

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**AŞIRI PLASTİK DEFORMASYON VE YAŞLANDIRMA  
İŞLEMLERİ UYGULANAN AA7075 MALZEMENİN  
İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**UĞUR ŞEVİK**

**KOCAELİ – 2021**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**AŞIRI PLASTİK DEFORMASYON VE YAŞLANDIRMA**  
**İŞLEMLERİ UYGULANAN AA7075 MALZEMENİN**  
**İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**UĞUR ŞEVİK**

**Prof.Dr. Mehmet UÇAR**

**Danışman, Kocaeli Üniv.**

.....

**Prof.Dr. Mustafa AY**

**Jüri Üyesi, Marmara Üniv.**

.....

**Doç.Dr. Hasan KAYA**

**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.**

.....

**Tezin Savunulduğu Tarih: 22.06.2021**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Günümüz endüstrisinde nitelikli malzemeye olan ihtiyaç her geçen gün atmaktadır. Özellikle hafifliği ve mukavemeti nedeniyle birçok uygulama alanında yaygın olarak kullanılan alüminyum alaşımlarının çeşitli yöntemlerle özellikleri arttırılabilmektedir. Oluşan ihtiyaca göre malzeme seçimi yapıldıktan sonra malzemeler üzerinde bir takım işlemler yapılır. Bu işlemlerin bir kısmı malzemenin kimyasal yapısıyla ilgiliyken, bir kısmı ise fiziksel yapısıyla ilgilidir. Malzemenin istenilen niteliklere ulaşması için gerek içyapısını değiştirmek üzere, gerekse boyutlandırılmalarıyla ilgili işlemler yapılabilmektedir. Böylece malzemede bir bütünlük sağlanmış olur. Alüminyum malzemesinin alaşımlandırılması ve çökeltme sertleşmesi işlemlerine tabi tutulması alüminyumun mekanik özelliklerine olumlu katkılar sağlamaktadır. Ayrıca aşırı plastik deformasyon yöntemleriyle alüminyumun içyapısında oluşan değişiklikler sayesinde mekanik özellikleri arttırılabilmektedir. Havacılık, uzay ve otomotiv sanayi gibi alanlarda tercih sebebi olan alüminyumun çinko ile alaşımlandırılmasıyla yapılan AA7075 malzemesi yaşlandırmaya ve eşit kanallı açısız presleme yöntemlerine uygundur. Malzemeler belirli boyut ve toleranslarda işlenerek kullanıma hazırlanmaktadır. Malzemeler kullanıldıkları yerlerde bir takım parametrelerin etkisi altında kalırlar. Malzemenin bu dış etkilerle mücadelesi malzemenin içyapısı ve boyutlandırılmasıyla ilgilidir. Malzemenin boyutlandırılması için yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri talaşlı imalattır. Talaşlı imalat malzemenin istenilen boyutlara ulaşması için kesici takım-malzeme çiftinin birbirine göre hareketiyle izlediği bir yolu ve bu yoldaki kesme süreçlerini içermektedir. Talaşlı imalat yöntemleriyle malzemenin kolay boyutlandırılmasına işlenebilirlik denilmektedir. Malzemenin kesilmeye direnci ve kesicinin malzemeyi kesebilmesi işlenebilirlikle açıklanmaktadır. Kesme sırasında oluşan kuvvetler malzemenin işlenebilirliği konusunda fikir vermektedir. Üreticiler malzemenin hafif, ekonomik, dayanıklı olmasını ve kolay işlenebilmesini istemektedirler. Bütün bu çaba bizi tasarım süreçlerine götürmektedir. Malzemenin yapısı, işlenebilir olması, dayanıklı olması üreticilere malzemenin hazırlanabilirliği konusunda fikir vermektedir. Bu fikir hem malzeme hem de malzemeyi yapabilmek için gerekli olan makine ve teçhizatla ilgili olduğu kadar, malzemenin kullanılacağı yer ile de ilgilidir.

Bu çalışmada havacılık, uzay ve otomotiv endüstrisinde sıklıkla kullanılan AA7075 malzemesinin ısıl işlemlerle ve aşırı plastik deformasyon yöntemlerinden biri olan eşit kanallı açısız presleme işlemine tabi tutulduktan sonra işlenebilirlik özellikleri araştırılmıştır. Böylece eşit kanallı açısız presleme yöntemi uygulanmış ve yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş AA7075 malzemesinin işlenebilirliği konusunda ilgililere bilgi vermesi amaçlanmıştır.

Bu yüksek lisans tez çalışmamda ihtiyacım olan her anda beni yalnız bırakmayan, desteğini ve yardımını hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım sayın Prof. Dr. Mehmet UÇAR hocama; çalışmam boyunca her an yanımda olan, bilgi ve tecrübelerini paylaşarak yolumu aydınlatan sayın Doç. Dr. Hasan KAYA hocama sonsuz saygı ve şükranlarımı sunarım. Çalışmamı çok değerli katkılarıyla ileriye

taşıyan sayın Doç. Dr. Abdülkadir CENGİZ hocama sonsuz saygı ve şükranlarımı sunarım.

Beni, yüksek lisans eğitimi konusunda teşvik eden ve literatüre bir katkı sunmamı sağlayan sayın Prof. Dr. Engin ÖZDEMİR hocama saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim MUTLU hocama; Arş. Gör. Serkan ÖĞÜT, Arş. Gör. Kerim ÖZBEYAZ ve Arş. Gör. Dr. Mehmet ŞAHBAZ hocalarıma çalışmama sağladıkları destekler için teşekkürü borç bilirim.

Deneysel çalışmam boyunca dostluğundan ve yardımlarından güç aldığım değerli arkadaşım ve meslektaşım teknik öğretmen Soner YAZGI' ya teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmamı gerçekleştirmem için gerekli laboratuvar olanaklarını sağlayan Kocaeli Üniversitesi Teknoloji Fakültesi' ne ve tekniker Mehmet Hatip ÖNALAN ağabeyime teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreçte her zaman yanımda olan hayat arkadaşım çok değerli eşime, varlığıyla hayatıma anlam katan biricik oğluma sonsuz sevgilerimi sunarım.

Haziran - 2021

Uğur ŞEVİK

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ .....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
ÖZET .....	ix
ABSTRACT.....	x
GİRİŞ .....	1
1. GENEL BİLGİLER.....	3
1.1. Alüminyum Malzemesi .....	3
1.1.1. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması.....	4
1.2. Aşırı Plastik Deformasyon (APD).....	7
1.2.1. Eşit kanallı açısız presleme (EKAP) .....	10
1.3. Yaşlandırma İşlemi .....	13
1.4. Talaşlı Üretim.....	15
1.4.1. İşlenebilirlik.....	20
2. MALZEME VE YÖNTEM.....	22
2.1. Ekap Numunelerinin Hazırlanması ve Yaşlandırma Isıl İşlemleri.....	22
2.2. İşlenebilirlik Çalışmaları .....	24
3. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	29
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	75
4.1. Sonuçlar .....	75
4.2. Öneriler .....	76
KAYNAKLAR .....	77
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER .....	84
ÖZGEÇMİŞ .....	85

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	(a) Kaba taneli Al numuneye ait APD öncesi EBSD (Electron Backscattering Diffraction) görüntüsü (b) 1 paso EKAP sonrası inceltirilmiş tane yapısına ait EBSD görüntüsü.....	10
Şekil 1.2.	EKAP' ın üç ortogonal düzlemini x, y ve z olarak gösteren şematik gösterim.....	12
Şekil 1.3.	EKAP çalışma sistemi.....	12
Şekil 1.4.	Çökeltme sertleşmesi işlem kademelerinin şematik gösterimi.....	15
Şekil 1.5.	Talaşlı imalat işlemine ait kesit görüntüsü.....	16
Şekil 1.6.	(a) Tek ve (b) çok sayıda kesici kenara sahip kesici takımların genel gösterimi.....	17
Şekil 1.7.	İş parçasında kesici takımın ilerlemesi.....	18
Şekil 1.8.	Tornalama işlemi.....	18
Şekil 1.9.	Tornalama işleminde kesme kuvvetleri.....	19
Şekil 1.10.	(a) Dik ve (b) eğik kesme modelleri.....	19
Şekil 1.11.	Yüzey kalitesini gösteren sayısal değerler.....	21
Şekil 2.1.	Çalışmada homojenizasyon ısıl işlemi sırasında kullanılan (a) fırın (b) fırın sıcaklığı.....	23
Şekil 2.2.	(a) EKAP işlem sıcaklığı ve (b) ısıl işlem fırını içindeki hexa kalıp.....	23
Şekil 2.3.	(a) EKAP işlemi sırasında kullanılan pres, (b) EKAP işleminin yapılışı (c) katı yağlayıcı ve (d) MoS <sub>2</sub> koruyucu ve yağlayıcı.....	24
Şekil 2.4.	Suni yaşlandırma işleminde (a) fırın sıcaklık değeri ve b) suni yaşlandırma işlemi.....	24
Şekil 2.5.	Torna tezgahına entegre edilmiş loadcell.....	25
Şekil 2.6.	(a) ve (b) kesme kuvvetlerinin loadcell ile ölçülmesi.....	27
Şekil 2.7.	DEWEsoft X3 yazılımı ve DEWE-43A datalogger.....	27
Şekil 2.8.	Time TR200 profilometre.....	28
Şekil 3.1.	1. Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetlerinin değişimi.....	30
Şekil 3.2.	2. Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetlerinin değişimi.....	32
Şekil 3.3.	3. Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetlerinin değişimi.....	34
Şekil 3.4.	4. Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde	

	(d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetlerinin değişimi .....	36
Şekil 3.5.	5. Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetlerinin değişimi .....	38
Şekil 3.6.	6. Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetlerinin değişimi .....	40
Şekil 3.7.	7. Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetlerinin değişimi .....	42
Şekil 3.8.	8. Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetlerinin değişimi .....	44
Şekil 3.9.	9. Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetlerinin değişimi .....	46
Şekil 3.10.	1. Veri aralığında talaş derinliğine göre malzemelerin tornalanmasında kesme kuvvetlerinin karşılaştırmalı değişimi .....	47
Şekil 3.11.	2. Veri aralığında talaş derinliğine göre malzemelerin tornalanmasında kesme kuvvetlerinin karşılaştırmalı değişimi .....	48
Şekil 3.12.	3. Veri aralığında talaş derinliğine göre malzemelerin tornalanmasında kesme kuvvetlerinin karşılaştırmalı değişimi .....	48
Şekil 3.13.	4. Veri aralığında talaş derinliğine göre malzemelerin tornalanmasında kesme kuvvetlerinin karşılaştırmalı değişimi .....	49
Şekil 3.14.	5. Veri aralığında talaş derinliğine göre malzemelerin tornalanmasında kesme kuvvetlerinin karşılaştırmalı değişimi .....	49
Şekil 3.15.	6. Veri aralığında talaş derinliğine göre malzemelerin tornalanmasında kesme kuvvetlerinin karşılaştırmalı değişimi .....	50
Şekil 3.16.	7. Veri aralığında talaş derinliğine göre malzemelerin tornalanmasında kesme kuvvetlerinin karşılaştırmalı değişimi .....	50
Şekil 3.17.	8. Veri aralığında talaş derinliğine göre malzemelerin tornalanmasında kesme kuvvetlerinin karşılaştırmalı değişimi .....	51
Şekil 3.18.	9. Veri aralığında talaş derinliğine göre malzemelerin tornalanmasında kesme kuvvetlerinin karşılaştırmalı değişimi .....	51
Şekil 3.19.	1. Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde radyal kuvvetlerinin değişimi .....	53
Şekil 3.20.	2. Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde radyal kuvvetlerinin değişimi .....	55

Şekil 3.21.	3.Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde radyal kuvvetlerinin değişimi.....	57
Şekil 3.22.	4.Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde radyal kuvvetlerinin değişimi.....	59
Şekil 3.23.	5.Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde radyal kuvvetlerinin değişimi.....	61
Şekil 3.24.	6.Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde radyal kuvvetlerinin değişimi.....	63
Şekil 3.25.	7.Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde radyal kuvvetlerinin değişimi.....	65
Şekil 3.26.	8.Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde radyal kuvvetlerinin değişimi.....	67
Şekil 3.27.	9.Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde radyal kuvvetlerinin değişimi.....	69
Şekil 3.28.	Numunelerde farklı talaş derinliklerinde oluşan ortalama yüzey pürüzlükleri .....	72
Şekil 3.29.	0,05 mm talaş derinliğinde malzemelerin kesme hızına göre yüzey pürüzlülük değerlerinin karşılaştırılması .....	72
Şekil 3.30.	0,10 mm talaş derinliğinde malzemelerin kesme hızına göre yüzey pürüzlülük değerlerinin karşılaştırılması .....	73
Şekil 3.31.	0,15 mm talaş derinliğinde malzemelerin kesme hızına göre yüzey pürüzlülük değerlerinin karşılaştırılması .....	73
Şekil 3.32.	0,20 mm talaş derinliğinde malzemelerin kesme hızına göre yüzey pürüzlülük değerlerinin karşılaştırılması .....	74
Şekil 3.33.	0,25 mm talaş derinliğinde malzemelerin kesme hızına göre yüzey pürüzlülük değerlerinin karşılaştırılması .....	74



## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1.	Dövme alüminyum alaşımları .....	4
Tablo 1.2.	Döküm alüminyum alaşımları .....	5
Tablo 1.3.	Alüminyum alaşımlarında seri numaraları .....	6
Tablo 2.1.	AA7075 alaşımı kimyasal bileşimi (%). .....	22
Tablo 2.2.	İşlenebilirlik numune sayıları .....	25
Tablo 2.3.	Veri aralıklarında kaldırılan talaş ve çaptaki azalma miktarı.....	25
Tablo 2.4.	Çalışma için belirlenen veri aralıkları ve ilgili veri aralıklarına göre çap ölçüleri .....	26
Tablo 2.5.	Çalışmada belirlenen kesme parametreleri.....	26

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AA	: Alüminyum alaşımı
Al	: Alüminyum
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
f	: İlerleme hızı (mm/dev)
Fc	: Kesme Kuvveti (N)
Fe	: Demir
$\Phi$	: Kanal kesişme açısı
Fr	: Radyal Kuvvet (N)
Mg	: Magnezyum
mm	: Milimetre
$\mu\text{m}$	: Mikrometre
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
n	: Devir hızı (dev/dak)
Ni	: Nikel
Ra	: Ortalama yüzey pürüzlülüğü ( $\mu\text{m}$ )
S	: Kükürt
Si	: Silisyum
Ti	: Titanyum
Zn	: Çinko

## Kısaltmalar

APD	: Aşırı Plastik Deformasyon
BHD	: Birikimli Hadde Bağı
ÇİB	: Çoklu İzotermal Basma
EBSD	: Elektron Geri Saçılım Difraksiyonu
EKAP	: Eşit Kanallı Açısal Presleme
KKD	: Kapalı Kalıpta Tekrarlı Dövme
NY	: Nano Yapılı
SKİ	: Sürtünme Karıştırma İşlemi
TBD	: Tekrarlı Bükme-Doğrultma
TEB	: Tekrarlı Ekstrüzyon ve Basma
UİT	: Ultra İnce Tane
YBB	: Yüksek Basınç Altında Burma

# **AŞIRI PLASTİK DEFORMASYON VE YAŞLANDIRMA İŞLEMLERİ UYGULANAN AA7075 MALZEMENİN İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

## **ÖZET**

Bu çalışmada, Eşit Kanallı Açısal Presleme (EKAP) yöntemiyle aşırı plastik deforme edilmiş AA7075 alüminyum alaşımı malzemenin talaşlı işlenebilirliğine yaşlandırma işleminin etkisi incelenmiştir. Çalışmada ekonomikliği, hafifliği, mekanik özelliklerinin çeşitli yöntemlerle geliştirilmeye açık olması, EKAP ve suni yaşlandırma yöntemlerine uygunluğu nedeniyle özellikle uzay, havacılık, taşımacılık, otomotiv ve inşaat sanayinde sıklıkla kullanılan AA7075 alüminyum alaşımı tercih edilmiştir. Deneylerde kullanılmak üzere ilgili malzeme tornalanarak 16 adet numune hazırlanmıştır. Bunlardan 12 adedi homojenize edilmiştir. Homojenize edilen bu numunelerden 8 adedine EKAP yöntemiyle aşırı plastik deformasyon uygulanmıştır. EKAPlanan numunelerin 4 adedi suni yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Kesme kuvveti ve radyal kuvveti ölçümleri için torna tezgahına loadcell entegre edilmiştir. Belirli sayıda numune çeşitli çaplarda ve talaş derinliklerinde boyuna (silindirik) tornalanmıştır. Tornalama sırasında kuvvet ölçümleri yapılmıştır. Kuvvet ölçümü yapılmayan bir numune grubu kesme kuvvetleri ölçülen grupla aynı çap ve talaş derinliklerinde tornalanmış ve yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Sonuç olarak EKAP yöntemi ile aşırı plastik deformasyona tabi tutulan numunelerin mekanik özellikleri artmıştır ve işlenebilirlik özellikleri iyileşmiştir. En iyi işlenebilirlik özelliklerine T6 ısıl işlemlili numunelerde ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** AA7075, Aşırı Plastik Deformasyon, EKAP, Kesme Kuvvetleri, Yaşlandırma.

## **INVESTIGATION OF MACHINABILITY CHARACTERISTICS OF SEVERE PLASTIC DEFORMED AND AGED AA7075 MATERIAL**

### **ABSTRACT**

In this study, the effect of aging process on machinability of AA7075 aluminum alloy material, which is severe plastic deformed by Equal Channel Angular Pressing (ECAP) method, was investigated. In the study, AA7075 aluminum alloy, which is frequently used in aerospace, aviation, transportation, automotive and construction industries, was preferred due to its economy, lightness, openness to development with various methods, and its suitability for ECAP and artificial aging methods. 16 samples were prepared by turning the relevant material to be used in the experiments. 12 of them were homogenized. Severe plastic deformation was applied to 8 of these homogenized samples by ECAP method. 4 of the ECAPed samples were artificially aged. Loadcell is integrated into the lathe for cutting force and radial force measurements. A certain number of samples were turned longitudinally (cylindrically) at various diameters and cut depths. Force measurements were measured during turning. A sample group without force measurement was also turned at the same diameter and cut depths as the group whose cutting forces were measured, and surface roughness was measured. As a result, the mechanical properties of the samples, applied severe plastic deformation by the ECAP method, increased and their machinability properties improved. The best machinability properties were achieved in T6 heat-treated samples.

**Keywords:** AA7075, Severe Plastic Deformation, ECAP, Cutting Force, Aging.

## GİRİŞ

Rekabetin gittikçe şiddetlendiği günümüz piyasa koşulları, işletmeleri, kaliteli ürünleri düşük maliyetlerle üretmeye zorlamaktadır. Bu gereklilik, endüstride kullanılmak üzere yeni nesil malzemelere ilgi ve yönelişi arttırmaktadır. Özellikle mühendislik tabanlı üretim uygulamalarında ekonomik, hafif ve yüksek mukavemet özellikleri gösteren işlenebilir malzemelere ihtiyaç artmaktadır. Üreticiler, teknolojik gelişmelerin kullanımıyla, yeryüzünde sınırlı miktarlarda bulunan malzemelerin farklı kombinasyonlarını geliştirmeye ve üretimde bu çeşitli alaşım malzemeleri kullanmaya başlamıştır. Bu malzemeler arasında alüminyum ve alaşımları üretici beklentilerini karşılayabilmesi nedeniyle önemli bir yere sahiptir.

Bu tez çalışmasında, Eşit Kanallı Açısal Presleme (EKAP) yöntemiyle aşırı plastik deforme edilmiş AA7075 alüminyum alaşımı malzemenin talaşlı işlenebilirliğine yaşlandırma işleminin etkisi incelenmiştir. Çalışmada; ekonomikliği, hafifliği, mekanik özelliklerinin çeşitli yöntemlerle geliştirilmeye açık olması, EKAP ve suni yaşlandırma yöntemlerine uygunluğu nedeniyle özellikle uzay, havacılık, taşımacılık, otomotiv ve inşaat sanayisinde sıklıkla kullanılan AA7075 alüminyum alaşımı tercih edilmiştir.

Alüminyum özellikleri arttırılmak için genellikle bakır, çinko, magnezyum, manganez, silisyum, titanyum ve lityum elementleriyle alaşımlandırılmaktadır. Bu şekilde malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri geliştirilmektedir. Alüminyum alaşımlarında sertlik ve mukavemetin arttırılabilmesi alaşımların kullanım alanlarının genişlemesini sağlamıştır (Demirci vd., 2002; Dursun ve Soutis, 2014; Hirsch, 2014; Polmear vd., 2017). Alüminyum alaşımlarının geliştirilmesinde rol oynayan en önemli gelişme mukavemetin yaşlandırmayla (çökeltme sertleşmesi) arttırılabileceğinin bulunmasıdır (Hillbrans, 2004; Polmear vd., 1981; Polmear vd., 2004; Pogatscher vd., 2014). En önemli özelliği olan hafifliğine rağmen mukavemet özelliklerinin yüksek oluşu malzemenin birçok alanda tercih edilmesine neden olmaktadır (Onaran, 2000). Endüstrinin pek çok kolunda milyonlarca farklı ürünün

yapımında kullanılmakta olan alüminyum dünya ekonomisinde çok önemli bir yere sahiptir. Alüminyumdan üretilmiş hafiflik ve yüksek dayanım özellikleri gösteren yapısal bileşenler özellikle uzay, havacılık, otomotiv ve inşaat sanayisinde geniş kullanım alanı bulmaktadır (Florea vd., 2012; Hayat, 2012).

Literatürde AA7075 alaşımı malzemenin EKAP ve yaşlandırma işlemlerine tabi tutulduktan sonra kesme kuvvetlerinin ve radyal kuvvetlerin çap katmanlarına göre incelendiği herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada, öncelikle, EKAP yöntemiyle aşırı plastik deforme edilmiş AA7075 alaşımı malzemenin talaşlı imalatında çap katmanlarına göre kesme ve radyal kuvvetlere EKAP, EKAP ve suni yaşlandırma işleminin etkisi deneysel olarak incelenmiştir. İlâveten, bir grup numunenin yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Böylece kesmeye etki eden kesme kuvveti, radyal kuvvet ve yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi suretiyle talaş derinliğinin sabit ve farklı olduğu durumlardaki işlenebilirlik incelenmiştir. Deneysel çalışma, Kocaeli Üniversitesi Teknoloji Fakültesi atölyesinde gerçekleştirilmiştir. Deneylelerden elde edilen sonuçlara göre EKAP yöntemi ile aşırı plastik deformasyona tabi tutulan numunelerin mekanik özellikleri artmıştır ve işlenebilirlik özelliklerinin iyileşmiştir.

## 1. GENEL BİLGİLER

Çalışmanın bu kısmında, deneylerde kullanılan malzeme ve söz konusu malzemeye uygulanan işlemlerin nitelikleri hakkında genel bilgiler sunulacaktır.

### 1.1. Alüminyum Malzemesi

Düşük özgül ağırlığı ( $2.7\text{g/cm}^3$ ) nedeniyle hafif metaller grubuna giren alüminyum, 19. yüzyılın başlarında bulunmasını takiben, endüstride sıklıkla kullanılan bir malzeme olmuştur (Şahin, 2001). Yer kabuğunda fazlaca bulunan genç bir metal olan alüminyumun en önemli kaynağı boksit cevherleridir. Alüminyum oksidasyona karşı üstün direnci ile tanınır. “Al” simgesiyle gösterilen alüminyum mat gümüşümsü bir renge sahiptir. Atom numarası 13, kütle numarası 27, atomik ağırlığı  $26,98\text{ gr/mol}$ , ergime sıcaklığı  $660\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’ dir. Yapısı yüzey merkezli kübik kristal kafes şeklindedir. Alaşımız halde çekme mukavemeti  $90\text{ N/mm}^2$ ’ dir ve çökeltme sertleşmesiyle  $440\text{ N/mm}^2$  ye kadar çıkabilmektedir. En önemli özelliği olan hafifliğine rağmen mukavemet özelliklerinin yüksek oluşu malzemenin birçok alanda tercih edilmesine neden olmaktadır (Onaran, 2000). Endüstrinin pek çok kolunda milyonlarca farklı ürünün yapımında kullanılmakta olan alüminyum dünya ekonomisinde çok önemli bir yere sahiptir. Alüminyumdan üretilmiş hafiflik ve yüksek dayanım özellikleri gösteren yapısal bileşenler uzay, havacılık, otomotiv ve inşaat sanayisinde geniş kullanım alanı bulmaktadır (Florea vd., 2012; Hayat, 2012).

Saf alüminyum yumuşak ve sünek olduğu için, genellikle, alaşımlandırılarak kullanılmaktadır. Alaşımlarına katılan diğer metaller ile fiziksel, mekanik ve işlenebilirlik özellikleri geliştirilmektedir (Conserva vd., 1992). Alüminyum iyi elektriksel ve ısı iletkenliğinin yanı sıra yüksek bir ısı ve ışık yansıtma özelliğine de sahiptir (Smith, 2001). Alüminyum alaşımlarında mukavemet artışı yüksek iken, yoğunluk artışı nispeten daha düşük olmaktadır. Alüminyum alaşımlarının endüstride yaygın kullanıma neden olan faktörler arasında işlenebilirliğinin iyi olması, diğer metaller ile alaşımlarında yüksek çekme mukavemetleri elde edilmesi, imal kolaylığı, yüksek elektrik ve ısı iletkenliğe sahip olması, korozyona dayanıklı olması, ani

yüklemelere karşı yüksek elastikliğe sahip olması ve düşük sıcaklıklarda tok bir malzeme olması sayılabilir. Demir içerikli olmadığından ötürü manyetik değildir. Alüminyum söz konusu özellikleri itibariyle diğer metallere kıyasla avantajlı bir malzeme olmaktadır (Singh vd., 2000).

### 1.1.1. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması

Mühendislikte malzemelerin sınıflandırılması malzemenin doğru seçimi açısından önemli bir kavramdır. Alüminyum özellikleri arttırılmak için genellikle bakır, çinko, magnezyum, manganez, silisyum, titanyum ve lityum elementiyle alaşımlanmaktadır. Bu şekilde malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri geliştirilmektedir.

Alüminyum alaşımları; döküm alüminyum alaşımları ve dövme alüminyum alaşımları olmak üzere iki gruba ayrılır. Merkezi Amerika’ da bulunan Alüminyum Derneğine (The Aluminium Association) göre dört haneli bir simgeleme sistemi (örneğin; 1XXX) oluşturulmuştur. Birinci hane alaşımın tipi hakkında bilgi vermektedir. İkinci hane alaşımın başlangıç haline göre değişimini anlatmaktadır. Üçüncü ve dördüncü haneler de alaşımın saflığını veya alaşımı anlatmaktadır (Oğuz, 1990).

Dövme alüminyum alaşımları sınıflandırmalarına ilişkin açıklamalar Tablo 1.1’ de yapılmıştır.

Tablo 1.1. Dövme alüminyum alaşımları (ASM Handbook, 1990)

Alaşım	Açıklama
1XXX	Saf alüminyum (%99 ve üzeri).
2XXX	Ana alaşım elementi bakır olan alüminyum alaşımları.
3XXX	Ana alaşım elementi mangan olan alüminyum alaşımları.
4XXX	Ana alaşım elementi silisyum olan alüminyum alaşımları.
5XXX	Ana alaşım elementi magnezyum olan alüminyum alaşımları.
6XXX	Ana alaşım elementleri magnezyum ve silisyum olan alüminyum alaşımları.
7XXX	Ana alaşım elementi çinko olan alüminyum alaşımları.
8XXX	Diğer elementler.
9XXX	Gelecekte kullanılmak üzere belirlenmiştir.



Döküm alüminyum alaşımları üç basamaklı sistem ve ondalık bir hane ile tanımlanmıştır. Ondalık hane, ürünün şeklini nitelendirir. “.0” ondalık hane alaşımın döküm olduğunu, “.1” ise külçeleri ifade etmektedir. Döküm alüminyum alaşımları sınıflandırmalarına ilişkin açıklamalar Tablo 1.2’ de yapılmıştır.

Tablo 1.2. Döküm alüminyum alaşımları (ASM Handbook, 1990)

<b>Alaşım</b>	<b>Açıklama</b>
1XX.X	Saf alüminyum (%99 ve üzeri).
2XX.X	Ana alaşım elementi bakır olan alüminyum alaşımları.
3XX.X	Ana alaşım elementi bakır ve/veya magnezyum eklenmiş silisyum olan alüminyum alaşımları.
4XX.X	Ana alaşım elementi silisyum olan alüminyum alaşımları.
5XX.X	Ana alaşım elementi magnezyum olan alüminyum alaşımları.
6XX.X	Kullanılmayan seriler.
7XX.X	Ana alaşım elementi çinko olan alüminyum alaşımları.
8XX.X	Ana alaşım elementi kalay olan alüminyum alaşımları.
9XX.X	Diğer elementler.

Dövme alüminyum alaşımları döküm alüminyum alaşımlara göre genellikle mükemmel işlenebilirliğe sahiptirler ve üretim maliyeti/elde edilen özellik karşılaştırmasına göre de daha üstün özellikler göstermektedirler (Askeland, 1998).

Alüminyum alaşımlarında kullanılan ısıtım işlem özelliklerine ilişkin ifadeler Tablo 1.3’ te görülmektedir.

Tablo 1.3. Alüminyum alaşımlarında seri numaraları (Geçkinli, 2002)

Temper	Temper Kodu	Açıklama
F		Mekanik veya ısısal işlem görmemiş (döküm, dövülmüş vb.) halde
O		Tavlanmış veya yeniden kristalleşmiş
H	H1x	Soğuk işlem uygulanmış
	H2x	Soğuk işlenmiş ve kısmen tavlanmış (x farklı sertlikleri ifade etmektedir.)
	H3x	Sadece soğuk işlem uygulanmış ve kararlı
	H4x	Soğuk işlem uygulanmış ve malzeme yaşlanmaması için düşük sıcaklıkta ısısal işlemle stabilize edilmiş (x,
W		Çözeltiye alınmış
T		Yaşlandırma işlemini göstermektedir.
	T1	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş ve doğal olarak yaşlanmış
	T2	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş, soğuk deformasyon uygulanmış, doğal olarak yaşlanmış
	T3	Çözeltiye alınmış, soğuk işlenmiş ve doğal yaşlandırma uygulanmış
	T4	Çözeltiye alınmış ve doğal yaşlanmış
	T5	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş ve yapay yaşlandırılmış
	T6	Çözeltiye alınmış ve yapay yaşlanmış
	T7	Çözeltiye alınmış ve stabilize edilmiş (aşırı yaşlanmış)
	T8	Çözeltiye alınmış, soğuk işlenmiş ve yapay yaşlandırılmış
	T9	Çözeltiye alınmış, yapay yaşlandırılmış ve soğuk işlem uygulanmış
	T10	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş, soğuk işlem uygulanmış, yapay yaşlanmış

Esas alaşım elementi çinko olan 7XXX serisinin (%1 ile %8 arasında Zn bulundurur), mukavemetini arttırmak için alaşıma Mg, Cu ve düşük oranlarda Mn ve

Cr eklenmektedir. 7XXX serisi, ısıl işlenebilir bir alaşımdır ve yüksek dayanım gösterebilmektedir. 7XXX serisi, alüminyum alaşımları içerisinde en yüksek mukavemete sahip olanıdır. Özellikle gerilmeli korozyon veya folyolanmanın problem olduğu yerlerde kullanılmaktadır. Havacılık sanayisinde sıklıkla kullanılır. Bakırlı alaşımlarda çökelme sertleştirilebilir. Yöntem ve alaşımın içeriğine bağlı olarak kötüden çok iyiye uzanan bir kaynak kabiliyeti yelpazesi bulunmaktadır (URL-1).

Savunma sanayi ve havacılık sanayindeki kullanılan alüminyum alaşımları içerisinde özellikle yaşlandırılabilir 7075 alüminyum alaşımı üstün mekanik özellikleri ile ön plana çıkmaktadır. Uçak bağlantı parçaları, dişliler ve şaftlar, sigorta parçaları, sayaç milleri ve dişliler, füze parçaları, ayar valf parçaları, sonsuz dişliler, anahtarlar, bisiklet şasileri, tüm arazi aracı (ATV) zincir dişlileri vs. 7075 alüminyum alaşımının kullanım yerleri içerisinde yer almaktadır. 7075 alüminyum alaşımı kalıp sanayinde de sıklıkla kullanılmaktadır (plastik enjeksiyon kalıpları gibi, otomotiv iç trim kalıpları vb.) (Aydın ve Tunçel, 2019). T6 temper ısısı, AA7075 alaşımları için en uygun sıcaklık davranışı olarak kabul edilmektedir. 180°C' de 1, 6, 12 ve 24 saat yaşlandırılmış AA7075 numunelerinin sertlik değerleri 102 HV ile 211 HV aralığında değişmektedir (Kaya vd., 2012). 1 paso EKAP yapılmış AA7075 numunede ölçülen sertlik değeri 107 HV' dir (Kaya ve Uçar, 2016).

## **1.2. Aşırı Plastik Deformasyon (APD)**

Mevcut metalik malzemelerin kimyasal yapısını bozmadan mukavemet özelliklerinin artırılmasına yönelik çalışmalar özellikle son yıllarda oldukça yoğun bir şekilde sürdürülmektedir. Keşfedilen yöntemler sayesinde, hem kütleli hem de sac formundaki metalik malzemelerin, mekanik özelliklerinin (mukavemet, sertlik, yorulma, sertlik gibi) önemli ölçüde geliştirilmesi sağlanmaktadır (Azushima vd., 2008; Furukawa vd., 2001a). Metal malzemelerde mekanik özelliklerin geliştirilmesi için ultra ince tanelerin elde edilmesinde kullanılan iki yöntem bulunmaktadır. Söz konusu yöntemler, ergime noktasının 0,3 katı altındaki sıcaklıkta aşırı plastik deformasyon (APD) ve toz metalürjisi yöntemleridir.

Aşırı plastik deformasyonun (APD) tane büyüklüğü 10-1000 nm aralığında değişen ultra ince taneli metallerin üretilmesinde etkili bir yöntem olduğu kanıtlanmıştır.

Malzemelere nispeten düşük sıcaklıklarda (genellikle ergime sıcaklığının 0,4 katından az) ve geometrik boyutlarında önemli bir değişiklik olmaksızın uygulanması APD işleminin en temel özelliğidir. Bu işlem, malzemenin serbest bir şekilde akmasını önlemek suretiyle önemli bir hidrostatik basınç oluşturmaktadır. İnce taneli yapı elde edilebilmesi için gerekli olan hidrostatik basınç yüksek gerinimlerin elde edilebilmesini ve beraberinde malzeme içerisinde yoğun kafes kusurlarının oluşturulmasını sağlamaktadır (Öğüt vd., 2021; Valiev vd., 2013). APD ile üretilen malzemeler genellikle gelişmiş mekanik özelliklere ve malzemenin bütün hacminde homojen ultra ince taneli yapıya sahiptir. Tüm parametrelerin doğru tespiti ve işlemin uygun ortamda yapılması durumunda APD sonrası üretilen numunelerde mekanik hasar ve çatlak bulunmamaktadır (Valiev vd., 2000).

Metalik malzemelerde ergime noktasının 0,3 katı altında yüksek derecede plastik şekil değişikliklerine maruz kalarak oluşan deformasyonlar aşırı plastik deformasyon olarak bilinmektedir. Kaba taneli mikro yapıların düzenli hücre bloklarına ve dislokasyon hücrelerine bölünmesiyle aşırı plastik deformasyon oluşmaktadır (Şahin, 2012). Aşırı plastik deformasyon yöntemleri, geleneksel yapıdaki (iri taneli) malzemelere yüksek miktarda plastik deformasyon uygulanması sonucunda, tanelerin bölünerek geniş açılı tane sınırlarıyla ayrılmış alt tanelerin oluşturulmasıyla gerçekleşmektedir. Oluşan ultra ince taneli malzemeler ortalama tane boyutu 1 µm altında, homojen ve eş boyutlu, yüksek açılı tane sınırlarına sahip olmakta, böylelikle tane boyutları mikron altı mertebelerine dönüşmekte ve malzemenin mekanik performansı artmaktadır (Xu vd., 2004; Zrnik, 2008). Aşırı plastik deforme edilmiş malzemenin genliği artarken mikro yapısal boyutları küçülmektedir (Şahin vd., 2012).

Eşit kanallı açılal presleme (EKAP), tekrarlı ekstrüzyon ve basma (TEB), yüksek basınç altında burma (YBB), kapalı kalıpta tekrarlı dövme (KKD), birikimli hadde bağı (BHD), tekrarlı bükme-doğrultma (TBD), çoklu izotermal basma (ÇİB) ve sürtünme karıştırma işlemi (SKİ) aşırı plastik deformasyon yöntemleri olarak sayılabilir (Zhao vd., 2004). EKAP, TEB, KKD ve ÇİD yöntemleri kütleli formda ultra ince tane (UİT) yapıli malzemeler üretmek için geliştirilmiştir. YBB, BHB, TBD ve SKİ yöntemleri ise çoğunlukla levha ve sac türü metalik malzemeler için geliştirilmiştir. Söz konusu yöntemlerde, genel olarak, önemli boyutsal değişime izin

vermeksizin birikimli olarak aşırı oranda deformasyon uygulanmakta ve işlenen malzemelerin içyapısı incelenerek UİT yapılı veya nano-yapılı (NY) hâle gelmektedir. Aşırı deformasyona dayalı dislokasyon artışı, beraberinde önemli özellik değişimlerini getirmektedir. Yapılan işlemler neticesinde metalik malzemelerin mukavemet değerleri, dislokasyon artışına dayalı deformasyon sertleşmesi ve tane boyutu sertleşmesi (Hall-Petch etkisi) etkileriyle büyük miktarda artışlar göstermektedir (Furukawa vd., 2001a). İlâveten, işlenen malzemelerin yorulma davranışları ve süper plastiklik özellikleri iyileşmektedir (Prangnell vd., 2004).

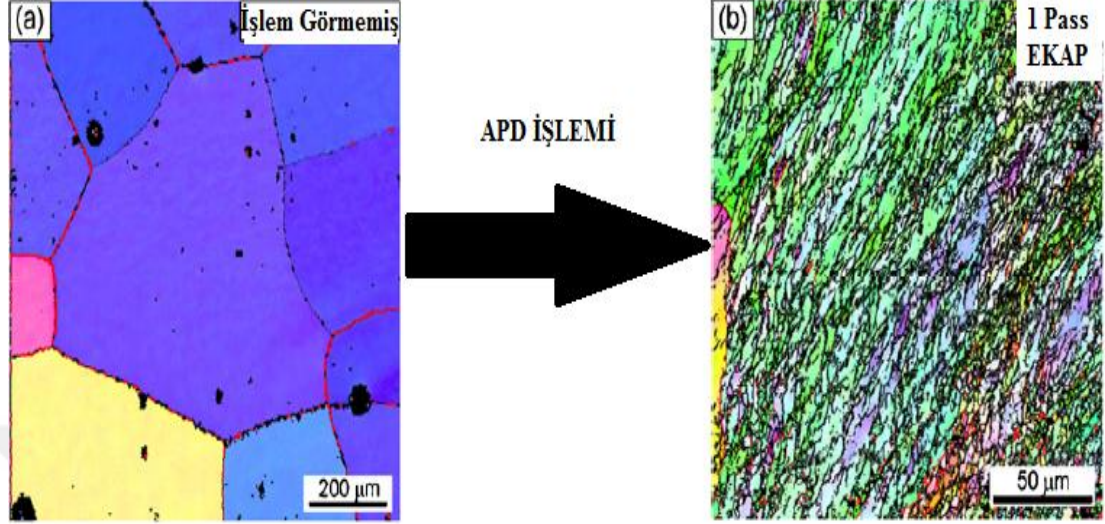
APD ile gerçekleştirilen tane inceltmesi işleminde kayma ve ikizlenme iki temel plastik deformasyon mekanizmasıdır. Farklı APD yöntemlerinde, malzemenin deformasyonu farklı uygulamalarla sağlanmakta, fakat tane inceltme aşamaları genellikle aynı olmaktadır. Birinci aşamada, dislokasyonlar ve dislokasyon hücre yapılarını içeren hücre blokları meydana gelmektedir. Bu işlem malzemeyi büyük ölçüde güçlendirmektedir (Hansen ve Barlow, 2014).

İkinci aşamada, erken dönüşmüş dislokasyon hücrelerinin ve mikrobantların yeniden yerleşiminden ötürü çoğalan hücre blokları oluşmaktadır. Bu aşamada hatalı yönelme açısında artış ve yüksek açılı sınırlara dönüşme gibi durumlar ortaya çıkabilmektedir (Chinh vd., 2010).

Üçüncü aşamada, alt taneler, malzeme boyunca oluşan lamelli yapıda ortaya çıkmaya başlamaktadır. Bu aşamada, çok sayıdaki dislokasyonlar neticesinde lamelli taneler arasında birbirine bağlı sınırlar görülmeye başlanmaktadır (Zhang, 2008).

Lamelli yapıdaki bazıları eş boyutlu olan ultra ince veya nano taneler dördüncü aşamada artık görülmeye başlanmaktadır. Lamel sınırları arasındaki alanın iyice kısıtlanması neticesinde artık dislokasyon oluşumu ve birikimi iyice güçleşmektedir. Beşinci aşamada ise, yeniden kristalleşme ve dinamik düzelme gerçekleşmektedir. Kararlı hal olarak da ifade edilen bu aşamada karakteristik mikro yapı eş boyutlu ve homojen dağılmış ultra ince ve nano tanelerden meydana gelmektedir. İri tane yapılı (geleneksel) malzemeler, yoğun kayma gerinimi uygulanarak ultra ince ve/veya nanokristal yapıya dönüştürülebilmektedir (Mishra vd., 2007). Şekil 1.1' de EKAP işlemi uygulanarak aşırı plastik deforme edilmiş Al malzemenin EKAP işleminden

önce ve sonra çekilmiş kristalografik yapı görüntülerinde içyapıda meydana gelen tane incilmesi elektron geri saçılım kırınımı yer almaktadır.



Şekil 1.1. (a) Kaba taneli Al numuneye ait APD öncesi EBSD (Electron Backscattering Diffraction) görüntüsü (b) 1 pass EKAP sonrası inceltilmiş tane yapısına ait EBSD görüntüsü (Kawasaki vd., 2009)

Elde edilen ultra ince ve nanokristal malzemelerde kirlilik ve gözeneklilik oluşmamaktadır (Fukuda vd., 2002). Aşırı plastik deformasyon yöntemleri, pek çok mühendislik malzemesine uygulanmakta ve fonksiyonel sonuçlar elde edilmektedir (Valiev, 2003).

### 1.2.1. Eşit kanallı açısız presleme (EKAP)

1970-1980'lerde SSCB Minsk üniversitesinde şekil kısıtlaması olan geleneksel yöntemlere göre şekil kısıtlaması olmayan ve daha kolay bir işlem olan EKAP uygulamaları Segal ve çalışma arkadaşları tarafından ilk kez başlamış, çeşitli nedenlerle ilerlemesi yavaş olmuş, 1990'lı yıllarda yeni ve nitelikli malzemelere ihtiyaç arttığı için EKAP çalışmaları tekrar hız kazanmıştır. EKAP uygulaması esasen, basit kayma hareketi ile yüksek gerilme uygulanarak, malzemenin, kesit alanlarını değiştirmeksizin aşırı plastik deforme edilmesidir (Kaya, 2013).

EKAP yöntemi; işlem sonrasında numunenin kesitlerinde değişmelerin olmaması, oluşan deformasyonun lokalize ve homojen olması ve artık gözeneklerin bulunmaması, diğer talaşlı işlemlere elverişli olması ve en önemlisi de malzemeye sertlik özelliği kazandırırken diğer geleneksel yöntemlerin aksine malzemenin

sünekliğinin azalmaması gibi avantajlarından ötürü diğer aşırı plastik deformasyon yöntemlerine göre daha çok kullanılmaktadır (Özbeyaz vd., 2020)

Hacimsel aşırı plastik deformasyon yöntemlerinden biri olan EKAP uygulamalarıyla yüksek derecelerde ve birden çok kez yapılabilen plastik deformasyon işlemleri sonrasında malzemenin hem deformasyonu sağlanmakta hem de kesit alanı sabit kalmaktadır. Bu durum, EKAP uygulamalarının en karakteristik özelliğidir.

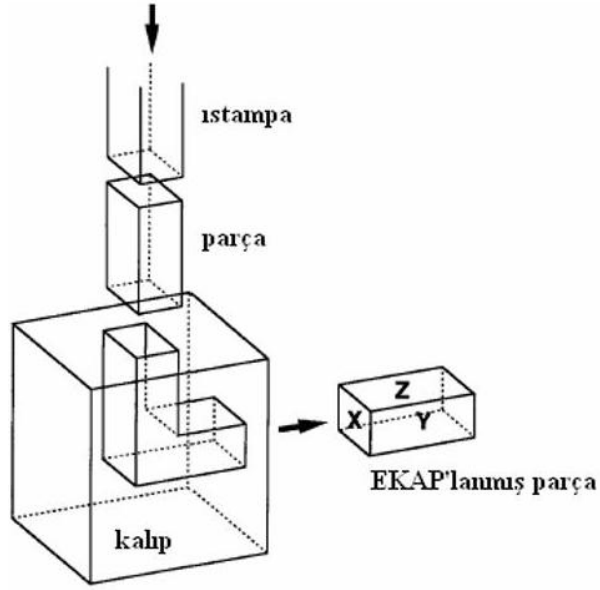
Parçanın plastik deformasyon davranışlarının belirlenmesi açısından sıcaklık, hız, sürtünme, kalıp tasarımı ve ön tasarım gibi en uygun işlem koşullarının bilinmesi son derece önem arz etmektedir (Şahin vd., 2012).

Çok kristalli malzemelerde geleneksel termomekanik (plastik deformasyon+yeniden kristalleşme) işlemlerle ulaşılamayan mikronaltı boyutlardaki ince taneli yapılar EKAP işlemi uygulanarak elde edilebilmektedir (Fukuda vd., 2002).

EKAP işlemi, numunenin kalıp içerisinde bulunan, sabit kesitli, açılı bir kanal içerisinden bir itme kuvveti uygulanarak geçirilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Numunenin açılı kesitten geçmesi esnasında kayma gerinimleri oluşmaktadır. EKAP işlemi sırasında numunenin kalıba giriş ve çıkış kesitlerinde değişim olmamakta ve dolayısıyla işlem aynı numuneye çok kez olarak uygulanarak numunede yüksek miktarda gerinim biriktirilmesi söz konusu olmakta ve en yüksek birim şekil değişimi değerine ulaşılabilmektedir (Furukawa vd., 2001b; Iwahashi vd., 1997).

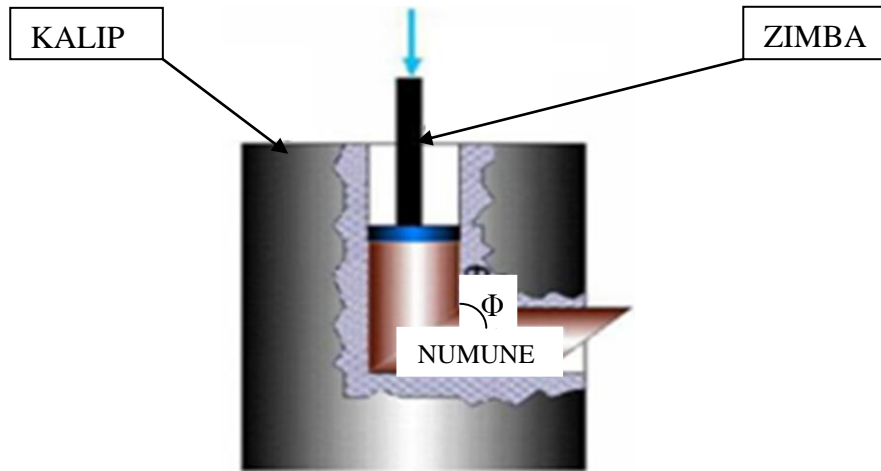
EKAP boyunca tekrar tekrar basılan bir numune için, kristalin numune içindeki genel kesme özelliklerinin, söz konusu numunenin ayrı ayrı presler arasında döndürülmesiyle değiştirilebileceği kabul edilmektedir. İşlem ile elde edilen tane büyüklüğü ve homojenlik için geçiş sayısı önemli bir parametredir. Tipik bir EKAP kalıbında kesişen iki kanal vardır ve malzemenin kanaldan geçmesini sağlamak için kuvvete tabi tutulur. Bu işlem sırasında malzemenin ölçüleri değişmemekle birlikte kayma gerilmesi oluşmaktadır. Böylece üstün mekanik özelliklere sahip bir malzeme elde etmek için işlem defalarca tekrarlanabilir (Öğüt vd., 2021).

EKAP işleminin düzlemleri Şekil 1.2' de şematik olarak görülmektedir.



Şekil 1.2. EKAP' ın üç ortogonal düzlemini x, y ve z olarak gösteren şematik gösterim (Furukawa vd., 2001)

EKAP uygulamalarında, uygulanan itme kuvveti ve deformasyon işlemi nedeniyle sürtünme miktarı yüksek olmaktadır. Bu durum deformasyon işleminin homojen olarak dağılmasını engellemektedir. Buna bağlı olarak yüzeylerde ve yüzeye yakın yerlerde içyapı değişimlerinin fazla olması mekanik özellikleri etkilemektedir. Deformasyon işleminin homojen olarak gerçekleşmesini sağlamak ve sürtünme kuvvetinin etkisini azaltmak üzere her numune geçişinden sonra kalıp ve numune uygun yağlayıcılar ile yağlanmaktadır (Segal, 2004). Şekil 3'te EKAP prosesinin genel çalışma görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 1.3. EKAP çalışma sistemi (Roven ve Werenskiold, 2004)



EKAP işlem parametreleri kalıp açısı, işlem rotası ve geçiş sayısı, işlem sıcaklığı ve karşı basınçtır. EKAP işleminde kayma gerilimini tek bir geçişten belirleyen kanal kesişme açısı, tanenin mikro yapısal gelişimi önemli ölçüde etkileyen faktörden biridir.  $\Phi$  açısının küçüldükçe kayma şiddeti artmaktadır.  $90^\circ > \Phi$  olduğunda kanal köşesinde bozuk metal bölgesi oluşmaktadır. Bu nedenle ideal  $\Phi = 90^\circ$  olarak tavsiye edilmektedir (Rashad vd., 2014; Gaab vd., 2004).

Metal ve alaşımın kayma sistemleri ve kesme düzlemleri EKAP işlemini etkilemektedir. EKAP işlemi için diğer önemli parametreler kalıp geometrisi ve presleme rejimidir. EKAP işleminin tekrarlanabilir olma özelliği, malzemede basit kayma ile aşırı plastik şekil değiştirmeyi meydana getirmektedir (Valiev vd., 2006; Lowe ve Zhu, 2003). Presleme işleminin gerçekleştirilmesi yüksek sıcaklıklarda daha kolay olmaktadır. Ancak, EKAP işleminin, malzemenin hasara uğramayacağı mümkün olan en düşük sıcaklıkta gerçekleştirilmesi, optimum ultra ince taneli mikro yapının elde edilebilmesini olanaklı kılmaktadır. EKAP işleminin düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilmesi hem mümkün olan en küçük eş boyutlu tane yapısının elde edilmesini, hem de ulaşılabilecek maksimum yüksek açılı tane sınırlarının oluşturulmasını sağlamaktadır (Valiev vd., 2006).

EKAP işlemi oldukça geniş yüzeylere uygulanabilmektedir. Dolayısıyla EKAP ile çok çeşitli yapısal uygulamalarda kullanılacak malzemeler üretilebilmektedir. EKAP işleminde kullanılacak kalıbın yapımı dışında, çoğu laboratuarda kolayca kullanılabilen bir ekipmandır. EKAP yöntemi, toz metalürjisinde kullanılan alaşımların üretiminde de kullanılmaktadır. Öte yandan, EKAP uygulamasında kullanılan iş parçasının, kritik bir değerden daha düşük olması gerekmektedir. Ayrıca, baskı kolunun sınırlı bir hareket mesafesine sahip olduğu da unutulmamalıdır.

### **1.3. Yaşlandırma İşlemi**

Malzemelerin mekanik özelliklerini değiştiren içyapısındaki farklılaşmalar, kimyasal bileşimin değiştirilmesi veya malzemeye uygulanan mekanik ve ısıl işlemler sayesinde gerçekleşmektedir (Geçkinli, 2002). Bir malzemenin en önemli mekanik özelliklerinden biri mukavemettir. Malzemelerin mekanik özellikleri mukavemetlerine bağlı olarak değişebilmektedir. Mukavemeti arttırmak için

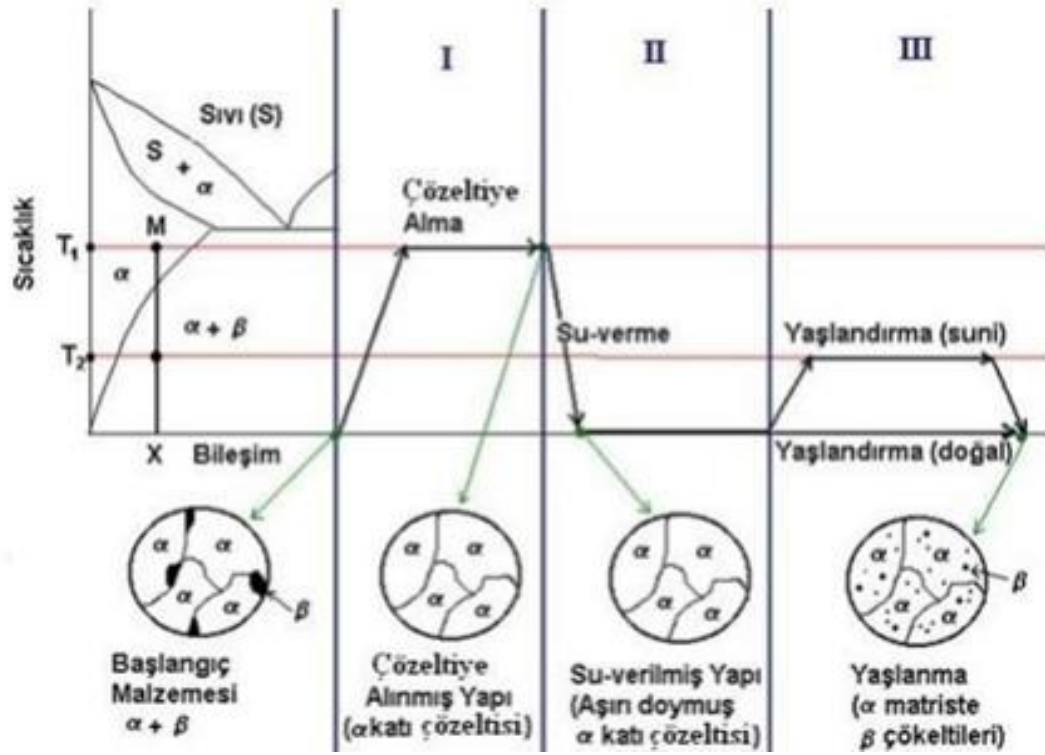
kullanılan mekanik ve ısı işlem yöntemlerinden biri yaşlandırma işlemidir. Yaşlandırma, malzeme içinde daha az miktarda bulunan ikinci fazın tanecikler halinde ana faz içerisinde çöktülmesinin sağlanması ve bu sayede malzemede mukavemet artışının elde edilmesidir (Kayalı, 1991).

Alüminyum alaşımlarının içyapılarında ısı işlemlerle ikincil fazların oluşumunun sağlanması ve mukavemetlerinin artırılmasında başvurulan en önemli yöntem, diğer malzemelerde de olduğu gibi, yaşlandırma (yaşlandırma sertleştirilmesi veya çökeltme sertleştirilmesi) yöntemidir. Yaşlandırma (çökeltme sertleştirilmesi) işlemi saf olmayan ve en az iki fazlı yapılara uygulanabilen bir işlemdir. Bu işlemin anlam kazanabilmesi için, söz konusu alaşımın aşırı doymuş yapısından çöktülecek ikincil fazların ana fazdan daha yüksek sertlik ve mukavemette olması gerekmektedir. Alaşımın hangi sıcaklıklarda yaşlandırılması gerektiğinin bilinmesi yaşlandırma işleminin yapılabilmesi için önemli bir parametredir (Al Saadi ve Tunay, 2017). Uygulanan ısı işlemlerle alüminyum alaşımlarında çözünme ve belirli alaşım elemanlarının çökmesiyle özellik değişimleri gerçekleşmektedir. Yaşlandırma, aşırı doymuş katı fazdan sıcaklık ve zaman etkisiyle yeni bir fazın çökmesi sonucu malzemenin sertlik ve mukavemetinin artması ile meydana gelmektedir. Yaşlandırma işleminin gerçekleşebilmesi için alaşım elementinin çözünme miktarının sıcaklıkla artması gerekmektedir. Alüminyum alaşımlarının çoğunda yaşlandırma işlemi sonucunda bu durum gerçekleşmekle beraber bazı alaşımlarda yaşlandırma işlemi alaşımın mekanik özelliklerinde önemli bir gelişme sağlamamaktadır (Özer, 2004). Yaşlandırma ısı işlemi yapılabilmesi için alaşımın bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Azalan sıcaklığa bağlı olarak katı çözünebilirlik azalmalı, alaşım doyma eğrisinin üstünde tek bir faz oluşturmalı, soğutma sonrası iki fazlı bölgeye girmeli, alaşımın aşırı doymuş katı çözültü yapısından ayrıştırılacak ikincil fazların yüksek sertlikte ve dayanımda olmalı, matris ve oluşan çökelti uyumlu olmalıdır. Birçok yaşlanabilir alaşımda bu çöktüler, genellikle, belirtilen özelliklere sahip metaller arası bileşiklerdir. Yaşlandırma işleminde alaşıma su verilmesi (hızlı soğutulması) zorunludur, ancak bazı alaşımlar hızlı soğutulsa bile çökelti oluşmamaktadır (Demirci, 2004;).

Isıl işlemler üç aşamada gerçekleşmektedir. Bunlar sırasıyla; çözültü alma, su verme ve çökeltme (yaşlandırma) dir. Çökelti fazının oluşumu, doğal olarak

gerçekleşebileceği gibi yapay olarak da gerçekleştirilebilmektedir. Fakat genellikle alüminyum alaşımlarında doğal yaşlanma ile mekanik özelliklerde çok etkili bir değişim meydana gelmemektedir (Geçkinli, 2002).

Şekil 1.4’ te çökeltme sertleşmesinin işlem kademeleri görülmektedir.



Şekil 1.4. Çökeltme sertleşmesi işlem kademelerinin şematik gösterimi (URL-2)

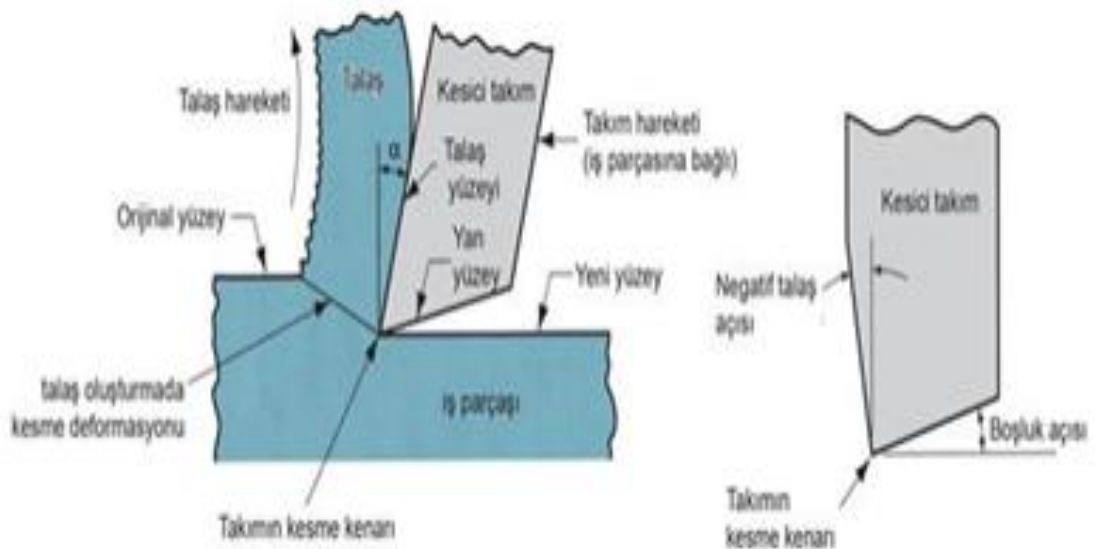
#### 1.4. Talaşlı Üretim

Metaller, talaşlı ya da talaşsız olarak şekillendirilebilmektedirler. Ancak, özellikle kullanılacak makine ve tezgâhlar için gerekli yatırım tutarının düşük olmasına karşın kullanım ömürlerinin uzun olması, işleme parametrelerinin uygun değerlerinin bulunabilmesi, elde edilen ürünün boyutsal ölçülerinin ve toleranslarının ve yüzey pürüzlülük kalitesinin yüksek olması talaşlı imalatı diğer üretim yöntemleri arasında daha cazip hale getirmektedir. Burada en önemli husus, uygun işleme parametrelerinin tespit edilmesidir. Doğru belirlenmemiş parametreler kullanılan araç gereçlerin kırılması, aşınması ve yanması gibi birçok ekonomik zarara neden olabilmektedir. Öte yandan, uygun belirlenmeyen parametreler elde edilen ürünün kalitesini de önemli ölçüde düşürebilmektedir. Talaşlı imalat, üretimde sıklıkla kullanılan eksiltmeli bir imalat yöntemidir (Tezel vd., 2018).

Talaşlı imalat, iş parçasının belirli bir şekil ve boyuta getirilmesi için, diğer bir ifadeyle parçaya önceden belirlenen son geometrinin verilmesi için talaş oluşturma işlemidir. Talaşlı imalat, bir talaş oluşturma işlemi olmasının yanında, aynı zamanda, bir talaş kırma işlemidir. Talaşlı imalatta hedeflenen parça şekline ulaşmak için keskin kesici takımlar kullanılmakta ve iş parçasından kayma deformasyonu ile talaş kaldırmak suretiyle yeni yüzeyler elde edilmektedir. Kesim işleminin gerçekleştiği bölgede talaşın kırılması ve kontrollü bir şekilde ortamdaki uzaklaştırılması gerekmektedir. Talaşlı imalatla işlenen parçanın yüzeyi sertleşmektedir. Talaşlı imalat işlemi esnasında oluşan talaşlar; sürekli (akma), süreksiz (kırık), dilimli ve yığıntı türlerinde olabilmektedir. Talaşlı imalat sırasında oluşan ısının büyük bir bölümü talaşla birlikte ortamdaki uzaklaşmaktadır (Çakır, 2018a).

Başlıca talaşlı imalat yöntemleri; delme, frezeleme, tornalama, borlama, vargel ve planyalama, raybalama, broşlama, taşlama, testere ile kesme ve tesviye işlemleridir. Tüm bu işlemlerdeki ana parametreler takım tezgahı, kesici (takım) ve iş parçasıdır. Talaş kaldırmayı etkileyen faktörler ise genel olarak takım geometrisi, kesme hızı, kesme kuvveti, ilerleme miktarı, talaş derinliği, kesme açıları, takım-iş parçası malzeme çifti, titreşim etkisi, kesici takım uç yarıçapı, soğutma sıvısı kullanımı ve kesici takım ömrüdür (Groover, 2010).

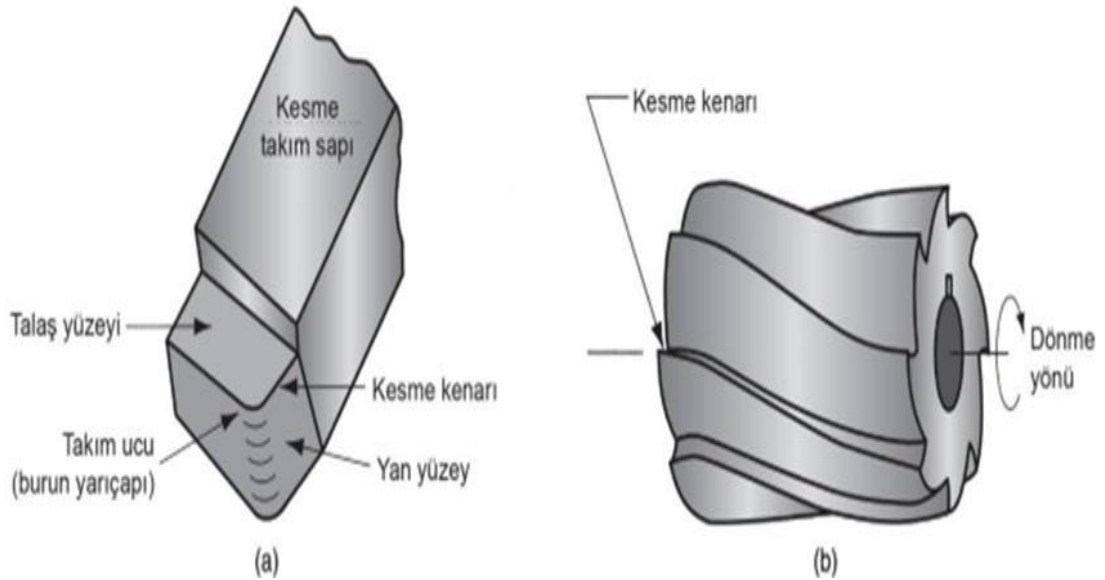
Şekil 1.5’ te talaşlı imalat işlemini anlatan bir kesit görüntüsü sunulmaktadır.



Şekil 1.5. Talaşlı imalat işlemine ait kesit görüntüsü (Groover, 2010)

Kesici takımların çeşitli açılarla tasarlanmasının amacı, iş parçası-takım arasında sürtünen temas alanını en aza indirmektir. Kesme işleminde takım geometrisi önemli bir unsurdur. Takım geometrisi, bir takım üzerinde oluşturulan değişik açılarını ifade etmektedir. Farklı tür ve şekillerde üretilmiş farklı geometride takım uçları bulunmaktadır. Benzer şekilde, bağlama konumlarına göre farklılık gösteren takım tutucular da mevcuttur. Kesici ucun dayanımı ve kesme yeteneği arasındaki ilişki takım geometrisini oluşturacak açılarının ve takım yüzeyinde meydana getirilen talaş açısının değerlerini belirlemektedir (Güden, 2005).

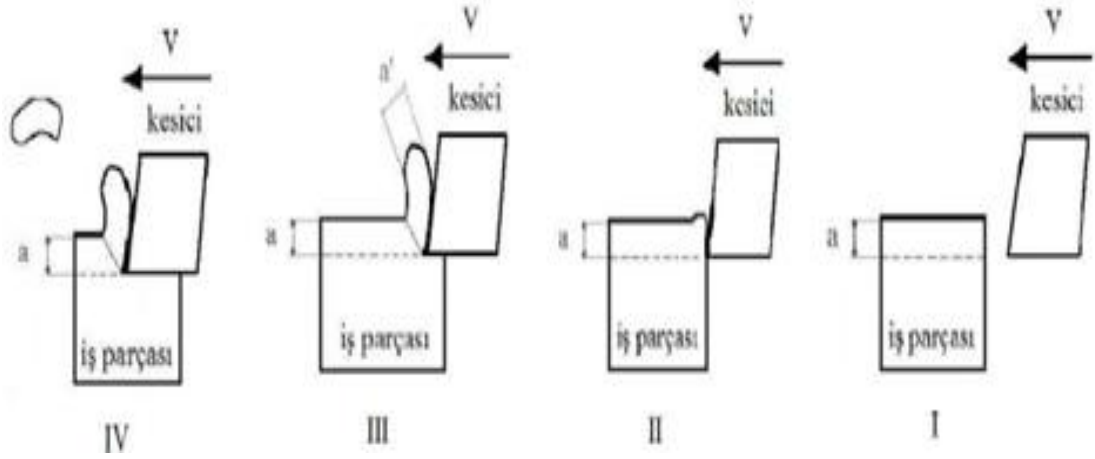
Talaşlı imalat yöntemlerinin uygulanmasında kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği bu işlemlerdeki kesme parametreleridir. Bu üç bileşenden birindeki değişim oluşan talaş miktarını değiştirmektedir. En büyük değişimi kesme hızındaki değişim oluşturmaktadır. Malzeme üzerinden talaş kaldırma işlemi, birincil hareket olan kesme hızı ve ikincil hareket olan ilerleme ile gerçekleştirilmektedir. Kesici takımlar, Şekil 1.6' da görüldüğü gibi tek (a) ya da çok (b) sayıda kesici kenara sahip olmak üzere iki farklı türde olabilmektedir. Kesici takım, işleme tabi tutulan iş parçasından daha sert malzemeden üretilen bir alettir (URL-3).



Şekil 1.6. (a) Tek ve (b) çok sayıda kesici kenara sahip kesici takımların genel gösterimi (Groover, 2010)

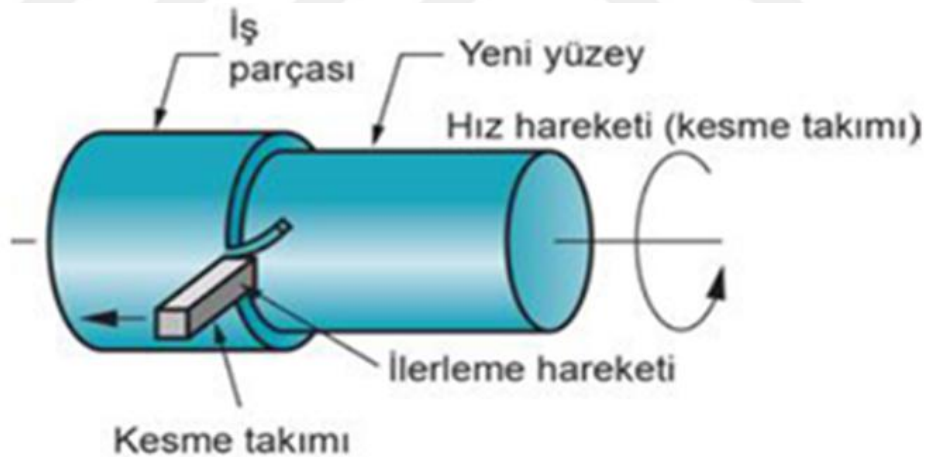
Tek noktalı kesici takımlar genellikle öteleme, çok noktalı kesiciler ise dönme hareketi ile talaş kaldırmaktadır.

Şekil 1.7' de işlemin süreklilik göstermesiyle talaş oluşumu gerçekleşmektedir.



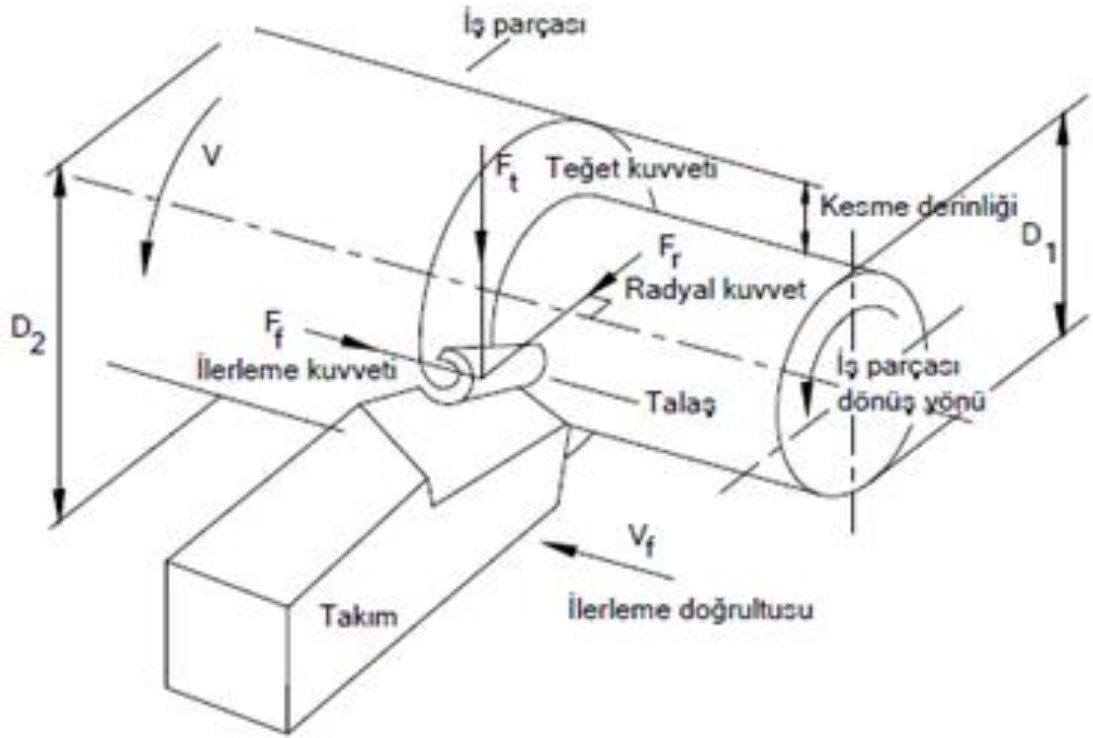
Şekil 1.7. İş parçasında kesici takımın ilerlemesi (URL-4)

Talaşlı imalatta tornalama işlemleri talaşlı şekillendirmenin büyük bir kısmını kapsamaktadır (Taşlıyan vd., 2007). Tornalama, talaşlı imalat uygulamalarında talaş kaldırma işlemini gerçekleştirmek için ve deneysel çalışmalarda sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Tornalama işlemi, genel itibariyle, iş parçasına takım önünde dönme hareketi vererek talaş kaldırma işlemidir (Groover, 2010). Şekil 1.8' de tornalama işlemi şematik olarak görülmektedir.



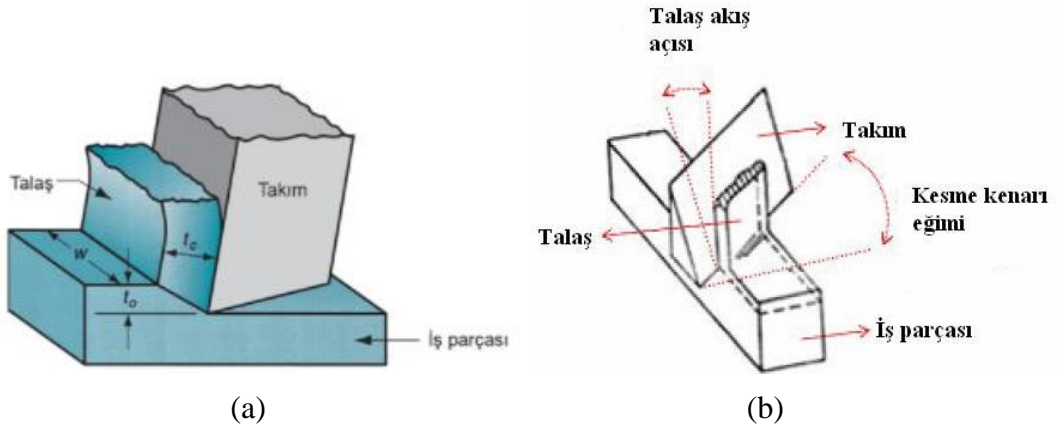
Şekil 1.8. Tornalama işlemi (Groover, 2010)

Talaş kaldırma için uygulanan kesme işlemi, kesici takımla malzemeden talaşın bir bıçakla gibi ayrılmasıdır. Tornalama işleminde kesme hareketi; dönen iş parçası üzerinden, tezgâha sabit konumda bağlanmış olan takımın ilerleme hareketi ile gerçekleşmektedir. Kesme kuvveti, talaşlı imalat işlemlerinde gerçekleşen kesme olayının en iyi göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir (Dong vd., 2006). Tornalama işlemi sırasında oluşan kuvvetler ve tornalama işleminin şematik gösterimi Şekil 1.9' da görülmektedir.



Şekil 1.9. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri (Çakır, 2018b)

Talaşlı imalatta 2 boyutlu ortogonal (dik) kesme ve 3 boyutlu oblik (eğik) kesme modelleri uygulanabilmektedir. Deneysel uygulamalarda çoğunlukla ortogonal (dik) kesme metodu kullanılmaktadır. Şekil 1.10' da dik kesme ve eğik kesme metotları şematik olarak görülmektedir.



Şekil 1.10. (a) Dik ve (b) eğik kesme modelleri (Groover, 2010)

İstenilen özellikteki nihai ürünün elde edilebilmesi için yapılan şekillendirme işlemleri parçanın talaşlı imalatıyla gerçekleştirilmektedir (Kaya vd., 2012). Talaşlı imalatta parçaya son şeklin verilmesi tek adımda gerçekleşmemektedir. Paso olarak

ifade edilen her bir adımda az miktarda malzeme kaldırılmaktadır. Talaş kaldırma esnasında özellikle yüksek hızlarda oluşan aşırı ısıyı gidermek için yağlayıcı özelliği de bulunan soğutma sıvıları kullanılmaktadır. İşlem süresinin uzunluğu ve malzeme kaybının fazla olması talaşlı imalatın olumsuz yönleridir (Çakır, 2018b; Groover, 2010), ancak oluşan talaşlar çelik üreticileri tarafından toplanarak geri dönüştürülebilmektedirler.

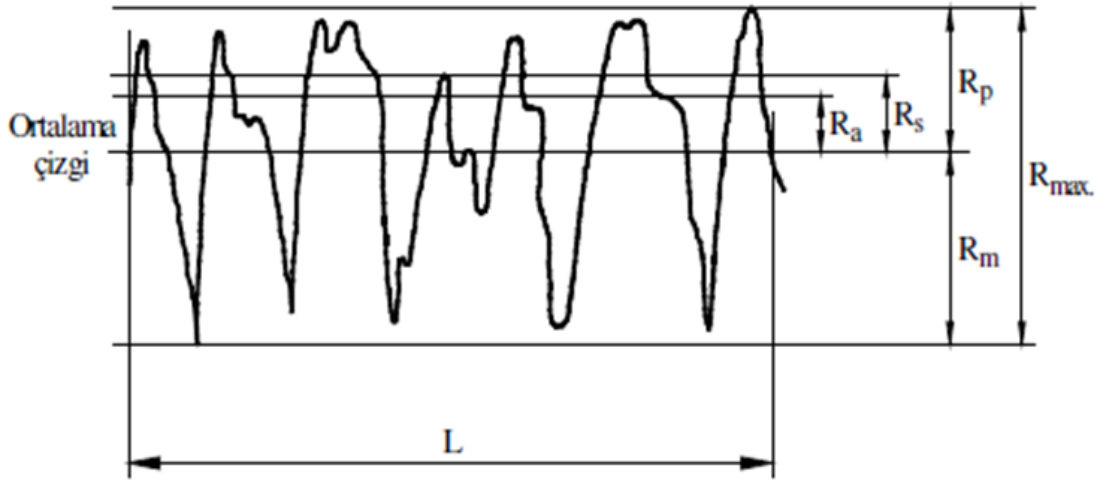
#### **1.4.1. İşlenebilirlik**

Endüstrideki üreticilerin temel problemi ekonomik, hızlı ve kaliteli bir üretim gerçekleştirmektir. Dolayısıyla takım değiştirme zamanının ve maliyetinin düşük olmasını istemektedirler (Mills ve Redford, 1983). Tamamen aynı makinelerde aynı kesim değişkenleriyle imalat yapıldığında farklı malzemelerin farklı özellikler gösterdiği görülmektedir. Bazı malzemeler sürekli talaş oluştururken, bazı malzemeler kesikli talaş oluşturmaktadır. Bazı malzemelerin yüzeyi ek işleme gerek kalmayacak düzeyde pürüzsüzken, bazılarının yüzeyi çiziklerle kaplı olabilmektedir. İşlenebilirliğe ait genel bir tanım olmamakla birlikte, iş parçasının talaşlı imalat yeteneğine işlenebilirlik denmektedir. Diğer bir ifadeyle, bir kesici takımla malzemelerin kolay veya zor imal edilebilmesine işlenebilirlik denilmektedir (Çakır, 2018b). İşlenebilirlik, malzemenin talaş kaldırma kolaylığı ya da zorluğu olarak da tarif edilebilir. Malzemenin sertliği/sünekliği ve mekanik özellikleri, geçirdiği ısı işlem, alaşım elementleri (katkı elemanları), kalıntı gerilmeler ve yüzey tabakası, kullanılan kesici takımın kesici kenar özellikleri, kullanılan takım tezgâhı ve tezgâhın rijitliği, takım bağlama biçimi, işleme şartları, kayma düzlemleri ve işleme yöntemi işlenebilirlik üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Güral, 1999). Ayrıca, işlemi gerçekleştiren operatörün bilgi ve becerisi de süreç için oldukça önemlidir.

Talaş kaldırma işleminin amaçlarından biri de yüzey parametrelerinin istenilen tolerans aralıklarına göre gerçekleştirmektir. Talaşlı imalat gerçekleştirilirken kesen ve kesilen arasındaki mekanik hareketler, kesicinin ve işlenen malzemenin türü, işleme metodu, kesme parametreleri, fiziksel-kimyasal-ısı faktörler gibi çeşitli sebeplerden ötürü iş parçasının üzerinde yüzey pürüzlülüğü olarak ifade edilen istenmeyen izler oluşmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü ortalama (nominal) yüzey çizgisinin üstünde ve altında düzensiz sapmalar oluşturmaktadır (Şekil 1.11). Yüzey



pürüzlülüğü talaşlı imalat için önemli bir çıkış parametresidir. Öyle ki, talaşlı imalat ile üretilen ürünün yaşam ömrü, çevresel etkilere karşı direnci ve performansı yüzey izlerinin yönü ve dağılımından etkilenmektedir. İşlenen malzemede oluşan son yüzey pürüzlülüğü takım geometrisi ve ilerlemenin bir sonucu olan ideal yüzey pürüzlülüğü ve kesme işlemlerindeki düzensizliklerin bir sonucu olan tabii yüzey pürüzlülüğünün toplamından oluşmaktadır (Boothroyd ve Knight, 1989). Ortalama Yüzey Pürüzlülük Değeri ( $R_a$ ), seçilen örnekleme uzunluğunda ortalama yüzey çizgisinin altında ve üstünde oluşmuş pürüzlülük değişikliklerinin mutlak değerlerinin aritmetik ortalamalarıdır. Bu değer, uluslararası düzeyde kalite kontrollerinde kullanılan bir parametredir (Ünsal ve Kantay, 2002). Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler ilerleme hızı, takım geometrisi ve takım-iş parçası arasında kendiliğinden meydana gelen titreşim olarak ifade edilebilir (Cheung ve Lee, 2000).



Şekil 1.11. Yüzey kalitesini gösteren sayısal değerler (Scarr, 1991)

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

Çalışmanın bu kısmında, araştırma kapsamında yapılan deneyler ve ulaşılan sonuçlar sunulacaktır.

Bu araştırmanın amacı, havacılık ve otomotiv sanayinde çok kullanılan AA7075 alüminyum alaşımının EKAP ve suni yaşlandırma işlemlerine tabi tutulan numunelerin işlenebilirlik özelliklerini incelemektir. Araştırma, Kocaeli Üniversitesi Teknoloji Fakültesi atölyesinde gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada hafifliği, ekonomikliği, mekanik özelliklerinin çeşitli yöntemlerle geliştirilmeye açık olması, EKAP ve suni yaşlandırma yöntemlerine uygunluğu nedeniyle özellikle uzay, havacılık, otomotiv ve inşaat sanayinde sıklıkla kullanılan AA7075 alüminyum alaşımı tercih edilmiştir. AA7075 alaşımının kimyasal bileşimi Tablo 2.1’ de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. AA7075 alaşımı kimyasal bileşimi (%) (URL-1)

Alaşım Elementleri		Si	Fe	Mn	Cu	Mg	Zn	Cr	Ti	Diğer
Alaşım değerleri	Min.				1,2	2,1	5,1	0,18		
	Max.	0,4	0,5	0,3	2	2,9	6,1	0,28	0,20	0,15

### 2.1. Ekap Numunelerinin Hazırlanması ve Yaşlandırma Isıl İşlemleri

Çalışmada kullanılmak üzere 20 mm çapında ve 2 m uzunluğunda silindirik AA7075 T6 alüminyum alaşımı temin edilmiş olup, ilgili malzeme tornalanarak 19,8 mm çapında ve 55 mm uzunluğunda 16 adet numune deneylerde kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Söz konusu deneyler kapsamında, öncelikle, 12 adet AA7075 T6 alüminyum alaşımı 480 °C’ de önceden ısıtılmış fırında inch başına 1 saat ve toplamda 2 saat olmak üzere fırınlanarak ısıl işleme tabi tutulmak suretiyle homojenize edilmiştir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Çalışmada homojenizasyon ısısal işlemi sırasında kullanılan (a) fırın (b) fırın sıcaklığı

EKAP işlemleri amacıyla hazırlanan ve homojenize edilen AA7075 malzemeleri 210<sup>0</sup>C’ de kalıp sıcaklığında EKAP işlemlerine tabi tutulmuştur.

Çalışmada, manuel numune döndürme problemlerini ortadan kaldıran “Hexa Kalıp” adlı bir EKAP kalıbı kullanılmıştır. Hexa kalıbı, çok pasolu kalıplama işlemlerinde silindirik numunelerin doğru konumlandırılmasını sağlar (Kaya vd., 2014).

Kalıp çalışma sıcaklığı ve kalıbın ısısal işlem fırını içindeki görüntüleri Şekil 2.2’ de görülmektedir.



Şekil 2.2. (a) EKAP işlem sıcaklığı ve (b) ısısal işlem fırını içindeki hexa kalıp

EKAP işlemi uygulanacak numuneler 90 derece açıyla 1 paso olacak şekilde 3mm/s presleme hızıyla EKAP yöntemiyle aşırı plastik deformasyona tabi tutulmuştur.

EKAP işlemi sırasında molibdenli katı ve sıvı yağ kullanılmıştır. EKAPlama işlemi sırasında kullanılan pres ve yağlayıcılara ilişkin görseller Şekil 2.3’ te görülmektedir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 2.3. (a) EKAP işlemi sırasında kullanılan pres (b) EKAP işleminin yapılışı (c) katı yağlayıcı ve (d) MoS<sub>2</sub> koruyucu ve yağlayıcı

Aşırı plastik deforme edilmiş parçaların 4 adedi önceden ısıtılmış fırında 180 °C' de 1 saat bekleme süresiyle fırınlanarak yaşlandırılmıştır (Şekil 2.4).



(a)



(b)

Şekil 2.4. Suni yaşlandırma işleminde (a) fırın sıcaklık değeri ve b) suni yaşlandırma işlemi

## 2.2. İşlenebilirlik Çalışmaları

AA7075 malzemelerinin EKAP ve homojenizasyon işlemleri yapıldıktan sonra işlenebilirlik çalışmalarında başlanmıştır. İşlenebilirlik çalışmalarında torna tezgahında talaşlı işlem kabiliyetlerinin incelenebilmesi amacıyla Tablo 2.1' de verilen işlenebilirlik malzeme sayıları gösterilmiştir.

Tablo 2.2. İşlenebilirlik numune sayıları

	Homojenizasyonlu	AA7075 T6	EKAP 1 Paso	EKAP 1 paso+Suni yaşlandırılmış
Kuvvet ölçümleri	3 adet	3 adet	3 adet	3 adet
Yüzey Pürüzlülükleri	1 adet	1 adet	1 adet	1 adet

Çalışmada torna tezgahına loadcell entegre edilmiştir. Bunun için ara bağlantı parçaları üretilerek ölçülecek kuvvet yönlerine uygun şekilde konumlandırılması sağlanmıştır. Kesici takım ayna punta ekseninde olacak şekilde loadcell üzerine bağlanmıştır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Torna tezgahına entegre edilmiş loadcell

Çalışma için belirlenen talaş derinlikleri ve çaptaki azalma miktarları Tablo 2.3' te görülmektedir.

Tablo 2.3. Veri aralıklarında kaldırılan talaş ve çaptaki azalma miktarı

	1. Paso	2. Paso	3. Paso	4. Paso	5. Paso
Talaş derinliği (mm)	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
Çaptaki azalma (mm)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5

Çalışma için belirlenen veri aralıkları Tablo 2.4' te verilmiş olup, talaş kaldırılan en büyük çap 18 mm ve en küçük çap 5 mm' dir. 9 veri aralığının toplamından 45 paso talaş kaldırılmıştır. Ayrıca her bir numunenin 35 mm' lik kısmından talaş kaldırılmıştır.

Tablo 2.4. Çalışma için belirlenen veri aralıkları ve ilgili veri aralıklarına göre çap ölçüleri

Her bir numune için				
Veri Aralıkları	Paso Sayısı	Büyük çap (mm)	Küçük çap (mm)	Çaptaki azalma miktarı (mm)
1.veri aralığı	5	18	16,5	1,5
2.veri aralığı	5	16,5	15	1,5
3.veri aralığı	5	15	13,5	1,5
4.veri aralığı	5	13,5	12	1,5
5.veri aralığı	5	12	10,5	1,5
6.veri aralığı	5	10,5	9	1,5
7.veri aralığı	5	9	7,5	1,5
8.veri aralığı	5	7,5	6	1,5
9.veri aralığı	5	6	4,5	1,5

Çalışmada kullanılan tornalama işlemleri sırasında kullanılan kesme parametreleri Tablo 2.5’ te gösterilmiştir.

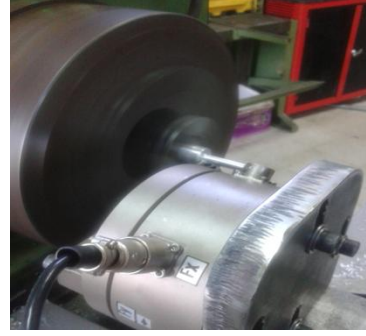
Tablo 2.5. Çalışmada belirlenen kesme parametreleri

Devir Sayısı dev/dak	İlerleme Hızı mm/dev	Tornalama Yöntemi	Soğutma Suyu	Kesici Takım
1000	0,11	Boyuna Tornalama	Kuru Tornalama	KNUX160405R11

Kesme kuvvetlerine ilişkin ölçümler Curiosity Curiotech Cmas Multi-Axis Loadcell ile yapılmıştır (Şekil 2.6).



(a)



(b)

Şekil 2.6. (a) ve (b) kesme kuvvetlerinin loadcell ile ölçülmesi

Ölçülen değerlerin bilgisayara aktarımı için DEWE-43A datalogger ve DEWEsoft X3 yazılımı kullanılmıştır (Şekil 2.7). Kuvvetler kilogramkuvvet (kgf) birimi ile ölçülmüştür ve newton (N) birimine çevrilmiştir. Her bir pasoyu temsil eden veriler uygun bir şekilde isimlendirilerek kayıt altına alınmıştır. Kuvvetler excel hesaplama tablosuna dönüştürülmüş ve aritmetik ortalamaları hesaplanarak o pasoyu temsil eden kuvvet olarak kayıt altına alınmıştır. Aynı malzeme türünden, aynı çap ve talaş derinliklerine ait kuvvetlerin aritmetik ortalamaları alınarak kuvvet ölçümlerinin doğruluklarının artırılması sağlanmıştır. Kuvvetler için hazırlanmış hesap tablolarında (excel) grafikleştirilerek görselleştirilmişlerdir.



Şekil 2.7. DEWEsoft X3 yazılımı ve DEWE-43A datalogger

1 adet homojenizasyonlu, 1 adet AA7075 T6 ısıtılmış, 1 adet EKAP 1 paso ve 1 adet EKAP + Suni yaşlandırılmış malzeme yüzey pürüzlülük ölçümleri için kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüklerinin ölçümü için torna tezgâhına tezgâhın kalemligi takılarak işlemin daha rijit bir ortamda olması sağlanmıştır. Numunelerin



her birinde kesme kuvvetleri ölçümü için kurgulanan katmanlı yapının aynısı kullanılmıştır. Bunun için 1,5 mm' lik 9 ayrı katmanda 5 farklı talaş derinliğinde (0,05mm, 0,1mm, 0,15mm, 0,20mm ve 0,25mm) n=1000 dev/dak f=0,11 mm/dev ilerleme hızında boyuna (silindirik) tornalanarak talaş kaldırılmıştır. Her bir talaş kaldırma işleminden sonra Time TR200 profilometre kullanılarak 120 derece arayla 3 noktadan yüzey pürüzlülük ölçümü yapılmıştır. Time TR200 profilometre ile yapılan ölçüme ilişkin görsel Şekil 2.8' de görülmektedir.



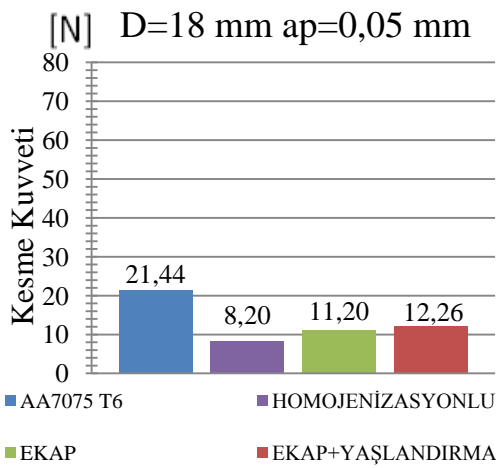
Şekil 2.8. Time TR200 profilometre

Yüzey pürüzlülük ölçümleri için cihaz ayarları STD:ISO, ölçüm boyutu 0,8x5 ve ölçüm aralığı(range)  $\pm 40\mu\text{m}$  olarak ayarlanmıştır. Ölçümlerin her biri kayıt altına alınmış ve ölçümlerin yapıldığı 3 noktanın ölçüm sonuçlarının aritmetik ortalaması hesaplanarak ölçüm sonuçları güvenli hale getirilmiştir.

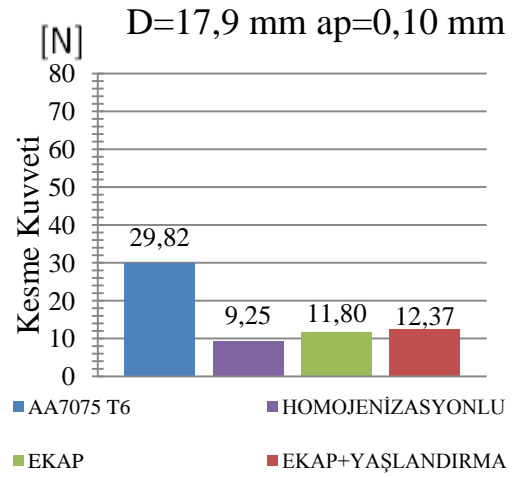


### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

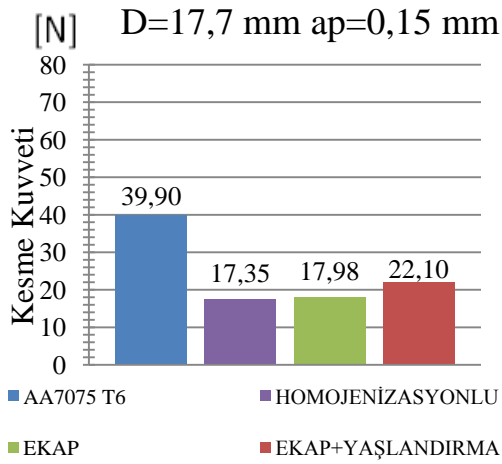
Şekil 3.1 (a)' da 18 mm çapta 0,05 mm talaş derinliğinde oluşan kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıtıl işlemine sahip numunenin işlenmesinde 21,44 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 8,2 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 11,20 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtıl işlemi yapılmış numunede 12,26 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.1 (b)' de 17,9 mm çapta 0,10 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıtıl işlemine sahip numunenin işlenmesinde 29,82 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 9,25 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 11,80 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtıl işlemi yapılmış numunede 12,37 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.1 (c)' de 17,7 mm çapta 0,15 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıtıl işlemine sahip numunenin işlenmesinde 39,9N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 17,35N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 17,98 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtıl işlemi yapılmış numunede 22,1 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.1 (d)' de 17,4 mm çapta 0,20 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıtıl işlemine sahip numunenin işlenmesinde 51,45 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 23,93 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 24,24 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtıl işlemi yapılmış numunede 28,72 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.1 (e)' de 17 mm çapta 0,25 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıtıl işlemine sahip numunenin işlenmesinde 65,89 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 28,65 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 29,34 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtıl işlemi yapılmış numunede 32,39 N olduğu görülmektedir. AA7075 0 numunede 100 HV ve AA7075 T6 numunede 207 HV sertlik değerleri ölçülmüştür (Kaya vd., 2012). 1 paso EKAP yapılmış AA7075 numunede ölçülen sertlik değeri 107 HV' dir (Kaya ve Uçar, 2016). EKAP sonrası yaşlandırma işlemi mekanik özellikleri daha da iyileştirmiştir (Erdoğan vd., 2016). Genellikle talaşlı imalat işlemlerinde sertlik arttıkça kesme kuvveti de artmaktadır (Kaya vd., 2012). AA7075 T6 numuneler diğer numunelere göre daha serttirler. Şekil 3.1 incelendiğinde kesme kuvvetlerinin ilgili literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir.



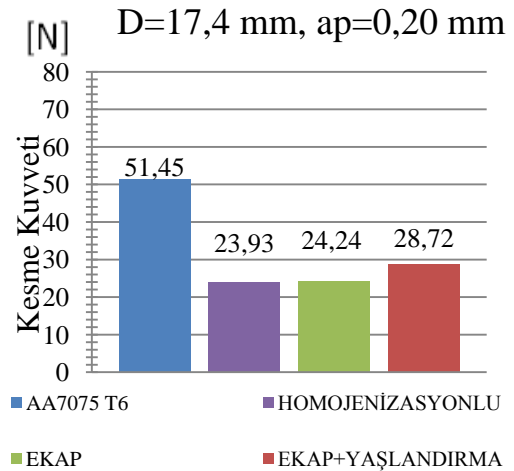
(a)



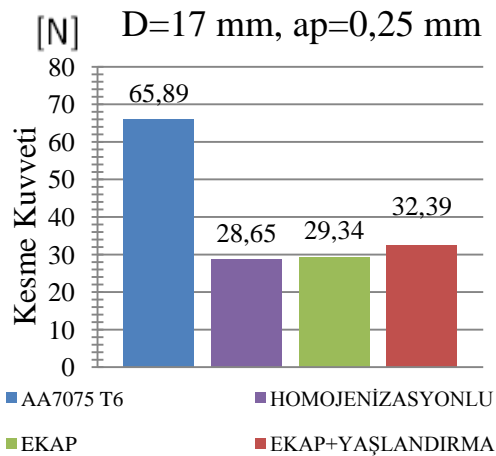
(b)



(c)



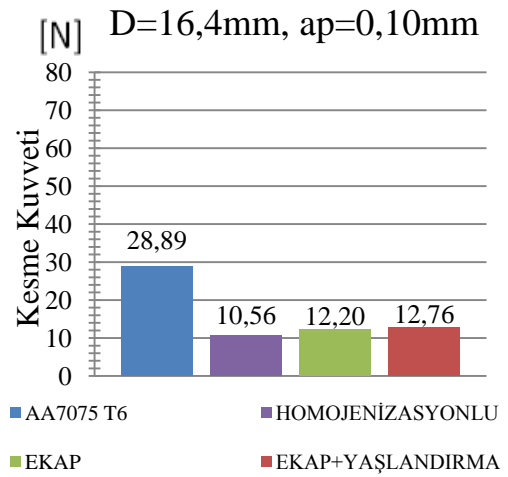
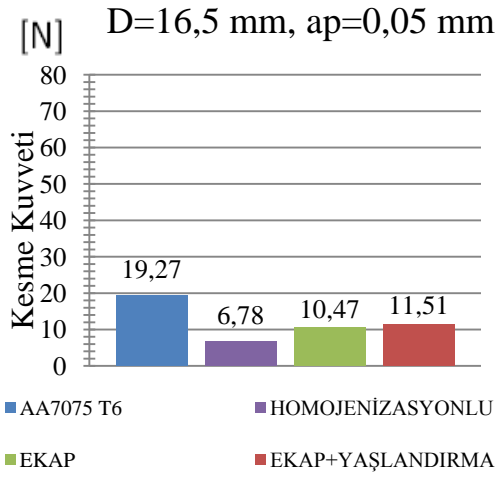
(d)



(e)

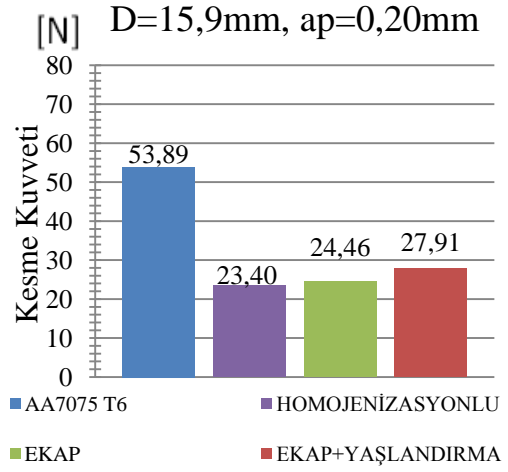
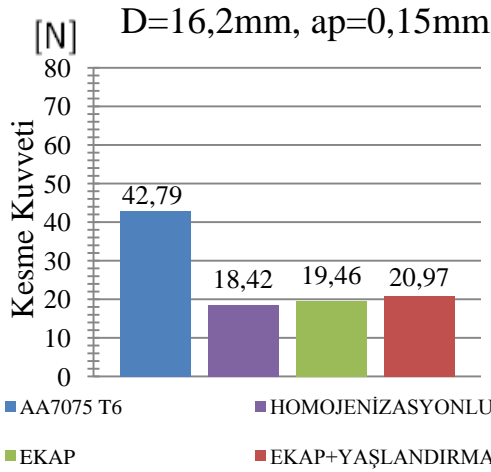
Şekil 3.1. 1.Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetlerinin değişimi

Şekil 3.2 (a)' da 16,5 mm çapta 0,05 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 19,27 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 6,78 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 10,47 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına yapılmış numunede 11,51 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.2 (b)' de 16,4 mm çapta 0,10 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 28,89N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 10,56 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 12,2 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına yapılmış numunede 12,76 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.2 (c)' de 16,2 mm çapta 0,15 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 42,79 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 18,42 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 19,46 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına yapılmış numunede 20,97 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.2 (d)' de 15,9 mm çapta 0,20 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 53,89 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 23,4 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 24,46 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına yapılmış numunede 27,91 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.2 (e)' de 15,5 mm çapta 0,25 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 64,9 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 27,75 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 28,28 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına yapılmış numunede 33,76 N olduğu görülmektedir. Malzemelerin birçoğunda kesme hızı artarsa kesme kuvvetleri düşer. Kesme kuvvetlerinin düşme nedeni akış bölgesindeki yüksek sıcaklıklar ve temas yüzey alanının azalmasıdır (Çakır, 2018b). Sabit devir hızlarında kesme hızlarının çaptaki azalmayla düştüğü bilinmektedir. Şekil 3.2' nin işlenmesinde Şekil 3.1' e göre çap düşüşü ve dolayısıyla kesme hızlarında düşüş gerçekleşmiştir. Bu nedenle bazı değerlerde küçük artışlar gözlenmiştir. Ancak burada ki kesme hızlarındaki düşüş miktarları pek fazla değildir ve genel itibarıyla çalışmada yapılan kesme işlemi düşük kesme hızlarında gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 3.2' de ki grafiklere kendi içlerinde bakıldığında da durumun Şekil 3.1' de olduğu gibi görülmektedir. Kesme kuvvetleri sertlik değerleriyle uyumlu olarak gerçekleşmiştir. AA7075 T6 malzemelerin kesme kuvvetleri yüksek çıkmıştır.



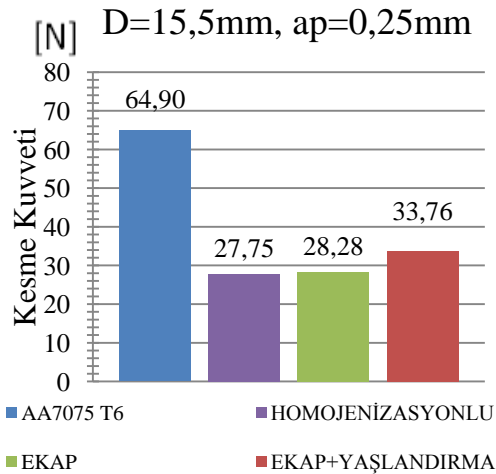
(a)

(b)



(c)

(d)



(e)

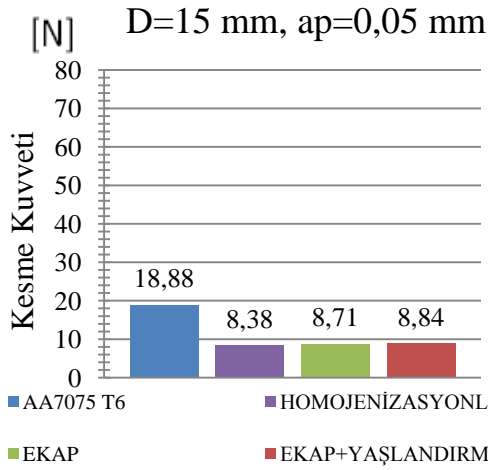
Şekil 3.2. 2. Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetlerinin değişimi

Şekil 3.3 (a)' da 15 mm çapta 0,05 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 18,88 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 8,38 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 8,71 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına işlemi yapılmış numunede 8,84 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.3 (b)' de 14,9 mm çapta 0,10 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 28,17 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 14,09 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 14,79 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına işlemi yapılmış numunede 15,57 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.3 (c)' de 14,7 mm çapta 0,15 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 42,59 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 20,15 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 20,4 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına işlemi yapılmış numunede 23,27 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.3 (d)' de 14,4 mm çapta 0,20 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 55,45 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 25,05 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 25,49 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına işlemi yapılmış numunede 27,15 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.3 (e)' de 14,5 mm çapta 0,25 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 67,26 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 28,36 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 29,84 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına işlemi yapılmış numunede 41,39 N olduğu görülmektedir.

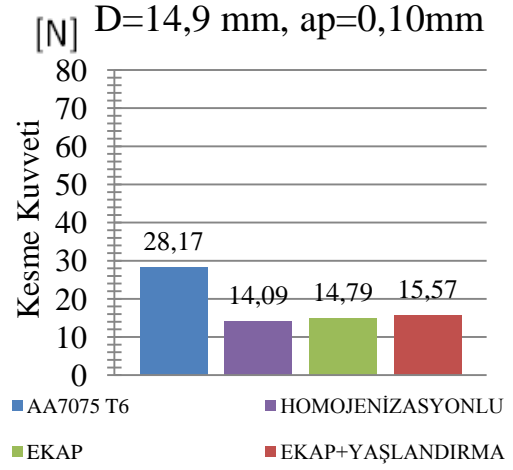
EKAP alüminyumun kesme kuvveti, daha yüksek mukavemete rağmen EKAPlanmamış malzemeye göre daha düşüktür. Bu, kesme işlemi sırasında daha yüksek sıcaklık ile açıklanabilir (Wiessinger vd., 2018).

Genellikle talaşlı imalat işlemlerinde sertlik arttıkça kesme kuvveti de artmaktadır (Kaya vd., 2012).

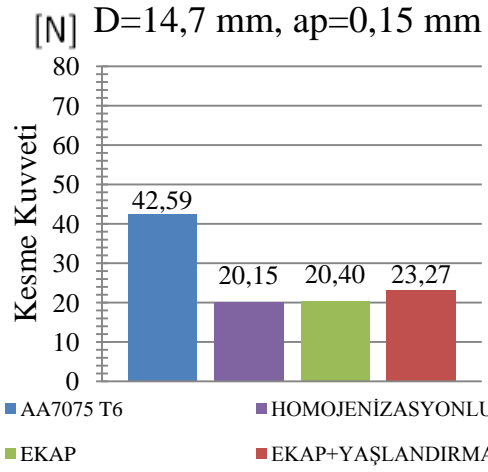
Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de yaptığımız tartışmalar Şekil 3.3'te de geçerli olmakla birlikte kesme kuvvetlerini katmanlar arasında incelediğimizde yaklaşık aynı kesme kuvvetleri olduğu görülmektedir. EKAP yapılmış malzemelerde daha küçük çaplara inildikçe EKAP etkisi azalmaktadır.



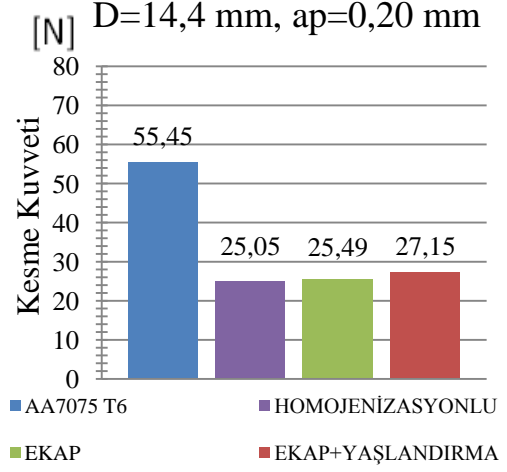
(a)



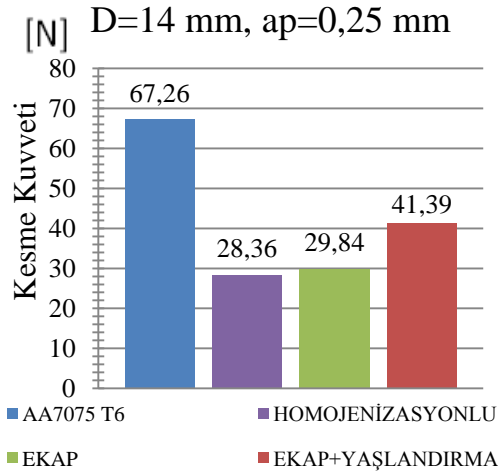
(b)



(c)



(d)



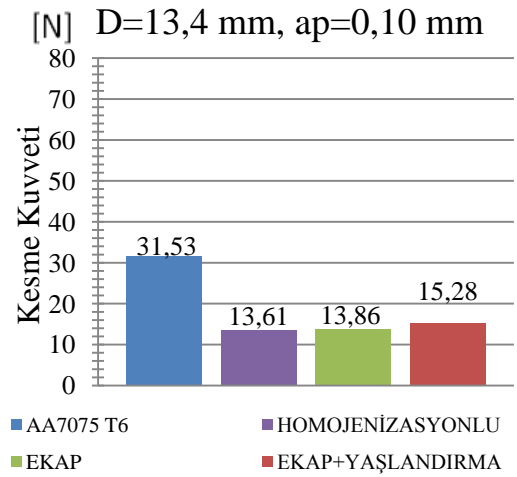
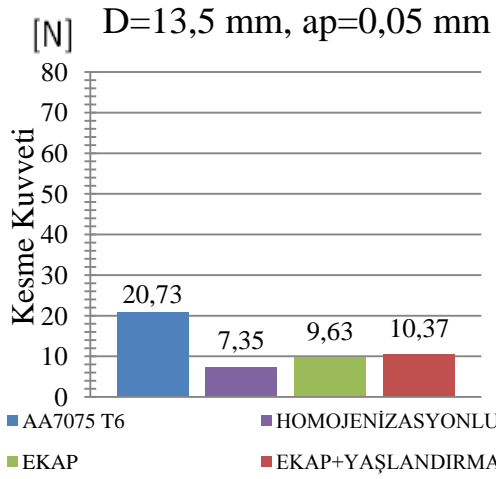
(e)

Şekil 3.3. 3.Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetlerinin değişimi

Şekil 3.4 (a)' da 13,5 mm çapta 0,05mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıl işlemine sahip numunenin işlenmesinde 20,73 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 7,35 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 9,63N, EKAP ve yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış numunede 10,37 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.4 (b)' de 13,4 mm çapta 0,10 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıl işlemine sahip numunenin işlenmesinde 31,53 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 13,61 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 13,86 N, EKAP ve yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış numunede 15,28 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.4 (c)' de 13,2 mm çapta 0,15 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıl işlemine sahip numunenin işlenmesinde 44,72 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 20,74 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 22,51 N, EKAP ve yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış numunede 23,29 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.4 (d)' de 12,9 mm çapta 0,20 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıl işlemine sahip numunenin işlenmesinde 56,09 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 22,84 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 23,22 N, EKAP ve yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış numunede 33,2 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.4 (e)' de 12,5 mm çapta 0,25 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıl işlemine sahip numunenin işlenmesinde 69,38 N, homojenizasyon işlemi yapılmış Numunenin işlenmesinde 33,51 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 37,82 N, EKAP ve yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış numunede 41,37 N olduğu görülmektedir.

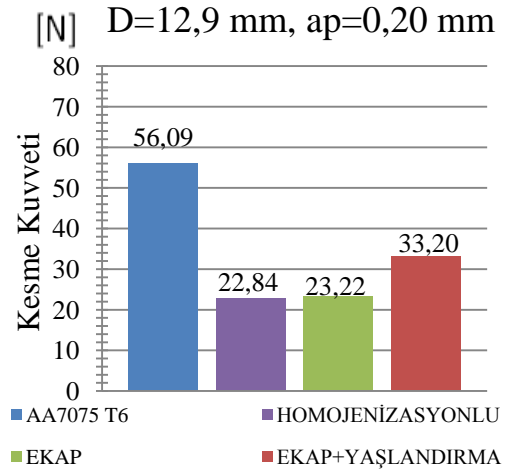
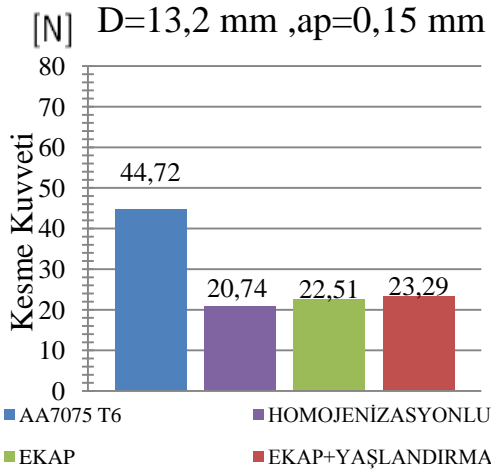
AA7075 0 numunede 100 HV ve AA7075 T6 numunede 207 HV sertlik değerleri ölçülmüştür (Kaya vd., 2012). 1 paso EKAP yapılmış AA7075 numunede ölçülen sertlik değeri 107 HV' dir (Kaya ve Uçar, 2016). EKAP sonrası yaşlandırma işlemi mekanik özellikleri daha da iyileştirmiştir (Erdoğan vd., 2016). EKAP alüminyumun kesme kuvveti, daha yüksek mukavemete rağmen EKAPlanmamış malzemeye göre daha düşüktür. Bu, kesme işlemi sırasında daha yüksek sıcaklık ile açıklanabilir (Wiessinger vd., 2018). Genellikle talaşlı imalat işlemlerinde sertlik arttıkça kesme kuvveti de artmaktadır (Kaya vd., 2012).

Şekil 3.4' te kesme kuvvetleri sertlik değerleriyle uyumlu olarak ölçülmüştür ve Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3 ile de uyumludur.



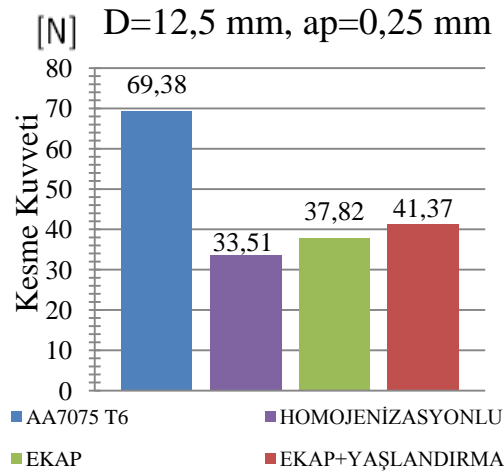
(a)

(b)



(c)

(d)



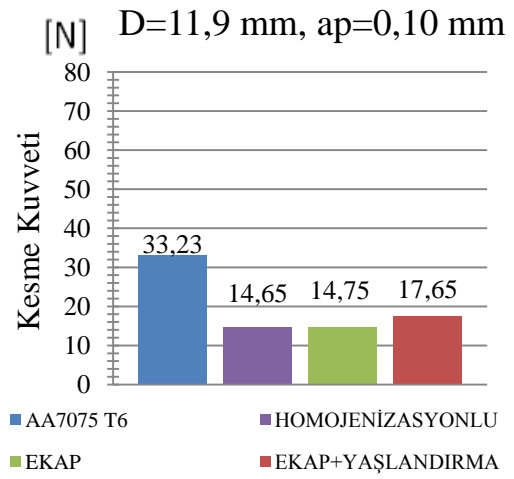
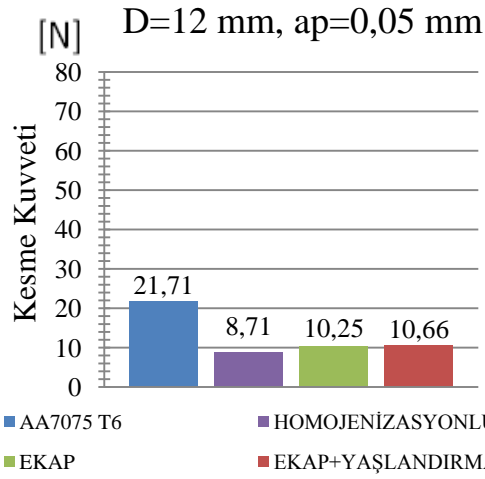
(e)

Şekil 3.4. 4. Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetlerinin değişimi



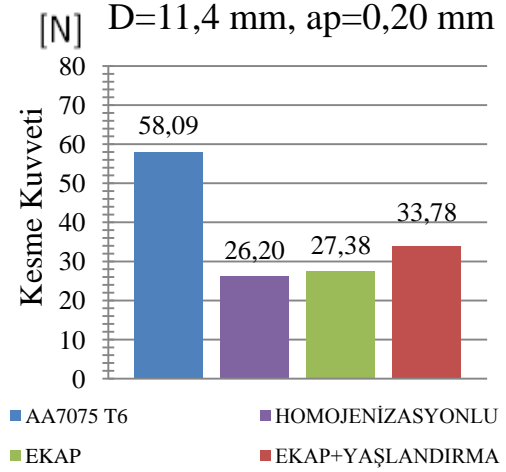
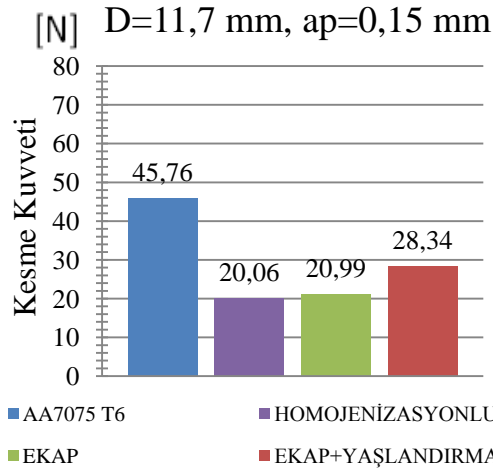
Şekil 3.5 (a)' da 12 mm çapta 0,05 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 21,71 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 8,71 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 10,25 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına işlemi yapılmış numunede 10,66 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.5 (b)' de 11,9 mm çapta 0,10 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 33,23 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 14,65 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 14,75 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına işlemi yapılmış numunede 17,65 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.5 (c)' de 11,7 mm çapta 0,15 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 45,76 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 20,06 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 20,99 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına işlemi yapılmış numunede 28,34 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.5 (d)' de 11,4 mm çapta 0,20 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 58,09 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 26,2 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 27,38 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına işlemi yapılmış numunede 33,78 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.5 (e)' de 11 mm çapta 0,25 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 68,87 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 31,23 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 31,50 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına işlemi yapılmış numunede 41,26 N olduğu görülmektedir.

AA7075 0 (homojenize) numunede 100 HV ve AA7075 T6 numunede 207 HV sertlik değerleri ölçülmüştür (Kaya vd., 2012). 1 paso EKAP yapılmış AA7075 numunede ölçülen sertlik değeri 107 HV' dir (Kaya ve Uçar, 2016). EKAP sonrası yaşlandırma işlemi mekanik özellikleri daha da iyileştirmiştir (Erdoğan vd., 2016). EKAP alüminyumun kesme kuvveti, daha yüksek mukavemete rağmen EKAPlanmamış malzemeye göre daha düşüktür. Bu, kesme işlemi sırasında daha yüksek sıcaklık ile açıklanabilir (Wiessinger vd., 2018). Genellikle talaşlı imalat işlemlerinde sertlik arttıkça kesme kuvveti de artmaktadır (Kaya vd., 2012). Şekil 3.5' te kesme kuvvetleri sertlik değerleriyle uyumlu olarak ölçülmüştür ve Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4 ile uyumludur.



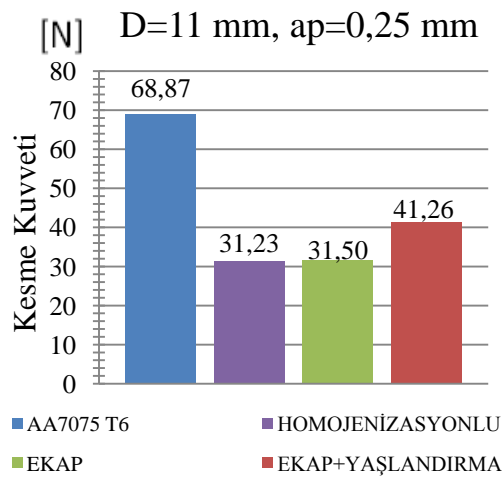
(a)

(b)



(c)

(d)

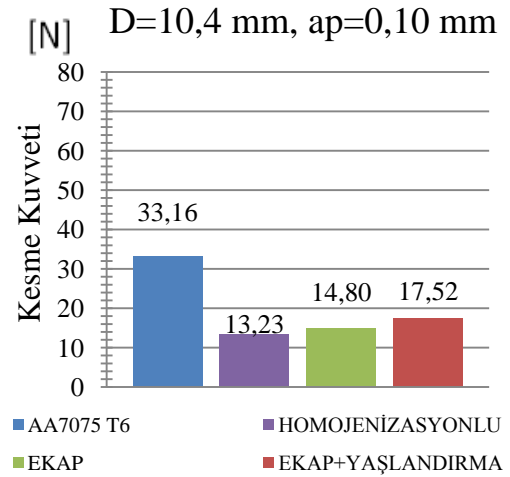
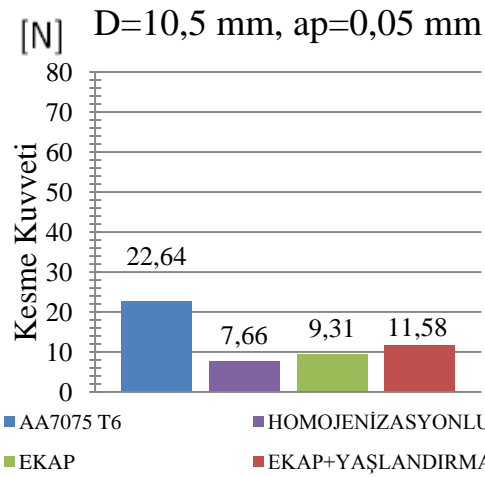


(e)

Şekil 3.5. 5.Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetlerinin değişimi

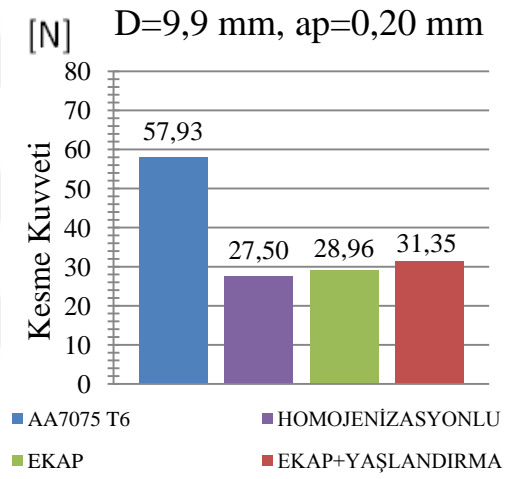
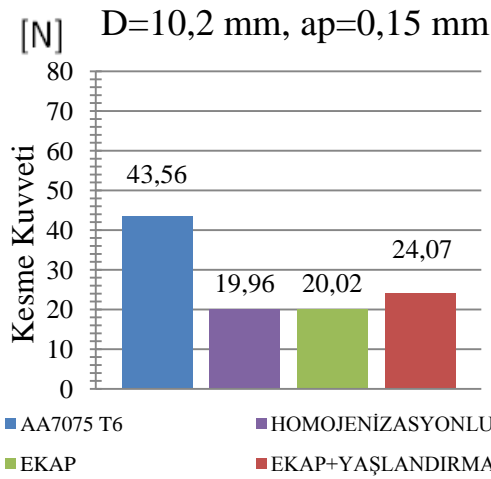
Şekil 3.6 (a)' da 10,5 mm çapta 0,05 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıl işlemine sahip numunenin işlenmesinde 22,64 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 7,66 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 9,31N, EKAP ve yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış numunede 11,58 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.6 (b)' de 10,4 mm çapta 0,10 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıl işlemine sahip numunenin işlenmesinde 33,16 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 13,23 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 14,80 N, EKAP ve yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış numunede 17,52 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.6 (c)' de 10,2 mm çapta 0,15 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıl işlemine sahip numunenin işlenmesinde 43,56 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 19,96 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 20,02 N, EKAP ve yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış numunede 24,07 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.6 (d)' de 9,9 mm çapta 0,20 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıl işlemine sahip numunenin işlenmesinde 57,93 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 27,5 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 28,96 N, EKAP ve yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış numunede 31,35 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.6 (e)' de 9,5 mm çapta 0,25 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıl işlemine sahip numunenin işlenmesinde 70,05 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 28,12 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 31,3 N, EKAP ve yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış numunede 43,82 N olduğu görülmektedir. AA7075 0 (homojenize) numunede 100 HV ve AA7075 T6 numunede 207 HV sertlik değerleri ölçülmüştür (Kaya vd., 2012). 1 paso EKAP yapılmış AA7075 numunede ölçülen sertlik değeri 107 HV' dir (Kaya ve Uçar, 2016). EKAP sonrası yaşlandırma işlemi mekanik özellikleri daha da iyileştirmiştir (Erdoğan vd., 2016). EKAP alüminyumun kesme kuvveti, daha yüksek mukavemete rağmen EKAPlanmamış malzemeye göre daha düşüktür. Bu, kesme işlemi sırasında daha yüksek sıcaklık ile açıklanabilir (Wiessinger vd., 2018). Genellikle talaşlı imalat işlemlerinde sertlik arttıkça kesme kuvveti de artmaktadır (Kaya vd., 2012).

Şekil 3.6'te kesme kuvvetleri sertlik değerleriyle uyumlu olarak ölçülmüştür ve Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4 ve Şekil 3.5 ile uyumludur.



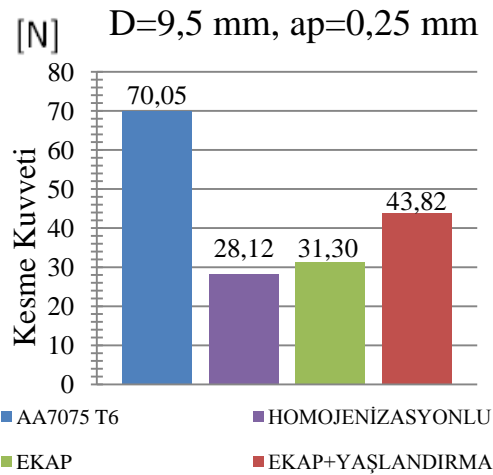
(a)

(b)



(c)

(d)



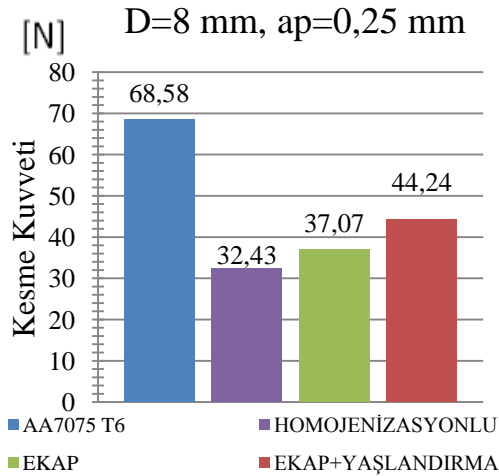
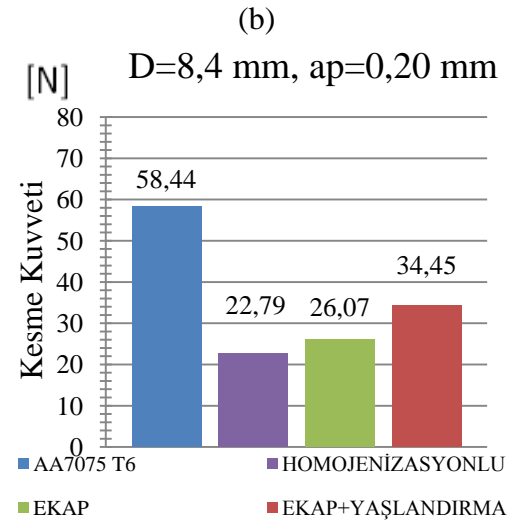
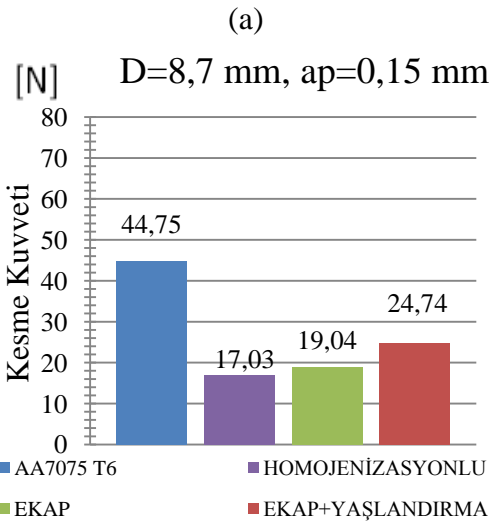
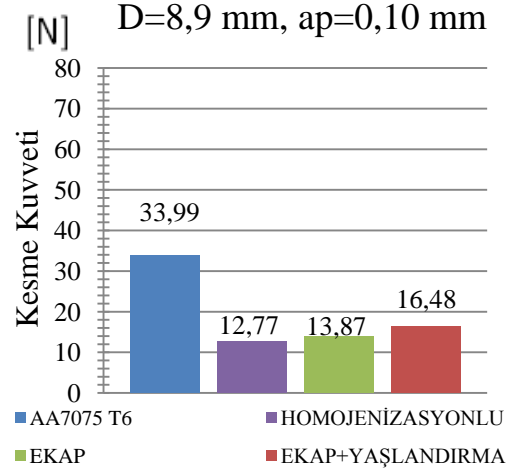
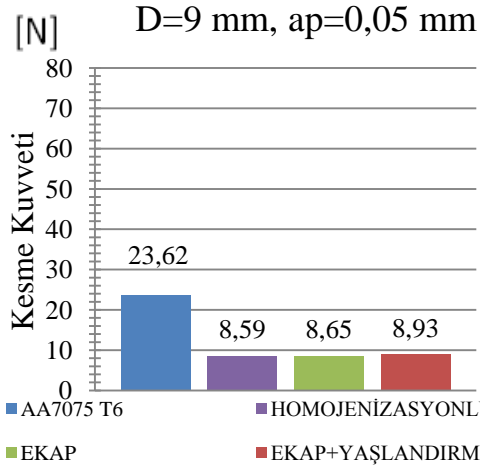
(e)

Şekil 3.6. 6.Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetlerinin değişimi

Şekil 3.7 (a)' da 9 mm çapta 0,05 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 23,62 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 8,59 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 8,65N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına işlemi yapılmış numunede 8,93 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.7 (b)' de 8,9 mm çapta 0,10 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 33,99 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 12,77 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 13,87 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına işlemi yapılmış numunede 16,48 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.7 (c)' de 8,7 mm çapta 0,15 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 44,75 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 17,03 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 19,04 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına işlemi yapılmış numunede 24,74 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.7 (d)' de 8,4 mm çapta 0,20 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 58,44 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 22,79 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 26,07 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına işlemi yapılmış numunede 34,45 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.7 (e)' de 8 mm çapta 0,25 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 68,58 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 32,43 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 37,07 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına işlemi yapılmış numunede 44,24 N olduğu görülmektedir.

AA7075 0 numunede 100 HV ve AA7075 T6 numunede 207 HV sertlik değerleri ölçülmüştür (Kaya vd., 2012). 1 paso EKAP yapılmış AA7075 numunede ölçülen sertlik değeri 107 HV' dir (Kaya ve Uçar, 2016). EKAP sonrası yaşlandırma işlemi mekanik özellikleri daha da iyileştirmiştir (Erdoğan vd., 2016). EKAP alüminyumun kesme kuvveti, daha yüksek mukavemete rağmen EKAPlanmamış malzemeye göre daha düşüktür. Bu, kesme işlemi sırasında daha yüksek sıcaklık ile açıklanabilir (Wiessinger vd., 2018). Genellikle talaşlı imalat işlemlerinde sertlik arttıkça kesme kuvveti de artmaktadır (Kaya vd., 2012).

Şekil 3.7' de kesme kuvvetleri sertlik değerleriyle uyumlu olarak ölçülmüştür ve Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6 ile uyumludur.



(e)

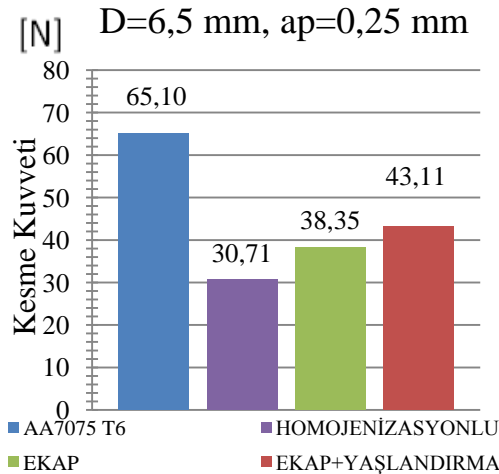
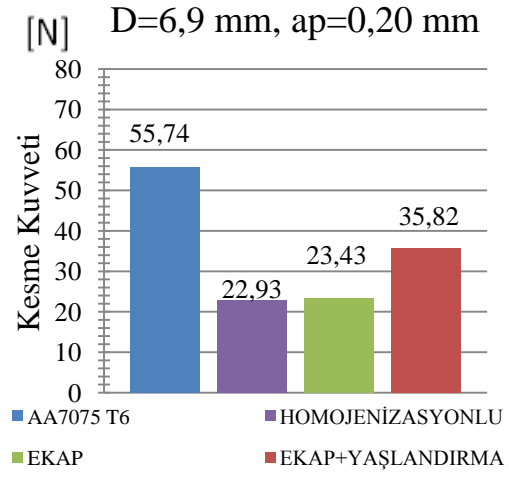
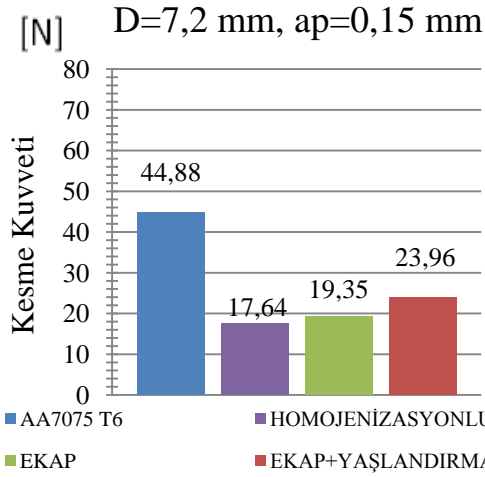
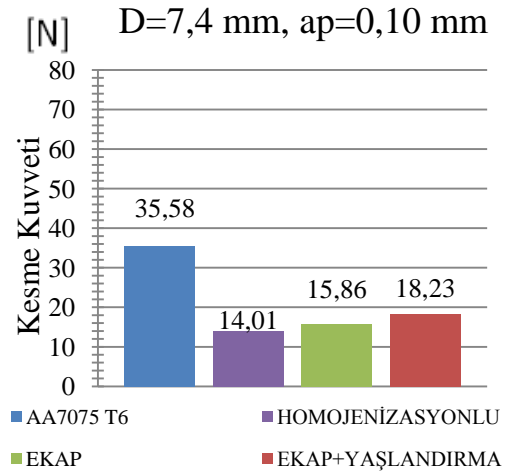
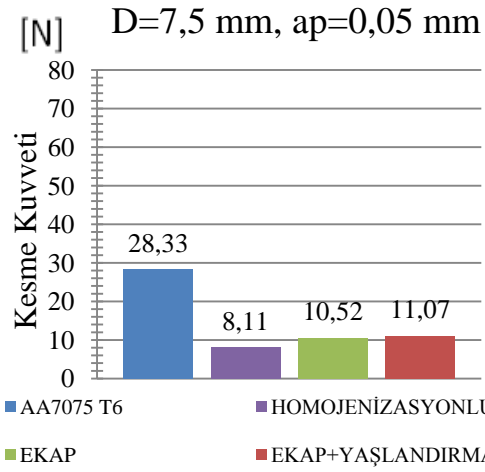
Şekil 3.7. 7.Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetlerinin değişimi

Şekil 3.8 (a)' da 7,5 mm çapta 0,05 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıl işlemine sahip numunenin işlenmesinde 28,33 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 8,11 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 10,52 N, EKAP ve yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış numunede 11,07 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.8 (b)' de 7,4 mm çapta 0,10 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıl işlemine sahip numunenin işlenmesinde 35,58 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 14,01 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 15,86 N, EKAP ve yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış numunede 18,23 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.8 (c)' de 7,2 mm çapta 0,15 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıl işlemine sahip numunenin işlenmesinde 44,88 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 17,64 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 19,35 N, EKAP ve yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış numunede 23,96 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.8 (d)' de 6,9 mm çapta 0,20 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıl işlemine sahip numunenin işlenmesinde 55,74 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 22,93 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 23,43 N, EKAP ve yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış numunede 35,82 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.8 (e)' de 6,5 mm çapta 0,25 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıl işlemine sahip numunenin işlenmesinde 65,1 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 30,71 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 38,35 N, EKAP ve yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış numunede 43,11 N olduğu görülmektedir.

AA7075 0 numunede 100 HV ve AA7075 T6 numunede 207 HV sertlik değerleri ölçülmüştür (Kaya vd., 2012). 1 paso EKAP yapılmış AA7075 numunede ölçülen sertlik değeri 107 HV' dir (Kaya ve Uçar, 2016).

EKAP alüminyumun kesme kuvveti, daha yüksek mukavemete rağmen EKAPlanmamış malzemeye göre daha düşüktür. Bu, kesme işlemi sırasında daha yüksek sıcaklık ile açıklanabilir (Wiessinger vd., 2018). Genellikle talaşlı imalat işlemlerinde sertlik arttıkça kesme kuvveti de artmaktadır (Kaya vd., 2012).

Şekil 3.8' de kesme kuvvetleri sertlik değerleriyle uyumlu olarak ölçülmüştür ve Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7 ile uyumludur.



Şekil 3.8. 8. Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetlerinin değişimi

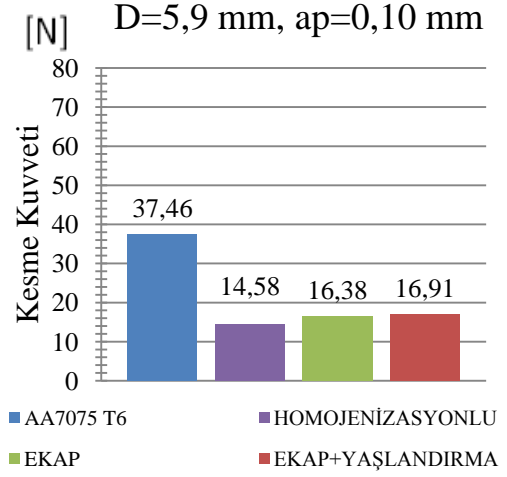
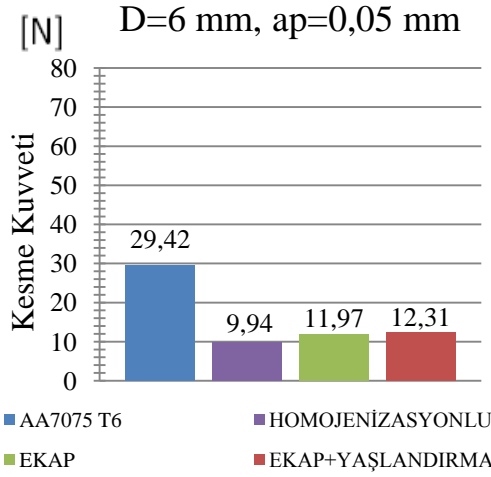


Şekil 3.9 (a)' da 6 mm çapta 0,05mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 29,42 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 9,94 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 11,97 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına sahip numunede 12,31 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.9 (b)' de 5,9 mm çapta 0,10 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 37,46 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 14,58 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 16,38 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına sahip numunede 16,91 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.9 (c)' de 5,7 mm çapta 0,15 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 45,32 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 19,61 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 20,93 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına sahip numunede 23,91 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.9 (d)' de 5,4 mm çapta 0,20 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 52,22 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 21,24 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 22,93 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına sahip numunede 31,16 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.9 (e)' de 5 mm çapta 0,25 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetleri AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 59,19 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 33,85 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 38,05 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına sahip numunede 40,54 N olduğu görülmektedir.

AA7075 0 (homojenize) numunede 100 HV ve AA7075 T6 numunede 207 HV sertlik değerleri ölçülmüştür (Kaya vd., 2012). 1 paso EKAP yapılmış AA7075 numunede ölçülen sertlik değeri 107 HV' dir (Kaya ve Uçar, 2016).

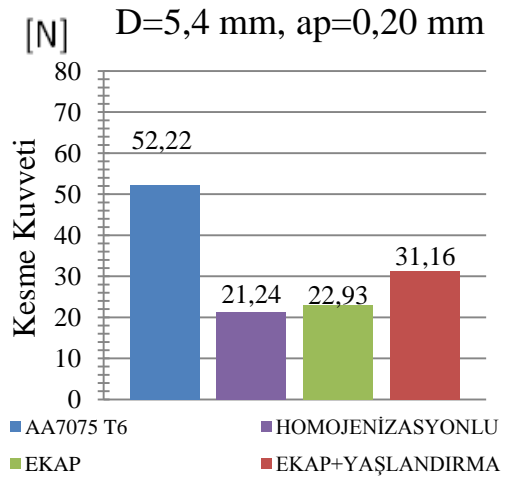
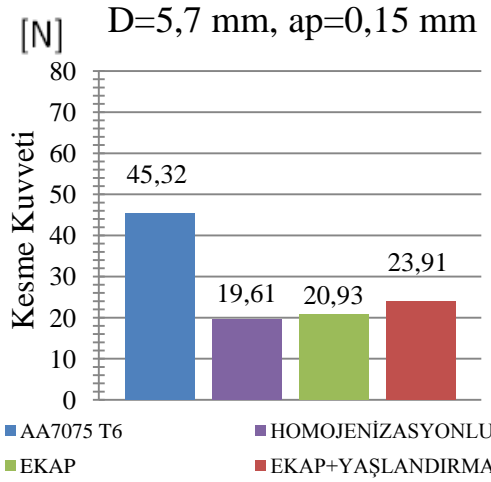
EKAP alüminyumun kesme kuvveti, daha yüksek mukavemete rağmen EKAPlanmamış malzemeye göre daha düşüktür. Bu, kesme işlemi sırasında daha yüksek sıcaklık ile açıklanabilir (Wiessinger vd., 2018). Genellikle talaşlı imalat işlemlerinde sertlik arttıkça kesme kuvveti de artmaktadır (Kaya vd., 2012).

Şekil 3.9' da kesme kuvvetleri sertlik değerleriyle uyumlu olarak ölçülmüştür ve Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7 ve Şekil 3.8 ile uyumludur.



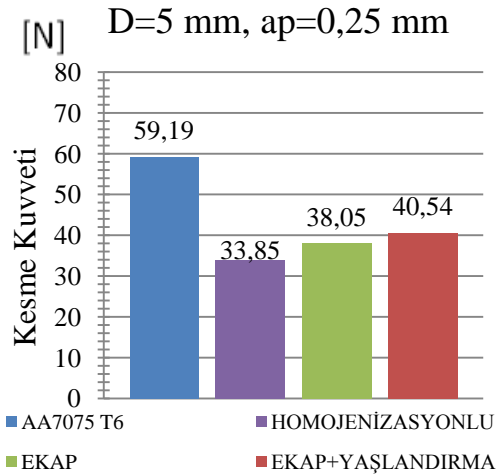
(a)

(b)



(c)

(d)



(e)

Şekil 3.9. 9. Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde kesme kuvvetlerinin değişimi

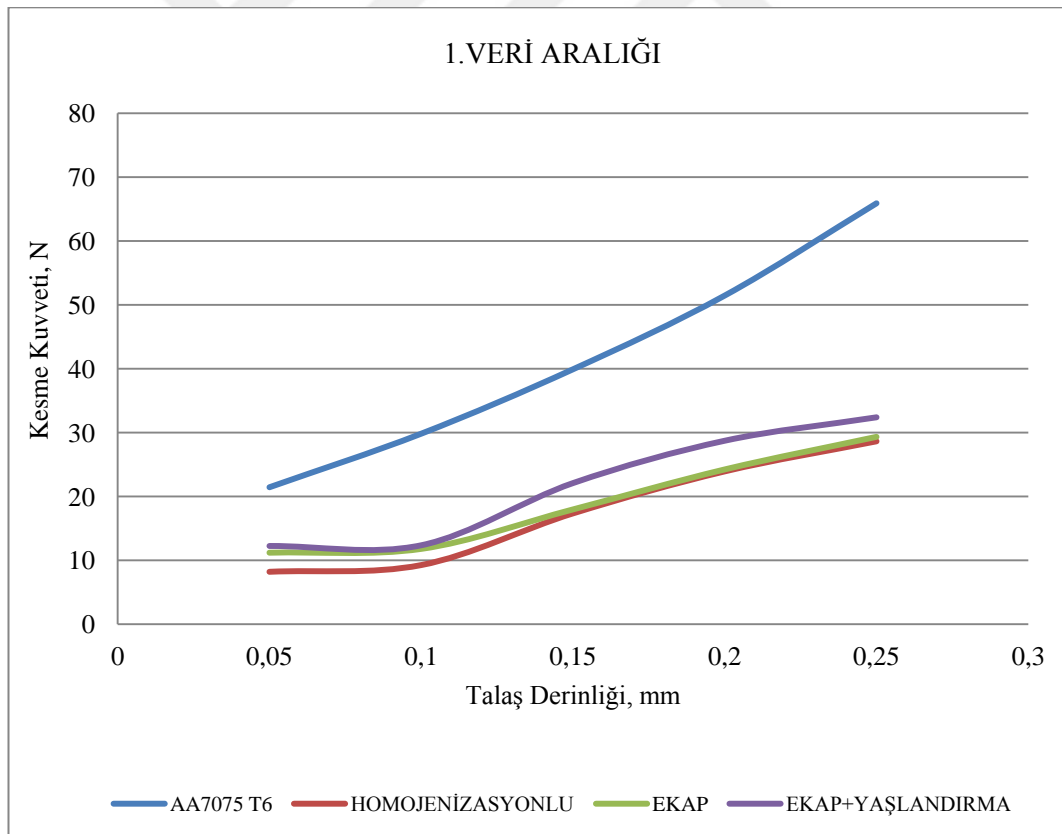
Düşük kesme hızlarında 6 saat yaşlandırılmış malzemelerin kesme kuvveti değerleri yaşlandırılmamış malzemeye göre daha yüksek olmakta ve 6 saat yaşlandırılmış numunelerin işlenebilirliği güçleşmektedir (Onur, 2014).

Talaş derinliği ile kesme kuvveti arasında bir bağıntı vardır. Talaş derinliğinin artması kesme kuvvetini arttırmaktadır (Çakır, 2018b).

Şekil 3.10' da 18 mm 16,5 mm çap aralığında talaş derinliğine bağlı olarak oluşan kesme kuvvetleri görülmektedir.

AA7075 T6 malzemenin işlenmesinde kesme kuvvetleri literatür ile uyumlu olarak yüksek ölçülmektedir.

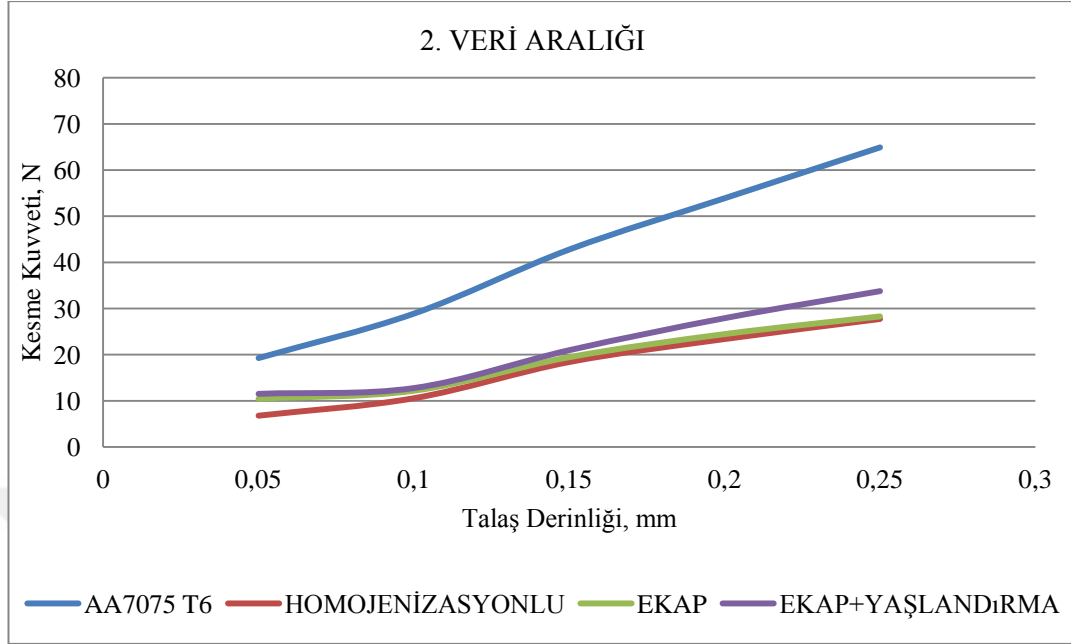
Ayrıca çalışmada literatür ile uyumlu olarak talaş derinlikleri arttıkça kesme kuvvetleri artmaktadır.



Şekil 3.10. 1.Veri aralığında talaş derinliğine göre malzemelerin tornalanmasında kesme kuvvetlerinin karşılaştırmalı değişimi

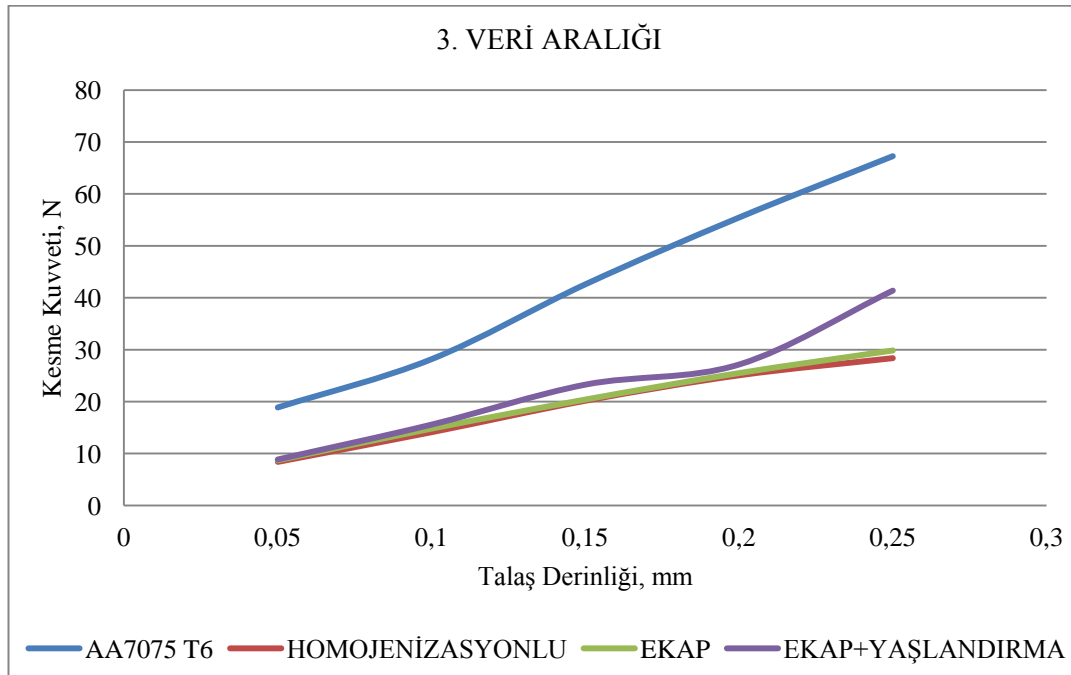
Şekil 3.11' de 16,5 mm 15 mm çap aralığında talaş derinliğine bağlı olarak oluşan kesme kuvvetleri görülmektedir.

Talaş derinlikleri arttıkça kesme kuvvetleri literatür ile uyumlu olarak artmaktadır.



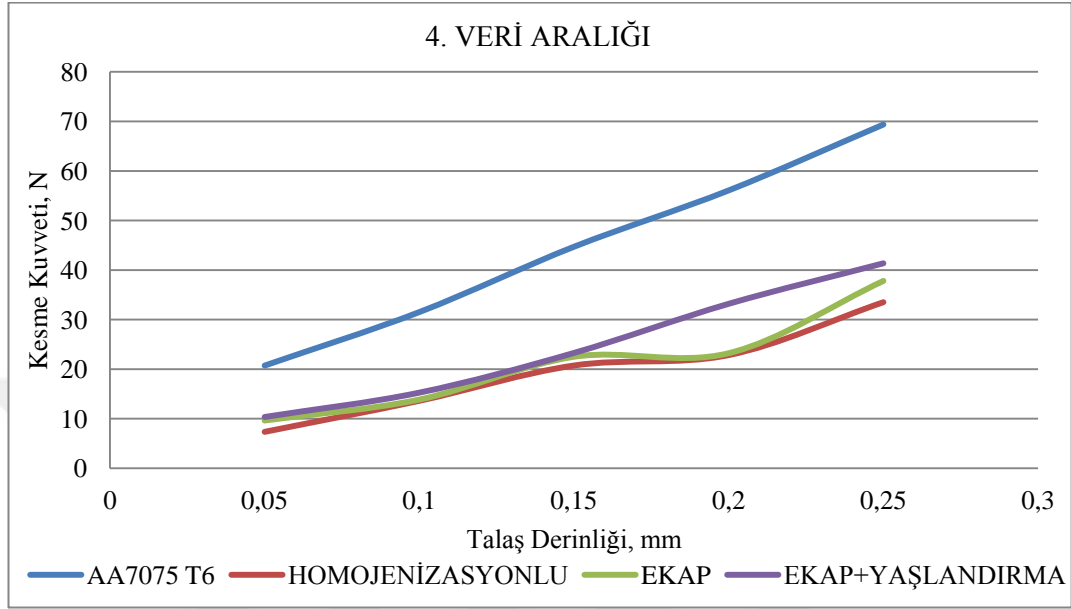
Şekil 3.11. 2.Verİ aralığında talaş derinliğine göre malzemelerin tornalanmasında kesme kuvvetlerinin karşılaştırmalı değişimi

Şekil 3.12' de 15mm 13,5 mm çap aralığında talaş derinliğine bağlı olarak oluşan kesme kuvvetleri görülmektedir. Talaş derinlikleri arttıkça kesme kuvvetleri literatür ile uyumlu olarak artmaktadır.



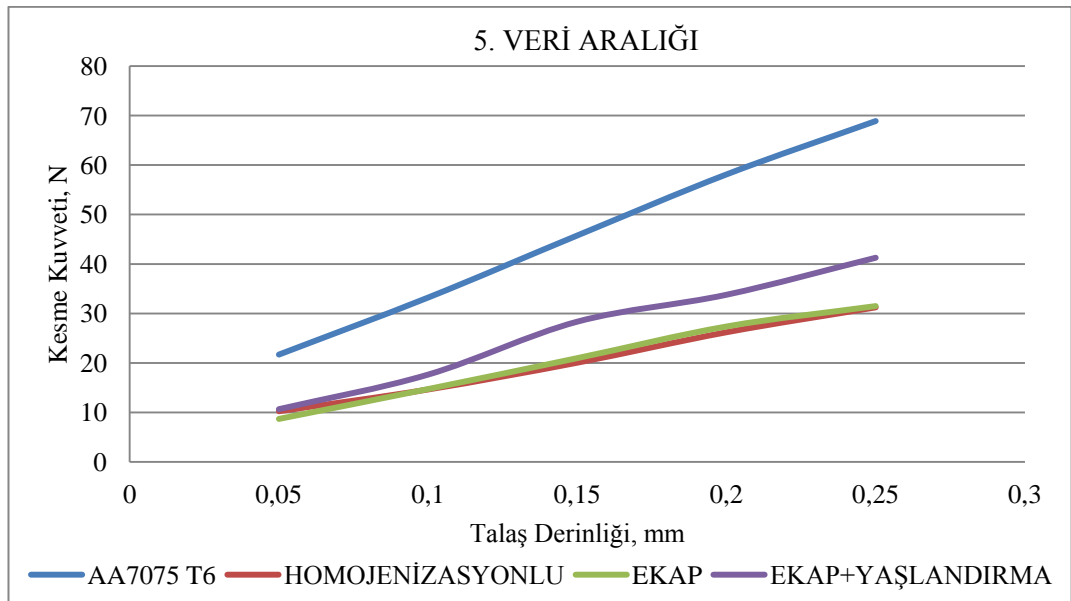
Şekil 3.12. 3.Verİ aralığında talaş derinliğine göre malzemelerin tornalanmasında kesme kuvvetlerinin karşılaştırmalı değişimi

Şekil 3.13' te 13,5 mm 12 mm çap aralığında talaş derinliğine bağlı olarak oluşan kesme kuvvetleri görülmektedir. Talaş derinlikleri arttıkça kesme kuvvetleri literatür ile uyumlu olarak artmaktadır.



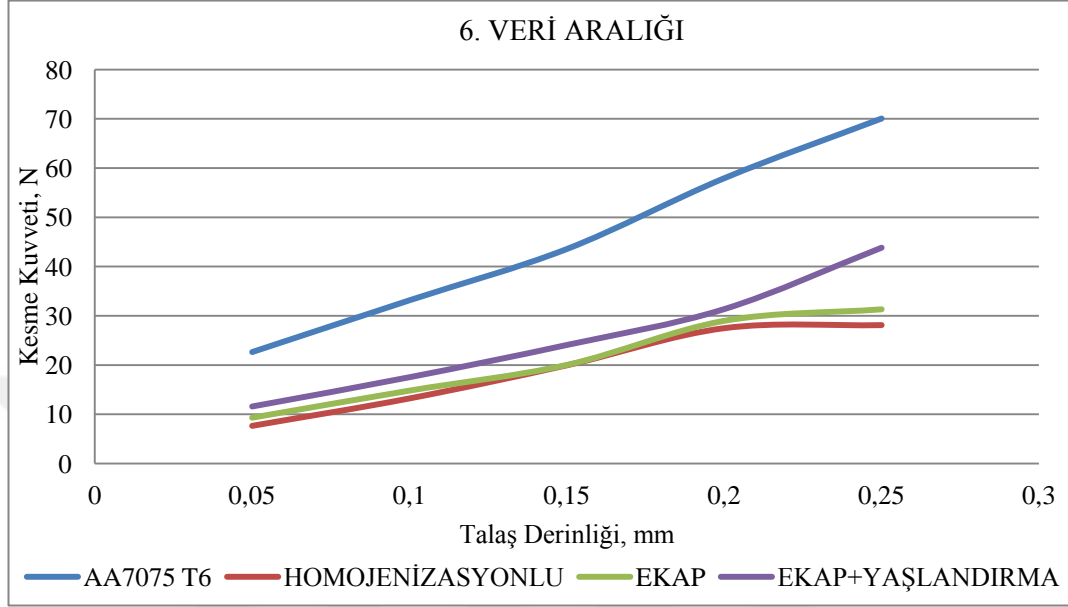
Şekil 3.13. 4.Verİ aralığında talaş derinliğine göre malzemelerin tornalanmasında kesme kuvvetlerinin karşılaştırmalı değişimi

Şekil 3.14' te 12 mm 10,5 mm çap aralığında talaş derinliğine bağlı olarak oluşan kesme kuvvetleri görülmektedir. Talaş derinlikleri arttıkça kesme kuvvetleri literatür ile uyumlu olarak artmaktadır.



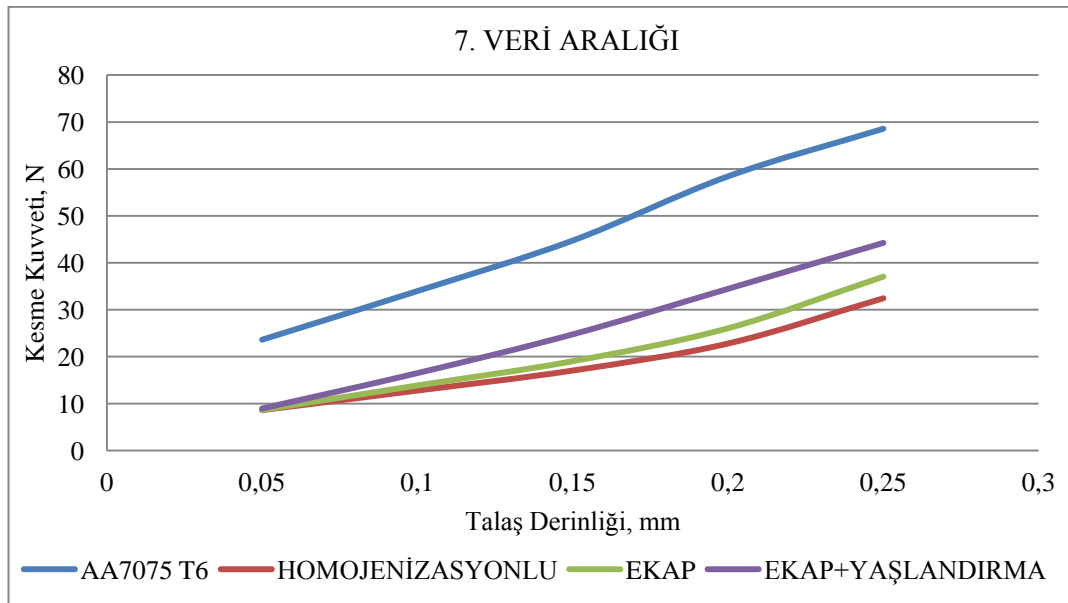
Şekil 3.14. 5.Verİ aralığında talaş derinliğine göre malzemelerin tornalanmasında kesme kuvvetlerinin karşılaştırmalı değişimi

Şekil 3.15' te 10,5 mm 9 mm çap aralığında talaş derinliğine bağlı olarak oluşan kesme kuvvetleri görülmektedir. Talaş derinlikleri arttıkça kesme kuvvetleri literatür ile uyumlu olarak artmaktadır.



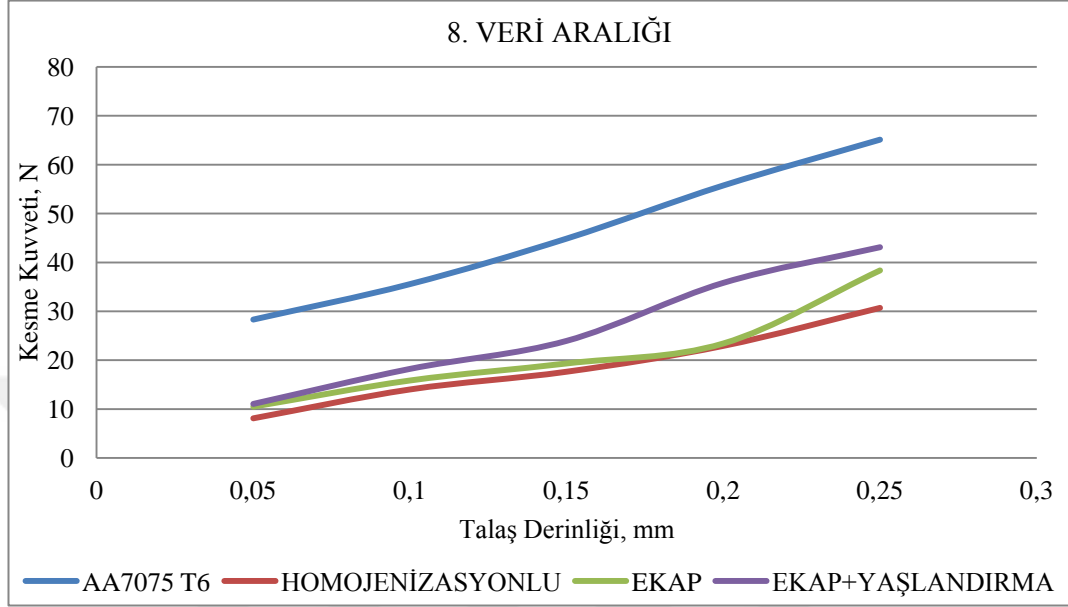
Şekil 3.15. 6.Verii aralığında talaş derinliğine göre malzemelerin tornalanmasında kesme kuvvetlerinin karşılaştırmalı değışimi

Şekil 3.16' da 9 mm 7,5 mm çap aralığında talaş derinliğine bağlı olarak oluşan kesme kuvvetleri görülmektedir. Talaş derinlikleri arttıkça kesme kuvvetleri literatür ile uyumlu olarak artmaktadır.



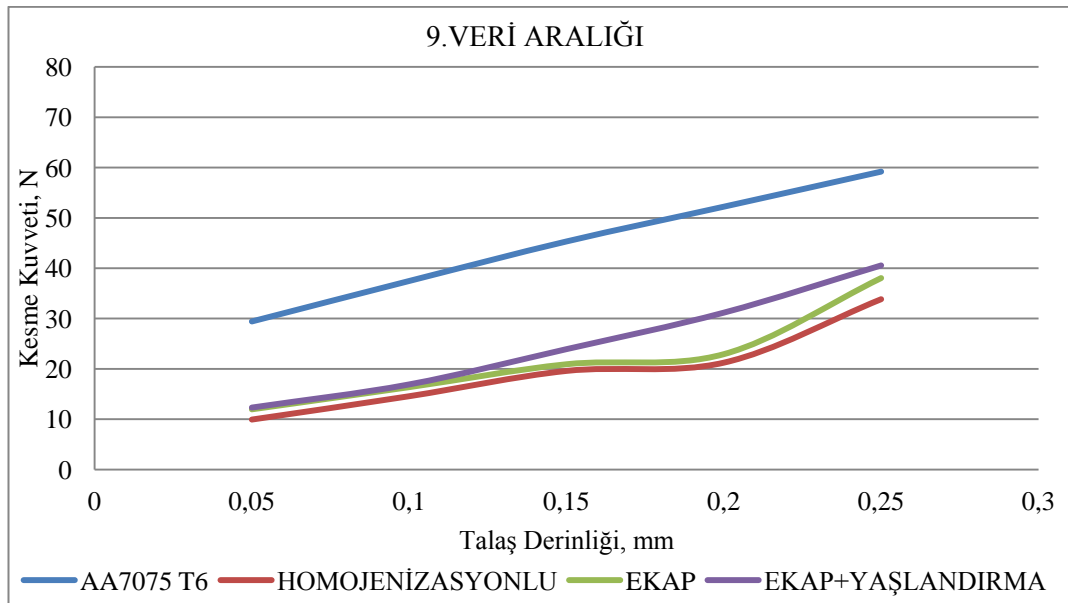
Şekil 3.16. 7.Verii aralığında talaş derinliğine göre malzemelerin tornalanmasında kesme kuvvetlerinin karşılaştırmalı değışimi

Şekil 3.17' de 7,5 mm 6 mm çap aralığında talaş derinliğine bağlı olarak oluşan kesme kuvvetleri görülmektedir. Talaş derinlikleri arttıkça kesme kuvvetleri literatür ile uyumlu olarak artmaktadır.



Şekil 3.17. 8.Veri aralığında talaş derinliğine göre malzemelerin tornalanmasında kesme kuvvetlerinin karşılaştırmalı değişimi

Şekil 3.18' de 6 mm 4,5 mm çap aralığında talaş derinliğine bağlı olarak oluşan kesme kuvvetleri görülmektedir. Talaş derinlikleri arttıkça kesme kuvvetleri literatür ile uyumlu olarak artmaktadır.



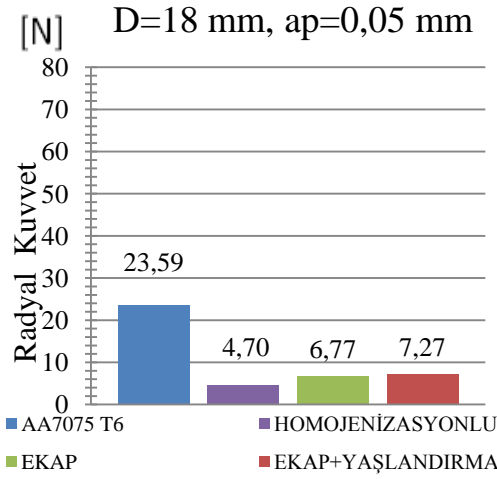
Şekil 3.18. 9.Veri aralığında talaş derinliğine göre malzemelerin tornalanmasında kesme kuvvetlerinin karşılaştırmalı değişimi

Şekil 3.19 (a)' da 18 mm çapta 0,05 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 23,59 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 4,7 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 6,77 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılma işlemi yapılmış numunede 7,27 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.19 (b)' de 17,9 mm çapta 0,10 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 29,84 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 8,04 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 8,57 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılma işlemi yapılmış numunede 8,88 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.19 (c)' de 17,7 mm çapta 0,15 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 41,92 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 9,40 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 11,39 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılma işlemi yapılmış numunede 12,27 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.19 (d)' de 17,4 mm çapta 0,20 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 43,30 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 11,08 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 11,83 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılma işlemi yapılmış numunede 14 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.19 (e)' de 17 mm çapta 0,25 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 62,74 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 13,06 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 13,83 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılma işlemi yapılmış numunede 15,01 N olduğu görülmektedir.

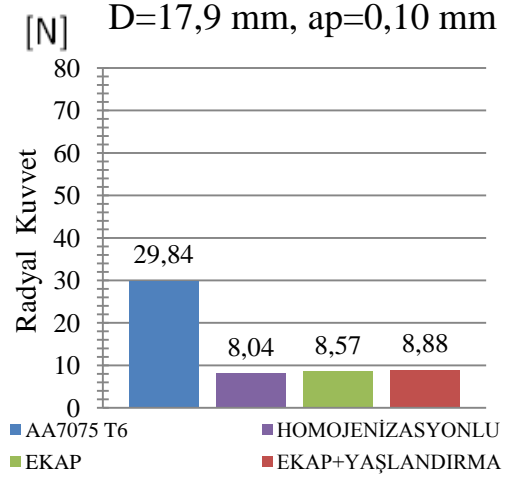
Şekil 3.19' da 1. Veri aralığındaki malzemelerin radyal kuvvetleri görülmektedir. Kesme kuvvetine dik açı yapan kuvvet radyal kuvvet olarak tanımlanmaktadır. Radyal kuvvetin büyüklüğü kesici takım ucu yarıçapına bağlıdır. Küçük kesici uç yarıçapı radyal kuvveti küçültmektedir. Büyük uç yarıçapı büyük radyal kuvvet oluşumuna neden olmaktadır (Çakır, 2018b).

Çalışmada uç yarıçapından küçük talaş derinliklerinde düşük kesme hızıyla talaş kaldırma işlemi yapılmıştır. Kesme kuvvetleri ve radyal kuvvetler benzer değerlerde ölçülmüştür. Radyal kuvvetler kendi aralarında incelendiğinde malzeme sertlik değerleriyle ve literatür ile uyumludur.

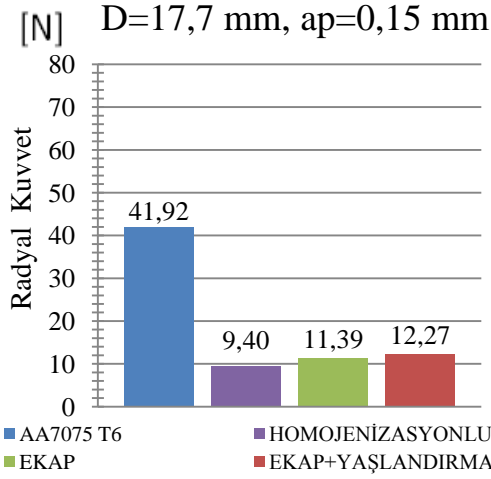




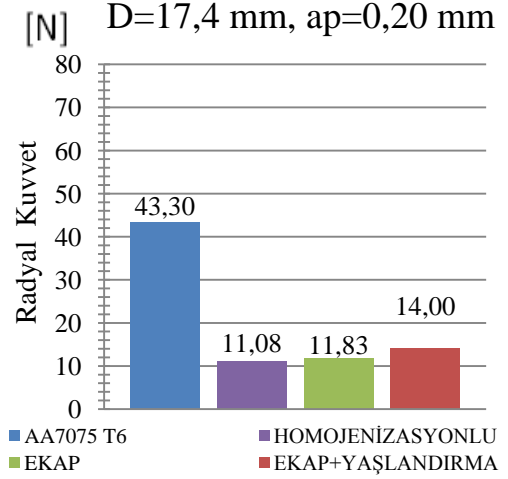
(a)



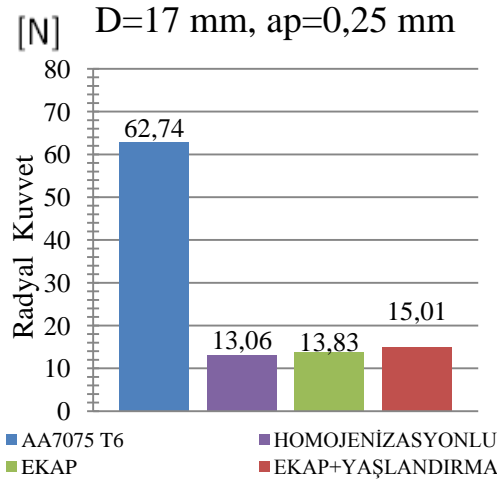
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 3.19. 1.Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde radyal kuvvetlerinin değişimi

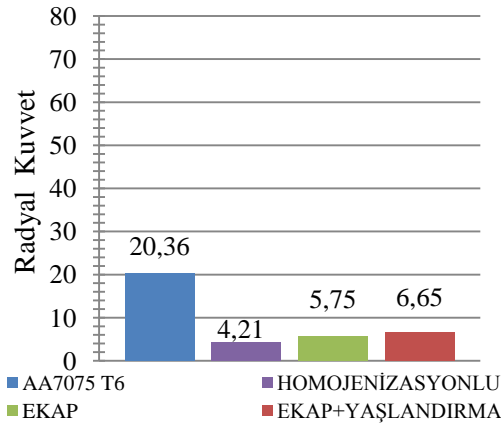
Şekil 3.20 (a)' da 16,5 mm çapta 0,05mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılma işlemine sahip numunenin işlenmesinde 20,36 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 4,22 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 5,75 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılma işlemi yapılmış numunede 6,65 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.20 (b)' de 16,4 mm çapta 0,10 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılma işlemine sahip numunenin işlenmesinde 26,21 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 6,96 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 7,75 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılma işlemi yapılmış numunede 8,68 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.20 (c)' de 16,2 mm çapta 0,15 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılma işlemine sahip numunenin işlenmesinde 44,62 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 9,83 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 9,98 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılma işlemi yapılmış numunede 10,38 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.20 (d)' de 15,9 mm çapta 0,20 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılma işlemine sahip numunenin işlenmesinde 53,10 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 11,44 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 11,86 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılma işlemi yapılmış numunede 13,53 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.20 (e)' de 15,5 mm çapta 0,25 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılma işlemine sahip numunenin işlenmesinde 61,04 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 12,24N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 13,22 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılma işlemi yapılmış numunede 15,64 N olduğu görülmektedir.

Şekil 3.20' de 2. Veri aralığındaki malzemelerin radyal kuvvetleri görülmektedir. Radyal kuvvetin büyüklüğü kesici takım ucu yarıçapına bağlıdır. Küçük kesici uç yarıçapı radyal kuvveti küçültmektedir. Büyük uç yarıçapı büyük radyal kuvvet oluşumuna neden olmaktadır (Çakır, 2018b).

Çalışmada uç yarıçapından küçük talaş derinliklerinde düşük kesme hızıyla talaş kaldırma işlemi yapılmıştır. Kesme kuvvetleri ve radyal kuvvetler benzer değerlerde ölçülmüştür.

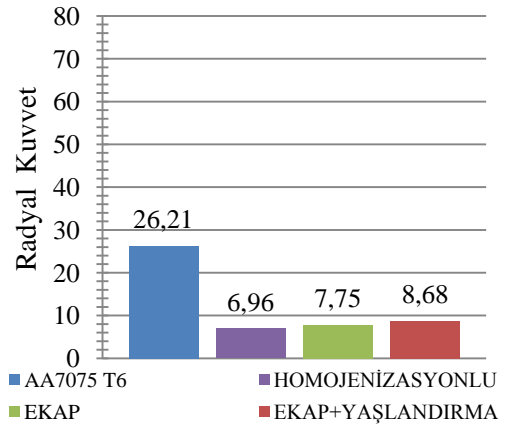
Radyal kuvvetler kendi aralarında incelendiğinde malzeme sertlik değerleriyle ve literatür ile uyumludur.

[N] D=16,5 mm, ap=0,05 mm



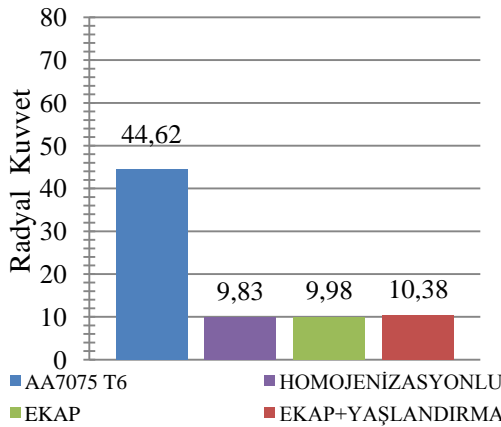
(a)

[N] D=16,4 mm, ap=0,10 mm



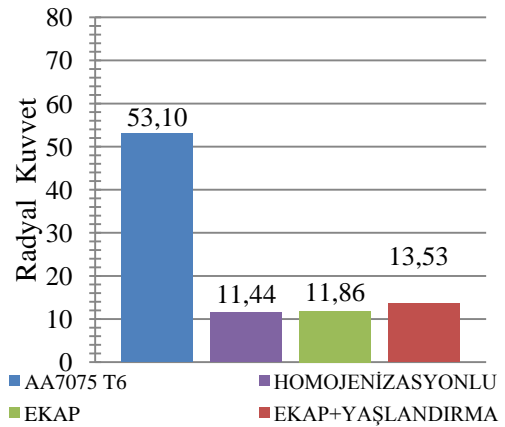
(b)

[N] D=16,2 mm, ap=0,15mm



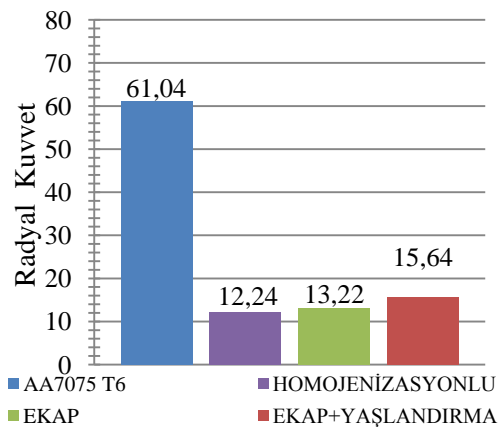
(c)

[N] D=15,9 mm, ap=0,20 mm



(d)

[N] D=15,5 mm, ap=0,25 mm



(e)

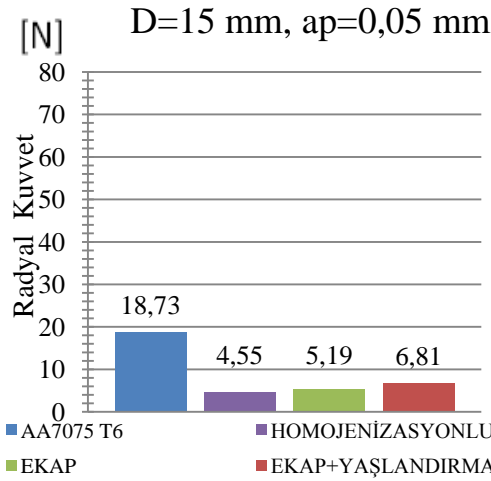
Şekil 3.20. 2.Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde radyal kuvvetlerinin değişimi

Şekil 3.21 (a)' da 15 mm çapta 0,05mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 18,73 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 4,55 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 5,19 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına sahip numunede 6,81 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.21 (b)' de 14,9 mm çapta 0,10 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 23,80 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 7,32 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 7,94 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına sahip numunede 9,82 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.21 (c)' de 14,7 mm çapta 0,15 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 44,89 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 10,13 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 10,23 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına sahip numunede 12,98 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.21 (d)' de 14,4 mm çapta 0,20 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 55,49 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 12,19 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 12,49 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına sahip numunede 13,56 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.21 (e)' de 14 mm çapta 0,25 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 63,74 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 13,58 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 14,16 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına sahip numunede 23,23 N olduğu görülmektedir.

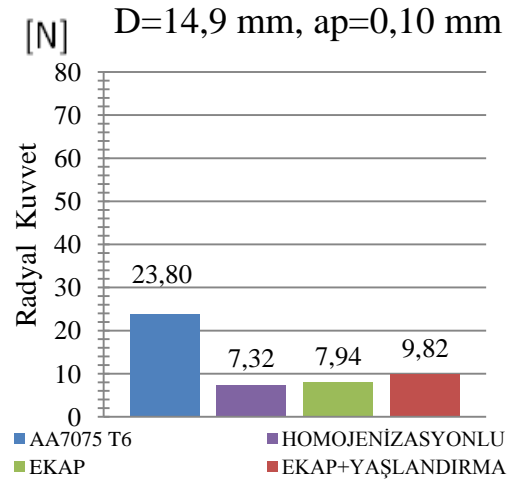
Şekil 3.21' de 3. Veri aralığındaki malzemelerin radyal kuvvetleri görülmektedir. Radyal kuvvetin büyüklüğü kesici takım ucu yarıçapına bağlıdır. Küçük kesici uç yarıçapı radyal kuvveti küçültmektedir. Büyük uç yarıçapı büyük radyal kuvvet oluşumuna neden olmaktadır (Çakır, 2018b).

Çalışmada uç yarıçapından küçük talaş derinliklerinde düşük kesme hızıyla talaş kaldırma işlemi yapılmıştır. Kesme kuvvetleri ve radyal kuvvetler benzer değerlerde ölçülmüştür.

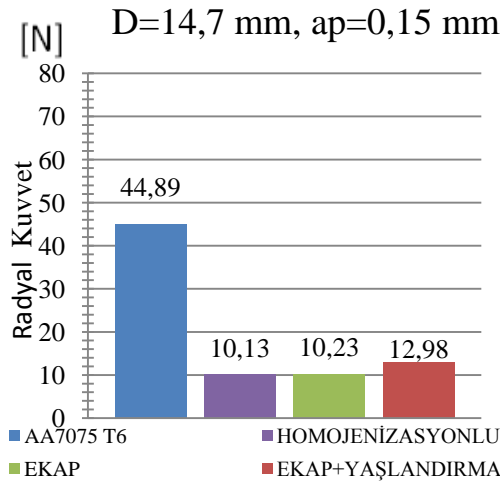
Radyal kuvvetler kendi aralarında incelendiğinde malzeme sertlik değerleriyle ve literatür ile uyumludur.



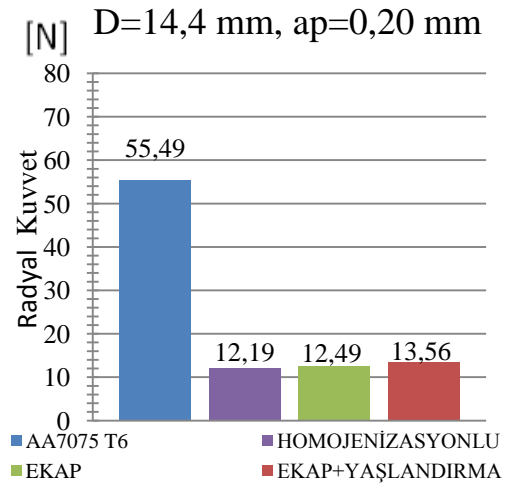
(a)



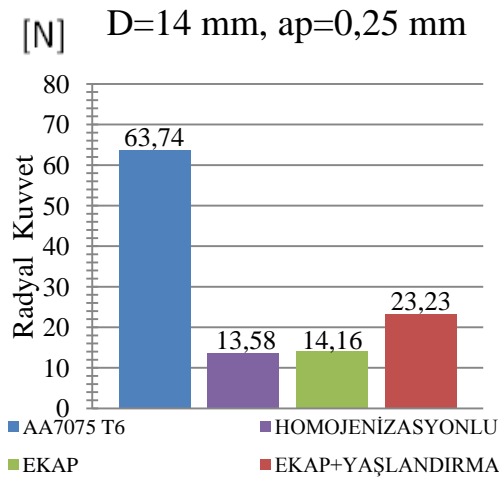
(b)



(c)



(d)



(e)

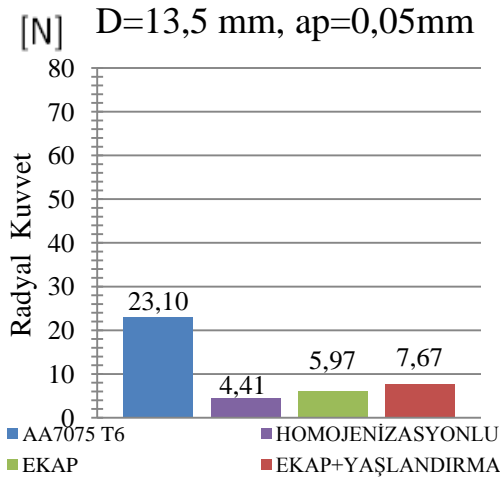
Şekil 3.21. 3.Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde radyal kuvvetlerinin değişimi

Şekil 3.22 (a)' da 13,5 mm çapta 0,05mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılma işlemine sahip numunenin işlenmesinde 23,10 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 4,41 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 5,97 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılma işlemi yapılmış numunede 7,67 N olduğu görülmektedir.Şekil 3.22 (b)' de 13,4 mm çapta 0,10 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılma işlemine sahip numunenin işlenmesinde 28,19 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 7,19 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 7,68 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılma işlemi yapılmış numunede 9,41 N olduğu görülmektedir.Şekil 3.22 (c)' de 13,2 mm çapta 0,15 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılma işlemine sahip numunenin işlenmesinde 46,96 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 10,32 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 10,55 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılma işlemi yapılmış numunede 11,4 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.22 (d)' de 12,9 mm çapta 0,20 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılma işlemine sahip numunenin işlenmesinde 57,84 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 10,79 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 11,53 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılma işlemi yapılmış numunede 20,46 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.22 (e)' de 12,5 mm çapta 0,25 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılma işlemine sahip numunenin işlenmesinde 67,64 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 14,74 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 16N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılma işlemi yapılmış numunede 24,6 N olduğu görülmektedir.

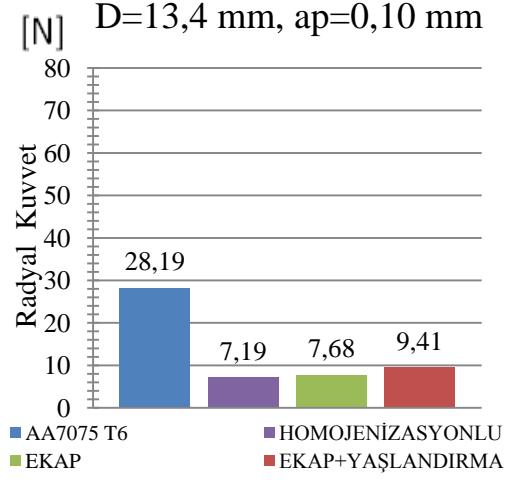
Şekil 3.22' de 4. Veri aralığındaki malzemelerin radyal kuvvetleri görülmektedir. Radyal kuvvetin büyüklüğü kesici takım ucu yarıçapına bağlıdır. Küçük kesici uç yarıçapı radyal kuvveti küçültmektedir. Büyük uç yarıçapı büyük radyal kuvvet oluşumuna neden olmaktadır (Çakır, 2018b).

Çalışmada uç yarıçapından küçük talaş derinliklerinde düşük kesme hızıyla talaş kaldırma işlemi yapılmıştır. Kesme kuvvetleri ve radyal kuvvetler benzer değerlerde ölçülmüştür.

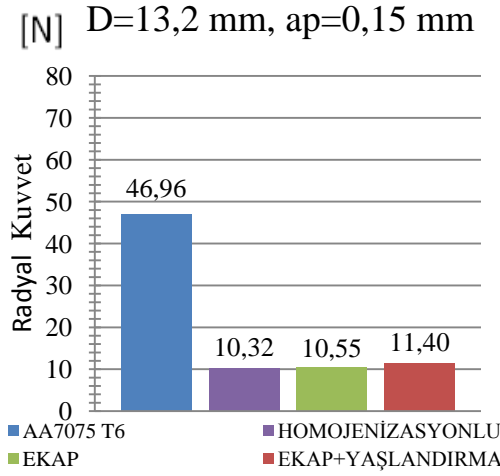
Radyal kuvvetler kendi aralarında incelendiğinde malzeme sertlik değerleriyle ve literatür ile uyumludur.



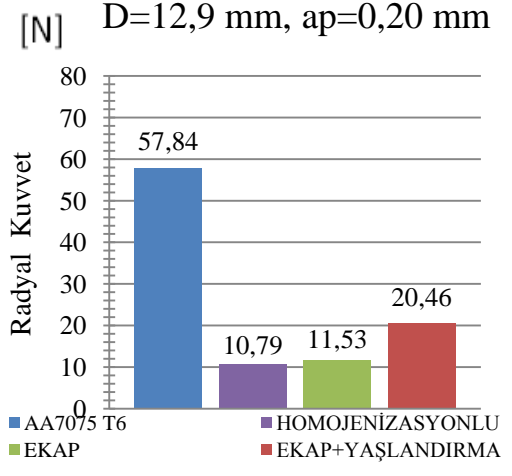
(a)



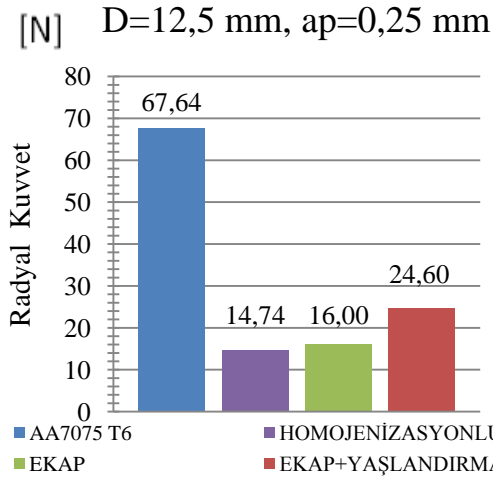
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 3.22. 4.Verii aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde radyal kuvvetlerinin değışimi

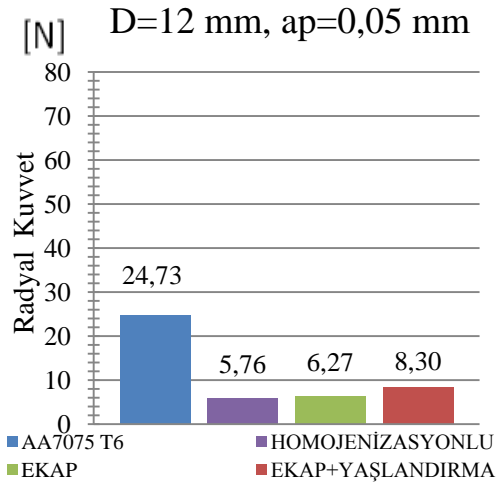
Şekil 3.23 (a)' da 12 mm çapta 0,05 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 24,73 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 5,76 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 6,27 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılma işlemi yapılmış numunede 8,3 N olduğu görülmektedir.Şekil 3.23 (b)' de 11,9 mm çapta 0,10 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 32,95 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 7,5 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 7,96 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılma işlemi yapılmış numunede 11,4 N olduğu görülmektedir.Şekil 3.23 (c)' de 11,7 mm çapta 0,15 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 45,03 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 9,85 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 10,3 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılma işlemi yapılmış numunede 17,8 N olduğu görülmektedir.Şekil 3.23 (d)' de 11,4 mm çapta 0,20 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 58,51 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 10,71 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 11,63 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılma işlemi yapılmış numunede 21,96 N olduğu görülmektedir.Şekil 3.23 (e)' de 11 mm çapta 0,25 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 65,61 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 13,3 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 14,29 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılma işlemi yapılmış numunede 24,82 N olduğu görülmektedir.

Şekil 3.23' de 5. Veri aralığındaki malzemelerin radyal kuvvetleri görülmektedir. Radyal kuvvetin büyüklüğü kesici takım ucu yarıçapına bağlıdır. Küçük kesici uç yarıçapı radyal kuvveti küçültmektedir. Büyük uç yarıçapı büyük radyal kuvvet oluşumuna neden olmaktadır (Çakır, 2018b).

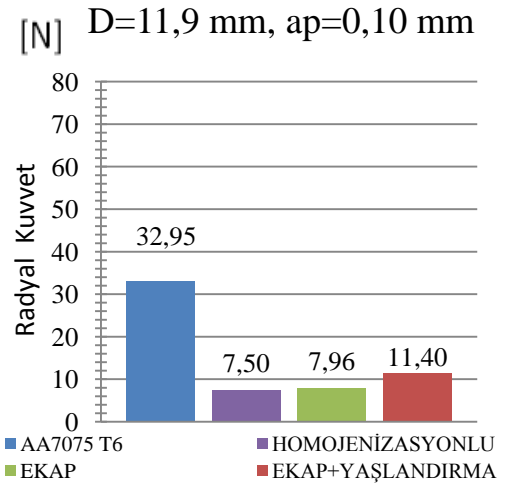
Çalışmada uç yarıçapından küçük talaş derinliklerinde düşük kesme hızıyla talaş kaldırma işlemi yapılmıştır. Kesme kuvvetleri ve radyal kuvvetler benzer değerlerde ölçülmüştür.

Radyal kuvvetler kendi aralarında incelendiğinde malzeme sertlik değerleriyle ve literatür ile uyumludur.

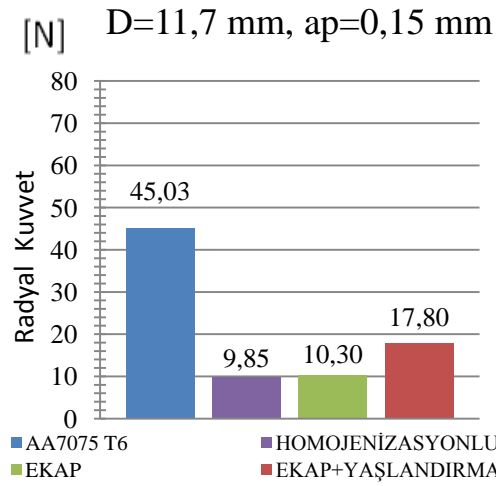




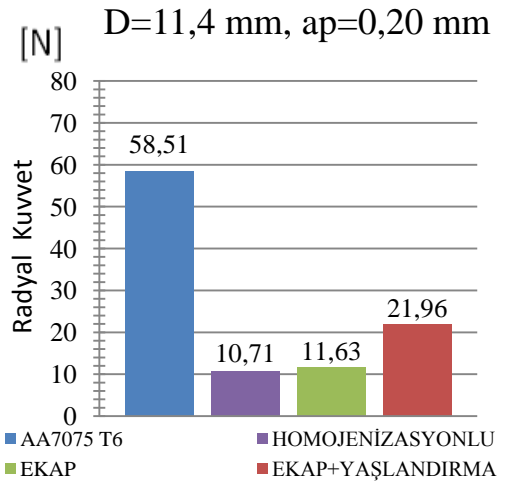
(a)



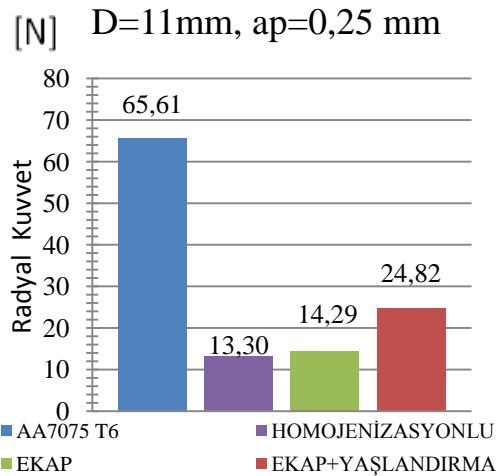
(b)



(c)



(d)



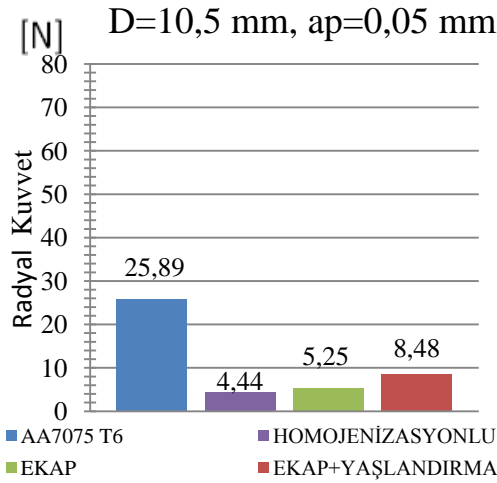
(e)

Şekil 3.23. 5.Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde radyal kuvvetlerinin değişimi

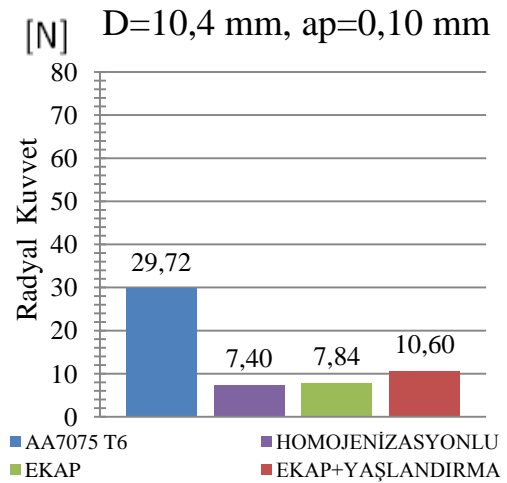
Şekil 3.24 (a)' da 10,5 mm çapta 0,05 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtıl işleme sahip numunenin işlenmesinde 25,89 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 4,44 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 5,25 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtıl işlemi yapılmış numunede 8,48 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.24 (b)' de 10,4 mm çapta 0,10 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtıl işleme sahip numunenin işlenmesinde 29,72 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 7,4 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 7,84 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtıl işlemi yapılmış numunede 10,6 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.24 (c)' de 10,2 mm çapta 0,15 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtıl işleme sahip numunenin işlenmesinde 39,06 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 9,94 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 9,75 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtıl işlemi yapılmış numunede 12,92 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.24 (d)' de 9,9 mm çapta 0,20 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtıl işleme sahip numunenin işlenmesinde 56,35 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 10,98 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 12,04 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtıl işlemi yapılmış numunede 16,72 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.24 (e)' de 9,5 mm çapta 0,25 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtıl işleme sahip numunenin işlenmesinde 65,78 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 13,47 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 13,64 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtıl işlemi yapılmış numunede 28,49 N olduğu görülmektedir.

Şekil 3.24' te 6. Veri aralığındaki malzemelerin radyal kuvvetleri görülmektedir. Radyal kuvvetin büyüklüğü kesici takım ucu yarıçapına bağlıdır. Küçük kesici uç yarıçapı radyal kuvveti küçültmektedir. Büyük uç yarıçapı büyük radyal kuvvet oluşumuna neden olmaktadır (Çakır, 2018b).

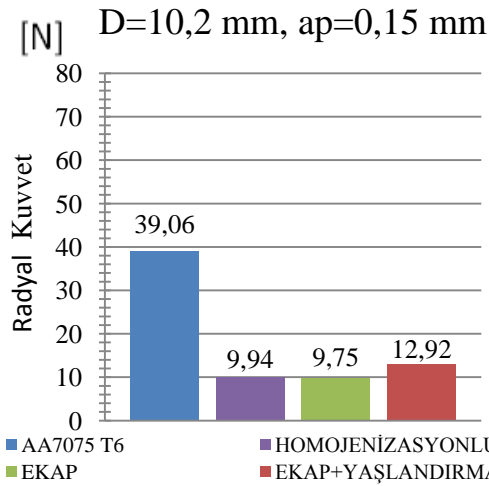
Çalışmada uç yarıçapından küçük talaş derinliklerinde düşük kesme hızıyla talaş kaldırma işlemi yapılmıştır. Kesme kuvvetleri ve radyal kuvvetler benzer değerlerde ölçülmüştür. Radyal kuvvetler kendi aralarında incelendiğinde malzeme sertlik değerleriyle ve literatür ile uyumludur.



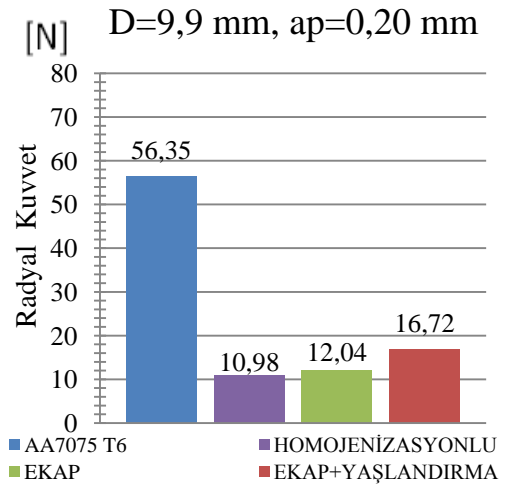
(a)



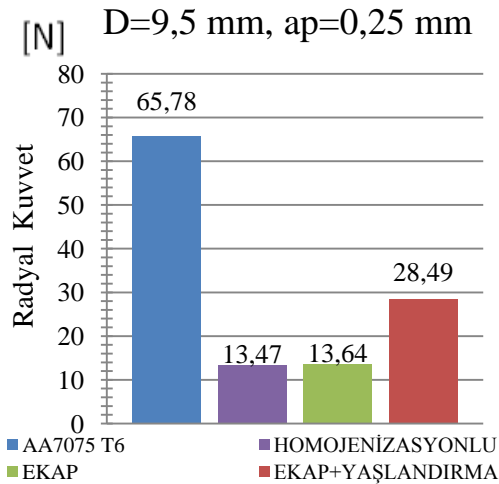
(b)



(c)



(d)



(e)

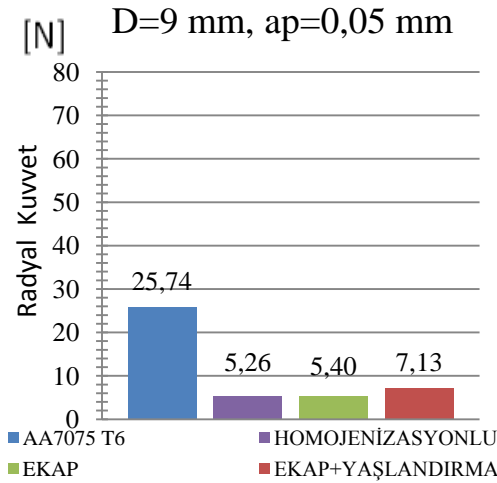
Şekil 3.24. 6.Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde radyal kuvvetlerinin değişimi

Şekil 3.25 (a)' da 9 mm çapta 0,05 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılma işlemine sahip numunenin işlenmesinde 25,74 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 75,26 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 5,40 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılma işlemi yapılmış numunede 7,13 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.25 (b)' de 8,9 mm çapta 0,10 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılma işlemine sahip numunenin işlenmesinde 30,83 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 7,59 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 7,97 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılma işlemi yapılmış numunede 10,28 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.25 (c)' de 8,7 mm çapta 0,15 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılma işlemine sahip numunenin işlenmesinde 38,26 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 9,42 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 10,26 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılma işlemi yapılmış numunede 14,87 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.25 (d)' de 8,4 mm çapta 0,20 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılma işlemine sahip numunenin işlenmesinde 55,41 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 10,83 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 11,54 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılma işlemi yapılmış numunede 21,56 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.25 (e)' de 8 mm çapta 0,25 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılma işlemine sahip numunenin işlenmesinde 61,37 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 13,42 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 14,22 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılma işlemi yapılmış numunede 30,28 N olduğu görülmektedir.

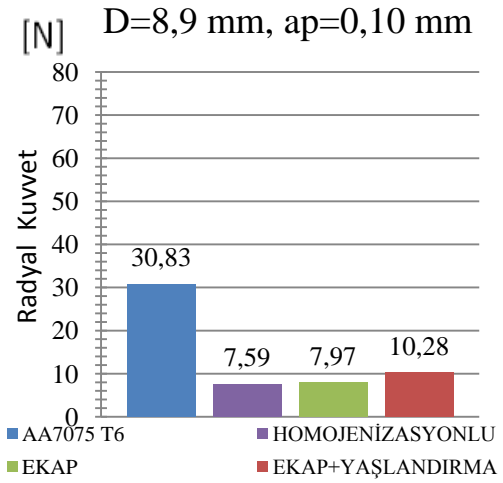
Şekil 3.25' te 7. Veri aralığındaki malzemelerin radyal kuvvetleri görülmektedir. Radyal kuvvetin büyüklüğü kesici takım ucu yarıçapına bağlıdır. Küçük kesici uç yarıçapı radyal kuvveti küçültmektedir. Büyük uç yarıçapı büyük radyal kuvvet oluşumuna neden olmaktadır (Çakır, 2018b).

Çalışmada uç yarıçapından küçük talaş derinliklerinde düşük kesme hızıyla talaş kaldırma işlemi yapılmıştır. Kesme kuvvetleri ve radyal kuvvetler benzer değerlerde ölçülmüştür.

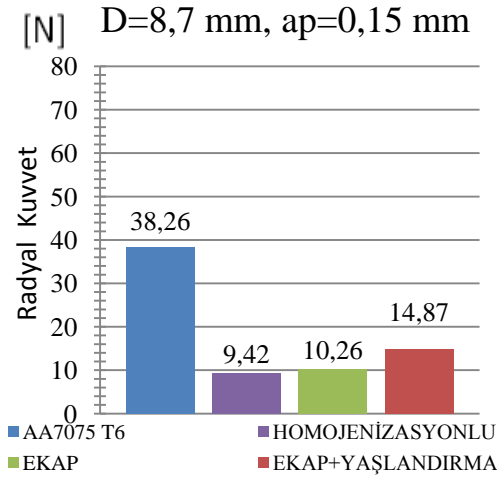
Radyal kuvvetler kendi aralarında incelendiğinde malzeme sertlik değerleriyle ve literatür ile uyumludur.



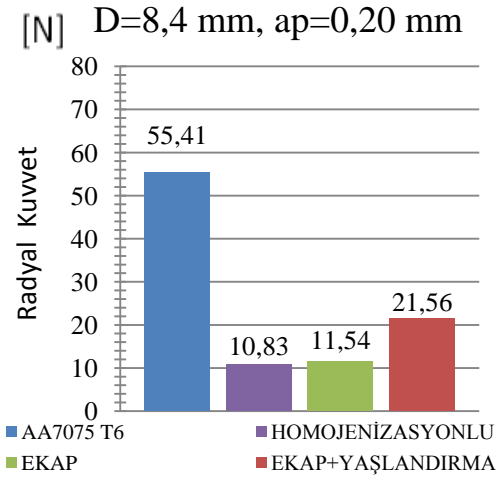
(a)



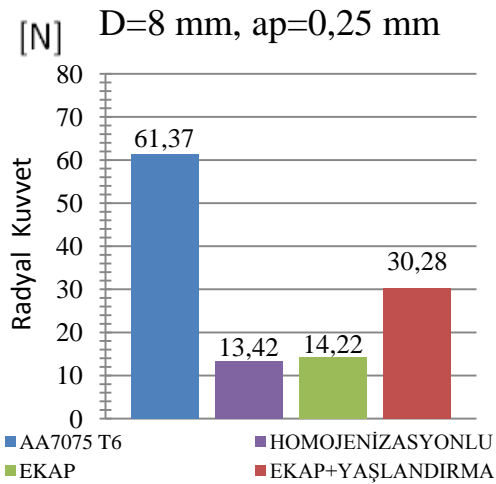
(b)



(c)



(d)



(e)

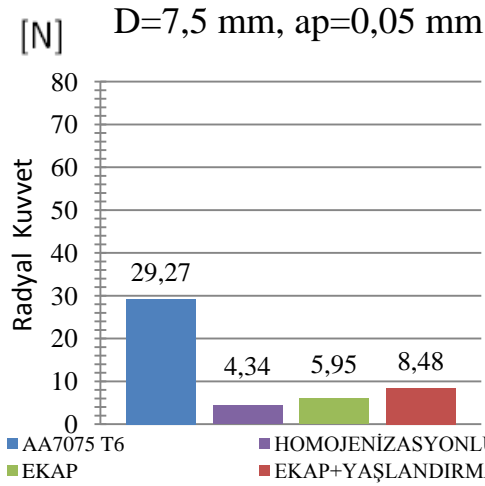
Şekil 3.25. 7.Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde radyal kuvvetlerinin değişimi

Şekil 3.26 (a)' da 7,5 mm çapta 0,05 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılma işlemine sahip numunenin işlenmesinde 29,27 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 4,34 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 5,95 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılma işlemi yapılmış numunede 8,48 N olduğu görülmektedir.Şekil 3.26 (b)' de 7,4 mm çapta 0,10 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılma işlemine sahip numunenin işlenmesinde 31,52 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 7,53 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 8,26 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılma işlemi yapılmış numunede 11,6 N olduğu görülmektedir.Şekil 3.26 (c)' de 7,2 mm çapta 0,15 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılma işlemine sahip numunenin işlenmesinde 37,80 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 10,37 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 11,52 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılma işlemi yapılmış numunede 13,62 N olduğu görülmektedir.Şekil 3.26 (d)' de 6,9 mm çapta 0,20 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılma işlemine sahip numunenin işlenmesinde 44,62 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 13,35 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 14,55 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılma işlemi yapılmış numunede 24,37 N olduğu görülmektedir.Şekil 3.26 (e)' de 6,5 mm çapta 0,25 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılma işlemine sahip numunenin işlenmesinde 49,52 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 14,68 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 14,8 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılma işlemi yapılmış numunede 28,76 N olduğu görülmektedir.

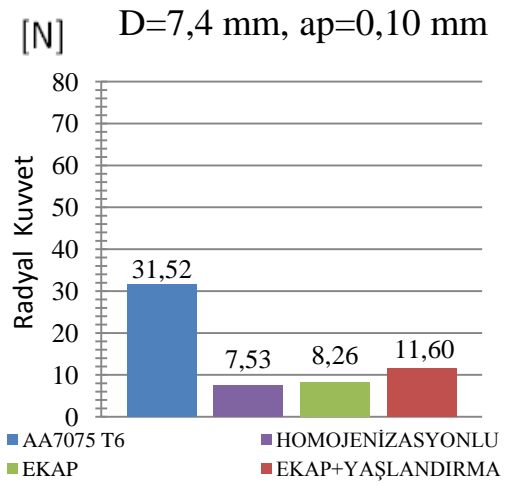
Şekil 3.26' da 8. Veri aralığındaki malzemelerin radyal kuvvetleri görülmektedir. Radyal kuvvetin büyüklüğü kesici takım ucu yarıçapına bağlıdır. Küçük kesici uç yarıçapı radyal kuvveti küçültmektedir. Büyük uç yarıçapı büyük radyal kuvvet oluşumuna neden olmaktadır (Çakır, 2018b).

Çalışmada uç yarıçapından küçük talaş derinliklerinde düşük kesme hızıyla talaş kaldırma işlemi yapılmıştır. Kesme kuvvetleri ve radyal kuvvetler benzer değerlerde ölçülmüştür.

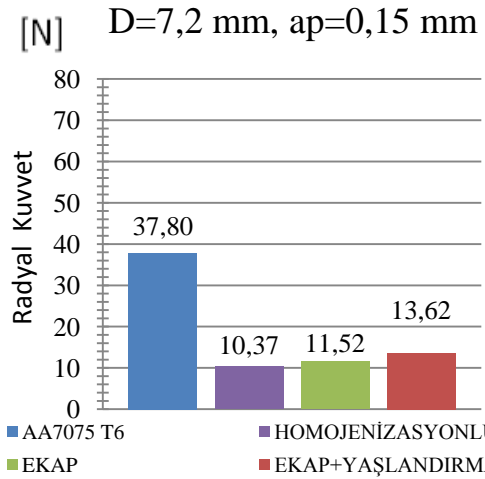
Radyal kuvvetler kendi aralarında incelendiğinde malzeme sertlik değerleriyle ve literatür ile uyumludur.



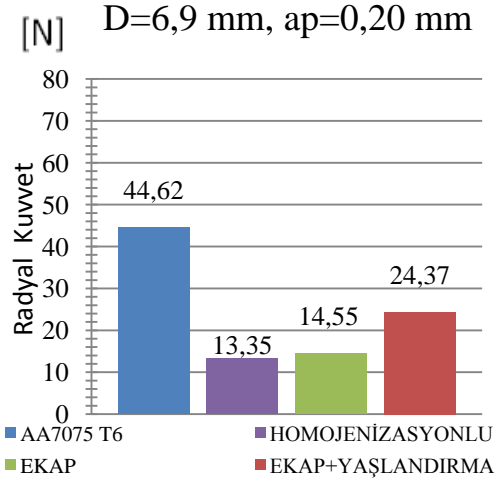
(a)



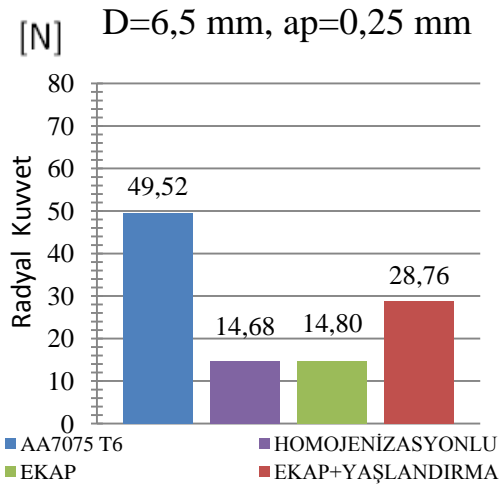
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 3.26. 8.Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde radyal kuvvetlerinin değişimi

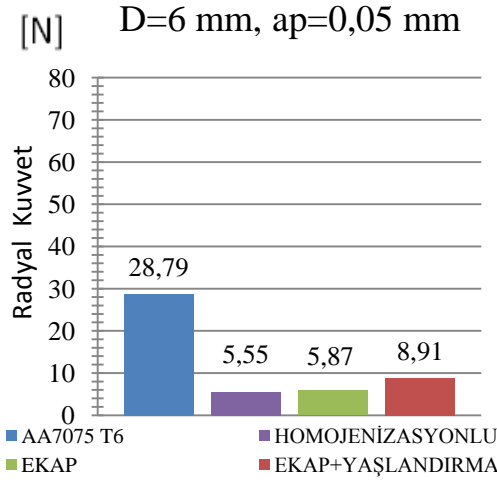
Şekil 3.27 (a)' da 6 mm çapta 0,05mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 28,79 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 5,55 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 5,87 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına sahip numunede 8,91 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.27 (b)' de 5,9 mm çapta 0,10 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 33,08 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 7,81 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 8,47 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına sahip numunede 9,93 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.27 (c)' de 5,7 mm çapta 0,15 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 33,92 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 9N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 9,69 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına sahip numunede 12,94 N olduğu görülmektedir. Şekil 3.27 (d)' de 5,4 mm çapta 0,20 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 34,92 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 11,71 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 12,12 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına sahip numunede 17,06 N olduğu görülmektedir.Şekil 3.27 (e)' de 5 mm çapta 0,25 mm talaş derinliğinde oluşan radyal kuvvetler AA7075 T6 ısıtılmasına sahip numunenin işlenmesinde 32,3 N, homojenizasyon işlemi yapılmış numunenin işlenmesinde 12,07 N, EKAP işlemi uygulanmış numunede 14,90 N, EKAP ve yaşlandırma ısıtılmasına sahip numunede 24,24 N olduğu görülmektedir.

Şekil 3.27' de 9. Veri aralığındaki malzemelerin radyal kuvvetleri görülmektedir. Radyal kuvvetin büyüklüğü kesici takım ucu yarıçapına bağlıdır. Küçük kesici uç yarıçapı radyal kuvveti küçültmektedir. Büyük uç yarıçapı büyük radyal kuvvet oluşumuna neden olmaktadır (Çakır, 2018b).

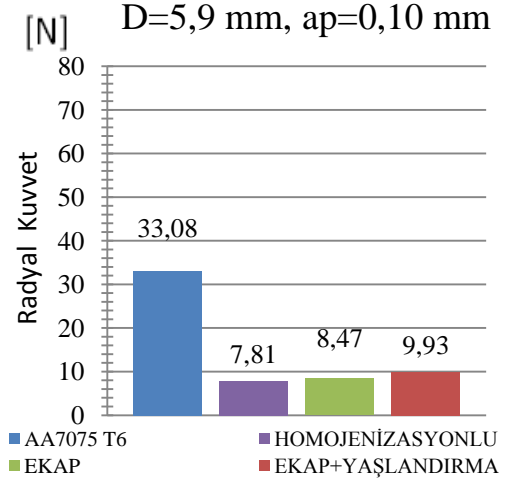
Çalışmada uç yarıçapından küçük talaş derinliklerinde düşük kesme hızıyla talaş kaldırma işlemi yapılmıştır. Kesme kuvvetleri ve radyal kuvvetler benzer değerlerde ölçülmüştür.

Radyal kuvvetler kendi aralarında incelendiğinde malzeme sertlik değerleriyle ve literatür ile uyumludur.

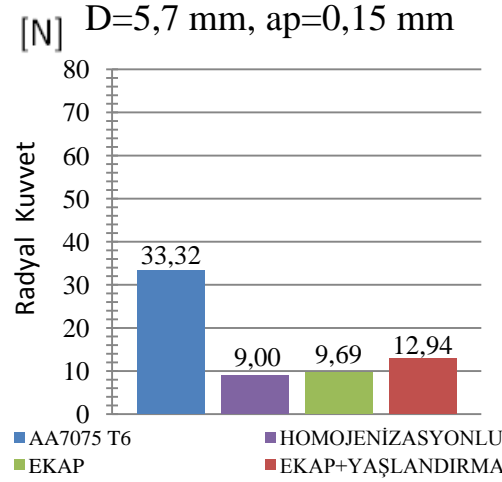




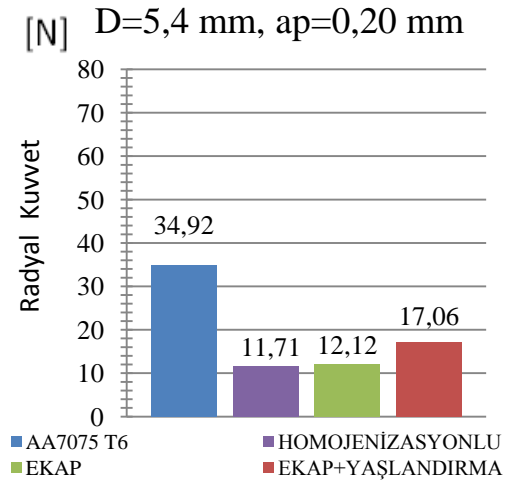
(a)



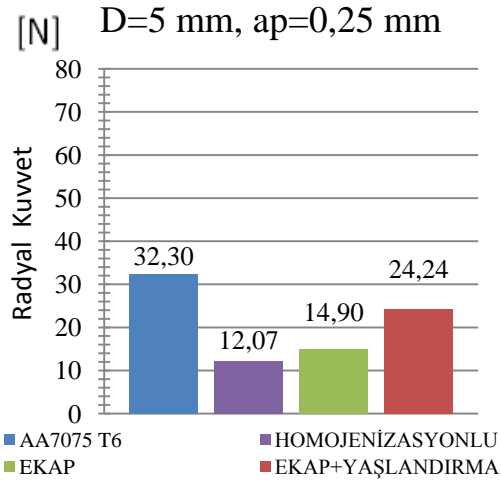
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 3.27. 9.Veri aralığında malzemelerin (a) 0,05 mm talaş derinliğinde (b) 0,10 mm talaş derinliğinde (c) 0,15 mm talaş derinliğinde (d) 0,20 mm talaş derinliğinde (e) 0,25 mm talaş derinliğinde radyal kuvvetlerinin değişimi

Şekil 3.28' de numunelerin 1000 dev/dak devir hızında, 0,11 mm/dev ilerleme hızında 0,05 mm, 0,1 mm, 0,15 mm, 0,20 mm, 0,25 mm talaş işlenmesiyle oluşan yüzey pürüzlülük değerlerin ortalamalarına göre oluşturulmuş grafik yer almaktadır.

Sünek malzemelerin kesilmesi sırasında talaş kesiti birbiri üzerinde birikmek suretiyle plastik deformasyona uğrayarak sürekli talaş oluşumuna neden olmaktadır. Ayrıca sünek malzemelerin düşük kesme hızlarında işlenmesi sırasında basınç artışı olmaktadır. Bu basınç artışıyla dislokasyon yığılmaları gerçekleşmektedir. Dislokasyon yığılmalarının bir sonucu olarak da pekleşme gerçekleşmektedir. Talaşın akmasına karşı direnç oluşturan dislokasyon yığılmaları kesme kuvvetlerinde artışa neden olmaktadır (Asthakov 2006; Grzesik 2008; Stephenson ve Agapiou 2016).

Düşük kesme hızlarında 6 saat yaşlandırılmış malzemelerin kesme kuvveti değerleri yaşlandırılmamış malzemeye göre daha yüksek olmaktadır ve 6 saat yaşlandırılmış numunelerin işlenebilirliği güçleşmektedir (Onur, 2014). Alüminyum malzemelerin işlenmesinde talaş kontrolü önemlidir. Talaşın kolay kırılmadığı durumlarda talaşın kesme bölgesinden uzaklaştırılması gerekmektedir (Çakır, 2018b).

Alüminyum alaşımları birden fazla faz içermektedir. Düşük kesme hızlarında bu nedenle yığıntı katmanı oluşmaktadır (Şahin, 2000).

Düşük kesme hızlarında maksimum sıcaklık, takım temas uzunluğunun orta noktasının biraz daha üzerinde oluşmaktadır. Ancak düşük kesme hızlarında maksimum sıcaklık orta noktada gerçekleşmektedir. Bu durum yığıntı talaş katmanı oluşumuna neden olmaktadır. Yığıntı talaş katmanı oluşumu ise yüzey pürüzlülük değerlerinin artmasına neden olmaktadır (Shaw, 2005).

ÜİT iç yapının işlenebilirlik üzerindeki etkisi hakkında çok az şey bilinmektedir. AA7075 0 (homojenizasyonlu) numunede 100 HV ve AA7075 T6 numunede 207 HV sertlik değerleri ölçülmüştür (Kaya vd., 2012). EKAP işlemiyle aşırı plastik deformasyona uğrayan malzeme, tanecik boyutunun azalması ve dislokasyon yoğunluğunun artması nedeniyle daha yüksek bir sertlik değerine ulaşmaktadır

(Erdoğan vd., 2016). 1 paso EKAP yapılmış AA7075 numunede ölçülen sertlik değeri 107 HV' dir (Kaya ve Uçar, 2016).

Yüzey pürüzlülük değerlerinin genişlemeli EKAP paso sayısının daha fazla olmasıyla azalmakta olduğunu bildirmişlerdir (Öğüt vd., 2020).

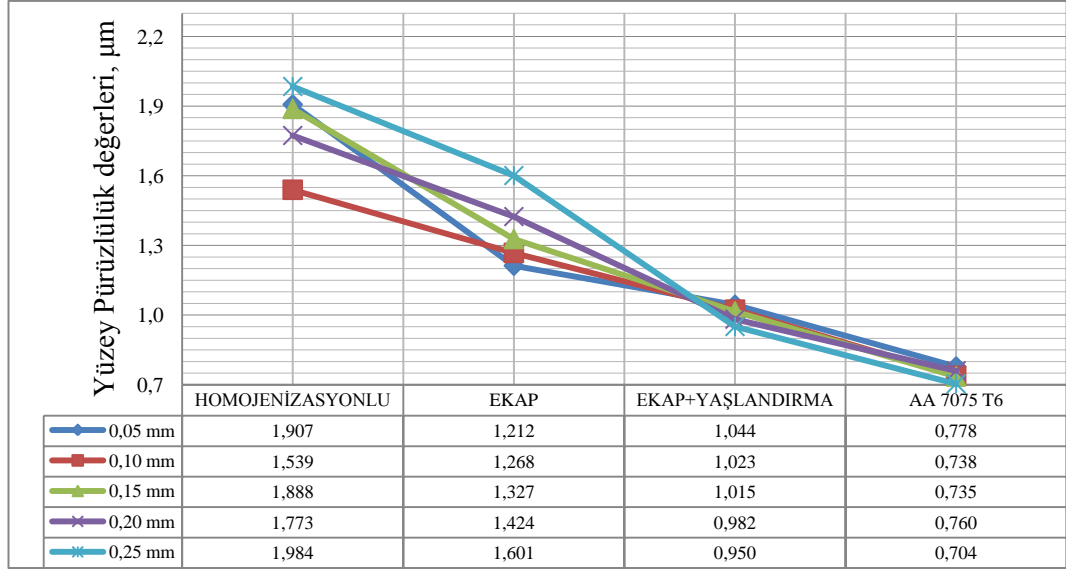
EKAP paso sayısının fazla olmasıyla malzemenin işlenebilirliğinin kolaylaştığını ve ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin küçüldüğünü bildirmişlerdir (Özbeyaz vd., 2020).

EKAP işlemi ile yüzey pürüzlülüğünde hafif bir iyileşme gözlemlenmektedir. EKAP uygulanmış alüminyumun kesme kuvveti, daha yüksek mukavemete rağmen EKAPlanmamış malzemeye göre daha düşüktür. Bu durum, kesme işlemi sırasında daha yüksek sıcaklık ile açıklanabilir (Wiessinger vd., 2018).

Yüksek hızlarda kesme esnasında oluşan ısı talaş kaldırmayı kolaylaştırmaktadır. Homojenizasyonlu malzemelerin sertlikleri düşük olduğu için yığıntı katmanı oluşmaktadır. Yığıntı katmanı oluşumu yüzey pürüzlülüklerini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle en yüksek yüzey pürüzlülük değerleri homojenizasyonlu malzemelerde olmaktadır.

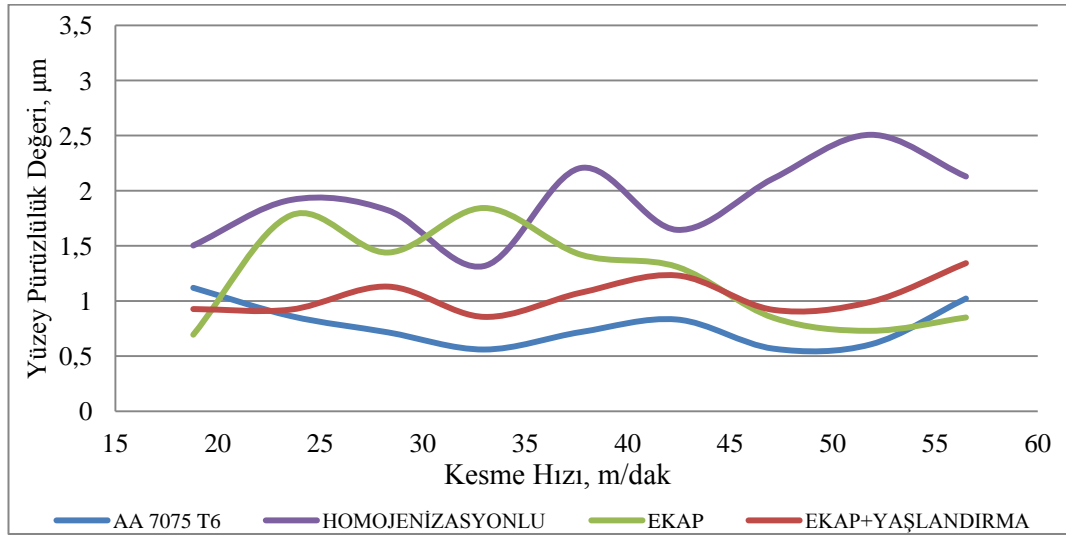
Özbeyaz ve arkadaşlarının çalışmasında da benzer sonuçlara ulaşılmıştır. EKAP uygulanan malzemelerin yüzey pürüzlülük değerleri tavlanmış malzemelerden daha düşük olduğu görülmüştür (Özbeyaz, 2020). EKAP işlemi malzemelerin mekanik özelliklerini arttırmaktadır. Kaya ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalarda benzer sonuçlar görülmüştür. APD ile malzemelerin sertlik değerleri ve yorulma ömrü artmaktadır (Kaya ve Uçar, 2016).

APD ile işlenmiş metaller çok yüksek mukavemete sahiptir. APD işlemi uygulanan metaller iyi yorulma özelliklerine yol açan yüksek mukavemet ve süneklik değerlerine sahiptirler (Azushima, 2008). Bu nedenle yüzey pürüzlülükleri homojen malzemeye göre iyileşmiştir. EKAP sonrası yaşlandırma işlemi EKAP uygulanan malzemelerin mekanik özelliklerini arttırmaktadır. Böylece yüzey pürüzlülük değerlerinde iyileşme olmaktadır. T6 ısıl işlemlerli malzemelerin yüzey pürüzlülükleri en düşük olarak gerçekleşmektedir.



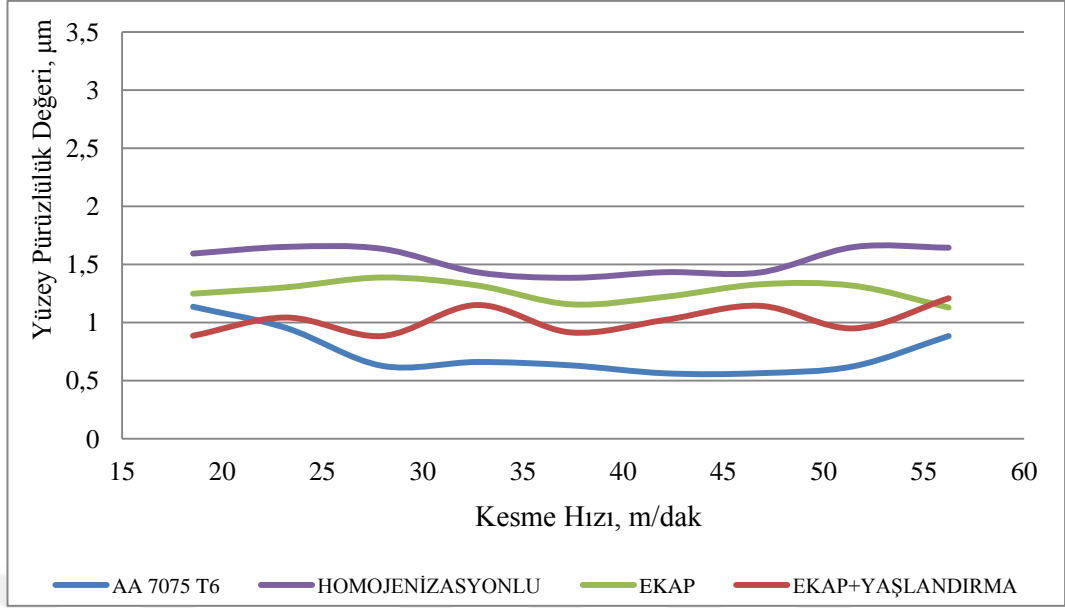
Şekil 3.28. Numunelerde farklı talaş derinliklerinde oluşan ortalama yüzey pürüzlükleri

Malzemelerin 0,05 mm talaş derinliğinde işlenmesi sırasında kesme hızına göre oluşan yüzey pürüzlülük değerlerine ait grafik karşılaştırmalı olarak Şekil 3.29’ da görülmektedir. Grafikte kesme hızı 56,5 m/dak ile 18.8 m/dak arasında değişmektedir.



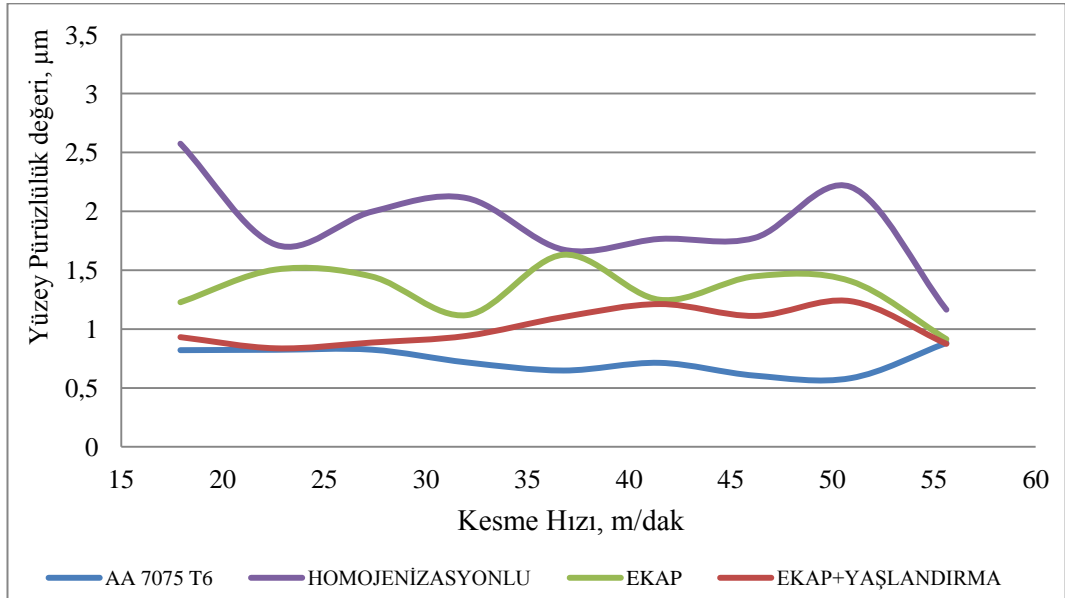
Şekil 3.29. 0,05 mm talaş derinliğinde malzemelerin kesme hızına göre yüzey pürüzlülük değerlerinin karşılaştırılması

Malzemelerin 0,10 mm talaş derinliğinde işlenmesi sırasında kesme hızına göre oluşan yüzey pürüzlülük değerlerine ait grafik karşılaştırmalı olarak Şekil 3.30’ da görülmektedir. Grafikte kesme hızı 56,23 m/dak ile 18,54 m/dak arasında değişmektedir.



Şekil 3.30. 0,10 mm talaş derinliğinde malzemelerin kesme hızına göre yüzey pürüzlülük değerlerinin karşılaştırılması

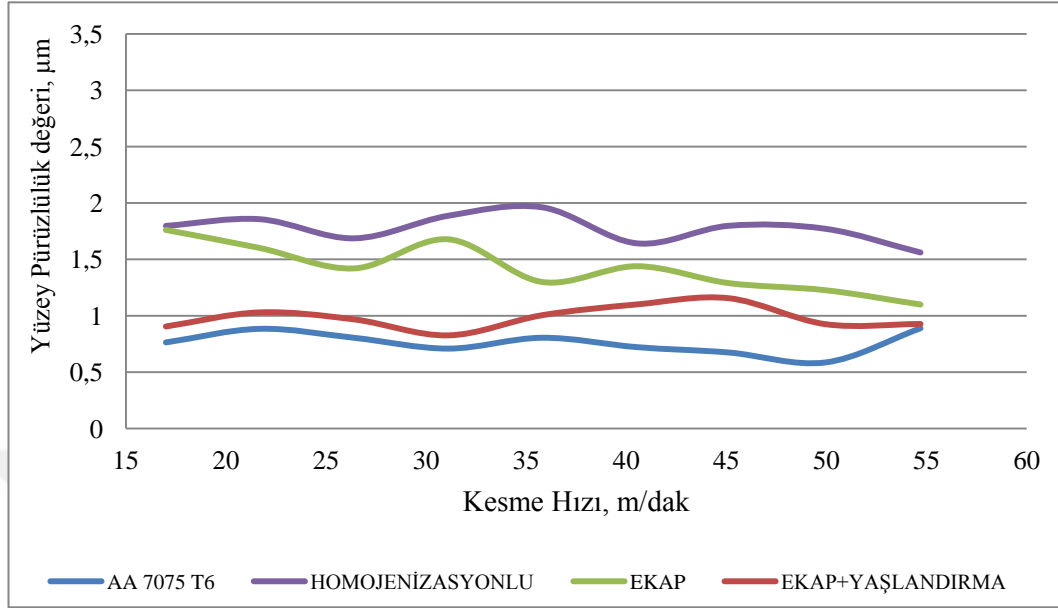
Malzemelerin 0,15 mm talaş derinliğinde işlenmesi sırasında kesme hızına göre oluşan yüzey pürüzlülük değerlerine ait grafik karşılaştırmalı olarak Şekil 3.31' de görülmektedir. Grafikte kesme hızı 55,61 m/dak ile 17.91 m/dak arasında değişmektedir.



Şekil 3.31. 0,15 mm talaş derinliğinde malzemelerin kesme hızına göre yüzey pürüzlülük değerlerinin karşılaştırılması

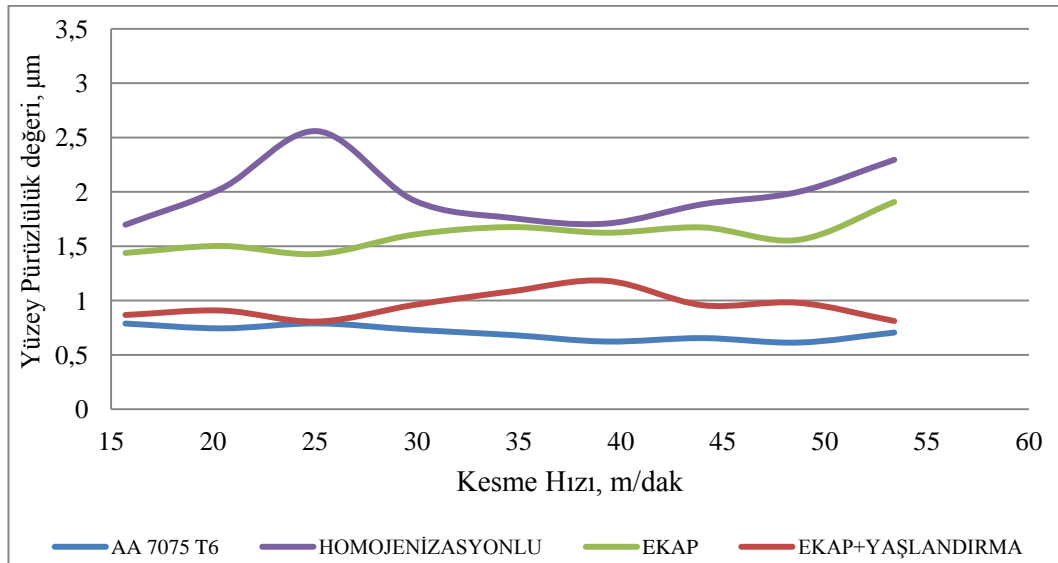
Malzemelerin 0,20 mm talaş derinliğinde işlenmesi sırasında kesme hızına göre oluşan yüzey pürüzlülük değerlerine ait grafik karşılaştırmalı olarak Şekil 3.32' de

görülmektedir. Grafikte kesme hızı 54,7 m/dak ile 17 m/dak arasında değişmektedir.



Şekil 3.32. 0,20 mm talaş derinliğinde malzemelerin kesme hızına göre yüzey pürüzlülük değerlerinin karşılaştırılması

Malzemelerin 0,25 mm talaş derinliğinde işlenmesi sırasında kesme hızına göre oluşan yüzey pürüzlülük değerlerine ait grafik karşılaştırmalı olarak Şekil 3.33' te görülmektedir. Grafikte kesme hızı 53,4 m/dak ile 15,7 m/dak arasında değişmektedir.



Şekil 3.33. 0,25 mm talaş derinliğinde malzemelerin kesme hızına göre yüzey pürüzlülük değerlerinin karşılaştırılması

## 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 4.1. Sonuçlar

Çalışmada kuvvet ölçümleri için her bir malzemeden 3' er adet olmak üzere 12 adet numune işlenmiştir. Her bir malzemeden 45 paso talaş kaldırılmıştır. Kuvvet ölçümleri toplamda 540 paso talaş kaldırılarak yapılmıştır. Birbirinden farklı özelliklerdeki malzemelerde aynı malzeme çaplarına aynı talaş derinlikleri denk gelecek şekilde çalışmanın kurgulanmış olması malzemelerin birbirlerine göre değerlendirilmesine olanak tanımıştır. Aynı malzeme grubunda farklı çaplarda aynı talaş derinliklerinin kullanılmış olması da çap farklarının etkisini gözlemlenmesine olanak tanımıştır. Sabit tutulan kesme parametreleri; ilerleme hızı, kesici takım, kesici takım açıları, tornalama yöntemi (boyuna tornalama) ve sabit devir hızıdır. Numunelerin hepsi aynı torna tezgâhında işlenmiştir. Ayrıca her bir malzemeden 1'er adet olmak üzere toplamda 4 adet numune yüzey pürüzlülüklerinin incelemesi amacıyla işlenmiştir. Yüzey pürüzlülükleri ölçümleri için 180 paso talaş kaldırılmıştır. Her pasodan sonra 120 derece açıyla 3 noktadan yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. 1000 dev/dak devir hızında 18 mm çap ölçüsünde kesme hızı 56,5 m/dak, 5 mm çap ölçüsünde ise 15,7 m/dak arasında gerçekleşmiş olup kesme hızları bu aralıklar arasında değişmektedir. İlerleme hızı 0,11 mm/dev olarak sabit tutulmuştur. Çalışmanın tamamında kuru tornalama yapılmıştır. Ayrıca talaş derinlikleri değiştirilerek talaş derinliğinin kesme kuvvetine etkisi incelenmiştir.

En yüksek kesme kuvveti AA7075 T6 malzemesinde görülmüştür. Düşük kesme hızlarında T6 ısıtılmış alüminyum alaşımlarında kesme kuvvetlerinin daha yüksek olduğu literatürdeki benzer çalışmalarda da görülmektedir.

Malzemelerin talaşlı imalatı sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin büyükten küçüğe doğru sıralaması; AA7075 T6, EKAPlanmış ve yaşlandırılmış, EKAPlanmış, homojenizasyonlu malzemeler olarak gerçekleşmiştir. Malzemelerin talaşlı imalatı sırasında oluşan radyal kuvvetlerinin büyükten küçüğe doğru sıralaması; AA7075 T6, EKAPlanmış ve yaşlandırılmış, EKAPlanmış, homojenizasyonlu malzemeler olarak gerçekleşmiştir.

Bütün gruplarda talaş derinliği parametresinin artışı kesme kuvvetlerini arttırmıştır.

Yüzey pürüzlülük değerlerinin büyükten küçüğe doğru sıralaması; homojenizasyonlu, EKAPlanmış, EKAPlanmış ve yaşlandırılmış, AA7075 T6 ısıtılmış işlemlenmiş malzemeler olarak gerçekleşmiştir.

Homojenizasyonlu malzemelerin sertlikleri düşük olduğu için yığıntı katmanı oluşmaktadır. Yığıntı katmanı oluşumu nedeniyle yüzey pürüzlülük değerleri yüksek çıkmaktadır.

EKAP uygulanan malzemelerde mekanik özellikler artmaktadır. Bu nedenle malzemelerde işlenebilirlik özellikleri iyileşmektedir. Çalışmada EKAP uygulanan malzemelerin işlenebilirlik özellikleri iyileşmiştir. EKAP sonrası yaşlandırma işlemi uygulanan malzemelerin işlenebilirlik özellikleri artmaktadır. Çalışmada da EKAP sonrası yaşlandırma işlemi uygulanan malzemelerin işlenebilirlik özelliklerinin EKAPlanmış malzemeye göre arttığı görülmüştür. T6 ısıtılmış işlemlenmiş malzemeler ise en iyi işlenebilirliğe sahip malzemeler olmuştur.

#### **4.2. Öneriler**

DeneySEL çalışmada AA7075 malzemesi kullanılmış olup, EKAP ve suni yaşlandırma işlemlerine uygun olan farklı malzemelerle çalışma tekrarlanabilir.

DeneySEL çalışma kuru kesme koşullarında yapılmış olup, soğutma suyu kullanılarak yapılacak çalışmalar ile kıyaslama yapılabilir. Ayrıca farklı kesme parametreleriyle çalışma tekrarlanabilir. Kesme sırasındaki sıcaklıklar ölçülerek çalışma desteklenebilir. Aynı veya farklı kesme parametreleriyle kesici üzerinde oluşan yığıntı katmanı ve yığıntı talaş oluşumları incelenebilir.



## KAYNAKLAR

Al\_Saadi H. I. A., Tunay R. F., Suni Yaşlandırma İşleminin Alüminyum Alaşımının Sertliği Üzerine Etkisi, *Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi*, 2017, **5**(3), 525-32.

Askeland D. R., Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri, Çeviri: Mehmet Erdoğan, Cilt No: 1, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 1998.

Asthakov V. P., *Tribology of Metal Cutting*, Elsevier Inc, Michigan, USA, 2006.

Aydın H., Tunçel O., AA7075 Alüminyum Alaşımında Çözme Tavı Sıcaklığının Yaşlanma Davranışına Etkisi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 2019, **24**(1), 317-330.

Azushima, A., Kopp, K., Korhonen, A., Yang, D.Y., Micari, F., Lahoti, G. D., Groche, P., Yanagimoto, J., Tsuji, N., Rosochowski, A., Yanagide, A., Severe Plastic Deformation (SPD) Processes For Metals, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 2008, **57**(2), 716-735.

Boothroyd G., Knight W. A., *Fundamentals of Machining and Machine Tools*. 2th Edition, Marcel Dekker Inc., New York, 1989.

Cayless R.B.C., Alloy and Temper Designation Systems for Aluminum and Aluminum Alloys, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, Vol 2, *ASM Handbook*, By ASM Handbook Committee, ASM International, 15-28, 1990.

Cheung C. F., Lee W.B., A Theoretical and Experimental Investigation of Surface Roughness Formation in Ultra-Precision Diamond Turning, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2000, **40**(7), 979-1002.

Chinh N. Q., Csanádi T., Gubicza J., Langdon T. G., Plastic Behavior of Face-Centered-Cubic Metals Over a Wide Range of Strain, *Acta Materialia*, 2010, **58**(15), 5015-5021.

Conserva M., Donzelli G., Trippodo R., *Aluminium and Its Applications*, Edimet, Brescia, 1992.

Çakır, M. C., *Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri*, DORA Basım-Yayın Dağıtım, Bursa, 2018a.

Çakır M. C., *Modern Talaşlı İmalatın Esasları*, DORA Basım-Yayın Dağıtım, Bursa, 2018b.

Demirci A. H., *Mühendislik Malzemeleri*, Alfa Aktüel Yayınevi, İstanbul, 2004.

Demirci A. H., Yiğit K., Aydın H., Effect of Intermetallic Phase Particles Implanted Before Ageing in Al-Cu-Mg Alloys on Wear Behaviour, *6th International Symposium INSYCONT'02 New Achievements in Tribology*, Cracow, Poland, 273-279, 19-21 September 2002,

Dursun T., Soutis, C., Recent Developments in Advanced Aircraft Aluminium Alloys, *Materials & Design*, 2014, **56**(2014), 862-871.

Dong J., Subrahmanyam K. V. R., Wong Y. S., Hong G. S., Mohanty A. R., Bayesian-Inference-Based Neural Networks for Tool Wear Estimation, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2006, **30**, 797-807.

Erdoğan A. Y., Kaya H., Atapek Ş. H., Enhancement of mechanical properties of AA6082 alloy by equal channel angular pressing and aging processes. *18th International Metallurgy and Materials Congress*, İstanbul, Türkiye, 634-636, 29 Sept.-01 Oct., 2016.

Florea R. S., Solanki K. N., Bammann D. J., Baird J.C., Castanier, M. P., Resistance Spot Welding of 6061-T6 Aluminum: Failure Loads And Deformation, *Materials and Design*, 2012, **34**, 624–630.

Fukuda Y., Oh-Ishi K., Horita Z., Langdon T. G., Processing of a Lowcarbon Steel by Equal-Channel Angular Pressing, *Acta Materialia*, 2002, **50**(6), 1359-1368.

Furukawa M., Horita Z., Langdon T. G., Developing Ultrafine Grain Sizes Using Severe Plastic Deformation, *Advanced Engineering Materials*, 2001a, **3**(3), 121-125.

Furukawa M., Horita Z., Nemoto M., Langdon T. G., Processing of Metals by Equalchannel Angular Pressing, *Journal of Materials Science*, 2001b, **36**(12), 2835-2843.

Gaab G. J., Valiev R. Z., Lowe T. C., Zhu Y. T. 2004, Continuous Processing of Ultrafine Grained Al by ECAP–Conform, *Materials Science and Engineering: A*, 2004, **382**(1-2), 30-34.

Geçkinli E., Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemi, *2. Isıl İşlem Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 5-13, 07-08 Şubat 2002.

Grzesik, W., *Advanced Machining Processes of Metallic Materials*, Elsevier, UK., 2008.

Groover M. P., *Principles of Modern Manufacturing–Materials, Processes and Systems*, 4th Edition, John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey, 2010.

Güden K., Meyil Açısı ve Yaklaşma Açısının Kesme Kuvvetleri Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2005, 167671.

Güral A., Çift Fazlı Çekirdeklerde Martensit Hacim Oranı ve Morfolojisinin İşlenebilirlik Özellikleri Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1999, 83977.

Hansen N., Barlow C. Y., Plastic Deformation of Metals And Alloys, Editors: Laughlin D. E., Hono K., *Physical Metallurgy*, 5th Edition, Elsevier Inc., Oxford, UK, 1681-1764, 2014.

Hayat F., Effect of Aging Treatment on The Microstructure and Mechanical Properties of The Similar and Dissimilar 6061-T6/7075-T651 RSW Joints, *Materials Science and Engineering: A*, 2012, **556**, 834–843.

Hillbrans H., Nichteisenmetalle, Herausgeber: Bargel H. J., Schulze G., *Werkstoffkunde*, 7te Auflage, Springer, Verlag Berlin Heidelberg, 262-303, 2004.

Hirsch J., Recent Development in Aluminium for Automotive Applications, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2014, **24**(7), 1995-2002.

Iwahashi Y., Horita Z., Nemoto M., Langdon T. G., An Investigation of Microstructural Evolution During Equal-Channel Angular Pressing, *Acta Mater*, 1997, **45**(11), 4733-4741.

Karayel D., Prediction and Control of Surface Roughness in CNC Lathe Using Artificial Neural Network, *Journal of Materials Processing Technology*, 2008, **209**(7), 3125–3137.

Kaya H., Uçar M., The Effects of Mechanical Properties on Fatigue Behavior of ECAPed AA7075, *High Temperature Materials and Processes*, 2016, **35**(3), 225-234.

Kaya H., Uçar M., Cengiz A., Samur R., Özyürek D., Çalışkan A., Novel Molding Technique for ECAP Process and Effects on Hardness of AA7075, *MECHANIKA*, 2014, **20**(1), 5-10.

Kaya H., Eşit Kanal Açısız Presleme (EKAP) ve Yarı Katı İşleme Üretilen AA7075 Alaşımının Mikroyapı, Sertlik ve Yorulma Davranışının İncelenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2013, 348739.

Kaya H., Uçar M., Cengiz A., Özyürek D., Çalışkan A., Ergün R. E., The effect of Aging on The Machinability of AA7075 Aluminium Alloy, *Scientific Research and Essays*, 2012, **7**(27), 2424-2430.

Kaya H., Cengiz A., Uçar M., Talaş Formuna Bağlı Olarak 7075 Al Alaşımının İşlenebilirlik Parametrelerinin Uygunluğunun Tespit Edilmesi, 2. *Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, Konya, Türkiye, 77-91, 01-02 Ekim 2010.

Kayalı E. S., Ensari C., *Metallere Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları*, İTÜ Yayınları, İstanbul, 1991.

Kawasaki M., Horita Z., Langdon T. G., Microstructural Evolution in High Purity Aluminum Processed by ECAP, *Materials Science and Engineering*, 2009, **524**, 143–150.

Lowe T., Zhu Y., Commercialism of Nanostructured Metals Produced by Severe Plastic Deformation Processing, *Advanced Engineering Materials*, 2003, **5**(5), 373-378.

Mishra, A., Kad, B. K., Gregori, F., Meyers, M. A., Microstructural Evolution in Copper Subjected to Severe Plastic Deformation: Experiments and Analysis, *Acta Materialia*, 2007, **55**(1), 13-28.

Mills B., Redford A. H., *Machinability of Engineering Materials*, 1th Edition, Applied Science Publishers, Essex, England, 1983.

Oğuz B., *Demir Dışı Metallerin Kaynağı: Metalurji-Uygulama*, Oerlikon Yayını, İstanbul, 1990.

Onaran K., *Malzeme Bilimi*, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 2000.

Onur A., AA6xxx Serisi Alüminyum Alaşımlarının Yaşlandırma İşlemine Bağlı Olarak İşlenebilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik, 2014, 364043.

Öğüt S., Kaya H., Kentli A., Özbeyaz K., Şahbaz M., Uçar M., Investigation of Strain Inhomogeneity in Hexa-ECAP Processed AA7075, *Arch. Metall. Mater*, 2021, **66**(2), 431-436.

Öğüt S., Kaya H., Kentli A., Genişlemeli Eş Kanallı Açısız Presleme (Gen.-Ekap) Prosesinin Saf Bakırın İşlenebilirliğine Etkilerinin İncelenmesi, *International Marmara Sciences Congress* (Autumn), 427-432, 04-05 Aralık, 2020.

Özbeyaz K., Kaya H. ve Kentli A., 2020, Eş Kanallı Açısız Presleme (EKAP) Yapılan AA6082 Alaşımının İşlenebilirliğinde Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi, *International Marmara Sciences Congress* (Autumn), 423-429, 04-05 Aralık, 2020.

Özer, H. H., 7075 Alaşımında Retrogresyon Ve Yeniden Yaşlandırma Isıl İşlemi Sonucu Mekanik Özelliklerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004, 154451.

Pogatscher S., Antrekowitsch H., Werinos M., Moszner F., Gerstl S. S. A., Francis M.F., Curtin W. A., Löffler J. F., Uggowitzer P. J., Diffusion on Demand to Control Precipitation Aging: Application to Al-Mg-Si Alloys, *Physical Review Letters*, 2014, **112**(22)/225701, 1-5.

Polmear I. J., StJohn D., Nie J.-F. ve Qian M., *Light Alloys*, 5th Edition, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2017.

Polmear I. J., Aluminium Alloys—A Century of Age Hardening, *Proceedings of The 9th International Conference on Aluminium Alloys*, Brisbane, Australia, 1-14, 02-05 August, 2004.

Polmear I. J., *Light Alloys*, Edward Arnold, London, 1981.

Prangnell P. B., Bowen J. R., Apps P. J., 2004. Ultra-fine Grain Structures in Aluminium Alloys by Severe Deformation Processing, *Materials Science and Engineering: A*, 2004, **375–377**, 178 – 185.

Pürçek G., Saray O., Hacısalihoğlu İ., Karaman İ., Alsaran A., Yüksek Dayanımlı ve Biyouyumlu İmplant Üretiminde Yeni Bir Yaklaşım: Aşırı Plastik Deformasyon ve Yüzey İşlemleri, *TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi*, 2012, **53**(628), 50-60.

Rashad M., Pan F., Asif M., Ullah, A., Improved Mechanical Properties of Magnesium–Graphene Composites with Copper–Graphene Hybrids, *Materials Science and Technology*, 2014, **31**(12), 1452-1461.

Roven H. J., Werenskiold J. C., Conventional Light Alloys towards The Bottom-A Physical Metallurgical Approach, *Nanomaterials Conference*, Oslo, Norway, 32-40, 03-04 June 2004.

Segal V. M., Engineering and Commercialization of Equal Channel Angular Extrusion (ECAE), *Materials Science and Engineering: A*, 2004, **386**(1-2), 269–276.

Scarr A. J. T., *Metrology and Precision Engineering*, Mc. Graw-Hill, New York, USA, 1991.

Shaw M. C., *Metal Cutting Principles*, 2nd. Edition, Oxford Univesity Press, Newyork, USA, 2005.

Singh, M., Jha A. K., Das S., Yegneswaran A. H., Preparation and properties of Cast Aluminium Alloy-Granite Particle Composites, *Journal of Materials Science*, 2000, **35**, 4421–4426.

Smith W. F., *Demir Dışı Alaşımlar Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri*, Çeviri: Mehmet Erdoğan, Cilt No: 1, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2001.

Stephenson D. A., Agapiou J. S., *Metal Cutting Theory and Practice* 3rd. Edition, Taylor and Francis, Newyork, USA, 2016.

Şahin M., Mısırlı C., Özkan D., Aşırı Plastik Deformasyonun Alüminyum Alaşımlarının Kaynağı Üzerine Etkisi, *TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi*, 2012, **53**(630), 26-33.

Şahin Y., *Talaş Kaldırma Prensipleri 1*, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2000.

Şahin Y., *Talaş Kaldırma Prensipleri 2*, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2001.

Taşlıyan A., Acarer M., Şeker U., Gökkaya H., Demir B., Inconel 718 Süper Alaşımının İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvveti Üzerindeki Etkisi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 2007, **22**(1), 1-5.

Tezel T., Topal E. S., Kovan V., Hibrit İmalat: Eklemeli İmalat ile Talaşlı İmalat Yöntemlerinin Birlikte Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, *International Journal of 3d Printing Technologies and Digital Industry*, 2018, **2**(3), 60-65.

URL-1: <https://www.seykoc.com.tr/icerik/7075?dil=tr>, (Ziyaret tarihi: 15 Mart 2021).

URL-2:  
<http://muhendislik.istanbul.edu.tr/metalurji/wpcontent/uploads/2013/09/cos.pdf>  
(Ziyaret tarihi: 14 Nisan 2021).

URL-3:  
<http://web.hitit.edu.tr/dosyalar/materyaller/eminerdin@hititedutr110520185b2n4w5y.pdf> (Ziyaret tarihi: 10 Mayıs 2021).

URL-4: [http://cdn.hitit.edu.tr/mf/files/18085\\_20471817776.pdf](http://cdn.hitit.edu.tr/mf/files/18085_20471817776.pdf), (Ziyaret tarihi: 10 Mayıs 2021)

Ünsal Ö., Kantay R., Türkiye’ de Üretilen Meşe ve Kayın Masif Parkelerin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Araştırmalar, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 2002, **52**(1), 81-97.

Valiev R. Z., Zhilyaev A. P., Langdon T. G., *Bulk Nanostructured Materials: Fundamentals and Applications*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2013.

Valiev R. Z., Langdon T. G., Principles of Equalchannel Angular Pressing as a Processing Tool for Grain Refinement, *Progress in Materials Science*, 2006, **51**(7), 881–981.

Valiev R. Z., Recent Developments of SPD Processing for Fabrication of Bulk Nanostructured Materials, *Materials Science Forum*, 2003, 426-432, 237–244.

Valiev, R. Z., Islamgaliev R. K., Alexandrov I. V., Bulk Nanostructured Materials from Severe Plastic Deformation, *Progress in Materials Science*, 2000, **45**(2), 103–189.

Wiesinger G., Baumann C., Krystian M., 2018, Impact of Equal Channel Angular Pressing (ECAP) on the machinability of an aluminium alloy (EN AW-6082). *Materials Today: Proceedings*, **5**(13), 26654-26660.

Xu C., Furukawa M., Horita Z., Langdon T. G., Severe Plastic Deformation as a Processing Tool for Developing Superplastic Metals, *Journal of Alloys and Compounds*, 2004, **378**(1-2), 27–34.

Zhang H. W., Huang X., Hansen N., Evolution of Microstructural Parameters and Flow Stresses toward Limits in Nickel Deformed to Ultra-High Strains, *Acta Materialia*, 2008, **56**(19), 5451-5465.

Zhao Y. H., Liao X. Z., Jin Z., Valiev R. Z., Zhu Y. T., Microstructures and Mechanical Properties of Ultrafine Grained 7075 Al Alloy Processed by ECAP and Their Evolutions During Annealing, *Acta Materialia*, 2004, **52**(15), 4589–4599.

Zrnik J., Dobatkin S. V., Mamuzic I., Processing of Metals by Severe Plastic Deformation (SPD)-Structure and Mechanical Properties Respond, *Metalurgija*, 2008, **47**(3), 211-216.



## **KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER**

**Şevik U.**, Uçar M., Kaya H., Cengiz A., Yazgı S., Eşit Kanal Açısal Presleme ve Yaşlandırma İşlemleri Uygulanan AA7075 Alaşımının Talaşlı İmalatında Kesme Kuvvetlerinin İncelenmesi, 6. *Uluslararası Marmara Fen Bilimleri Kongresi (IMASCON 2021 Bahar)*, Kocaeli, Türkiye, 21-22 Mayıs, 2021





## ÖZGEÇMİŞ

Orta öğrenimini Bursa Tophane Endüstri Meslek Lisesinde tamamlamıştır. Balıkesir Üniversitesi Edremit Meslek Yüksek Okulu Makine Teknikerliği (Ön Lisans), Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme (Lisans), Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Öğretmenliği (Lisans), Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği (Lisans) programlarını başarıyla tamamlamıştır. Saç metal kalıpcılığı, makine imalatı, çelik yapı imalatı ve tersanecilik alanlarında deneyimi vardır.

