takımlar, talaşlı işleme operasyonlarında son yıllarda geliştirilmiş olan bir yeniliktir. Bu kesici takımların otomobil ve havacılık endüstrisinde çok miktarda kullanılan hafif metal olan Al ve alaşımlarının talaşlı işleme operasyonlarında başarılı kullanılmaktadır. Bu kesici takımların yüksek aşınma direnci isteyen kesici takımların kullanıldığı ve kesici takımın hızlı bir şekilde aşınmasına neden olan SiC takviyeli Al alaşımlarının kuru talaşlı işleme operasyonlarında başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Kaplanmış kesici takımlar kendi kaplanmış tabakasını kaybettikleri zaman körelmiş olurlar. Bu nedenle kaplanmış tabakalarının sağlamaştırılması sorunu, aşınmalarının olayından daha fazla göz önünde tutulacak önemli bir problemdir [35].

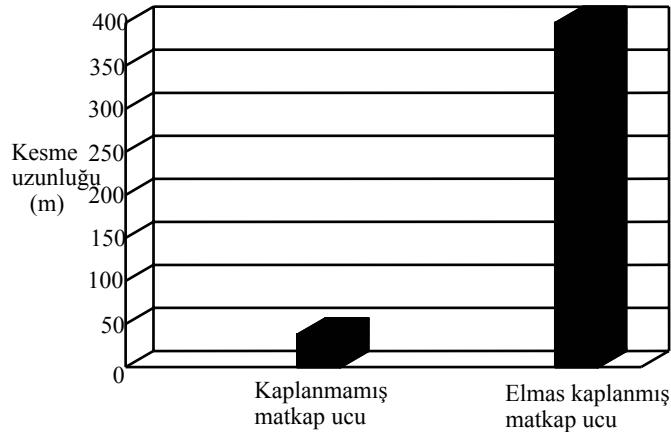
Elmas kaplamalar yüksek sertlik özelliklerinden dolayı bir çok kesici takım uygulamalarında kullanılmaktadırlar. Elmas kaplama ile birlikte talaşlı işleme proseslerinde kullanılacak kesici takımların kaplanmasında kullanılacak en uygun kaplama alaşımları SiC, Si₃N₄ veya WC – Co tır [36]. Elmasın yüksek sertlik, iyi aşınma direnci, iyi ısı iletkenlik ve düşük sıcaklık dağıtımı gibi özelliklerinden dolayı kesici takım uygulamalarında kullanılmaktadır. İnce kaplanmış elmas kaplamaların talaşlı işleme operasyonlarında daha iyi performans göstermektedirler [37]. Kompozit malzemelerin kendilerine has, sıradan malzemelerden daha yüksek gerilme dayanımları, iyi aşınma dirençlerine sahip olmalarından dolayı endüstri alanında çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle bu malzemelerin talaşlı işlenmeleri ihtiyacı doğmuştur. Bu ihtiyacı karşılamak amacıyla elmas kaplanmış kesici takımlar bu malzemelerin talaşlı işleme operasyonlarında başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Elmasın aşınma oranı; sert metal ve CBN kesici takımların aşınma oranlarından daha düşüktür [38].

Al matriksli SiC takviyeli kompozit malzemelerin talaşlı işlenmeleri operasyonlarında kullanılan elmas kaplanmış kesici takımların körlenmesine neden olan kaplanmış tabakanın kesici takımın ana yapısından ayrılmasının veya kırılmasının temel nedeni kesme hızıdır [38].

Talaşlı işlenen kompozit malzemeleri oluşturan bileşim elemanlarının mikro yapısının; işlenen yüzeyin pürüzlülüğü, kesici takım aşınma oranı üzerindeki etkisi çoktur. Daha sert takviye elemanı ile desteklenmiş ve daha fazla oranda takviye elemanı eklenmiş olan kompozit malzemelerinin talaşlı işlenmesi proseslerinde oluşan yüzey pürüzlülüğü daha kötü olup ortaya çıkan kesici takım aşınması oranı ise daha fazladır [38].

Elmasdan arındırılmış WC (tungsten karbid yüzeyler) üzerine PVD ve CVD yöntemleriyle kaplanabilir; ancak kesici takımın ana yapısı ile elmasın elastik modüllerinin farklı olmasından dolayı kaplama ile ana yapı arasında iyi bir bağlanma gerçekleşmemektedir. Bu nedenle ana yapı ile kaplama tabakası arasında daha iyi bir bağlama gerçekleştirmek amacıyla TiN/TiC temelli alt yapıli kesici takımlar geliştirilmiştir; fakat TiN/TiC katmanı Co difüzyonuna karşı korunmalıdır. Aksi takdirde elmas ile ana yapı arasındaki katmanın yumuşamasına neden olur. Ayrıca kesici matkap uçlarının en iyi performansları, matkap uçlarının öz kısımlarının elmasla kaplanarak mikro erimeye karşı korunmaları sonucu elde edilmiştir [33].

Elmas kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla %12 SiC takviyeli Al kompozit malzemesine delik delindiğinde, elmas kaplanmış kesici takım ömrünün kaplamasız kesici takım ömrünün yaklaşık olarak 10 katı daha fazla olduğu görülmüştür ve bu da Şekil 3.1’de görülmektedir [39].



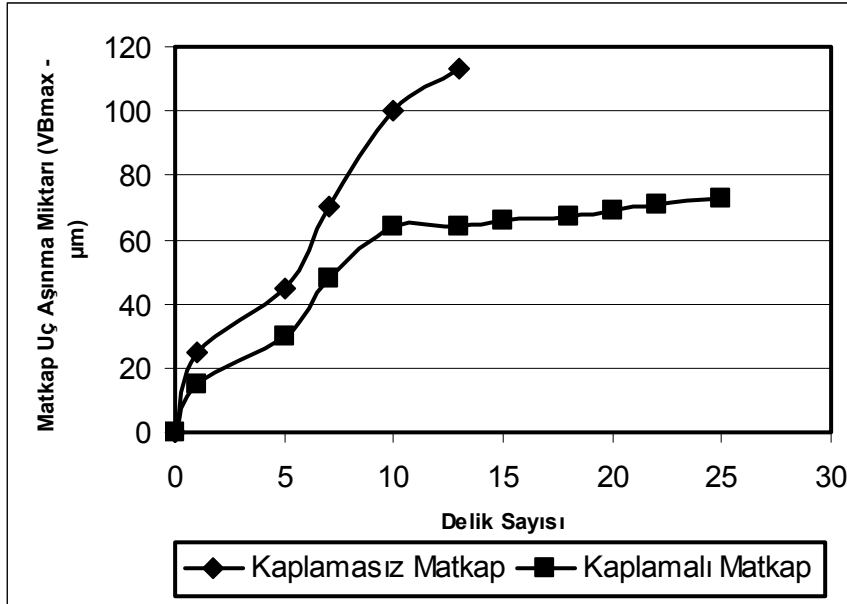
Şekil 3.1. Elmas kaplanmış ve kaplanmamış olan kesici matkap uçları ömürlerinin delinen delik uzunluğu cinsinden karşılaştırılması [39]

Elmas kaplanmış kesici takımlarla delinmiş olan deliklerin başlangıç noktası ile bitiş noktası arasındaki çap farkının daha az ve daha kararlı olduğu (deliğin başlangıç noktası ile bitiş noktası arasındaki çap farkının daha az olduğu görülmüştür [39].

3.4. Kesme hızının etkisi

Delme işleminde kullanılan kesme hızı değerleri matkap devri ile sınırlıdır. Yapılan çalışmalarda devir sayısı en fazla 7000 dev/dak değeri kullanılmıştır ve bu değer düşük çaplı matkaplar için (4, 5 ve 6 mm çaplı) denenmiştir [37]. Matkap çapı kesme hızının belirlenmesinde önemlidir ve bu değer en fazla 10.5 mm olarak yapılmıştır [40]. Diğer çalışmalarda matkap çapı değerleri 5 ile 8 mm değerlerindedir.

Genel olarak kesme hızının takım aşınması ve bunun sonucunda takım ömrü üzerinde bilinen etkisi kesme hızının artışı ile takım aşınmasının arttığı ve takım ömrünün azaldığı konusu delme için de geçerlidir. Yapılan çalışmalarda en fazla 131 m/dak [37] ve en küçük 4 m/dak [28] kesme hızı değerleri kullanılmıştır. Genel olarak ortaya konan sonuç, kesme hızının artışı ile takım ömrünün azaldığı şeklindedir.



Şekil 3.2. Kaplamalı matkap kullanımının kaplamsız matkaba göre delik sayısının matkap aşınması üzerindeki etkisi [37]

Bazı çalışmalarda matkap aşınması değerinden çok delinen delik sayısı temel alınmıştır. Örneğin Coelho vd. tarafından [41] yapılan çalışmada, kesme hızı değeri olarak 37.7 m/dak ve 75.4 m/dak seçilmiş ve kullanılan matkap malzemesine göre delinebilecek delik sayısı değeri karşılaştırılmıştır. Matkap çapı 8 mm ve delme boyu 25 mm olarak seçilen deneysel çalışmada, kesme hızının delinebilecek delik sayısı açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Seçilen işleme koşullarına bağlı olarak, HSS matkaplarla ancak tek delik delinebilirken, bu durum sert metal (K10) ve TiN kaplamalı sert metal matkaplarla 16 delik sayısına ulaşılabilmiştir. PCD matkaplarda ise bu değer 300 deliktir ve matkapta aşınma açısından bir durum gözlenememiştir. Bu çalışmadaki sonuçlar toplu olarak Tablo 3.4'de gösterilmiştir.

Tablo 3.4. Farklı matkap malzemelerinde kullanılan kesme hızı ve ilerleme değerleri için delme işleminde elde edilebilecek delik sayısı [41]

Matkap Malzemesi	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Delik Sayısı (adet)
HSS	75.4	0.05	1
		0.1	1
Elmas Kaplamalı HSS	75.4	0.1	1
Sert Metal Matkap (K10)	37.7	0.1	16
		0.2	32
	75.4	0.1	16
		0.2	32
		0.3	48
TiN Kaplamalı Sert Metal Matkap (K10)	37.7	0.1	16
	75.4	0.3	48
PCD	37.7	0.1	300
		0.2	300
		0.3	300
	75.4	0.1	300
		0.2	300
		0.3	300

İşleme Şartları: Delmede kullanılan matkap çapı 8 mm ve delme boyu 25 mm, delme işleminde su bazlı sentetik kesme sıvısı kullanılmıştır.

Bu etki seçilen matkap malzemesi açısından büyük bir değişikliğe uğrar. HSS takımlarda bu etki çok büyük iken sert metalde belirgin, PCD'de ise belirgin değildir. HSS takımlarda daha düşük kesme hızlarının (örneğin 4m/dak) kullanılması sert metallerde bu

değerin biraz arttığı (20 – 30 m/dak), PCD’de ise 50 – 70 m/dak’ya kadar çıktığı görülmüştür (Tablo 3.5).

Kesme hızı aynı zamanda deliğin yüzey kalitesi açısından da önemli bir faktördür. Bu etki özellikle ilerleme ile bağlantılıdır. Buna rağmen genel olarak aynı ilerleme değeri için kesme hızındaki artış ile yüzey kalitesinin azaldığı görülmüştür (Tablo 3.6). Kesme kuvvetleri açısından kesme hızının etkisi incelendiğinde, aynı şekilde yüksek kesme hızlarının kesme kuvvetlerini arttırdığı görülmüştür.

Tablo 3.5. PCD malzemeli matkap ile yapılan delme işleminde farklı işleme zamanları (T, dak) ve ilerleme (s, mm/dev) değerleri için kesme hızının (v) matkap aşınması üzerindeki etkisi [31]

V (m/dak)	T= 5 Dakika			T= 10 dakika			T = 15 dakika		
	s=0.05	s=0.1	s=0.2	s=0.05	s=0.1	s=0.2	s=0.05	s=0.1	s=0.2
30	0.08	0.09	0.09	0.09	0.11	0.12	0.10	0.13	0.15
40	0.09	0.11	0.10	0.10	0.12	0.13	0.11	0.15	0.16
50	0.10	0.10	0.11	0.12	0.12	0.13	0.12	0.14	0.16

Tablo 3.6 PCD malzemeli matkap ile yapılan delme işleminde farklı işleme zamanları (T, dak) ve ilerleme (s, mm/dev) değerleri için kesme hızının (v) delik yüzey kalitesi üzerindeki etkisi [31]

V (m/dak)	T= 5 Dakika			T= 10 dakika			T = 15 dakika		
	s=0.05	s=0.1	s=0.2	s=0.05	s=0.1	s=0.2	s=0.05	s=0.1	s=0.2
30	0.23	0.35	0.38	0.18	0.25	0.27	0.19	0.25	0.29
40	0.31	0.47	0.71	0.33	0.47	0.77	0.36	0.47	0.83
50	0.40	0.61	0.93	0.37	0.52	1.00	0.40	0.52	1.08

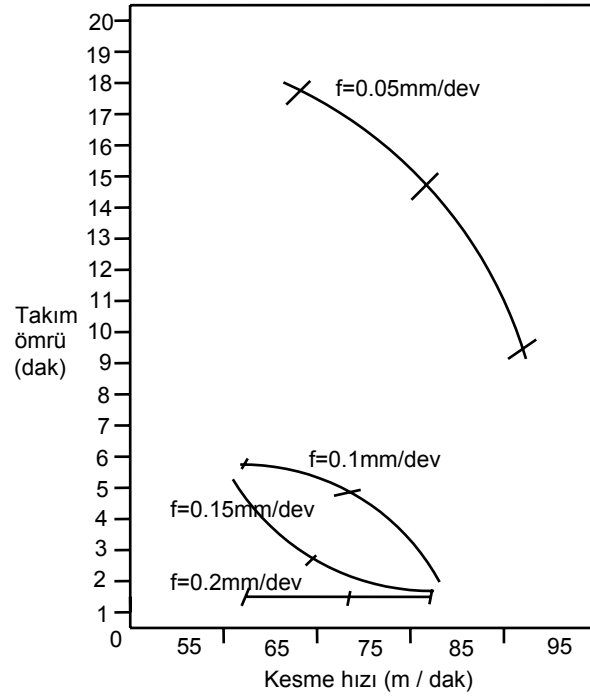
İlerlemenin yüzey kalitesi üzerindeki etkisi söz konusudur ve ilerleme değeri arttıkça yüzey kalitesi düşmektedir. Bu konuda Tablo 3.6 yapılmış bir çalışmada elde edilen sonuçları göstermektedir.

3.5. İlerleme değerinin etkisi

Delik delme işleminde diğer bir işleme parametresi ilerleme değeridir. İlerleme özellikle yüzey kalitesinde etken olduğu, takım aşınmasında kesme hızı ile birlikte etkili olduğu bilinmektedir.

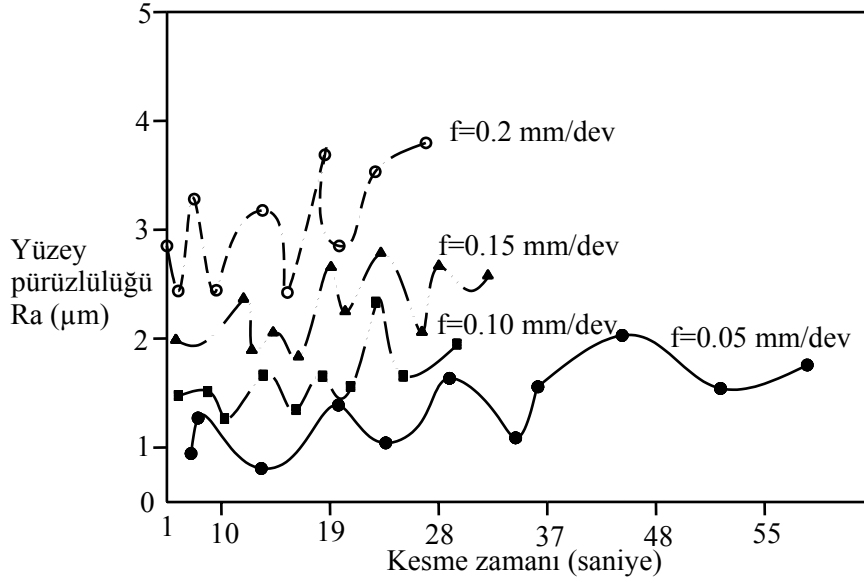
İlerleme, kesme hızı değerinde olduğu gibi takım aşınmasında etkindir; ancak bu etkinlik kesme hızı kadar değildir. Ama ilerleme oranı arttıkça takım aşınması artmaktadır ve bunun sonucunda takım ömrü azalmaktadır. Kesme hızında olduğu gibi, ilerleme değerinin seçiminde de matkap malzemesinin ne olduğu önemlidir.

Şekil 3.3'te dört değişik ilerleme oranları şartlarında kesme hızının kesici takım ömrü üzerindeki etkisi gösterilmektedir. Burada ilerleme oranı arttıkça kesici takım ömrü azaldığı görülmektedir. Bu şekilde de görülmektedir ki en uzun kesici takım ömrü 0.05 mm/dak ilerleme oranı şartlarında elde edilmiştir [30].

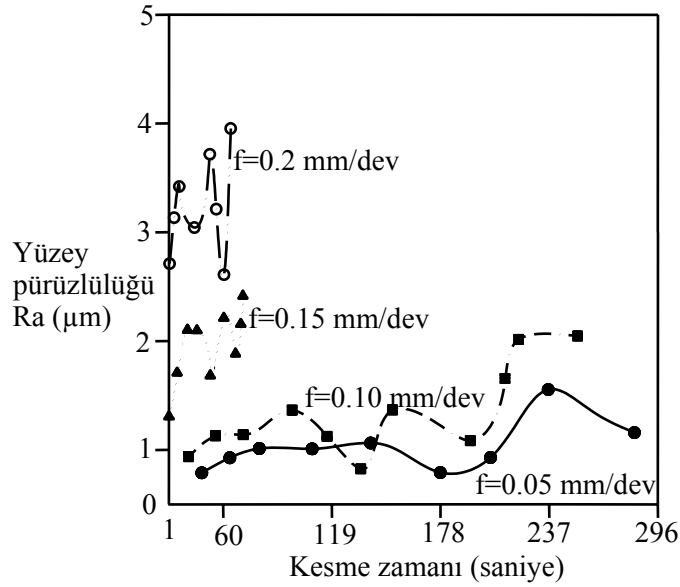


Şekil 3.3. Değişik ilerleme değerleri için kesme hızına karşılık takım ömrü [30].

Şekil 3.4–3.6'de değişik ilerleme oranları ve kesme hızları şartlarında yüzey pürüzlülüğü miktarları görülmektedir. Burada en az yüzey pürüzlülüğünün 75m/dak kesme hızı ve 0.05 – 0.1mm/dev ilerleme şartlarında meydana geldiği görülmektedir. Yüksek kesme hızı ve ilerleme oranı şartlarında kesici takımın helisel kanalında talaş çentikleme gerçekleşir ve bu da kesici takımın körelmesine neden olur.

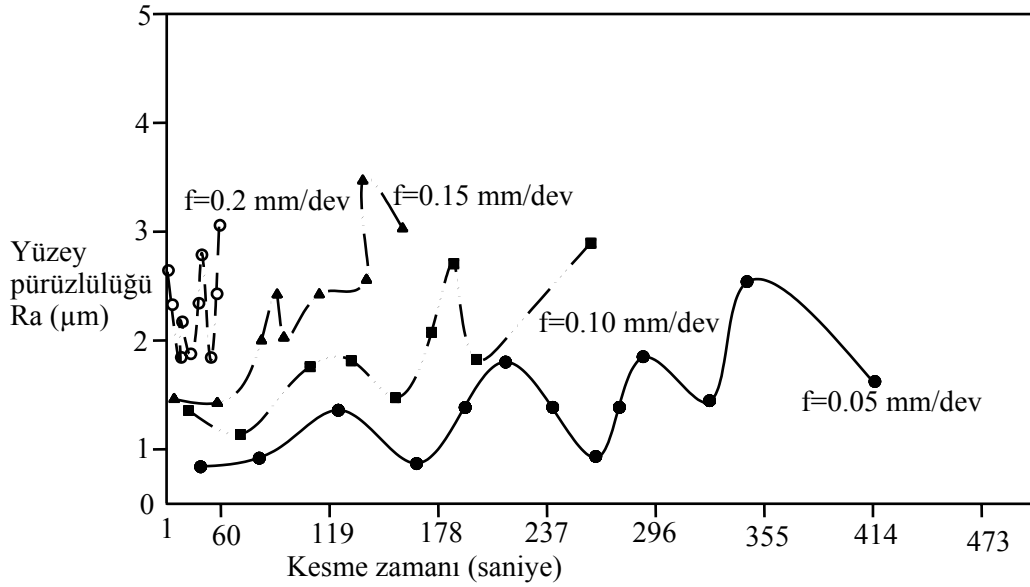


Şekil 3.4. Değişik ilerleme oranı değerleri için ve $V=85$ m/dak kesme şartlarında oluşan yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri [30].



Şekil 3.5. Değişik ilerleme oranı değerleri için ve $V=75$ m/dak kesme şartlarında oluşan yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri [30]

PVD yöntemiyle TiAlN kaplamanın kesici takımında yüksek sertlik ve yüksek sıcaklık değerlerindeki talaşlı işleme operasyonlarında oksitlenme direnci özelliğini arttırdığı tespit edilmiştir [34].



Şekil 3.6. Değişik ilerleme oranı değerleri için ve $V=65$ m/dak kesme şartlarında oluşan yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri [30]

3.6. Takım geometrisi

Delme işleminde matkabın geometrisi konusunda çok sınırlı çalışmalar yapılmıştır. Genel olarak delme işlemine maruz kalacak malzemeler için matkap geometrisi standart hale getirilmiştir. Bu konudaki standartlara çeşitli kaynaklardan ulaşılabilir [1,3,27].

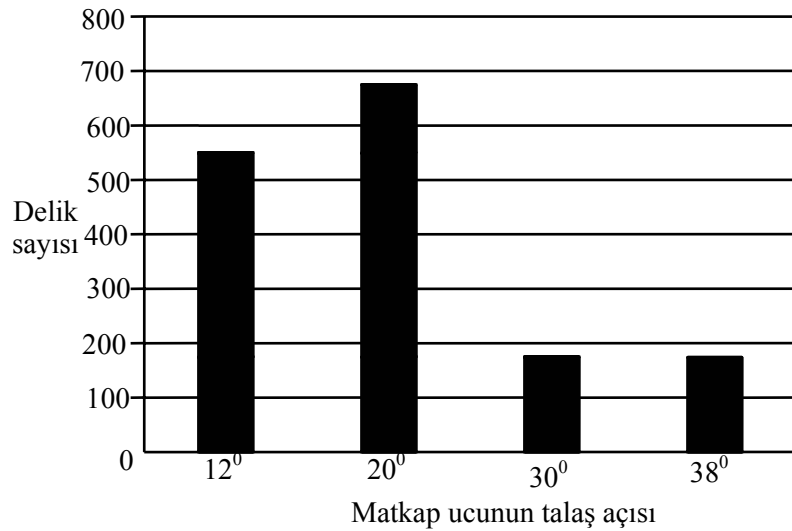
SiC partikül takviyeli Al-MMK malzemelerin delinmesi konusunda da benzer durum söz konusudur. Yapılan çalışmalar genel olarak standart takım geometrisi temelinde yapılmıştır. Detaylı olarak yapılan bir inceleme Tosun ve Muratoğlu [41] tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, değişik matkap uç açılarının yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisi araştırılmıştır. Kullanılan üç değişik matkap uç açısı (90° , 118° ve 130°) değerinden 118° veya 130° uç açılı matkaplarla yapılan delme işleminde yüzey kalitesinin daha iyi olduğu, 90° lik uç açılı matkapla yapılan delme işleminde ise yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür (Tablo 3.7).

Tablo 3.7. Matkap uç açısının delik yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi [41]

Matkap malzemesi	Matkap Uç Açısı	Malzeme A	Malzeme B	Malzeme C	Malzeme D
HSS	90°	7	9.5	7.5	9
	118°	4.5	5.8	5.5	10
	130°	2.8	5.2	6	8.6
HSS (TiN Kaplamalı)	90°	1.5	3	1.5	3
	118°	1.5	1.6	2.6	4.5
	130°	1.5	2.8	1.5	3
Sert Metal	90°	1.6	1.5	1.5	2
	118°	1.4	1.6	2.8	1.5
	130°	1.5	1	1.5	1.8

Delme işlemine ait bilgiler: Kesme Hızı:21 m/dak, İlerleme: 0.16 mm/dev
(Malzeme A:Eksrüzyon edilmiş, Malzeme B:Homojenleştirilmiş,
Malzeme C:Yaşlandırılmış, Malzeme D:Aşırı yaşlandırılmış)

120 m/dak kesme hızı ve 0.2mm/dev ilerleme şartları altında değişik talaş açılarında bilenmiş ve elmas kaplanmış kesici takımlarla delinmiş olan delik sayıları şekil 10'da gösterilmiştir. Burada en iyi kesici takım ömrünün delinen delik sayısı cinsinden 20⁰ talaş açısı ile bilenmiş kesici takım ile sağlandığı, daha sonra sırası ile 12⁰, 30⁰, 38⁰'lik talaş açıları ile bilenmiş olan kesici takımlarla sağlandığı görülmektedir (Şekil 3.7) [39].



Şekil 3.7. Değişik talaş açılarında bilenmiş matkap ucu ile %23 Si – Al alaşımı malzemesine delik delme operasyonunda kesici takımların performansının karşılaştırılması

3.7. Kesme sıvısının kullanımı ve etkileri

Geçmişten beri malzemelerin talaşlı işlenmesi proseslerinde kesme sıvıları kullanılmıştır. Günümüzde de bu sıvıların alternatifleri geliştirilerek kullanılmaya devam edilmektedir. Ekonomik olarak herhangi bir operasyonda kullanılan kesme sıvısının etkisi olması gerektiği gibi sonuçlar vermeyebilir. Metalin talaşlı işlenmesindeki birinci amaç iş parçası malzemesini belirli toleranslar ve doğru ölçülerde elde edilmesidir. Buradaki yüzey kalitesi ekonomiklik yaklaşım düşüncesini ortaya çıkarmaktadır. Yararlı bir kesme sıvısının özellikleri aşağıdaki gibi olmalıdır.

Alüminyum ve alaşımlarının talaşlı işlenmesi sırasında, kesici takım – talaş ara yüzeyinde yüksek sıcaklıklar oluşmaz. Yüzey kalitesinin artırılması ve kesici takım ağzında yığma ağız oluşumundan dolayı oluşan problemleri önlemek amacıyla susuz kesme sıvılarının kullanılabilir; fakat bunların aktif olmayan (leke bırakmayan) özelliğe sahip olması gerekir.

- 1- Kesici takım ömrünü arttırmalıdır.
- 2- Yüzey kalitesini iyileştirmelidir.
- 3- Kesme kuvvetlerini ve güç harcamalarını azaltmalıdır.
- 4- İş parçası malzemesi içinde sıcaklığın azalmasını sağlamalıdır.
- 5- Talaşın akışına yardımcı olmalıdır [42-44].

Yıllardan beri kesme sıvılarının metalin talaşlı işleme prosesi üzerinde iki temel etkisinin olduğu tanımlanmıştır. Bunlar :

- 1- Soğutma
- 2- Sürtünmeyi azaltma (yağlama)

Diğer bir etki ise bir grup Rus bilim adamları özellikle Rebinder ve Epifonov tarafından ileri sürülen etki olup bu etki:

- 3- İş parçası malzemesinin kesme gerilmesini azaltmasıdır [3,42-44].

Kesme sıvısının kullanımı için gerekli özellikler, talaşlı işleme operasyonlarının özelliklerine göre sağlanmasına rağmen bazı kriterlerin elde edilmesi için iyi kesme sıvıları aşağıdaki özelliklerine göre tercih edilir.

- 1- İyi yağlama etkisi sonucunda sürtünme etkisini azaltması, oluşan ısıyı transfer etme etkisinin iyi olması gerekir.
- 2- İyi soğutma aktivitesi sonucunda talaşlı işleme süresince oluşan ısıyı dağıtması .
- 3- Adhezyon aşınma etkisini yok ederek kesici takım – talaş arasındaki materyali uzaklaştırmalıdır.
- 4- İyi ıslanma karakteristiği sağlayarak kesici takım – talaş temas bölgesinde iyi bir penetrasyon özelliği sağlamalıdır.
- 5- Talaşlı işleme proseslerinde aşınma ve korozyon direnci göstermelidirler.
- 6- Kararlı çözünürlük veya emülsiyon, iş parçasının çevresinde tehlike oluşturmamalı, buharlaşmamalı, zehirleyici olmamalı ve köpük oluşturmamalıdır.
- 7- Ekşime sonucunda makine parçaları arasında çubuk şeklinde veya yapışkan artıklar oluşturmamalıdır.
- 8- Kullanılması ekonomik olmalı ve filtrelenecek tekrar olarak kullanılabilmelidir [1,42-44]

Al matriksli SiC takviyeli kompozit malzemesine delik delme operasyonda kesici takım üzerine değişik kaplamalar yapılarak kompozit malzemeye kuru işleme ve kesme sıvısı kullanılması şartları altında delikler delinmiştir. Bu çalışmada, kullanılan kesme sıvısının kaplanmış ve kaplanmamış bütün kesici takımların kullanıldığı, kesme hızı ve ilerleme oranının aynı olduğu delik delme operasyonlarında delinen deliklerin çap büyümesi veya çap küçülmesi üzerinde kayda değer bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Yine aynı şartlar altında meydana gelen sıcaklık artışının; kuru işleme şartlarındaki artış değerinin, kesme sıvısının kullanıldığı şartlardaki artış değerinin yaklaşık olarak 3 – 5 katı kadar olduğu görülmektedir [35].

Yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme sıvısı kullanılmış ve kuru işleme şartları altında bütün kesici (kaplanmış ve kaplanmamış) takımlar ile kesme hızı ve ilerleme oranının aynı olduğu şartlar altında gerçekleştirilen delik delme operasyonlarında meydana gelen yüzey pürüzlülüğünün; kesme sıvısı kullanıldığı şartlar altında elde edilen yüzey pürüzlülüğünün,

kuru işleme şartları altında elde edilen yüzey pürüzlülüğünden yaklaşık olarak 4 – 10 kat daha iyi olduğu görülmüştür [35].

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMA

SiC partikül takviyeli Al-MMK malzemelerin delinmesinde yapılan deneysel çalışmalara ait detaylı bilgiler aşağıda verilmiştir.

4.1. Seçilen malzeme ve özellikleri

Deneysel çalışmada kullanılan Al Si7 Mg2 MMK kompozit malzeme, Ortadoğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Kompozit Malzeme Üretimi Dökümhanesi'nde 90mm çapında ve 150 mm boyunda üretilmiştir. Üretimin ilk aşamasında matriks malzemesinin elde edilmesi için, ETİAL-140 alaşımına Si oranını % 7'ye düşürecek oranda % 99.9 saflıkta alüminyum ilave edilmiştir. Silisyum oranının ötektik nokta % 11.7'den çekilmesindeki temel amaç katılaşma aralığını genişleterek, takviyelerin matriks alaşımı tarafından ıslatılması için yeterli bir süre tanınmıştır. Takviyeleri ıslatma kabiliyetini arttırabilmek için % 2 Mg ilave edilmiştir. Seçilen malzemeye ait kimyasal özellikler Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Deneysel çalışmada kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi

Al	Si	Mg	Fe	Mn	Zn	Ni	Co	Cu	Ti
Kalan	7	2	0,54	0,38	0,110	0,074	0,116	0,13	0,086

Matriks alaşımının ergitilmesi sağlandıktan sonra içyapıda istenmeyen yapıların oluşumunu engellemek için yaklaşık 550 °C'de cüruf alınmış, 2 KW gücünde ve 1000 °C'ye çıkabilen indüksiyon ocağı fırınının kullanıldığı ergitme işleminde, takviyelerin (SiC) ilavesi ile oksidasyonu önlemek için koruyucu gaz olarak azot üflenmiştir. Takviye ilavesi yaklaşık 15gr/dak hızla yapılmıştır. Bu aşamada malzeme sıvı- katı aralığında olup, grafit bir çubukla karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi, partikül dağılımının homojen olmasına yardım etmek amacıyla karıştırıcı indüksiyon ocağı içerisinde yukarı-aşağı hareket ettirilmiştir. Partikül ilavesinden sonra, fırına verilen güç kesilerek eriyik sıvı-katı aralığına getirilmiş ve takviye-

matriks arayüzey oluşumunun başlanması sağlanmıştır.

Karıştırma işlemi, eriyik hamur haline gelene kadar ve mekanik zorlama ile devam edildikten sonra kompozit malzemenin sıcaklığı 750 °C'ye çıkarılıp metal kalıba dökülerek, 100 MPa'lık basınç, malzeme katılaşmaya kadar uygulanarak sıkıştırma döküm yöntemiyle kompozit malzeme elde edilmiştir.

Takviye malzemesi olarak matriks alaşımı ile iyi bir arayüzey bağı oluşturan ve kolay elde edilebilen, 10-30 µm boyutunda silisyum karbür (SiC) partiküller kullanılmıştır. Farklı boyutlarda partikül kullanılmasının sebebi; daha büyük boyutlu partiküllerin homojen karışım elde etmeye yardımcı olması, küçük partiküllerin daha fazla oranda kullanılması ise dayanım artışına yardımcı olmaktır. Takviye malzemesi olarak kullanılan SiC_p 'nin yoğunluğu 2,80 gr/cm³ olup, kompozit malzemenin spesifik mukavemet değerleri için önemli avantajlar sağlamaktadır [45].

Deneysel çalışmada kullanılan malzemenin yoğunluğu 2,73 gr/cm³ değerindedir. Brinell sertlik değeri 87 HB'dir. Malzeme üzerinde herhangi bir ısıl işlem yapılmamış, dökümden çıktığı gibi deneysel çalışmada kullanılmıştır. Çekme dayanımı 254 MPa değerindedir. Darbe dayanımı ise 0.36 Joule'dür [46].

4.2. Deneysel çalışmada kullanılan tezgah ve cihazlar

SiC partikül takviyeli Al Si7 Mg2 metal matriks kompozit malzemesinin delme karakteristiğinin incelenmesinde kullanılan otomatik ilerlemeli matkap tezgahı, bu çalışmaya proje desteği veren Dicle Üniversitesi Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından sağlanan finansal yardım ile alınan ZQ 5040A otomatik ilerlemeli sütunlu matkap tezgahıdır. Bu tezgaha ait teknik özellikler aşağıda verilmiştir (Tablo 4.2).

Matkap ucu aşınmasının ölçülmesi amacıyla kullanılan monoküler metal mikroskobu, aynı şekilde Dicle Üniversitesi Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından sağlanan destek ile alınmıştır. Mikroskopta; koaksiyal çalışan kaba ve ince ayar düğmeleri gövdenin her iki tarafında da bulunmalıdır. İnce netlik ayarı 0.002 mm. hassasiyetle ve 0.2 mm/ tur hareketlidir. Toplam düşey hareket 20 mm değerindedir. Metal mikroskobunda yapılan büyütme miktarları 10X, 40X ve 100X değerlerindedir.

Tablo 4.2. Deneyde kullanılan tezgaha ait özellikler

<i>OTOMATİK İLERLEMELİ SÜTUNLU MATKAP TEZGAHI</i>	ZQ 5040A
Maksimum Delme Kapasitesi	40 mm
Maksimum Kılavuz Çekme Devri	M27
Maksimum İş Mili Devri	180 mm
İş Mili Merkezi Sütun Arası Mesafe	350 mm
İş Mili Ucu Tablaya Maksimum Uzaklığı	635 mm
İş Mili Ucu Alt Tabla Arası Maksimum Uzaklığı	1225 mm
İş Mili Koniği	No 4
İş Mili Hız Aralığı	50-1800d /dak
İş Mili Hız Kademesi	4 adet
İş Mili Otomatik İlerleme	0,1-0,2-0,3-0,4 mm/dev
İş Tablası Ölçüsü	470x470 mm
Alt Tablası Ölçüsü	400x450 mm
T Kanal Sayısı	2-160x200 mm
Ana motor Gücü	2/2.4 kw
Soğutma Motor Gücü	0.085 kw
Tezgah Ölçüsü	1030x600x1950 mm
Ağırlık	580 kg

Delinmiş deliklerin yüzey pürüzlülüğünü ölçmek için kullanılan ölçü cihazı, Taylor-Hobson Surtronik 3+ modelidir.

Deneysel çalışmada kullanılan matkap malzemeleri iki farklı tipte seçilmiştir. Bunlardan bir tanesi, delik delme işlemlerinde yaygın olarak kullanılan HSS kesici takım malzemesidir. Diğeri ise, son yıllarda kullanımı artan sert metal malzemelerdir. Bu malzemelerden imal edilen matkap uçları yekparedir ve seçilen sert metal uç kalitesi K10 'dur. Matkap uçları kaplamasızdır. Matkap çapı olarak 10 mm seçilmiştir. Bunun nedeni yüzey pürüzlülüğü cihazının okuyucu kafasının deline deliğe rahatça girmesini ve okuma işlemini kolayca

tamamlamasını sağlamaktır.

Delik delme işlemlerinde iş parçası kalınlığı belirlenen matkap çapına göre alınır. İş parçası kalınlığı matkap çapının 3-5 katı değerlerinde olması uygun görülür. Bu nedenle, deneysel çalışmada seçilen iş parçası kalınlığı 30 mm olarak kabul edilmiştir.

Deneysel çalışmada seçilen kesme hızları, otomatik ilerlemeli sütunlu matkap tezgahının devir sayıları ile bağıntılıdır. Tezgahtaki devir sayısı ve kullanılan matkap çapı, kesme hızı değerinin hesaplanmasını sağlar. Kesme hızının hesaplanması için kullanılan ve devir sayısına bağlı olarak bilinen denklem:

$$n = 1000V / \pi d$$

şeklindedir. Burada; n : Devir sayısı (dev/dak), V: Kesme hızı (m/dak) ve d: Matkap çapı (mm) şeklindedir. Buna göre, tezgahtaki 180, 400, 900 ve 1800 dev/dak devir sayıları için, kullanılan matkap çapı 10 mm seçildiğine göre elde edilecek kesme hız değerleri 5.65, 12.56, 28.26 ve 56.52 m/dak olarak hesaplanır.

Deneysel çalışmada seçilen ilerleme değerleri de benzer şekilde matkap tezgahına bağlı olarak belirlenmiştir. Matkap tezgahındaki dört farklı ilerleme oranı değerleri, deneysel çalışmada kullanılmıştır. Bu değerler 0.1, 0.2, 0.3 ve 0.4 mm/dev 'dir.

Deneysel çalışmada kesme sıvısı kullanılmamış ve delme işlemleri kuru ortamda gerçekleştirilmiştir. Bundaki temel neden, talaşlı işlemede kesme sıvılarının kullanımından kaçınarak ortaya çıkan problemlerin azaltılması yönündeki genel eğilime uyulmasıdır.

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

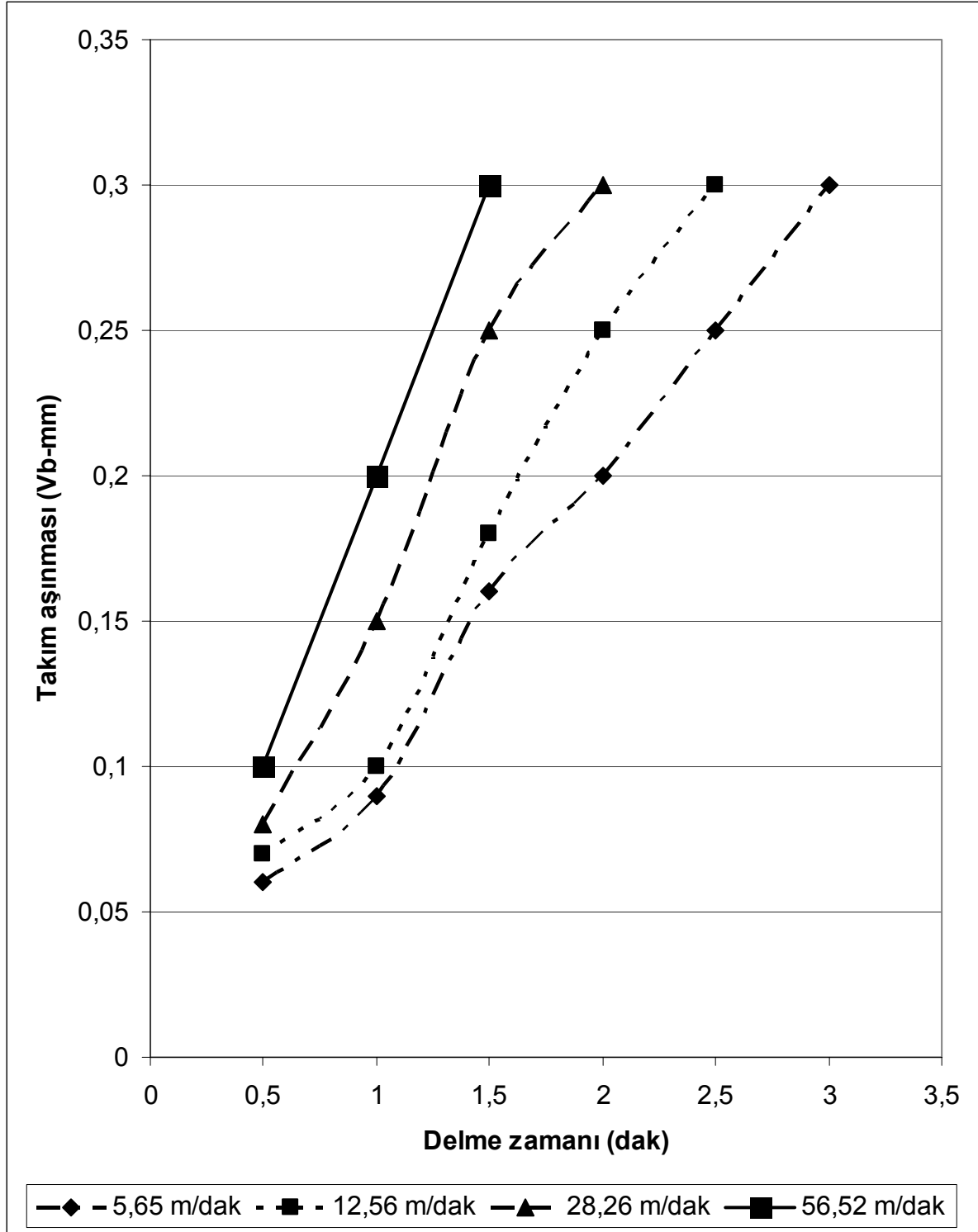
SiC partikül takviyeli alüminyum metal matriksli malzemelerin delinmesinin araştırılması konusunda yapılan deneysel çalışmalar ve elde edilen sonuçlar detaylı olarak incelenmiştir. Deneysel inceleme takım ömrü ve yüzey pürüzlüğü açısından yapılmıştır.

5.1. Takım ömrü

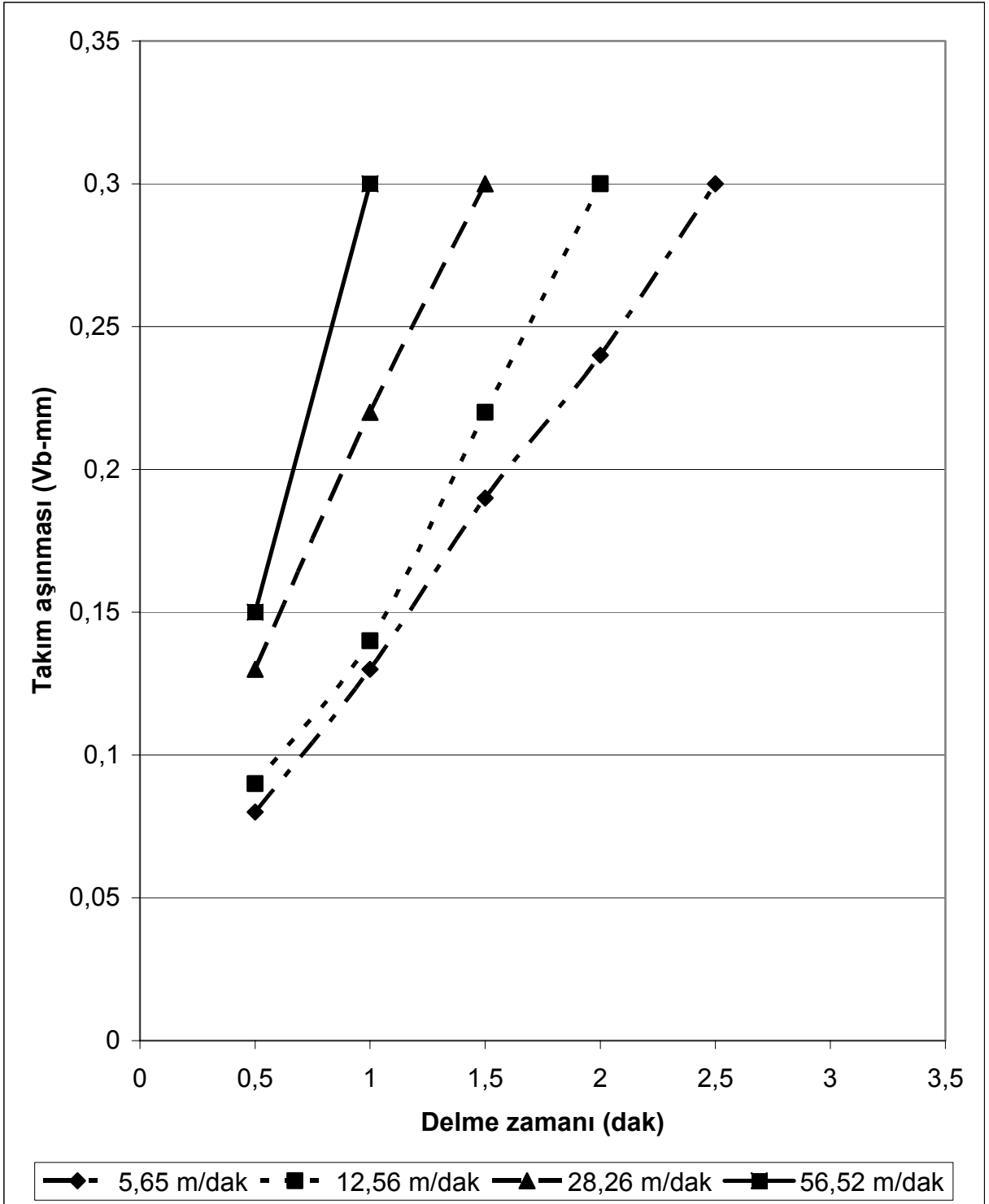
Delik delme işlemlerinde takım ömrü, matkap ucunda gerçekleşen aşınmaya bağlı olarak belirlenir. Takım aşınması olarak kesici uç kısmındaki ana kesici kenarda oluşan aşınma miktarı kabul edilmiş ve bu değer en fazla 0.3 mm değerinde olması kabul edilmiştir.

Deneysel çalışmada seçilen dört farklı kesme hızı değerinin takım aşınması üzerindeki etkileri farklı gerçekleşmiştir. Kullanılan matkap malzemesinin de etkisi söz konusudur. Yapılan deneysel çalışmada kullanılan HSS matkap malzemesine ait takım ömrü sonuçları, iki farklı ilerleme oranı değeri için Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de verilmiştir.

Şekiller incelendiğinde, yüksek kesme hızlarında matkaptaki aşınmanın yüksek olduğu, ve sonuçta takım ömrünün daha kısa olduğu görülmüştür. Düşük kesme hızlarında takım aşınması daha yavaştır, düşük kesme hızlarında takım ömrü buna bağlı olarak daha uzun olacaktır. En fazla aşınma en yüksek kesme hızında gerçekleşmiştir. Standart takım aşınması değeri olarak belirlenen $V_b = 0.3$ mm değerine en hızlı yüksek kesme hızının kullanılması durumunda gelinmektedir. Düşük kesme hızlarında standart takım aşınması değerine ulaşılması için geçen süre daha uzun olacaktır. Bu sonuçlar herhangi bir malzemenin talaşlı işlenmesinde ortaya çıkabilecek sonuçlardır. SiC partikül takviyeli alüminyum metal matriksli malzemenin delinmesinde ortaya çıkan sonuç, diğer malzemelerin delinmesinde ortaya çıkan sonuca göre takım aşınmasının daha hızlı sürede olmasıdır. Ortaya çıkan bu sonuç, genel olarak bu malzemelerin talaşlı işlenmesinde ortaya çıkan sonuçlarla uyumludur. Sonuç olarak, yapılan deneysel çalışmada HSS takımların kullanım açısından takım aşınmasının kısa sürede gerçekleştiği belirtilmelidir. HSS takımların kullanılması durumunda mümkün oldukça düşük kesme hızlarının seçilmesi uygun olacaktır.



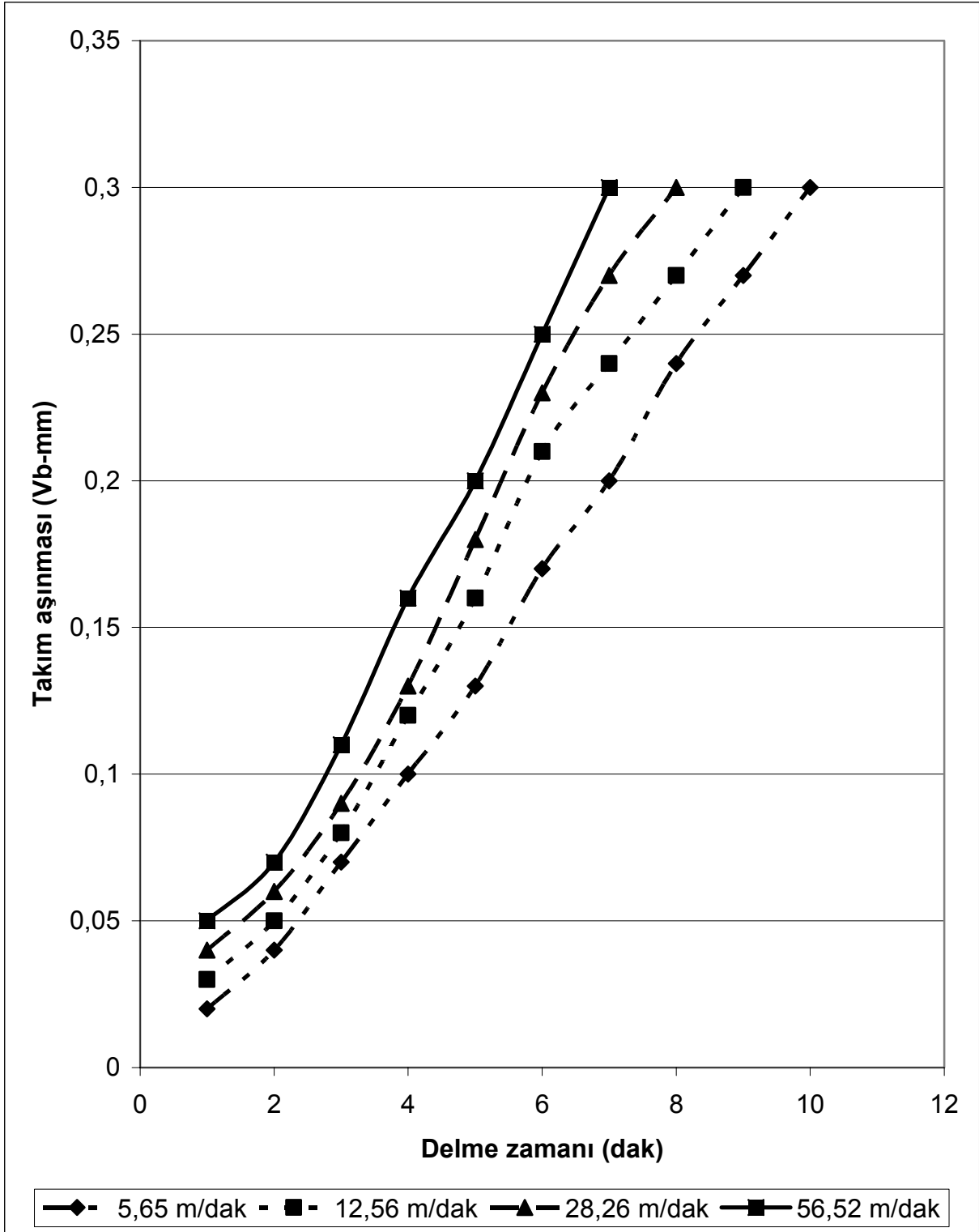
Şekil 5.1. Delik delmede takım aşınması değişimi
 Deneş şartları: Matkap malzemesi : HSS, İlerleme değeri $s=0.1$ mm/dev, Kuru işleme



Şekil 5.2. Delik delmede takım aşınması değişimi
 Deney şartları: Matkap malzemesi : HSS, İlerleme değeri $s=0.4$ mm/dev, kuru işleme

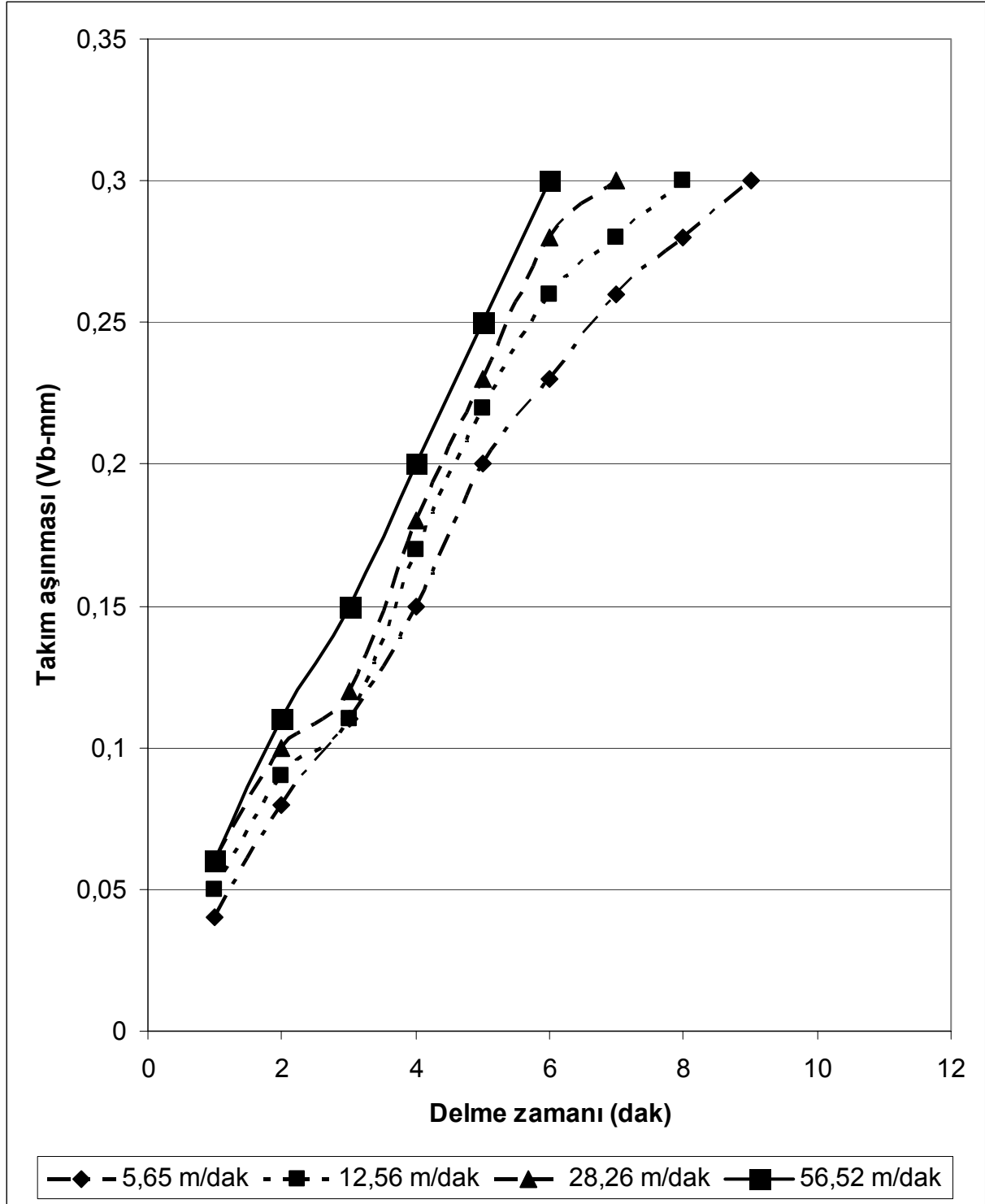
Matkap malzemesi olarak seçilen sert metal uçlu matkaplarla yapılan deneysel çalışmada ise elde edilen sonuçlar HSS matkap uç ile yapılan delme işlemlerine göre farklı çıkmıştır. Buradaki temel durum, HSS kesici takım malzemesinden yapılan matkap uçlarında takım aşınmasının hızlı gerçekleşmesi nedeniyle takım ömürlerinin kısaldığıdır. Bu nedenle birçok deneysel çalışmada, HSS takımlar kullanılmasına rağmen, bunlardaki takım aşınmasının fazla olması nedeniyle, SiC partikül takviyeli metal matriksli malzemelerin delinmesinde tercih edilmemesi gerektiği yönünde sonuçlar ortaya konmaktadır. Burada temel sorun, delik delme işlemlerinde HSS kesici takım malzemesinden yapılan matkapların çok aygın olarak endüstriyel uygulamalarda kullanılmasıdır. Ayrıca, HSS matkap uçları sert metal uçlu matkaplara göre çok daha ekonomiktir. Bu nedenle HSS kesici takım malzemesinden yapılan matkap uçlarının performanslarının artırılması, bunun için örneğin aşınmaya dirençli malzemeler ile kaplanmaları, yönünde çalışmalar söz konusudur.

Sert metal uç kesici takım malzemesinden imal edilmiş matkap uçları ile yapılan deneysel çalışmada, takım aşınması açısından ortaya çıkan sonuçlar Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'de verilmiştir. Deneysel olarak elde edilen sonuçlardan görülmektedir ki, kesme hızı takım aşınması üzerinde etken bir faktördür. Talaşlı işlemede bu durum her zaman bilinen bir gerçektir. Kesme hızı arttıkça takım aşınması artmakta ve sonuçta takım ömrü azalmaktadır. SiC partikül takviyeli metal matriksli malzemelerde de benzer sonuçlar ortaya çıkmıştır. Kesme hızı arttıkça takım aşınması artmıştır. Takım aşınmasının en az olduğu veya standart takım aşınması değerine en uzun zamanda ulaşılan kesme hızı değeri en düşük olandır. Kesme hızının düşük tutulması ile sağlanan uzun takım ömrü istenen bir durum olmasına rağmen, herhangi bir delme işleminde kullanılan kesme hızı talaş kaldırma miktarını doğrudan etkilemektedir. Düşük kesme hızları kullanıldığında talaş kaldırma miktarları az olmakta ve sonuçta herhangi bir delik delme işlemi daha uzun zaman almaktadır. Bu durum, talaşlı işlemede istenmeyen bir durumdur. Sonuçta optimum kesme hızının belirlenmesi gerekmektedir. Burada temel olarak hem takım aşınmasının az olduğu, hem de talaş kaldırma miktarının fazla olduğu şartların ortaya konması gerekmektedir. Bu iki şartın bir arada olması çok zordur ve bu nedenle talaş kaldırma miktarının fazla olmasını sağlamak amacıyla düşük kesme hızları yerine orta değerdeki kesme hızlarının seçilmesi daha uygun olacaktır. Set metal kesici takım malzemelerinden yapıla matkap uçları ile gerçekleştirilen delme işlemlerinde kesme hızı değerleri HSS matkap uçlarına göre biraz daha yüksek seçilebilir.



Şekil 5.3. Delik delmede takım aşınması değişimi

Deney şartları: Matkap malzemesi : Sert metal uç, İlerleme değeri $s=0.1$ mm/dev, Kuru işleme



Şekil 5.4. Delik delmede takım aşınması değişimi

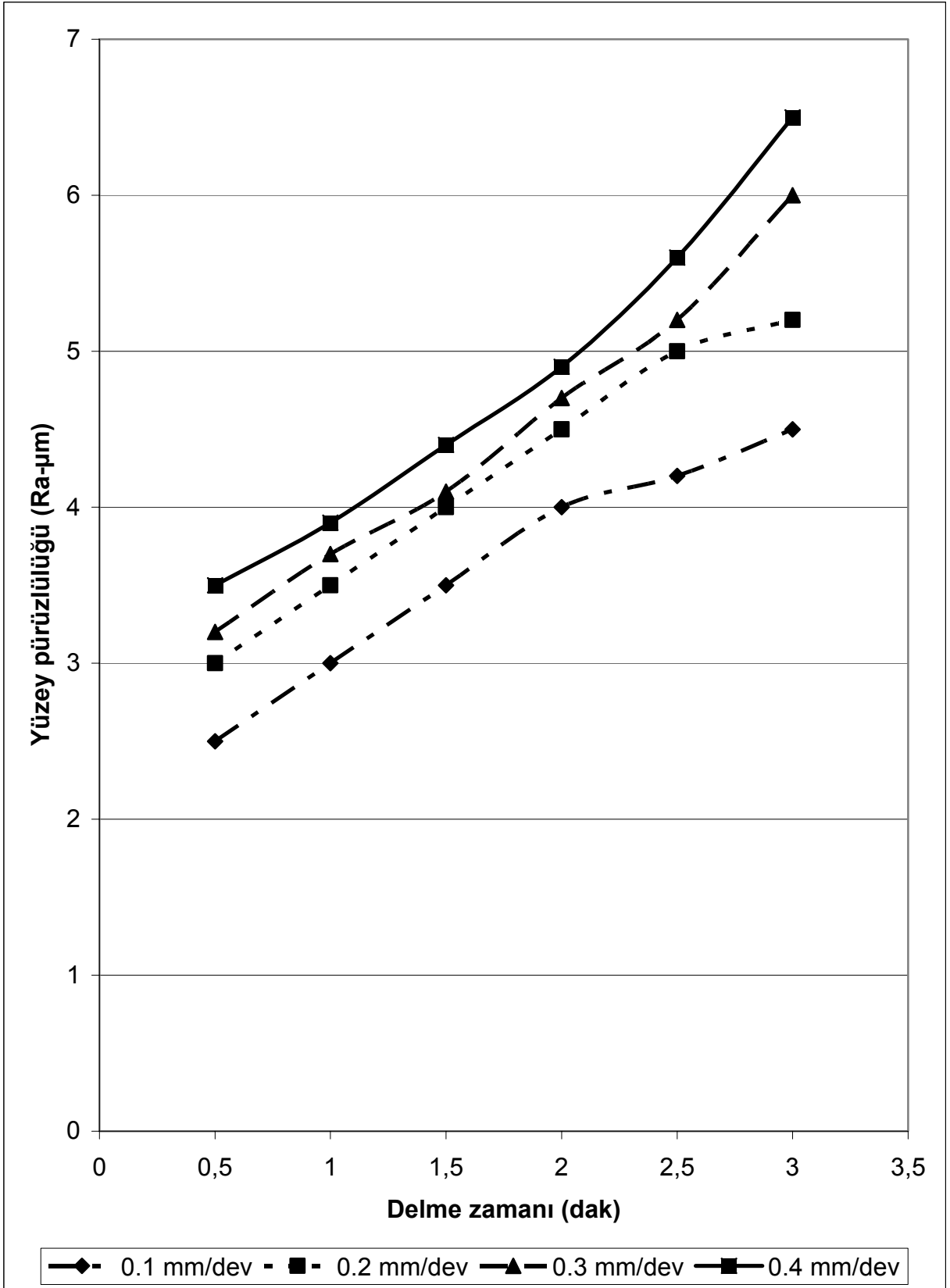
Deney şartları: Matkap malzemesi : Sert metal uç, İlerleme değeri $s=0.4$ mm/dev, Kuru işleme

5.2. Yüzey Pürüzlülüğü

SiC partikül takviyeli alüminyum metal matriksli kompozit malzemelerin delinmesi işleminde yapılan deneysel çalışmanın incelenen diğer faktörü yüzey pürüzlülüğü değeridir. Yüzey pürüzlülüğü incelemesinde hem kesici takım malzemesi, hem de ilerleme oranı değeri özellikle dikkate alınmıştır.

Yüzey pürüzlülüğü, işlenen malzemenin kalitesinin ortaya koyan bir parametredir. Boyutsal hassasiyet ve tolerans değerleri ile yüzey pürüzlülüğü arasında bağlantılı söz konusudur. Yüzey pürüzlülüğünün mümkün olduğunca düşük olması, talaşlı işlemede istenen bir durumdur. Bu nedenle talaşlı işlemede, bazı işleme yöntemlerinde ince işleme olarak belirtilen bir durum söz konusudur. İnce işlemede, istenen boyuta gelmeden önceki son talaş kaldırma işleminde veya işlemlerinde talaş kaldırma derinlikleri daha az verilir. Bu durum delme işleminde söz konusu değildir. Çünkü istenen boyut veya delik çapı tek bir aşamada elde edilmektedir. Bu nedenle delme işlemlerinde elde edilen yüzey kalitesini arttırmak için delme sonrası talaş kaldırma işlemlerinin uygulanması söz konusudur. Örneğin raybalama, bu amaçla yapılan ve delik delme işleminden sonra gerçekleştirilen bir talaş kaldırma işlemidir.

SiC partikül takviyeli alüminyum metal matriksli kompozit malzemelerin delinmesi konusunda yapılan deneysel çalışmada, yüzey pürüzlülüğü açısından yapılan değerlendirmede özellikle kesici takım malzemesinin ve ilerleme oranı değerinin etken faktörler olduğu ortaya çıkmıştır. Deneysel sonuçlar, takım malzemesi açısından incelendiğinde HSS kesici takım malzemesinden yapılan matkap uçları ile gerçekleştirilen delme işlemlerinde elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, sert metal uçlu matkaplara göre daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlar Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da gösterilmiştir. HSS kesici takım malzemesinden yapılan matkaplarla yapılan delme işlemlerinde, elde edilecek yüzey pürüzlülüğü değerleri, sert metal uçlu matkaplara göre daha fazladır. Burada takım aşınmasının da önemli olduğunu belirtmek gerekir. Çünkü, kesici takımdaki aşınmanın artması sonucunda, işlenen delik de etkilenecek ve yüzey kalitesinde azalma olacaktır. Aşınmış takım daha fazla sürtünecek ve talaşın oluşuma olumsuz etki edecektir. HSS matkaplarda takım aşınmasının fazla olması veya daha hızlı takım aşınmasının gerçekleşmesi sonucunda ortaya çıkan yüzey pürüzlülüğü değerleri de sert metal uçlu matkaplara göre daha fazla olacaktır. Bu sonuçlar deneysel çalışma sonucunda ortaya çıkan sonuçlarla uyumludur.



Şekil 5.5. Delik delmede yüzey pürüzlülüğünün değişimi
 Deney şartları: Matkap malzemesi : HSS, Kesme hızı $v=28,26$ m/dak, Kuru işleme

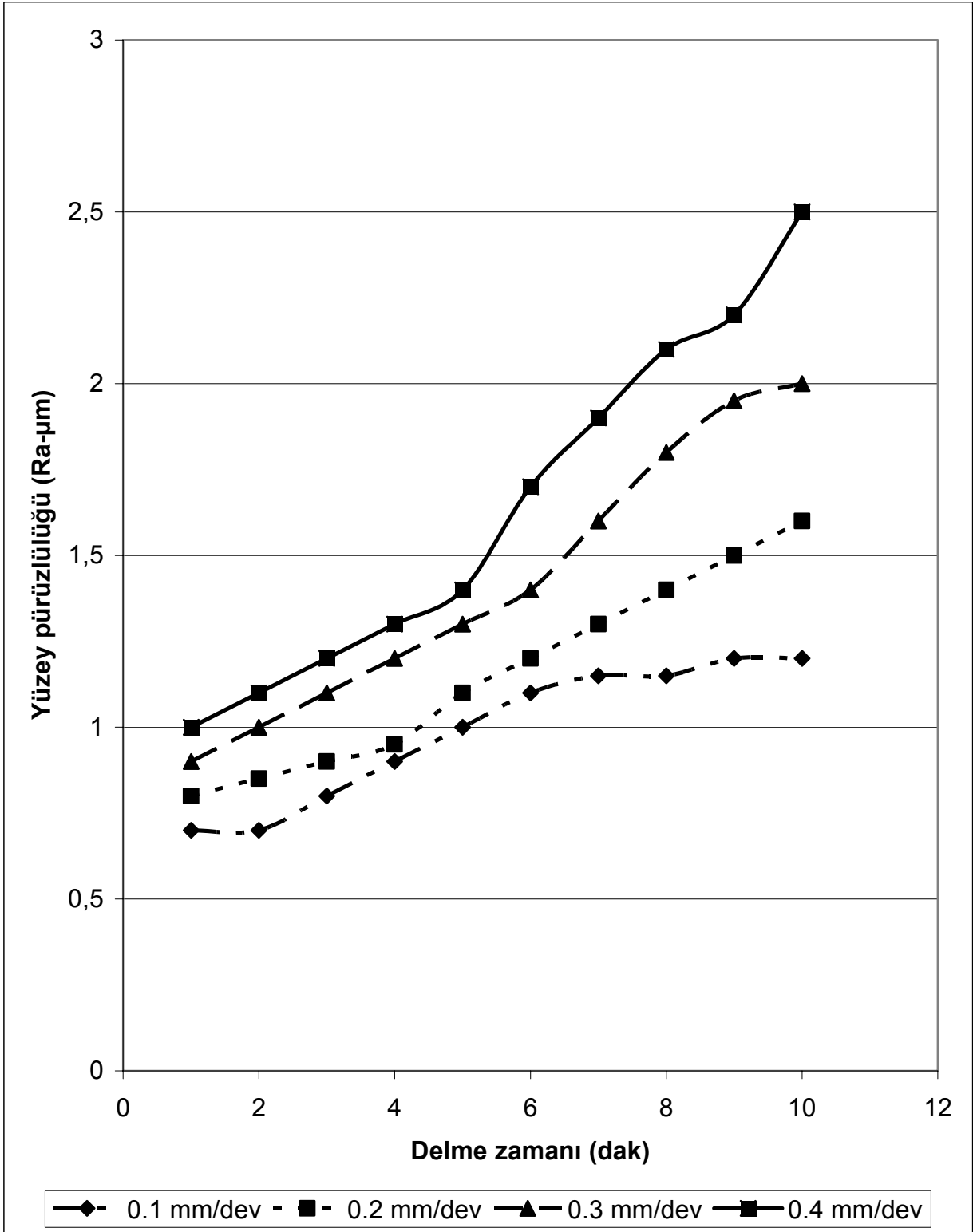
SiC partikül takviyeli alüminyum metal matriksli kompozit malzemelerin delinmesi sonunda ortaya çıkan yüzey pürüzlülüğü değeri sert metal uçlu matkaplarla yapılan deneysel çalışmaların sonucunda daha düşük olduğu görülmüştür. Sert metal uçların aşınmaya karşı dirençleri, HSS matkaplara göre daha fazladır. Bu durum, takım aşınmasında ortaya konmuş ve sert metal uçlu matkapların HSS matkaplara göre daha az aşındığı ve sonuçta daha uzun ömürlü oldukları yukarıda belirtilmişti. Yüzey pürüzlülüğü açısından bu durum önemli bir faktördür. Takım aşınmasının az olduğu bir talaşlı işlemede yüzey pürüzlülüğünde çok büyük değişimler veya olumsuzluklar gözlenmez. Bu durumda kesici takım malzemesinin özelliklerinin önemi ortaya çıkmaktadır.

Yüzey pürüzlülüğü açısından talaşlı işlemede etken olan faktörlerden en önemlisi ilerleme oranı değeridir. Yapılan birçok talaşlı işleme çalışmasında ortaya konmuştur ki, ilerleme değeri arttıkça yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. Bu nedenle son talaş kaldırma işlemlerinde ilerleme değeri düşük tutularak yüzey kalitesinin artırılması amaçlanmaktadır. Delme işleminde ince işleme yapılamayacağından ilerleme değerinin optimum seçilmesi önemlidir. Şekillerde iki farklı ilerleme oranı değeri için deneysel sonuçlar verilmiştir. En düşük ve en yüksek ilerleme oranları aynı kesme hızı değeri için verilerek karşılaştırma yapılabilmesi amaçlanmıştır. Görülmektedir ki, yüksek ilerleme oranlarında delinmiş deliklerde yüzey pürüzlülüğü değeri artmaktadır. Düşük ilerleme oranlarında ise yüzey pürüzlülüğü değerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, bu malzemelerin talaşlı işlenmesini kapsayan çalışmalarla uyumludur.

Yüzey pürüzlülüğü açısından delme işleminin kuru veya kesme sıvılı yapılması da önemlidir. Bu deneysel çalışmaların tamamı kuru delik delme olarak gerçekleştirilmiştir. Kesme sıvısının kullanılması durumunda yüzey pürüzlülüğü değerlerinin farklı çıkabileceği düşünülmelidir. Deneysel çalışmanın kuru yapılmasının nedeni, talaşlı işlemede kesme sıvısının kullanımdan kaynaklanan olumsuzlukların olumlu sonuçlarına göre daha fazla olması nedeniyle genel bir eğilim olarak talaşlı işlemlerin kuru yapılması yönündeki eğilimden kaynaklanmıştır.

5.3. Deneysel sonuçların değerlendirilmesi

SiC partikül takviyeli Al-MMK malzemelerin delinmesinin deneysel incelenmesinde elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:



Şekil 5.6. Delik delmede yüzey pürüzlülüğünün değişimi

Deney şartları: Matkap malzemesi : Sert metal uç, Kesme hızı $v= 28,26$ m/dak, Kuru işleme

- a. Bu malzemelerin delinmesi işleminde seçilecek matkap malzemesi önemlidir. Delik delme işlemlerinde en yaygın kullanılan kesici takım malzemesi HSS'dir ve bu malzemeden imal edilen matkaplar bu çalışmada kullanılmıştır. Son yıllarda yaygınlaşan sert metal malzemelerden yapılan matkap uçları da deneysel çalışmada kullanılmış ve HSS matkaplarla karşılaştırması yapılmıştır. Ortaya çıkan sonuç, sert metal kesici takım malzemesinden imal edilen matkapların performansının HSS kesici takım malzemesinden yapılanlara göre daha iyi olduğudur.
- b. Takım ömrü açısından yapılacak değerlendirmede, kesici takım malzemesi faktörü göz önüne alınmalıdır. Sert metal kesici takım malzemesinden imal edilen matkaplarla yapılan delme işlemlerinde takım aşınması HSS kesici takım malzemesi ile imal edilen matkaplara göre daha yavaş gerçekleşmektedir.
- c. Delik delme işlemlerinde seçilen iki işleme parametresi kesme hızı ve ilerleme oranıdır. Bu iki işleme parametresinden kesme hızının takım aşınması üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Düşük kesme hızların takım aşınması daha az iken, kesme hızı yükseldikçe takımdaki aşınmanın arttığı belirlenmiştir. Bu durum her iki kesici takım malzemesi için de benzer eğilim göstermiştir. Kesici takımdaki aşınma takım ömrünü etkilemekte, takım aşınması fazla olduğunda takım ömrü azalmaktadır.
- d. Yüzey pürüzlülüğü açısından ortaya çıkan sonuç, sert metal kesici takım malzemesinden imal edilen matkapların HSS matkaplara göre daha düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri verdiğidir. Burada kesici takım malzemesi açısından ortaya çıkan sonuç, takım aşınmasının az olduğu matkap ile yapılan delme işleminde yüzey kalitesinin daha iyi olacağıdır.
- e. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde etken olan işleme parametresi ilerleme oranıdır. İlerleme oranı değeri arttıkça yüzey pürüzlülüğü, her iki kesici takım malzemesi için, artmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü değerini azaltmak için düşük ilerleme oranı değerlerinin seçilmesi gereklidir.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

SiC partikül takviyeli Al temelli MMK malzemelerin delinmesi konusunda yapılan bu incelemede, hem önceki çalışmaların hem de yapılan deneysel çalışmaya bağlı olarak ortaya çıkan sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Bu konuda yapılan çalışmalar, aynı malzemenin diğer talaşlı işleme yöntemleri ile yapılan çalışmalar (örneğin tornalama ve frezeleme gibi) ile karşılaştırıldığında çok sınırlıdır.
2. Matkap malzemesi olarak kullanılacak takım malzemeleri sınırlıdır. HSS takımlarla yapılan delme işlemlerinde olumlu sonuçlar alınamamıştır. Buradaki temel sorun, aşındırıcı özelliğe sahip SiC partiküllerin matkap aşınması üzerindeki olumsuz etkisidir. Bu şartlar genel olarak düşük kesme hızı ve ilerleme değeri olarak belirtilebilir. Sert metal malzemedan yapılan matkaplar, HSS matkaplara göre delmede daha iyi sonuçlar vermektedir. Takım aşınmasının daha yavaş olduğu sert metal kesici takım malzemesinden imal edilmiş matkapların HSS matkaplar yerine tercih edilmesi uygun olacaktır.
3. Delmede kullanılacak kesme hızı değerleri öncelikle kullanılan matkap malzemesine bağlıdır. Deneysel çalışma sonucunda; SiC partikül takviyeli Al-MMK malzemelerin delinmesinde HSS matkapların kullanılması durumunda düşük kesme hızlarının tercih edilmesi uygun olacaktır. Yüksek kesme hızlarında HSS matkapların daha hızlı aşındığı gözlemlenmiştir. Sert metal kesici takım malzemesinden imal edilen matkapların kullanılması durumunda, seçilecek kesme hızları, HSS matkaplara göre daha yüksek olabilir. Takım aşınması açısından sert metalden imal edilmiş matkaplar HSS matkaplara göre daha iyi performans göstermektedir.
4. İlerleme değerlerinin seçilmesi de, benzer şekilde kesme hızının belirlemesindeki gibi, matkap malzemesine bağlı olarak yapılmalıdır. Aşınma direnci yüksek kesici takım malzemesinden imal edilmiş matkaplarla yapılacak delme işlemlerinde ilerleme oranı değerleri yüksek seçilebilir. Deneysel çalışma sonucunda,

sert metal kesici takım malzemesinden imal edilmiş matkaplarla yapılan delme işlemlerinde, HSS matkaplarla yapılacak delme işlemlerine göre daha yüksek ilerleme oranı değerleri seçilebilir. Bu durum özellikle yüzey pürüzlülüğü açısından önemlidir. İlerleme oranı değeri, işlenmiş yüzey kalitesi üzerinde önemli bir parametredir. Yüzey kalitesinin yüksek olması isteniyorsa, yüzey pürüzlülüğü değerinin düşük olması gerekmektedir. Bu durumda ilerleme oranı değerlerinin düşük seçilmesi uygun olacaktır.

Bu sonuçlara bağlı olarak, bundan sonra yapılacak deneysel çalışmada düşük kesme hızlarında HSS takımların performansını belirlemede ve bunların özellikle matkaptaki takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü açısından daha detaylı bir araştırma düşünülebilir. HSS matkaplar hem sert metaller hem de PCD matkaplara göre çok ucuzdur ve bu çalışmada ortaya konulabilecek delme performansı HSS matkaplarının yeniden düşünülmesine yol açabilir. Ayrıca uygun kesme hızı – ilerleme değerlerinin HSS matkaplar için belirlenmesi endüstriyel açıdan önemlidir; çünkü HSS matkaplarının bulunma olasılığındaki yükseklik ülkemiz açısından önemlidir.

Bu malzemelerin delinmesinde kullanılacak sert metal matkaplarda daha yüksek performans değerlerine ulaşmada neler yapılabileceği de araştırılacak konulardan bir tanesidir. Her ne kadar ülkemizde bu tip matkaplar üretilmemekte ise de deneysel sonuçların ortaya konması, karşılaştırma yapılması açısından önemlidir. PCD matkaplarla yapılan çalışmalar sonucunda, görünen odur ki yeni çalışmalar, özellikle işleme parametrelerinin geliştirilmesi yönünde olabilecektir.

Matkap geometrisi konusunda yapılan çalışmalar sınırlıdır ve bu konuda yapılabilecek çalışmalar önemlidir. Değişik matkap uç açılı çalışmaların yapılması ile ortaya çıkabilecek sonuçların değerlendirilmesi ve karşılaştırılması yapılabilir.

Kesme sıvıları konusunda (örneğin değişik kesme sıvılarının kullanılması) yapılabilecek çalışmalar, kuru delme ile karşılaştırmalı olmalıdır. Talaşlı işlemede yeni uygulamalar kesme sıvılarının kullanılmaksızın yapılması yönündedir ve bu eğilimin delme işleminde de uygulanması mümkündür. Böylece hem kesme sıvısı maliyetinden kaçınılmakta, hem de çevre ile uyumlu bir imalat yönteminin geliştirilmesi mümkündür. Bununla birlikte, delme işleminde kesme sıvısı kullanımı yerine gazların kullanılması düşünülebilir. Talaşlı

işleme yöntemlerinde (örneğin tornalama) yapılan bu çalışmaların delme işleminde de uygulanması söz konusudur [47].

Ayrıca delme işleminin soğuk gerçekleştirilmesi söz konusudur. “Soğuk talaşlı işleme” olarak adlandırılan bu metodun delme işleminde kullanılması ile olumlu sonuçların elde edilebileceği söylenebilir [48,49]. Bu yöntemin karşıtı olarak belirtilebilecek diğer bir talaşlı işleme yöntemi “sıcak talaşlı işleme” metodudur. Bu metodun da SiC partikül takviyeli Al-MMK malzemelerin delinmesinde kullanılması konusu değerlendirilebilecek bir çalışma alanıdır [49].

KAYNAKLAR

- [1] – AKKURT,M., 1996, Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları. Birsen Yayınevi. İstanbul. Türkiye
- [2] – ALTINTAŞ, Y., 2000, Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibration, and CNC Design. Cambridge University Press, UK
- [3] – ARMAREGO,E.J.A. ve BROWN,R.H., 1969, The Machining of Metals. Englewood Cliffs, New Jersey., 192.
- [4] – SCHAEFER, W.H., CHRISTION, J.L., 1969, Evaluation of the Structural Behavior of Filament Reinforced Metal Matrix Composites, Technical Report No: AFML – TR – 69 – 36 Vol:3, Air Force Materials Laboratory.
- [5] LUBIN, G., 1995, Handbook of Composites, Van Nostrand Reinhold Com., New York, ABD
- [6] –ARAN, A., (1997), Metal Matriksli Kompozit Malzemeler Alanında Yeni Gelişmeler, İ.T.Ü. Makina Fakültesi 1. Makina Mühendisliği Kongresi, (4 – 6 Haziran 1997), İstanbul.
- [7] – DEMİRKESEN Erdem, Kompozit Malzemeler, İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi Yayını, Yayın No:3/1991
- [8] –McGINTY, M.J., PREUSS, C.W., (1985), On High Productivity Machining,ASM Conference Material and Proses, Clevend OH, 231 – 244.
- [9] – KIYAK, M., ÇAKIR, O. ve ALTAN, E., (2002), Metal Matriksli Kompozit Malzemelerin Talaşlı Şekillendirilmesinde Kullanılan Kesici Takımlar, GAP IV. Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı, (6 – 8 Haziran 2002), Şanlıurfa – Türkiye
- [10] –CÖCEN, Ü., ÖNEL, K., (1997), Metal Matriksli Kompozitlerde Dayanım Artımı ve Düktilite, 7. Denizli Malzeme Sempozyumu, 138 – 145.
- [11] –JONES, M.J., (1987), Mechanics of Composite Materials, Scripta Book Company, Washington D.C., Mc Graw – Hill book Company, New York – A.B.D.
- [12] –ERDOĞAN, M., (1998), Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri, Cilt: II, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara – Türkiye.
- [13] –ERSOY, H.Y., (2001), Kompozit Malzemeler, Literatür Yayınları No: 66, İstanbul – Türkiye.
- [14] –TAYA, M., ARSENAULT, R.J., (1989), Metal Matrix Composites, Thermomechanical Behavior, Pergoman Pres.
- [15] – ŞAHİN, Y., (2000), Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Kitapevi, Ankara – Türkiye.

- [16] – ÖĞEL, B., GÜR, C. H., (2001), Non Destructive Microstructural Charaterization of Aluminium Matrix Composites by Ultrasonic Techniques, *Materials Characterization*, 47, 227 – 233.
- [17] – SINMAZÇELİK, T., (2001), Makine Elemanlarında Kompozit Malzeme Kullanımı, Özellikleri ve Tasarım İlkeleri, TMMOB Mak. Müh. Odası Makine Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi MATİT – 2001, 65 – 74.
- [18] – CLYNE, T. W., WITHERS, P. J., (1992), An Introduction to Metal Matrix Composites, *Material Science and Metalurgy*, 1, 318 – 340.
- [19] – GIROT, F. A., QUENISSET, J. M., NASLAIN, R., (1987), Discoutinously – Reinforced Aluminium Matrix Composites, *Composite Science and Technology*, 30, 155 – 184.
- [20] – LEVIN, M., KARLSSON, B., (1993), Fatigue Behavior of a Saffil–Reinforced Aluminium Alloy (6061), *Composite Science and Technology*, 24,
- [21] – GEÇGİNLİ, A. E., (1992), İleri Teknoloji Malzemeleri, İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi Yayını, İstanbul – Türkiye.
- [22] – LU, L., LAI, M. O., NEG, C. W., (1998), Enhanced Mechanical Properties of an Al Based Metal Matrix Composite Prepared Using Mechanical Alloying, *Materials Science and Engineering A252*, 203 – 211.
- [23] – MANNA, A., BHATTACHARAYYA, B., (2003), A Study on Machinability of Al / SiC – MMC, *Journal of Materials Processing Technology* 140, 711 – 716.
- [24] – ZHANG, F., SUN, P., LI, X., ZHANG, G., (2001), A Comparative Study on Microplastic Deformation Behavior in a SiC_p / 2024 Al Composite and Its Unreinforced Matrix Alloy, *Materials Letters* 49, 69 – 74.
- [25] – CASTRO, R. R., WETHERHOLD, R. C., KELETEMUR, M. H., (2002), Microstructure and Mechanical Behavior of Functional Graded Al A359 / SiC_p Composite, *Materials Science and Engineering A323*, 445 – 456.
- [26] – ŞAHİN, Y., (2003), Preparation and Some Properties of SiC Particle Reinforced Aluminium Alloy Composites, *Materials and Design* 24, 671 – 679.
- [27] - AVUNCAN, G., (1998), Talaş Kaldırma Ekonomisi ve Kesici Takımlar, Makina Takım Endüstrisi A.Ş. Yayını, İstanbul
- [28] – TOSUN, G., MURATOĞLU, M., (2004), The Drilling of Al / SiC_p Metal Matrix Composites Part II: Workpiece Surface Integrity *Composites Science and Technology*, 64, 1413 – 1418.

- [29] – MILLS, B. ve REDFORD, H.A., (1967), Machinability of Engineering Materials, Applied Science Publishers, Londra ve New York – İngiltere ve A.B.D.
- [30] – LIN, T.R., (2002), Cutting Behavior of a TiN – Coated Carbide Drill With Curved Cutting Edges During the High–Speed Machining of Stainless Steel, , Journal of Materials Processing Technology, 127, 8 – 16
- [31] – DAVIM, J.P., (2003), Study of Drilling Metal–Matrix Composites Based on the Taguchi Techniques, Journal of Materials Processing Technology, 132, 250 – 254
- [32] – TÖNSHOFF, H.K. ve MOHLFELD, A., (1997), PVD – Coatings for Wear Protection in Dry Cutting Operations, Journal of Materials Processing Technology, 93, 88 – 92
- [33] – KIYAK, M., ÇAKIR, O. ve ALTAN, E., (2003), CVD ve PVD Kaplama Yöntemlerinin Kesici Takımlara Uygulanması, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Konya Şubesi II. Makine Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi, (26 – 27 Eylül 2003), Konya – Türkiye.
- [34] – COLDWELL, H.L., DEWES, R.C., ASPINWALL, D.K., RENEVER, N.M., TEER, D.G., (2004), The Use of Soft/ Lubricating Coatings When Dry Drilling BS L168 Aluminium Alloy, Surface And Coating Technology, 177, 716 – 727
- [35] – KALIDAS, S., DEVOR, R.E. ve KAPOOR, S.G., (2001), Experimental Investigation of the Effect of Drill Coating on Hole Quality Under Dry and Wet Drilling Conditions, Surface and Coating Technology, 148, 117 – 128
- [36] – FAURE, C., HANNI, W., SCHMUTZ, C.J. ve GERVANONI, M., (1999), Diamond–Coated Tools, Diamond and Related Materials, 8, 830 – 833
- [37] – CHEN, M., JIAN, X.G., SUN, F.H., HU, B. ve LIU, X.S., (2002), Development of Diamond – Coated Drills and Their Cutting Performance, Journal of Materials Processing Technology, 129, 81 – 85
- [38] – YANMING, Q., QIXUM, Y. ve LIJING, X., (2002), Study on the Adaptability of Thick Film Diamond Tool to Cutting Composites, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 42, 501 – 504
- [39] – HANYU, H., KAMIYA, S., ODAGI, H., MURAKAMI, Y. ve SAKA, M., (2002), Development of High Performance Diamond – Coated Drills For Cutting High Silicon Aluminium Alloy, Thin Solid Films, 413 (2002), s:139 – 146
- [40] – DURANTE, S., RUTELLI, G., RABEZZANA, F., (1997), Aluminum-Based MMC Machining With Diamond-Coated Cutting Tools, Surface and Coatings Technology, 94-95, 632-640

- [41] – COELHO, R.T., YAMADA, S., ASPINWALL, D.K., WISE, M.L.H., (1995), The Application of Polycrystalline Diamond (PCD) Tool Materials When Drilling and Reaming Aluminium Based Alloys Including MMC, International Journal of Machine Tools Manufacturing, 35, 761-774
- [42] – ÇAKIR, O., (2003), Kesme Sıvıları, 3. GAP ve Sanayi Kongresi Bildiriler Kitabı, 18-19 Ekim 2003, Diyarbakır, 427-436
- [43] – HUNG, N.P., YEO, S.H., OON, B.E., (1997), Effect of Cutting Fluid on the Machinability of Metal Matrix Composites, Journal of Materials Processing Technology, 67 (1997) 157 – 161
- [44] – BOOTHROYD, G., (1965), Fundamentals of Metal Machining, Edward Arnold Ltd, Londra – İngiltere
- [45] – KILIÇKAP, E., (2003), Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [46] – ÖZBEN, T., (2001), Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [47] – ÇAKIR, O., KIYAK, M., ALTAN, E., (2004), Comparison of Gases Applications to Wet and Dry Cuttings in Turning, Journal of Materials Processing Technology, 153-154, 35-41
- [48] – ÇAKIR, O., KILIÇKAP, E., (2001), Metallerin Soğuk Talaşlı İşlenmesi, Makina Tasarım Ve İmalat Teknolojileri Kongresi (MATİT 2001) Bildiler Kitabı, 2-3 Kasım 2001, Konya, 279-286
- [49] – ÇAKIR, O. KIYAK, M., ALTAN, E., (2002), Cryogenic Machining: A Review, 4.GAP Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı (Cilt I), 6-8 Haziran 2002, Şanlıurfa, 277-284
- [48] – ALTAN, E., (1993), Sıcak Talaşlı İşleme, Metal Makina Dergisi, Ocak 1993, 12-17

TABLO LİSTESİ**Sayfa No**

Tablo 2.1. Metal, seramik ve plastik malzemelerin bazı özelliklerinin karşılaştırılması	21
Tablo 3.1. Kullanılmış değişik matkap uçları ile delinmiş olan deliklerin yüzey pürüzlülük miktarları (Ra)	43
Tablo 3.2. Değişik matkap uçları ile delinmiş olan deliklerin ortalama delik çapları (delik çapının kararlılığı)	44
Tablo 3.3. Kullanılmış değişik matkap uçları ile delinmiş olan deliklerin çaplarında meydana gelen büyüme veya küçülme miktarı	44
Tablo 3.4. Farklı matkap malzemelerinde kullanılan kesme hızı ve ilerleme değerleri için delme işleminde elde edilebilecek delik sayısı	48
Tablo 3.5. PCD malzemeli matkap ile yapılan delme işleminde farklı işleme zamanları (T, dak) ve ilerleme (s, mm/dev) değerleri için kesme hızının (v) matkap aşınması üzerindeki etkisi	49
Tablo 3.6. PCD malzemeli matkap ile yapılan delme işleminde farklı işleme zamanları (T, dak) ve ilerleme (s, mm/dev) değerleri için kesme hızının (v) delik yüzey kalitesi üzerindeki etkisi	49
Tablo 3.7. Matkap uç açısının delik yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi	53
Tablo 4.1. Deneyde kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi	57
Tablo 4.2. Deneyde kullanılan tezgaha ait özellikler	59

ŞEKİLLER LİSTESİ**Sayfa No**

Şekil 1.1. Helisel matkap ucu geometrisi	2
Şekil 1.2. Denklem (1.4)'ü ispatlamak için matkap ucunun bir kesici kenarının geometrik şeklidir	4
Şekil 1.3. Helisel matkap ucunun mekanik modeli	5
Şekil 1.4. Helisel matkap ucunun kesici ucunun (kesici ağızların kesiştiği düzlem) ve arka kısmının (helisel kanal ve kesici ağızın bittiği yer) üstten görünüşü	7
Şekil 1.5. Helisel matkap ucunun sahip olduğu değerler arasındaki geometrik bağlantı	10
Şekil 1.6. Kesici kenar boyunca matkap ucunun açı değerleri	14
Şekil 1.7. Delik delme prosesinde oluşumu ve talaş akışı ile oblik kesme açısının değerleri	14
Şekil 1.8. Matkap ucunun değiştirilmiş bir kaç görünüşü	18
Şekil 3.1. Elmas kaplanmış ve kaplanmamış olan kesici matkap uçları ömürlerinin delinen delik uzunluğu cinsinden karşılaştırılması	46
Şekil 3.2. Kaplamalı matkap kullanımının kaplamasız matkaba göre delik delme sayısının matkap aşınması üzerindeki etkisi	47
Şekil 3.3. Değişik ilerleme değerleri için kesme hızına karşılık takım ömrü	50
Şekil 3.4. Değişik ilerleme oranı değerleri için ve $V=85$ m/dak kesme şartlarında oluşan yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri	51
Şekil 3.5. Değişik ilerleme oranı değerleri için ve $V=75$ m/dak için kesme şartlarında oluşan yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri	51
Şekil 3.6. Değişik ilerleme oranı değerleri için ve $V=65$ m/dak kesme şartlarında oluşan yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri	52
Şekil 3.7. Değişik talaş açılarında bilenmiş matkap ucu ile %23 Si – Al alaşımı malzemesine delik delme operasyonunda kesici takımların performansının karşılaştırılması	53
Şekil 5.1. Delik delmede takım aşınması değişimi Deney şartları: Matkap malzemesi : HSS, İlerleme değeri $s=0.1$ mm/dev	62
Şekil 5.2. Delik delmede takım aşınması değişimi Deney şartları: Matkap malzemesi : HSS, İlerleme değeri $s=0.4$ mm/dev	63
Şekil 5.3. Delik delmede takım aşınması değişimi	

Deney şartları: Matkap malzemesi : Sert metal uç, İlerleme değeri $s=0.1$ mm/dev	65
Şekil 5.4. Delik delmede takım aşınması değişimi	
Deney şartları: Matkap malzemesi : Sert metal uç, İlerleme değeri $s=0.4$ mm/dev	66
Şekil 5.5. Delik delmede yüzey pürüzlülüğünün değişimi	
Deney şartları: Matkap malzemesi : HSS, Kesme hızı $v=28,26$ m/dak	68
Şekil 5.6. Delik delmede yüzey pürüzlülüğünün değişimi	
Deney şartları: Matkap malzemesi : Sert metal uç, Kesme hızı $v= 28,26$ m/dak	69

ÖZGEÇMİŞ

Zülküf DEMİR, 1975 yılında Kahramanmaraş'ta doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Diyarbakır'da tamamladı. Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makina Öğretmenliği Bölümü'nü 1998 yılında mezun oldu. Şu anda Silvan Mesleki ve Teknik Eğitim Merkezi'nde teknik öğretmen olarak görev yapmaktadır.