

**INCONEL 718 SÜPER ALAŞIMLARIN İŞLENMESİNDE TALAŞ
KIRILMA PROBLEMLERİ VE TALAŞ KIRICI TASARIMI**

Şener KARABULUT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2006
ANKARA**

Şener KARABULUT tarafından hazırlanan INCONEL 718 SÜPER ALAŞIMLARIN İŞLENMESİNDE TALAŞ KIRILMA PROBLEMLERİ VE TALAŞ KIRICI TASARIMI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Abdulkadir GÜLLÜ

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof.Dr. Mahmut GÜLESİN

Üye : Prof.Dr. Ulvi ŞEKER

Üye :Doç.Dr.Yusuf ÖZÇATALBAŞ

Üye : Yrd.Doç.Dr. Behçet GÜLENÇ

Üye : Yrd.Doç.Dr. Abdulkadir GÜLLÜ (Danışman)

Tarih : 19/09/2006

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Şener KARABULUT

INCONEL 718 SÜPER ALAŞIMLARIN İŞLENMESİNDE TALAŞ KIRILMA PROBLEMLERİ VE TALAŞ KIRICI TASARIMI

(Yüksek Lisans Tezi)

Şener KARABULUT

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Eylül 2006

ÖZET

Üretim işlemlerinin güvenilirliği yeni imalat sistemlerinin en gerekli ihtiyaçlarından biridir. Tornalama işlemlerinde kırılmayan talaşlar otomasyon için en büyük engeldir. Çünkü uzun talaşlar verimliliğin düşmesine neden olur. Klasik olarak talaş kırma işlemi kesme şartlarını değiştirerek veya kesici takımların üzerinde talaş kırıcılar kullanarak yapılmaktadır. Fakat bu metotlarla inconel 718'in tornalanmasında talaşın sürekli çıkması ve kırılmamasından dolayı kontrolü çok zordur. Bu nedenle inconel 718 ve sünek çelikler için talaş kırma sistemlerini geliştirme çalışmaları devam etmektedir.

Bu çalışmada inconel 718'in işlenmesinde talaş kırıcı tasarımı üzerine odaklanılmıştır. Inconel 718'in talaş kırma işleminde kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme oranı değişkenleri kullanılmış ve daha sonra deney sonuçları analiz edilmiştir.

Inconel 718, pozitif ve negatif takım tutucularla birlikte özel tasarlanmış dönen talaş kırıcı kullanılarak iki katmanlı PVD kaplamalı (TiAlN-TiN) sementit karbür takımla $f=0,10, 0,15, 0,20, 0,30$ mm/rev ilerleme oranı, $a=0,5, 1, 1,5, 2$ mm talaş derinliği ve 30, 45, 60, 75 m/min kesme hızında işlenmiştir. Talaşlar resimlenmiş ve yüzey pürüzlülük değerleri (R_a) ölçülmüştür. Inconel 718'in işlenmesi esnasında talaş kırılabilirliği DC motorun hızına ve kesici takım

üzerindeki talaş kırıcının konumuna bağlıdır. Deneyler sonucunda, tasarlanan talaş kırıcının bütün işleme şartlarında (talaş derinliği, ilerleme oranı ve kesme hızı ne olursa olsun) talaşı kırabildiği görülmüş ve inconel 718 işlendiğinde kabul edilebilir bir yüzey kalitesinin elde edildiği görülmüştür.

Bilim Kodu : 708.3.028
Anahtar Kelimeler : Süper alaşımlar, inconel 718, talaş kırıcı, dinamik talaş kırıcı, yüzey pürüzlülüğü
Sayfa Adedi : 103
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Abdulkadir GÜLLÜ

**THE CHIP BREAKING PROBLEMS WHEN MACHINING INCONEL 718
SUPER ALLOY AND CHIP BREAKER DESING**

(M.Sc. Thesis)

Şener KARABULUT

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

September 2006

ABSTRACT

The reliability of machining operations is an essential requirement of modern automatic manufacturing systems. Unbroken chips in the turning process are the major obstacles for automation because long chips cause decrease in productivity. Conventionally the chip breaking process is carried out by changing cutting conditions or using chip breakers on the cutting tools. But with these methods, chip control in turning inconel 718 is difficult because chips are continuous and can not be broken. Thus the development works of a chip breaker for inconel 718 and mild steels still continue. This study has focused on the chip-breaker design and experimental cutting of inconel 718 with the designed chip breaker. The process of chip breakage for inconel 718 using cutting speed, depth of cut and feed rate variables were analyzed from the experimental results.

Inconel 718 was machined with a sementit carbide tool having two layers PVD coated (TiAlN-TiN) at $f=0,10, 0,15, 0,20, 0,30$ mm/rev feed rates, $a=0.5, 1, 1.5, 2$ mm dept of cuts and 30, 45, 60, 75 m/min cutting speeds using special designed rotary chip breaker with positive and negative tool holders. Chip pictures were taken and surface roughness (Ra) values were measured. Chip breakability during machining inconel 718 is dependent on DC motor speed and chip breaker position on the cutting tool. The experimental results show that

designed chip breaker can break long chips in any cutting condition (whatever the depth of cut, feed rate and cutting speed) and acceptable surface finish can be achieved when machining Inconel 718 with designed chip breaker.

Science code	: 708.3.028
Key words	: Super alloys, inconel 718, chip breaker, dynamic chip breaker, surface roughness.
Page number	: 103
Adviser	: Asist. Prof. Dr. Abdulkadir GÜLLÜ

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince her türlü yardım ve fedakârlıklarını esirgemeyen, bilgi katkılarıyla beni yönlendiren değerli danışmanım Yrd. Doç. Dr. Abdulkadir GÜLLÜ'ye, Talaşlı Üretim Anabilim Dalı başkanı Sayın Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN'e ve desteklerini esirgemeyen sayın Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca deneysel çalışmalarım sırasında her türlü desteği sağlayan Kızılcahamam Anadolu Teknik Lisesi Müdürü Sayın Bayram ARSLANOĞLU'na, Elektrik bölümü teknisyeni Ahmet ÜNAL'a, sabır ve desteğiyle yanımda olan eşim ve çocuklarım ile diğer emeği geçen tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ	1
2. SÜPER ALAŞIMLAR.....	3
2.1. Yüksek Mukavemetli, Isıl Dirençli Alaşımlar	8
2.2. Nikel Esaslı Alaşımların Sınıflandırılması.....	10
2.3. Nikel Esaslı Alaşımların Bileşimi	11
2.4. Nikel Esaslı Süper Alaşımlar Ve Özellikleri.....	14
3. NİKEL ESASLI SÜPER ALAŞIMLARIN İŞLENEBİLİRLİĞİ.....	18
3.1. Karbür Takımlarla Nikel Esaslı Alaşımları İşleme	22
3.2. Seramik Takımlarla Nikel Esaslı Alaşımları İşleme	24
3.3. CBN Takımlarla Nikel Esaslı Alaşımları İşleme	25
4. TALAŞLI İMALAT VE TALAŞ OLUŞUMU.....	27
4.1. Talaş Kırma Prensipleri.....	30
4.2. Talaş Şekli	32
4.3. Talaş Kıvrımı.....	33

Sayfa

4.3.1. Talaş yukarı kıvrımı.....	34
4.3.2. Talaş yan kıvrımı	36
4.4. Talaş Akışı.....	37
4.5. Talaş Kırma	41
4.6. Talaş Kırma Kriteri	44
4.7. Talaş Kırma Grafiği.....	46
4.8. Kritik İlerleme Oranı ve Kritik Kesme Derinliği'nin Teorik Analizi	48
4.9. Takım Geometrisi ve Açıları.....	48
5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	51
5.1. Inconel 718'in İşlenebilirliği ve Talaş Kırılabilirliği İle İlgili Çalışma	51
6. MATERYAL VE METOT	63
6.1. Deneylerde Kullanılan Kesici Takım Tutucuları	63
6.2. Deneylerde Kullanılan Kesici Takımlar.....	63
6.3. Kesme Parametrelerinin Tayini.....	63
6.4. Deney Yöntemi.....	64
7. TALAŞ KIRICI TASARIM AŞAMALARI.....	66
7.1. Dinamik Talaş Kırıcı Tasarımı ve Talaş Kırma	73
7.2. Dinamik Talaş Kırıcının Çalışma Prensibi ve Talaş Oluşumu.....	74
8. TARTIŞMA.....	92
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	95
9.1. Öneriler.....	99
KAYNAKLAR	100
ÖZGEÇMİŞ	104

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Süper alaşımların sınıflandırılması	10
Çizelge 2.2. Ticari olarak mevcut nikel esaslı alaşımlar.....	11
Çizelge 2.3 Inconel 718'in kimyasal bileşimi	12
Çizelge 2.4 Nikel esaslı süper alaşımların kimyasal bileşimleri.....	13
Çizelge 2.5. Dövülmüş nikel esaslı alaşımların kompozisyonu ve ısı dayanımı	14
Çizelge 3.1. Takım malzemelerinin yumuşama noktası	19
Çizelge 4.1. Kesme şartlarını değiştirerek talaş kırma.....	44
Çizelge 6.1. Inconel 718 bir numunenin kimyasal bileşimi (Ağırlık %)	65
Çizelge 6.2. Inconel 718 'in mekanik özellikleri	65
Çizelge 7.1. Deney uygulama çizelgesi	71

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Bilgisayarla simule edilmiş bir motor ve önemli bölümleri .	5
Şekil 2.2. Yeni malzemeler ve kullanım yerleri	7
Şekil 2.3. Uzay araçlarının türbinlerinde kullanılan malzemelerin ağırlığı	8
Şekil 4.1 Talaş kırma prensipleri..	31
Şekil 4.2. Talaş yan akış açısı	32
Şekil 4.3 a) Talaş Yan-Kıvrım b) Talaş yukarı kıvrımı .	33
Şekil 4.4. Vidalı -Kıvrım	34
Şekil 4.5. Kanallı kesici takımlar ile talaş yukarı kıvrım işlemi	34
Şekil 4.6. Jawahir'in teorisine göre talaş radyüsü	35
Şekil 4.7. Zhou'nun teorisine göre talaş yukarı-kıvrım oluşumu	36
Şekil 4.8. Talaş yan kıvrımının mekanizması	37
Şekil 4.9. Talaş yan akış açısı	38
Şekil 4.10. Colwell Teorisine göre talaş yan akış açısı.	39
Şekil 4.11. Yassı yüzeyli bir takım ile işleme için talaş akış modelleri	40
Şekil 4.12. Talaş geri akış açısı	40
Şekil 4.13. Sünek malzemelerde talaş kırılımı	41
Şekil 4.14. Talaş kontrolünün araştırma alanları	42
Şekil 4.15. Talaş kırma yolları	43
Şekil 4.16. Nakayama'nın talaş kırma kriteri	45
Şekil 4.17. Tipik talaş kırma grafiği	47

Şekil	Sayfa
Şekil 4.18. Tornalama işleminde takım ucu geometrisinin pozitif ve negatif olması hali	50
Şekil 5.1. 0.25 mm/rev ilerleme oranında çeşitli soğutucu basıncı altında inconel 718'in işlenmesi sonucu ortaya çıkan takım ömrü	53
Şekil 5.2. 0.3 mm/rev ilerleme oranında çeşitli soğutucu basıncı altında inconel 718'in işlenmesi sonucu ortaya çıkan takım ömrü	54
Şekil 5.3. a) 150 bar soğutma basıncı ile işleme yapıldığında oluşan talaş, b) 203 bar soğutma basıncı ile işleme yapıldığında oluşan talaş	54
Şekil 5.4. 0.1 mm/rev ilerleme oranı ile whisker takviyeli alüminyum seramik takımla yapılan işlemeden sonra ortaya çıkan takım ömrü	55
Şekil 5.5. Whisker takviyeli alüminyum seramik takımla değişik hızlarda son yüzey işleme yapıldığında ortaya çıkan çentik aşınması	55
Şekil 5.6. Whisker takviyeli alüminyum seramik takımla inconel 718, 20.3 Mpa soğutucu basıncı ve konvansiyonel soğutucu akışı ile son yüzey işleme yapıldığında oluşan talaşlar	56
Şekil 5.7. Talaş kırıcılı takım tutucu	58
Şekil 5.8. Yan kıvrım talaş ve yukarı kıvrım talaşın yapısı	59
Şekil 5.9. Titreşimli ilerleme kesme sistemi	60
Şekil 5.10. Talaşların şekli	60
Şekil 5.11. Krojenik işleme yaklaşımının şematik görünümü	61
Şekil 6.1. TS 10329' a göre kesme şartları.....	64
Şekil 7.1. Selenoid valfin çalışma yapısı ve tasarlanan mekanik kırıcı	67
Şekil 7.2. Tasarlanan talaş kırıcının şematik görünümü	80
Şekil 7.3. $V = 30$ m/min sabit kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülük grafiği	86
Şekil 7.4. $V = 30$ m/min sabit kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerinin fonksiyonu.....	86

Şekil	Sayfa
Şekil 7.5. $V = 45$ m/min sabit kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülük grafiği	87
Şekil 7.6. $V = 45$ m/min sabit kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerinin fonksiyonu.....	87
Şekil 7.7. $V = 60$ m/min sabit kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülük grafiği	88
Şekil 7.8. $V = 60$ m/min sabit kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerinin fonksiyonu.....	88
Şekil 7.9. $V = 75$ m/min sabit kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülük grafiği	89
Şekil 7.10. $V = 75$ m/min sabit kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerinin fonksiyonu.....	89
Şekil 7.11. $f=0.1$ mm/rev sabit ilerleme oranında talaş derinliği ve kesme hızına bağlı oluşan yüzey pürüzlülük grafiği	90
Şekil 7.12. $f=0.15$ mm/rev sabit ilerleme oranında talaş derinliği ve kesme hızına bağlı oluşan yüzey pürüzlülük grafiği	90
Şekil 7.13. $f=0.2$ mm/rev sabit ilerleme oranında talaş derinliği ve kesme hızına bağlı oluşan yüzey pürüzlülük grafiği	91
Şekil 7.14. $f=0.3$ mm/rev sabit ilerleme oranında talaş derinliği ve kesme hızına bağlı oluşan yüzey pürüzlülük grafiği	91

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 7.1. Mekanik talaş kırıcı.....	68
Resim 7.2. 0.5 mm ve 1 mm talaş derinliği ve 0,10 mm/rev de talaşın davranışı	68
Resim 7.3. $V=75$ m/min ve 2 mm talaş derinliğinde oluşan talaş şekli	69
Resim 7.4. Redüktörlü doğru akım motoru ile talaş kırıcı tasarımı	70
Resim 7.5. 350 rev/min devirli DC motorla yapılan işlemede oluşan talaş şekli	70
Resim 7.6. Tasarlanan talaş kırıcı sistemi.....	74
Resim 7.7. Alçak gerilim güç kaynağı.....	75
Resim 7.8. $a=1,5$ mm $f=0,1$ mm/rev, $V=60$ m/min talaş kırıcısız ve $a=1,5$ mm, $f=0,1$ mm/rev, $V=60$ m/min talaş kırıcılı. oluşan talaş şekli.....	76
Resim 7.9. $a=2$ mm $f=0,1$ $V=45$ m/min talaş kırıcısız ve $a=2$ mm $f=0,1$ $V=45$ m/min talaş kırıcılı. oluşan talaş şekli.....	77
Resim 7.10. $a=0,5$ mm $f=0,1$ $V=30$ m/min talaş kırıcısız ve $a=0,5$ mm, $f=0,1$ $V=30$ m/min talaş kırıcılı. oluşan talaş şekli	77
Resim 7.11. $a=1$ mm $f=0,10$, $V=75$ m/min talaş kırıcısız ve $a=1$ mm $f=0,10$, $V=75$ m/min talaş kırıcılı oluşan talaş şekli.	78
Resim 7.12. $V=75$ m/min $a=2$ mm $f=0,10$ mm/rev, $V=75$ m/min $a=1,5$ mm $f=0,10$ mm/rev, $V=75$ m/min $a=0,5$ mm $f=0,10$ mm/rev çakı hareketsiz iken oluşan talaş şekli.....	79
Resim 7.13. $V=30$ m/min kesme hızında oluşan talaşlar	83
Resim 7.14. $V=45$ m/min kesme hızı hızında oluşan talaşlar	83
Resim 7.15. $V=60$ m/min kesme hızı hızında oluşan talaşlar	84
Resim 7.16. $V=75$ m/min kesme hızı hızında oluşan talaşlar	84
Resim 7.17. $V=75$ m/min $f=0,10$ mm/rev ve talaş derinliği 0,5 mm de yapılan işlemede elde edilen talaş.....	85

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
V	Kesme hızı, m/min
a	Talaş derinliği, mm
f	ilerleme oranı, mm/rev
f_{cr}	Kritik ilerleme oranı, mm/rev
d_{cr}	Kritik talaş derinliği, mm
$^{\circ}C$	Santigrat derece
$^{\circ}F$	Fahrenheit derece
R	Talaş kırıcı yiv radyüsü, mm
R_0	Talaş yukarı kıvrım radyüsü, mm
R_s	Talaş yan kıvrım radyüsü, mm
R_L	Talaş kırma radyüsü, mm
h_{ch}	Talaş kalınlığı, mm
W_n	Yiv genişliği, mm
h	Kesici uç arka duvar yüksekliği, mm
r_{ϵ}	Kesici uç radyüsü, mm
ϵ	İş parçası kırılım gerilmesi, mm
ϵ_B	Talaşın gerilimi, mm
l_f	Talaş temas uzunluğu
α_{ch}	Talaş çapraz kesit şekil katsayısı
K_{ch}	Talaş malzemesine göre belirlenen bir sabit
K	Malzeme sabiti.
ψ_{λ}	Talaş yan akış açısı, derece
λ_s	Kesici uç eğim açısı, derece
η	Talaş geri akış açısı, derece

Simgeler	Açıklama
κr	Kesici takım eğim açısı, (°)
F_p	Radyal kuvvet, N
F	Kesme kuvveti, N
R_a	Yüzey pürüzlülük değeri, μm
T	Periyot, s
f_1	Frekans, Hz
V_k	Talaş kırıcı çizgisel hızı, mm/s
AB	Talaş kırıcı üzerindeki A ile B arası mesafe, mm
t	İlk talaş uzunluğu, mm
t_{AB}	B den A'ya geliş süresi, s
t_b	t_{AB} zamanında oluşan talaş, s
T_{kb}	Toplam kırılan talaş boyu, mm

Kısaltmalar	Açıklama
IN718	Inconel 718
YMIDA	Yüksek Mukavemetli Isıl Dirençli Alaşımlar
CBN	Kübik boron nitrürlü kesici takım
PVD	Fiziksel buhar çökertme
CVD	Kimyasal buhar çökertme
BUE	Kesici kenara talaş yapışması
PCBN	Çok kristalli boron nitrürlü kesici takım
HSS	Yüksek hız çeliği
WC	Wolfram karbürlü kesici takım
Al_2O_3	Alüminyum oksit
TiC	Titanyum karbür
TiN	Titanyum nitrür

Kısaltmalar	Açıklama
TiCN	Titanyum karbon nitrür
TiAlN	Titanyum alüminyum nitrür
TiZrN	Titanyum zirkonyum nitrür
SiC	Silisyum karbür
SiC_w	Whisker takviyeli silisyum karbür
ZrO₂	Zirkonyum oksit
TiB₂	Titanyum diborid
Al	Alimünyum
Ti	Titanyum
Ni	Nikel
Nb	Niyobyum
Cr	Krom
Co	Kobalt
W	Tungsten (Wolfram)
Ta	Tantalyum
Mo	Molibden
Fe	Demir
Mn	Mangan
LN₂	Sıvı nitrojen
DC	Doğru akım
AC	Alternatif akım

1. GİRİŞ

Süper alaşımlar, diğer alaşımlardan farklı olarak yüksek sıcaklıklarda şiddetli mekanik gerilmelere ve yüzey yapısı değişimlerine karşı üretilmiş ısıl direnci yüksek, demir-nikel, nikel ya da kobalt esaslı alaşımlardır [1]. Inconel 718 alaşımı ilk olarak 1959 yılında uluslararası nikel şirketi Huntington Division tarafından dövülmüş ve yaşlandırılarak sertleştirilmiş nikel krom esaslı alaşım olarak üretilmiştir. Bu alaşım önceleri iyi bir kaynak edilebilirlikle dövülmüş malzemeler için mevcut bir ihtiyacı karşılamak için 704 °C (1300°F) a kadar orta düzeyde ki sıcaklıklarda kullanım için geliştirilmiştir. Inconel 718 süper alaşım, yüksek mukavemetli, korozyon direnci ve -253 °C (-423°F) ile 704 °C (1300°F) yüksek sıcaklıkları arasında kullanılabilen nikel-krom esaslı bir malzemedir. 704 °C (1300°F)'ye kadarki sıcaklıklarda sürtünmeye ve sürtünme-kırılma gerilimine karşı çok yüksek bir dayanım gösterir. Alaşım krojenik ısı sınırlarında çok iyi bir özelliğe sahiptir [2]. Nikel esaslı alaşımlar uzay araçlarının motorlarında özellikle de gaz türbin bölmelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca denizaltı donanımlarında, nükleer reaktörlerde, petrokimyasal fabrikalarda ve yiyecek işleme donanımlarında da kullanılmaktadır. Nikel esaslı alaşımlar korozyona, mekanik ve termal yorgunluğa, mekanik ve termal şoklara, artan ısıda sürtünme ve aşınmaya karşı yüksek dayanım gösterdiklerinden dolayı, çok yüksek ısı ve basınçta çalışan uzay araçlarının türbin bıçaklarının imalatında kullanılırlar. Bıçakların dâhili ve harici soğutmalarını en iyi şekilde yerine getirmesi için bu bıçakların üzerine belli bir sırada delik delinir [3]. Genellikle nikel alaşımlarının işlenmeleri zordur. İşleme esnasında yüksek kesme sıcaklıkları oluşur, ısı ve diğer yükler deformasyon aşınmasına neden olurlar. Kesme hızları oldukça düşüktür. Bazı nikel alaşımlarının işlenmesi diğerlerine göre çok daha zordur, karbür veya seramik bir kesici takım ile çalışma koşullarının doğru seçilmesini gerekli kılar [4]. Süper alaşımlar, yüzey dengesinin gerektiği ve yüksek gerilmelerin olduğu 650 °C ve üstü sıcaklıklarda kullanılmaktadır. “Süper alaşım” ifadesi demir, nikel, kobalt ve krom kombinasyonları veya demir, nikel ve kobalt esaslı malzeme alaşımları için kullanılabilir. Bu alaşımlar daha düşük miktarlarda tungsten, molibden, tantal, niyobyum ve alüminyum olmak üzere çeşitli demir, nikel, kobalt ve krom elementleri

içerirler [5]. Inconel 718 malzeme kesilirken sünek yapısından dolayı sürekli uzun talaşlar elde edilir. Yuvarlak şekilli seramik takımlarla işlemede, fazla talaş derinliği söz konusu olduğunda, aşırı çentik nedeni ile 1 dakikalık kesme işlemi yaptıktan sonra bozuldukları görülmektedir [6]. Yuvarlak şekilli karbür kesici takımlar ile yapılan talaş kaldırma işlemlerinde, diğer parametrelerdeki karbür kesici takımlara göre daha kaliteli yüzey elde edilmiştir. Deneylerde talaş kırıcılı kesici takımlar kullanılmasına rağmen, talaşlar uzun ve sürekli çıkmıştır. Talaş, oldukça zor kopan bir talaş olup, kesicilerdeki talaş kırıcılar, bu talaşı koparmada yetersiz kalmışlardır [7]. 150 bar a kadar düşük soğutma basıncı ile inconel 718 işlendiğinde uzun sürekli spiral talaşlar oluşurken, 203 bar soğutma basıncı ile işleme yapıldığında daha küçük parçalanmış talaşlar ortaya çıkmıştır. İşleme esnasında talaşın kırılabilirliği yüksek basınçlı soğutma ile birlikte kesme derinliğine, ilerleme oranına ve kesme hızına bağlı olduğu görülmüştür. Inconel 718'in düşük basınçta işlenmesinde talaşın kırılmadığı, yüksek basınçla sürekli işlemede ise takım aşınması yavaş yavaş arttığı ortaya çıkmıştır [8]. Nikel esaslı alaşımlar; tatmin edici ve kaliteli bir yüzey elde etmede işlenebilirliği zayıf malzemelerdir. Bunların işlenebilirliğini zayıflatan sebeplerden biride işleme esnasında ortaya çıkan sürekli ve sert talaşlardır. Bunlar kontrolü sağlamayı güçleştirmekte ve takım yüzeyinde krater oluşumuna sebebiyet vermektedir.

Literatür çalışmalarında inconel 718 malzemesinin temini, maliyeti ve işlenmesi yönünden ortaya çıkardığı zorluklar dikkate alındığında, inconel 718 süper alaşımının işlenebilirlik ve talaş kırma parametrelerini değerlendiren, uygulamaya yönelik yapılan çalışmaların az olduğu ve yapılan çalışmalarda da işleme esnasında ortaya çıkan talaşın sürekli ve zor kırılan bir talaş olduğu rapor edilmiştir.

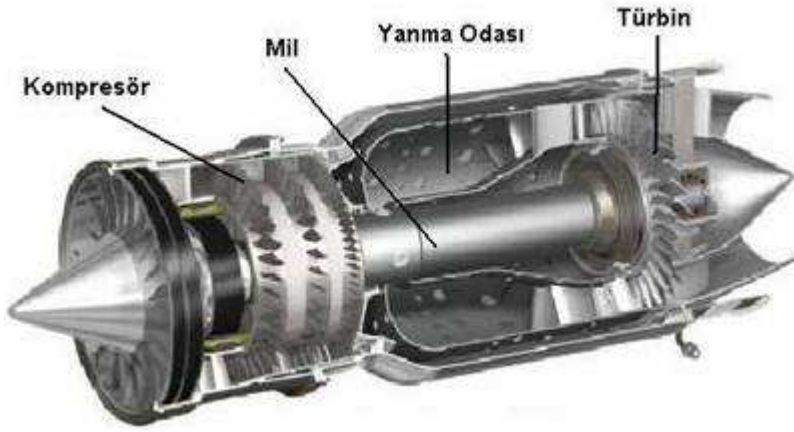
Bu çalışma ile inconel 718 süper alaşımların işlenmesi sırasında oluşan sürekli talaş kırma problemini çözmek için araştırma ve tasarım çalışmaları yapılmıştır. Tasarım çalışmaları sonucunda dinamik talaş kırıcılı özel bir kater tasarlanmış, TS 10329 standardında belirtilen kesme parametrelerine göre deneyler yapılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir..

2. SÜPER ALAŞIMLAR

Aşınmanın, yüksek sıcaklığın ve korozyonun mevcut olduğu çalışma şartlarında metal ve metal alaşımlarının, arzu edilen özellikleri sağlayamadığı noktalarda yeni malzeme grupları devreye girmektedir. Bu malzeme gruplarının başında süper alaşımlar gelmektedir. Günümüz teknolojisindeki gelişmeler; ekonomik yönden elverişli, teknik açıdan uygun özel malzemelerin elde edilmesi için yüksek mekanik özelliğe sahip, yüksek sıcaklıkta aşınma ve korozyona dayanaklı süper alaşımların üretimine neden olmuştur. Süper alaşımlar, yüksek sıcaklık uygulamalarında diğer tüm metalürjik malzemelerden daha çok tercih edilmektedir. Bu tercihe neden olan yüksek sıcaklıktaki mükemmel performans, sadece kimyasal bileşenlerle değil, en az bunlar kadar üretim prosesine bağlı olarak mikro yapılarına, elde edilen ikincil fazlara ve mikro yapısal hatasızlığa dayanır. Süper alaşım malzemelerin yerlerine kullanıldıkları metal ve metal alaşımlarına göre en önemli üstünlükleri; yüksek özgül mukavemet, yüksek spesifik elastik modülü, yüksek aşınma dayanımı ve bu özelliklerin yüksek sıcaklıkta bile muhafaza edilmesidir. Bu özelliklere bağlı olarak, süper alaşım malzemeler özellikle havacılık, uzay araçları, nükleer teknolojiler, enerji sistemleri, gaz türbin motorları, cam sanayisi, sıcak takımlar ve kalıpların yapımında kullanım imkânlarının oluşmasından dolayı bu malzemelere olan ilgi giderek artmıştır. Nikel esaslı ve titanyum alaşımlarla birlikte kompozit malzemeler gibi mühendislik malzemeleri uzay sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemeler yüksek ısı uygulamaları ve aynı zamanda yüksek dayanma gücü ve ağırlık taşıma oranları için tasarlanmışlardır. Nikel esaslı alaşımlar uzay sanayinin ekonomik işletme giderleri için gerekli olan yüksek sürtünme ve korozyon direncine sahiptirler [5]. Süper alaşımların en önemli özellikleri; 650 °C'nin üstündeki sıcaklıklara uzun süre dayanmaları ve sıcaklığa bağlı korozyon ve erozyona dayanımlarıdır. Nikel ve kobalt esaslı süper alaşımlar, yüksek sıcaklıklarda (1500–1650 °C) yüksek dayanıma sahiptirler [7]. Süper alaşımlar; genellikle demir, nikel, kobalt ve daha az miktarlarda tungsten, molibden, tantal, niyobyum, titanyum ve alüminyum alaşımlarla yapılan çeşitli bileşimleri içerirler [9]. Uzay sanayinde kullanılan

alaşımlar ve malzemeler genellikle çelik, nikel ve metal-matris kompozit alaşımlarıdır. Diğer malzemeler ise karbon, seramik ve metal-matris kompozitleridir. Bu malzemeler yüksek ısı özellikleri ve korozyon direnci ile verimli yakıt tüketimi yaptıklarından uçuşların daha ekonomik ve daha uzun ömürlü olmasını sağlar [5]. Motor üreticileri arasındaki rekabet genelde maliyet-performans-verim üçgeni arasında geçmektedir. Motor performansı ve verim arttırılmaya çalışılırken, aynı zamanda maliyetlerde aşağı çekilerek, ilk bakışta çelişir gibi görünen bu hedefler arasında, bir tasarım döngüsü yaşanmaktadır. Birbiri ile çelişen veya en azından birbirini etkileyen bu hedeflerin tümüne varım, geliştirilmiş tasarım, daha iyi malzeme ve gelişmiş üretim süreçleri ile mümkündür. Üretim maliyetleri, motorlarda kullanılan parça sayısı azaltılarak aşağıya çekilmektedir. Bu hedef ancak daha iyi malzeme ve üretim teknolojileri ile gerçekleştirilebilir. Motor malzemeleri, iyi işlenmeyi sağlayacak mekanik özellikleri ve özel mukavemet değerleri ile tanımlanmaktadır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan malzemeler; Ti-alaşımları, Ni-alaşımları ve yüksek mukavemet çeliğidir. Kompozit, intermetalik vb. gibi malzemelerin payı şimdilik düşüktür. Çelikler genellikle mil ve dişli gruplarında kullanılırken, alaşımlar daha çok kompresör, türbin ve yanma odalarında kullanılmaktadır. Titanyum alaşımları, daha çok kompresör parçalarında kullanılmaktadır. Ti (μ + b) alaşımlar için, faz μ dengeleyiciler (alüminyum gibi) ve b fazı dengeleyiciler (molibden ve vanadyum gibi) çalışma sıcaklığının optimum seviyelere çıkmasını temin etmektedirler. Dövme, özellikle temiz dövme, b dengeleyicilerini taşıyarak daha ince moleküler yapı (μ + b) oluşturur. Bu mikro yapı, statik ve dinamik mukavemet özellikleri olarak en iyi dengeyi temin etmektedir. Ti alaşımı olarak Ti6Al4V (Ti 64), motor ve uçak iskeleti uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ti64; düşük sıcaklıkta yüksek mukavemet, mükemmel mekanik işlenebilirlik ve kaynak edilebilme özelliklerini taşımaktadır. Ti64 dövme, hassas döküm, saç metal olarak 1975'den beri stator parçalarında ve kompresör dış cidarlarında kullanılmaktadır. Ti6242 ve Ti6246 daha yüksek mukavemet ve daha yüksek sıcaklığa dayanma özelliklerine sahiptir. 550 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda, özellikle disklerde kullanılmak üzere geliştirilmiş Ti alaşımı IMI 834'tür. Adı geçen alaşım, 450 °C'nin üzerinde, diğer titanyum alaşımlarından

daha iyi özellikler gösterir. Fiyatı Ti64'ün iki katıdır. Kompleks metalürji ve ısıl-mekanik (termomekanik) işlem parametreleri ile optimum mekanik özellikler temin edilmiş, bu oransal iyileşme mikro yapıya da yansımıştır. Ti ve Ni temelli süper alaşımlar geçen 10 yıllarda kendilerinden beklenen özellikleri mükemmel bir şekilde yerine getirmişlerdir. Ancak bu malzemelerin gelecekteki gelişmeleri oldukça sınırlı görülmektedir. Geliştirilmeleri yüksek miktarda ek maliyeti gerektirmektedir. Bu nedenlerle yerlerine yeni malzemeler geliştirmek amacı ile deneme çalışmaları yapılmaktadır.



Şekil 2.1. Bilgisayarla simule edilmiş bir motor ve önemli bölümleri [10].

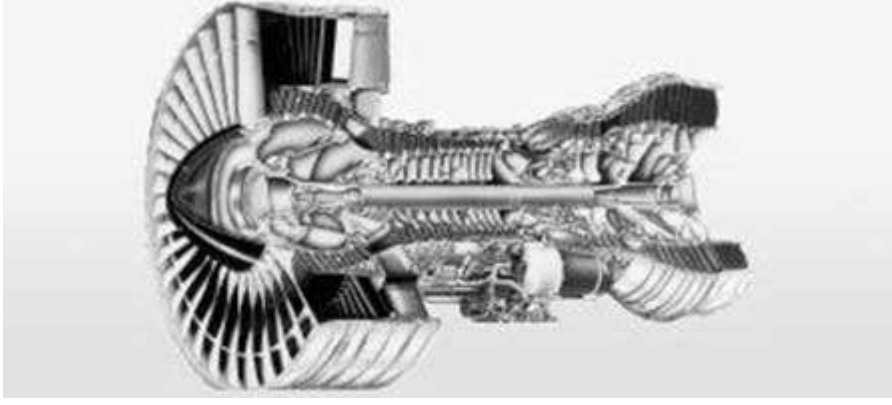
Nikel esaslı alaşımlar, motorun sıcak bölge parçalarının imalinde kullanılmaktadır (Şekil 2.1). Ti-alaşımları için çok sıcak bölgeler olan yüksek basınç kompresörünün arka kademelerinde kullanılır. Yanma odasında kullanılan özel sac alaşım saclar (Hastelloy X - C263), düşük mukavemet, oksidasyona dayanım, şekillendirilebilirlik ve kaynak edilebilme özellikleri olan malzemelerdir. Türbin uygulamaları için ise, esas olarak 2 grup süper alaşım söz konusudur. Birincisi dövme ile üretilir ve bu malzemeler diskler ve ringler için kullanılır. İkincisi dökümdür ve bu malzemeler, sabit veya hareketli kanatçıklarda kullanılır. Sıcaklığa dayanımlarını iyileştirmek için farklı mukavemet artırma işlemleri gerekir, bunların başlıcaları;

- Kobalt katarak solüsyonu katılaştırmak, krom ve ısıya dayanıklı - tungsten gibi - molibden gibi - metallerle karışımı zenginleştirmek gerekmektedir.

- Sertleşmeyi hızlandırmak için metalik γ -Ni₃ (Al, Ti) ve/veya γ -Ni₃Nb fazı ortaya çıkarılmalıdır. Bu nedenle ısıya dayanıklı süper alaşımlara %10'dan fazla (ağırlık olarak) Al+Ti veya az miktarda Nb katmak gerekmektedir.

Nikel alaşımlar diskler ve dönel bilezikler için kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygını IN 718'dir ve yüksek basınç kompresör ve türbinin arka kademelerinde kullanılmaktadır. Bu süper alaşımların, 750 °C'nin altında iyi dinamik mukavemet değerleri bulunmaktadır. Waspalloy yüksek sıcaklık özellikleri bakımından IN 718 ile karşılaştırılabilir. Ancak Waspalloy mikro yapısı çok kritik metalürjik davranışlar sergiler. Dövme olarak üretildiğinde, homojen, ince dağılımlı mikro yapı eldesi hemen hemen olanaksızdır. Bu nedenle Waspalloy'un işleme ve kaynak özellikleri kısıtlıdır. Waspalloy'un yerine, yüksek sıcaklık kabiliyetleri nedeni ile, yalnızca toz metalürji teknolojisi ile elde edilen Udimet700, ReNe95 veya IN100 gibi malzemeler kullanılmıştır. Bazıları, yüksek sıcaklıkta çok yüksek mukavemet değerleri elde etseler de, kırılmaya mukavemetleri zayıf kalabilmektedir. Önümüzdeki 10 yıllık dönemde, özellikle disk uygulamalarında, sönümlenmiş Waspalloy veya Udimet 720 Li (Li: düşük içsel bağ) malzemesinin, dövme ve döküm olarak kullanıma daha yatkın olacağı düşünülmektedir. Bu ilerleme, malzemenin daha yüksek saflıkta külçe olarak temini, daha homojen bir yapının oluşması, mikro yapıdaki ayrımın önlenmesi, termomekanik işlem ve ergime parametrelerinin en iyileşmesi ile başarılabilecektir. Hâlihazırda ise, Udimet 720 Li gelişmiş bir malzeme olarak, mekanik işlem gerekmeksizin disk uygulamalarında kullanılabilir. Maksimum kullanım sıcaklığı 730 °C' ye ulaştığı için, IN 718 ile karşılaştırıldığında, Udimet 720 Li'nin +80 °C 'lik bir çalışma sıcaklığı üstünlüğü vardır. Ancak malzemenin fiyatı oldukça yüksektir. Özet olarak, Udimet 720 Li alaşımı ile yüksek sıcaklık mukavemeti açısından karşılaştırılabilir malzeme yoktur. Ticari motorlarda kullanımı makul fiyatlarla cazip hale getirilmektedir. Türbinlerdeki tüm sabit ve hareketli kanatçıklar, döküm olarak elde edilmektedir. Dövme malzemenin kullanılmamasının nedenleri, termomekanik (ısıl-mekanik) özelliklerinin, sürünme mukavemetinin ve bası altında kırılma mukavemetini taşıma özelliklerinin döküm malzemeye göre daha düşük kalmasıdır. Çünkü kanatçıklar çok yoğun ve aşırı yüksek gaz sıcaklıklarına ve dönel yüklere maruzdur. Son yıllarda farklı çalışma

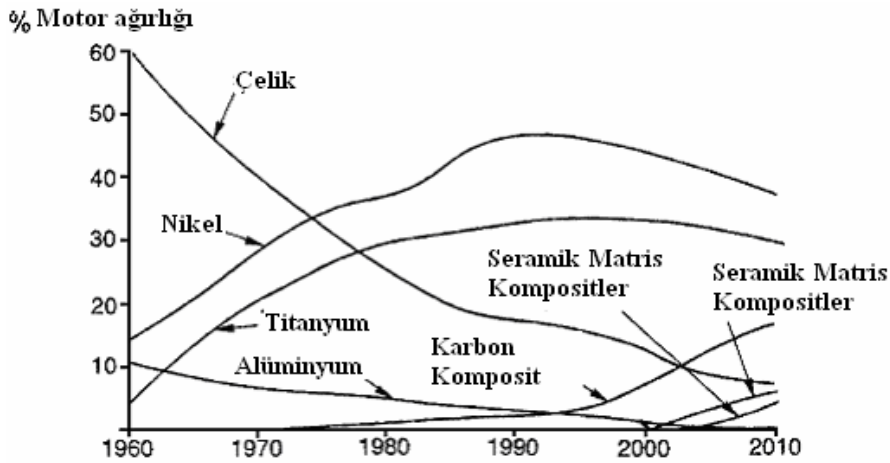
sıcaklıklarına sahip çeşitli alaşımlar geliştirilmiştir. Bunlardan en önemlilerinden IN718 süper alaşımdır. Dökümü, polikristalli ve eşeksenli bir mikro yapıya sahiptir.



Şekil 2.2. Yeni malzemeler ve kullanım yerleri [10].

Günümüzde IN718, sıcaklığın türbinlere göre daha düşük olduğu düşük basınç kompresörünün arka kademelerdeki sabit ve hareketli kanatçıklarda uygulanmaktadır. IN 100 ise yüksek sıcaklık mukavemetine sahip (IN 713 alaşımına göre yaklaşık çalışma üst sınırı +30 °C ve üstü), düşük yoğunluklu ($\rho = 7.75 \text{ g/cm}^3$) bir özelliğe sahiptir. Bu alaşımın IN 713 ile bir başka farkı, katılaşmanın kontrol edilebilmesidir. Söz konusu malzeme, çok yönlü katılaşmalı kristal yapısına sahipse, tane sınırları eşeksenli olarak merkezkaç kuvvet yönünde olmakta ve sürünme mukavemet göstergesi indirgenmektedir. Tek kristalli yapıda ise, tane sınırları yoktur ve bu nedenle en iyi sürünme mukavemeti özellikleri gösterir. Çok yönlü katılaşmalı ve tek kristalli yapılanmalar için, döküm teknolojilerinde özel katılaşma teknikleri geliştirilmiştir. Şu anda bu malzemelerin en gelişmişleri tek kristalli olan PWA 1484 veya CMSX10'dır. Yüksek yoğunluk ($\rho = 9 \text{ g/cm}^3$) ve IN 100'e göre +100 °C'lik bir sıcaklık üst sınırına sahiptir. Parlak bir ürün olarak ticari kullanıma geçme sürecindedir. Yeni malzemelerin geliştirilmesi, sıcaklık ve mukavemet özelliklerinin daha da iyileşmesine odaklanmıştır. Bunlar Ti ve Ni bazlı süper alaşımlar gibi kompozit ve metal bazlı malzemelerdir. Bu yeni malzemelerin motor üzerindeki kullanım yerleri Şekil 2.2. 'de verilmiştir [10]. Genellikle YMIDA alaşımlar daha yüksek mukavemet/ağırlık oranı, ısıya ve korozyona karşı daha yüksek bir mukavemet elde etmek amacıyla gerçekleştirilen metalürjik gelişmelerin bir

sonucudur. Süper alaşımlar ve uzay çağı metalleri genellikle bu alaşımlar için kullanılan terimlerdir. Zor çalışma koşullar için geliştirilmiş olmalarından dolayı işlenebilirlikleri düşüktür. Bu tip alaşımlar yüksek kesici kenar sıcaklıklarına neden olan düşük ısı iletkenlik, yığılma kenar oluşumuna neden olan bazı takım malzemelerine kaynak olma eğilimi, yüksek kesme kuvvetlerine neden olan yüksek kayma mukavemeti, daha yüksek gerilmelere, aşınmaya ve kesme kuvvetlerine neden olan deformasyon sertleşmesi eğilimi gibi özelliklere sahiptirler [4]. Uzay sanayinde kullanılan alaşımlar ve malzemeler genellikle çelik, nikel ve metal-matris kompozit alaşımlarıdır. Diğer malzemeler ise karbon, seramik ve metal-matris kompozitleridir. Bu malzemeler yüksek ısı özellikleri, korozyon direnci ile uçuşların daha ekonomik ve daha uzun ömürlü olması için verimli yakıt tüketimi yapmasını sağlar. Karbon kompozitler 1970'lerden beri uzay sanayinde küçük miktarlarda kullanılmaktadır. Fakat günümüzde iyileştirilmiş özellikleri ve imalat işlemleri nedeniyle daha çok önem kazanmaya başlamıştır. Şekil 2.3. de tipik bir uçak gaz türbinlerinde kullanılan her bir Metalin kullanım yüzdesi görülmektedir. 20. yy sonuna kadar nikel esaslı ve titanyum alaşımların kullanımında bir artış vardır [5].



Şekil 2.3. Uzay araçlarının türbinlerinde kullanılan malzemelerin ağırlığı [3]

2.1. Yüksek Mukavemetli, Isıl Dirençli Alaşımlar (YMIDA)

Yüksek mukavemetli alaşımlı çelikler, sıcak işleme kalıp çelikleri, bazı paslanmaz çelikler, süper alaşımlar, alaşımlı refrakter metaller ve titanyum alaşımları bu

gruptandır. Bu tiplerden sadece bazıları burada ayrıntılı olarak ele alınacaktır. Bu tipler:

- Nikel esaslı, ısıl dirençli alaşımlar
- Demir esaslı, ısıl dirençli alaşımlar
- Kobalt esaslı, ısıl dirençli alaşımlar

Çizelge 2.1’de Süper alaşımların sınıflandırılması görülmektedir. Isıl dirençli alaşımlar yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemete sahiptirler. Bu alaşımlarda kesici kenar yüksek çalışma sıcaklıklarında bile yüksek basınçlarla karşı karşıya kalabilir. En yüksek sıcaklığın kesicinin uç kısmının çok yakınında oluşması riski de vardır. Bu durum; kesme geometrisinin basıncın iyi bir şekilde dağılımını ve en sıcak bölgenin takımın talaş yüzeyinde oluşmasını sağlayacak biçimde, kesici kenarın ise aşındırıcı metaller işlenirken keskinliğini koruyacak şekilde tasarlanmasını gerektirir. Döküm ve dövme parçalar işlemeyi daha da zorlaştıran, kesme hızlarının azaltılmasını gerektiren, sert, aşındırıcı parçacıklar içerirler. Daha yüksek bir ortalama kuvvet değerine sahip çelik ile karşılaştırıldığında kesme kuvvetindeki dalgalanmalar YMIDA alaşımlarında çok yüksektir [4]. Nikel esaslı, ısıl dirençli alaşımlar, Yapısında yüzde olarak en fazla Nikel bulundurduğu için adını bu elementten almaktadır. Yüksek sıcaklıklardaki mukavemeti oldukça iyi olmakla beraber korozyona karşı da oldukça dayanıklıdır. Yaklaşık 650–1100 °C sıcaklıkları arasında kullanılabilirler ve bu sıcaklıklar arasında kullanılan malzemeler içersinde yapısı en iyi bilinen malzeme türüdür. Demir esaslı, ısıl dirençli alaşımlar, yapısında yüzde olarak en fazla Demir bulundurduğu için adını bu elementten almaktadır. Mekaniksel özellikleri oldukça iyidir. 700 °C sıcaklıklara kadar oksidasyona ve aşınma direncine karşı iyi özellik gösterir. Termal şoklara karşı dirençlidir. Demir bazlı süper alaşımların en büyük avantajı fiyatının diğer süper alaşımlara göre daha ucuz olmasıdır. Kobalt esaslı, ısıl dirençli alaşımlar, yapısında yüzde olarak en fazla Kobalt bulundurduğu için adını bu elementten almaktadır. Ortalama 1175 °C’lere kadar mükemmel oksidasyon direnci ve yüksek mukavemete sahiptirler. Sıcak korozyona maruz kalınan ortamlarda ve düşük stres istenen yerlerde,

dengeyi daha iyi koruyabildiği için Ni bazlı süper alaşımlardan daha iyi sonuç vermektedir. Özellikle yüksek sıcaklıklarda çalışan ve dönen parçalarda tercih edilir. Fiyatlarının yüksek olması dezavantajlarıdır.

Çizelge 2.1. Süper alaşımların sınıflandırılması [5]

SÜPERALAŞIMLAR		
<u>Nikel bazlı</u>	<u>Demir bazlı</u>	<u>Kobalt bazlı</u>
- Inconel (578, 597, 600, 601, 617, 625, 706, 718, x750) - Nimonic (75, 80A, 90, 105, 115, 263, 942, PE.11, PE.16, PK.33) - Rene (45, 95) - Udimet (400, 500, 520, 700, 710, 720) - Pyromet 860 - Astroloy - M-252 - Hastelloy (C-22, G30, S, X) - Waspaloy - Unitemp AF-2 IDA6 . Cabot 214 - Haynes 230	- Incoloy (800, 801, 802, 807, 825, 903, 907, 909) - A - 286 - Alloy - 901 . - Discaloy - Haynes 556 . - H - 155 - V - 57	- Haynes 188 - L- 605 - MAR-M918 - MP35N - MP159 - Stellite 6B - Elgiloy

2.2. Nikel Esaslı Alaşımların Sınıflandırılması

Ticari olarak mevcut nikel esaslı alaşımlar şunlardır. Inconel, Rene, Udimet ve Pyromet. Bunların ayrıntılı listesi Çizelge 2.2’de verilmektedir. Bunların içerisinde inconel 718 en çok kullanılan nikel esaslı alaşımdır [11]. Nikel esaslı alaşımlar bahsedilen negatif eğilimler nedeniyle işlenmeleri zor olan malzemelerdir. Alaşımın ana bileşeni nikeldir ve alaşım içerisindeki nikel miktarı işlenebilirliği önemli ölçüde etkiler. Mukavemeti ve korozyona direnci arttırmak amacıyla ilave edilen diğer elementlerin yanı sıra alaşım içerisinde önemli miktarlarda krom da bulunur. Bu alaşımların yüksek sıcaklıklarda bile mukavemetleri yüksektir [4]. Birçok nikel esaslı alaşım, dayanım veya korozyon direncini arttırmak için küçük miktarlarda alüminyum, titanyum, niyobyum, molibden ve tungsten içerir. Nikel ve krom

kombinasyonu, bu alaşımlara önemli derecede oksidasyon dayanımı verir. Nikel esaslı süper alaşımlar özellikle 650 °C yi geçen sıcaklıklarda mekanik dayanım olarak paslanmaz çeliği geçerler. Nikel esaslı süper alaşımlar; oksidasyon ve korozyona, yüksek dayanım ve direnç gerektiren uygulama alanlarında genişçe kullanılırlar [9].

Çizelge 2.2. Ticari olarak mevcut nikel esaslı alaşımlar [11]

Inconel	587, 597, 600, 601, 617, 625, 706, 718, X750, 901
Nimonic	75, 80A, 90, 105, 115, 263, PE 11, PE 16, PK 33, c-263
Rene	41, 95
Udimet	400, 500, 520, 630, 700, 710, 720
Pyromet	860
Astroloy	
M-252	
Waspaloy	
Unitemp	AF2-IDA6
Cabot	214
Haynes	230

2.3. Nikel Esaslı Alaşımların Bileşimi

Genellikle nikel esaslı alaşımlar, %38 den %76 oranında nikel, %27 krom (Cr) ve %20 oranında kobalt (Co) dan oluşmaktadır [12]. Ayrıca tungsten (W), tantal (Ta), molibden (Mo) gibi elementler dakika kontrollü oranlarda katılarak inconelin dayanım ve oksidasyon özelliğini güçlendirir. Çizelge 2.3 de Nikel esaslı süper alaşımların bileşimleri görülmektedir [5]. Inconel 718'i oluşturan elementler (Çizelge 2.3) ve bu elementlerin Inconel 718'e sağladıkları özellikler şunlardır.

Çizelge 2.3 Inconel 718'in kimyasal bileşimi

Alaşım adı	Ni	Cr	Co	Mo	W	Ta	Cb	Al	Ti	Mn	Si	C	B
Inconel 718	53	18.3	0.23	3.04		0.005	0.23	0.50	09	0.08	0.08	0.04	0.004

Nikel (Ni) : Nikel genellikle bir alaşım elementi olarak kullanılmasının yanısıra yüksek mukavemetli, yüksek korozyon direncine ve ısı dirence sahip nikel alaşımları için ana malzemeyi oluşturur. Saf halde dayanıklıdır, soğuk ve sıcak işlem görebilir ve orta seviyede işleme özelliklerine sahiptir.

Krom (Cr) : Çeliğin sertleştirilmesinde kullanılır. Kromun varlığı işlenebilirliği azaltır. Genellikle mukavemeti arttırmak için ilave edilir. Sertliği artırması ve aşınma direncini iyileştirmesi de söz konusudur.

Demir (Fe) :Inconel 718 içerisinde denge elemanı olarak kullanılır.

Kobalt (Co) : Dayanım ve oksitlenmeye karşı direnç sağlar. Yüksek sıcaklıklarda sert karbürler oluşturur, bu nedenle işleme esnasında alaşım sertliğini korur.

Alüminyum (Al) : Hafifliğin yanı sıra dayanım sağlar.

Niyobyum (Nb) : Güçlü paslanmaz çeliklerin yapımında ve bazı paslanmaz çelik türlerinin kaynak çubuklarında, ayrıca demir dışı alaşımlarda da kullanılır.

Tantal (Ta) : Yüksek ısı ve oksidasyona karşı dayanım sağlar.

Titanyum (Ti) : Hafiflik, sağlamlık ve ısıya dayanıklılığın önem taşıdığı endüstrilerde kullanılır. Titanyum, çelik kadar dayanıklı, ancak ondan %45 daha hafiftir. Dayanıklılığı ve asitlere karşı dirençli oluşu nedeniyle, çeşitli alaşımların yapısına katılır.

Molibden (Mo) : Isıya ve aşınmaya karşı dirençli olan belli nikel esaslı alaşımların yapımında kullanılır. Molibden çeliklerin sertliğini artırır, korozyon ve sürünme direncini iyileştirir. Nükleer enerji uygulamalarında, elektrikli ısıtıcıların ince tellerinde, füze ve hava taşıtlarının parçalarının yapımında da yer alır. Ultra-yüksek güçteki çeliklerin hemen hepsi, %8–25 arası oranda molibden içerir.

Tungsten (W) : X-ışını hedeflerinde, hava taşıtlarında ve metal buharlaştırma işlemleri gibi yüksek sıcaklık gerektiren uygulamalarda kullanılır.

Mangan (Mn) : Mangan manyetik özelliği yok eder ve sertleştirilebilirliği iyileştirir. Kesici kenarın zarar görmesinin engellenmesi için güçlendirilmesi gerekir.

Çizelge 2.4 Nikel esaslı süper alaşımların kimyasal bileşimleri [5]

Alaşım adı	Ni	Cr	Co	Mo	W	Ta	Cb	Al	Ti	Mn	Si	c	B	Zr
Inconel 718	53	18.3	0.23	3.04		0.005	0.23	0.50	0.9	0.08	0.08	0.04	0.004	
Alaşım 713C	74	12.5	-	4.2	-	-	2.0	0.8	-	-	-	0.12	0.012	0.10
Alaşım 13LC	75	12.0	-	4.5	-	-	2.0	0.6	-	-	-	0.05	0.010	0.10
B-1900	64	8.0	10.0	6.0	-	4.0	-	1.0	-	-	-	0.10	0.015	0.10
FORD 406	60	6.0	10.0	1.0	8.5	6.0	2.0	2.0	-	-	-	0.13	0.018	0.06
IN-100	60	10.0	15.0	3.0	-	-	-	4.7	-	-	-	0.18	0.014	0.06
IN-162	73	10.0	-	4.0	2.0	2.0	1.0	1.0	-	-	-	0.12	0.020	0.10
IN-731	67	9.5	10.0	2.5	-	-	-	4.6	-	-	-	0.18	0.015	0.06
İN-738	61	16.0	8.5	1.7	2.6	1.7	0.9	3.4	-	-	-	0.17	0.010	0.10
IN-792	61	12.4	9.0	1.9	3.8	3.9	-	4.5	-	-	-	0.12	0.020	0.10
M22	71	5.7	-	2.0	11.0	3.0	-	-	-	-	-	0.13	-	0.60
MAR-M200	60	9.0	10.0	-	12.0		1.0	2.0	-	-	-	0.15	0.15	0.05
MAR-M200 (DS)	60	9.0	10.0	-	12.0	-	1.0	2.0	-	-	-	0.13	0.15	0.05
MAR-M246	60	9.0	10.0	2.5	10.0	1.5	-	1.5	-	-	-	0.15	0.15	0.05
MAR-M421	61	15.8	9.5	2.0	3.8	-	2.0	1.8	-	-	-	0.15	0.15	0.05
MAR-M432	50	15.5	20.0	-	3.0	2.0	2.0	4.3	-	-	-	0.15	0.15	0.05
NX188(DS)	74	-	-	18.0	-	-	-	-	-	-	-	0.04	-	-
Rene'77	58	14.6	15.0	4.2	-	-	-	3.3	-	-	-	0.07	0.016	0.04
Rene '80	60	14.0	9.5	4.0	4.0	-	-	5.0	-	-	-	0.17	0.015	0.03
Rene'100	60	9.5	15.0	3.0	-	-	-	4.2	-	-	-	0.18	0.014	0.06
SEL	51	15.0	22.0	4.5	-	-	-	2.4	-	-	-	0.08	0.015	-
SEL-15	58	11.0	14.5	6.5	1.5	-	0.5	2.5	-	-	-	0.07	0.015	-
TAZ-8A	68	6.0	-	4.0	4.0	8.0	2.5	-	-	-	-	0.12	0.004	1.00
TRW-NAZA VIA	61	6.1	7.5	2.0	5.8	9.0	0.5	1.0	-	-	-	0.13	0.020	0.13
UDIMET500	52	18.0	19.0	4.2	-	-	-	3.0	-	-	-	0.07	0.007	0.05
WAZ-20(DS)	72	-	-	-	20.0	-	-	-	-	-	-	0.20	-	1.50

Dövülmüş nikel esaslı alaşımlar yaklaşık olarak %10–20 krom, %8'e kadar alüminyum ve titanyum bileşimi, %5–15 kobalt ve demir içermektedirler [11]. Bu grubu Nikel esaslı alaşımlar orta düzeyde yüksek ısı gerilimi ve kaynak sırasında oluşan gerilime karşı da iyi bir direnç sağlar. Bu tür alaşımlar türbin disklerinin imalatında kullanılır. Çizelge 2.5'de dövülmüş nikel esaslı alaşımların ısı dayanımları görülmektedir. Ayrıca bu alaşımlar roket motor parçalarında, nükleer enerji fabrikalarında ve kimyasal donanımlarda da kullanılmaktadır [12].

Çizelge 2.5. Dövülmüş nikel esaslı alaşımların kompozisyonu ve ısı dayanımı [5]

Alaşımlar	Al,Ti, Nb	Mo, W	Cr	Co	Diğer	138 N / mm ² 1000 saat ömür için sıcaklık yeterliliği
Nimonic 80A	3.8	-	19.5	-		750
Inconel X750	4.2	-	15.0	-	7Fe	800
Nimonic 90	3.8	-	19.5	16.5		850
Udimet 500	6.0	4.2	19.0	18.0		875
Nimonic 105	6.0	5.0	15.0	20.0		900
Udimet 700	7.8	5.2	15.0	18.5		925
Nimonic 115	8.8	3.3	14.3	13.3		950

2.4. Nikel Esaslı Süper Alaşımlar ve Özellikleri

Süper alaşımlar, yüksek sıcaklıklarda çalışan uçak parçalarında, kimyasal fabrika donatımı ve kimyasal donanımlar gibi çeşitli yerlerde kullanılmaktadır. Süper alaşımların mevcut uygulamaları içerisinde diğer kullanıldığı yerler:

- Uçak ve endüstriyel gaz türbinlerinde
- Roket motorları
- Buhar türbinli güç tesisleri
- Gaz türbinleri
- Tıbbi uygulamalar
- Uzay araçları
- Nükleer reaktörler
- Kimyasal çalışma alanları

Demir esaslı, kobalt esaslı ve nikel esaslı süper alaşımlar, konvansiyonel olarak çubuk, yaprak, şerit kablo ve preslerle dövme olarak üretilirler. Süper alaşımlar, ayrıca çubuk, tabaka, yaprak, şerit tüp, boru vs. gibi şekillerde bulunmaktadır. Yüksek saflık derecesine sahip ön alaşımlı süper alaşım tozları, izotermal dövme, süper elastik biçimlendirme veya sıcak izostatik baskı parçaları olarak birçok yerde

kullanılmaktadır. Döküm süper alaşımlar, yaygın olarak türbin uygulamalarında kullanılmaktadır [9]. Isıl işlemler sayesinde nikel esaslı süper alaşımların dayanımları artmaktadır [13]. Yüzey yapısı, yüksek sıcaklıklarda yüksek dayanım, yüksek akıcılık, pekleşme, yüksek eğilim ve yüksek gerilmelerin sonucu olarak mikro yapıdaki değişikliğe çok duyarlıdır. Endüstride geniş bir kullanım alanına sahip olan bu alaşımlar aşağıdaki özelliklere sahiptir [14, 15];

- Yüksek ısıl gerilim
- Yüksek sertlik
- Yüksek kesme kuvvetine gerek duyan işleme gerilmesi ve yüksek pekleşme
- Yüksek ısılara sebebiyet veren düşük termal iletkenlik
- Yüksek oranda aşındırıcı karbür zerreciklerinin varlığı
- Takım üzerine kaynama eğilimi ve yığıntı talaş (BUE) oluşumu

Yukarıda sayılan bütün bu özellikler, işleme esnasında kesici takımların üzerinde yüksek aşınma oranı ve yüksek kesilme sıcaklığına sebebiyet vererek süper alaşımların aşırı derecede işlenmesini zorlaştırmaktadırlar. Nikel esaslı süper alaşımlar, tungsten-karbür-kobalt sınıfı kaliteler ile 50 m/min.' lik kesme hızının üzerindeki bir hızda işlenebilmektedir [15]. Nikel alaşımların işlenmesi esnasında kesici takımının kenarında kesici takımların performansını azaltan yüksek ısı oluşur. Aynı zamanda kesici takım üzerinde plastik deformasyona yol açan yüksek gerilim, çentik ve yanak aşınmasına neden olur. Nikel alaşımların zayıf ısı iletimi nedeni ile işleme esnasında iş parçası ve takım ara yüzeyinde ısı artışı olur ve dolayısı ile de takımın aşınması hızlanır [8]. Bu hızda talaş kontrolü zayıftır. Talaş tipi sürekli ve aşındırıcı testere dişi kenarlara sahiptir. Yüksek ısıların kombinasyonu, yüksek iş parçası gerilimi ve aşındırıcı talaşlar kesme derinliğinde çentik oluşmasına neden olan ana problemlerdir [16]. Soğutucular yağlamanın iyileştirilmesinde iyi bir rol oynamakla birlikte takım-talaş ve takım-iş parçası arasında ısıyı minimize eder ve sonuç olarak işleme zamanını en aza indirir. Akışkanlı soğutma alışı olunan, yeni malzemelerin işlenmesi esnasında oluşan ısının düşürülmesinde çok etkili olmamaktadır. Yüksek hız şartlarında nikel alaşımların işlenmesinde başarı ancak

uygun takım malzemesi, işleme tekniği ve uygun bir soğutma tekniğinin bileşimi ile elde edilebilir [5]. Nikel esaslı alaşımlar; tatmin edici ve kaliteli bir yüzey elde etmede işlenebilirliği zayıf malzemelerdir ve bunların işlenebilirliğini zayıflastıran bir kaç sebep vardır [16]. Bunlar;

- Yüksek sıcaklık dayanımı, özelliğinden dolayı işlenmeleri zorlaşmaktadır.
- İşleme esnasında pekleşmenin oluşması, talaş derinliğinde çentiğe ve takım aşınmasına neden olmaktadır.
- Süper alaşımlardaki sert aşındırıcı karbürler, kesilme esnasında kesici takımı önemli derecede etkilemekte ve aşınmayı hızlandırmaktadır.
- Yüksek sıcaklıklarda oluşan kimyasal reaksiyonlar, takım talaş arasında difüzyon aşınmasına neden olmaktadır.
- İşleme esnasında talaş ile kesici takım arasında kaynama oluşmakta, bu durum ise kesici takım yüzeyinde bozulmalar ve malzeme kaybına sebep olmaktadır.
- İşleme esnasında çıkan sürekli ve sert talaşların varlığı, kontrolü sağlamayı güçleştirmekte talaşların takım yüzeyinde krater oluşturmaya sebebiyet vermektedir.

İşlenmesi zor malzemelerde en iyi talaş kırılabilirlik yüksek basınçlı soğutma desteği ile elde edilmiştir [17,18]. PVD kaplamalı karbür takım ve yüksek basınçlı soğutucu ile inconel 718 işlendiğinde yüzey kalitesinde ve takım ömründe kabul edilebilir bir iyileşme olduğu görülmüştür. 203 bar soğutma basıncı ve 50 m/min hızla yapılan bir işlemede konvansiyonel soğutma ile basınçlı soğutma karşılaştırıldığında takım ömründe %740 yakın bir iyileşme olduğu görülmüştür. Takım ömründe genellikle artan soğutma basıncı ile birlikte iyileşme görülmüştür. İşlem esnasında kesme ısısında ve bileşke kuvvetlerde azalma meydana gelmiştir. İşleme esnasında talaşın kırılabilirliği yüksek basınçlı soğutma ile birlikte kesme derinliğine, ilerleme oranına ve kesme hızına bağlı olduğu görülmüştür. Inconel 718'in düşük basınçta işlenmesinde talaşın kırılmadığı, yüksek basınçla sürekli işlemede ise takım aşınmasının yavaş yavaş arttığı görülmüştür [8]. Whisker takviyeli seramik takımlarla inconel 718'in işlenmesinde konvansiyonel soğutucu ile kıyaslandığında

15 Mpa kadar yüksek basınçlı soğutucu desteği altında takım ömründe çok iyi bir performans elde edilmiştir. Kesme ara yüzünde iyileştirilmiş soğutucu ve yağlamadan dolayı soğutucu desteğinin artmasıyla kesme kuvvetlerinde azalma meydana gelmiştir. Soğutucu basıncının oluşturduğu momentum ile de etkili talaş kırılması meydana gelmiştir [19].

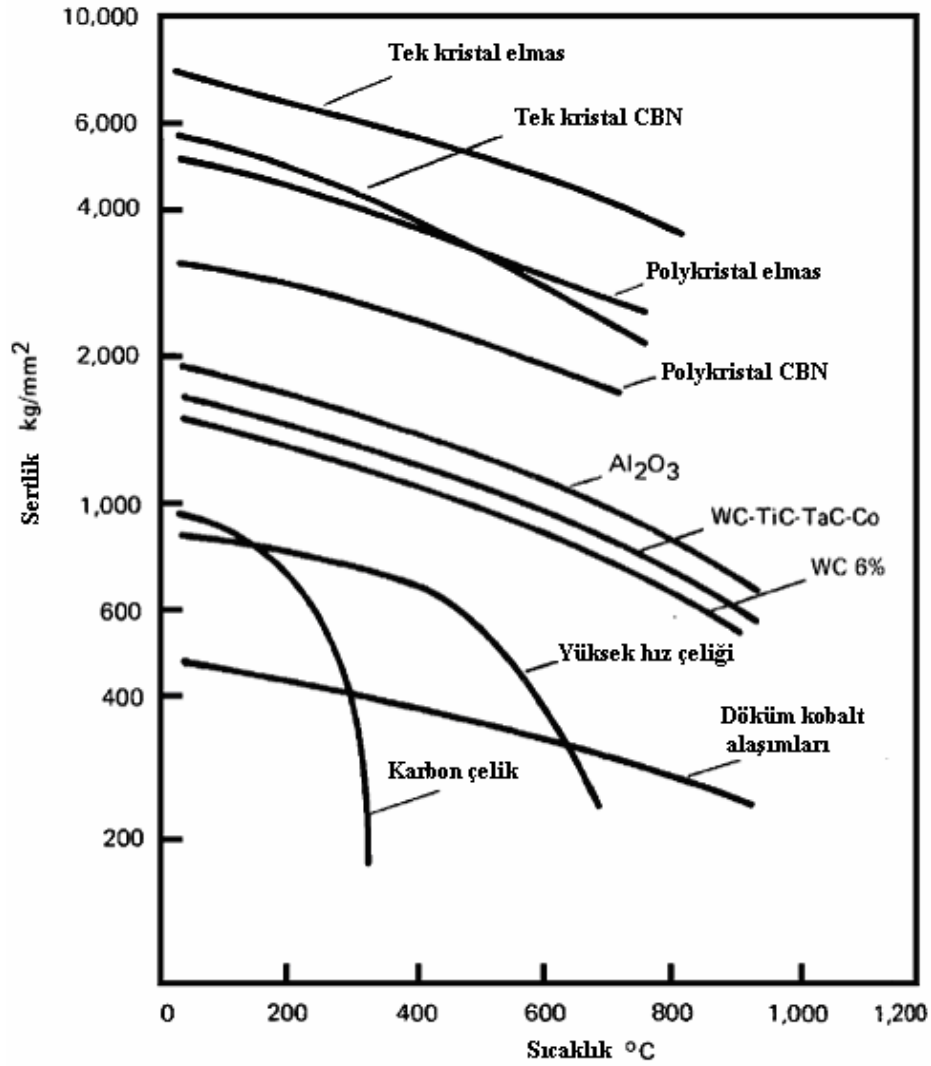
3. NİKEL ESASLI SÜPER ALAŞIMLARIN İŞLENEBİLİRLİĞİ

Süper alaşımlar yapısal seramikler ve sertleştirilmiş çelikler gibi mühendislik malzemeleri yüksek ısı direnci, sertlik ve kimyasal aşınma direnci gibi kimyasal özelliklerinden dolayı işleme esnasında kesici takım malzemelerini ciddi bir şekilde zorlamaktadır. Bu alaşımların zayıf termal iletkenliği takım ve iş parçası ara yüzünde yüksek ısı oluşumuna sebep olur. Bu durum kesici takımın sertlik ve gerilimini önemli oranda azaltmasından dolayı yüksek kesme şartlarında durumu daha da kötüleştirir. Kesicinin zayıflaması ile mekanik takım aşınması hızlanır, difüzyon (yayınım) ve plastik deformasyon meydana gelir. Bu nedenle uzay sanayisindeki malzemelerin işlenmesi için kullanılan kesici takımlar yüksek hız işlemlerinde karşılaşılan yüksek kesme ısılarında kendi sertliklerini ve diğer mekanik özelliklerini koruyabilmelidirler. Sementit Karbürler, Kubik Boron Nitrür (CBN) ve seramikler gibi iyileştirilmiş sertlikteki takım malzemeleri uzay sanayi malzemelerinin işlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. CBN takımların kesme performanslarına ve yüksek sertliklerine rağmen, seramik takımlar genellikle yüksek hızda sürekli işlemlerde ekonomik olmalarından dolayı daha çok tercih edilmektedir [5]. Süper alaşımların işlenebilirliğinin zor olmasından dolayı kesici takım malzemelerinin kesici kenarına yakın kısmında termal ve mekaniksel gerilmeler oldukça yüksek olur ve plastik deformasyona yol açar ve takım aşınmasını hızlandırır. Süper alaşımların işlenmesi esnasında gözlemlenen tipik problemler kesici uçta çentik oluşumu, yanak aşınması, krater aşınması ve sürekli talaş oluşumudur. Süper alaşımların işlenmesi için kullanılan kesici takımlar yüksek hız şartları altında oluşan artan ısıya karşı koyabilecek yeterli ısı sertliğine sahip olmalıdır. Bu şartlar altında çoğu takım malzemeleri genellikle takım aşınmasının hızlanması ve geriliminin zayıflaması ile sertliklerini kaybederler. Çizelge 3.1’de takım malzemelerinin yumuşama noktası, Şekil 3.1’de ısı sonucu takım sertliğinde meydana gelen değişimler görülmektedir [20].

Çizelge 3.1. Takım malzemelerinin yumuşama noktası [21]

Takım Malzemesi	Yumuşama Noktası (°C)
Yüksek Hız Çeliği (HSS)	600
WC	1100
Al ₂ O ₃	1400
CBN	1500
Elmas	1500

Süper alaşımların işlenmesinde kaplamasız karbür takımlar düşük kesme hız şartlarında verimli olurken, CBN/PCBN, seramikler ve kaplamalı karbür takımlar ile yüksek hızlarda kullanılabilir. Seramik takım malzemeleri genellikle titanyum alaşımların işlenmesinde kullanılmaz. Çünkü seramikler ile titanyum alaşımlarının yüksek tepkimesinin sonucu olarak, yüksek aşınma miktarlarından dolayı performansları düşüktür [21]. Süper alaşımların verimli işlenmesi ekonomik bir üretim için işlenen parçanın işleme zamanına, kesme hızına ve takım malzemesinin seçimine bağlıdır. Süper alaşımların işlenmesi için M işaretli ISO Karbür uçlar tercih edilir. Bu uçlar %6–9 kobalt, %4–8 TiC ve %5–10 Ta (NbC) bileşimlerine ve 1450 ve 1650 HV sertliğine sahiptir. Seramik kaplamalar Karbür takımların performansını artırır. Kaplamalar sert malzemelerdir ve bundan dolayı iyi bir aşınma dayanımı sağlar. Difüzyon aşınmasına karşı yüksek direnç, oksidasyon aşınma direncine karşı çok direnç göstermesi ve yüksek sıcaklık sertliği gibi mükemmel yüksek ısı özelliklerine sahiptirler. Kaplamaların iyi yağlanma özellikleri takım-talaş ve takım-iş parçası ara yüzündeki sürtünmeyi en aza indirir. Ayrıca kaplamalı kesici takımlar, kaplamasız takımlara göre daha az kesme kuvveti oluşturur. Süper alaşımların işlenmesinde kaplamalı takımlarla daha yüksek işleme hızlarında çalışılabilir. Tipik kaplama malzemeleri TiC, TiN, Al₂O₃, TiCN, TiAlN, TiZrN, TiB₂ ve son zamanlarda elmas kaplamalar da kullanılmaya başlanmıştır [5]. Süper alaşımlı çeliklerin işlenmesinde kaplamalı Karbür takımlar kullanıldığında ekonomik elde edilebilir hız 30 ile 100 arasındadır [22]. Kaplanmış karbür uçlar daha uzun takım ömrü, daha fazla üretim artışı ve daha kolay talaş akışı sağlamaktadır. Kaplama; kesme kuvvetini, oluşan ısıyı ve aşınmayı büyük oranda azaltarak geçici bir yağlayıcı görevi yapmaktadır. Bu, özellikle daha kaliteli yüzey elde edilmek istendiğinde, kesme esnasında daha yüksek hızların kullanılmasına imkân sağlar.



Şekil 3.1. Bazı takım malzemelerinin farklı sıcaklıktaki sertlik karakteristikleri [20]

Kaplamanın yağlayıcı ve talaş yapışmasını önleyici özelliği talaş kaldırmada oluşan gerilim ve ısı miktarını büyük oranda azaltmakta, dolayısıyla takım ömrünü hayli artırmaktadır [23]. Bu iyileştirilmiş aşınma direnci ile ve kaplamalar tarafından tavsiye edilen kesici bölgesindeki iyi yağlama ile mümkündür. İyi bir talaş kontrolü ve kesici takım üzerinde talaş yapışmasının (BUE) azaltılması ile işlenen parça üzerinde çok iyi bir yüzey oluşumunu sağlar. Kesme hızındaki artış takımın uç ısısında da artışa sebep olur. Takım ucunda ısı artışı takım-talaş temas uzunluğuna bağlıdır. Sadık ve Lindsström [24], doğal takım-talaş temas uzunluğunun takımın ve iş parçasının tipine bağlı olduğunu ve genellikle kaplamasız takımların takım-talaş temas uzunluğunun fazla olduğunu ifade etmişlerdir. Seramik takımlar serttirler ve

yüksek hızda işlemede oluşan artan ısı şartlarında sertliklerini muhafaza edebilirler. Ayrıca sementit karbürlerden daha fazla oksidasyon direncine ve kimyasal kompozisyona sahiptirler. Seramik takımların yetersiz kırılma toklukları işleme esnasında mekanik ve termal şoklardan çabuk etkilenmesine neden olur. Seramikler yüksek ergime noktasına sahip olduklarından yüksek işleme şartları altında kesici ucun ergimesini önler [25]. Seramik kesiciler, yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklı olan inorganik, metal olmayan malzemelerdir. Seramik kesicilerin dar olan kullanım alanı, katkılı seramiklerin, seramik-matriksli kompozitlerin ortaya çıkmasından sonra, artmaya başlamıştır. Seramik kesiciler, değişik oranlarda karıştırılan tozların belli basınç altında çok çeşitli şekillerde kalıplanarak sinterlenmesi ile elde edilmektedir [23]. Seramikler iki ana kategoride değerlendirilebilir.

- Saf oksit, karışımli oksit ve silisyum karbür (SiC) whisker takviyeli alüminyum seramiklerden oluşan alüminyum esaslı seramikler;
- Silisyum nitrit içeren seramikler.

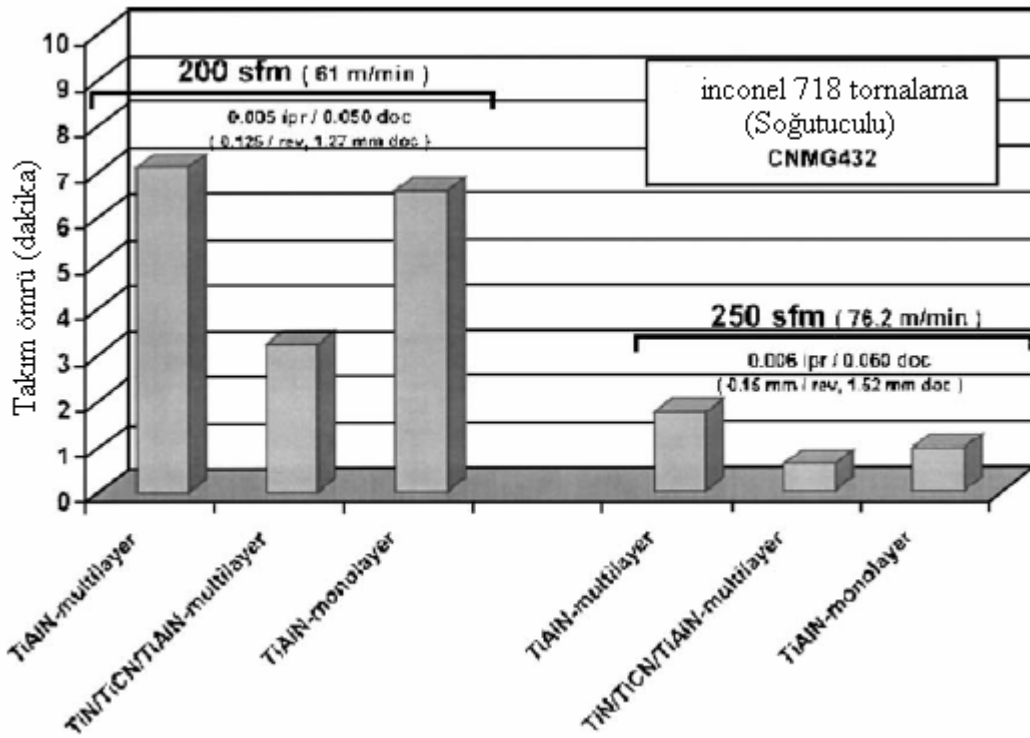
Saf oksit ($Al_2O_3 + ZrO_2$) seramiğin içerisinde %2–5 oranında zirkonyum oksit (ZrO_2) bulunur. Zirkonyum aşınma direncinden etkilenmeksizin takımın kırılma tokluğunu artırır [26]. Saf oksit seramik takımlar artan ısılarda düşük kırılma toklukları ve termal şoklara karşı dirençlerinin zayıf olması nedeni ile süper alaşımların işlenmesinde çok verimli değildirler [5]. İyileştirilmiş kırılma tokluğu, sertliği ve termal şok direnci ile karışımli seramik takımlar için saf Al_2O_3 seramiğe %30–40 arasında titanyum diborid (TiB_2) veya titanyum Karbür (TiC) ve/veya titanyum nitrit (TiN) katılarak iyileştirilmiş işleme performansı elde edilebilir [26]. TiC sıcaklık sertliğini iyileştirir, fakat bununla birlikte kırılma tokluğunu azaltır. Sertliğin artması süper alaşımların işlenmesinde karışımli seramiklerin tercih edilmesine neden olur. Karışımli seramik takımlar konvansiyonel Karbür takımlar ile elde edilen başarıdan yaklaşık on kata daha yüksek kesme hızında nikel esaslı alaşımları işlemek için kullanılır [11]. Whisker takviyeli alüminyum ($Al_2O_3 + SiC_w$) seramik takımlar en az %25 oranında silisyum karbür (SiC_w) sağlamlığı ile mekanik olarak güçlendirilmiştir. Bu takım malzemesi artan ısılarda iyi bir kırılma tokluğuna sahiptir. Ayrıca SiC_w whisker in düşük termal genişleme katsayısı ve yüksek ısı

iletkenliği nedeni ile iyileştirilmiş termal şok direncine sahiptir. Bu özelliklerden dolayı 750 m/min ve 0.375 mm/dev ilerlemeye kadarki hızlarda süper alaşımların işlenmesinde Whisker takviyeli alüminyum seramiklerin kullanımını uygun kılmaktadır [11]. SiC_w Whisker takviyeli Al₂O₃ seramik takım ile Nikel esaslı alaşımların işlenmesinde en uygun hız sınırları 375 den 535 m/min kadardır [5]. Silisyum nitrit seramik takımlar çok iyi bir oksidasyon direncine, iyi bir mekanik gerilime ve yüksek sertliğe sahiptirler. Bu özelliklerinden dolayı yüksek hız ve ilerlemelerde süper alaşımların işlenmesi için uygundurlar [27]. Seramik takımlarla nikel esaslı Kübik Boron Nitrür (CBN) takımlar yaklaşık 6000 MPa basınç ve 1400 °C yüksek ısı altında hexagonal boron Nitrür kristallerinden üretilmektedirler. Bunlar elmadan sonra mevcut en sert takım malzemesidirler ve genellikle sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesi için kullanılırlar. CBN takımlar ile süper alaşımlı çeliklerin işlenmesinde fazla talaş derinliğinde kırılğan olması ve fiyatının çok yüksek olmasından dolayı çok kullanılmamaktadır. CBN takımların fiyatı karbür takımlara nazaran 10–20 kat daha pahalıdır [28]. CBN takımlar genel olarak maliyetleri en aza indirmek için son işleme yüzeylerinde kullanılırken, seramik takımlar hem kaba hem de bitirme işlemlerinde kullanılırlar [5]. CBN takımlar genellikle 340 HV yi açan sertlikteki malzemelerin işlenmesinde kullanılırlar [11, 28]. Piyasada CBN_H (yüksek CBN içerik) ve CBN_L (düşük CBN içerik) olmak üzere iki derece CBN takım mevcuttur. CBN_L düşük ısı ve takım iş parçası ara yüzünde oluşan gerilimden dolayı çeliğın işlenmesinde CBN_H oranla daha iyi performans göstermiştir. CBN_H takımlar yüksek çentik aşınması direncinden dolayı nikel esaslı alaşımların işlenmesi için uygundur [5]. CBN takımlar 240 m/min'e kadar kesme hızlarında nikel esaslı alaşımları işlemek için kullanılırlar [11].

3.1. Karbür Takımlarla Nikel Esaslı Alaşımları İşleme

Kaplanmamış karbür takımlar nikel esaslı alaşımları 10-30 m/min kesme hızında ve 0.5 mm/rev ilerleme oranına kadar hızda işlemek için kullanılır. Karbür takımların termomekanik durağlanlığı zayıftır ve 30 m/min açan kesme hızlarında işleme yapıldığında takım yüzeyinde takım aşınmasına sebep olduğu için talaşın altında takım-talaş ara yüzünde takım malzemesinde difüzyon meydana gelir. 30 m/min açan

kesme hızlarında takım-talaş ara yüzünde oluşan ısı 1100 °C'yi aşabilir. Bu nedenle kesme kenarında plastik deformasyon oluşarak Karbür takımların dayanımı azalır [9,21]. Kaplanmış karbür takımlarla nikel esaslı alaşımları işlerken yanak ve uç aşınması en ağır basan yetersizliklerdir. Kaplama katmanlarının erozyona uğraması takım ucunda aşırı ısı karbürü korumasız bırakır. Bu durum hızlı burun ve yanak aşınmasına sebep olan bileşke kuvvetlerdeki önemli artışla birleşir [5]. Fiziksel buhar biriktirme (PVD) ve kimyasal buhar biriktirme (CVD) kaplamalı karbür takımlar nikel esaslı alaşımların işlenmesinde kullanılmış ve takım ömrü bakımından çoklu kaplamalı takımlar tek katmanlılara göre en iyi performansı göstermişlerdir [29, 30]. Şekil 3.2'de inonel 718'in işlenmesinde çoklu ve tekli kaplamalı TiAlN katmanının performansı görülmektedir.



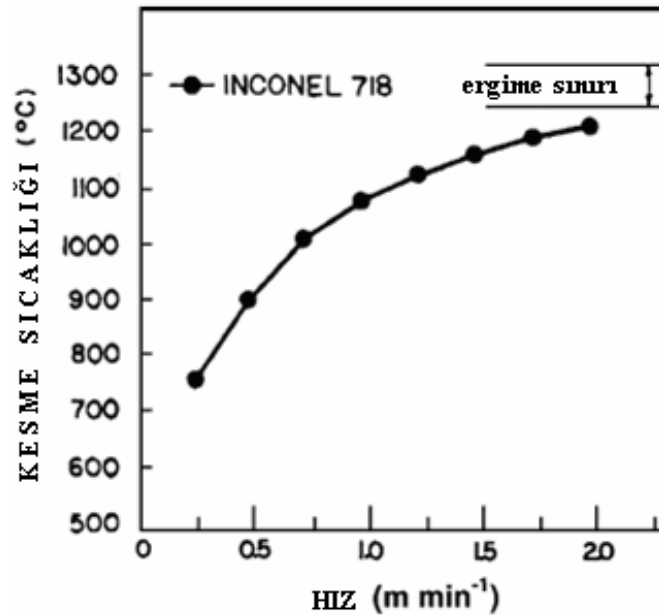
Şekil 3.2. Inconel 718 tornalamada TiAlN tek katmanlı ve TiAlN çok katmanlı kaplamaların performansı [5].

Inconel 718'in işlenmesi ile kaplamalı karbürlerde yanak aşınması, çentik ve plastik deformasyon, kaplamasız karbürlerde ise yanak aşınması ve çatlama daha hâkim görülmüştür. Yuvarlak şekilli karbür kesici takımlar ile yapılan talaş kaldırma

işlemlerinde, kare şekilli karbür kesici takımlara göre daha kaliteli yüzey elde edilmiştir. Deneylerde talaş kırıcı kesici takımlar kullanılmasına rağmen, talaşlar uzun ve sürekli çıkmıştır. Talaş, oldukça zor kopan bir talaş olup, kesicilerdeki talaş kırıcılar, talaşı koparmada yetersiz kalmışlardır. Yuvarlak şekilli karbür uçlar ile talaş kaldırma sırasında karbür ucun yuvarlak formundan ötürü denendiği kesme deneylerinin çoğunda titreşim oluşmuş ve radyal kuvvet F_p , hemen hemen F asıl kesme kuvvetine yakın ya da daha yüksek değerler almıştır [7].

3.2. Seramik Takımlarla Nikel Esaslı Alaşımları İşleme

Seramik takımlar nikel esaslı alaşımların işlenmesinde çok büyük bir öneme sahiptir. Çünkü seramikler Karbürlere nazaran daha yüksek kesme şartlarına dayanabilirler. CBN takımlarla kıyaslandığında ise daha ucuzdurlar. Seramik takımlar artan ısılarda çok yüksek sıcaklık direncine sahip olmalarına rağmen, nikel esaslı süper alaşımlar işlendiğinde takım aşınması egemen unsurdur.



Şekil 3.3. Al_2O_3/TiC içeren bir kesici uç ile inconel 718 işlemede kesme sıcaklığı üzerinde kesme hızının etkisi [21]

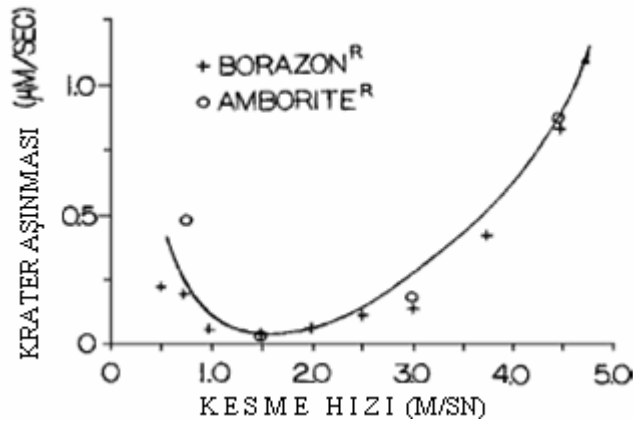
Seramik takımlarla nikel esaslı süper alaşımları işlemede sıcaklık gerilimi kısıtlama getirmez öyle ki takım-talaş ara yüzeyinde alaşımın ergime noktasına yakın

sıcaklığın olduğu yerdeki hız sınırlarında işlemek mümkündür Şekil 3.3 [22, 31]. Seramik takımlarla nikel esaslı süper alaşımlar işlendiği zaman talaş derinliği çentik problemi yaratır. Daha tok olan siyalon ve $\text{SiC}_w\text{-Al}_2\text{O}_3$ kompozit takım çentiğe karşı daha dirençlidir [23]. Takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü yönünden whisker takviyeli alüminyum oksit ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{+SiC}_w$) seramik takım $V=150$ m/min'lik kesme hızında $V_{BB}=0.13$ mm, $R_a=1,22$ μm ve $F_c=852,52$ N, $T_c=4,57$ dakika'lık kesme süresi ve 273 cm^3 'lük talaş kaldırma hacmi en uygun değerler görülmüştür. Kare şekilli seramik uçlu takımlar, yuvarlak şekilli seramik uçlu takımlara göre yüzey kalitesi yönünden daha iyi performans ortaya koymuşlardır. Kesme hızı arttıkça, yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Kare şekilli seramik takımlarda ortalama pürüzlülük değeri R_a , 1,22-2, μm arasındayken yuvarlak şekilli seramik takımlarda R_a , 1,65-1,96 μm arasında olmuştur. Seramik uçlu takımlarda genelde yan kenar, krater, çentik ve plastik deformasyon aşınmaları oluşmuştur. RNGN yuvarlak takımlarda, talaş derinliğinde çentik daha hâkim iken, SNGN kare takımlarda, daha çok yan kenar ve krater aşınması hâkim olmuştur. Seramik takımlar $V=300$ m/min'lik kesme hızında aşınmaya karşı dayanıksız görülmüştür. Kare şekilli kesici takımlarda, asıl kesme kuvveti daha düşük ve daha kararlı bir seyir izlerken, yuvarlak şekilli seramiklerde daha büyük ve daha düzensiz oluşmuştur [7]. Alüminyum içeren seramiklerde şiddetli çentikler meydana gelirken, whisker içeren seramiklerde artan hızlarda çentik oluşumu azalmıştır [31].

3.3. CBN Takımlarla Nikel Esaslı Alaşımları İşleme

İlk defa 1980'li yıllarda lehimlenebilir ve değiştirilebilir uçlar olarak üretilmeğe başlanmıştır. Bu üretilen uçlar tungsten ve karbür ana malzemesi ile çok kristalli bor nitrür (PCBN) tabakasından oluşmaktadır. Son zamanlarda katı CBN uçlar mevcut olmakla birlikte CBN kesici takım üretici firmaların sayısı azdır [23]. Nikel esaslı alaşımları işlemde CBN takımların aşınma mekanizması genellikle karbür uçlara benzerdir. Bununla birlikte CBN takımların aşınması oldukça yüksek kesme şartlarında meydana gelir ve kesme kenarında çok şiddetli termal ve mekanik gerilim meydana gelir. CBN, mevcut takım malzemeleri içerisinde en sert kesici takımlar olduğu için 300–600 m/min kesme aralığında son yüzey işleme uygulamalarında en

güzel yüzeyi verir [5]. Nikel esaslı alaşımları işlemede CBN takımlarda meydana gelen tipik aşınmalar yan kenar aşınması, burun aşınması ve krater aşınmasıdır. Bu aşınma türleri kesme hızına bağlı olarak artar. Şekil 3.4’de kesme hızına bağlı olarak meydana gelen krater aşınması görülmektedir [21]. CBN çok büyük bir teknolojik öneme sahiptir ve termal ve mekaniksel özellikleri bakımından elmaslara çok benzer [32]. Bir kesici takım malzemesi olarak CBN yüksek sıcaklıklarda çelik işlemede daha kararlı olmasından dolayı elmaslara nazaran daha avantajlıdır. Elmas uçlar ise daha çok demir dışı malzemelerin işlenmesinde kullanılır. CBN takımlar ile süper alaşımlı çeliklerin işlenmesinde fazla talaş derinliğinde kırılma olması ve fiyatının çok yüksek olmasından dolayı çok kullanılmamaktadır. CBN takımların fiyatı karbür takımlara nazaran 10–20 kat daha pahalıdır. CBN takımlar genel olarak maliyetleri en aza indirmek için son işleme yüzeylerinde kullanılırken, seramik takımlar hem kaba hem de bitirme işlemlerinde kullanılırlar [5, 28].



Şekil 3.4. Inconel 718 işlemede CBN takımın aşınması [21]

4. TALAŞLI İMALAT VE TALAŞ OLUŞUMU

Talaşlı imalat işlemi en önemli imalat yöntemlerinden biridir. Döküm, dövme, haddeleme ve diğer şekillendirme yöntemleriyle üretilmiş malzemelerin kullanıma hazır hale getirilmesi için genellikle talaşlı imalat işleminden geçmeleri gerekir. Talaşlı imalat işleminde iş parçasını istenilen geometriye getirmek için, üzerindeki fazlalıklar uygun takım tezgâhı ve kesici takım kullanılarak, talaşlar şeklinde uzaklaştırılıp, istenilen boyutlar ve yüzey kalitesi sağlanır. Talaşlı imalat işleminde iş parçası malzemelerinin işlenebilirliğinin ve kesici takımların kesme performanslarının yükseltilmesi çok sayıda bilimsel araştırmanın konusu olmuştur [7]. İmalat sanayinde malzemelerin verimli şekilde işlenmesi sadece kesilen malzeme hakkında değil aynı zamanda değişik şartlar altında, kesici takım malzemesi, kesici şekli ve nasıl yapılacağı hakkında da bilgi gerektirir. Son 20 yıldan beri birçok yeni takım malzemeleri ve takım tezgâhları geliştirilmiş, daha yüksek kesme hızlarında çalışma imkânı sağlanmış ve bunlar da üretim artışına yol açmıştır. Bütün bu faktörler dikkate alındığında takım tezgâhları ile talaş kaldırma teorisi ve uygulama alanı sürekli araştırılmaktadır. Talaş kaldırma fiziği açısından, malzemenin nasıl kesildiği veya kesici takımın malzemeye yaklaştığı yerde gerçekte nelerin olduğunu anlamadan yüzlerce yıldan beri insanoğlu metalleri kesmek için kesici takımları kullanmaktadır. Uzun yıllardan beri kesici takım önündeki metalin kama önünde yarılan ağaca benzer bir şekilde deformasyona uğradığı kabul edilmiştir. Bu ilk teoriye göre, kesici takım ucundan uzak mesafede takım yüzeyinde oluşan aşınma dikkate alınmıştır. Önceleri kesme sıvısı kullanıldığında aynı teori bir tornalama işlemi esnasında kesici takım önünde yırtılarak metal parçacıklarının ayrıldığını göstermiştir. II. Dünya savaşından beri talaş kaldırma teorisi, kuvvetlerin ve sıcaklıkların ölçülmesi, metallerin işlenebilirliği, ekonomik işleme ve kesme sıvıları gibi alanlarda birçok araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar, kesici takımdan önce küçük bir miktar kırılma yerine iş parçası malzemesinin basmaya maruz kaldığını ve daha sonra kesici takım yüzeyine doğru aktığını ortaya çıkarmıştır. Bu araştırma faaliyetleri üretim artışındaki gelişmelere sebep olmasına rağmen işlemin karmaşıklığı talaş oluşum teorisinin tam anlaşılmasında daha az

gelişme sağlanmıştır. Bu işlemi vazgeçilmez yapan veya analizini zorlaştıran sebep nedir? Sorusu cevaplanmalıdır. Bunlar kısaca şöyle özetlenebilir:

- Farklı malzemelerin farklı davranışları,
- İşlemin simetrik ve sınırlı olmaması, yani sadece kesici takıma bağlı olmaması,
- Uzama düzeyinin çok büyük olması,
- Uzama miktarının çok yüksek olması,
- Talaş kaldırma işleminin takım geometrisi, takım malzemesi, sıcaklık, soğutma sıvısı ve işlemin dinamiğindeki titreşim ve otlama gibi değişmelere karşı hassas olmasıdır.

Talaş, ilk deformasyon ve ikinci deformasyon bölgesinde oluşmakta ancak esas işlem takım/talaş ara yüzeyinde nispi bir hareketle belli bir geometrideki takımla ve kesme kuvveti etkisi ile oluşmaktadır. Talaş oluşum geometrisine göre, sürekli, kesikli ve BUE'lı sürekli talaş olarak 4 tip talaş mevcuttur. Fakat genellikle bu sınıflandırma talaş kaldırma teorisinde gelişen pratik gereksinimler için doyurucu değildir. Bunun sonucu olarak, sanayide gelişmiş ülkeler daha fazla talaş sınıflamasını pratik olarak kabul etmektedirler. Örneğin, talaş çeşitleri, Japonya'da talaş uzunluklarına göre 9 tip olarak sınıflayarak formüle edilmiştir. Çünkü bilinen sınıflamalar sadece talaş görünümündeki farktan ileri gelmektedir. Fakat talaşın yapısı, sertliği, gerilme ve uzama durumunu kapsayan fiziksel durumu üzerine odaklanılmamıştır. Bununla beraber ne takım geometrisi ne de kesme bölgesi dikkate alınmıştır. Bu nedenle, bilinen sınıflama talaş oluşumu hakkında ön işlem için karar vermeye yardım etmekten ziyade son-işlem doğallığına sahiptir [23].

Tornalama işleminin gelişimi sadece talaşın çok yüksek hızlarda kaldırılmasıyla kalmamış aynı zamanda operasyonu oluşturan parametrelerin, parça kalitesi ve güvenilirliği şeklindeki sonuçların yakından kontrol edildiği bir noktaya gelmiştir. Talaşlar, istenen şekil ve ölçüyü sağlayan ve dikkatlice tanımlanmış değerlere bağlı kalınarak kaldırılır. Talaş işleme prosesi, bir iş parçasını spesifik bir şekil, ölçü ve yüzey kalitesinde kesmeye yönelik olmasına rağmen, bu proses günümüzün CNC tezgahlarında yer alan yüksek kesme değerlerinden dolayı, bir uygulama için gerekli olduğu kadar kabul

edilebilir değerlere uyan talaşların elde edilmesiyle sağlanır. Aksi takdirde, uzun, ipliksi talaşlar, dolanmış yığınlar halinde işleme alanında kontrolden çıkmış bir şekilde birikirler. Bu durum sadece operatörlere değil aynı zamanda yapılmakta olan parçalara da yönelik bir tehlike oluşturur. Talaş formu, büyük ölçüde, kesilmekte olan yekpare sünek malzemelerden ufalanan, kırılğan malzemelere kadar değişen malzeme tiplerinden etkilenir. Talaş oluşumunun dikey görünümü, kesme hız yönünün veya kesilmekte olan iş parçasının dönme ekseninin temel kesme kenarına dik açılarda olmasıdır. Bu kesme işleminin basitleştirilmiş bir tanımıdır, sadece alın tornalama ve dalma tornalama gibi bir kaç işlemde uygulanır. Çoğu metal kesme işlemi eğiktir, kesme yönü, temel kenara göre belirli bir açıdadır. Bu durum büyük ölçüde geometrik şartları ve talaş akış yönünü değiştirir. Temel olarak talaş, tipik bir kesme operasyonundaki saat yayı biçimi yerine, değişik virgül ve helezon şekillerinde oluşacaktır. Takımın giriş açısı ve köşe radyüsü, talaş kesitini değiştirdiğinden dolayı talaş oluşumunu etkiler. Daha küçük bir açıyla talaş kalınlığı azalır ve genişlik artar. Talaş akışının yönü de arttırılan spiral hatveyle birlikte çoğunlukla yararlı biçimde değişir. Talaş derinliğine bağlı olarak, talaşların şekil ve yönü de kesme kenarındaki köşe radyüsüne göre değişir. Talaş derinliği, köşe radyüsüne göre küçük olduğunda, radyüs kısmı kesme kenarının temel parçasıdır ve spiral talaşlar oluşturulacaktır. Daha fazla talaş derinliği, radyüsten daha az, kenarın mevcut giriş açısından daha fazla etkilenmeye, sonuç itibarıyla dışarı yönelmiş spiral talaşa yol açar. Buna ilaveten ilerleme hızı da talaş kesitinin genişliğini ve talaş akışını etkiler. Kare şekilli bir talaş kesiti çoğu zaman aşırı sert talaş basıncı anlamına gelirken, geniş, ince şerit biçimli talaş, uygun olmayan uzun tel formunu alır. Talaş kıvrımı, kalın bir talaş için küçük hale gelir ve bunun sonucunda talaş/takım temas uzunluğu daha fazla deformasyon ve basınca sebep olacak şekilde artar. Aşırı kalınlık, talaş işleme sürecini olumsuz etkiler. Buna ilaveten, ilerleme hızı kesici uç geometrisinin tasarım değerlerinin üzerine çıkarsa, talaş, dengesiz talaş kırma ve talaş işlemlerinin pozitif yerine negatif geometriyle gerçekleşmesinin etkisiyle talaş oluşturan geometrinin üzerinden geçer. Çoğunlukla köşe radyüsüyle çalışan ince işlem kesici ucu geometriyi kesici ucun köşesine odaklarken, kaba işlem kesici ucu geometriyi kesme açısının üzerine odaklar. Bazı kesici uçlar, köşe radyüsünden ve kesici uç boyunca, talaş kırıcı kombinasyonları sayesinde geniş bir orta seviye aralığında tatmin edici talaş oluşumu sağlayabilirler [33].

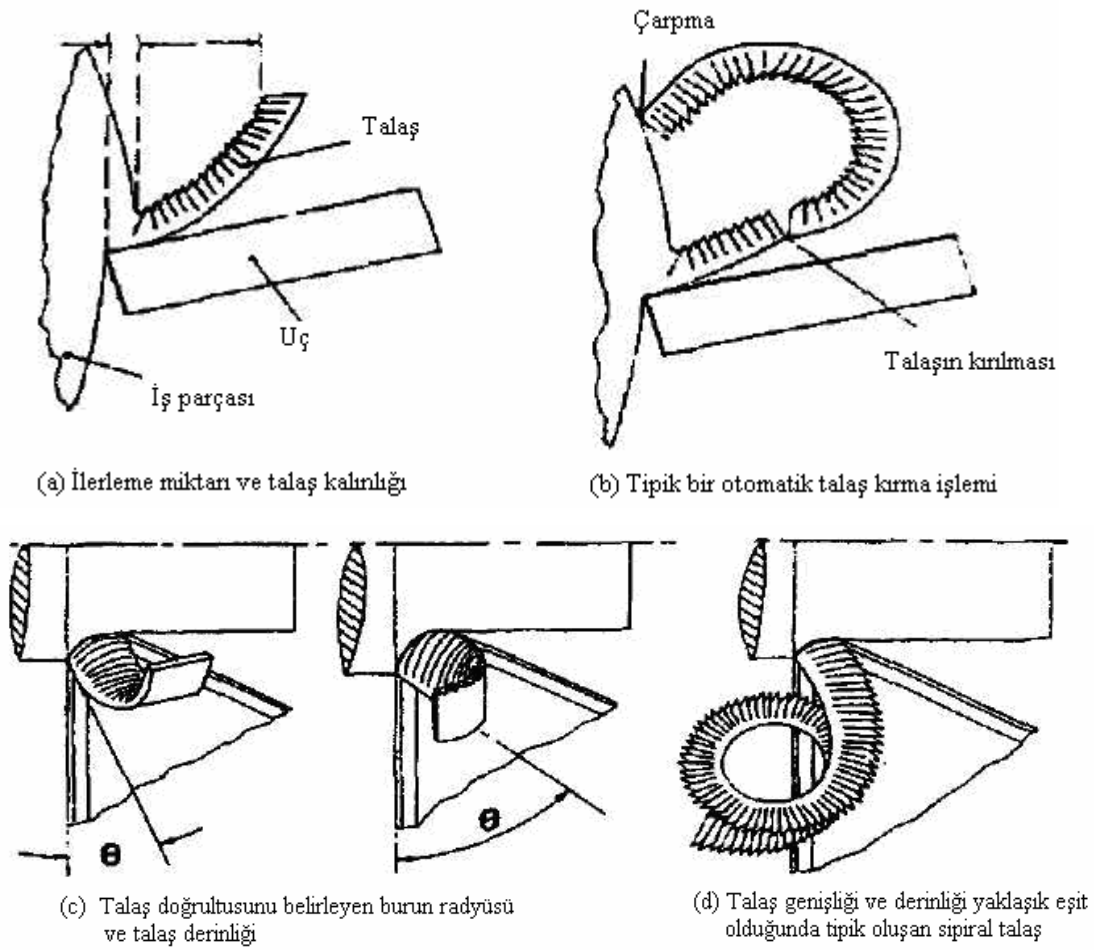
4.1. Talaş Kırma Prensipleri

Otomat ve CNC tezgâhlarında parça işlemedeki temel problem, büyük hacimde talaşın üretilmesi, oluşan talaş şeklinin ve davranışının değişik problemlere sebep olmasıdır. Tornalama işlemine etki eden talaşın büyüklüğü işletme şartlarına bağlı olarak değişmekle beraber üç temel özelliği mevcut bulunmaktadır. Bunlar kısaca şöyle özetlenebilir:

1. Talaş, kesme hareketinin verimliliğini azaltmaksızın kesme bölgesinden düzgün olarak uzaklaşmalı,
2. Talaş, depolama, transfer ve çıkarılmasını kolaylaştırmak için uygun şekil ve boyutta olmalı,
3. Talaş, takım veya iş parçası etrafına dolaşmadan veya otomatik takım değiştirme, parça yükleme vb. diğer fonksiyonları engellemeden hızlı şekilde ızgaraya dökülmelidir.

Talaş şekli, boyutu, taşınması, depolanması ve tıkanma problemleri ileri teknolojiye sahip tornalama işleme merkezlerinde; takım, parça değiştirme ve dağıtım sistemlerinin kullanılması daha önemli olmasına rağmen talaşın etkili olarak kontrolünde en önemli faktör, özellikle, kesme bölgesinden talaşın düzgün olarak akmasıdır. Kesici ucun esas fonksiyonu, iş parçasından fazla malzemenin kaldırılması olup, bu da iş parçası malzemesinin özelliklerine bağlı olarak ya talaşların kırılarak akmasının sağlanmasıyla da sürekli talaş oluşturularak elde edilir. İşlenecek malzemeler düşünüldüğünde, uzun talaş ve kısa talaş terimleri kullanılır. Pirinç, dökme demir gibi malzemelerde talaşın uzaklaştırılması problem yaratmaz. Ancak uzun talaş veren çeliklerin mekanik özellikleri de oldukça farklılık gösterdiğinden sıkça talaşların taşınması problem oluşturur. Bununla beraber, bunların üretim yöntemleri, haddeden çekme, dövme, dökme, şekil verme ve sinterleme ile birlikte ısı-ışıl işlem dışında metalürjik değişimler de meydana gelir ki, bunlar malzeme bileşiminden ziyade talaş kırma yeteneği üzerine daha büyük etkiye sahiptir. Dayanım ve sertlik değerleri malzemelerin belli özelliklerini gösterir fakat talaşın mekanik dayanımı onun kolaylıkla kırılıp kırılmayacağını

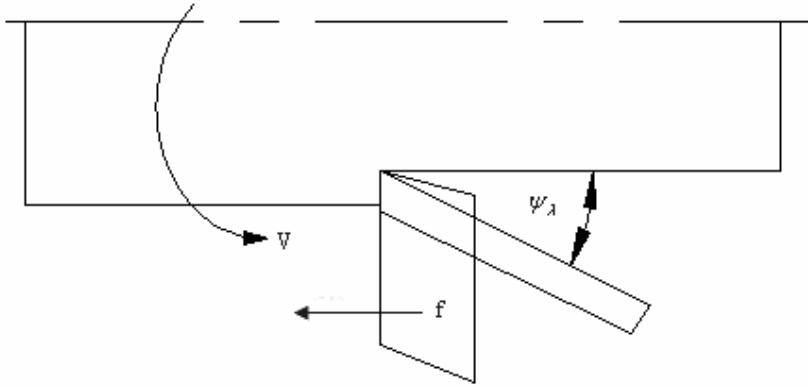
belirtir. Çeliğin dayanımı ile üretilen talaşın mekanik dayanımı arasında kesin bir ilişki mevcut değildir. Klasik bir tornalama talaşı oldukça kolay kırılır, Şekil 4.1 (a) da gösterildiği gibi vida dişi görünümlüdür. Talaş kırma eğilimini artırmak için kısa eleman oluşturulur, mümkün olduğunca derin vida dişlerine sebep olan bu özelliği artırmak gerekir. Diğer dişler arasında talaş kesitleri rijit olup esnek değildir, bir engele doğru yönlene talaş Şekil 4.2 (b)'deki gibi kırılma kuvveti sağlayacaktır.



Şekil 4.1 Talaş kırma prensipleri. a) İlerleme miktarı ve talaş kalınlığının yaklaşık aynı olması hali, b)Tipik bir otomatik talaş kırma işlemi, c) Talaş yönünü belirleyen talaş derinliği ve burun radyüsü arasındaki ilişki, d) Talaş genişliği ve kalınlığı aynı olunca oluşan spiral talaş.

4.2. Talaş Şekli

İş parçasından malzeme kaldırdıktan sonra bu malzeme talaş şekillerinde akar. Talaşın dışa akışı ya doğal kıvrımlar şeklinde ya da engellere çarparak parçalar şeklinde olur. Talaş kırıcı ile işlemede kesme modeli geliştirmede en mantıksal yaklaşım ilk olarak talaşın akış yönünü anlamak ve araştırmak olmalıdır. Çünkü talaş kıvrımları ve sonraki talaş kırıcı işlemi talaşın akışını yapısına ve yönüne bağlıdır. Talaş akışını çalışmak için en önemli amaç, talaş akış açısı olarak isimlendirilen talaş yan akış açısının modelini oluşturmak olacaktır. Şekil 4.2 talaş yan akış açısını göstermektedir [34].

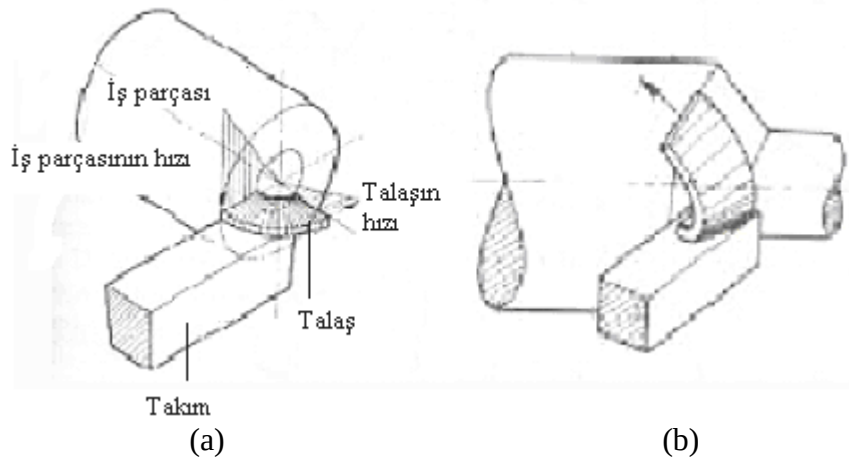


Şekil 4.2. Talaş yan akış açısı [34]

Doğal olarak bir talaş aktıktan sonra kıvrımlar oluşturacaktır. Ayrıca talaş kırıcı kanalı ile temas ettiğinde veya talaş kırıcı ya da diğer engeller bir talaş kıvrımı oluşturacaktır. Talaş kıvrımının üç temel şekli vardır ve bütün talaş şekillerinin yapısı bu üç temel şekildedir:

- Talaş yukarı -kıvrımı
- Talaş yan-kıvrımı
- Talaş yan- kıvrımı (son çalışmalarda bulunan kıvrım) [35].

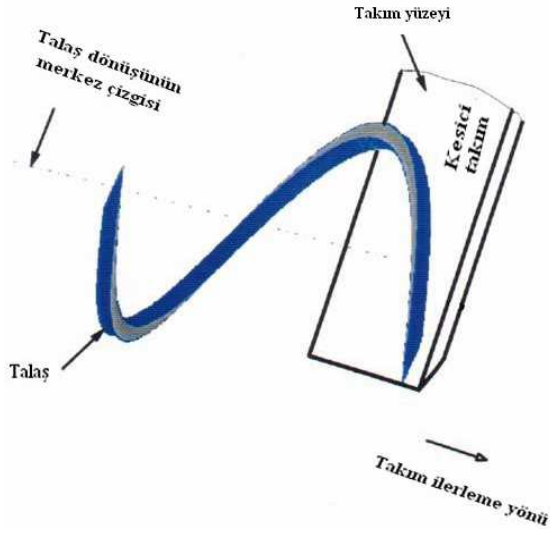
Talaş kıvrımının çalışma alanı talaş yukarı-kıvrım ve yan-kıvrım radyüsünün modellemesini gerektirir. Her iki durumda talaş kırıcı üzerinde çok önemli etkiye sahiptir. Şekil 4.3’de talaş yukarı –kıvrım ve yan-kıvrım görülüyor.



Şekil 4.3 a) Talaş Yan-Kıvrım, b) Talaş yukarı kıvrımı [35].

4.3. Talaş Kıvrımı

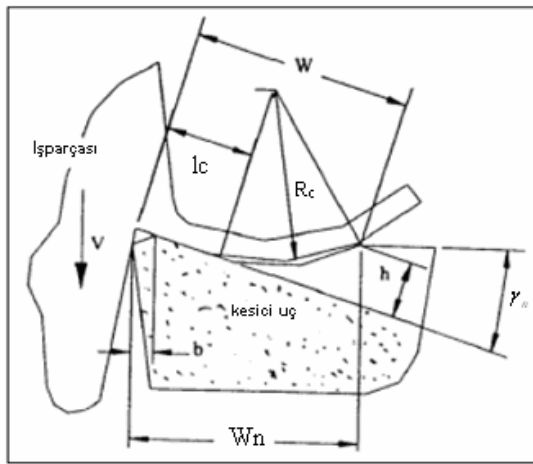
Talaş akışı sadece talaşın uzaydaki akışının bir parçasıdır. Talaş akış mekanizmasını anlamak için talaş kıvrımını çalışmak gerekir. Talaş kıvrımı iki tipte oluşur: yukarı-kıvrım ve yan-kıvrım. Üçüncü talaş kıvrımı Şekil 4.4’de gösterilen ve Fang tarafından bulunan vidalı kıvrım talaş tipidir. Talaş yukarı kıvrımı diğer iki talaş türüne göre daha basittir. Bundan dolayı en büyük başarılar talaş yukarı modelinde elde edilmiştir. Talaş yan kıvrımı, yukarı kıvrımlı talaştan daha zordur ve güncel olarak talaş yan kıvrım modellerinin uygulama alanı yoktur.



Şekil 4.4. Vidalı -Kıvrım [36]

4.3.1. Talaş yukarı kıvrımı

Yukarı kıvrımlı talaş, talaşın akış yönü ile tanımlanan düzlemdeki eğrilerle oluşan talaştır ve kesme kenarına diktir. Yukarı kıvrım eğrisi, talaş yukarı kıvrım radyüsü R_0 ile tanımlanır. Nakayama, talaşa karşı bir moment meydana getiren (BUE üzerinde akan talaşın parçası takım yan yüzeyi ile temas meydana getirir) kesici takım üzerinde bir BUE olduğunu belirlemiştir [37]. Kanal açılmış takımlar için talaş kırma kanalı talaş kıvrımına yardım eder (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Kanallı kesici takımlar ile talaş yukarı kıvrım işlemi [38]

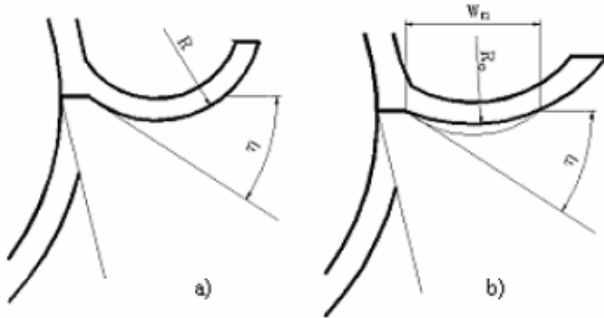
Jawahir tarafından sunulan talaş yukarı kıvrım radyüsü (R_0) aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$R_0 = R \quad (4.1)$$

R talaş kırıcı yiv radyüsü dür. Bu eşitlikte talaş geri akış açısı η 'nın çok büyük olduğu farz edilmiş veya sınırlanmış temas uzunluğunun küçük olduğu kabul edilmiştir. Böylece talaş, talaş kırıcı yivi boyunca akar (Şekil 4-6). Eğer talaş geri akış açısı (η) küçük veya sınırlanmış temas uzunluğu uzunsa talaş bütün bir talaş kırıcı yiv boyunca akmaz. Bu durumda Jawahir'e göre yukarı kıvrım radyüsü şu şekilde ifade edilir [39].

$$R_o = K_{ch} \frac{W_n}{2 \sin \eta} \quad (4.2)$$

K_{ch} talaş malzemesine göre belirlenen bir sabittir. W_n yiv genişliği ve η talaş geri akış açısıdır (Şekil 4-6b).



Şekil 4.6. Jawahir'in teorisine göre talaş radyüsü [39]

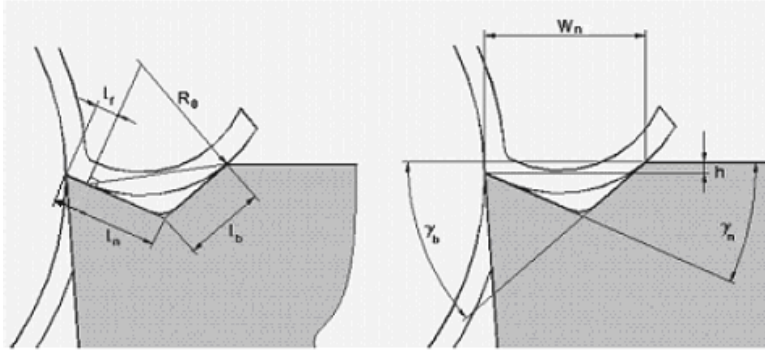
Talaş-Kesici takım geometrik analizine bağlı olarak, Li'nin [38] ortaya koymuş olduğu eşitlik aşağıdaki şekildedir.

$$R_o \approx \frac{W_n}{2 \sin \gamma \eta} \left[1 - 2 \frac{l_f}{w_n} \cos \gamma_n \right] \quad (4.3)$$

γ_n eğim açısı. Bu eşitlik takma uç üzerindeki yiv arka duvar yüksekliği sıfır olan kesici takımlar içindir.

Zhou [40], Li'nin eşitliğine Şekil 4-7'de görüldüğü gibi takma uçların arka duvar yüksekliğini de eklemiştir.

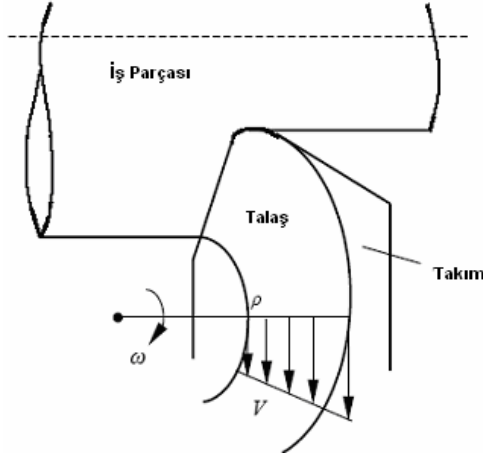
$$R_o \approx \frac{W_n^2 + h^2 + l_f^2 + 2l_f(-W_n \cos \gamma_n + h \sin \gamma_n)}{2(W_n \cos \gamma_n + h \sin \gamma_n)} \quad (4.4)$$



Şekil 4.7. Zhou'nun teorisine göre talaş yukarı-kıvrım oluşumu [41]

4.3.2. Talaş yan kıvrımı

Talaş yan kıvrımı (R_s) talaş genişliğinin yönündeki talaş kıvrımıdır. Yan kıvrım eksenini genellikle talaşın alt yüzeyine diktir. Talaş yan kıvrımı talaşın alt yüzeyi üzerindeki talaşın genişliği boyunca malzeme akış hızındaki farklılardan etkilenir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Talaş yan kıvrımının mekanizması [41]

Nakayama, talaş yan kıvrımına yol gösteren talaş malzemesinin yan akışa sahip olduğunu inceleyerek belirlemiştir. Nakayama ayrıca daha kalın talaşın daha büyük talaş malzemesi yan akışına ve dolayısıyla daha büyük talaş yan kıvrımına sahip olduğunu dikkate almış ve aşağıdaki yan kıvrım radyüs eşitliğini vermiştir.

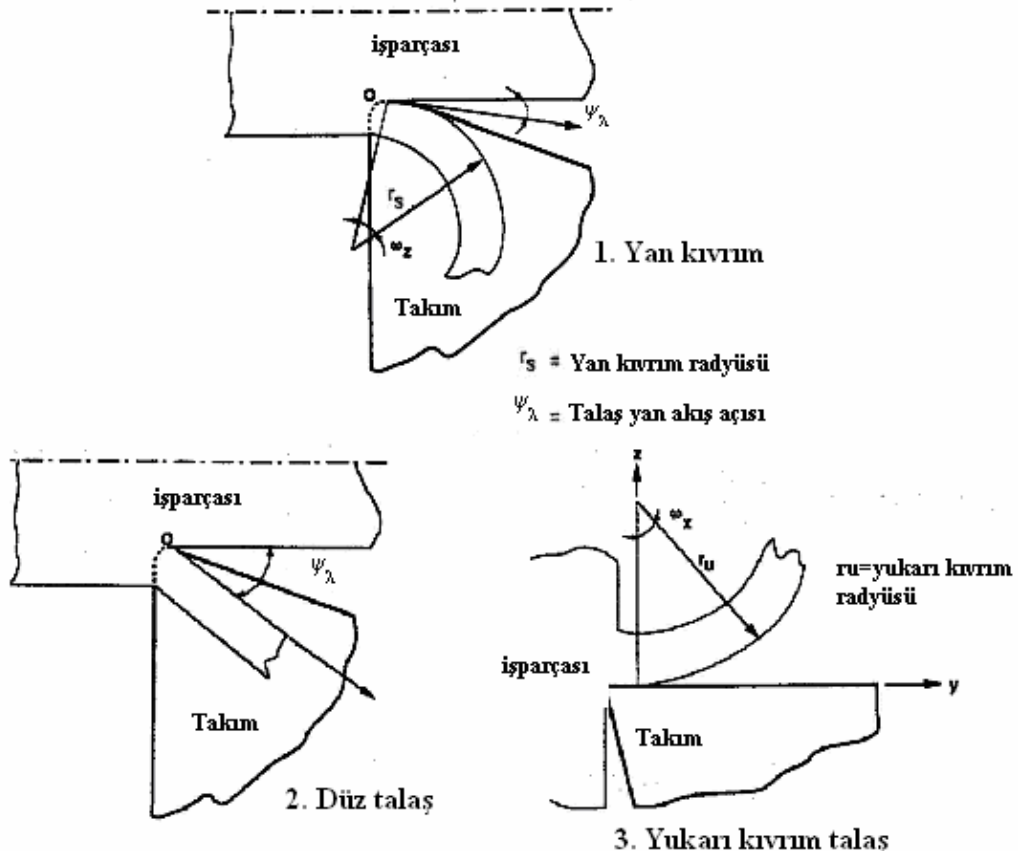
$$\frac{1}{R_s} = \left[\frac{0.75}{b_{ch}} - \frac{0.09}{h_{ch}} \right] \frac{1}{k} \quad (4.5)$$

Burada b_{ch} talaş genişliği ve h_{ch} talaş kalınlığıdır [42].

4.4. Talaş Akışı

Talaş kırmanın yolu talaşın akış şekline ve yönüne bağlıdır. Talaşın akış mekanizmasını anlamak talaşın kontrolü için çok önemlidir. Talaş akışı birçok faktör ile belirlenir ve genellikle talaş akış açısı (ψ_λ) ile tanımlanır. Talaş akış açısı, kesici takım yan yüzeyi ve kesici kenarın normal çizgisi üzerindeki talaş akış yönü arasındaki açıdır (Şekil 4.9). Talaş akış açısının modelinin kurulmasında, talaş akışının araştırılması temel amaçtır. Talaş oluşum işleminin oldukça karmaşık olmasından dolayı talaş akış araştırmalarında sınırlı bir başarı elde edilmiştir. Son yıllarda talaş akış açısı üzerine birçok araştırma yapılmıştır ve talaş akış açısını

hesaplamanın birçok yolu vardır. Talaş akış araştırması, düzlem yan yüz takımları üzerine modelleme ile başlamıştır.



Şekil 4.9. Talaş yan akış açısı [43]

Merchant ve Lee Talaş kesme düzlem açısı, talaş ve takım arasındaki sürtünme açısı ile takım yan açısı arasında tek bir ilgi olduğunu tespit etmek için plastiklik (istenilen şekle getirme) teorisini kullanmışlardır. Shaw, Merchant, Lee ve Shaffer tarafından sunulan model üzerinde bir değişiklik önermiştir. Van Turkovich iş malzemesinin özelliklerinin önemi ve metal kesmede talaş formasyon işleminin periyodik şeklini araştırmıştır. Stabler, serbest eğri kesmede talaş akışını çalışarak “Stabler kuralı” diye isimlendirilen kuralı ortaya koymuştur [44].

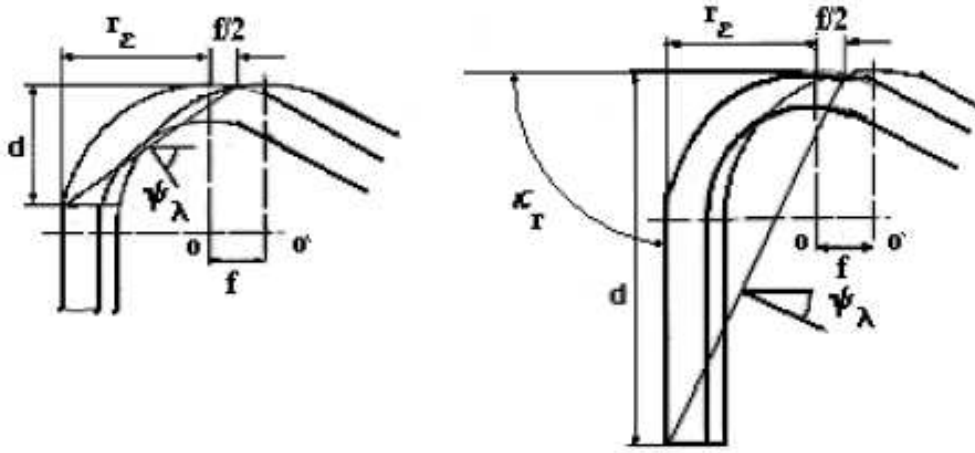
$$\psi_{\lambda} = K\kappa r \quad (4.6)$$

ψ_{λ} talaş yan akış açısı, κr kesici takım eğim açısı ve K malzeme sabitidir. Bu serbest eğik kesme için uygulanabilir. Bir başka talaş akış modeli ise, talaş akışının kesme

yapılan alanın büyük eksenine dik olduğunun kabul eder. Bu model kesme kuvvetlerinin etkilerini incelemek için deneysel uygulamaları kullanır [45].

$$\psi_{\lambda} = \tan^{-1} \left[\frac{\sqrt{2r_{\varepsilon}d - d^2} + f/2}{d} \right] \frac{d}{r_{\varepsilon}} < (1 - \cos Kr) \quad (4.7)$$

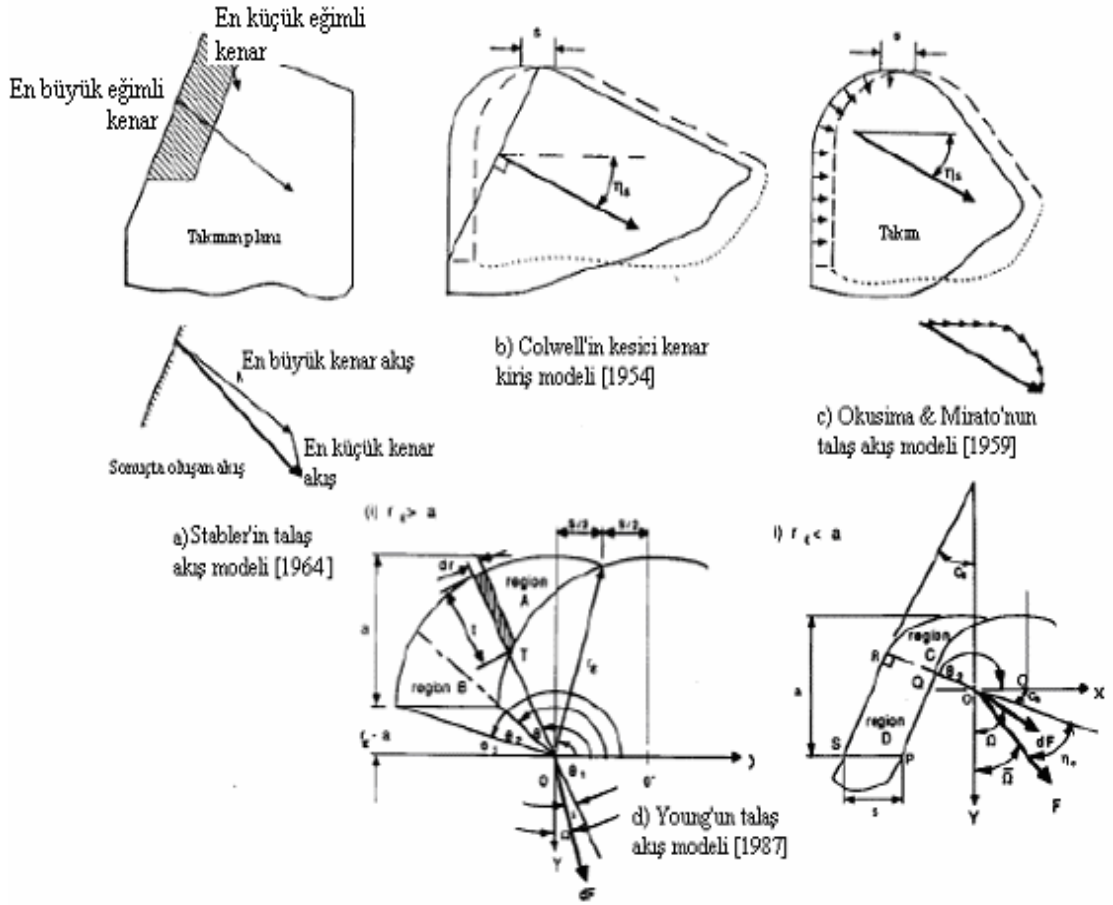
$$\psi_{\lambda} = \tan^{-1} \left[\frac{d / \tan Kr + r_{\varepsilon} \tan(Kr/2) + f/2}{d} \right] \frac{d}{r_{\varepsilon}} \geq (1 - \cos Kr) \quad (4.8)$$



Şekil 4.10. Colwell Teorisine göre talaş yan akış açısı. [44]

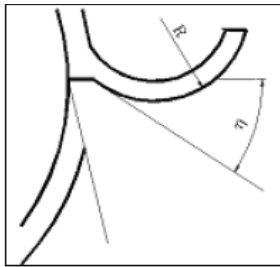
Burada; d kesme derinliği, κ_r kesici uç yanaşma açısı, f ilerleme oranı ve r_{ε} uç radyüsüdür.

Okushima talaş akışının kesme hızı ile değişmediğini incelemiş ve talaş akışının kesme kenarının tüm uzunluğu üzerindeki doğal akış açılarının toplamı olacağını belirtmiştir [44]. 1987 de Young tarafından bir talaş akış modeli sunulmuştur, Stablerin akış kuralını gerçek sayarak, çok küçük talaş genişliği ile ve doğal sürtünme kuvvetlerinin yönlerini talaş akışının yönünü elde etmek için toplamıştır [45]. Buradaki talaş akış çalışması Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Yassı yüzeyli bir takım ile işleme için talaş akış modelleri [45]

Şekil 4.12.'de görülen (η) talaş geri akış açısı olarak isimlendirilen akış açısının başka bir şeklidir.



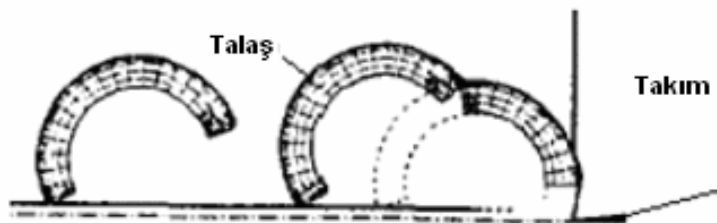
Şekil 4.12. Talaş geri akış açısı [43]

4.5. Talaş Kırma

İmalat esnasında çeşitli uzunluk ve şekillerde oluşan talaşların kısa ve kırılan talaşlar şeklinde çıkması istenir.

- Operatörün güvenliği (klasik imalatta)
- Takım tezgâhının ve kesici takımların güvenliği
- İşlenmiş yüzeylerde iyi bir yüzey kalitesi elde etmek
- Talaşın kolaylıkla uzaklaştırılması
- Kesici ısınısını azaltmak
- Takım ömrünü artırmak ve gereken gücü azaltmaktır.

Bundan dolayı, imalatta talaş kırıcı üzerine çalışma yapmak imalat işleminin optimizasyonu için çok önemlidir. Bu önem, yapışkan düşük karbonlu, dayanıklı çelikler veya yeniden sülfürlenmiş çelikler ve diğer yumuşak malzemeler ile süper alaşımlı çelikler gibi sünek malzemelerde daha artmaktadır [44]. Etkili bir talaş kontrolü imalat işlemine daha çok güvenilirlik, daha iyi yüzey kalitesi ve iyileştirilmiş verimlilik sağlayacaktır. Sünek malzemelerin işlenmesinde talaş ilk çıktığı yönde akmaya devam eder. Daha sonra iş parçası yüzeyi veya kesici takım gibi herhangi bir engelle temas edene kadar akış yönü değişmeyecektir. Talaş kıvrım radyüsü talaşın devamlı akmasıyla sürekli olarak büyümeye devam edecektir. Talaş malzemesinin kırınım gerilimi talaş deformasyon sınırını aştığında eski talaş kırılacak ve yeni talaş şekli oluşacak ve akmaya devam edecektir (Şekil 4.13).



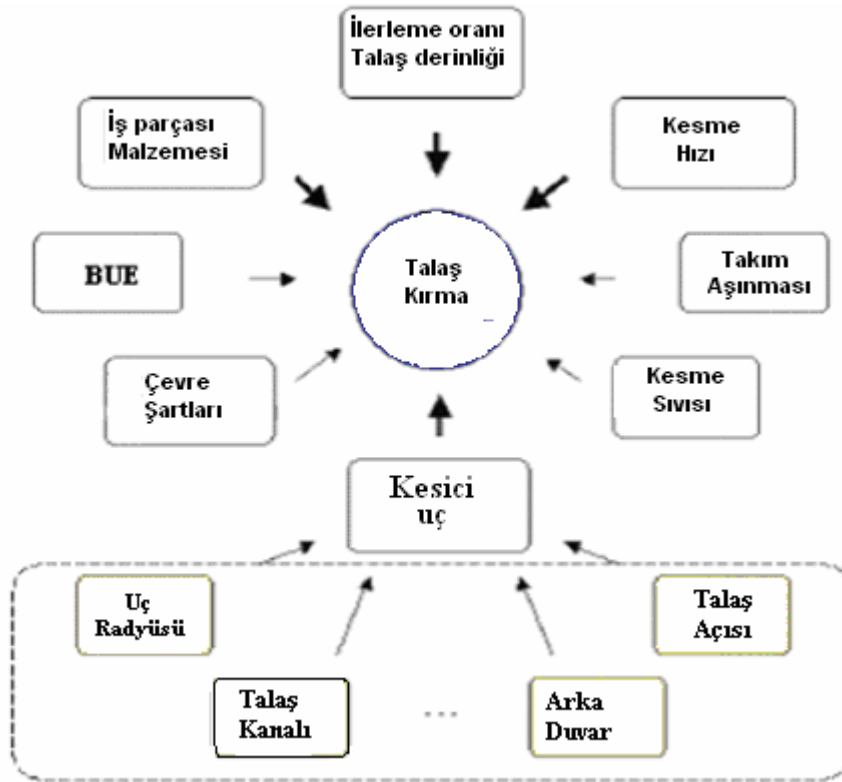
Şekil 4.13. Sünek malzemelerde talaş kırılımı [46]

Bu nedenle asıl talaş kırılma gerilmesi (ϵ) talaşın kırılma geriliminden (ϵ_B) daha küçük olduğunda talaş kırılacaktır.

Talaş kırma araştırmaları aşağıdakilerle birlikte birçok bileşenleri içerir [44]:

- İş parçası malzemesi
- Takım geometrisi (talaş kırıcı özelliklerini içeren)
- İşlem parametreleri (titreşim, kuvvet, ısı, takım aşınması)
- Kesme şartları (ilerleme oranı, kesme derinliği, kesme hızı)
- Soğutucu

Şekil 4.14. talaş kırma çalışmalarının ana alanlarını göstermektedir. Buradaki amaç bir talaş kırma modeli için imalat işleminin tasarımını, tahminini, takım seçimini ve takım tasarımını yapmaktır.



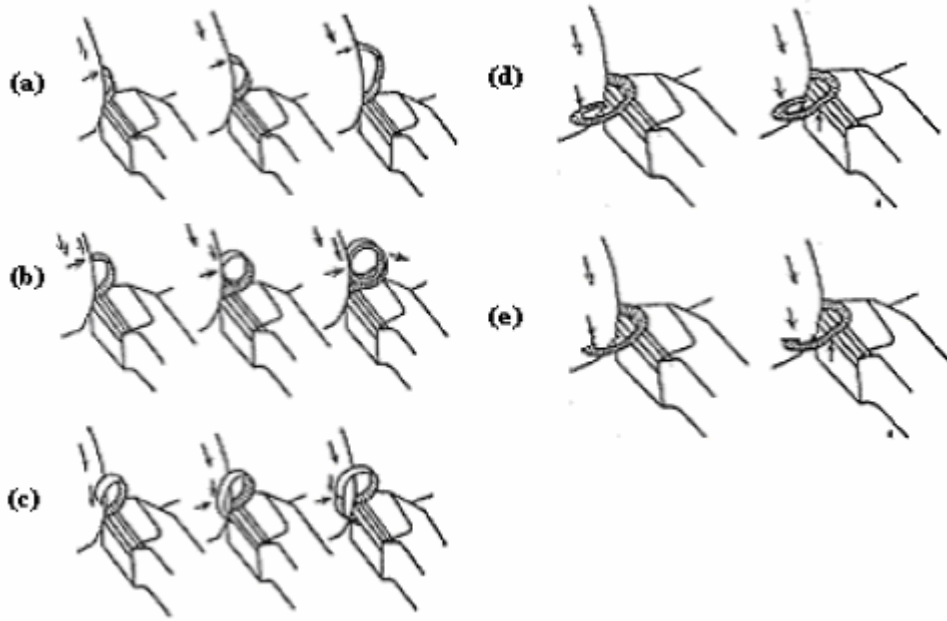
Şekil 4.14. Talaş kontrolünün araştırma alanları [41]

Mekanik engellerle talaş kırmak için iki ana talaş kırma yolu vardır:

Talaş/iş-yüzeyi teması ile talaş kırma

Talaş/takım yan-yüzey teması ile talaş kırma (Şekil 4.15).

Birinci yolda, talaş yan-kıvrımının sebep olduğu (Şekil 4.15e) işlenecek yüzeyle temas etmesi halinde kırılabilir. Ayrıca talaş yukarı-kıvrımının neden olduğu işlenmiş yüzeylerle teması ile de kırılabilir (Şekil 4.15a, 4.15 b). İkinci yolda ise, talaş yukarı (Şekil 4.15 c) ve talaş yan kıvrımının (Şekil 4.15 d) her ikisinin sebep olduğu yan-yüzey ile temasla talaş kırılır.



Şekil 4.15. Talaş kırma yolları [42]

Etkili bir talaş kırmak için üç önemli faktör vardır. Bunlar [44];

- Kesme şartlarını değiştirmek (ilerleme oranı, kesme derinliği, kesme hızı)
- Kesici takım geometri özelliklerini değiştirmek (uç radyüsü, eğim açısı, yol gösterme açısı)
- Bir talaş kırıcısı tasarlamaktır

Kesme derinliğini veya ilerleme oranını artırmak talaş kırılabilirlik oranını önemli derecede artırır. Ancak bu, endüstrideki imalat işlemlerinin kısıtlamaları nedeni ile özellikle son yüzey işlemlerde çok pratik değildir. Bu nedenle kesici takımın geometrik özelliklerini tasarlama ve talaş kırıcı/talaş kırma yivi talaşı kırmak için en

verimli yoldur. Çizelge 4.1’de kesme şartlarının değiştirilmesi ile talaş kırma ilişkisi gösterilmektedir [44].

Çizelge 4.1. Kesme şartlarını değiştirerek talaş kırma [44]

Kesme parametresindeki artış		Talaş Kırılabilirliğindeki artış
Kesme Hızı	↑	↓
Talaş derinliği	↑	↑
İlerleme oranı	↑	↑

4.6. Talaş Kırma Kriteri

Talaş kırma araştırmaları için mekanik talaş kırma tertibatına ihtiyaç duyulurken, ayrıca, endüstriyel uygulamalarda talaşları kırmak için en verimli yolu bulmaya da ihtiyaç vardır.

Malzeme gerilim analizi-talaş kırma dayanımını ε_B bulmak için:

- Talaş kırma analizi
- Sonlu elemanlar analizi

Üzerine araştırma çalışmaları yapılmıştır.

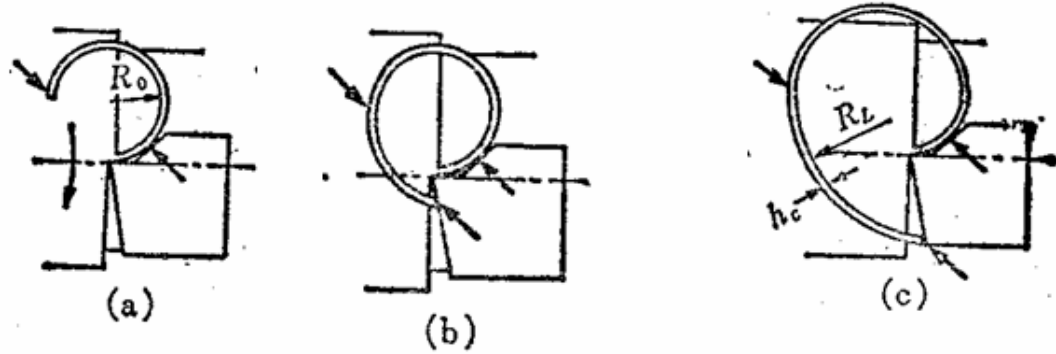
Deneyisel çalışmalarda da talaş kırılabilirliği için bulanık (fuzzy) matematik model üzerine kurulu olan Fang and Jawahir tarafından doğruluğu kanıtlanan veritabanı sistemi kullanılır. Bu yaklaşım talaş kırma ön tahmin veritabanını oluşturmak için çok fazla zaman, para ve el işçiliği gerektirir. Yeni iş parçası malzemeleri, yeni kesici takımlar/torna ve yeni işleme metotları ile ön tahmin için talaş kırma veritabanını kurmak ve iddia etmek çok zordur. Takım tasarımcıları tasarımlarını birçok kesme deneylerine bağlı olarak yapmaktadırlar. Sanayide imalat işlemlerinde, yüksek basınçlı gaz/akışkan ve titreşimli kesici takım gibi bazı özel cihazlarda talaş kırmak için tasarlanmıştır. Şu anda talaş kırma kriteri üzerine yapılan çalışmalarda sınırlı bir başarı elde edilmiştir. Teorik çalışmalar ise sanayi gerçeğinin ve

ihtiyaçlarının gerisinde kalmıştır. Nakayama'nın talaş kırma kriteri daha geneldir. Nakayama gerçek talaş kırma geriliminin (ϵ) talaşın dayanım geriliminden (ϵ_B) büyük olduğunda ($\epsilon > \epsilon_B$) talaşın kırılacağını dikkate almıştır [38].

$$\epsilon_B \propto \frac{h_{ch}}{R_0} \quad (4.9)$$

h_{ch} Talaş kalınlığı, R_0 talaş yukarı kıvrım radyüsü

Nakayama talaşın R_0 yukarı kıvrım radyüsü ile aktığını ve daha sonra iş parçası yüzeyi ve kesici takım tarafından engellendiğini dikkate almıştır. Talaş malzemesinin sürekli olarak akmasıyla talaş kıvrım radyüsü artmaya devam edecektir. Talaş yukarı kıvrım radyüsü R_L gerçek talaş kırma geriliminin (ϵ), talaşın dayanım geriliminden (ϵ_B) daha küçük olduğunda talaş kırılacaktır.



Şekil 4.16. Nakayama'nın talaş kırma kriteri [47]

Talaşın çapraz kesiti dikdörtgen şeklinde olduğunda (ϵ_B) aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanabilir [38] .

$$\epsilon_B = \frac{h_{ch}}{2} \left[\frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_L} \right] \quad (4.10)$$

Diğer durumlarda yukarıdaki eşitlik şöyle yazılabilir [37]

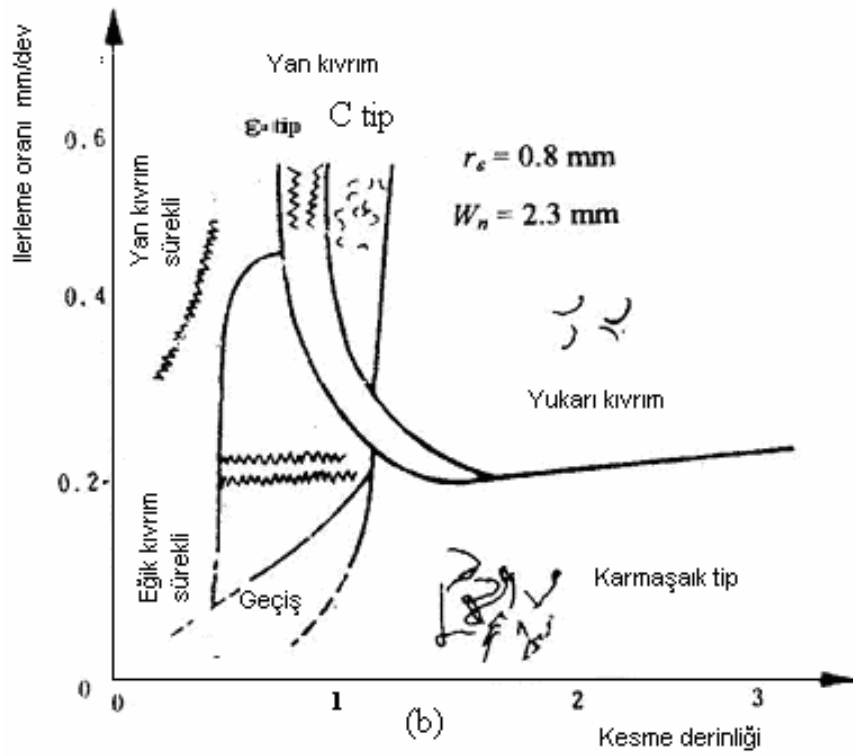
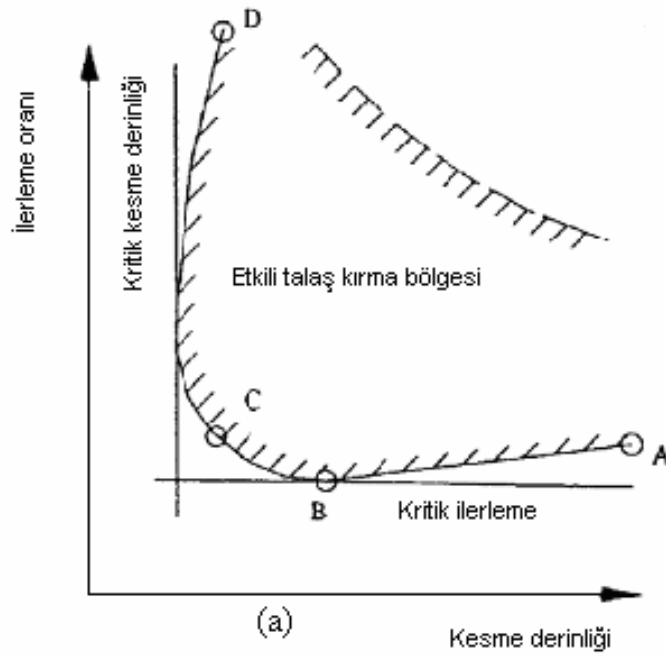
$$\epsilon_B = ah_c (1/R_0 - 1/R_L) \quad (4.11)$$

Uygun bir talaş kırma kriterinin gelişimi için uygulanabilir bir talaş kırma tahmin modelinin kurulumu önceden olması gereken bir zorunluluktur. Bununla birlikte talaş kırma işleminin oldukça karmaşık olması teorik analizi ve talaş kırma modelini oldukça zorlaştırmaktadır. Talaş kıvrım analizi ile Nakayama'nın çalışması ve talaş kırma sınır teorisine bağlı olarak [38] yeni bir yarı deneysel talaş kırma ön tahmin modeli oluşturmuştur bu modeli daha iyi anlamak amacıyla talaş kırma grafiği oluşturulmuştur.

4.7. Talaş Kırma Grafiği

Nakayama'nın çalışması ve talaş kırma teorisine dayalı olarak Li, talaş kırma analizi ile yarı deneysel talaş kırma ön tahmin modelini oluşturmuştur. Şekil 4.17'de Li tarafından hazırlanan talaş kırma eğrileri ve talaş tipi sınıflandırmaları görülmektedir [38]. Grafikte kritik kesme derinliği ve kritik ilerleme oranlarının olduğu görülüyor. Kesme derinliği kritik kesme derinliğinden daha büyük olduğunda ve ilerleme oranı, kritik ilerleme oranından büyük olduğunda talaş kırılacaktır. Aksi takdirde sürekli talaş oluşacaktır. Genellikle talaş kırma eğrisi üç tipik parçaya bölünebilir. Şekil 4.17'de görülen AB bölgesi yukarı kıvrım talaş kırma bölgesi, CD yan kıvrım talaş kırma bölgesi ve BC geçiş bölgesidir.

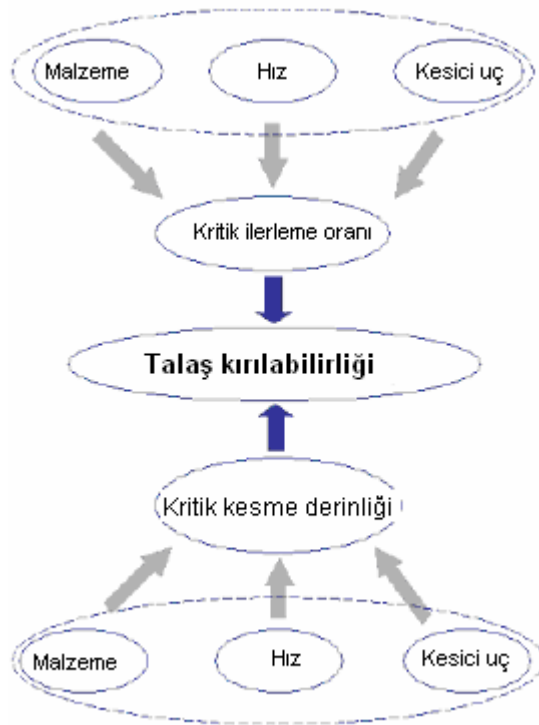
1. AB – Kritik ilerleme oranı
2. CD – Kritik kesme oranı
3. BC – Geçiş bölümü



Şekil 4.17. Tipik talaş kırma grafiği [38]

4.8. Kritik İlerleme Oranı ve Kritik Kesme Derinliği'nin Teorik Analizi

Talaş kırma grafiğinde açıklandığı gibi talaş kesme derinliği kritik kesme derinliğinden büyük olduğunda ve ilerleme oranı kritik ilerleme oranından (f_{cr}) büyük olduğunda talaş daima kırılacaktır $f > f_{cr}$, $d > d_{cr}$. Aksi durumda talaş kırılmayacaktır. Zhou talaş kırmada etkili olan faktörleri Şekil 4.18'de ifade etmiştir.



Şekil 4.18. Talaş kırılabilirliği üzerine etkili olan faktörler [41]

4.9. Takım Geometrisi ve Açıları

Kesici takımlar, takım ve iş parçası arasında sürtünen temas alanını en aza indirmek için keskin uçlu olarak tasarlanırlar. Bununla beraber, bu açılarının kesme kuvveti, tezgâh gücü, aşınma, takım ömrü ve tezgâhın dinamik davranışlarına büyük etkisi vardır. Genel kural olarak, talaş açısının artması ile kesme kuvvetleri azalır ve daha iyi bitirme yüzeyi elde edilir. Talaşların doğrultu kontrolü, talaşların akmasına sebep olan doğru talaş açısının verilmesiyle sağlanır. Bir kesici takım için talaş açısının değeri ve tipi belirlenirken aşağıdaki faktörler dikkate alınmalıdır:

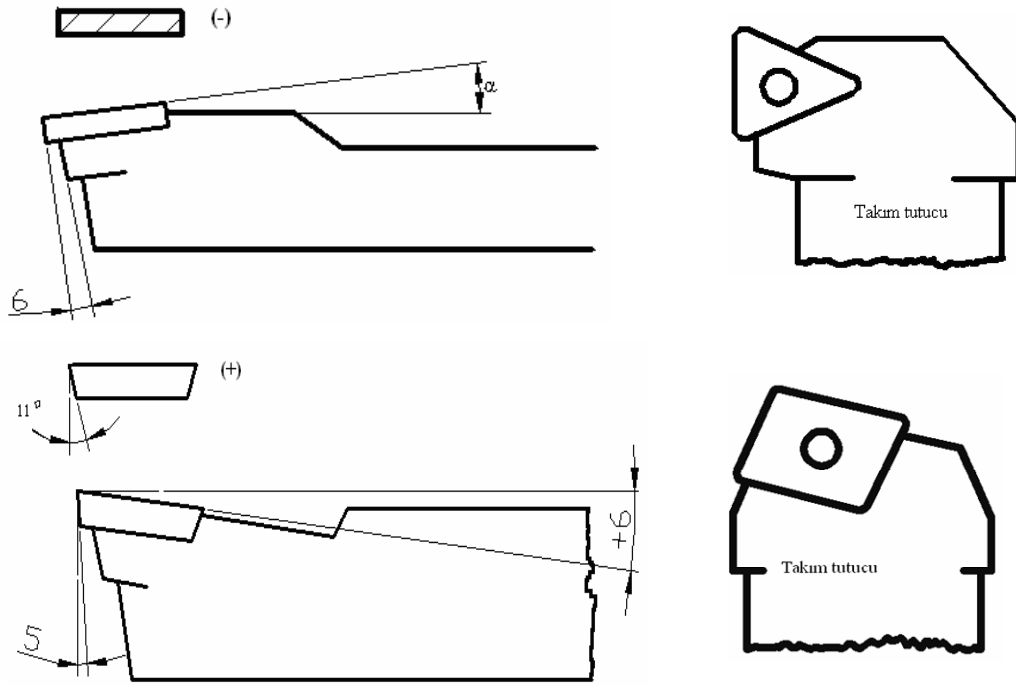
- İşlenecek malzemenin sertliği,
- Kesme işlemi tipi (sürekli veya aralıklı),
- Kesici takım malzemesi,
- Kesici ucun dayanımı vb.

Yüksek çekme dayanımlı malzemeler ve abrasiv içerikli malzemeler, fazla ilerleme miktarlarında ve kesikli kesme işlemi yapıldığında negatif açılar tercih edilir. Bir takım üzerinde negatif talaş açısı kayma bölgesi boyunca daha küçük bir kayma açısı oluşturur. Bu nedenle daha fazla sürtünme ve ısı meydana gelir. Isıdaki artış dezavantaj olarak görülmesine rağmen tok malzemelerin karbürlü takımlarla işlenmesi arzulanır. Genellikle negatif açılar esmer dökme demir temper dökme demir, dökme çelikler, takım çelikleri ve sıcak iş takım çelikleri veya sade karbonlu çelikler gibi malzemeler karbürlü takımlarla işlendiğinde tercih edilirler. Kesici takım üzerindeki negatif talaş açısının avantajları şöyle özetlenebilir:

- İş parçasından kesici takıma uygulanan şokun kesici uç noktası veya kenarında değil takım yüzeyinde oluşması, bunun da özellikle seramik takımlarda takım ömrünü artırması,
- Metal üzerinde sert dış yüzeyin kesici kenar ile temas etmemesi,
- Aralıklı kesme ile yüzeylerin kolaylıkla işlenebilmesi,
- Daha yüksek kesme hızlarından kullanılabilir olması'dır.

Pozitif uçlu takımlar 4 kesici kenarlı olup daha küçük kama açısının kullanılmasına müsaade eder, dolayısıyla daha düşük takım kuvvetleri oluşur ve kayma düzlemi azaldığı için titreşim yapma eğilimi de azalır. Bu uçlar giderek artan oranda kullanılmaktadır. Pozitif uç daha küçük kama açısına sahip olduğundan daha fazla talaş derinlikleri ile kesme yapıldığında takım ömrü azalır. Verimli talaş kaldırma işlemi için en iyi olan tasarım pozitif talaş açılı takımın kullanılmasıdır. Bu açı kayma bölgesinde daha büyük kayma açısı oluşturur ve bu açı talaşın talaş/takım ara yüzeyi boyunca serbestçe akmasına müsaade eder. Şartlar doğru seçilmezse takım yüzeyi üzerinden talaşların kayması ile kraterleşmeye yol açabilir. Bu etki talaş açısının doğal

bir kraterleşme etkisidir. Düşük çekme dayanımlı ve demir içerikli olmayan ve içerisinde abrasiv parçacıkları bulunmayan sünek malzemeler, küçük çaplı uzun miller veya işlenirken sertleşen malzemeler kesilirken pozitif talaş açılı takımlar kullanılır. Şekil 4.19’ da negatif ve pozitif uçlar gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Tornalama işleminde takım ucu geometrisinin pozitif ve negatif olması hali [23]

5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde inconel 718 süper alaşımlı çeliğin işlenebilirliği ve talaşın kırılması üzerine yapılmış çalışmalar, sünek çeliklerde talaş formasyonu ve kırılabilirlik ile talaş kırma üzerine yapılmış tasarımların taraması yapılmıştır.

5.1. Inconel 718'in İşlenebilirliği ve Talaş Kırılabilirliği İle İlgili Çalışma

B.M. Kramer tarafından (1987) yılında yapılan çalışma ile Sementit karbür, seramik ve Kubik Boron Nitrür (CBN) gibi takım malzemeleri ile nikel esaslı süper alaşımların işlenmesi deneyi gerçekleştirilmiştir. Çalışmaları sonucunda kesici takım malzemelerindeki son gelişmelere rağmen yüksek hız şartlarında nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde genellikle kesme ısısının yüksek olmasından dolayı kesici takımın sertliği ve geriliminde azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. 120 m/min kesme hızında ve 0.1 mm/dev ilerleme oranında oksit seramik takım karışımı ile yapılan işleme sonucunda Inconel 718 in ergime noktasına yakın bir sıcaklık (1300 °C) ortaya çıktığı tespit edilmiştir [48]. N. Richards ve D. Aspinwall tarafından (1989) yapılan çalışma ile, whisker takviyeli alüminyum oksit seramik takım ile nikel esaslı süper alaşımlardan Inconel 718 ve Incoloy 901 malzemesi kullanılarak kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmaları sonucunda takım ömrü ve aşınma değerleri değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Sonuçta bazı nikel esaslı alaşımların whisker takviyeli silisyum karbür takım ile 750 m/min.' lik kesme hızına ulaşılabilirdiği görülmüştür. Nikel esaslı süper alaşımlar, kaplamasız tungsten karbür takımlar ile genelde 10-30 m/min'lik kesme hızlarında işlenmiştir. Bu kesme hızlarında talaş kontrolü zayıftır ve testere dişlere sahip sürekli talaşlar elde edilmiştir. Yüksek ısı, yüksek iş parçası sertliği kombinasyonu ve abrasiv talaşlar, talaş derinliğinde çentik oluşturmuştur. Özellikle titanyum ve alüminyum kapsayan süper alaşımların işlenmeleri zor olmuştur [49].

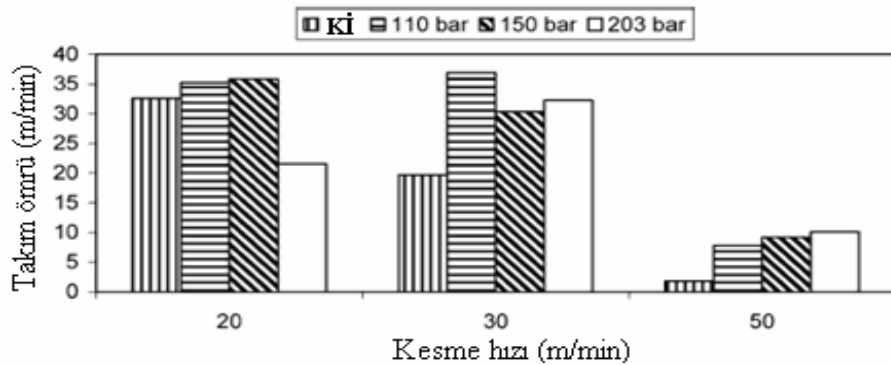
1993 yılında A. Gatto ve L. Luliano tarafından yapılan çalışmada Inconel 718 süper alaşımının işlenmesi esnasında takım kırılmasına sebebiyet veren durumlar araştırılmış ve daha güvenli kesme parametreleri belirlenmiştir. Bir başka Çalışmalarında kesme esnasında oluşan ısının aşınma miktarı Üzerindeki etkileri

incelenmiştir. Deneylerde kullanılan malzeme Inconel 718 dir. Kullanılan takım ise %20 SiC_w whisker takviyeli seramik Sandvik CC670 SNGN 120712 T 01020 kare şekilli takım olup, bu takım kesme esnasında yan kenar, iş parçası ile 45° açı yapacak şekilde yerleştirilmiştir. Talaş açısı -6°, eğim açısı 0° dir. İşleme esnasında kesme hızı $V=300$ ile 530 m/min ve ilerleme $f=0,08$ ile $0,22$ mm/rev arasında değişken, talaş derinliği ise sabit ($a=1,5$ mm) tutulmuştur. En düşük kesme hızı ve orta ilerleme ($V=300$ m/min, $f=0,12$ mm/rev) hızlarında ciddi boyutta çıtlamalar oluşurken, aynı kesme hızı ve yüksek ilerleme ($V=300$ m/min, $f=0,22$ mm/rev) hızlarında ise çıtlamalar görülmemiştir. Daha yüksek kesme hızlarında ise ($V=400$ m/min, $f=0,22$ mm/rev) oluşan çıtlamaların kesici kenarı tahrip ettikleri görülmüştür [50].

1998' de A. Chouldhury ve M. A. El-Baradie tarafından yapılan çalışma ile Inconel 718'in kaplamalı ve kaplamasız karbür takımlar ile kesilmesinde, kesme kuvvetleri ve takım ömrü üzerindeki kesme değişkenlerinin (kesme hızı, kesme kuvveti ve talaş derinliği) etkileri tanımlanmıştır. Kullandıkları karbür takımların şekli 80° rombik şekilli olup talaş kırıcısızdır. Bu kesiciler farklı kesme durumları için kullanılmış olup, işleme parametreleri, kesme kuvvetlerinin ölçülmesi ile optimize edilmiştir. Yanak aşınması takım ömrü için bir kriter olarak kabul edilmiş, kaplamalı ve kaplamasız takım ömrü elemanlarından kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği dikkate alınarak bir karşılaştırma yapılmıştır. Sonuçta kaplamalı karbür takımların ömrü kaplamasız karbür takımların ömründen daha iyi olmadığı ortaya çıkmıştır [2].

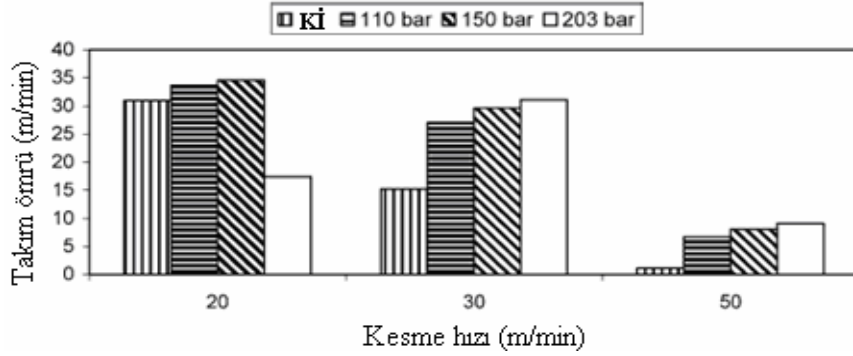
Ezugwu, E. O., Bonney, J tarafından (2004) yapılan çalışmada yüksek basınçlı soğutucu desteği ile kaplamalı karbür kesici uç kullanılarak inonel 718 işlenmesi deneyi gerçekleştirilmiştir. Inconel 718 üç karışımlı PVD kaplamalı (TiCN/Al₂O₃/TiN) SNMG120412 karbür takımla konvansiyonel ve değişik yüksek basınçlarda (203 bara kadar) soğutucu ile 50 m/min lik hıza kadar işlenmiştir. Bu çalışma ile takım ömrü, takım aşınması, yüzey kalitesi ve bileşke kuvvetler ölçülmüş ve yüksek basınçta ortaya çıkan talaş yapısı hakkında bir değerlendirme yapılmıştır. Deneyler 20, 30, 50 kesme hızı (m/min), 0.25, 0.3 ilerleme oranı(mm/rev) 2.5, 3.0

mm kesme derinliği, soğutucu basıncı olarak konvansiyonel, 110, 150 ve 203 bar parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmaları sonucunda şu açıklamalar yapılmıştır. Yüksek basınçlı soğutucu ile inconel 718 işlendiğinde yüzey kalitesinde ve takım ömründe kabul edilebilir bir iyileşme olduğu görülmüştür. 203 bar soğutma basıncı ve 50 m/min hızla yapılan bir işlemede konvansiyonel soğutma ile basınçlı soğutma karşılaştırıldığında takım ömründe %740 yakın bir iyileşme olduğu görülmüştür. Takım ömründe genellikle artan soğutma basıncı ile birlikte iyileşme görülmüştür. İşlem esnasında kesme ısısında ve bileşke kuvvetlerde azalma meydana gelmiştir. İşleme esnasında talaşın kırılabilirliği yüksek basınçlı soğutma ile birlikte kesme derinliğine, ilerleme oranına ve kesme hızına bağlı olduğu tespit edilmiştir. Inconel 718'in 203 bar basınca kadarki işlenmesinde talaşın kırılmadığı, 203 bar basınçta yapılan işlemede talaşın kırıldığı ancak yüksek basınçla sürekli işlemede takım aşınmasının yavaş yavaş arttığı tespit edilmiştir.

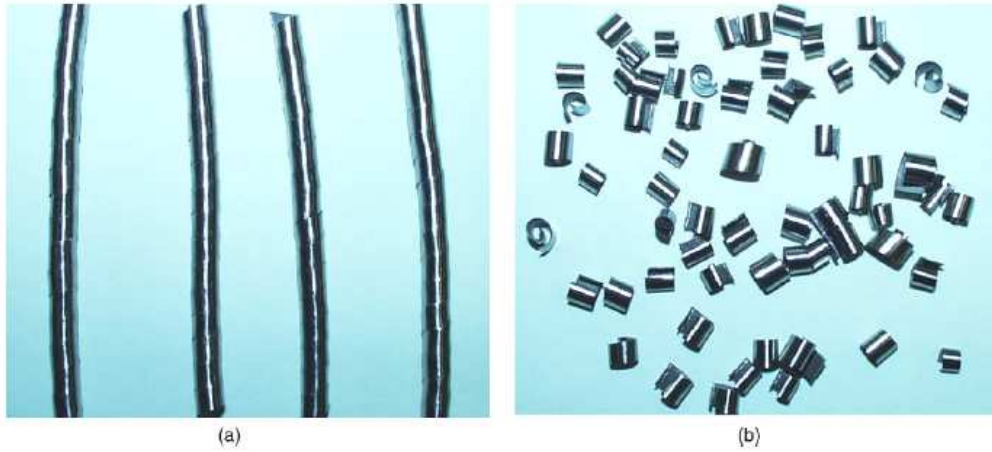


Şekil 5.1. 0.25 mm/rev ilerleme oranında çeşitli soğutucu basıncı altında inconel 718'in işlenmesi sonucu ortaya çıkan takım ömrü (KI: Konvansiyonel işleme) [8].

150 bara kadar düşük soğutma basıncı ile inconel 718 işlendiğinde uzun sürekli spiral talaşlar oluşurken (Şekil 5.3a), 203 bar soğutma basıncı ile işleme yapıldığında Şekil 5.3b daha küçük parçalanmış talaşlar ortaya çıkmıştır [8].



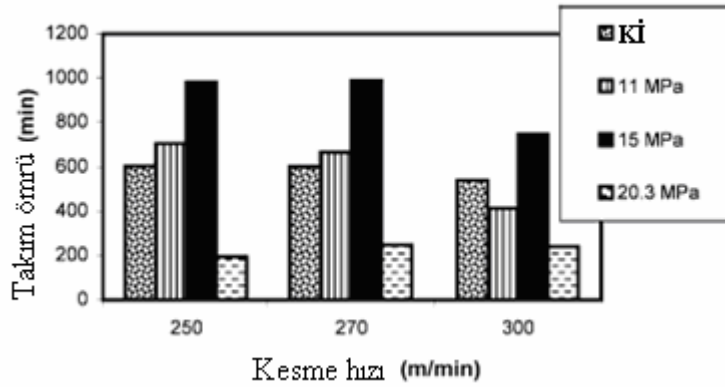
Şekil 5.2. 0.3 mm/rev ilerleme oranında çeşitli soğutucu basıncı altında inconel 718'in işlenmesi sonucu ortaya çıkan takım ömrü (Kİ: Konvansiyonel işleme) [8].



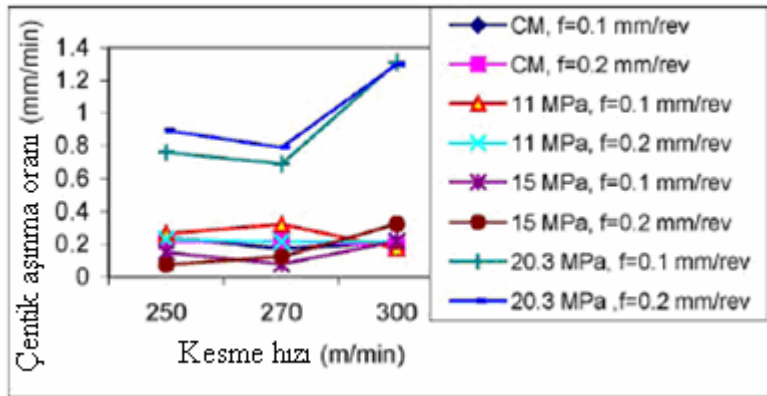
Şekil 5.3. a) 150 bar soğutma basıncı ile işleme yapıldığında oluşan talaş, b) 203 bar soğutma basıncı ile işleme yapıldığında oluşan talaş [8].

E.O. Ezugwu, J. Bonney, D.A. Fadare, W.F. Sales tarafından (2005) yapılan çalışmada yüksek basınçlı soğutucu desteği ile seramik kesici uç kullanılarak inconel 718'in işlenmesi deneyi gerçekleştirilmiştir. SiC whisker takviyeli alüminyum seramik takımla inconel 718; 200, 270, 300 kesme hızı (m/min), 0.1, 0.2 ilerleme oranı (mm/rev), 0.5 talaş derinliği (mm), 11, 15, 20, 20.3 (MPa) soğutucu destek basıncı ile işlenmiştir. Deneyler sonucunda şu sonuçlar ortaya çıkmıştır. Şekil 5.4 de görüldüğü gibi 15 MPa kadar soğutucu basıncı ile yapılan işlemede takım ömrü çizgisinde aşamalı bir artış görülmüştür. 250 m/min kesme hızında ve 0.2 mm/rev ilerleme oranında inconel 718 işlendiğinde takım ömründe %71'lik bir artış olduğu gözlemlenmiştir. 20.3 Mpa kadar soğutma basıncı ile kaba işleme şartları altında Inconel 718 işlendiğinde elde edilen sonuçlar kıyaslandığında seramik takımların performansı kesme derinliği bölgesinde aşırı çentikten dolayı önemli oranda

azalmıştır [8]. 15 MPa değerine kadar soğutucu desteği ile işleme yapıldığında takım performansındaki iyileşme (eğer doğru kesme şartları uygulanırsa ve kritik soğutucu basıncı aşılmazsa) yüksek basınçlı soğutucu desteği altında SiC whisker takviyeli seramik takımların iyi sonuç verdikleri görülmüştür. 270 m/min kesme hızı ve 0.2 m/rev ilerleme oranı ile 20.3 MPa soğutucu basıncı altında bitirme yüzey işleme yapıldığında takım ömründe %63'lük bir düşüş meydana geldiği görülmüştür. Bu 20.3 MPa soğutma basıncı işleme yapıldığında seramik takımın, çentik aşınma oranının hızlanmasına neden olmuştur (Şekil 5.4).



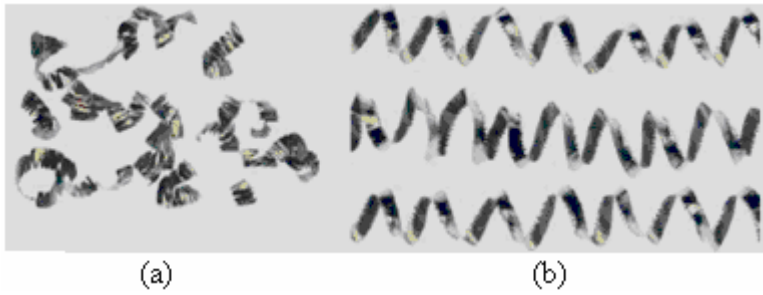
Şekil 5.4. 0.1 mm/rev ilerleme oranı ile whisker takviyeli alüminyum seramik takımla yapılan işlemeden sonra ortaya çıkan takım ömrü [19].



Şekil 5.5. Whisker takviyeli alüminyum seramik takımla değişik hızlarda son yüzey işleme yapıldığında ortaya çıkan çentik aşınması [19].

SiC whisker takviyeli alüminyum seramik takım ile yüksek soğutucu basıncı altında inconel 718 işlendiğinde son yüzey işleme şartları altında 15 MPa değerine kadar

artan soğutucu basıncı ile yapılan deneylerde takım ömründe artış eğilimi olmuştur. 20.3 MPa soğutucu basıncı ile yapılan işlemden ise, hızlanan çentik oluşumu ile takım ömründe düşüş olmuştur. Yüksek basınçlı soğutucu altında kesici ara yüzeyinde iyileştirilmiş yağlama ve soğutma ile yüksek basınçlı soğutucu jet'inin neden olduğu talaş kırılmasından dolayı SiC whisker takviyeli alüminyum seramik takım ile inconel 718 işlendiğinde daha küçük kesme kuvvetleri oluşmuştur. İşleme esnasında SiC whisker takviyeli alüminyum seramik takımın her iki yan yüzeyinde ve yanaklarında hızlı çentik aşınmasına, yüksek basınçlı soğutucunun seramik kesici takıma çarpması sebep olabilir. SiC whisker takviyeli alüminyum seramik takım ile inconel 718 işlendiğinde çok düşük yüzey pürüzlülük değerleri ortaya çıkmıştır. Konvansiyonel soğutmada bir yandan sürekli talaş oluşurken diğer yandan da daha yüksek kuvvetler oluştuğu görülmüştür (Şekil 5.6) [19].



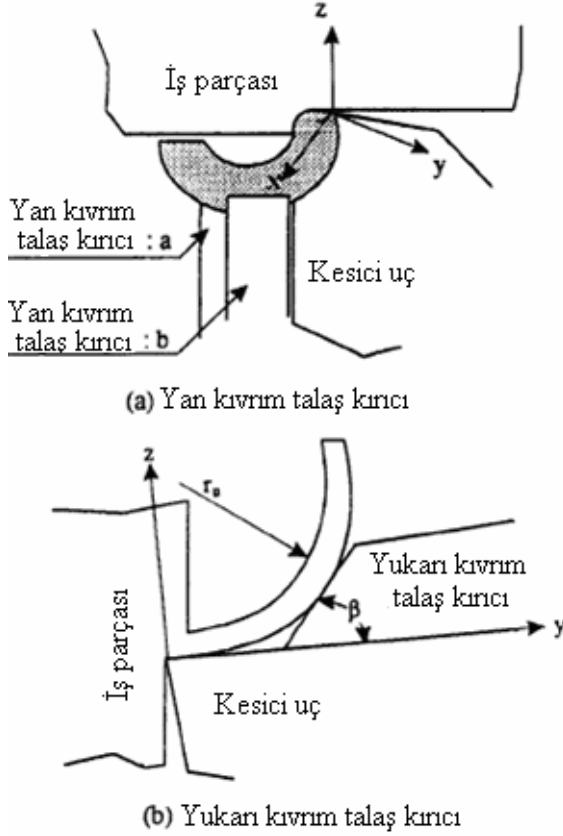
Şekil 5.6. Whisker takviyeli alüminyum seramik takım ile inconel 718, a) 20.3 Mpa soğutucu basıncı, b) Konvansiyonel soğutucu akışı ile son yüzey işleme yapıldığında oluşan talaşlar [19].

Altın A., tarafından yapılan (2005) çalışma ile inconel 718'in işlenebilirliği üzerine kesme deneyleri yapılmıştır. Yapılan talaş kaldırma deneylerinde $a=2$ mm talaş derinliği ve $f=0,20$ mm/rev ilerleme hızı sabit tutulmuştur. Kesme hızı, karbür takımlarda $V=15, 30, 45, 60, 75$ m/min., seramik takımlarda $V=150, 200, 250, 300$ m/min esas alınmıştır. Hem karbür hem de seramik takımlarda iki farklı geometri (kare ve yuvarlak) kullanılmıştır. Takım aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü yönünden yapılan değerlendirmede aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Takım ömrü ve yüzey kalitesi yönünden, dört farklı sementit karbür kesici takım içerisinde, $V=45$ m/min'lık kesme hızında kaplamasız karbür SECO 883, $V_{BB}=0,08$ mm, $F_c=1149$ N, $R_a=0,45$ μ m ile $T_c=15,24$ dakika'lık talaş kaldırma süresi ve

273 cm³ 'lük talaş kaldırma hacmi ile inconel 718'in işlenmesinde en uygun kombinasyon olarak bulunmuştur. Inconel 718'in işlenmesi ile kaplamalı karbürlerde yanak aşınması, çentik ve plastik deformasyon, kaplamasız karbürlerde ise yanak aşınması ve çatlama daha hâkim görülmüştür. Dört farklı kesici takım içerisinde SECO 883 en düşük yüzey pürüzlülüğü ile $V=45$ m/min'de daha uygun olduğu görülmüştür. Kesme hızı, karbür kesiciler ile yapılan deneylerde başlangıç değeri 15 m/min'den 75 m/min'e arttırıldığında, asıl kesme kuvveti F_c , her dört kesici takımda azalmıştır. Yuvarlak şekilli karbür kesici takımlar ile yapılan talaş kaldırma işlemlerinde, kare şekilli karbür kesici takımlara göre daha kaliteli yüzey elde edilmiştir. Deneylerde talaş kırıcı kesici takımlar kullanılmasına rağmen, talaşlar uzun ve sürekli çıkmıştır. Talaş, oldukça zor kopan bir talaş olup, kesicilerdeki talaş kırıcılar, talaşı koparmada yetersiz kalmışlardır. Dört farklı seramik kesici takım içerisinde en düşük ortalama yan kenar aşınma alanı genişliği, $V=150$ m/min'de whisker takviyeli alüminyum oksit ($Al_2O_3+SiC_w$) KYON 4300 SNGN ile $V_{BB}=0.13$ mm, en düşük yüzey pürüzlülük değeri, $V=150$ m/min.'lık kesme hızında, whisker takviyeli alüminyum oksit ($Al_2O_3+SiC_w$) KYON 4300 SNGN ile $R_a=1,22$ μm , en düşük asıl kesme kuvveti, F_c , $V=250$ m/min'lik kesme hızında KYON 2000 RNGN ile 577 N elde edilmiştir. Seramik uçlu takımlarda genelde yan kenar, krater, çentik ve plastik deformasyon aşınmaları oluşmuştur [7].

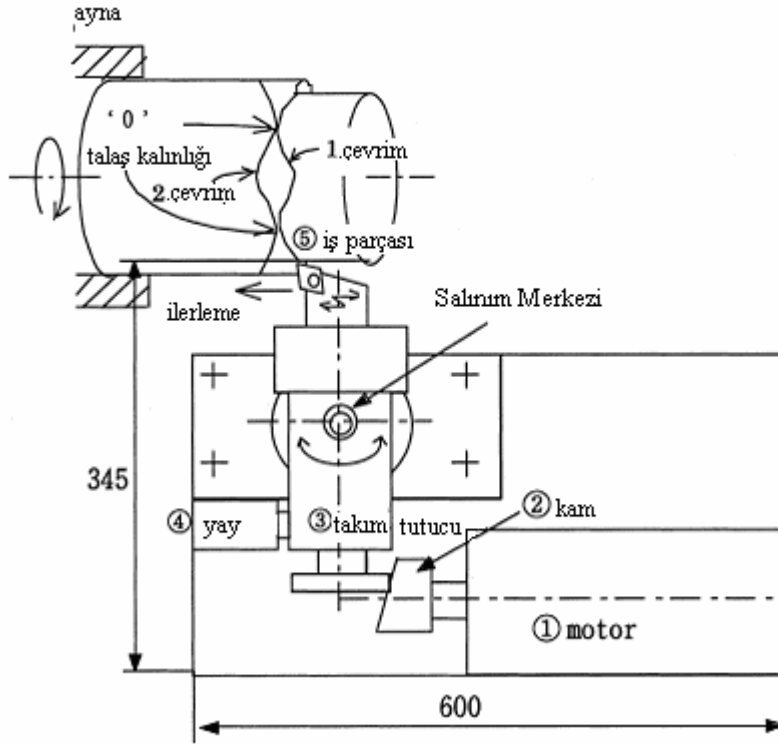
J.-D. KIM ve O.-B. KWEUN tarafından (1995) yapılan bir çalışma [51] ile özel bir takım tutucu tasarımı yapılmış ve sünek çelikte 1 mm talaş derinliğinin altında oluşan sürekli talaşları kırmak için deneyler yapılmıştır. Deneylerinde eğim açısı -6 derece ve yan eğim açısı 5 derece olan bir kesici takım kullanmışlardır. Kesme şartları, talaş derinliği 0.3-0.9 mm arasında, ilerleme 0.073-0.146 ve 0.292 mm/rev, kesme hızı 90,150 ve 240 m/min olarak belirlenmiş ve her bir durum için 10 deney yapılmıştır. konvansiyonel bir talaş kırıcı ile iyi bir talaş kırma şartını elde etmenin çok zor olması, özellikle 1 mm'nin altındaki talaşlarda oluşturulan kesme şartlarında iyi bir talaş kırılımı elde etmenin oldukça zor olmasından dolayı Şekil 5.7'deki talaş kırıcıyı ince ve kaba tornalama işlemlerindeki talaşları kırmak için tasarlamışlardır. Tasarlanan bu talaş kırıcının çalışması şu şekildedir. Eğer yan kıvrım açısı hız büyükse o zaman talaş akışı Şekil 5.7'de gösterildiği a ve b

değiştirdiği tespit edilmiştir. Şekil 5.8’de yan kıvrım talaş ve yukarı kıvrım talaşın yapısı görülmektedir.



Şekil 5.8. Yan kıvrım talaş ve yukarı kıvrım talaşın yapısı [51]

M. Nakamura, Y. Mitani ve arkadaşları (2000) yaptıkları bir çalışmada [52] titreşimli ilerleme ile kesme yaparak talaş kırmak için Şekil 5.9’da görüldüğü gibi özel bir takım tutucu tasarımı yapmışlardır. Şekil 5.9’da görülen mekanizmada sistem şu şekilde çalışmaktadır. Elektrik motorunun miline takılmış olan kam tepe noktalarda takım tutucuya çarparak titreşim yapmaktadır. Kesme kenarı bir sinüs eğrisi yapmakta ve birinci çevrimden ikinci çevrime 180 derece dönmektedir. Takım tutucu kamdan almış olduğu bu titreşim hareketini kesici uca iletmektedir. Kesme kuvveti ile geri gelen kesici ucun, yay ve kam hareketi ile titreşim yaparak talaşı periyodik olarak kopardığı tespit edilmiştir.

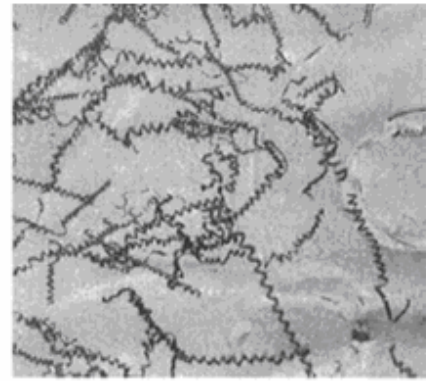


Şekil 5.9. Titreşimli ilerleme kesme sistemi [52]

Titreşimle ilerlemeli kesmeyi kullanarak kesme şartları, iş malzemeleri ve talaş kırıcılar ne olursa olsun talaşların kırıldığı tespit edilmiştir. Titreşimli kesme sonucu yüzey pürüzlülüğü $6.3 \mu m$ Rz olarak ölçülmüştür. Şekil 5.10'da titreşimsiz kesme ve titreşimli kesme sonucu oluşan talaş tipi görülmektedir.



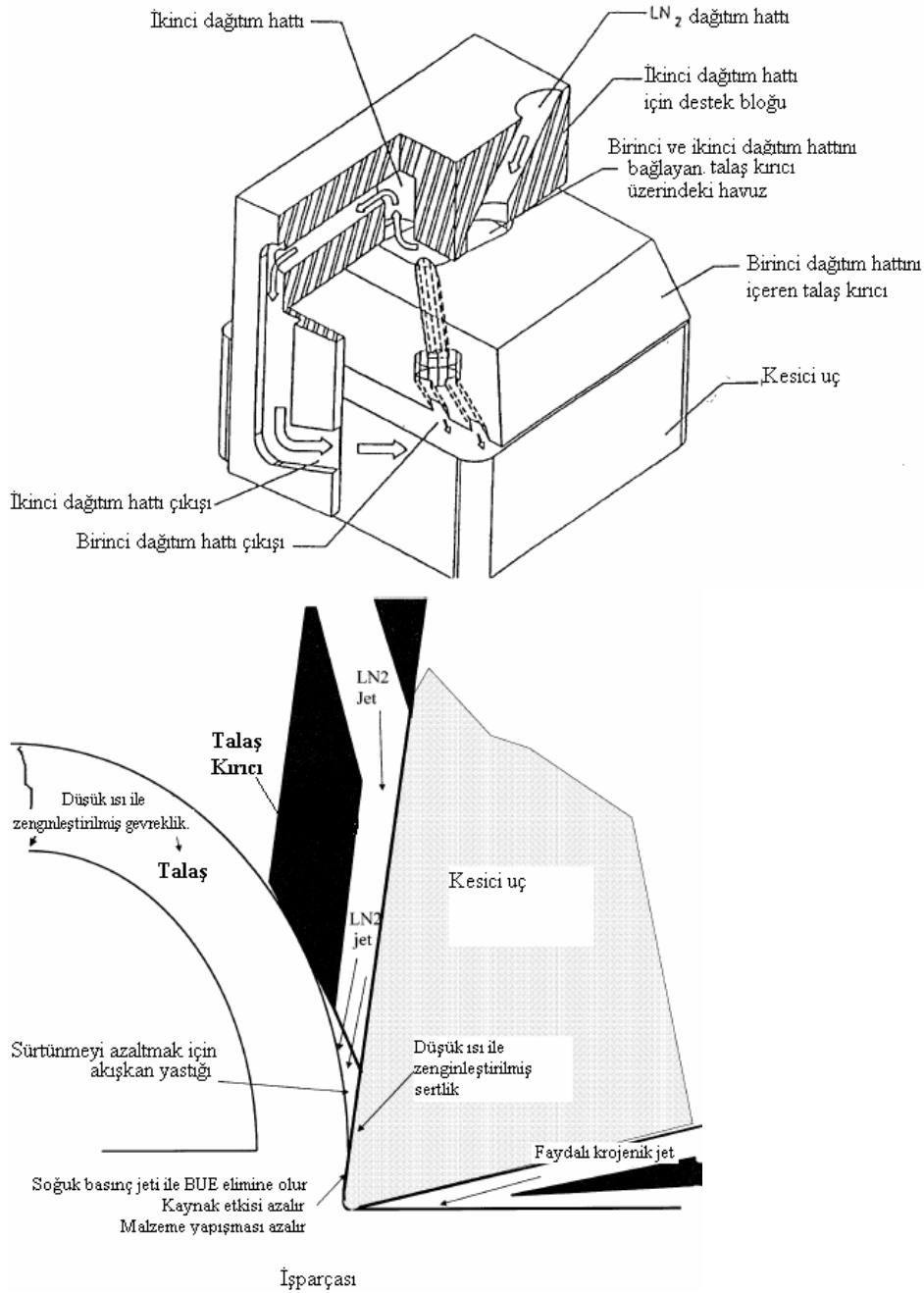
Titreşimsiz kesme



Titreşimli kesme

Şekil 5.10. Talaşların şekli [52]

Shane Y. Hong, Irel Markus ve Woo-cheol Jeong tarafından yapılan çalışmada titanyum alaşımlı (Ti-6Al-4V) çeliğin işlenmesi sırasında ortaya çıkan ısıyı azaltmak, takım ömrünü arttırmak, BUE oluşumunu engellemek ve talaşı kırmak için özel bir tasarım yapılmış ve soğutma işlemi için sıvı nitrojen (LN_2) kullanılmıştır (Şekil 5.11).



Şekil 5.11. Krojenik işleme yaklaşımının şematik görünümü [53].

LN₂ jetinin takım talaş ara yüzüne ulaşabilmesi için talaş kırıcı talaş kesme bölgesinden uzaklaştırma görevini yerine getirmektedir. Bu işlemi başarılı bir şekilde gerçekleştirebilmek için talaş kırıcı takım kenarına çok yakın bir pozisyonda yerleştirilmesine dikkat edilmesi gerekmektedir. Talaş kırıcının konumu dikkatli ayarlandığı takdirde verimli talaş kırma işleminin gerçekleştiği rapor edilmiştir. Ayrıca bu yöntemi kullanarak yapılan işlemle bilinen diğer işleme metotları ile kıyaslandığında en iyi takım ömrü elde edilmiştir [53].

Yapılan bu literatür çalışmasının sonucunda; Ezugwu tarafından yapılan yüksek basınçlı soğutucu sisteminin klasik torna tezgahlarına uyarlanması çok zor olacağı ve CNC tezgahlarına ek maliyet getireceği düşünülmüştür. KIM tarafından tasarlanan özel kater ise, tarafımızdan imal edilerek deneylerimizde kullanılmış ancak inconel 718'in talaş kırılımında, talaşın çok sünek yapısından dolayı talaş kendisine akacak bir yol bulmuş, kırılmamış ve sonuç alınamamıştır. Nakamura ve arkadaşları tarafından yapılan tireşimli kesme yönteminin çok komplike olması ve sadece konvansiyonel torna tezgâhlarına uygunluğu nedeni ile çalışmamızda farklı bir tasarıma yönelme düşüncesi ortaya çıkmıştır. Deneylerde kullandığımız dinamik talaş kırıcı sistemi hem konvansiyonel tezgâhlarda hem de CNC tezgâhlarda rahatlıkla kullanılabilmekte ve sisteme ek bir maliyet getirmemektedir.

6. MATERYAL VE METOT

6.1. Deneylerde Kullanılan Kesici Takım Tutucuları

Deneylerde negatif ve pozitif olmak üzere iki farklı tip takım tutucu ve bu takım tutucular için iki farklı tip kaplamalı karbür kesici takım kullanılmıştır. Aşağıda ISO kodu verilen takım bağlama takım tutucuları (Sandvik) kullanılmıştır. Bunlar;

- 1- PSBN R 2525 M12 T MAX P (SNMG 120408 kaplamalı karbür kesici uç için, yaklaşma açısı 75°)
- 2- SSBC R 2525 M12 T MAX U (SCMT 12 04 08 kaplamalı karbür kesici uç için, yaklaşma açısı 75°)

6.2. Deneylerde Kullanılan Kesici Takımlar

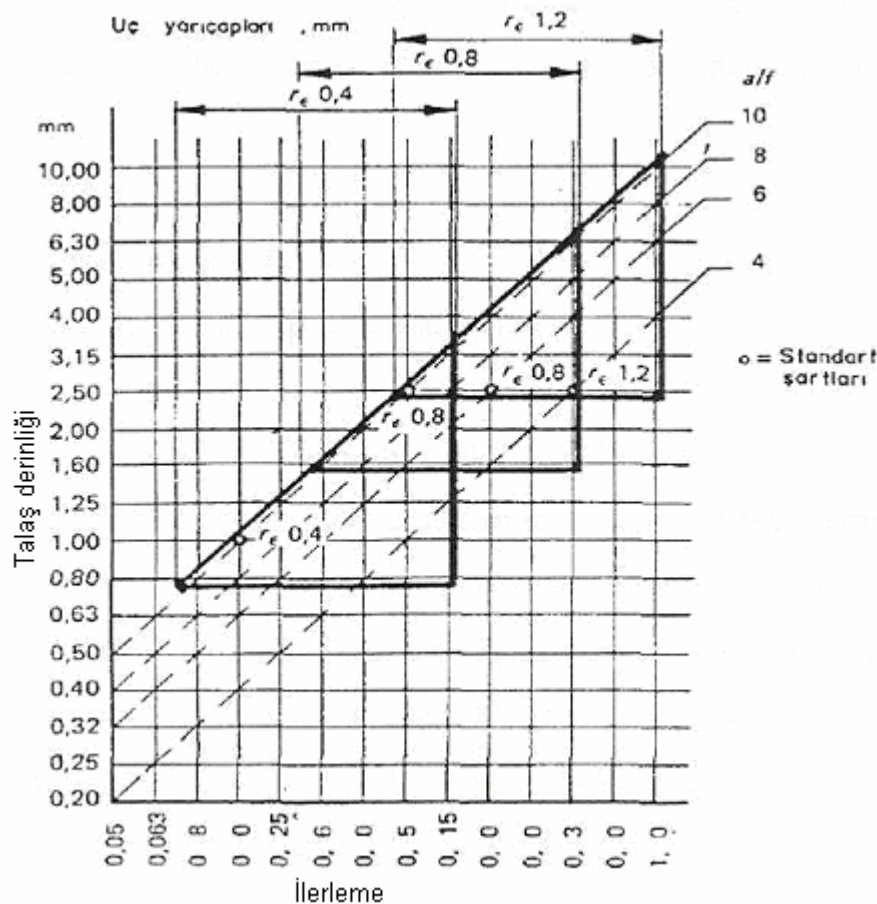
Deneylerde negatif takım tutucu ve pozitif takım tutucu için sandvik firması tarafından inconel 718 için tavsiye edilen PVD kaplamalı kesici uçlar kullanılmıştır. Kullanılan kesici uçlara ait ISO kodlamaları aşağıda gösterilmiştir.

1. Negatif açılı PSBN R 2525 M12 T MAX P takım tutucu için $4\mu m$ 'lik PVD TiAlN-TiN kaplamalı SNMG 12 04 08-QM 1005 karbür kesici uç
2. Pozitif açılı SSBC R 2525 M12 T MAX U takım tutucu için $4\mu m$ 'lik PVD TiAlN-TiN kaplamalı SCMT 12 04 08 MM 1025 karbür kesici uç kullanılmıştır.

6.3. Kesme Parametrelerinin Tayini

Deneylerde kullanılan kesme parametreleri Şekil 6.1'de verilen TS 10329' a (ISO 3685) göre belirlenmiştir. Talaş derinliği $a=0,5$ mm, 1 mm, 1.5 mm, 2 mm , ilerleme $f=0,10$ mm/rev, $f=0,15$ mm/rev, $f=0,20$ mm/rev ve $f=0,30$ mm/rev ve kesme hızı ise 30, 45, 60 ve 75 m/min seçilerek deneyler yapılmıştır. Parametre seçimi yapılırken, seçilen parametreler Şekil. 6.1'de verilen grafikte, kesici takımın uç radyüsü değerine göre, parametrelerin kesişim noktaları, üçgen şeklinde verilen

sınırların içinde kalması gerektiğinden bu grafiğe göre ilerleme 0,10 mm/rev, 0,15 mm/rev, 0,20 mm/rev ve $f=0,30$ mm/rev, talaş derinliği ise 0,5 mm, 1 mm, 1.5 mm ve 2 mm olarak seçilmiştir. Burada seçilen değerlerden sadece 0,5 mm talaş derinliği üçgen şeklinde verilen sınırların dışında kalmaktadır. Talaş derinliği azaldıkça talaşın kırılabilirliğinin zor olmasından dolayı yaptığımız deneysel çalışmalarda bu işleme şartları altında da talaşın kırılabilirliği test edilmiştir.



Şekil 6.1. TS 10329' a göre kesme şartları

6.4. Deney Yöntemi

Bu çalışmada Inconel 718 malzemesinin işlenmesi esnasında ortaya çıkan sürekli ve sünek talaşın kırılması için özel bir takım tutucu tasarımı yapılmıştır. Ayrıca talaş kırma işleminden sonra ortaya çıkan talaş şekilleri ve yüzey pürüzlülük değerleri ölçülerek bir değerlendirme yapılmıştır. Talaş kaldırma deneylerinde negatif açılı takım tutucu için $4\text{ }\mu\text{m}$ ’lik PVD TiAlN-TiN kaplamalı karbür SNMG 12 04 08-QM 1005 ve pozitif

takım tutucu için $4\mu\text{m}$ ’lik PVD TiAlN-TiN kaplamalı karbür SCMT 12 04 08 MM 1025 kesici takım kullanılmıştır. Deney parametreleri olarak değişken ilerleme ($f=0,10$ mm/rev, $f=0,15$ mm/rev, $f=0,20$ mm/rev ve $f=0,30$ mm/rev), değişken talaş derinliği ($a=0,5$ mm, 1 mm, 1.5 mm, 2 mm), ve değişken kesme hızları ($V=30$, 45, 60 ve 75 m/min) seçilmiştir. Talaş kırıncı tasarımı klasik torna tezgâhında, deneyler ise CNC torna tezgâhında yapılmıştır. Kesme parametreleri TS-10329 ve kesici takım katalogları referans alınarak belirlenmiştir. Deneyde kullanılan 50 X 400 mm ebatlarındaki inconel 718 malzemeye ait kimyasal bileşim Çizelge 6.1’de mekaniksel özellikleri ise Çizelge 6.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Inconel 718 bir numunenin kimyasal bileşimi (Ağırlık %)

C	Mn	Si	Cr	Ni	Co	Mo	Nb+Ta	Ti	Al	Fe
0.040	0.08	0.08	18.37	53.37	0.23	3.04	5.34	0.98	0.50	17.80

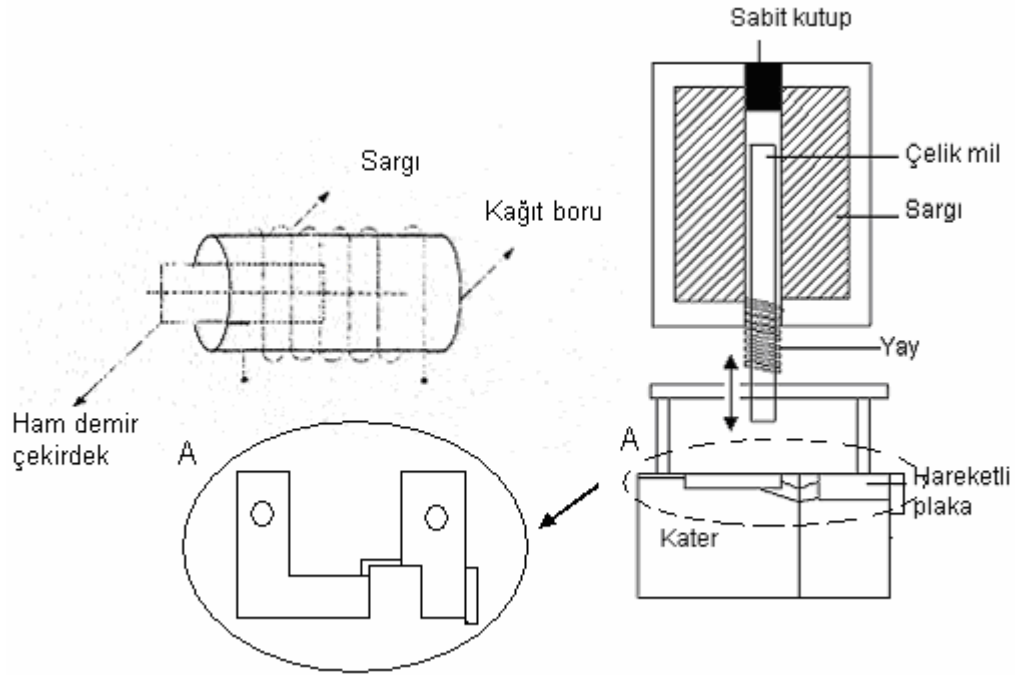
Çizelge 6.2. Inconel 718 ‘in mekanik özellikleri

Sertlik (HB)	Akma sınırı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Uzama %(5do)
388	1375	1170	23.3

Talaş kaldırma işlemleri esnasında her bir talaş kaldırma işlemine. 128 adet deneyin yüzey pürüzlülüğü ölçümü markası ve modeli Mahr perthometer M1, dijital ekranlı, kayıt yapabilen, nikel-kadmiyum pilli ve 220 V AC ile çalışır, R_a , R_z , R_{max} ve P_c değerlerini ölçebilen, filtre aralığı 0,25 mm, örnekleme uzunluğu 0,8 mm, değerlendirme uzunluğu 2,5 mm olan yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılarak her numune için 3 ayrı yerden ölçme işlemi yapılmış ve sonuçlar grafik çıktısı olarak alınmıştır.

7. TALAŞ KIRICI TASARIM AŞAMALARI

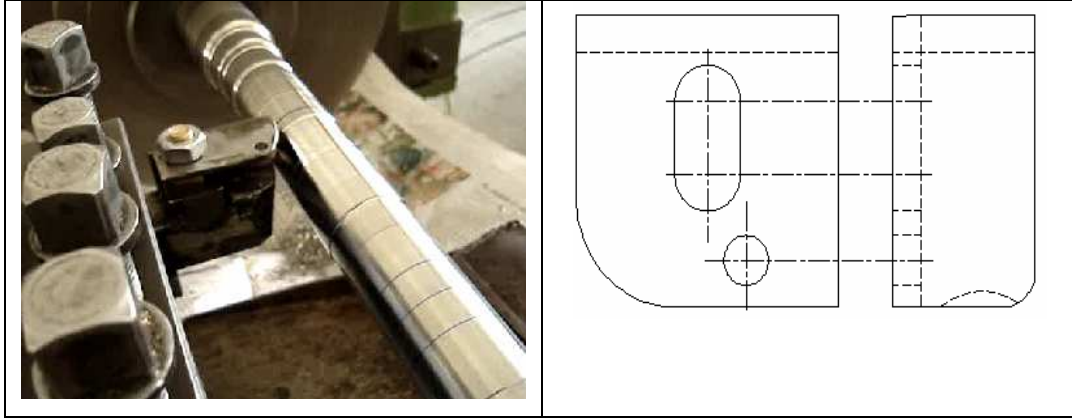
Inconel 718 süper alaşım numunesi, sandvik firmasının tavsiye ettiği kesme sınırları içerisinde talaş kırıcılı kesici takımlar ile işleme tabi tutulmuş ve talaşın akış şekli ve kırılma durumu incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda talaş kırıcılı kesici takımlarla kesme parametrelerini kullanarak talaşın kırılmadığı görülmüştür. Bundan dolayı literatür araştırması bölümünde anlatılan sünek çelikte talaş kırmak için J.-D. KIM ve O.B. KWEUN tarafından geliştirilen talaş kırıcı modeli, tarafımızdan üretilip deneylerde denenmiştir [51]. Yapılan deneylerde inconel 718 süper alaşımın talaşının sünek yapısından dolayı talaş her defasında kendisine akacak bir yol bulmuş ve kırılmadan akmaya devam ettiği görülmüştür. Talaşın akış yolunun kapatılması durumunda ise talaşın kesici üzerinde yığılma yapmış ve yüksek ısı nedeni ile kesici uca zarar vermiştir. Burada karşılaşılan bu problem sebebiyle çıkan talaşın mekanik bir talaş kırıcı ile veya talaşa darbe yapılarak talaşın malzemeden çıktığı noktada kırılabileceği fikrine varılmıştır. Şekil 7.1’de çalışma prensibi görülen bir selenoid valf kullanılarak talaşa dik yönde darbe yapılmış ve talaşı kırmak için özel bir takım tutucu tasarımı gerçekleştirilmiştir. Takım tutucu üzerine selenoid bir valf monte edilmiştir. Selenoid valfe elektrik akımı verildiğinde meydana gelen manyetik alanın etkisiyle borunun iç deliğine yerleştirilen çelik mile dikey konumda hareket verilmiştir. Elektriğin kesilmesi ile basılı konumdaki yay serbest kalmakta ve bu yay gücü ile mil geri dönüşünü yapmaktadır. Valfe gönderilen elektriğin frekansını değiştirerek bu hareketin daha hızlı veya daha yavaş olması sağlanabilmektedir. Selenoid valf miline, tasarlanan mekanik bir talaş kırıcı monte edilerek takım tutucu üzerinde kesici ucun kesme işlemi yaptığı noktaya çok yakın pozisyonda dik yönde belirli frekanslarda hareket verilmiştir.



Şekil 7.1. Selenoid valfin çalışma yapısı ve tasarlanan mekanik kırıcı

Bu talaş kırıcı, dik pozisyonda hareket ettiği gibi kesici üzerinde titreşim yaparak talaşı çıktığı noktada kırma işleminde de başarılı olmuştur. Inconel 718 üzerinde yaptığımız pilot deneylerde, kesici üzerinde dik yönde talaşa darbe yaparak talaşı çıkmaya başladığı noktada kırmada başarılı olduğu görülmüştür. Ancak talaşın çok sünek yapısından ve talaşı ilk oluştuğu andaki çok yüksek ısıdan dolayı ilk kırılan talaşın ardından gelen talaşlar mekanik talaş kırıcı altında yığıldığı ve selenoid valfin hareket etmesini engellediği görülmüştür. Ayrıca bu noktada biriken talaşların ısısının çok fazla olması nedeniyle kesici uçun kesme ömrünün azalmasına yol açmış ve buradaki ısıyı mekanik talaş kırıcı vasıtasıyla selenoid valfe ilettiğinden valfinde ısınmasına neden olmuştur. Dolayısı ile yapılan bu tasarımın Ç1040 malzemede başarılı sonuç vermesine karşılık inconel 718 malzemede tatmin edici bir sonuç vermediği görülmüştür. Inconel 718 'in talaşı çok sünek ve ilk çıktığı anda çok sıcak olmasından dolayı talaş ilk çıktığı yönde akmaya devam etmektedir. Bu nedenle talaşın bir engelle karşılaşmasını sağlayarak akış yönünü değiştirip hem talaşın soğumasını sağlamak hem de tekrar ikinci bir engelle karşılaştırarak kırılmasını sağlamak için Resim 7.1'deki resimde görüldüğü gibi takım tutucu üzerinde sabit

duran talaşın çarpması ile talaş yönünde çok kısa hareket eden ikinci bir talaş kırıcı tasarımı yapılmıştır.



Resim 7.1. Mekanik talaş kırıcı

Bu talaş kırıcı Ç1040 ve alüminyum malzeme üzerinde yapılan pilot deneylerde özellikle 0.5 mm den başlayan talaş derinliklerinde mükemmel sonuç vermiştir. Inconel 718 ile yapılan deneylerde ise 0.5 mm ve 1 mm talaş derinliklerinde talaşın yön değiştirip kanal içerisine girmesini sağlamış ve talaş ikinci bir engelle karşılaşınca kırılmıştır. Ancak ilk kırılan talaş kırıldığı bölgede kalmış ve ardından gelen talaşların bu bölgede ısıyla beraber yığılma yaparak birikmesine neden olmuştur (Resim 7.2)



Resim 7.2. 0.5 mm ve 1 mm talaş derinliği ve 0,10 mm/rev de talaşın davranışı

Talaş kalınlığı düşük olduğu için geriden gelen talaşlar öndekileri itme gücüne sahip olamamıştır. 1.5 mm ve 2 mm talaş derinliğinde ve 0.15 mm/rev ilerleme oranı ve üzerinde ise talaşın kırılmasını sağladığı görülmüştür (Resim 7.3). Talaş kalın olduğu için öndeki kırılan talaşı itme gücüne sahip olduğundan, talaşın kanal içerisinde birikme yapmasını engellemiştir.



(a)



(b)

Resim 7.3. $V=75$ m/min ve 2 mm talaş derinliğinde, a) $f=0.15$ mm/rev, b) $f=0,20$ mm/rev oluşan talaş

Özellikle 0.20 mm/rev ve 0.30 mm/rev ile yapılan bütün kesme hızlarında çok iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Tasarlanan bu talaş kırıcının 1,5 mm ve üzeri talaş derinliklerinde ve 0.20 mm/rev üzeri ilerleme oranlarında inconel 718 süper alaşım ve diğer sünek çeliklerde başarılı bir talaş kırılımı yapacağı düşünülmektedir. Denenen bu mekanik talaş kırıcı da her işleme şartı altında talaşı kırmada yetersiz olduğu için başka bir talaş kırıcı tasarımı yapma ihtiyacı oluşmuştur. Özellikle 0,5 mm talaş ve düşük ilerleme oranlarında talaşın yığılma yapması ve ısı ile kesiciye zarar vermesinden dolayı talaşın hem kırılması hem de hızlı bir şekilde kesici uç bölgesinden uzaklaştırılması gerekmektedir. Inconel 718'in talaşının çok sünek bir yapıya sahip olması talaşın kırılmasını çok zorlaştırmaktadır. Talaş ilk çıkmaya başladığı noktada kırılmazsa sürekli olarak akmaya devam etmektedir. Bu nedenle talaşın ilk çıktığı noktada dönen bir sistem ile talaşa darbe yaparak talaşı kırmak için takım tutucu üzerine 12 V'luk dakikada 250 devir ile dönen redüktörlü bir doğru akım motoru monte edilmiş ve doğru akım motorunun miline ise bir T kanal freze çakısı bağlanmıştır (Resim 7.4). Yapılan pilot deneylerde hem Ç1040 malzemede hem de inconel 718 malzemede başarılı sonuçlar alınınca tasarlanan bu sistem ile

deneylerin yapılmasına karar verilmiştir. Bu sistem ile talaşın kırıldığı gibi hızla kesme bölgesinden uzaklaştırıldığı görülmüştür. Deneylerin yapım aşamasında özellikle 0.5 mm talaş derinliği ve düşük ilerleme oranlarında talaşların motor miline dolasmaya ve bazen de kırılmadan çıkmaya başladığı görülmüştür. Resim 7.5’de düşük devirli motor ile yapılan işlemede elde edilen talaşlar görülmektedir.



Resim 7.4. Redüktörlü doğru akım motoru ile talaş kırıcı tasarımı

Ayrıca motorun düşük devirli (350 rev/min) olması nedeniyle talaşın çakıyı zorladığı durumlarda motorun dönmeye devam etmek istemesinden dolayı redüktördeki dişliler hasar görmüştür. Bu sorunu çözmek içinde deneylerde, daha yüksek devirli ve dişli sistemi kullanmayan farklı bir doğru akım motoru kullanılmıştır.



Resim 7.5. 350 rev/min devirli DC motorla yapılan işlemede oluşan talaş şekli

Çizelge 7.1. (Devam) Deney uygulama çizelgesi

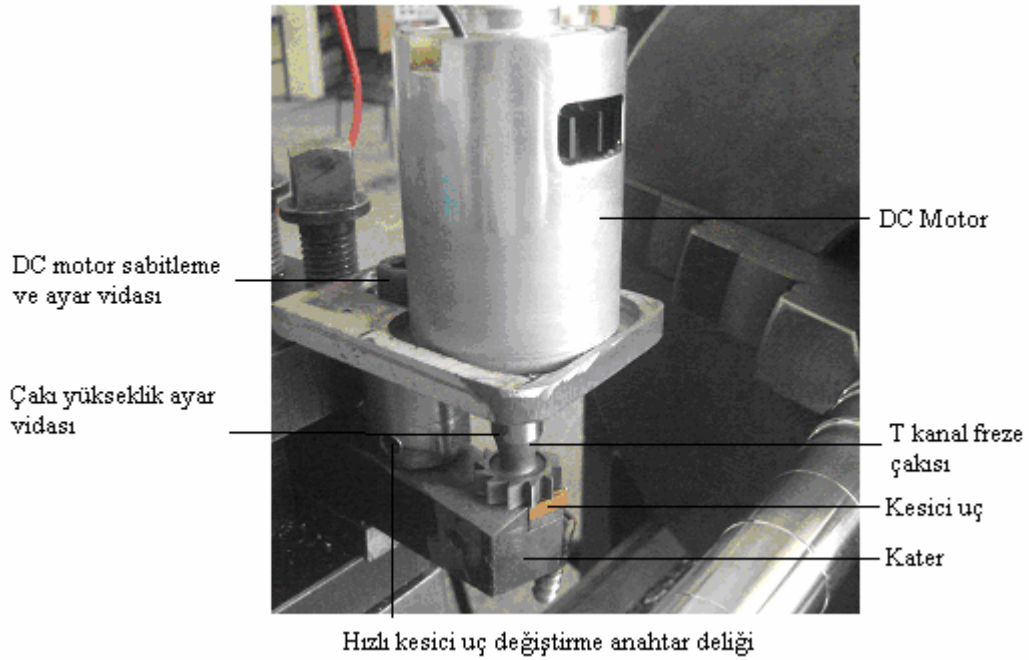
a=1,5				V=30								
ilerleme (f)	0,10			0,15			0,20			0,30		
	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt
a=1,5				V=45								
ilerleme (f)	0,10			0,15			0,20			0,30		
	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt
a=1,5				V=60								
ilerleme (f)	0,10			0,15			0,20			0,30		
	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt
a=1,5				V=75								
ilerleme (f)	0,10			0,15			0,20			0,30		
	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt
a=2				V=30								
ilerleme (f)	0,10			0,15			0,20			0,30		
	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt
a=2				V=45								
ilerleme (f)	0,10			0,15			0,20			0,30		
	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt
a=2				V=60								
ilerleme (f)	0,10			0,15			0,20			0,30		
	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt
a=2				V=75								
ilerleme (f)	0,10			0,15			0,20			0,30		
	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt

Tasarlanan talaş kırıcı ile Çizelge 7.1’de görülen kombinasyon sırasında talaş kaldırma işlemi yapılmış ve talaş kırıcının çalışması izlenmiştir. Deneylerde talaş kırma sistemine kesin olarak karar verildikten sonra yüzey pürüzlülüğü ölçümü için her yeni talaş kaldırma işleminde yeni bir kesici kenar kullanılmış ve malzeme üzerinde işlenen her yüzeye bir deney kodu verilmiştir. Her bir talaş kaldırma

işleminde kaldırılan talaş örneğinden bir örnek alınarak değerlendirilmek üzere ayrı bir kaba konulmuştur. Bu deneylerde negatif ve pozitif açılı olmak üzere iki farklı takım tutucu kullanılmış ve toplam 128 deney yapılarak yüzey pürüzlüğü ölçümü yapılmıştır.

7.1. Dinamik Talaş Kırıcı Tasarımı ve Talaş Kırma

Bu çalışmada amaç Inconel 718 süper alaşımlı çeliğin işlenmesi esnasında ortaya çıkan sürekli ve sünek talaşın kırılması olduğu için öncelikle takım tutucu ve kesici uç üzerine hiçbir ilave yapmadan hem negatif takım tutucu hem de pozitif takım tutucu ile çelik işlenerek çeşitli işleme şartları altında talaşın akış yönü ve davranışı tespit edilmiştir. Yapılan bu deneyler sonucunda talaşın sünek yapısından dolayı ilk akmaya başladığı yönde bir engelle karşılaşılan kadar sürekli olarak akmaya devam ettiği görülmüştür. Talaş kırma üzerine yapılan çalışmalarda talaşın kırılabilmesi için ilerleme oranı ve talaş derinliğinin artırılması kesme hızının ise düşürülmesi tavsiye edilmektedir. Bundan dolayı inconel 718, Çizelge 7.1 deki işleme şartlarındaki yüksek ilerleme ve talaş derinliği altında deneye tabi tutulmuş ve kesici uç üzerindeki talaş kırıcıların talaşı kırmada başarısız oldukları görülmüştür. Bu nedenle, inconel 718 süper alaşımlı çeliğin işlenmesi esnasında ortaya çıkan sürekli ve sünek talaşın kırılması için çeşitli tasarımlar yapılmış ve bu tasarımlar öncelikle Ç1040 malzeme üzerinde talaşın sürekli olarak aktığı, 0,5 mm talaş derinliği 0,10 mm/rev'lik ilerlemede test edilerek talaş kırma performansına bakılmıştır. Denenen ilk iki yöntemin Ç1040 malzeme üzerinde başarılı sonuç vermesine karşılık inconel 718 üzerinde istenen sonucu vermediği görülmüştür. Yapılan pilot deneylerde özellikle $f=0,10$ mm/rev'lik ilerlemede kullanılan bütün talaş derinliklerinde ve kesme hızlarında talaşın akkor halinde çıktığı görülmüştür. Yapılan ilk iki tasarımın bu işleme şartı altında tamamen başarısız olmasından dolayı bu işleme şartları altında da talaşı başarılı bir şekilde kırıp kesme bölgesinden uzaklaştıracak Resim 7.6'da görülen takım tutucu tasarlanmış ve deneylerde kullanılmıştır.

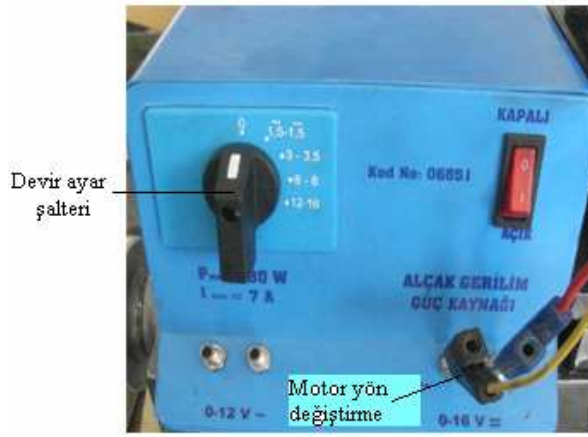


Resim 7.6. Tasarlanan talaş kırıcı sistemi

7.2. Dinamik Talaş Kırıcının Çalışma Prensibi ve Talaş Oluşumu

Inconel 718 süper alaşımlı çeliğin işlenmesi sırasında çıkan talaşın ilk çıktığı yönde herhangi bir engel ile karşılaşana dek akmaya devam ettiği ve işleme esnasında talaşın akkor halinde çıktığı ve bununda kesici uç ömrünü azalttığı tespit edilmiştir. Sistemde, talaşın kesilen bölgeden hızlı bir şekilde kırılıp uzaklaştırılarak kesici uç üzerinde ısı oluşumunu ve talaş sıvanmasını önlemek için değişik devirlerde dönen bir T kanal freze çakısı kullanılmıştır. Burada verimli bir talaş kırılımı elde edebilmek için T kanal freze çakısının uç üzerindeki yüksekliği ile çakının talaş kaldırma esnasında iş parçasına olan mesafesinin çok dikkatli ayarlanması gerekmektedir. Dönen çakı ile kesici uç arasındaki boşluk en az 0.2 mm olacak şekilde ayarlanmaz ise 0,5 mm de oluşan talaşlar çakı yüksek devirde dönmesine rağmen bu boşluğu kullanarak sürekli olarak akmaya devam ettiği görülmüştür. Buradaki 0.2 mm boşluk mesafesindeki amaç çakı kesici uca temas edip kırmamalı ve kaldırılan talaş çakı ile kesici uç arasında boşluk bulmamalı. Aynı şekilde dönen çakının iş parçasına olan 2.5 mm olacak şekilde ayarlanmaz ise talaş çıktığı noktadan itibaren yol bulup akmaya devam etmektedir. Buradaki mesafe ayarında ise verilen

talaş derinliğine göre iş parçasının yüzeyine çarpmayacak şekilde ayarlanmalıdır. Bu sistemde çakının yüksekliği 0,2 mm ve iş parçasına olan mesafesi 2.5 mm olarak ayarlandığında bütün işleme şartları altında tekrar mesafe ayarını değiştirmeden talaşı başarılı bir şekilde kırdığı görülmüştür. Resim 7.7’deki resimde görülen alçak gerilim güç kaynağı kullanılarak çakının devri ayarlanabilmektedir.



Resim 7.7. Alçak gerilim güç kaynağı

Çakı düşük devirde döndüğünde devir ayar şalteri ilk konumda olduğunda (900 rev/min) çıkan talaşlar çakının durmasına neden olmaktadır. İkinci konum (3 500 rev/min) 1mm ve üzeri talaşlarda düşük ilerlemelerde daha iyi sonuç verirken 0,5 mm talaşlarda ve yüksek ilerlemelerde talaşların uzamasına neden olmaktadır. Üçüncü konumda (8 500 rev/min) ise bütün işleme şartlarında çok iyi bir talaş kırılabilirliği elde edilmiştir. Ayrıca deneyler sırasında çakı talaşı çıktığı noktada kesme bölgesinden uzaklaştırdığı için kesici takım üzerine talaş yapışmasını (BUE) engellediği görülmüştür. Dördüncü konum da (20 000 rev/min) çakı çok yüksek devirde döndüğü için talaşları kırıdıktan sonra süratle fırlatmaktadır. Burada ideal olan devirin üçüncü konum (8 500 rev/min) olduğu tespit edilmiştir. Çakının dönüş yönü işlenmiş yüzey yönünde olduğunda kırılan talaşların işlenmiş olan yüzeyi çizdiği görülmüştür. Zaman zaman da kırılan talaş parçalarının takım tutucu ile iş parçasının işlenen yüzeyi arasına sıkışarak iş parçası yüzeyini çizmiştir. Çakının dönüş yönü işlenmemiş yüzeye doğru olduğu durumda kırılan talaşların iş parçasına temas etmeden döküldüğü görülmüştür. Kesici uç aşındığında veya kırıldığında hızlı bir şekilde değiştirmek için takım tutucu üzerinde monte edilen vidalı parça 6 mm

apında bir mil ile gevşetilerek uç değışimi yapılmakta ve tekrar aynı mil yardımı ile sıkılmaktadır. Ayrıca işlenecek parça üzerinde sıfırlama işlemi yapıldıktan sonra talaş kaldırma işlemine başlamadan önce akının harekete başlaması gerekmektedir. Talaş kırıcının performansını test etmek için aynı özellikte iki takım tutucu ve kesici uç kullanılmıştır. Takım tutuculardan bir tanesinin üzerinde ilave hiçbir sistem yokken diğetine tasarlandığımız talaş kırıcı sistemi monte edilmiş şekilde deneyler yapılmış ve ortaya çıkan talaşlar kıyaslanmıştır.



(a)



(b)

Resim 7.8. a) $a=1,5$ mm $f=0,1$ mm/rev $V=60$ m/min talaş kırıcısız, b) $a=1,5$ mm $f=0,1$ mm/rev $V=60$ m/min talaş kırıcılı.

Pilot deneylerde ve düşük devirli redüktörlü DC motor ile yapılan asıl deneylerde $f=0,1$ mm ilerlemedeki bütün işleme şartlarında talaşın kırılabilirliğinin çok zor olduğu görülmüştür. Resim 7.8 (a)'da görüldüğü gibi talaş kırıcısız işleme yapıldığında bazen dar adımlı ve sürekli talaş bazen de dolaşık ve sürekli talaş oluşumu ortaya çıkmıştır. Tasarladığımız talaş kırıcı ile aynı şartlarda yapılan işleme sonucu elde edilen talaş ise Resim 7.8 (b)'de görülmektedir. Resim 7.9 da 60 m/min kesme hızı ile talaş kırıcısız yapılan işlemede dar adımlı ve sürekli talaş oluşurken talaş kırıcılı sistemle yapılan işlemede ise oluşan talaş Resim 7.9 (b)'de görülmektedir.



(a)



(b)

Resim 7.9. a) $a=2$ mm $f=0,1$ $V=45$ m/min talaş kırıcısız, b) $a=2$ mm $f=0,1$ $V=45$ m/min talaş kırıcılı.

Talaşın kırılabilirliğinin zor olduğu işleme şartlarından birisi de 0,5 mm talaş derinliği ve $f=0.1$ mm/rev dir. Resim 7.10 (a)'da talaş kırıcısız açık adımlı, dolaşık ve karmaşık bir talaş kümesi oluşurken, (b)'de ise tasarlanan talaş kırıcılı sistemle 0,5 mm talaş derinliği, $f=0,1$ mm/rev ilerleme ve $V=30,45,60$ ve 75 m/min' lik kesme hızlarında oluşan talaş görülmektedir.



(a)



(b)

Resim 7.10. (a) $a=0,5$ mm $f=0,1$ $V=30$ m/min talaş kırıcısız, (b) $a=0,5$ mm $f=0,1$ $V=30$ m/min talaş kırıcılı.

Talaş kırıcı tasarımı sırasında, pilot deneylerde ve dişli sistemi kullanan düşük devirli doğru akım motoru ile yapılan deneylerde talaşın kırılmadığı ve akkor halinde çıkarak kesici ucun hemen yanından iş parçasının altına doğru akıp orada kümelenerek toplandığı işleme şartlarından birisi de $f= 0,1$ mm, $a=1$ mm ve

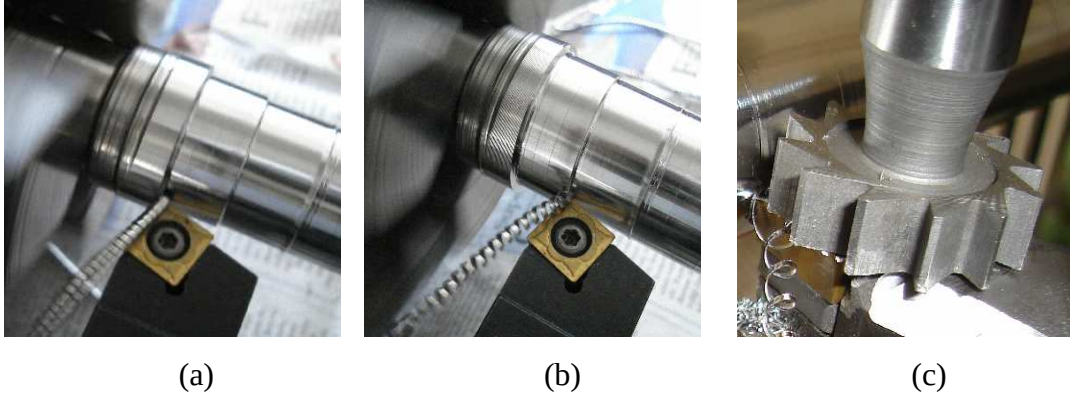
$V=30,45,60,75$ m/min olan işleme şartıdır. Tasarlanan talaş kırıcı ile yapılan işlemede elde edilen talaş ise Resim 7.11 (b)'de görülmektedir.



Resim 7.11. (a) $a=1$ mm $f=0,10$, $V=75$ m/min talaş kırıcısız, (b) $a=1$ mm $f=0,10$, $V=75$ m/min talaş kırıcılı.

Deney için seçilen kesme şartlarında çoğunlukla yan akış talaş tipi oluştuğu görülmüştür. Bu talaş tipi kesme şartlarının malzeme için uygun olduğu durumlarda ortaya çıktığı görülmüştür. Tasarlanan talaş kırıcının çalışma prensibi, oluşan talaş yüzeyi üzerine bir darbe ve kuvvet uygulayarak talaşın kırılmasını sağlamaktır. Dinamik talaş kırıcı ile talaşa darbe yaparak talaşı kırmak için negatif Takım tutucu ile yapılan deneylerde düşük devirli çakı ile çalışılmıştır. Deneylerin ilerleyen aşamalarında karşılaşılan problemler de dikkate alınarak DC motor değiştirilmiş ve çakının devri artırılmıştır. Devirin artması sonucu ortaya çıkan talaş şeklinde değişme olmuştur. Düşük devirli motorla yapılan deneylerde kırılan talaş uzunluğunun, yüksek devirli motorla yapılan kırma işlemine göre uzun olduğu tespit edilmiştir. Düşük devirli motorla yapılan bu deneylerde talaşlar genellikle yüksek ilerlemelerde uzun parçalar halinde kırılmıştır. Ayrıca negatif takım tutucu ile yapılan deneylerde takım tutucunun negatif açısından kaynaklanan boşluğa (dönen çakı ile kesici uç arası) çakının devrinin düşük olmasından dolayı zaman zaman talaş sıkıştığı görülmüştür. Yüksek devirli doğru akım motoru ile negatif takım tutucu ile yapılan deneyler tekrar edilmiş, düşük devirli DC motor kullanılarak talaş kırma performansı test edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda negatif takım tutucu ile Pozitif takım tutucu arasında talaş kırmada bir fark olmadığı görülmüştür. Ancak

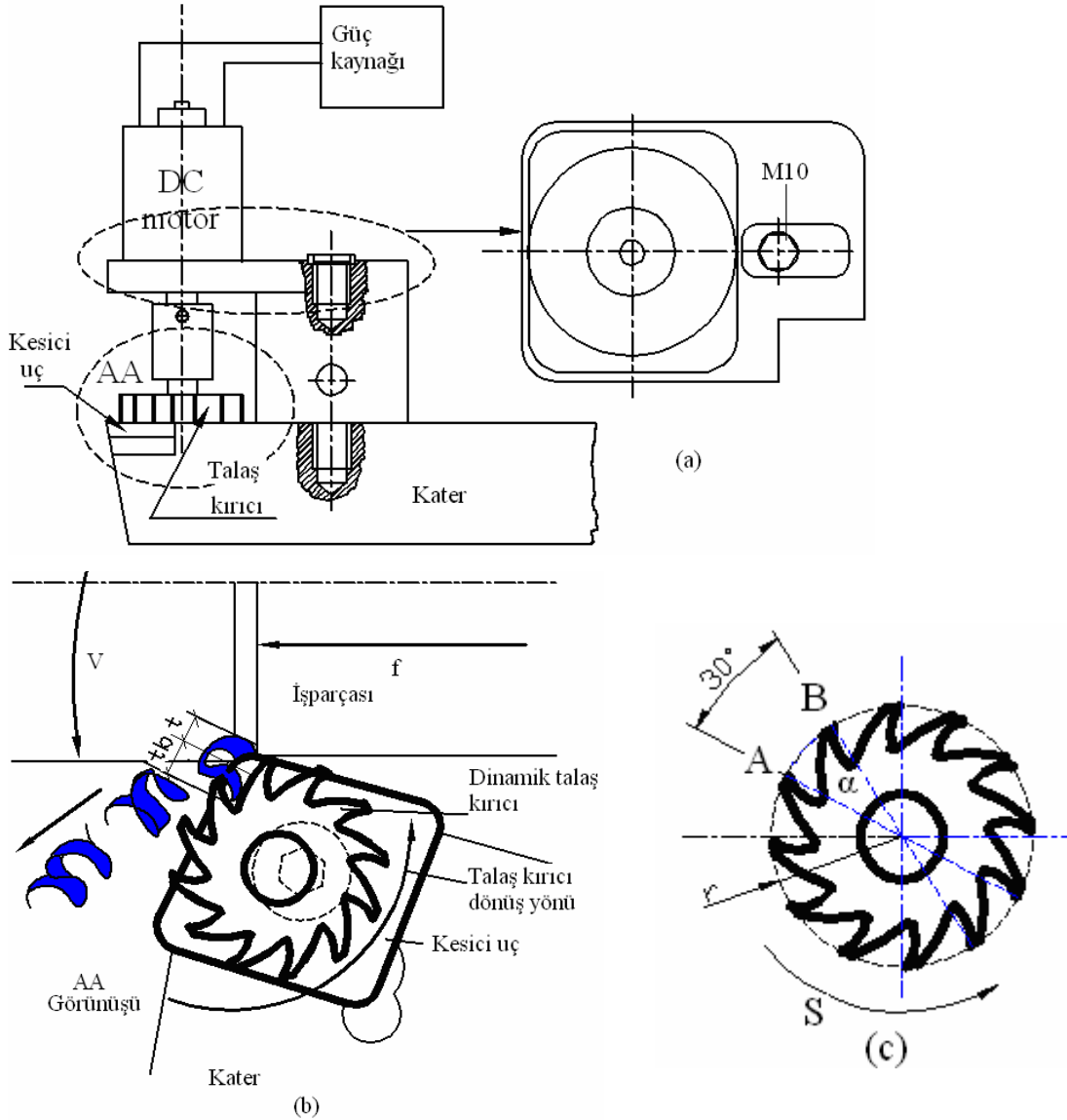
özellikle 0,5 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerde takım tutucunun yapısından dolayı zaman zaman talaş sıkışması meydana gelmiştir. Pozitif takım tutucuda ise çalışma esnasında takım tutucunun yapısından dolayı herhangi bir olumsuz durum olmamıştır.



Resim 7.12. (a) $V=75$ m/min $a=2$ mm $f=0,10$ mm/rev, (b) $V=75$ m/min $a=1,5$ mm $f=0,10$ mm/rev, (c) $V=75$ m/min $a=0,5$ mm $f=0,10$ mm/rev çakı hareketsiz.

Resim7.12 (a) 75 m/min kesme hızı, $a=2$ mm talaş derinliği ve $f=0,10$ mm/rev ilerlemede talaş kırıcısız olarak işleme yapılmıştır. Şekilde de görüldüğü gibi malzemeden çıkan talaş dar adımlı, sürekli ve aynaya çarpmasına rağmen de kırılmadığı görülmüştür. (b) $V=75$ m/min, $a=1,5$ mm $f=0,10$ mm/rev ilerlemede talaş kırıcısız olarak işleme yapılmıştır. Bu işleme şartlarında da talaşın dar adımlı sürekli ve aynaya çarpmasına rağmen kırılmadığı görülmüştür. (c) de ise talaş kırıcı çalıştırılmadan oluşan talaşın davranışı incelenmiştir. Talaş malzemeden çıktıktan sonra çakının kesici kenarlarına çarpmakta bu noktada talaş kıvrımı oluşmaya başlamaktadır. Çakıyı hareket ettirmeden yapılan bu deneyde talaşın adımının ilk çarptığı kesici ağzın durduğu mesafeye göre oluştuğu görülmüştür. Dolayısı ile çakının çalıştığı durumlarda talaş birinci kesici kenara çarptığı anda talaş ilk kıvrımını aldığı ve ardından da burada aldığı darbe ile kırılmaya başladığı görülmüştür. Kırılma talaş radyüsü ve talaş boyu ilerleme oranına ve çakının dönüş hızına bağlı olarak oluşmaktadır. Talaşın malzemeden yukarı kıvrım olarak çıktığı durumda çakının dönüşü sırasında ilk karşılaştığı kesici ağza çarparak kırıldığı görülmüştür. Şekil 7.2’de talaş kırıcı sisteminin şematik görünümü ve çalışma prensibi görülmektedir Talaşın kırıcıya çarptığı nokta Şekil 7.2 (c)’de gösterilen A

noktasıdır. Talaş bu noktada ilk kıvrımı alıyor ve B konumu A konumuna geldiğinde çarpma ile talaşın kırılma olayı gerçekleşiyor. Talaşın boyu (t_b) ise Şekil 7.2 (b)'de görüldüğü gibi kesme hızına bağlı olarak iş parçasından çıktığı nokta ile kırıcının A noktası arasındaki mesafeye ve B konumunun A konumuna gelme süresine bağlı olarak oluşuyor.



Şekil 7.2. Tasarlanan talaş kırıcının şematik görünümü

Talaşın kırılmadan çıktığını düşünürsek talaş boyu kesme hızına bağlı olarak oluşmaktadır. Kesme hızı kesici ucun iş parçası çevresinde 1 dakikada metre cinsinden aldığı yoldur. Talaşın çıkış hızını saniye cinsinden ifade eder ve kesici

üzerindeki B konumunun A konumuna gelme süresini hesaplırsak talaş kırılım boyunu bulabiliriz. Bunu matematiksel olarak şöyle ifade edebiliriz.

Talaş kırıcının en verimli talaş kırdığı 3 konumda dönme hızı 8 500 rev/min . Frekans (f_1) dairesel hareket yapan cismin birim zamanda attığı tur sayısıdır. Birim zaman olarak saniye alınır.

Periyot (T), dairesel hareket yapan cismin bir tam tur atması için geçen süredir

$$T = \frac{1}{f_1} \quad (7.1)$$

Talaşın kırılabilmesi için kırıcı üzerindeki B konumu A konumuna gelmeli. AB uzunluğu şu eşitlikle hesaplanır.

$$AB = \frac{\alpha}{360} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \quad (7.2)$$

Talaş kırıcının B konumundan A konumuna gelene kadar ki sürede talaş akmaya devam etmektedir. Dolayısı ile kırıcının B den A'ya geliş süresini hesaplamak gerekmektedir. Bunun için kırıcının bir saniyede milimetre cinsinden aldığı yolu bulmak için çizgisel hızını hesaplamamız gerekir.

$$V_k = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{T} \quad (7.3)$$

Talaş kırıcının B noktasından A noktasına geliş süresi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$t_{AB} = \frac{AB}{V_k} \quad (7.4)$$

Kesici B'den A'ya gelene kadar talaş kesme hızına bağlı olarak akmaya devam etmektedir. Bu zaman aralığındaki talaşın uzama miktarı;

$$tb = \frac{V \cdot t_{AB} \cdot 1000}{60} \quad (7.5)$$

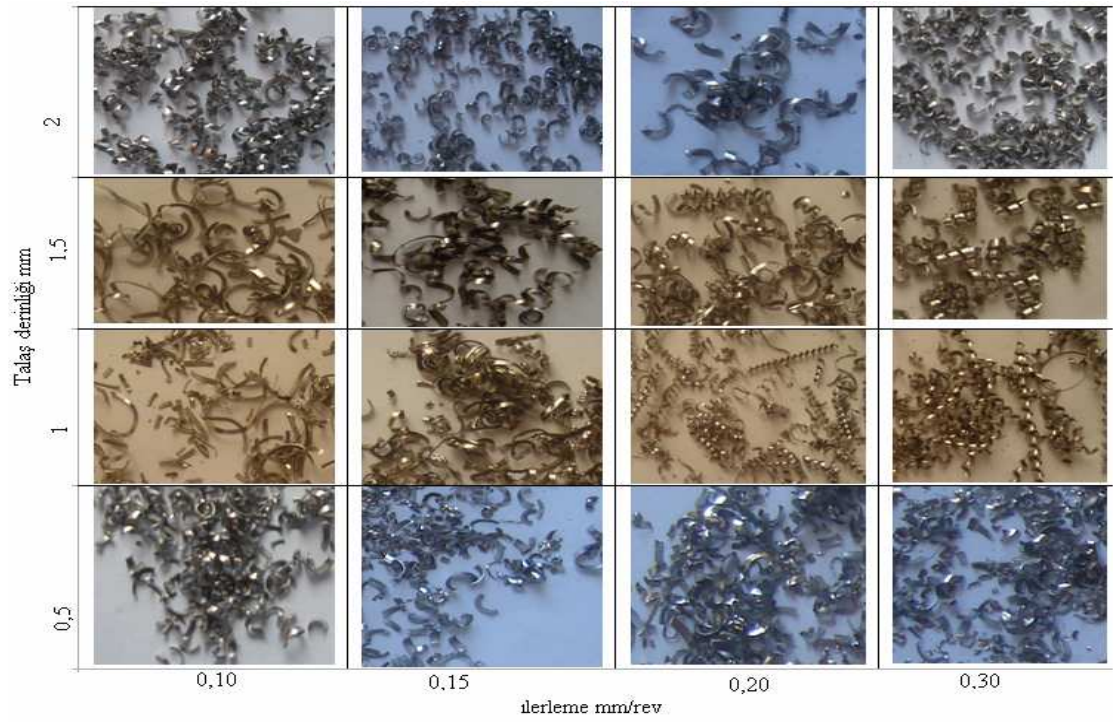
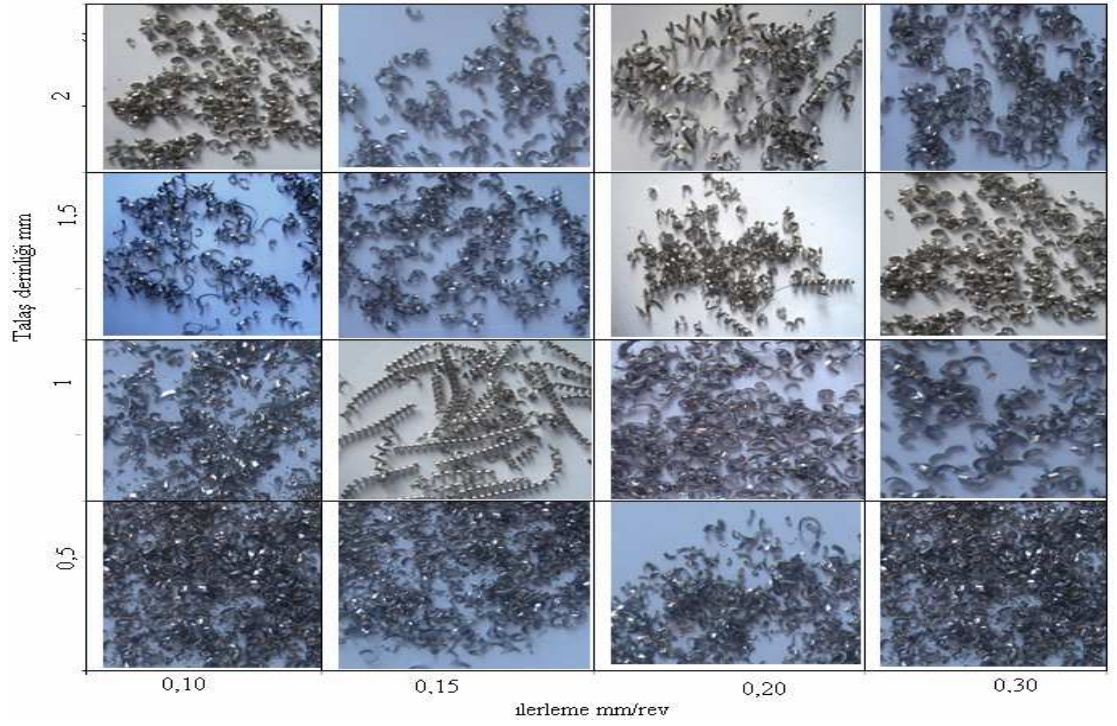
Talaşın kırılım boyunu bulmak için aşağıdaki eşitlik kullanılır.

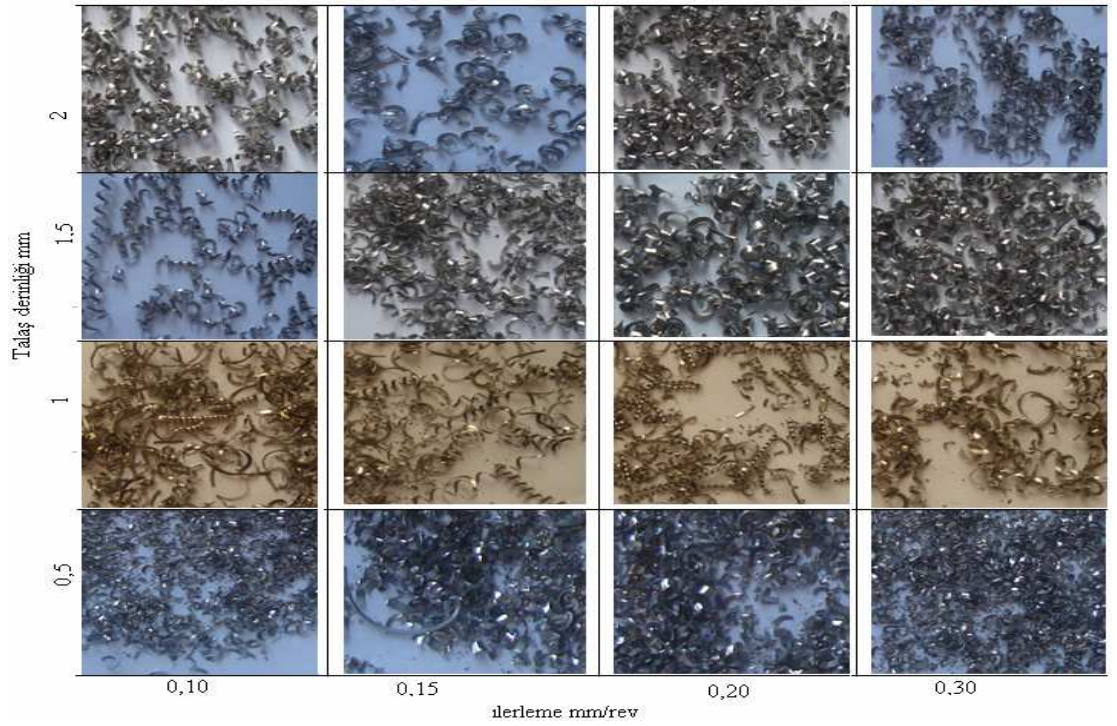
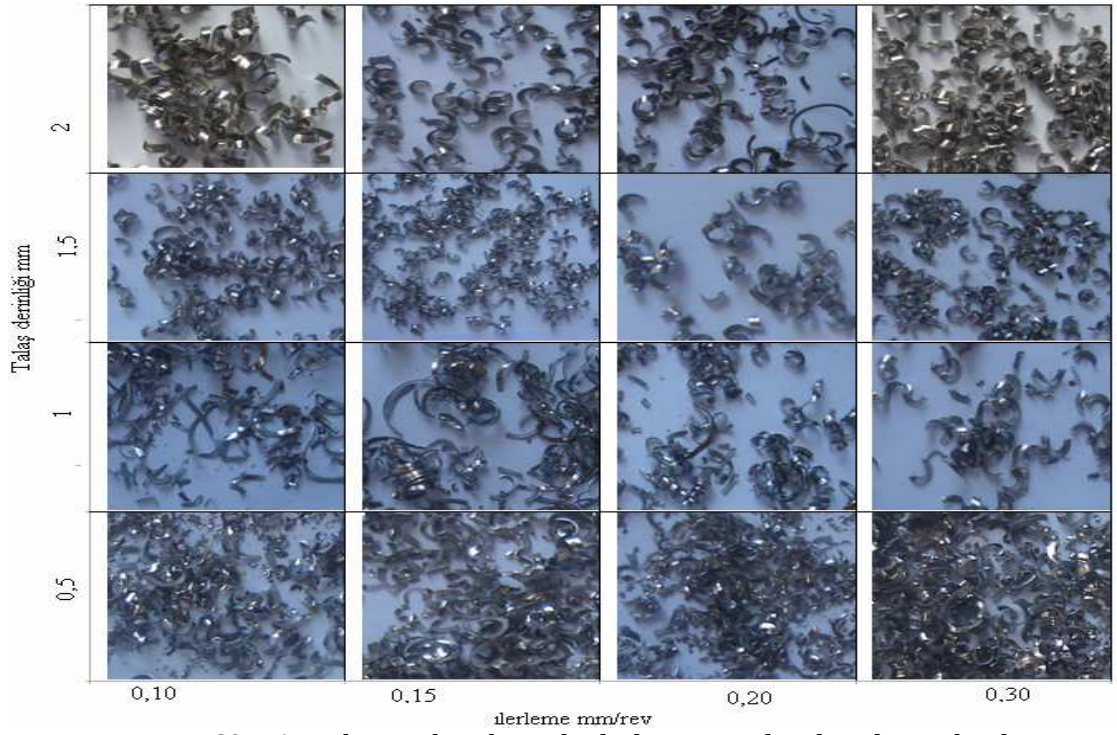
$$Tkb = tb + t \quad (7.6)$$

Periyodik olarak kırılan talaşın boyu, yukarıdaki eşitliklerde kullanılarak tek bir eşitlikle şu şekilde ifade edebilir.

$$Tkb = \frac{25 \cdot V}{18 \cdot f_1} + t \quad (7.7)$$

Bu eşitlikte Tkb talaş kırılım boyu, V kesme hızı, f_1 talaş kırıcının frekansı, t talaşın çarpma noktasına kadarki uzama mesafesidir. Şekil 7.2’de görüldüğü gibi çakının dönüş yönü işleme yapılan yüzeyin tersi yönde, tezgâhın ilerleme yönü ile aynı olmalıdır. Çakının dönüş hızı ilerleme oranına, kesme hızına ve talaş derinliğine bağlı olarak arttırılıp azaltılabilir. Özellikle 0,5 ve 1 mm talaş derinliğinde 0,10 ve 0,148 mm/rev ilerleme oranında çakının yüksek devirde (8 500 rev/min) daha verimli talaş kırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca çakının iş parçasına ve kesici uca mesafesi çok dikkatli ayarlaması gerekmektedir. Çakı iş parçasına çok yakın olursa çakının dişleri iş parçasına sürtündüğü ve yüzeyin bozulmasına neden olduğu görülmüştür. Çakı ile iş parçası arasındaki boşluk M10 cıvata gevşetilerek arttırılıp azaltılabilir. Çakı ile kesici uç arasındaki mesafe ise çakıyı DC motorun miline tutturmak için kullanılan M4 cıvata gevşetilerek arttırılıp azaltılabilir. Mesafe ayarı yapılırken çakı ile kesici uç arasına maksimum 0,2 mm ye karşılık gelecek şekilde kâğıt parçası konularak ayar yapılabilir. Burada çakının dönüşü sırasında kesici uca temas ederek kesici uca zarar vermemesine dikkat edilmesi gerekmektedir. Negatif takım tutucuda, takım tutucunun negatif açısından dolayı kesici uç ile çakı arasında kesme ucuna yakın mesafede 2 mm boşluk kesicinin arka tarafında ise 1 mm boşluk meydana gelmektedir. Bu boşlukta zaman zaman talaş sıkışması meydana geldiği görülmüştür. Yapılan talaş değerlendirmesi sonucunda ise negatif ve pozitif takım tutucu ile yapılan işlemlerde bir fark olmadığı tespit edilmiştir. Resim 7.13, Resim 7.14, Resim 7.15 ve Resim 7.16’da kesme hızları sabit tutularak ilerleme oranı ve talaş derinliğine göre oluşan talaşların resimleri görülmektedir.



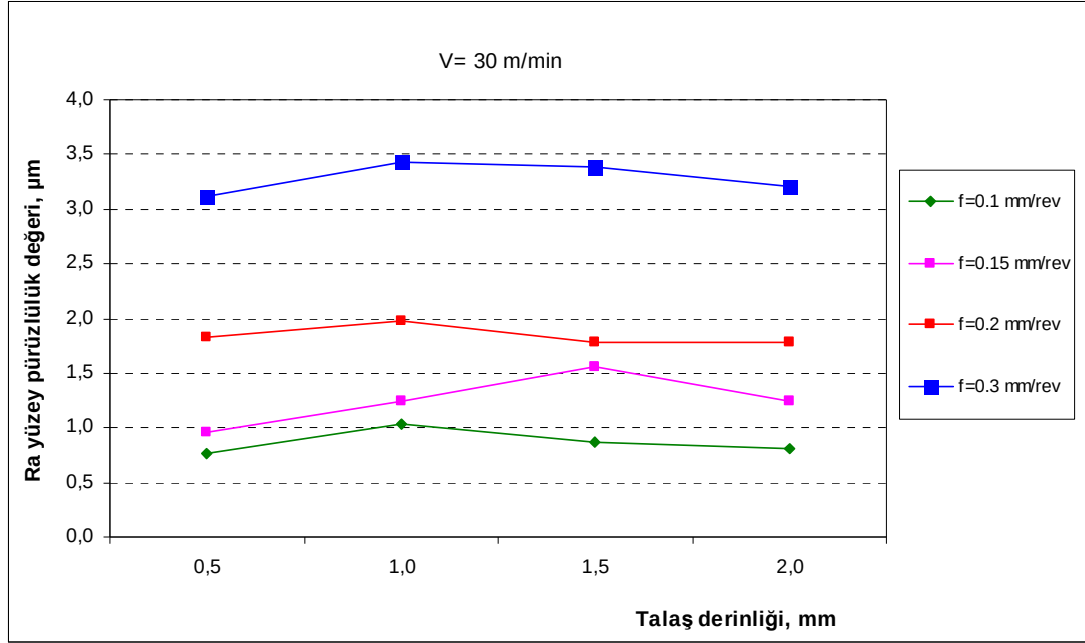


Resimlerden de görüldüğü üzere talaşlar her türlü işleme şartı altında birbirine yakın özellikte kırılmıştır. İlerleme oranı ve kesme hızının artış oranına göre düşük devirli DC motorda talaş boylarının uzadığı görülmüştür. Şekil 7.14’da $V=45$ ve 1 mm talaş derinliğinde ve Resim 7.16’da $V=75$ m/min ve 1 mm talaş derinliği alanındaki resimlerden görüldüğü üzere düşük devirli motorla talaşlar kırılırken talaş boylarında uzama meydana gelmiştir. Diğer işleme şartlarında ise yüksek devirli (8 500 rev/min) DC motorla çalışılmıştır. Resim 7.17’de $V=75$ m/min, $f=0,10$ mm/rev ve 0,5 mm de dinamik talaş kırıcı ile yapılan talaş kaldırma işleminde oluşan talaş şekli görülmektedir.

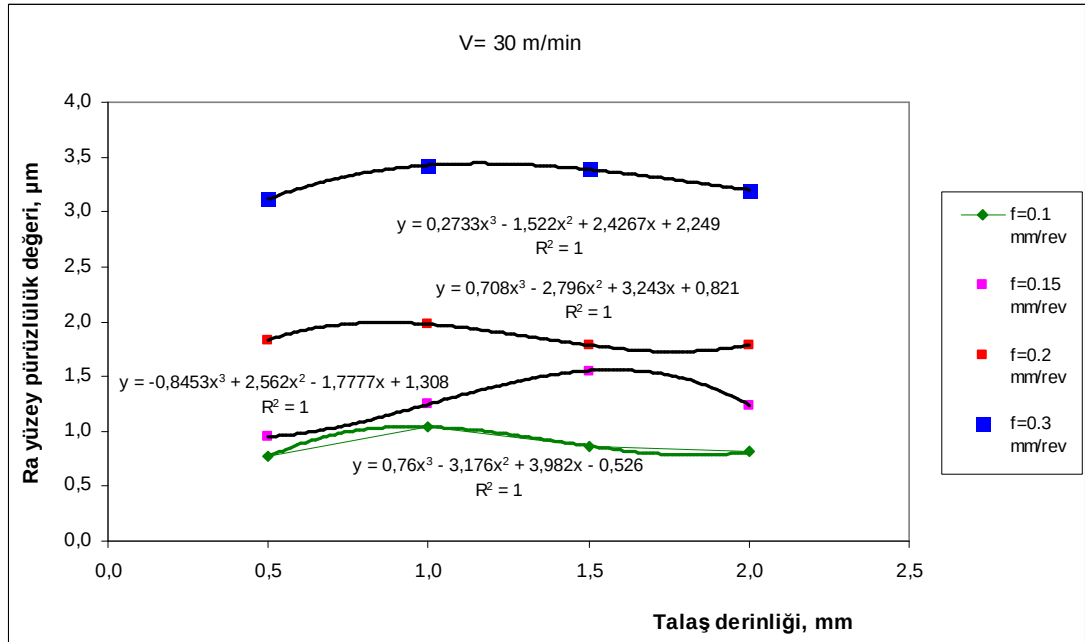


Resim 7.17. $V=75$ m/min $f=0,10$ mm/rev ve talaş derinliği 0,5 mm de yapılan işlemede elde edilen talaş

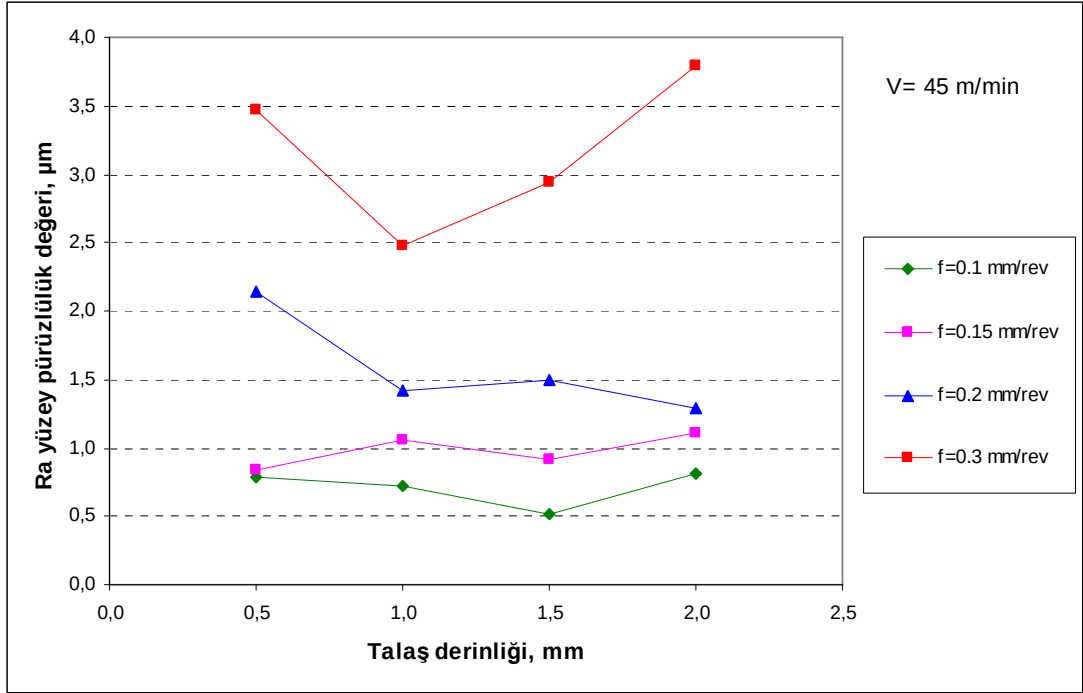
Şekil 7.3’de $V= 30$ m/min sabit kesme hızında, $f=0,1$ mm/rev, $f=0.15$ mm/rev, $f=0.2$ mm/re ve $f=0.3$ mm/rev lik ilerleme oranlarında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan yüzey pürüzlülük grafiği görülmektedir. Şekil 7.4’de ise fonksiyon grafiği ve oluşan grafiğin fonksiyonu görülmektedir. Şekil 7.5 $V=45$ m/min sabit kesme hızında, talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan yüzey pürüzlülük grafiği görülmektedir. Şekil 7.7’de $V=60$ m/min sabit kesme hızında, talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan yüzey pürüzlülük grafiği görülmektedir. Şekil 7.9’da ise $V=75$ m/min sabit kesme hızında, talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan yüzey pürüzlülük grafiği görülmektedir. Şekil 7.11, Şekil 7.12, Şekil 7.13, Şekil 7.14’de ise sabit ilerleme oranlarında talaş derinliği ve kesme hızına bağlı oluşan yüzey pürüzlülük grafikleri görülmektedir.



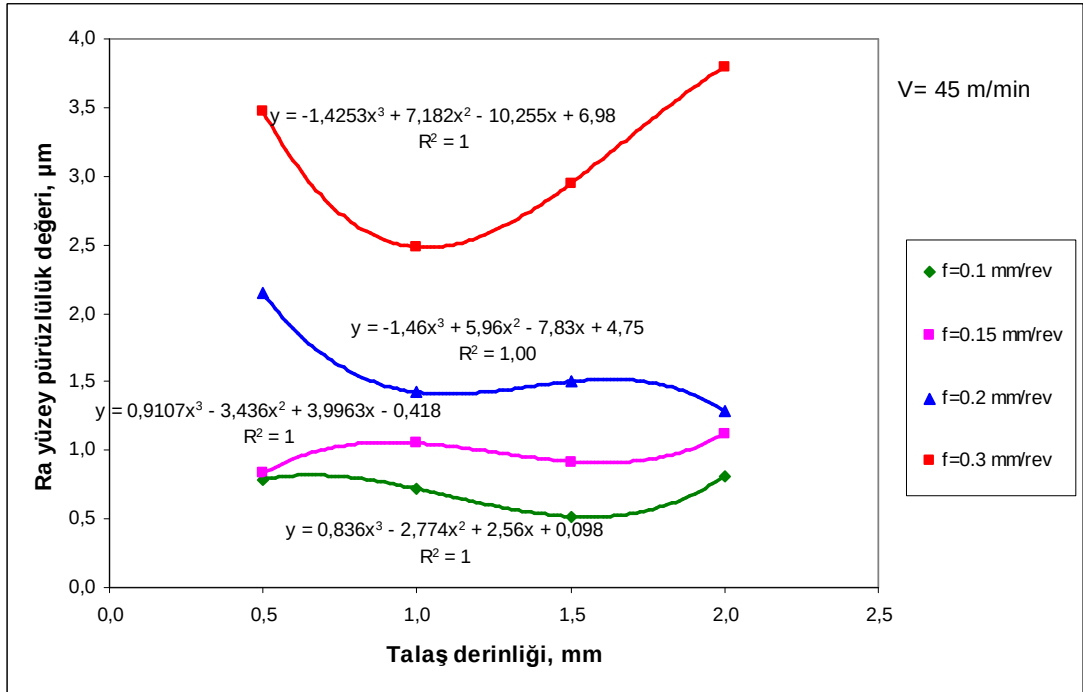
Şekil 7.3. V= 30 m/min sabit kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülük grafiği



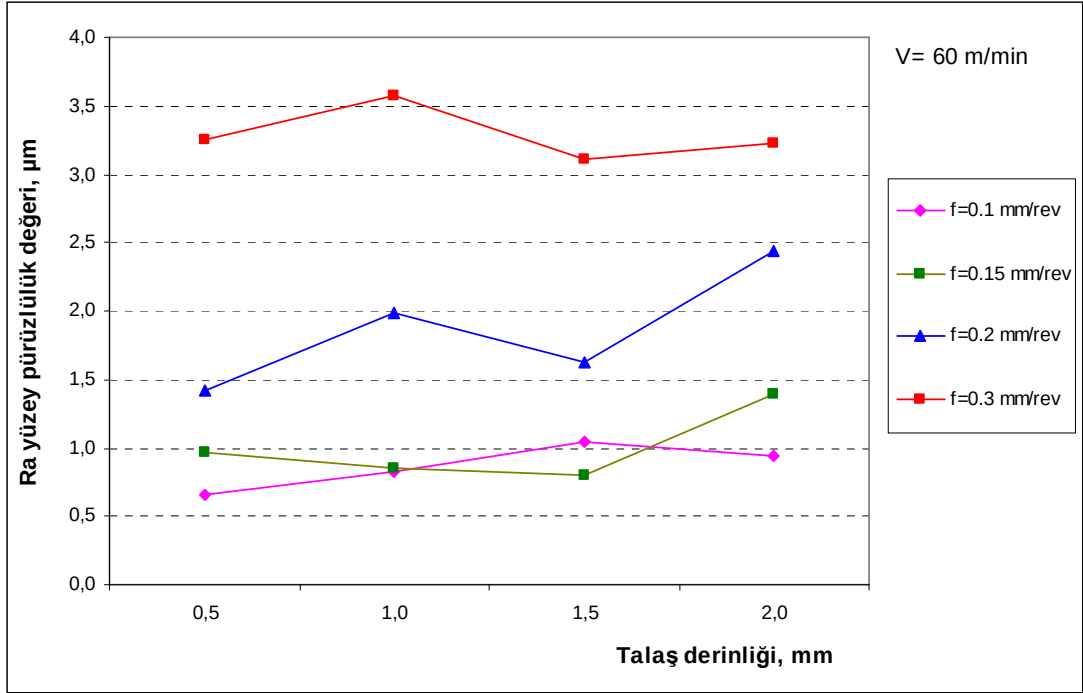
Şekil 7.4. V= 30 m/min sabit kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerinin fonksiyonu



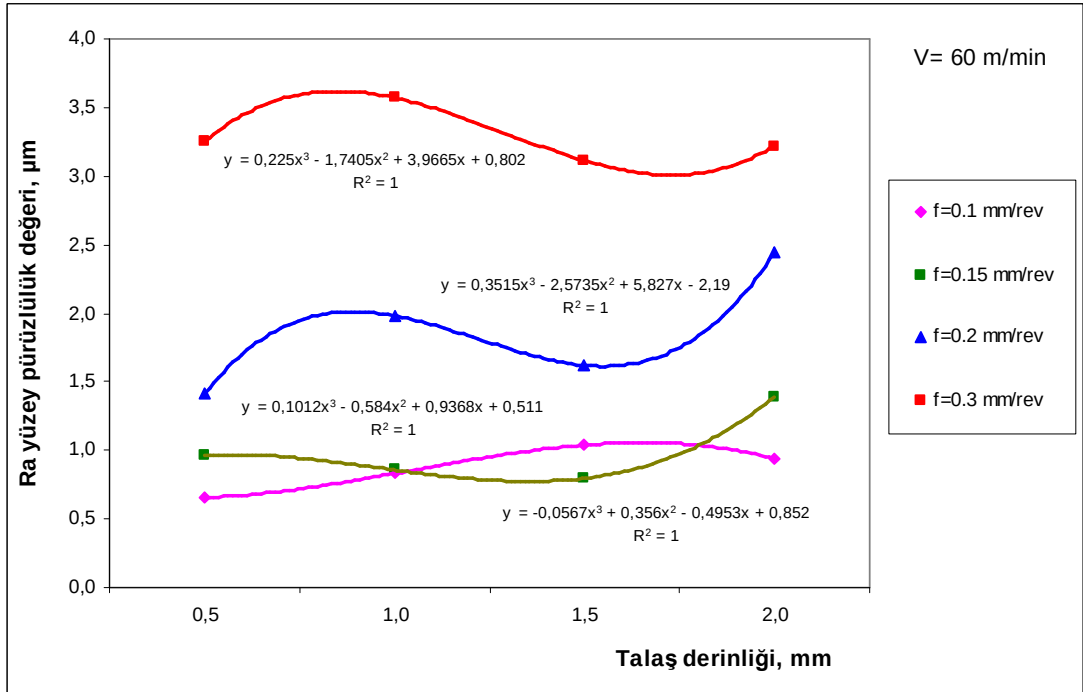
Şekil 7.5. V= 45 m/min sabit kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülük grafiği



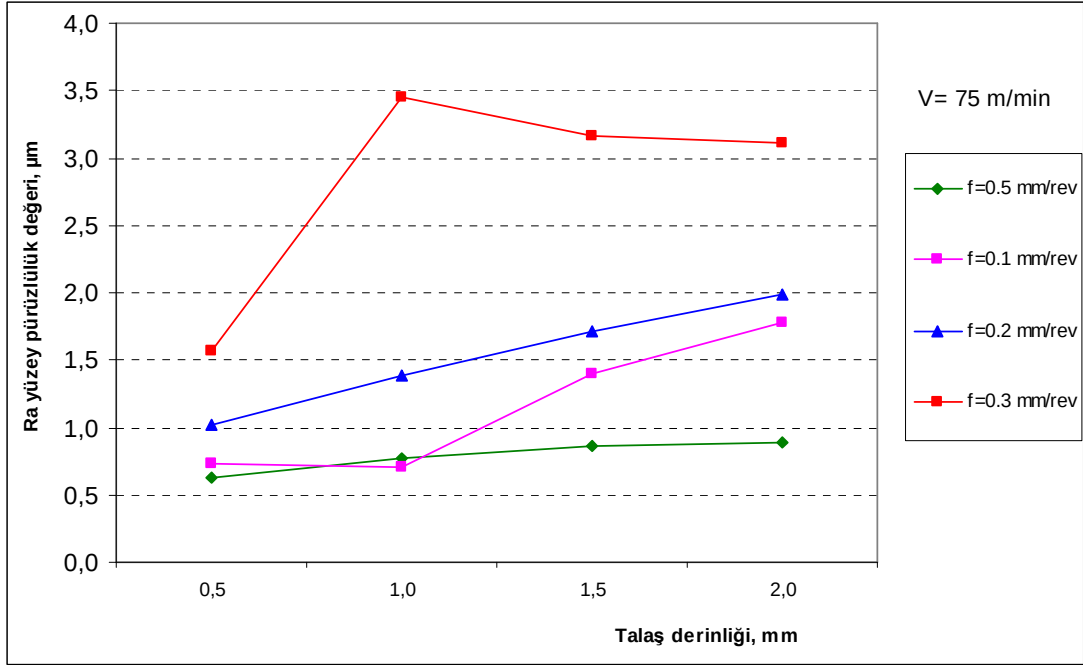
Şekil 7.6. V= 45 m/min sabit kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerinin fonksiyonu



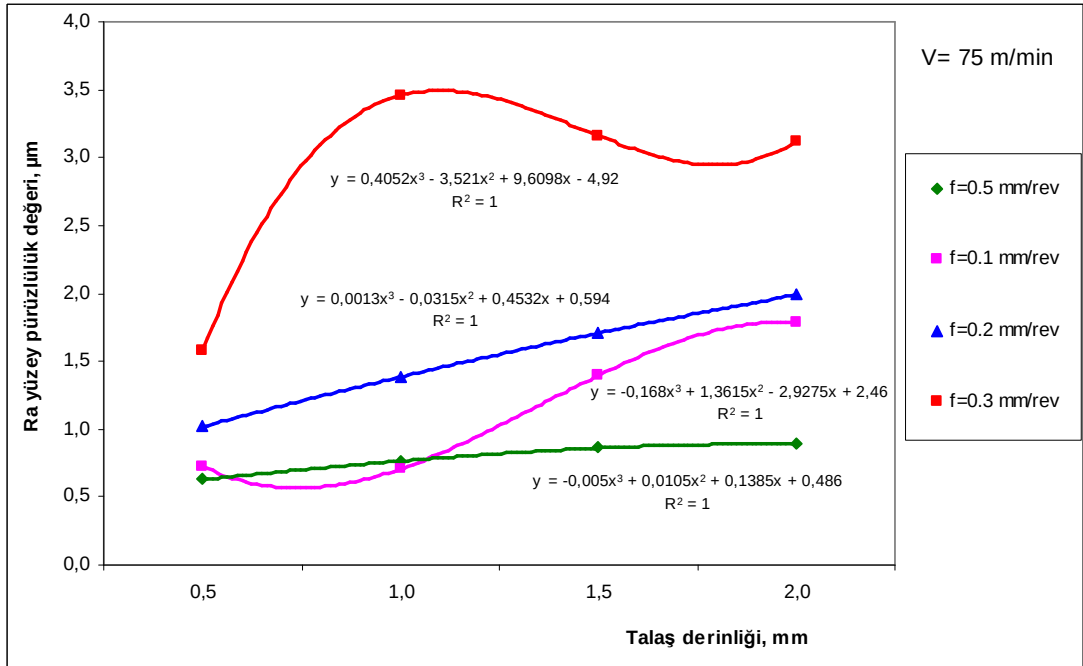
Şekil 7.7. V= 60 m/min sabit kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülük grafiği



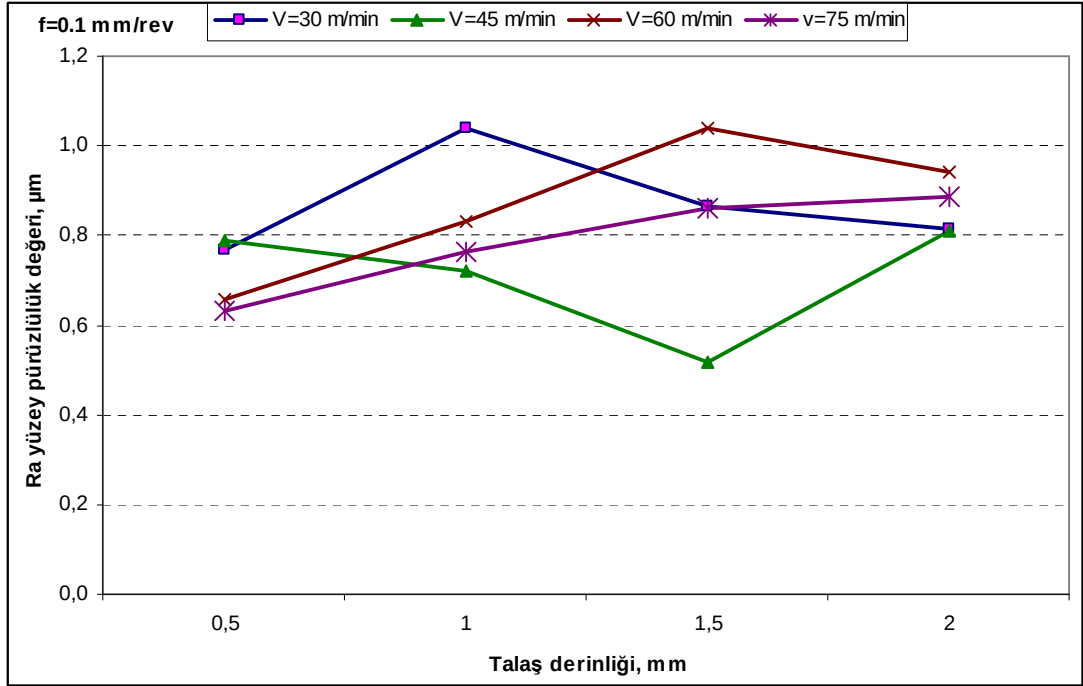
Şekil 7.8. V= 60 m/min sabit kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerinin fonksiyonu



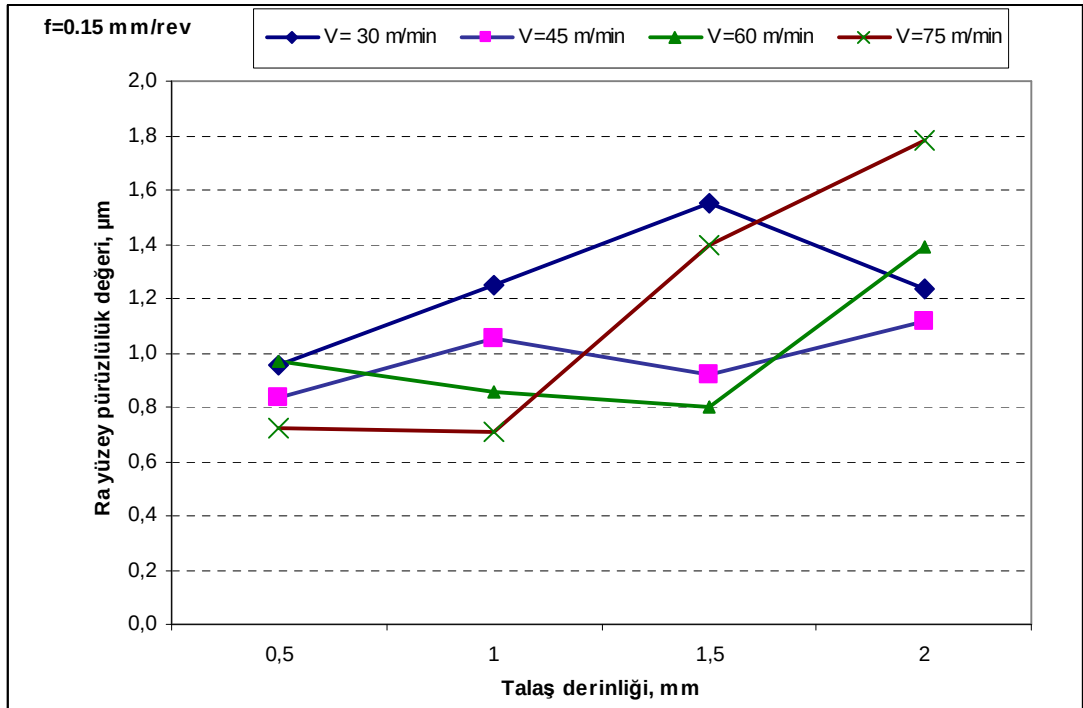
Şekil 7.9. V= 75 m/min sabit kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülük grafiği



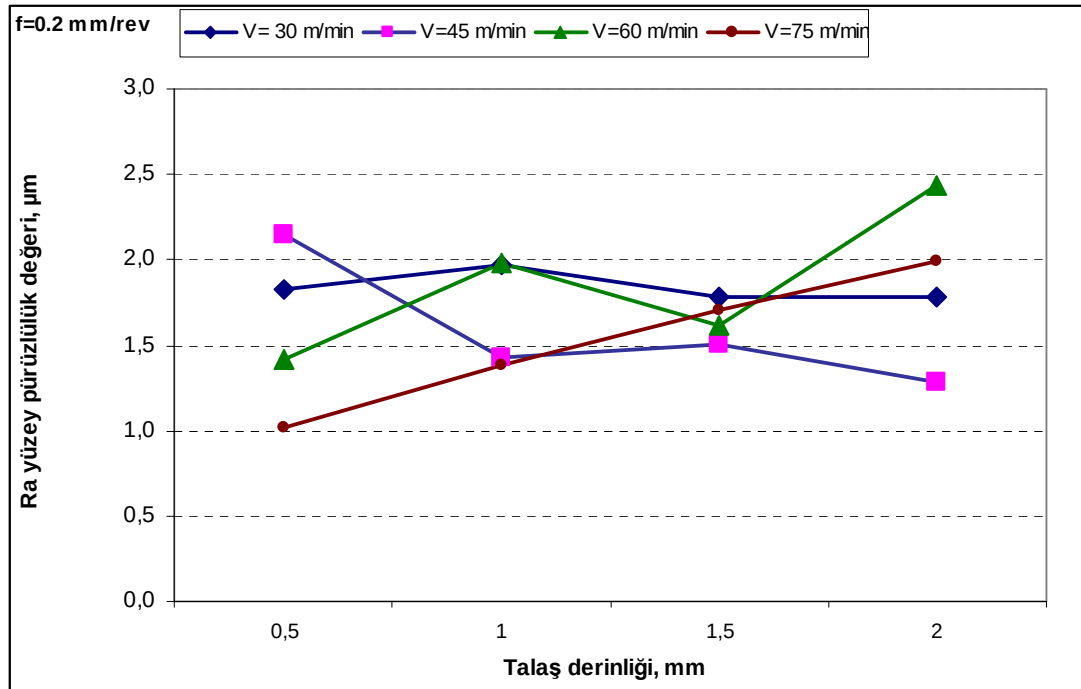
Şekil 7.10. V= 75 m/min sabit kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerinin fonksiyonu



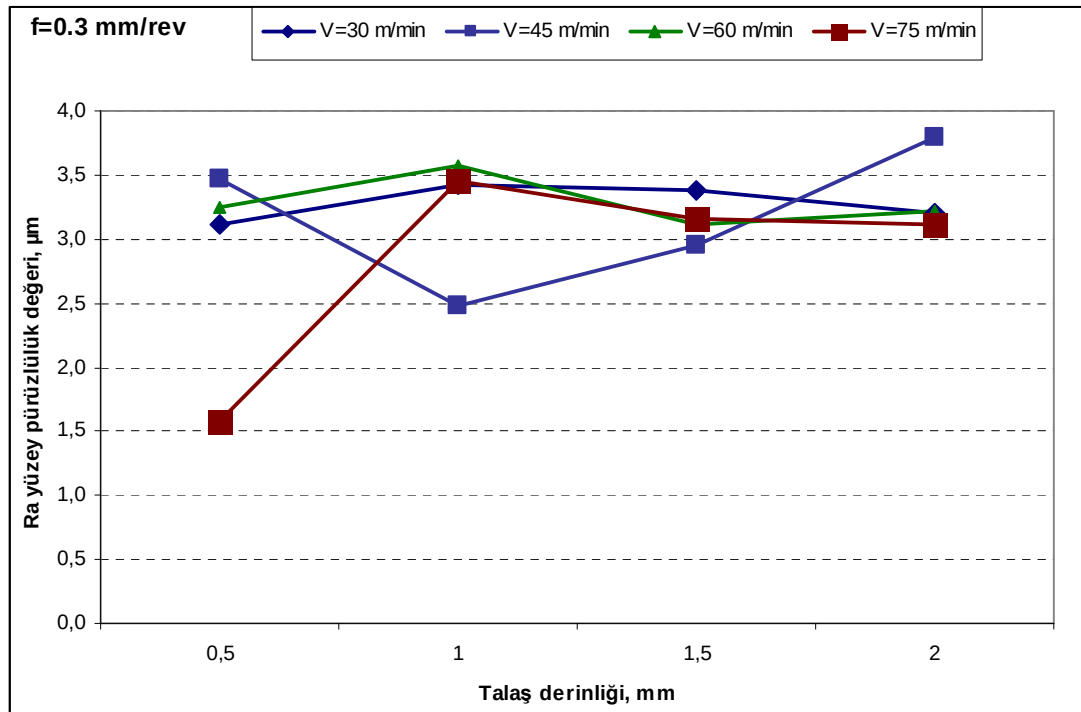
Şekil 7.11. $f=0.1$ mm/rev sabit ilerleme oranında talaş derinliği ve kesme hızına bağlı oluşan yüzey pürüzlülük grafiği



Şekil 7.12. $f=0.15$ mm/rev sabit ilerleme oranında talaş derinliği ve kesme hızına bağlı oluşan yüzey pürüzlülük grafiği



Şekil 7.13. $f=0.2$ mm/rev sabit ilerleme oranında talaş derinliği ve kesme hızına bağlı oluşan yüzey pürüzlülük grafiği



Şekil 7.14. $f=0.3$ mm/rev sabit ilerleme oranında talaş derinliği ve kesme hızına bağlı oluşan yüzey pürüzlülük grafiği

8. TARTIŞMA

Tornalama işlemleri için uzun talaşlar verimliliğin azalmasına neden olmaktadır. Günümüz imalat işlemlerinde kesme şartlarını değiştirerek, kesici takımlar üzerinde farklı geometrilerdeki talaş kırıcıları kullanarak veya özel takım tutucu tasarımları yapılarak talaş kırma işlemi yapılmaktadır. Kesme şartlarını değiştirerek talaş kırmak için ilerleme oranı ve talaş derinliği artırılırken kesme hızının düşürülmesi gerekmektedir. Ancak kesme şartlarını değiştirmek birçok malzemenin işlenmesi sırasında takım ömrü bakımından iyi sonuç vermemektedir. Ayrıca işlenen malzeme için uygun olmayan ilerleme oranı ve talaş derinliği de yüzey kalitesinin bozuk çıkmasına neden olmaktadır. Yüksek ilerleme oranı ve büyük talaş derinliği kullanarak talaş kırılabilir, son bitirme yüzey işlemlerinde iyi bir yüzey kalitesi elde etmek için ilerleme oranını düşürmek talaş derinliğini ise 1 mm nin altında ayarlamak gerekmektedir. Bu şartlarda ise sanayide yaygın olarak kullanılan sünek çeliklerde kesici takımların üzerinde mevcut talaş kırıcılarla talaşın kırılmadığı bilinmektedir. İmalat işlemlerinde talaş verimli bir şekilde kırmak için kesici uç firmaları tarafından sürekli araştırmalar yapılmakta farklı talaş kırma geometrisine sahip kesici uçlar piyasaya sürülmektedir. Kesici uç firmalarının ürettiği bu kesiciler, çoğu malzemelerde talaş kırmada yetersiz kaldığı için araştırmacılar tarafından özel talaş kırıcı ve takım tutucu tasarımları yapılarak talaş kırma çalışmaları yapılmaktadır.

J.D. Kim, O.D. Kweun, 1mm nin altında sünek çeliklerde talaş kırmak için takım tutucunun üzerine özel bir talaş kırıcı tasarımı yapmışlar ve kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmada, düşük kesme hızlarında daha büyük bir alanda daha verimli talaş kırma olduğu, ilerleme oranı artırılır ve kesme açısı azaltılırsa talaş kırma şartlarının iyileşeceğini belirtmişlerdir. Kim ve Kweun'in yaptığı tasarım ile inconel 718 süper alaşımlı çelik üzerinde yaptığımız pilot deneylerde iyi bir sonuç elde edilememiştir. Talaşın çok sünek yapısından dolayı talaşın her işleme şartı altında bir yol bulup sürekli olarak akmaya devam ettiği tespit edilmiştir. 1 mm ve üzeri talaşlarda talaşın akmaya devam ettiği 1 mm'nin altındaki talaşlarda ise kesici

üzerinde yığma yaparak ısıya neden olduğu bir müddet sonrada iş parçasına dolaştığı görülmüştür.

Ezugwu, E. O., Bonney, J tarafından (2004) yapılan çalışmada yüksek basınçlı soğutucu desteği ile kaplamalı karbür kesici uç kullanılarak inconel 718 işlenmesi deneyi gerçekleştirilmiştir. Inconel 718 üç karışımli PVD kaplamalı (TiCN/Al₂O₃/TiN) SNMG 12 04 12 karbür takımla konvansiyonel ve değişik yüksek basınçlarda (203 bara kadar) soğutucu ile 50 m/min lik hıza kadar işlenmiştir. Bu çalışma ile takım ömrü, takım aşınması, yüzey kalitesi ve bileşke kuvvetler ölçülmüş ve yüksek basınçta ortaya çıkan talaş yapısı hakkında bir değerlendirme yapılmıştır. 150 bara kadar düşük soğutma basıncı ile inconel 718 işlendiğinde uzun sürekli spiral talaşlar oluşurken (Şekil 5.3a), 203 bar soğutma basıncı ile işleme yapıldığında daha küçük parçalanmış talaşlar ortaya çıkmıştır. V=20 m/min kesme hızında konvansiyonel işlemede takım ömrü 30 dakika, 110 bar basınçta 33 dak. 150 bar basınçta 35 dak. 203 bar basınçta ise 17 dakika olduğu tespit edilmiştir. 20.3 Mpa değerine kadar soğutma basıncı ile kaba işleme şartları altında Inconel 718 işlendiğinde elde edilen sonuçlar kıyaslandığında seramik takımların performansı kesme derinliği bölgesinde aşırı çentikten dolayı önemli oranda azalmıştır. Yüksek basınçta talaş kırılabilirliği artarken takım ömründe azalma meydana gelmiştir. Ancak, bazı durumlarda kesme sıvısının kullanılması ters etki yapmaktadır. Kesme sıvısı BUE' in oluşumunun başladığı yerde kesme noktasında sıcaklığı düşürür. Bu takım üzerine kaynamış malzeme talaş kırıcı profilini geçici olarak değiştirir veya daha uzun süre devam etmesini sağlar. Karbürli uç kullanıldığı zaman, termal şok etkisi nedeni ile sıvı soğutması kesici ucun kırılma riskini artırabilir. Bunun için kesici takım üreticisi firmalar uygun olmadıkça soğutma sıvısının kullanılmasını tavsiye etmemektedirler. Ayrıca sisteme bu basınçta soğutucu gönderebilmek için CNC tezgâha daha güçlü motor, pompa ve elemanlarının ilave edilmesi gerekmektedir. Sadece talaş kırmak için yapılacak bu eklemeler maliyeti arttıracaktır.

M. Nakamura, Y. Mitani ve arkadaşları (2000) yaptıkları bir çalışma ile titreşimli ilerleme ile kesme yaparak talaş kırmak için özel bir takım tutucu tasarımı

yapmışlardır. Yapmış oldukları bu tasarım ile her işleme şartında talaş kırılmış ve yüzey pürüzlülüğünü $R_z = 6.3 \mu m$ olarak ölçmüşlerdir. Tasarlanan bu sistemin CNC torna tezgâhlarına uyarlanabilirliği ile ilgili bir açıklamada bulunulmamıştır.

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tasarlanan talaş kırma sistemi ile yapılan deneylerde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Inconel 718 süper alaşımlı çeliğin işlenmesi sırasında $f=0.10, 0.15, 0.20, 0.30$ mm/rev ilerleme oranları, $a=0.5, 1, 1.5, 2$ mm talaş derinliği ve $V=30,45,60,75$ m/min kesme hızlarında yapılan deneylerde öncelikle talaş kırıcı kullanmadan negatif ve pozitif takım tutucu kullanılmıştır. Yapılan deneylerde bütün işleme şartları altında talaşın sürekli olarak çıktığı ve işleme esnasında takım, talaş ve iş parçası ara yüzünde çok yüksek bir ısının olduğu tespit edilmiştir. Özellikle $f=0.10$ mm/rev lik ilerlemede kullanılan bütün talaş derinliklerinde ve kesme hızlarında talaşın akkor halinde çıktığı görülmüştür.
2. Tasarlanan talaş kırıcı ile hem negatif takım tutucuda hem de pozitif takım tutucu ile deneyde kullanılan bütün işleme şartları altında talaşlar başarılı bir şekilde kırılmıştır.
3. Tasarlanan talaş kırıcı hem klasik torna tezgâhında hem de CNC torna tezgâhında kullanılabilmektedir. Dinamik talaş kırıcı kesici ucun üzerinde dönmektedir. Kesici uç değiştirilmesi gerektiğinde talaş kırıcıyı takım tutucuya tutturun vidalı gövde üzerindeki deliğe 6 mm çapında bir mil takılarak talaş kırıcının kesici üzerindeki pozisyonu bozulmadan hızlı bir şekilde kesici uç değiştirilebilmektedir
4. Tasarlanan talaş kırıcı ile DC motor düşük devirde çalıştırıldığında talaş kıvrım radyüsünde ve talaş boyunda artış olduğu görülmüştür. DC motor devrinin artması ile birlikte talaş parçalanması artarken talaş boyunun da kısaldığı tespit edilmiştir.
5. Düşük 0.20 mm/rev ilerleme oranının ve 1 mm talaş derinliğinin altında başarılı bir talaş kırılımı elde etmek için talaş kırıcının konumunun dikeyde maksimum 0.25 mm (en küçük talaş derinliğinin yarısı) yatayda ise 2.5 mm (maksimum talaş derinliğinden 0.5 mm geride) olması gerekmektedir. Bu kesme şartları için konumu

ayarlanan çakının diğer işleme şartlarının tamamında başarılı bir talaş kırılımı elde ettiği görülmüştür.

6. İlerleme oranı arttıkça talaş radyüsünün ve talaş boyunun uzadığı, bu uzama miktarının ise rahatsız etmeyecek düzeyde olduğu görülmüştür. İlerleme oranına bağlı olarak çakının dönüş hızı da arttırıldığında talaş boyunun kısaldığı tespit edilmiştir.

7. Tasarlanan talaş kırıcı ile negatif ve pozitif takım tutucularda deneyde kullanılan işleme şartlarında yüksek devirli dönen dinamik talaş kırıcı ile aynı talaş kırılımı elde edilmiştir. Ancak negatif takım tutucunun açısından dolayı 0,5 mm ve 1 mm talaş derinliğinde zaman zaman çakı ile iş parçası arasına talaş sıkışması olduğu görülmüştür. Pozitif takım tutucuda ise herhangi bir olumsuz durum oluşmamıştır.

8. Inconel 718'in talaşı sürekli ve yüksek sıcaklıkta olduğundan dolayı hızla kesme bölgesinden uzaklaştırılması gerekmektedir. Kalın talaşlarda oluşan ısı miktarı daha büyük ve soğuma ince olan talaşlarınkinden daha yavaş olmaktadır. Isı talaşta daha uzun süre muhafaza edildiği için talaş tokluğu artmakta ve bu da talaş kırılma eğilimini azaltmaktadır. Tasarlanan dinamik talaş kırıcı talaşı malzemeden çıktığı noktaya çok yakın kırdığı ve kesme bölgesinden parçalayarak uzaklaştırdığı için talaşın kesiciye yapışmasını (BUE) engellediği görülmüştür.

9. Negatif takım tutucu ile talaş kırıcısız yapılan işlemede $V=75$ m/min kesme hızı, $f=0,10$ mm/rev ve $a=0,5$ mm talaş derinliğinde $Ra=0,690 \mu m$ olarak ölçülmüştür.. 1 mm talaş derinliğinde yapılan işlemlerde $V=45$ m/min kesme hızı, $f=0,10$ mm/rev ilerleme oranında $Ra=0,460 \mu m$ olarak ölçülmüştür. $V=75$ m/min kesme hızı, $f=0,10$ mm/rev ve $a=1,5$ mm talaş derinliğinde $Ra=0,320 \mu m$ ile talaş kırıcısız yapılan işlemede en iyi yüzey kalitesi elde edilmiştir. 2mm talaş derinliğinde yapılan işlemlerde $V=45$ m/min kesme hızı, $f=0,10$ mm/rev ilerleme oranında $Ra=0,790 \mu m$ olarak ölçülmüştür. Talaş kırıcısız yapılan deneylerde yüzey pürüzlülüğü yönünden en kaba yüzey $a=0,5$ mm talaş derinliği, $V=30$ m/min kesme hızı ve $f=0,30$ mm/rev

ilerleme oranında $Ra=1,890 \mu m$ olarak ölçülmüştür. Talaş kırıcısız yapılan deneylerde yüzey pürüzlülüğünün ilerleme oranına ve talaşın akış şekline bağlı olarak değiştiği görülmüştür.

10. Negatif takım tutucu ile dinamik talaş kırıcı kullanarak $V=75$ m/min kesme hızı, $f=0,10$ mm/rev ve $a=0,5$ mm talaş derinliğinde $Ra=0,456 \mu m$ ile en iyi yüzey kalitesi elde edilmiştir. 1 mm talaş derinliğinde yapılan işlemlerde $V=75$ m/min kesme hızı, $f=0,10$ mm/rev ilerleme oranında $Ra=0,690 \mu m$ olarak elde edilmiştir. 1,5 mm talaş derinliğinde yapılan işlemlerde $V=75$ m/min kesme hızı, $f=0,10$ mm/rev ilerleme oranında $Ra=0,699 \mu m$ olarak elde edilmiştir. 2 mm talaş derinliğinde yapılan işlemlerde $V=60$ m/min kesme hızı, $f=0,15$ mm/rev ilerleme oranında $Ra=0,469 \mu m$ olarak elde edilmiştir. Dinamik talaş kırıcı ile yapılan deneylerde yüzey pürüzlülüğü yönünden en kaba yüzey $a=1$ mm talaş derinliği $V=30$ m/min kesme hızı, $f=0,30$ mm/rev ilerleme oranında $Ra=3,341 \mu m$ olarak elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün ilerleme oranına ve talaş derinliğine bağlı olarak arttığı görülmüştür.

11. Pozitif takım tutucuyla $V=60$ m/min kesme hızı, $f=0,10$ mm/rev ve $a=0,5$ mm talaş derinliğinde $Ra=0,660 \mu m$ ile en iyi yüzey kalitesi elde edilmiştir. 1 mm talaş derinliğinde yapılan işlemlerde $V=75$ m/min kesme hızı, $f=0,1$ mm/rev ilerleme oranında $Ra=0,660 \mu m$ olarak elde edilmiştir. 1,5 mm talaş derinliğinde yapılan işlemlerde $V=30$ m/min kesme hızı, $f=0,10$ mm/rev ilerleme oranında $Ra=0,560 \mu m$ olarak elde edilmiştir. 2 mm talaş derinliğinde yapılan işlemlerde $V=45$ m/min kesme hızı, $f=0,10$ mm/rev ilerleme oranında $Ra=0,500 \mu m$ olarak elde edilmiştir. Yapılan deneylerde yüzey pürüzlülüğü yönünden en kaba yüzey $a=1$ mm talaş derinliği $V=75$ m/min kesme hızı, $f=0,30$ mm/rev ilerleme oranında $Ra=1,700 \mu m$ olarak elde edilmiştir. Talaş kırıcısız yapılan deneylerde yüzey pürüzlülüğünün ilerleme oranına ve talaşın akış şekline bağlı olarak değiştiği görülmüştür.

12. Pozitif takım tutucuyla $V=75$ m/min kesme hızı, $f=0,10$ mm/rev ve $a=0,5$ mm talaş derinliğinde $Ra=0,630 \mu m$ ile en iyi yüzey kalitesi elde edilmiştir. 1 mm talaş

derinliğinde yapılan işlemlerde $V=75$ m/min kesme hızı, $f=0,15$ mm/rev ilerleme oranında $Ra=0,707 \mu m$ olarak elde edilmiştir. 1,5 mm talaş derinliğinde yapılan işlemlerde $V=45$ m/min kesme hızı, $f=0,10$ mm/rev ilerleme oranında $Ra=0,518 \mu m$ olarak elde edilmiştir. 2 mm talaş derinliğinde yapılan işlemlerde $V=45$ m/min kesme hızı, $f=0,10$ mm/rev ilerleme oranında $Ra=0,810 \mu m$ olarak elde edilmiştir. Yapılan deneylerde yüzey pürüzlülüğü yönünden en kaba yüzey $a=2$ mm talaş derinliği $V=45$ m/min kesme hızı, $f=0,30$ mm/rev ilerleme oranında $Ra=3,796 \mu m$ olarak elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün ilerleme oranına ve talaş derinliğine bağlı olarak arttığı görülmüştür.

13. Yüzey kalitesi bakımından negatif açılı takım tutucuyla pozitif açılı takım tutucuyla kıyaslandığında Negatif takım tutucuyla $V=75$ m/min kesme hızı, $f=0,10$ mm/rev ve $a=0,5$ mm talaş derinliğinde $Ra=0,456 \mu m$ ile en iyi yüzey kalitesi elde edilirken, Pozitif takım tutucuyla $V=75$ m/min kesme hızı, $f=0,10$ mm/rev ve $a=0,5$ mm talaş derinliğinde $Ra=0,630 \mu m$ ile en iyi yüzey kalitesi elde edilmiştir.

14. Her iki takım tutucuda talaş kırıcıda kullanılan DC motorun yönü işlenen yüzeye doğru döndüğünde kırılan talaşların yüzeye çarparak ve takım tutucu ile iş parçası arasına sıkışarak yüzeyi çizdiği görülmüştür. DC motorun dönüş yönü işlenmemiş yüzeye doğru olduğunda ise talaşlar işlenen yüzeye hiçbir zarar vermeden uzaklaştırılmıştır.

15. Tasarlanan talaş kırıcı sisteme ekonomik olarak fazla bir maliyet getirmemektedir. Hem klasik torna tezgâhlarında hem de CNC tezgâhlarında sorunsuz çalışabilmektedir. Inconel 718 malzemede her türlü işleme şartlarında oluşan talaşı kırabildiğinden dolayı bilinen bütün sünek malzemelerde talaşı kolaylıkla kırabileceği düşünülmektedir.

16. Talaş kırıcı 8,500 ve 20,000 devirde dönerken hava akımı meydana gelmektedir. Talaş, dinamik talaş kırıcısız akkor halinde çıkarken, dinamik talaş kırıcı etkisiyle oluşan hava akımından dolayı soğumakta ve normale dönmektedir

9.1. Öneriler

- Tasarlanan dinamik talaş kırıcı ile talaş kesme bölgesinden beklemeden uzaklaştırıldığından dolayı kesme kuvvetleri üzerinde nasıl bir etki yaptığı araştırılabilir.
- Tasarlanan dinamik talaş kırıcı ile normal akışkanlı soğutma kullanarak negatif ve pozitif takım tutucuda takım ömrü araştırılabilir.
- Tasarlanan sistem ile birlikte basınçlı soğutucu kullanarak takım ömrü üzerinde ne tür etki yaptığı araştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Choudhury, I. A., El-Baradie, M. A., “Machining nickel base super alloys: inconel 718”, **Proc Inst. Mech. Eng.**,(Part B): 195-205 (1997).
2. R. F. Muraca, J. S. Whittick, “Inconel Alloy 718, Materials Data Handbook 2nd edition”, **NASA** 1-15 (1972).
3. R. R. Boyer, “An overview on the use of titanium in aerospace industry”, **Journal of Material Science and Engineering**, Part A213 103-114 (1996)
4. Çakır, M.C., “Modern talaşlı imalatın esasları”, **VİPAŞ**, 239-250 (1999).
5. Ezugwu, E. O., Bonney, J., Yamane, Y., “An overview of the Machinability of aero engine alloys”, **Journal of Materials Processing Technology**, 134, 233-253 (2003).
6. Şahin, Y., “Talaş kaldırma prensipleri 2”, **Nobel Yayın Dağıtım**, Ankara, 134-144 (2001).
7. Altın, A., “Inconel 718 süper alaşımlı çeliğin işlenebilirliğinin incelenmesi”, doktora tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-35, 138-142 (2005).
8. Ezugwu, E. O., Bonney, J., “Effect Of High-Pressure Coolant Supply When Machining Nickel-Base, Inconel 718, Alloy With Coated Carbide Tools”, **Journal of Materials Processing Technolog**, 153–154, 1045–1050 (2004).
9. Ezugwu, E. O., Wanga, Z. M., Machado A. R., “The Machinability of nickel-base alloys: a review”, **Journal of material Processing Technology**, 86, (1-3): 1-16 (1998).
10. Akmandor İ. S, Erdem M. S., “ Uçak Motoru Ve Elektrojen Gruplarındaki Gaz Türbini Teknolojisindeki İlerlemeler, Malzeme, Yüzey Teknolojileri Ve İmalat Süreçlerindeki Gelişmeler”, **Mühendis ve Makina** – 528: ocak 9-15 (2004).
11. I.A Choudhury, M.A. El-Baradie, “Machinability of nickel base superalloys: a general review”, **Journal of material Processing Technology**, 77 (1-3): 278-284 (1998).
12. S. Kalpakjian, “Manufacturing Processes for Engineering Materials”, 2nd ed., **Addison-Wesley publishing company**, 30-150 (1991).
13. Niemi, R.M., “Integrity predietion”, **SME Technical Paper**, Dearbon, Michigan, 46 (1971).

14. Choudhury, I. A., "Machinability studies of high strength materials and the development of a data base system", PhD thesis, **Dublin City University**, 1-140 (1995).
15. Brandt. G., Gerendas, A., Mikus, M.W., "Car mechanics of ceramic cutting tools when machining ferrous and non-ferrous alloys", **J. European Ceramic Soc.**,6 (5): 273-290 (1990).
16. Richards, N., Aspinwall, D., "Use of ceramic tools for machining nickel-based alloys", **Int. J. Mach. tools Manuf**, 294, 575-588 (1989).
17. Wertheim. R., Rotberg J., Influence of high-pressure flushing through the rake face of the cutting tool, **Annu. CIRP** 41 (1): 101–106 (1992).
18. Crafoord R., Kaminski J., Lagerberg S., Ljungkrona O., Wretland A., "Chip control in tube turning using a high-pressure water jet", **Proc. IMechE**, 213 (Part B) 761–767 (1999).
19. Ezugwu, E. O., Bonney, J., Fadare, A., Sales, W.F., "Machining of nickel-base, Inconel 718, alloy with ceramic tools under finishing conditions with various coolant supply pressures", **Journal of Materials Processing Technology** 162–163 609–614 (2005).
20. Almond E.A., "Towards improved tests based on fundamental properties, in: proceedings of the international Conference on improved Performance of Tool materials", **The National Laboratory and the Metals Society**, Teddington, Middlesex, ,161-169 April 28-29 (1981).
21. Kramer B.M., "On tool materials for high speed machining".**J.Eng.Ind.**109: 87-91 (1987).
22. Kitagawa T., A. Kubo, Maekawa K., "Temperature and wear of cutting tools in high-speed machining of inconel 718 and Ti-6Al", **Wear**, 202 142-148 (1997).
23. Şahin, Y., "Talaş kaldırma prensipleri 1", **Nobel Yayın Dağıtım** , Ankara, 335-495 (2000).
24. Sadik M.I., Lindsström B., "The effect of restricted contact length on tool performance", **J.Mater. Process. Technol**, 48 275-282 (1995).
25. Chakoraborty A., Ray K.K., Bhaduri S.B, "Comparative wear behavior of ceramic and carbide tools during high speed machining of steel", **Mater.Manufac.Process.** 15 (2) 269-300 (2000).
26. Edwards R., "Cutting Tools", **The Institute of Materials**, The University Pres, Cambridge, 30-150 (1993).

27. Ezugwu E.O., Wallbank J., "Manufacture and properties of ceramic cutting tools", ***Mater. Sci. Technol.*** 3 881-887 (1987).
28. Zone L., Din-Yan C., "A study of cutting with CBN tools", ***J. Mater. Process. Technol.*** 49 :149-194 (1995).
29. Ezugwu E.O., Okeke C.I., "Effect of coating materials on the Machinability of a nickel base, C-263, alloy", ***Tribol. Trans.*** 43 (3) 549-553 (2000).
30. Ezugwu E.O., Wang Z.M., "Wear analysis of coated carbide tools when machining nickel base, Inconel 718 alloy", ***Surf. Modif. Technol., IOM*** 14: 279-286 (2001).
31. Jun Z., Jianxin D., Jianhua Z., Xing. A., "Failure mechanisms of a whisker-reinforced ceramic tool when machining nickel-based alloys", ***Wear***, 208 : 220-225 (1997).
32. Hackenberger L.B., Pilione L.J., Messier R., Matarotta F.C., Ottaviani G., (Eds.), "Science and Technology of Thin Films", ***World Scientific.***, 121 (1995).
33. Sandvik Coromant El kitabı, "Talaşlı imalat teknik klavuzu", ***Sandvik Coromant***, 5-14 (2005)
34. Stabler V.G., "The Chip Flow Law and its Consequence", ***Proc. 5th International Machine Tool Design and Research Conference***, Birmingham, UK, 243-251 (1964).
35. Spaans C. "The Fundamentals of Three-Dimensional Chip Curl, Chip-breaking and Chip Control", ***Doctoral Thesis***, TH Delft, 5-80 (1971).
36. Fang N., "Kinematic Characterization of Chip Lateral-Curl - The Third Pattern of Chip Curl in Machining", ***ASME Journal of Manufacturing Science and Technology***, in press.(2001)
37. Nakayama K., "Chip Curl in Metal Cutting Process", ***Bulletin of the Faculty of Engineering***; Yokohanta National Univ., 11: 1-13 (1962).
38. Z. Li and Y. Rong, "A Study on Chip-breaking Limits in Machining", ***Machining Science and Technology***, 3(1) : 25-48 (1999),
39. Jawahir S., "The Tool Restricted Contact Effect as a Major Influencing Factor in Chip-breaking", ***Annals of the CIRP***, 37 : 121-126 (1988).
40. Zhou L., Guo H., Rong Y., "Machining Chip Breaking Prediction", ***4th International Machining & Grinding Conference, of SME***, SME Troy, Michigan, May 7-10 601 (2001).

41. Zhou L., "Machining Chip-Breaking Prediction with Grooved Inserts in Steel Turning", **Ph.D. Research dissertation**, 3-30 (2001).
42. Nakayama K., Arai M., "The Breakability of Chip in Metal Cutting", **Proc. Int. Conf. On Manufacturing Engineering**, Melbourne, Australia, 6-10 (1990).
43. Jawahir S., van Luttervelt C. A., "Recent Developments in Chip Control Research and Applications", **Annals of the CIRP**, 42(2) : 659-685 (1993).
44. Avanessian A., "An Analysis of The Effect of 3-D Groove Insert Design on Chip Breaking Chart", **A Thesis Submitted to the faculty of Worcester Polytechnic Institute**, January, 2-24, (2005)
45. Young H. T., Mathew P., Oxley P.L.B., "Allowing for nose radius effects in predicting the chip flow direction and cutting forces in bar turning", **Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers** 201(C3): 213-226 (1987).
46. Shinozuka J., "Chip Breaking Analysis from the Viewpoint of the Optimum Cutting Tool Geometry Design". **Journal of Materials Processing Technology**. 62345-351 (1996).
47. Nakayama K., "A Study on Chip-breaker", **Bulletin of Japanese Society of Mechanical Engineers**, 142-150 (1962).
48. Kramer B.M., "On tool materials for high speed machining", **J. Eng.Ind.** 109 87-91 (1987).
49. Richards, N., Aspinwall, D., "Use of ceramic tools for machining nickel-based alloys", **Int. J. Mach. Tools Manuf.**, 294, 575-588 (1989).
50. Felloni, L., Gatto. A., Lepolito, R., Iuliano, L., "Wear mechanisms of a SiC whiskers reinforced ceramic tool in high speed machining of Inconel 718 and C 40 Steel", **1 st AITEM Congress, Ancona**, 21 (1993).
51. Kim J.D., Kweun O.D., "A Chip-Breaking System For Mild Steel In Turning", **Int. J. Mach. Tools manufacture.**, 607-617 (1997).
52. Nakamura M., Mitani Y., Asakura S., Shibuya T., "The development of chip parting processing technology oscillatory feed cutting", **JSAE Review** 21: 555 559 (2000).
53. Shane Y. Hong, Markus I., Woo-cheol J., "New cooling approach and tool life improvement in cryogenic machining of titanium alloy Ti-6Al-4V", **International Journal of Machine Tools & Manufacture** 41 : 2245-2260 (2001).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KARABULUT Şener
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 15.05.1975 Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 736 06 98
 Faks : 0 (312) 736 00 42
 e-mail : karabulut06@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Makine Eğitimi	1996
Lise	Abidinpaşa Endüstri Meslek Lisesi	1992

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1996 -2005	Tirebolu Mesleki Eğitim Merkezi	Tesviye öğretmeni
2005-	Kızılcahamam Endüstri Meslek Lisesi	Müdür Yardımcısı

Yabancı Dil

İngilizce KPDS 75

Yayınlar

-

Hobiler

Bilgisayar teknolojileri, Bilgisayar yazılım, donanım, Futbol