KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HSS-G, HSS-G Co ve HSS-G TiN MATKAPLARIN AA6082-T6 ALÜMİNYUM ALAŞIMINDA TALAŞLI İŞLEME PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

MEHMET SAİD BAYRAKLILAR

KOCAELİ 2014

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HSS-G, HSS-G Co ve HSS-G TiN MATKAPLARIN AA6082-T6 ALÜMİNYUM ALAŞIMINDA TALAŞLI İŞLEME PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

MEHMET SAİD BAYRAKLILAR

Doç.Dr. Sedat KARABAY
Danışman, Kocaeli Üniv. .....

Doç.Dr. Aziz Armağan ARICI
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv. .....

Yrd.Doç.Dr. Erdal KARADENİZ
Jüri Üyesi, Sakarya Üniv. .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 08.01.2014

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Günümüzde özellikle otomotiv sanayisinde hafif olması ve alaşımlandırılabilmesi yüksek mukavemet değerleri elde edilebilmesinden dolayı alüminyumun kullanım miktarı ve alanı her geçen gün artmaktadır.

Alüminyum alaşımlarının kullanılacak ürün haline gelebilmesi için birçok imalat prosesinden geçmesi gerekmektedir. Bu imalat proseslerinden en çok kullanılanı delik delme prosesidir.

Günümüzde delik delmek için birçok yöntem ve makine geliştirilmiştir. Ancak bu işlemlerden en kolay, en ucuz ve en çok kullanılan yöntem konvansiyonel yöntemdir. Alüminyum alaşımlarında olduğu gibi tüm delme işlemlerinde kullanılan alanlara göre en önemli delme parametreleri; takım ömrü, yüzey kalitesi ve çapak oluşumudur. Bu parametreleri iyileştirmek üzere birçok matkap ucu geliştirilmiştir. Geliştirilen bu matkap uçları her malzemede, malzemelerin farklı karakteristiklerinden, farklı sonuç verecek olmasından dolayı bu çalışmada, HSS-G, HSS–G Co ve HSS–G TiN matkap uçlarının AA6082-T6 malzemesinin delinmesinde delme parametrelerine etkisi incelenmiştir.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında ve tüm aşamalarında büyük emeği geçen değerli danışmanım Doç. Dr. Sedat KARABAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Teknopark bünyesinde yaptığım deneysel çalışmalarım için alt yapı hazırlayan ve yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Tamer SINMAZÇELİK'e teşekkürlerimi sunarım.

Kocaeli Üniversitesi bünyesinde yaptığım atölye çalışmalarında yardımlarından dolayı teknisyen Abdulkadir YAYLA'ya teşekkürlerimi sunarım.

SEM çekimlerinde yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Muzaffer ZEREN ve Yrd. Doç. Dr. Rıdvan YAMANOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans çalışmalarım süresince yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Asım GÜVEN, Arş. Gör. Erhan BALCI ve Arş. Gör. Mert TÜKEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans çalışmalarım süresince maddi manevi her konuda destek ve yardımlarını esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

Aralık-2013 M. Said BAYRAKLILAR

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR ..... **i**
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ vi
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR vii
ÖZET x
ABSTRACT xi
GİRİŞ 1
1. ALÜMİNYUM'UN GENEL ÖZELLİKLERİ 3
1.1. Alüminyumun Diğer Metallere Göre Avantajları 3
1.2. Alüminyum'un Kullanım Alanları 4
1.3. Alüminyum Alaşımları 4
1.3.1. 1000 serisi alüminyum alaşımları 5
1.3.2. 2000 serisi alüminyum alaşımları 5
1.3.3. 3000 serisi alüminyum alaşımları 5
1.3.4. 4000 serisi alüminyum alaşımları 5
1.3.5. 5000 serisi alüminyum alaşımları 6
1.3.6. 6000 serisi alüminyum alaşımları 6
1.3.7. 7000 serisi alüminyum alaşımları 6
2. METAL KESMENİN MEKANİĞİ 7
2.1. Giriş 7
2.2. Ortagonal Kesmenin Mekaniği 7
2.2.1 Birinci kesme bölgesi 11
2.2.2 İkinci kesme bölgesi 16
2.2.3. Üçüncü deformasyon bölgesi 18
3. KESME KUVVETLERİNİN MEKANİK MODELLENMESİ 20
4. KESME AÇISININ TEORİK TAHMİNİ 23
4.1. Maksimum Kesme Gerilmesi Prensibi 23
4.2. Minimum Kesme Gerilmesi Prensibi 23
5. EĞİK KESMENİN MEKANİĞİ 25
5.1. Eğik Kesme Geometrisi 25
5.2. Eğik Kesme Parametrelerinin Çözümlenmesi 27
5.2.1. Maksimum kesme gerilmesi prensibi 28
5.2.2. Minimum enerji prensibi 29
5.2.3. Ampirik yaklaşım 31
5.3. Kesme Kuvvetlerinin Tahmini 32
6. DELMENİN MEKANİĞİ 34
6.1. Radyal Kesme Ağzı 35
6.2. Kesme Ağzı 35
7. LİTERATÜR ÇALIŞMASI 42
8. DENEYSEL ÇALIŞMA 46

8.1. Deney Ekipmanlarının Tanıtımı 47
8.2. Deneylerin Yapılması 52
8.3. Deney Sonuçları 54
8.4. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi 55
8.4.1. Kuvvet ve tork ölçümlerinin değerlendirilmesi 55
8.4.2. Yüzey pürüzlülük ölçümlerinin değerlendirilmesi 60
8.4.3. Silindiriklik, ovalite ve doğrusallık ölçümlerin değerlendirilmesi 63
8.4.4. SEM görüntülerinin değerlendirilmesi 68
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 74
9.1. Sonuçlar 74
9.2. Öneriler 75
KAYNAKLAR 76
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 81
ÖZGEÇMİŞ 82

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Ortagonal kesme geometrisi 8
Şekil 2.2. Yamuk kesme geometrisi 9
Şekil 2.3. a) Üç şekil değiştirme bölgesi b) ortagonal kesmenin kesit görüntüsü 10
Şekil 2.4. Ortagonal kesmenin mekaniği 11
Şekil 5.1. Eğik kesme geometrisi 25
Şekil 5.2. Eğik kesmede kuvvet, hız ve kesme diyagramları 26
Şekil 5.3. Kesme açısı çözüm prosesi 29
Şekil 6.1. Helisel matkap geometrisi 34
Şekil 6.2. Helisel matkabın mekanik modeli 36
Şekil 6.3. Helisel matkap ucunda oyuk kesme ağzı kesişim düzleminin üstten görünüşü 37
Şekil 6.4. Kesme kuvvet doğrultuları 40
Şekil 7.1. AA6082 alaşımının yaşlandırma karakteristiği 44
Şekil 8.1. Deneylerde kullanılan matkap uçları 48
Şekil 8.2. Matkap tezgahı 49
Şekil 8.3. Kistler 9272 piezoelektrik dinamometre 50
Şekil 8.4. Kistler 5070 A amplifikatör 51
Şekil 8.5. Uç açısının kesme kuvvetleri ve kesme torklarına etkisi 52
Şekil 8.6. Test düzeneği şematik çizimi 52
Şekil 8.7. Test düzeneği fotoğrafı 53
Şekil 8.8. Deney görüntüsü 54
Şekil 8.9. 315 dev/dak kesme hızında dinamometreyle ölçülen ilk deliklerde oluşan ortalama kesme kuvvetleri 55
Şekil 8.10.315 dev/dak kesme hızında dinamometreyle ölçülen ilk deliklerde oluşan ortalama delme momentleri 56
Şekil 8.11.315 dev/dak kesme hızında dinamometreyle ölçülen son deliklerde oluşan ortalama kesme kuvvetleri 56
Şekil 8.12.315 dev/dak kesme hızında dinamometreyle ölçülen son deliklerde oluşan ortalama delme momentleri 57
Şekil 8.13.760 dev/dak kesme hızında dinamometreyle ölçülen ilk deliklerde oluşan ortalama kesme kuvvetleri 57
Şekil 8.14.760 dev/dak kesme hızında dinamometreyle ölçülen ilk deliklerde oluşan ortalama delme momentleri 58
Şekil 8.15.760 dev/dak kesme hızında dinamometreyle ölçülen son deliklerde oluşan ortalama kesme kuvvetleri 58
Şekil 8.16.760 dev/dak kesme hızında dinamometreyle ölçülen son deliklerde oluşan ortalama delme momentleri 59
Şekil 8.17.HSS-G TiN matkap ucu talaş sarılması 59

Şekil 8.18.AA6082 alüminyum alaşımının a) HSS-G b) HSS-G Co c) HSS-G TiN matkap uçlarıyla AA6082-T6 alüminyum alaşımının d) HSS-G e) HSS-G Co f) HSS-G TiN matkap uçlarıyla delinen deliklerin yüzey pürüzlülük test sonuçları 61
Şekil 8.19.760 dev/dak kesme hızında HSS-G Co matkap ucuyla AA6082-T6 malzemesine delinen deliklerin doğrusallık, ovalite ve silindiriklik test sonuçları..... 63
Şekil 8.20.760 dev/dak kesme hızında HSS-G (Taşlanmış) matkap ucuyla AA6082-T6 malzemesine delinen deliklerin doğrusallık, ovalite ve silindiriklik test sonuçları..... 64
Şekil 8.21.760 dev/dak kesme hızında HSS-G Co matkap ucuyla AA6082 malzemesine delinen deliklerin doğrusallık, ovalite ve silindiriklik test sonuçları..... 66
Şekil 8.22.760 dev/dak kesme hızında HSS-G TiN matkap ucuyla AA6082 malzemesine delinen deliklerin doğrusallık, ovalite ve silindiriklik test sonuçları 66
Şekil 8.23.Deneylerde kullanılan a) HSS-G b) HSS-G Co c) HSS-G TiN matkap uçlarının X18 büyütmedeki SEM görüntüleri 69
Şekil 8.24.AA6082 malzemesine a) HSS-G b) HSS-G Co c) HSS-G TiN matkap ucuyla AA6082-T6 malzemesine d) HSS-G e) HSS-G Co f) HSS-G TiN matkap ucuyla delinen deliklerin X250 büyütmedeki SEM görüntüleri 70
Şekil 8.25.Talaş şekillerinin sınıflandırılması..... 72
Şekil 8.26.Delme sırasında elde edilen talaş şekilleri 73

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Alüminyum alaşımlarının alaşım elementlerine göre sınıflandırılması 5
Tablo 1.2. 6082 kalite alüminyum alaşımının kimyasal bileşim aralıkları 6
Tablo 8.1. AA6082-T6 kimyasal bileşimi 46
Tablo 8.2. AA 6082-T6 fiziksel özellikler 46
Tablo 8.3. AA 6082-T6 mekanik özellikleri 46
Tablo 8.4. Matkap tezgahı teknik özellikler 50
Tablo 8.5. Deneylerde kullanılan matkapların özellikleri..... 51
Tablo 8.6. Deney planı..... 53
Tablo 8.7. Dinamometreyle ölçülen ortalama kesme kuvvetleri 54
Tablo 8.8. Delinen deliklerin yüzey pürüzlülük değerleri 62
Tablo 8.9. Delinen deliklerin ovalite test sonuçları 64
Tablo 8.10. Delinen deliklerin doğrusallık test sonuçları 64
Tablo 8.11. Delinen deliklerin silindiriklik test sonuçları 64

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

A_{ch} : Radyal kesme ağzı anlık girinti bölgesi alanı,[mm^2]
As : Kesme yüzeyi alanı,[mm^2]
b : Kesilmiş talaş genişliği,[mm]
c : İlerleme hızı,[mm/dev]
Cl_p : Aralık açısı
c_s : İş parçası ısı katsayısı,[Nm/kg°C]
c_t : İş parçası ısıl iletkenliği,[W/(m°C)]
d : Kesme bölgesi genişliği,[mm]
F_c : Bileşke kesme kuvveti,[N]
F_f : Düşey kesme kuvveti,[N]
F_{fc} : Bileşke düşey kesme kuvveti,[N]
F_{ff} : Serbest yüzey sürtünme kuvveti,[N]
F_{fn} : Serbest yüzey normal kuvveti,[N]
F_r : Radyal kesme kuvveti,[N]
F_s : Kesme yüzeyindeki kesme kuvveti,[N]
F_t : Teğetsel kesme kuvveti,[N]
F_{tc} : Bileşke teğetsel kesme kuvveti,[N]
F_u : Talaş yüzeyi sürtünme kuvveti,[N]
F_y : Talaş yüzeyi normal kuvveti,[N]
h : Kesilmemiş talaş kalınlığı,[mm]
HB : Brinell sertlik değeri
h_c : Kesme sonrası talaş kalınlığı,[mm]
i : Eğim açısı
K : İterasyon sayısı
K_{fc} : Eksenel kesme kuvvet sabiti,[N/mm^2]
K_{rc} : Radyal kesme kuvvet sabiti,[N/mm^2]
K_{tc} : Teğetsel kesme kuvvet sabiti,[N/mm^2]
L_c : Kesme yüzeyi uzunluğu,[mm]
L_p : Helisin sabit hatvesi
l_t : Talaş-talaş yüzeyi uzunluğu,[mm]
m_c : Kaldırılan talaş kütle debisi,[kg/s]
P_t' : Boyutsuz kesme gücü
P_{tc} : Kesme gücü
R : Takım çapı,[mm]
r_c : Talaş sıkıştırma oranı
R_T : Boyutsuz ısıl katsayı
s : Kesme bölgesi kalınlığı,[mm]
t : Zaman,[s]
T_c : Talaş sıcaklığı,[°C]
T_{int} : Talaş yüzeyi ortalama sıcaklık yükselmesi,[°C]
T_m : Talaş yüzeyi sıcaklığı,[°C]

T_r : Ortam sıcaklığı,[°C]
T_s : Kesme yüzeyi sıcaklığı,[°C]
V : Kesme hızı
VB : Serbest yüzey temas mesafesi,[mm]
V_c : Talaş hızı
V_s : Kesme yüzeyindeki kesme hızı
z : Kot farkı
α_f : Efektif talaş açısı
α_n : Normal talaş açısı
α_r : Talaş açısı
β_a : Ortalama sürtünme açısı
β_0 : Helis açısı
σ_f : Serbest yüzey gerilmesi,[N/mm^2]
σ_s : Normal gerilme,[N/mm^2]
μ_f : Serbest yüzey ortalama sürtünme katsayısı
μ_a : Talaş ortalama sürtünme katsayısı
ϕ_c : Kesme açısı
ϕ_n : Normal kesme açısı
ϕ_i : Eğik kesme açısı
η : Talaş akış açısı
ψ_c : Radyal kesme ağzı açısı
κ_t : Sivrilme açısı
τ_s : Kesme gerilmesi,[N/mm^2]
ρ : İş parçası yoğunluğu,[kg/m^3]
λ_h : Kesme bölgesi plastiklik iş katsayısı
λ_{int} : Ampirik düzeltme faktörü
λ_s : İş parçasına iletilen ısı oranı
δ : Boyutsuz katsayı
υ : İnterpolasyon oranı

Kısaltmalar

AA : Aluminum Alloy (Alüminyum Alaşımı)
ABD : Amerika Birleşik Devletleri
Al : Aluminum (Alüminyum)
Co : Cobalt (Kobalt alaşımlı)
Cr : Chrome (Krom)
Cu : Copper (Bakır)
Fe : Ferrous (Demir)
G : Ground (Taşlanmış)

HSS : High Speed Steel (Hız Çeliği)
Mg : Magnesium (Magnezyum)
Mn : Manganese (Mangan)
SEM : Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
Si : Silisium (Silisyum)
Ti : Titanium (Titanyum)
TiN : Titanyum Nitrür (Titanyum Nitrür kaplama)
Zn : Zinc (Çinko)

HSS-G, HSS-G Co ve HSS-G TiN MATKAPLARIN AA6082-T6 ALÜMİNYUM ALAŞIMINDA TALAŞLI İŞLEME PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada 0,1 mm/dev sabit ilerleme hızında AA6082-T6 alüminyum alaşımının delinmesinde kullanılan HSS-G, %5 Co alaşımlı HSS-G Co, ve TiN kaplamalı HSS-G TiN matkap uçlarının kesme kuvvetleri, kesme torku, silindiriklik, ovalite, doğrusallık, yüzey pürüzlülüğü gibi parametrelerine etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında T6 yapay yaşlandırması(180 °C/12 saat) yapılan AA6082 alüminyum alaşımı kesme hızlarının delme parametrelerine etkisinin incelenmesi için 315 dev/dak ve 760 dev/dak kesme hızlarında delinmiştir. Her matkap ucuyla 15 delik delinerek matkap aşınmaları gözlenmiştir. Tüm delme deneylerinde soğutma sıvısı kullanılmış, iş parçası dinamometreye sabitlenmiş ve dinamometrenin ölçtüğü değerler anlık olarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Delinen deliklerin yüzey kalitelerini karşılaştırabilmek için deliklerin silindiriklik, ovalite, doğrusallık ve yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Bunlara ek olarak takım aşınmaları ve deliklerin yüzey kaliteleri SEM fotoğrafları çekilerek'de ayrıca incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre TiN kaplamalı matkap ucu AA6082-T6 alüminyum alaşımının delinmesine uygun değildir. En iyi yüzey kalitesi sonuçları kobalt alaşımlı matkap ucuyla elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: AA6082, Delme, Kesme Kuvvetleri, Yüzey Kalitesi.

INVESTIGATION OF AA6082-T6 ALUMINUM ALLOY METAL PROCESSING PERFORMANCE WITH HSS-G, HSS-G Co and HSS-G TiN DRILL BITS

ABSTRACT

In this study, by keeping constant of feding rate as 0.1 mm/rev, the effect of three different drills made by 5% Co Alloyed and TiN coated and HSS-G on the cutting parameters related to cutting force, torque, cylindiricity, ovality and surface roughness of aluminum alloy AA6082-T6 have been investigated . Moreover, Working Material AA6082 prepared at condition of T6 (180 c/12 Hours) was machined at of 315 and 760[rev/ min] to detect contribution of of cutting speed onto cutting force and drill torque and surface characteristics of drill holes. Wearing of the diffrent drills were examined by performing 15 holes cut with each type of drills. All drilling Experiments were performed using coolant onto drill dynamometer which is connected with computer and data evaluation program next to the drill machine to collect machining data simultaneously. Have completed drill Works with different drills on AA6082-T6, ovality, cylindiricity and surface rougness were determined to show performance of the drill metals in actions. Machining characteristics of the material AA6082-T6 under different types of drills were detected by cutting of specimens in vertical position and taking SEM images. Additionally, wearing of the different drill materials after performing of machining operations of the material AA6082-T6 was examined by taking SEM images of the drill lips. As a conclusion TiN coated drill is not suitable for drilling of AA6082-T6 but it has the highest tool life. The best surface quality was obtained with cobalt alloy drill.

Keywords: AA6082, Drilling, Cutting Force, Surface Quality.

GİRİŞ

Alüminyum alaşımları mukavemetinin yüksek olması, yoğunluğu düşük olduğundan hafif olması, iyi fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı hem akademik alanda hem de endüstriyel alanda çok ilgi çeken malzemelerden birisidir [1]. Hafif malzemelere olan talebin artmasından dolayı alüminyumun kullanılma alanı gün geçtikçe genişlemektedir [2]. Otomotiv ve havacılık sektöründe ağırlıkla harcanan enerjinin orantılı olmasından dolayı yakıt tüketimini düşürmek ve aynı zamanda ihtiyaç duyulan mukavemetinde sağlanabilmesi için alüminyum alaşımlarına olan ilgi artmaktadır [3].

Bu çalışmada gemi sanayisi, demir yolu imalatı ve kamyon üretiminde ve birçok farklı alanda kullanılan AA6082 malzemesinin matkapla delme parametreleri incelenmiştir [4]. AA6082 yaşlandırma ısıl işlemiyle T6 sertlik değerine ulaştırılabilmektedir [5].

Malzemelerin şekillendirilmesinde kullanılan en önemli yöntem talaşlı şekil vermedir [6]. Talaşlı şekil verme operasyonlarının büyük bir kısmı delme operasyonlarıdır. Delme operasyonlarında; takım ömrü, yüzey kalitesi ve çapak oluşumu en önemli parametrelerdendir.

Takım ömrünün artmasıyla gereksiz takım masrafları azaltılmasının yanı sıra takımın sık sık sökülüp takılması gerektiğinde satın alınıp, gerektiğinde bilenmesi, zaman ve para kayıplarına yol açmaktadır. Takım ömrüyle ilgili yapılan çalışmaların amacı üretim maliyetini ve üretim zamanını minimuma indirebilmektir.

Yüzey kalitesi özellikle bağlantı elemanlarının kullanılacağı deliklerde çok önemli olmaktadır. Bazı uygulamalarda istenilen yüzey kalitesini elde edebilmek için delmeden sonra tekrar bir operasyon gerekmektedir. İkinci bir operasyonsa üretim maliyeti ve üretim zamanını olumsuz yönde etkileyecektir. Bu sebepten ötürü yüzey kalitesini iyileştirme çalışmaları önem arz etmektedir.

Bu çalışmada takım ömrünü iyileştirmek diğer bir deyişle bir matkap ucuyla daha fazla delik delebilmek için farklı matkaplar ve farklı kesme hızlarıyla delik delme işlemi yapılmıştır. Yapılan deneylerde HSS-G matkap ucu, %5 kobalt alaşımlı matkap ucu ve titanyum kaplamalı matkap uçları kullanılmıştır. Kesme hızı olarak 315 dev/dak ve 760 dev/dak seçilmiştir. Tüm delikler 6 mm çapındaki matkaplarla delinmiştir. Malzeme olarak 50 mm yüksekliğinde AA6082-T6 seçilmiştir. Delme işleminde soğutma sıvısı kullanılarak takımın ısınması engellenmiş ve takım ömrünü arttırmak hedeflenmiştir. Delme sırasında kesme kuvvetleri ve oluşan tork dinamometreyle ölçülmüştür.

1. ALÜMİNYUM'UN GENEL ÖZELLİKLERİ

Oksijen ve Silisyumdan sonra yaklaşık % 8'lik bir oranla en çok bulunan üçüncü element olan alüminyum doğada bileşikler halinde bulunur [7]. Doğada en çok bulunan üçüncü element olan alüminyumun varlığı 1808 yılında İngiliz Sir Humpry Davy tarafından keşfedilmiştir. 1886 yılında Paul Louis Toussaint Heroult (Fransa) ve Charles Martin Hall (ABD) birbirlerinden habersiz şekilde alüminyum üretim teknolojisi geliştirmişlerdir. Hall-Heroult yöntemi olarak halen kullanılan bu üretim teknolojisi alüminyum oksidi ergimiş kriyolitin içinde çözündürüp üzerinden güçlü bir elektrik akımı geçirilerek alüminyumun elektrolitin altında sıvı halde elde edilmesidir. 1888 yılında İsviçre ve ABD'de ilk alüminyum elektroliz haneleri kurulmuştur [8].

1.1. Alüminyumun Diğer Metallere Göre Avantajları

Alüminyumun diğer metallere göre birçok avantajı vardır. Bunlar;

1. Hafiflik
2. Alaşımlarında yüksek mukavemet
3. Tekrar kullanılabilirlik
4. Yüksek korozyon direnci
5. Plastik şekil verme kabiliyeti
6. Dövülebilirlik
7. İşlenebilirlik
8. Yüksek ısı ve elektriksel iletkenlik
9. Işık ve ısı yansıtıcılığı

Diğer metallere göre çevre dostu olan alüminyum neredeyse % 100 geri dönüştürülebilir. Günümüzde Türkiye'de ve birçok ülkede çevre dostu politikalar takip edilmesi alüminyumu diğer metallerden bir adım öne geçirmektedir [8].

1.2. Alüminyum'un Kullanım Alanları

Günümüzde ulaştırma sektöründe en çok rağbet gören konu çevreye verilen zararın ve enerji tüketiminin minimuma indirilmesidir. Alüminyumun neredeyse tamamı geri dönüştürülebildiğinden diğer metallere göre daha çevreci ve yüksek mukavemet değerlerine rağmen hafif olmasından dolayı ulaşım sektörünün vazgeçilmezi olmuş ve her geçen gün ulaşım sektöründe kullanılan alüminyum miktarı hızla artmaktadır [8].

Otomobillerde, uçaklarda, trenlerin yük taşıma ve yolcu kompartımanlarının yapımında, gemi sanayiinde gittikçe artan oranlarda alüminyum kullanılmaktadır [8].

Deniz araçlarında alüminyum, kamaralardan başlamak üzere gezinti teknelerine, kuru yük gemilerinin gövde kompartımanlarını oluşturan yapısal parçalardan tüm üst bina inşasına kadar ve pervanelerin üretilmesinde çok yoğun olarak kullanılmaktadır. Kriyojenik gazların deniz yoluyla taşınmasında ağırlıktan kazanılan miktarın daha fazla gaz taşınmasında kullanılabilmesi için kriyojenik gaz tankları da alüminyumdan inşa edilmektedir [8].

1.3. Alüminyum Alaşımları

Alüminyum hafif olması, korozyon direnci mükemmel olması ve yüksek yansıtıcılık özelliğine sahip olduğundan dolayı birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Alüminyumun bu avantajlarının yanında kullanılmak istenilen bazı alanlarda mukavemetinin yetersiz olmasından dolayı kullanılamamaktadır [8].

Alüminyumun daha farklı yerlerde de kullanabilmesi amacıyla alaşımlandırılarak mukavemeti arttırılmaktadır [8].

Alüminyum alaşımları saf alüminyuma belli oranlarda Mg, Si, Mn, Cu ve Zn katılmasıyla elde edilir, bu katılan elementlerin oranı alaşımın mekanik özelliklerini belirler (Tablo 1.1) [9].

Tablo 1.1. Alüminyum alaşımlarının alaşım elementlerine göre sınıflandırılması [10]

Seri	İçerik
1XXX	% 99 ve üzeri Al
2XXX	Cu
3XXX	Mn
4XXX	Si
5XXX	Mg
6XXX	Mg ve Si
7XXX	Zn
8XXX	Diğer elementler
9XXX	Kullanılmayan dizin

1.3.1. 1000 serisi alüminyum alaşımları

Alaşımdaki alüminyum oranı % 99 olduğundan alaşımsız alüminyum da denilmektedir. % 1 oranında alaşım elementi içerir. Soğuk işleme uygundur [10].

1.3.2. 2000 serisi alüminyum alaşımları

Alüminyum alaşımları arasında ağırlıkça en fazla bakır (Cu) elementi içeren alüminyum alaşımıdır. Çökelme sertleşmesi ile sertleştirilerek çok yüksek mukavemet değerlerine ulaştırılabilir. Dezavantajı gerilmeli korozyon çatlamasına karşı dayanıklı olmamasıdır [10].

1.3.3. 3000 serisi alüminyum alaşımları

Alüminyum alaşımları arasında ağırlıkça en fazla manganez (Mn) elementi içeren alüminyum alaşımıdır. Soğuk işleme uygundur [10].

1.3.4. 4000 serisi alüminyum alaşımları

Alüminyum alaşımları arasında ağırlıkça en fazla silisyum (Si) elementi içeren alüminyum alaşımıdır [10].

1.3.5. 5000 serisi alüminyum alaşımları

Alüminyum alaşımları arasında ağırlıkça en fazla magnezyum (Mg) elementi içeren alüminyum alaşımıdır. Soğuk işlem yoluyla sertleştirilerek çok yüksek mukavemet değerlerine ulaştırılabilir [10].

1.3.6. 6000 serisi alüminyum alaşımları

Alüminyum alaşımları arasında ağırlıkça en fazla magnezyum (Mg) ve silisyum (Si) elementleri içeren alüminyum alaşımıdır. Çökeltme serleştirmesi yöntemiyle mukavemet değerleri arttırılabilir. Bu tez çalışmasında kullanılan 6000 serisinden 6082 kalite alüminyum alaşımının ağırlıkça element oranları Tablo 1.2'de verilmiştir [10].

Tablo 1.2. 6082 kalite alüminyum alaşımının kimyasal bileşim aralıkları [10]

Element	Kimyasal Bileşim Aralığı
Zn	< 0,2
Mg	0,6 – 1,2
Cu	< 1
Cr	< 0,25
Mn	0,4 – 1
Fe	< 0,5
Si	0,7 – 1,3
Ti	< 0,1
Al	Kalan

1.3.7. 7000 serisi alüminyum alaşımları

Alüminyum alaşımları arasında ağırlıkça en fazla çinko (Zn) elementi içeren alüminyum alaşımıdır. Çökeltme sertleştirmesi ile sertleştirilerek alüminyum alaşımları arasında en yüksek sertlik değerlerine ulaştırılabilir [10].

2. METAL KESMENİN MEKANİĞİ

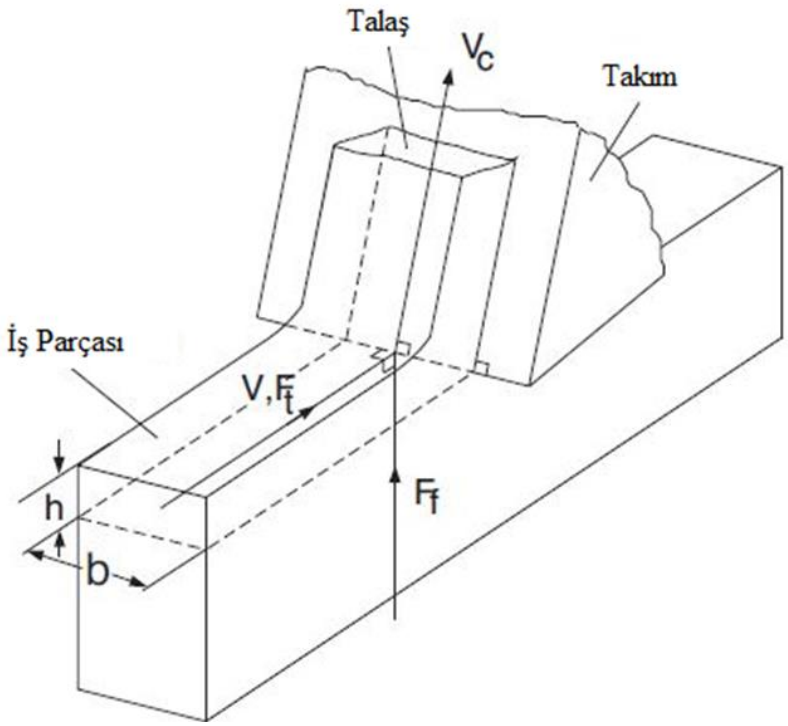
2.1. Giriş

Makine elemanlarının birçoğu nihai şekline talaşlı şekil verme yöntemleriyle ulaşır. Dövme, haddeleme ve döküm gibi şekillendirme yöntemleriyle üretilen parçalar bu işlem sonucunda genellikle istenilen şekil, ölçü ve yüzey kalitesine getirmek amacıyla yine talaşlı şekil verme yöntemleri kullanılır. Talaşlı şekil verme yöntemleri kesme ve taşlama olarak iki ana grupta incelenebilir. Kesme operasyonu iş parçasından malzeme kaldırma işlemidir. Kesme operasyonundan sonra yapılan taşlama işlemi ise istenilen yüzey kalitesi ve parça ölçülerine getirme işlemidir. En yaygın kesme operasyonları tornalama, frezeleme ve delmedir. Bunların yanında özel işlemler için türetilmiş olan boring, broşlama, azdırma, planyalama gibi yöntemlerde vardır. Tüm metal kesme operasyonları aynı mekanik prensibe sahip olsa da kinematik ve geometrileri birbirlerinden farklıdır. Bu bölümde kesme operasyonlarının mekaniği ve değişik şekil verme operasyonlarının özel analizleri yerine kesme mekaniğinin temelleriyle ilgili kısa bilgiler verilecektir [11].

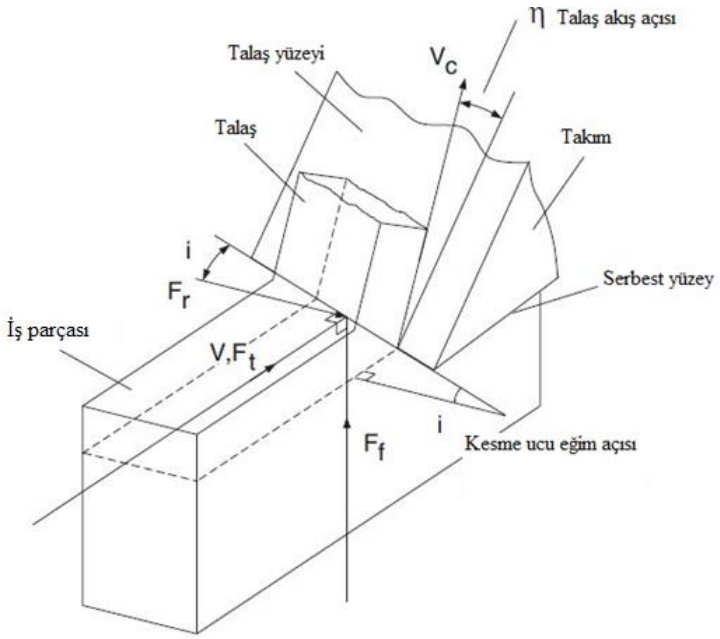
2.2. Ortagonal Kesmenin Mekaniği

En çok kullanılan kesme yöntemleri üç boyutlu ve karmaşık şekiller olmasına rağmen bu bölümde kolaylaştırmak amacıyla iki boyutlu ortagonal kesme, talaş kaldırmanın genel mekaniği olarak anlatılacaktır. Ortagonal kesmede, kesme yüzeyi tarafından iş parçasından ayrılan malzemeye talaş denilir. Talaş kesme doğrultusuna dik bir şekilde iş parçasından kaldırılır. Üç boyutlu ve eğik kesme operasyonlarının geometrik ve kinematik değişim modellerinin iki boyutlu kesme operasyonlarıyla aynı olduğu kabul edilir. Ortagonal ve eğik kesme geometrileri sırasıyla Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Ortagonal kesmede kesmenin kesme yüzeyi boyunca uniform olduğu kabul edilir. Bu sayede talaşın sağa sola gitmediği kabul edilmiş olur. Bunun sonucunda kesme kuvvetlerinin sadece kesme doğrultusunda gerçekleştiği kabul edilmiş olur. Bu kesme kuvvetleri kesme doğrultusuna teğet olan

F_t ve kesme doğrultusuna dik olan F_f kuvvetidir. Ancak eğik kesmede, kesme yüzeyi eğim açısı (i) kadar döndürülür, bunun sonucunda üçüncü bir kuvvet olarak radyal doğrultuda F_r kuvveti oluşur.



Şekil 2.1. Ortagonal kesme geometrisi [11]

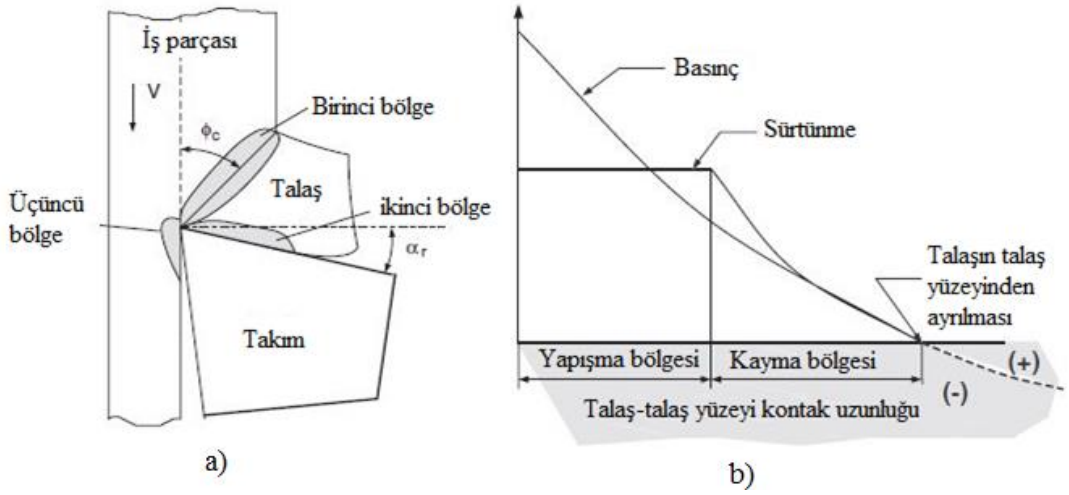


Şekil 2.2. Yamuk kesme geometrisi [11]

Kesme prosesinde oluşan üç şekil değiştirme bölgesi ve ortagonal kesmenin kesit görüntüsü Şekil 2.3'de gösterilmiştir. Takımın kesme ağzı iş parçasının içerisine girdiğinde, birinci kesme bölgesinde takımın ucundaki malzeme iş parçasından ayrılır ve talaş formu oluşur. Talaş, talaş yüzeyi boyunca hareket eder ve deforme olur, buna ikinci deformasyon bölgesi denilir.

Takımın işlenmiş yüzeyiyle temas eden serbest bölge diğer bir deyişle sürtünme bölgesi üçüncü bölge olarak adlandırılır. Talaş öncelikle takımın talaş yüzeyine yapışır, bu bölgeye yapışma bölgesi denilir. Hareket eden talaş, takımın talaş yüzeyine takıldığında sürtünme kuvveti yaklaşık olarak malzemenin kayma gerilmesine eşit olur. Daha sonra talaş, talaş yüzeyinden ayrılır ve sabit kayma sürtünme katsayısıyla talaş yüzeyinden kaymaya başlar. Takımdan ayrılan talaş, talaş yüzeyinden uzaklaşır. Talaşın talaş yüzeyine yapışma uzunluğu kesme hızı, takım geometrisi ve malzeme özelliklerine bağlıdır. Birinci kesme bölgesi analizlerinde iki ana varsayım vardır. Merchant [12] kesme bölgesini ince bir katman varsayarak ortagonal kesme modeli geliştirmiştir. Lee ve Shaffer [13] ve Palmer ve Oxley [14] gibi araştırmacılar ise analizlerini kalın kesme deformasyon bölgesine dayanarak ve plastisite kanunlarına göre "kesme açısı tahmini" modelleri önermişlerdir. Bu

çalışmada kolaylık olması için birinci kesme deformasyon bölgesinin ince bir bölge olduğu kabul edilmiştir.



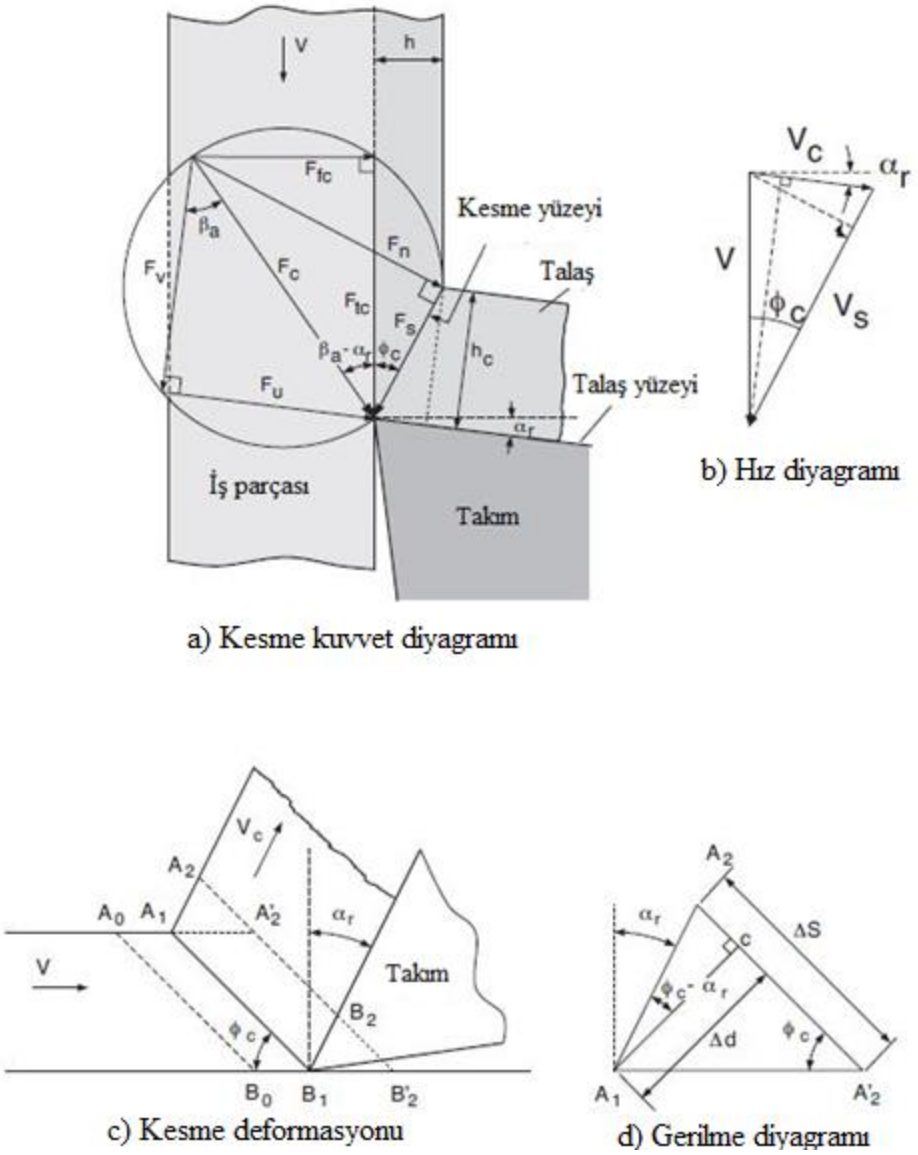
Şekil 2.3. a) Üç şekil değiştirme bölgesi b) ortagonal kesmenin kesit görüntüsü [11]

Kesme hızı (V) ve kesme yüzeyi arasındaki açı kesme açısı ϕ_c olarak tanımlanmıştır. Kesme yüzeyindeki kesme gerilmesi (τ_s) ve normal gerilme (σ_s) sabit olarak kabul edilmiştir. Kesme yüzeyi üzerinde olduğu kabul edilen talaş üzerindeki bileşke kuvvet F_c, talaş yüzeyinde talaş-takım kontak bölgesindeki F_c kuvveti ile dengededir. Talaş ve talaş yüzeyi arasında ortalama sabit bir sürtünme olduğu, üçüncü bölgeden kaynaklı kuvvetlerin sıfır olduğu, talaş ve talaş yüzeyi arasındaki sürtünmeden ve kesme sürecinden kaynaklanan tüm kesme kuvvetlerinin sabit olduğu kabul edilmiştir. Kuvvetler dengesinden bileşke kuvvet F_c;

$$F_c = \sqrt{F_{tc}^2 + F_{fc}^2} \tag{2.1}$$

Besleme kuvveti (F_{fc}) henüz kesilmemiş olan talaş kalınlığı doğrultusunda, teğet kesme kuvveti (F_{tc}) ise kesme hızı (V) doğrultusundadır. Takım üzerindeki kesme kuvvetleriyle, talaş üzerindeki kesme kuvvetleri eşit genlikte ancak zıt yöndedir. Ortagonal kesmede yukarıda anlatılan üç bölgenin mekaniği aşağıda belirtilmiştir [11].

2.2.1 Birinci kesme bölgesi



Şekil 2.4. Ortagonal kesmenin mekaniği [11]

Şekil 2.4'de ortagonal kesme prosesinin kesit görünüşünde, deformasyon geometrisi ve kesme kuvvetleri gösterilmiştir. Kesme kenarının radyus ve pah kırılmamış keskin bir kenar olduğu ve deformasyon bölgesinin oldukça ince olduğu kabul edilmiştir.

Kesme yüzeyindeki kesme kuvveti (F_s);

$$F_s = F_c \cos(\phi_c + \beta_a - \alpha_r) \tag{2.2}$$

Ortalama sürtünme açısı β_a; takımın talaş yüzeyiyle hareketli talaş arasındaki açıdır. Kesme kuvveti, besleme kuvveti ve teğetsel kesme kuvvetinin fonksiyonu olarak ifade edilirse;

$$F_s = F_{tc}\cos\phi_c - F_{fc}\sin\phi_c \tag{2.3}$$

benzer şekilde, kesme yüzeyindeki normal kuvvetler;

$$F_n = F_c \sin(\phi_c + \beta_a - \alpha_r) \tag{2.4}$$

veya,

$$F_n = F_{tc}\sin\phi_c + F_{fc}\cos\phi_c \tag{2.5}$$

Kesme yüzeyinde gerilim dağılımı uniform kabul edilirse, kesme gerilmesi τ_s;

$$\tau_s = \frac{F_s}{A_s}, \tag{2.6}$$

kesme yüzey alanı A_s;

$$A_s = b\frac{h}{\sin\phi_c} \tag{2.7}$$

Burada b kesilmiş talaş genişliği, h kesilmemiş talaş kalınlığı ve ϕ_c kesme hızı doğrultusu ile kesme yüzeyi arasındaki açıdır. Kesme yüzeyindeki normal gerilme σ_s;

$$\sigma_s = \frac{F_n}{A_s} \tag{2.8}$$

Kesme hızı iki elemana ayrıştırılırsa (bakınız Şekil 2.4 hız diyagramı). Malzeme iş parçasından V_s kesme hızıyla uzaklaşır,

$$V_s = V\frac{\cos\alpha_r}{\cos(\phi_c - \alpha_r)} \tag{2.9}$$

Kesme yüzeyinde kesme için harcanan güç;

$$P_s = F_s V_s \tag{2.10}$$

Sıcaklık cinsinden yazılmak istenirse kesme yüzeyindeki ilgili sıcaklık (T_s) artar;

$$P_s = m_s c_s (T_s - T_r) \tag{2.11}$$

Buradaki m_c ayrılan metal oranı [kg/s], c_s ise iş parçasının ısı katsayısı [Nm/kg°C], ve T_r ortam sıcaklığıdır. Ayrılan metal oranı kesme prosesinden bulunur;

$$m_c = Q_c \rho;\ Q_c = bhV[m^3/s] \tag{2.12}$$

Buradaki ρ [kg/m3] iş parçasının yoğunluğudur. Kesme yüzeyi sıcaklığı (T_s), Eşitlik (2.11)'den hesaplanırsa;

$$T_s = T_r + \frac{P_s}{m_c c_s} \tag{2.13}$$

Yukarıdaki formül dikkate alınırsa tüm plastik deformasyonlar sadece kesme yüzeyinde olur ve tüm sıcaklık kesme yüzeyinde tüketilir. Bu kabul Boothroyd [15] tarafından ortaya atılan sıcaklık tahmininin abartılı olduğunu gösterir, Boothroyd [15] plastik deformasyonun bir kısmı kesme bölgesinde ve sıcaklığın bir kısmını iş parçası ve talaşın harcadığını ve kesme yüzeyinden uzaklaştığını dile getirmiştir. Oxley [16] aşağıda gösterilen modifiye edilmiş sıcaklık tahmini eşitliğini kullanmıştır;

$$T_s = T_r + \lambda_h (1 - \lambda_s) \frac{P_s}{m_c c_s} \tag{2.14}$$

Burada $\lambda_h (0 < \lambda_h \leq 1)$ kesme bölgesi dışındaki plastik işi ifade eden katsayı, λ_s ise iş parçasına iletilen ısı oranıdır. Aşağıdaki deneysel ampirik eşitlikten, karbon çeliği yüzey için λ_h ortalama değeri $\lambda_h \approx 0{,}7$ [11, 16];

$$\lambda_s = 0,5 - 0,35\log(R_T \tan\phi_c) \rightarrow 0,04 \le R_T \tan\phi_c \le 10$$
$$\lambda_s = 0,3 - 0,15\log(R_T \tan\phi_c) \rightarrow R_T \tan\phi_c \ge 10 \qquad (2.15)$$

Burada ϕ_c kesme açısı ve R_T boyutsuz ısıl katsayı;

$$R_T = \frac{\rho c_s V_h}{c_t} \qquad (2.16)$$

Burada c_t iş parçasının ısıl iletkenliği [W(m°C)]. İş parçasının ısıl iletkenliği üretilen toplam enerjiden fazla olamaz ve negatif değer alamaz ($0 \le \lambda_s \le 1$).

Kesme yüzeyi uzunluğu L_c deforme olan talaş geometrisinden bulunursa;

$$L_c = \frac{h}{\sin\phi_c} = \frac{h}{\cos(\phi_c - \alpha_r)} \qquad (2.17)$$

Talaş sıkıştırma oranı (r_c) talaşın kesilmeden önceki kalınlığının deforme sonrası kalınlığına (h_c) oranı;

$$r_c = \frac{h}{h_c} \qquad (2.18)$$

Kesme açısı, talaş açısı ve talaş sıkıştırma oranı cinsinden yazılırsa;

$$\phi_c = \tan^{-1}\frac{r_c \cos\alpha_r}{1 - r_c \sin\alpha_r} \qquad (2.19)$$

Metal kesmede kesme gerilmesi ve gerilme oranları, metal şekillendirme operasyonları ve standart gerilim testlerinden çok yüksektir. Deforme olmuş çapak Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Deforme olmamış $A_0B_0A_1B_1$ bölgesindeki talaşın iş parçası ile aynı hızda hareket ettiğini varsayalım. İş parçası kesme bölgesinde (B_1A_1) plastik şekil değişimine uğrayacaktır, talaş, talaş yüzeyinden talaş hızı V_c ile kayacaktır. Kesme zamanından (Δt) sonra kesilmiş metal $A_0B_0B_1A_1$ bölgesine gelerek $A_1B_1B_2A_2$ geometrisinde talaş oluşacaktır. Böylece kesme yüzeyinde kesme

açısıyla (ϕ_c) kesmeden dolayı talaş beklenen pozisyondan ($B_2'A_2'$) B_2A_2 pozisyonuna geçecektir. Gerilim değişiminden dolayı, $A_2'A_2 = B_2'B_2$ olacaktır. Kesme gerilmesi (γ_s), deforme oranı ($\Delta_s = A_2'A_2$), deforme olmuş ve deforme olmamış yüzeyler arasındaki bağıl mesafe ($\Delta d = A_1C$) cinsinden aşağıdaki gibi tanımlanabilir;

$$\gamma_s = \frac{\Delta_s}{\Delta_d} = \frac{\overline{A_2A_2^1}}{A_1C} = \frac{A_2^1C}{A_1C} + \frac{\overline{CA_2}}{A_1C} = \cot\phi_c + \tan(\phi_c - \alpha_r)$$

gerekli düzenlemeler yapılırsa, kesme gerilmesi;

$$\gamma_s = \frac{\cos\alpha_r}{\sin\phi_c \cos(\phi_c - \alpha_r)} \tag{2.20}$$

Kesme gerilme oranı ise;

$$\gamma_s' = \frac{\gamma_s}{\Delta t}$$

Kesme bölgesinin genişliği Δs ve kesme bölgesi kalınlığı Δd kabul edilirse, kesme gerilmesi ve kesme hızı sırasıyla $\gamma_s' = \frac{V_s}{\Delta d}$ ve $V_s = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ olur. Kesme gerilmesi oranı;

$$\gamma_s' = \frac{V_s}{\Delta d} = \frac{V\cos\alpha_r}{\Delta d\cos(\phi_c - \alpha_r)} \tag{2.21}$$

Eşitlik (2.21)'den anlaşıldığı gibi kesme bölgesi kalınlığı Δd çok küçük olması, çok yüksek gerilme oranı olduğunu gösterir. Özellikle kesme bölgesi kalınlığı sıfır olarak kabul edilirse, gerilme oranı sonsuz olacağından imkansızdır. Ancak ince kesme yüzeyi yaklaşımı metal kesmenin makromekanik analizleri için kullanışlıdır. Pratikte ve yaklaşık tahminlerde kesme bölgesi kalınlığı yaklaşık olarak (Δd = 0,15 – 0,2 L_c) alınır. Daha kesin analizler için, kesme bölgesi kalınlığı kesme anında makine durdurulup SEM görüntüsü çekilerek ölçülmelidir [11].

2.2.2 İkinci kesme bölgesi

Talaş yüzeyinde kesme kuvvetinin iki bileşeni vardır (Şekil 2.4): F_y normal kuvvet;

$$F_y = F_{tc}\cos\alpha_r - F_{fc}\sin\alpha_r \tag{2.22}$$

Talaş yüzeyindeki sürtünme kuvveti;

$$F_u = F_{tc}\sin\alpha_r + F_{fc}\cos\alpha_r \tag{2.23}$$

Burada gösterilen ortagonal kesme analizleri, talaşın takım üzerinden μ_a sabit sürtünme katsayısıyla kaydığı kabul edilmiştir. Gerçekte talaş, talaş yüzeyine kısa bir süreliğine yapışır ve sonra sabit bir sürtünme katsayısıyla talaş yüzeyinden kayar [17]. Ortalama sürtünme katsayısı;

$$\mu_a = \tan\beta_a = \frac{F_u}{F_v} \tag{2.24}$$

Sürtünme açısı β_a teğetsel kuvvet ve besleme kuvvet cinsinden;

$$\tan(\beta_a - \alpha_r) = \frac{F_{fc}}{F_{tc}} \rightarrow \beta_a = \alpha_r + \tan^{-1}\frac{F_{fc}}{F_{tc}} \tag{2.25}$$

Deforme olmuş talaşın takımın talaş yüzeyinden kayma hızı;

$$V_c = r_c V = \frac{\sin\phi_c}{\cos(\phi_c - \alpha_r)} V \tag{2.26}$$

Takım ve talaş arasındaki sürtünme kuvveti;

$$P_u = F_u V_c \tag{2.27}$$

Kesme ve sürtünme bölgesinde harcanan toplam enerji miktarı, toplam harcanan kuvveti verir;

$$P_{tc} = P_s + P_u \tag{2.28}$$

Kesme kuvvetleri ve hızların dengesinden, toplam kuvvetin motor fener milinden elde edilen güce eşit olduğu görünür;

$$P_{tc} = F_{tc} V \tag{2.29}$$

Takım ve talaşın sıcaklığının artması sürtünme kuvvetini arttırır. Eşitlik (2.27)'den görüldüğü gibi, hız artarsa sürtünme kuvveti artar, böylece takım sıcaklığı artmış olur. Aşırı ısı, takımı istenmeyen sıcaklıklara ulaştırır, bunun sonucunda takım malzemesi yumuşar, takım aşınması ve takım kırılması meydana gelir. Ancak üretim mühendisleri daha fazla malzeme kaldırmak için kesme hızını arttırmak isterler. Bu yüzden imalat araştırmacıları, kesme kuvveti F_u'yu azaltmak, daha iyi takım geometrileriyle sıcaklığı takımdan uzaklaştırmak, ısıya dayanıklı takım malzemeleri geliştirmek üzerine çalışmalar yapmaktadır. Takım ve talaş ara yüzündeki sıcaklık dağılım tahmini bir hayli kompleks olmasına rağmen, imalat mühendisleri için aşağıda gösterilen kolaylaştırılmış analiz çok kullanışlıdır.

Takım ve talaş ara yüzeyinde harcanan sürtünme kuvveti ısıya dönüşür;

$$P_u = m_c c_s \Delta T_c \tag{2.30}$$

Burada ΔT_c talaşın ortalama sıcaklık yükselmesini ifade eder. Boothroyd [15] ve Stephenson [18] takım-talaş ara yüzündeki sabit dikdörtgen plastik bölgede, sabit yapışma sürtünmesi olduğunu kabul etmişlerdir. Deneysel sıcaklık ölçümleri ve plastik deformasyon bölgesi kabulü aşağıdaki ampirik sıcaklık ilişkisini vermiştir [11, 16];

$$\log\left(\frac{\Delta T_m}{\Delta T_c}\right) = 0,06 - 0,195\delta\sqrt{\frac{R_T h_c}{l_t}} + 0,5\log\left(\frac{R_T h_c}{l_t}\right) \tag{2.31}$$

Burada ΔT_m, talaş yüzeyi-talaş ara yüzünde oluşan maksimum sıcaklık yükselmesini ifade eder, talaş yüzeyi-talaş ara yüz uzunluğu l_t ile gösterilmiştir. δ boyutsuz katsayısı, talaş-talaş yüzeyi ara yüzündeki deforme olmuş talaş kalınlığı (h_c) üzerindeki plastik katman kalınlığı oranıdır.

Talaş yüzeyi- talaş ara yüzündeki ortalama sıcaklık yükselmesi (T_{int});

$$T_{int} = T_s + \lambda_{int} \Delta T_m \tag{2.32}$$

Burada T_s ortalama kesme yüzeyi sıcaklığı ve λ_{int} (≈0,7), takım-talaş ara yüzündeki sıcaklık değişimini ifade eden ampirik düzeltme faktörüdür. Kesin analizler için plastik katman kalınlığı (δh_c) ve l_t SEM gibi mikroskoplarla ölçülmelidir. Yapılan deneylere göre talaş yüzeyindeki plastik katman kalınlığı, deforme olmuş talaş kalınlığının yüzde 5 ile 10 arasındadır ($\delta / h_c \approx 0{,}05–0{,}1$). Talaş-talaş yüzeyi yapışma uzunluğu, bileşke kesme kuvvetinin temas yüzeyinin tam ortasına etkidiği ve talaş sınırlarının talaş yüzeyine paralel ve gerilmesiz olduğu kabul edilirse, yaklaşık olarak tahmin edilebilir. Ortagonal kesmenin geometrisinden (Şekil 2.4), talaş- talaş yüzeyi uzunluğu yaklaşık;

$$L_t = \frac{h \sin(\phi_c + \beta_a - \alpha_r)}{\sin \phi_c \cos \beta_a} \tag{2.33}$$

Takım-talaş ara yüzeyindeki sıcaklık dağılımının tahmini, aşırı takım aşınması olmadan maksimum malzeme kaldırmak amacıyla maksimum hız ve pasoya karar vermek çok önemlidir. Takıma yapışmış malzemeler, kritik difüzyon ve erime noktasındaki talaş malzemesinin, takımı zayıflatmasına veya difüzyona uğramasına sebep olabilir. Esas imaledilebilirlik çalışması takım aşınmasına neden olacak kritik talaş sıcaklığı ve maksimum kesme hızını belirleyebilmektir. Yukarıda özetlenmiş olan yaklaşık çözümlere göre en optimum kesme hızı ve paso derinliği seçilerek kesme yapılabilir. Kesme prosesindeki bilimsel ve deneysel işlemlerin detaylarını Oxley [16] açıklamıştır [11].

2.2.3. Üçüncü deformasyon bölgesi

Takımın serbest yüzeyiyle kesilmiş yüzey arasının ölçülendirmesi ve mekaniği; takım ömrü, kesme ucunun hazırlanması, takımın sürtünme karakteristiği ve iş parçasına bağlıdır. Serbest yüzeydeki toplam sürtünme kuvvetine F_{ff} ve serbest yüzeye dik normal kuvvete F_{fn} diyelim. Serbest yüzey üzerindeki gerilme (σ_f) uniform ise(basitleştirme için yapılan varsayım) serbest yüzeydeki normal kuvvet $F_{fn} = \alpha_f$ VBb şeklinde ifade edilir, burada VB serbest yüzey kontak mesafesi ve b

kesme genişliğini ifade eder. Serbest yüzey ile kesilmiş yüzey arasındaki ortalama sürtünme katsayısı (μ_f) $\mu_f = F_{ff} / F_{fn}$ şeklinde ifade edilir. Serbest yüzey ve kesilmiş yüzey arasındaki açı aralık açısı veya tahliye açısı olarak adlandırılır (Cl_p). Toplam kontak kuvvetleri cinsinden teğetsel ve besleme kuvvetleri;

$$\begin{aligned} F_{te} &= F_{fn} \sin(Cl_p) + F_{ff} \cos(Cl_p) \\ F_{fe} &= F_{fn} \cos(Cl_p) + F_{ff} \sin(Cl_p) \end{aligned} \tag{2.34}$$

Sonuç olarak ölçülen kesme kuvvetinin, kesmeden kaynaklı kuvvetler (F_{tc}, F_{fc}) ve üçüncü deformasyon prosesindeki küreme ve ovma kuvvetlerinden (F_{te}, F_{fe}) oluştuğu söylenebilir. Böylece ölçülen kuvvet bileşenleri;

$$\begin{aligned} F_t &= F_{tc} + F_{te} \\ F_f &= F_{fc} + F_{fe} \end{aligned} \tag{2.35}$$

Böylece F_t, F_f kesme kuvvetlerini Eşitlik (2.35)'te kesme kuvvetleri olarak sadece F_{tc}, F_{fc} kuvvetleri temsil eder. Ortagonal kesme kuvvetleri mekaniği kanunlarının anlatıldığı bu bölümde kenar kuvvetler (F_{te}, F_{fe})çıkartılmalıdır.

Kesme yüzeyindeki kesme açısı, kesme gerilmesi ve talaş yüzeyindeki ortalama sürtünme katsayısı tahmininin standart malzeme özellikleri kullanılan gerilme ve sürtünme testlerinden elde edilmesi zordur. Kesin ve gerçekçi model için, bu tür temel parametreler ortagonal kesme testlerinden belirlenmelidir. Buradaki deforme olmuş talaş kalınlıkları, hızları ve teğetsel kesme kuvvetleri; talaş açısı aralığında kesici takım kullanılarak deneysel olarak ölçülmelidir. Kesme kuvvetleri ve kesilmemiş talaş kalınlığının etkisinin belirlenmesinde geniş aralıkta kesme ve besleme kuvveti kullanılarak yapılan deneyler dikkate alınmalıdır [11].

3. KESME KUVVETLERİNİN MEKANİK MODELLENMESİ

Ortagonal kesme mekaniği birçok pratik uygulamada takım köşe radyüsü, kesme ağzı açısı ve talaş tahliye kanallarının seçilmesinde direk kullanılabilir değildir. Bu parametrelerin birkaç deney yapılarak seçilmesi daha pratiktir. Ancak takım tasarımı, metal kesme analizlerinde, eğik kesme mekaniği ve plastisite analizlerinde gereklidir.

Ortagonal kesmenin mekanik modellenmesi örnek olarak yapıldığında bu modelden ortagonal olmayan kesme prosesleri de türetilebilir. Bir önceki bölümde ortagonal kesmede kesme kuvvetleri teğetsel ve besleme kuvvetleri cinsinden ifade edilmişti. Kesme kuvvetleri kesme gerilmesi ve kesme açısının fonksiyonu olarak ifade edilirse;

$$F_s = \tau_s b \frac{h}{\sin \phi_c} \tag{3.1}$$

Eşitlik (2.3) ve Eşitlik (3.1)'den bileşke kesme kuvveti (F_c) kesme gerilmesi, kesme açısı, kesme genişliği ve besleme hızı cinsinden;

$$F_c = \frac{F_s}{\cos(\phi_c + \beta_a - \alpha_r)} = \tau_s bh \frac{1}{\sin \phi_c \cos(\phi_c + \beta_a - \alpha_r)} \tag{3.2}$$

Teğet ve besleme kuvveti bileşke kuvvet cinsinden ifade edilirse;

$$\begin{aligned} F_{tc} &= F_c \cos(\beta_a - \alpha_r) \\ F_{fc} &= F_c \sin(\beta_a - \alpha_r) \end{aligned} \tag{3.3}$$

Eşitlik (3.2), Eşitlik (3.3)'te yerine koyulursa;

$$F_{tc} = bh \left[\tau_s \frac{\cos(\beta_a - \alpha_r)}{\sin \phi_c \cos(\phi_c + \beta_a - \alpha_r)} \right] \tag{3.4}$$

$$F_{fc} = bh\left[\tau_s \frac{\sin(\beta_a - \alpha_r)}{\sin\phi_c \cos(\phi_c + \beta_a - \alpha_r)}\right] \tag{3.5}$$

Teğetsel kesme kuvveti sabiti (K_{tc});

$$K_{tc}\left[N/mm^2\right] = \left[\tau_s \frac{\cos(\beta_a - \alpha_r)}{\sin\phi_c \cos(\phi_c + \beta_a - \alpha_r)}\right] \tag{3.6}$$

Besleme kuvveti sabiti;

$$K_{fc}\left[N/mm^2\right] = \left[\tau_s \frac{\sin(\beta_a - \alpha_r)}{\sin\phi_c \cos(\phi_c + \beta_a - \alpha_r)}\right] \tag{3.7}$$

Besleme kuvveti sabitini teğetsel ve besleme kuvvetleri cinsinden ifade edersek;

$$K_{fc} = \frac{F_{fc}}{F_{tc}} = \tan(\beta_a - \alpha_r) \tag{3.8}$$

Burada K_{fc} boyutsuz özel bir formdadır. Eşitlik (3.6)'da sadece takım geometrisi bilinmektedir. Sürtünme açısı takım–iş parçası ve takım-talaş ara yüzünün yağlanmasına bağlıdır. Kesin kesme açısı tahmini için araştırmalar devam etmektedir. Son çalışmalar hala kesin olarak kesme açısı tahmin etmek için yetersiz kalmaktadır. Kesme yüzeyindeki kesme gerilmesi literatürde hala soru işaretidir. Eğer kesme yüzeyi ince bir bölge olarak kabul edilirse, tahmin edilen kesme gerilmesi orijinal kesme gerilmesinden daha büyük olacaktır. Kesme ve sürtünme bölgesindeki sıcaklık değişimi malzemenin sertliğine göre değişiklik gösterecektir, böylece birinci deformasyon bölgesindeki kesme gerilmesi değişecektir. Kesme gerilmesi malzeme sertliğine göre değişim gösterdiği gibi talaş kalınlığının bir fonksiyonu olarak da değişir. Böylece kesme kuvvetlerini kesme kondisyonlarının (b ve h) bir fonksiyonu olarak ifade etmeliyiz;

$$\begin{aligned} F_t &= K_{tc}bh + K_{te}b \\ F_f &= K_{fc}bh + K_{fe}b \end{aligned} \tag{3.9}$$

Kesme sabitleri (K_{tc}, K_{fc}) ve uç katsayıları (K_{te}, K_{fe}) iş parçası-takım çiftine göre doğrudan kalibre edilir. Kesme sabitleri (K_t, K_f) kesilmemiş talaş kalınlığının nonlineer fonksiyonu olarak ifade edilebilir;

$$\begin{aligned} F_t &= K_t bh \\ K_t &= K_T h^{-p} \\ F_f &= K_f bh \\ K_f &= K_F h^{-q} \end{aligned} \tag{3.10}$$

Buradaki p ve q sabitleri farklı besleme miktarlarında yapılan deneyler sonucu elde edilir. Eşitlik (3.10) kesme kuvvetlerinin nonlineerliğini basitçe ifade eder. Bu form uç kuvvetlerin ihmal edildiği durumlarda kullanılabilir. Bazı iş parçaları farklı hızlarda farklı kesme gerilmesi ve sürtünme katsayısına sahip olabilir [11].

4. KESME AÇISININ TEORİK TAHMİNİ

Önceki bölümde kesme açısı, kesme gerilmesi ve ortalama sürtünme katsayısı ortagonal kesme testlerinden elde edilmişti. Teorik olarak deney verilerine dayanmadan kesme açısının tahmini için birçok çalışma yapılmıştır. Bu bölümde en çok kullanılan model olan iş parçasının plastik şekil değiştirmediğini kabul eden rijit plastik iş parçası modeli kullanılacaktır. Bu modelde kesme yüzeyinin ince bir yüzey olduğu ve kesme gerilmesinin malzemenin akma gerilmesiyle dengede olduğu kabul edilmiştir, iş parçası ve takım arasındaki ortalama sürtünme deneylerden elde edilmiş, bilinmeyen olarak kesme açısı kalmıştır. Kesme açısının tahmininde iki yaygın yaklaşım aşağıda anlatılacaktır [11].

4.1. Maksimum Kesme Gerilmesi Prensibi

Krystof [19] maksimum kesme gerilmesi prensibine dayanarak kesme açısı ilişkisi önermiştir (Maksimum kesme doğrultusunda gerçekleşir). Bileşke kuvvetlerin kesme yüzeyiyle yaptıkları açılar $(\phi_c + \beta_a - \alpha_r)$ (Şekil 2.4) ve maksimum kesme gerilmesiyle bileşke gerilme arasındaki açı $\pi/4$ olmalıdır. Böylece aşağıdaki kesme açısı bağlantısı oluşur;

$$\phi_c = \frac{\pi}{4} - (\beta_a - \alpha_r) \qquad (4.1)$$

Sonrasında Lee ve Shaffer [13] aynı ilişkiyi kayma çizgisi modelinden çıkartmıştır [11].

4.2. Minimum Kesme Gerilmesi Prensibi

Merchant [20] minimum enerji prensibini kabul ederek kesme açısı tahmini önermiştir. Kesme gücünün kısmi türevini alarak (Eşitlik (2.29) ve Eşitlik (3.3)) elde etmiştir;

$$\frac{dP_{tc}}{d\phi_c} = \frac{d(VF_{tc})}{d\phi_c} = \frac{-V\tau_s bh\cos(\beta_a - \alpha_r)\cos(2\phi_c + \beta_a - \alpha_r)}{\sin^2\phi_c \cos^2(\phi_c + \beta_a - \alpha_r)} = 0$$

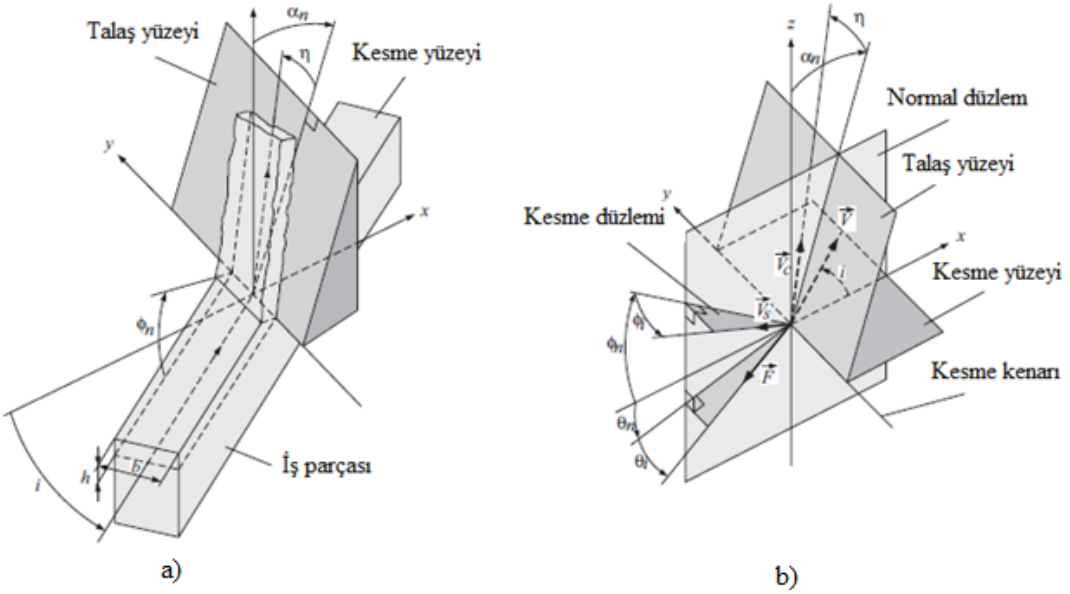
veya,

$$\cos(2\phi_c + \beta_a - \alpha_r) = 0$$
$$\phi_c = \frac{\pi}{4} - \frac{\beta_a - \alpha_r}{2} \qquad (4.2)$$

Bu tahminde maksimum kesme prensibine göre daha büyük kesme açısı bulunur. Yukarıdaki eşitliği Krystof, Merchant, Lee ve Shaffer ileri sürmüşler ancak aşırı basitleştirmeden dolayı verim alamamışlardır. Ancak takım tasarımı ve iş parçası-takım arasındaki sürtünme katsayısı için kesme açısı (ϕ_c) ve talaş açısı (α_r) arasında çok önemli bir ilişkiyi ($\tan\beta_a$) ortaya çıkartmışlardır. Kesme açısıyla kuvvet ve güç tüketimi ters orantılıdır. Yukarıdaki ifadelerden anlaşıldığı gibi düşük sürtünme katsayısına sahip malzemeler kullanılarak ve yağlamayla takım talaş arasındaki sürtünme katsayısı azaltılmalıdır ve zayıflatılmış kesme ağzının talaş tarafından uygulanan basınç ve sürtünmeye direnebilmesi için takımın talaş açısı mümkün olduğu kadar arttırılmalıdır [11].

5. EĞİK KESMENİN MEKANİĞİ

Eğik kesme geometrisi Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Ortagonal kesmede kesme hızı (V) kesme kenarına diktir, ancak eğik kesmede kesme hızıyla kesme kenarının normali arasında dar açı (i) vardır[11].

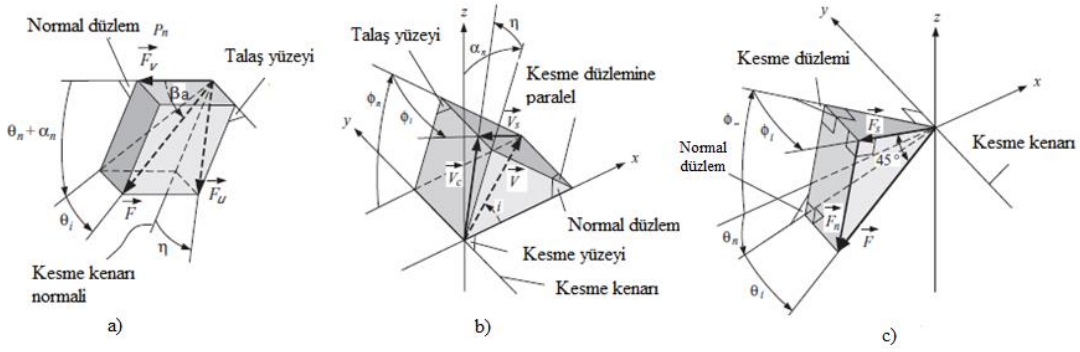


Şekil 5.1. Eğik kesme geometrisi [11]

5.1. Eğik Kesme Geometrisi

Ortagonal kesme geometrisiyle eğik kesme geometrisi arasındaki fark Şekil 2.1 ve Şekil 5.1 incelenerek daha iyi anlaşılabilir. Kesme kenarına dik olan ve kesme hızı (V) ile dar açı yapan düzlem normal düzlem (P_n) olarak adlandırılır. Kesme deformasyonu düzlemsel gerilme olduğundan kesme ve talaş hareketi kesme kenarına dik, kesme hızına paralel olan normal düzlemde oluşur. Böylece eğik kesme hızı (V), kesme hızı (V_s) ve talaş hızı (V_c) kesme kenarına dik ve normal düzlemle (P_n) çakışık olan hız düzleminde (P_v) bulunurlar. Bileşke kesme kuvveti F_c diğer kuvvetlerle birlikte kesmeye uygun olarak ve talaş-talaş yüzeyi kontak bölgesinde bulunurlar. Normal kuvvete dik ve kenar kuvvetlerin sıfır olduğu kabul edilir. Eğik kesme operasyonunda kesme hızı eğim açısına (i) sahiptir. Böylece kesme yönü,

sürtünme, talaş akışı ve bileşke kuvvet vektörleri x,y,z kartezyen koordinatlarıyla ifade edilebilir (Şekil 5.1). Şekil 5.1'de x ekseni kesme kenarına dik fakat kesme yüzeyine çakışık, y ekseni kesme kenarı doğrultusunda ve z ekseni xy düzlemine dik olarak konumlandırılmıştır.



Şekil 5.2. Eğik kesmede a) kuvvet, b) hız ve c) kesme diyagramları [11]

Eğik kesmede üç eksende de kuvvetler bulunmaktadır. Eğik kesmede önemli düzlemler kesme düzlemi, normal düzlem ve hız düzlemidir. Çoğu analizlerde normal düzlemde eğik kesmenin mekaniğiyle ortagonal kesmenin mekaniğinin aynı olduğu kabul edilmiştir. Şekil 5.2'de kesme düzlemiyle xy düzlemi arasındaki açı normal kesme açısı (ϕ_n) olarak adlandırılır. Kesme hızı kesme düzleminde olur ancak kesme kenarına dik olan vektörle ϕ_i kadar açı yapar bu açıya eğik kesme açısı denir. Kesilmiş talaş, talaş düzlemi boyunca talaş akış açısı (η) ile hareket eder. Takım ve talaş yüzeyi arasındaki sürtünme kuvveti talaş akışıyla aynı yöndedir. Talaş yüzeyi normaliyle z ekseni arasındaki açı normal talaş açısı (α_n) olarak adlandırılır. Talaş yüzeyindeki sürtünme kuvveti ($\overrightarrow{F_u}$), talaş formundaki normal kuvvet ($\overrightarrow{F_v}$) bileşke kesme kuvveti ($\overrightarrow{F_c}$). Bileşke kuvvet vektörü ($\overrightarrow{F_c}$) normal düzleme dar iz düşüm açısı (θ) yapar. Aşağıdaki geometrik bağıntı Şekil 5.2'den çıkartılmıştır;

$$F_u = F_c \sin\beta_a = F\frac{\sin\theta_i}{\sin\eta}$$
$$\sin\theta_i = \sin\beta_a \sin\eta \qquad (5.1)$$

$$F_u = F_v \tan\beta_a = F_v \frac{\tan(\theta_n + \alpha_n)}{\cos\eta}$$
$$\tan(\theta_n + \alpha_n) = \tan\beta_a \cos\eta \tag{5.2}$$

Talaş hızı ($\overrightarrow{V_c}$),kesme hızı ($\overrightarrow{V_s}$) bileşke kesme hızı ($\overrightarrow{V}$) Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Her hız vektörü aşağıdaki kartezyen elemanlarıyla tanımlanır;

$$\overrightarrow{V} = (V\cos i, V\sin i, 0)$$
$$\overrightarrow{V_c} = (V_c\cos\eta\sin\alpha_n, V_c\sin\eta, V_c\cos\eta\cos\alpha_n)$$
$$\overrightarrow{V_s} = (-V_s\cos\phi_i\cos\phi_n, -V_s\sin\phi_i, V_s\cos\phi_i\sin\phi_n)$$

V, V_c ve V_s hız ilişkisinden çekilirse,

$$\overrightarrow{V_s} = \overrightarrow{V_c} - \overrightarrow{V}$$

Kesme ve talaş akış doğrultusu elde edilir [11,12];

$$\tan\eta = \frac{\tan i\cos(\phi_n - \alpha_n) - \cos\alpha_n\tan\phi_i}{\sin\phi_n} \tag{5.3}$$

Yukarıdaki bağıntı eğik kesme prosesinin geometrisini tanımlar [11].

5.2. Eğik Kesme Parametrelerinin Çözümlenmesi

Eğik kesme parametrelerinde doğrultuları tanımlayan beş adet bilinmeyen vardır, bunlar bileşke kuvvet (θ_n, θ_i), kesme hızı (ϕ_n, ϕ_i) ve talaş akışıdır (η). Eşitlik (5.1), Eşitlik (5.2) ve Eşitlik (5.3)'te üç eşitlik vardır ancak bu beş bilinmeyeni (açıyı) çözebilmek için iki eşitlik daha gerekmektedir. Ampirik talaş akış doğrultusunu çözebilmek için birçok öneri [21, 22] ve diğer ampirik varsayımlar [23, 25] literatürde mevcuttur. Teorik kesme açısı tahmini yaklaşımı Shamota ve Altıntaş [26] tarafından önerilmiştir; Bu kısımda mekanik kanunlara bağlı olarak kesme doğrultusu tahminine odaklanılacaktır [11].

5.2.1. Maksimum kesme gerilmesi prensibi

Krystof [19] ortagonal kesmede kesme açısı doğrultusu tahmini için maksimum kesme gerilmesi kriterini kabul etmiştir. Daha sonraları Lee ve Shaffer [13] kayma bölgesi düzlemi çözümünden benzer ortagonal kesme açısı ilişkisi elde etmiştir. Her ikiside kesmenin maksimum kesme gerilmesinde meydana geldiğini kabul etmiştir (kesme hızı ve bileşke kuvvet arasındaki açının 45° olduğu yer; (Şekil 5.2). Benzer şekilde bileşke kuvvet ($\vec{F_c}$) kesme doğrultusuna 45° açı yaptığı eğik kesmede de kabul edilebilir,

$$F_s = F_c(\cos\phi_i \cos(\theta_n + \phi_n)\cos\phi_i + \sin\theta_i \sin\phi_i) = F_c \cos(45°C).$$

Dahası aynı prensip $\vec{F_c}$ bileşke kuvvetinin kesme düzlemine izdüşümünün kesme doğrultusuyla çakışmasını gerektirir. Kesme düzlemindeki kesme doğrultusuna dik doğrultudaki bileşke kuvvet sıfır olmalıdır;

$$F_c(\cos\theta_i \cos(\theta_n + \phi_n)\sin\phi_i - \sin\theta_i \cos\phi_i) = 0.$$

Aksi takdirde, kesme doğrultusundaki kesme gerilmesi kesme düzlemi üzerinde maksimum olmayacaktır. Bu iki ifade aşağıda ifade edilen kesme ve bileşke kuvvet arasındaki gerekli ilişkiyi sağlar:

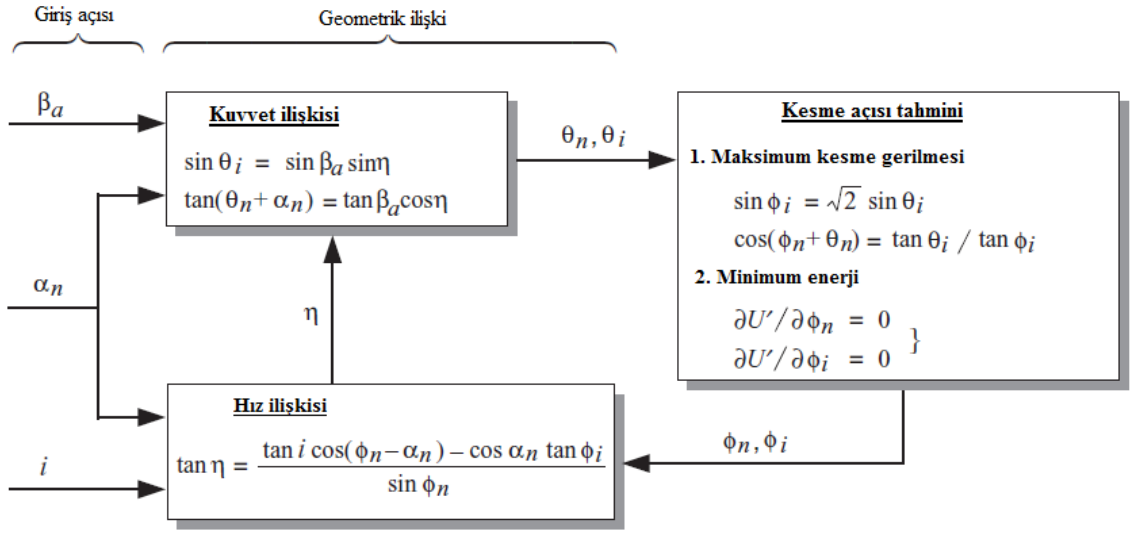
$$\sin\phi_i = \sqrt{2}\sin\theta_i \tag{5.4}$$

$$\cos(\phi_n + \theta_n) = \frac{\tan\theta_i}{\tan\phi_i} \tag{5.5}$$

Eşitlik (5.1)'den Eşitlik (5.5)'e kadar olan beş eşitlikle beş bilinmeyen açı $(\phi_n, \phi_i, \theta_n, \theta_i, \eta)$ bulunarak eğik kesmenin mekaniği belirlenir. Ancak eşitliklerin direkt analitik çözümü daha zor olduğundan numerik iterasyonla çözülür. Numerik çözüm Şekil 5.3'teki blok diyagramından elde edilmiştir. Sürtünme açısı (β_a), kesme açısı (α_n) ve eğim açısı (i) geometriden, malzeme testlerinden ve sistem girişi olarak bilinmektedir. İterasyonda ilk değer talaş akış açısı ($\eta = 1$) için Stabler [27]

tarafından kabul edilmiştir. Bileşke kuvvet vektörü $\vec{F}_c$'nin doğrultusu (θ_n, θ_i) Eşitlik (5.1) ve Eşitlik (5.2)'den elde edilir. Benzer şekilde kesme doğrultusu açıları (ϕ_n, ϕ_i) Eşitlik (5.4) ve Eşitlik (5.5)'ten elde edilir. Yeni talaş akış açısı η_e Eşitlik (5.3)'ten elde edilir. Gerçek talaş akış açısı aşağıda verilen algoritmaya göre iterasyon yapılarak hesaplanır;

$$\eta(\mathrm{k}) = \nu\eta(\mathrm{k}-1) + (1-\upsilon)$$



Şekil 5.3. Kesme açısı çözüm prosesi [11]

Burada k iterasyon sayısını k, υ ise interpolasyon oranını ($0 < \nu < 1$) ifade eder. Daha hızlı sonuca ulaşabilmek için υ oranı sürekli olarak değiştirilir. Talaş akış açısı yüzde 10^{-12} hassasiyetine gelinceye kadar iterasyon sürdürülür [11].

5.2.2. Minimum enerji prensibi

Merchant [20] ortagonal kesme için minimum enerji prensibini kabul ederek kesme açısı tahmin teorisi önermiştir. Bu kısımda benzer prensip eğik kesmeye uygulanılacaktır. Geometriden, kesme kuvveti, kesme doğrultusundaki $\vec{F}_c$ bileşke kuvvetinin izdüşümü olarak ifade edilir;

$$F_s = F_c\left[\cos(\theta_n + \phi_n)\cos\theta_i \cos\phi_i + \sin\theta_i \sin\phi_i\right]$$

Kesme gerilmesi ve kesme düzlemi cinsinden ifade edilirse (Şekil 5.1);

$$F_s = \tau_s A_s = \tau_s \left(\frac{b}{\cos i} \right) \left(\frac{h}{\sin \phi_n} \right)$$

Burada A_s, b ve h sırasıyla kesme alanı, kesme genişliği, kesme derinliğini (kesilmemiş talaş kalınlığı) ifade eder. İki kesme kuvveti eşitliğinden bileşke kuvvet;

$$F_c = \frac{\tau_s bh}{\left[\cos(\theta_n + \phi_n)\cos\theta_i \cos\phi_i + \sin\theta_i \sin\phi_i\right]\cos i \sin\phi_n} \tag{5.6}$$

Kesme gücü(P_{tc}) eğik kesmede F_c bileşke kuvvetinin fonksiyonu olarak ifade edilirse;

$$P_{tc} = F_{tc} V = F_c(\cos\theta_i \cos\theta_n \cos i + \sin\theta_i \sin i)V$$

Eşitlik (5.6)'da yerine koyulursa boyutsuz güç (P_t') elde edilir;

$$P_t' = \frac{P_{tc}}{V \tau_s bh} = \frac{\cos\theta_n + \tan\theta_i \tan i}{\left[\cos(\theta_n + \phi_n)\cos\phi_i + \tan\theta_i \sin\phi_i\right]\sin\phi_n} \tag{5.7}$$

Burada V, τ_s, b, h sabit. Minimum enerji prensibiyle kesme açısı çözümü için kesme gücünün minimum olması gerekir. Çünkü kesme doğrultusu kesme açıları tarafından (ϕ_n, ϕ_i) belirlenir;

$$\begin{aligned} \frac{\partial P_t'}{\partial \phi_n} &= 0 \\ \frac{\partial P_t'}{\partial \phi_i} &= 0 \end{aligned} \tag{5.8}$$

Bu sayede Eşitlik (5.1), Eşitlik (5.2) ve Eşitlik (5.3)'e ek olarak iki eşitlik daha elde edilmiş olur. Böylece eğik kesmenin mekaniğini tanımlayan beş bilinmeyen açı ($\theta_n, \theta_i, \phi_n, \phi_i, \eta$) bulunabilir. Ancak, beş eşitliğin analitik çözümünün bulunması daha zor olduğu için çözüm numerik iterasyon tekniği ile yapılacaktır. İterasyonda ilk değer olarak talaş akış açısı $\eta = 1$ [27], akabinde diğer açılar için Eşitlik (5.1), Eşitlik

(5.2), Eşitlik (5.4) ve Eşitlik (5.5) kullanılacaktır. $\theta_n, \theta_i, \phi_n, \phi_i$ açılarının ilk değerleri hesaplandıktan sonra kesme gücü (P_t') Eşitlik (5.7)'den elde edilir.

Numerik iterasyona Şekil 5.3'e göre boyutsuz kesme gücünün (P_t') minimum değişime ulaşıncaya kadar devam edilir [11].

5.2.3. Ampirik yaklaşım

Literatürde birçok ampirik model kullanılmıştır, bu çalışmada Armarego ve Whitfield' in [28] önerdiği model kullanılacaktır. Bu modelde kesme doğrultusu ve talaş uzunluk oranıyla ilgili iki varsayım kullanılmıştır. Bu varsayımlar; kesme hızı kesme kuvvetiyle aynı doğrultudadır ve eğik kesmede talaş uzunluk oranı ortagonal kesmedeki oranla aynıdır. İlk varsayım Stabler [27] tarafından maksimum kesme gerilmesi kriterinden biri olarak düşünülmüş (Eşitlik (5.5)) ve önceki kısımda bahsedilen üç geometrik eşitlik birleştirilirse;

$$\tan(\phi_n + \beta_n) = \frac{\cos\alpha_n \tan i}{\tan\eta - \sin\alpha_n \tan i} \tag{5.9}$$

Burada $\beta_n = \Theta_n + \alpha_n$ dir. Böylece;

$$\tan\beta_n = \tan\beta_a \cos\eta \tag{5.10}$$

İkinci yaklaşım Armarego ve Whitfield' in [28] deneylerinden elde edilmiştir. Sonuç olarak kesme açısı ϕ_n aşağıdaki eşitlikten elde edilir;

$$\tan(\phi_n) = \frac{r_c\left(\frac{\cos\eta}{\cos i}\right)\cos\alpha_n}{1 - r_c\left(\frac{\cos\eta}{\cos i}\right)\sin\alpha_n} \tag{5.11}$$

Bu üç eşitlik numerik olarak çözülerek, üç bilinmeyen açı η, η, ϕ_n ve β_n elde edilir [11].

5.3. Kesme Kuvvetlerinin Tahmini

Kesme kuvveti bileşenleri bileşke kesme kuvvetinin (F_c) izdüşümlerinden elde edilmiştir. Kesme kuvveti bileşenleri akma gerilmesinin (τ_s) fonksiyonu olarak, bileşke kuvvet doğrultusu (θ_n, θ_i), eğim açısı i ve eğik kesme açısı (ϕ_i, ϕ_n) F_c için Eşitlik (5.6)'da verildiği gibi ifade edilmiştir. Kesme hızı doğrultusundaki kuvvet (F_{tc}), besleme (F_{fc}) ve radyal (F_{rc}) bileşeni aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir (Şekil 5.1, Şekil 5.2);

$$\left.\begin{aligned}
F_{tc} &= F_c(\cos\theta_i \cos\theta_n \cos i + \sin\theta_i \sin i) \\
F_{tc} &= \frac{\tau_s bh(\cos\theta_n + \tan\theta_i \tan i)}{\left[\cos(\theta_n + \phi_n)\cos\phi_i + \tan\theta_i \sin\phi_i\right]\sin\phi_n} \\
F_{fc} &= F_c \cos\theta_i \sin\theta_n \\
F_{fc} &= \frac{\tau_s bh \sin\theta_n}{\left[\cos(\theta_n + \phi_n)\cos\phi_i + \tan\theta_i \sin\phi_i\right]\cos i \sin\phi_n} \\
F_{rc} &= F_c(\sin\theta_i \cos i - \cos\theta_i \cos\theta_n \sin i) \\
F_{fc} &= \frac{\tau_s bh(\tan\theta_i - \cos\theta_n \tan i)}{\left[\cos(\theta_n + \phi_n)\cos\phi_i + \tan\theta_i \sin\phi_i\right]\sin\phi_n}
\end{aligned}\right\} \quad (5.12)$$

Kesme kuvvetleri aşağıdaki formda yazılabilir;

$$\left.\begin{aligned}
F_t &= K_{tc} bh + K_{te} b \\
F_f &= K_{fc} bh + K_{fe} b \\
F_r &= K_{rc} bh + K_{re} b
\end{aligned}\right\} \quad (5.13)$$

buradaki kesme sabitleri;

$$\left.\begin{aligned}
K_{tc} &= \frac{\tau_s(\cos\theta_n + \tan\theta_i \tan i)}{\left[\cos(\theta_n + \phi_n)\cos\phi_i + \tan\theta_i \sin\phi_i\right]\sin\phi_n} \\
K_{fc} &= \frac{\tau_s \sin\theta_n}{\left[\cos(\theta_n + \phi_n)\cos\phi_i + \tan\theta_i \sin\phi_i\right]\cos i \sin\phi_n} \\
K_{fc} &= \frac{\tau_s(\tan\theta_i - \cos\theta_n \tan i)}{\left[\cos(\theta_n + \phi_n)\cos\phi_i + \tan\theta_i \sin\phi_i\right]\sin\phi_n}
\end{aligned}\right\} \quad (5.14)$$

Eğer Arnaregonun klasik eğik modeli kullanılırsa, kuvvet ifadeleri aşağıdaki şekle dönüşebilir;

$$\left.\begin{aligned} F_{tc} &= bh\left[\frac{\tau_s}{\sin\phi_n}\frac{\cos(\beta_n-\alpha_n)+\tan i\tan\eta\sin\beta_n}{\sqrt{\cos^2(\phi_n+\beta_n-\alpha_n)+\tan^2\eta\sin^2\beta_n}}\right] \\ F_{fc} &= bh\left[\frac{\tau_s}{\sin\phi_n\cos i}\frac{\sin(\beta_n-\alpha_n)}{\sqrt{\cos^2(\phi_n+\beta_n-\alpha_n)+\tan^2\eta\sin^2\beta_n}}\right] \\ F_{rc} &= bh\left[\frac{\tau_s}{\sin\phi_n}\frac{\cos(\beta_n-\alpha_n)\tan i-\tan\eta\sin\beta_n}{\sqrt{\cos^2(\phi_n+\beta_n-\alpha_n)+\tan^2\eta\sin^2\beta_n}}\right] \end{aligned}\right\} \quad (5.15)$$

Böylece, ilgili kesme sabitleri;

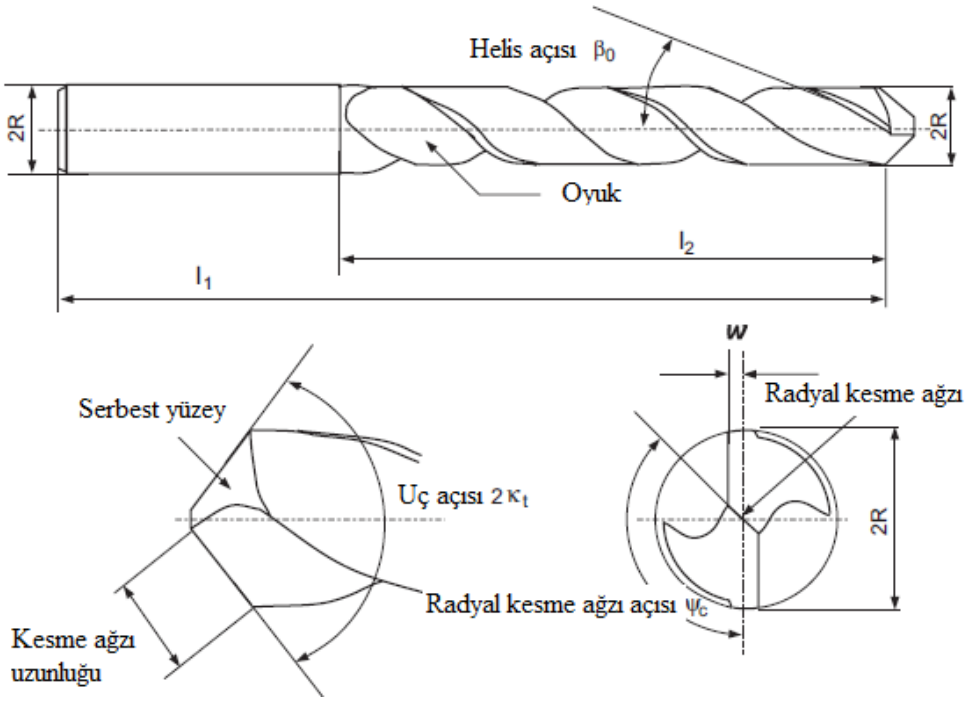
$$\left.\begin{aligned} K_{tc} &= \left[\frac{\tau_s}{\sin\phi_n}\frac{\cos(\beta_n-\alpha_n)+\tan i\tan\eta\sin\beta_n}{\sqrt{\cos^2(\phi_n+\beta_n-\alpha_n)+\tan^2\eta\sin^2\beta_n}}\right] \\ K_{fc} &= \left[\frac{\tau_s}{\sin\phi_n\cos i}\frac{\sin(\beta_n-\alpha_n)}{\sqrt{\cos^2(\phi_n+\beta_n-\alpha_n)+\tan^2\eta\sin^2\beta_n}}\right] \\ K_{rc} &= \left[\frac{\tau_s}{\sin\phi_n}\frac{\cos(\beta_n-\alpha_n)\tan i-\tan\eta\sin\beta_n}{\sqrt{\cos^2(\phi_n+\beta_n-\alpha_n)+\tan^2\eta\sin^2\beta_n}}\right] \end{aligned}\right\} \quad (5.16)$$

Aşağıdaki pratik yaklaşım ortagonal kesme değerlerinden eğik kesme kuvvetlerinin tahmininde kullanılabilir [11, 29];

1. Ortagonal kesme testlerinden kesme açısı (ϕ_c), ortalama sürtünme açısı (β_a) ve kesme gerilmesini (τ_s) ölç.
2. Ortagonal kesmedeki kesme açısının normal kesme açısına eşit ($\phi_c \equiv \phi_n$), normal talaş açısının ortagonal kesmedeki talaş açısına eşit ($\alpha_r \equiv \alpha_n$), Stabler' in [27] talaş akışı kuralından talaş akış açısının eğim açısına eşit ($\eta \equiv 1$), sürtünme katsayısı (β_a) ve kesme gerilmesinin (τ_s) ortagonal ve eğik kesmede benzer olduğu varsayımını yap.
3. Eşitlik (5.16)'da verilen eğik kesme sabitini kullanarak kesme kuvvetini tahmin et [11].

6. DELMENİN MEKANİĞİ

Örnek bir helisel matkap Şekil 6.1'de gösterilmiştir. Helisel matkabın en ucunda radyal kesme ağzı ve sivrilme açısına sahip (κ_t) iki helisel kesme ağzı vardır, bu ağızlar olukla β_0 helis açısıyla birleşir. Helisel oluklar kesme işlemi yapmaz ancak talaşın delinen bölgeden tahliyesini sağlarlar. Kesen kısım 2w genişliğinde ve ψ_c kenar açısına sahiptir. Radyal kesme ağzından dolayı kesme ağzı takım merkezinden bir miktar uzaktadır. Kesme ağızları sabit kalınlıkta (h) talaş kaldırarak deliği genişletir. Takım malzemeye c (mm/dev) ilerleme hızıyla batırılır. Bastırma kuvveti takımın malzemeye uyguladığı itme kuvvetini temsil eder ve oluşan bu kuvvetten dolayı delmenin mekaniğini belirleyen bir tork oluşur. Delmenin mekaniği radyal kesme ağzı ve kesme ağzı olmak üzere iki bölge için ayrı değerlendirilmiştir [11].



Şekil 6.1. Helisel matkap geometrisi [11]

6.1. Radyal Kesme Ağzı

Radyal kesme ağzı kesme yapmaz fakat girintili mekanizması sayesinde malzemeyi yanlara yayar. Kesme kanunlarını kullanmak yerine, girintinin mekaniği kullanılmalıdır. Eğer proses sertlik testi olarak basitleştirilirse, radyal kesme ağzındaki bastırma kuvveti aşağıdaki gibi basitleştirilebilir;

$$KUVVETT_i = F_{z,i} = A_{ch}\, H_B \tag{6.1}$$

Burada H_B iş parçasının Brinell sertlik değerini ve A_{ch} radyal kesme ağzının anlık girinti bölgesini ifade eder. A_{ch} radyal kesme ağzının uzunluğu $(2w/\sin(\pi-\psi_c))$ ve kesme ağzının malzemeyle kontak kurduğu uzunluk $(c/2\cos\gamma_t)$ olarak değerlendirilmiştir. İki kesme uzunluğu dikkate alındığında girintiyi ifade eden alanı elde etmiş oluruz;

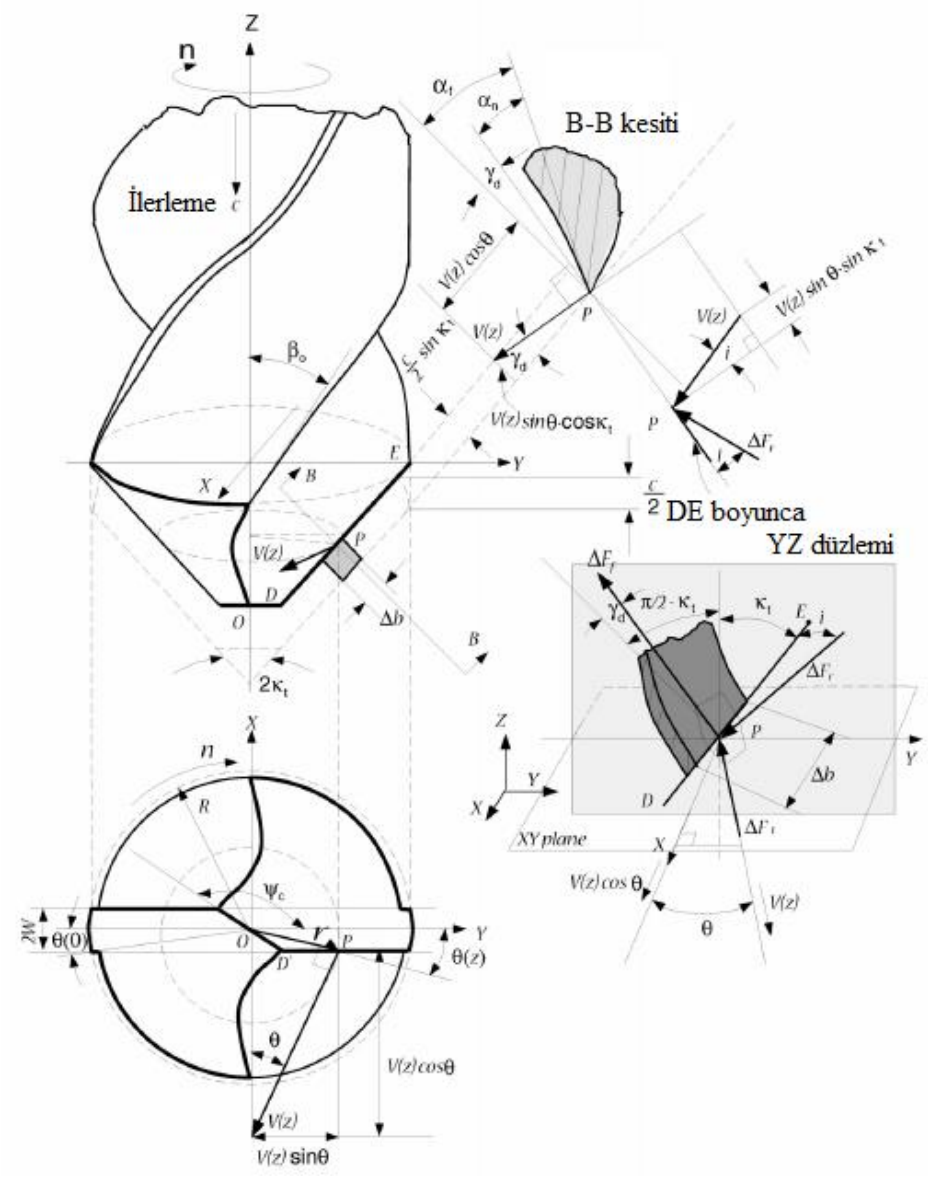
$$A_{ch} = \frac{2wc}{\sin(\pi-\psi_c)\cos\kappa_t} \tag{6.2}$$

Basit girinti metoduyla radyal kuvvete benzetme kesin çözüm için uygun değildir. Radyal kesme ağzı geometrisi ve girinti mekanizması daha komplekstir ve detaylı geometrik model ve deneysel olarak ampirik faktör değişkeninin kalibrasyonunu gerektirir [30]. Son zamanlarda takımın iş parçası üzerinde kaymasını engellemek için radyal ağız geometrisi takım üreticileri tarafından önemli ölçüde iyileştirilmiştir. Pratik uygulamalar için radyal kuvvetler kesme kuvvetlerinin yüzde 10-15'i olarak kabul edilebilir ve radyal genişlik oldukça küçük olduğu için tork ihmal edilebilir [11].

6.2. Kesme Ağzı

Kesme ağzının geometrisi epey komplekstir. Ortagonal kesme-eğik kesme dönüşümü için helisin tanımlanması gerekir, talaş açısı ve eğim açısı kesme ağzı boyunca kesme noktasında oluşur. Radyal ağızdan kaynaklanan ofsetten ve değişken ölçülerden dolayı, helis, talaş ve eğim açısı değişir. Bu kısımda anlatılacak delme geometrisinin davranışı Galloway [31], Armarego ve Brown'un [22] çalışmalarına dayanmaktadır.

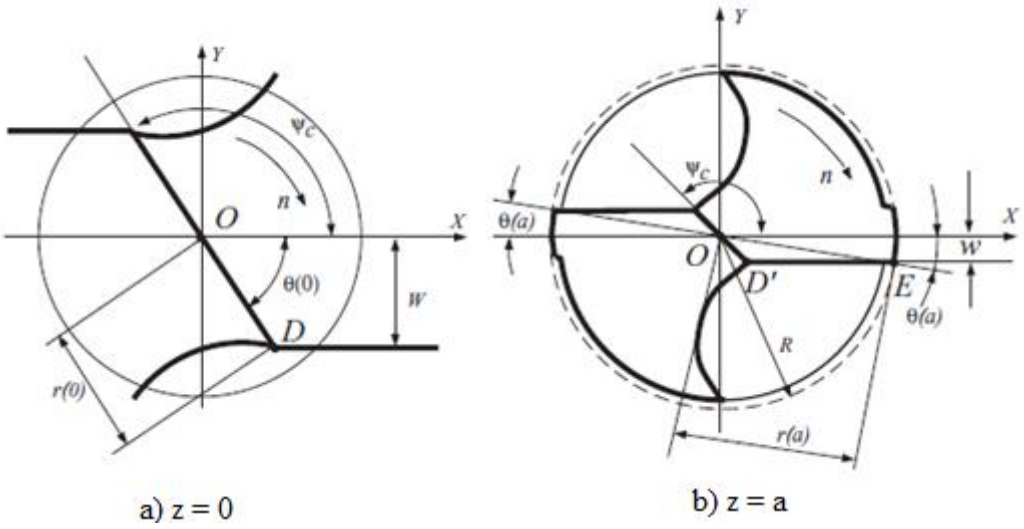
Takım geometrisi Şekil 6.2'de gösterilmiştir. Delme ekseni z ekseni olarak tayin edilmiş, kesme ağzı x eksenine paralel ve delme ekseni arasında radyal kesme ağzından dolayı ofset oluşmuştur. Kesme ağzının normali y eksenine paralel olarak tanımlanmıştır. Takım ucu koordinat sisteminin orijini olarak tayin edilmiştir.



Şekil 6.2. Helisel matkabın mekanik modeli [11]

Takım oluğun alt kısmı yani kesme ağzıyla radyal kesme ağzının birleştiği nokta orijin noktasıdır. Radyal kesme ağzından kaynaklanan ofset w ile ve radyal kesme ağzı açısı ψ_c olarak ifade edilmiştir (Şekil 6.3). Delme merkeziyle kesme ağzının radyal kesme ağzıyla kesiştiği nokta arasındaki radyal mesafe;

$$\left.\begin{aligned} r(0) &= \frac{w}{\sin(\pi - \psi_c)} \\ x(0) &= r(0)\cos(\pi - \psi_c) \\ y(0) &= w, z = 0 \end{aligned}\right\} \quad (6.3)$$



a) z = 0 b) z = a

Şekil 6.3. Helisel matkap ucunda oyuk kesme ağzı kesişim düzleminin üstten görünüşü [11]

Kesme ağzı ve helisel oyuk kesişmesi arasındaki kot farkı z = a ve takım yarıçapı R ile ifade edilmiştir. Kesme ağzının en uzak noktasıyla delme merkezi arasındaki radyal mesafe r (a) = R,

$$\left.\begin{aligned} x(a) &= R\cos\theta(a) \\ \theta(a) &= \sin^{-1}(w / R) \\ y(a) &= w \\ z &= a \end{aligned}\right\} \quad (6.4)$$

Burada R delme yarıçapıdır. Tüm kesme ağzının tasarlanan uzunluğunun xy düzlemindeki kot farkı z = a olacaktır;

$$\overline{D'E} = \overline{DE}\sin\kappa_t = b\sin\kappa_t \quad (6.5)$$

Burada $b = \overline{DE}$ iş parçasını kesen kesme ağzı uzunluğudur. Kesme ağzı boyunca helis açısı değişmesine rağmen takımın temsili helis açısı (β_0) silindirik bölgede (r(a) = R) oyuk için aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

$$\tan\beta_0 = \frac{2\pi R}{L_p} \tag{6.6}$$

Burada L_p helisin sabit hatvesini ifade etmektedir. Kesme ağzı üzerindeki P (x, y, z) noktası Şekil 6.2'de gösterilmiştir. Kesme ağzının xy düzlemine izdüşümünün kot farkı; $z\ \tan\kappa_t = \overline{D'P}$. P noktasıyla delme ekseni arasındaki radyal mesafe;

$$r(z) = \sqrt{y(0)^2 + \left[x(0) + \overline{D'P}\right]^2} = \sqrt{w^2 + \left[w\cot(\pi - \psi_c) + z\tan\kappa_t\right]^2} \tag{6.7}$$

$$\begin{aligned} x(z) &= r(z)\cos(\theta(z)) \\ y(z) &= r(z)\sin(\theta(z)) \end{aligned} \tag{6.8}$$

P noktasındaki bölgesel helis açısı;

$$\beta(z) = \frac{2\pi r(z)}{L_p} \tag{6.9}$$

her kot için ayrı helis açısını ifade eder. Kesme hızı (V) radyus ve xy düzlemindeki aşağıda ifade edilen bileşene diktir;

$$\begin{aligned} V_x(z) &= V\cos\theta(z) \\ V_y(z) &= V\sin\theta_z \end{aligned} \tag{6.10}$$

Kesme hızının kesme ağzına izdüşümü;

$$V_t = V_y\sin\kappa_t = V\sin\theta(z)\sin\kappa_t \tag{6.11}$$

Eğim açısı (i) kesme hızı ve kesme kenarının normali arasındaki açı olarak aşağıdaki gibi ifade edilmiştir;

$$\sin i = \frac{V_t}{V} = \sin\theta(z)\sin\kappa_t \tag{6.12}$$

Kesmenin mekaniği kesme ağzına dik olan normal düzlem üzerinde tanımlanmıştır. Eğer kesme ağzının normali P noktasında olduğu düşünülürse, hızın bir bileşeni

kesme ağzına dik olur (V_y (z) $\cos\kappa_t$), diğer bileşeni V_y' ye paralel olur. İki hız bileşeni arasındaki açı;

$$\tan\gamma_d = \frac{V_y \cos\kappa_t}{V_x} = \tan\phi(z)\cos\kappa_t \tag{6.13}$$

Efektif talaş açısı (α_f) Armarego ve Brown tarafından kesme ağzı üzerindeki bir nokta, kesme hızı boyunca ve değişimin izdüşümü kullanılarak aşağıdaki gibi belirlenmiştir [11, 22];

$$\tan\alpha_f = \frac{\tan\beta(z)\cos\theta(z)}{\sin\kappa_t - \tan\beta(z)\sin\theta(z)\cos\kappa_t} \tag{6.14}$$

Talaş açısı geometriden yararlanılarak bulunursa;

$$\alpha_n = \alpha_f - \gamma_d \tag{6.15}$$

Takım geometrisi karmaşık olmasına rağmen kesme ağzı boyunca oluşan kesme kuvvetlerinin tahmini için Eşitlik (6.13), Eşitlik (6.14) ve Eşitlik (6.15) kullanılabilir. Eğer kesme ağzının dz yüksekliğindeki ve Δb genişliğinde bir parçası alınırsa bu parçanın kaldırdığı talaş alanı;

$$dA(z) = \Delta b h \tag{6.16}$$

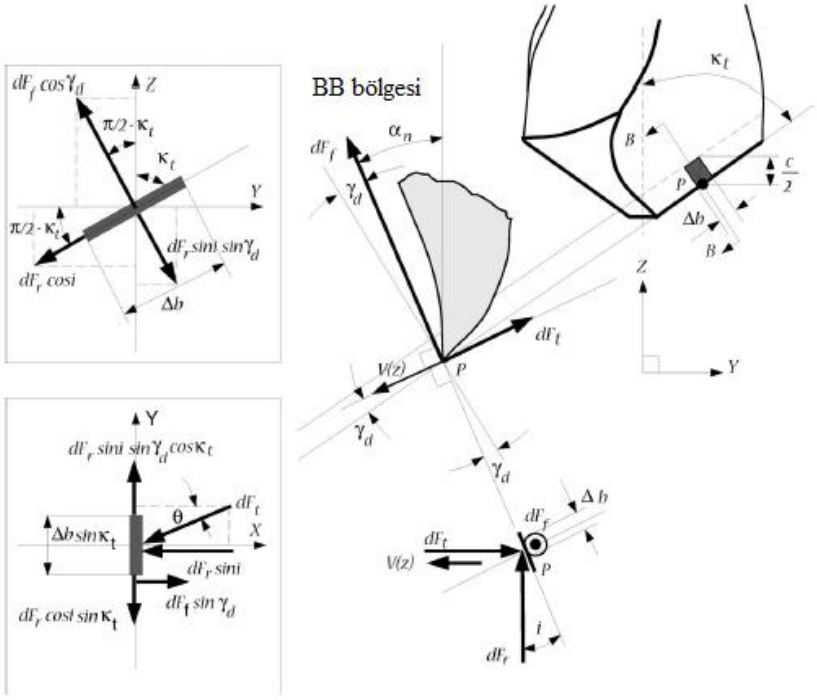
Burada h iki oyuktan biri tarafından tahliye edilen talaş kalınlığı ve talaş genişliği Δb;

$$h = \frac{c}{2}\sin\kappa_t$$
$$\Delta b = \frac{dz}{\cos\kappa_t} \tag{6.17}$$

Talaş akışı ve radyal doğrultuya teğet kesme kuvveti (kesme hızına paralel);

$$\left.\begin{aligned} dF_t(z) &= K_{tc}(z)dA + K_{te}\Delta b \\ dF_f(z) &= K_{fc}(z)dA + K_{fe}\Delta b \\ dF_r(z) &= K_{rc}(z)dA + K_{re}\Delta b \end{aligned}\right\} \quad (6.18)$$

Burada her element için z kotundaki kesme katsayısı değişken helis, talaş ve eğim açısından dolayı farklıdır.



Şekil 6.4. Kesme kuvvet doğrultuları [11]

Kesme ağzı sabitleri K_{te}, K_{fe} ve K_{re} deneysel olarak değerlendirilmiş ve kesme sabitleri K_{tc}, K_{fc} ve K_{rc} ortagonal kesme verilerinden Eşitlik (5.16) kullanılarak dönüştürülmüştür.

Kesme kuvvet elementlerinin bileşenleri (dF_t, dF_f, dF_r) x, y, z doğrultularında Şekil 6.4'te gösterilmiştir;

$$\left.\begin{aligned} dF_x(z) &= \left[dF_f \sin\gamma_d - dF_t \cos\theta - dF_r \sin i\right] \\ dF_y(z) &= \left[dF_r \sin i \sin\gamma_d \cos\kappa_t - dF_f \cos\gamma_d \cos\kappa_t - dF_t \sin\theta\right] \\ dF_z(z) &= \left[dF_f \cos\gamma_d \sin\kappa_t - dF_r(\cos i \cos\kappa_t + \sin i \sin\gamma_d \sin\kappa_t)\right] \end{aligned}\right\} \quad (6.19)$$

Delmedeki toplam kesme kuvveti ve tork tüm kesme ağzı elementlerinin toplanmasıyla bulunabilir. İki kesme ağzından kaynaklanan toplam kesme kuvveti ve tork aşağıda gösterilmiştir;

$$\left.\begin{aligned} KUVVETT_{ii} &= 2\sum_{m=1}^{M} dF_z \\ TORKE_{ii} &= \sum_{m=1}^{M} dF_t(z)r(z) \end{aligned}\right\} \quad (6.20)$$

Delmede kullanılan toplam kesme kuvveti kesme ağzı ve radyal kuvvetlerin toplanmasından elde edilir;

$$KUVVET = KUVVET_i + KUVVET_{ii} \quad (6.21)$$

Radyal kesme kuvvetinden kaynaklanan tork ihmal edilebilir [11].

7. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Talaşlı şekil verme yöntemleri arasında en çok kullanılan yöntem delme yöntemidir. Özellikle havacılık ve otomotiv sanayiinde bu durum daha da artmaktadır [32].

Ultrasonik delme, lazerle delme, su jetiyle delme vs. birçok delme prosesi bulunmakta ve bu yöntemler konvansiyonel delik delmeye göre daha ekonomik ve daha kaliteli olmasına rağmen günümüzde hala en çok kullanılan yöntem konvansiyonel yöntemdir [33].

Günümüzde alüminyum alaşımları fiziksel ve kimyasal özelliklerinin elverişli olmasından dolayı en çok kullanılan malzemeler arasında çelikten sonra ilk sıradadır [1].

Alüminyum alaşımları 1930'lu yıllardan beri uçak konstrüksiyonlarında kullanılmaktadır. 6xxx alüminyum alaşımları uçak sanayiinde gövde kaplama sacı ve diğer parçalar olarak kullanılır, otomotiv sanayiinde karoser ve tampon imalatında kullanılmaktadır [34].

Alüminyum alaşımlarının en çok kullanıldığı yerler uzay otomobil ve hızlı tren sanayileridir [34, 37]. Delme operasyonu talaşlı şekil verme işlemlerinin en önemlilerindendir [38].

Literatür araştırması yapıldığında delik delme operasyonlarının iyileştirilebilmesi amacıyla birçok çalışma yapıldığı görülmektedir.

Sharif ve Rahim [39] TiAlN kaplamalı ve kaplamasız matkap uçlarının Ti_6Al_4V'nin delinmesinde takım ömrü ve yüzey kalitesi bakımından performans farklılıklarını incelemişlerdir. Çalışma sonrasında takım aşınması mikroskopla fotoğraflanmış ve en az aşınma TiAlN kaplamalı matkap ucunda 0,06 mm/dev kesme hızında elde edilmiştir.

Kalidas ve diğerleri [40] TiAlN kaplamalı, MoS_2 kaplamalı ve kaplamasız matkap ucunun yüzey kalitesine etkisini incelemişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda TiAlN' in ısı iletim katsayısı en düşük olduğundan istenilen delik çapına en yakın sonuçlar elde edilmiştir. Çalışma sonrasında matkap ucuna yapılan kaplamaların yüzey kalitesini etkilemediğini görmüşlerdir.

Gaitonde ve diğerleri [41] Genetik Algoritma yardımıyla AISI 316L paslanmaz çeliğin delinmesinde çapak oluşumunu etkileyen parametreleri incelemişlerdir. Simülasyon sonuçlarına göre uç açısı ve kesme hızının çapak oluşumunda çok önemli iki parametre olduğu görülmüştür.

Haan ve diğerleri [42] soğutma sıvısının delme parametrelerine etkilerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda soğutma sıvısının yüzey kalitesini etkileyen önemli bir faktör olduğu görülmüştür.

Jayabal ve Natarajan [43] uç açısı, dönme ve ilerleme hızlarının kesme kuvvetleri ve torklarına etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla matematiksel bir model oluşturmuşlardır. Oluşturulan model deneysel sonuçlarla %97'lere kadar doğrulanmıştır.

Ferreiro ve diğerleri [44] AA7075-T6 alüminyum alaşımının yüksek hızlarda delinmesinde çapak oluşumunu temsil eden bir model geliştirmişlerdir. Modelden elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında %90'lara kadar çapak oluşumunu temsil ettiği görülmüştür.

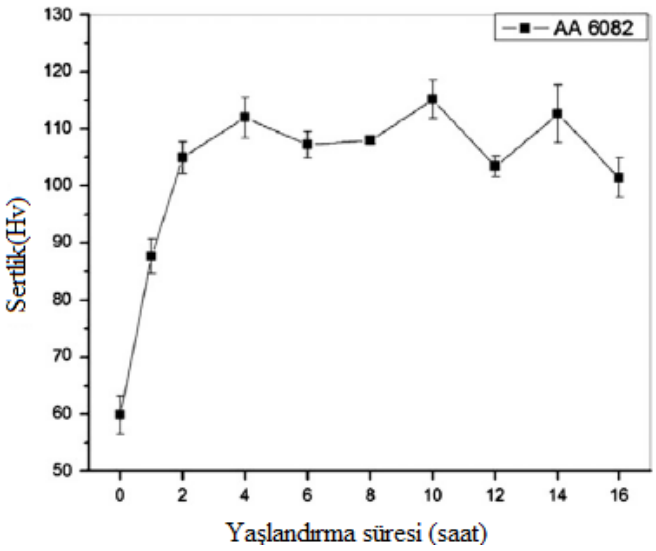
Pilny ve diğerleri [45] 2 mm kalınlığında Al99,7Mg0,5Cu-H24 levhaya 1,6 mm ve 2 mm çapında delikler delmişlerdir. kesme parametreleri, bağlantı çeşitleri ve malzeme geometrileri değiştirilerek proses optimize edilmiştir. Çalışmanın sonucunda ilerleme hızıyla çapak oluşumunun doğru, kesme hızıyla çapak oluşumunun ise ters orantılı olduğu görülmüştür. En az çapak oluşumu ilerleme hızı 226 mm/dak ve kesme hızı 0,035 mm/dev' de elde edilmiştir.

Chang ve Bone [46] ince çelik saca 4, 6, 8, 10, 12 kHz titreşim vererek delikler delmişlerdir. Deney sonucunda ultrasonik titreşimlerin kesme kuvvetleri, yüzey kalitesi ve takım aşınması parametrelerini iyileştirdiği görülmüştür. Deney sonuçları

hazırlanmış olan modelle karşılaştırılmış ve maksimum hatanın %7 olduğu görülmüştür.

Chang ve Bone [47] AA1100 malzemesine delme sırasında ultrasonik titreşimler vererek ultrasonik titreşimlerin çapak oluşumu, talaş şekilleri, kesme kuvvetleri ve takım ömrüne etkisini incelemişlerdir. Yapılan deneylerde TiN kaplamalı ve kaplamasız matkap uçları kullanmıştır. Yüksek frekans ve düşük genlikte verilen ultrasonik titreşimlerin kesme kuvvetlerini %20, çapak boyutlarını %85 iyileştirdiği ve talaş şekillerinin konvansiyonel yönteme göre daha küçük olduğu görülmüştür, ancak takım aşınmasının %35 arttığı görülmüştür.

Huang ve Lin [48] AA 6061 malzemesinin delme parametrelerinin optimizasyonunu yapmak için Taguchi metodunu kullanmışlardır. TiN, TiAlN ve CrN kaplamalı matkap uçları kullanılmıştır. Çalışma sonucunda takım ömrü, yüzey kalitesi ve çapak oluşumu bakımından optimum sonuçları CrN kaplamalı matkap ucuyla 3000 dev/dak ve 0,1 mm/dev kesme hızında elde etmişlerdir.



Şekil 7.1. AA6082 alaşımının yaşlandırma karakteristiği [49]

Das ve diğerleri [49] AA6082 alüminyum alaşımının yaşlandırma karakteristiğini incelemişlerdir. Çalışma kapsamında AA6082 öncelikle 540 °C'de 2 saat bekletilip sonrasında 10 °C'deki suya atılarak çözündürme işlemi tamamlanmış. Sonrasında 180 °C'de yaşlandırma karakteristiği incelenmiştir. Aşağıda elde edilen grafikten'de

görüldüğü gibi AA6082 alüminyum alaşımı 10 saatte maksimum sertliğe ulaşmıştır (Şekil 7.1).

Karakulak ve diğerleri [50] Al-Si ötektik alaşımının işlenebilirliğine bakır katkısı ve ısıl işlemin etkisini incelemişlerdir. Çalışma kapsamında farklı bakır miktarları eklenilen Al-Si ötektik alaşımının ısıl işlem öncesi ve sonrası delme işlemlerini yapmışlar ve kesme kuvvetleri ve talaş şekillerini incelemişlerdir.

8. DENEYSEL ÇALIŞMA

Gerçekleştirilen deneysel çalışmada AA6082 alüminyum malzeme kullanılmıştır. Deney numuneleri 50 mm çapında silindirik bir boydan 160 mm uzunluğunda kesilerek elde edilmiştir. Malzemenin karşılıklı dairesel yüzeyleri 6'şar mm frezeleyerek, deneylerde kullanılacak malzeme yüksekliği 38 mm olarak elde edilmiştir. Aynı ölçülerde hazırlanan iki deney numunesine T6 yaşlandırması yapılmıştır. AA6082-T6 malzemesinin kimyasal bileşimi, fiziksel özellikleri ve mekanik özellikleri sırasıyla Tablo 8.1, Tablo 8.2 ve Tablo 8.3'de verilmiştir.

Tablo 8.1. AA6082-T6 kimyasal bileşimi [51]

Element	% içerik
Silisyum (Si)	0,7 – 1,3
Demir (Fe)	0,0 – 0,5
Bakır (Cu)	0,0 – 0,1
Mangan (Mn)	0,4 – 1,0
Magnezyum (Mg)	0,6 – 1,2
Çinko (Zn)	0,0 – 0,2
Titanyum (Ti)	0,0 – 0,1
Krom (Cr)	0,0 – 0,25
Alüminyum (Al)	Kalan

Tablo 8.2. AA 6082-T6 fiziksel özellikler [51]

Fiziksel özellik	Değer
Yoğunluk	2,7 g/cm
Erime Noktası	555 °C
Isıl Genleşme	24.10^{-6} 1/K
Elastisite Modülü	70 GPa
Isıl İletkenlik	180 W/m.K
Elektriksel Direnç	$0{,}038.10^{-6}$ Ω.m

Tablo 8.3. AA 6082-T6 mekanik özellikleri [51]

Mekanik özellik	Değer
Çekme Dayanımı	340 MPa
Uzama	% 11
Kayma Dayanımı	210 MPa
Vickers Sertliği	100 HB

8.1. Deney Ekipmanlarının Tanıtımı

Deneylerde kullanılan alüminyum malzemeler 50 mm çapında silindirik bir boydan iki adet 160 mm uzunluğunda olmak üzere şerit testere makinesi ile kesilmiştir. Kesilen bu silindirik malzemelere delme için doğrusal bir yüzey elde etmek amacıyla üniversal freze tezgahında karşılıklı iki yüzeyinden frezeleyerek 38 mm yüksekliğinde deney numuneleri elde edilmiştir.

İş parçası delme işleminden önce T6 yapay yaşlandırma yöntemi ile sertleştirilmiştir. Yaşlandırma işlemi öncesinde, parça 570°C'de çözeltiye alma işlemine tabi tutulmuştur. Bu sıcaklıkta 4 saat bekletildikten sonra, 20°C'de su verilerek soğutulmuştur. Böylece malzeme homojen bir hale gelmiştir. Bu işlemin devamında, iş parçası 180°C'de 12 saat boyunca yapay yaşlandırılmıştır. Yaşlandırma işlemi sonunda iş parçasının sertliği 82 HB olarak ölçülmüştür.

Sertleştirilen numuneler TOSS TU5032B matkap tezgahında iki farklı devirde farklı matkap uçlarıyla delinmiştir. Kullanılan matkap tezgahının teknik özellikleri Tablo 8.4'te verilmiştir. Kullanılan matkap tezgahının resmi ise Şekil 8.2'de verilmiştir.

Matkap uçlarından en yaygın kullanılanı HSS matkap uçlarıdır. HSS matkap uçları fiyat/performans oranına göre incelendiğinde birçok uygulamada tercih edilmektedir. Ancak daha sert malzemelerin delinmesinde veya daha iyi yüzey kalitesi ve ovalite istenilen durumlarda kaplamalı veya alaşımlı matkap uçları kullanılır.

Titanyum nitrür malzemesi metal–ametal bileşimidir. Metal–ametal bileşimlerine seramik malzemeler denir. Seramik malzemelerin en önemli özelliklerinden biri ısı iletim katsayısının düşük olmasıdır. TiN kaplamalı matkaplarda TiN kaplaması düşük ısı iletkenliği sayesinde takımın ısınmasını engeller [11, 52].



Şekil 8.1. Deneylerde kullanılan matkap uçları

Bu tez çalışması kapsamında HSS–G (Taşlanmış), HSS–G Co ve HSS–G TiN matkap uçları kullanılmıştır. HSS matkap uçları İngilizce "High Speed Steel" ifadesinin kısaltması olup Matkap malzemesinin hız çeliği olduğunun ifadesidir. Matkap uçlarının ismindeki G kodu İngilizce "Ground" kelimesinin kısaltması olup taşlanmış matkaplar için kullanılmaktadır. Kısaltmalardaki Co kobalt alaşımlı matkap ucu demektir. Kısaltmalardaki TiN titanyum nitrür kaplamalı matkap ucunu ifade eder (Şekil 8.1).

HSS-G matkap ucunun sertlik değeri 647 HB'dir [53]. HSS-G Co matkap ucunun sertlik değeri 705 HB'dir [54]. HSS-G TiN matkap ucunun sertlik değeri 2040 HB'dir [54].

Bu tez çalışması kapsamında HSS-G matkap ucu, % 5 kobalt alaşımlı matkap ucu ve TiN kaplamalı matkap ucunun AA6082-T6 malzemesinin delinmesinde takım ömrü, yüzey kalitesi, ovalite, kesme kuvvetleri ve kesme momentlerine etkisi incelenecektir.



Şekil 8.2. Matkap tezgahı [55]

Tablo 8.4. Matkap tezgahı teknik özellikler [55]

Teknik özellik	Birim	Değer
Maksimum delme çapı	mm	32
Maksimum kılavuz çekme kapasitesi		M 22
Maksimum iş mili hareketi	mm	160
İş mili ile merkezi sütun arası mesafe	mm	320
İş mili ucu tabla arası maksimum mesafe	mm	1195
İş Tablası Dönme Açısı		45°
İş Mili Hızı	dev/dak	125 – 3030
İş Mili Hız Kademesi	adet	12
İş Mili Koniği	M	No : 4
İş Mili Otomatik İlerleme	mm/dev	0,1 – 0,2 – 0,3
İş Tablası Ölçüsü	mm	500 * 420
Ana Motor Gücü	Kw	1 / 1,2
Tezgah Ölçüleri	mm	835 * 500 * 1960
Ağırlık	kg	500

Alüminyum numunelerin delinmesi sırasında oluşan kesme kuvvetleri ve moment değerleri matkabın tablasına bağlanan dört bileşenli Kistler 9272 piezoelektrik delme dinamometresi (Şekil 8.3) ve Kistler 5070 A yük amplifikatörü (Şekil 8.4) kullanılmıştır. Piezoelektrik dinamometreden veri aktarımı RS–232 ara yüzü ve Dynoware–Kistler bilgisayar yazılımı ile sağlanmaktadır. Veri aktarımı analog sinyallerin dijital sinyallere dönüştürülmesi mantığına dayanmaktadır [56].



Şekil 8.3. Kistler 9272 piezoelektrik dinamometre [58]



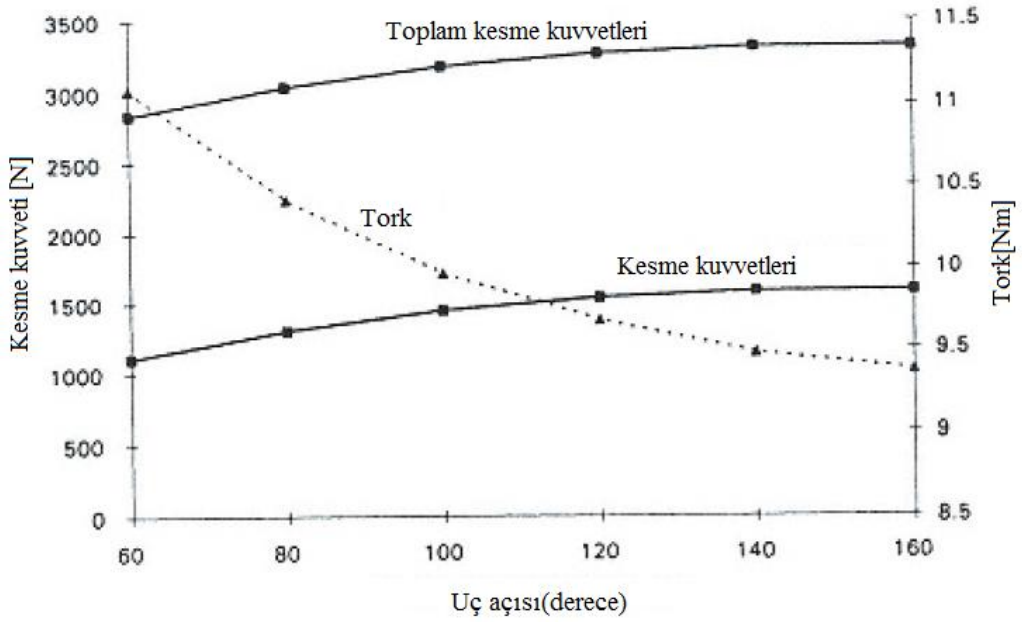
Şekil 8.4. Kistler 5070 A amplifikatör [59]

Uç açısıyla kesme kuvvetleri arasındaki ilişki Şekil 8.5'te verilmiştir. Şekil 8.5 incelendiğinde 118° ve 130° uç açısına sahip matkap uçları arasında önemli bir fark olmadığı görülmektedir.

Teorik olarak uç açısının düşey kesme kuvvetleri ile ilişkisi Eşitlik (6.1) ve Eşitlik (6.2)'de verilmiştir. 118° ve 130° için düşey kesme kuvvetleri teorik olarak ayrı ayrı hesaplandığında bu tez çalışmasında matkap uçları karşılaştırıldığından ihmal edilebilir bir düzeyde olduğu görülmüştür.

Tablo 8.5. Deneylerde kullanılan matkapların özellikleri

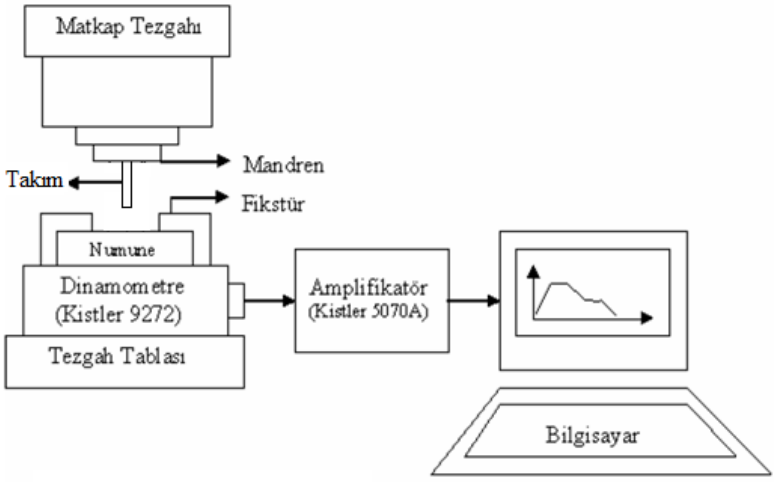
Özellik	HSS–G	HSS–G Co	HSS–G TiN
Oyma ucu	DIN 1412 C ayrık uçlu	DIN 1412 C çapraz bileme uçlu	DIN 1412 C çapraz bileme uçlu
Heliks açısı	20 – 30 °		
Ø Tolerans	H8		
Kesme yönü	Sağ		
Oyma açısı	118 °	130 °	118 °
Yüzey	Parlak	Altın kahverengi	TiN kaplama
Açıklama	Taşlanmış	% 5 Kobalt alaşımlı	TiN kaplama



Şekil 8.5. Uç açısının kesme kuvvetleri ve kesme torklarına etkisi [57]

8.2. Deneylerin Yapılması

Delme dinamometresi uygun bağlantı elemanlarıyla tezgahın tablasına bağlanmıştır. 38 mm yüksekliğinde ve 160 mm uzunluğundaki deney numunesi dinamometre üzerine uygun bağlantı elemanlarıyla bağlanmıştır. Delmenin ve ölçümlerin yapıldığı deney düzeneği Şekil 8.6 ve Şekil 8.7'da gösterilmiştir.



Şekil 8.6. Test düzeneği şematik çizimi



Şekil 8.7. Test düzeneği fotoğrafı

Delme deneylerinde kullanılacak olan kesme hızı, ilerleme kullanılan matkap ucunun gösterildiği deney planı Tablo 8.6'da gösterilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında HSS–G, HSS–G Co ve HSS–G TiN matkap uçlarının delme parametrelerine olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla 315 dev/dak ve 760 dev/dak kesme hızı olarak seçilmiştir. Her bir parametreyle yapılan deneyler 15 kez tekrarlanarak seçilen parametrelerin takım ömrüne etkisi incelenmiştir.

Tablo 8.6. Deney planı

Parametre	HSS-G	HSS-G Co	HSS-G TiN	HSS-G	HSS-G Co	HSS-G TiN
Matkap Çapı (mm)	6	6	6	6	6	6
İlerleme Hızı (mm/dev)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Kesme Hızı (dev/dak)	315	315	315	760	760	760
Tekrarlanan Deney Sayısı	15	15	15	15	15	15

Tablo 8.6'da görüldüğü gibi her bir deney parametresi için 15 delik delinmiştir (Şekil 8.8). Elde edilen sonuçlar ilk deliklerdeki ortalama değerler ve son deliklerdeki ortalama değerler olarak ayrı ayrı kaydedilmiştir (Tablo 8.7).



Şekil 8.8. Deney görüntüsü

8.3. Deney Sonuçları

Alüminyum alaşımının Tablo 8.6'da verilen delme parametreleriyle delinmesi sonucu elde edilen ortalama kesme kuvvetleri ilk delikler ve son delikler için Tablo 8.7'de verilmiştir.

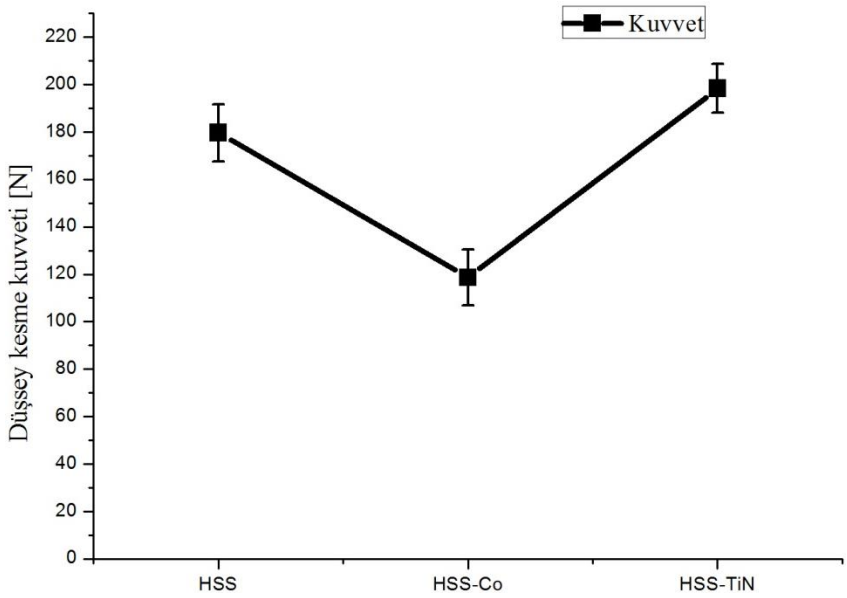
Tablo 8.7. Dinamometreyle ölçülen ortalama kesme kuvvetleri

	AA 6082			AA 6082 T6		
Kullanılan Matkap Ucu	HSS–G	HSS-G Co	HSS-G TiN	HSS-G	HSS-G Co	HSS-G TiN
Matkap Çapı (mm)	6	6	6	6	6	6
İlerleme Hızı (mm/dev)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Kesme Hızı (dev/dak)	315	315	315	760	760	760
İlk Delikler (N)	180	118	200	225	150	400
Son Delikler (N)	190	140	210	240	150	430

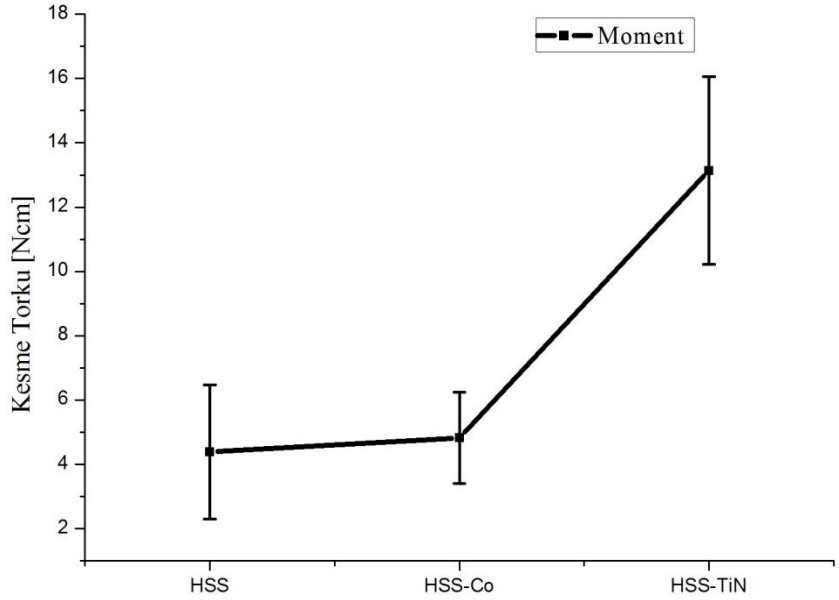
8.4. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

8.4.1. Kuvvet ve tork ölçümlerinin değerlendirilmesi

315 dev/dak kesme hızında 0,1 mm/dev ilerleme hızıyla ilk deliklerin delinmesinde oluşan kesme kuvvetleri ve delme momentleri sırasıyla Şekil 8.9 ve Şekil 8.10'da gösterilmiştir.

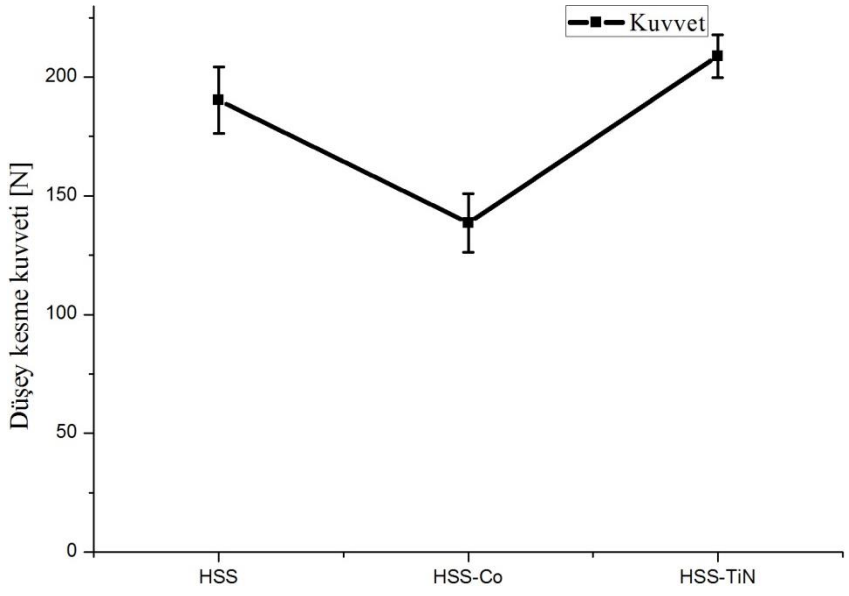


Şekil 8.9. 315 dev/dak kesme hızında dinamometreyle ölçülen ilk deliklerde oluşan ortalama kesme kuvvetleri

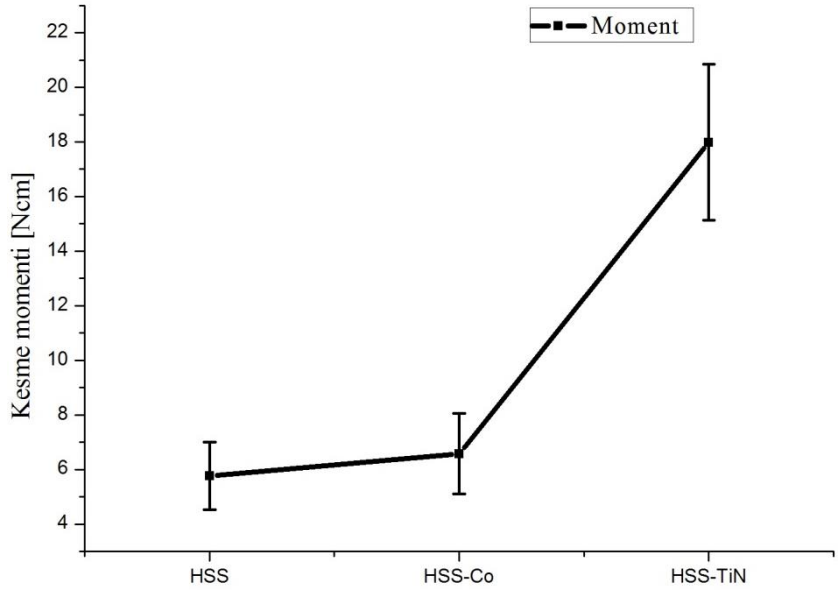


Şekil 8.10. 315 dev/dak kesme hızında dinamometreyle ölçülen ilk deliklerde oluşan ortalama delme momentleri

315 dev/dak kesme hızında 0,1 mm/s ilerleme hızıyla son deliklerin delinmesinde oluşan kesme kuvvetleri ve momentler sırasıyla Şekil 8.11 ve Şekil 8.12'de gösterilmiştir.

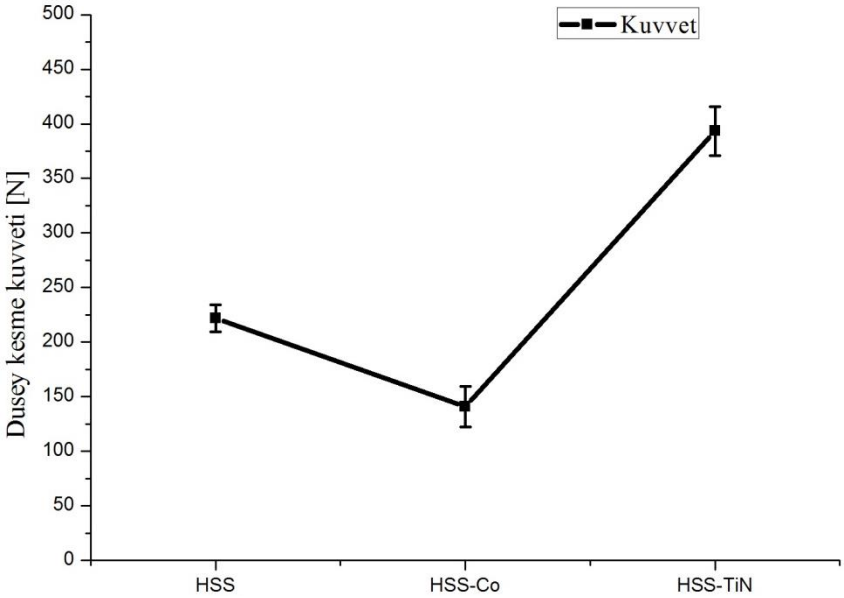


Şekil 8.11. 315 dev/dak kesme hızında dinamometreyle ölçülen son deliklerde oluşan ortalama kesme kuvvetleri

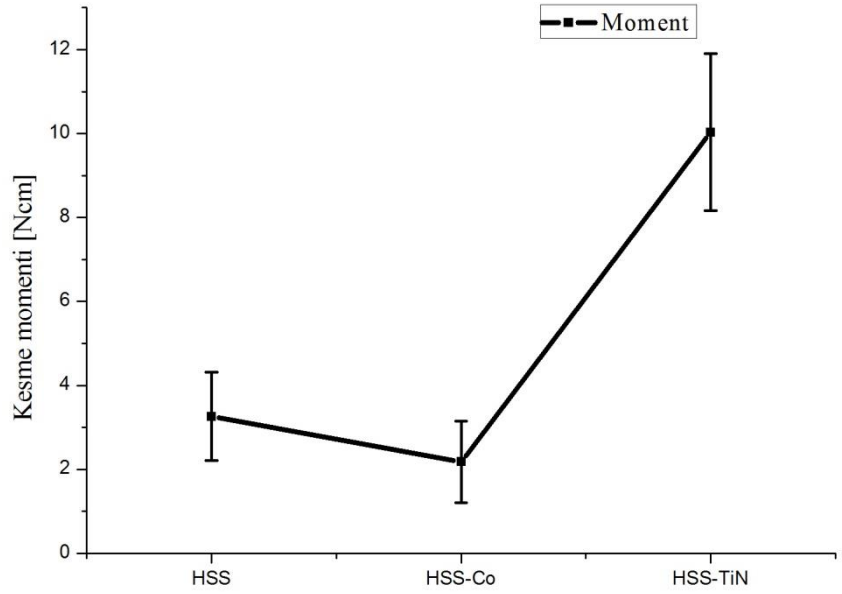


Şekil 8.12. 315 dev/dak kesme hızında dinamometreyle ölçülen son deliklerde oluşan ortalama delme momentleri

760 dev/dak kesme hızında 0,1 mm/s ilerleme hızıyla ilk deliklerin delinmesinde oluşan kesme kuvvetleri ve momentler sırasıyla Şekil 8.13 ve Şekil 8.14.0'de verilmiştir.

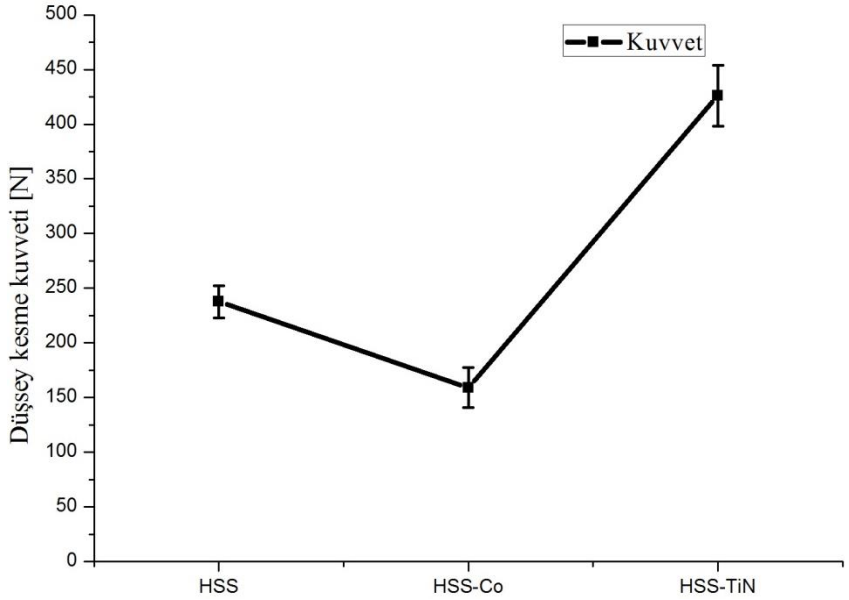


Şekil 8.13. 760 dev/dak kesme hızında dinamometreyle ölçülen ilk deliklerde oluşan ortalama kesme kuvvetleri

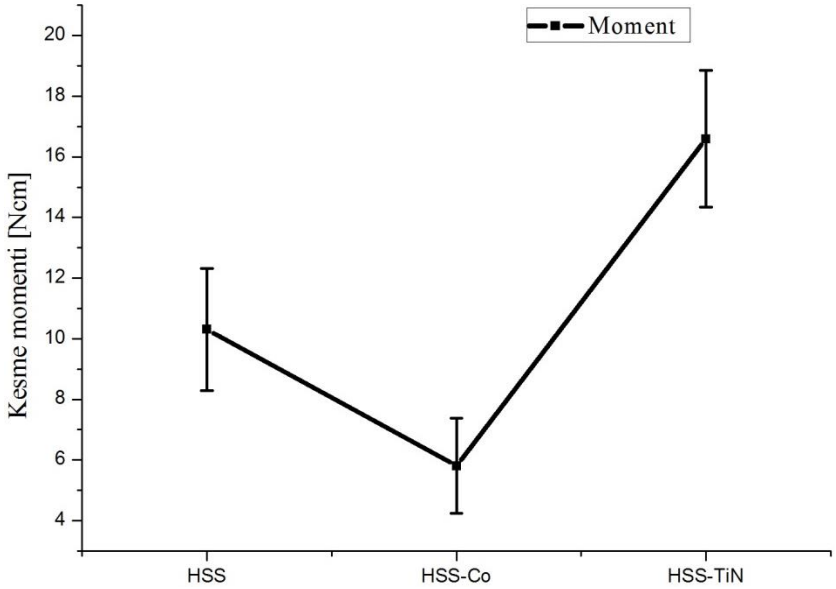


Şekil 8.14. 760 dev/dak kesme hızında dinamometreyle ölçülen ilk deliklerde oluşan ortalama delme momentleri

760 dev/dak kesme hızında 0,1 mm/s ilerleme hızıyla son deliklerin delinmesinde oluşan kesme kuvvetleri ve momentler sırasıyla Şekil 8.15 ve Şekil 8.16'de verilmiştir.



Şekil 8.15. 760 dev/dak kesme hızında dinamometreyle ölçülen son deliklerde oluşan ortalama kesme kuvvetleri



Şekil 8.16. 760 dev/dak kesme hızında dinamometreyle ölçülen son deliklerde oluşan ortalama delme momentleri

TiN kaplamalı matkap ucuyla delme sırasında oluşan talaş matkap yüzeyine sarılmıştır (Şekil 8.17). Sarılan talaş matkabın kesmesini zorlaştırdığı gibi delik iç yüzeyleriyle olan temas yüzey alanını arttırdığından sürtünme kuvvetleri ve yüzey sıcaklığını arttırdığı düşünülmektedir. Bunun sonucunda en yüksek kesme kuvvetleri TiN kaplamalı matkapta meydana gelmiştir.



Şekil 8.17. HSS-G TiN matkap ucu talaş sarılması

Şekil 8.9, Şekil 8.11, Şekil 8.13 ve Şekil 8.15 incelendiğinde en düşük kesme kuvvetlerinin kobalt alaşımlı matkap ucunda elde edildiği görülmüştür. Yüksek kesme kuvvetleri matkabın kesmede zorlandığını göstermektedir.

Takımın kesmede zorlanması, diğer bir deyişle sürtünme kuvvetlerinin fazla olması sonucu delme sırasında oluşan sıcaklık artacağından dolayı delik içi yüzey kalitesinin de düşük olması beklenmektedir. Bu durumda en iyi yüzey kalitesi kobalt alaşımlı matkap ucunda en kötü yüzey kalitesinin ise TiN kaplamalı matkapla delinen deliklerde olması beklenmektedir.

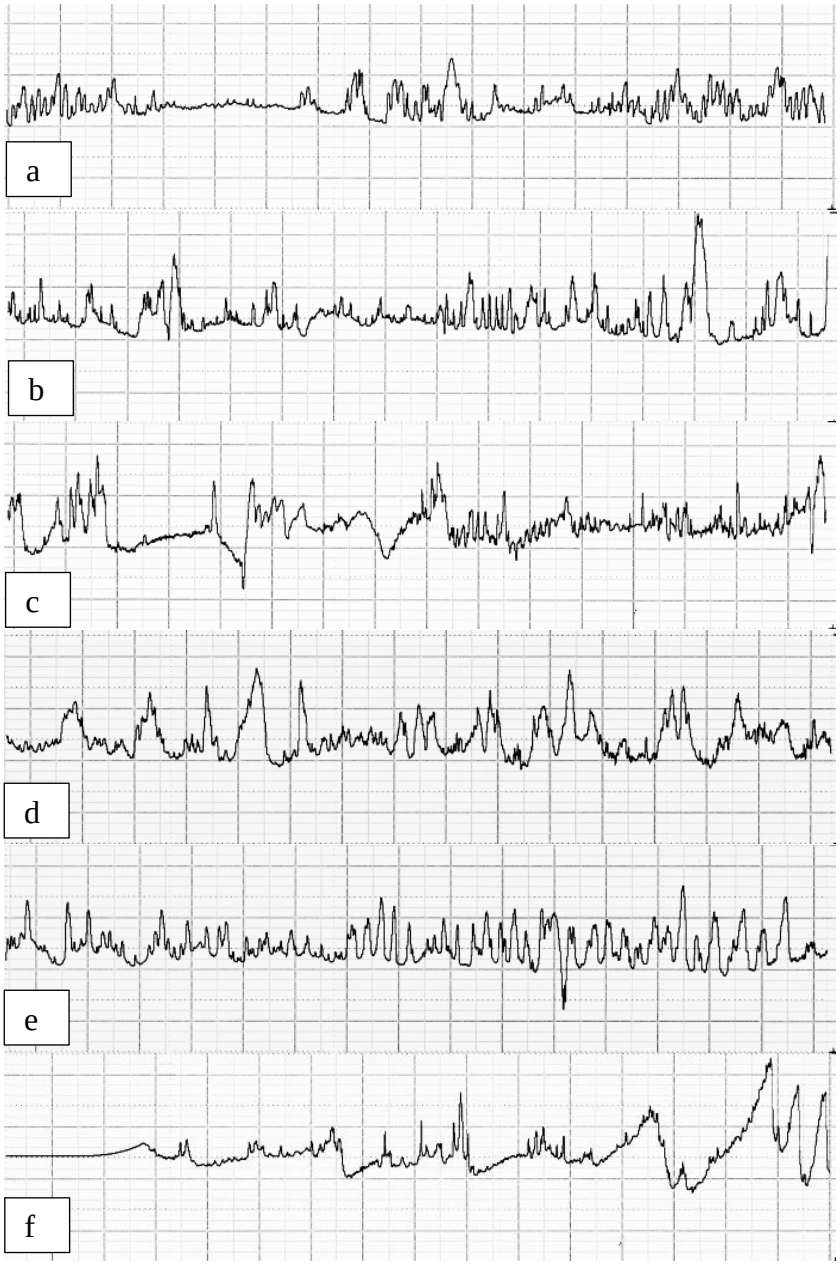
Kesme kuvvet grafikleri incelendiğinde son deliklerde ilk deliklere göre daha fazla kesme kuvvetleri oluşmuştur. Kesme kuvvetlerindeki bu artış takımın aşınmasının göstergesidir.

Kesme kuvvet grafikleri incelendiğinde 315 dev/dak kesme hızında HSS–G (Taşlanmış) matkap ucuyla yapılan deneylerde kesme kuvveti artış oranı 0,055, aynı kesme hızında HSS–G Co matkap ucunda bu oran 0,186, aynı kesme hızında HSS–G TiN de ise 0,050 olduğu görülmektedir. 760 dev/dak kesme hızında HSS–G (Taşlanmış) matkap ucunda bu oran 0,067, aynı kesme hızında HSS–G Co matkap ucunda 0, aynı kesme hızında HSS–G TiN matkap ucunda 0,075 olduğu görülmektedir.

Yukarıda bahsedilen oranlara göre değerlendirme yapıldığında 15 delik sonucunda en çok aşınma kobalt alaşımlı matkapta en az aşınma ise TiN alaşımlı matkap ucunda meydana geldiği düşünülmektedir. Kesme hızının artmasıyla ise bu oranlar arttığından takım aşınmalarının arttığı düşünülmektedir.

8.4.2. Yüzey pürüzlülük ölçümlerinin değerlendirilmesi

Tüm deliklerin delinmesi tamamlandıktan sonra elde edilen deliklerin yüzey pürüzlülüğü, ovalitesi ve doğrusallığı ölçülmüştür (Şekil 8.18).



Şekil 8.18. AA6082 alüminyum alaşımının a) HSS-G b) HSS-G Co c) HSS-G TiN matkap uçlarıyla AA6082-T6 alüminyum alaşımının d) HSS-G e) HSS-G Co f) HSS-G TiN matkap uçlarıyla delinen deliklerin yüzey pürüzlülük test sonuçları

Tablo 8.8. Delinen deliklerin yüzey pürüzlülük değerleri

Pürüzlülük	Matkap Ucu	Ra (µm)	Rz (µm)
AA6082	HSS–G (Taşlanmış)	4,266	24
	HSS-G Co	2,349	15,8
	HSS-G TiN	2,609	18,5
AA6082-T6	HSS–G (Taşlanmış)	2,786	16,1
	HSS-G Co	2,443	14,3
	HSS-G TiN	2,248	13

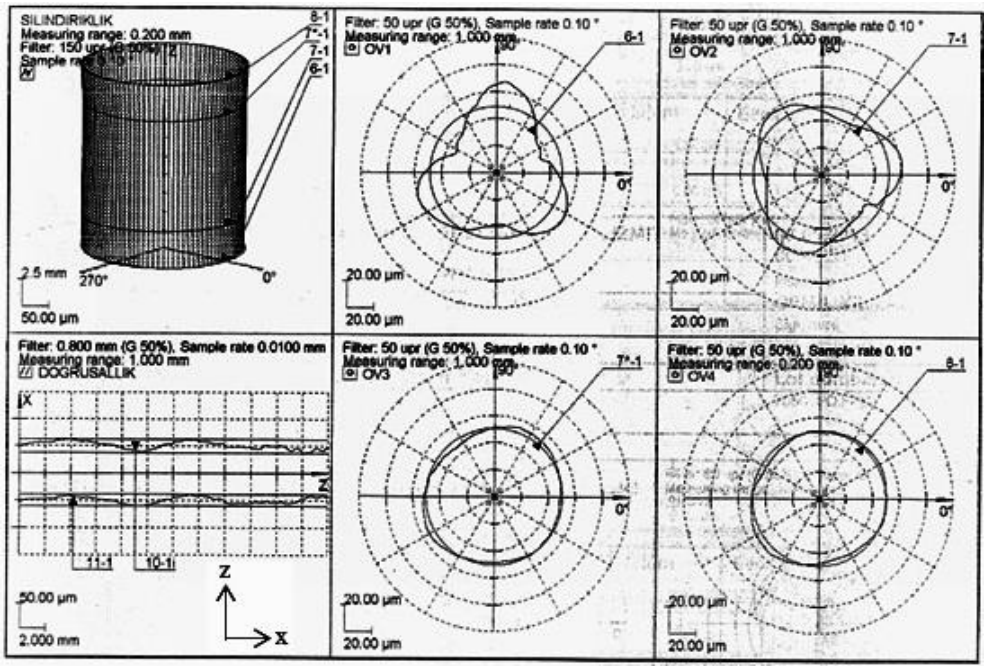
Tablo 8.8 incelendiğinde yüzey pürüzlülüğünün en iyi HSS-G TiN matkap ucuyla delinen deliklerde olduğu görülmesine rağmen, Şekil 8.18 incelendiğinde yüzey pürüzlüğü en düzgün olanın Ra ve Rz değerlerine muhalif olarak HSS-G Co matkap ucuyla delinen deliklerde olduğu görülmektedir. Şekil 8.18 f incelendiğinde matkabın ilk girdiği anda çok güzel yüzey elde etmiş olmasına rağmen ilerledikçe yüzeyin çok fazla bozulduğu görülmektedir. Bunun sebebi HSS-G TiN matkapla delme sırasında talaşın takım üzerine sıvanmasıdır. Delik çıkışına yaklaştıkça sıvanan talaş miktarı artmakta ve delik yüzeyiyle temas halinde bulunan yüzey alanı artmaktadır. Bunun sonucunda delik çıkışına doğru çok kötü yüzey elde edildiği görülmektedir.

HSS-G TiN matkap ucuyla yapılan delme deneyindeki talaşın takıma sıvanmasından kaynaklanan yüzey bozukluğu dikkate alındığında, ölçülen kesme kuvvetlerine göre ulaştığımız sonuç testlerle de doğrulanmış olmaktadır. Sonuç olarak 760 dev/dak kesme hızında, 0,1 mm/dev ilerleme hızında, AA6082-T6 malzemesinin, yukarıda bahsi geçen üç ayrı matkap ucuyla delinmesi deneyinin sonuçlarına göre, en iyi yüzey kalitesi HSS-G Co matkap ucunda ve en kötü yüzey HSS-G TiN matkap ucuyla delinen deliklerde olduğu söylenebilir.

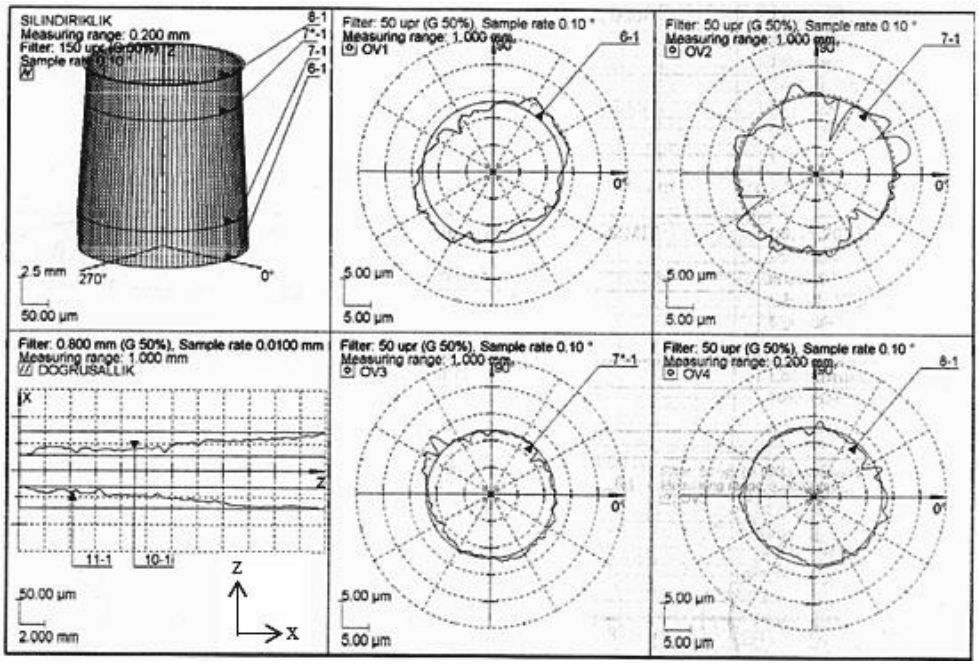
T6 sertleştirmesi yapılmamış AA6082 alüminyum alaşımının delinmesi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük testi sonuçlarına göre en iyi yüzey HSS-G Co matkap ucuyla delinen deliklerde, en kötü yüzey kalitesi ise HSS-G (Taşlanmış) matkap ucuyla delinen deliklerin yüzeylerinde görülmüştür. Şekil 8.18 c ve Şekil 8.18 f'de HSS-G TiN matkap ucuyla delinen deliklerde yüzey kalitesinde istikrarsızlık görülmektedir. Bu olayın da HSS-G TiN matkap ucuyla delinme esnasında talaşın matkap üzerine sarılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. AA6082 alüminyum

alaşımının sertleştirme öncesi ve sonrası delinmesinden elde edilen delik yüzeyleri kıyaslandığında tüm matkap uçlarında sertleştirme sonrası elde edilen yüzey kalitelerinin daha iyi olduğu görülmektedir. Bu sonucun malzemenin sertleştikçe plastik şekil verme kabiliyetinin azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

8.4.3. Silindiriklik, ovalite ve doğrusallık ölçümlerin değerlendirilmesi



Şekil 8.19. 760 dev/dak kesme hızında HSS-G Co matkap ucuyla AA6082-T6 malzemesine delinen deliklerin doğrusallık, ovalite ve silindiriklik test sonuçları



Şekil 8.20. 760 dev/dak kesme hızında HSS-G (Taşlanmış) matkap ucuyla AA6082-T6 malzemesine delinen deliklerin doğrusallık, ovalite ve silindiriklik test sonuçları

Tablo 8.9. Delinen deliklerin ovalite test sonuçları

Ovalite	Matkap Ucu	1 (µm)	2 (µm)	3 (µm)	4 (µm)
AA 6082	HSS-G Co	28,26	14,46	10,26	23,23
	HSS-G TiN	27,31	23,1	28,11	45,98
AA 6082-T6	HSS-G (Taşlanmış)	6,33	11,54	5,84	4,02
	HSS-G Co	34,39	22	9,55	8,87

Tablo 8.10. Delinen deliklerin doğrusallık test sonuçları

Doğrusallık	Matkap Ucu	1 (µm)	2 (µm)
AA 6082	HSS-G Co	11,65	10,68
	HSS-G TiN	155	136,72
AA 6082-T6	HSS-G (Taşlanmış)	22,53	13,71
	HSS-G Co	24,14	22,23

Tablo 8.11. Delinen deliklerin silindiriklik test sonuçları

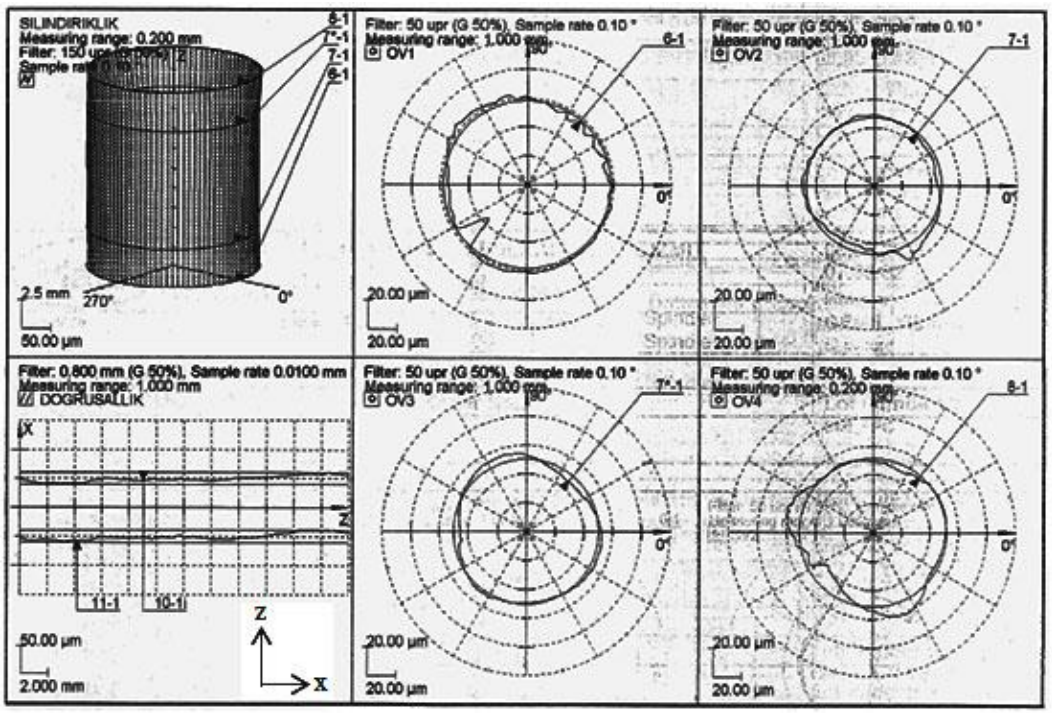
Silindiriklik	Matkap Ucu	(µm)
AA 6082	HSS-G Co	47,03
	HSS-G TiN	189,35
AA 6082-T6	HSS-G (Taşlanmış)	40,75
	HSS-G Co	37,07

AA 6082-T6 malzemesinin delinmesi sonucu oluşan deliklerin ovalite, doğrusallık ve silindiriklik testleri sonuçları Tablo 8.9, Tablo 8.10 ve Tablo 8.11'de verilmiştir. Bu sonuçlar karşılaştırıldığında ovalite değerleri HSS–G matkap ucuyla delinen deliklerde daha iyi olduğu görülmektedir. Tüm sonuçlarda HSS–G Co matkap ucu daha iyi sonuç verirken ovalite de HSS–G matkap ucu daha iyi sonuç vermiştir. Ancak ölçülen bu değerler mikron mertebesinde olduğundan yaklaşık 10 µm'lik bir farklılık görülmektedir, bu değer ise milimetrenin yüzde birine tekabül etmektedir. Yapılan deneyler konvansiyonel tezgahta olduğundan dolayı bu kadar hassas ölçümlerde sonuçlardaki farklılıkların kaçınılmaz olduğu düşünülmektedir. Literatürde yapılan yüzey kalite çalışmalarında sadece silindrikliğin değerlendirildiği görülmüştür. Bunun ise silindrikliğin daha optimum bir parametre olduğundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

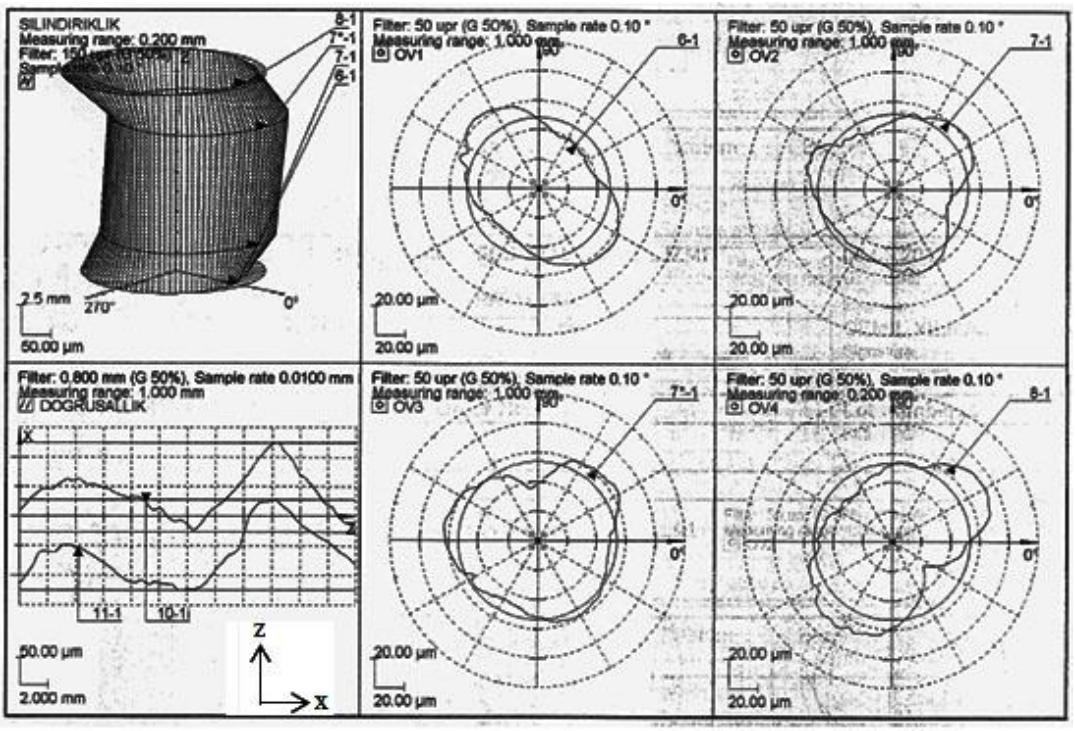
Doğrusallık sonuçları karşılaştırıldığında HSS–G matkap ucuyla delinen deliklerin daha doğrusal olduğu görülmektedir. Ancak bu farklılık 10 µm'yi bile bulmamaktadır. Ovalite sonuçlarında da olduğu gibi bu sonucun konvansiyonel tezgahla çalışıldığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Optimum parametre olan silindiriklik ölçümlerinden görüldüğü üzere en iyi sonuç HSS–G Co matkap ucuyla delinen deliklerde olduğu görülmektedir. Literatürdeki çalışmalarda yüzey kalitesi parametresi olarak silindiriklik kullanılmasından dolayı, yüzey kalitesi parametresi olarak bu çalışmada silindiriklik sonuçları dikkate alınmış, ovalite ve doğrusallık sonuçları ise ihmal edilmiştir.

HSS–G TiN matkap ucuyla delinen deliklerin yüzey kalite sonuçları AA6082 malzemesinin delinmesinde HSS–G Co matkap ucuyla karşılaştırılma yapılacak olduğundan burada değinilmemiştir.



Şekil 8.21. 760 dev/dak kesme hızında HSS-G Co matkap ucuyla AA6082 malzemesine delinen deliklerin doğrusallık, ovalite ve silindiriklik test sonuçları



Şekil 8.22. 760 dev/dak kesme hızında HSS-G TiN matkap ucuyla AA6082 malzemesine delinen deliklerin doğrusallık, ovalite ve silindiriklik test sonuçları

AA6082 malzemesinin delinmesi sonucu oluşan deliklerin ovalite, dairesellik ve doğrusallık testleri sonuçları Tablo 8.9, Tablo 8.10 ve Tablo 8.11'de verilmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığında HSS–G matkap ucuyla delinen deliklerin ovalite değerlerinin daha iyi olduğu görülmektedir. AA6082-T6 malzemesinin delinmesindeki sonuçlara benzer sonuçlar çıktığından AA6082-T6 malzemesi için yapılan yorumlar bu malzeme içinde geçerlidir.

Doğrusallık sonuçları karşılaştırıldığında HSS–G Co matkap ucuyla delinen deliklerin daha doğrusal olduğu görülmektedir. Bu sonuç deney sırasında ölçtüğümüz kesme kuvvetleri sonucunu, yüzey pürüzlülük değerleri sonuçlarını ve silindiriklik sonuçlarını doğruladığından beklenildiği gibi HSS–G Co matkap ucuyla delinen deliklerin ovalite değerleri daha iyi olduğu görülmektedir. AA6082-T6 malzemesinde HSS–G Co matkap ucuyla delinen deliklerin doğrusallığının iyi olmamasının sebebi konvansiyonel tezgahın mikron mertebesinde yapılan değerlendirmelerde tekrar edilebilirliğinin düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Optimum parametre olan silindiriklik ölçümlerinden görüldüğü üzere en iyi sonuç HSS–G Co matkap ucuyla delinen deliklerde olduğu görülmektedir. Bu sonuçların yaptığımız diğer değerlendirmeleri desteklediği görülmektedir. Sonuç olarak AA6082 malzemesinin delinmesinde en iyi silindiriklik değerini HSS–G Co matkap ucuyla delinen deliklerde olduğu görülmektedir.

AA6082 malzemesinin T6 yaşlandırılması yapılmadan önceki ve sonraki sonuçlar karşılaştırıldığında; Şekil 8.18'deki pürüzlülük sonuçları incelendiğinde AA6082-T6 malzemesindeki deliklerin daha az pürüzlü olduğu görülmektedir. Bu sonuç malzemenin sertleştikçe plastik şekil değiştirme kabiliyetinin azalmasından kaynaklanmaktadır. AA6082-T6 malzemesi AA6082 malzemesinden daha sert olduğundan yüzey pürüzlülüğünün daha az olduğu düşünülmektedir.

Tablo 8.9'deki ovalite sonuçları karşılaştırıldığında AA6082-T6 malzemesindeki deliklerin ovalitelerinin daha iyi olduğu görülmektedir. Bu sonucun yukarıda da bahsettiğimiz üzere plastik şekil verme kabiliyetinin azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

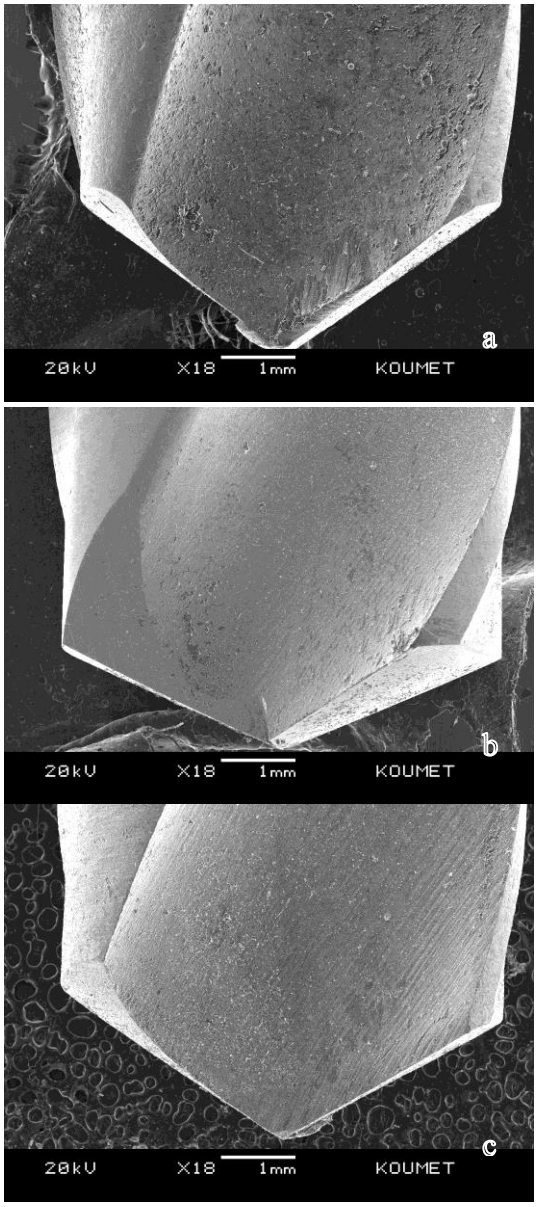
Tablo 8.10'daki doğrusallık sonuçları karşılaştırıldığında AA6082-T6 malzemesindeki deliklerin doğrusallık sonuçlarının daha iyi olduğu görülmektedir. Bu sonucunda yukarıda bahsettiğimiz gibi yine plastik şekil verme kabiliyetinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Tablo 8.11'deki silindiriklik sonuçları karşılaştırıldığında AA6082-T6 malzemesindeki deliklerin silindirikliğinin AA6082 malzemesinden daha iyi olduğu görülmektedir. Bu sonuçta yukarıdaki sonuçları doğrulamaktadır.

8.4.4. SEM görüntülerinin değerlendirilmesi

Aşınma katı cisimlerin yüzeylerinden ufak parçacıkların veya ince parçaların ayrılması ile gerçekleşen malzeme kaybı şeklinde tanımlanmaktadır. Yüzey değişikliği, çeşitli sebeplerle veya parçanın zorlanma durumuyla ilgilidir. Mekanik, fiziksel, elektriksel veya termik sebeplerle aşınma oluştuğu gibi korozyon sonucunda da aşınma meydana gelebilmektedir [60, 61].

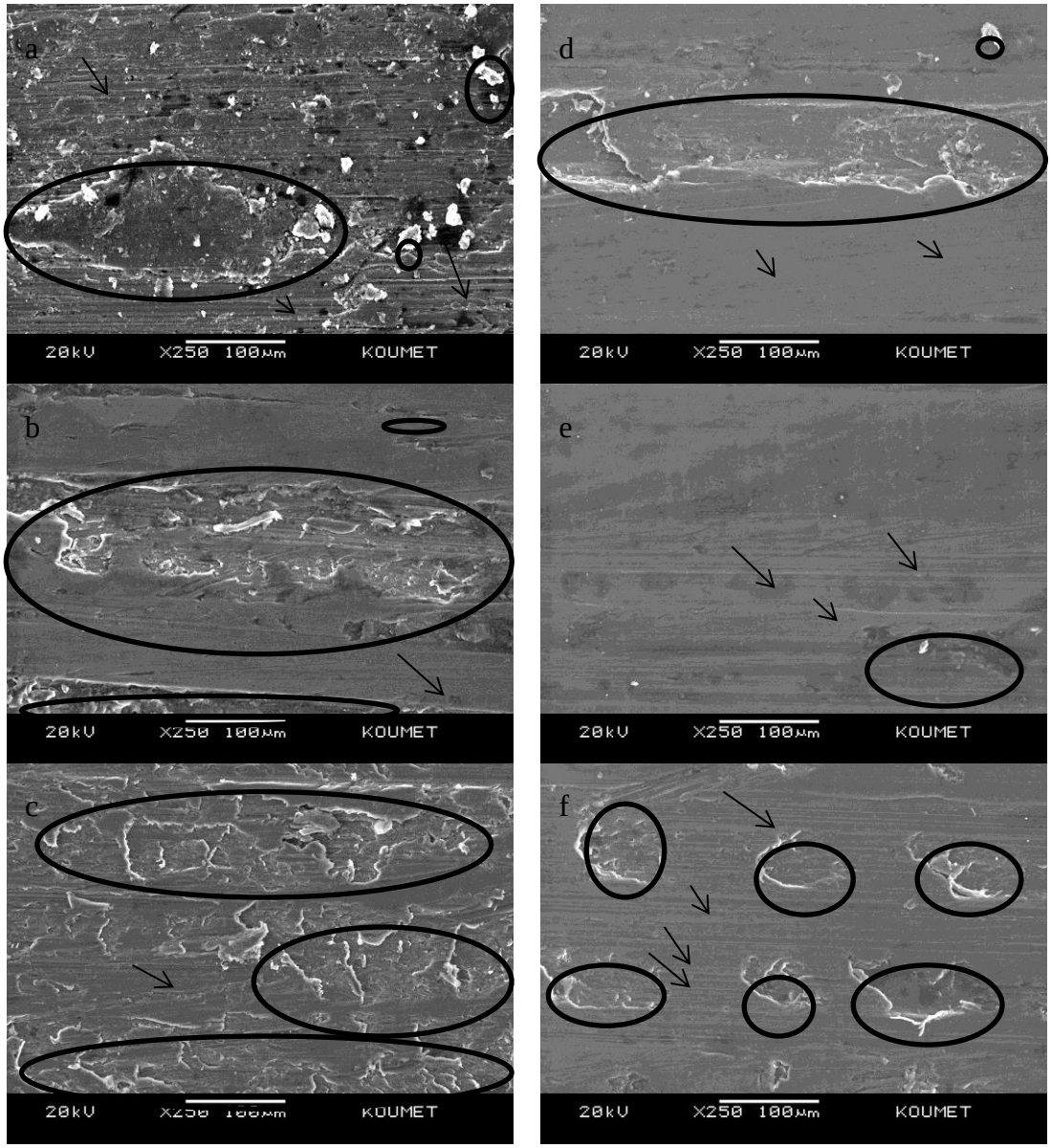
Malzemeler maruz kaldıkları duruma göre 6 farklı şekilde aşınabilirler. Bu aşınma türleri adhesif, abrasif, korozif, yorulma, oksidasyon, erozif aşınmadır [60]. Yapışma aşınması olarak ta bilinen adhesif aşınma takımın iş parçasına yapışarak malzeme koparması ile oluşan aşınma türüdür. Bu aşınma malzemelerin birbirleri içinde çözünmesi ve metal-metal temasından kaynaklanmaktadır. Bu aşınmayı engellemek için yağlama arttırılmalı ve birbirinde çözünmeyen malzemeler kullanılmalıdır [61]. Abrasif aşınma ise yüzeyden talaş kaldırarak yüzeyin çizilmesi aşınmasına denir. Bu aşınmanın Malzemenin sertliği arttırılarak, talaşın yüzeyden uzaklaşmasını çabuklaştırarak ve aşınmış takım kullanılmayarak önüne geçmek mümkündür [61].

TiN kaplaması düşük ısıl iletkenliğe sahip olmanın yanı sıra oksijen difüzyonuna engel olmaktadır [59]. Düşük ısıl iletkenlik sayesinde takımın ısınması engellenmektedir. Bu sayede takım aşınmasını etkileyen en önemli parametre olan ısınmanın önüne geçilmiş olmaktadır.



Şekil 8.23. Deneylerde kullanılan a) HSS-G b) HSS-G Co c) HSS-G TiN matkap uçlarının X18 büyütmedeki SEM görüntüleri

Şekil 8.23'de kullanılan matkap uçlarının X18 büyütme ile SEM görüntüleri görülmektedir. SEM resimlerinden anlaşıldığı üzere en çok takım aşınması beklenildiği gibi HSS-G matkap ucunda görülmektedir. HSS-G matkap ucu diğerlerine göre daha yumuşak yüzeye sahip olmasından dolayı daha fazla aşındığı düşünülmektedir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken en önemli kısım HSS-G Co matkap ucuyla HSS-G TiN matkap ucunun neredeyse aynı aşınmaya sahip olmasıdır.



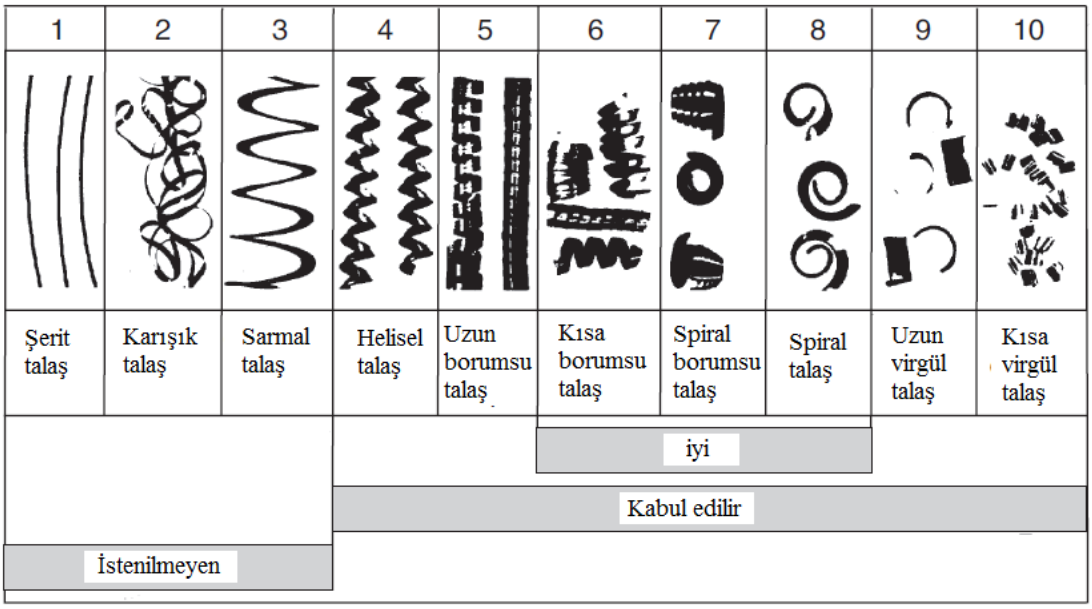
Şekil 8.24. AA6082 malzemesine a) HSS-G b) HSS-G Co c) HSS-G TiN matkap ucuyla AA6082-T6 malzemesine d) HSS-G e) HSS-G Co f) HSS-G TiN matkap ucuyla delinen deliklerin X250 büyütmedeki SEM görüntüleri

Şekil 8.24'den de görüleceği gibi bu iki matkap ucuyla delinen deliklerin aşınma karakteristiğinde ve aşınma miktarında büyük farklılıklar vardır. Diğer bir deyişle HSS-G Co matkap ucu HSS-G TiN matkap ucuyla aynı aşınmaya sahip olmasına rağmen çok daha iyi yüzey kalitesi elde etmiştir. Bunun sebebi deneyler sırasında çekilen bir fotoğrafla çok daha iyi anlaşılmaktadır (Bakınız Şekil 8.17). HSS-G TiN matkap ucuyla delme işlemi yapılırken talaş takıma yapışmış ve iş parçası takım arasında ara bir yüzey oluşturmuştur. Oluşan bu yüzey TiN kaplamalı matkap

ucunun üzerine sanki birde Al kaplaması yapılmış gibi yumuşak bir ara yüz oluşturmuştur. Bu ara yüz TiN kaplamalı takımın aşınmasını engellediği gibi TiN kaplamalı matkap ucundan beklenilen talaş kaldırma davranışına engel olduğu düşünülmektedir.

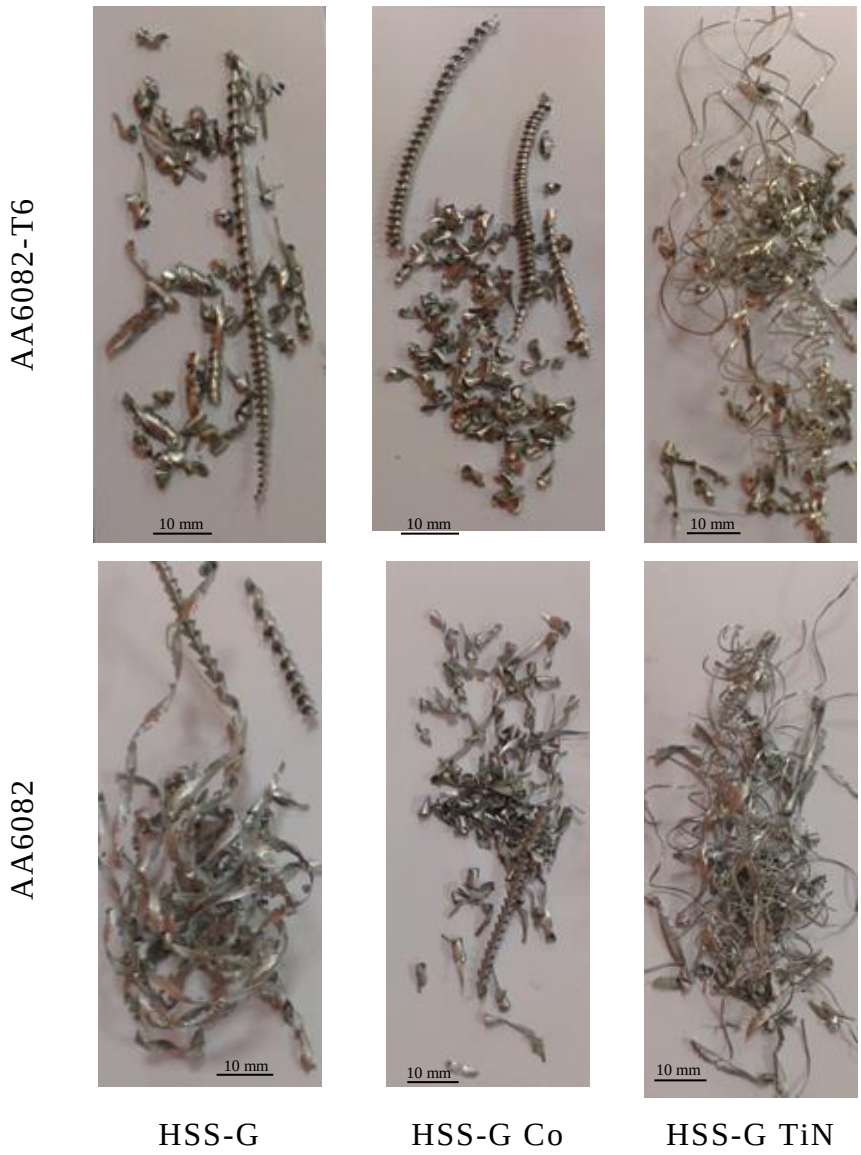
Şekil 8.24'de delinen malzemelerin X250 büyütme ile SEM görüntüleri görülmektedir. SEM görüntüleri üzerinde adhesif aşınmalar elipsle işaretlenmiş, abrasif aşınmalar ise okla gösterilmiştir. SEM resimlerinden anlaşılacağı üzere T6 yaşlandırmasıyla sertliği arttırılan malzemelerin abrasif aşınma (okla gösterilmiş Şekil 8.24) miktarları azalmıştır. Abrasif aşınmaların daha fazla azaltılması istenirse takım geometrisinin talaşı iş parçasından daha hızlı uzaklaştıracak şekilde iyileştirilmesi gerekmektedir [61]. TiN kaplamalı takımın kullanıldığı delme işlemlerinde adhesif aşınmanın (Elipsle işaretlenmiş Şekil 8.24) çok fazla olduğu görülmektedir (Şekil 8.24). Bunun sebebi TiN kaplaması bir seramik kaplama olmasından ısıl iletkenliği çok düşüktür. Takımın ısıl iletkenliği düşük bir malzemeyle kaplanması delme sıcaklığında oluşan tüm sıcaklığın malzemeye gelmesine ve malzemenin ısınarak takıma yapışmasına neden olmuştur. Takıma yapışan malzeme kesmeyi engellemiş, sürtünme kuvvetlerini arttırmış ve bunun sonucunda kesme kuvvetleri yüksek ölçülmüştür. Artan sıcaklık değerleri ve talaşın sıkışması sonucu yüzeye çarpan talaş parçaları yüzeyde adhesif aşınma gerçekleştirerek bozuk bir yüzey elde edildiği düşünülmektedir.

SEM görüntüleri incelenmeden önce deney sırasında (bakınız Şekil 8.17) talaşın takım üzerine yapıştığı gözlenmiştir. Bu sonuç kesme kuvvetlerinin de beklenilenin aksine neden yüksek olduğunu göstermektedir. Hem adhesif hem abrasif olarak aşınmalar incelendiğinde HSS-G Co matkap ucuyla delinen deliklerde en az aşınmanın gerçekleştiği görülmektedir. Bu sonuç daha önceki sonuçlarımızı doğrulamaktadır.



Şekil 8.25. Talaş şekillerinin sınıflandırılması

AA6082-T6 ve AA6082 malzemesinin delinmesinden elde edilen talaşların fotoğrafları Şekil 8.26'da verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü üzere HSS-G Co matkap ucuyla delinen deliklerden kısa virgül talaş (Şekil 8.25) elde edilmiştir. HSS–G TiN matkap ucuyla delinen deliklerden elde edilen talaş incelendiğinde karışık talaş (Şekil 8.25) olduğu görülmektedir, sonuç olarak HSS–G TiN matkap ucuyla delinen deliklerde istenilen yüzey kalitesi elde edilemediği düşünülmektedir. Test sonuçları incelendiğinde HSS–G TiN matkap ucuyla delinen deliklerde matkabın ilk girdiği kısımlarda sonuçlar çok iyi olurken ilerleyen derinliklerde yüzey kalitesi sonuçlarının bozulduğu görülmektedir. Bunun sebebinin matkap ilerledikçe talaşın takıma sarılması, sarılma sonucu takım iş parçası temas yüzey alanının artması, artan yüzey alanı sürtünme kuvvetlerini arttırması , sürtünme kuvvetlerinin artmasıyla artan sıcaklık sonucu HSS–G TiN matkap ucunun AA6082 malzemesiyle olan etkileşiminin değişmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 8.26. Delme sırasında elde edilen talaş şekilleri

Şekil 8.26 incelendiğinde T6 yaşlandırmasından sonra AA6082-T6 malzemesinin delinmesinden elde edilen talaşların daha düzgün olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin malzemenin sertlik değerinin artmasıyla plastik şekil değiştirme kabiliyetinin azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

9.1. Sonuçlar

AA6082 ve AA6082-T6 malzemesinin HSS–G (Taşlanmış), HSS–G Co ve HSS–G TiN matkap ucuyla delinmesinde delme parametrelerinin incelendiği bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Kesme kuvvetlerinin artması, yüzey kalitesinin bozulmasına sebep olmaktadır. Kesme kuvvetlerinin artmasının sebebi ise kesme işleminin yeterince iyi olmamasından dolayı oluşan talaşın düzgün bir geometride olmaması ve matkap ucunun delik iç yüzeyiyle temas yüzeyinin artması ve bunun sonucunda sürtünme kuvvetlerinin artmasıdır. Sürtünme kuvvetlerinin artması sonucu oluşan sıcaklık artmakta ve kesme işlemi düzgün yapılamadığından kalitesiz bir yüzey elde edilmektedir.
2. En yüksek kesme kuvvetleri TiN kaplamalı matkapta meydana gelmiştir. Aynı zamanda delme sonrası delik yüzeyinin çok pürüzlü olduğu ve ovalite, silindiriklik ve doğrusallığının da en kötü olduğu görülmektedir. Bunun sebebi TiN kaplamalı matkap ucuyla delme sırasında oluşan talaş matkap yüzeyine sarılmıştır. Sarılan talaş matkabın kesmesini zorlaştırdığı gibi delik iç yüzeyleriyle olan temas yüzey alanını arttırdığından sürtünme kuvvetleri ve yüzey sıcaklığını arttırdığı düşünülmektedir.
3. SEM görüntüleri incelendiğinde en fazla aşınmanın olduğu takımla ilgili kesme kuvvetleri sonuçlarında yaptığımız yorumların aksine HSS-G TiN ve HSS-G Co matkap uçlarında aşınma miktarları aynıdır.

   Kesme kuvvetleri sonuçlarıyla SEM sonuçlarının bu noktada uyuşmamasının sebebinin TiN kaplamalı matkap ucuna sıvanan talaşın takım iş parçası arasında kaplama gibi davranmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer bir deyişle aşınmanın takım yerine talaş ve iş parçası üzerinde gerçekleştiği düşünülmektedir.
4. Deney sonuçları ve test sonuçları incelendiğinde en iyi sonuçların HSS–G Co matkap ucuyla elde edildiği görülmektedir.

5. AA6082 malzemesinin T6 yaşlandırmasının kesme kuvvetleri ve yüzey kalitesine olan etkisi incelendiğinde, AA6082-T6 malzemesinden yaşlandırma öncesi malzemeden çok daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Bunun sebebi T6 yaşlandırması sonucu malzemenin plastik şekil değiştirme kabiliyetinin azalmasıdır.
6. En küçük ve düzgün sürekli talaş HSS-G Co matkap ucuyla delme işleminden elde edilmiştir. HSS–G TiN matkap ucuyla delinen deliklerden elde edilen talaş incelendiğinde bozuk bir şekle sahip olduğu görülmektedir, aynı zamanda spiral şeklindeki talaş tek parça halinde takım üzerine sarıldığından HSS–G TiN matkap ucuyla delinen deliklerde istenilen yüzey kalitesi ve kesme kuvveti değerlerinin elde edilememesine sebep olmuştur.

9.2. Öneriler

1. AA6082-T6 malzemesine delik delinmesinde eğer yaşlandırma işlemi yapılacaksa delme işlemi T6 yaşlandırması sonrası yapılmalıdır.
2. AA6082 malzemesinin delinmesinde HSS–G (Taşlanmış), HSS–G Co ve HSS–G TiN matkap uçlarından birisi seçilmek istendiğinde mikron mertebesinde düzgün yüzeyler elde edilmek istenirse HSS–G Co matkap ucu kullanılmalıdır. 0,1 mm hassasiyetin yeterli olduğu uygulamalarda fiyat/performans oranı göz önüne alınarak HSS–G (Taşlanmış) matkap ucu kullanılmalıdır.
3. Daha iyi sonuçlar elde etmek amacıyla daha iyi soğutma özelliği olan soğutma sıvıları kullanılabilir.
4. Kesme kuvvetlerini sönümlemek amacıyla kesme doğrultusunda yüksek frekans, düşük genlikte ultrasonik titreşim verilerek çok daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

KAYNAKLAR

[1] Zhu M. H. and Zhou Z. R., Fretting wear behaviour of ceramic coating prepared by micro-arc oxidation on Al-Si alloy, *Wear*, 2007, **263**, 472-480.

[2] Nie X. and Matthew A., Thickness effects on the mechanical properties of micro-arc discharge oxide coatings on aluminium alloys, *Surface and Coatings Technology*, 1999, **116**, 1055-1060.

[3] Fujda M., Kvackaj T., Nagyova K., Improvement of mechanical properties for EN AW 6082 aluminium alloy using equal-channel angular pressing (ECAP) and post-ECAP aging, *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 2008, **18**, 81-87.

[4] Seykoç Alüminyum, 6082 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi, http://www.seykoc.com.tr/tr/6082 (Ziyaret tarihi: 22 Mayıs 2013).

[5] Tufan M., AA 6082 alüminyum alaşımlarında yaşlandırma ısıl işleminin işlenebilirliğe ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2011, 285546.

[6] Yürekli Y., Frezeleme işleminde eş yönlü ve ters yönlü talaş kaldırmanın CVD/PVD kaplanmış sert metal uçların ömrüne etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2012, 322903.

[7] Alan S., Alüminyum Raporu, Orta Anadolu İhracatçılar Birliği, http://www.demirbirlik.org/content/docs/aluminyum-rapor.pdf (Ziyaret tarihi: 22 Mayıs 2013).

[8] TMMOB Alüminyum Komisyonu, Alüminyum Raporu, http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi137/d137_1445.pdf (Ziyaret tarihi: 22 Mayıs 2013).

[9] Şişmanoğlu T., Anodik oksidasyon yöntemiyle 2024, 6082 ve 7075 kalite Alüminyum alaşımlarının yüzey özelliklerinin geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009, 251622.

[10] Cayless R. B. C., Rooy E. L., *Metals handbook properties and selection: nonferrous alloys and special-purpose materials*, 10th ed., ASM, Ohio, 1990.

[11] Altintaş Y., *Metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC design*, 2th ed., Cambridge, Boston, 2012.

[12] Merchant M. E, Mechanics of the metal cutting process. II: Plasticity conditions in orthogonal cutting, *Journal of Applied Physics*, 1945, **16**, 318–324.

[13] Lee E. H., Shaffer B. W., Theory of plasticity applied to the problem of machining, *Journal of Applied Mechanics*, 1951, **18**, 405-413.

[14] Palmer W. B., Oxley P. L. B., Mechanics of orthogonal machining, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 1959, **173**, 623-654.

[15] Boothroyd G., Temperatures in orthogonal metal cutting, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 1963, **177**, 789-802.

[16] Oxley P. L. B., *The Mechanics of Machining*, 1st ed., Halsted Press, New York, 1989.

[17] Zorey N. N., Interrelationship between shear processes occuring along tool face and on shear plane inmetal cutting, *ASME Proceedings of International Research in Production Engineering Research Conference*, New York, ABD, 42-49, Eylül 1963.

[18] Stephenson D. A., Material characterization for metal-cutting force modeling, *Journal of Engineering Materials and Technology*, 1989, **111**, 210-219.

[19] Krystof J., *Beriche uber Betriebswissenchaftliche Arbeiten*, 12th ed., VDI Verlag, Düsseldorf, 1939.

[20] Merchant M. E., Mechanics of the metal cutting process, *Journal of Applied Physics*, 1945, **16**, 267-279.

[21] Merchant M. E., Basic mechanics of the metal cutting process, *ASME Journal of Applied Mechanics*, 1944, **11**, 168-175.

[22] Armarego E. J. A., Brown R. H., *The Machining of Metals*, 1st ed., Prentice, Hall, 1969.

[23] Stabler G. V., Fundamental geometry of cutting tools, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 1951, **165**, 14-26.

[24] Luk W. K., The direction of chip flow in oblique cutting, *International of Journal of Production Research*, 1972, **10**, 67-76.

[25] Lin G. C. I., Mathew P., Oxley P. L. B., Watson A. R., Predicting cutting force for oblique machining conditions, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 1982, **196**, 141-148.

[26] Shamato E., Altintas Y., Prediction of shear angle in oblique cutting with maximum shear stress and minimum energy principle, *ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 1999, **121**, 399-407.

[27] Stabler G. V., Advences in Machine Tool Design, Elsevier, Birimingham, 1965.

[28] Armarego E. J. A., Whitfield R. C., Computer based modelling of popular machining operations for force and power predictions, *CIRP Annals*, 1985, **34**, 65-69.

[29] Budak E., Altintas Y., Armarego E. J. A., Prediction of milling force coefficients froö orthogonal cutting data, *ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 1996, **118**, 216-224.

[30] Armarego E. J. A., Pramanik D., Smith A. J. R., Whitfield R. C., Forces and power in drilling-computer aided predictions, *Journal of Engineering Production*, 1983, **6**, 149-174.

[31] Galloway D. J., Some experiments on the influence of various factors on drill performance, *Transaction of the ASME*, 1957, **79**, 139.

[32] El-Sonbaty I., Khashaba U. A. Machaly T., Factors affecting the machinability of GFR / epoxy composites. *Composite structures*, 2004, **63**, 329-338.

[33] Chandrasekharan V., Kapoor S. G., Devor R. E., A mechanistic approach to predicting the cutting force in drilling: with application to fiber-reinforced composite materials, *J Eng Ind ASME*, 1995, **117**, 559–570.

[34] Troeger L. P., Starke E. A., Microstructural and mechanical characterization of a superplastic 6xxx aluminum alloy, *Materials Science and Engineering A*, 2000, **277**, 102-113.

[35] Vaseghi M., Taheri A. K., Hong S. I., Kim H. S., Dynamic ageing and the mechanical response of Al-Mg-Si alloy through equal channel angular pressing, *Materials and Design*, 2010, **31**, 4076-4082.

[36] Williams J. C., Starke E. A., Progress in structural materials for aerospace systems, *Materials Science and Engineering A*, 2004, **373**, 65–71.

[37] Lee S. H., Satio Y., Sakai T., Utsunomia H., Microstructures and mechanical properties of 6061 aluminum alloy processed by accumulative roll-bonding, *Materials Science and Engineering A*, 2002, **325**, 228-235.

[38] Ramkumar J., Aravindan S., Malhotra S. K., Krishnamurthy R., An enhancement of the machining performance of GFRP by oscillatory assisted drilling, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 2004, **23**, 240-244.

[39] Sharif S., Rahim E. A., Performance of coated-and uncoated-carbide tools when drilling titanium alloy—Ti–6Al4V, *Journal of materials processing technology*, 2007, **185**, 72-76.

[40] Kalidas S., Devor R. E., Kapoor S. G., Experimental investigation of the effect of drill coatings on hole quality under dry and wet drilling conditions, *Surface and coating technology*, 2001, **148**, 117-128.

[41] Gaitonde V. N., Karnik S. R., Achyutha B. T., Siddeswarappa B., Genetic algorithm-based burr size minimization in drilling of AISI 316L stainless steel, *Journal of materials processing technology*, 2008, **197**, 225-236.

[42] Haan D. M., Batzer S. A., Olson W. W., Sutherland J. W., An experimental study of cutting fluid effects in drilling, *Journal of materials processing technology*, 1997, **71**, 305-313.

[43] Jayabal S., Natarajan U., Influence of cutting parameters on thrust force and torque in drilling of E-glass/polyester composites, *Indian journal of engineering & material sciences*, 2010, **17**, 463-470.

[44] Ferreiro S., Sierra B., Irigoien I., Gorritxategi E., Data mining for quality control: Burr detection in the drilling process, *Computers & industrial engineering*, 2011, **60**, 801-810.

[45] Pilny L., Chiffre L. D., Piska M., Villumsen M. F., Hole quality and burr reduction in drilling aluminium sheets, *Cırp journal of manufacturing science and technology*, 2012, **5**, 102-107.

[46] Chang S. S. F., Bone G. M., Thrust force model for vibration-assisted drilling of aluminum 6061-T6, *International journal of machine tools & manufacture*, 2009, **49**, 1070-1076.

[47] Chang S. S. F., Bone G. M., Burr size reduction in drilling by ultrasonic assistance, *Robotics and computer-integrated manufacturing*, 2005, **21**, 442-450.

[48] Huang M. F., Lin T. R., Application of grey-taguchi method to optimise drilling aluminium alloy 6061 with multiple performance characteristics, *Materials Science & Technology*, 2004, **20**, 528-532.

[49] Das S., Pelcastre L, Hardell J, Prakash B, Effect of static and dynamic ageing on wear and friction behavior of aluminum 6082 alloy, *Tribology International*, 2013, **60**, 1–9.

[50] Karakulak E., Bayraklılar M. S., Zeren M., Karabay S., Al-Si Ötektik Alaşımının İşlenebilirliğine Bakır Katkısının ve Isıl İşlemin Etkisi, *Metal Makine*, 2013, **200**, 222-225.

[51] Aalco, Technical Information of Aluminum Alloy 6082-T6, http://www.aalco.co.uk/datasheets/Aluminium-Alloy_6082-T6~T651_148.ashx (Ziyaret tarihi:14 Mayıs 2013).

[52] Kustas F. M., Fehrehnbacher L. L., Komanduri R., Nanocoatings on cutting tools for dry machining, *Annals of the CIRP*, 1997, **46**, 39-42.

[53] Wikipedia, High Speed Steel, http://en.wikipedia.org/wiki/High-speed-steel (Ziyaret tarihi: 08 Ocak 2014).

[54] Kottfer D., Ferdinandy M., Kaczmarek L., Mankova I., Beno J., Investigation of Ti and Cr based PVD coatings deposited onto HSS Co 5 twist drills, *Applied Surface Science*, 2013, **282**, 770-776.

[55] Tezmaksan, TU-5032B, http://www.tezmaksan.com.tr//urunler/urun/377 (Ziyaret tarihi:16 Mayıs 2013).

[56] Okutan E., Polimer kompozitlerin matkapla delinme karakteristiklerinin ve oluşan mekanizmalarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2009, 259418.

[57] Stephenson D. A., Agaipou J. S., *Metal cutting theory and practice*, 1st. ed., CRC Press, New York, 1997.

[58] Kistler, Piezo Dynamometer for 4 Component Measurement, http://www.kistler.com/us/en/product/force/9272 (Ziyaret tarihi: 15 Mayıs 2013).

[59] Kistler, Laboratory Charge Amplifier, http://www.kistler.com/us/en/product/amplifier/5070A10000 (Ziyaret tarihi: 15 Mayıs 2013).

[60] Avcu E., Farklı büyüklüklere sahip aşındırıcı partikül karışımlarının Ti_6Al_4V alaşımının erozif aşınma davranışına etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2011, 283038.

[61] Bayındır M. K., Katı parçacık erezyon aşınmasının alüminyum alaşımları üzerindeki etkisinin deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2009, 237493.

[62] Horsfall R., Fontana R., TiAlN coatings beat the heat, *Cutting Tool Engineering*, 1993, **45**, 37-42.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] Karakulak E., **Bayraklılar M. S**., Zeren M., Karabay S., Al-Si Ötektik Alaşımının İşlenebilirliğine Bakır Katkısının ve Isıl İşlemin Etkisi, *Metal Makine*, 2013, **200**, 222-225.

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Düzce'de doğdu. İlköğretim ve lise öğrenimini Gaziantep'te tamamladı. 2005 yılında girdiği Erciyes Üniversitesi Yozgat Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden 2010 yılında Makine Mühendisi olarak mezun oldu. 2011 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı.

2010-2011 yılları arasında Bayraklılar Kalıp' ta üretim müdürü olarak çalıştı.2011 yılında Siirt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünde ÖYP kapsamında Araştırma Görevlisi olarak görev yaptı. 2011 yılında 35. Madde kapsamında yüksek lisans yapmak üzere Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne görevlendirmeyle geldi. 2011 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde görev yapmaktadır.