



**ALÜMİNYUM 7075-T6 MALZEMENİN ISI DESTEĞİ İLE İŞLENMESİ VE
YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Ümit KARABUĞA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MART 2022

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.

Ümit KARABUĞA

10/03/2022

ALÜMİNYUM 7075-T6 MALZEMENİN ISI DESTEĞİ İLE İŞLENMESİ VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Ümit KARABUĞA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mart 2022

ÖZET

Alüminyum 7075-T6 alaşımı, yüksek mukavemeti ve düşük yoğunluğu sebebiyle uzay ve havacılık başta olmak üzere birçok alanında sıkça kullanılmaktadır. En yüksek dayanıma sahip alüminyum alaşımlarından biri olan AA7075-T6 malzemenin talaşlı imalatla şekillendirilebilirliği zayıftır. Malzemenin yüksek mukavemeti ve sıvanma özelliği, işleme esnasında yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilemektedir. Bu olumsuz durumları mümkün olduğunca ortadan kaldırarak yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek maksadıyla kesme yağları kullanılmaktadır. Ancak geleneksel yağlayıcılar insan ve çevre sağlığına ciddi tehdit oluşturduğundan, Minimum Miktarda Yağlama (Minimum Quantity Lubrication, MQL) yöntemi üzerine çalışmalar artmaktadır. Ayrıca yüksek dayanıma sahip alaşımların şekillendirilmesinde Termal Destekli İşleme (Thermal Assisted Machining, TAM) yöntemi de son yıllarda üzerine çalışmalar yapılan bir yöntemdir. Geleneksel işleme ile çelişkili görünen bu yöntemde, iş parçası malzemesinin mukavemetini azaltarak kesme kuvvetlerini düşürmek, takım aşınmasını azaltmak ve malzemeyi daha kolay işlenebilir hale getirerek yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek için harici bir ısı kaynağı kullanılmaktadır. Fakat AA7075-T6 alaşımı üzerine TAM yöntemi ile yapılan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada üç farklı soğutma/yağlama yöntemi (Kuru, MQL, MMY+TAM), üç farklı kesme hızı (200-240-290 m/min), üç farklı ilerleme oranı (0,14-0,16-0,2 mm/rev.) ve 1 mm sabit talaş derinliği kullanılarak 27 deney yapılmış sonuçları incelenmiştir. Özellikle yüksek kesme hızlarında Minimum Miktarda Yağlama ile Termal Destekli İşlemenin birlikte uygulandığı deneylerde yüzey pürüzlülüğünün diğer deney sonuçlarına göre düşük olduğu tespit edilmiştir. Tüm deneylerde en düşük yüzey pürüzlülüğüne MQL ile TAM'ın birlikte uygulandığı deneyde (V_c :290 m/min, F_z :0,2 mm/rev) ulaşıldığı görülmüştür. Yağlayıcı kullanmadan yapılan deneylerde, alüminyum alaşımının ısı altında takıma yapıştığı ve devamında takımda mikro kırılmalara yol açtığı gözlemlenmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde, en düşük takım aşınmasının MQL+TAM deneyinde olduğu görülmüştür. TAM deneyleri sonucunda malzeme sertliğinin, ısıtma işleminden olumsuz etkilenmediği ve malzeme yapısında herhangi bir bozulma olmadığı görülmüştür.

Bilim Kodu : 91438

Anahtar Kelimeler : Alüminyum 7075-T6, ısı destekli işleme, minimum miktarda yağlama, yüzey pürüzlülüğü

Sayfa Adedi : 77

Danışman : Prof. Dr. Abdulkadir GÜLLÜ

2. Danışman : Doç. Dr. Şener KARABULUT

THERMAL ASSISTED MACHINING OF AA7075-T6 AND INVESTIGATING THE SURFACE ROUGHNESS

(M. Sc. Thesis)

Ümit KARABUĞA

GAZI UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

March 2022

ABSTRACT

Aluminum 7075-T6 alloy is frequently used in many fields, especially in aerospace and aviation due to its high strength and low density. In the AA7075-T6 material, which is one of the aluminum alloys with the highest strength, the formability of the material by machining is poor. The high strength and plastering feature of the material adversely affects the surface roughness during processing. To improve the surface roughness Cutting oils are used to eliminate these negative situations as much as possible. However, since traditional lubricants pose a serious threat to human and environmental health, studies on the Minimum Quantity Lubrication (MQL) method are increasing. In addition, the Thermal Assisted Machining (TAM) method in shaping high strength alloys is a method that has been studied in recent years. Appearing in contradiction with traditional machining, this method uses an external heat source to reduce the strength of the workpiece material, cutting forces, tool wear and improve the surface roughness by making the material easier to cut. However, no study on AA7075-T6 alloy was found using the TAM method. In this study, 27 tests were performed under three different cooling/lubrication methods (Dry, MQL, MQL + TAM), three different cutting speeds (200-240-290 m / min), three different feed speeds (0.14-0.16-0.2 mm / rev.) at 1 mm constant depth of cut and their results were evaluated. The test results revealed that the surface roughness was lower than in the other experiments where the Minimum Quantity Lubrication and Thermal Assisted Machining were applied together, especially at high cutting speeds. In all experiments, it was seen that the lowest surface roughness was achieved in the experiment (Vc: 290 m/min, Fz: 0.2 mm/rev) in which MQL and TAM were applied together. In experiments without using lubricant, it was observed that the aluminium alloy adhered to the tool under heat and caused micro cracks. SEM images indicated that the lowest tool wear occurred in MQL + TAM experiment. The microhardness measurements depicted that the hardness of the machined specimen under TAM was not negatively affected by the heating process, and no deterioration occurred in the material structure.

Science Code : 91438

Key words : AA7075-T6, thermal assisted machining, minimum quantity lubrication,
surface roughness

Page Number : 77

Supervisor : Prof. Dr. Abdulkadir GÜLLÜ

Co Supervisor : Associate Prof. Dr. Şener KARABULUT

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarımın her aşamasında yol gösteren, engin tecrübeleri ile katkıda bulunan hocalarım ve aynı zamanda danışmanlarım olan Prof. Dr. Abdulkadir GÜLLÜ'ye ve Doç. Dr. Şener KARABULUT'a çok teşekkür ederim.

Deneyler esnasında Makine laboratuvarını ve ekipmanlarını kullanmama izin veren Hacettepe ASO 1. OSB Meslek Yüksekokulu'na ve desteklerini esirgemeyen okulun değerli hocaları Dr. Musa BİLGİN'e, Dr. Halil KARAKOÇ'a, ve Öğretim Görevlisi Recep KÖKÇAN'a teşekkürlerimi sunarım. Yine deneyler için malzeme temininde destek olan Öznur Savunma Havacılık ve Makine San. Tic. Ltd. Şti.'ne ve firmanın Üretim Müdürü Musa YETİŞGEN'e, Mikro sertlik ölçümlerinde destek olan DÖKSAN Isıl İşlem ve Ar-Ge Merkezi A.Ş.'ne teşekkür ederim.

Tez dönemi boyunca beni motive eden ve manevi desteklerini hissettiren anneme, babama ve eşime de ayrıca teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR İNCELEMESİ.....	5
2.1. Literatür Değerlendirmesi	21
3. FREZELEME İŞLEMLERİ.....	25
3.1. Frezeleme İşlemlerinde Kesici Takımlar	25
3.2. Frezede Talaş Kaldırma	26
3.3. Kesme Kuvvetleri.....	27
3.4. Takım Aşınması	29
3.5. Kesme Parametreleri	30
3.5.1. Kesme hızı.....	30
3.5.2. İlerleme oranı/hızı	30
3.5.3. Talaş derinliği.....	31
4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	33
4.1. Talaşlı İmalatta Yüzey Pürüzlülüğü.....	33

	Sayfa
4.2. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler	35
5. KESME SIVILARI	37
5.1. Kesme Sıvıları ve Görevleri.....	37
5.2. Kesme Sıvılarının Sınıflandırılması.....	38
5.2.1. Kesme yağları.....	38
5.2.2. Su bazlı kesme sıvıları.....	38
5.2.3. Gazlar	39
6. TERMAL DESTEKLİ İŞLEME.....	41
6.1. Termal Destekli İşleme Hakkında Genel Bilgi	41
6.2. Termal Destekli İşleme Yöntemleri	41
7. MALZEME VE METOT	43
7.1. Deney Numuneleri	43
7.2. Deneylerde Kullanılan Makine ve Ekipman	43
7.3. Deney Tasarımı	45
7.4. Deney Düzeneği	47
7.5. Deneylerde Kullanılan Ölçme Cihazları	49
8. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	51
8.1. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü	51
8.2. Kesici Uç Aşınmaları	56
8.3. Malzeme Yapısı	58
8.4. Gürültü Değerleri	61
8.5. Titreşim Değerleri	62
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	65

	Sayfa
9.1. Sonuçlar.....	65
9.2. Öneriler	67
KAYNAKLAR	69
EKLER.....	75
ÖZGEÇMİŞ	77

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.1. Deneylerde kullanılan 7075-T6 Alüminyum alaşımının özellikleri	43
Çizelge 7.2. Deney tasarımı girdileri	47
Çizelge 8.1. Varyans Analizi	51
Çizelge 8.2. Deney parametreleri	52
Çizelge 8.3. Malzemelerin, deneyler sonucunda yüzey pürüzlülük değerleri	56
Çizelge 8.4. Malzemelerin, deneyler sonrası mikro sertlik değerleri	60
Çizelge 8.5. MQL+TAM deneylerinde malzeme yüzey sıcaklıkları	61
Çizelge 8.6. Deneyler esnasında oluşan titreşim değerleri	63

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. a) Dik kesme modeli, b) Talaş oluşma düzlemi	27
Şekil 3.3. Çevresel ve alın frezelemede kesme kuvvetlerinin analizi	28
Şekil 3.3. Kesici takım aşınma tipleri	29
Şekil 4.1. Yüzey pürüzlülüğünün üç boyutlu gösterimi	33
Şekil 4.2. Yüzey pürüzlülüğü değerleri	33
Şekil 4.3. Yüzey pürüzlülüğü gösterim	34
Şekil 4.4. İşleme yöntemlerine göre yüzey pürüzlülük değerleri	35
Şekil 7.1. Deneylerde kullanılan kesici uç detayı	44
Şekil 7.2. Deneylerde kullanılan MQL Cihazı	45
Şekil 7.3. Kesici uç ve malzemeye göre Walter Feeds & Speeds uygulamasının tavsiye ettiği kesme parametreleri	46
Şekil 7.4. Talaş kaldırma işlemi sonrası oluşacak malzeme şekli	48
Şekil 8.1. Ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerinde işleme parametrelerinin etkisi	52
Şekil 8.2. Sabit ilerleme oranında, kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi	53
Şekil 8.3. Sabit kesme hızında, ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğüne etkisi	54
Şekil 8.4. Tüm deneylerin (27 deney) yüzey pürüzlülük grafiği	55
Şekil 8.5. Deneyler esnasında oluşan maksimum gürültü değerleri	62

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 7.1. Deneylerin yapıldığı CNC Dik İşleme Tezgâhı	44
Resim 7.2. Kullanılan deney düzenekleri	48
Resim 7.3. Deneylerde kullanılan ölçme cihazları	49
Resim 7.4. Tezgâh üzerinde yapılan ölçümler	50
Resim 8.1. 4 ve 7 numaralı deneye ait kesici uçların SEM görüntüleri	57
Resim 8.2. 7 numaralı deneye ait malzemelerin optik görüntüleri	59

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

V_c	Kesme hızı (m/min)
f	İlerleme hızı (mm/rev)
F_f	Çevresel frezelemede ilerleme (mm/rev)
A_p	Kesme derinliği (mm)
n	Devir sayısı (devir/min)
R_a	Ortalama pürüzlülük değeri (μm)
R_t	Pürüzlülük yüksekliği (μm)
R_{max}	En büyük pürüzlülük derinliği (μm)
HR_c	Malzeme sertliği (Rockwell-C)
HBW	Malzeme sertliği (Brinell)
F_r	Radyal kuvvet (N)
F_t	Teğet kuvvet (N)
F_n	Normal kuvvet (N)
t_h	Aşınma süresi (h)
D/d	İş parçası/kesici çapı (mm)

Kısaltmalar

Açıklamalar

ACN	Aluminum chrome nitride (Alüminyum krom nitrür)
BUE	Built up edge (Yığıntı talaş)
BUL	Built up layer (Yığıntı katman)
CBN	Kübik bor nitrür
CM	Conventional machining (Geleneksel işleme)
CNC	Computer numerical control (Bilgisayarlı sayısal kontrol)
HSS	High speed steel (Yüksek hız çeliği)
IAM	Induction assisted machining (İndüksiyon destekli işleme)

Kısaltmalar**Açıklamalar**

LAM	Laser assisted machining (Lazer destekli işleme)
MMY	Minimum miktarda yağlama
PAM	Plasma assisted machining (Plazma destekli işleme)
PCD	Polikristalin Elmas
PVD	Physical vapor deposition (Fiziksel buhar biriktirme)
SEM	Scanning Electron Mikroscope (Taramalı elektron mikroskbu)
TAM	Thermal assisted machining (Termal destekli işleme)
TiN	Titanium carbon nitrate (Titanyum karbon nitrat)
YHK	Yüksek hızda kesme

1. GİRİŞ

Mühendislik malzemeleri üzerine yapılan araştırmalar, farklı fiziksel ve mekanik özellikte malzemelere ihtiyaç duyulması sebebi ile artarak devam etmektedir. Havacılık, uzay, otomotiv ve savunma sanayi gibi alanlarda sıkça kullanılan Alüminyum alaşımları üzerine yapılan çalışmalar da aynı şekilde artmaktadır. Çeliğe göre daha düşük mukavemet değerlerine sahip olan alüminyum, içerisine ilave edilen alaşım elementleri ile mukavemet değerlerinde ve fiziksel özelliklerinde kayda değer artışlar elde edilmekte, ayrıca alüminyumun yoğunluğundaki artışın sınırlı olması sayesinde de kullanım alanı arttırılmaktadır.

Doğada sık bulunan bir element olan alüminyum, yüksek korozyon direncine de sahiptir. Alüminyum alaşımları ise hafif olması, mukavemeti ve yüksek korozyon direnci sebebi ile sanayide sıkça tercih edilmektedir (Özakın, 2014). Alüminyum 7075 alaşımı, hafifliğinin yanı sıra diğer alüminyum alaşımlarına göre yüksek mukavemete de sahip olması sayesinde havacılık ve otomotiv sanayinde sıklıkla kullanılmakta ve diğer sektörlerde de kullanımı yaygınlaşmaktadır (Kaya, 2005).

Alüminyum malzemelerin metalürjik yapısı ve işleme şartlarının, alüminyumun işlenebilirliğinde değişkenlikler oluşturduğu bilinmektedir. Alüminyumun temel işlenebilirlik problemi talaşların kontrolündedir. Alüminyum ve bazı alüminyum alaşımlarının işlenmesi esnasında talaş sürekli, oldukça kalındır ve kolay kırılmaz. Ayrıca malzemenin sünekliğinden dolayı takıma yapışması da bir diğer işleme problemini doğurmaktadır (Erdoğan, 2000).

AA7075 alüminyum alaşımı yaşlandırmanın etkisin en çok görüldüğü alaşımlardan biridir. Alaşımın en mukavim hali olan T6 malzemenin şekillendirilebilirliği oldukça kötüdür. (Kılıç ve Kacar, 2019). Alüminyum ve alaşımlarının sünek yapılarından dolayı talaşlı imalatları oldukça güçtür. Sünek malzemelerin işlenmesinde istenilmeyen talaş formlarının oluşması, iş parçasının yüzey pürüzlülüğünü kötüleştirmektedir. Ayrıca BUE oluşumu kesici takımın geometrik formunu ve yüzey pürüzlülüğünü bozarak bu malzemelerden uygun nihai ürünlerin elde edilmesini zorlaştırmaktadır (Ağar, 2014).

İyi bir imalat süreci, sadece ürün kalitesi, üretim miktarı ve üretim zamanını kapsayan üretim ekonomisi ile ifade edilemez. Ayrıca doğaya ve insan sağlığına olan etkisi ile de doğrudan ilgilidir. Kesme sıvıları ile geleneksel soğutma yöntemleri, sözü edilen avantajlarının yanında imalat sürecinde olumsuz etkilere de sebep olmaktadır. Atık yönetimi iyi yapılmadığında kimyasal içeriğe sahip kesme sıvıları toprağa karışmakta ve doğayı tahrip etmektedir. Talaşlı imalat sürecinde görev alan çalışanların tenine temas eden bu kimyasal sıvıların insan sağlığına da zarar verdiği bir gerçektir (Dhar, Kamruzzaman ve Ahmed, 2006). Ayrıca kesme sıvılarının depolanması, temini ve atık yönetimi gibi maliyetlerinden dolayı toplam üretim maliyetini de yükseltmektedir. Talaşlı imalatla takım maliyeti, toplam maliyetin %2 ila %4'lük bir kısmını oluştururken, kesme sıvısı maliyetinin %7 ila %17'lik bir kısmını oluşturması, kesme sıvısı maliyetinin üretim maliyetine olan etkisini açıkça göstermektedir (Gürbüz, Baday ve Gönülaçar, 2017).

Kesme sıvısı kullanımını azaltmak için ise bazı teknikler kullanılmaktadır. Bunlar kuru şartlarda (kesme sıvısı kullanmadan) kesme, basınçlı hava ile kesme, yüksek hızda kesme (YHK) ve minimum miktarda yağlama teknikleridir. Kuru kesme ve basınçlı hava ile soğutma şu anda çevre dostu bir imalat yöntemi olarak kullanılmakta ise de, bu yöntem yüksek işleme verimliliği, daha düşük yüzey pürüzlülüğü istendiği durumlarda ve zor kesme şartlarında daha az etkin olabilmektedir. Son yıllarda geliştirilen minimum miktarda yağlama yöntemi bu ihtiyaçlara cevap aramak için uygulanan bir yöntemdir (Dhar ve diğerleri, 2006).

Minimum miktarda yağlamada, pulverize olarak basınçlı havayla kesme noktasına püskürtülen yağ ile iş parçası ve kesici takım arasında bir yağ filmi oluşturulur. Oluşturulan yağ filmi ile kesici takımın ve iş parçasının daha az ısınması sağlanır. Kullanılan yağ miktarı saatte 10 ila 150 ml'dir. Sulu kesmede bu miktarın saatte 50 ila 500 litre olduğu dikkate alındığında minimum miktarda yağlamada kullanılan yağın ne kadar az olduğu görülür (Öndaş, 2016).

Alüminyumun işlenmesi ile ilgili problemleri azaltmak, takım ömrünü artırmak ve yüzey pürüzlülüğünü düşürmek için son zamanlarda farklı soğutucu ve yağlayıcı ile işleme çalışmaları artmıştır. Ayrıca klasik talaş kaldırma yöntemlerinde yaşanan bu zorlukları aşmak için termal destekli (ısı destekli) imalat yöntemleri de ön plana çıkmaktadır. Daha uzun takım ömrü elde etmek için alternatif bir yol da termal destekli işlemedir (Thermally

assisted machining). Bu yaklaşım, geleneksel yöntemle çelişkili görünmektedir ve bunun yerine, iş parçası malzemesinin sağlamlığını ve sertliğini azaltmak, böylece kesme kuvvetlerini azaltmak ve malzemeyi makinede daha kolay işlenebilir hale getirmek için harici bir kaynaktan ısıнын kullanılmasına dayanmaktadır (Birmingham, Palanisamy ve Dargusch, 2012).

Deneyisel çalışmalarda termal destekli işleme (Thermal Assisted Machining, TAM) yöntemi ile yüksek alaşımlı çeliklerin işlenmesi üzerine çalışmaların yapıldığı görülmüştür. Fakat mukavemeti yüksek Alüminyum alaşımları üzerinde termal destekli işleme ile ilgili pek çalışma yapılmadığı görülmektedir. Yapılan bu çalışma ile AA7075-T6 alaşımının termal destekli olarak freze tezgâhında minimum miktarda yağlama (MQL) ile birlikte işlenebilirliği araştırılmıştır. Ayrıca AA7075-T6 alaşımının termal destekli işlenmesinin yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasına etkisi gözlemlenmiştir.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Sarıkaya ve Güllü Ø80×220 mm boyutlarındaki AISI 1050 malzemeyi, CNC Torna tezgâhında farklı kesme parametreleri ve soğutma yöntemleri ile tornalamışlar ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemişlerdir. Deneylerde dört farklı yağlama/soğutma yöntemi (Kuru-geleneksel soğutma-60 ml/h debili MQL-120 ml/h debili MQL), dört farklı kesme hızı (80-120-160-200 m/min), dört farklı ilerleme oranı (0,07-0,1-0,14-0,18 mm/rev) ve iki farklı kesme derinliği (1,2-1,8 mm) belirlemişlerdir. Taguchi deney yöntemine göre 16 deney yapmışlar ve yüzey pürüzlülüğüne en çok etki eden parametrelerin ilerleme oranı ve soğutma yöntemi olduğunu, MQL ile işlemenin diğer yöntemlere göre yüzey pürüzlülüğünü azaltmak için iyi bir yöntem olduğunu tespit etmişlerdir. Tüm deneylerde en düşük yüzey pürüzlülüğüne ise ($R_a=0,80 \mu m$), 120 ml/h debide MQL yağlama, 200 m/dk kesme hızı, 0,07 mm/rev ilerleme ve 1,2 mm kesme derinliğinde ulaşmışlardır (Sarıkaya ve Güllü, 2014).

Keong Ng ve arkadaşları AA7075-T6 alüminyum alaşımını tek kristal elmas kesici ile mikro işleme ve nano işleme ile 10 nm ila 2 μm aralığında işlemişlerdir. Bu işlemlerde 10 m/min ve 150 m/min kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri, talaş şekli ve spesifik kesme enerjisi gibi parametreleri incelemişlerdir. Ayrıca bu inceledikleri parametreleri geleneksel (makro) işleme şartlarında gözlemlenen verilerle karşılaştırmışlardır. Kesme hızının 700 nm'den düşük deforme olmamış talaş kalınlıklarında kesme kuvvetleri üzerinde ihmal edilebilir bir etki gösterdiğini tespit etmişlerdir. Deforme olmamış talaş kalınlığı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, deforme olmamış talaş kalınlığı arttıkça genel olarak kesme kuvvetlerinin arttığı sonucuna varmışlardır (Ng, Melkote, Rahman ve Senthil Kumar, 2006).

Fergani ve arkadaşları 40 mm çapındaki AA7075-T6 alüminyum alaşımı malzemeyi 0,1mm, 1 mm ve 2 mm talaş derinliği vererek, 0,38 mm/rev ilerleme oranında, PVD kaplamalı bir kübik bor nitrat (CBN) kesici uç ile kuru şartlarda tornalama işlemi yapmışlardır. Bu şartlarda yapılan kesme işlemleri boyunca, malzemenin kesme yüzeyinde oluşan ısı değişimliklerin yüzey altı tane boyutu ve sertliği üzerindeki etkilerini modelleme yaklaşımı ile incelemişlerdir. Bu deneysel çalışmalar sonucunda kesme derinliğinin artmasıyla işleme bölgesinde sıcaklığın da arttığını tespit etmişlerdir. Artan ısının işlenen malzemede tane büyümesine, tane büyümesinin ise malzemenin yumuşamasına yani sertliğinin azalmasına

sebepe olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu çalışmada işleme bölgesindeki ısı şartlarının işlenen malzemenin yüzey altı yapısına etkisinin kritik olduğu bulgusuna varmışlardır (Fergani, Shao ve Liang, 2014).

Şahinoğlu ve arkadaşları Ø50×100 mm ölçüsündeki AA7075 alüminyum alaşımını kuru işleme şartlarında CNC Torna tezgâhında kaplamalı sement karbür kesici uçlar ile dört farklı ilerleme oranı, kesme hızı ve talaş derinliği kullanarak tornalamışlar ve bu parametrelerin iş mili titreşimi ile yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir. Bu deneylerde; Kesme hızı olarak 50-75-100-125 m/min, ilerleme hızı olarak 0,1-0,2-0,3-0,4 mm/rev, talaş derinliği olarak da 1-2-2,5-3 mm değerlerini kullanmışlardır. Yaptıkları deneysel çalışmaların sonucunda iş mili titreşimi ile yüzey pürüzlülüğü arasında bir korelasyon olduğunu ve artan iş mili titreşimi ile yüzey pürüzlülüğünün arttığını tespit etmişlerdir. Bu çalışmalarda en düşük işleme parametrelerinde iş mili titreşimi ve yüzey pürüzlülüğünün minimum olduğunu gözlemlemişlerdir. Yine bu çalışmalarda iş mili titreşimi ve yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli parametrenin ilerleme oranı olduğunu, kesme hızı ve talaş derinliğinin iş mili titreşimine ve yüzey pürüzlülüğüne önemli bir etkisinin olmadığını tespit etmişlerdir (Şahinoğlu, Karabulut ve Güllü, 2017).

Ağar, yapmış olduğu çalışmada AA 7075-T6 alaşımını torna tezgâhında kuru, geleneksel soğutma ve MQL soğutma şartlarında işlemiş ve bu şartların yüzey pürüzlülüğüne, takım aşınmasına etkilerini incelemiştir. Bu deneyleri CNC Torna tezgâhında, K10 kalite CCGT 120404FN-ALU ISO standart numaralı değiştirilebilir karbür kesici uç ile yapmışlardır. Geleneksel soğutmada 20 l/min debi ile ester yağından elde edilen sentetik yağ, MQL yağlama sisteminde ise 20 ml/h debili yağlama sistemi kullanmıştır. Yapılan deneylerde kesme parametreleri olarak, kesme hızını 125-150-175 m/min, ilerleme oranını 0,1-0,15-0,2 mm/rev, talaş derinliğini ise 0,75-1-1,25 mm olarak seçmiştir. Deneylerin sonucunda, kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinde iyileşmeler olduğunu gözlemlemiştir. Hem kuru işleme şartlarında, hem geleneksel soğutma ile işleme şartlarında hem de MQL ile işleme şartlarında yapılan testlerde en iyi ortalama yüzey pürüzlülük değerlerini 175 m/min kesme hızında, 0,1 mm/rev ilerleme oranında ve 0,75 mm talaş derinliğinde elde etmiştir. Sırası ile (kuru-geleneksel-MQL) Ra ortalama yüzey pürüzlülük değerini 1,564-1,073-0,962 µm olarak ölçmüştür. En düşük ortalama yüzey pürüzlülüğüne MQL ile işleme şartlarında ulaşmıştır. İlerleme oranı ve talaş derinliklerinin artması ile ortalama yüzey pürüzlülüğünün de arttığını gözlemlemiştir. Kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme oranının artması ile kesici

takım sıcaklığının arttığını ve kesici takımın daha çok aşındığını tespit etmiştir. En düşük takım aşınmasının ise MQL ile işleme şartlarında oluştuğunu tespit etmiştir (Ağar, 2014).

Kouam ve arkadaşları AA 7075-T6 alüminyum alaşımını kuru ve MQL şartlarında tornalama işlemine tabi tutmuşlar ve yüzey pürüzlülüğü ile talaş kalınlığını incelemişlerdir. Deneyleri CNC Torna tezgâhında, kaplamalı karbür kesici takım ile $\varnothing 150 \times 300$ mm ölçülerinde AA 7075-T6 malzeme üzerinde gerçekleştirmişlerdir. MQL ile işleme için, soğutucu-yaglayıcı olarak iki farklı debide 3 ml/min ve 1.75 ml/min akış hızında %15 su ile karıştırılmış Mecagreen 550 yağlayıcı soğutucu kullanmışlardır. Deneylerde işleme parametreleri olarak, kesme hızını 79–661 m/min, ilerleme oranını 0,0508–0,2845 mm/rev, talaş derinliğini ise 1 mm olarak almışlardır. Sonuç olarak çıkan talaş boyutlarının önemli ölçüde yağlama ve kesme koşullarına bağlı olduğunu, yüzey pürüzlülüğünün ise esas olarak ilerleme oranına bağlı olduğunu, ilerleme oranı hem kuru hem de MQL koşullarında arttırıldığında yüzey pürüzlülüğü parametrelerinin de arttığını gözlemlemişlerdir. Akış debisi 1.75 ml/min olan MQL yağlamanın, akış debisi 3 ml/min olan MQL yağlama ve kuru koşullara göre daha düşük yüzey pürüzlülüğü sağladığını gözlemlemişlerdir (Kouam, Songmene, Balazinski ve Hendrick, 2015).

Rotella yapmış olduğu deneysel çalışmada AA 7075-T6 alaşımını dört farklı soğutma yöntemi ile ve farklı parametrelerle tornalamış ve bu parametrelerin malzemenin yorulma dayanımına ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemiştir. Deneyleri CNC Torna tezgâhında, kaplamasız kesici uç ile 20 mm çapındaki AA7075-T6 alüminyum çubuklar üzerinde gerçekleştirmiştir. Yine bu deneyleri kuru şartlar altında, kriyojenik soğutma şartlarında, 60 ml/h debili MQL ile soğutma şartlarında ve yine 60 ml/h debili basınçlı hava ile soğutma şartlarında gerçekleştirmiştir. Deneyleri 0,15 mm/rev sabit ilerleme, 0,05 mm sabit talaş derinliğinde ve 90-120-150 m/min olarak üç farklı kesme hızında gerçekleştirmiştir. Deneylerin sonucunda, kriyojenik soğutma yöntemi ile gerçekleştirilen yüksek hızlı işleme parametrelerinin, daha güvenilir ve uzun ömürlü ürünlerin elde edilmesini sağladığı ve yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde azalttığını gözlemlemiştir. Deneysel sonuçlarla, en yüksek kesme hızının aynı zamanda yüzey pürüzlülüğü ve malzeme dayanımı açısından en iyi sonuçlar verdiğini tespit etmiştir. Yine deneylerde yüzey pürüzlülüğünün (iyiden kötüye doğru) sırasıyla kriyojenik soğutma-MQL yağlama-basınçlı hava ve kuru şartlarda oluştuğunu, en düşük yüzey pürüzlülüğüne kriyojenik soğutma şartlarında ulaşılırken, tüm

deneylerde en yüksek yüzey pürüzlülüğüne kuru işleme şartlarında ulaşıldığını gözlemlemiştir (Rotella, 2019).

Cagan ve arkadaşları AA 7075-T6 alüminyum alaşımını kuru işleme ve MQL ile işleme şartlarında tornalamışlar ve çıkan talaş geometrileri ile yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Deneyleri CNC torna tezgâhında, kaplamasız sert metal uç ile 48,5 mm çapında 350 mm boyunda AA 7075-T6 malzeme üzerinde gerçekleştirmişlerdir. MQL yağlama deneylerini 200 ml/h debiye sahip bir püskürtücü ile Bortex ALM-700 kesme yağı kullanmışlardır. Deneylerde işleme parametreleri olarak 400-450-500 m/min kesme hızları, 1 mm talaş derinliği ve 0,1 mm/rev ilerleme oranları kullanmışlardır. Deneylerin sonucunda MQL ile yapılan tornalama deneylerinde elde edilen iş parçasının yüzey kalitesinin kuru ortamdan daha iyi olduğunu gözlemlemiştir. Hem kuru hem de MQL işleme şartlarında, farklı kesme hızlarında gerçekleştirilen deneylerde elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinde önemli bir değişiklik olmadığı sonucuna varmışlardır. MQL ile tornalama işleminden sonra elde edilen talaşların kuru ortama göre daha uzun talaş geometrisine sahip olduğunu, bu durumun MQL ile işlemede üretilen ısının talaşla daha kolay tahliye edildiğini gözlemlemiştir. MQL işleme şartlarında yüzey pürüzlülük değerlerinin, kuru ortamlardan %15 daha düşük çıktığını, MQL ile işlemenin hem çevre dostu hem de daha iyi yüzey kalitesi sağlayan en iyi ve daha güvenilir ortam olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Cagan, Venkatesh ve Buldum, 2020).

Karabulut ve arkadaşları AA 7075 Alüminyum alaşımını üç farklı; kesme derinliği, kesme hızı ve ilerleme oranında frezelemişler ve bu parametrelerin takım aşınması ile kesme kuvvetlerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada kullandıkları parametreler, kesme derinliği 0,8-1-1,3 mm, kesme hızı 170-220-290 m/min, ilerleme hızı 0,08-0,1-0,13 mm/teeth olarak seçilmiştir. Bu çalışmada kesme hızının artmasının, kesme kuvvetlerine belli bir eşiğe kadar anlamlı bir etkisinin olmadığını, ilerleme oranı ve talaş derinliğindeki artışın ise kesme kuvvetlerini orantılı bir şekilde arttırdığını, fakat talaş derinliğindeki artışın ilerleme miktarındaki artışa oranla kesme kuvvetlerini daha fazla arttırdığını tespit etmişlerdir. Aynı çalışmada bu üç parametrenin (ilerleme oranı-kesme hızı ve talaş derinliği) takım aşınmasına etkisinde ise; kesme hızındaki değişimlerin (çok düşük kesme hızlarındaki BUE oluşumu hariç) takım aşınmasına önemli bir etkisinin olmadığını, ilerleme oranı ile kesme hızındaki artışların ise takım aşınmasını anlamlı bir şekilde arttırdığını gözlemlemiştir. Kesme hızının 170 m/min, ilerleme oranının 0,08 mm/teeth, kesme derinliğinin 0,8 mm olduğu

deneyde en düşük kesme kuvvetleri ve takım aşınmasına ulaşıldığını gözlemlemişlerdir (Karabulut, Çinici ve Karakoç, 2016).

Jomaa ve arkadaşları Alüminyum AA7075-T651 alaşımına kuru şartlarda tornalama, frezeleme ve delme işlemleri uygulamışlardır. Bu uygulamalarda 0,05 mm/rev ile 0,025 mm/rev ilerleme oranları ile 300-1000 m/min kesme hızları ve 2 mm talaş derinliği kullanmışlar ve bu işlemler sonucunda malzemenin yüzey kalitesini, kesici uçtaki built-up edge (BUE) ve built-up layer (BUL) oluşumlarını ve kesme gerilmelerini incelemişlerdir. Bu inceleme sonucunda ilerleme hızındaki artışın kesici takımındaki BUE oluşumunu arttırdığı, kesme hızındaki artışın ise BUE oluşumunu azalttığı sonucuna varmışlardır. Yine aynı çalışmada ilerleme hızı azaldıkça, kesme hızının hem eksenel hem de radyal kesme kuvvetlerine etkisinin arttığını; ayrıca kesme hızı arttıkça radyal kesme kuvvetlerinin, kesme hızı azaldıkça eksenel kesme kuvvetlerinin arttığı sonucuna varmışlardır (Jomaa, Songmene ve Bocher, 2014).

Rawangwong ve arkadaşları yarı katı olarak imal edilmiş AA 7075 alaşımına, karbür kesici takım ile yüzey frezeleme işlemi uygulamışlar ve yüzey pürüzlülüğü ile takım aşınmasını incelemişlerdir. Bu çalışmayı CNC Freze tezgâhında, 50×50×100 mm boyutlarında yarı katı AA 7075 malzeme üzerinde, Kennametal KEGT25L512 karbür kesici uç bağlı Ø63 mm yüzey freze çakısı ile gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde işleme parametreleri olarak 2500-2600-3200-3500-3800 devir sayıları, 1000-1300-1400-1500 mm/min ilerleme hızları, 0,5-1 mm talaş derinlikleri kullanmışlardır. Sonuç olarak; kesme hızı ve ilerleme hızının, yarı katı AA 7075 malzemenin yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde etkilediğini, daha yüksek devir sayısı ve daha düşük ilerlemenin yüzey pürüzlülüğünü azaltma eğiliminde olduğunu, en iyi yüzey pürüzlülüğünün 3800 rpm ve 1000 mm/min ilerleme hızında elde edildiğini, takım aşınmasına en çok etki eden parametrelerin devir sayısı ve ilerleme hızı/oranı olduğunu ortaya koymuşlardır (Rawangwong, Chatthong, Boonchouytan ve Burapa, 2014).

Durmuş, yapmış olduğu çalışmada AA 7075 alaşımını iki farklı kesici takım ile farklı kesme parametrelerinde işleyerek yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemiştir. Deneyleri üç eksenli, CNC Freze tezgâhında, Ø10, Ø12 ve Ø16 mm üç kesme kenarlı, 30° helis açısı bulunan TiAlN kaplamalı, düz karbür parmak freze ve yine aynı çaplarda aynı helis açılı 4 kesme kenarlı ACN (Alüminyum Krom Nitrür) kaplamalı küresel uçlu HSS parmak freze çakılarıyla, 250×175×70 mm boyutlarındaki AA 7075 malzeme üzerinde gerçekleştirmiştir.

Deneylerde kesme parametreleri olarak, düz uçlu karbür freze çakılarında 0,12 mm/rev ilerleme, 250 m/min kesme hızı ve 5 mm talaş derinliği ile küresel uçlu HSS parmak freze çakılarında 0,12 mm/rev ilerleme, 250 m/min kesme hızı ve 0,283 mm talaş derinliği uygulamıştır. Deney sonucunda, AA 7075 malzeme frezelere çakılarına sıvanarak BUE oluşturduğunu, bu sıvanmanın kesici çapına bağlı olarak farklılık gösterdiğini tespit etmiştir. Yüzey pürüzlülüğüne bakıldığında küresel uçlu kesicilerin, düz uçlu kesicilere oranla çok daha iyi sonuçlar verdiğini, en düşük yüzey pürüzlülük değerinin Ø16 mm küresel parmak freze çakısında elde edildiğini gözlemlemiştir. Fakat aynı hacimdeki talaşı işleme süreleri göz önüne alındığında küresel uçlu kesicilerin düz uçlu kesicilere göre 30-38 kat daha fazla zaman aldığını tespit etmiştir (Durmuş, 2019).

Sakthivelu ve arkadaşları yapmış oldukları Taguchi yöntemi ile tasarlanan deneysel çalışmada AA 7075-T6 alaşımını üzerinden HSS freze çakılarıyla, farklı parametreler ile talaş kaldırmışlar ve yüzey pürüzlülüğünü incelemiştir. Çalışmaları CNC Freze tezgâhında, yüksek hız çeliği (HSS) kesici ile 35×35×20 mm ölçülerindeki AA 7075-T6 malzeme üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalarda 1000-1500-2000-2500 rpm devir sayısı, 40-50-60-70 mm/min ilerleme hızı ve 0,2-0,4-0,6-0,8 mm talaş derinliği olmak üzere 4'er farklı işleme parametresi kullanmışlardır. Deneyler sonucunda, yüzey pürüzlülüğü için optimum işleme parametrelerine 30 mm/min ilerleme hızı, 2000 rpm devir sayısı ve 0,6 mm talaş derinliğinde ulaşmışlar ve $R_a=0,76 \mu m$ yüzey pürüzlülüğü elde etmişlerdir. (Sakthivelu, Anandaraj ve Selwin, 2017).

Arjun ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada AA 7075 alaşımını CNC Freze tezgâhında parmak freze çakılarıyla farklı parametrelerle işlemişler ve yüzey pürüzlülüğü ile talaş kaldırma miktarlarını incelemiştir. Deneyleri üç eksenli CNC Freze tezgâhında, 10 mm çapında 4 oluklu helisel karbür parmak freze çakısı ile 130×130×60 mm AA 7075 malzeme üzerinde gerçekleştirmişlerdir. İşleme parametreleri olarak ise 2000-3000-4000 rpm, 300-400-500 mm/min ilerleme hızı ve 0,25-0,50-0,75 mm talaş derinliği olmak üzere 3'er farklı parametre kullanmışlardır. Deneyler sonucunda, ilerleme hızı ve kesme derinliğindeki artışlarla yüzey pürüzlülüğünün hızla arttığını, yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli faktörün ilerleme hızı olduğunu ve en düşük yüzey pürüzlülük değerlerinin düşük ilerleme ve düşük talaş derinliğinde oluştuğunu tespit etmişlerdir (Arjun, Jaganbabu, Jayaprakasah, Kaviyarasu ve Gopalakrishnan, 2018).

Kuram ve Özçelik yapmış oldukları deneysel çalışmada AA 7075 malzeme üzerinde mikro frezeleme işlemleri uygulamışlar ve takım aşınması ile yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemişlerdir. Deneyleri CNC Freze tezgâhında, Ø800 µm çapında iki ağızlı küresel uçlu freze çakısı (CB3A 20080-040) ile 15×10×20 mm ölçülerinde AA 7075 alüminyum alaşımı üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde işleme parametreleri olarak, 10.000-11.000-12.000 rpm devir sayısı, 0,5-1-1,5 µm/teeth ilerleme değeri ve 50-75-100 µm talaş derinliği olmak üzere 3'er farklı parametre uygulamışlardır. Deneyler sonucunda, alüminyum malzemenin yüksek sünekliği sebebiyle iş parçası yüzeylerinde plastik olarak deforme olmuş malzeme kalıntıları gözlemlemişlerdir. Takım aşınmasını en aza indirmek için en uygun değerlerin 10.000 rpm iş mili hızı, 0,5 µm/teeth ilerleme değeri ve 50 µm talaş derinliği olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca iş mili hızı ve kesme derinliğinin artması ile takım aşınmasının arttığını da tespit etmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) için optimum parametrelerin 12,000 rpm iş mili hızı, 0,5 µm/teeth ilerleme değeri ve 50 µm talaş derinliği olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca yüzey pürüzlülüğünün; Artan iş mili hızı ile azaldığını, dış başına ilerleme değeri ve talaş derinliğinin artması ile de arttığını gözlemlemişlerdir (Kuram ve Ozcelik, 2013).

Rao ve Shin yaptıkları çalışmada AA 7075-T6 alaşımını iki farklı kesici ve farklı parametrelerle yüzey frezeleme işlemi uygulamışlar, talaş oluşumu ve yüzey pürüzlülüğü ile kesme kuvvetlerini incelemişlerdir. Deneyleri yüksek hızlı freze tezgâhında, karbür (Kennametal Seen 422J K313) ve kaplanmış elmas kesicilerle, kütük haldeki AA 7075-T6 malzeme üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Kesme işlemlerinde 518-1585 m/min arasında değişen beş farklı kesme hızı, 0,51-2,54 mm arasında değişen üç farklı talaş derinliği ve 0,1-0,38 mm/rev dış başına ilerleme parametrelerini kullanmışlardır. Deneylerin sonucunda, daha yüksek bir kesme hızının, daha ince bir talaş üretirken, çok düşük itme kuvvetlerine yol açtığını, ilerlemedeki artışın iş parçasında daha yüksek gerilmeler oluşturduğunu, kesme hızı ve talaş derinliğinin ise ters bir etki gösterdiği gözlemlemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğünün ise 1524 m/min'e kadar kesme hızında iyileştiğini, bunun üzerinde bozulma gösterdiğini, artan talaş derinliğinin ise yüzey pürüzlülüğünü biraz bozduğunu tespit etmişlerdir (Rao ve Shin, 2001).

Hernández ve arkadaşları AA 7075 alaşımını üç farklı soğutma yöntemi ve farklı işleme parametreleri ile delme ve frezeleme işlemine tabi tutmuşlar, şartların takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemişlerdir. Deneyleri kuru işleme ile, 30 bar ve -90

°C’de CO₂ kullanılarak kriyojenik işleme ile ve 8 bar’da basınçlı hava ile olmak üzere üç farklı soğutma yöntemi ile gerçekleştirmişlerdir. Deneyleri dik işleme merkezinde, Sumitomo 123508PEFR-S karbür sert metal uçlar ile gerçekleştirmişlerdir. Yine deneyleri kaba (950 m/min kesme hızı, 0,3 mm/rev ilerleme oranı) ve finish (950 m/min kesme hızı, 0,15 mm/rev ilerleme oranı) olmak üzere iki farklı işleme yöntemi ile işlemişlerdir. Deneylerin sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin, kriyojenik soğutma şartlarında beklendiği gibi daha iyi çıkmadığını, tüm deneylerde en kötü yüzeylerin kriyojenik soğutma şartlarında elde edildiğini gözlemlemişlerdir. Üç farklı soğutma sistemi karşılaştırıldığında, en iyi sonuçları kuru işleme şartlarında elde etmişlerdir. Alüminyum 7075 alaşımını işlemede, kriyojenik soğutma, takım aşınmasına ilişkin geleneksel soğutmaya kıyasla bazı iyileştirmelere katkıda bulunsa da, son işlem yüzeyi test sonuçlarına katıldığında, kuru işleme veya hava sıkıştırımlı işleme ile karşılaştırıldığında avantaj sağlamadığını belirtmişlerdir (Hernández, Ares, Martínez ve Nieto, 2017).

Hüseyinoğlu ve Tosun AA 7075 alaşımının frezelenmesinde, iki farklı bor yağlı solüsyon ile minimum miktarda soğutma (MQL) şartlarının yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir. Deneyleri Dik işleme merkezinde, 10 mm çapında parmak freze çakısı (HSS, TiN ve Karbür olmak üzere üç farklı kesici) ile 120×30×10 mm AA 7075 malzeme üzerinde gerçekleştirmişlerdir. İşleme parametreleri olarak ise, devir sayısını 260-780-1330 rpm, ilerleme hızını 20-40-80 mm/min, talaş derinliğini ise 1 mm olarak seçmişlerdir. MQL soğutma işleminde 1/10 ve 9/10 (bor yağı miktarı/karışım miktarı) oranında bor yağlı su karışımı kullanmışlardır. Sonuç olarak; 1/10 karışımlı MQL soğutma tekniğinde 9/10 karışımlı MQL’e kıyasla daha düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde etmişlerdir. Devir sayısı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığını, ilerleme hızı arttıkça ise yüzey pürüzlülüğünün arttığını gözlemlemişlerdir. Yüksek devir ve düşük ilerleme hızı altında yapılacak frezeleme işlemlerinin sonucunda, daha kaliteli yüzey elde edilebileceğini öngörmüşlerdir. Karbür freze çakıları ile yapılan deneylerdeki yüzey pürüzlülük değerlerinin, TiN ve HSS freze çakıları ile yapılan deneylerdeki yüzey pürüzlülük değerleri ile kıyaslandığında daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir (Hüseyinoğlu ve Tosun, 2009).

Tosun ve Hüseyinoğlu AA7075-T6 malzemeyi MQL ve geleneksel soğutma ile CNC Freze tezgâhında işleyerek yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Geleneksel soğutma sisteminde 1000 ml/min debi, MQL soğutma sisteminde ise 5 ml/min debiye sahip bor yağı-su solüsyonlu soğutma tertibatı kullanmışlardır. Deneyleri 10 mm çapında 30° helis açısına

sahip WC-Co Semente Karbür, HSS ve TiCN kaplı parmak freze çakıları ile gerçekleştirmişlerdir. Kesme parametreleri olarak devir sayısını 260-780-1330 rpm, ilerleme hızını 20-40-80 mm/min, talaş derinliğini ise 1 mm olarak seçmişlerdir. Deney sonucunda hem MQL hem de geleneksel soğutma koşullarında, artan iş mili hızının ve azalan ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğünü azalttığını tespit etmişlerdir. Geleneksel soğutma yöntemi ile işlemede, daha yüksek iş mili hızının daha yüksek yüzey pürüzlülüğüne yol açtığını, MQL soğutma ile işlemede ise, iş mili hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığını gözlemlemişlerdir (Tosun ve Huseyinoglu, 2010).

Kedare ve arkadaşları düşük sertlikteki çelik malzemeye frezeleme işlemi uygulamışlar ve MQL soğutma sisteminin finiş işleminde yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. Bu araştırmada MQL soğutma sistemi ile yapılan finiş işleme sonucunun, geleneksel soğutma sıvısı kullanılarak yapılan finiş işleme sonucuna kıyasla %27 ye kadar daha düşük yüzey pürüzlülüğü oluşturduğunu gözlemlemişlerdir. Aynı çalışmada, 225 m/min kesme hızı ile 0,3 mm kesme derinliğinde en hassas yüzey pürüzlülüğüne ulaşmışlardır. Bu çalışmaların sonuçlarında, MQL ile soğutma sisteminin yüzey pürüzlülüğü üzerine pozitif etkileri olmasının yanı sıra ekonomik ve çevreci bir soğutma sistemi olarak da kabul edilebilir olduğunu ortaya koymuşlardır (Kedare, Borse ve Shahane, 2014).

Çakır, yapmış olduğu çalışmada AA 7075 ve AA 2024 alaşımlarına karbür matkap ucu ile delik delme işlemi uygulayarak soğutma yöntemlerinin işleme performansına etkilerini incelemiştir. Deneyleri üç eksen CNC işleme merkezinde, $\varnothing 8 \times 80$ mm ölçülerinde iki ağızlı helisel kaplamasız karbür matkap uçları (içten soğutma kanallı) ile 25 mm kalınlığında AA 7075 ve AA2024 malzeme üzerinde gerçekleştirmiştir. Deneylerde kuru işleme, basınçlı hava ile soğutma, geleneksel soğutma ve minimum miktarda yağlama (MQL) ile soğutma olmak üzere 4 farklı soğutma yöntemi kullanmıştır. Yapılan deneylerde kesme parametreleri olarak, kesme hızını 100-125-150-175 m/min, ilerleme oranını 0,1-0,15-0,2-0,25 mm/rev olarak seçmiştir. Deneylerde aynı şartlarda gerçekleştirilen 30 delik tekrarı sonunda; geleneksel soğutma yönteminde ilk delikten son deliğe kadar ilerleme kuvvetlerinde (Ft) ve momentlerde takıma etkiyen kayda değer bir değişiklik olmazken, basınçlı havayla soğutma yönteminde ilk delikten son deliğe kadar takıma etkiyen kuvvetlerde % 40-50, momentlerde % 45-55 artış gözlenmiş, ortalama yüzey pürüzlülüğünde içten MQL uygulamada % 15-20, dıştan MQL uygulamada % 65-70, geleneksel soğutmada % 10-15, ve basınçlı havayla soğutmada % 40-45 civarında artış olduğu görülmüş, tüm sonuçlardaki artış miktarları içten

MQL ve geleneksel soğutmada düşük çıkarken, dıştan MQL ve basınçlı havayla soğutmada çok daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Farklı soğutma şartları, kesme parametreleri ve iş parçası malzemelerinin (aynı şartlarda 30 delik tekrarından elde edilen verilerin aritmetik ortalaması alınarak) hesaplanan ortalama sonuçlara etkisi karşılaştırıldığında; ilerleme miktarındaki artışın tüm çıktı parametrelerinde genelde artışa neden olduğu, ilerlemelerdeki %150 artışın ilerleme kuvvetlerinde %30-60, yüzey pürüzlüklerinde % 40-60, çaptan sapmalarda % 200 artışlara neden olduğu, kesme hızının çıktılarına etkisinin ise ilerlemeye göre daha belirsiz olduğu, çaptan sapma, dairesellikten sapma ve silindiriklikten sapma olmak üzere tüm geometrik tolerans sonuçlarının kesme hızının artışı ile artma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. Deliklerin yüzey pürüzlüğü ile takıma etki eden kuvvet ve momentlerde ise bu durumun aksine, kesme hızının artışı ile değerlerin azaldığı gözlemlenmiştir. Soğutma şartlarının yüzey pürüzlüğüne etkisine bakıldığında AA2024 alaşımında AA7075 alaşımına göre daha yüksek değerler gözlemlenmiştir. Kuvvet ve moment sonuçlarında ise tüm şartlarda AA7075 alaşımında AA2024 alaşımına göre daha düşük değerler gözlenirken, basınçlı havayla soğutma şartlarında bu farkın arttığı tespit edilmiştir. Optimum işleme şartlarının belirlenmesi için yapılan Sinyal/Gürültü (S/N) testlerinde geleneksel soğutma yöntemi ve 0,10 mm/rev ilerlemenin tüm çıktı parametrelerinde optimum şartlar olduğunu, yüzey pürüzlüğü sonuçlarında ise kesme hızının 150 m/min, ilerlemenin 0,10 mm/rev olduğu işleme şartlarında en düşük pürüzlülük elde edilmiştir (Çakır, 2015).

Kılıçkap ve arkadaşları AA 7075 alaşımına matkap ile kuru şartlarda, basınçlı hava ile ve MQL yağlama sistemi ile üç farklı yöntemle ve farklı kesme parametreleriyle delik delme işlemi uygulamış ve performanslarını incelemişlerdir. Deneyleri matkap tezgâhında, 8 mm çapında 118° uç açısına sahip HSS matkap uçları ile 120x30mm ebatlarında ve 10 mm kalınlığında AA 7075 alüminyum alaşımı üzerinde gerçekleştirmişler, 8 mm çapında ve 14 mm aralıkta delikler delmişlerdir. MQL yağlama ile yapılan deneyleri 40 ml/h debide bor yağı-su (1/10) karışımından oluşan solüsyonla uygulamışlardır. Yaptıkları deneylerde kesme parametreleri olarak 5-10-15-20 m/min kesme hızlarını ve 0,1-0,2-0,3 mm/rev ilerleme oranlarını seçmişlerdir. Deneylerin sonucunda, yüzey pürüzlülüğü bakımından MQL tekniğinin basınçlı hava ve kuru işlemeden sırasıyla %8 ve %66 daha iyi bir performans gösterdiğini ve MQL tekniğindeki yüzey pürüzlülüğünün diğer soğutma tekniğinde meydana gelen yüzey pürüzlülüğünden daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. İlerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin de arttığı, tüm soğutma yöntemlerine ilişkin yapılan

deneylerde, yüzey pürüzlülüğünün kesme hızının artmasıyla azaldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca en iyi yüzey pürüzlülüğünü 20 m/min kesme hızında ve 0,1 mm/rev ilerleme oranında elde etmişlerdir (Kilickap, Huseyinoglu ve Ozel, 2011).

Khettabi ve arkadaşları AA 7075, AA 6061 ve AA2024 alüminyum alaşımlarını, kuru ve MQL şartlarında frezeleme işlemi uygulamışlar ve bu uygulamaların yüzey pürüzlülüğü ile partikül emisyonuna etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları deneysel çalışmayı, yüksek hızlı üç eksenli CNC dik işleme merkezinde, kaplamasız karbür kesici takımlar ile 120×85×50 mm boyutlarında hazırlanmış olan 7075, 6061 ve 2024 alüminyum alaşımları üzerinde gerçekleştirmişlerdir. MQL ile yapılan deneyleri, 7-14-21-28 mm³/h olarak 4 farklı debide gerçekleştirmişlerdir. İşleme parametreleri olarak ise 0,055 mm/rev ilerleme miktarı, 300-1500 m/min kesme hızları ve 1 mm talaş derinliği uygulamışlardır. Deneylerin sonucunda, genel olarak, kesme hızı arttığında yüzey pürüzlülüğünün azaldığını, bazı durumlarda özellikle 7075 ve 6061 alüminyum alaşımları için 900 m/min kesme hızı çevresinde dalgalanmalar olduğunu gözlemlemişlerdir. Çok yüksek kesme hızında, farklı kesme koşulları ve test edilen tüm alaşımlar için minimum pürüzlülük değerine yaklaştığını, MQL yağlama sisteminin sadece düşük kesme hızları üzerinde önemli etki oluşturduğunu tespit etmişlerdir. MQL akış debisindeki artışın 300 m/min kesme hızı için yüzey pürüzlülüğünde iyileşme sağladığını, ancak çok yüksek kesme hızlarında hem kuru hem de MQL şartlarında pürüzlülük değerlerinin birbirine yakın çıktığını tespit etmişlerdir. Ayrıca MQL sisteminin akış debisinin artması ile kesme işlemi sırasında partikül emisyonunu arttırdığını ve kuru işleme şartlarının partikül emisyonu bakımından daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir (Khettabi, Nouioua, Djebara ve Songmene, 2017).

Bankar ve arkadaşları AA 7075 alüminyum alaşımını kuru şartlarda, geleneksel soğutma yöntemi ile ve MQL soğutma şartlarında, farklı kesme parametrelerinde frezelemişler ve kesme bölgesindeki sıcaklık ile yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Deneyleri üç eksenli CNC Freze tezgâhında, 6 mm çapında karbür parmak freze çakıları ile 210 ×150×16 mm ebatlarındaki AA 7075 malzeme üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde kullandıkları işleme parametreleri ise 8000-10000-12000 rpm devir sayısı, 400-600-800 mm/min ilerleme hızı ve 0,05-0,15-0,25 mm talaş derinliğidir. Deneyler sonucunda, MQL ile işlemenin en iyi işleme yöntemi olduğunu, çünkü talaş kaldırma işlemini kolaylaştırmanın yanı sıra yüzey kalitesini de geliştirdiğini gözlemlemişlerdir. MQL ile işleme şartlarında ortalama yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sıcaklığının; Kuru işlemeye göre sırasıyla %26 ve %10, geleneksel

soğutmaya göre sırasıyla %14 ve %5 azalttığını tespit etmişlerdir (Bankar, Shelke ve Irfan, 2019).

Yazid ve arkadaşları AA 7075-T6 alüminyum alaşımının MQL ile işleme şartlarında, işleme parametrelerinin frezeleme üzerindeki (takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğüne) etkilerini araştırmışlardır. Yaptıkları deneysel çalışmaları beş eksenli CNC Freze tezgahında, kaplanmış karbür kesici takımlar ile 300×150 mm ölçülerinde 40 mm kalınlığında AA 7075-T6 kütük malzeme üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde kesme parametreleri olarak 500-600 m/min kesme hızları, 0,12 - 0,15 mm/teeth diş başına ilerleme hızları ve 1,4 - 1,7 mm talaş derinlikleri kullanarak 8 deney gerçekleştirmişlerdir. Deneyler sonucunda en kısa takım ömrüne en yüksek kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliğinde ulaşıldığını ve kesme hızının takım ömrünü en fazla etkileyen parametre olduğunu tespit etmişlerdir. Yapılan farklı parametrelerdeki deneylerde ortalama yüzey pürüzlülüğünü (Ra) 0,569 – 0,803 μm arasında ölçmüşlerdir. Deneylerde 600 m/min kesme hızında, 0,12 mm/teeth ilerleme değerinde ve 1,40 mm eksenel kesme derinliğinde $Ra=0.569 \mu\text{m}$ ile en düşük yüzey pürüzlülük değerini elde etmişlerdir. Yine deneyler sonucunda, ilerleme hızı ve talaş derinliğinin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığını, kesme hızının artması ile ise yüzey pürüzlülüğünün azaldığını gözlemlemişlerdir (Yazid, Zainol ve Mustapaha, 2019).

Kulkarni ve arkadaşları AA 7075-T6 alaşımına üç farklı soğutma tekniği ile ve farklı kesme parametreleri ile frezeleme işlemi uygulamışlar ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemişlerdir. Deneyleri dik işleme merkezinde, 12 mm çapında dört oluklu kaplamasız karbür parmak freze çakıları ile 300×200×10 mm ebatlarındaki AA 7075-T6 malzeme üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Deneyleri kuru şartlarda, MQL ile ve nano partikül ilaveli MQL ile soğutma şartlarında yapmışlardır. Kesme parametreleri olarak ise 3000-4000-5000-6000-7000 rpm devirler, 95-105-110-115-125 mm/min ilerleme hızları ve 0,5-1-1,3-1,6-2 mm talaş derinlikleri seçmişlerdir. Deneylerin sonucunda aynı kesme parametrelerinde genel olarak en iyi yüzey pürüzlülüğünün MQL ile işleme şartlarında meydana geldiğini, yüzey pürüzlülüğüne en fazla etkiyi devir sayısının oluşturduğunu ve devir sayısının artması ile yüzey pürüzlülük değerinin azaldığını, ilerleme ve talaş derinliğinin artışının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin ise farklılıklar gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğünün kuru şartlarda en kötü sonucu verdiğini tespit etmişlerdir. İş parçası üzerinde oluşan sıcaklıklara bakıldığında ise nano partikül ilaveli MQL soğutucunun en iyi, kuru

işleme şartlarının ise en kötü sonucu verdiğini gözlemlemişlerdir (Kulkarni, Nadakatti, Kulkarni ve Kulkarni, 2020).

Escalona ve Maropoulos farklı uç radyüslerine sahip kare sert metal uçlar ile AA 7075-T7351 alüminyum alaşımını farklı parametrelerde frezelemişler ve bu şartların yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemişlerdir. Deneyleri 5 eksenli yüksek hızlı CNC dik işleme merkezinde, kaplamasız SDHT 120508FR-ALP CWK26 (0,8 mm uç radyüslü) ve SDHT 120525FR-ALP CWK26 (2,5 mm uç radyüslü) kesici uçların bağlandığı iki kesicili 32 mm çapında freze çakısı ile 333,3×76,2×31,75 mm ölçülerindeki iş parçası üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Tüm deneylerde MQL soğutucu kullanmışlardır. Deneylerde kesme parametreleri olarak 600-800-1000-1200-1400-1600 m/min kesme hızları, 0,1-0,2-0,3 mm/teeth diş başına ilerlemeler ve 3-3,5-4 mm talaş derinlikleri kullanmışlardır. Deneylerin sonucunda; kesici uç yarıçapı 2,5 mm kesici takım ile yapılan tüm deneylerin yüzey pürüzlülüğü 0,8 mm uç yarıçapına sahip kesici takımla yapılan deneylerden daha düşük çıktığını; düşük ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğünü iyi yönde etkilediğini gözlemlemişlerdir. En düşük yüzey pürüzlülüğüne ($R_a=0,328 \mu\text{m}$) 2,5 mm uç yarıçaplı kesici ile 800 m/min kesme hızında, 0,1 mm/teeth diş başına ilerleme ile 3,5 mm talaş derinliğinde ulaşıldığını gözlemlemişlerdir. En yüksek yüzey pürüzlülüğüne ise ($R_a=1,472 \mu\text{m}$) 0,8 mm uç yarıçaplı kesici ile 600 m/min kesme hızında, 0,3 mm/teeth diş başına ilerleme ile 4 mm talaş derinliğinde ulaşıldığını gözlemlemişlerdir (Muñoz-Escalona ve Maropoulos, 2015).

Birmingham ve arkadaşları Ti-6Al-4V alaşımını fırında ön ısıtma yaptıktan sonra, CNC Torna tezgâhında oksii asetilen alev kaynağı ile ısıtarak, termal destekli işlemeye tabi tutmuşlar ve bu işleme şartlarının, kesme kuvvetleri ile takım ömrüne etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada Ti-6Al-4V alaşımını ön ısıtma fırınında 150, 250 ve 350 °C olmak üzere üç farklı sıcaklık derecesinde termal dengeye ulaşana kadar ısıtmışlardır. Bu ısıtma işleminden sonra, iş parçasını CNC torna tezgâhına bağlayarak, ısıtma tertibatı ile ısıtarak, CNMX ve WNMG kesici uçlarla tormalama işlemini gerçekleştirmişlerdir. CNMX kesici takım için ilerleme hızını 0,1 – 0,3 mm/rev, talaş derinliğini 0,5 – 3 mm ve kesme hızını da 50 - 145 m/min olarak, WNMG kesici takım için ise ilerleme oranını 0,07 – 0,23 mm/rev, talaş derinliğini 0,8 – 6 mm ve kesme hızını da 45 - 150 m/min olarak uygulamışlardır. Yapılan deneysel çalışmanın sonucunda Termal destekli işlemin kesme kuvvetlerini azalttığını, özellikle 350 °C de ön ısıtmaya tabi tutulan iş parçası deneyinde,

kesme kuvveti bileşenlerinin %30'a kadar azaldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca, termal destekli işlemenin takım ömründe pek iyileşme sağlamadığını hatta bazı durumlarda takım ömrünü önemli ölçüde azalttığını tespit etmişlerdir. Ön ısıtma sıcaklığı 350 °C olan termal destekli işleme deneyinde en kısa takım ömrünü (oda sıcaklığındaki kuru şartlarda işleme dâhil) elde etmişlerdir. Ön ısıtma sıcaklığı 150 ve 250 °C olan termal destekli işleme deneylerinde ise takım ömründe %7'ye kadar bir iyileşme tespit etmişlerdir. Fakat bu takım ömrü iyileşmelerinin, soğutucu kullanılarak yapılan deneylerdeki %235'lik iyileşmelerin yanında önemsiz olduğu neticesine varmışlardır (Birmingham ve diğerleri, 2012).

Baek ve arkadaşları AISI 1045 ve Inconel 718 malzemeyi beş eksen CNC freze tezgâhında, geleneksel işleme şartlarında, indüksiyonlu termal işleme şartlarında ve lazer destekli termal işleme şartlarında ön ısıtma yaparak işlemişler ve bu şartların kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasına etkisini incelemişlerdir. Bu deneylerde; beş eksenli Hyundai işleme merkezi, 1 kW lazer diyot, 6 kW yüksek frekanslı indüksiyon ısıtıcı, 400-3000 °C ölçüm aralığına sahip sıcaklık ölçer ve 8 mm çapında karbür parmak freze çakısı kullanmışlardır. Bu deneylerde kesme parametreleri olarak; 120 mm/min ilerleme hızı, dört farklı devir sayısı (3000-4000-5000-7000 rpm), ve altı farklı talaş derinliği (0,1-0,2-0,3-0,5-0,7-1,2 mm) kullanmışlardır. Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda, kesme kuvvetlerinin indüksiyonlu termal işleme şartlarında, geleneksel işleme şartlarına göre %83'e kadar azaldığını gözlemlemişlerdir. Lazer destekli termal işleme şartlarındaki kesme kuvvetlerinin ise indüksiyonlu termal işleme şartlarına oranla %67'ye kadar azaldığını gözlemlemişlerdir. Lazer destekli termal işleme ile indüksiyonlu termal işleme şartlarında takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğünün geleneksel işleme şartlarına kıyasla büyük oranda iyileştiğini tespit etmişlerdir. Bu sonuçlara bağlı olarak, lazer destekli termal işleme ile indüksiyonlu termal işleme şartlarının takım ömrünü ve yüzey pürüzlülüğünü azaltmak için daha etkili yöntemler olduğunu değerlendirmişlerdir. Bu deneylerde kullanılan indüksiyonlu termal işleme düzeneğinin kurulum maliyeti, lazer destekli termal işleme düzeneğinin kurulum maliyetinin yaklaşık onda birine denk geldiği düşünüldüğünde indüksiyonlu termal işleme yönteminin daha etkin bir yöntem olacağını düşünmektedirler (Baek, Woo ve Lee, 2018).

Moon ve Lee AISI 1045 ve Inconel 718 malzemeyi CNC freze tezgâhında, geleneksel işleme (CM) şartlarında, lazer destekli termal işleme (LAM) şartlarında ve plazma destekli termal işleme (PAM) şartlarında ön ısıtma yaparak işlemişler ve bu şartların kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasına etkisini incelemişlerdir. Deneylerde; CNC Freze

makinesi, 1 kW yüksek güçlü lazer diyot, 2 kW plazma torcu, kesici takım olarak TiAlN kaplamalı 6 mm parmak freze çakısı ile işlemek için 25×25×60 mm boyutlarında AISI 1045 ve Inconel 718 malzeme kullanmışlardır. Yapılan ön deneylerle plazma torcunun ısıtılacak iş parçasına olan açısını belirlemişlerdir. Bu ön deneylerde plazma torç kafasını malzeme ile 35-55-70° lik üç farklı açıda denemişler ve en verimli açı olarak 70° lik açıyı belirlemişlerdir. Yine deneylerde ön ısıtma sıcaklıkları olarak AISI 1045 için 700 °C, Inconel 718 için 900 °C sıcaklıklar belirlenerek uygulamışlardır. Deneylerde kesme parametreleri olarak 0,3 mm talaş derinliği, 100 mm/min ilerleme hızları ile AISI 1045 için 3000-4000-5000 rpm devir sayıları, Inconel 718 için 6000-7000-8000 rpm devir sayıları kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda, PAM şartlarında AISI 1045 çeliği için, kesme kuvveti CM ve LAM ile karşılaştırıldığında %61 ve %15'e kadar düştüğünü gözlemlemişlerdir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü CM ve LAM ile karşılaştırıldığında %79 ve %5'e kadar iyileştiğini tespit etmişlerdir. Devir sayısı arttıkça, kesme kuvvetinin azaldığını ve tüm yöntemler için yüzey pürüzlülüğünün iyileştiğini tespit etmişlerdir. Inconel 718 için PAM ile kesme kuvvetinin CM'ye kıyasla %57'ye kadar azaldığını ve yüzey pürüzlülüğünün %82'ye kadar iyileştiğini, ancak, LAM ile karşılaştırıldığında kesme kuvvetinin %9'a, yüzey pürüzlülüğünün %4'e kadar arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca PAM ve LAM şartlarında takım ömrü ve işlenmiş malzeme yüzeyi açısından mükemmel etkiler oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Bununla birlikte, plazma ısı kaynağının maliyeti LAM'ın maliyetinden çok daha düşük olduğunu, bu nedenle PAM'ın daha verimli bir termal destekli işleme yöntemi olabileceğini ortaya koymuşlardır (Moon ve Lee, 2018).

Kim ve Lee, 20×20×50 mm ölçülerindeki Inconel 718 malzemeyi klasik işleme, lazer ile ön ısıtma yaparak işleme (LAM) ve indüksiyon ile ön ısıtma yaparak işleme (IAM) olarak üç farklı yöntemle frezelemişler ve toplam güç tüketimi ile yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Deneyleri CNC işleme merkezinde, 12000 rpm devirde, 100-150-200 mm/min ilerleme hızlarında, 0,25-0,50 mm kesme derinliklerinde, 10 mm çapında 4 ağızlı TiN kaplı karbür kesici takım kullanarak yapmışlardır. Lazer ısıtma için 1 kW lazer diyotu kesici takımın 5 mm önüne, indüksiyon ısıtma için ise 6 kW gücünde yüksek frekanslı ısıtıcıyı da 3 mm önüne yerleştirerek deneyleri yapmışlardır. Deneyler sonucunda, klasik işlemeye göre LAM'ın %32'ye kadar, IAM'ın ise %66'ya kadar daha fazla güç tükettiğini tespit etmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğünün ise LAM'da %51'e kadar, IAM'da ise %32'ye kadar iyileşme tespit etmişlerdir. Güç tüketimindeki artışla işlenebilirliğin geliştiği, LAM ve IAM'ın, verimli işleme yöntemleri olarak doğrulandığı, lazer ısı kaynağının maliyetinin,

indüksiyonlu ısı kaynağının maliyetinden yaklaşık 10 kat daha fazla olduğu ve LAM'ın güç tüketimi ve işlenebilirlik açısından IAM'den daha verimli bir yöntem olduğu sonucuna varmışlardır (Kim ve Lee, 2020).

Woo ve Lee, Inconel 718 malzemeyi çoklu ısı kaynakları ile ön ısıtma uygulayarak kuru işleme şartlarında işlemişler ve bu işlemlerin takım ömrü ile yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir. Ön ısıtma için, çoklu ısı kaynağı olarak 3 mm çapında lazer modülü ve 12 mm çapında indüksiyon birlikte kullanılmıştır. Isı kaynakları ile kesici takım arasında 3-7 mm arasında farklı mesafelerde deneyler yapmışlardır. Testler için beş eksen CNC işleme merkezi, kesici takım olarak ta 8 mm çapında sementit karbür parmak freze çakısı kullanmışlardır. Kesme parametreleri olarak ise 850 rpm devir sayısı, 120 mm/min ilerleme hızı ve 0,3 mm talaş derinliği uygulanmıştır. Deneylerin sonucunda; lazer ısı kaynağı tarafından üretilen yetersiz ön ısıtmanın, bir indüksiyonlu ısı kaynağı kullanılarak desteklendiğinde takım ömrünü yaklaşık %70,2 oranında iyileştirdiğini, kesici takım ile ön ısıtma kaynakları arası mesafenin artması ile takım ömrünün önemli ölçüde iyileştiğini, yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde ise çoklu ısı kaynaklarıyla yapılan TAM deneylerinin tek bir ısı kaynağı TAM ve geleneksel kuru işleme deneyleriyle karşılaştırıldığında daha düşük yüzey pürüzlülüğü elde edilebileceğini ortaya koymuşlardır (Woo ve Lee, 2019).

Jeong ve Lee, Inconel 718 malzemeyi geleneksel frezeleme, lazer ile ön ısıtma ile frezeleme ve lazer ışını ile kesici arasına ısı kalkanı kullanarak frezeleme olmak üzere 3 farklı yöntemle işlemişler ve bu yöntemlerin kesme kuvvetleri, takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemişlerdir. Lazer ısı kaynağının çapı 3 mm olup, ön ısıtma sıcaklığını 900 °C civarında uygulamışlardır. Kesici takım olarak, 8 mm çapında tungsten karbür parmak freze çakısı kullanılmıştır. Lazer ışını ile kesici takım arasına ısı kalkanı olarak 3 mm AISI 304 kalite paslanmaz çelik kullanılmıştır. İşleme parametreleri olarak ise 850 rpm devir, 120 mm/min ilerleme ve 0,3 mm kesme derinliği seçilmiştir. Deneyler sonucunda; kesme kuvvetinin, geleneksel işlemeye göre LAM ile işlemede %28,4, ısı kalkanlı LAM yöntemi ile işlemede %37,3 azaldığını, takım ömrünün geleneksel işlemeye göre aynı sıra ile %50,4 ve %78,3 arttığını, yüzey pürüzlülüğünün ise geleneksel işlemeye göre her iki yöntemde de %39'un üzerinde azaldığını tespit etmişlerdir (Jeong ve Lee, 2021).

Alkali ve arkadaşları, AISI 316L malzemeyi freze tezgahında geleneksel işleme yöntemi ve Oksi asetilen ısı kaynağı kullanılarak TAM yöntemi ile frezelemişler ve bu yöntemlerin

kesici takım ömrü ile yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemişlerdir. Deneyleri 40 mm çapında kaplamasız WC-CO karbür parmak freze çakısı ile 60×52×12 mm ölçülerinde malzemeyi iki farklı kesme hızında (125, 79 m/min), iki farklı ilerlemede (160, 100 mm/min) ve 1 mm kesme derinliğinde frezeleme işlemi ile yapmışlardır. Torcun malzeme üzerindeki alev noktası çapını 20±2 mm olarak ayarlamışlardır. Deneyler sonucunda TAM ile yapılan deneylerde, kesici takım ömrünün arttığını ve yüzey pürüzlülüğünün azaldığını tespit etmişlerdir (Alkali, Ginta, Abdulrani, Fawad ve Danish, 2016).

2.1. Literatür Değerlendirmesi

Yapılan deneysel çalışmalar incelendiğinde, tüm deneylerde ilerleme hızının azalması ile ortalama yüzey pürüzlülük değerinin (Ra) azaldığı, en düşük yüzey pürüzlülük değerine, en düşük ilerleme hızlarında ulaşıldığı görülmektedir. Deneyler 0,08 mm/rev ile 0,12 mm/rev arasındaki ilerleme hızlarında, en iyi yüzey pürüzlülük değerlerine ulaşıldığı sonucunu ortaya koymaktadır. Kesme hızı ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelendiğinde, ilerleme hızındaki gibi çok anlamlı bir sonuç tespit edilememiştir. İstisnaları olmakla birlikte genel olarak, kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, talaş derinliğinin artması ile yüzey pürüzlülüğünün de arttığı sonucuna varılmıştır. AA 7075 Alüminyum alaşımının işlenmesinde, kesme hızı, ilerleme oranı/hızı ve talaş derinliğindeki değişimlerin yüzey pürüzlülüğüne etkisi tüm deneylerde gözlemlenmektedir. Fakat bu parametrelerden hangisinin yüzey pürüzlülüğüne daha çok etki ettiği hususunda, deneyler farklı sonuçlar ortaya koymaktadır.

Kesme derinliğinin artmasıyla işleme bölgesinde sıcaklığın arttığı, artan ısının işlenen malzemede tane büyümesine ve tane büyümesinin de malzemenin yumuşamasına yani sertliğin azalmasına sebep olduğu da araştırmalarda belirtilmektedir.

Yapılan çalışmalarda iş mili titreşimi ile yüzey pürüzlülüğü arasında bir korelasyon olduğu ve artan iş mili titreşimi ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı belirtilmektedir. Deneysel çalışmalarda en düşük işleme parametrelerinde iş mili titreşimi ve yüzey pürüzlülüğünün minimum olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar incelendiğinde, en kısa takım ömrüne en yüksek kesme hızı, ilerleme oranı/hızı ve talaş derinliğinde ulaşıldığı ve kesme hızının bu parametreler içinde

takım ömrünü en fazla etkileyen parametre olduğu söylenebilir. Yine işlenen parçanın sertliğinin de takım ömrüne ciddi etki ettiği, artan iş parçası sertliğinin takım ömrünü azalttığı da araştırmalarda geçmektedir.

AA 7075 alaşımı ile ilgili yapılmış olan farklı deneylerin bulguları incelendiğinde, kuru işleme ile MQL işleme şartlarında kesici takım yan yüzey aşınmasının benzer sonuçlar vermesine karşın, MQL ile frezelemenin kuru işlemeye ve basınçlı havaya göre kesici takım ömrünü arttırdığı ve işleme maliyetlerini düşürdüğü anlaşılmaktadır. Yine MQL ile soğutma sisteminin yüzey pürüzlülüğü üzerine pozitif etkileri olduğu da incelenen çalışmalarda görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrüne etkileri bakımından, MQL soğutma ile geleneksel soğutma arasında herhangi birini öne çıkaracak net bulgular ortaya konulamamaktadır. Yüzey pürüzlülüğüne etkileri açısından, bazı deneylerde geleneksel soğutma şartları ön plana çıkarken, bazı deneylerde ise MQL ile soğutma şartlarının ön plana çıktığı belirtilmektedir. Geleneksel soğutma ile MQL soğutma, takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü bakımından benzer sonuçlar ortaya koysa da, geleneksel soğutma şartlarının üretim maliyetlerine olumsuz etkileri (depolanması, nötralize edilmesi gibi) insan sağlığına ve çevreye verdiği zararlar düşünüldüğünde, MQL yağlama sisteminin daha verimli bir sistem olduğu üzerinde durulan bir husustur.

Genel olarak alüminyum alaşımlarını işlemede karşımıza çıkan BUE oluşumu, AA 7075 alaşımının işlenmesinde de önemli bir etken olarak araştırmalarda geçmektedir. İlerleme hızındaki artışın kesici takımdaki BUE oluşumunu arttırdığı, kesme hızındaki artışın ise BUE oluşumunu azalttığı da deneylerde ortaya çıkmaktadır. Frezeleme işlemlerinde, malzemenin freze çakılarına sıvanarak BUE oluşturduğunu, bu sıvanmanın kesici çapına bağlı olarak farklılık gösterdiğini de yapılmış bazı deneyler ortaya koymaktadır. Bununla birlikte işlemede kullanılan yağlama sistemlerinin BUE oluşumunu azaltmakta olduğu da araştırmalarda geçmektedir.

AA 7075 alaşımının Termal Destekli İşlenmesi üzerine yapılan bir çalışmaya rastlanmamıştır. TAM ile daha çok yüksek alaşım çelikler (Inconel 718, Ti-6Al-4V vb.) ile bazı yüksek dayanıma sahip çelikler (AISI 1045 vb.) üzerine çalışmalar yapıldığı görülmüştür. Yapılan çalışmalar, TAM ile işlemenin kesme kuvvetlerini önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. TAM'ın yüzey pürüzlülüğüne etkileri ile ilgili bazı çalışmalar iyi sonuçlar ortaya koysa da, anlamlı sonuçlar çıkarmak için daha fazla deneysel çalışmalara

ihtiyaç olduğu düşünülmektedir. TAM ile işlemede, İndüksiyonlu Termal İşleme (IAM), Plazma Destekli Termal İşleme (PAM) ve Lazer Destekli Termal İşleme (LAM) üzerinde çalışmalar incelenmiştir. Bazı deneylerde TAM’da çoklu ısı kaynaklarının birlikte (LAM-IAM gibi) kullanıldığı ve daha iyi sonuçlar elde edildiği de belirtilmiştir. TAM ile yapılan deneylerde kullanılan ısı kaynaklarının karşılaştırılması sonucunda, IAM’a oranla PAM ve LAM uygulamalarının kesme kuvvetleri ve yüzey kalitesine etkileri bakımından daha iyi sonuçlar ortaya koyduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte IAM ve PAM düzeneklerinin, LAM’ın yaklaşık onda biri maliyetine kurulabildiği yine deneysel çalışmalarda ortaya konmuştur.

İncelenen deneysel çalışmalarda görüldüğü gibi, termal destekli işleme yöntemi ile yüksek alaşımlı çeliklerin işlenmesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Yaptığımız araştırmalarda mukavemeti yüksek Alüminyum alaşımları üzerinde termal destekli işleme ile pek çalışma yapılmadığı görülmektedir. Yapılacak olan bu çalışma ile uzay ve havacılık endüstrisinde sıkça kullanılan, yüksek mekanik özelliklere sahip AA7075-T6 alaşımının termal destekli olarak freze tezgâhında minimum yağlama (MQL) ile birlikte işlenebilirliği araştırılmıştır. AA7075-T6 alaşımının termal destekli işlenmesinin yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasına etkisi incelenmiştir.

3. FREZELEME İŞLEMLERİ

Frezeleme işlemi, bir veya daha fazla kesiciye sahip bir kesici takım ile aralıklı bir kesme işlemidir. Bir freze çakısı dönen bir iş miline bağlanarak, tablaya sabitlenmiş iş parçası kesiciye doğru doğrusal olarak hareket ettirilir. Bu nedenle her kesici uç, geçiş aralığında değişen ancak periyodik talaş kalınlığı üreten trokoidal bir yol izler (Altıntaş, 2012).

3.1. Frezeleme İşlemlerinde Kesici Takımlar

Kesici takımlar genel olarak bir aktif kesici kenara sahip tek noktalı takımlar ve birden fazla aktif kesme kenarına sahip çok noktalı, çok işlevli veya çok görevli takımlar olarak sınıflandırılabilir. Tek noktalı takımlar genellikle tornalama ve delik işleme için kullanılırken, çok noktalı takımlar delme, frezeleme ve özel amaçlı işleme için kullanılır (Stephenson ve Agapiou, 2016).

Frezeleme kesintili bir talaş kaldırma işlemi olup, kesici uçlar fener milinin her dönüşünde iş parçasına girip çıkar. Kesintili kesme işlemi, kesici uçları her dönüşte bir çarpma kuvveti ve ısı şok çevrimine uğratar. Kesici takım malzemesi ve geometrisi bu şartlarda gerekli dayanımı gösterecek şekilde tasarlanmalıdır (ŞAH, 2018).

Herhangi bir kesici takım malzemesinin işlevini yerine getirmek için sahip olması gereken bazı temel özellikler vardır. Bunlar:

- Aşınmaya karşı göstereceği direnç
- Kesme bölgesinde oluşan ısının üstesinden gelmek için gerekli ısı dayanımı
- İşleme sırasında meydana gelen herhangi bir titreşime dayanacak yeterli tokluk

Bu temel özelliklere az ya da çok sahip olan ve günümüzde kullanılan kesici takım malzemeleri:

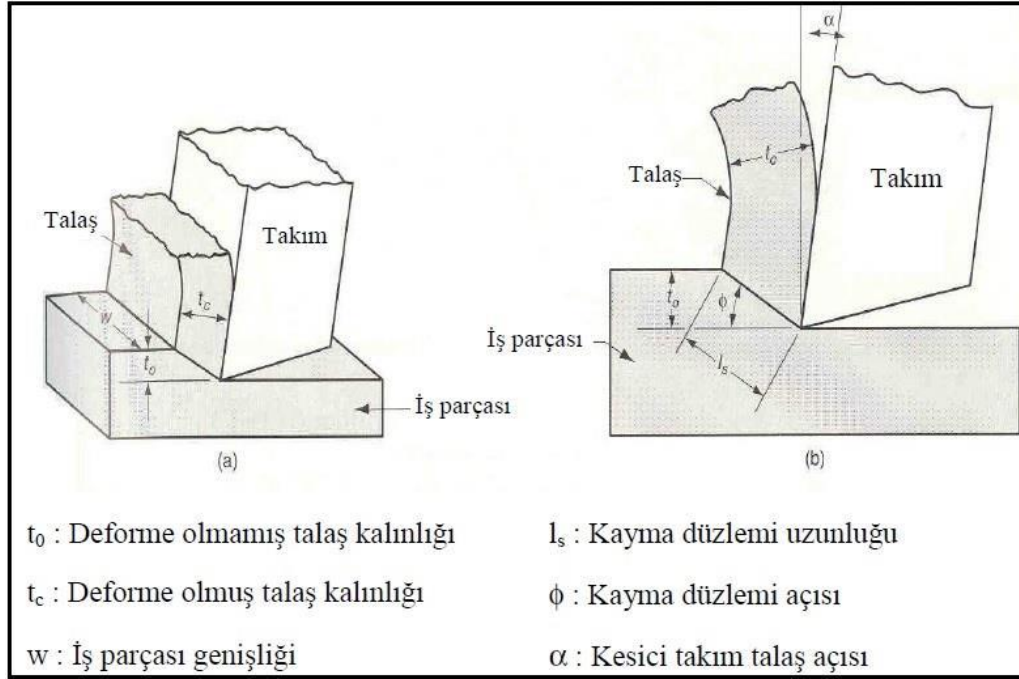
- Yüksek Hızlı Çelikler
- Stellite
- Sert metal uçlar
- Sermetler
- Seramik

- Kübik Bor Nitrür (CBN)
- Polikristalin Elmas (PCD)

Bu sıralama Sert metal uçlar hariç, sertlik sırasına göre listelenmiştir. Sert metal uçlar çok geniş bir sertlik aralığına sahip olduklarından sıralaması değişkenlik göstermektedir. Genel olarak artan sertlik, toklukta azalmayı beraberinde getirir. Bu nedenle daha yüksek sertliğe sahip malzemeler, işleme esnasında kesintilere neden olan deliklere veya yuvalara sahip iş parçalarında ve düşük kesme hızlarında kullanılırsa kesici uçta kırılmalar olur (R. Edwards, 1993).

3.2. Frezede Talaş Kaldırma

Talaşlı imalat yönteminde, talaş mekaniği ve talaş oluşumu için yapılan çalışmalarda genellikle metal malzeme üzerinden talaş kaldırılmakla birlikte, metal olmayan malzemeler de benzer kurallarla işlenebilir. Bu imalat yönteminin gerçekte üç boyutlu ve karmaşık olması sebebiyle, talaşlı imalat işleminin mekaniğinin açıklanmasında Şekil 3.1’de gösterilen iki boyutlu dik kesme (orthogonal) modeli kullanılır. Bu gösterim basit olmakla birlikte, talaşlı imalat mekaniğini yeterli doğrulukta tanımlar. İki boyutlu dik kesme modeli talaşlı imalat yönteminin incelenmesinde önemli ölçüde fayda sağlamaktadır. Bu modele göre, parçanın kesici takımı zorlamasıyla kayma düzleminde iş parçasının kayma gerilmesinin aşılmasıyla talaş oluşumu gerçekleşir (Bozkurt, 2019).



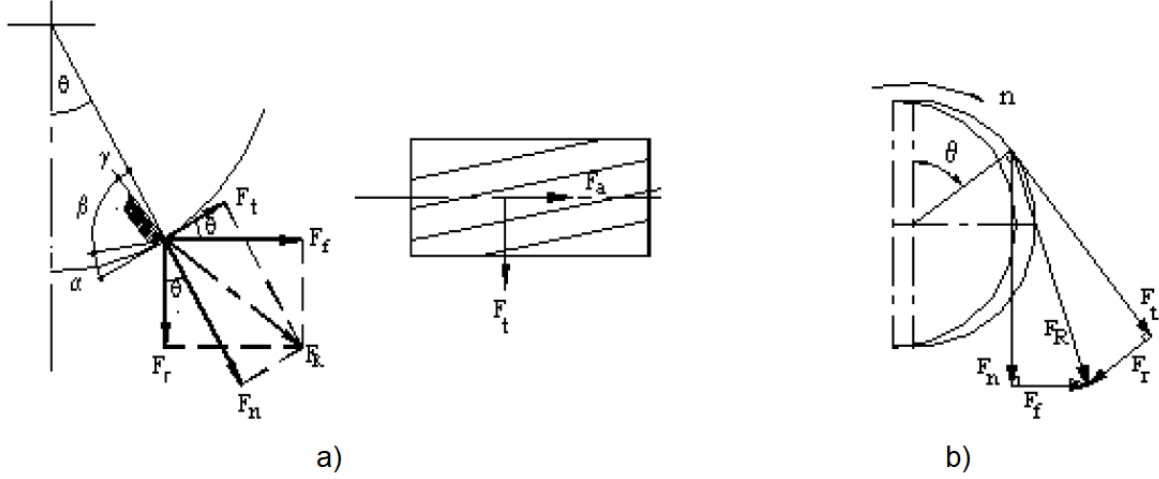
Şekil 3.1. a) Dik kesme modeli, b) Talaş oluşma düzlemi

Günlük yaşamda en aşına olduğumuz kesme işlemleri, bıçak gibi bir aletle çok yumuşak cisimlerin kesildiği, kesme kenarının iki yüzünün çok küçük bir iç açıyla birleştiği süreçlerdir. Kama şeklindeki kesici, çoğu zaman ekmeği dilimlerken olduğu gibi kenara paralel olarak hareket ettirilir. Alet keskinse, aletin yüzeyleri tarafından hafifçe ayrılan iki parçaya çok az kuvvet uygulanarak temiz bir şekilde kesme işlemi yapılabilir, fakat metal kesme böyle kolay değildir. Metaller ve alaşımlar çok serttir, bu nedenle bilinen hiçbir takım malzemesi, çok dar açılarda, kesici kenarlara uygulanan baskılara dayanacak kadar güçlü değildir. Takım kenarını oluşturan her iki yüz, yeni oluşturulmuş iki yüzeyi ayırmak için çok yüksek kuvvet uygular. Bunun sonucunda ise çok fazla ısı üretilir ve hem takım hem de çalışma yüzeyleri zarar görür. Bu hususlar, bir kesici takımın, daha kalın iş malzemesi gövdesinden ince bir tabakayı çıkarmak için iş malzemesine asimetric olarak sürülen büyük açılı bir kama şeklini almasını gerekli kılar (Şekil 3.1). Yan yüzeyin yeni çalışma yüzeyiyle temas etmesini engellemek için alet üzerinde bir boşluk açısı oluşturulmalıdır (Trent ve Wright, 2000).

3.3. Kesme Kuvvetleri

Frezelemede talaş kalınlığı kesme işlemi süresince değiştiğinden, kesme kuvvetleri ve temas şartlarında değişkenlikler oluşturur. Çevresel frezelemede ilerleme (F_f) ve radyal kuvvet (F_r)

dinamometre tarafından ölçülürken, teğet (F_t) ve normal kuvvet (F_n) kesme kenarı ani konum açısının (q) bir fonksiyonu olarak yazılabilir (Şekil 3.2-a).



Şekil 3.2. Çevresel ve alın frezelemede kesme kuvvetlerinin analizi

$$F_t = F_f \cos\theta - F_r \sin\theta$$

$$F_n = F_f \sin\theta + F_r \cos\theta$$

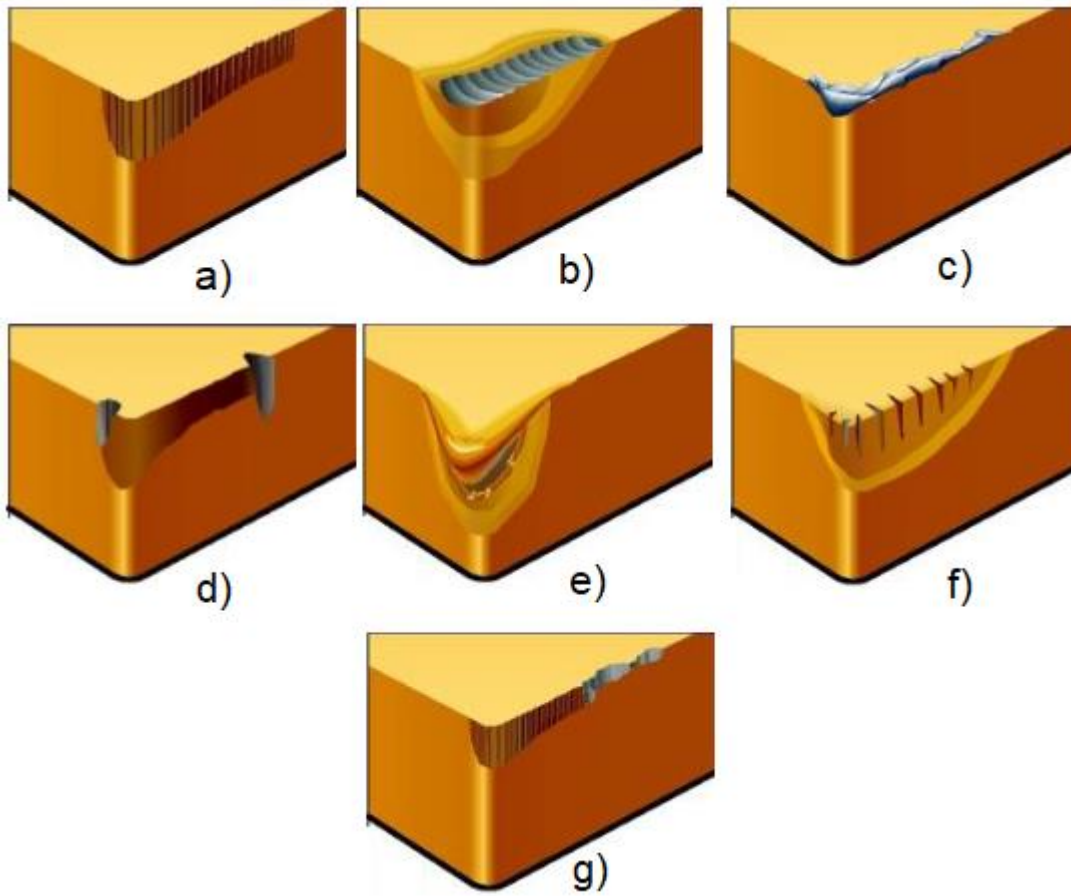
Eğer takım helisel kanallı ise eksenel kuvvet $F = F_t \tan\lambda$ ile hesaplanır. Alın frezelemede ise normal (F_n) ve ilerleme kuvveti dinamometre ile ölçülür, F_t ve F_r , q açısına bağlı olarak matris transformasyonu ile hesaplanabilir (Şekil 3.2-b).

$$\begin{bmatrix} F_t \\ F_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin(\theta) & -\cos(\theta) \\ \cos(\theta) & -\sin(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_n \\ F_f \end{bmatrix}$$

Bu kuvvetlerin bir çevrimde her an değişen değerleri yerine ortalama değerlerini ölçmek daha uygundur. Frezelemede aynı anda birden fazla kesici diş kesme işlemi yaptığından, ölçülen kesme kuvveti, o anda kesme yapan diş sayısının meydana getirdiği kuvvet olacaktır. Zıt yönlü frezelemede talaş çıkışında kesme için harcanan enerjinin aniden boşalması sebebiyle, özellikle karbür uçlarda kırılmalar olur. Bu sebeple aynı yönlü frezeleme tercih sebebidir. Ancak tek ana milli tezgâhlarda, aynı yönlü frezeleme yapılabilmesi için tabla ilerletme sistemindeki boşluğun, mekanik veya hidrolik bir boşluk giderme mekanizması ile giderilmesi gerekir (Sağlam, 2016).

3.4. Takım Aşınması

Talaş kaldırma işleminde, kesici takım ile iş parçasının etkileşiminden dolayı kesici takımda zamanla aşınmalar oluşur. Bu aşınmalar iş parçasının yüzey kalitesine, boyutlarına, kesici takım ömrüne ve maliyetlere olumsuz etki eder. Takım aşınması takım ve iş parçası malzemesine, takımın şekline, kesme işleminde kullanılan soğutucu akışkana ve tezgâhın özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Bu aşınma tipleri Şekil 3.3’de gösterilmiştir (Öndaş, 2016).



Şekil 3.3. Kesici takım aşınma tipleri: a) Serbest yüzey aşınması, b) Krater aşınması, c) Talaş yığılması (BUE), d) Çentik aşınması, e) Plastik deformasyon, f) Termal (ısı) çatlaklar, g) Kenar tanecik kopması/kırılması

Takımda aşınmanın oluşabilmesi için geçen süre aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$$t_h = d \cdot \pi \cdot \frac{l}{v_c} \cdot 1000 \cdot f$$

Burada: t_h : Aşınma süresi, d : İş parçası çapı, V_c : Kesme hızı, l : İş parçası uzunluğu, f [mm]: İlerleme miktarıdır.

3.5. Kesme Parametreleri

3.5.1. Kesme hızı

Frezede Kesme hızı (V), kesici takımın uç noktanın iş malzemesi üzerinden birim zamanda keserek aldığı yol olarak tanımlanır ve çoğunlukla m/min olarak ifade edilir. Kesici takım çapı d (mm) ve dönme sayısı n (rpm) olarak ifade edilirse, tornalama işleminde kesme hızı, $V_c = \pi \cdot d \cdot n / 1000$ (m/min) bağıntısı ile hesaplanır.

Kesme hızı, uygulamada genellikle teknik ve ekonomik şartlar altında tanımlanmakta ya da bu doğrultuda hazırlanmış çizelgelerden seçilmektedir. Kesme hızı kesici takım malzemesine, iş parçası malzemesine, kesme derinliğine, ilerleme miktarına, kesme sıvısına ve tezgâhın rijitliğine bağlı olarak değişebilmektedir. Rijitliği yüksek takım tezgâhlarında daha yüksek kesme hızları seçilebilmektedir. Rijitliği yüksek olmayan tezgâhlarda yüksek kesme hızları, işlenen yüzeyin kalitesinde bozulmalar meydana gelmesine zemin hazırlayan, titreşimler oluşturabilir. Kesme hızları seçildikten veya teknik ve ekonomik (optimizasyon) koşullara göre belirlendikten sonra yukarıdaki bağıntıdan yola çıkarak, parçanın devir sayısı, $n = 1000 \cdot v / \pi \cdot d$ (rpm) bulunur (Bozkurt, 2019).

3.5.2. İlerleme oranı/hızı

Kesici takımın, bir devrinde iş parçası üzerinden kendi eksenine paralel olarak mm cinsinden aldığı yola, ilerleme miktarı denir. Kısaca kesici takımın bir devir süresinde kat ettiği mesafedir. İlerleme miktarı “ f ” ile gösterilir, birimi ise “mm/rev” olarak ifade edilirse, “ilerleme oranı”; mm/min olarak ifade edilirse “ilerleme hızı” olarak tanımlanır. Kesme hızlarında olduğu gibi, tezgâhların ilerleme hızları da maksimum ve minimum iki sınır içerisinde değişim gösteren ve ilerleme miktarı aşamaları olarak isimlendirilen kademeler biçiminde verilir. Burada da teknik ve ekonomik şartlara göre seçilen ilerleme miktarının, tezgâhın ilerleme aşamaları içerisinde bulunması gerekmektedir (Bozkurt, 2019; Yılmaz ve Güllü, 2020).

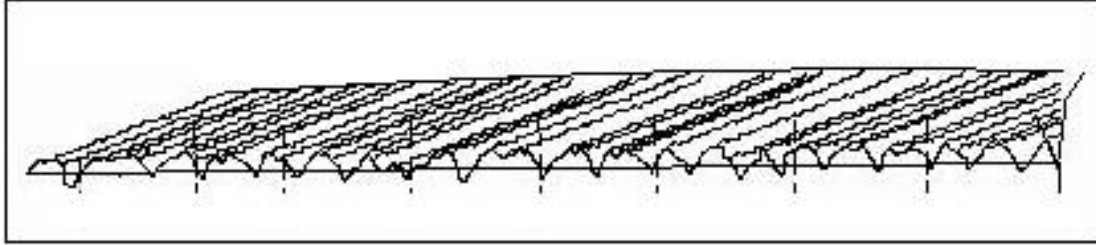
3.5.3. Talaş derinliği

Kesme derinliği “ap”, iş parçası üzerinden kaldırılan malzemenin derinliğidir ve iş parçası eksenine dik yönde ölçülür. Bu üç kesme parametresinin birim düzenlemeleri yapılarak çarpımı genellikle metal kesme işleminin verimliliğini ifade eden talaş kaldırma oranını vermektedir (Trent ve Wright, 2000).

4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

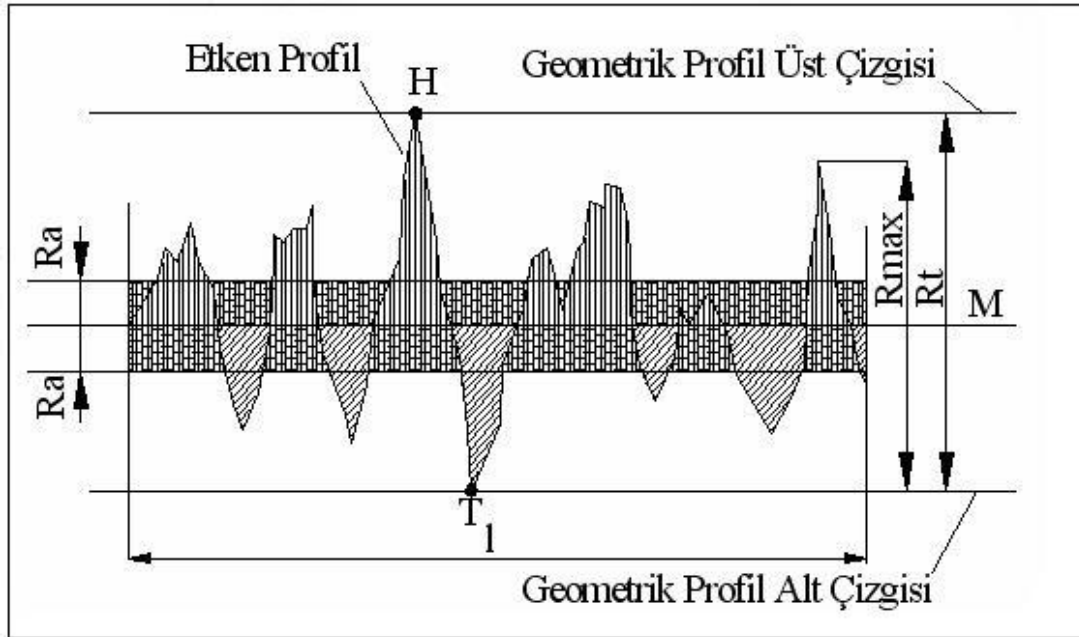
4.1. Talaşlı İmalatta Yüzey Pürüzlülüğü

Talaşlı imalatatta yüzey pürüzlülüğü, işleme parametreleri, kesici takım malzemesi, iş parçası malzemesi, kesme sıvıları, takım tezgâhı özellikleri vb. gibi etkenlerin sonucunda, iş parçası yüzeyinde oluşan pürüzlülüğü ifade eder. İşlenmiş yüzeylere çıplak göz ile bakıldığında, yüzeyler pürüzsüz görünürken, mikroskopla bakıldığında ise (Şekil 4.1'deki gibi) görülmektedir (Bozkurt, 2019; Güllü, Özdemir ve Demir, 2003).



Şekil 4.1. Yüzey pürüzlülüğünün üç boyutlu gösterimi

Yüzey pürüzlülüğünün belirtilmesinde bazı değerler kullanılmakta olup, bu ölçüm değerleri Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Yüzey pürüzlülüğü değerleri

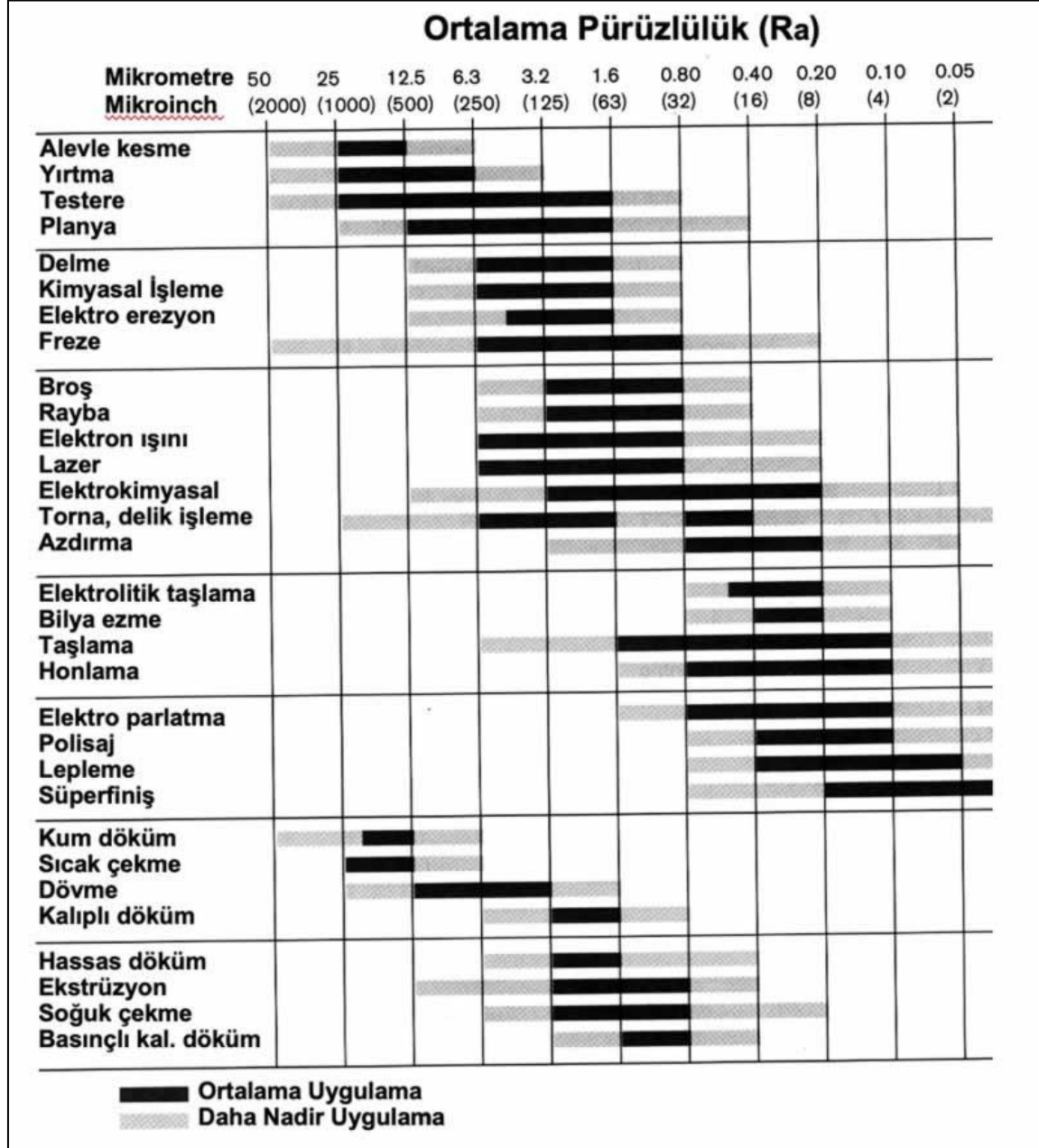
- R_a = Ortalama Pürüzlülük Değeri (μm)
- R_t = Pürüzlülük Yüksekliği (μm)
- R_{max} = En Büyük Pürüzlülük Derinliği (μm)
- λ = Örnek uzunluk (mm) $\lambda \geq 2f$ (tablodan)
- L = Değerlendirme Uzunluğu (mm) $L \geq 5 \lambda$

Yüzey işleme işaretlerinin teknik resim üzerinde eski ve yeni sembolleri Şekil 4.3'te (internet: eitasarim.com, 2019) gösterilmiştir.

Yüzey Pürüzlülüğü Gösterimi							
R_a Mikrometre Mikron μm	R_a Mikroinç μin	Yüzey Pürüzlülüğü Sınıf Numarası (YENİ**)	Yüzey Pürüzlülüğü Sınıf Numarası (ESKİ***)	R_t		Eski Stil	Amerikan Standartı
50	2000	N12					
25	1000	N11					
12.5	500	N10					
6.3	250	N9		32		32 	250 
3.2	125	N8		16			125 
1.6	63	N7		8		8 	63 
0.8	32	N6		4			32 
0.4	16	N5		2		2 	16 
0.2	8	N4		1			8 
0.1	4	N3		0.5		0.5 	4 
0.05	2	N2		0.25		0.25 	2 
0.025	1	N1					

Şekil 4.3. Yüzey pürüzlülüğü gösterimi

Üretim yöntemlerine ait yüzey pürüzlülükleri Şekil 4.4'te (Degarmo, Black ve Kohser, 2003) gösterilmiştir.



Şekil 4.4. İşleme yöntemlerine göre yüzey pürüzlülük değerleri

4.2. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler

Talaş kaldırma işleminde yüzey pürüzlülüğü üzerine etki eden ve önem derecesi yüksek olan parametreler şöyle sıralanabilir (Tufan, 2011).

- Takım tezgâhının rijitliği
- Yataklama sisteminden kaynaklanan hatalar
- Takım tutucu rijitliği
- Takım aşınmasının yansımaları
- Takım geometrisi etkisi
- Kesme parametrelerinin kombinasyonu
- Malzemenin mekanik ve metalurjik özellikleri
- Soğutma metodu ve soğutucunun etkileri

5. KESME SIVILARI

5.1. Kesme Sıvıları ve Görevleri

Talaşlı kaldırma esnasında, kesme sıvılarının temel görevi soğutma ve yağlama işlevini yerine getirerek sıcaklığı kontrol altında tutmaktır. Bununla birlikte kesme sıvıları başka önemli işlevleri de yerine getirmektedir (Groover, 2016). Bu işlevler başlıca şu şekilde sıralanabilir:

- Kesici takımı ve iş parçasını soğutmak
- Takım-talaş ve takım- iç parçası ara yüzeyini yağlamak
- Çıkan talaş kırarak, kontrol altına almak ve uzaklaştırmak
- Kaynak oluşumunu engellemek
- Güç sarfiyatını düşürmek
- Korozyonu engellemek
- Takım ömrünü ve verimliliğini artırmak
- Çıkan talaş biçimini değiştirmek

Bütün talaş kaldırma işlemleri yüksek ısı oluşumuna sebep olur. Talaş kaldırma esnasında oluşan ısı, kesici takım ucunda metalin plastik deformasyonundan ve takım-talaş ara yüzeyi boyunca kayan talaşın sürtünmesinden dolayı oluşur. Talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan kesme sıvısı, oluşan ısıyı kesici takım-iş parçası ara yüzeyinden uzaklaştırır. Kesme sıvısının başka bir önemli görevi de takımı, iş parçasını ve talaş yağlamasıdır. Bu yağlama işlemi bağıl hareket halinde bulunan iki yüzey arasında bir film oluşturur. Oluşan film tabakası, sürtünme katsayısını azaltarak hareketi kolaylaştırır ve bağıl hareket halindeki yüzeylerin aşınmasını engeller (Çakır, 2015). Çoğu kesme sıvısı sürtünmeyi azaltarak belli bir malzemeyi işlemek için gereken güç miktarını düşürür. Bu durum enerji tasarrufu ile birlikte daha az güç ve daha az ısı oluşumu demektir. Daha az ısı oluştuğunda ise kesici takımın ömrü artar ve iş parçasının yüzey bütünlüğü korunur. İşlenmekte olan yüzeyin bozulmasını önlemek için, işleme esnasında bölgenin oluşan talaşlardan sürekli olarak temizlenmesi gerekmektedir (Tucker, 2006). Kesme sıvısı sayesinde talaşın takım ile iş parçası arasında sıkışması önlenerek, yüzeyde oluşabilecek çiziklerin önüne geçilmiş ve yüzey kalitesinin bozulması da engellenmiş olur. Kesme sıvısı kullanımı talaş oluşumunu da etkilemektedir. Yüksek basınçlı sistemlerde kesme sıvısı talaş kırıcı bir rol oynar. Talaşın arkasından yapılan

püskürtme işlemi talaşı soğutmakla kalmayıp aynı zamanda talaşın kırılarak küçük parçalara ayrılmasını da sağlar. (Akben, 2009; Tucker, 2006).

Kesme sıvıları korozyona karşı da etkili olmalıdır. Demir esaslı malzemelerin işlenmiş yüzeyi, koruyucu tabakanın ortadan kalkmasından dolayı hızlı bir şekilde paslanma eğilimi gösterir. İyi bir kesme sıvısı, paslanmayı önleyerek tezgâhın ve iş parçasının zarar görmesini engeller (Çakır, 2015).

5.2. Kesme Sıvılarının Sınıflandırılması

Kesme sıvıları; kimyasal bileşimlerine göre kesme yağları ve su bazlı kesme sıvıları olarak ikiye ayrılabilir. Su bazlı kesme sıvıları ise çözülebilir yağlar, yarı sentetik ve sentetik kesme sıvıları olarak sınıflandırılabilir (Stephenson ve Agapiou, 2016).

5.2.1. Kesme yağları

Kesme yağları; su katılmamış mineral, hayvansal, bitkisel ve sentetik yağlardır. Petrol esaslı mineral yağlar, hafif çözücüler, nötr ve ağır yağlar maliyetlerinin düşük olması sebebi ile sık tercih edilen yağlardır. Kesme yağları kararlı yapısının yanında, paslanmaya karşı da iyi bir koruyucudur. Fakat yüksek işleme hızlarında yangın çıkarma riskinden dolayı uygulanabilirliği düşüktür. Ayrıca, kullanıcılar için başta cilt hastalıkları olmak üzere sağlık problemleri oluşturabilmektedir. Kesme yağları, soğutma özelliğinden ziyade yağlayıcı özelliği ile daha etkilidir. Honlama, taşlama vb. imalat yöntemlerinde, su esaslı sıvılara göre daha iyi yüzey kalitesi ve daha düşük yüzey hasarı sağladıkları için yaygın olarak kullanılırlar. Kesme yağları, düşük kesme hızlarında soğutucu özelliği daha az önemli olduğundan dolayı sıkça kullanılırlar (Stephenson ve Agapiou, 2016).

5.2.2. Su bazlı kesme sıvıları

Su bazlı kesme sıvıları, sulu emülsiyonlar ve su içinde yağ çözeltileridir. Kesme yağları ile kıyaslandığında, daha düşük yağlama özelliğine sahip olmakla birlikte daha iyi soğutma ve talaş uzaklaştırma sağlarlar. Mineral yağlara göre iki-üç kat daha hızlı soğutma ve iki kattan fazla ısı tutan su bazlı kesme sıvıları, özellikle yüksek kesme hızlarında kullanılırlar.

Çözülebilir yağlar, yarı sentetik yağlar ve sentetik yağlar olmak üzere üç tipten oluşmaktadırlar.

Çözülebilir yağlar %60-90 petrol veya mineral yağ, emülsiyon yapıcılar ve diğer katkıları içerir. Kesme sıvısı haline getirmek için su ilave edilir. Su/yağ oranı 30/1 civarındadır.

Çözülebilir yağlarla kimyasalların karışımı olan yarı sentetik yağlar, %2-30 arasında küçük taneli mineral yağ içerirler. Kalanı ise, esas olarak emülsiyon yapıcılar ve su oluşturur.

Su bazlı kesme sıvısı içine sadece kimyasallar eklenerek elde edilen sentetik kesme sıvıları, petrol veya mineral yağ içermezler. İçerisinde kimyasal yağlayıcılar, yüksek basınç katkıları, pas önleyici katkılar ve bakteri önleyiciler bulunur (Stephenson ve Agapiou, 2016).

5.2.3. Gazlar

Kesme sıvısı yerine gazların kullanıldığı imalat aşamaları da bulunmaktadır. Parça üzerinde kesme sıvısı artığı istenmeyen havacılık ve uzay sanayi gibi sektörlerde soğutma amaçlı gazlar kullanılmaktadır. Genellikle soğutma amacı ile kullanılan gazlar; hava, helyum, CO₂, argon ve azottur. Hava, düşük maliyetinden dolayı en çok tercih edilen gazdır. Kesme bölgesine uygulanan yüksek basınçlı hava akımı, talaşı uzaklaştırabilir. Fakat basınçlı hava sistemlerinde gürültü, problem teşkil etmektedir.

6. TERMAL DESTEKLİ İŞLEME

Yüksek mekanik özellikleri sebebiyle, kesilmesi zor malzemeler otomotiv ve havacılık gibi çeşitli endüstri alanlarında giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bu malzemelerin, yüksek mukavemeti nedeniyle geleneksel yöntemler kullanılarak işlenmesi zordur. Bu sorunu çözmek için, termal destekli işleme (Thermal Assisted Machining, TAM), araştırmacılar tarafından incelenmiş ve geliştirilmiştir. TAM, geleneksel işlemeye harici bir ısı kaynağı ekleyerek kesilmesi zor malzemeleri işlemek için kullanılan verimli bir yöntemdir. Harici bir ısı kaynağının malzemeye bölgesel olarak uygulanması, malzemenin sıcaklığını yüksek bir değere yükseltir, bu da kesilmesi zor malzemelerin mekanik mukavemetini azaltır ve daha düşük mekanik enerji ile daha kolay işlenmelerini sağlar (Moon ve Lee, 2018).

6.1. Termal Destekli İşleme Hakkında Genel Bilgi

Yüksek alaşımlı çeliklerin, talaşlı imalat yöntemiyle işlenmesi sırasında aşırı takım aşınması, talaş yığılması ve düşük yüzey kalitesi ortaya çıkar. Termal destekli işleme, kesme kuvvetlerini, yüzey pürüzlülüğünü ve kesici takım aşınmasını azaltarak kesilmesi zor birçok malzemenin işleme özelliklerini iyileştirmenin yeni bir tekniğidir.

Süper alaşımları işlemek için çok uygun olan termal destekli işlemede; İş parçası kesme bölgesinin önüne odaklanmış bir ısı kaynağı aracılığıyla lokal ısıtmaya tabi tutulur. Bu ısıtma, yüzey altı hasarına neden olmadan iş parçası malzemesini yumuşatarak ve takım aşınmasını azaltarak işlenebilirliği iyileştirir. TAM, ancak farklı faaliyet alanlarında çok yönlü olduğu kanıtlanabilirse endüstriyel ölçekte uygulanabilir hale gelecektir (Azhdari Tadavani, Shoja Razavi ve Vafaei, 2017).

6.2. Termal Destekli İşleme Yöntemleri

Termal destekli işlemenin etkin bir şekilde uygulanabilmesi için, ısı kaynağı bölgesel ısıtmalı, hızlı ısıtmalı ve kontrol edilebilir olmalıdır. TAM yöntemlerini, iş parçasını ısıtmak için kullanılan harici ısı kaynağına göre aşağıdaki gibi sıralayabiliriz (Sun, Brandt ve Dargusch, 2010).

- a) Açık alev destekli termal işleme
- b) Plazma destekli termal işleme
- c) Lazer destekli termal işleme
- d) İndüksiyon destekli termal işleme

TAM’da yukardaki ısıtma şartlarından bazıları birlikte de kullanılabilmektedir.

7. MALZEME VE METOT

7.1. Deney Numuneleri

Yapılan deneysel çalışmada AA 7075-T6 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Malzeme ebatları 90×47×15 mm olan prizmatik parça(lar)dır. Temin edilen AA 7075-T6 alaşımının EN 10204 Tip 3.1 standardına göre hazırlanmış malzeme sertifika değerleri Çizelge 7.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.1. Deneylerde kullanılan 7075-T6 Alüminyum alaşımının özellikleri

Kimyasal Bileşim								
	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti
Bulunan Bileşim Elementleri, %	0,19	0,08	1,33	0,18	2,32	5,69	0,21	0,021
(Olması Gereken, %)	(0-0,5)	(0-0,4)	(1,2-2,0)	(0-0,3)	(2,1-2,9)	(5,1-6,1)	(0,18-0,28)	(0-0,20)
Fiziksel Özellikler								
Çekme Dayanımı MPa	Akma Dayanımı MPa		Uzama %			Sertlik HBW		
443,2	315,5		11,4			170		

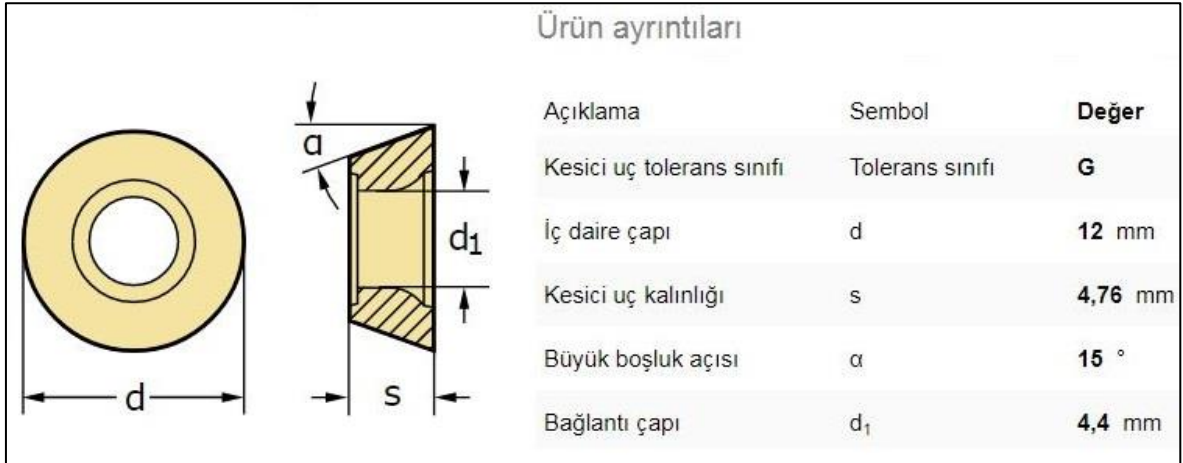
7.2. Deneylerde Kullanılan Makine ve Ekipman

Deneyler Frontier marka (MCV-866), Mitsubishi M80 kontrol üniteli 3 eksen CNC dik işleme tezgâhında yapılmıştır. Tezgâhın genel görünümü Resim 7.1’de verilmiştir.



Resim 7.1. Deneylerin yapıldığı CNC Dik İşleme Tezgâhı

Düzlem yüzey frezeleme işlemi için, $\varnothing 50$ mm takım tutucu üzerine bir adet Walter RDGT 1204 M0 WK10 yuvarlak kesici uç takılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Alüminyum işleme için tavsiye edilen kaplamasız, parlak karbür ucun şekli ve ölçüleri Şekil 7.1’de verilmiştir.



Şekil 7.1. Deneylerde kullanılan kesici uç detayı

MQL ile yapılan deneylerde kesme yağı olarak Viscol Viscut C, püskürtme sistemi olarak ta Werte STN 40 cihazı kullanılmış ve debisi 30 ml/h olarak ayarlanmıştır. Cihaz bilgileri Şekil 7.2’de gösterilmiştir.

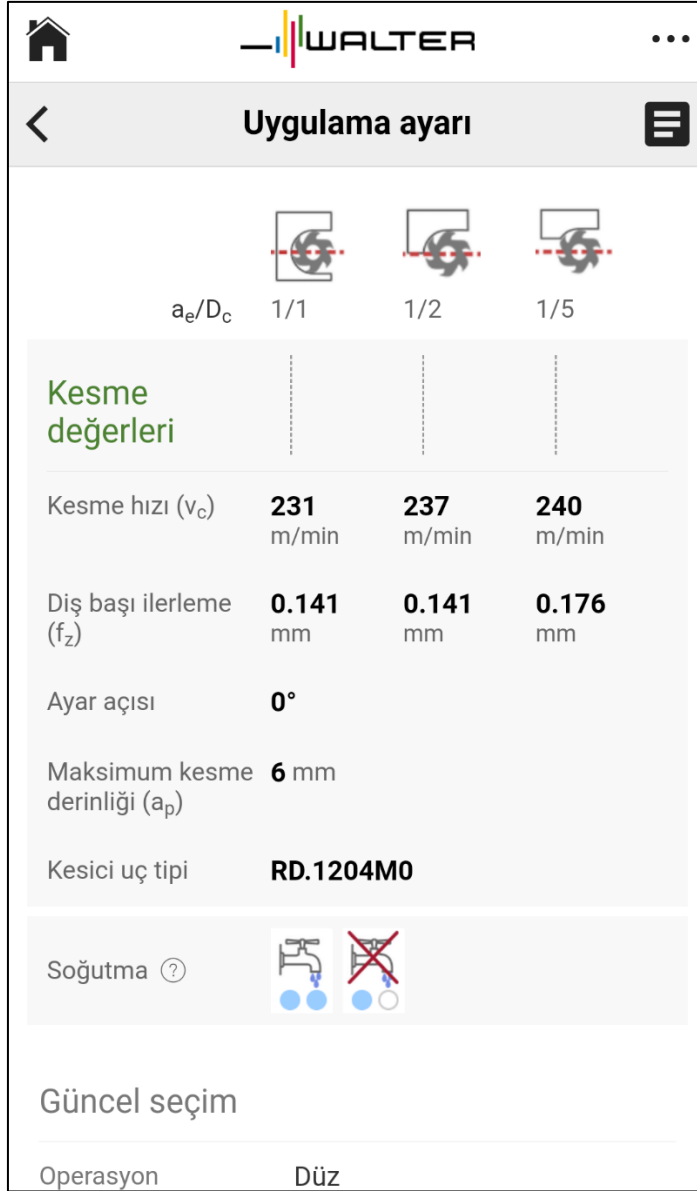


Şekil 7.2. Deneylerde kullanılan MQL Cihazı

Termal destekli deneylerde ısıtma tertibatı olarak, rafine bütan gazı ile 75 dakika çalışma süresine ve 1200 °C açık alev sıcaklığına sahip Dremel marka Versaflame 2200 model havya kullanılmıştır.

7.3. Deney Tasarımı

Deneylerde kesme parametreleri, yapılan literatür taraması ile kullanılan kesici takıma göre belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan Walter RDGT 1204 M0 WK10 kesici uç ile alüminyum alaşımının frezelenmesinde, Walter firmasının mobil uygulaması olan Feeds & Speeds’in tavsiye ettiği kesme parametreleri Şekil 7.3’te gösterilmiştir. Her deney için ayrı kesici kenar kullanılması planlanmıştır.



Şekil 7.3. Kesici uç ve malzemeye göre Walter Feeds & Speeds uygulamasının tavsiye ettiği kesme parametreleri

Tezin amacına uygun olarak Termal destekli imalat şartlarının kuru şartlar ve MQL ile işleme şartlarına göre kıyaslanması düşünülmüştür. Farklı kesme parametrelerinin yanında bu üç farklı soğutma tipi, deneylerde girdi parametresi olarak kullanılmıştır.

Deneylerde talaş derinliği (1 mm) sabit tutularak diğer değişkenlere bağlı olarak oluşturulmuş deney tasarımı verileri Çizelge 7.2'deki gibidir.

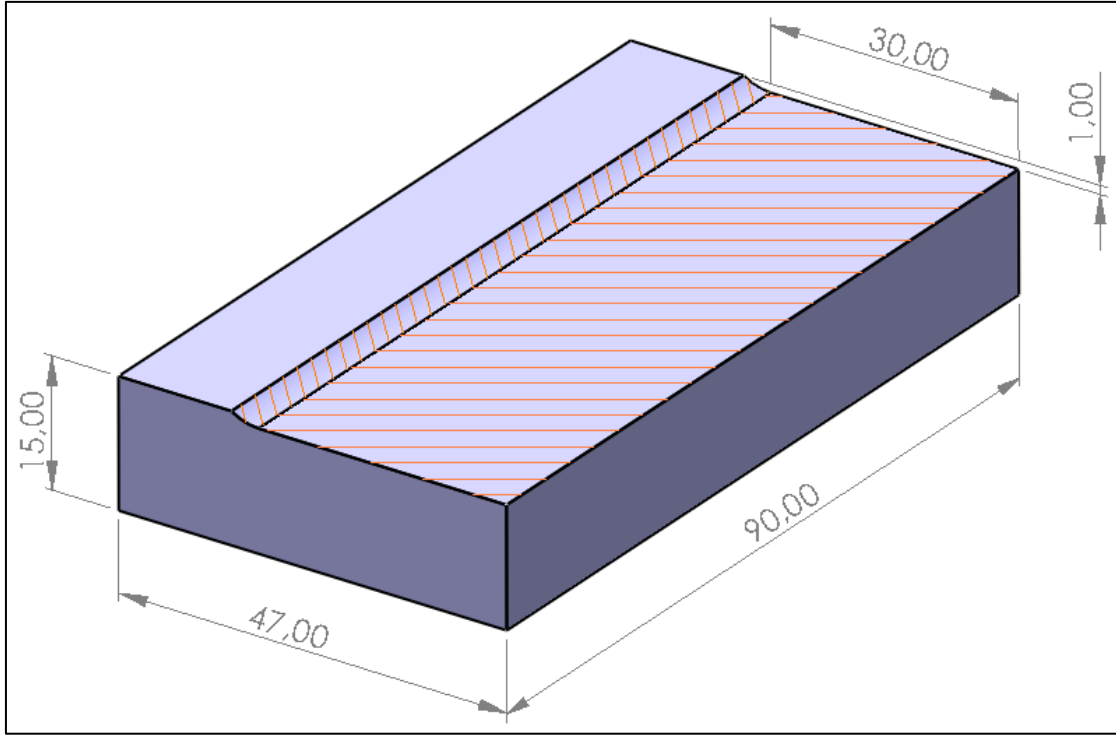
Çizelge 7.2. Deney tasarımı girdileri

Deney No	Sabit Girdi Talaş Der. mm	Değişkenler X,Y,Z	X Soğutma Yöntemi	Y Kesme Hızı m/min	Z İlerleme Hızı mm/rev
1.	1	X1Y1Z1	Kuru	200	0,14
2.	1	X1Y1Z2	Kuru	200	0,16
3.	1	X1Y1Z3	Kuru	200	0,20
4.	1	X1Y2Z1	Kuru	240	0,14
5.	1	X1Y2Z2	Kuru	240	0,16
6.	1	X1Y2Z3	Kuru	240	0,20
7.	1	X1Y3Z1	Kuru	290	0,14
8.	1	X1Y3Z2	Kuru	290	0,16
9.	1	X1Y3Z3	Kuru	290	0,20
10.	1	X2Y1Z1	MQL	200	0,14
11.	1	X2Y1Z2	MQL	200	0,16
12.	1	X2Y1Z3	MQL	200	0,20
13.	1	X2Y2Z1	MQL	240	0,14
14.	1	X2Y2Z2	MQL	240	0,16
15.	1	X2Y2Z3	MQL	240	0,20
16.	1	X2Y3Z1	MQL	290	0,14
17.	1	X2Y3Z2	MQL	290	0,16
18.	1	X2Y3Z3	MQL	290	0,20
19.	1	X3Y1Z1	MQL+TAM	200	0,14
20.	1	X3Y1Z2	MQL+TAM	200	0,16
21.	1	X3Y1Z3	MQL+TAM	200	0,20
22.	1	X3Y2Z1	MQL+TAM	240	0,14
23.	1	X3Y2Z2	MQL+TAM	240	0,16
24.	1	X3Y2Z3	MQL+TAM	240	0,20
25.	1	X3Y3Z1	MQL+TAM	290	0,14
26.	1	X3Y3Z2	MQL+TAM	290	0,16
27.	1	X3Y3Z3	MQL+TAM	290	0,20

Deney tasarımında görüldüğü üzere üç farklı soğutma yöntemi (Kuru, MQL, MQL+TAM), üç farklı kesme hızı (200-240-290 m/min), üç farklı ilerleme oranı (0,14-0,16-0,2 mm/rev.) ve 1 mm sabit talaş derinliği kullanılarak 27 deney yapılmıştır.

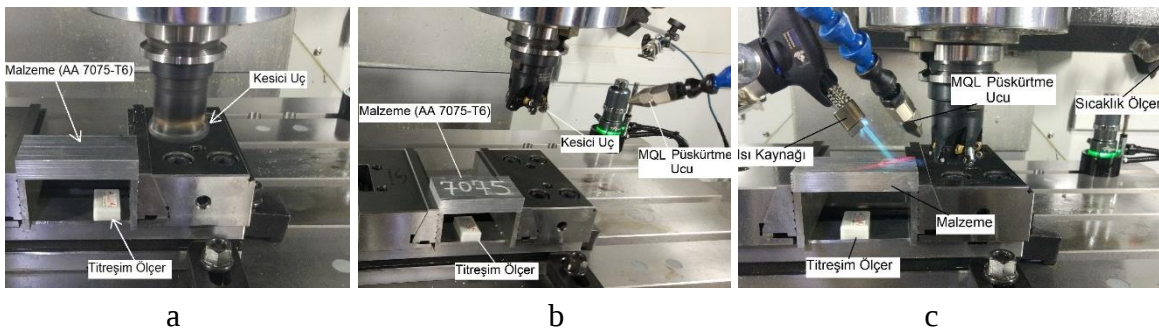
7.4. Deney Düzenegi

Temin edilen deney malzemelerinin üzerinden, 50 mm çapındaki takım tutucu ile takımın yaklaşık 2/3'ü (33 mm) işleme esnasında iş parçasına temas edecek şekilde tek pasoda 1 mm talaş kaldırmak üzere planlama yapılmıştır. Deney malzemesinin ham ölçüleri ve işlenmesi planlanan kısım Şekil 6.4'te gösterildiği gibidir. Şekildeki taranmış bölge talaş kaldırılması planlanan bölgedir.



Şekil 7.4. Talaş kaldırma işlemi sonrası oluşacak malzeme şekli

Kuru işleme şartlarında yapılacak ilk 9 deney için hazırlanan deney düzeneği Resim 7.2a’da; MQL ile yapılacak 9 deney (10-18) için hazırlanan deney düzeneği Resim 7.2b’de ve Termal Destekli İşleme şartlarında yapılacak 9 deney (19-27) için hazırlanan deney düzeneği Resim 7.2c’de gösterildiği gibidir.

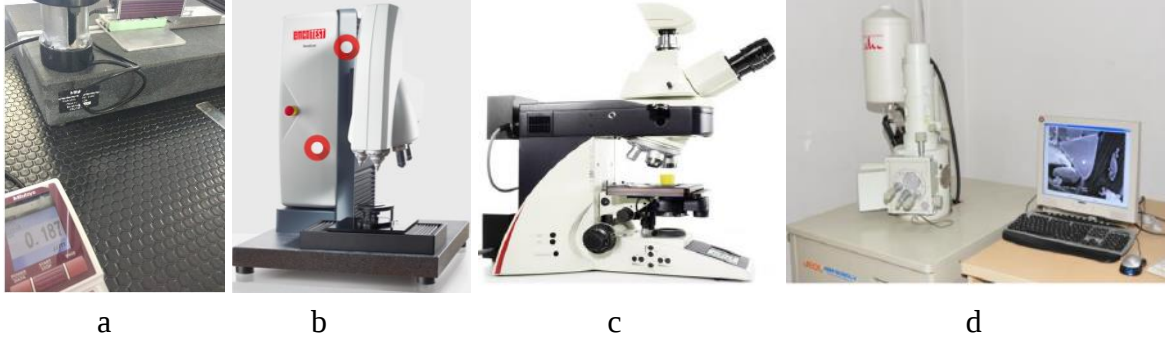


Resim 7.2. Kullanılan deney düzeneği: a) Kuru işleme düzeneği b) MQL ile işleme düzeneği c) TAM deney düzeneği

TAM deneylerinde kullanılan ısı kaynağı, malzemeye $\sim 45-50^\circ$ açı ile ve kesici takımın ~ 15 mm önüne alev püskürtecek şekilde yerleştirilmiştir.

7.5. Deneylerde Kullanılan Ölçme Cihazları

Deneyler sonucunda oluşan numunelerinin yüzey pürüzlülüğü, Mitutoyo SJ-210 marka pürüzlülük ölçüm cihazı ve Mitutoyo sabit referans düzlemi yardımı ile ISO 1997'ye, $\lambda_c:2,5$ 'e göre üç noktadan yapılmış ve kayıt altına alınmıştır (Resim 7.3a).



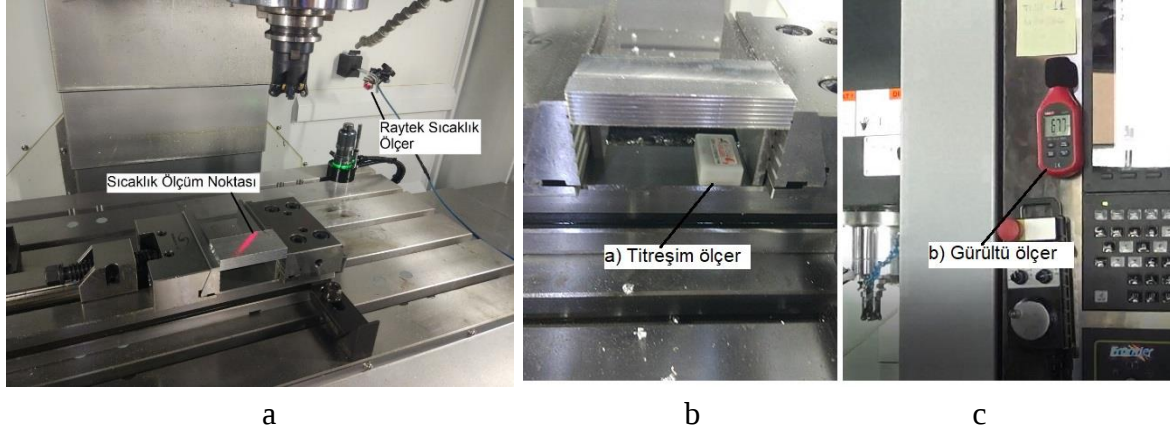
Resim 7.3. Deneylerde kullanılan ölçme cihazları: a) yüzey pürüzlülüğü ölçümü b) Mikro sertlik ölçüm cihazı c) optik mikroskop, d) elektron mikroskobu

Deneyler sonucunda oluşan numunelerinin mikro sertliği, Emcotest DuraScan-70 G5 marka cihaz ile HB 10'a göre (2,5 mm bilye çapı ve 62,5 kgf yük) üç noktadan ölçülmüştür (Resim 7.3b).

Deneyler sonucunda oluşan kesici uç hasarlarının incelenmesi için, kesici uçlar JEOL JSM-6060LV Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope-SEM) ile görüntülenmiştir (Resim 7.3d).

Deneyler sonucunda oluşan numunelerinin Optik görüntüleri, Leica DM 4000M metal mikroskobu (Resim 7.3c) ile alınmıştır. Deney numuneleri optik görüntü öncesi sırasıyla 200-1200 arası SiC zımparalar ile ATM Saphir 330 manyetik çift diskli zımparalama cihazında zımparalanmış, sonrasında 6 μm , 3 μm ve 1 μm 'luk keçe ve solüsyon kullanılarak ATM Saphir 250 manyetik cihazında parlatılmıştır. Makro-mikroyapı analizlerinde kullanılan mikroskoplar Resim 7.3c ve d' de verilmiştir.

TAM deneyleri esnasında iş parçasının yüzey sıcaklığı, Resim 7.4a'da gösterilen Raytek 2MI 2M cihaz ile ölçülmüş, bilgisayar ve program yardımı ile sıcaklıklar bir saniye aralıklarla kayıt altına alınmıştır.



Resim 7.4. Tezgâh üzerinde yapılan ölçümler: a) Raytek 2MI 2M cihaz ile yüzey sıcaklığı ölçümü b) Titresim ölçüm cihazı c) Gürültü ölçüm cihazı

Deneyler esnasında iş parçasına gelen kesme yükleri sonucu oluşan titreşim, Sensemore 3 eksen titreşim ölçüm cihazı ile ölçülmüş ve mobil uygulama programı ile kayıt altına alınmıştır (Resim 7.4b).

Deneyler esnasında oluşan gürültü, UNI-T UT353 cihaz ile ölçülmüştür (Resim 7.4c).

8. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

8.1. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü

Deney parametrelerine (Çizelge 7.2’de) göre ilk 9 deney kuru şartlarda ve farklı kesme hızı (V_c) ile İlerleme değerlerinde (f) yapılmıştır. Sonraki 9 deney aynı kesme parametreleri ile Minimum Miktarda Yağlama yöntemi ile yapılmıştır. Son 9 deneyde yine aynı kesme parametreleri ile MQL ve Termal Destekli İşleme yöntemleri birlikte kullanılarak yapılmıştır. Her deneyde yeni bir kesici uç ya da kesici kenar kullanılmıştır. Varyans analizi Çizelge 8.1’de, sabit talaş derinliğinde (1 mm) yapılan deney parametreleri kısaca Çizelge 8.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 8.1. Varyans Analizi

Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regresyon	3	0,044535	0,014845	54,89	0,000
Kesme ortamı, C_e	1	0,004163	0,004163	15,39	0,001
Kesme hızı, V_c (m/dak)	1	0,039554	0,039554	146,25	0,000
Diş başına ilerleme, f_z (mm/rev)	1	0,000818	0,000818	3,02	0,095
Hata	23	0,006221	0,000270		
Toplam	26	0,050756			

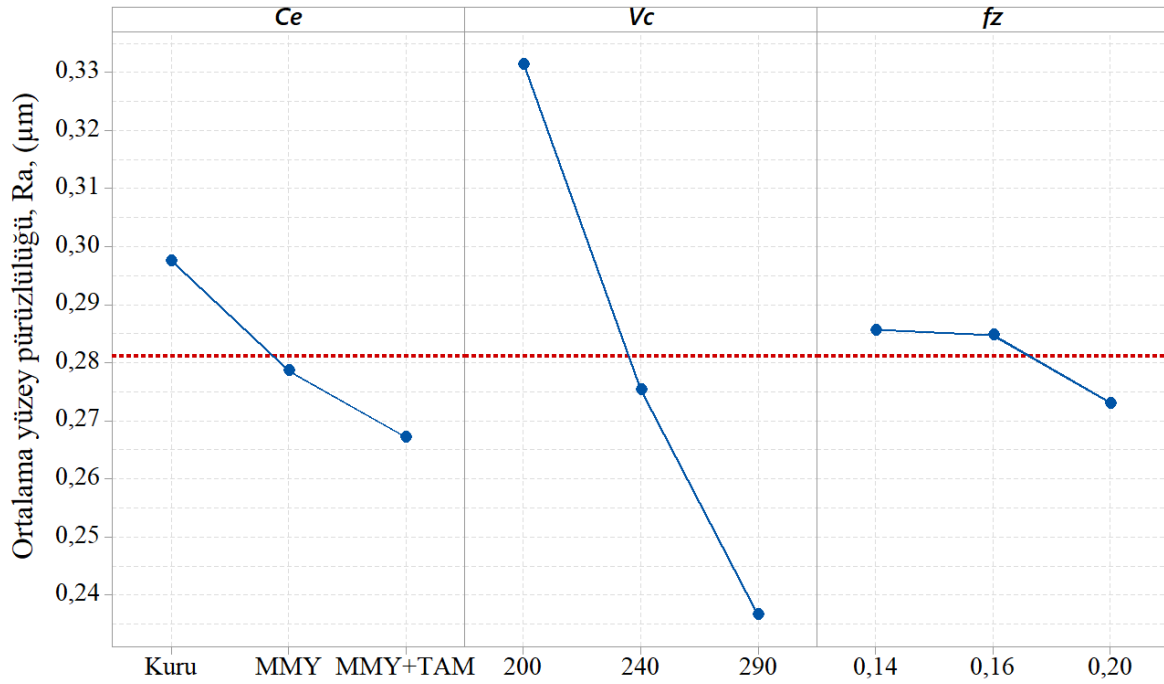
$$R^2 = \%93,44$$

Model özeti

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2,86440	93,44%	91,25%	86,20%

Regresyon Denklemi

$$Ra = 0,5861 - 0,01521 \times C_e - 0,001040 \times V_c - 0,221 \times f_z$$



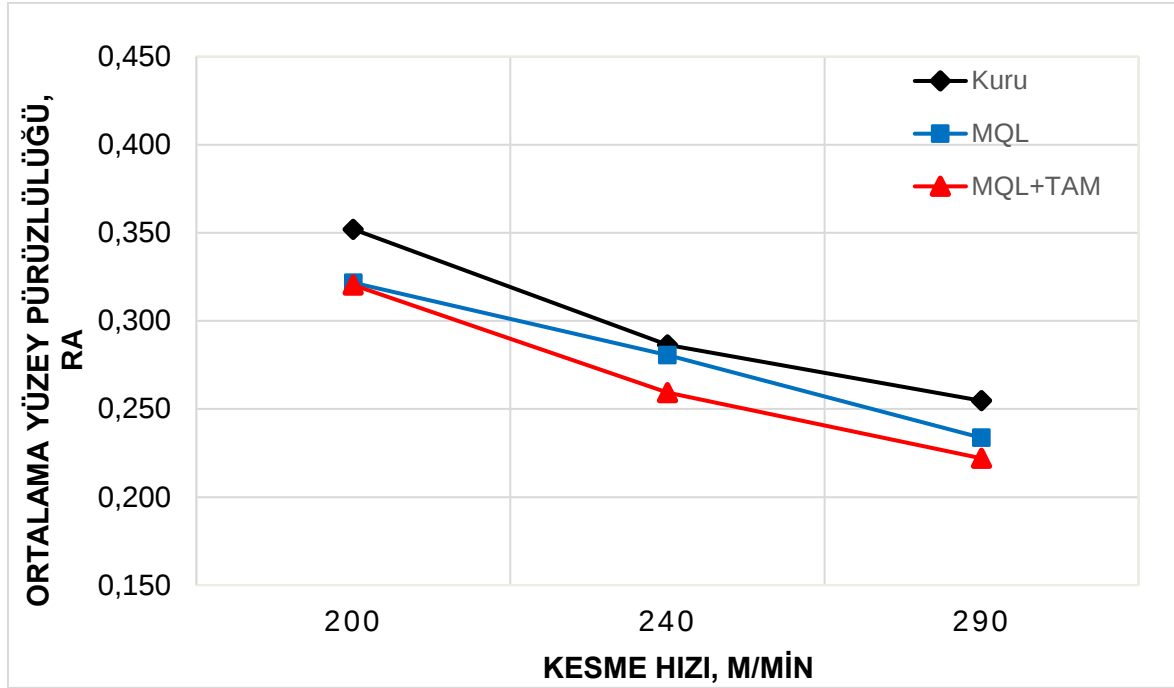
Şekil 8.1. Ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerinde işleme parametrelerinin etkisi

Şekil 8.1'deki grafikler incelendiğinde yüzey pürüzlülüğüne en çok etki eden değişkenin kesme hızı (V_c) olduğu görülmektedir. Soğutma yönteminin de yüzey pürüzlülüğüne ciddi etki ettiği görülürken, ilerlemenin ise önemli etkilerinin olmadığı görülmektedir.

Çizelge 8.2. Deney parametreleri

Deney No	Kesme Hızı (m/min)	İlerleme Oranı (mm/rev)
1	200	0,14
2	200	0,16
3	200	0,20
4	240	0,14
5	240	0,16
6	240	0,20
7	290	0,14
8	290	0,16
9	290	0,20

Sabit ilerleme hızlarında (0,2 mm/rev) yapılan deneylerde, kesme hızı ile ortalama yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki Şekil 8.2'de gösterilmiştir.

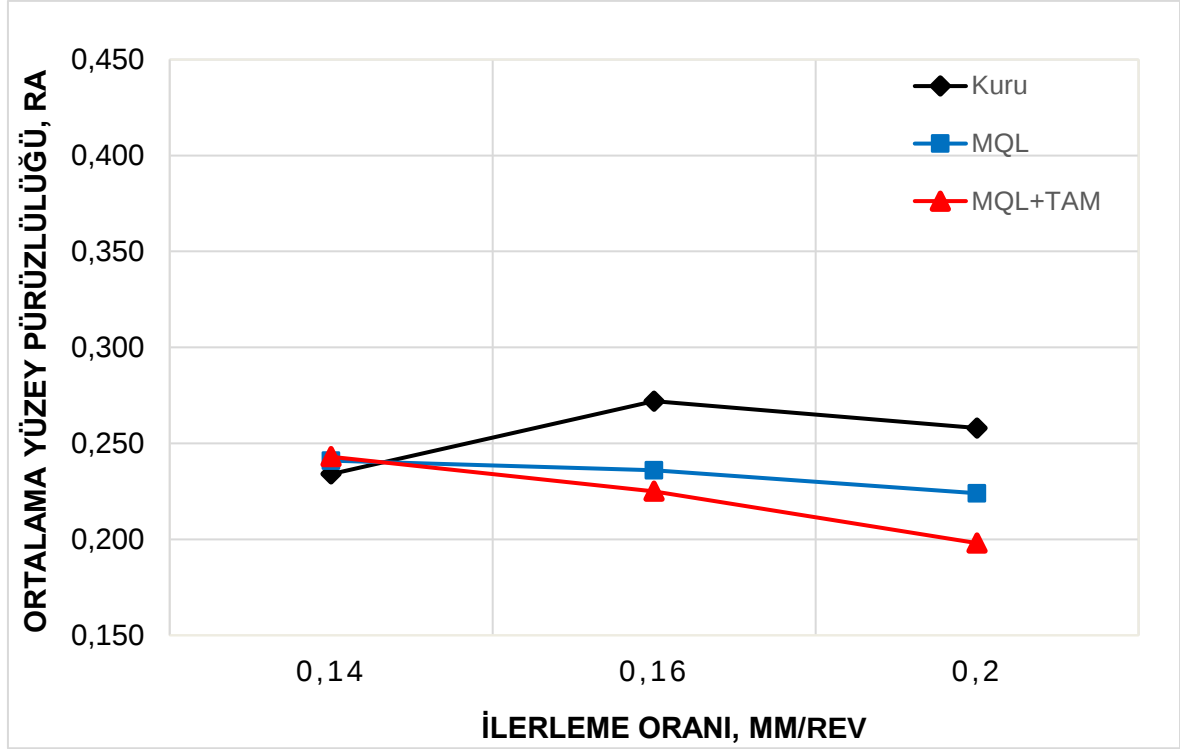


Şekil 8.2. Sabit ilerleme oranında, kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Grafikte görüldüğü üzere kesme hızının artmasıyla, üç soğutma yönteminde de ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) azalmıştır. Kesme hızı 200 mm/min'den 240 mm/min'e çıktığında yüzey pürüzlülüğünde ciddi iyileşmeler görülmüştür. Fakat kesme hızı 240 mm/min'den 290 mm/min'e çıktığında kuru ve MQL+TAM'da yüzey pürüzlülüğünde daha az iyileşmeler olmuştur. Bu sonuçlar ışığında, artan kesme hızlarının titreşimi azaltarak, yüzey pürüzlülüğüne olumlu etki ettiği söylenebilir. Bu durum literatür incelemeleri ile de uyusmaktadır.

Soğutma yöntemleri kıyaslandığında, özellikle yüksek kesme hızlarında (240-290 m/min) Minimum Miktarla Yağlama ile Termal Destekli İşlemenin birlikte uygulandığı deneylerde yüzey pürüzlülüğü diğer deneylere göre düşük çıkmıştır. Düşük kesme hızında (200 m/min) ise MQL ile MQL+TAM deneylerinde benzer yüzey pürüzlülük değerleri elde edilirken, kuru şartlardaki deneylerde yüzey pürüzlülük değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir.

Sabit kesme hızlarında (290 m/min) yapılan deneylerde, ilerleme oranı ile ortalama yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki Şekil 8.3'te gösterildiği gibidir.



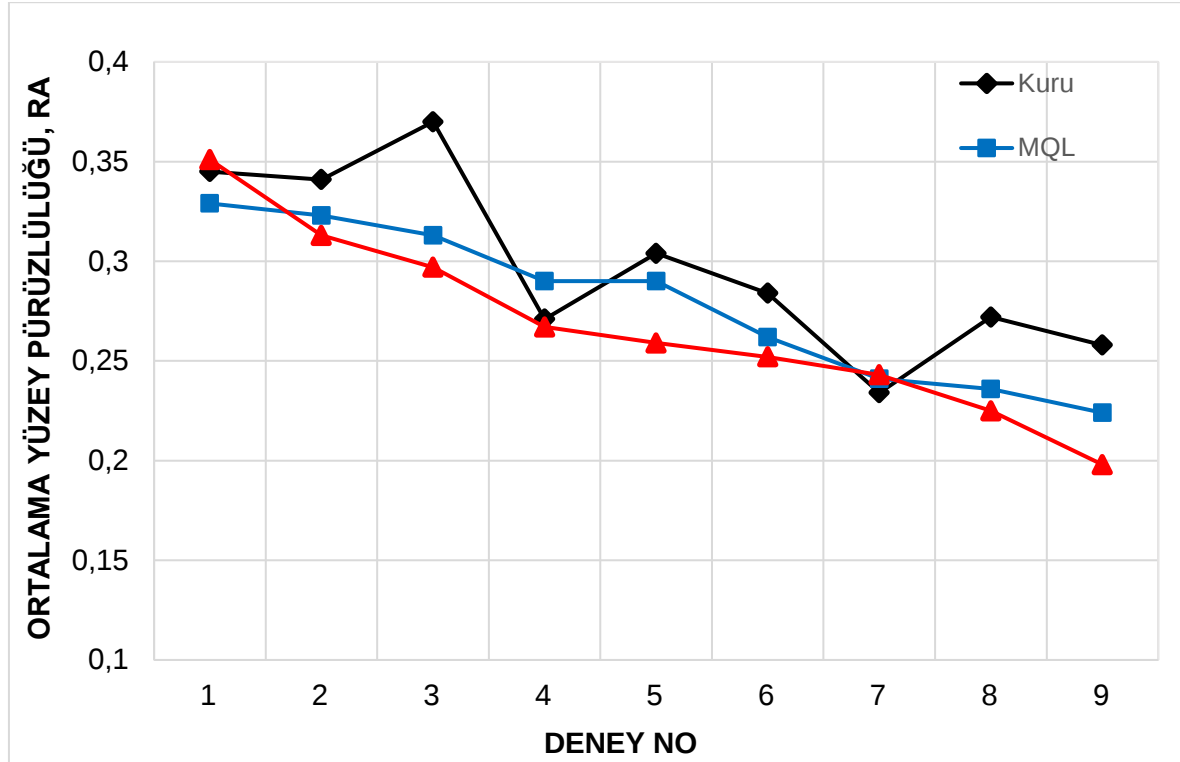
Şekil 8.3. Sabit kesme hızında, ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

İlerleme oranının yüzey pürüzlülüğüne etkisi, kesme hızı kadar anlamlı sonuçlar vermemiştir. Yüzey pürüzlülüğü; kuru şartlarda ilerleme oranı 0,14 mm/rev'den 0,16 mm/rev'e çıktığında artmış, fakat 0,16 mm/rev'den 0,20 mm/rev'e çıktığında pek değişmemiştir. MQL ve MQL+TAM deneylerinde ise ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülüğünde ciddi değişiklikler olmadığı, kısmi azalmalar olduğu görülmektedir. Normal şartlarda yüzey kalitesinin ilerleme oranı arttıkça kötüleşmesi beklenir. Kuru şartlarda yapılan deneylerde de bu durum gerçekleşmiştir. Ancak MQL ve MQL+TAM deneylerinde yüzey pürüzlülüğündeki kısmi azalmaların MQL'in BUE oluşumunu azaltmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. AA 7075-T6 üzerine MQL ile deneyler yapan Kulkarni ve arkadaşları da "ilerleme ve talaş derinliğinin artışının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin farklılıklar gösterdiğini" belirtmişlerdir. (Kulkarni ve diğerleri, 2020).

Kuru işleme şartlarında en düşük yüzey pürüzlülüğüne 0,14 mm/rev ilerlemede ulaşılırken, MQL ve MQL+TAM deneylerinde 0,20 mm/rev ilerlemede en düşük yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğüne ise MQL ile TAM'ın birlikte uygulandığı deneylerde ulaşıldığı görülmektedir. MQL+TAM deneylerinde ısıtma ile malzeme

mukavemetinin, yağlama ile de kesme kuvvetlerinin azalması yüzey pürüzlülüğünü azaltmıştır.

İlerleme oranı ve kesme hızına bağlı olarak yapılan tüm deneylerin ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin grafiği Şekil 8.4'te verilmiştir.



Şekil 8.4. Tüm deneylerin (27 deney) yüzey pürüzlülük grafiği

Kuru işleme şartlarında yapılan deneylerde, değişkenlerin yüzey pürüzlülüğünü diğer yöntemlere göre daha fazla etkilediği, grafikteki keskin dalgalanmalar üzerinden okunmaktadır. En kötü yüzey pürüzlülük ölçümleri de kuru işleme şartlarında yapılan 3 ($V_c:200$ m/min, $F_z:0,2$ mm/teeth) numaralı deneyde elde edilmiştir.

Minimum Miktarda Yağlama ile yapılan deneylerdeki yüzey pürüzlülük değerlerinin, kuru işleme şartlarına göre biraz daha iyi ve stabil sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir.

Minimum Miktarda Yağlama ile Termal Destekli İşleme şartlarının birlikte uygulandığı deneylerde ise, diğer iki yöntemle göre (Kuru ve MQL) daha iyi yüzey pürüzlülük değerlerinin elde edildiği görülmüştür. Bunda kesme kuvvetlerindeki azalmanın ve buna

bağlı olarak düşük titreşimin etkisi olduğu düşünülmektedir. Tüm deneylerde en iyi yüzey pürüzlülük değerine de yine bu işleme şartlarında (9. Deney-Vc:290 m/min, Fz:0,2 mm/teeth) ulaşılmıştır.

Tüm deneyler sonucunda oluşan yüzey pürüzlülük değerleri Çizelge 8.3’de gösterilmiştir.

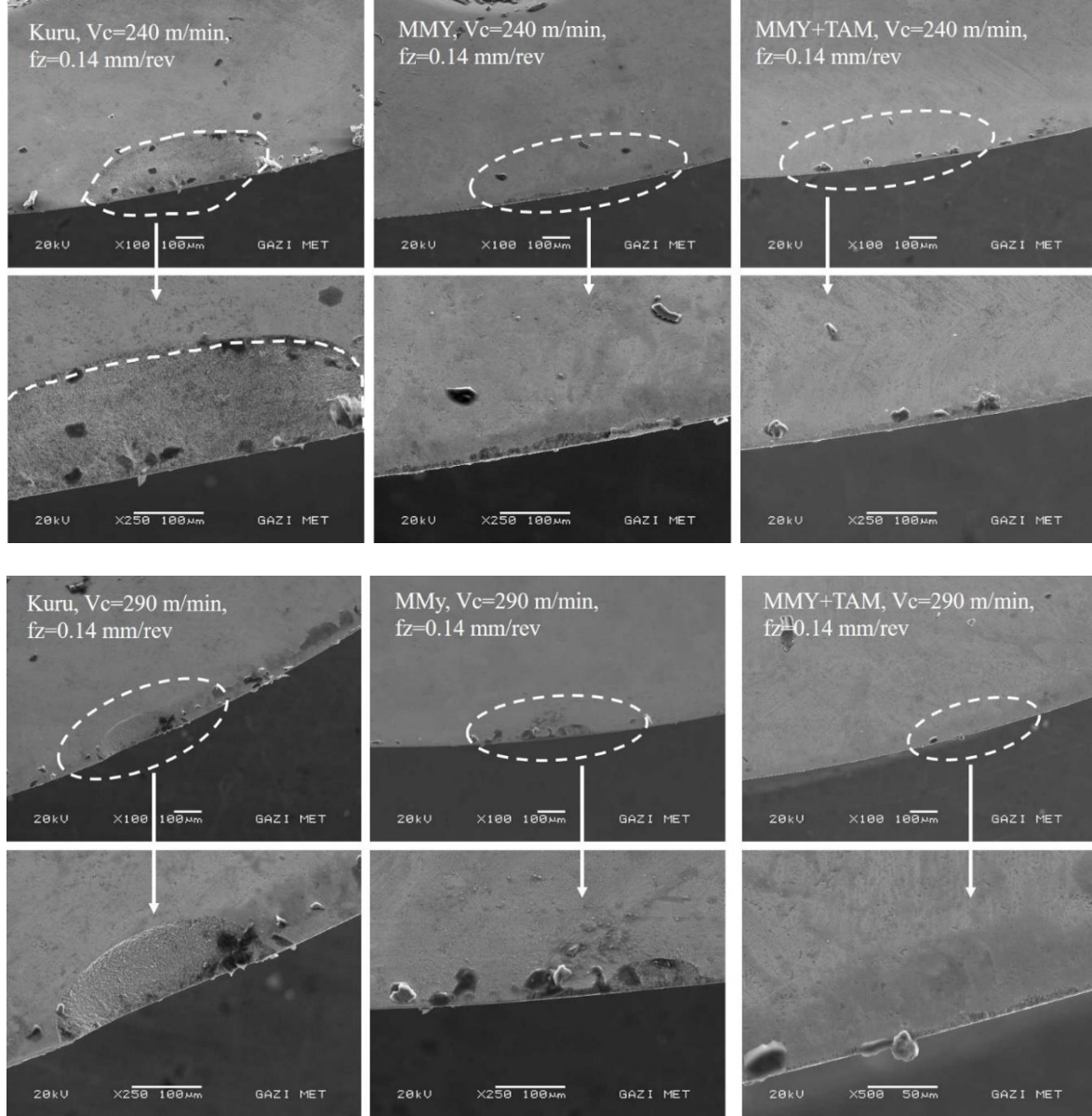
Çizelge 8.3. Malzemelerin, deneyler sonucunda yüzey pürüzlülük değerleri

İşleme şartı Ce	Kesme hızı, Vc, (m/min)	Diş başı ilerleme, fz, (mm/rev)	Ortalama pürüzlülük, Ra, (μm)
Kuru	200	0,14	0,345
Kuru	200	0,16	0,341
Kuru	200	0,2	0,370
Kuru	240	0,14	0,271
Kuru	240	0,16	0,304
Kuru	240	0,2	0,284
Kuru	290	0,14	0,234
Kuru	290	0,16	0,272
Kuru	290	0,2	0,258
MQL	200	0,14	0,329
MQL	200	0,16	0,323
MQL	200	0,2	0,313
MQL	240	0,14	0,290
MQL	240	0,16	0,290
MQL	240	0,2	0,262
MQL	290	0,14	0,241
MQL	290	0,16	0,236
MQL	290	0,2	0,224
MQL+TAM	200	0,14	0,351
MQL+TAM	200	0,16	0,313
MQL+TAM	200	0,2	0,297
MQL+TAM	240	0,14	0,267
MQL+TAM	240	0,16	0,259
MQL+TAM	240	0,2	0,252
MQL+TAM	290	0,14	0,243
MQL+TAM	290	0,16	0,225
MQL+TAM	290	0,2	0,198

8.2. Kesici Uç Aşınmaları

İşleme şartlarının (Kuru/MQL/MQL+TAM) kesici takım aşınmasına etkilerini incelemek için her işleme şartında aynı deneye ait (aynı kesme parametrelerinin kullanıldığı) kesici

uçların, Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Mikroscope-SEM) ile görüntüleri çekilmiştir.



Resim 8.1. 4 ve 7 numaralı deneye ait kesici uçların SEM görüntüleri

Deneylerde kullanılan kesici uçlara ait SEM görüntüleri incelendiğinde kuru işleme şartlarında yapılan dört numaralı deney numunesinde $500\text{ }\mu\text{m}$ 'den daha büyük, yedi numaralı deney numunesinde ise $300\text{ }\mu\text{m}$ 'den daha büyük krater aşınmalar görülmektedir. Aşınma bölgeleri elips içine alınarak işaretlenmiştir. Alüminyum alaşımlarının işlenmesi esnasında talaşın sürekli oluşu, kalınlığı, kolay kırılmaması ve sünekliğinden dolayı takıma yapışma probleminin olduğu bilinen bir durumdur. Alüminyumun yağlayıcı kullanmadan yapılan

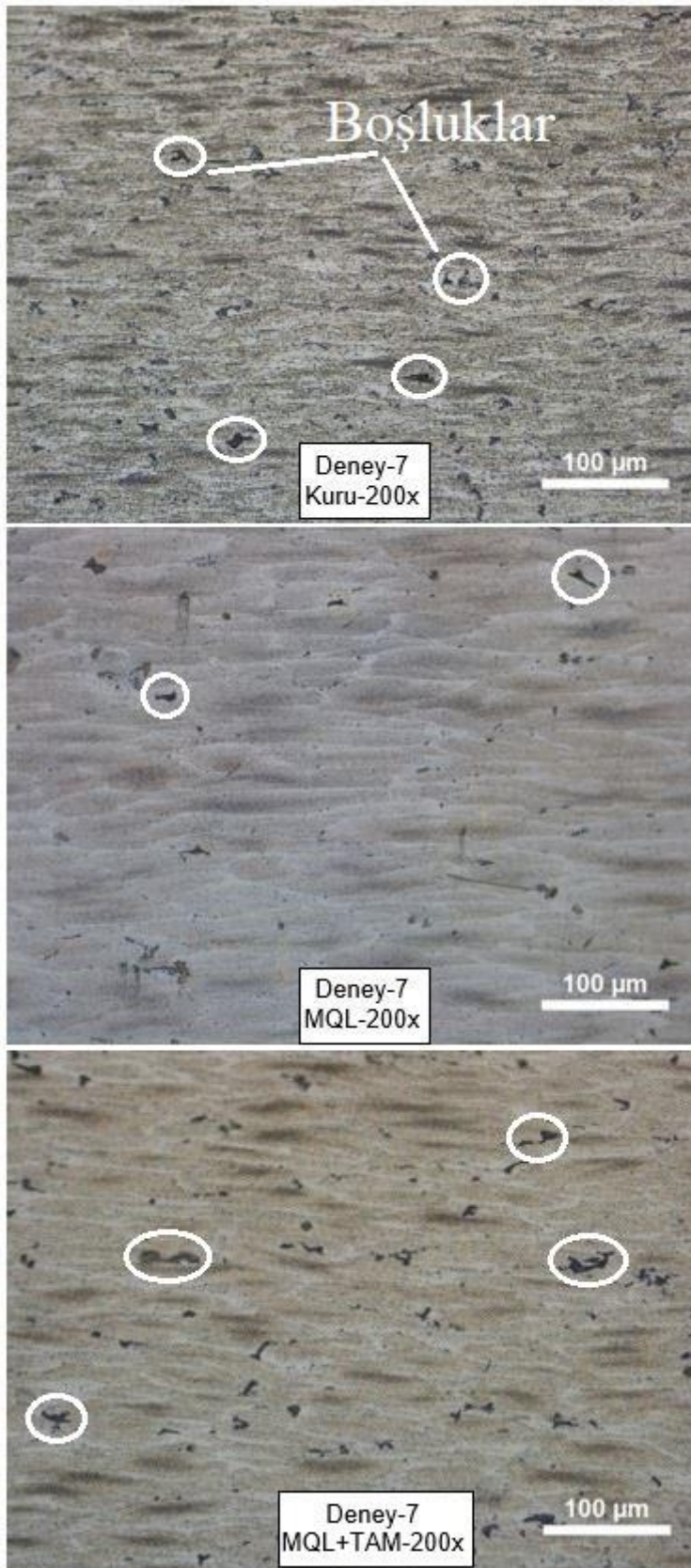
deneylerde, ısı altında takıma yapışarak krater oluşturduğunu yapılan deneylerde de görülmüştür.

Aynı şartlarda yapılan MQL ve MQL+TAM deneylerinde kesici takımın benzer şekilde serbest yüzey aşınmasına maruz kaldığı ve görülmektedir. Fakat bu aşınmaların kuru işleme şartlarına göre çok az aşınmaya maruz kaldığı da gözlemlenmiştir. Malzemeye uygulanan ön ısıtmanın, mukavemeti azaltarak kesme kuvvetlerini düşürmesi, takım aşınmasını azaltmıştır. Üstelik bu aşınma türü daha stabil ve takım ömrü açısından tercih edilen bir aşınma türüdür.

Sem görüntüsüne bakıldığında en düşük takım aşınmasının MQL+TAM deneyinde olduğu görülmektedir.

8.3. Malzeme Yapısı

İşleme şartlarının (Kuru/MQL/MQL+TAM) malzeme yapısına etkilerini incelemek için her işleme şartında aynı deneye ait (aynı kesme parametrelerin kullanıldığı) numunelerin Metal Mikroskobu ile optik görüntüleri çekilmiştir. Numuneler optik görüntü öncesi sırasıyla 200-1200 arası SiC zımparalar ile manyetik çift diskli zımparalama cihazında zımparalanmış, sonrasında 6 µm, 3 µm ve 1 µm'lik keçe ve solüsyon kullanılarak parlatılmıştır.



Resim 8.2. 7 numaralı deneye ait malzemelerin optik görüntüleri

Resim 8.2’de aynı kesme parametrelerinde, farklı soğutma yöntemleri uygulanan 7 numaralı deneylere ait optik görüntüler görülmektedir. Optik görüntüler incelendiğinde MQL’in kullanılmadığı ve MQL ile birlikte TAM’ın kullanıldığı, dolayısıyla kesici takım ile malzeme arasında yüksek ısının olduğu deneylerde (Kuru ve MQL+TAM) malzemenin yüzeyinde daha büyük boşluklar meydana geldiği görülmüştür. Boşlukların artması, malzemenin daha fazla enerji absorbe etmesinden kaynaklanmaktadır. Enerjinin artmasıyla tane sınırlarındaki dislokasyonlar artmakta ve buna bağlı olarak kırılma yüzeylerinde daha büyük boşluklar oluşmaktadır. Özellikle MQL+TAM’ın birlikte kullanıldığı deney numunesinde bu boşluklar daha belirgin olarak gözlemlenmektedir.

Çizelge 8.4. Malzemelerin, deneyler sonrası mikro sertlik değerleri

İşleme Şartı	Numune No	Sertlik (HBW)		
		1	2	3
Kuru	1	170	170	170
	2	170	172	168
	3	169	175	174
	4	174	174	174
	5	173	173	172
	6	173	174	171
	7	175	176	174
	8	175	175	173
	9	169	174	171
MQL	1	175	169	175
	2	174	174	173
	3	175	176	173
	4	171	173	174
	5	169	172	172
	6	174	173	173
	7	168	175	175
	8	172	175	174
	9	168	166	166
MQL+TAM	1	172	172	169
	2	171	168	173
	3	177	177	174
	4	178	179	175
	5	174	178	170
	6	174	176	169
	7	172	170	173
	8	173	176	177
	9	173	168	172

Deneyle sonucunda malzeme üzerinde gerçekleştirilen mikro sertlik ölçüm değerleri Brinell cinsinden izelge 8.4’de verilmiştir.

Deneyle sonucunda malzemelerin, işlem öncesi sertlik değeri olan 170 Brinell’e yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu da uygulanan ön ısıtmanın, malzeme sertliğine önemli etkilerinin olmadığını göstermektedir.

MQL+TAM deneylerinde yüzeyden ölçülen sıcaklık değerleri izelge 8.5’teki gibidir.

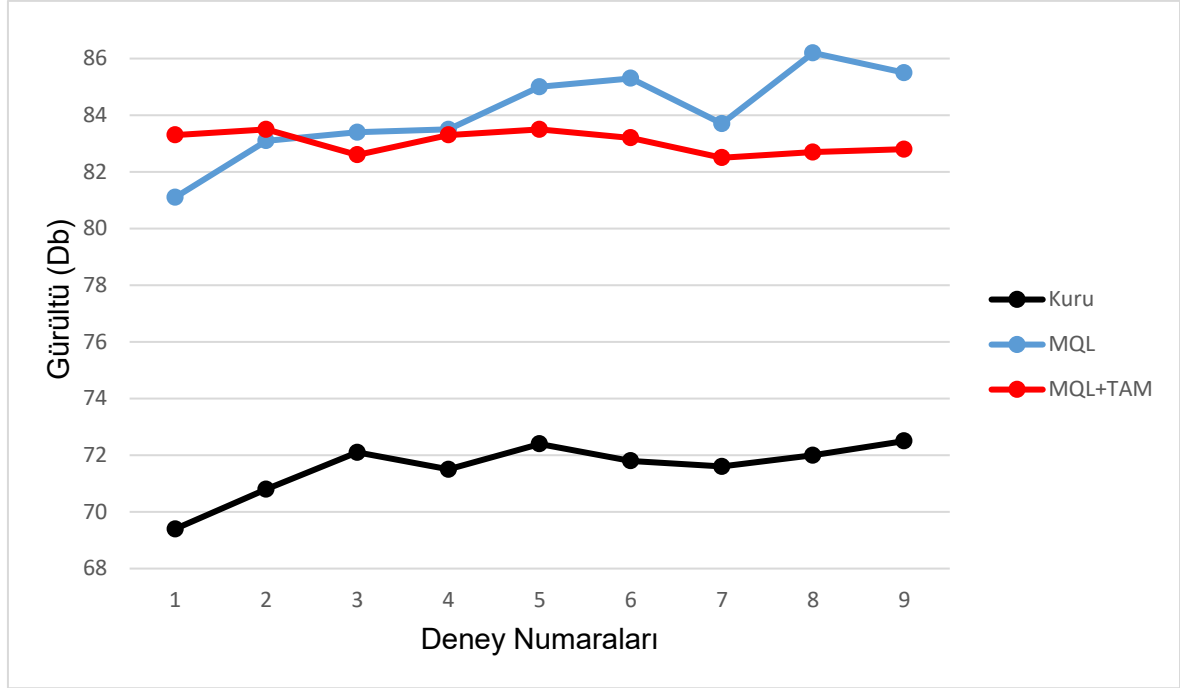
Çizelge 8.5. MQL+TAM deneylerinde malzeme yüzey sıcaklıkları

DENEY TİPİ	DENEY NO	ORT. SICAKLIK (°C)	MAX. SICAKLIK (°C)
MQL+TAM DENEYLERİ	1	280,5	292,4
	2	307,3	366,1
	3	338,9	347,4
	4	304,8	350,2
	5	315,9	321,5
	6	302,2	338,5
	7	293	342,2
	8	343,9	353,5
	9	311	327

Optik görüntüler ve mikro sertlik değerleri incelendiğinde, işleme sırasında yüzeyine bölgesel olarak 300 °C civarında sıcaklık uygulanan AA 7075-T6 alaşımının yapısında bozulmalar meydana gelmediği görülmektedir.

8.4. Gürültü Değerleri

Deneyle esnasında oluşan gürültü ölçülmüş, en yüksek gürültü değerleri kayıt altına alınmıştır. Gürültü değerleri şekil 8.5’de görülmektedir.



Şekil 8.5. Deneyler esnasında oluşan maksimum gürültü değerleri

Gürültü değerleri incelendiğinde, Minimum Miktarda Yağlama (MQL) ile yapılan deneylerin kulaklık kullanımı gerektirecek derecede yüksek gürültü seviyesine ulaştığı görülmektedir. Literatür araştırmalarında, MQL'in oluşturduğu gürültü ile ilgili bir çalışma görülmemiştir ancak, bu deneyler sırasında alınan değerlere bakıldığında MQL'nin gürültü seviyesini 69 Db'den 86 Db'ye kadar çıkarttığı gözlemlenmiştir.

8.5. Titreşim Değerleri

Yapılan deneylerde, her üç soğutma yönteminden ilk iki deneyin titreşim ölçümleri kayıt altına alınmıştır. Bu deneylere ait üç eksen de ölçülen titreşim değerleri Çizelge 8.7'de verilmiştir.

Çizelge 8.6. Deneyler esnasında oluşan titreşim değerleri

DENEY TİPİ	DENEY NO	MAX. İVME X-Ekesni (Hz)	MAX. İVME Y-Ekesni (Hz)	MAX. İVME Z-Ekesni (Hz)
KURU	1	1,392	2,525	10,650
	2	1,365	2,602	10,511
MQL	1	0,581	0,361	9,883
	2	0,578	0,361	9,897
MQL+TAM	1	0,566	0,341	9,885
	2	1,253	0,998	10,542

Çizelge 8.6 incelendiğinde, X ve Y eksenlerindeki hareket ve talaş kaldırma işleminden dolayı ivmelenmeler gözlemlenmekle birlikte, kesici takımın baskı uyguladığı Z ekseninde daha yüksek ivmelenmeler ölçülmüştür. En yüksek titreşim değerleri kuru şartlar altında yapılan deneylerde ölçülürken, en düşük titreşim değerleri ise MQL deneylerinde elde edilmiştir. MQL kullanımı, talaşın kesici takıma yapışmasını (BUE oluşumunu) azaltması, dolayısıyla daha düşük titreşimler elde edilmesine katkı sağlamıştır.

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

9.1. Sonuçlar

Bu çalışmada AA7075-T6 Alüminyum alaşımı, CNC işleme merkezinde, sabit talaş derinliğinde, 3'er farklı kesme hızı ve ilerleme oranında/hızında işlemeye tabi tutulmuştur. Farklı parametrelerde yapılan tüm deneyler hem kuru şartlar altında, hem MQL soğutma yöntemi ile hem de MQL+TAM şartlarında tekrarlanmıştır. Bu deneyler sonucunda, malzemede oluşan yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması, işleme sonrasında malzemenin yapısı, yüzey sertliği, işleme esnasındaki gürültü ve titreşim değerleri gözlemlenerek, bulunan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

i. Yüzey pürüzlülüğü ile ilgili elde edilen sonuçlar:

- Kesme hızı 200 m/min'den 240 m/min'e çıktığında yüzey pürüzlülüğünde %31'e varan iyileşmeler (kuru işleme şartlarında 3-6 ve MQL+TAM şartlarında 1-4. deney çıktıları karşılaştırıldığında) görülmüş, fakat 240 m/min'den 290 m/min'e çıktığında ise yüzey pürüzlülüğünde daha az iyileşmeler (max %27, MQL+TAM 6-9. deneyler) olduğu görülmüştür.
- İlerleme oranının/hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi, kesme hızının etkisi kadar anlamlı olmadığı görülmüştür. Kuru işleme şartlarında ilerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülüğü artarken (max %12; deney 4-5), MQL ve MQL+TAM deneylerinde ilerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünde azalma (max %13; MQL+TAM deney 8-9) olmuştur.
- Özellikle yüksek kesme hızlarında (290 m/min) Minimum Miktarla Yağlama ile Termal Destekli İşlemenin birlikte uygulandığı deneylerde elde edilen yüzey pürüzlülüğü diğer deneylere göre düşük olduğu tespit edilmiştir.
- Kuru işleme şartlarında en düşük yüzey pürüzlülüğüne 0,14 mm/rev ilerlemede ($R_a=0,234$) ulaşılırken, MQL ve MQL+TAM deneylerinde 0,20 mm/rev ilerlemede en düşük yüzey pürüzlülüğüne ($R_a=0,198$) ulaşıldığı görülmüştür. MQL ile TAM'ın birlikte uygulandığı deneylerde, kuru ve MQL deneylerine göre daha düşük yüzey pürüzlülükleri elde edildiği görülmüştür.

- Tüm deneylerde en düşük yüzey pürüzlülüğüne ise MQL ile TAM'ın birlikte uygulandığı 9. deneyde ($V_c:290$ m/min, $F_z:0,2$ mm/Teeth) ulaşıldığı ($R_a=0,198$) görülmüştür.
- Kuru işleme şartlarında yapılan deneylerde, değişkenlerin yüzey pürüzlülüğünü diğer yöntemlere göre daha fazla etkilediği, en kötü yüzey pürüzlülük ölçümlerinin de ($R_a=0,370$) kuru işleme şartlarında yapılan 3 ($V_c:200$ m/min, $F_z:0,2$ mm/teeth) numaralı deneyde elde edildiği görülmüştür.
- Minimum Miktarda Yağlama ile yapılan deneylerdeki yüzey pürüzlülük değerlerinin, kuru işleme şartlarına göre daha iyi ve stabil sonuçlar verdiği görülmüştür.
- Minimum Miktarda Yağlama ile Termal Destekli İşleme şartlarının birlikte uygulandığı deneylerde ise, diğer iki yöntemle göre (Kuru ve MQL) daha iyi yüzey pürüzlülük değerleri ve daha stabil sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

ii. Takım aşınması ve malzeme yapısı ile ilgili elde edilen sonuçlar:

- Yağlayıcı kullanmadan yapılan deneylerde, alüminyum alaşımının ısı altında takıma yapışarak (BUE) krater oluşturduğu görülmüştür.
- Aynı şartlarda yapılan MQL ve MQL+TAM deneylerinde kesici takımın benzer şekilde serbest yüzey aşınmasına maruz kaldığı tespit edilmiştir. Fakat bu aşınmaların kuru işleme şartlarına göre çok düşük aşınmalar olduğu görülmüştür.
- SEM görüntüleri incelendiğinde, en düşük takım aşınmasının MQL+TAM deneyinde olduğu görülmüştür.
- Deneyler sonucunda malzemelerin, işlem öncesi sertlik değeri olan 170 Brinell'e yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.
- Optik görüntüler ve mikro sertlik değerleri incelendiğinde, işlenen yüzeyine bölgesel olarak $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ civarında sıcaklık uygulanan AA 7075-T6 alaşımının yapısının bozulmadığı görülmüştür.

iii. Gürültü ve titreşim ile ilgili elde edilen sonuçlar:

- Gürültü değerleri incelendiğinde, Minimum Miktarda Yağlama ile yapılan deneylerin kulaklık kullanımını gerektirecek yüksek gürültü seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir.

MQL sisteminde yağın basınç ile püskürtülmesinin gürültü seviyesini arttırdığı görülmüştür.

- MQL kullanımının, çıkarttığı yüksek gürültü sebebi ile çalışma konforunu olumsuz yönde etkilediği, hatta 28701 sayılı “Çalışanların gürültü ile ilgili risklerden korunmalarına dair yönetmelik” te belirtilen maruziyet sınır değerine yakın (87 dB) gürültü oluşturarak iş sağlığı açısından bir risk teşkil ettiği söylenebilir.
- Titreşim değerleri incelendiğinde, X ve Y eksenlerindeki hareket ve talaş kaldırma işleminden dolayı ivmelenmeler gözlemlenmekle birlikte, kesici takımın baskı uyguladığı Z ekseninde daha yüksek ivmelenmeler ölçülmüştür. En yüksek titreşim değeri (10,65 Hz) kuru şartlar altında yapılan deneylerde ölçülürken, en düşük titreşim değerleri ise (9,883 Hz) MQL deneylerinde ölçülmüştür.

9.2. Öneriler

- Farklı talaş derinliklerinde benzer deneyler uygulanıp, yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenebilir.
- Termal destekli işlemede (TAM) plazma ve lazer ısı kaynakları kullanılarak takım aşınması, malzeme yapısı ve yüzey pürüzlülüğü araştırılabilir. Bu sayede daha lokal ısıtmanın etkileri de incelenebilir.
- TAM deneylerinde, ısı kaynağı kesici uca daha yakın alev püskürtecek şekilde yerleştirilerek, bunun sonuçlara etkisi incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Ağar, S. (2014). AA 7075-T6 Alüminyum Alaşımının Minimum Miktarda Yağlama Yöntemiyle Talaşlı İşlenebilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, (2-3).
- Akben, U. (2009). Minimum Miktarda Yağlama (MMY) ile Kesmenin Takım Aşınması ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 23-28.
- Alkali, A. U., Ginta, T. L., Abdulrani, A. M., Fawad, H. and Danish, M. (2016). Study on the machinability of 316L stainless steel using flame assisted machining. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(14), 8743–8749.
- Altıntaş, Y. (2012). *Manufacturing Automation*. (Second Ed.), New York: Cambridge University Press. 35-36.
- Arjun, B., Jaganbabu, S., Jayaprakash, R., Kaviyarasu, B. and Gopalakrishnan, K. (2018). Optimization of cutting parameters in milling of Aluminium 7075 alloy using response surface methodology. *International Journal of Science and Engineering*, 1(1), 236–243.
- Azhdari Tadavani, S., Shoja Razavi, R. and Vafaei, R. (2017). Pulsed laser-assisted machining of Inconel 718 superalloy. *Optics and Laser Technology*, 87, 72–78.
- Baek, J. T., Woo, W. S. and Lee, C. M. (2018). A study on the machining characteristics of induction and laser-induction assisted machining of AISI 1045 steel and Inconel 718. *Journal of Manufacturing Processes*, 34, 513–522.
- Bankar, N. D., Shelke, P. G. D. and Irfan, P. M. D. (2019). Experimental investigation of aluminum 7075 using dry, wet and mql condition. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 6, 957–962.
- Birmingham, M. J., Palanisamy, S. and Dargusch, M. S. (2012). Understanding the tool wear mechanism during thermally assisted machining Ti-6Al-4V. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 62, 76–87.
- Bozkurt, S. (2019). AA7075 T651 Alüminyum Alaşımının Tornada İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Geometrik Toleranslara Ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 23-24.
- Cagan, S. C., Venkatesh, B. and Buldum, B. B. (2020). Investigation of surface roughness and chip morphology of aluminum alloy in dry and minimum quantity lubrication machining. *Materials Today: Proceedings*, 27, 1–5.
- 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, 171-176.

- Degarmo, E. P., Black, J. T. and Kohser, R. A. (2003). *Materials and Processes in Manufacturing*. (9th ed.), New Jersey: John Wiley & Sons, 260-261.
- Dhar, N. R., Kamruzzaman, M. and Ahmed, M. (2006). Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear and surface roughness in turning AISI-4340 steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 172(2), 299–304.
- Durmuş, V. (2019). *Al 7075 Malzemenin Parmak Frezeler İle İşlenebilirliğinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 37–39.
- Erdoğan, M. (2000). *Demir Dışı Alaşımlar, Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri*. (1. Baskı), Ankara: Nobel Yayınevi, 340-368.
- Fergani, O., Shao, Y. and Liang, S. Y. (2014). Effect of temperature on the subsurface microstructure and mechanical properties of AA 7075-T6 in machining. *Procedia CIRP*, 13, 181–185.
- Groover, M. P. (2016). *Fundamentals of Modern Manufacturing*. Indianapolis: Don Fowley Press. (6 th. Ed.), 523-525
- Güllü, A., Özdemir, A. ve Demir, H. (2003). Yüzey pürüzlülüğü ölçme yöntemleri ve mukayesesi. *Teknoloji*, 1(2), 79–92.
- Gürbüz, H., Baday, Ş. ve Gönülaçar, Y. E. (2017). Minimum miktarda yağlamanın frezeleme işlemleri ü zerine etkisinin araştırılması : Derleme. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi* 7(2), 59–79.
- Hernández, P., Ares, E., Martínez, J. and Nieto, I. (2017). Analysis of CO2 dry ice projection on Al 7075, applied to drilling and milling operations. *Procedia Manufacturing*, 13, 205–210.
- Hüseyinoğlu, M. ve Tosun, N. (2009, 13-15 Mayıs). *7075 AL alaşımının frezelenmesinde minimum miktarda soğutma sıvısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi*. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumunda (IATS'09) sunuldu, Karabük.
- İnternet: EITASARIM (2019). Yüzey İşleme İşaretleri
Web:<http://www.eitasarim.com/2019/07/yuzey-isleme-isaretleri/> Erişim
Tarihi:14.12.2020
- Jeong, H. I. and Lee, C. M. (2021). A study on improvement of tool life using a heat shield in laser assisted machining to Inconel 718. *Optics and Laser Technology*, 142(March), 107208.
- Jomaa, W., Songmene, V. and Bocher, P. (2014). Surface finish and residual stresses induced by orthogonal dry machining of AA7075-T651. *Materials*, 7(3), 1603–1624.
- Karabulut, Ş., Çinici, H. and Karakoç, H. (2016). Experimental investigation and optimization of cutting force and tool wear in milling AA7075 and open-cell sic foam composite. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 41(5), 1797–1812.

- Kaya, I. (2005). *Al 7075 Alaşımının Şekillenme Ve Isıl İşlemle Özelliklerinin İyileştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-2.
- Kedare, S. B., Borse, D. R. and Shahane, P. T. (2014). Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on surface roughness of mild steel of 15HRC on universal milling machine. *Procedia Materials Science*, 6, 150–153.
- Khettabi, R., Nouioua, M., Djebara, A. and Songmene, V. (2017). Effect of MQL and dry processes on the particle emission and part quality during milling of aluminum alloys. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 92(5–8), 2593–2598.
- Kilickap, E., Huseyinoglu, M. and Ozel, C. (2011). Empirical study regarding the effects of minimum quantity lubricant utilization on performance characteristics in the drilling of Al 7075. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 33(1), 52–57.
- Kim, E. J. and Lee, C. M. (2020). Experimental study on power consumption of laser and induction assisted machining with inconel 718. *Journal of Manufacturing Processes*, 59 (December 2019), 411–420.
- Kılıç, S. ve Kacar, İ. (2019). Farklı ısıtma işlem uygulanmış 7075 alüminyum alaşımlarının şekillendirilebilirlik sınır diyagramının deneysel olarak belirlenmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1), 512–520.
- Kouam, J., Songmene, V., Balazinski, M. and Hendrick, P. (2015). Effects of minimum quantity lubricating (MQL) conditions on machining of 7075-T6 aluminum alloy. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 79(5–8), 1325–1334.
- Kulkarni, H. B., Nadakatti, M. M., Kulkarni, S. C. and Kulkarni, R. M. (2019). Investigations on effect of nanofluid based minimum quantity lubrication technique for surface milling of Al7075-T6 aerospace alloy. *Materials Today: Proceedings*, 27(2020), 251-256.
- Kuram, E. and Ozcelik, B. (2013). Multi-objective optimization using Taguchi based grey relational analysis for micro-milling of Al 7075 material with ball nose end mill. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 46(6), 1849–1864.
- Moon, S. H. and Lee, C. M. (2018). A study on the machining characteristics using plasma assisted machining of AISI 1045 steel and Inconel 718. *International Journal of Mechanical Sciences*, 142–143(January), 595–602.
- Muñoz-Escalona, P. and Maropoulos, P. G. (2015). A geometrical model for surface roughness prediction when face milling Al 7075-T7351 with square insert tools. *Journal of Manufacturing Systems*, 36, 216–223.
- Ng, C. K., Melkote, S. N., Rahman, M. and Senthil Kumar, A. (2006). Experimental study of micro- and nano-scale cutting of aluminum 7075-T6. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46(9), 929–936.

- Öndaş, A. (2016). *Sert Tornalama İşleminde Minimum Miktarda Yağlama Yönteminin Etkisinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 45.
- Özakın, B. (2014). *Alüminyum Alaşımlarının Farklı Ortamlardaki Geirliedli Korozyon Davranışının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 1-2.
- R. Edwards. (1993). *Cutting Tools*. (First Ed.). London: The Institute Of Materials, 3-24.
- Rao, B. and Shin, Y. C. (2001). Analysis on high-speed face-milling of 7075-T6 aluminum using carbide and diamond cutters. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 41(12), 1763–1781.
- Rawangwong, S., Chatthong, J., Boonchouytan, W. and Burapa, R. (2014). Influence of cutting parameters in face milling semi-solid AA 7075 using carbide tool affected the surface roughness and tool wear. *Energy Procedia*, 56(C), 448–457.
- Rotella, G. (2019). Effect of surface integrity induced by machining on high cycle fatigue life of 7075-T6 aluminum alloy. *Journal of Manufacturing Processes*, 41(March), 83–91.
- Sağlam, H. (2016). Frezelemede kesme parametreleri ile kesme kuvvetlerinin değişimi ve bunların takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin deneysel incelenmesi. *Selçuk Teknik Onlin Dergisi*, 1(3), 4–12.
- Şah, A. (2018). *Frezeleme İşleminde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Ve Kesme Enerjisine Etkisinin Taguchi Metodu İle Optimizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi. Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, 7.
- Şahinoğlu, A., Karabulut, Ş. and Güllü, A. (2017). Study on spindle vibration and surface finish in turning of al 7075. *Solid State Phenomena*, 261 SSP, 321–327.
- Sakthivelu, S., Anandaraj, T. and Selwin, M. (2017). Multi-objective optimization of machining conditions on surface roughness and MRR during CNC end milling of Aluminium Alloy 7075 using Taguchi design of experiments. *Mechanics and Mechanical Engineering*, 21(1), 95–103.
- Sarikaya, M. and Güllü, A. (2014). Taguchi design and response surface methodology based analysis of machining parameters in CNC turning under MQL. *Journal of Cleaner Production*, 65, 604–616.
- Stephenson, D. A. and Agapiou, J. S. (2016). *Metal Cutting Theory and Practice*, (Third Ed.). ABD: CRC Press, 159-160 and 7983-822.
- Sun, S., Brandt, M. and Dargusch, M. S. (2010). Thermally enhanced machining of hard-to-machine materialsA review. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 50(8), 663–680.

- Tosun, N. ve Huseyinoglu, M. (2010). Effect of MQL on Surface Roughness in Milling of AA7075-T6. *Materials and Manufacturing Processes*, 25(8), 793-798.
- Trent, E. M. ve Wright, P. K. (2000). *Metal Cutting*, (Fourth Ed.), ABD: Butterworth-Heinemann, 12-30.
- Tucker, K. H. (2006). Metalforming Applications. J. P. Byers (Ed.), *Metalworking Fluids*, ABD: CRC Press, (2. ed.). 103–126.
- Tufan, M. (2011). AA6082 Alüminyum Alaşımlarında Yaşlandırma Isıl İşleminin İşlenebilirliğe Ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 27-28.
- Woo, W.-S. and Lee, C.-M. (2019). Innovative use of multi-heat sources for improvement of tool life in thermally assisted machining of high-strength material. *Journal of Manufacturing Processes*, 38, 30–37.
- Yazid, M. Z. A., Zainol, A. and Mustapaha, A. M. (2019). Effect of machining parameters in milling aluminum alloy 7075-T6 under MQL condition. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 9(2), 109–113.
- Yılmaz, B. and Güllü, A. (2020). The Investigation of the Effects of Cutting Parameters on Surface Roughness and Chip Formation in Turning of AISI 1050 Steel. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 26(4), 628–633.

EKLER

EK-I Deneylerde kullanılan AA 7075-T6 malzeme sertifikası



25038 ROVATO (BS) Italy
 Via S. Andrea, 3
 Tel. 030 7725011
 Fax sections dept. 030 7701228
 Fax uff. comm. profili
 Fax bars dept. 030 7702847
 Fax uff. comm. barre

CER108742

INSPECTION CERTIFICATE CERTIFICATO DI COLLAUDO

ALUMINIUM SEMI-FINISHED EXTRUDED AND DRAWN PRODUCTS
 ESTRUSI E TRAFILATI DI ALLUMINIO

According to: EN 10204 3.1
 Conforme a:

Customer Cliente	ALTEK METAL SAN.ve TIC. A.S.	Your Order Vs. Ordine	ERL217005
Material Materiale	BARRA TONDA ESTRUSA 250	Conf.No. Nr.Conf.	5105900008
Alloy Lega		Batch Lotto	1702230010
Temper Stato	T6	EN AW-7075 EN 573-3	

CHEMICAL ANALYSIS - ANALISI CHIMICA (%)

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Zr		
Required Prescritte	min		1,200		2,100	5,100		0,180			
	max	0,400	0,500	2,000	0,300	2,900	6,100	0,200	0,280	0,050	
Found / Riscontrato											
Cast. No. Nr. Colata	1720077	0,080	0,190	1,330	0,180	2,320	5,690	0,030	0,210	0,021	

MECHANICAL PROPERTIES - CARATTERISTICHE MECCANICHE

	Tensile strength Carico Unitario di rottura Rm (MPa)	Yield strength Carico Unitario di snervamento Rp0,2 (MPa)	Elongation Allungamento A (%)	Hardness Durezza HBW	
Required Prescritte	min				
	max				
Found / Riscontrato					
	443,20	315,50	11,40	200	

REMARKS OF TEST INSPECTOR - DICHIARAZIONI DEL COLLAUDATORE

This product is conform to a.m. order - Il materiale testato e' conforme a quanto specificato in fase d'ordine
 This alloy complies with 2011/65/EU (RoHS II) and 2000/53/EC (ELV) directives
 Prodotto conforme alle direttive 2011/65/EU (RoHS II), 2000/53/EC (ELV)

Ultrasonic tested billets according to SAE AMS STD 2154 Type 1 Class A

Quality System certified according to ISO 9001:2008, ISO/TS 16949:2009, ISO 14001:2004
 Sistema Qualità certificato secondo ISO 9001:2008, ISO/TS 16949:2009, ISO 14001:2004

MADE IN ITALY

Rovato martedì 21 marzo 2017

M0904.01B Rev 10

1/1



GAZİ GELECEKTİR..