



**ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ FREZELENMESİNDE TAKIM
GEOMETRİSİNİN İŞLENEBİLİRLİĞE ETKİSİ**

Neslihan AKDEMİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2024

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Neslihan AKDEMİR

18/07/2024

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ FREZELENMESİNDE TAKIM GEOMETRİSİNİN İŞLENEBİLİRLİĞE ETKİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Neslihan AKDEMİR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2024

ÖZET

Alüminyum doğada en çok bulunan elementlerden biri olup, hafif olması, mukavemet kabiliyeti, yüksek korozyon direnci, ileri seviyede ısı ve elektrik iletkenliği, ısı işleme tabi tutulabilmesi ve dolayısıyla özelliklerinin daha da iyileştirilebilmesi gibi özellikleriyle savunma sanayi alanı, otomotiv sektörü, inşaat sektörü, taşımacılık sektörü, boya sektörü, sağlık sektörü gibi birçok alanda çok geniş kullanım hacmine sahiptir. Alüminyum kullanımı avantajlı olmasına rağmen bazı işlenebilirlik problemleri mevcuttur. İşlenebilirlik problemlerinden en önemlisi yığıntı talaştır. Bu çalışmada iki farklı alüminyum alaşımı olan Alüminyum 7075 T6 ve Alüminyum 6082 T6'nın çevre frezelemesinden iki farklı takım kullanarak işlenebilirliği araştırılmıştır. Takımlardan biri köşe yuvarlatmasına sahipken (50F61 takımı) diğer takım standart düz parmak freze (AFS takımı) takımıdır. Deneylerde 3 farklı ilerleme (0,2 (mm/dev), 0,25 (mm/dev), 0,3 (mm/dev)) ve 3 farklı kesme hızı (300 (m/dak), 350 (m/dak), 400 (m/dak)) kullanılmıştır. Deney sonuçları incelenerek en küçük ve en büyük kesme kuvveti, moment, yüzey pürüzlülük değerleri bildirilmiştir. Elde edilen değerler arasında en küçük kesme kuvveti 400 (m/dak) kesme hızı, 0,2 (mm/dev) ilerleme, köşe yuvarlatmalı takım AL 6082 T6 malzemesinde, en küçük moment değeri yine bu parametreler ile birlikte 0,25 (mm/dev) ilerlemede elde edilmiştir. En küçük yüzey pürüzlülüğü ise 0,3 (mm/dev) ilerleme, köşe yuvarlatmalı takım, 400 (m/dak) kesme hızında AL 6082 T6 malzemesinde elde edilmiştir.

Bilim Kodu : 91438

Anahtar Kelimeler : Kesme Kuvveti, Frezeleme, Yüzey Pürüzlülüğü, AL 7075, AL 6082

Sayfa Adedi : 78

Danışman : Dr. Öğretim Üyesi SELÇUK YAĞMUR

EFFECT OF TOOL GEOMETRY ON MACHINABILITY IN MILLING
ALUMINIUM ALLOYS
(M. Sc. Thesis)

Neslihan AKDEMİR

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
July 2024

ABSTRACT

Aluminum is one of the most abundant elements in nature, and with its features such as lightness, strength, high corrosion resistance, advanced heat and electrical conductivity, ability to be subjected to heat treatment and therefore further improvement of its properties, it is widely used in the defense, automotive, construction and transportation industry. It has a very wide usage volume in many areas such as paint industry and healthcare industry. Although the use of aluminum is advantageous, there are some machinability problems. The most important of the machinability problems is accumulated sawdust. In this study, the machinability of two different aluminum alloys, Aluminum 7075 T6 and Aluminum 6082 T6, was investigated using two different tools in environmental milling. One of the tools has corner rounding (50F61 tool) while the other tool is a standard flat end mill (AFS tool). In the experiments, 3 different feeds (0.2 (mm/rev), 0.25 (mm/rev), 0.3 (mm/rev)) and 3 different cutting speeds (300 (m/min), 350 (m/min) and 400 (m/min)) was used. The test results were examined and the smallest and largest cutting force, moment and surface roughness values were reported. Among the values obtained, the smallest cutting force was 400 (m/min) cutting speed, 0.2 (mm/rev) feed, corner rounding tool in AL 6082 T6 material, the smallest moment value was 0.25 (mm/rev) with these parameters. dev) has been achieved in progress. The smallest surface roughness was obtained on AL 6082 T6 material with 0.3 (mm/rev) feed, corner rounding tool, 400 (m/min) cutting speed.

Science Code : 91438

Key Words : Cutting Force, Milling, Surface Roughness, AL 7075, AL 6082

Page Number : 78

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Selçuk YAĞMUR

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışmanım Dr. Selçuk YAĞMUR'a, deneylerimde yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. M. Okan KABAKÇI, Arş. Gör. Dr. Bahattin YILMAZ ve Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e, deneylere desteklerinden dolayı Stark Metal firmasına ve maddi, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
 1. GİRİŞ	 1
2. LİTARATÜR TARAMASI	5
3. KURAMSAL TEMELLER	23
3.1. Talaşlı İmalat	23
3.1.1. Geleneksel talaşlı imalat yöntemleri	23
3.1.2. Frezeleme işlemleri	23
3.1.3. Frezeleme işleminde temel tanımlar	26
3.1.4. Freze takımları	30
3.2. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları	33
3.2.1. AL 6082 alaşımı	35
3.2.2. AL 7075 alaşımı	36
3.3. Alüminyum Alaşımlarında Isıl İşlem Uygulamaları	36
3.3.1. T6 Isıl işlem	38
4. MATERYAL VE YÖNTEM	39
4.1. Deney Numunesi	39

	Sayfa
4.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması	40
4.3. Deneylerde Kullanılan Tezgâh ve Ekipmanlar	40
4.4. Deneylerde Kullanılan Takımlar	41
4.5. Deney Düzenegi	42
4.6. Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri	43
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	45
5.1. Al 6082 T6 Malzemesinin Değerlendirilmesi	45
5.1.1. Kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi	45
5.1.2. Momentin değerlendirilmesi	49
5.1.3. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi	51
5.2. Al 7075 T6 Malzemesinin değerlendirilmesi	54
5.2.1. Kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi	54
5.2.2. Momentin değerlendirilmesi	57
5.2.3. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi	59
5.3. AL 6082 ve AL 7075 Alaşımlarının Birlikte Değerlendirilmesi	61
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR	65
EKLER	75
EK-1. Uygunluk sertifikası	76
ÖZGEÇMİŞ	78

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Frezeleme esnasında karşılaşılabilecek problemler ve muhtemel ç özüm yolları	26
Çizelge 3.2. İşlenmiş ve dökme alüminyum alaşımlarının tanımları	34
Çizelge 3.3. Alüminyum alaşım gruplarının kullanım yerleri	34
Çizelge 3.4. Alüminyum alaşımlarının temper tanımları	37
Çizelge 4.1. AL 6082 kimyasal bileşenleri	39
Çizelge 4.2. AL 6082 Mekanik özellikleri	39
Çizelge 4.3 AL 7075 Kimyasal bileşenleri	40
Çizelge 4.4. AL 7075 Mekanik özellikleri	40
Çizelge 4.5. Yüzey pürüzlülük cihazı	43

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Dünya alüminyum talebi	2
Şekil 3.1. Frezeleme tipleri	24
Şekil 3.2. Frezeleme çeşitleri	25
Şekil 3.3. Geleneksel Freze tezgâh yapısı	25
Şekil 3.4. Alın frezeleme çeşitleri	27
Şekil 3.5. Çevre frezeleme çeşitleri	28
Şekil 3.6. Aynı frezeleme yöntemi	29
Şekil 3.7. Karşıt frezeleme yöntemi	29
Şekil 3.8. Freze takım çeşitleri	31
Şekil 3.9. Parmak freze takım çeşitleri	32
Şekil 3.10. Parmak freze elemanları	32
Şekil 3.11. Parmak freze çeşitleri	33
Şekil 3.12. T6 Isıl işlem uygulaması	38
Şekil 4.1. CNC 5 Eksen işleme merkezi	41
Şekil 4.2. Dinamometre ve veri okuyucu	41
Şekil 4.3. 50F61 Takıma ait teknik resim	42
Şekil 5.1. Farklı İlerlemelerde AL 6082 Kesme Kuvvetlerinin İncelenmesi a) 0,2 ((mm/dev)) b) 0,25 ((mm/dev)) c) 0,3 ((mm/dev))	46
Şekil 5.2. Farklı İlerlemede AL 6082 Moment Değerleri a)0,2 (mm/dev) b) 0,25 (mm/dev) c) 0,3 (mm/dev)	50
Şekil 5.3. Farklı ilerlemede AL 6082 yüzey pürüzlülük değerleri a)0,2 (mm/dev) b) 0,25 (mm/dev) c) 0,3 (mm/dev)	52
Şekil 5.4. AL 7075 malzemesinin farklı ilerleme oranlarında kesme kuvvetleri a) 0,2 (mm/dev) b) 0,25 (mm/dev) c) 0,3 (mm/dev)	55
Şekil 5.5. AL 7075 Malzemesinin farklı ilerleme oranlarında moment değerleri a)0,2 (mm/dev) b) 0,25 (mm/dev) c) 0,3 (mm/dev)	58

Şekil**Sayfa**

Şekil 5.6. AL 7075 Malzemesinin yüzey pürüzlülük değerleri a) 0,2 (mm/dev) b) 0,25 (mm/dev) c) 0,3 (mm/dev).....	60
--	----

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Delik delme operasyonu	40
Resim 4.2. Deney düzeneği	43
Resim 5.1. Kesici takımlarda meydana gelen yığıntı talaş oluşumu a) 0,2 (mm/dev), 300 (m/dak) 50F61 takımı b) 0,2 (mm/dev), 350 (m/dak) 50F61 t akımı c) 0,25 (mm/dev), 300 (m/dak) 50F61 takımı d)0,25 (mm/dev), 350 (m/dak) 50F61takımı	49
Resim 5.2. İşleme problemi görülen malzeme a)0,2 (mm/dev), 300 (m/dak) 50F61 takımı b) 0,2 (mm/dev), 350 (m/dak) 50F61 takımı c) 0,25 (mm/dev), 300 (m/dak) 50F61 takımı d) 0,25 (mm/dev), 350 (m/dak) 50F61 takımı	53

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

	Açıklama
θ	Helis açısı (o)
ψ	Uç açısı (o)
V	Kesme hızı ((m/dak))
f	İlerleme ((mm/dev))
F_s	Kesme kuvveti (N)
F_z	İlerleme kuvveti (N)
M_z	Toplam kesme momenti (Nm)
R_a	Ortalama yüzey pürüzlülüğü (μm)

Kısaltmalar

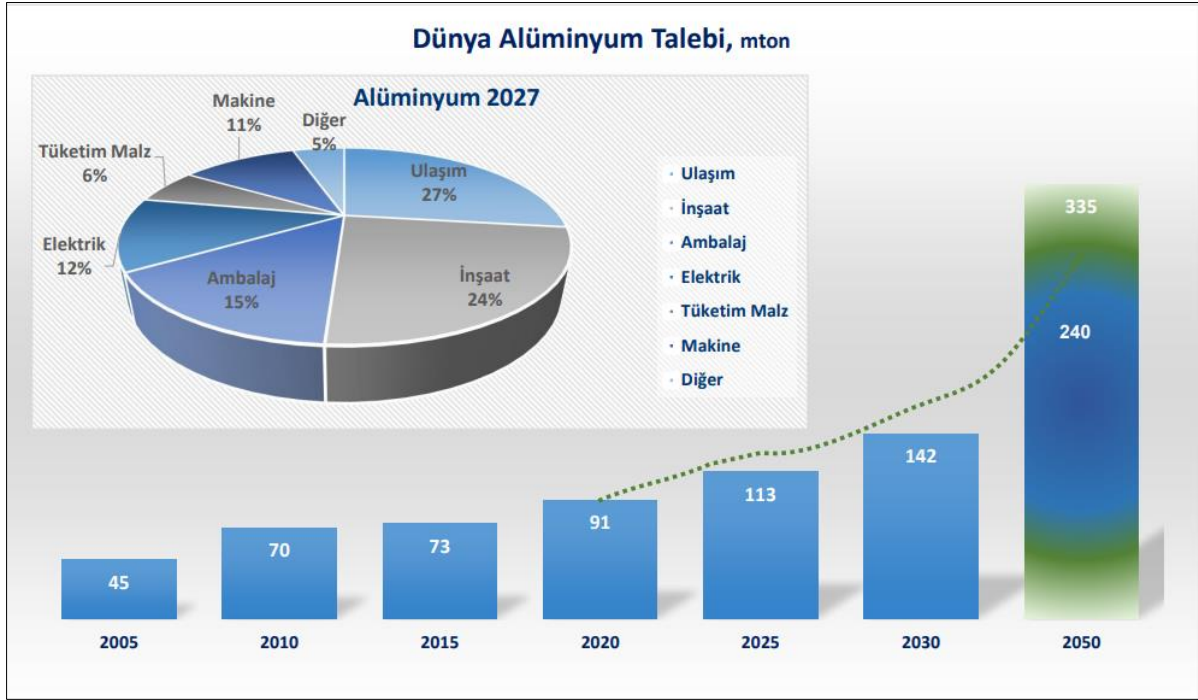
	Açıklama
AL	Alüminyum
CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)
CMM	Coordinate Measuring Machine (Koordinat Ölçme Cihaz)
MQL	Minimum Yağlama

1. GİRİŞ

Alüminyum, Dünya'nın kabuğunda en bol bulunan üçüncü elementtir. Alüminyum kolay bir şekilde diğer kimyasal elementlerle bileşikler oluşturduğundan çeşitli alaşımları geliştirilmiştir. Çok düşük miktarda alüminyum bile metalin özelliklerini büyük oranda değiştirerek, farklı alanlarda kullanılmasına imkan tanımaktadır (Eroğlu, 2018).

Çağımızın metallerinden olan alüminyum, demir çelikte sonra en fazla kullanılan metal olmakla beraber tarihçesi çok yenidir. 1807'de Sir Humprey Davy, alüminyum bileşikleri içinde oksijene bağlı bir metal olduğunu keşfetmiş ve buna alüminyum adını vermiştir. 1821 yılında M. Pierre Bertier de Güney Fransa'da "Les Baulx" boksit cevherini bulmuştur. 1825'de Danimarkalı fizikçi Hans Cristian kimyasal yöntemle, alüminyum klorürü potasyum amalgamla tepkimeye sokarak ilk alüminyum metalini elde etmiştir. Elektrolitik yöntemle alüminyum üretimi ise 1827'de Friedrich Wöhler tarafından başlatılmıştır. Modern alüminyum endüstrisinin doğum yılı ise 1886'dır. Bu tarihte, ilginç bir rastlantı olarak, Fransa'da Paul T. Heraoult ve ABD'de Charles Martin Hall, hemen hemen aynı günlerde, birbirlerinden habersiz olarak "kriyolit içinde alüminyum elektrolizi yönteminin temel prensiplerini" birer tebliğ ile yayınlamışlardır. 1887-92'de ise K. J. Bayer sudkostik kullanarak boksitten alümina üretiminin yöntemini içeren bir patent almıştır. Günümüz teknolojik şartları kapsamında ticari anlamda ekonomik değere sahip alüminyum kaynağı boksittir. Ticari olarak işlenen boksit cevherlerinin muht4evası %30 ile %65 arasında değişmektedir. Bugün Bayer ve Martin Hall yöntemleri, birkaç istisna dışında dünyada alümina ve alüminyum üretiminde kullanılmaktadır (Başbakanlık, 1999).

Alüminyum gelişmiş endüstriler, ileri teknolojik yatırımlar, çeşitli endüstri kolu için kritik seviyede önemli bir malzemedir. TALSAD sunduğu 2022 faaliyet raporlarında Küresel alüminyum talebindeki yüksek artışın gelecek yıllarda artarak devam etmesi beklendiğini iletmiştir. Öngörülen talep artışı için sektör bazlı tahminleri Şekil 1.1'de verilmiştir (Talsad, 2022).



Şekil 1.1. Dünya alüminyum talebi (Talsad, 2022)

Çeliğe kıyasla daha düşük mukavemet değerlerini olan alüminyum, içerisine eklenen alaşım elementleri ile mukavemet değerleri ve fiziksel özelliklerinde kayda değer artışlar elde edilmekte, ayrıca alüminyumun yoğunluğundaki artışın sınırlı olması sayesinde de kullanım alanı arttırılmaktadır (Karabuğa, 2012). Alüminyum Alaşımları hafif, korozyon dayanım yüksekliği, elektrik iletkenliği, özgül mukavemet gibi özellikleri dolayısıyla endüstriyel malzemeler olup ulaşım, mimari, endüstriyel alanlar, havacılık, inşaat sektörü, elektrik ve elektronik alanlarında yaygın kullanıma sahiptirler (Demirci, 2004). Ek olarak korozyona karşı göstermiş olduğu direnç dolayısıyla sağlık sektöründe önemli hale gelmiştir (Çakır, 2009).

Alüminyum alaşımlarının işlenebilirliği, işleme koşulları ve malzemenin metalürjik yapısının etkilediği bilinmektedir. Alüminyum alaşımları işlendiğinde geniş bir talaş, takım temas alanı oluşturur ve talaş kalınlığı oranı yüksektir; bu durum dolayısıyla kesme kuvvetlerinin, işleme gücünün, ısı üretiminin artmasına katkıda bulunur ve uzun, lifli talaşlar oluşturduğu gibi yüzey kalitesinde düşük olmasına sebep olur (Santos, 2016). Sünek malzemelerden biri olan alüminyum işlenebilirliğinde görülen en büyük problemlerden biri yığıntı talaş oluşumudur.

Yığıntı talaş oluşumunu engellemek amacıyla frezeleme esnasında çeşitli yöntemler mevcuttur. Talaş kaldırma sırasında kesici takımların malzemesi ve geometrisi krtitik rol oynamaktadır (Seymen, 2009). Bunlardan bazıları talaş kırıcıya sahip freze takımları kullanma, kesme parametrelerini değiştirme, kesici takım geometrisi gibi seçeneklerdir.

Bu çalışmada uç yuvarlatmalı ve düz olmak üzere iki ayrı parmak freze ile AL 7075 T6 ve AL 6082 T6 malzemelerine çevre frezeleme işlemi yapılmıştır. Deneyler 3 farklı ilerleme (0,2 (mm/dev), 0,25 (mm/dev), 0,3 (mm/dev)) ve 3 farklı kesme hızında (300 (m/dak), 350 (m/dak), 400 (m/dak)) kuru işleme yöntemi ile yapılmıştır.

2. LİTARATÜR TARAMASI

Çeşitli kombinasyonlara sahip olan alüminyum alaşımlarının işleme prosesi sırasında davranışları üzerine geçmişten bu güne kadar çok sayıda araştırma yapılmış olup bu konu üzerinde çalışmalar devam etmektedir.

Vobrouček, malzeme olarak Audi A8 aracının orta panelinde kullanılan içinde alüminyumda bulunan bir parçanın 3 farklı varyasyonda parmak frezelerin açılarını değiştirerek dik işleme merkezinde işleyip sonuçlarını analiz etmişlerdir. Bu sonuçlara göre işlediği parça özelinde en iyi performansı helis açısı 0 derece olan takımdan elde etmişlerdir (Vobrouček, 2014).

Kaushik ve arkadaşları, Alüminyum 7068 kullanmışlardır, ilgili malzemeyi dik işleme merkezinde 5 farklı helis ve radyal eğim açısına sahip parmak freze takımlarıyla işlemişlerdir ve sonuçlarını analiz etmişlerdir. Deney sonuçlarında helis açısının tepe sıcaklık artışını azaltan en önemli parametre olduğunu tespit etmişlerdir. 37° ile 40° helis açıları arasında sıcaklık artışı minimum düzeyde olduğunu belirtmişlerdir. Proses parametrelerinin sıcaklık artışı üzerindeki etkileşimleri analiz edilmiş ve helis açısı ile radyal talaş açısı, helis açısı ile eksenel kesme derinliği, radyal talaş açısı ve kesme hızı, radyal talaş açısı ve ilerleme hızı, radyal talaş açısı ve eksenel kesme derinliği ve ilerleme hızı arasında anlamlı bir etkileşim yapıldığını söylemişlerdir (Kaushik, 2018).

Sethupathy ve arkadaşları, malzeme olarak Alüminyum 7075 T6 kullanmışlar, farklı geometrik şekillere sahip takımlar ile dik işleme merkezinde işlemişlerdir. Radyal talaş açısı, burun yarıçapı, kesme hızı, kesme ilerlemesi ve eksenel kesme derinliği gibi işlem parametrelerinin permütasyonu kesme kuvvetinin üzerinde güçlü etkileşime sahip olduğunu bildirmişlerdir. Buldukları sonuçların analizi sonucunda kesme kuvveti üzerinde istatistiksel ve fiziksel etkisi en yüksek olan kesme parametresinin ilerleme hızı olduğunu iletmışlerdir (Sethupathy, 2021).

Yılmaz, ETİAL 180 alaşımını farklı özelliklere sahip takımlar ile işlemiş ve yüzey pürüzlülük değerlerini incelemiştir. Sonuçlarında ise takımların uç yarıçapını arttıkça yüzey pürüzlülük değerini azaldığını, kesme hızının arttıkça yine yüzey pürüzlülüğünün azaldığını iletmıştır. Kesme parametreleri gibi takım özelliklerinin önemli bir etken olduğunu

bildirmiştir (Yılmaz, 2010).

Ateş ve arkadaşları, Alüminyum 2050-T84 ve Alüminyum 7050- T7451 kullanmışlardır. Kesme hızı ve ilerleme hızının artık gerilmeler üzerinde büyük etkisi olduğunu tespit etmişlerdir. Ancak iş mili hızının optimizasyonu kesme hızı ve ilerlemeyi etkilemesi nedeniyle oldukça önemli olduğunu, Eksenel ve radyal kesme derinliğinin artmasıyla parmak frezeleme işlemlerinde distorsiyon oranının arttığını bildirmişlerdir (Ateş, 2023).

Nguyen ve arkadaşları, AL 6061 kullanmışlardır. Farklı kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme değerlerinde deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Takım aşınması üzerinde en fazla etkiye sahip olan parametrenin kesme hızı, takım aşınması üzerinde ikinci etki derecesine sahip olan parametrenin ilerleme hızı olduğunu bildirmişlerdir. Kesme derinliğinin takım aşınması üzerinde ihmal edilebilir etkisi olduğunu iletmişlerdir. İlerleme hızı ve kesme derinliği, yüzey pürüzlülüğü üzerinde en fazla etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir (Nguyen, 2021).

Meng ve arkadaşları, ADC12 alüminyum alaşımları kullanmışlar ve farklı alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynaklı bağlantılarının mekanik özellikleri, ilerleme hızının artmasıyla artarken, plastik deformasyon etkisinden dolayı kesme hızının artmasıyla azaldığını, kaynaklı bağlantıların yüzey kalitesi hem kesme hızının hem de ilerleme oranının azalmasıyla iyileştiğini iletmişlerdir (Meng, 2023).

Devsingh, Alüminyum alaşımı 7075'in iş mili hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği parametrelerini değiştirerek takım ömrünü artırmak için deneyler yapmışlardır. Deneyler sonucunda daha iyi yüzey kalitesi elde etmek için en uygun parametreler iş mili hızı 3000 devir/dakika, ilerleme hızının 300 m(m/dak) ve kesme derinliğinin 0, 4 mm olduğunu, yüksek talaş kaldırma oranları elde etmek için en uygun parametreler iş mili hızı 2500 dev/dak, ilerleme hızının 400 m(m/dak) ve kesme derinliğinin 0,5 milimetre olduğunu tespit etmişlerdir (Devsingh, 2018).

Zhang ve arkadaşları, T6I4 ve T6I6 kesintili yaşlandırma işlemlerinin 7075 alüminyum alaşımının işlenebilirliğinde etkisi araştırmışlardır. Kesme hızı arttıkça X yönündeki kesme kuvveti hem 7075-T6I4 hem de 7075-T6I6 için artmıştır. 7075-T6I4 için Y yönündeki kesme kuvveti, kesme hızının 1000 (m/dak)'dan 1250 (m/dak) 'ya çıktığında belirgin bir

ilgileşim göstermemiş, ancak 1250 (m/dak)'dan sonra düşmeye başlamıştır. Kesme hızının 1000 (m/dak)'dan 1250 m/dk 'ya arttığında hem 7075-T6I4 hem de 7075-T6I6'nın kesme sıcaklığı önce arttığını sonra düştüğünü gözlemlemişlerdir. Ancak kesme hızı 1500 (m/dak) 'ya yükseldiğinde kesme sıcaklıkları önemli ölçüde pozitif hale gelmiştir. Kesme sıcaklığı kesme derinliği ile pozitif ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir. İlerleme hızı arttıkça önce artmış, sonra azalmış ve sonra tekrar artmıştır. Düşük kesme hızında ve ilerleme hızında yüzey pürüzlülüğü de küçük çıkmıştır. Daha yüksek bir kesme hızı ve daha küçük bir ilerleme hızı, takım aşınmasını artıracaklarını iletmişlerdir (Zhang, 2023).

Zhang ve arkadaşları, T6, T73 ve RRA ile işlem görmüş 7075 alüminyum alaşımının, ısıtılma işlem sürecinin mikro işlenebilirliğinde etkisini araştırmayı amaçlamışlardır. Sonlu eleman benzetim ve tek faktörlü test, farklı ısıtılma işlem süreçlerinin ve farklı kesme parametrelerinin, mikro işleme sırasında 7075 alüminyum alaşımının kesme kuvvetini, yüzey pürüzlülüğünü, yüzey kalitesini ve artık gerilimini nasıl etkilediğini incelemek için kullanılmışlardır. Üç ayrı ısıtılma işlem izlek uygulamışlardır. Her üç ısıtılma işlem sürecinde de 7075 alüminyum alaşımının kesme kuvveti, kesme hızı ve kesme derinliği arttıkça artar ancak ilerleme oranından daha az etkilenir (Zhang, 2019).

Magabe ve arkadaşları, farklı işleme süreçleri ile Alüminyum 7075 alaşımının işlenebilirlik ve yüzey pürüzlülüğü özelliklerinin uygun değer olduğu değerleri araştırmışlardır. Sonuçlarında yüksek kesme derinliği, işleme prosesini, iş malzemesinin işlenebilirliği üzerinde zararlı etkileri olan kesme kuvvetlerine maruz bırakır ve bu nedenle bundan kaçınılması gerektiğini, işlenmiş yüzey pürüzlülüğünde ilerleme hızı en etkili faktör olup, burada doğru orantılı bir ilişki gözlemlemişlerdir. Daha iyi işlenebilirlik için düşük ilerleme hızının daha uygun olduğunu iletmişlerdir (Magabe, 2023).

Pimenov ve arkadaşları, alüminyum alaşımları incelemişlerdir. Alüminyum alaşımları işlerken takım aşınması, çelik gibi diğer metalleri işlerken önemli ölçüde daha düşük olduğunu tespit etmişler ve bu gözlem öncelikle alüminyum alaşımlarının çelikten daha düşük mukavemete ve daha fazla sünekliğe sahip olması ve bunun sonucunda benzer kesme koşullarında takım aşınma oranlarının en az %30-40 daha düşük olmasıyla açıklamışlardır. Kesme hızının, alüminyum alaşımlarında işleme sonrasında meydana gelen mikro yapısal değişiklikler üzerinde önemli bir etkisi olduğunu iletmişlerdir. Takım geometrisindeki boşluk açısının, takım ile alüminyum iş parçası arasındaki sürtünmeyi önlerken kesici

kenardaki zayıflığı önleyecek kadar küçük olması gerektiğini bildirmişlerdir. Kesme parametreleri, kesme sıvısı kullanımı, geometri, kaplama ve kesici takım malzemesi gibi çeşitli faktörler karmaşık talaş olgusunu etkilemiştir. Bu faktörleri ayarlayarak, yüzey bütünlüğünü ve takım ömrünü iyileştirmek için talaş oluşumu kontrol edilebileceğini tespit etmişlerdir (Pimenov, 2023).

Karaduman ve arkadaşları, 7 farklı analiz yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada kesici takımların uç geometrilerini değiştirerek incelemişlerdir. Takım uç yarıçapı büyüdükçe gerilme değerinin arttığını iletmışlerdir (Karaduman, 2019).

Aydın ve arkadaşları, T6 ısıtıl işlem uygulanmış AA2014 malzemesi kullanmışlardır. İşlenebilirlik deneylerinde iki farklı geometriye sahip takım ucu tercih etmişlerdir. AA2014 malzemenin T6 ısıtıl işlemiyle işlenmesinde geniş talaş açılı takım kullanılması ve talaş kaldırma kuvvetlerini en aza indirmek ve yüzey bitirme kalitesini arttırmak için kesme hızının 100 m/dk 'nın üzerine çıkması tavsiye etmişlerdir (Aydın, 2003).

Pan ve arkadaşları, çalışmalarında 6061 alüminyum alaşımının frezelemesi sırasında freze takımlarının mikro yapılanmasının etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Mikro yapılı freze takımlarının performansını değerlendirmek için frezeleme yükü, mikro titreşim ve işlenen iş parçasının yüzey kalitesi değerleri geleneksel bir freze takımıyla karşılaştırmışlardır. Mikro yapıların yük azaltma etkisinin mekanizmaları tartışmışlardır. Mikro yapılı frezeleme takımının uygulanması, frezeleme yükünü ve işlenmiş iş parçasının yüzey kalitesini etkili bir şekilde artırabileceğini iletmışlerdir. V şekilli oluk frezeleme takımı, frezeleme işlemi sırasında en iyi temas uzunluğunu ve temas alanını elde etti; bunun sonucunda gerçek temas uzunluğunda %20 oranında ve gerçek temas alanında %12 oranında azalma sağlamışlardır. En düşük frezeleme yükü, geleneksel bir frezeleme takımıyla karşılaştırıldığında ortalama frezeleme yükünün %8, 5 oranında azaldığı V şekilli bir kanal frezeleme takımıyla kesme durumunda elde etmişlerdir (Pan, 2020).

Prabakaran, AL5083 işlenmiş ve farklı işleme proseslerinde sonuçlarını değerlendirmiştir. Yaptığı çalışmalar neticesinde yüzey pürüzlülüğünün yüksek hızlarda düşük, düşük ilerleme hızlarında ise yüksek olduğunu bulmuştur (Prabakaran, 2014).

Tinga ve arkadaşları, sıcak ekstrüzyon prosesi ile Al6061 alaşım matrisi ve B4C parçacık

takviyeli kompozit malzemeler üretmişlerdir. Üretilen Kompozitlerin mekanik ve işlenebilirlik özellikleri açısından incelemişlerdir. Al6061 alaşımı tozları ve B4C parçacıkları, B4C'nin farklı ağırlık fraksiyonları (ağırlıkça %3, %6 ve %9) ile karıştırıldı ve daha sonra 200 Mpa basınç altında soğuk preslendi. Soğuk baskılanmış toz metal blok, 550°C'de 1 saat ön ısıtmanın ardından sıcak olarak ekstrüzyona tabi tutmuşlardır. Ayrıca Kompozitlerin sıcak ekstrüzyon sonrasında T6 yaşlandırma ısıl işlemine tabi tutmuşlardır. Malzemenin kimyasal özelliklerindeki incelemişlerdir. Ayrıca kesme hızı ve kesme kuvvetinin işlenebilirlik üzerindeki etkileri de araştırmışlardır. Araştırmalarının sonucunda işlenebilirlik testlerinde kesme hızı arttıkça kesme kuvvetleri azalmış, takviye oranının artmasıyla kesme hızının artması kesme kuvvetlerinde kritik değişikliğe neden olmamıştır(Tinga, 2023).

Yağmur ve arkadaşları, AA 6082 T4 alaşımını talaş kırıcılara sahip ve sahip olmayan takımlar ile işlemiş ve kesme kuvvet verilerini incelemişlerdir. Genellikle kesme derinliği arttıkça kesme kuvvetlerinde artış gözlemlemişlerdir. Talaş kırıcı takımın talaş kırıcısız takıma kıyasla kesme kuvvetlerinde daha düzgün bir eğilim sergilediğini iletmışlerdir (Yağmur, 2021).

Luo ve arkadaşları, tek yönlü ultrasonik titreşimle kesme işleminde 7075-T651 alüminyum alaşımının işleme performansına kesme ve titreşim parametrelerinin etkilerini araştırmışlardır. Simülasyon deneyleri AdvantEdge sonlu elemanlar analiz yazılımı kullanılarak yapmışlardır. Sonuçlar, kesme hızı ve ilerleme hızı arttıkça x ve y yönlerinde ultrasonik titreşimlerin kesme kuvveti ve kesme sıcaklığının arttığını göstermişlerdir (Luo, 2020) .

Chern, Al 1100 (soğuk çekilmiş), Al 2024-T4 ve Al 6061-T6 olmak üzere üç farklı alüminyum alaşım kullanmış, işleme sonrası oluşan çapakları incelemiştir. Düzlem içi çıkış açısı, yüzey frezelemede çapakların geometrisini güçlü bir şekilde etkilemiştir. Alüminyum alaşımları üzerinde yapılan deneylerde beş tip çapak oluşturulmuştur: bıçak tipi, dalga tipi, kıvrılma tipi, kenar kırma ve ikincil çapak. Bu çapakların her tipinin oluşum mekanizmaları tam olarak tartışılmıştır. Düzlem içi çıkış açısı yaklaşık 90° olduğunda dalga tipi çapak oluşturulur. Özel geometrik şekil, minimum deforme olmamış talaş kalınlığı kavramı uygulanarak ayrıntılı olarak açıklanır. Dalga tipi çapak, geometrik şeklinin karmaşıklığı ve kalınlığının fazla olması nedeniyle çapak almanın zorluğunu artıracığından kaçınılması

gerektiğini iletmiştir. İkincil çapak oluşumunda ilerleme hızındaki artışın bir miktar etkisi ile birlikte kesme derinliği hakim olduğunu, İkincil çapak için kritik kesme derinliğinin değeri, iş malzemesinin düzlem içi çıkış açısı ve kırılma gerilimi ile arttığını belirtmiştir (Chern, 2005).

Subramanian ve arkadaşları, AL 7075 T6 malzemesi tercih etmişler farklı takım geometrisine sahip parmak frezeler kullanmışlardır. AL 7075-T6 alüminyum alaşımının titreşim genliği, bu çalışmada geliştirilen ikinci dereceden ikinci dereceden model aracılığıyla verimli bir şekilde hesaplayabilmişlerdir. Proses parametrelerinin araştırma aralığı içindeki titreşim genliği üzerindeki doğrudan ve etkileşimli etkileri, merkezi kompozit tasarımdan kolaylıkla incelemişlerdir. Titreşim genliği kesme ilerleme hızının artmasıyla artar ve titreşim genliği kesme hızının azalmasıyla artar, yani titreşim genliği daha yüksek kesme hızında ve daha düşük kesme ilerlemesinde daha düşük olduğunu belirlemişlerdir. Düşük köşe yarıçapında titreşim genliğinde bir artış bulunurken, yüksek köşe yarıçapında titreşim genliğinde bir azalma fark edildiğini iletmişlerdir. Düşük radyal eğim açısında titreşim genliği artar ve yüksek radyal eğim açısı azaldıkça titreşim genliği arttığını tespit etmişlerdir. Radyal talaş açısı ve kesme ilerlemesi, radyal talaş açısı ve eksenel derinlik, köşe yarıçapı ve kesme ilerlemesi, köşe radyüsü ve eksenel derinlik, kesme hızı ve kesme ilerlemesi, kesme hızı ve eksenel kesme derinliği, kesme ilerlemesi ve eksenel kesme derinliği gibi işlem parametrelerinin permütasyonu titreşim genliği üzerinde güçlü bir etkileşime sahip olduğu belirlenmiştir. Titreşim genliği üzerinde istatistiksel ve fiziksel etkisi en yüksek olan kesme parametresi ilerleme hızı ve eksenel kesme derinliği olduğunu söylemişlerdir. Bu çalışmalarında işleme proseslerinin kontrol edilebilir olduğunu göstermişlerdir (Subramanian, 2013).

Mali ve arkadaşları, AL 7075 malzemesi kullanarak farklı işleme değişkenleri ile kuru ortamda deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Birçok girdi parametresinin etkili bulunmasına rağmen, etkin takım yarıçapı, aktif kesme hızı ve temas yüzey alanı, kavisli yüzey frezelemede kesme mekanizmasını, kuvvetleri ve genel yüzey kalitesini belirleyen önemli parametreler olduğunu belirtmişlerdir. Dokuz (L1'den L9'a) deneyin sonuçları, giriş parametreleri arasında kesme ilerlemesinin en çok etkilendiğini göstermektedir ve 47 (m/dak) hız, 0,05 (mm/dev) ilerleme ve 0, 4 milimetre eksenel derinlikle deney 4'ün (L4) mevcut çalışmada en iyi parametrik birleşim olduğu bulmuşlardır. Bu çalışma, sadece kuvvet büyüklüğünün frezeleme parametreleriyle güçlü bir ilişki sergilemediğini, aynı

zamanda zaman gecikmesinin (Δt) ve kuvvet profilinin doğasının takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesinde eşit derecede önemli olduğunu vurgulamışlardır (Mali, 2020).

Banerjee ve arkadaşları, AL 7075 kullanışlar ve doğrusal ve dairesel parmak frezelerin performansını ölçmüşlerdir. Dairesel parmak frezelemede talaş oluşumunun geometrisi, özellikle G1 sürekli yay-spline ve yüksek dereceli eğrilerin çift yaylı uyumu sonucunda ortaya çıkabilen küçük yarıçaplı dairesel takım yolları için, doğrusal parmak frezelemeden önemli ölçüde farklı olduğunu iletmişlerdir. Bu yazıda, talaş kaldırma geometrisini güvenilir bir şekilde modellemek için hem dış başına ilerleme hem de deforme olmayan talaş kalınlığı dikkate alınarak dairesel parmak frezelemede talaş oluşumu geometrisinin mekaniği incelenmişlerdir. Dairesel parmak frezelemede dış başına ilerleme ayarına duyulan ihtiyaç, doğrusal parmak frezelemeyle karşılaştırılarak sunmuşlardır. Takım yolu yarıçapına, takım yarıçapına ve takım dönüş açısına dayalı olarak basitleştirilmiş bir formülasyonu türetmişlerdir. Ekstrem koşullarda dış başına ilerleme formülasyonunun belirsiz formu, talaş kalınlığının da incelenmesi ihtiyacını ortaya koymuşlardır. Doğrusal ve dairesel parmak frezeleme arasındaki karşılaştırma, dairesel parmak frezeleme için deforme olmayan talaş kalınlığı formülasyonunun türetilmesi ihtiyacını doğrulamışlardır. Son olarak, önerilen talaş kalınlığı formülasyonunun süreç durumları üzerindeki etkisini göstermek için kesme kuvveti hesaplamışlardır. Hesaplamalar, özellikle küçük takım yolu yarıçapı için, doğrusal parmak frezeleme yaklaşımına dayalı dairesel parmak frezeleme modellerinin türetilmiş formülasyonlarla değiştirilmesi ihtiyacını yinelemişlerdir. Takım yolu yarıçapının çok küçük olabildiği mikro frezeleme uygulamalarında dairesel parmak frezeleme için kesme kuvvetlerini deneysel olarak doğrulamak için de girişimlerde bulunulması gerektiğini söylemişlerdir. Farklı takım yolu yarıçapına sahip dairesel parmak frezeleme için kesme kuvveti profillerindeki tahmin edilen farkı doğrulamak için daha fazla deney yapılması gerektiğini iletmişlerdir (Banerjee, 2011).

Wang ve arkadaşları, AL6061 kullanmışlar ve farklı kesme parametrelerinde deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Deney sonuçlarında kesme derinliği, iş mili hızı ve ilerleme hızı, AL6061'in ultra hassas taramalı frezelemesinde ısı üretimini ve çökeltilerin (Mg_2Si) boyutunu ve sayısını etkilediğini bildirmişlerdir. İş mili hızının ısı bildirmişlerdir. İş mili hızı ve ilerleme hızının artması, işlenen iş parçasında daha yüksek sıcaklık artışına neden olduğunu iletmişlerdir. Kesme derinliği 1 μm 'den büyük olduğunda, kesme derinliği ne

kadar büyük olursa, o kadar çok ısı üretilir; kesme derinliği 1 μm 'den küçükse, kesme derinliğinin azalması daha fazla ısı ürettiği bildirildi. Çizik izlerinin oluşması kesme parametrelerinin seçimine bağlıdır: daha küçük bir kesme derinliği, daha yüksek bir iş mili hızı ve daha yavaş bir ilerleme hızı, çizik izlerinin oluşumunun azaltılmasına katkıda bulunduğu tespit edilmiştir (Wang, 2015).

Burek ve arkadaşları, AlZn5. 5MgCu alüminyum alaşımının yüksek performanslı frezelemesinde yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarını incelemişlerdir. Testler, kesme kenarının farklı tırtıklı şekillerine sahip parmak freze takımlarının kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Kesintili veya dalgalı kesici kenar şekline sahip parmak frezeler ile deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Kesme kenarı şekli modifikasyonlarının çeşitliliği nedeniyle, üç tip şekil (dalgalı ince, dalgalı kalın ve kesintili dikdörtgen) için kesme kenarı şeklinin kesme kuvveti bileşenleri üzerindeki etkisine ilişkin deneysel testler gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarının analizleri, referans takım olarak sürekli bir kesme kenarı şekline sahip parmak freze ile karşılaştırılarak gerçekleştirilmiştir. Bir kesici kenarın şeklini değiştirmenin kesme kuvveti bileşeni üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu iletilmiştir (Burek, 2019).

Zyłka ve arkadaşları, 7075 alüminyum alaşımının ince işleme frezelemesinde son teknoloji mikrogeometrinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi analiz etmişlerdir. Kesici kenarın yuvarlama yarıçapı ve kenar genişliği boyutunun seçilen değerlerinin kesme kuvveti parametreleri üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Kesme tabakasının farklı kesit değerleri, dış başına ilerleme ve radyal ilerleme parametrelerinin değiştirilmesi için deneysel testler gerçekleştirilmiştir. Kenar boşluğunun genişliği ne kadar büyük olursa, kesme kuvvetinin dağılımı da o kadar büyük olur ve işleme süreci daha az tahmin edilebilir ve oturmuş olur (kuvvetin standart sapması en büyüktür). Bunun nedeni, kenar boşluğunun genişliği ne kadar büyük olursa, takım ile iş parçası malzemesi arasındaki temas alanının ve sürtünme kuvvetinin de o kadar büyük olmasıdır şeklinde yorumlamışlardır (Zyłka, 2023).

Çakır ve arkadaşları, AA7075 ve AA2024 alüminyum alaşımlarını işlenmesinde minimum yağlama tekniği (MQL) uygulamışlar ve farklı kesme parametreleri kullanmışlardır. Deneyler sonucunda ilerleme ve kesme hızının artmasının yüzey kalitesini negatif yönde etkilemiş, akış hızının artması ise yüzey kalitesini pozitif bir etki oluşturmuştur. İlerleme oranının artması yüzey pürüzlülük değerlerini arttırdığı iletilmiştir. Artan akış hızı yüzey

pürüzlülük değerlerini düşürmüş ve yüzey kalitesine olumlu etki yapmıştır. Akış hızının yüzey kalitesi üzerindeki etkisinin, yüksek ilerleme hızında daha fazla olduğu bildirilmiştir. Beklentinin aksine kesme hızının artırılması yüzey kalitesini arttırmamıştır. Aynı şartlarda işlenen AA7075 ve AA2024 alüminyum alaşımlarının yüzey kalitesi karşılaştırıldığında, AA2024'ün yüzey kalitesinin AA7075'e göre daha iyi olduğu görülmüştür. Bu durumun yüksek hızlarda daha belirgin hale geldiği iletilmiştir (Çakır, 2015).

Tsai ve arkadaşları, 170-190 Mpa gerilme mukavemetine sahip genel bir ticari alaşım olan ve en yaygın olarak anodizasyon için kullanılan ve gerektiğinde ekstra koruma sağlayan alüminyum 6060-T6 için frezeleme kesme kuvvetini ve kesme katsayısını tahmin etmeye yönelik bir araştırma yapmışlardır. Ayrıca ilerleme hızı ve takım çapının kesme kuvveti ve kesme kuvveti katsayısı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. İlerleme oranındaki bir artış kesme kuvvetini arttırmış ve teğet yönlerdeki kesme kuvvetleri için kesme katsayısını azaltmıştır. Ayrıca kesme açısı dış başına ilerleme arttıkça artmıştır. Modeldeki kayma gerilmesinin malzemenin gerçek kayma dayanımına yakın olduğu bulunmuştur. Bu, önerilen yöntemin malzemelerin kayma mukavemetini belirlemek için alternatif bir araç olarak da kullanılabileceği anlamına gelir. Ayrıca dış başına ilerlemenin ve takım çapının değiştirilmesinin sürtünme açısının büyüklüğünü değiştirmedeğini iletmışlerdir. Böylece kesme kuvveti katsayıları, bir dizi frezeleme testiyle birlikte ortalama kesme kuvveti modeli kullanılarak tahmin edilebilir. Bu bulgular ile frezeleme tırlamasının incelenmesi için teorik bir temel sunmuşlardır (Tsai, 2015).

Davoodi ve arkadaşları, kesme sıvısının uzaklaştırılması amacıyla kesme hızı ve deforme olmamış talaş kalınlığının kesme ve ilerleme kuvveti bileşenleri ile takım ucu sıcaklığı üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmişlerdir. Yüksek Magnezyum içeriği (%4, 5) olan AA5083-O dövme alaşımı, kaplamalı karbür takım kullanılarak kuru ve ıslak işleme koşullarında işlemişlerdir. Kesme sıvısının çıkarılması, üretim maliyetlerinin ve sıvı üretim masraflarının azalmasına neden olduğunu iletmışlerdir. Bu da makineden ve parçalardan uzaklaştırılmasının maliyetini azaltmış ve bu sıvıların çevre ve insan sağlığı üzerindeki yıkıcı etkisini ortadan kaldırmıştır. Yüksek kesme hızları ve en az deforme olmamış talaş kalınlığı ile kuru işlemede, en az kesme ve ilerleme kuvvetlerine ve en düşük takım ucu sıcaklıklarına ulaşmamanın mümkün olduğunu iletmışlerdir. En yüksek kesme hızı ve en düşük deforme olmamış talaş kalınlığına sahip ıslak işlemede, en az kesme ve ilerleme kuvvetleri ile en düşük takım ucu sıcaklıklarını elde etmenin mümkün olduğu bildirilmiştir.

AA5083 yüksek kesme hızlarında kuru işlemeye tabi tutulabilir. Bu koşullarda kuru işlemede kesme ve ilerleme kuvvetleri kuru olmayan ıslak işlemeye göre daha az olduğu iletilmiştir. Genel olarak, hem kuru hem de kuru olmayan işlemede, biçimi bozulmamış talaş kalınlığının artmasıyla birlikte kesme ve ilerleme kuvvetleri ve takım ucu sıcaklıkları önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir (Davoodi, 2013).

Martins ve arkadaşları, karbür takımlara DLC uygulayıp alüminyum işlemişlerdir. Tribolojik testler, DLC kullanıldığında aşınmaya karşı direnç ve sürtünme katsayısının azaldığını iletilmişlerdir. Alüminyum alaşımı ile yapılan işleme testleri sırasında, DLC'nin varlığı, farklı kesme hızlarında deliklerin kalitesinde daha az önemli değişiklikler sağlamıştır (Martins, 2022).

Fang ve arkadaşları, işlemede takım kenarı geometrisinin etkilerine ilişkin son deneysel ve teorik çalışmamızın sonuçlarını sunmakta ve analiz etmektedirler. Çalışmalarında, AL 7075-T6, AL6061-T6 ve AL2024-T351 alüminyum alaşımlarını kullanmışlardır. Hem pahlı hem de honlanmış takımlar için, kesilmemiş talaş kalınlığı kesme hızına ve takım geometrisine göre değişen kritik bir değerden azsa, itme kuvveti kesme kuvvetinden daha büyük olabilir. Bu işleme olgusu, pahlı ve honlanmış takımların negatif talaş açısıyla yakından ilişkili bulmuşlardır. Bu çalışmada belirtilen kesme koşulları altında pahlı takım daha büyük kesme kuvvetleri ancak daha küçük talaş kalınlığı üretmiştir. Büyük kuvvete büyük talaş kalınlığının eşlik ettiği yönündeki hakim görüşün her zaman doğru olmadığını bildirmişlerdir. İş malzemesi özellikleri işlemede, özellikle de itme kuvvetinde önemli bir rol oynar. İşleme olayına makul bir açıklama sağlamak için iş malzemelerinin hem mekanik hem de termal özelliklerinin dikkate alınması gerektiği iletilmiştir. Kesme hızlarının itme kuvveti üzerindeki etkisi büyük ölçüde kesilmemiş talaş kalınlığına ve kullanılan iş malzemelerine bağlı olduğu söylenmiştir (Fang, 2005).

Mahesh ve arkadaşları, AL 7075 T6 havacılık alüminyum alaşımının CNC parmak frezelemesinde eş zamanlı olarak yüzey pürüzlülüğünü en aza indirmek ve malzeme kaldırma oranını maksimuma çıkarmak için Taguchi yöntemiyle bütünleşmiş bulanık mantığın uygulamasını açıklamaktadır. Dikkate alınan giriş parametreleri hız, ilerleme, kesme derinliği ve köşe yarıçapı olarak belirlenmiştir. Bu makale, çoklu performans özelliklerine sahip Al 7075 T6 Alüminyum alaşımının CNC parmak frezeleme süreç parametrelerinin optimizasyonu için bütünleşmiş Taguchi-Fuzzy'yi sunmaktadır. Yanıtları

etkileyen en önemli parametreler köşe radyüsü ve kesme derinliği olarak belirlenmiştir (Manesh, 2014).

Rawangwong ve arkadaşları, yarı katı AA 7075 yüzey frezelemede ana faktörlerin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini araştırmaktır. Daha düşük hız değerinin ve daha düşük ilerlemenin yüzey pürüzlülüğünü azaltma eğiliminde olduğunu göstermişlerdir (Rawangwong, 2012).

Yazıcı ve arkadaşları, işleme parametrelerinin, özellikle kesme hızı, ilerleme hızı ve eksenel kesme derinliğinin, kuru ortamda boğa uçlu kesici ile yüksek hızlı frezeleme alüminyum alaşımı 7075-T6'da kesici takım ömrüne ve işlenmiş yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemek için yapılan deneysel çalışmanın bulgularını rapor etmektedir. 0, 12 milimetre/diş ilerleme hızı, 500 ve 600 (m/dak) hızlarda kesmenin ve 1, 40 eksenel kesme derinliğinde kesmenin sırasıyla takım ömrünü uzattığı ve yüzey pürüzlülük değerini en aza indirdiği tespit edilmiştir. ANOVA sonuçlarına göre kesme hızının en önemli faktör olduğu, bunu kesici takım ömrünü ve işlenmiş yüzey pürüzlülüğünü etkileyen ilerleme hızının takip ettiği bulunmuştur. Takım yüzeyindeki BUL oluşumu takım ömrünün azalmasından sorumludur. Kesme hızında büyük bir değer ve ilerleme hızı ve eksenel kesme derinliğinde daha küçük bir değer, kesici takım üzerinde BUL'un daha hızlı oluşmasını engelleyebilir. Aşınma eğriliğinin boyutu, pürüzsüz işlenmiş yüzeyin desteklenmesinde büyük bir potansiyel yarattığını iletmişlerdir (Yazıcı, 2020).

Tufan, AL 6082 alüminyum alaşımı kullanmış, ilgili alaşımın farklı ısı işleme prosedürlerine tabi tutarak yüzey pürüzlülük değerlerini incelemiştir. Isıl işlem prosedürünün yüzey pürüzlülüğünü olumlu etkilediğini iletmiştir (Tufan, 2011).

Ghoreishi ve arkadaşları, yüksek hızda kesme parametrelerinin işlenmiş AL/SiC kompozit malzemenin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerinde oluşturduğu etki araştırılmıştır. İlerleme oranının 0, 01 mm/diş 'ten 0, 1 mm/diş'e ve kesme derinliğinin 0,25'ten 2 mm'ye artması, kesme kuvvetlerindeki artış nedeniyle yüzey pürüzlülüğünü artırır. Daha fazlasını elde ederek, muhtemelen kritik kesme kuvveti parçacıkları daha küçük parçalara ayırır veya onları takım kenarı yolundan uzağa iterek yüzey pürüzlülüğünü artırmakta olduğunu bildirmişlerdir Ayrıca CO₂'nin soğutucu olarak kullanılması işleme kuvvetlerini %3 ila 8 oranında artırmasının yanı sıra yüzey pürüzlülüğünü %19 ila 23'e kadar artırmıştır. Genel

olarak, daha düşük kesme derinlikleri, SiC parçacıklarının boyutuna eşit ilerleme hızı ve daha yüksek kesme hızı kullanılarak uygun yüzey pürüzlülüğü beklenir (Ghoereishi, 2018).

Titu ve arkadaşları, bu çalışmalarında, T76511 temperli alüminyum alaşımı 7136 üzerinde standart bir parmak frezeleme işleminden kaynaklanan yüzey pürüzlülüğünün regresyon denkleminin, iki istatistiksel veri analizi yöntemi yoluyla elde edilmesi yöntemini araştırmışlardır. Her iki durumun da sonucu aynıdır: kesme hızı, parmak frezelenmiş yüzey üzerinde en yüksek etkiye sahip olan faktördür. Yüzey kalitesini etkileyen kontrol faktörleri arasında çok zayıf bir ilişki olduğu her faktörün yüzeye olan yüzdesel etkisinden görülebilmektedir. Titreşim pürüzlü yüzeye yol açar ve kullanılan alet (parça) malzemelerinin tınlama fenomeni tarafından verilir. Bu daha ileri araştırmalara yön verebilir çünkü nedenleri, sonuçları ve üretim süreci daha ayrıntılı olarak incelenmeli sonucuna ulaşmışlardır (Titu, 2020).

Jarosz ve arkadaşları, bir alüminyum flanşın yüzey frezeleme işlemi seçmişlerdir. Optimizasyon stratejisinin doğru seçilmesiyle, analiz edilen yüzey frezeleme operasyonu için işleme süresinden, uygulanan süreç parametre kısıtlamalarını aşmadan %37'ye kadar tasarruf elde edilebileceğini söylemişlerdir. Optimize edilmiş takım yolları için ilerleme hızı değişimleri gözlemlendi. Diş başına ilerleme değerleri iken empoze edilen kısıtlamaları aşmadığında ilerleme hızı dalgalanmaları önemlidir (yani %336'ya kadar, 0, 055 mm/diş ile 0, 24 mm/diş arası) ve takım aşınmasının artmasına neden olmuştur. Kesme kuvveti değerindeki tüm düzensizlikler, iş parçası geometrisi ve takım yolu tipiyle ilgili olduğundan ortadan kaldırılamaz. Bununla birlikte, değişken kesme derinliğine rağmen takımın sabit yük altında çalıştığı işleme süresi, her optimizasyon stratejisi için yaklaşık %26 oranında önemli ölçüde artmıştır (Jarosz, 2017).

Perez ve arkadaşları, kesme hızının yüzey frezelenmiş 7050-T7451 alüminyum iş parçalarının yüzey bütünlüğü üzerindeki etkisi incelemişlerdir. Kesme hızı arttıkça işleme kuvvetleri azaldığını belirtmişlerdir. Test edilen koşullar için kesme hızı değiştirildiğinde yüzey pürüzlülüğü önemli ölçüde değişmemiştir (Perez, 2018).

Samtas ve arkadaşları, normal ve kriyojenik olarak işlenmiş PVD-AlTiN kaplamalı uçlara sahip kriyojenik olarak işlenmiş alüminyum 6061 alaşımları üzerinde yüzey frezeleme işlemi kullanılmıştır. Taguchi optimizasyonunda yüzey pürüzlülüğü için en iyi birleşim

işlenmemiş kesici uç, 250 (m/dak) kesme hızı ve 0, 15 (mm/dev) ilerleme hızıdır. Aşınma için en iyi kombinasyon işlenmemiş kesici uç, 350 (m/dak) kesme hızı ve 0, 30 (mm/dev) ilerleme hızı olduğunu iletmişlerdir. İşlenmemiş kesici uç, 450 (m/dak) kesme hızı ve 0, 15 (mm/dev) ilerleme hızı, en az aşınma ve pürüzlülük için ideal kombinasyonlar olduğu belirtilmiştir. İlerleme arttıkça pürüzlülük değerlerinin de arttığı ve kriyojenik işlem görmüş kesici uçların en yüksek pürüzlülük değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Aşınma söz konusu olduğunda, kriyojen işlemine tabi tutulan kesici uçlarda kesme hızı arttıkça pürüzlülük değerlerinin azaldığı, aşınma değerlerinin ise arttığı tespit edilmiştir (Samtaş, 2023).

Sekmen ve arkadaşları, çalışmalarında AL 2011 ve AL 7075 alüminyum alaşımları kullanarak değişen kesme parametrelerinde yüzey pürüzlülük değerlerini incelemişlerdir. Talaş açısının artmasının yüzey pürüzlülük değerlerini azalttığını iletmişlerdir (Sekmen, 2014).

Kundrák ve arkadaşları, ilerlemenin talaş boyutu oranına etkisini belirlemek amacıyla deneysel bir araştırma yapılmıştır. Bu amaçla yüzey frezeleme için iki farklı kesme hızında beş farklı ilerleme değeri test etmişlerdir. Malzeme olarak AL 7075 kullanmışlardır. Bu yazıda yüzey frezelemenin karakteristik kesme kuvvetleri incelenmiştir. Değerlerindeki değişim, takım dönme açısının fonksiyonu olarak talaş kaldırma işleminde gösterilmektedir. Kuvvetlerin değişimi hem iş parçasına bağlı bir koordinat sisteminde hem de ölçüm sistemine uygun olarak ölçülür. Deneysel prosedürde kullanılmış ve takım kenarına ilştirilmiş bir koordinat sisteminde hesaplanmıştır. İncelenen aralıkta ilerlemenin artırılmasıyla yüzey hızı orantılı olarak 16 kat arttığı bildirilmiştir. Maksimum kuvvet değerlerine bakıldığında, daha yüksek kesme hızı için daha düşük kesme kuvvetlerinin ölçüldüğünü iletmişlerdir (Kundrak, 2018).

Ping ve arkadaşları, AA7050-T7451 alüminyum alaşımının kuru kesme altında kesme parametrelerinin yüzey bütünlüğü ve takım aşınma mekanizması üzerindeki etkileri üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. Kesme hızının kesme kuvveti üzerindeki etkisinin oldukça karışık olduğunu iletmişlerdir. Kesme hızı arttıkça X yönündeki kesme kuvveti azalırken, Y yönündeki kesme kuvveti ise önce azalıp sonra artmıştır. Kesme kuvveti, kesme derinliği ve ilerleme hızıyla pozitif ilişkili olduğu söylenmiştir. Kesme hızının artmasıyla kesme sıcaklığı önce artmış, sonra azalmıştır. Kesme sıcaklığı kesme derinliği ve ilerleme

hızıyla pozitif ilişkilidir. Düşük kesme hızlarında, iş parçasının kesilen yüzeyinde derin oyuklar bırakan talaş yığılmaları oluşmuş ve bu durum yüzünden yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Kesme derinliği yüzey pürüzlülük değerlerinde pek bir fark yaratmamıştır. İlerleme hızı yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde etkilemiştir. İlerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğü de açıkça artmıştır (Ping, 2021).

Li ve arkadaşları, AA 6061-T6 malzemesi kullanarak deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Kesme hızının artmasıyla hem kesme kuvveti hem de kesme sıcaklığı düşer sonucuna varmışlardır (Li, 2021).

Varatharajulu ve arkadaşları, işleme süresi, malzeme kaldırma oranı ve yüzey pürüzlülüğü üzerinden iş mili hızı (SS), ilerleme hızı (FR) ve kesme derinliği (DoC) gibi arzu edilen frezeleme parametrelerinin seçimini kapsar. Malzeme olarak AL 6082 kullanmışlardır. Sonuç olarak ise aralıklı iş mili hızı ve daha yüksek ilerleme hızının karışımı, işlemeyi daha hızlı bir oranda gerçekleştirir, davranışın, diğer kesme derinlikleri için de aynı olduğu bulunmuştur, İş mili hızının ve kesme derinliğinin orta aralığının karışımı, ilerleme yüksek bir aralıkta olduğunda parçanın daha hızlı işlenmesini sağlar, daha yüksek ilerleme hızı, daha düşük kesme derinliği ile işbirliği içindedir ve iş mili hızı yüksek olduğunda işlemeyi daha hızlı gerçekleştirir, ince ince talaş işleme, kesme derinliği düşük olduğunda daha yüksek iş mili hızı ve aralıklı ilerleme hızıyla elde edilir, İyi ince talaş işleme, ilerleme hızı aralıklıyken maksimum iş mili hızında ve minimum kesme derinliğinde elde edilir şeklinde bildirilmiştir (Varatharajulu, 2020).

Munoz ve arkadaşları, Al alaşımı 7075-T7351'in yüzey frezeleme işlemi sonrasında yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerlerinin tahmini için farklı yapay sinir ağları (YSA) geliştirilmiştir. Pearson ilgileşim analizine göre kesme hızı, işlenmiş yüzey kalitesini etkileyen en önemli kesme parametresi olduğunu bildirmişlerdir (Munoz, 2018).

Malghan ve arkadaşları, AA6061'in yüzey frezeleme kullanılarak işleme özellikleri araştırmışlardır. İşlenen yüzeyin topografya grafiklerine dayanarak, kesici takımın daha büyük eksenel hareketi nedeniyle yüzey pürüzlülüğünün ilerleme hızıyla doğrusal olarak arttığını belirtmişlerdir. İlerleme hızının artmasıyla ilerleme izlerinin genişliği doğrusal olarak arttığını, bunun da yüzey kalitesini bozduğunu iletmişlerdir. Söz konusu malzeme için daha düşük ilerleme hızı değeri, daha yüksek dönme hızı ve daha yüksek kesme derinliği

dahil edilerek daha iyi yüzey kalitesi elde edilebileceğini bildirmişlerdir (Malghan, 2017).

Sahlan ve arkadaşları, bu makalede, dökme alüminyum alaşımının yüzey frezelemede takım geometrisinin (yani talaş açısı ve kesme kenarı yarıçapı) ve yan yüzey aşınmasının çapak oluşumu üzerindeki etkilerine odaklanmaktadır. 2D ve 3D simülasyonlar, daha büyük yan yüzey aşınma genişliğine sahip takım ucunun daha fazla çapak ürettiğini göstermiştir. Takım ömrünün takım kırılması yerine yan yüzey aşınması tarafından belirlenmesi durumunda, çapak azalımı için daha büyük pozitif talaş açısı (sınırlar dahilinde) arzu edilmektedir. Takımın değişken kesme performansına ilişkin kenar yarıçapı, benzetim sonuçları, düzgün ve değişken kesme kenarı yarıçapına sahip takımlar arasında çapak oluşumunda önemli bir fark olmadığını göstermektedir. Bununla birlikte, değişken kesme kenarı yarıçapına sahip takım, takım ömründe potansiyel bir artışa ve çapak oluşum hızının yavaşlamasına işaret etmekte olduğunu bildirmişlerdir (Sahlan, 2007).

Rawangwong ve arkadaşları, yarı katı AL2024 yüzey frezelemede yüzey pürüzlülüğünün ana faktörlerinin etkisini araştırmışlardır. Kesme hızı ve ilerleme hızından önemli ölçüde etkilenmiştir. Sonuç ayrıca daha yüksek hız ve daha düşük ilerleme değerlerinin yüzey pürüzlülüğünü azaltma eğiliminde olduğunu gösterdiğini iletmişlerdir. İlerleme hızının azalması ve hızın artmasıyla yüzey pürüzlülüğü azaldığını iletmişlerdir (Rawangwong, 2013).

Pınar, çalışmasında AL6013 alüminyum alaşımı kullanarak çeşitli kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülük değerlerine etkileri üzerine bir araştırma gerçekleştirmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ileleme ve talaş derinliği ile doğru orantılı iken kesme hızı ile ters orantılı çıkmıştır. İşleme yönünü ise yüzey pürüzlülük değerlerinde etkili olduğunu ortaya koymuştur (Pınar, 2010).

Jebaraj ve arkadaşları, Al 6082-T6 alaşımı üzerinde farklı soğutma ortamlarında, kesme hızlarında veya hızlarında (V_c), ilerleme hızlarında (f) parmak frezeleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca soğutma ortamı, ilerleme hızı ve kesme hızı gibi süreç parametrelerini etkilemenin, kesme sıcaklığı (T_c), ilerleme kuvveti (F_x), normal kuvvet (F_y), eksenel kuvvet (F_z) gibi çeşitli çıktı tepkileri üzerindeki etkisi ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) incelenmiştir. Al 6082-T6 alaşımının genel frezeleme performansı, TOPSIS analiziyle ıslak soğutma, f 0, 02 m/diş ve V_c 125 (m/dak) gibi uygun değer

parametre ayarının doğru seçilmesiyle geliştirilmiştir (Jebaraj, 2019).

Rivero ve arkadaşları, işleme süreci sırasında meydana gelebilecek farklı olayları tespit edebilen akıllı izleme sistemleri gerektirir. Özellikle takım aşınmasının kontrolü, kuru işleme uygulandığında izleme sisteminin önemli bir amacıdır. Bu çalışma, takım tezgâhının dahili sinyallerine dayalı bir takım aşınma izleme sisteminin uygunluğunu değerlendirmektedir. Havacılık alüminyum alaşımlarının kuru ve yüksek hızda frezelemesi için sensörsüz bir izleme prosedürü sunar. Kuru yüksek hızlı deneyler alüminyum Al 7075-T6 iş parçaları kullanılarak yapıldı. Dahili sinyallerden gelen sensor verileri, zaman ve frekans alanlarındaki temsili değişkenlerdeki sapma değerlendirilerek karşılaştırıldı ve analiz edildi. Sinyal analizi, alüminyum alaşımlarının yüksek hızda frezelemesinde takım aşınmasının izlenmesi için kesme kuvveti sinyallerinin uygunluğunu doğruladı. Deneylerimiz takım sıcaklığı, oluşan katman ve takım aşınmasına duyarlı dahili verilerdeki büyük değişkenlik arasındaki ilişkileri doğrulamıştır. Ana sonuç olarak, iş mili ve z ekseni yoğunluk tüketimleriyle ilgili dahili sinyaller (ve motor sürücülerinden voltaj çıkışı olarak toplanan), alüminyum alaşımlarının kuru frezelemesinde takımın çevrimiçi kontrolü için kullanılabilir (Rivero, 2008).

Robledo ve arkadaşları, Al-7075 T6 alaşımına benzer özelliklere sahip bir malzeme elde etmek amacıyla geliştirilen, ECAP yoluyla işlenmiş bir döküm Al-Mg-Zn alaşımındaki mikro yapısal, mekanik ve tribolojik tepkinin kapsamlı bir analizini göstermektedir. Al-Mg-Zn alaşımının mikro yapısı optik ve taramalı elektron mikroskobu ile incelenirken, ASTM G99'a göre disk üzerinde bilyeli tribometre üzerinde aşınma testleri yapıldı. İşleme öncesi ve sonrasında mekanik özellikler mikro sertlik ölçümleri ile değerlendirildi. Ayrıca Al-Mg-Zn alaşımındaki aşınma mekanizmaları ve sürtünme katsayısı analiz edilerek deformasyon sonrası mikro yapı ve mekanik özelliklerle ilişkilendirilmiş, bu sonuçlar Al-7075 T6 alaşımının özellikleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar ECAP işleminin mekanik özellikleri iyileştirdiğini ancak aşınma oranı ve sürtünme katsayısı açısından aşınma direncinde azalma gözlemlendiğini gösterdi (Robledo, 2021)

Pittala ve arkadaşları, AL 7075 T6 kullanmışlardır. Odak noktası, genel mühendislik uygulamasında AL 7075-T6'nın yekpare parmak frezeleri kullanılarak kaba işlemedir. Kesme hızı, ilerleme hızı, radyal derinlik, yağlayıcı ve kaplamanın etkisi araştırılmıştır. Kaplamalı ve kaplamasız, üç ağızlı yekpare parmak frezeler kullanılmış ve farklı çalışma

koşulları (V_c , a_e , soğutucu ve f_z) benimsenmiştir. Daha yüksek kesme hızı, daha düşük bir teğet sel kuvvet katsayısına izin verir ve soğutma sıvısının herhangi bir etkisi yoktur (test edilen aralıkta), dolayısıyla daha yüksek kesme hızı kolaylıkla benimsenebilir (400 (m/dak) 'ya kadar). Bu çalışmada yürütülen araştırma, AL 7075-T6'nın ağır kaba işleme için en iyi işleme stratejisinin tanımlanmasına yardımcı olur; bu, daha yüksek radyal/eksenel derinlikler ve uygun ilerleme hızı anlamına gelir (Pittalà, 2022)

Wang ve arkadaşları, 7055 alüminyum alaşımının yüksek hızda frezelemesinin iki boyutlu modellemesi ve sayısal simülasyonu, sonlu elemanlar yaklaşımı kullanılarak önemli frezeleme işlemi parametrelerinin alüminyum alaşımının yüzey artık gerilimi üzerindeki etkisini araştırmak için gerçekleştirildi. Tek faktörlü benzetim deneyi ve çok faktörlü ortogonal benzetim deneyi aracılığıyla, frezeleme hızı, ilerleme hızı, freze derinliği, freze genişliği, eğim açısı ve kabartma açısının alüminyum alaşımının yüzey artık gerilimi üzerindeki etkileri tartışıldı. Optimize edilmiş parametre şeması aralık analizi yöntemiyle elde edildi. Sonuçlar, 7055 alüminyum alaşımının yüzey artık geriliminin frezeleme hızının, dış başına ilerlemenin ve frezeleme derinliğinin artmasıyla arttığını ve frezeleme genişliğinin artmasıyla azaldığını göstermektedir (Wang, 2022).

Aydın, AA2014 alaşımı farklı iki geometride kesici takımlar ile işlenmiş olup büyük talaş açılı takım ile işlemede yığıntı talaş boyutunda, yüzey pürüzlülüğünde ve kesme kuvvetlerinde azalma görülmüştür (Aydın, 2003).

Magabe ve Gupta, geleneksel işleme süreçlerini kullanarak alüminyum ve alaşımlarını işlemenin sürdürülebilir yollarını bulma ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Bu yazıda bildirilen çalışmada, kuru bir ortamda, yani yağlama olmadan, alüminyum 7075'in düz karbür takım kullanılarak işlenebilirliğini araştırmak için iki grup deney yapıldı. Takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü ile ilgili parametreler ayrıntılı olarak incelenmiş ve takımın erken arızalanması olmadan alüminyumun kuru işlenmesinin mümkün olduğu bulunmuştur (Magabe, 2023).

Palaniappan ve arkadaşları, CNC tornalama işlemi için en uygun parametreleri belirlemek amacıyla Alüminyum 6082 alaşımının işlenmesini deneysel olarak araştırmaktadır. L27 ortogonal dizisine dayalı bir deney planı oluşturuldu ve tungsten karbür kesici takım kullanılarak Alüminyum 6082 için önceden belirlenmiş kesme parametreleriyle tornalama deneyleri yapıldı. Tornalama parametreleri, Taguchi ve ANOVA kullanılarak iş mili hızı,

ilerleme hızı ve yüzey pürüzlülüğü ve talaş kaldırma hızı yanıtları için kesme derinliği ve ayrıca her deney koşulu için karşılaştırılan talaş üzerindeki sıcaklıktır (Palaniappan, 2020).

Ding ve arkadaşları, 6061-T6 alüminyum için dik kesme testleri 20–300 (m/dak) kesme hızlarında ve 0, 05 ve 0, 3 mm aralığında ilerleme hızlarında gerçekleştirilmiş ve yapışma ile kesme kuvveti arasındaki ilişki araştırılmıştır. Takım talaş yüzeyinin saf sürtünme kuvvetini elde etmek ve böylece ortalama sürtünme katsayısını elde etmek amacıyla kesici kenarın kenar kuvvetini ayırmak için bir kayma çizgisi modeli kullanıldı. Yapışma morfolojileri taramalı elektron mikroskobu (SEM) altında gözlemlendi ve ortalama sürtünme katsayılarıyla karşılaştırıldı. Farklı yapışma morfolojilerinin farklı sürtünme katsayısı aralıklarına karşılık geldiği bulunmuştur. Eş zamanlı olarak takım talaş yüzeyindeki sıcaklık ve normal gerilim ile yapışma morfolojisi ve sürtünme katsayısı arasındaki ilişki araştırıldı. Sonuçlar, sıcaklığın yapışma gelişiminde ve sürtünme katsayısı değişiminde ana faktör olduğunu gösterdi. Takım talaş yüzeyi sıcaklığı ve yapışma morfolojisi birleştirildiğinde, sürtünme katsayısındaki azalmanın sadece termal yumuşamanın neden olduğu kendi kendine yağlamadan kaynaklanmadığı, aynı zamanda eksik temasın neden olduğu toplam kesme kuvvetinin azalmasından da kaynaklandığı kaydedildi. Son olarak takım talaş yüzeyinin sürtünme katsayısı ile kesme kuvveti ve özgül kesme enerjisi arasındaki ilişki tartışılmış ve sürtünme katsayısının kesme açısını değiştirerek kesme kuvveti ve özgül kesme enerjisi üzerinde etkili olduğu sonucuna varılmıştır (Ding, 2022).

Seymen, çalışmasını alüminyum 7075 alaşımını kuru ortamda kaplamalı freze takımı ve farklı kesme parametreleri kullanarak gerçekleştirmiştir. Yüzey pürüzlülük değerlerinde takım uç yarıçapını etkisini ortaya koymuştur (Seymen, 2009).

Yapılan literatür çalışmalarında farklı işleme koşullarında uygun işleme parametreleri bulunmaya çalışılmış, genel olarak kesme hızı, ilerleme etkisi, ıslak-kuru işleme gibi veriler üzerinde durulmuştur. Takım geometrisi inceleyen çalışma sayısı yetersiz olup bu çalışmanın amacı yığıntı talaş nedeni ile işleme problemleri görülen alüminyum alaşımlarında uç geometrisine sahip ve düz parmak freze takımlarının işleme performansını araştırmaktır.

3. KURAMSAL TEMELLER

3.1. Talaşlı İmalat

Çeşitli metallerin talaş kaldırarak işlenmesi ana imalat yöntemi olup makine-imalat alanında en yaygın uygulanan metal şekillendirme işlemidir. Bir parçanın üretiminin ilk prosesi döküm olduğu gibi son proseside genellikle talaşlı imalat işlemidir. Üretilen her bir ürünün hemen hemen tamamının son işleme adımı talaşlı imalat yöntemlerinden biri ile yapılır. Bu sebeple işleme tezgâh ve takımlarına dünya genelinde yapılan yatırım miktarı her geçen sene artarak devam etmektedir. Talaşlı imalat işlemlerinin temellerini kesme teorileri teşkil eder. Talaşlı imalat işlemi geleneksel yöntem ve modern yöntem olarak iki ana kategoriye yine bunlarda içlerinde yeniden farklı kategorilere ayrılır (Aydın, 2022).

3.1.1. Geleneksel talaşlı imalat yöntemleri

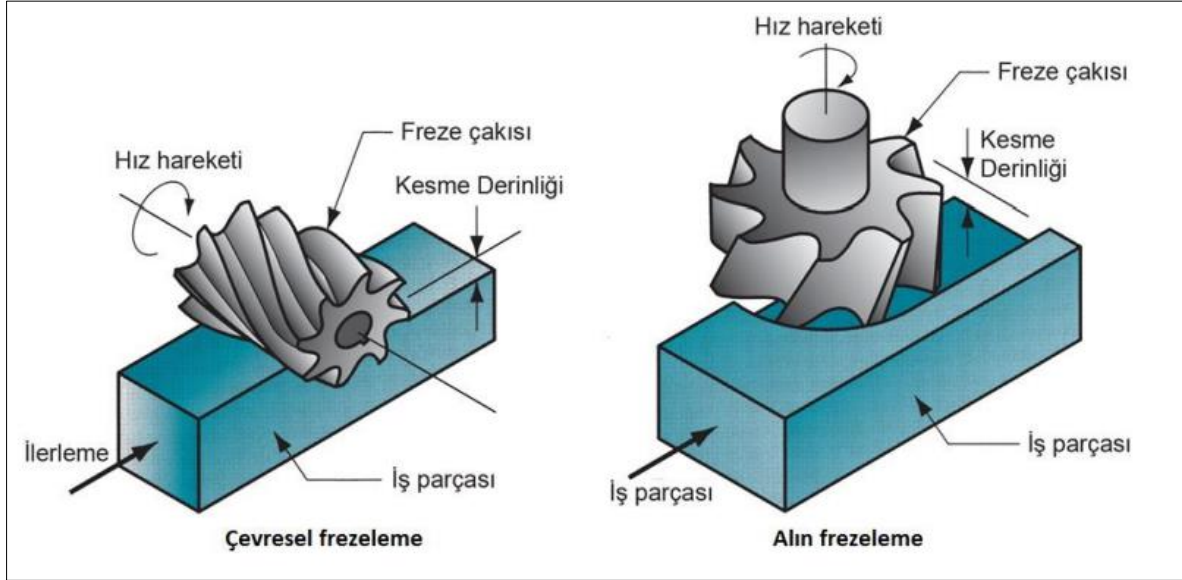
Geleneksek talaşlı imalat yöntemleri kendi içinde birçok kategoriye ayrılır. Bunlardan bazıları, tornalama, frezeleme, vargelde işleme, planyada işleme, delme, rayba çekme, kılavuz çekme, broşlama, taşlama, honlama, pafta çekme, lepleme, kesme olarak sıralanabilir.

3.1.2. Frezeleme işlemleri

Frezeleme, dönen çok uçlu takım ve iş parçasının doğrusal hareketi sonucunda gerçekleştirilen, talaş kaldırma işlemlerinden birisidir. Günümüzde gerçekleştirilen frezeleme prosesinde takım hemen hemen her yönde işlenen parçaya doğru hareket edebilmektedir. Frezelemenin olumlu yönleri yüksek işleme verimliliği, yüksek yüzey kalitesi, hassa işleme kabiliyeti ve istenen şekil oluşturulduğu esnada gerçekleşen esnekliktir. Frezeleme genellikle düzlem yüzeylerde, dik köşelerde ve kanal işleme amacıyla kullanılan bir işlemdir. CNC kullanımı sayesinde kontur frezelemenin verimliliğinde gittikçe artmaktadır (Çakır, 2010).

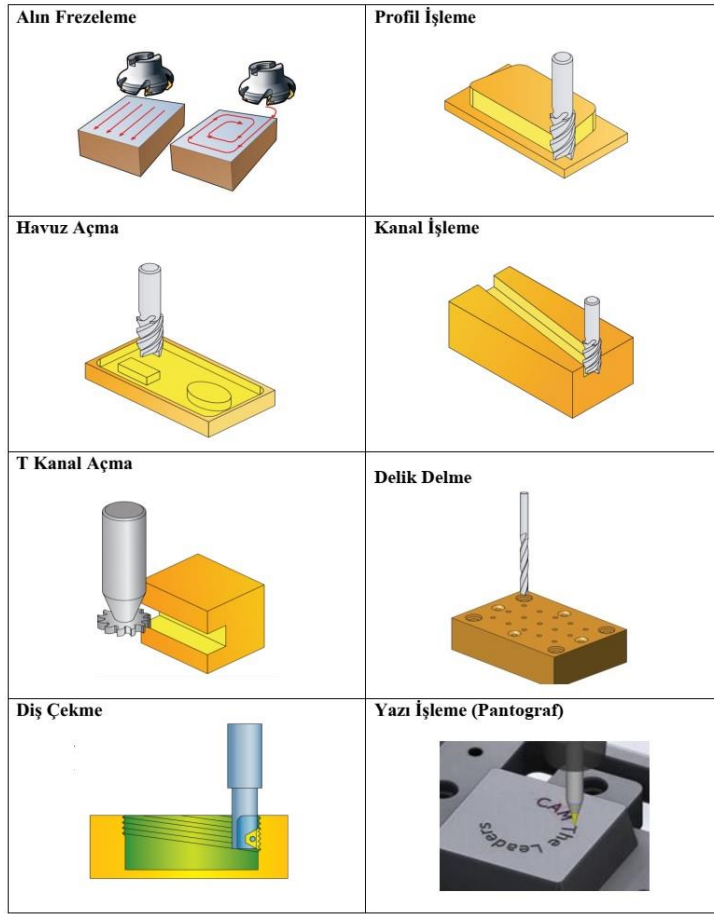
İki ana yöntem olarak frezeleme; çevresel yani düz ve alın frezelemedir (Şekil 3.1). Çevresel frezeleme yönteminde takımın dönme eksenini işlenen yüzeye paralel yönde uygulanıp kesme

işlemi sırasında takımın dış yüzeyinde bulunan kesme kenarları ile gerçekleştirilmektedir. Uygulama türüne göre çeşitli kategorilere ayrılır (Şekil 3.2).



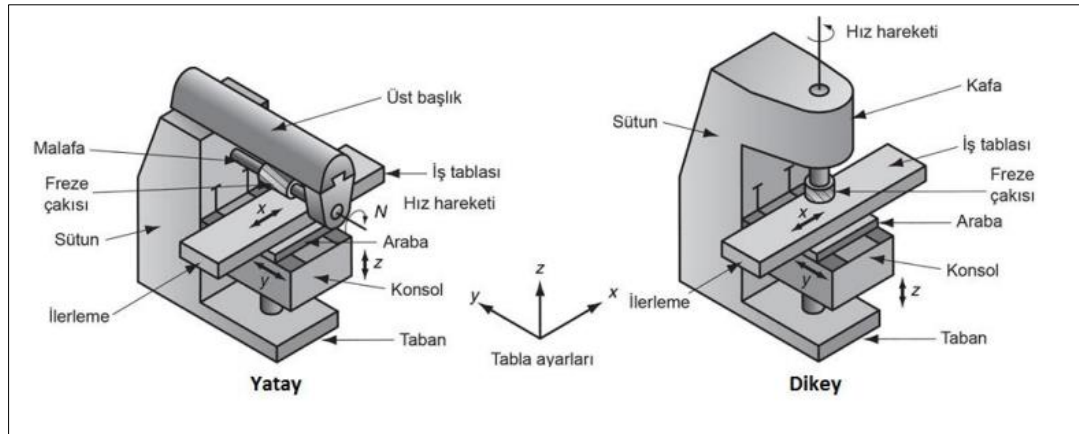
Şekil 3.1. Frezeleme tipleri (Groover, 2021)

Alın frezeleme ise takımın dönme eksenine dik olarak kesme işlemi çakının dış yüzeyinde ve ucunda yer alan kesme kenarları ile gerçekleştirilmektedir. Uygulama türüne göre çevresel frezelemede olduğu gibi çeşitli kategorilere ayrılır.



Şekil 3.2. Frezeleme çeşitleri

Freze tezgahları, freze çakısı için dönen iş mili ve iş parçasının bağlama, pozisyonlama ve hareket etmesi için iş tablası bulundurur. Geleneksel tezgahlarda iş milininin taşınmasını sağlayan bir sütun ve iş tablasını taşıyan bir konsol bulunur (Groover, 2021) (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Geleneksel Freze tezgâh yapısı (Groover, 2021)

Freze işlemlerinde karşılaşılabilecek problemler, muhtemel sebepleri ve çözüm yolları Çizelge 3.1’ de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Frezeleme esnasında karşılaşılabilecek problemler ve muhtemel çözüm yolları (Çiğdem, 2006)

Problem	Muhtemel Sebepler	Çözüm Yolları
Titreşim	Makine,takım tutucusu,iş parçası bağlantısında ve milde yetersiz rijitlik Çok büyük kesme kuvveti Kör takım kullanımı Yetersiz Yağlama Düz dişli takım Sürtünme,yetersiz parçayı kurtarma mesafesi	Daha büyük millerin kullanımı Besleme miktarının azaltılması ve iş parçası ile aynı anda temas eden diş sayısının azaltılması Takım bileme veya değiştirme Yağlayıcının kesme zonunu tamamen ıslatmasını sağlamak Helisel takım kullanımı Takım açısının kontrolü
Boyutsal hassasiyetin azalması veya boyut kontrolünün kaybı	Ötelenmeye sebep olan yüksek kesme yüklemesi Talaş Toplanması Parça değiştirme esnasında talaşın tamamen temizlenmemesi	Parça ile aynı anda temas eden diş sayısının azaltılması Talaşlı işlem sıvısının dişler arasındaki talaşı uzaklaştıracak şekilde uygulanması
Hızlı takım körelmesi	Çok büyük kesme kuvveti Yetersiz soğutucu	Parça ile temas halindeki diş sayısının azaltılması Soğutucuya harmanlama yağı ilavesi
Kötü yüzey bitirme	Yüksek miktarda besleme Körelmiş takım kullanımı Düşük kesme hızı Takımın diş sayısının yetersizliği	Bütün dişlerin aynı yükseklikte olup olmasını kontrol ediniz
Takımın parçaya batması	Çok büyük radyal çıkış Çok büyük talaş açısı Uygun olmayan kesme hızı	İş parçasının defleksiyonun önlenmesi
İş parçasının sıvanması	Hafif kesme Yetersiz radyal çıkış Büyük alan genişliği	Büyük besleme miktarı Takım bileme
Takım yanması	Yetersiz yağlayıcı Çok yüksek kesme hızı	Sülfür esaslı yağ ilavesi Kesme hızının azaltılması Soğutucunun takım ve kesme zonunutamamen ıslatmasının sağlanması
Takım Dişlerinin kırılması	Çok yüksek besleme miktarı	Düşük miktarda besleme Çok sayıda şişe sahip takım kullanımı Tabla besleme miktarının azaltılması

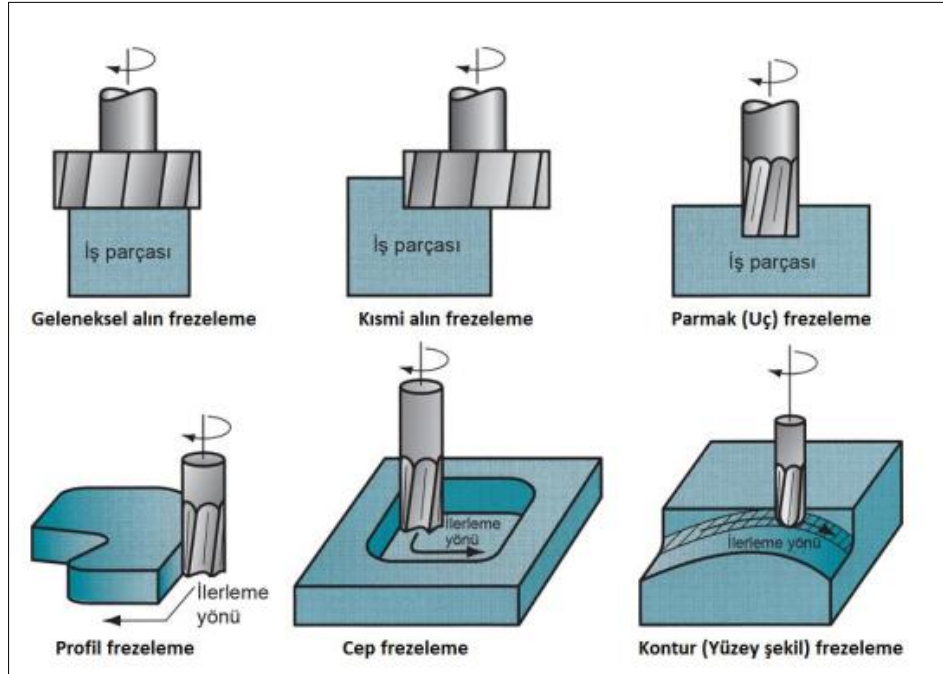
3.1.3. Frezeleme işleminde temel tanımlar

Alın frezeleme yöntemi

Genel olarak takımın etrafında ve bazen alın yüzeyinde yer alan kesici kenarlar ile uygulanan talaş kaldırma yöntemidir. Alın frezeleme işleminde freze, iş parçasının radyal ilerleme

yönünde dik açı yaparak döner (Çakır, 2010).

Çeşitli türleri bulunmaktadır ve bunlardan bazıları Şekil 3.4’de yer almaktadır.



Şekil 3.4. Alın frezeleme çeşitleri (Groover, 2001)

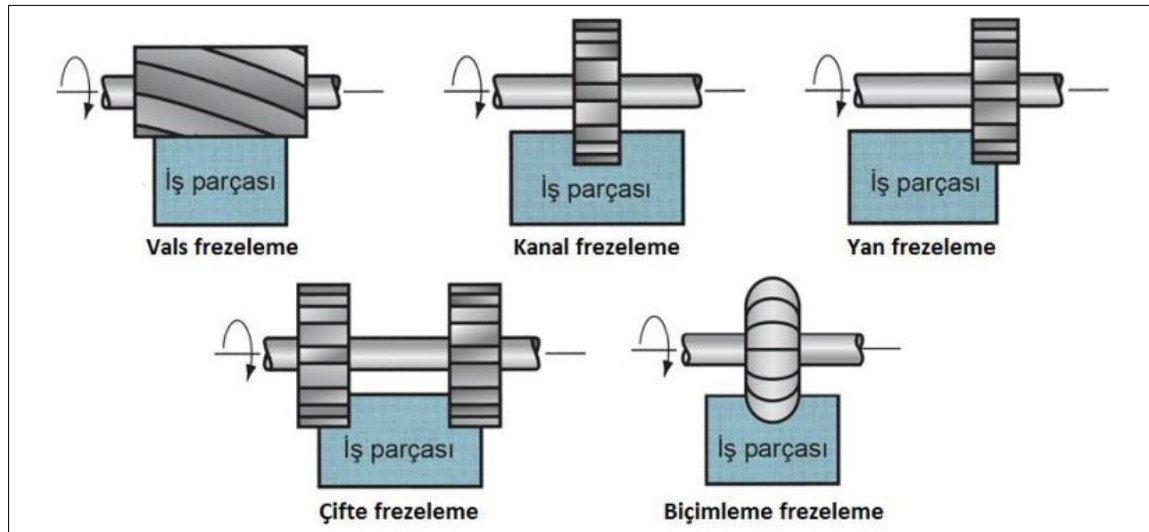
Çevresel frezeleme

Çevre frezeleme düz frezeleme olarak da bilinmektedir. Takımın çevresinde yer alan kenarlar tarafından gerçekleştirilir. Freze, teğetsel ilerleme ile paralel eksen etrafında dönmektedir (Çakır, 2010).

Çevresel frezelemenin çeşitli tipleri mevcut olup Şekil 3.5. de verilmiştir. Çeşitleri aşağıdaki gibidir.

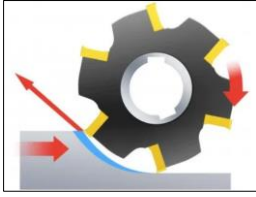
- Vals Frezeleme yönteminde, freze çakısının eni iş parçasının her iki yanından dışarı doğru çıkmaktadır.
- Kanal açma yönteminde, freze çakısına ait kalınlık iş parçasının genişliğinden düşük olup, iş parçasında bir kanal açılmasını sağlar. Freze çakısı çok ince olursa bu operasyon dar kanalları açmak veya iş parçasını ikiye ayırmak içinde kullanılabilir.
- Yan frezeleme yönteminde, freze çakısı iş parçasında yalnızca bir tarafını işlemektedir.

- Çifte frezeleme yöntemi ile yan frezeleme yöntemi aynı olup farkı iş parçasında her iki tarafıda işlemesidir.
- Biçimleme frezeleme yöntemi, freze çakısının dişleri iş parçasına açılacak kanalın biçimini belirleyen spesifik bir profile sahiptir, bundan dolayı biçimlendirme operasyonu olarak kategorize edilmiştir (Groover, 2001).

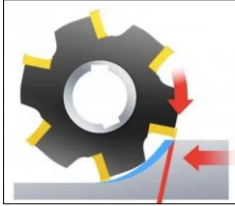


Şekil 3.5. Çevre frezeleme çeşitleri (Groover, 2001)

Frezeiyi oluşturmuş olan her diş tek ağızlı bir takım olarak betimlendirilirse, prensip olarak frezelemede talaş oluşumu, tornalamada olduğu gibi oluşmaktadır. Fakat burada kesme ağızları bir eksen tarafında dönmekte olup talaş kaldırdıklarından aslında frezeleme işlemi, tornalama işleminden daha komplekstir. Bunun ilk göstergesi talaş kalınlığının stabil değil değişken yapıda olması olarak söylenebilir. Yöntem olarak karşıt yönde ve aynı yönde olmak üzere iki frezeleme tarzı vardır. Karşıt frezeleme yönteminde (şekil 3.7.) takım parçanın ilerleme tarafına karşı olarak dönmekte ve kesme prosesi aşağıdan yukarı yönüne doğru gerçekteşmektedir. Aynı frezeleme yönteminde (şekil 3.6.) takım parçanın ilerleme yönüne doğru döner ve kesme yukarıdan aşağı yöne doğru gerçekteşir. G r ld ğu gibi her iki yöntemde bir diş, kalınlığı değişen bir talaş kaldırır. Ancak karşıt frezeleme yönteminde talaş kalınlığı sıfırdan maksimum bir değere kadar artarken, aynı frezeleme yönteminde ise talaşın kalınlığı maksimum bir değerden sıfır değerine kadar sürekli azalır (Akkurt, 1996).



Şekil 3.6. Aynı frezeleme yöntemi



Şekil 3.7. Karşıt frezeleme yöntemi

Ana mil hızı

Ana mil hızı, ana mile bağlı frezenin bir dakikada gerçekleştirdiği devir sayısı olarak bildirilir. Bu tezgâha bağlı bir değerdir, dolayısıyla kesici kenar talaş kaldırırken freze çevresinde neler olduğu ile ilgili çok fazla bir şey söylenemez (Çakır, 2010).

Kesme hızı

Kesme hızı, kesici olan kenarın iş parçası üzerinden talaş kaldırması sırasında gerçekleşen hızı gösterir. Bu takıma bağlı önemli bir değerdir. Ve takımın işlemi mümkün olduğunca verimli bir şekilde gerçekleştirmesini sağlayan kesme verilerinin bir parçasıdır (Çakır, 2010).

İlerleme hızı

İlerleme hızı, takımın iş parçasına yönünde birim zamanda gerçekleşen ilerlemesi olup aynı zamanda tabla ilerlemesi ve tezgah ilerlemesi olarak da adlandırılmaktadır (Çakır, 2010).

Diş başına ilerleme

Diş başına ilerleme, ilerleme değerini hesaplarken ve alın frezenin son işlemde kapasite belirlenmesi sırasında kullanılmaktadır. Diş başına ilerleme değeri, takımın bir devir boyunca gerçekleştirmiş olduğu hareket miktarına eşit olan yardımcı bir değerdir (Çakır, 2010).

Kesici uç başına ilerleme değeri

Frezeleme prosesinde kritik bir parametre değeridir. Freze çok uçlu bir takım olduğundan; her ucun gerekli talaş kaldırabilmesi için uygun bir ilerlemeye gereksinimi vardır. Kesici uç başına ilerleme, bir kesici kenarın parçaya girişinden bir sonraki kesici kenarın parçaya girişi arasında gerçekleşen süre boyunca tablanın ilerlediği yol olarak tanımlanmaktadır. Bu sebeple bu büyüklük, takımda bulunan uç sayısına ve ilerleme hızı veya devir başına ilerlemeye bağlı olarak ifade edilmektedir (Çakır, 2010).

Kesme derinliği

Kesme derinliği değeri, takımın iş parçasından alın frezeleme yönteminde eksenel olarak, çevre frezeleme yönteminde ise radyal yönde kaldırdığı talaş olarak tanımlanmaktadır (Çakır, 2010).

Kesme genişliği veya radyal talaş derinliği

Takımın alın frezeleme yönteminde radyal olarak, çevre frezeleme yönteminde ise eksenel tarafa kapladığı iş parçası yüzey uzunluğu olarak tanımlanmıştır(Çakır, 2010).

3.1.4. Freze takımları

Freze tezgâhlarından en iyi sonucun elde edilmesi için freze çakıların seçimi ve kullanımı uygun olmalıdır. Operatörün sadece herhangi bir kesici için değil farklı kesiciler ve bunlara verilmesi gereken boşluk açılarının frezeleme işlemini nasıl etkileyeceği ve yapılacağını gözlemesi gerekir. Freze çakıları pek çok farklı şekilde ve boyutta üretilir. Frezeleme işleminde, çoğu talaş kaldırma işleminde olduğu gibi kesici takım olarak freze çakısı

emniyetli bir şekilde fonksiyonunu yerine getirmesi için belli özelliklere sahip olmalıdır. Freze çakıları, işlenen malzemelerden sert ve kesme esnasında oluşan gerilmelere dayanabilmesi için kâfi derecede dayanıklı olmalıdır. Takım iş parçasıyla temasından doğan vuruntulara karşı tok olmalıdır. Bunun yanında kesici uçların kesiciliğini muhafaza edebilmesi için aşınma ve ısıya karşı dirençli olmalıdır (Şahin, 2003).

Frezeleme işleminde genel amaçlı kullanılan freze takımları şu şekilde sınıflandırılabilir: Düz dişli freze takımları, helis dişli freze takımları, testere freze takımları, form freze takımları, açma freze takımları, parmak freze takımları, oluk freze takımları, alın freze takımları, kanal freze takımları (Şekil 3.8) (Aydın, 2022).



Şekil 3.8. Freze takım çeşitleri

Parmak freze çakıları

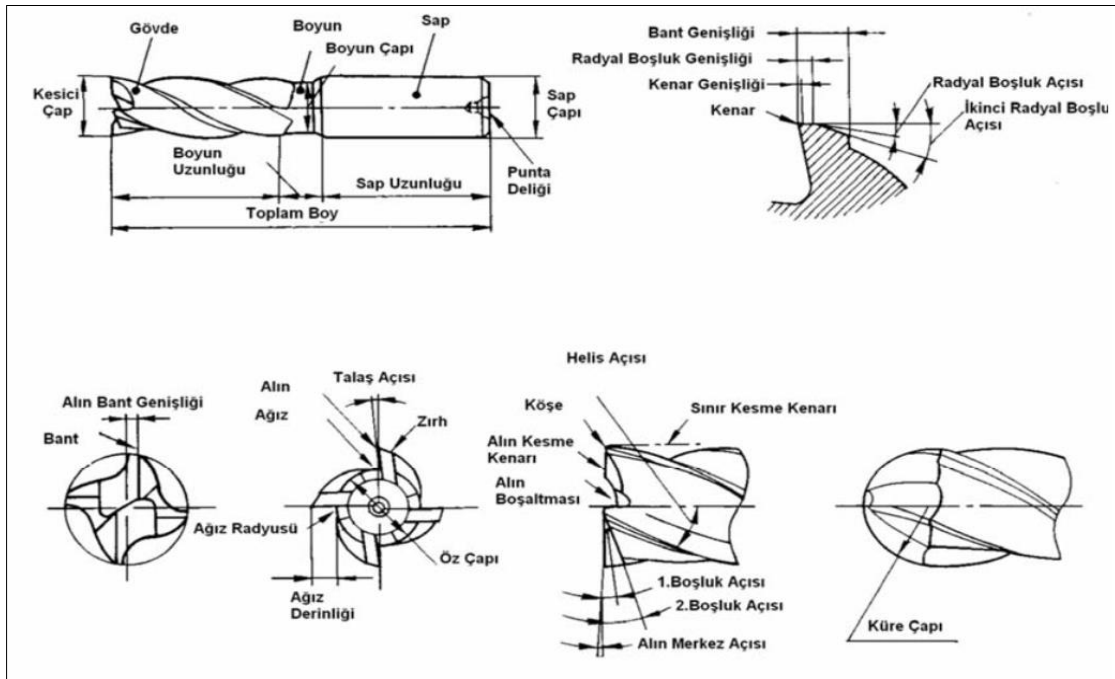
Parmak frezeler deliklerin daha hassas işlenmesinde veya çeşitli kama kanallarının işlenmesinde kullanılmakta olup bunlar saplı olarak imal edilirler. Genellikle yüksek hız çeliğinden yapılır. Bu takımlar matkap uçlarına benzer fakat yakından incelendiğinde alt

tabanlarıyla değil çevresel dişleriyle yan kesme için tasarlanmış olduğu görülecektir. Parmak freze uçları kare uçlu, yarıçap uçlu ve küresel uçlu olarak tasarlanmıştır. Parmak freze uçları alın frezeleme, profil ve cep frezeleme, kanal kesme, dalma, yüzey frezeleme ve kalıp havşası açma işlemleri için kullanılabilir (Groover, 2011). Parmak freze takımlarına örnek olarak Şekil 3.9’da verilmiştir.



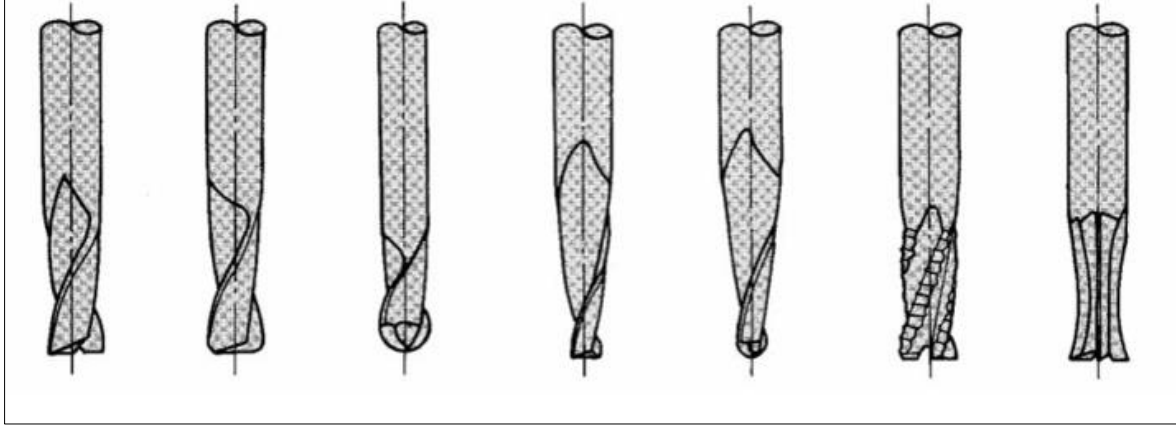
Şekil 3.9. Parmak freze takım çeşitleri

Parmak freze elamanları Şekil 3.10’da verilmiştir (Seymen, 2009).



Şekil 3.10. Parmak freze elemanları

Parmak freze çeşitleri Şekil 3.11’de verilmektedir.



Şekil 3.11. Parmak freze çeşitleri (Seymen, 2009)

3.2. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları

Alüminyum ve Alüminyum alaşımları, demir içerikli alaşımlardan sonra, ileri seviye teknolojiyi gerektiren uygulama alanlarında olduğu gibi günlük yaşamın en basit aşamalarında da yaygın kullanımı olan endüstriyel malzemeler olduğu bilinmektedir. Kullanım alanlarının bu ölçüde yaygın olması, tercih edilen önemli teknik özellikleri içeriğinde toplaması ile doğrudan ilişkilidir.

- Hafif olarak nitelendirilmektedirler.
- Korozyon dayanımları genellikle yüksektir.
- Elektrik iletkenlikleri yüksek olarak nitelendirilir.
- Alüminyum alaşımlarının yaşlandırma proseslerine uygunluğu sayesinde teknik kullanımda özel çözümler sunarlar.
- Özgül mukavemet değerleri yüksektir (Demirci, 2004).

Alüminyum tanımlama sistemi dört rakamlı bir kodla yapılır. Sistem ilki işlenmiş diğeri de düküm alüminyumlar olmak üzere iki parçadan oluşur. Tanımlama şekli Çizelge 3.2’de verilmiştir (Groover, 2021).

Çizelge 3.2. İşlenmiş ve dökme alüminyum alaşımlarının tanımları (Groover, 2021)

Alaşım Gurubu	İşletme Kodu	Dökme Kodu
%99.0'dan daha saf alüminyum	1XXX	1XXX
Ana elementlerine göre alüminyum alaşımları		
Bakır	2XXX	2XX. X
Manganez	3XXX	
Silikon+Cu ve / veya Mg		3XX. X
Silikon	4XXX	4XX. X
Magnezyum	5XXX	5XX. X
Magnezyum ve Silikon	6XXX	
Çinko	7XXX	7XX. X
Kalay		8XX. X
Diğer	8XXX	9XX. X

Alüminyum alaşım grupları ve genellikle kullanım yerleri aşağıdaki Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Alüminyum alaşım gruplarının kullanım yerleri

1XXX	Kontrollü alaşım sız saf bileşim; öncelikli olarak elektrik ve kimya endüstrisinde kullanılır.
2XXX	Temel alaşım elementinin bakır olduğu alaşımlardır ancak diğer elementlerden magnezyumda belirtilebilir. Yüksek mukavemetleri dolayısıyla uçaklarda
3XXX	Manganezin ana alaşım elementi olduğu, mimari uygulamalarda sıklıkla kullanılan alaşımlardır.
4XXX	Kaynak çubukları ve sert lehim saçlarında kullanılan ana elementinin silikon olduğu alaşımlardır.
5XXX	Tekne gövdeleri, iskelelerde, denize maruz kalmış olan diğer tüm ürünlerde kullanılan ana alaşım metalinin magnezyum olduğu alaşımlardır.
6XXX	Mimari ekstrüzyonlarda ve otomotiv bileşenlerinde çokça kullanılan ana alaşım elementlerinin magnezyum ve silikon olduğu alaşımlardır
7XXX	Ana alaşım elementinin çinko olduğu uçak yapısal bileşenlerinde ve diğer yüksek mukavemet gerektiren malzemelerde kullanılır.
8XXX	Çeşitli bileşimleri karakterize eden alaşımlardır. Kalay, lityum ve demir içerebilir.
9XXX	Gelecekte kullanılmak üzere ayrılmıştır. (Davis, 2001)

3.2.1. AL 6082 alaşımı

Al-Mg-Si içeren alüminyum 6082 alaşımını göstermiş olduğu yüksek korozyon dayanımı sayesinde; gemi ve marine uygulamalarındaki iskelet ve yapı çalışmalarında, sahip olduğu kaynak, şekillendirilme kabiliyetiyle yine otomotiv ve endüstri yapılarında da kullanılabilmektedirler (Özdemir, 2023).

AL 6082 alaşımlarında korozyon dayanım değeri oldukça yüksek olup iyi bir şekilde kaynak edilebilme özelliğine sahip oldukları bilinmektedir (Gündüz, 2017).

Karakteristik özellikleri

- Korozyon dayanımı yüksektir.
- İyi bir şekilde katnak yapılabilme kabiliyetleri mevcuttur.
- Makina yapabilmek için uygun alaşımlardır
- T4 ısıl işlemi sonrasında sabitleştirilmiş formda soğuk şekillendirilebilme özellikleri oldukça iyidir.
- Yorulma dayanımları orta seviye olarak değerlendirilir.
- Karmaşık parçalar için kullanımı uygun değildir (Seykoç, 2017).

Al 6082 serisinin uygulama alanları

- Ağır yapılar
- Kamyon korkuluk sistemleri
- Gemi, inşaat alanları
- Köprüler
- Bisiklet üretimi
- Hidrolik sistemler ve ekipmanlar
- Maden araçları
- Nükleer enerji sistemleri
- Perçinler (Gündüz, 2017)

3.2.2. AL 7075 alaşımı

Al 7075 alařımının dűnya genelinde kullanım dűzeyi uęak, uzay ve otomotiv sanayinde her geęen gűn artıř gűstermektedir. Al-7075 alařımı, dűřűk yoęunluęuna baęlı olarak yűksek mukavemeti ile bilinmektedir.

Uygulama alanları

- Askeri ve Uęak sanayisi bařta olmak űzere yűksek mukavemet istenen bileřenlerde
- Kauğuk ve plastik kalıplarda
- -Kayak direklerinde
- -Yűksek mukavemet istenilen makine paręaları
- -Otomotiv sanayi endűstrisinde
- -Peręin sistmlerinde
- -Nűkleer uygulamalarda

Karakteristik űzellikleri

- Yorulma dayanımları oldukęa yűksek olarak betimlenir.
- Dıř ortamlarda koruyucu ile birlikte kullanılması űnerilmektedir (Seykoę, 2017).

3.3. Alűminyum Alaşımlarında Isıl İşlem Uygulamaları

Alűminyum alaşımlarına yapısal olarak daha istikrarlı hala gelmesi ięin ısıl işlem uygulanır. Isıl işlemlerde T1-T10 arasında değişen bir űlęek mevcuttur. Bu ęalıřmada T6 ısıl işlem uygulaması yapılmış alűminyum alaşımları kullanılmıştır. Isıl işlem temper uygulama tanımları ęizelge 3.4’de verilmiştir.

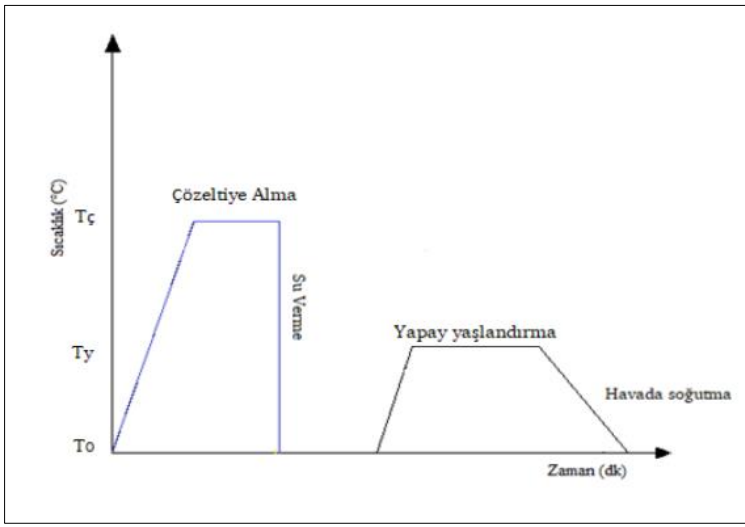
Çizelge 3.4. Alüminyum alaşımlarının temper tanımları (Erdoğan, 2000)

Temper	Tanım
F	Üretildiği gibi, işlenmemiş
H prosesi	Pekleştirilme yapılmıştır.
O prosesi	Tavlannmış sonrasında yeniden kristalleştirilmiştir. En yüksek sünekliğe ve en düşük dayanımı olan temperdir.
W prosesi	Çözündürme uygulaması yapılmıştır.
T1 prosesi	Fabrikasyon sıcaklığında soğutulup ve doğal olarak yaşlandırılma uygulaması yapılmıştır.
T2 prosesi	Fabrikasyon sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve doğal olarak yaşlandırılmıştır.
T3 prosesi	Çözündürme uygulanıp, soğuk şekillendirilip, doğal olarak yaşlandırılma yapılmıştır.
T4 prosesi	Çözündürme uygulaması yapılmış ve doğal olarak yaşlandırılma yapılmıştır.
T5 prosesi	Fabrikasyon sıcaklığından soğutulma yapılmış ve yapay yolla yaşlandırılmıştır.
T6 prosesi	Çözündürme uygulaması yapılmış ve yapay olarak yaşlandırılma uygulanmıştır.
T7 prosesi	Çözündürme uygulaması yapılmış ve aşırı yaşlandırma yöntemi ile rijid hale getirilmiştir.
T8 prosesi	Çözündürme uygulanması yapılmış, soğuk şekillendirilmiş, yapay yolla yaşlandırılmıştır.
T9 prosesi	Çözündürme işlemi uygulanmış, yapay olarak yaşlandırılmış ve soğuk şekillendirme yapılmıştır.
T10 prosesi	Fabrikasyon sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirme yapılmış ve yapay yolla yaşlandırılmıştır.

Alüminyum alaşımları, ısıl işlem uygulaması yapılabilen ve yapılamayan olmak üzere ikiye ayrılmıştır. 2XXX, 6XXX ve 7XXX serileri dövme alüminyum alaşımlarında ısıl işlem uygulaması yapılabilir. Bu sayede mekanik özellikleri ciddi oranda değerlendirilmektedir (Starke, 1989).

3.3.1. T6 Isıl işlem

T6 ısıt işlem: T6 ısıt işlemi 3 aşamada gerçekleştirilmektedir. (Şekil 3.12) Öncelikli olarak malzemenin sıcaklığı, bileşen malzemelerinin çözünürlüklerini yüksek olduğu katılaşma sıcaklığı üstündeki bir değere çıkartılmaktadırlar. Sonrasında süreç koşullarına göre belirli sürede bu sıcaklıkta tutulması ardından su verme işlemi uygulanmaktadır. Çözeltiye alma işlemiyle malzemeye, sonraki aşamada çökmesi beklenen aşırı doymuş tek fazlı bir katı çözelti kazandırılmaktadır (Özdemir, 2023).



Şekil 3.12. T6 Isıl işlem uygulaması

4. MATERİYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde yapılan deneysel çalışmaların ayrıntılarından bahsedilecektir. Yapılan deneysel çalışmalarda AL 7075 T6 ve AL 6082 T6 malzemelerini iki çeşit parmak freze ile farklı parametrelerde çevresel frezelemesi incelenecektir. Çalışmanın amacı uygun takım geometrisi, kesme hızını ve ilerleme miktarını anlayabilmektir.

4.1. Deney Numunesi

Deneylerde iki farklı alüminyum alaşımı olan AL 6082 T6 Ve AL 7075 T6 malzemeleri kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan Alüminyum alaşımlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4 de verilmiştir.

Alüminyum 6082 alaşımı için Kimyasal bileşeni aşağıda yer alan Çizelge 4.1’ de verilmiştir.

Çizelge 4.1. AL 6082 kimyasal bileşenleri

	Elementler (%)								
	Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Cu	Mg	Zn	Al
Değerler	0,29	1,1	0,7	0,14	0,03	0,09	1	0,05	Kalın

Alüminyum AL 6082 alaşımının mekanik özellikleri Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. İlgili veriler uygunluk sertifikasından ortalama alınmış olup ekler kısmında belirtilmiştir.

Çizelge 4.2. AL 6082 Mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler			
1 Mpa = 1 N/mm ² = 0.145 ksi = 102 kgf/mm ²			
	Çekme Dayanımı (Mpa)	Akma Dayanımı (Mpa)	Uzama (%)
Değerler	337	312,7	11,5

Al 7075 Kimyasal bileşeni aşağıda yer alan Çizelge 4.3’de üzerinde verilmiştir.

Çizelge 4.3 AL 7075 Kimyasal bileşenleri

	Elementler (%)								
	Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Cu	Mg	Zn	Al
Değerler	0,27	0,09	0,13	0,2	0,041	1,57	2,39	5,9	Kalın

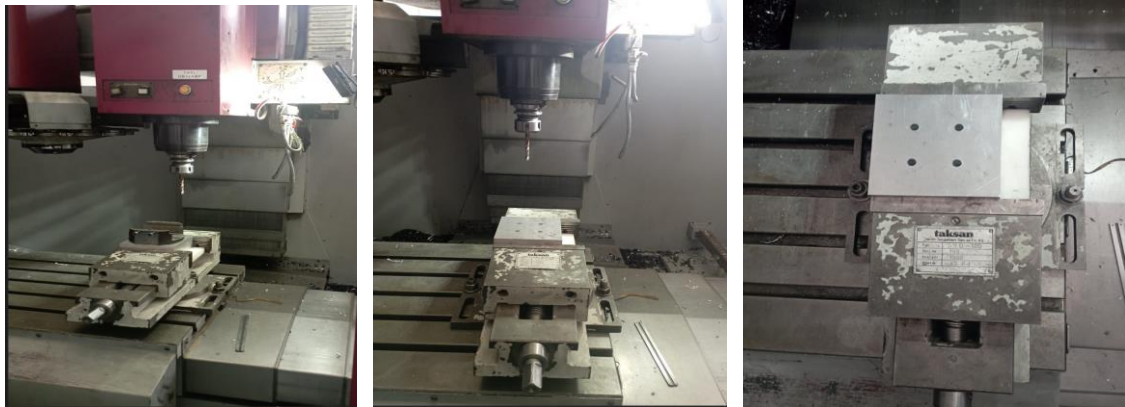
Alüminyum AL 7075 alaşımının mekanik özellikleri aşağıda Çizelge 4.4’de üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. AL 7075 Mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler			
1 Mpa = 1 N/mm ² = 0.145 ksi = 102 kgf/mm ²			
	Çekme Dayanımı (Mpa)	Akma Dayanımı (Mpa)	Uzama (%)
Değerler	579	511	8,1

4.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Alüminyum alaşımlarının dinamometreye bağlanabilmesi için gerçekleştirilen deneyler öncesinde CNC Dik İşleme Merkezinde (Johnford WMC - 550) dinamometreye uygun delik delme işlemi gerçekleştirilmiştir (Resim 4.1).



Resim 4.1. Delik delme operasyonu

4.3. Deneylerde Kullanılan Tezgâh ve Ekipmanlar

Deneylerde kullanılan işleme merkezi Şekil 4.1’de verilmiştir.

	Donanım/Cihazın Adı	CNC 5 Eksen İşleme Merkezi (Hass VF 2 SS)
	Donanım/Cihazın Özellikleri	Tezgah kapasitesi X,Y,Z eksenlerinde 762, 406 ve 508 mm hareket limiti
		Maksimum tezgah deviri 12000 rpm
		Tabla boyutu 914 mm uzunluk, 356 mm genişlik
		Takım kapasitesi 30+1
		En yüksek takım ağırlığı 5.4 kg
		İçten soğutma basıncı 1000 psi
		Soğutma sıvısı kapasitesi 208 L

Şekil 4.1. CNC 5 Eksen işleme merkezi

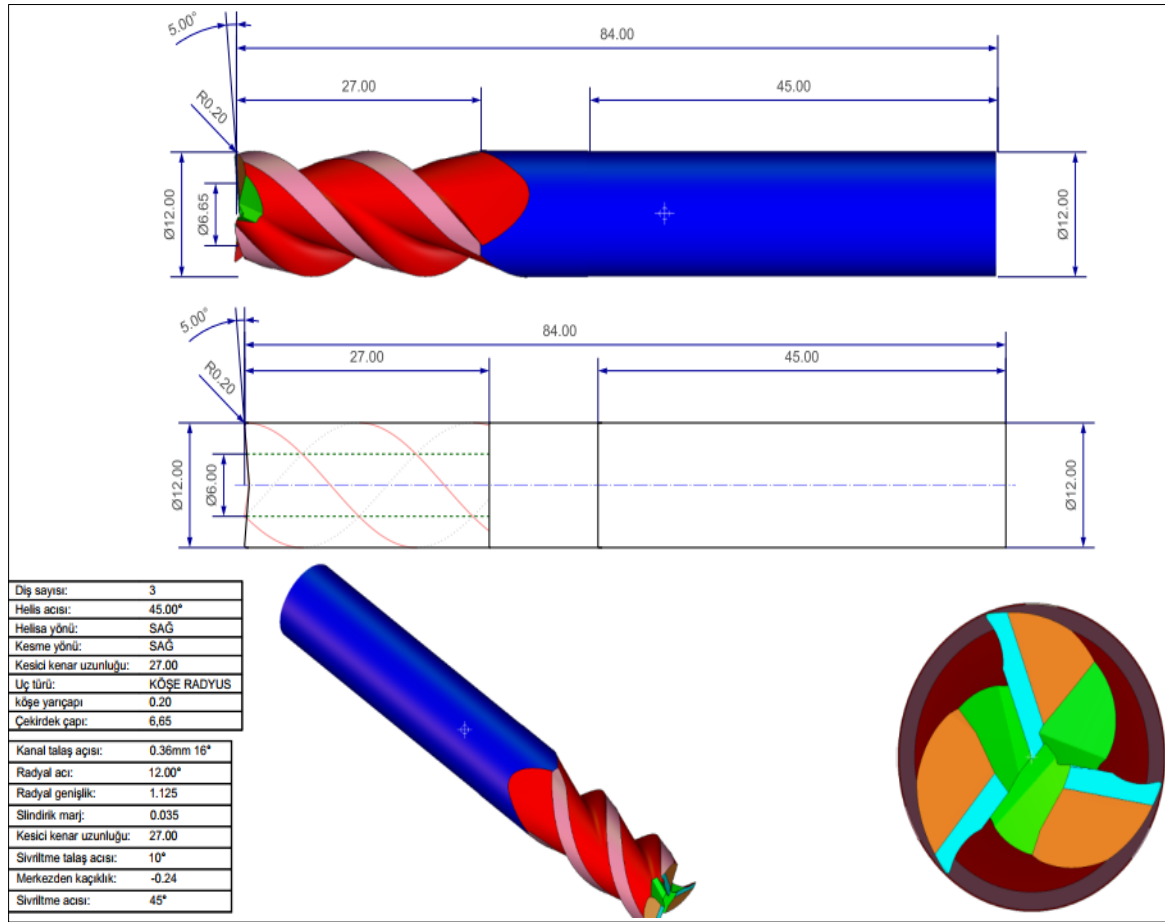
Deneyler sırasında kesme kuvvetlerinin ölçümlerinin yapılabilmesi için Şekil 4.2’de verilen Kistler marka dinamometre ve veri okuyucu kullanılmıştır. Ölçülen değerler DynoWare programı aracılığı ile sayısal verilere dönüştürülmüştür.



Şekil 4.2. Dinamometre ve veri okuyucu

4.4. Deneylerde Kullanılan Takımlar

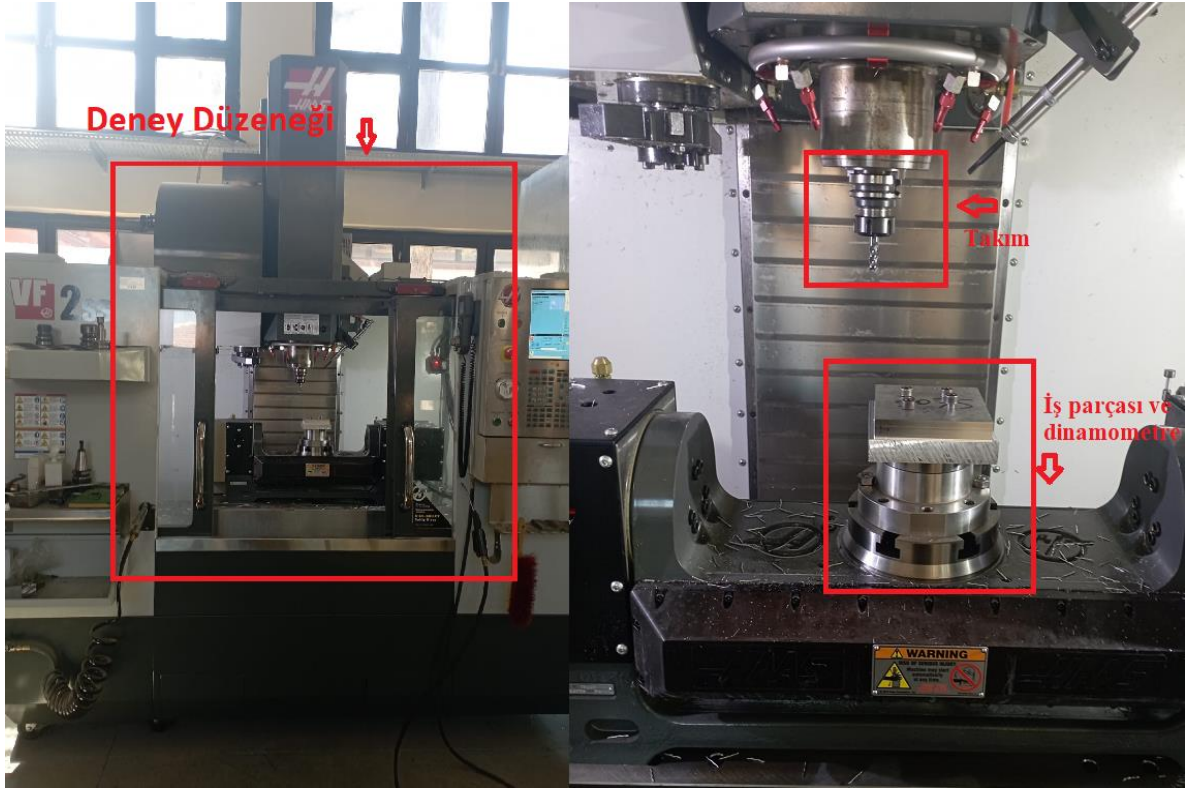
Deneylerde iki farklı tip kesici takım kullanılmıştır, bu kesici takımlardan bir takımlardan bir tanesi 0,2mm köşe yuvarlatmasına sahip diğeri ise düz takımdır. Bu takımlardan köşe yuvarlatmasına sahip olan takımın kodu 50F61, düz takımın ise AFS’ dir. Deneylerde kullanılan köşe yuvarlatmasına sahip 50F61 takımına ait teknik resim detayı Şekil 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.3. 50F61 Takıma ait teknik resim

4.5. Deney Düzeneği

Deney Düzeneği, Şekil 4.2’de verilmiştir.



Resim 4.2. Deney düzeneği

4.6. Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri

Deneylelerden gerçekleştirildikten sonra yüzey pürüzlülük ölçümleri Mitutiyo yüzey pürüzlülük cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümle dört farklı çevresel yüzeyden ölçülmüş olup ortalamaları alınarak belirlenmiştir.

Deneyleler sonrası parçaların yüzey pürüzlülük ölçümleri Çizelge 4.5’de verilen cihaz ile gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.5. Yüzey pürüzlülük cihazı

Mitutuyo SJ-410 Özellikleri		
25 mm ölçme uzunluğu		
0,75 mN tarama kuvveti		
0,05-1 mm/sn tarama hızı		
Ra, Rz, Rq olmak üzere farklı ölçüm özellikleri		
0,08-0,25-0,8-2,5-8-25 mm örnekleme uzunluğu		

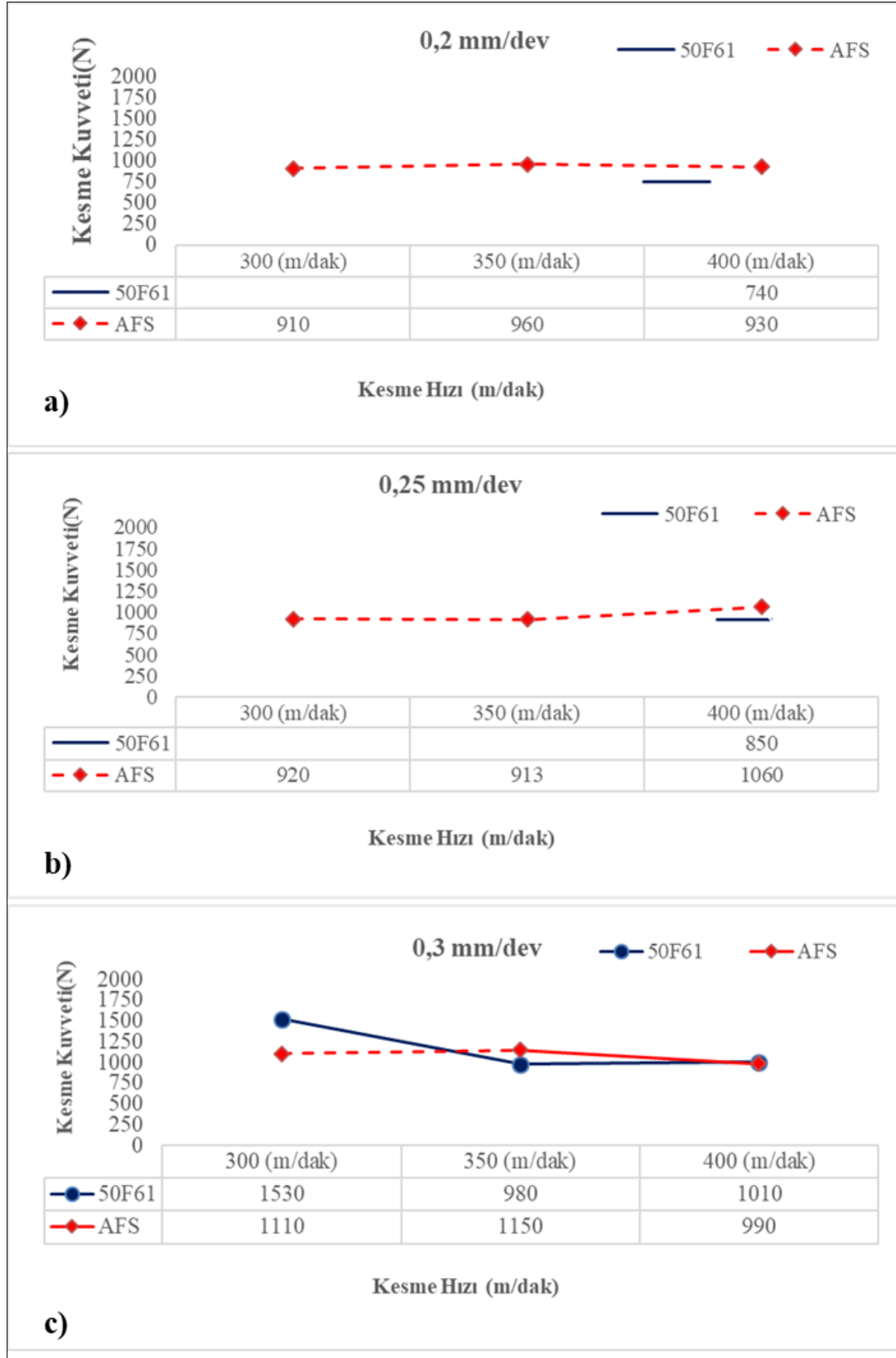
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

AL 7075 ve AL 6082 T6 alaşımlarının çevresel frezelemede kesme kuvvetleri, moment, yüzey pürüzlülüğünün araştırıldığı bu çalışmada öncelikle malzemelerin ayrı ayrı kesme parametrelerine göre kuvvet değişimleri, moment değişimleri, yüzey pürüzlülük değerleri değişimleri ayrı ayrı ele alınmış daha sonrasında ise malzemeler kesme parametreleri göre malzemeler açısından incelenmiştir.

5.1. Al 6082 T6 Malzemesinin Değerlendirilmesi

5.1.1. Kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi

Al 6082 T6 malzemesinin çevresel frezelemede kesme hızı ve takım geometrisine göre kesme kuvvetlerinin değişimi Şekil 5.1’de verilmektedir.



Şekil 5.1. Farklı İlerlemelerde AL 6082 Kesme Kuvvetlerinin İncelenmesi a) 0,2 ((mm/dev)) b) 0,25 ((mm/dev)) c) 0,3 ((mm/dev))

Şekil 5.1’de verilen grafikte 0,2 (mm/dev) ve 0,25 (mm/dev) ilerleme, 300 ve 350 (m/dak) kesme hızlarında köşe yuvarlatmalı takımda veri alınamamıştır. Alüminyum alaşımlarının işlenmesinde karşılaşılan en büyük problemlerden biri yığıntı talaştır. Yığıntı talaş oluşumunun önüne geçebilmek için kesme hızlarının artırılması gerekmektedir. Yükselen kesme hızı ile yığıntı talaş oluşumu azalmaktadır. Artan kesme hızıyla yığıntı talaş oluşumun azaldığı literatürde de görülmektedir (Gökkaya, 2007; Pul, 2021).

Kesme hızını 400 (m/dak) olması ile birlikte hem 0,2 hem de 0,25 (mm/dev) ilerlemede köşe yuvarlatmalı takımda kesme kuvvetleri verisi ölçülebilmıştır. Artan kesme hızı ile birlikte yığıntı talaş oluşumunun önüne geçilebildiği düşünülmektedir. Elde edilen bu kesme hızı değerlerinin ise düz takımlara göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise artan kesme hızı ile birlikte takım aşınmasının arttığı olduğuna atfedilmektedir (Özdemir, 2008). Bu sebeple artan kesme hızı ile birlikte köşe yuvarlatmasına sahip takımın aşınma direncinin düz takıma göre daha yüksek olduğu gerekçesiyle kesme kuvvetlerinin daha düşük çıktığı düşünülmektedir.

Yığıntı talaş oluşumunun önüne geçmek için kesme hızının artırılmasının yanı sıra takımın keskin olması yığıntı talaş oluşumunun önüne geçer. Düz takımlarda 300 (m/dak) ve 350 (m/dak) kesme hızlarında veri alınabildiği görülmektedir.

0,3 (mm/dev) ilerlemede düşük ve orta ilerlemede olduğu gibi yığıntı talaş olduğu düşünülmektedir fakat burada oluşan talaşın daha dinamik olduğu gerekçesiyle 0,2 ve 0,25 (mm/dev) olduğu kadar etkili olmadığı düşünülmektedir. İlerleme miktarının artmasıyla artan basınç sebebiyle talaş kırılma eğilimine girmektedir, 0,3’de 0,2 ve 0,25 m/dev ilerlemelere göre yığıntı talaş oluşumu nispeten daha az olduğu için veri alındığına atfedilmektedir.

En düşük kesme kuvveti 400 (m/dak) kesme hızında, 0,2 (mm/dev)’ de köşe yuvarlatmasına sahip takımda meydana gelmiştir. Kesme hızının artmasıyla aşınma direnci arttığı için bu değer yüksek kesme hızında alındığı düşünülmektedir. En yüksek kesme kuvveti ise 300 (m/dak) kesme hızında, 0,3 (mm/dev) ilerleme, köşe yuvarlatmalı takım ile meydana gelmiştir. Düşük kesme hızında yığıntı talaş oluşumunu etkileyecek keskinliğin takımla olmadığı gerekçesiyle olduğu düşünülmektedir.

AL 6082 T6 malzemesinin çevresel frezelenmesinde En yüksek kesme kuvveti 0, 3 (mm/dev) 300 (m/dak) kesme hızında 50F61 takımında gözlemlenirken, en küçük kesme kuvveti, 0,2m/dev 400 (m/dak) kesme hızında, 50F61 takımında kaydedilmiştir.

0,2(mm/dev) ilerlemede AFS takımında 300 (m/dak) kesme hızından yaklaşık %17 artışla 350 (m/dak) kesme hızına çıktığında kesme kuvvetlerinde yaklaşık %5 civarı bir artış 350 (m/dak) kesme hızından yaklaşık %14 artışla 400 (m/dak) kesme hızına çıktığında ise yaklaşık %3 oranında bir artış kaydedilmiştir. 0,2 (mm/dev) ilerlemede 50F61 takımında 300 (m/dak) ve 350 (m/dak) kesme hızlarında değer alınamazken 400 (m/dak) kesme hızında kesme kuvveti 740 N olarak ölçülmüştür.

0,25(mm/dev) ilerlemede AFS takımında 300 (m/dak) kesme hızından yaklaşık %17 artışla 350 (m/dak) kesme hızına çıktığında kesme kuvvetlerinde yaklaşık %1 civarı bir azalış, 350 (m/dak) kesme hızından yaklaşık %14 artışla 400 (m/dak) kesme hızına çıktığında ise yaklaşık %16 oranında bir artış kaydedilmiştir. 0,25 (mm/dev) ilerlemede 50F61 takımında 300 (m/dak) ve 350 (m/dak) kesme hızlarında değer alınamazken 400 (m/dak) kesme hızında kesme kuvveti 850N olarak ölçülmüştür.

0, 3(mm/dev) ilerlemede 50F61 takımında 300 (m/dak) kesme hızından yaklaşık %17 artışla 350 (m/dak) kesme hızına çıktığında kesme kuvvetlerinde yaklaşık %36 civarı bir azalış, 350 (m/dak) kesme hızından yaklaşık %14 artışla 400 (m/dak) kesme hızına çıktığında ise yaklaşık %3 oranında bir artış kaydedilmiştir. AFS takımında ise 300 (m/dak) kesme hızından yaklaşık %17 artışla 350 (m/dak) kesme hızına çıktığında kesme kuvvetleri yaklaşık %4 civarında artmış, 350 (m/dak) kesme hızından yaklaşık %14 artışla 400 (m/dak) kesme hızına çıktığında ise yaklaşık %14 civarında azalmıştır. Şekil 5.1’de AL 6082 malzemesinin farklı ilerlemelerde kesme kuvvet değerlerine ait grafikler verilmiştir.

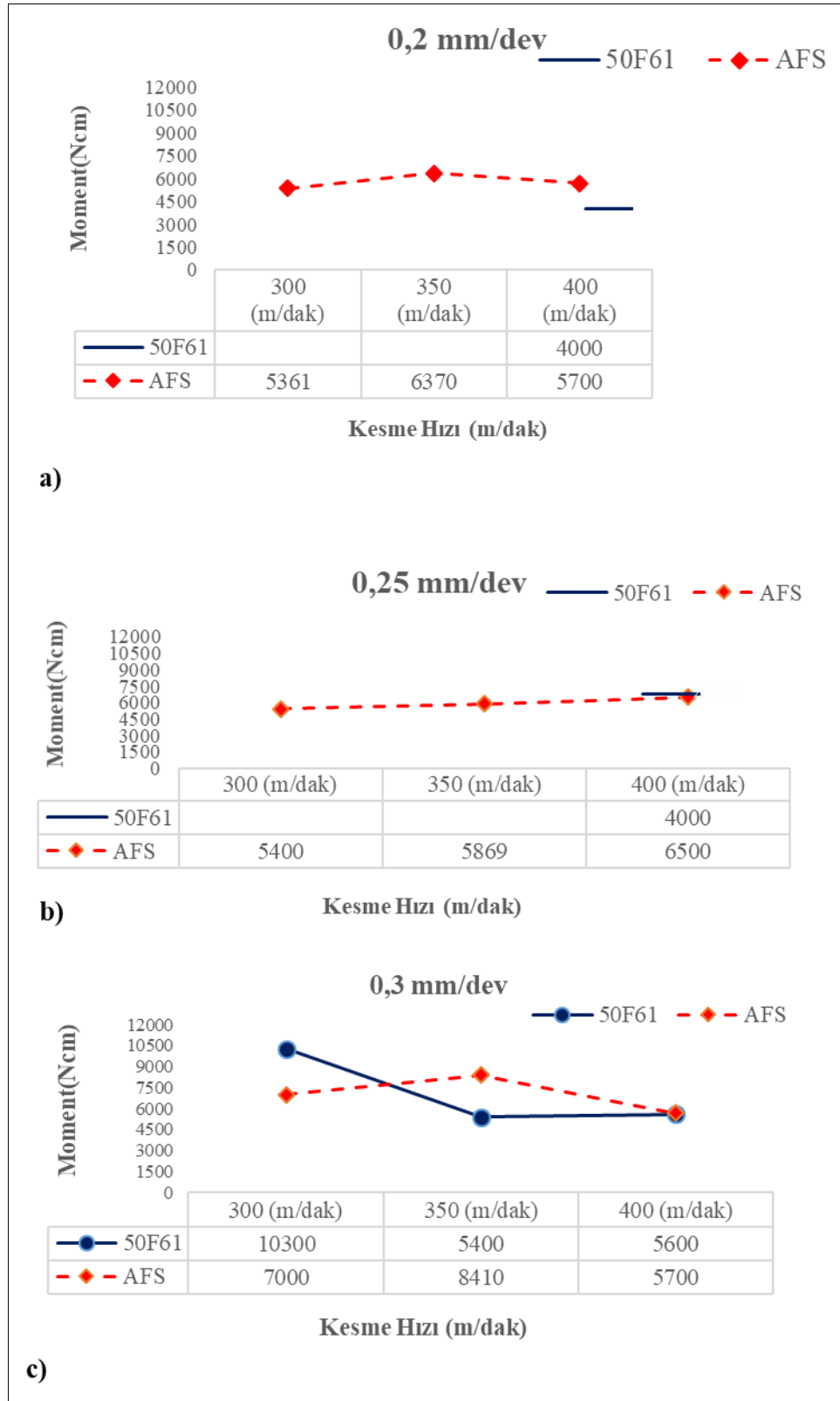
Resim 5.1’de kesici takımlarda oluşan yığıntı talaş verilmiştir.



Resim 5.1. Kesici takımlarda meydana gelen yığıntı talaş oluşumu a) 0,2 (mm/dev), 300 (m/dak) 50F61 Takımı b) 0,2 (mm/dev), 350 (m/dak) 50F61 Takımı c) 0,25 (mm/dev), 300 (m/dak) 50F61 Takımı d) 0,25 (mm/dev), 350 (m/dak) 50F61 Takımı

5.1.2. Momentin değerlendirilmesi

AL 6082 malzemesinin çevresel frezelenmesinde farklı ilerleme oranlarında moment değer grafikleri Şekil 5.2’de yer almaktadır.



Şekil 5.2. Farklı İlerlemede AL 6082 Moment Değerleri a) 0,2 (mm/dev) b) 0,25 (mm/dev) c) 0,3 (mm/dev)

Genel olarak veriler kesme kuvvetlerinde elde edilen sonuçlar ile paralellik göstermektedir. Artan ilerleme ile beraber moment değerleri artmıştır. AL 6082 T6 alaşımı 0,2 ve 0,25 (mm/dev) 'de 300 ve 350 (m/dak) kesme hızlarında değer alınamamıştır. En yüksek moment değeri 0,3 (mm/dev) 300 (m/dak) kesme hızı 50F61 takımında elde edilirken, en düşük moment değeri ise 0,2m/dev 400 (m/dak) kesme hızı 50F61 takımı, 0,25 (mm/dev) 400 (m/dak) 50F61 takımında kaydedilmiştir.

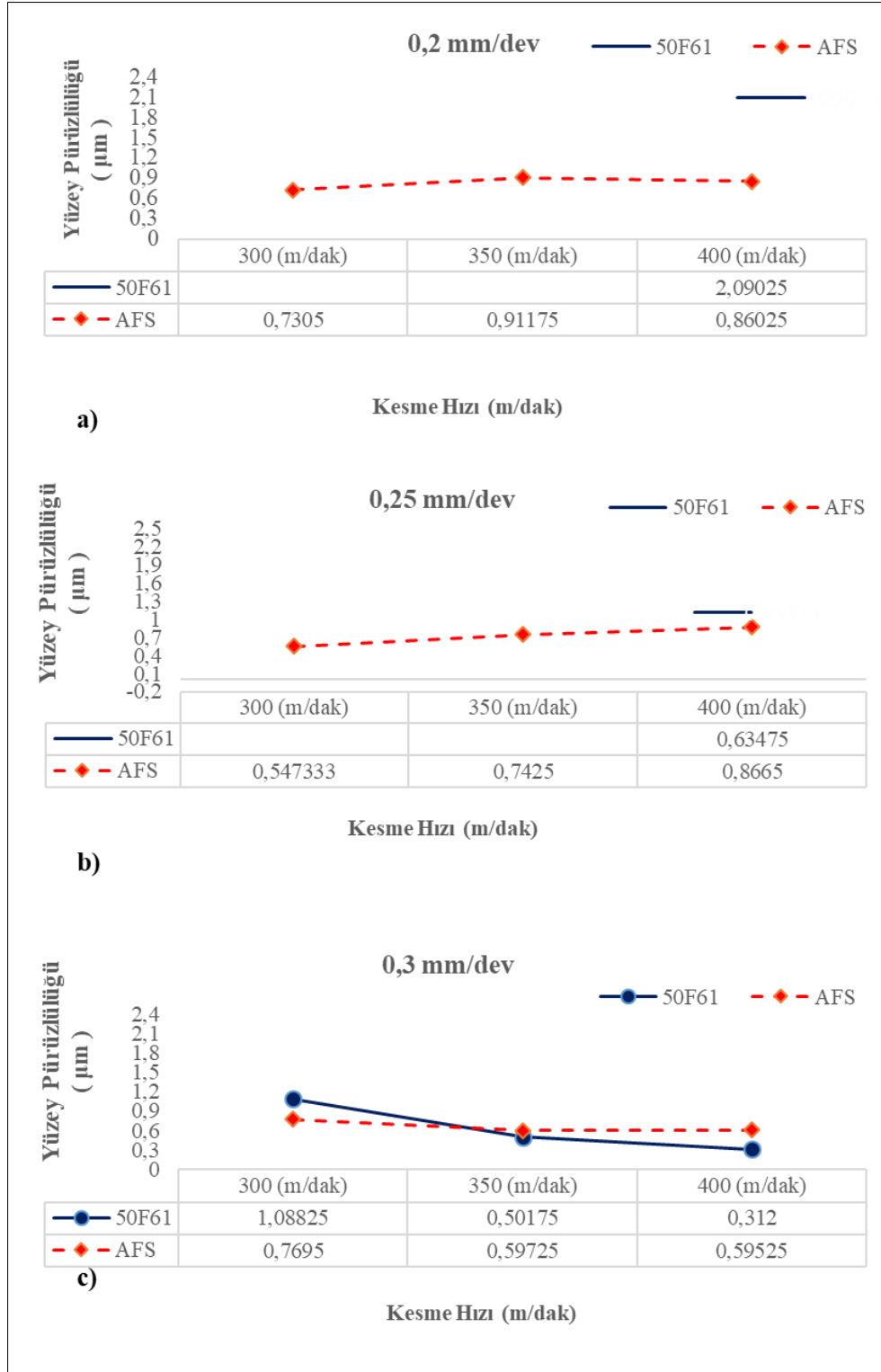
0,2 (mm/dev) ilerlemede AFS takımında 300 (m/dak)'dan kesme hızından yaklaşık %17 artışla 350 (m/dak) kesme hızına çıktığında moment yaklaşık %19 civarı bir artış, 350 (m/dak) kesme hızından yaklaşık %14 artışla 400 (m/dak) kesme hızına çıktığında ise yaklaşık %11 oranında bir azalma kaydedilmiştir. 0,2(mm/dev) ilerlemede 50F61 takımda 300 ve 350 (m/dak) kesme hızlarında değer alınamazken 400 (m/dak) kesme hızında kesme kuvveti 4000 Ncm olarak ölçülmüştür.

0,25 (mm/dev) ilerlemede AFS takımında 300 (m/dak)'dan kesme hızından yaklaşık %17 artışla 350 (m/dak) kesme hızına çıktığında moment değerlerinde yaklaşık %9 civarı bir artış, 350 (m/dak) ke kesme hızından yaklaşık %14 artışla 400 (m/dak) kesme hızına çıktığında ise yaklaşık %11 oranında bir artış kaydedilmiştir. 0,25 (mm/dev) ilerlemede 50F61 takımda 300 ve 350 (m/dak) kesme hızlarında değer alınamazken 400 (m/dak) kesme hızında moment 4000 Ncm olarak ölçülmüştür.

0,3 (mm/dev) ilerlemede 50F61 takımında 300 (m/dak)'dan kesme hızından yaklaşık %17 artışla 350 (m/dak) kesme hızına çıktığında moment değerlerinde yaklaşık %47 civarı bir azalış, 350 (m/dak) kesme hızından yaklaşık %14 artışla 400 (m/dak) kesme hızına çıktığında ise yaklaşık %4 oranında bir artış kaydedilmiştir. AFS takımında ise 300 (m/dak) kesme hızından yaklaşık %17 artışla 350 (m/dak) kesme hızına çıktığında kesme kuvvetleri yaklaşık %20 civarında artmış, 350 (m/dak) kesme hızından yaklaşık %14 artışla 400 (m/dak) kesme hızında ise yaklaşık %32 civarında azalmıştır.

5.1.3. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi

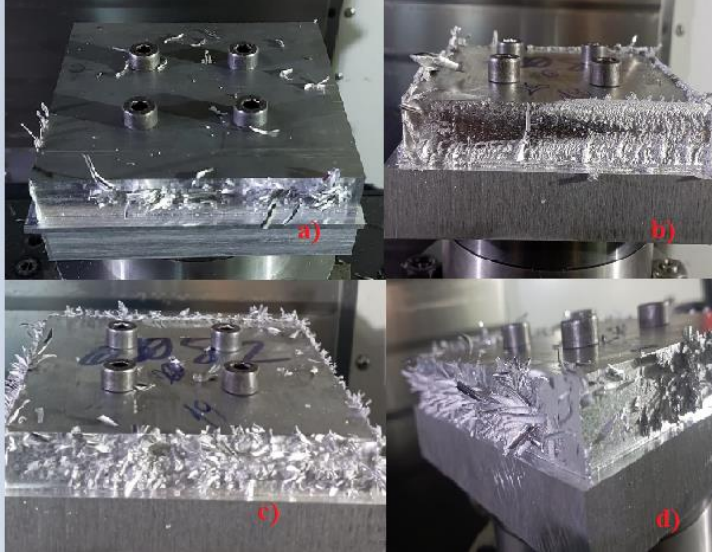
Şekil 5.3'de AL 6082 malzemesinin çevresel frezelenmesinde farklı ilerleme oranlarında yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir.



Şekil 5.3. Farklı ilerlemede AL 6082 yüzey pürüzlülük değerleri a)0,2 (mm/dev) b) 0,25 (mm/dev) c) 0,3 (mm/dev)

Takımlarda meydana gelen yığıntı talaş dolayısıyla parça üzerinde kesme işlemini gerçekleştiremediği için yüzey pürüzlülük değerleri alınamamıştır. (Resim 5.2)

Deneylerden elde edilen veriler neticesinde AL 6082 T6 alaşımı 0,2 ve 0,25 (mm/dev) 'de 300 ve 350 (m/dak) kesme hızı parametrelerinde veri alınamamıştır.



Resim 5.2. İşleme problemi görülen malzeme a)0,2 (mm/dev), 300 (m/dak) 50F61 takımı b) 0,2 (mm/dev), 350 (m/dak) 50F61 takımı c) 0,25 (mm/dev), 300 (m/dak) 50F61 takımı d) 0,25 (mm/dev), 350 (m/dak) 50F61 takımı

Veri alınabilen parametreler arasında en yüksek yüzey pürüzlülük 0,2(mm/dev) 400 (m/dak) kesme hızı 50F61 takımında, en düşük yüzey pürüzlülük değeri ise 0, 3 m/dev 400 (m/dak) kesme hızı 50F61 takımında kaydedilmiştir.

Kesme kuvvetlerindeki benzer durumlar mevcuttur fakat 0,2 (mm/dev) dışında iki takım arasında bariz bir fark olmadığı görülmektedir.

Talaşlı imalatla artan ilerleme miktarının yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilediği bilinen bir durumdur fakat. Kesme kuvvetlerinde olduğu gibi artan ilerleme ile basıncın artması, basıncın artması ile birlikte dinamik talaş oluşumunun yığıntı talaş oluşumunun önüne geçtiği düşünülmektedir. Artan ilerleme ile birlikte yüzey kalitesinin iyileştiği görülmüştür.

Kesme kuvvetleri ve moment değerlerinde olduğu gibi uç yuvarlatmalı takımda 0,2 ve 0,25 (mm/dev) 300 ve 350 (m/dak) kesme hızında da değer alınamadığı görülmektedir. Artan ilerleme ile birlikte artan talaş hacmi ile basıncın artması, talaşın daha dinamik hale gelmesi sebebi ile kırılmaların oluşup yığıntı talaşın nispeten önüne geçtiği düşünülmektedir.

0,2(mm/dev) ilerlemede AFS takımında 300 (m/dak)'dan yaklaşık %17 artışla 350 (m/dak) kesme hızına çıktığında yüzey pürüzlülüğü yaklaşık %25 civarı bir artış 350 (m/dak) kesme hızından yaklaşık %14 artışla 400 (m/dak) kesme hızına çıktığında ise yaklaşık %11 oranında bir azalma kaydedilmiştir. 0,2(mm/dev) ilerlemede 50F61 takımında 300 ve 350 (m/dak) kesme hızlarında değer alınamazken 400 (m/dak) kesme hızında yüzey pürüzlülüğü 2, 09025 olarak ölçülmüştür.

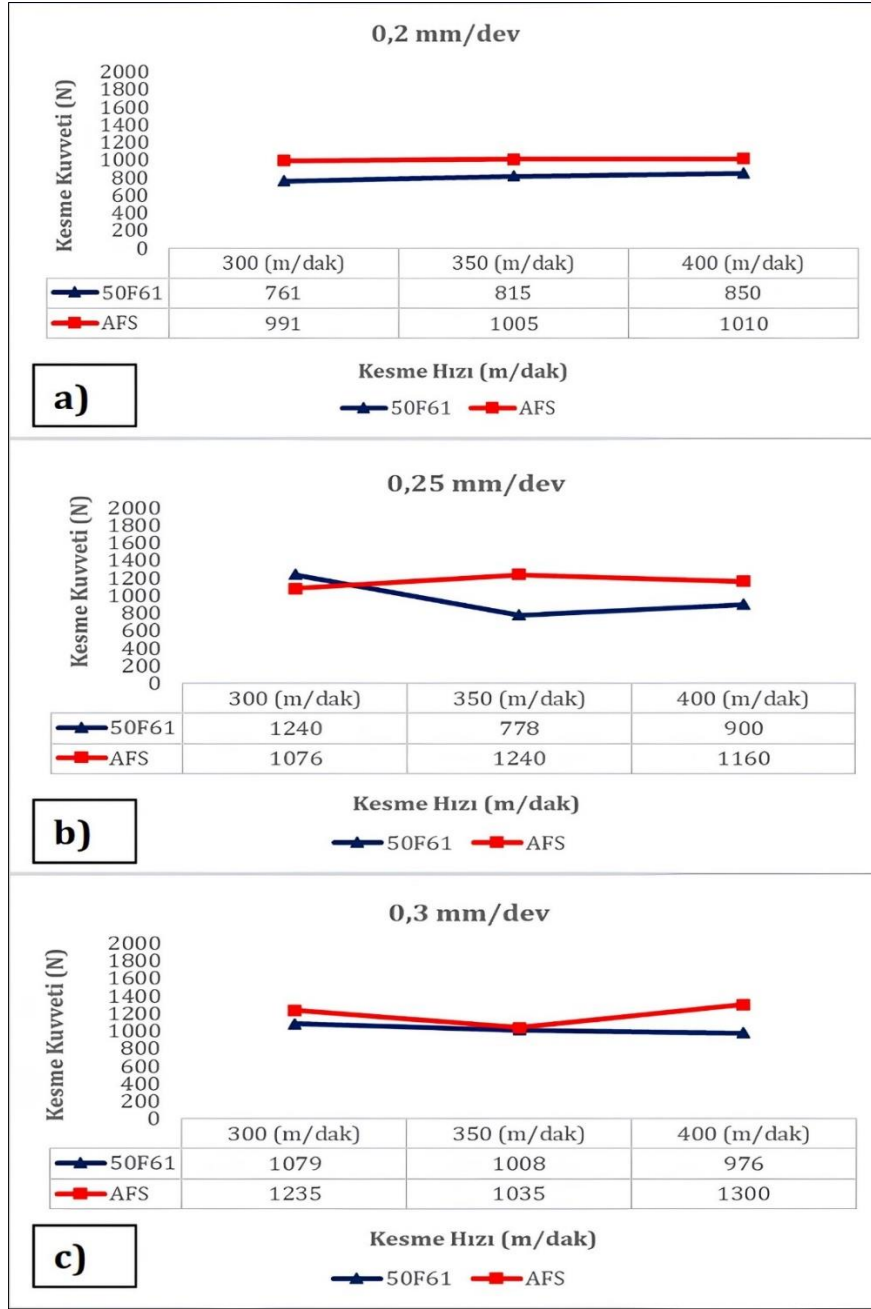
0,25 (mm/dev) ilerlemede AFS takımında 300 (m/dak)'dan yaklaşık %17 artışla 350 (m/dak) kesme hızına çıktığında yüzey pürüzlülüğünde yaklaşık %36 civarı bir azalış, 350 (m/dak) kesme hızından yaklaşık %14 artışla 400 (m/dak) kesme hızına çıktığında ise yaklaşık %17 oranında bir artış kaydedilmiştir. 0,25 (mm/dev) ilerlemede 50F61 takımında 300 ve 350 (m/dak) kesme hızlarında değer alınamazken 400 (m/dak) kesme hızında yüzey pürüzlülüğü 0, 63475 olarak ölçülmüştür.

0,3 (mm/dev) ilerlemede her iki takımın ölçülen değerleri arasında kayda değer fark olmadığı görülmektedir. 50F61 takımında 300 (m/dak)'dan 350 (m/dak) kesme hızına çıktığında yüzey pürüzlülük değerinde yaklaşık %53 civarı bir azalış, 350 (m/dak) kesme hızından yaklaşık %14 artışla 400 (m/dak) kesme hızına çıktığında ise yaklaşık %38 oranında bir azalış kaydedilmiştir. AFS takımında ise 300 (m/dak) kesme hızından yaklaşık %17 artışla 350 (m/dak) kesme hızına çıktığında kesme kuvvetleri yaklaşık %22 civarında azalmış, 350 (m/dak) kesme hızından yaklaşık %14 artışla 400 (m/dak) kesme hızına ise yaklaşık %0.3 civarında azalmıştır.

5.2. Al 7075 T6 Malzemesinin değerlendirilmesi

5.2.1. Kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi

Kesme hızı ve takım geometrisine göre AL 7075 T6 malzemesinin frezelemede meydana gelen kesme kuvvetleri Şekil 5.4 de yer almaktadır.



Şekil 5.4. AL 7075 malzemesinin farklı ilerleme oranlarında kesme kuvvetleri a) 0,2 (mm/dev) b) 0,25 (mm/dev) c) 0,3 (mm/dev)

Şekil 5.4’de verilen grafik incelendiğinde genel olarak artan kesme hızlarının özellikle köşe yuvarlatmasına sahip takımlarda kesme kuvvetlerini azalttığı görülmüştür. Artan kesme hızları ile, takım talaş ara yüzeyinin azalması ve kesme hızlarının artışı ile artan kesme bölgesi sıcaklıklarının artması bu duruma sebep olduğu düşünülmektedir (Trent EM,1989;Demir,2009). Artan kesme hızları ile birinci ve ikinci deformasyon bölgesinde kesme bölgesi sıcaklıkları artmıştır. Bunun sonucu olarak malzemenin kayma gerilmesi azalmıştır (Ekici, 2012; Çiftci, 2006; Lima, 2005). Ayrıca artan kesme hızları ile birlikte

yığıntı talaş oluşumu kararsız hale geldiği için yığıntı talaşın kesici takımından daha sık periyotta ayrılır (Çiftçi, 2004). Bu bahsedilen durumlar genel olarak köşe yuvarlatmasına sahip takımlar için geçerli olsa da keskin kenarlı takımında durum biraz farklılık göstermektedir. Özellikle artan kesme hızları ile birlikte keskin kenarlı kesici takımlarda elde edilen kesme kuvvetlerinde bir artış olduğu görülmektedir. Her ne kadar kesme hızı artışı kesme bölgesi sıcaklığını arttırıp daha rahat bir kesme yapmaya sebep olsa da aynı zamanda takım aşınmasını da olumsuz yönde etkilemektedir (Kaya, 2023). Artan kesme hızları ile birlikte özellikle keskin köşeli takımların aşınmadan daha fazla etkilendiği ve ayrıca köşe yuvarlatmanın aşınma açısından daha olumlu sonuç verdiği düşünülmektedir. Yine grafikte artan ilerleme miktarı ile birlikte her iki kesici takımında da kesme kuvvetlerinin genel olarak arttığı görülmüştür. Artan ilerleme ile birlikte artan talaş hacminin kesme kuvvetlerini arttırdığı düşünülmektedir (Akdemir, 2024).

AL 7075 malzemesinin frezelemesinde AL 6082 alaşımının frezelemesinden farklı olarak tüm veriler elde edilmiştir. Deneyler esnasında AL 7075 malzemesinin çevresel frezelemesinin AL 6082 malzemesine kıyasla daha rahat meydana geldiği, yığıntı talaş oluşumunun AL 6082 malzemesine daha az oluştuğu bu yüzden tüm kesme parametrelerinde verilerin elde edildiği görülmektedir. Fakat kesme kuvvetleri açısından AL 7075 malzemesinde her iki takım ile işlemede kayda değer fark olmadığı görülmemiştir.

En küçük kesme kuvveti 761 N değeri ile 300(m/dak) 'da köşe yuvarlatmasına sahip takımında takımında meydana gelmiştir. En yüksek kesme kuvveti ise 1300 N değeri olarak keskin köşeli takımında ölçülmüştür.

Genel anlamda artan kesme hızı ile birlikte takım aşınmasının arttığı bilinen bir durumdur. Bu yüzden köşe yuvarlatmasına sahip takımın keskin takıma göre aşınma direncinin daha fazla olduğu düşünülmektedir. Bunun sonucu olarak da bürün ilerleme değerleri ve kesme hızlarında köşe yuvarlatmasına sahip takımında meydana gelen kesme kuvvetlerinin daha düşük olduğu görülmektedir.

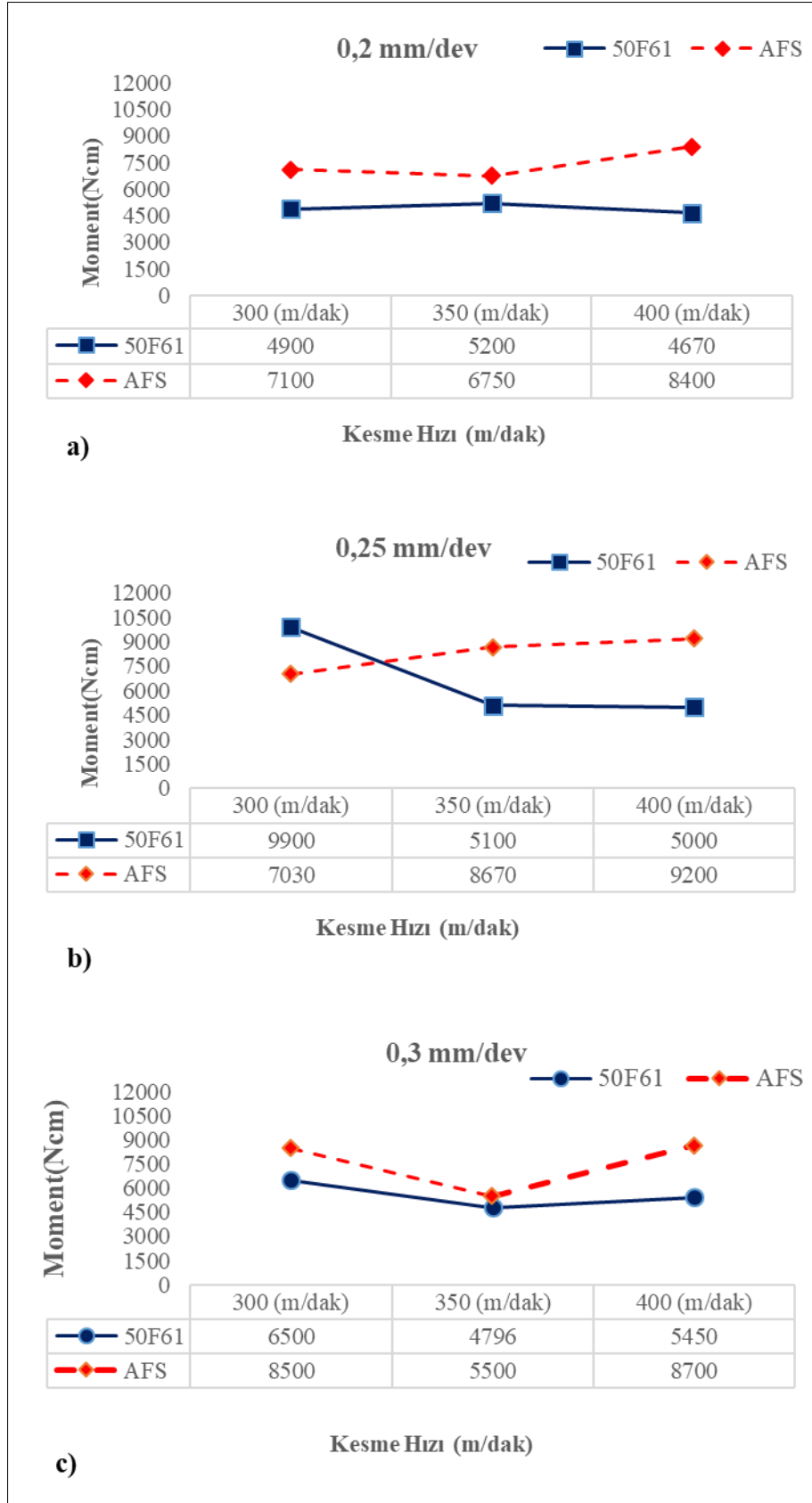
0,2(mm/dev) ilerlemede 50F61 takımında 300 (m/dak) 761N olarak ölçülmüş olup 350 (m/dak) ya çıktığında %7'lik artışla 815 N olarak ölçülmüş, 350 (m/dak) kesme hızından 400 (m/dak) 'da ise yaklaşık %4 artışla 850 N olarak ölçülmüştür. AFS takımında ise 300

(m/dak) 991 N olarak ölçülürken 350 m(m/dak) 'da yaklaşık %1, 5 artışla 1005 N, 350 (m/dak) kesme hızından 400 (m/dak) da ise yaklaşık %0.5 artışla 1010 olarak ölçülmüştür. 0,25 (mm/dev) ilerlemede 50F61 takımında 300 (m/dak) 1240 N olarak ölçülmüş olup 350 (m/dak) ya çıktığında %3' lük azalışla 778 N olarak ölçülmüş, 400 (m/dak) 'da ise yaklaşık %27 azalışla 900 N olarak ölçülmüştür. AFS takımında ise 300 (m/dak) 1076 N olarak ölçülürken 350 m(m/dak) 'da yaklaşık %15 artışla 1240, 400 (m/dak) da ise yaklaşık %7 azalıp 1160 olarak ölçülmüştür.

0, 3 (mm/dev) ilerlemede 50F61 takımında 300 (m/dak) 1079 N olarak ölçülmüş olup 350 (m/dak) ya çıktığında %7'lik azalışla 1008 N olarak ölçülmüş, 400 (m/dak) 'da ise yaklaşık %10 azalışla 976 N olarak ölçülmüştür. AFS takımında ise 300 (m/dak) 1235 N olarak ölçülürken 350 (m/dak) kesme hızında yaklaşık %16 azalışla 1035, 400 (m/dak) da ise yaklaşık %19 artışla 1300 olarak ölçülmüştür.

5.2.2. Momentin değerlendirilmesi

AL 7075 malzemesinin farklı ilerlemedeki moment Şekil 5.5'de verilmiştir.



Şekil 5.5. AL 7075 Malzemesinin farklı ilerleme oranlarında moment değerleri a) 0,2 (mm/dev) b) 0,25 (mm/dev) c) 0,3 (mm/dev)

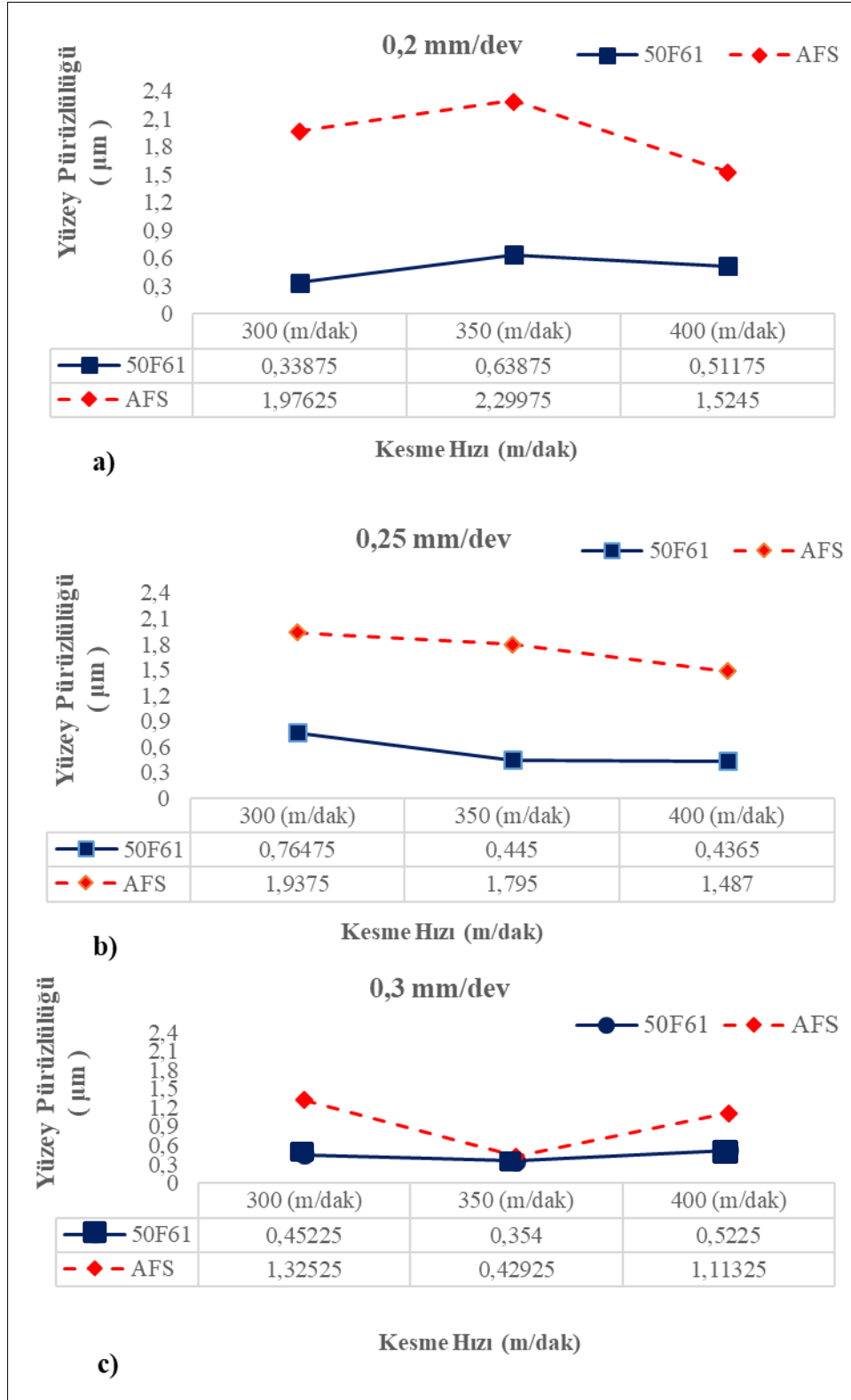
Genel olarak artan kesme hızları özellikle köşe yuvarlatmasına sahip takımlarda moment değerlerini düşürmüştür. Fakat keskin köşeli takımda tüm ilerleme miktarlarında 400 (m/dak) kesme hızında moment verilerinde artış olduğu görülmüştür. Bunun sebebi kesme kuvvetlerinde olduğu gibi takım aşınmasına atfedilmiştir. Artan ilerleme miktarı ile birlikte keskin kenarlı kesici takımlarda moment değerlerini arttığı görülmektedir. İlerleme miktarı ile birlikte moment değerlerini artması literatürde karşılaşılan bir durumdur (Akdulum, 2023). İlerleme miktarı ile birlikte talaş hacminin artmasının bu duruma sebep olduğu düşünülmektedir (Memiş, 2020).

En küçük moment değeri 4670 Ncm ile köşe yuvarlatmasına sahip takımlarda 400 (m/dak) kesme hızı ve 0,2 (mm/dev) ilerleme miktarında elde edildi.

Moment değerlerinde de kesme kuvvetlerinde olduğu gibi hemen hemen neredeyse tüm parametrelerde köşe yuvarlatmasına sahip takımın düz takıma göre daha düşük moment değerleri verdiğini görüyoruz. Bunun sebebi ise aşınma direncinin köşe yuvarlatmalı takımda daha yüksek olduğu düşünülmekte olup moment değerlerini olumlu yönde etkilediği düşünülmektedir.

5.2.3. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi

AL 7075 malzemesinin farklı ilerlemedeki yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 5.6'da görülmektedir.



Şekil 5.6. AL 7075 Malzemesinin yüzey pürüzlülük değerleri a) 0,2 (mm/dev) b) 0,25 (mm/dev) c) 0,3 (mm/dev)

0,2 (mm/dev) ilerlemede 50F61 takımında 300 (m/dak) 0,33875 olarak ölçülmüş olup 350 (m/dak) ya çıktığında %88'lik artışla 0,63875 olarak ölçülmüş, 350 (m/dak) kesme hızından

yaklaşık %17 artışla 400 (m/dak) 'da ise yaklaşık %20 azalış ile 0,51175 olarak ölçülmüştür. AFS takımında ise 300 (m/dak) 1,97625 olarak ölçülürken 350 m(m/dak) 'da yaklaşık %16 artışla 2,29975, 350 (m/dak) kesme hızından yaklaşık %14 artışla 400 (m/dak) da ise yaklaşık %34 azalış ile 1,5245 olarak ölçülmüştür.

0,25 (mm/dev) ilerlemede 50F61 takımında 300 (m/dak) 0,76475 olarak ölçülmüş olup 350 (m/dak) ya çıktığında %41' lik azalışla 0,445 olarak ölçülmüş, 400 (m/dak) 'da ise yaklaşık %2 azalışla 0,4365 olarak ölçülmüştür. AFS takımında ise 300 (m/dak) 1,9375 olarak ölçülürken 350 m(m/dak) 'da yaklaşık %7 azalış ile 1,795 olarak 400 (m/dak) da ise yaklaşık %17 azalışla 1,487 olarak ölçülmüştür.

0,3 (mm/dev) ilerlemede 50F61 takımında 300 (m/dak) 0,45225 olarak ölçülmüş olup 350 (m/dak) ya çıktığında %22'lik azalışla 0,354 olarak ölçülmüş, 400 (m/dak) 'da ise yaklaşık %47 artışla 0,5225 olarak ölçülmüştür. AFS takımında ise 300 (m/dak) 1,32525 olarak ölçülürken 350 m(m/dak) 'da yaklaşık %67 azalışla 0,42925, 400 (m/dak) da ise yaklaşık %159 artışla 1,11325 olarak ölçülmüştür.

5.3. AL 6082 ve AL 7075 Alaşımlarının Birlikte Değerlendirilmesi

Yapılan deneyler neticesinde AL 7075 T6 malzemesinde tüm verilerin alınabildiği görülmekte olup bunun sebebinin AL 7075 T6 malzemesinde %89 oranında, AL 6082 T6 alüminyum alaşımında ise %96 oranında alüminyum içeriği olduğu düşünülmektedir. Alüminyum oranı arttıkça sünek olması dolayısıyla yapışma eğilimi gösterdiği AL 6082 T6 malzemesi işlenirken özellikle düşük ve orta ilerleme oranlarında yine düşük ve orta kesme hızlarında veri alınamamıştır. Ek olarak çinko talaş kırılmasını kolaylaştıran ve yığıntı talaş oluşumunu azaltan elementlerden biridir. AL 7075 T6 malzemesinde çinko oranının AL 6082 T6 malzemesinden yüksek olması dolayısıyla talaş tahliyesinin kolaylaştırdığı düşünülmektedir. Alüminyum alaşımlarının element içerikleri ekler kısmında verilmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

AL 6082 ve AL 7075 alaşımlarının çevresel frezelenmesinde kesme kuvvetleri, Moment, Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirildiği bu çalışmada sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

Yapılan deneylerde veri alınabilen değerler içerisinde en küçük kesme kuvveti AL 6082 T6 alaşımının çevresel frezelenmesinde 400 (m/dak) kesme hızı ile 0,2 (mm/dev) ilerlemede 50F61 köşe yuvarlatmalı takımında 740 N olarak ölçülmüştür. En yüksek kesme kuvvet değeri ise AL 7075 T6 alaşımında 400 (m/dak) kesme hızı ile 0,3 (mm/dev) ilerlemede AFS takımında 1300 N olarak ölçülmüştür.

Veri alınabilen değerler arasında en küçük moment değeri AL 6082 T6 alaşımında 50F61 köşe yuvarlatmalı takımında 400 (m/dak) kesme hızları ile 0,2 ve 0,25 (mm/dev) ilerlemede 4000 Ncm olarak ölçülmüştür. En yüksek moment değeri ise AL 6082 T6 alaşımında 300 (m/dak) kesme hızı ile 0,3 (mm/dev) ilerlemede 50F61 takımında 10300 Ncm olarak ölçülmüştür.

Veri alınabilen değerler arasında en küçük yüzey pürüzlülük değeri AL 6082 T6 alaşımında 400 (m/dak) kesme hızı ile 0,3 (mm/dev) ilerlemede, 50F61 takımında 0,312 olarak ölçülmüştür. En yüksek moment değeri ise AL 7075 T6 alaşımında 350 (m/dak) kesme hızı ve 0,2 (mm/dev) ilerlemede AFS takımında 2,29 olarak ölçülmüştür.

Öneriler

Farklı alüminyum alaşımlarının çevresel frezelenmesinde köşe yuvarlatmanın etkisi araştırılabilir.

Köşe yuvarlatma miktarı değiştirilerek farklı köşe yuvarlatmalarının kesme kuvvetleri, moment, yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisi araştırılabilir.

Farklı kesme parametreleri kullanılarak alüminyum alaşımlarının çevresel frezelenmesinde kesme kuvvetleri, moment, yüzey pürüzlülüğü araştırılabilir.

Farklı takım geometrileri kullanılarak çevresel frezeleme deneyleri gerçekleştirilip takım aşınması araştırılabilir.

Çevresel frezeleme dışında frezeleme yöntemleri değiştirilerek köşe yuvarlatmalı takımın kesme kuvvetleri, moment, yüzey pürüzlülüğü etkileri araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Akdemir, N., Yağmur S. (2024), AL 7075 T6 Alaşımının Çevresel Frezelenmesinde Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvvetleri Üzerindeki Etkisinin Araştırılması, 5. *Uluslararası Mühendislik Araştırmaları Sempozyumu* 07-09 Mart 2024, Düzce.
- Akdulum, A., Kayır Y. (2023), Investigation Of The Effect Of U Drills With Different Properties On Thrust Force, Torque And Spindle Load,. *Politeknik Dergisi*, 26(1), 387-400.
- Akkurt, M. (1996). *Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları*. Birsen Yayınevi, İstanbul, 23-90.
- Akyüz, B., Şenaysoy S., (2014). Alüminyum Alaşımlarında Yaşlandırma İşleminin Mekanik Özellikler ve İşlenebilirlik Üzerindeki Etkisi, *Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1(1), 1-9.
- Alüminyum Raporu. (2004, Şubat 28). TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Alüminyum Komisyonu, 24. *Dönem Çalışma Raporu*, 1-43.
- Aslan, E., (2022). *Alüminyum 7050 Alaşımın Delinmesinde Uç Açısının Etkilerinin Deneysel ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Araştırılması*, Yüksek lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ates, E., Evis Z., Ozturk F. (2023). Machining parameters and distortion analyses in end milling of AA2050 and AA7050. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 128, 2915–2929.
- Aydın, B., Özçatalbaş Y. (2003). AA2014 T6 Alaşımın İşlenebilirlik Özelliklerine Kesici Takım Geometrisinin Etkisi, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü, *Makine Tasarım ve İmalat Dergisi*, 5(2), 89-95.
- Aydın, M. (2022). *Üretim Yöntemleri ve İmalat Teknolojileri*, Ankara, Seçkin Yayıncılık, 257-300.
- Adıgüzel, M. (2022). *Demir Dışı Metaller Sektörü ve Türkiye'nin Rekabet Gücü*, İstanbul Ticaret Odası Sektörel Araştırmalar 18, 13-203.
- Banerjee, A., Feng, H.S., Bordatchev, E.V. (2011). Geometry of chip formation in circular end milling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 59, 1-4.
- Baradeswaran, A., Perumal ,A.E. (2014). Wear and mechanical characteristics of Al 7075 graphite composites. *Composites*, 56, 472–476.
- Burek, J., Plodzien, M., Sulkovic P., (2019). High-performance end milling of aluminum alloy: Influence of different serrated cutting edge tool shapes on the cutting force. *Advances in Production Engineering & Management*, Volume 14, 494-506.

- Chee, F. T., Mohamad, R. S. (2009). Effect of hardness test on precipitation hardening aluminium alloy 6061-T6, *Chiang Mai Journal of Science*; 36(3), 276-86.
- Chern, G. L., (2006). Experimental observation and analysis of burr formation mechanisms in face milling of aluminum alloys. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 46, 1517-1525.
- Çakı, M., (2019). *Farklı Isıl İşlemler Uygulanmış 7075 Alüminyum Alaşımının Elektrokimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi. Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çakır, A., (2009). *AL 7075 ve AL 6013 Alüminyum Malzemelerin Delme Operasyonları Esnasındaki Kesme Parametrelerinin İncelenmesi*, Yüksek lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Çakır, A., (2015). *AA 7075 ve AA 2024 Alüminyum Malzemelerine Delik Delinmesinde Soğutma Yöntemlerinin İşleme Performansına Etkilerinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Çakır, A., Yağmur, S., Kavak, N., Küçüktürk, G., Şeker, U. (2015). The effect of minimum quantity lubrication under different parameters in the turning of AA7075 and AA2024 aluminium alloys. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 84, 2515–2521.
- Çakır, M. C (2010). *Modern talaşlı imalat yöntemleri*, Dora Yayınevi, Bursa, 219-346.
- Çifçi, İ. (2006). Machining Of Austenitic Stainless Steels Using CVD Multi-Layer Coated Cemented Carbide Tools, *Tribology International*, 39, 565-569.
- Çiftçi, İ. (2004). AISI 304 Ostenitik Paslanmaz Çeliğin Kaplanmış Sementit Karbür Kesici Takımla İşlenmesi Esnasında Oluşan Takım Aşınması, *Teknoloji*, 7(3), 489-495.
- Çiğdem, M. (2006), *İmal Usulleri*, Çağlayan Yayınevi, İstanbul, 257-300.
- Davoodi, B., Tazehkand, A.H. (2014). Experimental investigation and optimization of cutting parameters in dry and wet machining of aluminum alloy 5083 in order to Remove cutting Fluid. *Journal of Cleaner Production*, 68, 234-242.
- Demir, H., Gündüz, S. (2009). The Effects Of Aging On Machinability Of 6061 Aluminium Alloy. *Materials & Design*, 30(5), 1480-1483.
- Demir, M. (2020). *Alüminyum-7075 Dövme Alaşımlarının Dökülebilmesi ve T6 Yaşlandırma Isıl İşlemi ile Mekanik Özelliklerinin İyileştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya.
- Devsingh, D. (2018). Experimental Investigation to Predict Characteristics of Tool and Aluminum Alloy Workpiece in Face Milling. *International Journal of Latest Trends in Engineering, Science and Technology*, 2, 3.

- Ding, Y., Yu, J., Lu, Z. (2023). The relationship between adhesion morphology and cutting force in orthogonal cutting of 6061-T6 aluminum alloy. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 124, 1971–1991.
- Ekici, E. (2012). *Alüminyum Matrisli B4c Takviyeli ve Grafit Katkılı Kompozitlerin Üretilmesi, Mekanik Özellikleri ve Frezede İşlenebilirliğinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Elburni, S.I.B. (2023). *Eriyik Eğirme Yöntemi İle Üretilen AL 7075, Alaşımlarının Özellikleri Üzerine Farklı Alaşımın Elementlerinin Etkileri*, Doktora Tezi, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.
- Erdoğan, M. (2000). *Demir Dışı Alaşımlar, Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri*. Nobel yayınevi, 1-338.
- Eroğlu, G. ve Şahiner, M. (2018). *Dünya ve Türkiye’de Alüminyum*, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı.,
- Escalona, M.P, Maropoulos, P.G. (2009). Artificial Neural Networks for Surface Roughness Prediction when Face Milling Al 7075-T7351. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 19, 185–193.
- Fang, N., Wu, Q. (2005). The effects of chamfered and honed tool edge geometry in machining of three aluminum alloys. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45, 1178-1187.
- Ghoreishi, R., Roohi, A. H., A.D. (2018). Analysis of the influence of cutting parameters on surface roughness and cutting forces in high speed face milling of Al/SiC MMC. *Materials Research Express*, 5, 1-15.
- Gökkaya, H., Nalbant, M. (2007). Kesme Hızının Yığıntı Katmanı ve Yığıntı Talaş Oluşumu Üzerindeki Etkilerinin Sem İle İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(3), 481-488.
- Gündüz, B.B., (2017). *6082-T6 Alüminyum Alaşımının MIG Kaynağında Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Niğde.
- Internet: Ders Notları. Kesici Takımlarda Aşınma Mekanizmaları URL::<http://yunus.hacettepe.edu.tr/rkokcan/>, Son Erişim Tarihi: 20.12.2023.
- Internet: Ders Notları. Kesme Takımı Teknolojisi. URL: <https://web.itu.edu.tr/gulmezt/IMAL%20USULLERI/ch23-Takim%20Teknolojisi.pdf>, Son Erişim Tarihi: 07.06.2024.
- Internet: DersNotları. URL: <https://avesis.gazi.edu.tr/ozcatalbas/yayinlar?themeId=1>, Son Erişim Tarihi: 07.06.2024.
- İnternet: 6082, URL: <https://seykoc.com.tr/icerik/6082?dil=tr>, Son Erişim Tarihi: 26.05.2024.

İnternet: Makina Mühendisliği. URL: <http://w3.bilecik.edu.tr/makine/arastirma/laboratuvarlarimiz/talasli-imalat-laboratuvari/> , Son Erişim Tarihi: 20.07.2024.

İnternet:Freze Tezgahı Kesici Takımları. URL: <https://www.hamitarслан.com/freze-tezgahi-kesici-takımları>, Son Erişim Tarihi: 20.07.2024.

İnternet: Seykoç. URL: <https://www.seykoc.com.tr/icerik/1050?dil=tr>. Son Erişim Tarihi: 09.06.2024.

İnternet:DersNotları.URL: <http://web.hitit.edu.tr/dosyalar/materyaller/eminerdin@hititedutr110520185B2N4W5Y.pdf>, Son Erişim Tarihi: 26.12.2023.

Jarosz, K., Löschner, P., Nieslony, P., Krolczyk, G. (2017). Optimization of Cnc Face Milling Process of AL-6061-T6 Aluminium Alloy. *Journal of Machine Engineering*, (17)1, 69-77.

Jebaraj, M., Kumar, M. P., Yuvaraj, N., Rahman, G. M. (2019). Experimental study of the influence of the process parameters in the milling of AL 6082-T6 alloy. *Materials and Manufacturing Processes*, 34:12, 1411-1427.

Karabuğa, Ü., (2012). *Alüminyum 7075-t6 Malzemenin Isı Desteği ile İşlenmesi ve Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması*, Yüksek lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Karaduman, S., Bağcı, M. (2019). Farklı Köşe Yuvarlatma Geometrilerinin Freze Kesici Takımlarındaki Gerilmelere Etkisinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi. *International Journal of Innovative Engineering Applications*, 3, 23-26.

Karakoç, H., Kumar, M. S., Şeker, U., Citak, R. (2023). Performance analysis on mechanical and machinability attributes of Al6061-B 4 C-T6 composites processed via hot extrusion. *Proc IMechE Part B: J Engineering Manufacture*, 1–15.

Kartal, F., Yerlikaya, Z., Gökkaya, H. (2017). Effects of machining parameters on surface roughness and macro surface characteristics when the machining of Al-6082 T6 alloy using AWJT. *Measurement*, 95, 216–222.

Katılmış, D. Z. (2021). *Alüminyum 6082 Alaşımına Tİ-B Alaşımlama ve Ferrobor Takviyesinin Mikroyapı ve Mekanik Özellikler Üzerindeki Etkisinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir.

Kaushik, V.S., Subramanian, M., Sakthivel, M. (2018). Optimization of Processes Parameters on Temperature Rise in CNC End Milling of Al 7068 using Hybrid Techniques. *Materials Today: Proceedings*, 5, 7037–7046.

Kaya, E., Kaya, İ. (2023). Şekil Hafızalı Alaşımların Farklı Kesici Takım Malzemeleri Kullanarak Alın Frezeleme ile İşlenmesinde Kesme Hızlarının Takım Aşınması Oluşumu ve İlerlemesine Etkisinin İncelenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(1), 76-83.

- Keskin, Z. (2006). *Alüminyum Kompozit Levhalarının İşlenmesinde, Cnc Freze Kesici Takımlarının Kaplama Seçiminin ve İşlem Parametrelerinin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Korkut, I., Donertas, M.A. (2007). The influence of feed rate and cutting Speed on the cutting forces, surface roughness and tool–chip contact length during face milling. *Materials and Design*, 28, 308-312.
- Kundrák, J., Markopoulos, A.P., Makkai, T., Deszpoth, I., Nagy, A., (2018). Analysis of the Effect of Feed on Chip Size Ratio and Cutting Forces in Face Milling for Various Cutting Speeds. *Manufacturing Techonolgy*, (18)3, 431-438.
- Lewis, J. E. (1961). National academy of sciences. *Nuclear Science Series* 3032, 3.
- Li, M., Jianwei Wang, J., Yang, H., Shi ,J., (2022). Research on Influence of Milling Process Parameters on Residual Stress of 7055 Aluminum Alloy. *Journal of Physics: Conference Serie,s* 2268, 1-9.
- Li, S., Sui, J., Ding, F., Wu, S., Chen, W., Wang, C. (2021). Optimization of Milling Aluminum Alloy 6061-T6 using Modified Johnson-Cook Model. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 111, 1-20.
- Lima, J.G., Avila, R.F., Abroa, A.M., Faustino, M., Paulo, Davim, J. (2005). Hard Turning AISI 4340 High Strsngh Low Steel And AISI D 2 Cold Work Steel. *Journal of Materials Processing Techonology*, 169, 388-395.
- Luo, H., Wang, Y., Zhang, P. (2020). Effect of cutting and vibration parameters on the cutting performance of 7075-T651 aluminum alloy by ultrasonic vibration. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 107, 371–384.
- Magabe R.,Gupta K. (2023). Investigation on Machinability of Aluminum 7075 Under Dry Environment. *FME Transactions* 51, 470-479.
- Mahesh, T.P., Rajesh, R. (2014). Optimal Selection of Process Parameters in CNC End Milling of Al 7075-T6 Aluminium Alloy Using a Taguchi-Fuzzy Apporoch. *Procedia Materials Science*, 5, 2493-2502.
- Mali, R. A., Aiswares, R., Gupta, T. V. K. (2020). The influence of tool-path strategies and cutting Parameters on cutting forces, tool wear and surface quality in finish milling of Aluminium 7075 curved surface. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 108, 589–601.
- Martins, S. P., Junior, M. A. A. P., Carneiro, G. R. J., Ba, T. C. E., Vieira, F. E. (2022). Study of Diamond-Like Carbon coating application on carbide substrate for cutting tools used in the drilling process of an Al–Si alloy at high cutting speeds. *Wear*, 498-499.

- Memiş, F., Turgut ,Y. (2020). AISI 2205 Doubleks Paslanmaz Çeliğin CNC Torna Tezgâhında İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğü VeKesme Kuvvetlerinin Deneysel Araştırılması. *İmalat Teknolojileri Ve Uygulamaları*, 1(1), 22-33.
- Meng, X., Lin, Y., Mi S., Zhang, P. (2023). The Study of Tool Wear Mechanism Considering the Tool–Chip Interface Temperature during Milling of Aluminum Alloy. *Lubricants*, 2023, 1-19.
- Nguyen, N. T., Tien, D. H., Tung, N. T., Luan, N. D., (2021). Analysis of tool wear and surface roughness in high-speed milling process of aluminum alloy Al6061. *EUREKA: Physics and Engineering*, Number, 3, 71-84.
- Oana, S.A., Karancsi, O., Mitelea, I., Utu I.D., Craciunescu, C.M., (2023). The role of filler material selection in the laser welding process of deformable 6xxx series aluminum alloys. *Materials Today: Proceedings*, 78, 287–294.
- Özdemir, B. Y. (2023). *Alüminyum 6082 Alaşımında Yaşlandırma Proseslerinin Mekanik Özellikler ve Korozyon Dayanımına Etkilerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans tezi, Yıldız Teknik Ünivertesi, Fen Bilimleri Ensitütüsü,İstanbul.
- Özdemir, K., Çakir, M. C. (2008). Kesme Parametrelerinin Başlangıç Aşınmasına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, (13)2, 99-109.
- Palaniappan, S.P, Muthukumar, K., Sabariraj, R.V., Kumar, S.D., Sathish, T. (2020). CNC turning process parameters optimization on Aluminium 6082 alloy by using Taguchi and ANOVA. *Materials Today: Proceedings*, 21, 1013–1021.
- Pan, J., Ni J., He, L., Cui, Z., Feng, K. (2020). Influence of micro-structured milling cutter on the milling load and surface roughness of 6061 aluminum alloy. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 110, 3201–3208.
- Pereza, I., Madariagaa, A., Cuestaa, M., Garaya ,A., Arrazolaa, P.J., Ruizb, J.J., Rubiob, F.J., Sanchezb, R. (2018). Effect of cutting speed on the surface integrity of face milled 7050-T7451 aluminium workpieces. *Procedia CIRP*, 71, 460–465.
- Pınar, M.A., (2010). AA 6013 Alüminyum Alaşımının Frezelenmesinde Ortalama ve Toplam Yüzey Pürüzlülüğüne Göre Kesme Parameterleri Etkilerinin İncelenmesi. *Journal of New World Sciences Academy*, (5)1, 15-27.
- Pimenov, D.Y., Kiran, M., Khanna, N., Pintaude, G.,Vasco, M.C., Silva, L. R. R., Giasin, K. (2023). Review of improvement of machinability and surface integrity in machining on aluminum alloys. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 129, 4743–4779.
- Ping, Z., Xiujie ,Y., Penghao ,W., Xiao, Y. (2021). Surface integrity and tool wear mechanism of 7050-T7451 aluminum alloy under dry cutting. *Vacuum*, 184, 1-13.

- Ping, Z., Xiujie, Y., Shuangfeng, H., Ailing, S., Baoshun, L., Xiao, Y. (2021). Experiment and simulation on the high-speed milling mechanism of aluminum alloy 7050-T7451. *Vacuum*, 182, 1-16.
- Pitalla, G.M.,Linguanotto, S. (2022). A study of machinability of AL 7075-T6 with solid carbide end mills. *Procedia CIRP*, 115, 148–153.
- Prabakaran, M. P., Kannan, G. R., Thirupathi, K., Hari Prakash ,A., (2020). Optimization Turning Process Parameters of Aluminum Alloy 5083 using Response Surface Methodology. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 3, 1084-1087.
- Pul, M., Bican, O. (2021). Farklı Alüminyum Alaşımlarının Tornalanmasında Alaşım Cinsinin Bazı İşleme Özelliklerine Etkisinin Karşılaştırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 9-17.
- Rashmi, L. Malghan, Karthik, M. C. R., Arunkumar, S., Shrikantha ,S. R., D’Souza, J.R. (2017). Effect of process parameters in face milling operation and analysis of cutting force using indirect method. *Materials and Manufacturing Processes*, 33(13), 1406–1414.
- Rawangwonga, S., Chatthonga, J., Boonchouytana, W., Burapa, R. (2013). An Investigation of Optimum Cutting Conditions in Face Milling Aluminum Semi Solid 2024 Using Carbide Tool. *Energy Procedia*, 34, 854 – 862.
- Rawangwonga, S., Chatthonga, J., Boonchouytana, W., Burapa, R. (2013). Influence of Cutting Parameters in Face Milling Semi-Solid AA 7075 Using Carbide Tool Affected the Surface Roughness and Tool Wear. *Energy Procedia*, 34, 448-457.
- Rivero, A., Lacalle, L. L L., Penalva ,M. L. (2008). Tool wear detection in dry high-speed milling based upon the analysis of machine internal signals. *Mechatronics* 18 (2008) 627–633.
- Robledo, D. P., García, J. F., Bonet, E. L., Fuentes, L. G., Lara, R. D. , Rodríguez, M.A.L. H., S’ anchez, E. G., (2021). Tribological analysis in Al–Mg–Zn alloy casting processed through equal channel angular pressing, compared with Al-7075 T6 alloy. *Wear*, 476, 1-7.
- Samtaş, G., Apay ,S. (2023). Taguchi and Gray Relational Analysis Optimization of Cutting Parameters during Face Milling of Cryogenic Treated Aluminum 6061 Alloys Using Cryogenic and Non-cryogenic Inserts. *JMEPEG* 32, 4151–4160.
- Santos, M.C, Machado, A.R., Sales, W. F., Barrozo, M.A.S., Ezugwu ,E.O. (2016). Machining of aluminum alloys: a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 86, 3067–3080.
- Sartkulvanich, P., Sahlan, H., Altan, T. (2007). A Finite Element Analysis of Burr Formation In Face Milling of a Cast Aluminium Alloy. *Machining Science and Technology*, 11(2), 157-181.

- Sekmen, M.,Günay, M., Şeker, U. (2015).Alüminyum Alaşımlarının İşlenmesinde Kesme Hızı Ve Talaş Açısının Yüzey Pürüzlülüğü , Yığıntı Talaş Ve Yığıntı Katmanı Oluşumu Üzerine Etkisi, *Politeknik Dergisi*, 18(3), 141-148.
- Sethupathy, A., Shanmugasundaram, N. (2021). Prediction of cutting force based on machining parameters on AL 7075-T6 aluminum alloy by response surface methodology in end milling. *Materialwiss. Werkstofftech* ,52, 879–890.
- Seymen, Y. (2009). *Alüminyumun (Al7075) Elmas benzeri karbon (DLC) Kaplanmış Parmak freze ile işlenmesinin deneysel incelenmesi* , Yüksek Lisans tezi, Marmara Ünivertesii, Fen Bilimleri Ensitütüsü,İstanbul.
- Starke, Jr, E.A. (1989). Heat-Treatable Aluminum Alloys. *Treatise on Materials Science & Technology*, 31, 35–63.
- Subramanian, M., Sakthivel, M., Sooryaprakash, K., Sudhakaran ,R. (2013). Optimization of end mill tool geometry parameters for AL 7075-T6 machining operations based on vibration amplitude by response surface Methodology. *Measurement* ,46, 4005-4022.
- Şahin ,Y. (2003), *İmal Usulleri*, Gazi Yayınevi,Ankara ,158-263.
- TALSAD, (2022). *Dünyada ve Türkiye 'de Alüminyum 2022 yılı Raporu*, 1-38.
- Titu, A. M., Sandu, A. V., Pop, A. B., Titu, S., Fratila ,D. N., Ceocea, C., Boroiu ,A., (2020). Design of Experiment in the Milling Process of Aluminum Alloys in the Aerospace Industry. *Applied Sciences*, 10, 1-20.
- Trent ,EM. (1989). *Metal Cutting*.Butterworths Press, London, 1-264.
- Tsai, M.Y., Chang, S.Y., Hung, J.P., Wang ,C.C. (2016). Investigation of milling cutting forces and cutting coefficient for aluminum 6060-T6. *Computers and Electrical Engineering*, 51, 320-330.
- Tufan, M. (2011). *AA6082 Alüminyum Alaşımlarında Yaşlandırma Isıl İşleminin İşlenebilirliğe ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Varatharajulu, M., Duraiselvam, M. ,Kumar ,A.K., Kannian, C.G, Sathiyamurthy, R. (2021). Experimental Investigation of the Effect of Independent Parameters in the Face Milling of Aluminum 6082 Alloy. *Trans Indian Inst Met* 74(3), 659–677.
- Vatansever, F., Ertürk, A.T., Karabay, S. (2018). Alüminyum-Silisyum Alaşımlarının Mikroyapısal ve Mekanik Özelliklerinin T6 Isıl İşlemi ile İyileştirilmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi*, 20(60), 797-803.
- Vobrouček, J. (2015). The Influence of Milling Tool Geometry on the Quality of the Machined Surface. *Procedia Engineering*, 100, 1556 – 1561.

- Wang, S.J., Chen, X., To ,S., Ouyang, X.B., Liu, Q., Liu, J.W., Lee ,W. B. (2015). Effect of cutting parameters on heat generation in ultra-precision milling of aluminum alloy 6061. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 80, 1265–1275.
- Yağcı, T., Cöcen, Ü., Çulha, O., Korkmaz, A., (2021). Alüminyum döküm alaşımlarına dair son yıllardaki akademik ve endüstriyel gelişmelere genel bakış ve değerlendirme. *Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 26(3), 1191-1210.
- Yağmur, S., Kaya, M.K., Şeker, U. (2021). AA-6082 T4 Alaşımının Tornalamasında Çok Kristalli Elmas (ÇKE) Takımlara Uygulanan Talaş Kırıcı Formlarının Kesme Kuvvetleri Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi* , 7(1), 51-57.
- Yazıcı, M. Z. A., Zainol, A. (2020). Tool Life and Surface Roughness in Dry High Speed Milling of Aluminium Alloy 7075-T6 Using Bull Nose Carbide Insert. *Journal of Engineering Science and Technology*, 15(1), 128 – 138.
- Yılmaz, E. (2010). *Etial 180 Alüminyum Alaşımının İşlenmesinde Kesici Takım Geometrisi ve Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri*, Yüksek lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Yibo, P., Gang, W., Tianxing ,Z., Shangfeng, P.,Yiming, R. (2013). Dynamic Mechanical Behaviors of 6082-T6 Aluminum Alloy. *Hindawi Publishing Corporation Advances in Mechanical Engineering*, 2013, 1-8.
- Zarghani, A.S., Bozorg, S.F.K., Hanzaki, A.Z. (2008). Microstructures and mechanical properties of Al/Al₂O₃ surface nano-composite layer produced by friction stir. *Processing. Materials Science and Engineering*, A 500, 84–91.
- Zhang, P., Gao, Y., Wang ,S., Liu, Z., Zhenyong, L., Zhang, S., Yue, X. (2023). Effect of T6I4 and T6I6 on the machinability of 7075 aluminum alloy and tool wear mechanism. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* ,127, 4453–4471.
- M. Jebaraj, M. Pradeep Kumar, N. Yuvaraj G. Mujibar Rahman (2019). Experimental study of the influence of the process parameters in the milling of AL 6082-T6 alloy. *Materials and Manufacturing Processes*, 34(12), 1411-1427.
- Zhang, P., Liu ,J., Gao, Y., Liu, Z., Mai ,Q. (2023). Effect of heat treatment process on the micro machinability of 7075 aluminum alloy. *Vacuum*, 207, 1-12.
- Zyłka, L., Flejszar, R., Lajmert, P., (2023). Influence of Cutting-Edge Microgeometry on Cutting Forces in High-Speed Milling of 7075 Aluminum Alloy. *Materials*,16, 1-17.

EKLER

EK-1. (devam) Uygunluk sertifikası

 "TÜRKİYE'NİN LİDER ALÜMİNYUM TEDARİKÇİSİ"	UYGUNLUK SERTİFİKASI <i>(Certificate of Conformity)</i>	Document No : FR.061 Publishing Date : 01.10.2016 Revision Date : 15.03.2018 Revision No : 2 Page No : 1/1
--	---	--

Sertifika No (Certificate Number)	3239	Tarih (Date)	~3.02.2021								
Genel Bilgi (General Information)											
Formu (Form)	PLAKA	Lot No (Lot/Batch No)	70271809 70271811 70271812								
Ölçüleri (Dimensions)	25X1520X3020 40X1520X3020 50X1520X3020	Miktar (Kg) (Quantity)	3766 4034 3774								
Alaşım (Alloy)	6082	Adet (Pieces)	-								
Temper (Temper)	T651	Standartlar (Standards)	EN 485 – 515 – 573								
Kimyasal Analiz (Chemical Analysis)											
DEĞERLER (VALUES)	ELEMENTLER (%) (Elements)										
STANDART	Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Cu	Mg	Zn	Each	Total	Al
Min.		0,70	0,40				0,60				
Max.	0,50	1,30	1,00	0,25	0,10	0,10	1,20	0,20	0,050	0,15	
TEST SONUÇLARI (%) (Test Results)											
70271809	0,29	1,1	0,7	0,14	0,03	0,09	1,0	0,05			
70271811	0,29	1,1	0,7	0,14	0,03	0,09	1,0	0,05			
70271812	0,29	1,1	0,7	0,15	0,02	0,08	1,0	0,04			
Mekanik Özellikler (Mechanical Properties)											
1 Mpa = 1 N/mm ² = 0.145 ksi = 0.102 kgf/mm ²											
STANDART	Çekme Dayanımı (Mpa) (Tensile Strength)			Akma Dayanımı (Mpa) (Yield Strength)			Uzama (%) (Elongation)		Sertlik (HB) (Hardness)		
Min.	295			240			8				
Max.											
TEST SONUÇLARI (%) (Test Results)											
70271809	336			319			8				
70271811	346			317			14				
70271812	329			302			12,5				
Ultrasonik Muayene (Ultrasonic Inspection)											
Uygulandı (Done)	Uygulandı İse, Standartı (If Done, Standards)						Uygulanmadı (Not Done)		X		
Bu Ürünler, %100 Ultrasonik Muayene Yapılmıştır. (These products are 100% Ultrasonic Inspection)											
Onay (Approval)											
Seykoç Alüminyum bu uygunluk sertifikası ile, müşteriye teslim edilen ve yukarıda özellikleri tanımlanan ürünlerin; müşteri sipariş şartlarını sağladığına, rapor üzerinde belirtilen teknik değerlerin doğruluğunu ve uluslararası standart şartlarına uygunluğunu beyan ve taahhüt eder. Seykoç Alüminyum with this conformity certificate, the products delivered to the customer and defined above features; customer order conditions, the accuracy of the technical values stated on the report and compliance with international standard requirements. Bu Uygunluk Sertifikası, TS EN 10204 standardının 3.1 formatına uygun olarak hazırlanmıştır.											Kalite Kontrol Departmanı (Quality Control Department)



Gazili olmak ayrıcalıktır