

**T.C.**  
**SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ETİAL 150 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ TALAŞLI**  
**İŞLENEBİLME VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ENJEKSİYON**  
**PARAMETRELERİNİN ETKİSİ**

**Nurullah GÜLTEKİN**

**Danışman: Doç. Dr. Bekir YALÇIN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**MAKİNA EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**  
**ISPARTA – 2011**

## İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER .....	i
ÖZET.....	iv
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xi
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Alüminyum .....	1
1.1.1. Alüminyum alaşımları.....	3
1.1.1.1. Dövme alüminyum alaşımları .....	4
1.1.1.2. Döküm alüminyum alaşımları.....	5
1.1.2. Alüminyum ve alaşımlarının talaşlı işlenebilirliği.....	8
1.2. Metal Enjeksiyon (Basıncılı Döküm).....	9
1.2.1. Basıncılı döküm prosesinde etkili olan parametreler .....	11
1.2.1.1. Basıncılı döküm hızı .....	11
1.2.1.2. Basıncılı döküm basıncı .....	12
1.2.1.3. Basıncılı döküm kalıp sıcaklığı .....	14
1.2.2. Soğuk kamaralı basıncılı döküm yöntemi.....	14
1.2.3. Sıcak kamaralı basıncılı döküm yöntemi .....	15
1.3. Basıncılı Döküm Ürünlerine Uygulanan Talaşlı İmalat İşlemleri .....	16
1.3.1. Hassas tornalama.....	18
1.3.2. Frezeleme .....	20
1.4. Talaş Kaldırma Mekaniği ve Talaş Kaldırma Teorileri .....	20
1.4.1. Lee ve Shaffer yaklaşımı.....	22
1.4.2. Timme yaklaşımı.....	24
1.4.3. Merchant yaklaşımı .....	25

1.5. Talaş Kaldırmayı Etkileyen Faktörler .....	25
1.5.1. Takım geometrisi .....	26
1.5.2. Kesme hızı.....	27
1.5.3. Kesme kuvveti.....	28
1.5.3.1. Kuvvet bağıntıları.....	29
1.5.3.2. Diğer kesme kuvvetlerinin belirlenmesi .....	33
1.5.4. Talaş derinliği ve ilerleme miktarı .....	35
1.5.5. Takım uç yarıçapı ve yüzey pürüzlülüğü.....	36
1.5.6. Titreşimin etkisi .....	39
1.6. Takım Aşınması .....	40
1.6.1. Takım aşınma şekilleri .....	42
1.6.1.1. Yan kenar (yanak) aşınması .....	42
1.6.1.2. Krater aşınması.....	43
1.6.1.3. Plastik deformasyon .....	44
1.6.1.4. Termal çatlaklar .....	44
1.6.1.5. Çentik aşınması .....	45
1.6.1.6. Çıtlama .....	46
1.6.1.7. Yığılma-sıvanma (BUE) .....	47
1.6.1.8. Mekanik yorulma kırılmaları .....	47
2. KAYNAK ÖZETLERİ .....	49
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	63
3.1. Basınçlı Döküm Makinesi ve Ergitme Fırını .....	64
3.2. Basınçlı Döküm Kalıbı.....	67
3.3. Mekanik Deneyler .....	67
3.3.1. Çekme ve mikrosertlik deneyi .....	67
3.3.2. Darbe deneyi .....	68
3.4. İşlenebilirlik Testleri .....	69
3.4.1. İşlenebilirlik testinde kullanılan malzemeler .....	69

3.4.1.1. Test malzemesi.....	70
3.4.1.2. Kesici takım ve takım tutucu (kater).....	71
3.4.1.3. Dinamometre.....	72
3.4.1.4. Yüzey pürüzlülük cihazı .....	72
3.4.1.5. Veri toplama kartı (DAQ).....	73
3.4.1.6. Tornalama işlemlerinin yapıldığı CNC torna.....	74
3.5. Metalografik Çalışmalar.....	75
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....	76
4.1. Basınçlı Döküm Kalıbı İmalatı İçin Bulgular .....	76
4.2. Uygun Enjeksiyon Parametresinin Belirlenmesi .....	79
4.2.1. Mekanik test sonuçları .....	80
4.2.2. Mikro yapı incelemesi.....	82
4.2.3. İşlenebilirlik testi sonuçları .....	84
4.2.3.1. Kesme kuvvetleri .....	85
4.2.3.2. Yüzey pürüzlülüğü sonuçları .....	88
4.2.3.3. Talaş yapışma eğilimi .....	89
4.2.3.4. Talaş tipi değerlendirme sonuçları .....	95
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	100
6. KAYNAKLAR .....	103
ÖZGEÇMİŞ .....	108

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ETİAL 150 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ TALAŞLI İŞLENEBİLME VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ENJEKSİYON PARAMETRELERİNİN ETKİSİ

Nurullah GÜLTEKİN

Süleyman Demirel Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makina Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Bekir YALÇIN

Bu çalışmada, Etial 150 alüminyum alaşımının talaşlı işlenebilme ve mekanik özelliklerine enjeksiyon parametrelerinin etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmayı gerçekleştirebilmek için, öncelikle kalıp tasarlanmış ve imal edilmiştir. Bu kalıpla ilk numuneler üretildiğinde, makro gözeneğe rastlanmış ve gözenekli yapıyı azaltmak için enjeksiyon kalıbı revize edilmiştir. Kalıp verimli hale getirildikten sonra numuneler imal edilmiştir. Parça üretilirken, farklı basınçlı döküm parametreleri uygulanmıştır. Bu parametrelerin, enjeksiyon ürününün kalitesine etkisi, numunelere uygulanan çekme, darbe ve mikro sertlik deneyleri ile birlikte mikro yapı analizleri ile belirlenmiştir. Sonuç olarak, basınçlı döküm parametrelerinin, ürün kalitesine etkisi sırasıyla şu şekilde ifade edilebilir; Kalıp ve ergiyik sıcaklığı, basınçlı döküm makinesi basıncı ve hızı optimum seviyede (Ergiyik sıcaklığı: 750°C, P:150 bar, hız oranı:%100) olmalıdır. Ayrıca, enjeksiyon kalıbından çıkan ürüne, kontrollü olarak su soğutmasının uygulanabildiği kanaati oluşmuştur.

Bilindiği üzere, enjeksiyon ürünlerinin bazılarında son işlem olarak tanımlanan hassas talaşlı imalat işlemleri uygulanmaktadır. Mekanik özellikler ve gözenek oluşumu bakımından en iyi enjeksiyon ürünü elde edebilecek enjeksiyon parametresi belirlendikten sonra, çalışmanın ikinci bölümü olan hassas kuru tornalama testleri gerçekleştirilmiştir. Buradaki amaç; basınçlı döküm yöntemiyle üretilen parçaların, kullanışlı endüstriyel parça haline getirilebilmesi adına, en iyi hassas tornalama işlemi, en uygun işleme zamanı göz önüne alınarak ve düşük talaş sıvanması, düşük kesme kuvvetleri, en uygun talaş formu ve en iyi yüzey pürüzlülüğü değerlendirilerek uygun kesme parametresini araştırmaktır.

**Anahtar kelimeler:** Etial 150 alüminyum alaşımı, basınçlı döküm, hassas tornalama, kesme kuvveti, talaş tipi.

2011, 108 sayfa

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **EFFECT OF INJECTION PARAMETERS ON MECHANICAL PROPERTIES AND MACHINABILITY OF ETİAL 150 ALUMİNUM ALLOY**

**Nurullah GÜLTEKİN**

**Süleyman Demirel University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Machine Education Department**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Bekir YALÇIN**

In this study, effect on injection parameters on machinability and mechanical properties of Etial 150 aluminum alloy were investigated. Able to perform this work; firstly, injection mold is designed and are made of. When the first specimens were produced, macro porosities were recognized and then in order to decrease the porous structure the, injection die was revised. After the mold is made efficient, the specimens are produced by die injection method. Various injection parameters were applied during part production. Effect on the injection product of these parameters is determined with some experiments such as tensile, charpy and micro hardness test together with micro structure analyses. As a result, effect of die casting parameters on product quality can be clarified, respectively; Die and melt temperatures, injection pressure and velocity must be the most appropriate (melt temperatures:750°C, P:150 bar, speed ratio:%100). Also, the opinion is obtained that the water cooling can be used for products ejected from die.

It is known that, finish machining methods are applied to injection products as secondary operation. After determining the optimum injection parameters for the best injection products, finish dry turning tests are performed with injection specimens. Aim in second section investigate the best cutting parameter in name of obtaining the used industrial part for the best finish turning with evaluating of the optimum cutting time, low chip tendency, low cutting forces, the best chip form and surface roughness.

**Keywords:** Etial 150 aluminum alloy, die casting, finish turning, cutting force, chip type.

**2011, 108 pages**

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarımın başlangıcından bu güne kadar yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Bekir YALÇIN' a katkılarından dolayı teşekkür ederim. Tüm çalışmalarım boyunca bana her türlü konuda yardımcı olan diğer tüm hocalarıma, özellikle de Yrd. Doç. Dr. Murat KORU hocama teşekkür ederim.

“Etial 150 Alüminyum Alaşımının Talaşlı İşlenebilme ve Mekanik Özelliklerine Enjeksiyon Parametrelerinin Etkisi” adlı, 2124-YL-10 No’lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı’na teşekkür ederim.

Ayrıca tüm öğrenim hayatım boyunca maddi, manevi desteklerini benden esirgemeyen anneme, babama, eşime ve özellikle de çalışmalarım esnasında bazen beni kızdıran, bazen güldüren biricik oğlum Emrah GÜLTEKİN' e şükranlarımı sunarım.

Nurullah GÜLTEKİN  
ISPARTA, 2011

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Alüminyum alaşımlarında yer alan elementler ve etkileri .....	8
Şekil 1.2. Bazı basınçlı döküm parçaları .....	10
Şekil 1.3. Basınçlı döküm makinesine ait basınç - hız değişimi .....	13
Şekil 1.4. Soğuk kamaralı basınçlı döküm işleminin şematik gösterimi .....	15
Şekil 1.5. Sıcak kamaralı basınçlı döküm işleminin şematik gösterimi.....	16
Şekil 1.6. Değişik malzemelerin yüksek kesme hızı bölgeleri.....	19
Şekil 1.7. Talaş, iş parçası ve kesici takım ilişkisi .....	21
Şekil 1.8. Ortogonal kesme için Lee ve Shaffer'ın kayma hattı alanı teorisi.....	23
Şekil 1.9. Farklı teorilerin ve deneysel sonuçların karşılaştırılması .....	24
Şekil 1.10. Timme yaklaşımı ile talaş oluşum modeli .....	25
Şekil 1.11. Dik kesmede oluşan kuvvetler .....	29
Şekil 1.12. Kesme kuvvetlerinin torna tezgahı için yorumlanması .....	29
Şekil 1.13. Kesme kuvvetleri için kullanılan hesaplama üçgenleri .....	30
Şekil 1.14. Talaş kesitinin kesme kenarı açısı ile ilişkisi.....	32
Şekil 1.15. Kuvvet bileşenlerinin kesit alanına göre değişmesi.....	34
Şekil 1.16. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri .....	36
Şekil 1.17. Uç şekli ve mukavemet, erişim, güç ve titreşim etkisi .....	36
Şekil 1.18. Yüzey kalitesi ve köşe radyüsü ilişkisi .....	37
Şekil 1.19. Yüzey pürüzlülüğü ve değerlendirmesi .....	39
Şekil 1.20. Kesici takımda görülen aşınma biçimleri .....	42
Şekil 1.21. Yan kenar aşınması .....	43
Şekil 1.22. Krater aşınması .....	44
Şekil 1.23. Plastik deformasyon.....	44
Şekil 1.24. Termal çatlak .....	45
Şekil 1.25. Çentik aşınması.....	46



Şekil 1.26. Çıtlamanın oluşumu .....	46
Şekil 1.27. BUE oluşumu .....	47
Şekil 1.28. Mekanik yorulmadan kaynaklanan kırılmalar .....	48
Şekil 3.1. Meteryal ve metodun sistematik gösterimi .....	63
Şekil 3.2. Basınçlı döküm makinası .....	65
Şekil 3.3. Elektrikli ergitme ve dinlendirme fırını .....	66
Şekil 3.4. Basınçlı döküm kalıbı .....	67
Şekil 3.5. TS EN ISO 6892-1 standardına göre çekme deneyi numunesi. ....	68
Şekil 3.6. Çekme deneyi numunesi .....	68
Şekil 3.7. Darbe deneyi numunesi.....	69
Şekil 3.8. İş parçası numunesi.....	70
Şekil 3.9. DCGT11T304F-ALKX kesici takım (a), kullanılan kater (b).....	71
Şekil 3.10. Kistler 9757-A modeli dinamometre .....	72
Şekil 3.11. Yüzey pürüzlülük cihazı .....	73
Şekil 3.12. Veri toplama kartı .....	74
Şekil 3.13. Tez çalışmalarında kullanılan CNC torna tezgahı .....	74
Şekil 3.14. Takım aşınmalarının görüntülenmesinde kullanılan SEM cihazı.....	75
Şekil 4.1. Enjeksiyon kalıbı ilk hali (a), İlk kalıpla üretilen parça (b).....	76
Şekil 4.2. Kalıp üzerinde yapılması istenen değişiklikler .....	77
Şekil 4.3. Kalıp ikinci kez bağlandığında (a), kalıpla üretilen parça (b).....	78
Şekil 4.4. Kalıbın son durumu (a), kalıpla üretilen parça (b) .....	79
Şekil 4.5. Bir ve ikinci enjeksiyon koşuluyla imal edilen numunelerin $\sigma$ - $\epsilon$ eğrisi ....	80
Şekil 4.6. Üç ve dördüncü enjeksiyon koşuluyla üretilen numunelerin $\sigma$ - $\epsilon$ eğrisi ....	80
Şekil 4.7. Beş ve altıncı enjeksiyon koşuluyla üretilen numunelerin $\sigma$ - $\epsilon$ eğrisi .....	81
Şekil 4.8. Yedi ve sekizinci enjeksiyon koşuluyla üretilen numunelerin $\sigma$ - $\epsilon$ eğrisi ..	81
Şekil 4.9. Farklı deney koşulları ile üretilen parçaların mikro yapıları .....	83

Şekil 4.10. Değişen kesme parametrelerine göre asıl kesme kuvveti değerleri.....	85
Şekil 4.11. Değişen kesme parametrelerine göre asıl kesme kuvveti değerleri.....	86
Şekil 4.12. Değişen kesme parametrelerine göre asıl kesme kuvveti değerleri.....	86
Şekil 4.13. Değişen kesme parametrelerine göre pasif kesme kuvveti değerleri.....	87
Şekil 4.14. Yüzey pürüzlülük değerlerinin grafiksel karşılaştırılması.....	88
Şekil 4.15. DCGT11T304F takımını talaş yapışma eğilimi ve takım aşınması .....	95
Şekil 4.16. Talaş tipleri .....	96
Şekil 4.17. Kesme parametreleri, talaş resimleri ve değerlendirmeleri .....	98

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Alüminyumun özelliklerinin diğer metallerle karşılaştırılması .....	2
Çizelge 1.2. Alüminyum birliği standartlarına göre döküm alüminyum alaşımları ...	6
Çizelge 1.3. Sertliği 50-150 BHN olan Al alaşımlarının işlenmesi .....	18
Çizelge 1.4. Köşe radyüsü–ilerleme ilişkisi .....	37
Çizelge 3.1. 200 tonluk basınçlı döküm makinesi teknik özellikleri .....	65
Çizelge 3.2. Elektrikli ergitme dinlendirme fırını teknik özellikleri .....	66
Çizelge 3.3. Test malzemesinin kimyasal içeriği ve bazı özellikleri .....	70
Çizelge 3.4. DCGT11T304F-ALKX Kesici takım özellikleri .....	71
Çizelge 3.5. DCGT11T304F-ALKX Kesici takımın Etial 150 için kesme şartları ...	71
Çizelge 3.6. Yüzey pürüzlülük cihazının özellikleri .....	73
Çizelge 3.7. CNC torna tezgahı özellikleri .....	75
Çizelge 4.1. Basınçlı döküm parametreleri ve akma, kopma, yüzde uzama verileri .	81
Çizelge 4.2. Etial 150 ile imal edilen numunelerin darbe dayanımı ve mikrosertlik değerleri .....	82
Çizelge 4.3. Hassas tornalama işlemlerinde uygulanan parametreler .....	84
Çizelge 4.4. Kesme koşulları ve işleme sonrası kesici takım durumu .....	94

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a	Talaş derinliği (mm)
Al	Alüminyum
Ac	Çıkan talaş kesit alanı
ADC	Analog dijital çevirici
BUE	Builtupedge (Talaş yığılması)
BHN	Brinell sertlik değeri
C	Karbon
CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayarlı sayısal kontrol)
CPU	İşlemci
Co	Kobalt
Cr	Krom
C <sub>t</sub>	Taylor sabitini
Cu	Bakır
ÇKE	Çok kristalli elmas
dak.	Dakika
dev	Devir
f	İlerleme
Fe	Demir
F <sub>c</sub>	İlerleme kuvveti (Newton)
F <sub>r</sub>	Pasif kuvvet (Newton)
F <sub>s</sub>	Teğetsel sürtünme kuvveti (Newton)
F <sub>t</sub>	Esas kesme kuvveti (Newton)
GPa	Elastik modül
ISO	Uluslararası standart organizasyonu
m	Metre
mm	Milimetre
Mg	Magnezyum
Mn	Mangan
Mo	Molibden
MPa	Mega Pascal (Basınç Birimi)
Ni	Nikel

r	Takım burun (uç) yarıçapı
R	Bileşke kuvvet
Ra	Ortalama pürüzlülük değeri
Re	Takım uç radyüsü
s	Saniye
Si	Silisyum
T	Takım ömrü
Ti	Titanyum
TiN	Titanyum Nitrür
V	Kesme hızı
VB	Yan yüzey (yanak) aşınması
YHÇ	Yüksek hız çeliği
Zn	Çinko
$\Phi$	Kayma açısı
$\mu$	Sürtünme katsayısı
$\beta$	Sürtünme açısı
$\gamma$	Talaş açısı

## 1. GİRİŞ

Günümüzde makine ve makine parçası imalatında birçok üretim yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden en önemlisi olan, basınçlı döküm metodu yarı mamul parça imalatı olarak tanımlanmaktadır. Basınçlı döküm metodu, çoğunlukla karmaşık şekilli ve düşük-orta hacimli makine parçalarının üretimi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak endüstride yapılan gözlemlere göre, basınçlı döküm ürünlerine talaşlı imalat prosesleri ikincil işlem olarak (finishmachining) uygulandığı görülmektedir. Bu amaçla bu tezde sorgulanan; en kaliteli malzemeyi nasıl üretebiliriz ve basınçlı dökümle üretilen malzemenin yüzey kalitesini artırmak için uygulanan tornalama işlemlerinde hangi proseslere dikkat etmeliyiz. Buradan yola çıkarak alüminyum alaşımlarından endüstride çokça kullanılan; Etial 150 alüminyum alaşımının, talaşlı işlenebilme ve mekanik özelliklerine enjeksiyon parametrelerinin etkisi bu tezde inceleme altına alınmıştır.

Bu incelemeleri yapabilmek için öncelikle, kalıp tasarımı yapılmış ve çalışır duruma getirilmiştir. Daha sonra malzemeyi üretim esnasında ergiyik sıcaklığı, basınçlı döküm basıncı, basınçlı döküm hız oranı hızı ve en son olarak, çıkan malzemeyi sertleştirme işlemi uygulayarak en kaliteli malzeme üretimi için uygun prosesler belirlenmiştir. Bu işlemler yapılarak en kaliteli malzeme üretimi için koşullara ulaşıldıktan sonra üretilen bu malzemenin talaşlı işlenebilme kabiliyeti incelenmiştir. Bu inceleme esnasında kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve talaş morfolojisi incelenerek en uygun tornalama işlemi tespit edilmiştir.

### 1.1. Alüminyum

Alüminyum tabiiatta en çok bulunan elementlerden biridir ve mühendislik yapılarında çelikten sonra en çok kullanılan metaldir. Alüminyumun yoğunluğu ( $2,71 \text{ g/cm}^3$ ), çeliğin yoğunluğunun ( $7,83 \text{ g/cm}^3$ ) üçte biri kadardır. Bazı alüminyum alaşımlarının akma sınırı değerleri  $500 \text{ MPa}$  değerini geçmektedir ki bu değer pek çok çelik türünün akma sınırı değerlerinin üzerindedir. Alüminyum alaşımları bu

özelliklerinden dolayı, özellikle hafiflik istenen uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadırlar (Akdoğan, 2008).

Alüminyumun oksijene karşı ilgisi çok fazladır. Hava ile temas neticesinde, kısa zamanda oksijen ile birleşerek alüminyum oksit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) oluşturur. Alüminyum bu özelliği korozyona karşı mukavemetini yükseltmektedir. Oluşan bu oksit tabakası su ile yıkamak suretiyle çıkartılamaz ve bu özelliği kullanma sahasını genişletmiştir. Alüminyum saflık derecesi azaldığı takdirde korozyon mukavemeti düşer. Yabancı elemanlar korozyon mukavemetini azaltmaktadır (Hüseyinoğlu, 2008).

Alüminyumun bir diğer önemli özelliği de elektrik iletkenliğidir. Alüminyum iletkenliği bakırın iletkenliğinin yalnızca % 60'ı kadar olmasına karşılık düşük yoğunluğundan dolayı birim kütleye düşen iletkenlik bakımından bakırdan daha yüksek iletkenliği vardır. Örneğin 10 mm çapındaki bir alüminyum telin elektrik direnci, 6 mm çapında bir bakır telin elektrik direncine eşit olmasına rağmen, alüminyum tel daha hafiftir. Enerji iletim hatlarında kullanılan teller için düşünüldüğü zaman bu çok önemli bir özelliktir. Alüminyumun bazı özellikleri diğer metallerle karşılaştırılmalı olarak Çizelge 1.1.'de verilmiştir (Su, 1988).

Çizelge 1.1. Alüminyumun özelliklerinin diğer metallerle karşılaştırılması (Su, 1988)

ÖZELLİK	Al	Cu	Fe	Zn	Mg
Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	2,71	8,94	7,87	4,1	1,74
Elektrik Direnci (Ohm. mm <sup>2</sup> ).10	2,66	1,68	9,8	6,0	4,46
Isı iletkenliği (W/mK)	205	385	80	112	237
Isıl Genleşme Katsayısı (mm/mm°C).10 <sup>-6</sup>	24,0	16,7	11,9	33,0	25,7
Ergime Sıcaklığı °C	658	1083	1535	420	651
Uzama (%)	43	50	48	-	-
Sertlik (Brinell)	19	25	70	-	-

Alüminyum, endüstriyel malzemeler içinde son keşfedilen metallerden biridir ve bu alaşımların kullanım alanının yaygınlaşmasında savunma, otomotiv ve havacılık endüstrisinin büyük bir katkısı olmuştur (Mathers et al., 2002). Saf alüminyumun çekme dayanımı düşük olmakla birlikte, bakır, çinko, magnezyum, manganez ve silisyum gibi pek çok elementle alaşımlandırılarak mekanik özellikleri geliştirilebilir.

Yüksek dayanım/ağırlık oranlarından ötürü alüminyum alaşımları, uçak ve uzay araçlarının vazgeçilmez bileşenleridir.

Kullanım alanlarından bazıları:

- Ulaşım, (otomobil, uçak, kamyon, tren vagonları, deniz araçları, vs.)
- Ambalaj, (alüminyum kutular, folyolar, vs.)
- Su arıtma,
- İnşaat, (cam, kapı, duvar, bina, vs.)
- Dayanıklı tüketim aletleri, (cihazlar, mutfak araç gereçleri, vs.)
- Elektrik iletim hatları, (alüminyum, bakırla eşit elektrik iletkenliğine sahip olup onun yarı ağırlığındadır ve fiyatı da daha ucuzdur)
- Makine imalatı,
- Alnico manyetlerinin yapımı,
- Yüksek saflıktaki alüminyum, (%99.98 - %99.99 Al) elektronik ve CD lerde,
- Toz haline getirilmiş alüminyum boyalara katılarak metalik renk elde etmek için kullanılır.
- Anodize edilmiş alüminyumun oksidasyon direnci daha da yüksektir ve inşaat sanayinin pek çok alanında kullanılır.
- Kolay şekillendirilebilir olusu ve yüksek ısı iletkenliğinden ötürü, yeni bilgisayarların CPU'larının ısı uzaklaştırıcılarında alüminyum kullanılmaktadır.
- Alüminyumun çok hızlı oksitlenme özelliği, katı roket yakıtı olarak kullanılmasını sağlamaktadır (Özcömert, 2006).

### **1.1.1. Alüminyum alaşımları**

Alüminyum alaşımlarının mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri alaşım elementlerine ve mikro yapısına bağlı olarak değişir. Alüminyuma katılan en önemli alaşım elementleri; bakır, mangan, silisyum, magnezyum ve çinkodur. Özellikle son yıllarda, enerji tasarrufuna dönük çalışmalar daha az yakıt harcayan hafif ve ekonomik taşıtların üretimini gündeme getirmiş ve alüminyum alaşımları; otomobillerde, otobüslerde, trenlerde, deniz taşıtları yapımında öncelikli olarak tercih



edilen metalsel malzemeler olmuştur. Esasında bu alaşımlar, uzun yıllardır havacılık endüstrisinde kullanılmakta olan malzemelerdir ve artırılmış mukavemet ve darbe özellikleri sayesinde savunma sanayinde de kullanıma girmişlerdir. Alüminyum alaşımları dövme ve döküm alaşımları olarak iki gruba ayrılır.

Dövme alaşımlarının, plastik deformasyon kabiliyeti iyi olup kolayca şekillendirilebilirler. Alüminyum dövme ve döküm alaşımlarının büyük bir kısmına ısıl işlem uygulanabilmektedir.

Döküm alüminyum alaşımlarının çoğu, %5 ve %12 arasında değişen oranlarda alaşıma katılan ve ötektik reaksiyona neden olan Si içerir. Alüminyum döküm alaşımındaki Si belirtilen oranlarda katıldığında alaşımın akıcılık özelliği artarak dökülebilirlikte iyileştirme sağlanır. Alüminyum döküm alaşımları hem Si ve hem de Mg ihtiva ettiğinde mukavemet artışı görülür. (Anderson, 2000; Mathers, 2002).

#### **1.1.1.1. Dövme alüminyum alaşımları**

Bu türe giren alaşımlar Cu, Mg, Mn, Si ve Ni gibi elementler içerirler; çoğu kez önce sürekli döküm yöntemi ile blok biçiminde elde edildikten sonra homojenleştirme tavı uygulanır, haddeleme veya ekstrüzyon ile biçimlendirilirler. Döküm yapısında tane sınırlarında oluşan sürekli gevrek fazlar, şekillendirme sırasında parçalanır ve ana kütlede dağılır ve böylece alaşım soğuk şekillendirmeye uygun duruma geçer (Domke, 1988). Dövme alüminyum alaşımlarının simgelenmesi ve standartlaştırılmaları ilk olarak sistematik biçimde 1954 yılında Alüminyum Birliği tarafından gerçekleştirilmiştir. Burada dört numaralı bir tanımlama sistemi kullanılır. Bu sistem günümüzde hala geçerli olan bir sistemdir ve gerek Amerikan gerekse de Avrupa standartlarının temelini oluşturur. Çeşitli ülkelerin ulusal standartlarında farklı simgelenme ile tanımlanan dövme alüminyum alaşımları EN 573 serisi standartlarda detaylı olarak ele alınmıştır. Dövme alüminyum ve alüminyum alaşımlarının simgelenmesi ve kimyasal bileşimleri EN 573-3: 1995'te tanımlanmıştır. Ülkemizde de TS EN 412/Ocak 1987 "Biçimlenebilen Alüminyum

ve Alüminyum Alaşımaları - Kimyasal Bileşimi" olarak standartlaştırılmışlardır. Bu konudaki TS EN standardı hazırlık aşamasındadır.

Değişik serilerdeki alüminyum alaşımlarının karakteristiklerinde dikkate alınacak farklılıklar bulunmaktadır ve bunlar alaşımların uygulama alanlarında farklılıklar yaratmaktadır. Standart tanımlama sistemini anladıktan sonra, bir sonraki nokta önceden bahsedilen seriler içinde iki belirgin farklı alüminyum türü olduğunu kabul etmektir. Bunlar ısıtılabilir ve bu sayede mukavemetleri artırılabilen alüminyum alaşımları ve ısıtılmayan alüminyum alaşımlarıdır. Ark kaynağı uygulamalarının bu iki tür alaşım serisi üzerindeki etkileri göz önünde tutulduğunda bu fark özellikle önemlidir (Anderson, 2000).

Isıtılabilir alaşımlar, en yüksek mekanik özelliklerini genellikle çözeltiye alma ısıtılabilir işlemi ile kazanırlar. Çözeltiye alma ısıtılabilir işleminde alaşım, çözelti içine alaşım elementleri veya bileşik katmak için yaklaşık 530° C'ye kadar ısıtılır, arkasından hızlı soğutma gelir, bu işlem oda sıcaklığında aşırı doymuş çözelti sağlamak için genelde su içinde yapılır. Genellikle bunu yaşlandırma ısıtılabilir işlemi takip eder. Yaşlandırma; istenen akma özellikleri için, aşırı doymuş çözülden bir miktar element veya bileşiğin çökeltilmesidir. Burada çökeltme sonucunda tanelerin içinde, ışık mikroskobu ile seçilemeyen çok ufak zerrecikler oluşur. Bu su, mikroskobik zerrecikler kafeste kaymayı önler böylece alaşım sertleşir, akma ve çekme mukavemeti yükselir (Tülbentçi, 1987; Anık vd., 1993).

#### **1.1.1.2. Döküm alüminyum alaşımları**

Bu tür alaşımların büyük çoğunluğu silisyum içerir; %11.7 Si içeren alaşım ötektik bileşimde olduğundan çok üstün döküm özelliklerine sahiptir. Bu alaşımın korozyona direnci ve kaynak kabiliyeti de oldukça iyidir. Döküm alüminyum alaşımlarına bir miktar bakır katılması, talaş kaldırma özelliklerini geliştirir, buna karşın, korozyon direncinde azalmaya neden olur. Döküm alüminyum alaşımlarına silisyumdan başka magnezyum katılarak çökeltme yolu ile sertleştirilebilen ve deniz suyunun korozyon etkilerine dirençli alaşımlar elde edilir (Tülbentçi ve Kaluç, 1985).

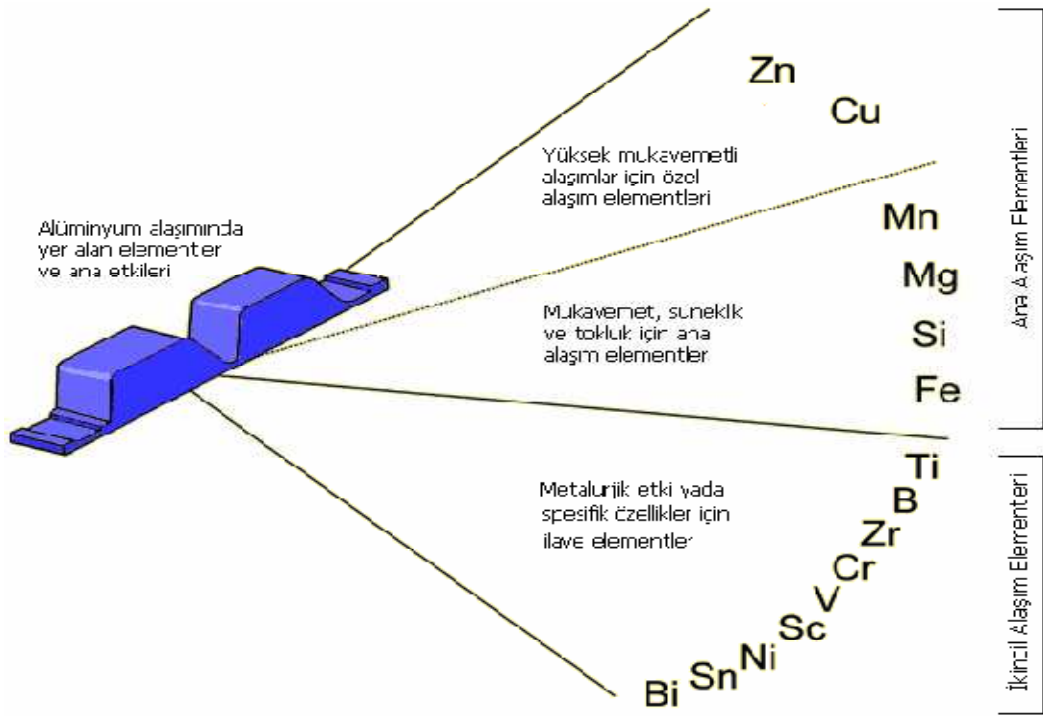
Alüminyum gümüş renkte sünek bir metaldir. Alüminyum genel özellikleri içerisinde iyi işlenebilirlik, iyi yüzey kalitesi, düşük özgül ağırlık, mükemmel dökülebilirlik, düşük gaz çözünürlüğü vardır. Kalıp tasarımında, alüminyumdaki katılaşma sırasındaki % 3,5 ile % 8,5 arasındaki hacimsel çekme oranı göz önüne alınmalıdır. Alüminyum döküm alaşımlarının dövme alaşımlara kıyasla mekanik özellikleri çok daha iyi olduğu bilinmekle birlikte grup içerisinde yer alan alaşımlarının bazıları ısıl işleme tabi tutularak daha üstün mekanik özelliklere kavuşturulabilmektedir (Polmear, 1981).

Alüminyum alaşımların dökülebilirlik özellikleri; akışkanlığın, sıcak yırtılma eğiliminin ve hacimsel çekme özelliklerinin değerlendirilebildiği özel numune kalıpları kullanılarak belirlenmektedir. Mekanik özellikler ise genellikle en iyi ısıl işlem uygulanabilen ötektik kompozisyonları içeren alaşımlardan elde edilmektedir. Ayrıca döküm alaşımlarının mekanik özellikleri ergitme ve döküm pratiklerinin sıkı kontrolü, empürite seviyesinin kontrolü, tane boyutu kontrolü, ötektik modifikasyon ile çok daha iyi karakterize edilmektedir. Kullanım alanı olarak bakıldığında ise genel kullanım amacıyla üretilen alüminyum döküm parçalarında alaşım seçimi; işlenebilirlik, korozyon direnci, sertlik ve mekanik değerler gibi karakteristiklere göre yapılmaktadır. Alüminyum alaşımlarına katılan elementler ve alaşıma kazandırdığı özellikler aşağıda gösterilmiştir (Polmear, 1981).

Çizelge 1.2. Alüminyum birliği standartlarına göre döküm alüminyum alaşımları  
( Taban ve Kaluç, 2006)

<b>Alüminyum Birliği No.</b>	<b>Başlıca Alaşım Elementi</b>
1xxx	Saf alüminyum(% 99'dan daha fazla)
2xxx	Bakır
3xxx	Silisyum+bakır veya magnezyum
4xxx	Silisyum
5xxx	Magnezyum
6xxx	Kullanılmayan seriler
7xxx	Çinko
8xxx	Kalay
9xxx	Diğer elementler

- 1XXX: Saf alüminyum. Genellikle elektrik ve kimya endüstrisinde kullanılmaktadır.
- 2XXX: Al-Cu alaşımları. Esas alaşım elementi bakırdır. Başta magnezyum olmak üzere diğer alaşım elementleri de bulunabilir, yüksek mukavemet istenen havacılık sektöründe yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.
- 3XXX: Al-Mn alaşımları. Esas alaşım elementi mangandır. Boru, sıvı tankları ve mimari uygulamalarda kullanılmaktadır.
- 4XXX: Al-Si alaşımları. Esas alaşım elementi silisyumdur. Termal genleşme katsayısı düşük, aşınma direnci ve korozyon dayanımı yüksek alaşımlardır. Kaynaklı yapılarda, levha üretiminde, otomobil parçaları üretiminde kullanılmaktadır.
- 5XXX: Al-Mg alaşımları. Esas alaşım elementi magnezyumdur. Magnezyum oranı arttıkça sertlik ve mukavemet artar fakat süneklik azalır. Denizel korozyona karşı direnci yüksek olduğundan, bu ortamda çalışacak yapıların imalatında kullanılmaktadır.
- 6XXX: Al-Mg-Si alaşımları. Esas alaşım elementleri magnezyum ve silisyumdur. Şekillendirilme kabiliyeti yüksek olan bu alaşımlar özellikle ekstrüzyon ile üretilen parçaların imalatında sıklıkla kullanılır.
- 7XXX: Al-Zn alaşımlar. Bakır esas alaşım elementi olup, magnezyum, krom ve zirkonyum ilave alaşım elementleridir. 7XXX serisi, alüminyum alaşımlarının en yüksek mukavemete sahip olanıdır. Uçak parçaları yapımı ve diğer yüksek dayanım istenen yerlerde kullanılır.
- 8XXX: Al-Li alaşımları: Esas alaşım elementi lityum olup, kalay eklentisi de yapılabilmektedir. Özellikle uçak ve uzay yapılarında kullanılmaya başlanan bu malzeme, iyi yorulma direnci ve iyi tokluk özelliklerine sahiptir. Fakat diğer Al alaşımları ile karşılaştırıldığında üretim maliyetleri yüksektir. Şekil 1.1.'de alaşım elementlerinin alüminyum alaşımına kazandırdığı özellikler görselleştirilmiştir.



Şekil 1.1. Alüminyum alaşımlarında yer alan elementler ve etkileri (Soy, 2011)

### 1.1.2. Alüminyum ve alaşımlarının talaşlı işlenebilirliği

Alüminyum alaşımları iyi bir işlenebilirliğe sahiptir. İşleme sıcaklıkları genelde düşüktür ve yüksek kesme hızlarının kullanımı söz konusudur. Bazı işlemlerde talaş kontrolü için özel önlemler gerekebilir. Kesme işlemi keskin, pozitif geometriler gerektirir ve genellikle alüminyum için özel geliştirilmiş takımlarla gerçekleştirilir, ancak alüminyum alaşımlarının birçoğunun modern, genel amaçlı takımlarla uygun bir şekilde işlenebilmesi de mümkündür. Doğru bir kayma işleminin gerçekleştirilmesi ve yığma kenar oluşumunun önüne geçilebilmesi için büyük talaş açılarının gereksinimi vardır (Çakır, 2006).

Takım ömrü, yüzey kalitesi ve talaş oluşumuna bağlı olarak işlenebilirlik genellikle iyidir. Kesme kuvvetleri düşüktür. Dövme ve döküm alaşımlar temperlenmiş halde tavlanmış hale göre daha iyi işlenirler. Bazı alaşımlarda yığma kenar çok yüksek hızlarda bile oluşabilir ve özellikle alüminyum işleme için tasarlanmamış uçların kullanılması halinde kötü yüzey kalitesinin elde edilmesine neden olabilir. Alüminyum işlemede dikkate alınması gereken en önemli problem talaş kontrolüdür.

Bazı durumlarda talaş kolay kırılmaz ve yüksek hızlarda talaşın kesme bölgesinden uzaklaştırılması özel önlemler gerektirir. Ötektik ve ötektik üstü bileşimlere sahip bazı silisyum içeren alaşımlarda aşırı serbest yüzey aşınması dikkat edilmesi gereken bir durumdur. Büyük, sert silisyum parçacıkları yüksek aşınma hızlarına neden olurlar. Bu alaşımların işlenmesi için elmas uçlu kesiciler geliştirilmiştir. Çok yüksek kesme hızları ve yüksek ana mil devirlerine sahip tezgahlarda yüksek talaş debileri bu alanda efektif olarak kullanılabilir. Kesme hızları genellikle tezgah ile sınırlıdır. Birçok alüminyum işleme uygulamasında özel olarak geliştirilmiş keskin, kaplamasız sinterlenmiş karbür takımlar mükemmel bir performans sağlarlar (Ensarioglu, 2007).

## **1.2. Metal Enjeksiyon (Basınçlı Döküm)**

Basınçlı döküm yöntemi sıvı metalin basınç altında, üretilmesi planlanan ürünün şekli verilmiş metal kalıba doldurulması esasına dayanan bir döküm yöntemidir. Metal kalıba (kokil) döküm yöntemine benzemektedir; aralarındaki fark kokil dökümde yerçekimi etkisiyle dolun, basınçlı dökümde ise basınç altında dolmasıdır (Brunhuber, 1963).

Önceleri kurşun ve kalay alaşımlarının basılmasıyla başlayan uygulamalar daha sonraları yüksek ergime sıcaklığı problemleri sebebiyle çinko alaşımlarına kaymıştır. 1915'te ise alüminyum ve alaşımları dökülmeye başlanmıştır. Daha sonraları ise alüminyumu, magnezyum ve bakır takip etmiştir (Reimer, 1981).

Basınçlı döküm, metal bir kalıbın hızlı dolmasını sağlamak için sıvı metale yüksek hız veren hidrolik enerjinin bir kaynağı ile karakterize edilir. Kalıp enjeksiyonun gerilmelerini absorbe eder, metal içindeki sıcaklığı dağıtır ve bir sonraki çevrim için hazırlıkta şekillendirilmiş parçanın çıkarılmasını kolaylaştırır. Hidrolik enerji, kalıp boşluklarını dolduran ve katılaştıran metal üzerinde hız, akış optimizasyonu ve kuvvet fonksiyonlarının kontrolüne izin veren bir sistem tarafından sağlanır.

### **Basınçlı döküm avantajları şöyle sıralanabilir:**

- Karmaşık şekilli parçalar rahatlıkla üretilebilir.

- Yüzey işlemleri çok az gerekir ya da hiç gerekmez.
- Daha ince kesitlerin dökülebilmesi malzeme maliyetlerini azaltmaktadır.
- Kalıplar basınç altında dolduklarından, diğer döküm yöntemlerine göre daha ince cidarlı ve boyutsal hassasiyeti fazla olan parçalar dökülebilir.
- Aynı kalıpla aynı anda çok sayıda parça dökülebildiğinden imalat hızı yüksektir.
- Al alaşımları gibi bazı alaşımlar bu yöntemle üretildiklerinde diğer döküm yöntemlerine göre daha yüksek mekanik özellikler gösterirler.
- Yöntemle birçok endüstri için parçalar üretilebilir.

#### **Yöntemin dezavantajları ise;**

- Dökülebilir parça boyutları tezgah boyutlarına göre kısıtlı olmaktadır.
- Tasarım aşamasında yolluk ve hava ceplerinin tasarımı çok önemlidir.
- Tezgah ilk yatırımları çok yüksektir.
- Ergime sıcaklıkları Cu ve alaşımlarının ergime sıcaklıklarından daha yüksek olan alaşımlar bu yöntemle üretilemezler.
- Kullanılan kalıp ve enjeksiyon sisteminin çelik olması nedeni ile bu yöntem ile en fazla 980°C'ye kadar ergitilmiş metal alaşımları dökülebilmektedir (Brunhuber, 1963).



Şekil 1.2. Bazı basınçlı döküm parçaları

### **1.2.1. Basınçlı döküm prosesinde etkili olan parametreler**

Basınçlı döküm yapılırken bir çok döküm değişkeninin (enjeksiyon hızları, enjeksiyon basıncı, kalıp sıcaklığı, enjeksiyon döküm sıcaklığı, soğutma hızı vb.) uygun değerlerde olması önemli bir husustur. Bu değerlerin herhangi bir parçanın enjeksiyonu yapılmadan önce bilinmesi güçtür. Enjeksiyonu yapılan metalin kalıp içinde dolaşımı ve diğer enjeksiyon değişkenleri nadir olarak belirli kurallara uygun olarak davranış gösterir. Gerçek imalatta istenilen en iyi sonuç alınıncaya kadar döküm işlemi genellikle değişiklik göstermektedir (Koru, 2007).

#### **1.2.1.1. Basınçlı döküm hızı**

Bir basınçlı döküm makinesinde enjeksiyon hızını kontrol etmek için üç temel metot vardır. Birincisi hidrolik enjeksiyon silindrine giren ve pistonun hareketini sağlayan akışkanın akış rejimini kontrol altında tutmak, ikincisi enjeksiyon silindirinden çıkan akışkanın akış rejimini kontrol altında tutmak ve üçüncü olarak da meme kesitini değiştirerek erimiş metalin kalıp içerisindeki akışını kontrol altında tutmaktır. Büyük veya küçük çapta hidrolik silindir kullanılarak enjeksiyon hızı artırılabilir veya azaltılabilir. Bu şekilde hem piston hızı hem de sıvı metal üzerine etki yapan kuvvetler değiştirilebilir. Enjeksiyon yapılırken meydana gelen hidrolik basınç ve enjeksiyon hızı arasındaki ilişkilerin geliştirilmesi ile döküm hatalarının sebepleri bulunabilir ve çözüm üretilebilir. Bu amaçla hidroliskop denilen basınç ve hızın zamana bağlı değişimini veren cihazlar geliştirilmiştir. Basınç hidroliskopu; hidrolik sistemin yüksek basınç veren herhangi bir yerine bağlandığında basınç değişimlerini veren donanımdır. Yol sensörleri; enjeksiyon sistemi üzerine monte edilerek, piston hareketlerinin zamana bağlı değişimi ile ilgili verilerin toplandığı donanımdır. Yol sensörünün sabit kısmı enjeksiyon silindrine, hareketli kısmı ise enjeksiyon silindirindeki piston koluna bağlanmıştır. Piston kolunun harekete başlamasından durmasına kadar olan konumları için üretilen değerler bir veri toplayıcı sistemi ile kaydedilir (Doehler, 1974).



Pistonun başlangıçtaki hızı yavaş strok olarak adlandırılan 1. faz hızındadır. Daha sonra hızlı strok fazında sıvı metal kalıp boşluğunu tamamen doldurur. Sıvı metalin yolluk boyunca hızı aşağıdaki denklem ile belirlenir.

$$V_a = \frac{A_c}{A_d} \cdot V_2 \quad (1.1)$$

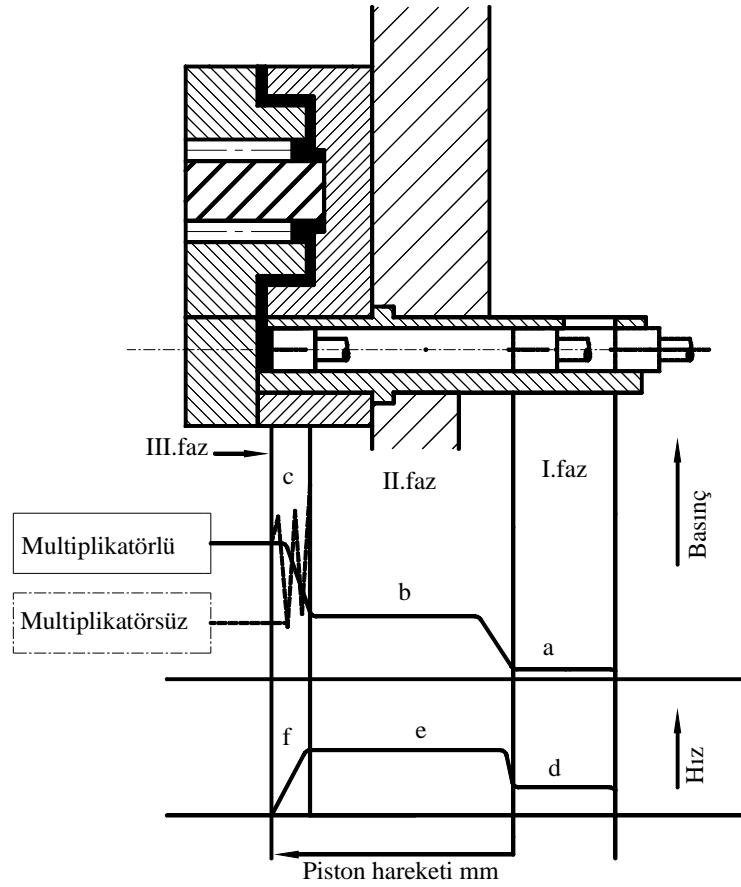
Alüminyum alaşımlarının dökümünde 30 – 60 m/s hız kabul edilebilir sınırlar içerisindedir. 30 m/s altındaki hız değerlerinde alüminyum alaşımının meme kısmına kaynama sıklığı artmaktadır. 60 m/s üstündeki hız değerlerinde alüminyum alaşımı kalıbı aşındırmaktadır.

### 1.2.1.2. Basınçlı döküm basıncı

Bir numune üretmek için basınçlı döküm makinesinde oluşan basınç hız değişimi Şekil 1.3'de verilmiştir. Eğrinin önemli kısımları a, b ve c harfleri ile gösterilmiştir. Metalin yolluk ve yolluk kanallarını doldurma bölgesini a kısmı yani 1. fazı ifade eder. Kalıp boşluğunun sıvı metal tarafından doldurulmasını b kısmı yani 2. fazı ifade eder. Kalıp metal ile doldurulduktan sonra enjeksiyon sisteminin metal üzerine uyguladığı yüksek basıncı c kısmı yani 3. fazı ifade etmektedir. 3. fazdan amaç katılan enjeksiyon parçasında oluşabilecek çekmelerin azaltılmasıdır. Yine aynı şekil üzerinde, hıza ait eğrinin önemli kısımları d, e ve f ile verilmiştir. Düşük değerlerde olan enjeksiyon d 1. Faz hızını, e yüksek değerde olan ikinci faz hızını ve f süper vuruşun yapıldığı metale maksimum basıncın uygulandığı ve hızın hemen hemen sıfır olduğu durum ifade edilmektedir (Doehler, 1974; Andreoni et al., 1996).

Kalıbın tamamen dolması yaklaşık olarak 30 ms sürer. Döküm, yolluk ve topuğun katılması tamamlanıncaya kadar 10 saniye süre ile yüksek basınç uygulanır. Metale uygulanan bu basınç değeri aşağıda verilen denklemle hesaplanabilir.

$$P_e = \frac{A_k}{A_c} \cdot P_m \quad (1.2)$$



Şekil 1.3. Basınçlı döküm makinesine ait basınç - hız değişimi  
(Andreoni et al., 1996)

Hesaplanan bu basınç değeri, kalıp içi basınç değeri olarak da bilinir ve hidrolik silindir ile vuruş silindirinin çapına ve de hidrolik akışkanının basıncına bağlıdır. Bu basınç değeri 3. faz basıncında değişim göstermektedir. Böylelikle iki farklı basınç değeri hesaplanabilir. Metalin iç basıncının oluşturduğu kuvvet kalıbın iki parçasını ayırma eğilimindedir. Bu kuvvet aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir

$$F_0 = P_e \cdot A_p \quad (1.3)$$

Eğer mengene açma kuvveti, mengene kilitleme kuvvetinden büyük olursa, mengene kalıp ayırma yüzeylerinden bir miktar döküm malzemesinin kaçmasına izin verir. Bu yüzden mengene kilitleme kuvveti açma kuvvetinden yüksek olmalıdır (Papai, 1994).

### **1.2.1.3. Basınçlı döküm kalıp sıcaklığı**

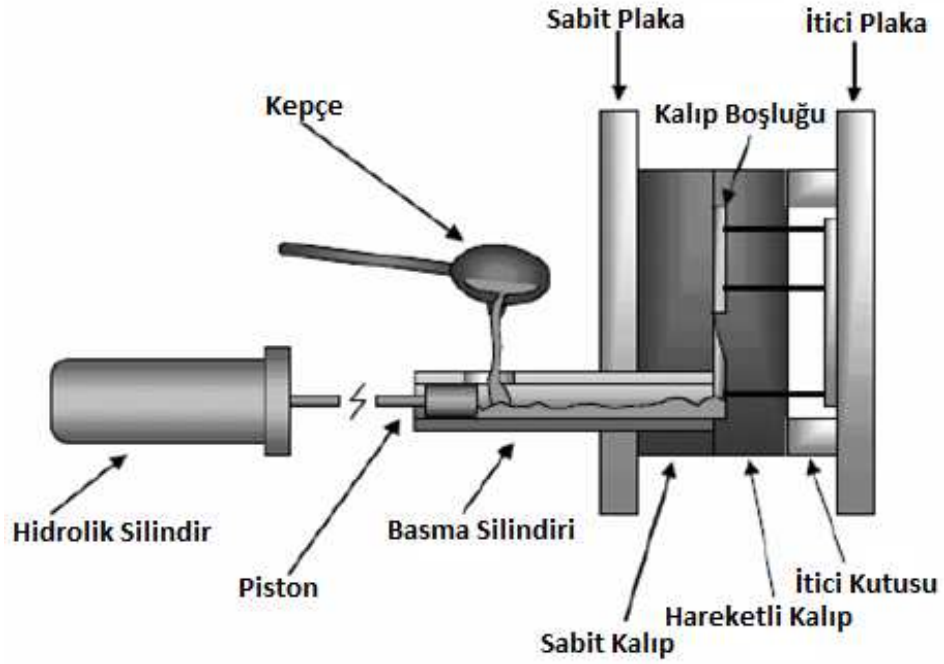
Basınçlı döküm prosesinde, enjeksiyon işleminin yapılabilmesi için kalıp sıcaklığının belirli sınırlar arasında tutulması gerekmektedir. Bu sınırlar enjeksiyonu yapılacak alaşıma göre değişiklik göstermekle birlikte 140 – 310 °C arasında değişmektedir. Basınçlı döküm kalıpları su, yağ veya elektrikli ısıtıcılarla ısıtılmaktadır (Koru, 2009).

Bazı durumlarda kalıp döküm yapılarak da ısıtılabilir. Kalıp ısısının belirli bir değerin altında olması kalıptan çıkan malzemenin kalitesini etkilemektedir. Kalıp soğuk olduğunda kalıp içine giren ergiyik kalıpla temas ettiğinde birden soğuyup katılaşmakta ve parçanın iç kısmında prozite oluşmaktadır. Bu şekilde dökülen parçalar proziteden dolayı dayanıksız olmaktadır.

### **1.2.2. Soğuk kamaralı basınçlı döküm yöntemi**

Soğuk kamaralı basınçlı döküm makinelerinde, ergimiş metal soğuk hazne silindirine bir delik vasıtasıyla aktarılır. Hidrolik olarak çalışan pistonun ileriye doğru hareketiyle, silindir üzerindeki delik kapanır ve kilitlemiş kalıp içerisine sıvı metal, yüksek basınç altında enjekte edilir (Şekil 1.4). Soğuk kamaralı makinelerle döküm yaparken, kalıp boşluğunu doldurması gerekenden daha fazla ergimiş metal, silindir içerisine doldurulur. Bu fazlalık sıvı metal, kalıp boşluğundaki alaşımı katılaşma süresince basınç altında tutmaya yardımcı olur. Fazlalık metal döküm parçası ile birlikte dışarı itilir ve daha sonra parçadan kesilerek ayrılır (Mert vd., 2010).

Soğuk kamaralı basınçlı döküm prosesinde dozajlama ünitesi makine dışındadır ve silindirin kalıbı doldurması için döküm süresince yağlanması gerekmektedir. Asal gazlar kullanılmasına rağmen, dozajlama sisteminin açıkta olması ve kullanılan yağlar nedeniyle dökülen parçalarda oksit ve diğer katışıkların görülmesi kaçınılmazdır (Erhard et al., 2009).

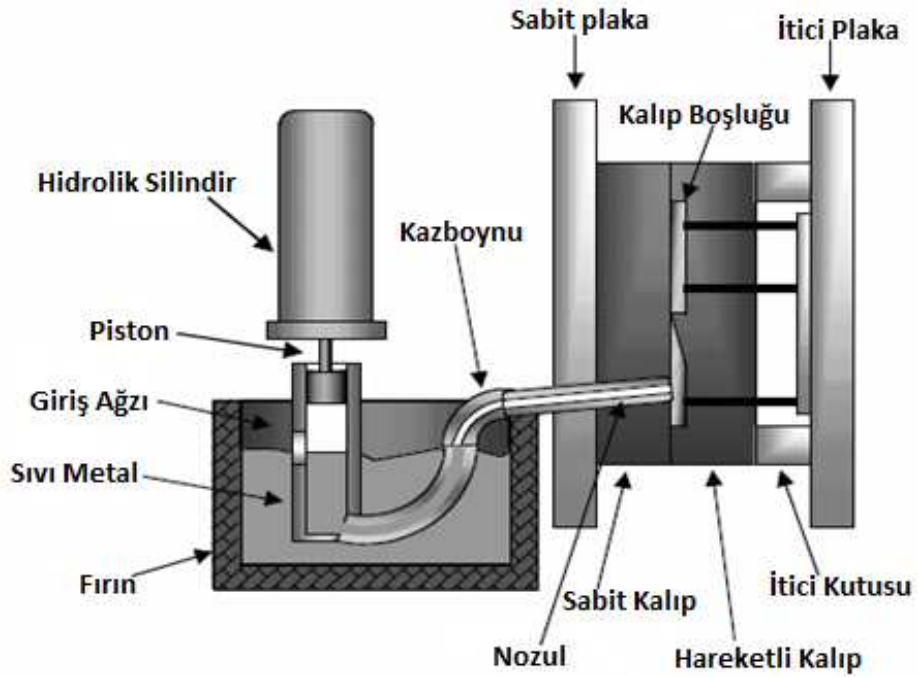


Şekil 1.4. Soğuk kamaralı basınçlı döküm işleminin şematik gösterim  
(Mert vd., 2010)

### 1.2.3. Sıcak kamaralı basınçlı döküm yöntemi

Sıcak kamaralı yöntemde (Şekil 1.5) enjeksiyon mekanizması, makineye bağlı bir fırın içerisine daldırılmış durumdadır. Pistonun yükselmesi ile birlikte, ergimiş metalin silindire dolmasına izin verecek şekilde bir açıklık ortaya çıkar. Piston aşağıya doğru hareket edince, sıvı metalin silindire aktığı açıklık kapanır. Daha sonra piston ergiyük metalin basınç altında, kazboynu ve nozuldan geçerek kalıbı doldurmasını sağlar. Metalin katılaşmasının ardından, piston aşağı konumdayken, kalıp yarılı açılarak bitmiş döküm parçası dışarı çıkartılır (Mert vd., 2010).

İnce cidarlı (0,8-1,0 mm) karmaşık parçaların üretilmesinde sıcak kamaralı basınçlı döküm makineleri, soğuk kamaralı basınçlı döküm makinelerine nazaran daha uygun ve daha ekonomiktir. Ancak sıcak kamaralı basınçlı döküm yönteminde tüm magnezyum alaşımları dökülemez (Erhard and Schlotterbeck, 2009).



Şekil 1.5. Sıcak kamaralı basınçlı döküm işleminin şematik gösterimi  
(Mert vd., 2010)

Sıcak kamaralı döküm prosesinde kazboynu denilen dozajlama ünitesi sürekli banyo seviyesinin altında tutulduğundan ergiyik içerisindeki oksit gibi katışıklar dökülen parçalara bulaşmaz.

### 1.3. Basınçlı Döküm Ürünlerine Uygulanan Talaşlı İmalat İşlemleri

Enjeksiyon yöntemiyle üretilen parçalara birçok talaş kaldırma işlemi uygulanır. Bunlardan bazıları parçayı uygun parça haline getirmek için olanlarla birlikte, genelde son talaş işlemi ile parçanın yüzey pürüzlüğü ve kalıp tasarımından kaynaklanan hataları gidermek için olabilir.

Talaşlı imalat alanında kullanılan alüminyum malzemelerin birçoğu alaşımlıdır. Saf alüminyumun oldukça zayıf ve sünek bir malzeme olmasından dolayı kullanım alanı sınırlıdır (Çakır, 2006). Genellikle saf alüminyumun işlenmesi, çoğu alüminyum alaşımlarından daha zordur. Saf alüminyumun işlenmesinde uzun tel talaşlar çıkar ve onun abrasiv özelliği nedeniyle, kesici takım üzerindeki talaştan daha serttir. Çoğu alüminyum alaşımları, yüksek kesme hızlarında işlenerek, iyi yüzey kalitesi ve uzun

takım ömrü verirler. Genellikle, sertleştirilmiş ve temperlenmiş alaşımlar tavllanmış alaşımlardan daha kolay işlenir ve daha iyi yüzey meydana getirirler. Silisyum içeren alaşımları işlemek daha zordur; çünkü talaş kaymadan ziyade yırtılır ve bu nedenle kötü yüzey elde edilir (Şahin, 2001).

Saf Al işlendiğinde talaş sıvanması oluşmaz; fakat çok yüksek kesme hızı dışında kötü yüzey kalitesi oluşur. Çoğu Al alaşımlarında birden fazla faz ihtiva ettiğinden düşük hızlarda BUE meydana gelir. Yüksek hızlarda, örneğin 60-90 m/dak. üzerinde BUE oluşmaz. BUE' nin oluştuğu yerde takım kuvvetleri düşük, talaş ince; fakat yüzey pürüzlülüğünün kötü olma ihtimali vardır. BUE elmas takımlar kullanılarak azaltılabilir veya yok edilebilir.

Magnezyum gibi Al ve alaşımlarının ergime noktası (659 °C) düşük ve kesme esnasında oluşan sıcaklıklar ısı-ışlem görmüş YHÇ takımlarında yapışma zarar verecek boyutta yüksek değildir. Pek çok Al ve alaşımları 600 m/dak. kesme hızında karbürlü takımlarla ve 300 m/dak. kesme hızında da YHÇ takımları ile işlenerek iyi takım ömrü sağlanır. Yüksek takım aşınması sadece birkaç Al alaşımında ciddi problem oluşturur. Örneğin, %17 - %23 Si içeren Al-Si alaşımlarında, ötektik yapıda ince dağılmış Si kristallerine ilaveten, 70 µm büyüklüğünde Si taneleri ve kristalleri ihtiva ederler ve bunlar karbürlü takımlarda bile aşınma miktarını hayli artırırlar. %11 - %14 Si içeren ötektik alaşımlar, karbürlü takımlarda 300-450 m/dak. hızla iyi takım ömrüyle işlenebilir. Fakat Si tanelerinin mevcudiyeti ile kesme hızı 100 m/dak.'ya kadar düşer. Büyük Si parçaların kötü etkisi kesici takım üzerinde oluşan gerilme ve sıcaklığın neticesidir.

Alüminyumun işlenebilme problemlerinden birisi de talaşın kontrol edilmesi olup, bu yüzey merkezli kübik yapıya sahip olan alüminyumda kırılma öncesi aşırı plâstik deformasyona maruz kalmasından kaynaklanmaktadır. Al ve alaşımları kesildiğinde talaşlar uzun, kalın, dayanıklı ve kolaylıkla parçalanmaz. Bu talaş şekli takımlara dolaşabilir ve talaşların temizlenmesi için işlemin durdurulması gerekir. Talaş açısı, yaklaşma açısı veya talaş kırıcılar tasarlanarak kesme işleminde iyileşme sağlanabilir. Diğer bir yaklaşım da, alaşımların bileşiminin ufak talaş oluşması veya

daha kolay kırılabilen talaşlar elde etmek için modifiye edilmesidir. Standart Al içine kurşun, bizmut veya kalay ve antimon %0,5 kadar katılır. Bu alaşım elementleri talaşların küçük parçacıklar halinde kolayca kırılmasını sağlar. Bu ergime noktası düşük metaller, alüminyum içinde katı çözelti oluşturmaz ve yapıda ince küresel olarak dağılmış durumdadır. Bunlar, talaşı oluşturmak için kayma düzleminde geçerken alüminyumun sünekliğini azaltır.

Alüminyuma alaşım elementleri katılmasının esas amacı, talaş oluşumunu kolaylaştırmak olmuştur. Uygulamalarda alüminyum alaşımları, YHÇ, karbürler yanında seramik takımlar ve ÇKE takımlarla işlenmektedir. Ancak daha ekonomik talaş kaldırma işlemini gerçekleştirmek için ÇKE takımların tercih edilmesi gerekir. Örneğin, ÇKE uçlu takımlarla sertliği 50-150 BHN olan Al alaşımları işlendiğinde talaş kaldırma miktarında %40 artış olduğu Çizelge 1.3.'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.3. Sertliği 50-150 BHN olan Al alaşımlarının işlenmesi (Şahin, 2001)

Takım Cinsi	Kesme Hızı(m/dak)	İlerleme Miktarı(mm/dev)	Talaş Derinliği(mm)	Talaş Hacmi(cm <sup>3</sup> /dak)
ÇKE Uçlar TiN (PVD)	762	0,018	3,30	1,149
Kaplamalı Karbürler	549	0,018	3,30	0,827

Alüminyumun frezelenmesinde talaş kalınlığı da önemlidir. Genellikle yüksek kesme hızları söz konusu olduğunda ilerleme hızı düşme eğilimi gösterir ki bu durum kesme işlemi yerine aşırı bir ezme işleminin gerçekleşmesine neden olur. Bunun sonucunda ortaya çıkan aşırı ısınma takım ömrünü azaltır (Çakır, 2000).

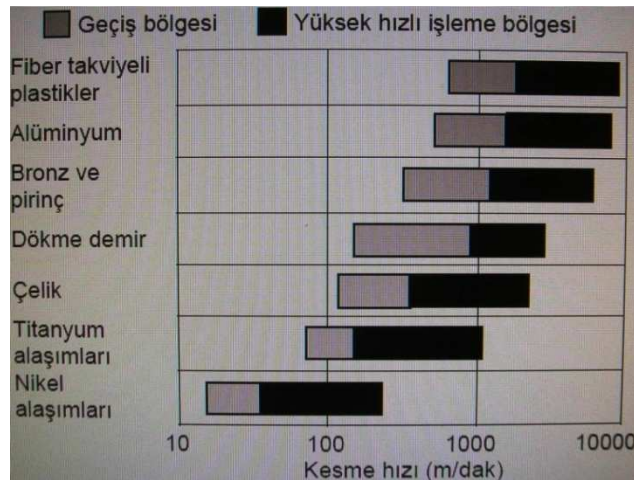
### 1.3.1. Hassas tornalama

Son bitirme işlemlerinde ölçü, tolerans ve yüzey pürüzlülüğü ile işleme operasyonunun oluşturduğu yüzeyin tipi ve onun karakteristiklerinin üretimdeki önemi büyüktür. İşleme faktörlerinin tam olarak optimizasyonu, yüksek üretim kapasitesi, düşük kesme kuvvetleri, iyi bir bitirme yüzeyi, takım ömrü, güç tüketimi

ve ölçü tamlığı gibi ideal sonuçlar geleneksel üretim yöntemleri ile elde edilebilir (Thakur, 2008; Rahman, 2006).

Her ne kadar yüzey pürüzlülüğü üzerinde en önemli parametreler ilerleme ve kesici takım uç yarıçapı olsa da iyi bir yüzey elde etmek için kesme hızının artırılmasından faydalanılabilir. Kesme hızının artırılması ile yüksek talaş kaldırma oranı, düşük maliyet, düşük kesme kuvvetleri, ölçü tamlığının artması ve iyi bir yüzey elde edilebilir. İş parçası malzemesine bağlı olarak oluşturulan kesme hızları Şekil 1.6'da verilmiştir. Burada geçiş bölgesi geleneksel kesme hızlarının biraz üzerinde yer alan yüksek hızlı kesme sınıfına giren kesme hızı aralığı verilmiştir (Savaşkan, vd., 2004).

İdeal sonuçların elde edilebileceği işleme şartlarının belirlenebilmesi için öncelikle işleme performansını temsil eden özellikler tespit edilir ve bunu etkileyen faktörler incelenir. Daha sonra faktörlerin nihai sonuç üzerindeki etkilerinin ve uygun işleme şartlarının belirlenmesine yönelik deneyler yapılır. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar değerlendirilerek uygun parametreler tespit edilebilir. Tatmin edici sonuca ulaşmak için farklı tercihler olabilir. Bunlar mümkün olan tüm kombinasyonların denenmesi ile yüksek maliyet ve zaman kaybına yol açabilir; bazı durumlarda uygulanması mümkün olmayabilir ya da sadece gerekli deneyleri yaparak sonuca ulaşılabilir. Ayrıca sonuçların analizinde uygun istatistiksel yöntemlerin kullanılması gerekmektedir; çünkü gerçekleştirilecek her deney bir belirsizlik ve hata payı içermesi doğaldır (Savaşkan, vd., 2004).



Şekil 1.6. Değişik malzemelerin yüksek kesme hızı bölgeleri (Thakur, et al., 2008)



### **1.3.2. Frezeleme**

Frezeleme, prensip olarak dönen çok uçlu bir takım ile iş parçasının doğrusal hareketi sonucunda gerçekleştirilen bir talaş kaldırma işlemidir. Günümüzde frezeleme işleminde takım hemen hemen her yönde iş parçasına doğru hareket edebilmektedir. Frezelemede kullanılan kesici takımın birçok kesici kenarı vardır ve her kenar belirli bir miktar talaş kaldırma kapasitesine sahiptir. Frezelemenin avantajları yüksek işleme verimliliği, iyi yüzey kalitesi, hassasiyet ve şeklin oluşturulmasındaki esnekliktir. Frezeleme genellikle düzlem yüzeylerin, dik köşelerin ve kanalların işlenmesi amacıyla kullanılan bir işlemdir (Çakır, 2000).

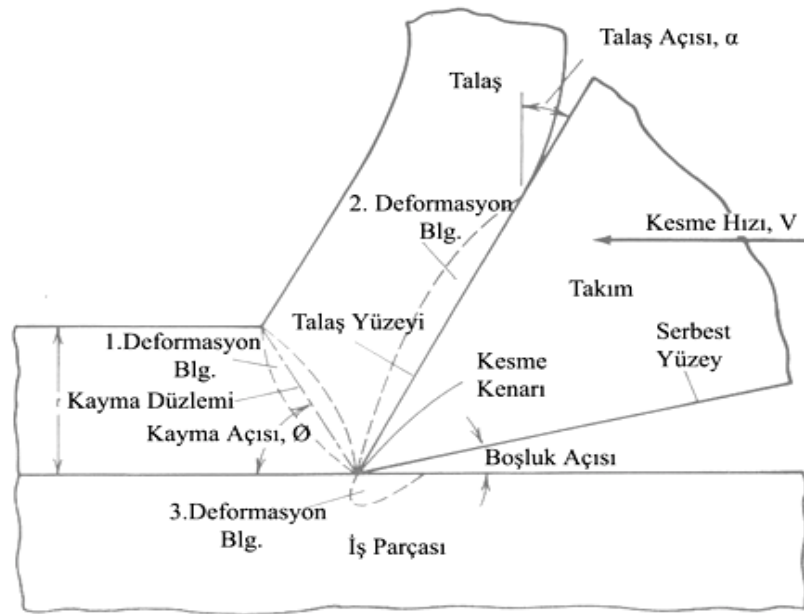
Frezeleme işlemi, kullanılan tezgah çeşitliliği, iş parçası hareketleri ve takım tipleri olarak diğer temel işleme yöntemlerinden daha fazla seçeneklere sahiptir. İş parçası ve kesici takım, bağımsız ya da birleşik olarak bir diğerine göre bağıl hareketler yapabildiği için, frezelemede çok değişik hareketler yapılabilir. Frezelemede çevresel frezeleme ve alın frezeleme olmak üzere iki ana yöntem olup bunlara ek olarak iş parçasının ya da kesici takımın tipine göre benzer birçok yöntemler de vardır (Kırıcı, 1998).

### **1.4. Talaşlı İmalat Mekaniği ve Talaş Kaldırma Teorileri**

Talaş kaldırma belirli boyut, şekil ve yüzey kalitesine sahip bir parça meydana getirmek için ucu keskin bir takımla ve güç kullanarak, iş parçası (hammadde) üzerinden malzeme kaldırma işlemidir. Ayrılan malzeme tabakasına talaş denir. Fiziksel bakımdan talaş kaldırma işlemi, elastik ve plastik şekil değiştirmeye dayanan, sürtünme, ısı oluşumu, talaşın kırılması ve büzülmesi, işlenen parçanın yüzeyinin sertleşmesi, takım ucunun (ağzının) aşınması gibi olaylar meydana gelen karmaşık bir fiziksel olaydır (Akkurt, 1999).

Bir parçanın üzerinden belirli bir malzeme tabakası kaldırılması için takımın o malzemeye nüfuz etmesi gerekir. Bu da, ancak takıma uygulanan kuvvetlerin yeterli ve takım malzemesinin parça malzemesinden daha sert olması halinde gerçekleşir. Ayrıca takım ucunun kama şeklinde yapılması, olayı kolaylaştıran bir etkidir.

Takımın parçadan ayrılma şekli, parça malzemesinin özellikleri ve işleme koşulları farklı şekillerde gerçekleşir. Buna göre çeşitli talaş şekilleri meydana gelir (Wang, 2001). Esasen talaşın iş parçasından ayrılması bir mekanik kopmadır; bu kopma burada makaslama (kesme) şeklinde gerçekleşmektedir. Genelde kopma sünek ve gevrek olmak üzere iki çeşittir. Sünek kopmada malzeme kopmadan önce büyük plastik şekil değiştirmeler göstermektedir. Sünek şekilde kopan malzemelere sünek malzemeler denilmektedir. Gevrek kopmada kopmadan önce çok az veya hiç bir plastik şekil değiştirme meydana gelmez. Bu malzemelere gevrek malzeme denilmektedir. Buna göre işlenen malzemenin cinsine göre talaş kaldırma olayı şu şekilde meydana gelir. Sünek malzemelerde takımın kesme ağzının önünde bir plastik şekil değiştirme (kesme) bölgesi meydana gelmekte ve bu bölgede malzeme talaş şeklinde sürekli olarak iş parçasından ayrılmakta ve kopma meydana gelmektedir. Bununla beraber konuyu teorik açıdan basitleştirmek için talaşın ayrılmasının bir bölge içinde değil Şekil 1.7.'de gösterildiği gibi kesme düzlemi denilen bir düzlemde meydana geldiği varsayılır. Burada takımın kesme ağzının önünde aşırı plastik şekil değiştirme bölgesi oluşmakta ve malzeme talaş şeklinde hem iş parçasından ayrılmakta hem de talaş akışından kopmakta yani kesintili bir talaş tipi oluşmaktadır (Akkurt, 1999).



Şekil 1.7. Talaş, iş parçası ve kesici takım ilişkisi (Kendall, 1991)

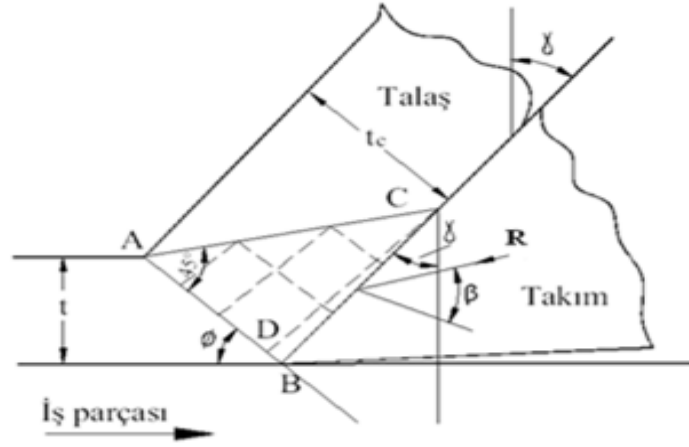
### 1.4.1. Lee ve Shaffer yaklaşımı

Bu yaklaşımda, plastisite teorisi ortogonal kesme işlemine uygulanmıştır. Plastisite teoremini kullanarak kesme probleminin incelenmesinde gerilme altındaki iş malzemesinin davranışları ile ilgili varsayımlar şöyle özetlenebilir:

- Malzemenin rijit plastik olduğu elastik uzamanın ihmal edildiği akma noktası geçtikten sonra deformasyonun sabit bir gerilmede oluşacağını ve rijit plastik malzemenin gerilim-uzama eğrisinin düz doğru olduğunu,
- Malzemenin davranışı deformasyon miktarından bağımsız olduğunu,
- Deformasyon esnasında artan sıcaklık etkisinin ihmal edilebileceğini ve atalet etkilerinin ihmal edilebileceği varsayılır.

Bu yaklaşımda, kesme işleminde çok yüksek uzamalar ve uzama miktarları olduğu için talaş kaldırma esnasında iş malzemesinin gerçek davranışlarına oldukça yaklaşılmıştır. Çoğu metallerde deformasyon sertleşmesi oranının artan uzama miktarı ile hızla azaldığı bilinmekte ve yüksek uzama etkisi de maksimum gerilmeye bağlı olarak metalin akma dayanımını artırmaktadır. Bu nedenle, iş malzemesinin gerilme-uzama eğrisi yaklaşık olarak bir doğru oluşturur. Plastisite teoremi ile bir problemin çözümünde kayma hattı alanının oluşması gereklidir. Bu alan iki ortogonal çizgi ailesinden oluşur ve maksimum kayma gerilmesi de iki ortogonal doğrultuda plastik bölge içindedir. Bu yaklaşımda, mükemmel plastik malzemelerin kayma hattı Şekil 1.8'de gösterildiği gibi, paralel düz doğru ailesinden oluşan talaşta belli bir kayma doğrusu alanın mevcut olduğu varsayılmaktadır.

Burada bileşke kuvvet ( $R$ ), kayma açısı ( $\phi$ ), normal açı ( $\gamma$ ), sürtünme açısı ( $\beta$ ), deforme olmamış talaş kalınlığı ( $t$ ) ile gösterilmektedir. Kayma gerilmesi ve maksimum değeri AC doğrusu boyunca. Talaş kaldırma işleminde iş parçası malzemesinin fiziksel özelliklerinde hiçbir değişme olmaz. Hemen hemen bütün gevrek iş parçaları mükemmel plastik özelliklerinden ziyade elasto-plastik özelliklere sahip olduğundan bu yaklaşım da sınırlı uygulamalara sahip bulunmaktadır (Lee and Shaffer, 1951).



Şekil 1.8. Ortogonal kesme için Lee ve Shaffer'ın kayma hattı alanı teorisi  
(Lee and Shaffer, 1951)

AC serbest yüzey olarak dikkate alınabilir ve maksimum kayma gerilmesinin yönleri her zaman  $\pi/4$ 'de serbest yüzeyle karşılaşacağı için CAB açısı  $\pi/4$ 'e eşittir. Son olarak da takım-talaş ara yüzeyine etkiyen gerilmelerin üniform olduğu varsayılırsa BC sınırında esas gerilmeler bu sınırı,  $\beta$  ve  $\beta+(\pi/4)$  açılarında karşılar. Maksimum kayma gerilmesinin doğrultuları temel gerilme doğrultularına göre  $\pi/4$  açıda oluşur. Bundan dolayı BCD açısı da  $(\pi/4)-\beta$ 'e eşit olur. Şekil 1.8'den;

$$\phi + \frac{\pi}{4} + \beta - \gamma_{ne} = \frac{\pi}{2} \quad (1.4)$$

eşitliği yazılabilir. Böylece de;

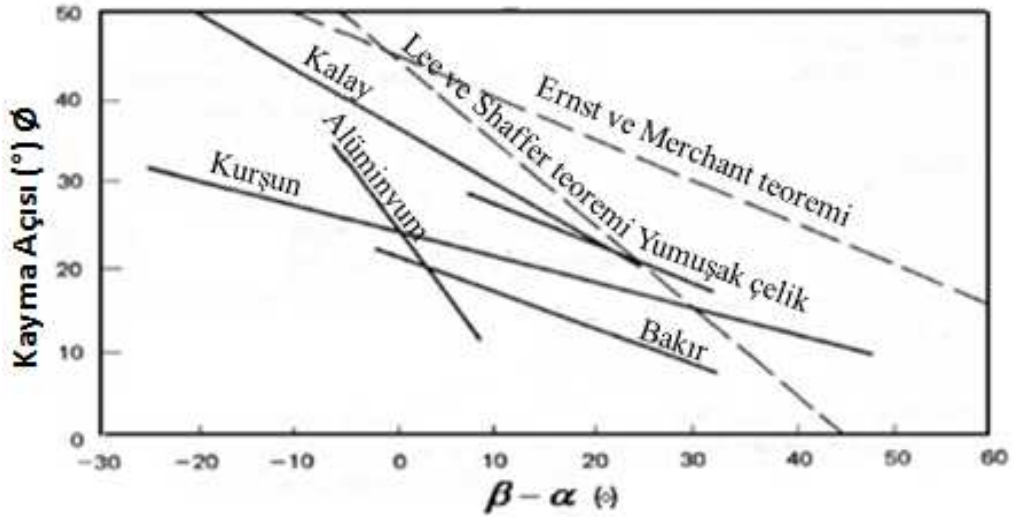
$$\phi + \beta - \gamma_{ne} = \frac{\pi}{4} \quad (1.5)$$

şeklinde elde edilir.

Yukarıda açıklanan teoriler ve deneysel çalışmaların karşılaştırılması Şekil 1.9' da gösterilmiştir bu grafikte kayma açısına ( $\phi$ ), karşılık  $\beta - \gamma$  değişimi, Ernst ve Merchant, Lee ve Shaffer'ın elde ettiği ilişkilerin düz doğrular şeklinde olduğu görülmektedir. Bu grafikten test edilen farklı malzemeler için her iki teori de deneysel sonuçlarla nicelikli uyuma yaklaşılmadığı ancak bu teoriler deneysel

sonuçlarla nitelikli karşılaştırma yapıldığında her iki teori ve deneysel sonuçlarında  $\phi$  ve  $\beta - \gamma$  arasında doğrusal bir ilişkinin var olduğunu göstermektedir ki  $\beta - \gamma$ 'daki bir azalma her zaman  $\phi$  açısında bir artış gösterir. Bu nedenle verilen bir talaş açısı ( $\gamma$ ) ve takım yüzeyindeki ortalama sürtünme açısı ( $\beta$ )'da azalma kayma alanındaki azalmaya karşılık kayma açısını artırır (Lee and Shaffer, 1951).

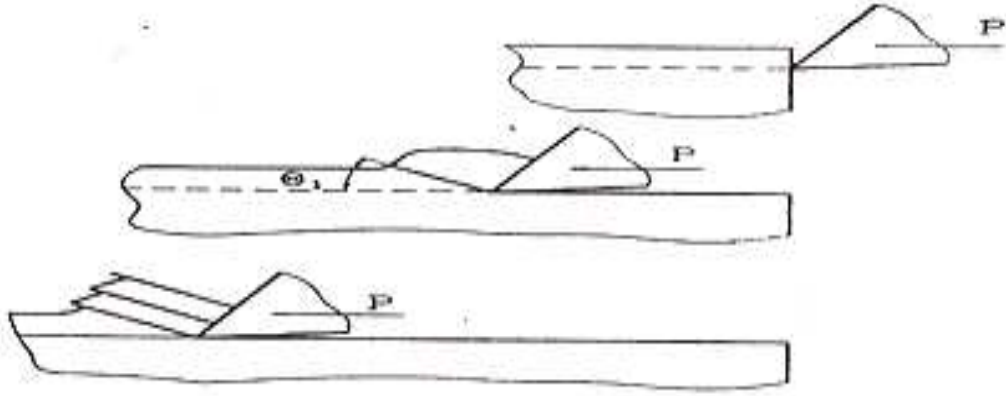
Ernst ve Merchant, Lee ve Shaffer'ın kayma açısı teorileri ve Şekil 1.9'daki deneysel sonuçları, talaş kaldırma işleminde en önemli faktörün takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünme olduğunu göstermektedir. Takım yüzeyinde ortalama sürtünme katsayısı değerleri ile takım-talaş sürtünme davranışları önemlidir. Bu nedenle, talaş kaldırmada takım ve talaş arasında sürtünme davranışlarının detaylı olarak dikkate alınması gerekir (Lee and Shaffer, 1951).



Şekil 1.9. Farklı teorilerin ve deneysel sonuçların karşılaştırılması

#### 1.4.2. Timme yaklaşımı

Bu modele göre kesici takım iş parçası içine nüfuz etmeye, onun direncini yenmeye başlar. Batma direnci iş parçası malzemesinin sıkıştırılmış alanını orantılı olarak büyütür ki bu da batma kuvvetinde bir artış sağlar. Kuvvetin, kayma açısında düzlem boyunca hareket eden iş parçası malzemesinden küçük parçalar çıkararak kırarak şekilde, yeterli derecede büyük oluncaya kadar bu işlem devam eder. Batma kuvveti ani olarak azalır ve bu işlemler bir çevrim olarak devam eder.



Şekil 1.10. Timme yaklaşımı ile talaş oluşum modeli (Şahin, 2001)

### 1.4.3. Merchant yaklaşımı

Bu yaklaşım, talaş kesici takım önünde kesici kenardan iş parçası yüzeyine uzanan yaklaşık tek bir düzlem ile sınırlanan kayma işlemi ile oluşacağını dikkate alır (Şahin, 2000).

Merchant teorisi, en eski ve belki de en iyi bilinen kayma açısıyla sürtünme açısı ( $\beta$ ) ve talaş açısının ( $\gamma$ ) ilişkisini veren aşağıdaki ifade ile açıklanabilir.

$$\phi = \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} (\beta - \gamma) \quad (1.6)$$

### 1.5. Talaş Kaldırmayı Etkileyen Faktörler

Yüksek verimle üretim yapabilmek için üretim esnasında optimum işleme şartlarının sağlanması gerekir. Talaş kaldırma işleminde üç değişken olan; kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliğinin takım ömrüne ve talaş kaldırma miktarına önemli etkisi vardır. Talaş kaldırma işlemi; elastik ve plastik şekil değiştirmeye dayanan, sürtünme ve ısı oluşumu, talaş oluşumu ve talaş kırılması, iş malzemesi yüzeyinin sertleştirilmesi ve kesici takım ucunun aşınması ve kırılması gibi olayların meydana geldiği karmaşık fiziksel bir olaydır. Her hangi bir iş malzemesi yüzeyinden belirli miktarda malzeme tabakasının kaldırılması için kesici takım olarak adlandırılan bir kalemin o malzeme içine batması gerekir. Bunun içinde takım olarak kullanılan

kesicinin, işlenecek iş parçasından sert, dayanıklı olması ve takıma kafi derecede bir kuvvetin uygulanması ile yine kesme olayının gerçekleşmesi için kesici takımın belirli bir takım geometrisine sahip olması ve belirli kesme şartlarının uygulanması lazımdır. Tornalama da yapılan kesme işleminin sürekliliğinden ve talaş kaldırma işlemini en iyi şekilde temsil etmesinden dolayı, tek-noktalı kesme işlemi ele alınmaktadır. Aynı şekilde diğer takım tezgahlarında da benzer olaylar daha basit olarak ortaya çıkmaktadır (Böhler, 1990).

### 1.5.1. Takım geometrisi

Görünürde birbirinden çok farklı olmalarına rağmen, tüm takımlar kesici ve tutturma olmak üzere iki kısımdan meydana gelirler. Keskin uç, ağız veya diş denilen takımların kesici kısmı tüm takımlar için geçerli olmak üzere ortogonal bir tarzda temsil edilebilir. Bu haliyle kama şeklinde olan takımın kesici kısmı, talaşın temas ettiği talaş yüzeyi ve parçanın işlenmiş yüzeyine dönük serbest yüzey ile sınırlıdır. Bu iki yüzeyin kesişmesi takım ucunu meydana getirir. Parçanın işlenmiş yüzeyi ve ona dik bir doğru, koordinat sistemi olarak seçilirse, bu koordinat sistemine göre takımın kesme özelliğini tayin eden; dikey doğru ile talaş yüzeyi arasında talaş açısı ( $\gamma$ ), kesici kısmın kama açısı ( $\beta$ ) ve serbest yüzey ile parçanın işlenmiş yüzeyi arasında serbest açı ( $\alpha$ ) vardır. Ayrıca eğik kesmede takım ağzının kesme hızı doğrultusu ile yaptığı ve eğim açısı ( $\lambda$ ) denilen bir açı daha vardır. Bu açı dik kesmede  $0^\circ$  dir. Bu açıların en önemlisi kayma açısı olup, kayma düzlemi ile takımın hareket yönü arasındaki açıdır. Kayma açısı değiştiği zaman talaş kalınlığını değiştirdiği için bunun önemi büyüktür. Boşluk açısı; kesici takım ucunun ve taban alt yüzeyinin işlenecek iş parçasına sürtünmesini önlemek amacıyla verilir. Bu açının değeri genelde  $5^\circ$ - $8^\circ$  arasında olmakla beraber kesici takım iş parçasına göre de değişmektedir. Kama açısı; kesici takım ucunun kesme özelliğinin sağlanması yani batmanın kolaylaştırılması için verilmekte olan bu açının değeri hem takım malzemesi hem de iş malzemesi çifti için deneyle tespit edilen tecrübeyle sağlanır. Ancak bu açının değişmesi talaş açısını da değiştirir ve dolayısıyla bu açı talaş açısındaki değişmeye bağlıdır (Akkurt, 1999).

Talaş açısı; talaşın kesici takım yüzeyinden akarak uzaklaşmasını sağlayan açı olup, bu açı genellikle pozitif olarak verilir. Ancak bazı hallerde özellikle seramik takımla kesme yapıldığında, talaş açısının değeri negatif olabilmektedir. Bu dik kesme işleminde boşluk açısı, kama açısı ve talaş açıları toplamı her zaman 90° olmalıdır (Akkurt, 1999).

### 1.5.2. Kesme hızı

Kesme hızı, talaş kaldırma esnasında, kesici takımın dönen iş parçası üzerinden dakikadaki metre cinsinden aldığı yol olup, tornalama ile talaş kaldırma işleminde

$$V = (\pi \cdot D \cdot n) / 1000 \text{ (m/dak)} \quad (1.7)$$

olarak ifade edilir.

Burada;  $V$ : Kesme hızı (m/dak),

$D$ : İşlenecek iş parçası çapı (mm),

$n$ : İş parçasını işlemek için kullanılan tezgaha verilmesi gereken devir sayısını (dev/dak.)' göstermektedir.

Talaş kaldırma esnasında uygulanması gereken kesme hızı; işlenecek malzemeye, kesici takım malzemesine, talaş derinliğine, ilerleme miktarına, soğutma sıvısına ve tezgah rijitliğine bağlıdır. Her iki kesme konumunda da kesme hızı dış çapa göre verilir. Ancak özellikle alın tornalama işleminde, kesici takım dış çevreden iç merkeze doğru ilerleyerek kesme yaptığından dolayı kesme hızı merkezde 0 (sıfır) olurken, dış çap işlerken ise maksimum değere sahip olmaktadır. Bu nedenle iş parçalarının işlenmesinde, iş parçası merkezine yaklaştıkça daha kötü yüzey elde edilir. Bunu önlemek için özellikle büyük parçaların üretiminde, devir kontrollü alet kullanılması gibi gerekli tedbirler alınmalıdır. Aksi halde farklı kalitede parçası üretilmiş olacaktır. Kesmede genel kural olarak, ideal kesme şartlarının belirlenmesinde düşünülmesi gereken en önemli faktör, önceki deneylerden yararlanılarak, uygun kesme hızı seçiminin yapılmasıdır. Kesme hızı oldukça düşük



seçilirse az parça üretilir ve çok düşük kesme hızlarında takım ucunda, talaş sıvanması meydana gelebilir. Bu durum takım ömrünü azaltır; ancak kesme hızı çok yüksekse, takım hızla bozulacak ve sıkça takım değişikliği gerekecektir. Bu nedenle herhangi bir talaş kaldırma işlemi için optimum kesme hızı, kesici takım ömrü ve talaş kaldırma miktarını dengeleyecek şekilde seçilmelidir (Şahin, 1999).

### 1.5.3. Kesme kuvveti

Talaş kaldırma esnasında oluşan kesme kuvvetleri, kesme performansına ve birim parça maliyetine doğrudan etki etmektedir. Bu sebeplerle yıllardır araştırmacıların sürekli ilgisini çekmiş, pek çok araştırma yapılmış ve halen de yapılmaktadır. Takım malzemelerindeki gelişmeler, özellikle 1930'lu yıllarda sert karbürlerin kullanılmaya başlanması ile birlikte, kesme hızları artmış, daha kaliteli yüzeyler elde edilmeye başlanmıştır. Bilimsel gelişmelerle birlikte, talaş kaldırma olayı operatörün kişisel tecrübelerine dayanan ampirik seviyeden bilimsel seviyeye çıkarılmıştır. İmalatın uzun ömürlü, kaliteli, emniyetli ve ekonomik olabilmesini etkileyen tüm kuvvetlerin hassas biçimde belirlenmesi gerekir. Bu sebeple kuvvet ölçümlerinin sağlıklı yapılması çok önemlidir.

Uygulamalı mekanik prensiplerine göre metallere talaş kaldırmayı analiz etmek için şu kabuller yapılabilir (Şeker, 1997).

- Kesme yüzeyi, kesici kenarından yukarı doğru uzanan düzlemdir.
- Takımın keskinliği en iyi düzeydedir ve takımın boşluk açısı boyunca iş ile kesici yüzeyleri arasında temas yoktur.
- Kesme kenarı hareketin yönüne dik olarak uzatılan bir doğrudur (dik-ortogonal kesme) ve işin hareketi ile düzlem oluşturur.
- Talaş her iki yüzeye akmaz.
- Kesme derinliği daima sabit kalır.
- Kesici kenar genişliği, iş parçasının kesilen genişliğinden daha büyüktür.
- İş parçası takıma göre bağlı ve düzenli bir hızla hareket eder.
- Sürekli talaş, sıvanma (BUE) oluşmadan meydana gelir.

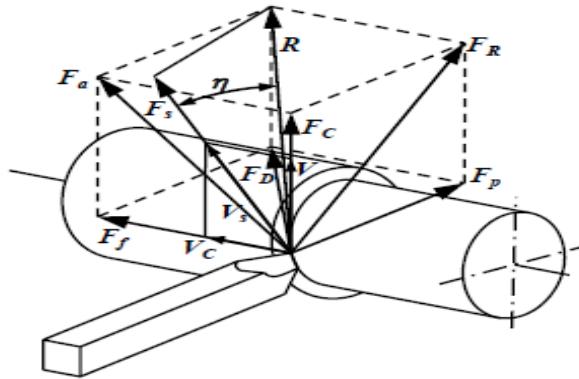
### 1.5.3.1. Kuvvet bağıntıları

Kuvvet bağıntılarını çıkarabilmek için, talaş serbest olarak, malzemeden izole edilmiş gibi dengede düşünülerek incelenir. Takım yüzeyinde elde edilen kuvvet bileşenleri, takım yüzeyindeki sürtünme katsayısının ve sürtünme kuvvetinin hesaplanmasına da imkân sağlar. Şekil 1.11’de ortogonal kesmede oluşan kuvvetleri ve hesaplamalarda kullanılan hesaplama üçgenleri görülmektedir.



Şekil 1.11. Dik kesmede oluşan kuvvetler (Donaldson, 1980)

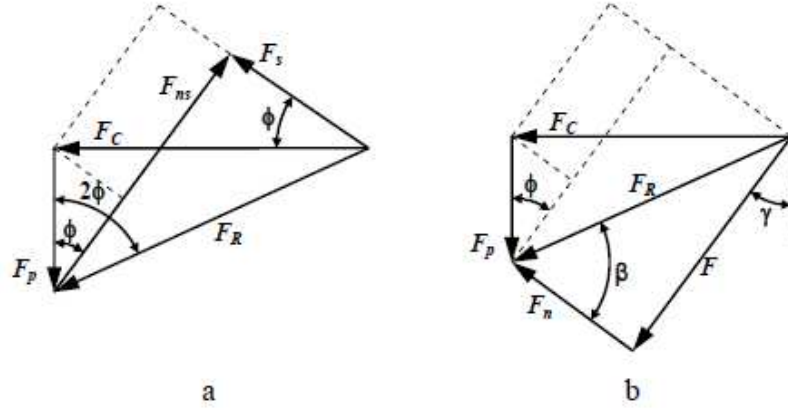
Şekil 1.12’de ise oluşan kuvvetlerin tornalama için yorumlanması ifade edilmiş olup; *F<sub>f</sub>*, ilerleme kuvvetini; *F<sub>p</sub>*, pasif (radyal) kuvveti; *F<sub>C</sub>*, esas kesme kuvveti ve *R*, bileşke kuvveti göstermektedir.



Şekil 1.12. Kesme kuvvetlerinin torna tezgahı için yorumlanması (Şeker, 2004)

Şekil 1.11 ve Şekil 1.12'den yola çıkarak yatay ve dikey bileşenler kullanılarak Şekil 1.13'deki kuvvet vektörlerini veren hesaplama üçgenleri elde edilir.

Hesaplama üçgenlerinden özetle şu bağıntılar yazabilir:



Şekil 1.13. Kesme kuvvetleri için kullanılan hesaplama üçgenleri (Şeker, 2004)

$$F_{ns} = F_p \cdot \cos \phi + F_c \cdot \sin \phi \quad (1.8)$$

$$F = F_c \cdot \sin \gamma + F_p \cdot \cos \gamma \quad (1.9)$$

$$F_n = F_c \cdot \cos \gamma - F_p \cdot \sin \gamma \quad (1.10)$$

Bu bağıntılardan yola çıkarak  $\beta$  sürtünme açısını ve dolayısıyla sürtünme katsayısını ( $\mu$ ), aşağıdaki gibi yazmak mümkündür:

$$\tan \beta = \mu = \frac{F}{F_n} \quad (1.11)$$

Eş. 1.9, Eş. 1.10 ve Eş. 1.11 kullanılarak sürtünme açısı için,

$$\mu = \frac{F_c \cdot \sin \gamma + F_p \cdot \cos \gamma}{F_c \cdot \cos \gamma - F_p \cdot \sin \gamma} \quad (1.12a)$$

$$\mu = \mu = \frac{F_p + F_c \cdot \tan \gamma}{F_c - F_p \cdot \tan \gamma} \quad (1.12b)$$

elde edilebilir.

Talaş açısının ( $\gamma$ ) negatif bir değer alması halinde ise, Eş. 1.12b'deki “+” ve “-” işaretlerinin yerleri değiştirilir.

Kayma düzlemi boyunca etki eden  $F_s$  kuvveti, malzemenin çekme dayanımına ( $\sigma_k$ , MPa) ve kayma düzlemi açısına ( $\emptyset$ ) bağlı olarak,

$$F_s = A_0 \cdot \sigma_k \cdot \csc \emptyset \quad (1.13a)$$

$$F_s = a. f. \sigma_k \cdot \csc \emptyset \quad (1.13b)$$

şeklinde elde edilir.

Eş. 1.13 ve Şekil 1.16'daki hız üçgenlerini kullanarak  $F_c$  esas kesme kuvvetini,

$$F_c = \frac{F_s \cdot \cos(\beta - \gamma)}{\cos(\emptyset + \beta - \gamma)} \quad (1.14)$$

biçiminde hesaplamak mümkün olacaktır.

Ancak yapılan pek çok deneysel araştırmanın ortaya koyduğu sonuçlara göre, talaş kaldırma sırasında esas kesme kuvvetini etkileyen değişik faktörler söz konusudur. Bunların en önemlileri; kesme hızı faktörü ( $kv$ ), talaş açısı faktörü ( $k\gamma$ ), takımınaşınma faktörü ( $k\alpha$ ), takım malzemesi faktörü ( $kt$ ) biçiminde sıralanabilir.

Kienzle, bu faktörleri de dikkate alarak esas kesme kuvvetini,

$$F_c = [A_0 \cdot k_s] \cdot k_v \cdot k_\gamma \cdot k_\alpha \cdot k_t \quad (1.15)$$

olarak ifade etmiştir (Şeker, 2004). Burada  $k_s$  özgül kesme direncini (MPa) göstermektedir. Esas kesme kuvvetinin hesaplanmasında kullanılan özgül kesme direnci,  $ks = k_{11} h^{-m}$  ampirik bağıntısı ile bulunur. Bu bağıntıdaki  $k_{11}$ ;  $h = 1$  mm ve  $b = 1$  mm olan bir kesitin özgül kesme kuvvetini ifade ederken  $m$  ise işlenen

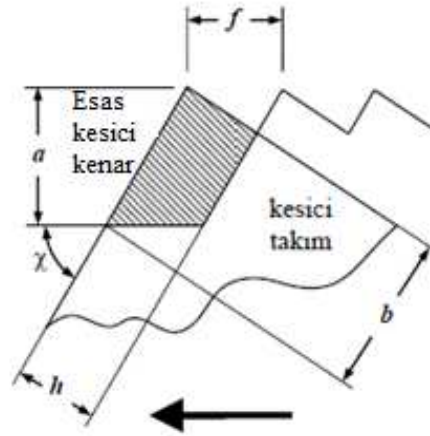
malzemenin  $k_s$  değeri ile  $h$  değeri arasındaki logaritmik ilişkiyi gösteren eğrinin karakteristik eğimi olup malzeme cinsine bağlı olarak sabit bir değer almaktadır.

Özgül kesme direnci ile kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı talaş kesiti alanı ( $\text{mm}^2$ ) da dikkate alındığında Eş. 1.15,

$$F_c = \left[ a \cdot f \cdot \frac{k_{11}}{h^m} \right] \cdot k_v \cdot k_\gamma \cdot k_a \cdot k_t \quad (1.16)$$

haline gelir.

Talaşlı imalatta takım tezgahlarının pek çoğu için kesme kuvveti ve buna bağlı kesme gücünü hesaplamak için  $F_c$  kullanılır. Bu hesaplamada, talaş geometrisi de büyük önem taşımaktadır. Talaş kesitini belirleyen en önemli faktör kesme kenarı açısıdır (Şekil 1.14).



Şekil 1.14. Talaş kesitinin kesme kenarı açısı ile ilişkisi (Şeker, 2004)

Şekil 1.14'de,  $K$ , kesme kenarı açısını ifade etmekte olup, talaş kesit alanı için  $A_0 = af$  veya  $A_0 = bh$  yazılabilir. Kesme kenarı açısı;  $\sin K = (h/f)$  olduğuna göre talaş genişliği ve talaş kalınlığı için sırasıyla

$$b = \frac{a}{\sin x} \quad (1.17)$$

$$h = f \cdot \sin x \quad (1.18)$$

bağıntıları yazılabilir. Şekil 1.15'deki taralı alan talaş kesitini ifade ettiğinden;  $K=90^\circ$  olması halinde kesit dikdörtgen ( $A_0=af$ ) ve  $K < 90^\circ$  halinde ise kesit paralel kenar şeklinde olacaktır ( $A_0=bh$ ).

### 1.5.3.2. Diğer kesme kuvvetlerinin belirlenmesi

Talaş kaldırma sırasında oluşan kuvvetlerin tayini için ampirik ifadeler çeşitli araştırmalar sonucu ortaya konulmuş olmakla beraber, bu kuvvetlerin dinamometreler ile ölçülmek suretiyle belirlenmesi en etkili yoldur.  $F_p$  ve  $F_f$  için kesin değerler olmamakla beraber tornalama işlemlerinde esas kesme kuvvetine göre yaklaşık olarak aşağıdaki gibi hesaplanırlar (Şeker, 2004).

$$F_f \approx (0,2 \sim 0,3) \cdot F_c \quad (1.19)$$

$$F_p \approx (0,1 \sim 0,2) \cdot F_c \quad (1.20)$$

Şekil 1.15'de de gösterildiği üzere talaş kaldırma kuvveti veya bileşke kuvvet ( $R$ ) için,

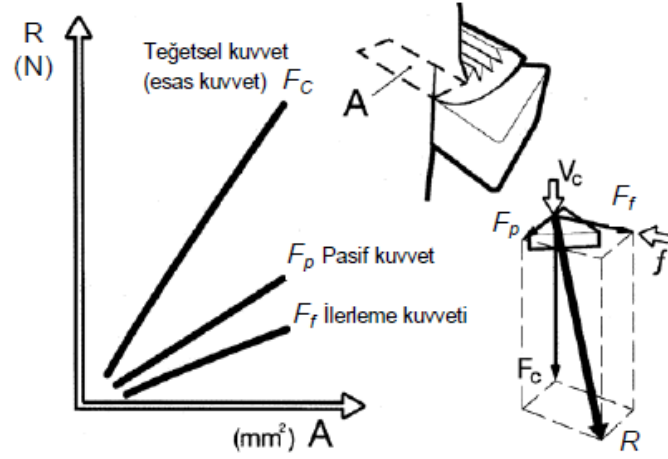
$$R = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_p^2} \quad (1.21)$$

yazılabilir.

Şekil 1.15'de kuvvet bileşenlerinin talaş kesitine bağlı olarak nasıl değiştiğini göstermektedir. Talaş kesitinin büyümesi ile üç bileşende önemli ölçüde değişmektedir. En büyük değişim esas kesme kuvvetinde olmakla birlikte kesme kuvvetleri için;

$$\frac{F_c:F_p:F_f}{4:2:1} \quad (1.22)$$

eşitliği yazılabilir (Şeker, 2004).



Şekil 1.15. Kuvvet bileşenlerinin kesit alanına göre değişmesi (Black, et al., 1996)

Kesitin değişmesi ile  $F_c$ ,  $F_p$ 'nin 2,  $F_f$ 'in ise 4 katı fazla değişmektedir. Bu değişim delmede oldukça farklı olup tamamen ilerleme miktarına bağlı olarak değişmektedir.

Kuvvet bileşenleri arasındaki ilişki kesme operasyonunun cinsine bağlı olarak dikkate değer biçimde değişir. Esas kesme kuvveti veya teğetsel kuvvet daha ziyade tornalama ve frezeleme operasyonlarında, özellikle güç ihtiyacını belirlemek için önemlidir. Pasif veya radyal kuvvet, delik büyütme işlemlerinde; aksenal kuvvet veya ilerleme kuvveti ise delme işlemlerinde büyük önem taşımaktadır. Pasif kuvvet, takım giriş (kesme kenarı) açısına ve takım uç radyüsüne bağlı olarak değişmektedir. 90'lik bir kesme kenarı açısı ve daha küçük bir uç radyüsü takımın yerini değiştirmeye ve titreşim artmasına sebep olan bu kuvvetin minimize edilmesine yardımcı olacaktır.

Titreşim eğilimi, kesme kuvvetlerinin bir sonucudur. Titreşim, kesici takım veya iş parçasının yer değiştirmesinden kaynaklanabileceği gibi çalışma şartlarındaki değişimlere bağlı olarak kesme işlemindeki değişikliklerden ve malzeme şartlarından da etkilenir. Kenarda yığılan talaş (BUE) oluşması da kesme kuvvetlerinde dalgalanmalara ve titreşime sebep olur.

Talaş kaldırma geometrisinin önemsenmesi, uygun talaş kırılmasının sağlanması, pozitif talaş açısı kullanılması ve yüksek kesme hızlarının seçilmesi kesme

kuvvetleri/titreşim ilişkisi üzerinde genellikle olumlu etkiler oluşturmaktadır (Şeker, 2004).

#### **1.5.4. Talaş derinliği ve ilerleme miktarı**

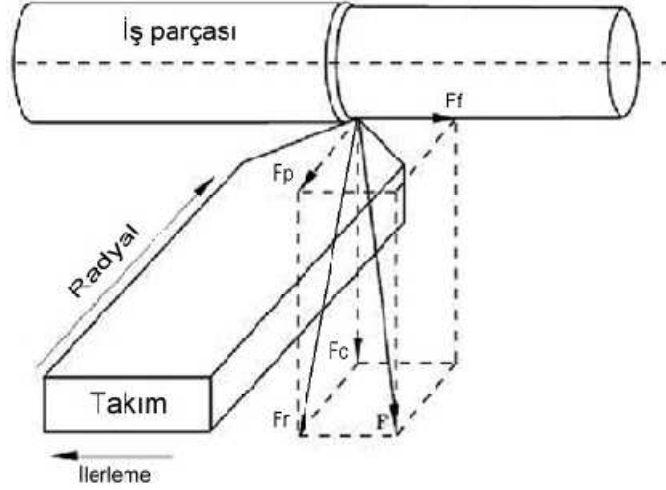
Talaş kaldırma miktarı, bitirilmemiş iş parçasından kaldırılan malzeme miktarı olup dakikada mm<sup>3</sup>/dak. veya cm<sup>3</sup>/dak. cinsinden ölçülür. Bu değişkenlerden herhangi biri değiştirildiği zaman bunun sonucu olarak talaş kaldırma miktarı da değişir. Örneğin, kesme hızı veya talaş derinliği %25 artırılırsa talaş kaldırma miktarı da %25 artacak fakat kesici takımın ömrü azalacaktır. Her bir parametredeki değişiklik, kesici takım ömrüne farklı olarak yansır. Kesme şartlarının değişmesinin etkileri, işlenen bir iş parçası üzerinde düşünülecek olursa; torna tezgahı işlenecek malzeme için uygun devire ayarlanır. İlerleme miktarı seçilmiş ve genellikle minimum derinlik kabul edilen talaş derinliği, ilerleme miktarının 10 katı kadar seçilir. İşlem yapıldıktan ve takım ömrü belirlendikten sonra her değişken %50 kadar arttırılacak olursa;

- Talaş derinliğinin %50 oranında artırılması halinde takım ömrünü %15 oranında azalacağı,
- İlerleme miktarının %50 oranında artırılması halinde takım ömrünü %70 oranında azalacağı,
- Kesme hızının %50 oranında artırılması da takım ömrünü %90 kadar azalacağı,
- Talaş derinliğindeki değişmelerin, takım ömrü üzerine en az etkiye sahip olduğu,
- İlerleme miktarındaki değişmelerin, takım ömrü üzerine talaş derinliğindeki değişikliklerden daha büyük etkisi olduğu,
- Herhangi bir malzemedeki kesme hızındaki değişikliklerin takım ömrü üzerine hem talaş derinliği hem de ilerleme miktarından daha büyük etkiye sahip olduğu görülebilmektedir (Şahin, 2004).

En uygun ilerleme miktarı ve talaş derinliği düşünüldüğü zaman, mümkün olan en derin talaş ve düşük ilerleme miktarı seçilir. Çünkü bunlar takım ömrü üzerine kesme



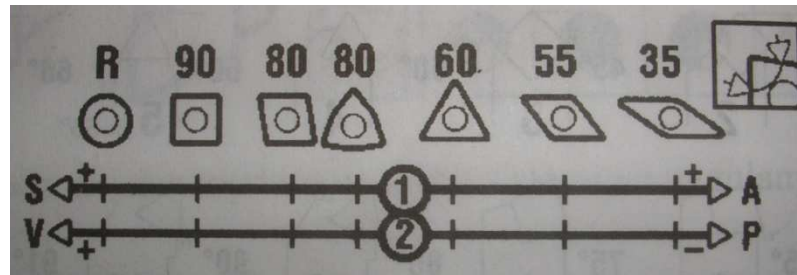
hızından daha az etkiye sahip olduğundan ömrünü daha az oranda azaltacaktır. Optimum ilerleme miktarı, kesici takım ömrü ve talaş kaldırma miktarını dengelemelidir (Şahin, 2004).



Şekil 1.16. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri (Oraby, 2004)

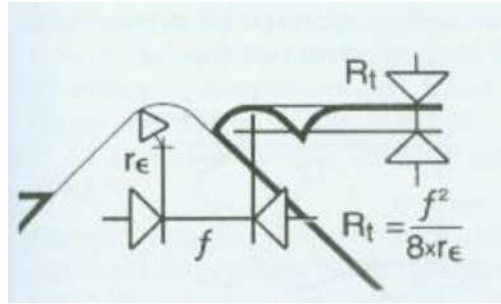
### 1.5.5. Takım uç yarıçapı ve yüzey pürüzlülüğü

Takım ucunun yuvarlatılmış olması, talaş kesitinin dik değil de Şekil 1.17'deki gibi yuvarlatılmış olarak oluşmasına neden olur. Kaba işlemlerde kullanılan uçlarda ise önemli olan tamamıyla talaş yüzeyi üzerindeki geometridir (Çakır, 1999). Bununla birlikte, köşe radyüsü kaba işlemlerde kesici takım dayanımını artırırken ince işlemlerde ise yüzey pürüzlülüğünü belirlemede temel faktördür. Genellikle kaba işlemlerde, büyük bir uç açısına sahip bir kesici uç ve büyük köşe radyüsü tercih edilirken, ince işlemlerde (hassas) daha küçük açılara sahip ve bu takıma uygun yüksek uç radyüsü tavsiye edilmektedir (Çakır, 1999).



Şekil 1.17. Uç şekli ve mukavemet, erişim, güç ve titreşim etkisi

Büyük bir köşe radyüsü kesici uca gelen gerilmelerin nispeten azalmasına ve sıcaklığın daha hız transferini sağlamakta olduğu bilinir. Kaba işlemlerde köşe radyüsü 1,2 mm-1,6 mm aralığında seçilirken, ince işlemlerde 0,05 mm-0,3 mm tercih edilir. Bu durum Çizelge 1.4' de verilmiştir. İnce işlemlerde ilerleme değeriyle köşe radyüsü yüzey kalitesini ve hassasiyetini etkilemekte ve daha büyük uç radyüsü ile daha yüksek ilerleme hızlarında talaş kaldırmaya imkan sağlamaktadır. Teorik yüzey pürüzlülüğü ( $R_t$ ) ile ilerleme ve uç radyüsü arasındaki ilişkiyi veren ifade aşağıdaki denklemle ifade edebiliriz.



Şekil 1.18. Yüzey kalitesi ve köşe radyüsü ilişkisi (Çakır, 2006)

$$R_t = \frac{f^2}{8 R_e} \times 1000 \quad (1.23)$$

Çizelge 1.4. Köşe radyüsü-ilerleme ilişkisi

Re (uç radyüsü), mm	0,4	0,8	1,2	1,6	2,4
f (ilerleme oranı) mm/dev	0,12-0,25	0,25-0,5	0,36-0,7	0,5-1,0	0,7-1,6
İşleme durumu	Çok ince işleme	İnce işleme	Orta kaba işleme	Kaba İşleme	Çok kaba işleme

Teorik bir bağıntı olan bu ifade ilerleme ( $s$ ), takım ucunun yarıçapı ( $r$ ) ile yüzey pürüzlülüğü ( $R_t$ ) arasında sıkı bir ilişkinin olduğunu gösterir. Görüldüğü gibi, belirli bir yüzey pürüzlülüğü için,  $f$ 'in değeri büyüdükçe,  $r$  değerinin azalması gerekir. Pratikte bu bağıntı ince pasolar için ilerleme değerinin istenilen bir yüzey pürüzlülüğüne göre tayin edilmesini sağlar.

Takım ucunun  $r$  yarıçapı minimum kesme kalınlığını da belirler. Kesme kalınlığı  $a$ ,  $r$ 'den daha küçük olduğu halde takım talaş kaldıracağına yüzeyi bastırır ve sertleştirir. Hareketin devam etmesi ile takım önüne toplanan malzemeyi tırlama yolu ile kaldırır; bunun sonucu işlenen yüzeyin bir kısmı bastırılmış ve parlak, diğer kısmı

ise yüzey kalitesi kötü olarak ortaya çıkar. Ancak minimum kesme derinliği ( $a_{min}$ ) sadece r'ye bağlı olmayıp, takım ve parça malzemesine, kesme sıvısına ve bilhassa kesme hızına bağlıdır (Akkurt, 1999).

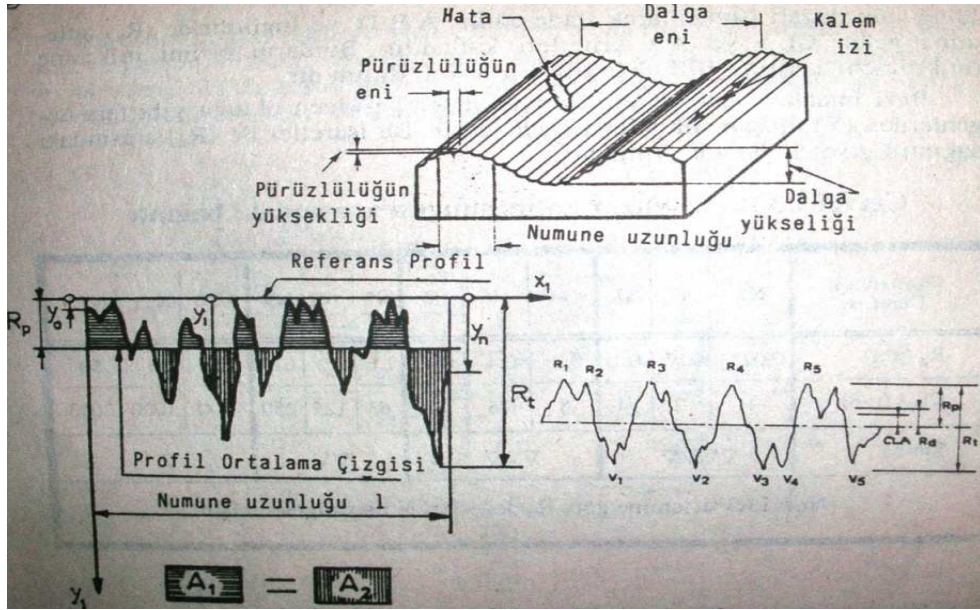
İşlenmiş yüzeylerde, işleme metodu ne olursa olsun (örnek: lepleme, taşlama, tornalama vb.) yüzey pürüzlülüğünün oluşması kaçınılmazdır. İşleme metodu, kesicinin cinsi ve işlenen malzemeye bağlı olarak, işleme sırasında fiziksel, kimyasal ve ısıl faktörlerle, kesen ve kesilen arasındaki mekanik hareketlerin de etkisiyle işlenmiş yüzeylerde, genellikle istenmediği halde bazı izler oluşur. Nominal yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü denir (Güllü, 1995).

Yüzey pürüzlülüğü, üretilen parçaların yüzey kalitelerinin geliştirilmesi ve belirlenmesinde, önemli bir rol oynar. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü, yorulma direnci, aşınma, ısı iletimi, sürtünme ve yağlama gibi ürünün kalitesinin artırılması için gerekli olan fonksiyonel karakteristik özellikleri etkilemektedir. Talaş kaldırma ile işlenen yüzeylerde dalga ve pürüzlülük olmak üzere iki türlü yüzey (Şekil 1.19) sapması meydana gelir. Dalga geometrik sapmalar grubuna dahildir. Dolayısıyla yüzey kalitesinin esasen yüzey pürüzlülüğü tayin eder. Standartlara göre yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi belirli kriterlere göre yapılır.

Bu kriterlere göre pürüzler, yüzeye dik olan bir kesitte belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir frekans profiline ve profil ortalama çizgisine tayin edilir. Referans profil olarak genellikle geometrik profil alınır. Profil ortalama çizgisinin yeri, bu çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olacak şekilde belirlenir. Yüzey pürüzlülüğü (Şekil 1.19), yüzey pürüzlülüğünün derinliği ( $Rt$ ), yüzey pürüzlülüğünün düzeltilmiş derinliği ( $Rp$ ) ve yüzey pürüzlülüğünün aritmetik ortalama değeri ( $Ra$ ) gibi kriterlere göre değerlendirilir. ( $Rt$ ), referans profile göre en derin pürüzün değeri; ( $Rp$ ), referans profil ile profilin ortalama çizgisi arasındaki mesafe; ( $Ra$ )'da ortalama çizgiye göre pürüz yüksekliklerinin veya derinliklerinin mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasıdır.

Ölçme tekniğinin gelişmesi ile yukarıdaki değerlerin biri veya hepsi ölçülebilir hale gelmiştir. Ancak pratikte yüzey kalitesi genellikle ( $R_p$ ) veya ( $R_a$ )'nın değerleri ile ifade edilir. Parça imalat resminin üzerine bu değerlerden birinin verilmesi yeterlidir. Eskiden daha çok ( $R_p$ )'nin kullanılmasına karşın günümüzde daha ziyade uluslar arası bir kriter olarak kabul edilen ( $R_a$ ) kullanılır (Akkurt, 1992).  $R_a$  yüzey pürüzlülüğü aşağıda verilen eşitlikle ifade edilmektedir.

$$R_a = 0.321 \frac{f^2}{Re} \quad (1.24)$$



Şekil 1.19. Yüzey pürüzlülüğü ve değerlendirilmesi (Akkurt, 1992)

### 1.5.6. Titreşimin etkisi

Titreşimin kesici takım ömrüne ve işlenen yüzey kalitesine, kesici takım iş parçası arasında sürekli oluşan bir relatif titreşimin mevcut olması nedeniyle, kötü etkisi vardır. Talaş kaldırma esnasında, genellikle, zorlanmış titreşim ve kendiliğinden doğan titreşim olmak üzere iki tür titreşim ortaya çıkmaktadır. Zorlanmış titreşim, tezgahın mekanik hareketlerinden dolayı ileri gelirken kendiliğinden doğan titreşim ise talaş kaldırma olayından dolayı meydana gelen titreşimdir. Genelde kendiliğinden doğan titreşim, kesme hızı arttığı zaman kesme kuvvetlerinin azalmasından kaynaklanmaktadır. Bu titreşimlerin en kötü hali ise, işlenen yüzeyde titreşimden

doğan takım izleri bırakacak derecede büyük olan "tırlama" veya "otlama" olarak adlandırılan titreşimin ortaya çıkmasıdır ki bu doğrudan yüzey pürüzlülüğüne olumsuz etki yapar. Her hangi bir kesme işleminde titreşim veya otlama iş parçası yüzeyinde kuvvetli dalgalanmalar ile sonuçlanır. Otlama meydana geldiğinde farklı bir ses oluşur. Bu durum herhangi bir operatör tarafından da anlaşılabilir. Talaş kaldırma esnasında oluşan bu olayı önlemek için aşağıdaki faktörler dikkate alınmalıdır. Bunlar kısaca şöyle özetlenebilir:

- İş parçası bağlama mesafesi mümkün olduğunca en aza indirilmeli,
- İş parçası dengeli tespit edilmeli ve kesici takım altına altlıklar konulmalı,
- Rijit tezgah ve takımlar kullanılmalı,
- Tezgahın hareket eden elemanlar arasındaki boşluklar en aza indirilmeli,
- Kesme şartları optimize edilmeli ve kesmede oluşan kuvvetleri azaltmak için talaş derinliği ve ilerleme miktarı azaltılmalı,
- Kesme kuvvetini azaltmak için kesici takım tasarımında gerekli değişiklikler yapılmalı ve aşınmış bir takımla talaş kaldırma işlemi devam ettirilmemeli,
- İşletme hızları takım tezgahı kontrol sisteminin doğal frekansına yaklaşılmamasına müsaade edilmemelidir (Şahin, 1999).

## **1.6. Takım Aşınması**

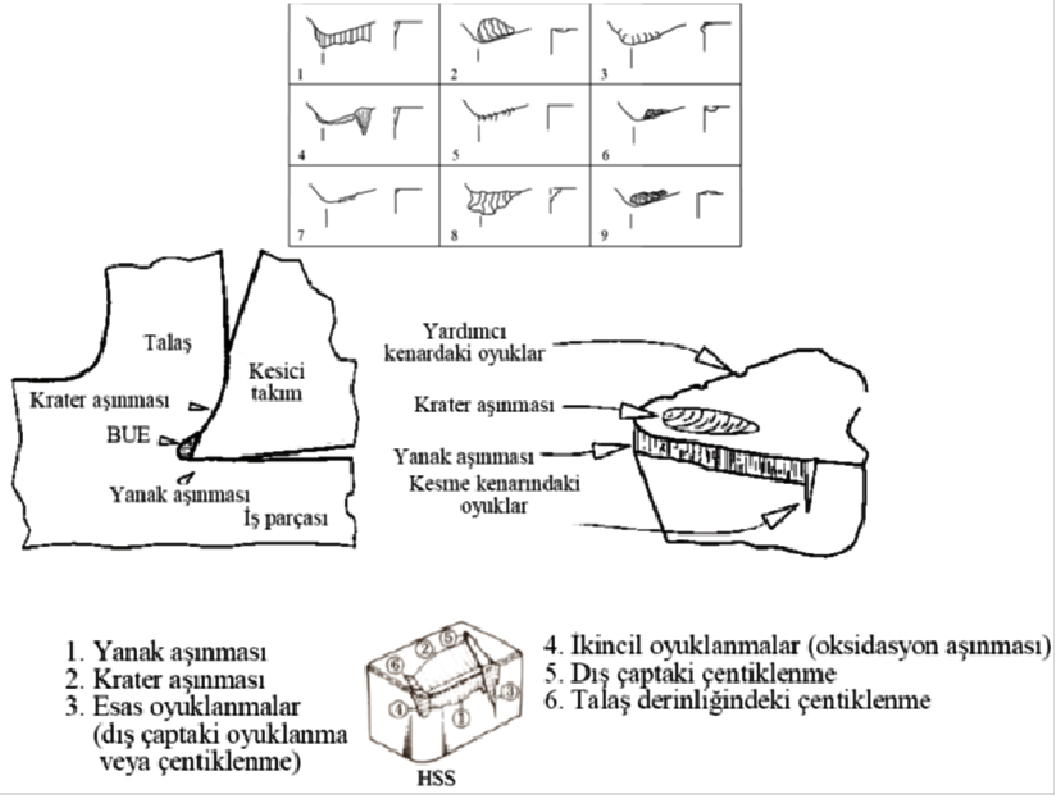
Takım aşınması, kesici kenar üzerindeki yük faktörlerinin (mekanik, kimyasal veya termal) bir birleşiminin ürünüdür. Aşınma, takım-iş parçası işleme şartları arasındaki karşılıklı etkileşimin bir sonucudur. Mekanik yük faktörleri, mekanik yüklerin statik bileşenlerinden başka talaş biçimlenme sürecinin kendisinden oluşan çeşitli dinamik yükler de söz konusudur. Bunların en önemlileri değişen kesme derinliğinden, kesintili işlemeden kaynaklananlar ve frezelemede görülenlerdir. Termal (ısı) yük faktörleri, talaş kaldırma işleminin kesici takım talaş yüzeyinde ve yan yüzeyinde çok miktarda ısı oluşmasına sebep olur. Kimyasal yük faktörleri, talaş oluşum süreci devamlı olarak yeni bir metal ara yüzeyi oluşturulması anlamı taşır ve talaş biçimlenmesi sırasında takım malzemesi boyunca hayli yüksek sıcaklık ve basınçta

zorlama vardır. Oluşan bölgeler metallerin kimyasal reaksiyonları ve difüzyon için oldukça uygun bir ortam hazırlar (Kurt, 2006).

Talaş kaldırma sırasında kesici kenar üzerindeki etkili olan yük faktörlerinin bir sonucu olarak, bazı temel aşınma mekanizmaları, metalden talaş kaldırma işlemine etki eder. Bu aşınma mekanizmaları; aberasyon aşınma, difüzyon aşınma, oksidasyon aşınma, yorulma ile aşınma (statik veya dinamik) ve yapışma ile aşınma (adhesiv aşınma) şeklinde özetlenebilir (Kurt, 2006).

Kesici takım aşınma tiplerinin sınıflandırılması; işleme tipi ve malzeme, doğru işleme şartlarının ve takım sınıfının elde edilmesiyle; verimliliği optimize etmek ve işleme operasyonunu değerlendirmek için en önemli unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Temel işleme kriterleri; talaş kaldırma miktarı, ekonomik hassasiyet, yüzey dokusu ve talaş kontrolü takım aşınmasının oluşup gelişmesine bağlıdır. Doğru seçilmiş takımın kesme parametreleri için uygun başlangıç değerleri, uzman desteği, kişisel deneyimler, kalitesi yüksek iş parçası malzemesi ve işleme şartları gibi faktörler ideal aşınma gelişmesinin (oluşumunun) elde edilmesini sağlamak için en önemli bileşenlerdir. Sınıflandırılmış aşınma tiplerini (Şekil 1.20) ve bunlara sebep olan mekanizmalar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Yan yüzey (yanak) aşınması, abrasiv aşınma mekanizması ile oluşur.
- Krater aşınması, abrasiv aşınma ve difüzyon aşınma mekanizması ile oluşur.
- Plastik deformasyona, yorulma ile aşınma mekanizması sebep olur.
- Çentik aşınması, oksidasyon ve yapışma aşınması ile mekanik yorulma mekanizmalarıyla oluşur.
- Termal çatlaklar, termal yorulma mekanizması ile oluşur.
- Mekanik yorulma çatlakları, mekanik yorulma mekanizması ile oluşur.
- Çıtlama (çentiklenme), yorulma mekanizması ile oluşur.
- Kırılma (kesici ucun kırılması), plastik deformasyondan sonra oluşur.
- Yığılma-sıvanma (BUE), adhezyon aşınma mekanizması ile oluşur (Kurt, 2006).



Şekil 1.20. Kesici takımda görülen aşınma biçimleri (Kurt, 2006)

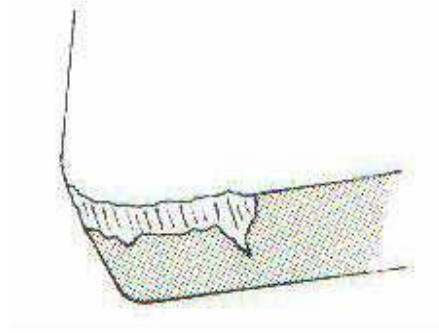
### 1.6.1. Takım aşınma şekilleri

Kesici kenarın büyütülerek incelenmesi ve aşınma tipinin verdiği ipuçları doğrultusunda hareket etmek suretiyle kesici kenar için uygun bir takım ömrü kontrol edilebilir, arttırılabilir ve emniyetli hale getirilebilir. Toplam 8 adet aşınma tipi mevcuttur.

#### 1.6.1.1. Yan kenar (yanak) aşınması

Kesici kenarın yan yüzeylerinde oluşan, genellikle abresiv aşınma mekanizmasından kaynaklanan bir aşınma tipidir. Bu aşınma tipi genel olarak normal kabul edilir. Sürekli artan bir yanak aşınması sağlamak en ideal durum olarak kabul edilir (Böhler, 1990).

Serbest yüzeyde aşınma çoğaldıkça, kesme kuvveti artacak, kesme sırasında oluşan ısı da artacağı için ortaya kötü bir yüzey kalitesi çıkacaktır. Bu yüzden yan kenar aşınmasının çabuk oluşmasından kaçınılmalıdır (Böhler, 1990).



Şekil 1.21. Yan kenar aşınması (Böhler, 1990)

Yan kenar aşınması, sert metal ucun süneklik olmasından veya kesme hızının çok fazla olmasından kaynaklanabilir. Aşınmaya mukavim, daha sert veya köşe radyüsü ve serbest açısı daha fazla bir sert metal uç kullanılması, ya da kesme hızının arttırılıp ilerlemenin düşürülmesi ve kesme sıvısı kullanılması aşınma oluşumunu geciktirebilmektedir (Böhler, 1990; Kibbe and White, 1991).

#### **1.6.1.2. Krater aşınması**

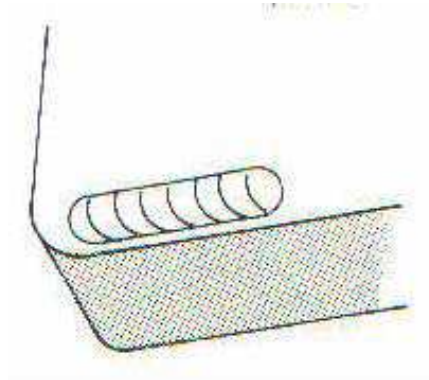
Krater aşınması veya çukur aşınma olarak bilinen aşınma tipi, talaş yüzeyinde abrasiv ve difüzyon aşınma mekanizmaları sebebiyle oluşur. Kesme hızının artması ile ortaya çıkan ısı da artar. Bu durumda aşırı ısınmış talaş ile kesici ucu temas yüzeyi arasında bir difüzyon meydana gelir. Kesici uç krater şeklinde oyulur (Böhler, 1990).

Aşırı krater aşınması, kesici kenar geometrisini değiştirebilir ve talaş oluşumunun biçimlenmesini bozabilir. Kesme kuvvetlerinin doğrultularını değiştirir ve aynı zamanda kesici kenarı zayıflatır.

Krater aşınması kesme hızının çok yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Önlenmesi için, kesme hızı ve ilerleme azaltılmalıdır, aşınmaya karşı daha



dayanıklı bir kesici uç cinsi (alüminyum oksit kaplı) seçilmelidir ve pozitif bir uç geometrisi seçilmelidir (Böhler, 1990).



Şekil 1.22. Krater aşınması (Böhler, 1990)

#### 1.6.1.3. Plastik deformasyon

Plastik deformasyon, kesici kenar üzerindeki yüksek basınç ve yüksek sıcaklık birleşiminin bir sonucu olarak ortaya çıkar. Eğer kesme kenarında yüksek kesme hızından dolayı, çok yüksek bir sıcaklık varsa, bu durum kesici uçta alçalma veya yükselme şeklinde deformasyon olayını meydana getirir. Kesme hızını ve ilerlemeyi azaltmak, aşınmaya daha mukavim ve daha sert bir uç kullanmak problemin çözümü için uygulanabilir (Böhler, 1990).



Şekil 1.23. Plastik deformasyon (Böhler, 1990)

#### 1.6.1.4. Termal çatlaklar

Termal çatlaklar genellikle ısı değişimlerinden kaynaklanan yorulma aşınmasıdır. Özellikle frezelemede oluşan sıcaklık değişimleri bu tip aşınmanın oluşmasına sebep

olur. Termal çatlaklar kesici kenara dik olarak gerçekleşir ve bu aradaki takım malzemesi kesici kenardan koparak ayrılabilir. Bu da takımın kırılma ihtimalini artırır ve kesici kenar bozulmasına sebep olur (Böhler, 1990). Yüksek kesme hızında, büyük hacimde talaş kaldırılması da bu aşınma tipinin oluşmasında rol oynar. Aşınmaya daha mukavim (termal şoklara dayanıklı) kesici uç kalitesi seçilmesi, pozitif açılı takım kullanılması, kesici ucun köşe radyüsünün artırılması, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliklerinin azaltılması, bol ve sürekli soğutma uygulanması veya hiç uygulanmaması ile aşınmanın önüne geçilebilmektedir (Böhler, 1990; Kibbe and White, 1991).



Şekil 1.24. Termal çatlak (Böhler, 1990)

#### 1.6.1.5. Çentik aşınması

Yardımcı kesici kenarda oluşan çentik aşınması tipik bir adhezyon (yapışma) aşınması olmakla beraber oksidasyon aşınma mekanizması ile birlikte büyüyebilir. Çentik, kesici kenar ile parça malzemesinin birleştiği yerde oluşur. Aşırı çentik aşınması, yüzey pürüzlülüğünü etkiler ve özellikle kesici kenarın dayanımını zayıflatır (Böhler, 1990).

Çentikler genellikle yüksek ısıya mukavim malzemelerin işlenmesinde, aşındırıcı yüzey tabakaları sebebiyle veya daha önceki işleme sırasında sertleşmiş iş parçalarında ortaya çıkar. Kesme hızı ve ilerlemenin çok yüksek olduğunu gösterir. Önlemek için, yanaşma açısı (ayar açısı) mümkün olduğu kadar büyük seçilmelidir.

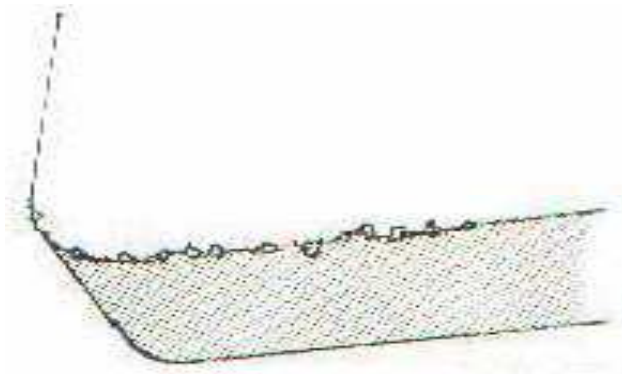
Eğer kesme derinliği büyükse, sert metal ucun köşe radyüsü, kesme derinliğinin iki katı alınmalı ve kesme hızı ile ilerleme düşürülmelidir (Böhler, 1990).



Şekil 1.25. Çentik aşınması (Böhler, 1990)

#### 1.6.1.6. Çıtlama

Kesici kenarda meydana gelen çentikler, aşınmadan ziyade kesici kenardaki küçük boyutlu kırılmalardır. Kesici kenardaki mekanik gerilmeler aşırı ise ve uç aşırı bir şekilde sıcaklık değişimlerine maruz kalıyorsa, ucun kesici kenarında küçük parçalar halinde kopmalar olacaktır. Önlemek için, daha sünek bir sert metal kalitesi seçilmesi, büyük köşe radyüsü kullanılması, kesme hızı ve ilerlemenin artırılması, kesme derinliğinin artırılması, daha rijit takım kullanılması, profil takım geometrisi seçilmesi gibi alternatifler denenmelidir (Böhler, 1990).

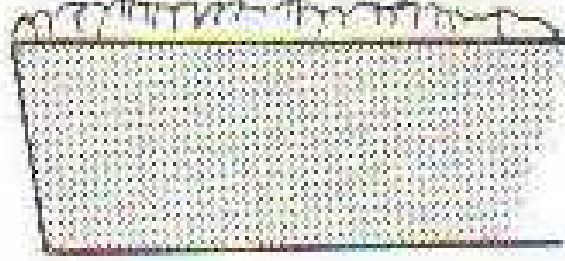


Şekil 1.26. Çıtlamanın oluşumu (Böhler, 1990)

### 1.6.1.7. Yığılma – Sıvanma (BUE)

Kesici kenarda yığılma oluşması, genellikle sıcaklık ve sıcaklıkla ilişkili bir durum olan kesme hızının etkisiyle meydana gelir. BUE kesici kenar geometrisinde olumsuz bir değişikliğe sebep olur. Kesme hızı az olduğu zaman talaş kaldırma bölgesinde sıcaklık düşecek ve bundan dolayı kesme kenarında malzeme birikmesi olacaktır. Bu durum kesme kuvvetlerini arttırdığı gibi, kötü bir yüzey kalitesi elde edilmesine sebep olur (Böhler, 1990).

Bu tip aşınmanın nedenleri, düşük kesme hızı ve ilerleme, negatif kesme geometrisi, bazı paslanmaz ve saf alüminyum gibi çok yapışkan (sünek) malzemelerin işlenmesidir. Kesme hızı artırılır, pozitif kesme geometrisi seçilirse BUE'nin önüne geçilmiş olur (Böhler, 1990).



Şekil 1.27. BUE oluşumu (Böhler, 1990)

### 1.6.1.8. Mekanik yorulma kırılmaları

Kesme kuvveti darbeleri aşırı olduğu zaman oluşur. İşleme sırasında kesme kuvvetlerinin etkisi ile sert metal uçlar mekanik şokların etkisi altına girer. Kesme kuvvetlerinin değişmesi ve kesmenin büyümesi sırasında, kesme kenarında paralel çatlaklar meydana gelebilir. Uçlardaki kırılmalar çoğu zaman mekanik çatlakların çok kere tekrarlanmasıyla meydana gelebilir. Kesme sırasında kalın talaş çıkması, mekanik kırılmaların bir göstergesidir.

Kesici kenardaki aşırı yük değişimleri ve ağır darbe veya titreşimle talaş kaldırmaya başlamak mekanik yorulma kırılmalarının sebepleridir. Daha tok özellikli bir uç

seçmek, ilerleme değerini azaltmak, takım yanaşma şeklinin değiştirilmesi, rijitliğin arttırılması bu tip kırılmaların önüne geçebilmektedir (Böhler, 1990).



Şekil 1.28. Mekanik yorulmadan kaynaklanan kırılmalar (Böhler, 1990)

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Akdoğan (2008), alüminyumun şu şekilde tanımlamıştır; Alüminyum tabiatta en çok bulunan elementlerden biridir ve mühendislik yapılarında çelikten sonra en çok kullanılan metaldir. Alüminyumun yoğunluğu ( $2,71 \text{ g/cm}^3$ ), çeliğin yoğunluğunun ( $7,83 \text{ g/cm}^3$ ) üçte biri kadardır. Bazı alüminyum alaşımlarının akma sınırı değerleri 500 MPa değerini geçmektedir ki bu değer pek çok çelik türünün akma sınırı değerlerinin üzerindedir. Alüminyum alaşımları bu özelliklerinden dolayı, özellikle hafiflik istenen uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadırlar. Alüminyumun elektrik ve ısı iletkenliği, bakıra göre daha azdır. Fakat spesifik elektrik iletkenliği (elektrik iletkenliği/yoğunluk) ve spesifik ısı iletkenliği (ısı iletkenliği/yoğunluk) değerleri karşılaştırıldığında bakırdan daha iyi olduğu görülür. Bundan dolayı, hava elektrik hatlarında alüminyum alaşımları kullanılır.

Reis ve Abrao (2005), 6351-T6 alüminyum alaşımının tornada işlenmesinde, elmas kaplı karbür, sementit karbür ve çok kristalli elmas (PCD) olmak üzere üç farklı kesici takım kullanarak, kesme kuvvetleri, bitirme yüzeyi kalitesi ve işleme sıcaklığını araştırmışlardır. Deneyler sonunda, kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetinin düştüğü, ilerleme oranı ve kesme derinliğinin artmasıyla yükseldiğini tespit etmişlerdir. Çok kristalli elmas kesici takımı en düşük teğetsel ve aksel kuvvetler ile en yüksek radyal kuvveti ortaya koymuş ve bu takımla en iyi yüzey kalitesi elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü en fazla ilerleme miktarından etkilenmiştir. Kesici takım-talaş ara yüzey sıcaklığı; kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin üçünden de doğrusal olarak etkilenmesine rağmen, en fazla kesme hızından etkilenmiştir.

Lamikiz et al (2001), alüminyum-silisyum alaşımlarının yüksek hızda frezelenmesi üzerine yaptıkları araştırmada ise; değişik kesici takımların performansını ve minimum soğutma sıvısı (MSS) kullanımını değerlendirmişlerdir. Çalışma sonunda MSS kullanımı talaşların uzaklaştırılmasına yardım ettiği ve işlem maliyetini düşürdüğü için tavsiye edilmiştir.

Lahres et al. (1997), tarafından yapılan çalışmada, alüminyum alaşımlarının (AlZnMgCu1.5 ve AlSi10Mg) kuru frezelenmesinde farklı kaplamaya sahip kesici takımların kullanılabilirliği incelenmiştir. Çalışma sonunda alüminyum alaşımlarının frezelenmesinde, WC/C, CrC/C, Tin+ MoS<sub>2</sub> ve elmas kaplamalı kesici takımların kullanılabilceğini rapor etmişlerdir.

Hüseyinoğlu (2008), “7075 Alüminyum alaşımın freze ile işlenmesinde minimum soğutma sıvısı kullanmanın performans karakteristiklerine etkisi” adlı çalışmasında, minimum soğutma sıvısı ve geleneksel soğutma tekniği kullanarak frezeleme işleminde kesme parametreleri ile kesici takım çeşidinin çapak oluşumu ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini araştırmıştır. Deneyleerde üç farklı kesici takım (HSS, TİN ve Karbür), devir sayısı (260, 780 ve 1330 dev/dak.) ve ilerleme hızı (20, 40 ve 80 mm/dak.) kullanılmıştır. İlerleme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı fakat devir sayısı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca karbür takımlarla yapılan deneyleerde TİN ve HSS takımlara göre daha düşük yüzey pürüzlülük değerlerine ulaşıldığı bildirilmiştir.

Anık ve Dorn (1995), göre özgül ağırlığının düşük olması, elektriği ve ısıyı çok iyi bir şekilde iletmesi, çok yumuşak ve sünek olması ile bazı alaşımlarının çökeltme yolu ile sertleştirilebilmesi sayılabilir. Alüminyumun ergime sıcaklığı düşük, buna karşın kendini çekmesi çok fazladır, bu bakımdan döküm yolu ile şekillendirme için saf alüminyum yerine, alüminyum alaşımları tercih edilir.

Özcömert (2006), İTO dergisindeki makalesinde kullanım alanlarından bazılarını şu şekilde belirtmiştir.

- Ulaşım, (otomobil, uçak, kamyon, tren vagonları, deniz araçları, vs.)
- Ambalaj, (alüminyum kutular, folyolar, vs.)
- Su arıtma,
- İnşaat, (cam, kapı, duvar, bina, vs.)
- Dayanıklı tüketim aletleri, (cihazlar, mutfak araç gereçleri, vs.)
- Elektrik iletim hatları, (alüminyum, bakırla eşit elektrik iletkenliğine sahip olup onun yarı ağırlığındadır ve fiyatı da daha ucuzdur)

- Makine imalatı,
- Yüksek safiyette alüminyum (%99.98 - %99.99 Al) elektronik ve CD lerde,
- Toz haline getirilmiş alüminyum boyalara gümüşümsü renk vermede,
- Anodize edilmiş alüminyumun oksidasyon direnci daha da yüksektir ve inşaat sanayinin pek çok alanında kullanılır.
- Kolay şekillendirilebilir olması ve yüksek ısı iletkenliğinden ötürü, yeni bilgisayarların CPU'larının ısı uzaklaştırıcılarında alüminyum kullanılmaktadır.
- Alüminyumun çok hızlı oksitlenme özelliği, kati roket yakıtı olarak kullanılmasını sağlamaktadır.

Domke (1988), dövme alüminyum alaşımlarını şu şekilde tanımlamıştır. Cu, Mg, Mn, Si ve Ni gibi elementler içerirler; çoğu kez önce sürekli döküm yöntemi ile blok biçiminde elde edildikten sonra, homojenleştirme tavı uygulanır, haddeleme veya ekstrüzyon ile biçimlendirilirler. Döküm yapısında tane sınırlarında oluşan sürekli gevrek fazlar, şekillendirme sırasında parçalanır ve ana kütleye dağılır ve böylece alaşım soğuk şekillendirmeye uygun duruma geçer.

Tülbentçi ve Kaluç (1985), döküm alüminyum alaşımlarını tanımlarken şu ifadeleri kullanmıştır. Büyük çoğunluğu silisyum içerir; %11,7 Si içeren alaşım ötektik bileşimde olduğundan çok üstün döküm özelliklerine sahiptir. Bu alaşımın korozyona direnci ve kaynak kabiliyeti de oldukça iyidir. Döküm alüminyum alaşımlarına bir miktar bakır katılması, talaş kaldırma özelliklerini geliştirir, buna karşın, korozyon direncinde azalmaya neden olur. Döküm alüminyum alaşımlarına silisyumdan başka magnezyum katılarak çökeltme yolu ile sertleştirilebilen ve deniz suyunun korozif etkilerine dirençli alaşımlar elde edilir.

Polmear (1981), çalışmalarında alüminyum ve kalıp tasarımı için şu ifadeleri kullanmıştır. Alüminyum gümüş renkte sünek bir metaldir. Alüminyum genel özellikleri içerisinde iyi işlenebilirlik, iyi yüzey kalitesi, düşük özgül ağırlık, mükemmel dökünebilirlik, düşük gaz çözünürlüğü vardır. Kalıp tasarımında, alüminyumdaki katılma sırasındaki %3,5 ile %8,5 arasındaki hacimsel çekme oranı



göz önüne alınmalıdır. Alüminyum döküm alaşımlarının dövme alaşımlara kıyasla mekanik özellikleri çok daha iyi olduğu bilinmekle birlikte grup içerisinde yer alan 8 alaşımlarının bazıları ısıtılma işlemine tabi tutularak daha üstün mekanik özelliklere kavuşturulabilmektedir.

Demir vd. (2008), makalelerinde alüminyum döküm parçalar mekanik özelliklerini iyileştirmek için ısıtılma işlemine tabi tutulmaktadır. Bu ısıtılma işlemlerinden biri çözeltiye alma, su verme ve yaşlandırma aşamalarından oluşan çözeltiye alma ısıtılma işlemidir. Su verme esnasında ortaya çıkan gerilimin daha sonra parçanın kullanımında boyutsal kararlılık ve yorulma dayanımı gibi özellikleri üzerinde olumsuz etkileri olduğunu tespit etmişlerdir.

Güleç ve Aran (1995), döküm alüminyum alaşımlarını aşağıdaki gibi sınıflandırmıştır:

- 1XX.X: Saf alüminyum.
- 2XX.X: Esas alaşım elementi bakırdır.
- 3XX.X: Esas alaşım elementi silisyumdur. Bakır ve magnezyum gibi başka alaşım elementleri de bulunabilir. Sanayide kullanılan döküm alaşımlarının % 90'ı 3XX.X serisidir.
- 4XX.X: Esas alaşım elementi silisyumdur.
- 5XX.X: Esas alaşım elementi magnezyumdur.
- 6XX.X: Bu seri numarası kullanılmamaktadır.
- 7XX.X: Esas alaşım elementi çinkodur.
- 8XX.X: Esas alaşım elementi kalaydır.

Brunhuber (1963), çalışmalarında basınçlı döküm yöntemi sıvı metalin basınç altında metal kalıba doldurulması esasına dayanan bir döküm yöntemidir. Metal kalıba (kokil) döküm yöntemine benzemektedir; aralarındaki fark kokil dökümde yerçekimi etkisiyle dolmuş, basınçlı dökümde ise basınç altında dolmasıdır, şeklinde ifade etmiştir.

Reimer (1981), basınçlı dökümün tarihsel gelişiminden şu şekilde bahsetmiştir. Elle çalışan döküm makinelerinin patentleri, hızlı dökümle daha kaliteli parçaları elde etmek isteyen, Sturgiss (1849), Barr (1852) tarafından alınmıştır. Daha sonra metal bir kalıba piston ilerlemesi tarafından zorlanan sıvı metalin dökülmesiyle Ottmar Mergenthaler otomatik döküm makinesini “Linotip” geliştirdi. Linotip adını taşıyan ilk basınçlı döküm makinesinin patenti 1905 yılında H.H. Doehler tarafından alınmıştır. İki yıl sonra E.B. Wanger’ in bugünkü sıcak kamaralı basınçlı döküm makinesinin bir prototipi niteliğindeki makinesi ortaya çıkmıştır. Bu makine II. Dünya Savaşı sırasında geniş bir şekilde kullanılmıştır. Önceleri kurşun ve kalay alaşımlarının basılmasıyla başlayan uygulamalar daha sonraları yüksek ergime sıcaklığı problemleri sebebiyle çinko alaşımlarına kaymıştır. 1915’te ise alüminyum ve alaşımları dökülmeye başlanmıştır. Daha sonraları ise alüminyumu, magnezyum ve bakır takip etmiştir.

Megep (2007), yayınlarında basınçlı dökümün yararları şu şekilde ifadelendirilmiştir; Basınçlı döküm, talaş kaldırma işçiliğinin, malzeme sarfiyatının az olması, üretim sayısının fazlalığı, simetrik olmayan karmaşık biçimdeki kalıplama işlemlerinin kolaylığı nedeniyle endüstri alanında çok kullanılmaktadır. Basınçlı dökümün yaygın olarak kullanılmasının yararları aşağıda sıralanmıştır.

- Ölçü tamlığı çok iyidir ve çok sayıdaki işlerde az tolerans farkı vardır.
- Karmaşık parça üretiminin çok kolaydır.
- Farklı metaller çok kolay birleştirilir (kompozit gereçler).
- İnce kesitli, işleme payı az ve sık dokulu parçalar üretildiği için gereç kazanımı sağlar.
- Dış görünümü güzel döküm parça üretilir.
- Döküm parçalarda dış yüzey işlemlerini ortadan kaldırır.
- Çok sayıdaki parça üretimde aynı kalıp kullanıldığından parçalar arasında mutlak bir eşitlik sağlar (Ölçü tamlığı).
- Çok sayıda parça üretimini hızlı gereç akışı ve az işçilikle sağlayarak yüksek verim elde edilir. Bundan dolayı pahalı kalıplara rağmen düşük maliyet sağlar.

- 0,1 gramdan, 25-35 kilogram aralığındaki değişik ağırlıklarındaki parçaların kolaylıkla elde edilebilir.

Doehler (1974), basınçlı döküm makinesinin görevi için şu ifadeleri kullanmıştır. Sabit ve hareketli kalıbın iki parçasını tam ekseninde ve sağlam olarak tutmak, yeterli miktarda sıvı metali kalıba basınç altında göndermek ve kalıbın iki parçasını açıp kapatarak dökülmüş parçanın kalıptan çıkarılmasını sağlamaktadır. Basınçlı döküm makineleri, metal basma sisteminin farklı oluşuna göre “sıcak kamaralı” ve “soğuk kamaralı” makineler olarak başlıca iki ana guruba ayrılır. Basınçlı döküm makinesi seçimi dökülecek malzemenin özelliklerine ve yapısına göre seçilmektedir ifadesini kullanmışlardır.

Çiğdemoğlu vd. (1972), çalışmalarındaki tespitleri şu şekildedir. Sıcak kamaralı basınçlı döküm makineleri ergime sıcaklığı 327°C olan kurşun, 420°C olan çinko, 232 °C olan kalay gibi ergime sıcaklıkları düşük olan malzemelerin üretilmesinde kullanılır. Böyle bir sistemde, çok küçük ve hassas, hepsi aynı özelliğe sahip parçaların seri halde dökümü mümkündür. Sıcak kamaralı döküm yöntemi ile üretim sonucunda  $\pm 0.05$  mm hassasiyet elde edilebilmektedir. Üretim sırasında 10 – 80 bar basınçla çalışıldığından üretilmiş parçaların üzerinden ikinci bir talaş kaldırılma işlemine gerek duyulmaz.

Mert vd. (2010), sıcak kamaralı yöntemde enjeksiyon mekanizması, makineye bağlı bir fırın içerisine daldırılmış durumdadır. Pistonun yükselmesi ile birlikte, ergimiş metalin silindire dolmasına izin verecek şekilde bir açıklık ortaya çıkar. Piston aşağıya doğru hareket edince, sıvı metalin silindire aktığı açıklık kapanır. Daha sonra piston ergiyik metalin basınç altında, kazboynu ve nozuldan geçerek kalıbı doldurmasını sağlar. Metalin katılaşmasının ardından, piston aşağı konumdayken, kalıp yarılı açılarak bitmiş döküm parçası dışarı çıkartılır şeklinde tanımlamışlardır.

Vinarcik vd. (2003), soğuk kamaralı basınçlı döküm makinelerinde, ergimiş metal soğuk hazne silindirine bir delik vasıtasıyla aktarılır. Hidrolik olarak çalışan pistonun

ileriye doğru hareketiyle, silindir üzerindeki delik kapanır ve kilitlenmiş kalıp içerisine sıvı metal yüksek basınç altında enjekte edilir. Soğuk kamaralı makinelerle döküm yaparken, kalıp boşluğunu doldurması gerekenden daha fazla ergimiş metal, silindir içerisine doldurulur. Bu fazlalık sıvı metal, kalıp boşluğundaki alaşımı, katılaşma süresince yeterli miktarda basınç altında tutmaya yardımcı olur. Fazlalık metal döküm parçası ile birlikte dışarı itilir ve daha sonra parçadan kesilerek ayrılır şeklinde çalışmalarında bahsetmiştir.

Campbell (1950), düşük basınçlı dökümü tarifi şu şekildedir: Bu yöntem gravite dökümden enjeksiyon ve katılaşma sırasında kalıp içinde metalde pozitif bir basınç uygulanması yönünde ayrılır. Düşük basınçlı döküm prosesi sıcak ve soğuk kamaralı yöntemlerdeki 100-1000 MN/m<sup>2</sup> basınçlardan farklı olarak 40 kN/m<sup>2</sup> basınç uygulanan bir yöntemdir.

Brunhuber (1963), yüksek basınçlı döküm için ifadesi; ergime dereceleri yüksek Al, Mg ve Cu alaşımlarının ergitme fırınından hazneye doldurulup bir piston yardımıyla basınç altında kalıp boşluğuna basılarak yapılan basınçlı döküm yöntemidir şeklindedir.

Campbell (1961), vakum döküm, prensip olarak düşük basınçlı döküme benzer. Kalıbın içindeki basınç bir vakum pompası ile düşürülür ve basınç farklılığı sıvı metalin kalıba girmesini sağlar. Bu yöntemle daha az türbülans olduğundan diğer yöntemlere nazaran daha az gaz boşluğu meydana gelir. Bu yeni teknik sonuç olarak daha sonrada ısı işlem görebilecek parçalar için kullanılabilir özel bir yöntemdir şeklinde ifade etmiştir.

Niebel vd. (1989), sıkıştırma döküm sıvı metal açık bir kalıba gönderilir. Kalıp kapanmasının son aşamalarında, sıvı metal sıkışarak kalıbı tamamen doldurur. Metalin yer değiştirmesi kalıp içinde az olduğundan, sıvı metal için büyük akışkanlık gerekmez. Bundan dolayı normal olarak dökülemeyen dövme alaşımları bu yöntemle dökülebilir. Proseste önemli olan metal hacmi, metal sıcaklığı ve uygulanan basınç (50-140 MPa) çok önemlidir şeklinde ifadelendirmiştir.

Doehler vd. (1974), basınçlı döküm prosesinde etkili olan parametrelerin açıklaması şu şekilde yapmıştır. Basınçlı döküm yapılırken bir çok döküm değişkeninin (enjeksiyon hızları, enjeksiyon basıncı, kalıp sıcaklığı, enjeksiyon döküm sıcaklığı, soğutma hızı vb.) uygun değerlerde olması önemli bir husustur. Bu değerlerin herhangi bir parçanın, enjeksiyonu yapılmadan önce bilinmesi güçtür. Enjeksiyonu yapılan metalin kalıp içinde dolaşımı ve diğer enjeksiyon değişkenleri nadir olarak belirli kurallara uygun olarak davranış gösterir. Gerçek imalatta istenilen en iyi sonuç alınıncaya kadar döküm işlemi genellikle değişiklik göstermektedir. Literatürde yapılan araştırmalara göre Frommer ilk defa sıvı metalin kalıp içine akışının grafik olarak resmini 1932’de çeşitli faktörlere bağlı olarak çizmiş ve bir teori geliştirmiştir. Araştırmaya göre dikdörtgen prizması halinde bir şekillendirme boşluğu olan basit bir kalıpla başlanmıştır. Uzun prizmatik kalıbın küçük yüzeyine yolluk memesini ince bir bant halinde açılmıştır. Araştırmacı, çeşitli değişkenlerin etkilerini inceleyerek kalıp içinde meydana gelen durumları şöylece tanımlamıştır. Sıvı metal kalıp içine meme kesitinde fışkırtma yapar. Sıvı metal kalıp içinde yoluna, karşı duvara çarpıp şiddetli bir türbülans oluşuncaya kadar devam eder. Kalıp, memenin aksi tarafında metal toplanarak bir havuz teşkil eder. Bu oluşumdaki artış kalıp kesiti alanı ve metalin artışı ile orantılıdır. Toplanan sıvı metalin bir kısmı metal yüzeyine dik olarak bir miktar hareket ederek kalıbın iç yüzeyini takip eder. Ancak dipte toplanan miktar, fışkıran metalin çarpması ile girdap ve anaför meydana getirir. Bu anaför, gelen sıvı metal miktarı ile artarak büyür ve kalıp dolup akış enerjisi sona erinceye kadar devam eder. Sonuç olarak, metalin, gelen sıvı metalin tamamı veya tamamına yakın bir miktarı kalıp boşluğunu homojen bir şekilde doldurur. Bir miktar metal dipte toplanan metal havuzundan ayrılarak yan yüzeylerde yoğunlaşır ve kalır. Diğer ayrılmalar fışkıran metal jeti tarafından tekrar metal toplanma bölgesine iletilir. En son doldurulan kısım kalıbın meme ağzına yakın olan merkez kısmıdır.

Uludağ (2007), tez çalışmasında basınçlı döküm kalıpları kaliteli bir üretim yapılabilmesi için basınçlı döküm parçalarının iyi bir konstrüksiyona sahip olması gerekmektedir. Parçaların şekillendirilmiş kısımları mümkün olduğu kadar doğrusal olmalıdır, sivri uçlardan kaçınılmalıdır, 1.5 mm’ den 4 mm’ ye kadar aynı kalınlıkta bir cidar kalınlığı sağlanmalıdır, gerekli koniklik miktarı 1°’ den aşağı olmamalıdır,

muhtelif yerlere konacak boşluk, delik ve cep gibi yerlere konacak maçalardaki koniklik  $1.5^\circ$  nin altında olmamalıdır, parçada vida dişleri hususi hallerde dökülmeli, gerekli dişlere ait maçalardan istifade edilir, döküldükten sonra maçalar yerlerinden döndürülmek suretiyle çıkarılır. Basınçlı döküm parçalarının konstrüksiyonlarında en iyi tasarım elde edilinceye kadar gerekli çalışmalar yapılmalıdır.

Megep (2007), yayınlarına göre basınçlı döküm kalıpların seçimi; Az sayıda yapılan kalay, kurşun ve çinko dökümleri için kalıp yapım gereci % 0,6 – 0,8 karbonlu alaşımsız ve sertleştirilmiş çelikler kullanılır. Çok sayıda üretimi düşünülen hafif alaşım veya çinko alaşımlarında ise ıslah edilmiş iş çeliği ya da moliptenli takım çeliği kullanılır. Bakır alaşımlarında ise bileşiminde % 15 volfram (tungsten), % 10 krom ve % 1,5 vanadyumdan oluşan sıcak iş çeliği tercih edilir. Çelik maçaların yüzeyleri nitrürasyon (Azotla yüzey sertleştirme) ile sertleştirilmiş olmalıdır. Kalıbın iç yüzeyleri polisajdan sonra içerisinde cam tozu bulunan karışım püskürtülerek yüzey ayırıcının kalıp yüzeyine yapışması sağlanmalıdır.

Çakır (2006), talaşlı imalat alanında kullanılan alüminyum malzemelerin birçoğu alaşımlıdır. Saf alüminyumun oldukça zayıf ve sünek bir malzeme olmasından dolayı kullanım alanı sınırlıdır. Genellikle saf alüminyumun işlenmesi, çoğu alüminyum alaşımlarından daha zordur. Saf alüminyumun işlenmesinde uzun tel talaşlar çıkar ve onun abrasive özelliği nedeniyle, kesici takım üzerindeki talaştan daha serttir.

Şahin (2001), ifadesine göre çoğu alüminyum alaşımları, yüksek kesme hızlarında işlenerek, iyi yüzey kalitesi ve uzun takım ömrü verirler. Genellikle, sertleştirilmiş ve temperlenmiş alaşımlar tavlanmış alaşımlardan daha kolay işlenir ve daha iyi yüzey meydana getirirler. Silisyum içeren alaşımları işlemek daha zordur, çünkü talaş kaymadan ziyade yırtılır ve bu nedenle kötü yüzey elde edilir.

Doehler (1951), basınçlı dökümle üretilen parçalardaki bir soruna dikkat çekmiştir. Bütün basınçlı dökümlerde kalıbın iki yarısının birleştiği yerde ayrılma çizgisi bulunur. Bu çizgi, çıkan parça üzerinde ince bir çizgi şeklinde çapak oluşturur. Diğer ayrılma çizgileri ise sabit veya hareketli maça ve kayıcı parçalar tarafından meydana

getirilir. Ayrıca içerideki havanın dışarı çıkmasına imkan vermek için, bazı kalıplarda cepler bırakılır ve bunların olduğu noktalarda çapaklar oluşur. Bütün bu çapakların parça kullanımından önce temizlenmesi gerekir.

Rahman (2006) ve Thakur (2008), çalışmalarında son bitirme işlemlerinde ölçü, tolerans ve pürüzlülüğü ile işleme operasyonunun oluşturduğu yüzeyin tipi ve onun karakteristiklerinin üretimdeki önemi büyüktür. İşleme faktörlerinin tam olarak optimizasyonu, yüksek üretim kapasitesi, düşük kesme kuvvetleri, iyi bir bitirme yüzeyi, takım ömrü, güç tüketimi ve ölçü tamlığı gibi ideal sonuçlar geleneksel üretim yöntemleri ile elde edilebilir.

Savaşkan vd. (2004), İTÜ dergisindeki makalelerinde, her ne kadar yüzey pürüzlülüğü üzerinde en önemli parametreler ilerleme ve kesici takım uç yarıçapı olsa da iyi bir yüzey elde etmek için kesme hızının arttırılmasından faydalanılabilir. Kesme hızının arttırılması ile yüksek talaş kaldırma oranı, düşük maliyet, düşük kesme kuvvetleri, ölçü tamlığının artması ve iyi bir yüzey elde edilebilir. İdeal sonuçların elde edilebileceği işleme şartlarının belirlenebilmesi için öncelikle işleme performansını temsil eden özellikler tespit edilir ve bunu etkileyen faktörler incelenir. Daha sonra faktörlerin nihai sonuç üzerindeki etkilerinin ve uygun işleme şartlarının belirlenmesine yönelik deneyler yapılır. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar değerlendirilerek uygun parametreler tespit edilebilir. Tatmin edici sonuca ulaşmak için farklı tercihler olabilir. Bunlar; mümkün olan tüm kombinasyonların denenmesi ile (yüksek maliyet ve zaman kaybına yol açabilir, bazı durumlarda uygulanması mümkün olmayabilir) ya da sadece gerekli deneyleri yaparak sonuca ulaşılabilir. Ayrıca sonuçların analizinde uygun istatistiksel yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Çünkü gerçekleştirilecek her deney bir belirsizlik ve hata payı içermesi doğaldır şeklinde ifade etmiştir.

Çevik (2006), tez çalışmasında tornalama işlemi esnasında hızlı kesici takım aşınmasına neden olan malzemelerin işlenmesinde kesici takım ömrünü iyileştirmeye yönelik bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşımda, aşınmış kesici takımın yan boşluk açısının değiştirilmesi amaçlanmıştır. Bu şekilde, kesici takım yan yüzeyindeki yan

yüzey aşınma bandının ikinci bir yan boşluk açısı olarak işlev yapacağı düşünülmüştür. Bu amaçla, sementit karbür bir kesici takım kullanılarak küresel grafitli dökme demirler üzerinde talaş kaldırma deneyleri yapılmıştır. Kesici takım yan boşluk açılarını 3°, 5°, 7° ve 9° olarak değiştirecek şekilde takım tutucu altına kamalar yerleştirilmiştir. Boşluk açısını değiştirilmesi sonucu aşınmış bir kesici takımın kesme işlemini tekrar etkin olarak yapabileceğini belirlemek için deneyler esnasında kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Elde edilen kesme kuvvetleri sonuçları, aşınmış bir kesici takımın boşluk açısının değiştirilmesi ile bu takımın belirli bir süre daha etkin olarak kesme işlemi yapabileceğini göstermiştir.

Akkurt (1999), talaş kaldırma mekaniğini şu şekilde ifade eder; talaş kaldırma belirli boyut, şekil ve yüzey kalitesine sahip bir parça meydana getirmek için ucu keskin bir takımla ve güç kullanarak, iş parçası (hammadde) üzerinden malzeme kaldırma işlemidir. Ayrılan malzeme tabakasına talaş denir. Fiziksel bakımdan Talaş kaldırma işlemi, elastik ve plastik şekil değiştirmeye dayanan, sürtünme, ısı oluşumu, talaşın kırılması ve büzülmesi, işlenen parçanın yüzeyinin sertleşmesi, takım ucunun (ağzının) aşınması gibi olaylar meydana gelen karmaşık bir fiziksel olaydır.

Lee ve Shaffer (1951), Lee ve Shaffer'ın kayma açısı teorileri deneysel sonuçları, talaş kaldırma işleminde en önemli faktörün takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünme olduğunu göstermektedir. Takım yüzeyinde ortalama sürtünme katsayısı değerleri ile takım-talaş sürtünme davranışları önemlidir. Bu nedenle, talaş kaldırmada takım ve talaş arasında sürtünme davranışlarının detaylı olarak dikkate alınması gerekir tespitinde bulunmuşlardır.

Şahin (1999), en uygun ilerleme miktarı ve talaş derinliği düşünüldüğü zaman, mümkün olan en derin talaş ve düşük ilerleme miktarı seçilir. Çünkü bunlar takım ömrü üzerine kesme hızından daha az etkiye sahip olduğundan ömrünü daha az oranda azaltacaktır. Optimum ilerleme miktarı, kesici takım ömrü ve talaş kaldırma miktarını dengelemelidir ifadesini kullanmıştır.



Kurt (2006), talaş kaldırma sırasında kesici kenar üzerindeki etkili olan yük faktörlerinin bir sonucu olarak, bazı temel aşınma mekanizmaları, metalden talaş kaldırma işlemine etki eder. Bu aşınma mekanizmaları; aberasyon aşınma, difüzyon aşınma, oksidasyon aşınma, yorulma ile aşınma (statik veya dinamik) ve yapışma ile aşınma (adhesiv aşınma) şeklinde özetlemiştir.

Böhler (1990), yardımcı kesici kenarda oluşan çentik aşınması tipik bir adhezyon (yapışma) aşınması olmakla beraber oksidasyon aşınma mekanizması ile birlikte büyüyebilir. Çentik, kesici kenar ile parça malzemesinin birleştiği yerde oluşur. Aşırı çentik aşınması, yüzey pürüzlülüğünü etkiler ve özellikle kesici kenarın dayanımını zayıflatır şeklinde ifade etmiştir.

Işık ve Çakır (2001), çalışmalarında hız çeliği takımlar için kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Bu çalışmada talaş kaldırma işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünün önceden tahmini için bir model geliştirilmiştir. Teorik olarak bulunan yüzey pürüzlülüğü değerleri deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmış ve ikisi arasında uygunluk olduğu görülmüştür. Yapılan deneyler sonunda, ilerleme ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğünü arttırdığı, köşe radyüsünün artmasının ise pürüzlülüğü azalttığı görülmüştür. Hız çeliği için belirlenen kesme hızlarının yüzey pürüzlülüğü üzerinde herhangi bir etkisi tespit edilmemiştir şeklinde ifade etmişlerdir.

Çoğun ve Özses (2002), bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada dört değişik takım tezgahı kullanılmış ve takım ilerleme hızı, iş parçası dönme hızı, tabla ilerlemesi ile paso derinliği işleme parametresi olarak alınmıştır. Fener mili/iş mili dönme hızı arttırıldığında yüzey pürüzlülüğünün iyileştiğini, takım ilerlemesi/tabla ilerlemesi arttırıldığında yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca büyük uç yarıçaplı kesiciler kullanıldığında, yüzey pürüzlülüğünde azalma olmuştur. Bunun yanında paso derinliğinin artmasıyla yüzey pürüzlülüğü de artmıştır.

Güllü ve Özdemir (2003), prizmatik parçaların frezelenmesinde kesme parametreleri ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkiyi deneysel olarak belirlemek için yaptıkları çalışmada, beş farklı kesme hızı, dört farklı ilerleme ve üç farklı kesme derinliği kullanmışlardır. Çalışma sonunda 0,8 mm kesme derinliğinde, ilerleme arttıkça pürüzlülük değerinin de arttığını, 0,6 mm kesme derinliği ve yüksek ilerlemelerde 0,8 mm'nin tersine pürüzlülükte iyileşme görüldüğünü, 0,4 mm'de ise yüzey pürüzlülük değerinin daha da iyileştiğini belirlemişlerdir.

Gökkaya vd. (2004), AISI 1030 çeliğini PVD ve CVD kaplamalı sementit karbür kesici takımlarla, 2 mm sabit kesme derinliğinde işleyerek, kesme hızı ve ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. Deneylerde, 0,25-0,45 mm/dev arasında beş farklı ilerleme ile 100, 200 ve 300 m/dak. olmak üzere üç farklı kesme hızı kullanmışlardır. İlerleme miktarının % 80 azaltılmasıyla % 176, kesme hızının % 200 artırılması ile de % 13 yüzey pürüzlülüğünde iyileşme sağlanmıştır. En düşük yüzey pürüzlülüğünü TiN kaplı kesici takım ile elde etmişlerdir.

Çiftçi (2005), yaptığı çalışmada östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme hızının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmıştır. Bu çalışmada iki farklı östenitik paslanmaz çelik (AISI 304 ve AISI 316) soğutma sıvısı kullanılmadan tornalama metoduyla, TiC/TiCN/TiN ve TiCN/TiC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katmanlarıyla çok katlı kaplanmış sementit karbür kesici takım kullanarak işlenmiştir. Deneyler dört farklı kesme hızında (120, 150, 180 ve 210 m/dak), ilerleme hızı 0,16 mm/dev ve talaş derinliği 1,6 mm sabit tutularak yapılmıştır. Kesme hızının kesme kuvvetlerini önemli derecede etkilemediği ancak yüzey pürüzlülüğüne etkisinin önemli olduğu görülmüştür. 180 m/dak kesme hızına kadar yüzey pürüzlülük değerinde azalma olmuş, bu değerden sonra yüzey pürüzlülüğünde artış görülmüştür. Bu durum yüksek kesme hızlarında kesici takım ucundaki muhtemel küçük kırılmalarla açıklanmıştır.

Ayrıca Gökkaya vd. (2006), aynı malzeme ve kesme parametreleri, kaplamasız sementit karbür kesici takım kullanarak yaptıkları bir başka çalışmada ise, en düşük yüzey pürüzlülüğünü 100 m/dak kesme hızında elde etmişlerdir. Yüzey

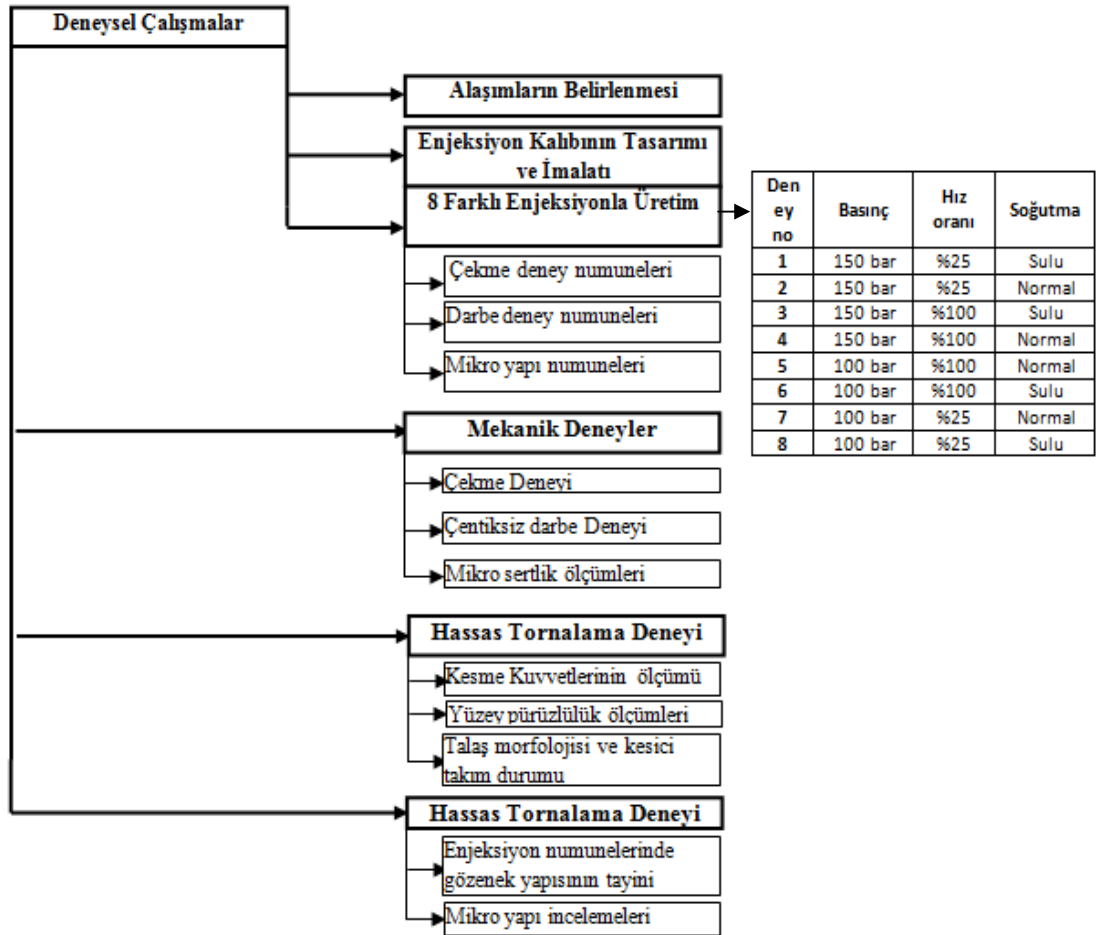
pürüzlülüğünde, ilerleme değerinin % 80 azaltılmasıyla % 215, kesme hızının % 200 azaltılmasıyla % 13 iyileşme olduğu görülmüştür.

Dagnal and Wang (2004), yüzey pürüzlülüğü, üretilen parçaların yüzey kalitelerinin geliştirilmesi ve belirlenmesinde, önemli bir rol oynar. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü, yorulma direnci, aşınma, ısı iletimi, sürtünme ve yağlama gibi ürünün kalitesinin artırılması için gerekli olan fonksiyonel karakteristik özellikleri etkilemektedir. Yüzey pürüzlülüğünün azalması yüzey kalitesinin artmasını sağlamaktadır tespitinde bulunmuşlardır.

Çoğun vd. (2002), tespitlerine göre işlenmiş parça yüzeylerinin tribolojik özellikleri, yüzey dokusundan birinci derecede etkilenmektedir. Yüzey pürüzlülüğü sadece aşınma, sürtünme ve yağlama gibi tribolojinin geleneksel konularında değil aynı zamanda sızdırmazlık, hidrodinamik, elektrik, ısı iletimi vb. farklı alanlarda da dikkate alınması gereken önemli bir faktördür.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Alüminyum alaşımları otomotiv ve makine imalatında yaygın kullanım alanına sahip olmakla birlikte çoğunlukla basınçlı döküm yöntemi ve plastik şekillendirme yöntemleri kullanılarak kullanışlı endüstriyel parça haline getirilirler. Basınçlı döküm ile imal edilen makine parçalarının mekanik özellikleri enjeksiyon parametreleri ile direkt ilgilidir. Bununla birlikte, enjeksiyon ürünlerine çoğunlukla hassas talaşlı imalat uygulanmaktadır. Bu amaçla, Etial 150 alüminyum alaşımının mekanik özelliklerine enjeksiyon parametrelerinin etkisi ve en iyi dayanıma sahip numunenin hassas tormalanabilirliğinin belirlenmesi için aşağıda verilen deneysel çalışma programı uygulanmıştır.



Şekil 3.1. Materyal ve metodun sistematik gösterimi

Genel olarak, tezde yapılan deneysel çalışmaları özetlersek, deney malzemesi Etial 150 alüminyum (Al) alaşımı Eti Alüminyum A.Ő. den ham külçe olarak temin edilmiştir. Külçe Al alaşımı ergitildikten sonra, talaşlı işleme deneylerinin yapılabileceği boyutlarda ( $\phi 30$  mm ve 300 mm boyunda) enjeksiyon numunesi, bu numune için tasarlanmış ve imalatı yapılmış kalıba enjeksiyon yapılarak gerçekleştirilmiştir. Kalıp malzemesi olarak soğuk iş takım çeliği kullanılmış ve talaşlı imalat ile kalıp imal edildikten sonra ısıl işleme sertleştirilmiş, bir kez temperlemeden sonra kalıp boşluğu yüzeyleri nitrasyon yapılmıştır. Kalıp basıncılı döküm makinesine monte edildikten sonra numune basımına geçilmiş fakat kalıp tasarımındaki gaz ıkıcıları ve hava cepleri dizayn hatalarından dolayı, tam yoğun gözeneksiz parça imal edilememiştir. Bu durum sonraki bölümlerde detaylı açıklanmıştır. Ancak, basıncılı döküm kalıbı Şekil 3.4.'deki haline revize edilerek mümkün olduğunca gözeneksiz ve tam yoğun numune üretir duruma getirilmiştir.

Sekiz farklı enjeksiyon parametresine göre imal edilen ham enjeksiyon numunelerinden, tornalama işlemi ile çekme, darbe ve mikro sertlik deney numuneleri hazırlanmış ve oda sıcaklığında testler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, en düşük gözenekli yapının tespiti için mikro yapı analizleri yapılmıştır. Testlerin sonucunda en iyi dayanımı veren enjeksiyon parametresi tayin edilip, bu enjeksiyon Şartlarında hassas tornalama işlemleri için 30 adet numune ( $\phi 30$  mmx300 mm) enjeksiyonla imal edilmiştir. Bu numunelerle, kuru Őartlarda ince tornalama testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan ince tornalama işlemler ile, dayanımı yüksek enjeksiyon ürününün hassas tornalanabilirliği için en iyi kesme koşulları belirlenmeye çalışılmıştır.

### **3.1. Basıncılı Döküm Makinesi ve Ergitme Fırını**

Şekil 3.2'de görüleceği üzere basıncılı döküm makinesi 3 ana bölümden oluşmaktadır. 1. Bölüm PLC grubudur. PLC grubu ile enjeksiyon makinesinin 1. ve 2. faz hız değerleri oransal olarak, kalıp açılma zamanı saniye olarak, kalıp kilitleme mesafesi, yağlama sistemi ve itici ayarları yapılabilmektedir. 2. Bölüm mengene grubudur. Mengene sabit ve hareketli kısımlar olmak üzere iki parçadır. Mengeneye

kalıp ve enjeksiyon haznesi bağlanmaktadır. 3. Bölüm ise enjeksiyon kısmıdır. Bu bölüm, sıvı haldeki metalin kalıp boşluğuna gönderilmesi ve yüksek basınç katılma süresi boyunca bekletilmesi görevini yapmaktadır. Bu işlem azot gazı kullanılarak çok kısa zamanda yapılabilir (Koru, 2007).



Şekil 3.2. Basınçlı döküm makinesi (Koru, 2007)

Çizelge 3.1. 200 Tonluk basınçlı döküm makinesi teknik özellikleri

Mengene Kilitleme Kuvveti	ton	200
Maks. Enjeksiyon Kuvveti	ton	25
İtici Kuvveti	ton	14
Maks. Kalıp Yüksekliği	mm	550
Min. Kalıp Yüksekliği	mm	150
Kalıp Açılma Stroku	mm	380
Enjeksiyon Stroku	mm	310
İtici Stroku	mm	100
Kalıp Plakası Ölçüleri	mm	750x750
Kolonlar Arası	mm	480x480
Motor Gücü	kw	15
Maks. Parça Ağırlığı (Alüminyum)	kg	2.5
Maks. Projeksiyon Alanı	cm <sup>2</sup>	500
Boşta Çalışma Hızı	adet/dk.	8
Makine Ağırlığı	~ ton	4.5
Makine Ölçüleri	cm	140x500x225
Hazne Plaka Ölçüsü	mm	60x55x45
Yağ Tankı Kapasitesi	litre	408



Şekil 3.3. Elektrikli ertitme ve dinlendirme fırını (Koru, 2007)

Çizelge 3.2. Elektrikli ertitme dinlendirme fırını teknik özellikleri

Pota Tipi	Boyutları (mm)						Pota Kapasitesi	Epot	
	EPOT			POTA				Al.(kg)	Güç (Kw)
	A	B	C	D	E	F			
A-300	1200	900	700	540	440	315	100	25	58

200 Ton mengene kilitleme kapasitesine sahip olan basınçlı döküm makinesinin teknik özellikleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir. Basınçlı döküm makineleri ile alüminyum, magnezyum, bakır, çinko alaşımları ve son dönemlerde sıklıkla kullanılan çinko alüminyum alaşımı olan, zamak serisi malzemelerin 2.5 kg ağırlığa kadar üretimi yapılabilmektedir. Üretim prosesinin gerçekleştirilebilmesi için metalin sıvı hale getirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla elektrikli ertitme ve dinlendirme fırını kullanılmaktadır. Deneysel çalışmalarda kullanılan ertitme fırını Şekil 3.3.'de gösterilmiş ve fırının teknik özellikleri de Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

### 3.2. Basınçlı Döküm Kalıbı

Kalıp tasarımı yapıp kalıp üretimi için endüstri ile birlikte çalışılmıştır. Kalıp malzemesi olarak soğuk iş takım çeliği kullanılmış ve talaşlı imalat ile kalıp imal edildikten sonra ısıtılma işlemle sertleştirilmiş, bir kez temperlemeden sonra kalıp boşluğu yüzeyleri nitrasyon yapılmıştır. Şekil 3.4.'de kalıbın son şekli görülmektedir.



Şekil 3.4. Basınçlı döküm kalıbı

### 3.3. Mekanik Deneyler

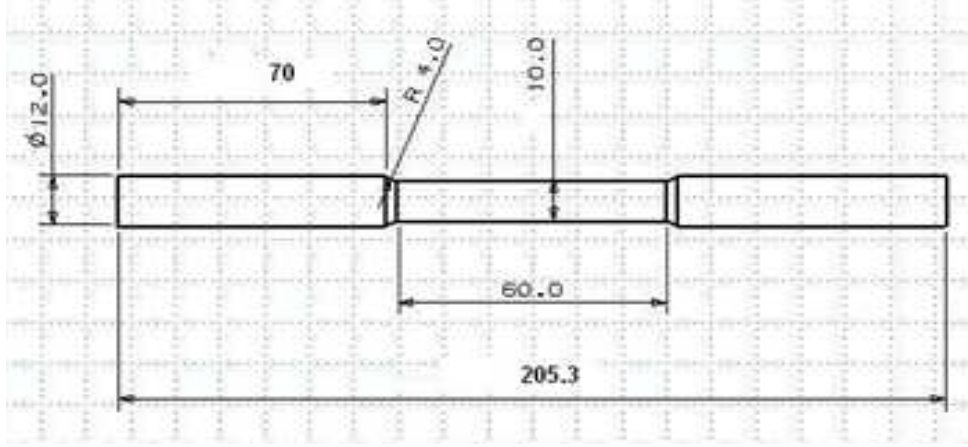
Etial 150 alüminyum alaşımının verilen standartlara uygun bir şekilde tornalama işlemlerinden ve frezeleme işlemlerinden geçirilerek deney numuneleri haline getirilmiştir. Bu numuneler daha sonra çekme deneyi, darbe deneyi ve SEM deneylerinde kullanılmıştır.

#### 3.3.1. Çekme ve mikro sertlik deneyi

Çekme deney numunesi Etial 150 alüminyum malzeme ile gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyleri, aynı malzemeden Şekil 3.5.'de gösterilen TS EN ISO 6892-1 standardına göre hazırlanan çekme numunesi, oda sıcaklığında 1 mm/d çekme hızıyla 30 kN kapasiteli Zwick Z250 marka universal çekme testi cihazı kullanılarak



gerçekleştirilmiştir. Çekme testi ile, test malzemesinin sırasıyla ortalama elastisite modülü, akma dayanımı, çekme dayanımı ve % uzama (% $\epsilon$ ) değerleri tespit edilmiştir. Mikro sertlik ölçümleri Metkon MH3 markalı cihaz kullanılarak yapılmıştır. Tüm deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.5. TS EN ISO 6892-1 standardına göre çekme deneyi numunesi



Şekil 3.6. Çekme deneyi numunesi

### 3.3.2. Darbe deneyi

Darbe testi numuneleri ( $\phi 10\text{mm} \times 55\text{mm}$ ) Etial 150 alüminyum alaşımından tornalama işlemleri ile hazırlanmıştır. Etial 150 alüminyum alaşımının darbe deneyi numuneleri dairesel şekilde hazırlanmıştır. Deneylerde çentik kullanılmamıştır.

Darbe deneyleri, 15 Joule'lük çekiç ve kırılma enerjisini 0.2 J hassasiyetle tespit eden Charpy tipi Zwick marka darbe deney cihazı ile oda sıcaklığında yapılmıştır. Darbe deneyi  $\phi 10\text{ mm} \times 55\text{ mm}$  boyunda çentiksiz hazırlanan numuneler kullanılmış

ve mesnetler arası mesafe 25 mm olarak seçilmiştir. Kompozit malzemelerin kırılması için gerekli enerji, Joule cinsinden en az üç numuneden alınan verilerin ortalaması ile belirlenmiştir. Darbe deneylerinden elde edilen darbe enerjisi değerleri numunelerin kesit alanına bölünerek kırılma için birim kesit alanı başına harcanan enerji cinsinden spesifik darbe enerjisi ( $\text{kJ/m}^2$ ) olarak hesaplanmıştır. Darbe deneyleri sonrasında kırık yüzeyler, Jeol JSM 840 tipi SEM ile incelenmiştir.



Şekil 3.7. Darbe deneyi numunesi

### 3.4. İşlenebilirlik Testleri

Çapı 30 mm ve boyu 300 mm olan basınçlı döküm yöntemiyle üretilen test malzemesinin yüzeyleri, işleme testleri yapılmadan önce eğ ve 1200 meshlik ince zımpara kullanılarak çapaklardan arındırılmıştır. Bu işlemden sonra malzeme üzerinde punta deliği açılarak iş malzemesinin torna aynası ve punta arasında tam merkezlenmesi sağlanmıştır.

#### 3.4.1. İşlenebilirlik testinde kullanılan malzemeler

İşlenebilirlik testinde, kullanılan CNC torna özellikleri, işlenecek malzeme özellikleri, kesici takım, takım tutucu (kater), dinamometre, yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı gibi deney düzeneği ve malzemelerin özellikleri hakkında detaylı bilgi aşağıda verilmiştir.

### 3.4.1.1. Test malzemesi

Etial 150 alüminyum alaşımı malzemesinin kimyasal bileşimi Çizelge 3.3.'de verilmiştir. Bu numune enjeksiyon kalıplama ile imal edilmiştir. İş malzemesinin şekli (Şekil 3.8) gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Test malzemesinin kimyasal içeriği ve bazı özellikleri

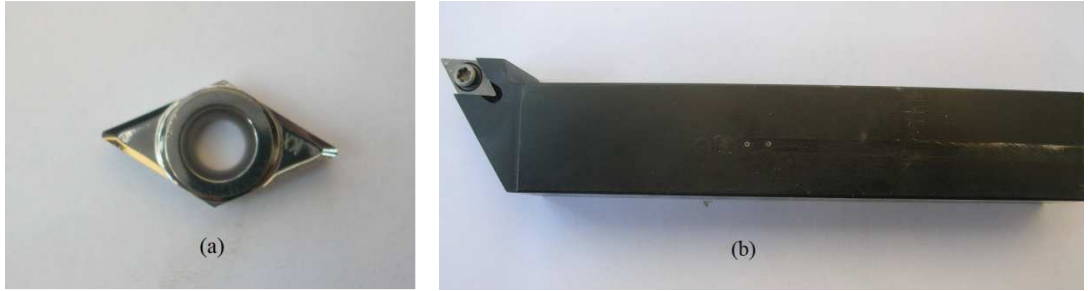
Etial 150 Alüminyum Alaşımı Kimyasal İçeriği (% Ağırlık)									
Cu	Si	Fe	Zn	Mn	Mg	Ni	Ti	Sn	Pb
1.75-2.5	11-13	1	0.7	0.5	0.4	0.3	0.15	0.1	0.1
Test Malzemesinin Bazı Özellikleri									
Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )-(20 °C sıcaklıkta)						2.71			
Isı İletkenliği (W/mK)						205			
Isıl Genleşme Katsayısı (mm/mm°C). 10 <sup>-6</sup>						24.0			
Ergime Sıcaklığı °C						658			



Şekil 3.8. İş parçası numunesi

### 3.4.1.2. Kesici takım ve takım tutucusu (Kater)

DCGT11T304F-ALKX sinter-karbür kesici ucun temini SECO firması tarafından sağlanmıştır. Kater ise, SECO firmasının gönderdiği takım tutucu kater ile sağlandı. Kullanılan katerin kodu ise SDJCL 25×25 M11'dir. Takımın Etial 150 alüminyum alaşımları üzerindeki kesme şartları Çizelge 3.5'de gösterilmiştir.



Şekil 3.9. DCGT11T304F-ALKX kesici takım (a), sol kater (b)

Çizelge 3.4. DCGT11T304F-ALKX Kesici takım özellikleri

Gösterim (ISO)	Sınıf	D	L	S	R
DCGT11T304F-AL	KX	9.525	11.6	3.97	0.4

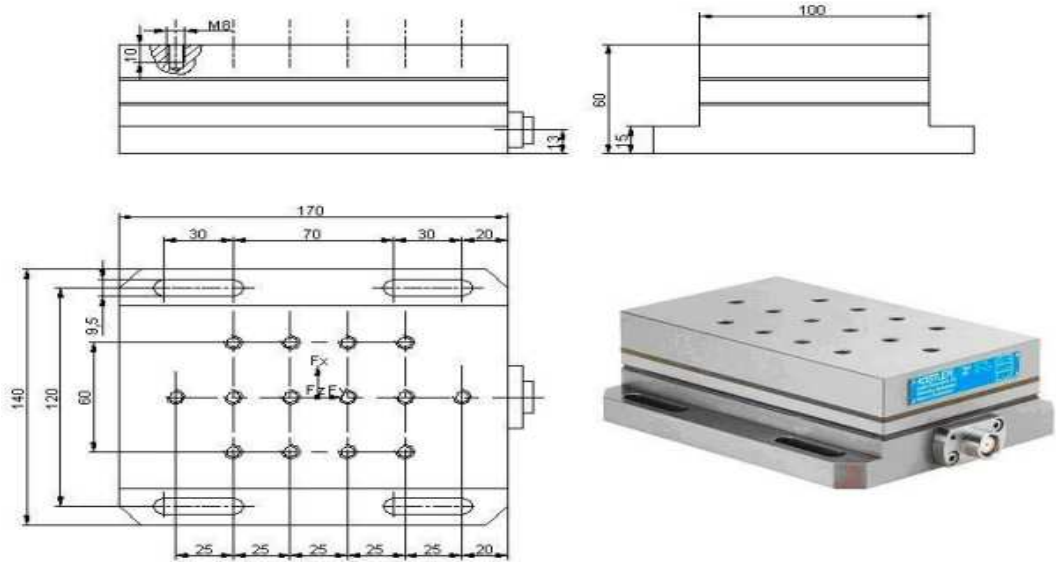
Çizelge 3.5. DCGT11T304F-ALKX Kesici takımın Etial 150 alüminyum alaşımı için kesme şartları

	Tavsiye edilen kriter	Deney koşulları için tavsiye edilen değerler
Talaş derinliği (a)	(0.2 – 1 )	0.2 – 0.5– 0.8 mm
İlerleme hızı (f)	(0.05 – 0.25 )	0.05 – 0.15 –0.25 mm/dev.
Kesme hızı (V)	(150 – 350)	150 –250 –350m /dak.

### 3.4.1.3. Dinamometre

Talaşlı imalatta kesme kuvveti sinyallerinin analizi, kesme şartlarının izlenmesinde en çok tercih edilen bir yöntemdir. Çok farklı tipteki dinamometreler farklı pozisyonlarda takım tezgahlarına monte edilerek kesme anında oluşan kesme kuvvetleri ve momentleri ölçülebilmektedir. Dinamometreler, torna tezgahlarında kesici takım tutucu mekanizmasına, freze ve matkaplarda iş parçasının bağlandığı tablaya veya iş mili yataklarına monte edilmektedirler (Çini, 2010).

Kesme kuvveti sinyallerinin ölçülmesinde Kistler firmasına ait 9257 A modeli dinamometre (Şekil 3.10) ve sinyal yükseltici kullanılmıştır. Yazılım olarak ise Cut-Pro programından faydalanılmıştır.



Şekil 3.10. Kistler 9257-A modeli dinamometre

### 3.4.1.4. Yüzey pürüzlülük cihazı

Yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçümü için MAHR-Perthometer M1 cihazı kullanılmış olup, yüzey pürüzlülük ölçüm cihazının özellikleri Çizelge 3.6'da verilmiştir. Her yeni deneyin başlangıcında boyuna tornalamaların yapıldığı yüzeyler üzerinde yapılan ölçümler iş parçasının eksenine paralel olacak şekilde ve iş parçası

kendi eksenini etrafında yaklaşık 120° döndürülerek her yüzeyde 3 ölçüm değeri alınarak baştan, ortadan ve sondan yapılmıştır.

Çizelge 3.6. Yüzey pürüzlülük cihazının özellikleri

MODEL	Perthometer M1 (Mahr)
Ölçme hızı	150µm/sn
Ölçme kuvveti	0.7 mN
Uç malzemesi	Elmas
Kesme uzunluğu	0.8 mm
Değerlendirme uzunluğu	1.75-5.6-12.5 mm

Ölçümler, yüzeydeki girinti ve çıkıntıların toplam alanlarının eşit olduğu düzlemi referans kabul ederek bu düzleme göre üstte ve altta kalan alanların eşit olduğu ikinci bir düzleme olan uzaklığın ölçüldüğü ortalama yüzey pürüzlülük değeri olan Ra ölçümü dikkate alınmıştır.



Şekil 3.11. Yüzey pürüzlülük cihazı

#### 3.4.1.5. Veri toplama kartı (DAQ)

Dinamometreden gelen veriler sinyal toplayıcısından sonra veri toplama kartı olan DAQ 6062E ile bilgisayara aktarılmıştır. Kart Şekil 3.12.'de görülmektedir.





Şekil 3.12. Veri toplama kartı

Kartın özellikleri:

- 12 bit analog sinyali 1.25 MS/s veri girişi için kullanabilme
- 2 Analog çıkış
- 8 dijital giriş/çıkış kanalı
- 2 adet 24 bit sayıcı
- 70'den fazla sinyali izleyebilme imkânı

#### 3.4.1.6. Tornalama işlemlerinin yapıldığı CNC torna



Şekil 3.13. Tez çalışmalarında kullanılan CNC torna tezgahı

Tez çalışmasında kullanılan CNC Torna tezgahına ait teknik bilgiler Çizelge 3.7.'de verilmiştir.

Çizelge 3.7.CNC torna tezgahı özellikleri

X eksen	350 mm
Z eksen	520 mm
Tezgaç Gücü	15 kW
Devir Sayısı (max)	4000 dev/dak.
Hidrolik Ayna Çapı	250 mm
Hassasiyet	0.001 mm
Taret Sayısı	12

### 3.5. Metalografik Çalışmalar

Etial 150 alüminyum alaşımından en uygun enjeksiyon parametresi ile üretilen malzeme işlenebilirlik testine tabi tutulmuştur. Her bir işleme koşulunda, sabit hacimde ( $88609,2 \text{ mm}^3$ ) talaş kaldırdıktan sonra kesici takımında oluşan aşınma tipleri, talaş yapışma eğilimi Tescan Vega LSU marka SEM cihazında incelenmiştir. Burada elde edilen aşınma sonuçlarına göre en iyi şarttaki kesici takım performansı tespit edilmiştir.



Şekil 3.14. Takım aşınmalarının görüntülenmesinde kullanılan SEM cihazı



## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Basınçlı Döküm Kalıbı İmalatı İçin Bulgular

Bu bölümde, enjeksiyon metoduyla minimum gözeneğe sahip numune üretmek adına, kalıpta yapılan revizyonlarla imal edilen numunedeki değişim ile ilgili önemli bulgular elde edilmiştir. Şekil 4.1a'da ilk olarak imalatını gerçekleştirdiğimiz kalıpla, Şekil 4.1b'deki numune imal edilmiştir. İmal edilen parçaları tornalama işlemine tabi tuttuğumuzda, numunelerinin yüzeyden yaklaşık 10 mm içerinin boş olduğu saptanmıştır. Dolu bir numune imal etmek için kalıp tasarımı tekrar gözden geçirilmiştir.



(a)



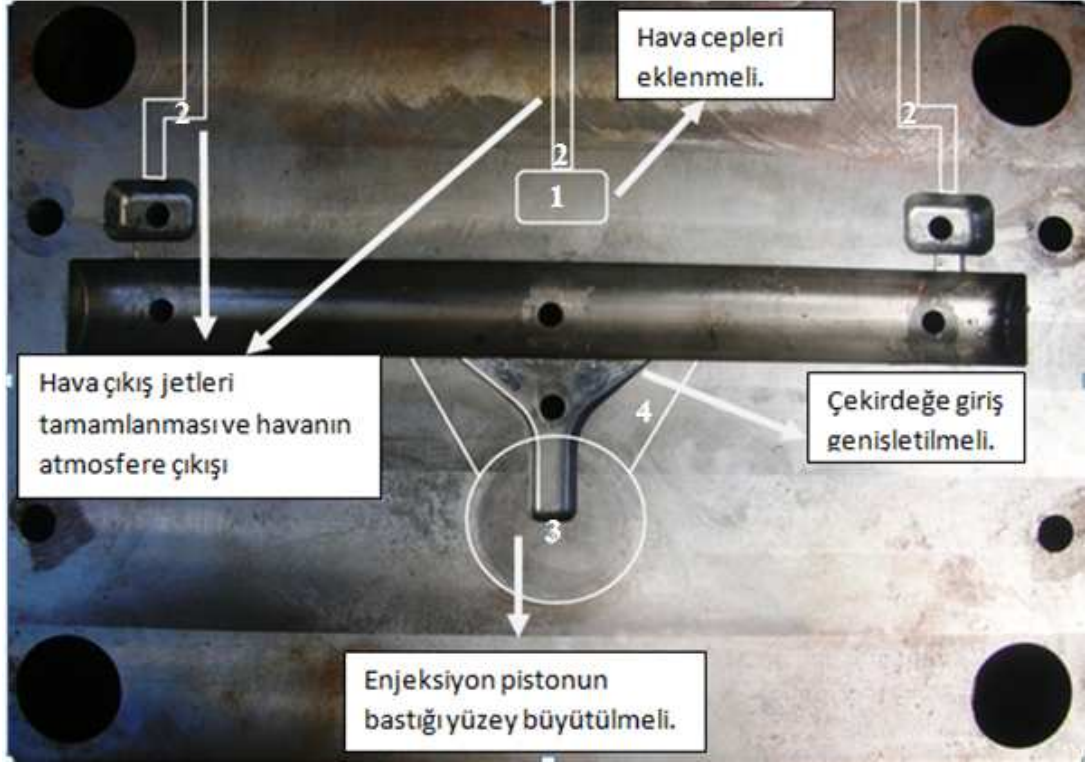
(b)

Şekil 4.1. Enjeksiyon kalıbı ilk hali (a), İlk kalıpla üretilen parça (b)

Kalıp incelemeye alındığında, kalıp tasarımının aşağıda sıralanan hataları tespit edilmiştir:

- Kalıpta hava cepleri yeterli değildir.
- Kalıp içindeki basınçlı döküm sırasındaki havayı atmosfere atmak için kullanılan hava jetleri bulunmamaktadır.
- Enjeksiyon pistonunun malzemeyi bastığı noktada piston çapında ergiyiğin dolacağı yüzey bulunması gerekmektedir.
- Enjeksiyon pistonunun malzemeyi bastığı noktadan çekirdeğe giriş yerinde eksiklikler görülmüştür.

Tespit edilen bu dizayn hataları için belirlenen öneriler, kalıp imalatçısına bildirilerek kalıp revize edilmiştir. Önerilen kalıp revizesi Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Kalıp üzeride yapılması istenen değişiklikler

- Hava cepleri ve hava jetleri, kalıp sisteminde meydana gelen gazların dışarı atılması için yetersiz gelmektedir; ceplerin toplam hacmi parça hacminin 1/8’inden fazla olmalıdır (Uludağ, 2000).

$$15^2 \cdot \pi \cdot 300 = 212057,52 \text{ mm}^3 \quad (4.1)$$

$$\frac{212057,5}{8} = 26507,2 \text{ mm}^3 \quad (4.2)$$

Hava cepleri artırılarak ceplerin toplam hacmi  $26507,2 \text{ mm}^3$  den fazla olacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 4.2 ‘de bir (1) ile gösterildiği gibi kalıp tasarımı önerilmiştir (Uludağ, 2000).

- Hava ceplerindeki havayı atmosfere atabilmek için hava çıkış jetleri kalıp sistemine ilave edilmiştir (Şekil 4.2, 2 nolu alan)
- Hava jetlerin derinliği 0.15 mm, genişliği 10mm den fazla olması önerilmiştir. Fazla olacak olursa enjeksiyon sırasındaki basınçtan dolayı kalıp dışına ergiyik çıkabilir (Uludağ, 2000).
- Enjeksiyon pistonunun bastığı yüzeyde piston çapında (50 mm) ve 10 mm derinliğinde delik açılması ve yan yüzeyi pahlı olarak işlenmesi önerilmiştir. (Şekil 4.2'de 3 nolu alan) (Uludağ, 2000).
- Basma noktasından kalıbın iç noktasına giden yolun (dağıtıcı) genişlemesi ve parça çekirdeğine girişte 90 mm olması, (Şekil 4.2'de dört (4) ile gösterilen alan), dağıtıcının numune ile birleştiği alanın derinliğinin 1.25 mm'den daha az olması tavsiye edilmiştir (Uludağ, 2000).

Kalıp üzerine yapılası gereken değişiklikler yapıldıktan sonra (Şekil 4.3a), tekrar enjeksiyon yapıldı. Fakat yapılan bu kalıp revizyonu numunenin dolmasını sağlamış fakat sayanımı önemli oranda düşüren proziteyi tam olarak ortadan kaldıramamıştır (Şekil 4.3b). Kalıp tasarımı üzerine yapılan literatür araştırmasına devam etmekle birlikte basınçlı döküm yapan firmalarla (Kağan Döküm Sözlü Görüşme, 2010) birlikte en iyi kalıp tasarımı için araştırma yapılmıştır. İncelemeler sonucu yapılan işlemlerin doğru fakat yetersiz olduğu kanaati oluşmuştur.



(a)



(b)

Şekil 4.3. Kalıp ikinci kez bağlandığında (a), kalıpla üretilen parça (b)

Çalışmalar sonucunda kalıbın hava ceplerinin artırılması ve çekirdeğe giren kanalın genişletilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Bahsedilen kalıp dizayn değişikliği (Şekil 4.4a) yapıldıktan sonra, imal edilen numune Şekil 4.4b’de görülmektedir. Firma kalıp üzerindeki modifiyeleri yaparak kalıbı gönderdi (Şekil 4.4a). Müsaade edilen çapa yapılan tornalama işlemlerinden sonra, gözeneğe rastlanmamıştır. Sonuç olarak, deneylerde kullanılacak olan numunenin imalatı için optimum kalıp tasarımı elde edilmiştir. Bu kalıp ile tüm deneyler için kullanılan numuneler imal edilmiştir.



(a)



(b)

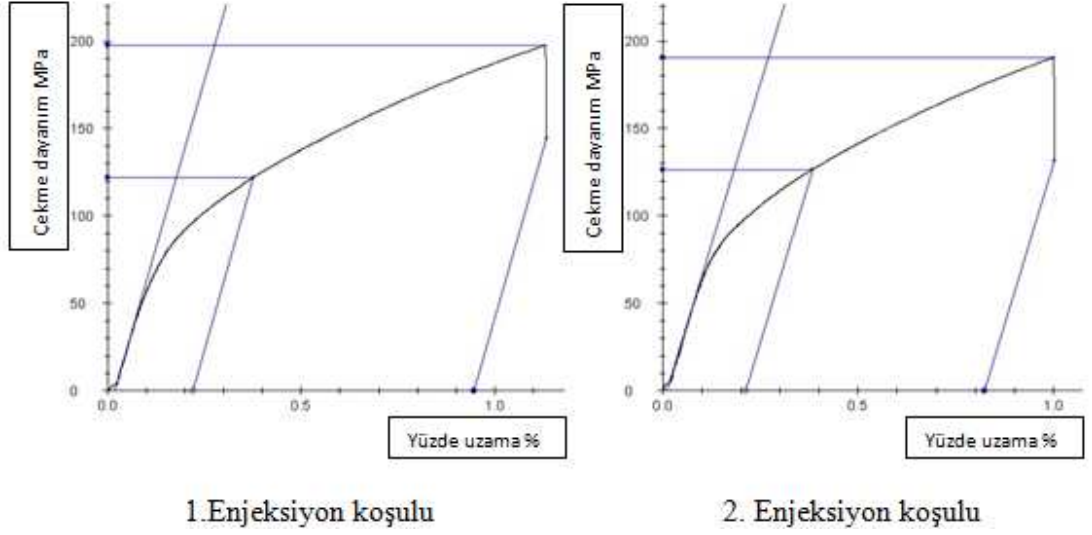
Şekil 4.4. Kalıbın son durumu (a), kalıpla üretilen parça (b)

#### 4.2. Uygun Enjeksiyon Parametresinin Belirlenmesi

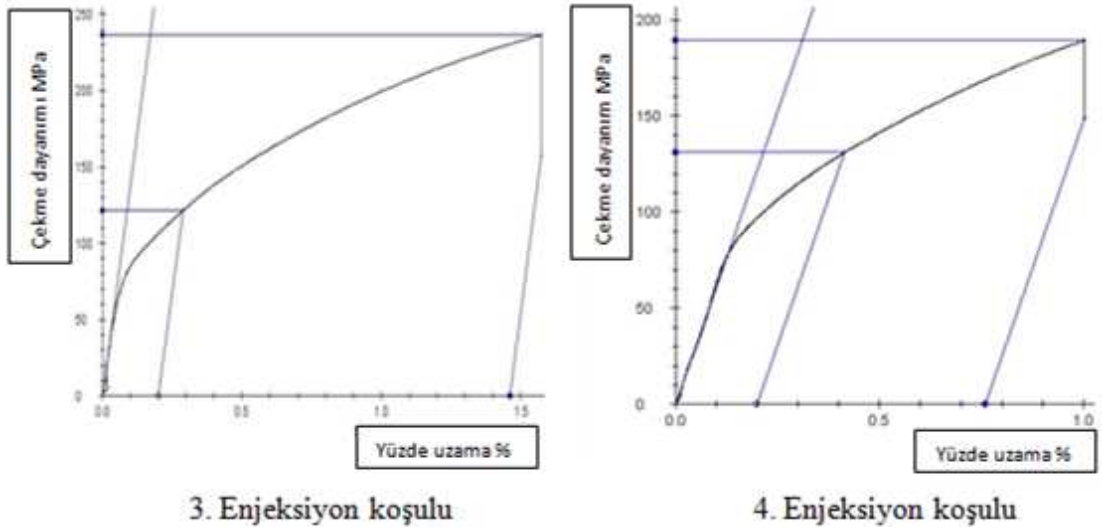
Enjeksiyon kalıbı, dolu numune ve minimum porozite de parça üretebilir duruma getirildikten sonra deneylerde kullanılacak numunelerin imal edilmesine başlanmıştır. Literatür çalışmaları değerlendirildikten sonra, en kaliteli malzemeyi üretmek için kullanılacak olan enjeksiyon parametresini belirlemek üzere yapılan bu çalışmalarda; enjeksiyon hızı, enjeksiyon basıncı ve kalıptan sıcak olarak çıkan malzemelere uygulanan soğutma durumlarının enjeksiyon ürünü üzerine etkisini olduğu belirlenmiştir. Bu sayede, makinenin de kapasitesi göz önüne alınarak sekiz farklı enjeksiyon parametresinin enjeksiyon ürününe etkisi incelenmiştir. Belirlenen enjeksiyon parametreleri Çizelge 4.1.’de verilmiştir.

#### 4.2.1. Mekanik test sonuçları

Basınçla döküm ile Etial 150 alüminyum alaşımından imal edilen numunelerin mekanik özelliklerine enjeksiyon parametresinin etkisi, çekme, darbe ve mikro sertlik testleri ile belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda sırasıyla verilmiştir.

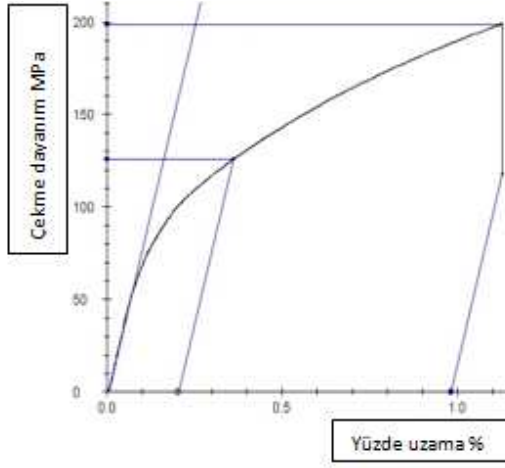


Şekil 4.5. Bir ve ikinci enjeksiyon koşuluyla üretilen numunelerin  $\sigma$ - $\epsilon$  eğrisi

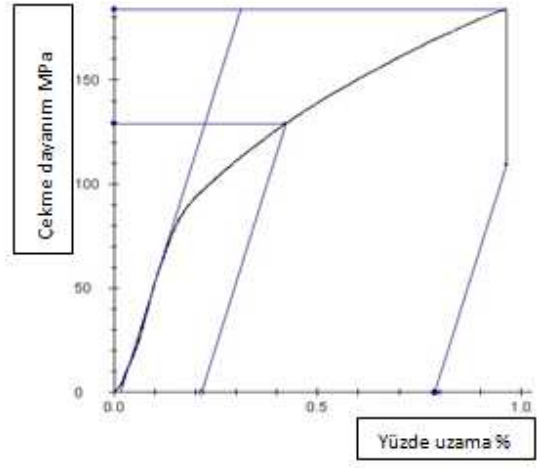


Şekil 4.6. Üç ve dördüncü enjeksiyon koşuluyla üretilen numunelerin  $\sigma$ - $\epsilon$  eğrisi



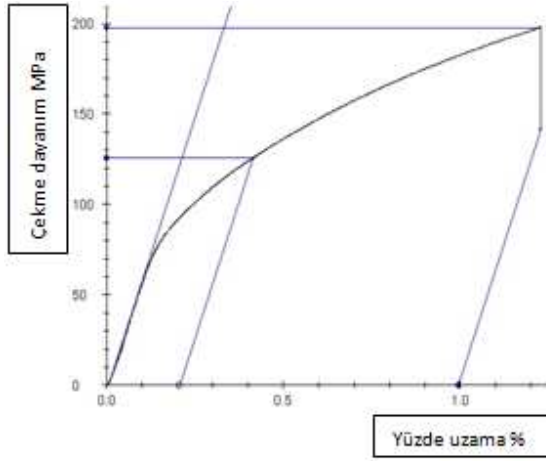


5. Enjeksiyon koşulu

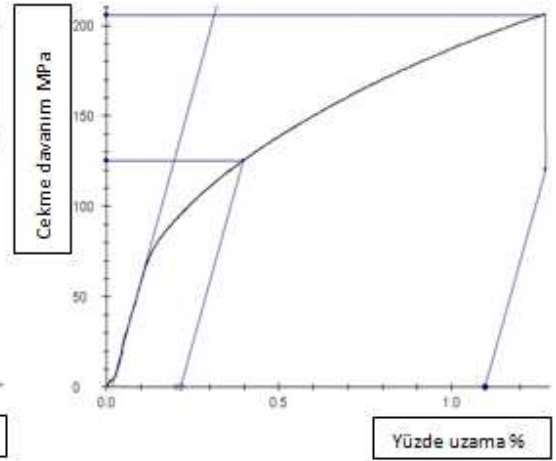


6. Enjeksiyon koşulu

Şekil 4.7. Beş ve altıncı enjeksiyon koşuluyla üretilen numunelerin  $\sigma$ - $\epsilon$  eğrisi



7. Enjeksiyon koşulu



8. Enjeksiyon koşulu

Şekil 4.8. Yedi ve sekizinci enjeksiyon koşuluyla üretilen numunelerin  $\sigma$ - $\epsilon$  eğrisi

Çizelge 4.1. Basıncılı döküm parametreleri ve akma, kopma, yüzde uzama verileri

Deney no	Basınc (100bar-150 bar)	Hız Oranı (%25 - %100)	Üretilen numunenin Soğutma Durumu	Elde edilen Akma Dayanımı (MPa)	Elde edilen Kopma Dayanımı (MPa)	% $\epsilon$
1. Döküm parametresi	150	25	Sulu	122	197	0,93
2. Döküm parametresi	150	25	Normal	126	190	0,81
3. Döküm parametresi	150	100	Sulu	121	236	1,46
4. Döküm parametresi	150	100	Normal	131	189	0,76
5. Döküm parametresi	100	100	Normal	125	198	0,98
6. Döküm parametresi	100	100	Sulu	128	183	0,77
7. Döküm parametresi	100	25	Normal	125	197	0,99
8. Döküm parametresi	100	25	Sulu	125	205	1,08

Çekme deneyinden elde edilen bulgular Şekil 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 ve çizelge 4.1.'de verilmiştir. Çizelge 4.1.' e göre, sekiz enjeksiyon parametresinden, en iyi dayanımı ve % uzama değerini veren koşul üçüncü enjeksiyon parametresinin (basınç:150 bar, hız oranı:%100, sulu soğutma) olduğu tespit edilmiştir. Yani, kullandığımız parametreler arasında, hem enjeksiyon hızının hem de basıncın en yüksek değerde olması enjeksiyon numunesini dayanım kalitesini etkilemiştir. Bununla birlikte, kalıpta belli süre bekletildikten sonra dışarıya alınan numunelerin suda soğutulması da, dayanımı çok az miktarda (% 3) arttırmıştır. İmal edilen numunelerin darbe dayanımları çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Etial 150 alüminyum alaşımından üretilen numunelerin darbe dayanımı ve mikro sertlik değerleri

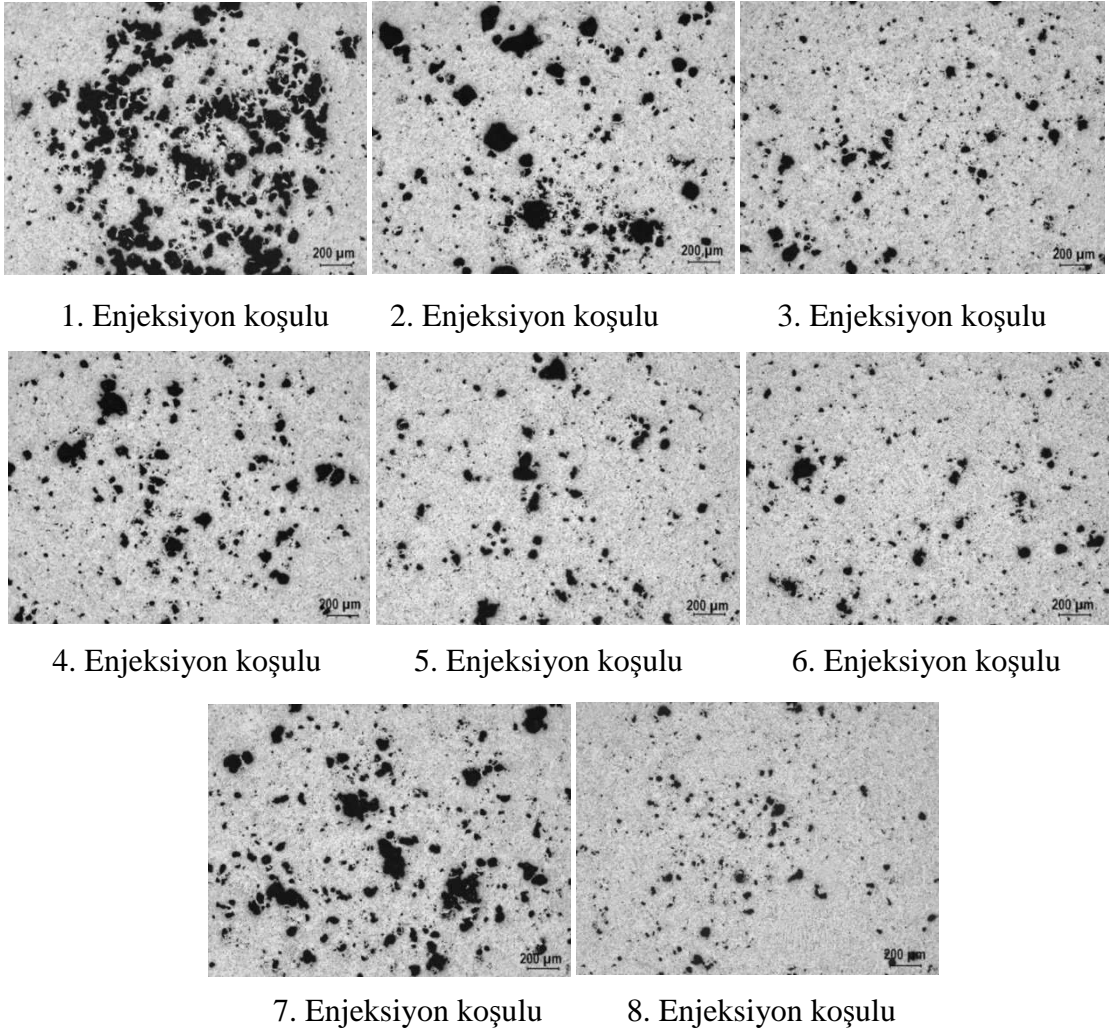
Deney no	Basınç (100bar-150 bar)	Hız Oranı (%25 - %100)	Üretilen numunenin Soğutma Durumu	Darbe Dayanımı (J)	Mikrosertlik (HRV)
1	150	25	Sulu	12,9	75,4
2	150	25	Normal	12,6	73,3
3	150	100	Sulu	13,8	80,4
4	150	100	Normal	12,5	73,3
5	100	100	Normal	13,1	78,1
6	100	100	Sulu	13,0	77,3
7	100	25	Normal	12,3	67,1
8	100	25	Sulu	13,3	79,6

Çekme deneyindeki bulgulara paralel olarak üçüncü enjeksiyon parametresiyle imal edilen parçada yüksek darbe direnci ve mikro sertlik değeri elde edilmiştir. Üçüncü koşuldaki darbe enerjisindeki artışın nedenini, üçüncü parametreyle imal edilen numunenin diğerlerine göre mukavemetli ancak sünekliğin göstergesi olan % uzama değerinin diğer koşullara göre yaklaşık olarak iki kat daha yüksek olması olarak açıklanabilir. Mekanik özelliklerde belirlenen üçüncü koşulunun, metalografik çalışmalarla uyum gösterdiği mikro yapı incelemelerinde de görülmüştür.

#### 4.2.2. Mikro yapı incelemesi

İmal edilen numunelerinin gözenek durumlarıyla ilgili yapılan mikroyapı analizleri Şekil 4.9'da verilmiştir. Şekil 4.9'da görülen 1. Enjeksiyon koşuluyla imal edilen enjeksiyon ürünüde aşırı gözenek oluşumu meydana gelmiştir. 2. Enjeksiyon

koşulunda birinci enejksiyon koşuluna göre porozite oranı azalmış ve 3. Enjeksiyon ile imal edilen numunelerde en az gözenek oluşumu gözlemlenmiştir. 4, 5, 6 ve 7. Enjeksiyon koşullarında benzer porozite oluşumu meydana gelmiştir. 8. Enjeksiyon koşulunda 3. Enjeksiyon koşuluna benzer düşük porozite oluşumu görülmüştür. Bu yüzden 3 ve 8. Enjeksiyon koşullarında diğer enjeksiyon koşullarına göre yüksek mukavemet ve  $\% \varepsilon$  (% uzama) değerleri tespit edilmiştir. Bu yüzden en kaliteli parçayı imal ettiğimiz basınçlı döküm koşulu olarak 3. Enjeksiyon koşulu (basınç: 150 bar, hız oranı: %100, sulu soğutma) belirlenmiş ve bu koşulda imal edilen numunelerle hassas tornalama işlemi deneyleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.9. Farklı deney koşulları ile üretilen parçaların mikro yapıları



### 4.2.3. İşlenebilirlik testi sonuçları

En uygun enjeksiyon parametresi (3. Koşul) ile üretilen silindirik numunelerle hassas tornalama testleri yapılmıştır. Buradaki amaç, enjeksiyonla imal edilen parçalara uygulanan ve ikincil operasyon olarak tanımlanan hassas tornalama işlemini optimizasyonu yapmaktır. Uygun hassas tornalama işlemi koşulları, kesme kuvvetleri, kesici takım durumu, talaş morfolojisi ve yüzey pürüzlülük değerleri ölçülerek tespit edilmiştir. İşleme testleri, 27 adet değişik parametre kullanılarak yapılmıştır. Çizelge 4.3’de kesme parametreleri verilmiştir.

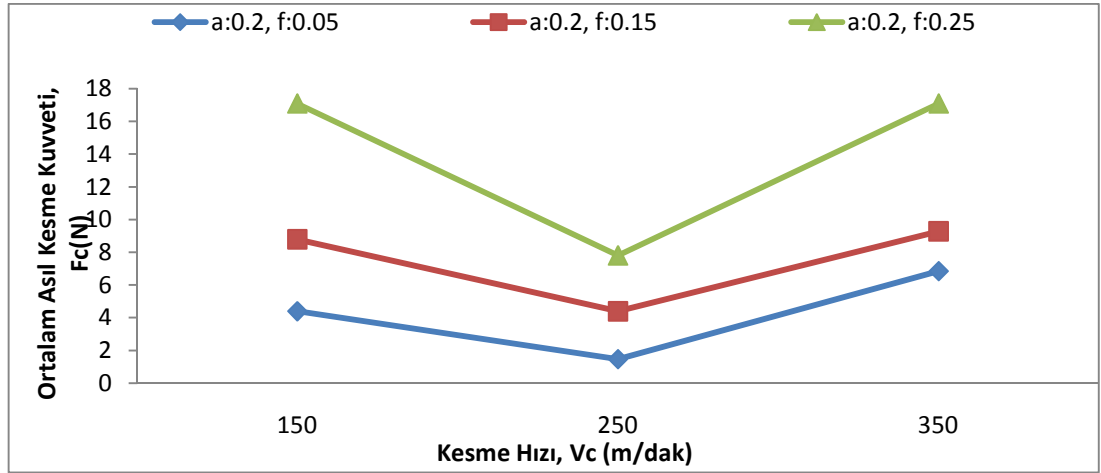
Çizelge 4.3. Hassas tornalama işlemlerinde uygulanan parametreler

Etial 150 ALAŞIMI İÇİN TORNALAMA İŞLEME TESTİ-DCGT11T304F-ALKN					
Deney No.	İşleme zamanı, Dakika (değişken)	Talaş Derinliği, a, mm (3 parametre)	İlerleme hızı, f, mm/dev (3parametre)	Kesme hızı, Vc, m/dak (3parametre)	Kaldırılan talaş hacmi, mm <sup>3</sup>
1	125	0,2	0,05	150	88609,2
2	76	0,2	0,05	250	88609,2
3	63	0,2	0,05	350	88609,2
4	42	0,2	0,15	150	88609,2
5	32	0,2	0,15	250	88609,2
6	30	0,2	0,15	350	88609,2
7	27	0,2	0,25	150	88609,2
8	18	0,2	0,25	250	88609,2
9	14	0,2	0,25	350	88609,2
10	50	0,5	0,05	150	88609,2
11	25	0,5	0,05	250	88609,2
12	21	0,5	0,05	350	88609,2
13	14	0,5	0,15	150	88609,2
14	11	0,5	0,15	250	88609,2
15	8	0,5	0,15	350	88609,2
16	9	0,5	0,25	150	88609,2
17	6,5	0,5	0,25	250	88609,2
18	6	0,5	0,25	350	88609,2
19	35,6	0,8	0,05	150	88609,2
20	23,8	0,8	0,05	250	88609,2
21	17	0,8	0,05	350	88609,2
22	15	0,8	0,15	150	88609,2
23	9,3	0,8	0,15	250	88609,2
24	6,6	0,8	0,15	350	88609,2
25	9,3	0,8	0,25	150	88609,2
26	5,6	0,8	0,25	250	88609,2
27	4	0,8	0,25	350	88609,2

Bu parametreler belirlenirken, kesici takım üretici firma (Seco Tools Catalog) tarafından tavsiye edilen minimum ve maksimum kesme parametrelerinin arasındaki değerler seçilerek test malzemesinin kuru tornalanması için en uygun kesme parametresi belirlenmeye çalışılmıştır. İşlemler sırasında çıkan talaş hacmi ( $88609,2 \text{ mm}^3$ ) sabit tutularak soğutma sıvısı kullanılmamıştır. Tornalama sırasında elde edilen kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, kesici takım durumu ve talaş yapısı sırasıyla başlıklar halinde verilmiştir.

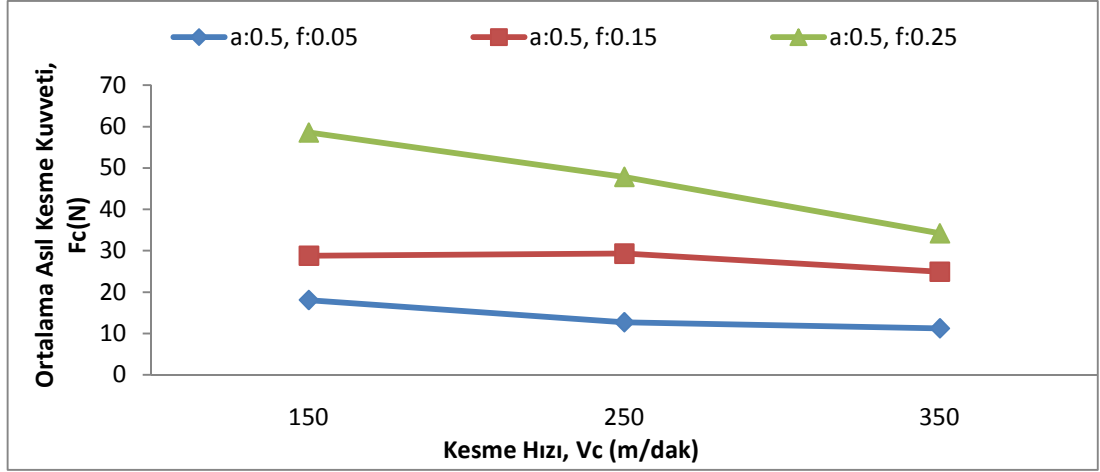
#### 4.2.3.1. Kesme kuvvetleri

Kesme olayını en önemli bir şekilde etkileyen esas kesme kuvvetinin ( $F_c$ ), ortalama değeri aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.



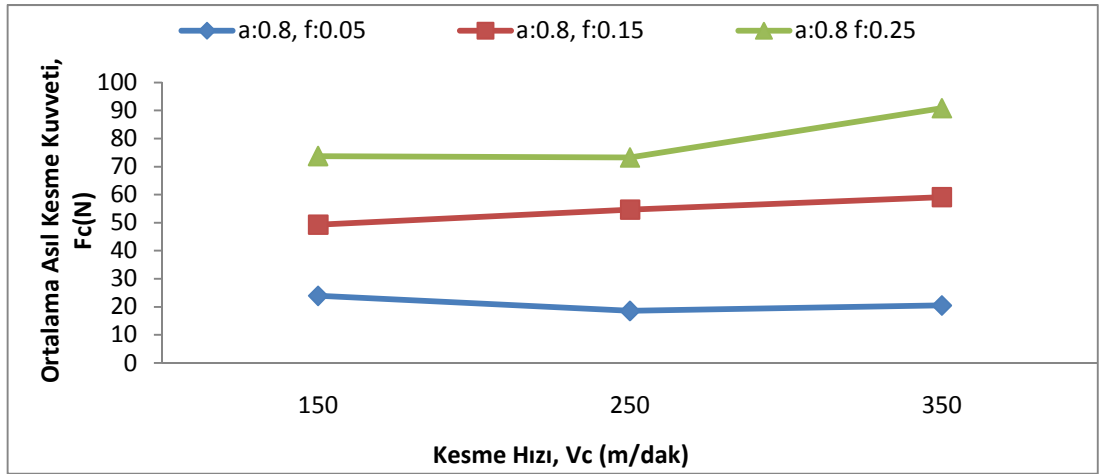
Şekil 4.10. Değişen kesme parametrelerine göre asıl kesme kuvveti değerleri

Şekil 4.10'de değişen kesme parametrelerine göre elde edilen ortalama asıl kesme kuvveti grafikleri verilmiştir. Talaş derinliği 0,2 mm sabit, ilerleme hızı 0,05 mm/dev ile kesme yapıldığında, asıl kesme kuvveti 4.39 N. İlerleme hızı 0,15 mm/dev ile asıl kesme kuvveti 8.79 N ve ilerleme hızı 0,25 mm/dev ile asıl kesme kuvveti 17.09 N ölçülmüştür. Başka ifade ile ilerleme hızının belirlenen aralıklarda artmasıyla kesme kuvvetinde iki kat artış gözlemlenmiştir. Aynı grafikte en düşük kesme kuvvetini veren kesme hızı, 0,2 mm talaş derinliği için 250 m/dak. olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.11. Değişen kesme parametrelerine göre asıl kesme kuvveti değerleri

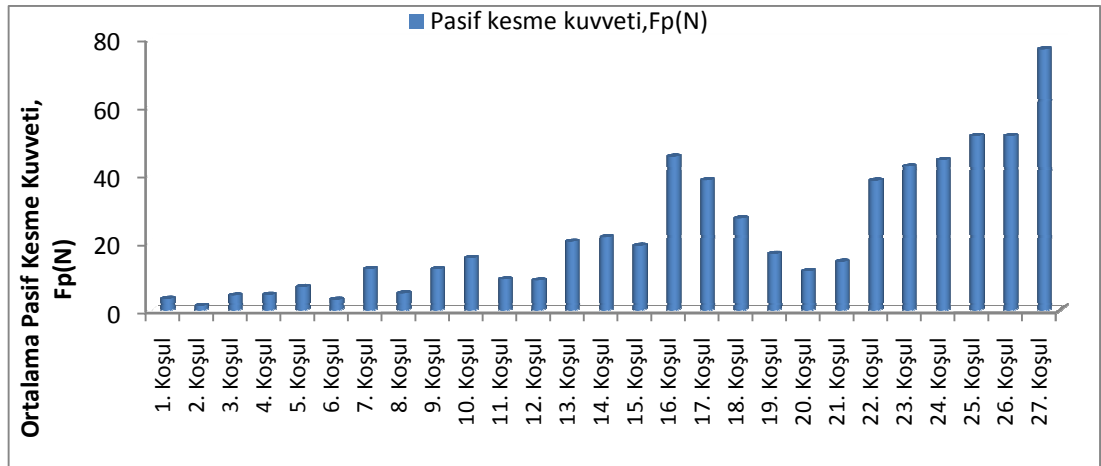
Şekil 4.10. ve Şekil 4.11. birlikte karşılaştırıldığında da, talaş derinliği 0.2 mm'den 0.5 mm değerine artırılarak ve kesme hızı 150 m/dak. ile işleme yapıldığında asıl kesme kuvveti 4.39 N'dan 18.08 N'a arttığı gözlemlenmiştir. Bu grafikte, ilerleme hızının etkisi, kesme hızı 250 m/dak. değeri esas alınarak değerlendirilirse talaş derinliği 0.5 mm ile sabit, ilerleme hızı 0.05 mm/dev, 0.15 mm/dev ve 0.25 mm/dev değerlerinde, asıl kesme kuvveti sırasıyla 12.7 N, 29.3 N ve 47.85 N olarak ölçülmüştür ve talaş derinliği 0.2 mm'den 0.5 mm'ye artırıldığında, ilerlemenin asıl kesme kuvvetine etkisi Şekil 4.10.'dakine benzer olduğu görülmüştür. Bu grafikte, genel olarak kesme hızının kesme kuvvetine etkisi, sadece talaş derinliği 0.5 mm, ilerleme hızı 0.25 mm/dev ve 350 m/dak. kesme hızında yapılan hassas tornalama koşulundadır.



Şekil 4.12. Değişen kesme parametrelerine göre asıl kesme kuvveti değerleri

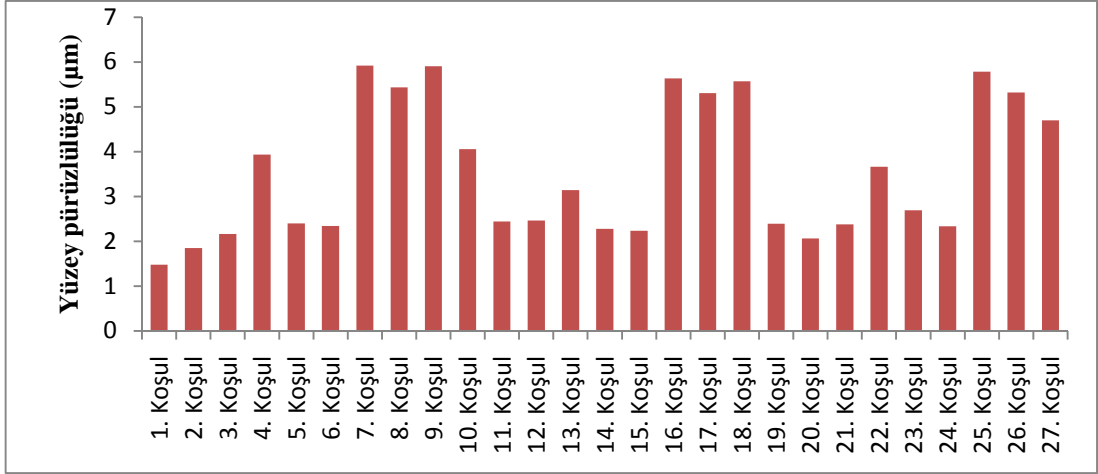
Şekil 4.12. incelenirse, son tornalama için öngörülen maksimum talaş derinliği olan 0.8 mm ile işleme yapıldığında, ilerlemenin asıl kesme kuvvetine etkisi Şekil 4.10. ve Şekil 4.11.'dekine benzerdir. Ancak, talaş derinliğinin asıl kesme kuvvetine etkisi, her üç grafik birlikte değerlendirilirse, talaş derinliği 0.2 mm'den 0.8' mm'ye arttırılırsa kesme kuvvetindeki artışın yaklaşık dört kat olduğu sonucuna varılmıştır. Yani, hassas tornalama işlemi için, kesme derinliğinin kesme kuvvetine etkisi ilerlemeye göre daha fazladır. En düşük asıl kesme kuvvetine göre, 2,3,5,15,18,20. deney koşulları en uygun deney koşulu olarak tespit edilmiştir.

Şekil 4.13.'de, pasif kesme kuvvetinin deney koşullarına göre değişimi verilmektedir. Hassas tornalamada, yüzey kalitesini etkileyen pasif kesme kuvvetinin değerleri asıl kesme kuvveti ile aynı doğrultuda olduğu gözlemlenmiştir. Pasif kesme kuvveti asıl kesme kuvvetine oranla daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.13. Değişen kesme parametrelerine göre pasif kesme kuvveti değerleri

Hassas tornalamada, yüzey hassasiyetini etkileyen pasif kesme kuvveti de değerlendirilirse, talaş derinliğinin hassas tornalama için maksimum değeri olan 0.8 mm'de yüksek pasif kesme kuvveti tayin edilmiş ve bu ise işlenen parçanın yüzey pürüzlülüğünü arttırmıştır. Bu durum Şekil 4.14.'de verilmiştir. En düşük pasif kesme kuvveti, 1-5. kesme koşullarında elde edilmiş, ancak aynı talaş hacminin kaldırılması için geçen işleme zamanı maksimum olduğundan elverişli bir kesme koşulu olarak değerlendirilmemiştir.



Şekil 4.14. Yüzey pürüzlülük değerlerinin grafiksel karşılaştırılması

Şekil 4.13. ve Şekil 4.14. birlikte analiz edilirse ve aynı talaş hacminin kaldırılması için harcanan işleme zamanı da göz önünde bulundurulur ise 15, 20 ve 21. deney koşulları en uygun işleme parametreleri olarak tespit edilmiştir.

Kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi tek başına yeterli değildir. Kesme kuvvetlerinden sonra; yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve talaş morfolojisi de ayrı ayrı değerlendirildikten sonra bunların hepsi ortak bir değerlendirmeye tutularak en iyi kesme parametresi tespit edilmiştir.

#### 4.2.3.2. Yüzey pürüzlülüğü sonuçları

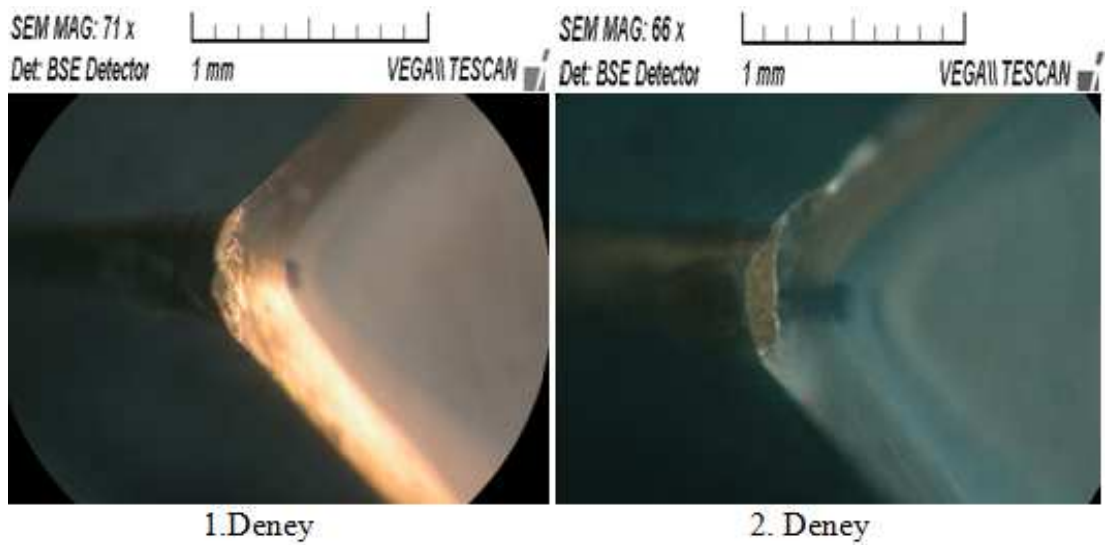
Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, deney numunesinin başından, ortasından ve sonundan üçer ölçüm yapılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümler yapılırken numune  $120^{\circ}$  döndürülerek üç (3) ölçüm yapılmış ve ortalaması alınmıştır. Yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçümü için MAHR-Perthometer M1 cihazı kullanılmıştır. Ortalama yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 4.14' de verilmiştir. Yüzey pürüzlülük ölçümlerine göre, yüzey pürüzlülüğünün yüksek olduğu 7,8,9,16,17,19 ve 25,26,28 kesme koşullarında ilerleme hızının 0.25 mm/dak. olduğu saptanmıştır. Belirtilen kesme koşullarında alüminyum alaşımının hassas tornalanması için, 0.25 mm/dak. ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğü bakımından uygun olmadığı söylenebilir. 15 ve 20. kesme

koşulunun hem yüzey pürüzlülüğü bakımından hem de pasif kuvvet ve ortalama asıl kesme kuvvetleri bakımından en iyi koşul olduğu kanaati oluşmuştur.

#### 4.2.3.3. Talaş yapışma eğilimi

Talaşlı imalatta kesme sırasında kesici kenarda mekanik, kimyasal, termal ve aşındırıcı yük faktörleriyle kesici takımında aşınma meydana gelir. Kesici kenar deformasyonları, talaş tipini de etkileyen kesme parametreleri, kesici takım ve iş parçası malzemesi özellikleriyle de direkt ilgilidir. Talaşlı imalatçılar için, çok büyük sorun teşkil eden ve yüzey-boyut hassasiyetini de olumsuz etkileyen talaş yapışma eğilimi, talaşın kesme kenarına sıvanmasıyla meydana gelir. Talaş sıvanması çoğunlukla sünek iş parçalarının iyi seçilememiş kesme hızlarıyla işleme sırasında oluştuğu bilinen bir gerçektir. Bu çalışmada da, diğer kesici takım aşınma tiplerinden ziyade talaş yapışma eğilimi görülmüştür. Şekil 4.15’de, kesme koşullarına göre talaş yapışma eğilimi ve takım aşınması SEM görüntüleri verilmiştir. Çizelge 4.4’de ise belirlenen kesme şartlarıyla kesici takımında oluşan talaş yapışma eğilimleri yorumlanmıştır.

Çizelge 4.4’de verilen deney numarası ve sıralanmış kesici takım SEM görüntülerine göre, en az talaş yığılması 3,8,15,18,20. deney koşullarında meydana gelmiştir.



SEM MAG: 71 x  
Det: BSE Detector  
1 mm VEGA\\ TESCAN



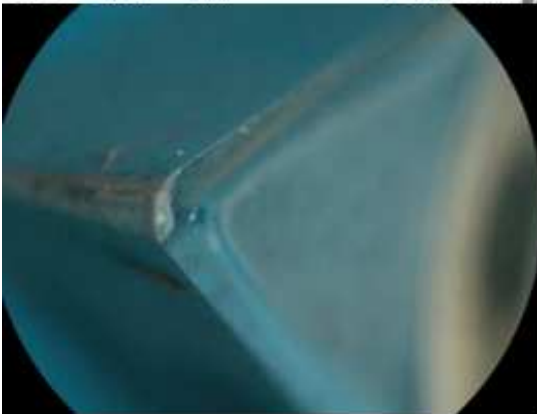
3. Deneý

SEM MAG: 71 x  
Det: BSE Detector  
1 mm VEGA\\ TESCAN



4. Deneý

SEM MAG: 71 x  
Det: BSE Detector  
1 mm VEGA\\ TESCAN



5. Deneý

SEM MAG: 71 x  
Det: BSE Detector  
1 mm VEGA\\ TESCAN



6. Deneý

SEM MAG: 71 x  
Det: BSE Detector  
1 mm VEGA\\ TESCAN



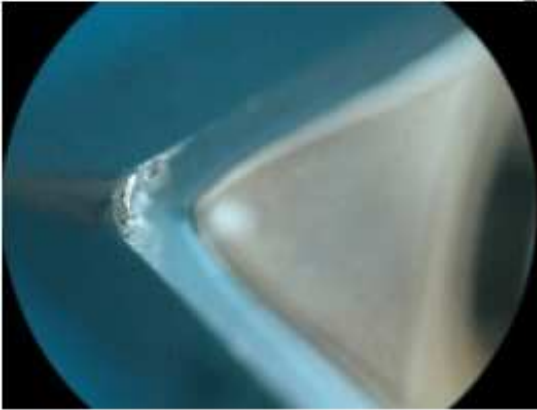
7. Deneý

SEM MAG: 71 x  
Det: BSE Detector  
1 mm VEGA\\ TESCAN



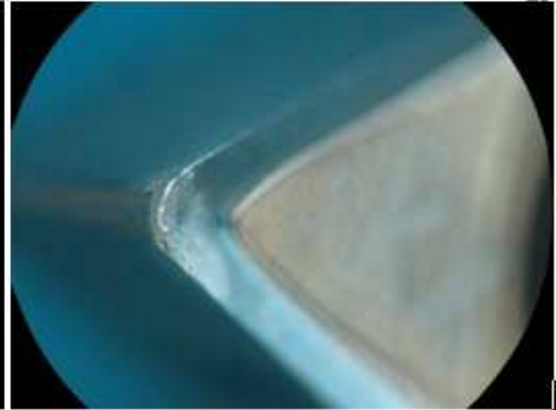
8. Deneý

SEM MAG: 71 x  
Det: BSE Detector  
1 mm VEGA\\ TESCAN



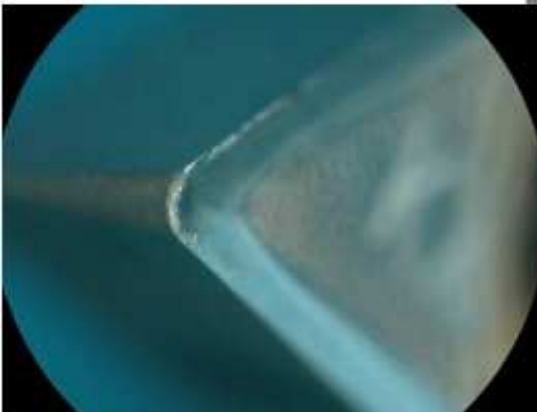
9. Deneý

SEM MAG: 71 x  
Det: BSE Detector  
1 mm VEGA\\ TESCAN



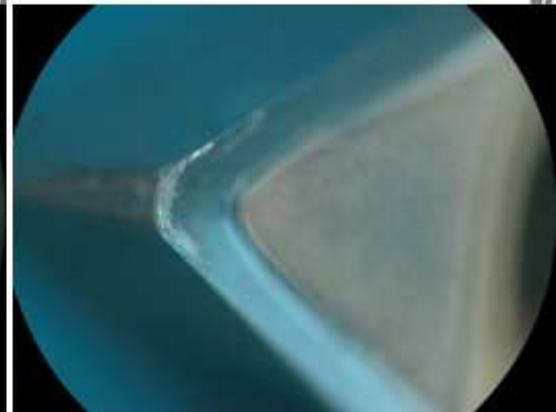
10. Deneý

SEM MAG: 71 x  
Det: BSE Detector  
1 mm VEGA\\ TESCAN



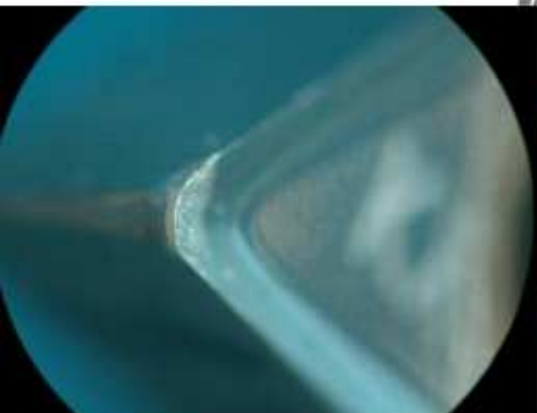
11. Deneý

SEM MAG: 71 x  
Det: BSE Detector  
1 mm VEGA\\ TESCAN



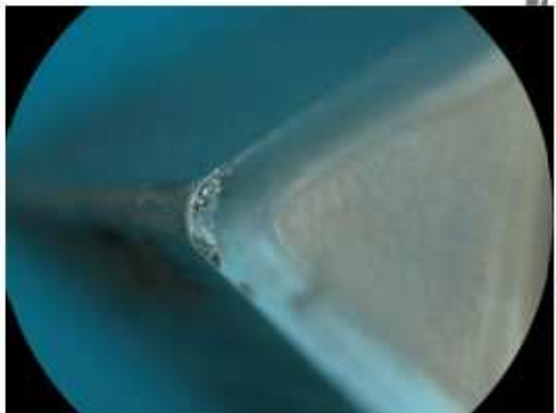
12. Deneý

SEM MAG: 71 x  
Det: BSE Detector  
1 mm VEGA\\ TESCAN



13. Deneý

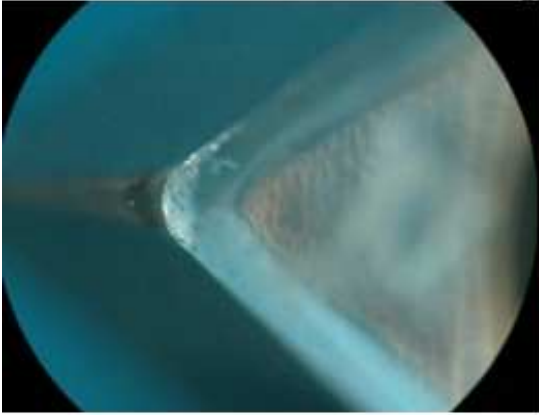
SEM MAG: 71 x  
Det: BSE Detector  
1 mm VEGA\\ TESCAN



14. Deneý

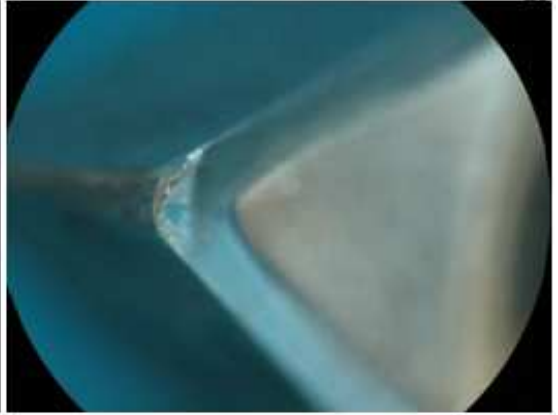


SEM MAG: 71 x  
Det: BSE Detector  
1 mm VEGA\\ TESCAN



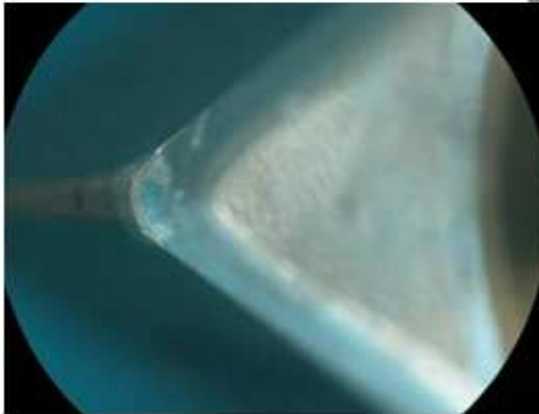
15.Deney

SEM MAG: 71 x  
Det: BSE Detector  
1 mm VEGA\\ TESCAN



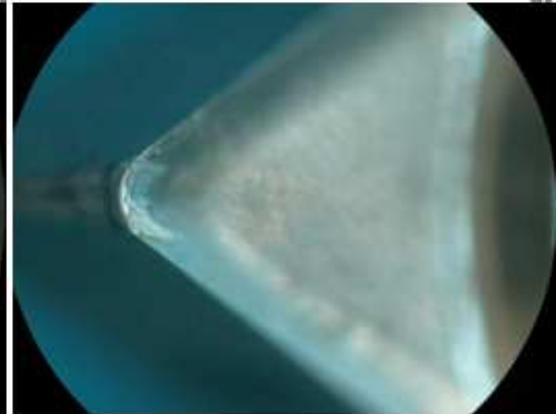
16. Deney

SEM MAG: 71 x  
Det: BSE Detector  
1 mm VEGA\\ TESCAN



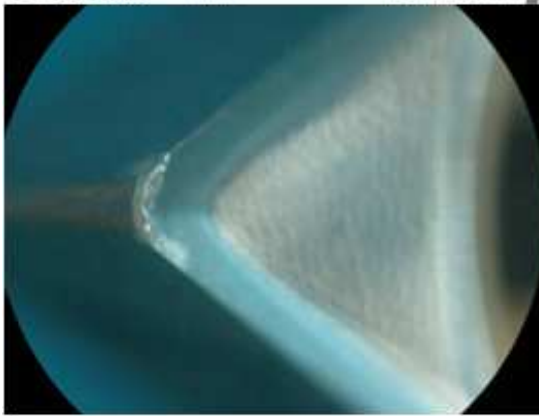
17.Deney

SEM MAG: 71 x  
Det: BSE Detector  
1 mm VEGA\\ TESCAN



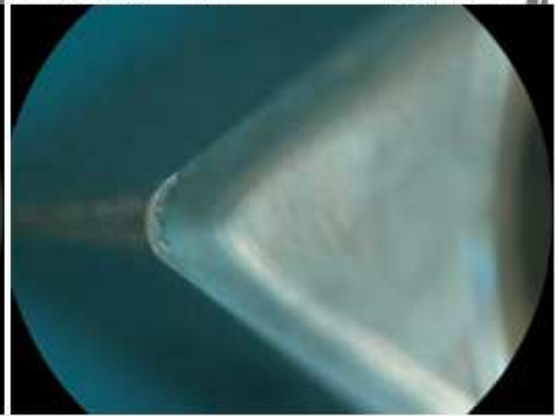
18. Deney

SEM MAG: 71 x  
Det: BSE Detector  
1 mm VEGA\\ TESCAN



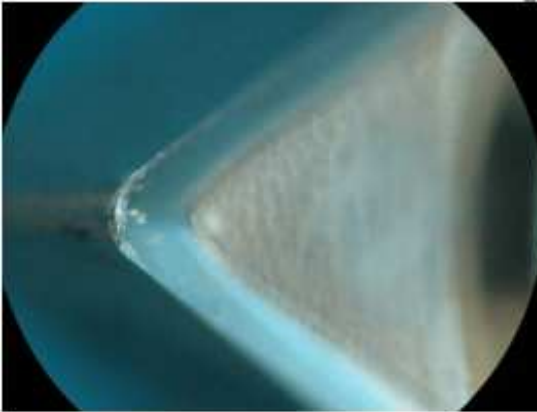
19.Deney

SEM MAG: 71 x  
Det: BSE Detector  
1 mm VEGA\\ TESCAN



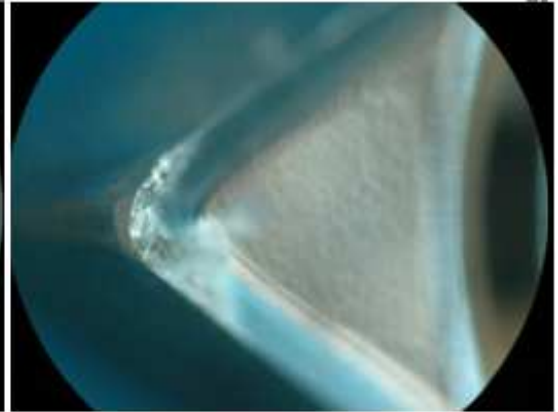
20. Deney

SEM MAG: 71 x  
Det: BSE Detector  
1 mm VEGA\\ TESCAN



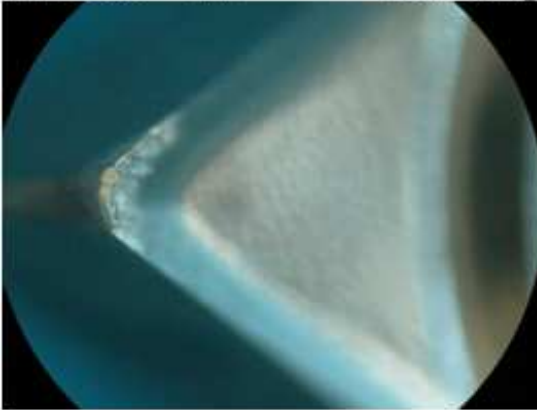
21.Deney

SEM MAG: 71 x  
Det: BSE Detector  
1 mm VEGA\\ TESCAN



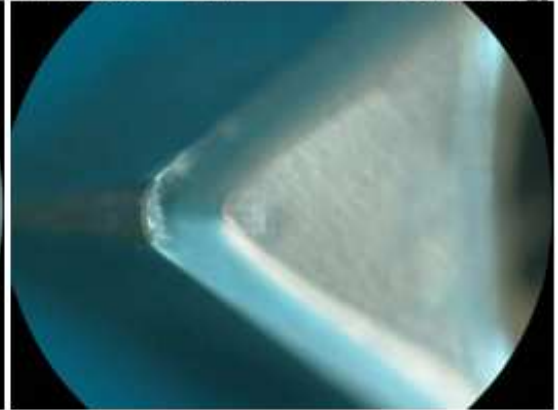
22. Deney

SEM MAG: 71 x  
Det: BSE Detector  
1 mm VEGA\\ TESCAN



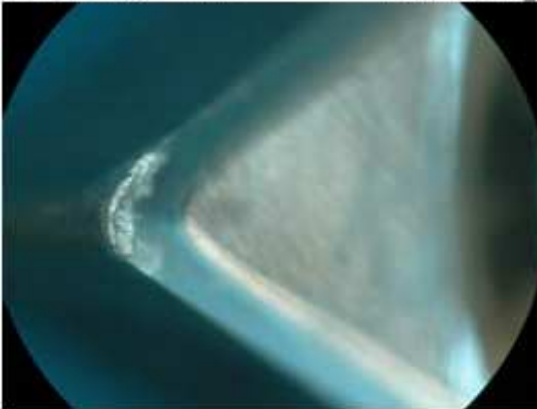
23.Deney

SEM MAG: 71 x  
Det: BSE Detector  
1 mm VEGA\\ TESCAN



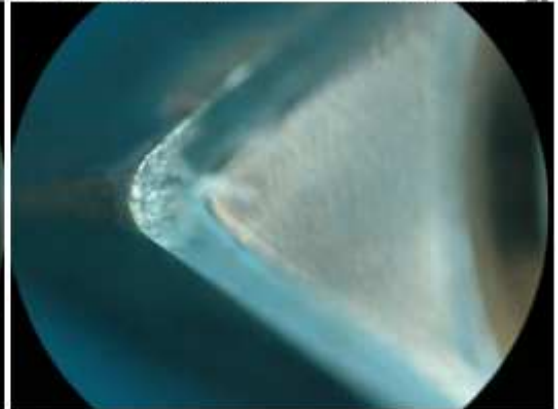
24. Deney

SEM MAG: 71 x  
Det: BSE Detector  
1 mm VEGA\\ TESCAN

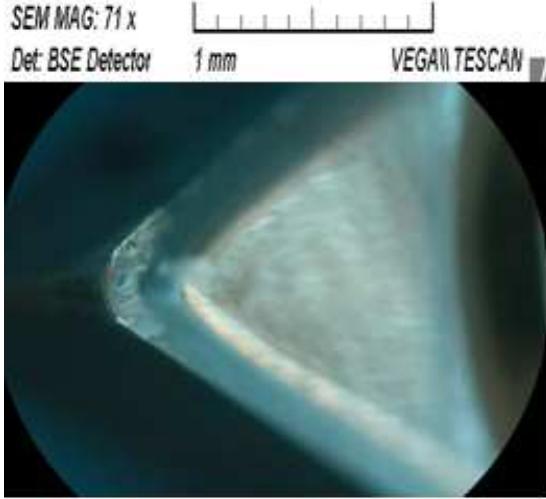


25.Deney

SEM MAG: 71 x  
Det: BSE Detector  
1 mm VEGA\\ TESCAN



26. Deney



27.Denev

Şekil 4.15. DCGT11T304F takımı talaş yapışma eğilimi ve takım aşınması resimleri

Çizelge 4.4. Kesme koşulları ve işleme sonrası kesici takım durumu

Dene y no	Talaş derinli ği,mm	İlerleme hızı,mm/dak.	Kesme hızı, m/dak.	İşleme Sonrası Takım Durumu
1	0,2	0,05	150	Talaş sıvanması yüksek, kesme kenarında şekil bozukluğu mevcut.
2	0,2	0,05	250	Talaş sıvanması düşük, fakat katman oluşturmuş, takım kesme kenarında şekil bozukluğu yok
3	0,2	0,05	350	Talaş sıvanması min. seviyede kesme kenarında şekil bozukluğu yok
4	0,2	0,15	150	Talaş sıvanması yüksek ve talaş sıvanma alanı genişlemiş, talaş kesme kenarı hattı kaybolmuş.
5	0,2	0,15	250	Talaş sıvanması 4. Koşula göre daha az, kesme kenarının bir kısmında yığıntı katman oluşmuş ve kesme kenarı kaybolmuş
6	0,2	0,15	350	Talaş sıvanma alanı 5. Koşuldan daha az
7	0,2	0,25	150	Talaş sıvanması fazla ve talaş yayılma eğilimi var.
8	0,2	0,25	250	Talaş sıvanması 7. Koşuldan az, kesme kenarı düzgün.
9	0,2	0,25	350	Talaş yığılması katman oluşturmuş, kesme kenarı düzgün.
10	0,5	0,05	150	Kesme kenarında talaş yığılması var, sıvanma yayılmış durumda, kesme kenarı geometrisi bozulmuş
11	0,5	0,05	250	Talaş sıvanması sadece kesme noktasında var, talaş derinliğine bağlı olarak kesme kenarı bozulmuş
12	0,5	0,05	350	Kesme kenarı üzerinde düşük talaş sıvanması var
13	0,5	0,15	150	Talaş sıvanması yüksek, talaş kesme noktasında talaş yığılması mevcut, kesme kenarı geometrisinde bozulma az.
14	0,5	0,15	250	Talaş sıvanması 13 den daha az, kesme kenarı geometrisi düzgün.
15	0,5	0,15	350	Talaş sıvanması 14 den az, kesme kenarı geometrisi düzgün.
16	0,5	0,25	150	Kesme kenarında yığıntı katmanı oluşmuş, kesme kenarı düzgün.
17	0,5	0,25	250	Talaş sıvanması düşük, kesme kenarı geometrisi düzgün.
18	0,5	0,25	350	Talaş sıvanması düşük, kesme kenarı geometrisi düzgün.
19	0,8	0,05	150	Kesme kenarında yığıntı katmanı mevcut, yığılmadan dolayı kesme kenarı geometrisi bozulmuş
20	0,8	0,05	250	Kesme kenarında sıvanma 18 den az, kesici kenar düzgün.
21	0,8	0,05	350	Kesme kenarında sıvanma az; fakat katman oluşmuş, kesme kenarı şeklinde de bozulma az.
22	0,8	0,15	150	Talaş sıvanması yüksek ve yayılmış, kesme kenarı düzgün.
23	0,8	0,15	250	Talaş sıvanması 22 den az fakat katman oluşturmuş, kesme kenarı geometrisi düzgün.
24	0,8	0,15	350	Talaş sıvanması 23 den daha az; fakat katman oluşmuş ,kesme kenarı geometrisi düzgün
25	0,8	0,25	150	Talaş sıvanması fazla, kesme kenarı geometrisi bozulmuş
26	0,8	0,25	250	Talaş sıvanması 25 den az, fakat kesme kenarında yığılma mevcut
27	0,8	0,25	350	Talaş sıvanması 26 ya göre az, fakat; kesme kenarındaki yığılma kesici takım geometrisini bozmuş

Talaş yapışma eğilimi tüm deney koşulları için değerlendirilirse aşağıdaki genel sonuçlar ortaya çıkmıştır:

- 150 m/dak. kesme hızıyla yapılan hassas tornalama işlemlerinde talaş sıvanması diğer kesme hızlarına göre daha fazla meydana gelmiştir. Bu yüzden, bahsedilen iş parçası için, 150 m/dak. kesme hızı talaş yapışma eğilimi içini arttırdığından tercih edilmemektedir.
- İlerleme oranı arttıkça sıvanma alanı kesme kenarına ve talaş yüzeyine doğru genişlemiştir.
- İlerleme oranı arttıkça talaş yapışma eğilimi artmakta ve bu durum kötü yüzey pürüzlülüğüne neden olmuştur.
- Fc kesme kuvvetinin artması, BUE eğiliminin artmasına neden olmuştur.
- Kesme hızının artması, BUE eğilimini azaltmıştır.
- Talaş yapışması da, değerlendirilirse, talaş derinliği 0.8 mm, ilerleme hızı 0.05 mm/dak. ve kesme hızı 250 m/dak. olan kesme koşulu ( 20. Deney koşulu) ve 0.5 mm talaş derinliği, 0.15 mm/dak. ilerleme hızının ve 350 m/dak. kesme hızının (15. Deney koşulu), belirlenen kesici takım ile kuru tornalama şartlarında, basınçlı dökümle imal edilmiş Etial 150 alüminyum alaşımının hassas tornalanması için en iyi koşul olduğu kanaatine varılmıştır.

Kesme sıcaklıklarının en geniş aralığında oluşan aşınma mekanizmasının yapışma olduğu daha önce yapılan çalışmalarda ifade edilmiştir (Carrilero et al., 2002, Sanchez et al., 1994). Talaş yapışmasını, sünek parçaların işlenmesinde yanlış kesici takım ve kesme parametrelerinin seçimiyle meydana geldiğini ifade etmektedir (Şeker, 2004). Bu çalışmada da, düşük kesme hızlarında tornalama sırasında talaş yapışmanın arttığı literatürle uyumludur.

#### **4.2.3.4. Talaş tipi değerlendirme sonuçları**

Özellikle tornalama gibi sürekli talaş kaldırma işleminde talaş oluşumu, iş parçası kalitesi ve kesici takım ömrü bakımından oldukça önemlidir. Çoğu durumda, süreksiz talaş tipi, veya kısa helisel boru şeklinde talaş tipleri arzu edilen talaş

tipleridir. Klocke, Şekil 4.16’da görüleceği üzere talaş tiplerini ISO 3685-1977 (E) standardına göre sınıflandırmaktadır (Klocke, 2010).

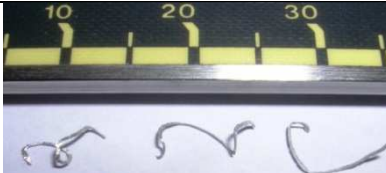

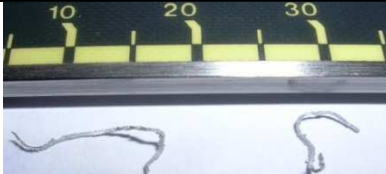











1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Şerit talaş	Karışık talaş	Tirbuşon talaş	Sarmal talaş	Uzun boru talaş	Kısa boru talaş	Spiral boru talaş	Spiral talaş	Uzun virgül talaş	Kısa virgül talaş
Kabul edilemez				Kabul edilebilir					
Kabul edilemez				Kabul edilebilir					









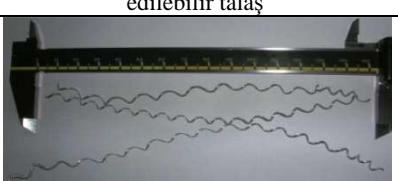
Şekil 4.16. Talaş tipleri (Klocke, 2010)

Klocke’ye göre, en iyi talaş tipi kısa tüp, spiral tüp ve spiral şeklinde oluşan talaş tipleridir. Ayrıca, helisel talaş, uzun tüp, uzun ve kısa virgül şeklinde oluşan talaş tiplerini de kabul edilebilir olarak sınıflandırmaktadır. Fakat şerit ve karışık talaş, sarmal şeklinde talaş oluşumları, verimli bir talaşlı imalat için tavsiye edilmeyen talaş tipi olarak sınıflandırılmıştır (Klocke, 2010). Bu çalışmada değişen kesme parametrelerine göre, oluşan talaş tipleri ve değerlendirmeleri Şekil 4.17’de verilmektedir.

Deney no	Çıkan talaş resmi ve değerlendirilmesi	Deney no	Çıkan talaş resmi ve değerlendirilmesi
1	5 mm uzunluğunda kısa boru şeklinde iyi talaş	2	5 mm uzunluğunda spiral şeklinde iyi talaş
3	8 mm uzunluğunda spiral şeklinde iyi talaş	4	8 mm uzunluğunda spiral şeklinde iyi talaş



5	 <p>10 mm uzunluğunda uzun virgül şeklinde kabul edilebilir talaş</p>	6	 <p>10 mm uzunluğunda uzun virgül şeklinde kabul edilebilir talaş</p>
7	 <p>12 mm uzunluğunda uzun virgül şeklinde kabul edilebilir talaş</p>	8	 <p>5 mm uzunluğunda uzun virgül şeklinde kabul edilebilir talaş</p>
9	 <p>10 mm uzunluğunda uzun virgül şeklinde kabul edilebilir talaş</p>	10	 <p>10 mm uzunluğunda boru şeklinde iyi talaş</p>
11	 <p>10 mm uzunluğunda kısa boru şeklinde iyi talaş</p>	12	 <p>20 mm uzunluğunda sarmal şeklinde kabul edilebilir talaş</p>
13	 <p>10 mm uzunluğunda uzun virgül şeklinde kabul edilebilir talaş</p>	14	 <p>6 mm uzunluğunda spiral şekline iyi talaş</p>
15	 <p>5 mm uzunluğunda spiral şeklinde iyi talaş</p>	16	 <p>10 mm uzunluğunda uzun virgül şeklinde kabul edilebilir talaş</p>
17	 <p>5 mm uzunluğunda spiral şekline iyi talaş</p>	18	 <p>10 mm uzunluğunda spiral şeklinde iyi talaş</p>

19	 10 mm uzunluğunda kısa boru şeklinde iyi talaş	20	 12 mm uzunluğunda kısa boru şeklinde iyi talaş
21	 15 mm uzunluğunda sarmal şeklinde kabul edilebilir talaş	22	 15 mm uzunluğunda kısa boru şeklinde iyi talaş
23	 15 mm uzunluğunda helisel şekline kabul edilebilir talaş	24	 13 mm uzunluğunda helisel şekline kabul edilebilir talaş
25	 12 mm uzunluğunda helisel şekline kabul edilebilir talaş	26	 120 mm uzunluğunda tirbuşon şeklinde kötü talaş
27	 150 mm uzunluğunda tirbuşon şeklinde kötü talaş		

Şekil 4.17. Kesme parametreleri, talaş resimleri ve değerlendirmeleri

5,6,7,8,9. Deney koşullarında çıkan talaşlar kabul edilebilir talaşlardır. Bu talaş tipleri için çok iyi talaş denilemez. Bu deney koşulları incelendiğinde taşlaş derinliği sabit olmakla birlikte ilerleme hızında bir artış gözlenmektedir. İlerleme hızının artması talaş tipini kötü yönde etkilemiştir.

10,11. Deney koşullarında ise iyi talaş elde edilmiştir. Bu deney koşullarında ise ilerleme hızı minimum seviyeye olduğu görülmektedir. Daha sonraki deney koşullarında ilerleme hızına paralel olarak talaş tipi kötüleşmiştir.

18. Deney koşulundan sonra talaş derinliği maksimum seviyeye çıkartılarak takımın dayanma sınırı tespit edilmeye çalışılmış buna bağlı olarak bu koşuldan sonra talaş derinliği 0,8 yapılmış ve ilerleme hızı gittikçe artırılmıştır. 23,24,25. Deney koşullarında ilerleme hızına bağlı olarak talaş tipi kötüleşmiş ve kabul edilebilir talaş şekline gelmiştir. 26,27. Deney koşullarında çıkan talaş tipi istenmeyen uzun tirbuşon şeklinde talaş çıkmaktadır. Bu talaş tipi parçaya ve takıma sararak yüzey kalitesini düşürmektedir. Etial 150 alüminyum alaşımında kullanılan takım için firmanın vermiş olduğu hız sınırların maksimum seviyede olması bu tarz istenmeyen talaşa sebep olmaktadır.

Döküm parçalarda talaş şekli kısa ve kırılğan şekilde olması istenen bir durumdur. Bu şekilde çıkan talaşlarda genellikle takımda sıvanma az görülmektedir. Resimler genel olarak incelendiğinde uygun talaş tipinin olduğu deney koşulları şu şekilde sıralanabilir; 1-2-3-4-10-11-14-15-17-18-19-20-22-23-24

Bu koşullar; düşük yüzey pürüzlülüğü, düşük kesme kuvveti ve en iyi talaş koşulları ile birlikte değerlendirildiğinde, en iyi tornalama deney parametresi tespit edilebilecektir. Bu değerlendirmeleri komple yapacak olursak;

- Kesme kuvvetine göre; 1-2-3-4-5-6-8-11-12-15-20-21
- Yüzey pürüzlülüğüne göre: 1-2-3-15-20
- Talaş yapışma eğilimine göre; 3-8-15-18-20
- Talaş tipine göre; 1-2-3-4-10-11-14-15-17-18-19-20-22

Sonuç itibarı ile kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve talaş tipi kompleks olarak değerlendirildiğinde tüm bu deney sonuçlarının ortak işaret etiği 3 deney koşulu mevcuttur. Bunlar; 3-15-20. Deneylerdir.

Bu üç koşul arasında tüm yönleri ile bir kıyaslamaya tabi tutulacak olursa öncelikle 3. Deney koşulu ön plana çıkmaktadır. Maliyet açısından, işleme zamanını da değerlendirilirse; 3. Deney koşulu ile parça 63 dakikada, 20. Deney koşuluyla parça 23 dakikada ve 15. Deney koşuluyla parça 8 dakikada işlenmektedir. Tüm deneyleri ve maliyetleri değerlendirecek olursak (işçi maliyeti, zaman ve enerji giderleri), 20 ve 15. Deney koşulu en uygun koşul olduğu tespit edilmiştir.



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Etial 150 alüminyum alaşımının talaşlı işlenebilme ve mekanik özelliklerine enjeksiyon parametrelerinin etkisi araştırılmıştır. Çalışma, enjeksiyon parametrelerinin basınçlı döküm ürünü kalitesine etkisi ve talaşlı işlenebilmeye etkisi olarak iki konuyu içermektedir.

Etial 150 alüminyum alaşımının basınçlı dökümünde kalıp tasarımı ve enjeksiyon parametrelerinin ürüne etkisi konusunda ulaşılan bulguları şu şekilde açıklayabiliriz:

- Kalıp tasarımında, öncelikle enjeksiyon makinesinin kapasitesi göz önüne alınarak tasarım yapılmalıdır. Enjeksiyon makinesinin kapasitesi, imal edilecek parçanın ağırlığı ile birlikte yolluk, besleyici, çıkıcıların teşkil ettiği malzemenin ağırlığı da dikkate alınarak, kalıp tasarımı yapılmalıdır. Aksi halde, yalnızca parça ağırlığı ve hacmi dikkate alınırsa, imal edilecek parçayı dolduracak eriyik malzeme yetersiz olacak ve parça yüzeyi düzgün çıkarken parçanın merkezine doğru büyük gözeneklere rastlanmaktadır.
- Kalıp tasarlanırken hava cepleri ve hava çıkış kanalları hesaplamalarına dikkat edilmelidir. Hava ceplerinin, imal edilecek parça hacminin, en az 1/8 olmalıdır.
- Uzun parçaların enjeksiyonla imalatında, yatay yolluk giriş genişliği hemen hemen parça boyu uzunluğuna yakın olmalıdır. Aksi halde, en uç bölgelerde gözenek meydana gelmektedir.
- Parça üretimine başlamadan önce, kalıp malzemesi ergime sıcaklığı dikkate alınarak kalıp ısıtılmalıdır. Aksi durumda, kalıba giren ergiyik aniden soğuyup katılaşmakta ve kalıp boşluğunu malzeme tamamen dolduramamaktadır.

- Etial 150 alüminyum alaşımının basınçlı dökümünde, bu tezde çalışılan ürün değerlendirilerek, enjeksiyon parametreleri; enjeksiyon hız oranı: %100, enjeksiyon basıncı: 150 bar ve çıkan ürünlere sulu soğutma uygulanması durumunda parça kalitesinde önemli bir artış olduğu tespit edilmiştir.
- Etial 150 alüminyum alaşımının soğuk kamaralı makinede basınçlı dökümünde; malzemenin eritildiği fırındaki sıcaklığı ergime sıcaklığının yaklaşık 50-100°C üzerinde olmalıdır. Bunun en önemli sebebi soğuk kamaralı basınçlı dökümde malzeme fırından makineye kepçe ile taşınırken ısı kaybına uğramakta ve kaliteli döküm yapılmasını engellemektedir.
- Çizelge 4.1.'de verilen basınçlı döküm parametreleri dikkate alındığında, mekanik özellikler ve gözenek oluşumu değerlendirilerek yapılan en iyi enjeksiyon parametresi seçiminde, üçüncü enjeksiyon koşulunun en iyi olduğu kanaatine varılmıştır. Bununla birlikte kalıpta belli süre bekletildikten sonra dışarıya alınan numunelerin suda soğutulması da, dayanımı çok az miktarda (% 3) arttırmıştır.

Uygun basınçlı döküm parametresi ile üretimi yapılan Etial 150 alüminyum alaşımı numunesinin hassas tornalama testlerinde, aşağıda sıralanan önemli bulgular elde edilmiştir:

- 150 m/dak. kesme hızının, bu malzeme için hassas tornalama sırasında talaş yapışma eğilimini arttırdığı görülmüştür. Bu kesme hızı üretici firma tarafından verilen minimum değerdir. Fakat kesme hızı 250 m/dak. ve 350 m/dak. değerlerinin, DCGT11T304F kesici takım malzemesi için, talaş yapışma eğilimini azalttığı sonucuna varılmıştır.
- Düşük talaş derinliği söz konusu olduğunda 0,2 mm gibi kesme hızı 250 m/dak. olmalıdır. Çünkü düşük asıl kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü önemli oranda etkileyen pasif kuvvet, hassas tornalama işleminin daha verimli olduğu söylenebilir (Şekil 4.13).

- İlerleme hızı, kesme hızı sabit tutulduğunda, yüzey pürüzlülüğü en çok etkileyen parametre olmuştur. Kesme hızı sabit tutulduğunda ilerleme hızı, 0.2 mm/dak.'dan 0.5 mm/dak. değerine arttırıldığında ortalama asıl kesme kuvveti iki kat, talaş derinliği 0,2 mm'den 0.5 mm'ye arttırıldığında ortalama asıl kesme kuvveti dört kat artmıştır.
- Yüksek ilerleme ve talaş derinliği (0.25 mm/dak. ve 0,8 mm) ile düşük kesme hızıyla (150 m/dak.) yapılan kuru tornalamada kesici kenarda belirgin bir şekilde yığıntı talaş meydana gelmiştir. Fakat düşük ilerleme ve talaş derinliği (0.05 mm/dak. ve 0,2 mm) ile yüksek kesme hızıyla (350 m/dak.) yapılan kuru tornalamada, kesme kenarında en düşük yığıntı talaş oluşumu gözlemlenmiştir (Şekil 4.15 - 3. Deney).
- Yüksek ilerleme ve talaş derinliği ile yüksek kesme hızıyla yapılan tornalamada çok uzun tirbuşon şeklinde talaş meydana gelmiş (Şekil 4,12,26,27. Deney) ve bu durum kesme kenarı ile talaş yüzeyinde talaş yapışma eğilimini arttırmıştır. Bununla birlikte, düşük ilerleme ve talaş derinliği sabit tutularak kesme hızı arttırıldığında, kısa boru helis tipi talaş oluşumu, istenilen bir talaş tipidir.
- Bütün deneyler karşılaştırıldığında, ETİAL 150 alüminyum alaşımı malzeme için kesici takım firmasının belirttiği aralıklarda DCGT11T304F takımla kuru tornalama ideal kesme koşulu sırasıyla talaş derinliği: 0,5 mm, ilerleme hızı: 0.15 mm/dak. ve kesme hızı değerleri: 350 m/dak. (15. Deney) veya talaş derinliği: 0.8 mm, ilerleme hızı: 0.05 mm/dak., kesme hızı: 250 m/dak. olan kesme koşulu (20. Deney) olarak tayin edilmiştir.

## 6. KAYNAKLAR

- Akkurt, M., 2004. Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları. Birsen Yayınevi, 347s. İstanbul.
- Andreoni, L., Case, M., Pomesano, G., 1996. The Pressure Die-Casting Process. Edimet Spa-25124 Brescia İtaly.
- Aramugan, P., U., Malshe, A., P, Batzer, S., A., 2006. Dry Machining of Aluminium-Silikon Alloy Using Polished CVD Diomond- Coated Cutting Tools Inserts. Surface and Coatings Technology, 200, 3399-34033.
- ASM Specialty Handbook, 1999. Magnesium and Magnesium Alloys. ASM International Handbook Committee, United States of America.
- Avner, 1974. Tülbentçi, 1987. Welding Handbook 1996. Anderson 2000. Mathers 2002.
- Böhler Sert Maden ve Takım Sanayi ve Ticaret A.Ş. 1990. Talaş kaldırma bilgileri. Yeni Karar Yayıncılık, 31-42s. İstanbul.
- Brunhuber, E., 1963. Moderne Druckgussfertigung, Fachverlag Schiele. 360p. Berlin.
- Campbell, J., S., 1950. Casting and Forming Processes. Toronto, London.
- Carrilero, M., S., Bienvenido, R., Sanchez, J., M., Alvarez, M., Gonzalez, A., Marcos, M., 2002. A SEM and EDS Insight İnto the BUL and BUE Difference in the Turning Processes of AA2024 Al-Cu Alloy, International Journal of Machine Tools & Manufacture. vol. 42, 215-220 p.
- Çakır, C., 2006. Modern Talaşlı İmalatın Esasları. Nobel Yayın Dağıtım, 2. Baskı, 267s. Ankara.
- Çoğun, C., Özses, B., 2002. Bilgisayar Sayısal Denetimli Takım Tezgahlarında Değişik İşleme Koşullarının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi. Gazi Üniv.Müh. Mim. Fak. Der. 17(1), 59 – 75s. Ankara.
- Çolak, M. ve Kayıkcı, R., 2009. AITİB Mastır Alaşımı İlavesinin Etial 160 Döküm Alaşımı Üzerinde Tane İnceltme Etkisinin İncelenmesi 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu. Karabük.
- Dagnal H., 1986. Exploring Surface Texture. Rank Taylor Habson Limited, England.

- Demir, E., 2008. Alüminyum Alaşımlarda Isıl İşlem Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 90s. İzmir.
- Demir, C., Mentеше, E., B., Togay, M., A., 2008. Alüminyum Isıl İşleminde Su Verme Uygulamaları ve Kalıntı Gerilime Etkisi. Componenta Döktaş, Manisa.
- Doehler, H., H., 1974. Çeviri, Bayvas, M., Ş., Basınçlı Döküm. Mesleki ve Teknik Öğretim Kitapları, Etüd ve Programlama Dairesi Yayınları No:80, Erkek Teknik Yüksek Öğretmen Okulu Matbaası, 514s. Ankara.
- Ensarioglu, C., 2007. Talaşlı İmalat İşlemlerinde Kesme Parametrelerinin Belirlenmesi İçin Bir Uzman Sistem Yaklaşımı. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 118s. Bursa.
- Erhard, N., M., Schlotterbeck, 2009. Die Casting for the Future: Economically and Ecologically. 66th Annual Magnesium Conference, California-USA.
- Güleç, S., ve Aran, A., 1995. Çeviri, H., J., Malzeme Bilgisi I ve II. Bargel ve G., Schulze'den İ.T.Ü. Yayını, İstanbul.
- Güllü, A., 1995. Silindirik Taşlamada İstenen Yüzey Pürüzlülüğünü Elde Etmek İçin Taşlama Parametrelerinin Bilgisayar Yardımıyla Optimizasyonu. Doktora Tezi Gazi Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 152s. Ankara.
- Hüseyinoğlu, M., 2008. 7075 Alüminyum Alaşımın Freze ile İşlenmesinde Minimum Soğutma Sıvısı Kullanmanın Performans Karakteristiklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 48s. Elazığ.
- Kırıcı, M., 1998. CNC Frezeleme İşlemleri İçin Kesme Parametrelerinin Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 57s. Isparta.
- Kibbe, R., White, W., 1991. Machine Tool Practices. Prentice Hall Englewood Cliffs, 285p. New Jersey.
- Klocke, F., 2010. Simülation in Manufacturing Technology: Lecture 8, Principles of Cutting. Fraunhofer Institute for Production Technology, Aachen.
- Koru, M., 2007. Basınçlı Döküm Yönteminde Al-Si (A413) Alaşımının Termal ve Dinamik Parametrelere Bağlı Olarak Ara Yüzey Isı Transfer Katsayısının Deneysel ve Teorik İncelenmesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 157s. Isparta.

- Kurt, A., 2006. Talaş Kaldırma Sırasında Oluşan Kesme Kuvvetleri ve Mekanik Gerilmelerin Deneysel Olarak İncelenmesi ve Matematiksel Modellerinin Oluşturulması. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, 266s. Ankara.
- Lahres, M., Hummel, P.M., Doerfel, O., 1997. Applicability of Diffrent in Dry Milling Aluminium Alloys. Surface and Coattind Technology, 91-116-121p.
- Lamikiz, A., Lacelle, L., N., Sanchez, J., A., Cabanes, I., 2001. Cutting Conditions and Tool Optimization in The High-Speed of Aluminium Alloys. Engineering Manufacture, 215 (9), 1257-1269.
- Lee E., H., Shaffer, B., W., 1951. The Theory of Plasticity Applied to a Problem of Machining, ASME, J. Appl. Mech. 18, 405–413p.
- Merchant, M., E., 1945. Mechanics of the Metal Cutting Process. I. Orthogonal Cutting and a Type 2 Chip, Journal of Applied Physics, Vol.16, 267–275p.
- Mert, F., Özdemir, A., Karataş, Ç., Magnezyum Alaşımlarının Basınçlı Döküm Yöntemiyle Kalıplanabilirliğinin Değerlendirilmesi. Politeknik Dergisi, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Cilt 13, Sayı 3, 165-176s. Ankara.
- Niebel B., W., Drapper A., B., Wysk R., A., 1989. Modern Manufacturing Process Engineering. McGraw-Hill Publishing Company, 285p. London.
- Oraby, S., E., Hayhurst, D., R., 2004. Tool Life Determination Based on The Measurement of Wear and Tool Force Ratio Variation.
- Özcömert, M., 2006. İstanbul Ticaret Odası Otomotiv Endüstrisinde Alüminyum. 22s. İstanbul.
- Özler, L., 1998. Östenitik Manganlı Çeliğin Sıcak Talaşlı İşlenmesinde Kalem Ömrünün Teorik ve Deneysel Olarak Araştırılması. Fırat Üniv., Müh. Fak., Makine Müh. Böl., 77s. Elazığ.
- Papai, J., P., 1994. Contact Heat Transfer Coefficient in Aluminum Alloy Die Casting: An Experimental and Numerical İvestigation. Ph. D. Thesis, The Ohio State University, 285p.
- Polmear, I., J., 1981. Light Metals. E. Arnorld Publishers, London.
- Rahman, M., Wang, Z., G., and Wong, Y., S., 2006. A Review On High-Speed Machining of Titanium Alloys. JSME Series C, Vol. 49, No.1, 11-19s.
- Reimer V., 1981. Druckguss, Carl Hanser Verlag. Münih.

- Sanchez, M., Marcos, M., 1994. Relaciones Parametricas en el Mecanizado. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cadiz, Cadiz, Spain.
- Savaşkan M., Taptık Y., ve Ürgen M., 2004. Deney Tasarımı Yöntemi ile Matkap Uçlarında Performans Optimizasyonu. İTÜ Dergisi Mühendislik, Cilt: 3, Sayı: 6, 117-128s. İstanbul.
- Soy, U., 2009. Metal Matriks Kompozit Malzemeler. www.ugursoy.sakarya.edu.tr
- Su, Ş., 1988. 2XXX Grubu Alaşımlarda Katı Eriyiğe Alma Sıcaklık ve Süresinin Yaşlanma Sonrası Özelliklere Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 83s. Konya.
- Şahin, Y., 1999. Talaş Kaldırma Prensipleri. Cilt 1, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, 590s. Ankara.
- Şahin, Y., 2000. Talaş kaldırma Prensipleri. Nobel Yayın Ltd. Şti. Yayınları, 559 s. Ankara.
- Şeker, U., 2004. Takım Tasarımı Ders Notları. Gazi Üniv., Tek. Eğt. Fak., Makine Eğt. Böl., 80s. Ankara.
- Taban, E., Kaluç, E., 2005. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Endüstriyel Kullanım Alanları. Metal Dünyası, Şubat.
- Thakur, D., G., Ramamoorthy, B., Vijayaraghavan, L., 2008. Study on the Machinability Characteristics of Superalloy Inconel 718 During High Speed Turning, Materials and Design. doi:10.1016/j.matdes.
- TS 10329, 1992. Torna Kalemleri Ömür Deneyleri. Türk Standartları Enstitüsü.
- Tülbentçi, K., 1987. Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynağı. Yüzyüncü Yıl Üniversitesi Yaz Okulu, İstanbul.
- Ucun, İ., 2007. Seramik Kesici Takımlar Kullanarak Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin İşlenebilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 85s. Afyon.
- Uludağ, İ., 2000. Basınçlı Döküm Kalıplarında Yolluk Dizaynı ve Havalandırmaya Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 84s. İstanbul.
- Uludağ, A., 2007. Basınçlı Döküm Yönteminde Kalıp Sistem Tasarımı ve Simülasyon Analizi Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 91s. İstanbul.

Yalçın, B., Varol, R., 2009. Wear Behaviour of Sintered Ti Alloys in Simulated Body Fluid, *Materials Performance*. 48 (8) 74-78s.

Vikipedi, Alüminyum. <http://tr.wikipedia.org/wiki/Vikipedi>.

Wang, J., Huang, C., Z., Song, W., G., 2001. The Effect of Tool Flank Wear on The Orthogonal Cutting Process and Its Practical Implications. Queensland University of Technology, Australia.

Wang, M., Y., Chang H., Y., 2004. Experimental Study Of Surface Roughness in Slot End Milling, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. 44: 517p.



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Nurullah GÜLTEKİN  
Doğum Yeri ve Yılı : Uşak – 1981  
Medeni Hali : Evli  
Yabancı Dili : İngilizce



### **Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)**

Lise : Uşak Endüstri Meslek Lisesi – 1995  
Yüksekokul : Gazi Üniversitesi Çorum Meslek Yüksekokulu – 1999  
Lisans : Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi – 2003  
Yüksek Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü – 2009

### **Çalıştığı Kurum / Kurumlar ve Yıl:**

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İdari ve Mali İşler Daire Başkanlığı – 2007