

Nikel Esaslı Inconel 718 Süper Alaşımının
Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğünün
İncelenmesi

Diğer Tali

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Nisan 2010

Study Of Surface Roughness While
Turning Nickel Based Inconel 718
Superalloy

Dinçer Tali

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Mechanical Engineering

April 2010

Nikel Esaslı Inconel 718 Süper Alaşımının Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğünün
İncelenmesi

Diğer Tali

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
İmalat Konstrüksiyon Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Melih Cemal Kuşhan

Nisan 2010

ONAY

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Dinçer Tali'nin YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Nikel Esaslı Inconel 718 Süper Alaşımının Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Melih Cemal Kuşhan

İkinci Danışman :-

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof. Dr. Soner Alanyalı

Üye : Yrd. Doç. Dr. Melih Cemal Kuşhan

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hakan Gaşan

Üye : Yrd. Doç. Dr. M. Ertunç Tat

Üye : Yrd. Doç. Dr. Akile Tanatmış

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve
sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu çalışmada nikel esaslı Inconel 718 süper alaşımının tornalanmasında yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. İşlenen malzemelerin yüzey pürüzlülüğünün optimum düzeylerde olması, özellikle havacılık sektöründe aşırı kuvvet, sıcaklık ve zorlanmalara maruz kalan süper alaşımlar için çok büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle yapılan deney çalışmasında kesici uçların ve kesme parametrelerinin yüzey kalitesine etkileri incelenmiş ve literatür bulguları ile karşılaştırma imkanı sağlanmıştır. Deney çalışmasının yanı sıra benzer konulardan literatür çalışmaları özetlenmiş, süper alaşımlar ve özellikle nikel bazlı süper alaşımlar detaylı olarak anlatılmış, talaşlı imalat, tornalama ve süper alaşımların işlenebilirliği hakkında genel bilgi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Süper Alaşım, Inconel 718, Talaşlı İmalat, Tornalama, İşlenebilirlik, Yüzey Pürüzlülüğü, Yüzey Kalitesi

SUMMARY

In this study, surface roughness of a nickel based Inconel 718 superalloy on turning applications was examined. Optimum surface roughness values of machining materials are very important for the superalloys that withstand heavy forces, temperatures and compulsions, especially for the aerospace applications. Thus, in experimental study, effects of cutting tools and cutting parameters on surface quality was examined and compared with literature findings. Besides the experimental study, a general knowledge was given about some related literature studies, superalloys and especially nickel based superalloys, machining, turning and machining of superalloys.

Keywords : Superalloy, Inconel 718, Machining, Turning, Machinability, Surface Roughness, Surface Quality

TEŞEKKÜR

Öncelikle tüm tez çalışmalarım süresince bana her türlü desteği veren değerli danışmanım Sayın Melih Cemal Kuşhan'a, babam Şener Tali, annem Macide Tali ve eşim Özge Tali'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca deney sırasında her türlü fedakarlığı gösterip tezgah desteğini esirgemeyen Akbey Mühendislik personeline, Aksel Öztürk'e, Mustafa Özen'e, pratik, teorik bilgi birikimini benimle paylaşan Tusaş Motor Sanayi personeline ve değerli müdürüm Özgür Yaman'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ÇİZELGELER	xii
ŞEKİLLER	xiv
SİMGE VE KISALTMALAR	xviii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. SÜPER ALAŞIMLAR	14
3.1 Süper Alaşımların Gelişim Süreci.....	15
3.2 Süper Alaşımların Sınıflandırılması.....	19
3.3 Nikel Esaslı Süper Alaşımlar.....	20
3.3.1 Nikel Esaslı Süper Alaşımların Kimyasal Bileşenleri.....	20
3.3.2 Nikel Esaslı Süper Alaşımların Mikroyapısı.....	24
3.3.2.1 γ fazı.....	26
3.3.2.2 γ' fazı.....	27
3.3.2.3 Karbürler.....	28
3.3.2.4 Topolojik olarak sıkı paket (TSP) fazlar.....	29
3.3.3 Nikel Esaslı Süper Alaşımların Mukavemetlendirilmesi.....	30
3.3.3.1 Katı eriyik mukavemetlendirmesi.....	30
3.3.3.2 Çökelme sertleşmesi.....	31
3.3.3.3 Dağılım sertleşmesi.....	33
3.3.4 Nikel Esaslı Süper Alaşımların Isıl İşlemleri.....	33
3.3.4.1 Tavlama veya yumuşatma.....	33
3.3.4.2 Ergitme işlemi.....	34
3.3.4.3 Yaşlandırma / çökelme sertleşmesi.....	34

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.3.5 Nikel Esaslı Süper Alaşımların Gerilme – Kopma Özellikleri.....	35
3.3.5.1 Yüksek sıcaklıkta gerilme – kopma özellikleri.....	35
3.3.5.2 Isıl işlemin gerilme – kopma özelliklerine etkisi.....	36
3.3.6 Nikel Esaslı Süper Alaşımların Tek Kristal Dökümleri.....	37
3.3.6.1 Yönlü katılaştırmış nikel esaslı süper alaşımların tek kristal dökümleri.....	37
3.4 Demir Esaslı Süper Alaşımlar.....	40
3.5 Kobalt Esaslı Süper Alaşımlar.....	40
3.6 Süper Alaşım Inconel 718.....	42
4. TALAŞLI İMALAT.....	44
4.1 Talaşlı İmalatın Tarihçesi ve Gelişim Süreci.....	44
4.2 Talaş Kaldırma Mekanizması ve Talaş Tipi.....	48
4.3 Talaş Oluşumu.....	51
4.4 Yüzey Kalitesi.....	55
4.5 Talaş Kaldırma ve Talaşlı İmalatı Etkileyen Faktörler.....	59
4.5.1 Takım Geometrisi.....	59
4.5.1.1 Yanaşma açısının talaşlı imalata etkisi.....	61
4.5.1.2 Köşe radyüsünün talaşlı imalata etkisi.....	63
4.5.2 Talaş Geometrisi.....	67
4.5.3 Kesme Kuvvetleri ve Kesme Gücü.....	68
4.5.4 Kesme Koşulları.....	75
4.5.4.1 Kesme hızı.....	75
4.5.4.2 İlerleme hızı.....	75
4.5.4.3 Talaş Kalınlığı.....	76
4.5.5 Isı Oluşumu.....	78
4.5.6 Takım Aşınması.....	80
4.5.6.1 Aşınma mekanizmaları.....	81
4.5.6.2 Aşınma tipleri.....	84
4.5.7 Takım Ömrü.....	88

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.5.8 Takım Malzemeleri.....	90
4.5.9 Parça Malzemeleri.....	93
4.5.10 Kesme Sıvıları.....	94
5. TORNALAMA.....	95
5.1 Torna Tezgahları.....	96
5.2 Torna Takımları.....	99
5.2.1 Takım Geometrisi.....	99
5.2.2 Torna Takımlarının Konstrüksiyonu.....	101
5.3 Tornalamada Kesici Takım Seçimi.....	104
5.3.1 Uç Tespit Sistemi.....	105
5.3.2 Katerin Boyutu ve Tipi.....	106
5.3.3 Kesici Ucun Şekli.....	107
5.3.4 Kesici Ucun Büyüklüğü.....	109
5.3.5 Köşe Radyüsü.....	111
5.3.6 Kesici Ucun Tipi.....	112
5.3.7 Kesici Takım Malzemesi.....	114
5.3.8 Kesme Verileri.....	117
5.4 Talaş Kaldırma Kuvvetleri.....	117
5.5 Kesme ve Tezgah Gücü.....	119
5.6 Kesici Uç Tanımlama Sistemi.....	120
6. NİKEL ESASLI SÜPER ALAŞIMLARIN İŞLENEBİLİRLİĞİ.....	123
7. DENEY METODU ve KULLANILAN MATERYALLER.....	125
7.1 Deneyde Kullanılan Materyaller.....	125
7.1.1 Tezgah ve Kesme Sıvısı.....	125
7.1.2 İş Parçası ve Kullanılan Malzeme.....	126
7.1.3 Kesici Uç.....	128
7.1.4 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı.....	128

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
7.1.5 Mikroskop.....	129
7.2 Deney Metodu.....	130
8. DENEY ve ANALİZ.....	135
8.1 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Sonuçları.....	135
8.2 Analiz ve Değerlendirme.....	136
9. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	144
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	145
ÖZGEÇMİŞ.....	150

ÇİZELGELER

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Süper alaşımların gelişimi ve sıcaklık dayanımı.....	18
3.2 Süper alaşımların sınıflandırılması.....	19
3.3 Döküm nikel esaslı süper alaşımların ağırlık bakımından kimyasal bileşen oranları.....	21
3.4 Dövme nikel esaslı süper alaşımların ağırlık bakımından kimyasal bileşen oranları.....	22
3.5 Dövme nikel esaslı süper alaşımların bileşenleri ile sıcaklık kapasiteleri arasındaki ilişki.....	23
3.6 Döküm nikel esaslı süper alaşımların bileşenleri ile sıcaklık kapasiteleri arasındaki ilişki.....	23
3.7 Nikel esaslı süper alaşımlarda ve elektron boşluk numaralarında alaşım elementleri ve nikel arasında atomik çaplarda fark N_v^*	27
3.8 γ' fazının hacim oranının nikel esaslı süper alaşımların yüksek sıcaklık dayanımlarına etkisi.....	32
3.9 Yaşlandırma zamanı ve sıcaklığın Nimonic 80A'nın sertliğine etkisi.....	35
3.10 Dövme ve döküm nikel esaslı süper alaşımların kopma dayanımları (ksi).....	36
3.11 Yönlü katılaşmış süper alaşımların nominal kimyasal kompozisyonları.....	39
3.12 Düşük sıcaklıklarda Inconel 718'e ait elastikiyet (elastisite) modülleri.....	42
3.13 Inconel 718'e fiziksel katsayılar ve termal özellikler.....	43
4.1 (R_a) ile yüzey kalite simgesi arasındaki bağıntı.....	56
5.1 Uç şeklinin seçimini etkileyen faktörler.....	109
5.2 Yanaşma açısı – talaş derinliği – efektif kesici kenar uzunluğu ilişkisi.....	110
5.3 ANSI ve ISO standartlarına göre kesici uç tanımlama.....	121
7.1 Tezgahın teknik özellikleri.....	126
7.2 Inconel 718 malzemesinin SAE AMS 5662 spesifikasyonuna göre bileşenleri.....	127
7.3 Deneyde kullanılan kesici uçlar ve belirgin özellikleri.....	128
7.4 Deney Matrisi.....	131
7.5 Deney Matrisi (verilerle birlikte).....	133
7.6 Literatüre göre beklenen yüzey pürüzlülüğü değerleri.....	134
8.1 Deney sonucu elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri.....	135

ÇİZELGELER (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
8.2 Yüzey pürüzlülük değerlerinin literatür değerleriyle karşılaştırılması.....	136

ŞEKİLLER

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Gaz türbini mantığıyla çalışan CFM 56 ticari uçak motoru.....	14
3.2 Tipik bir türbin kanadı ve üzerindeki havalandırma delikleri.....	17
3.3 γ ve γ' fazının 973 K'deki Ni-Al-Ti üçlü faz diyagramı.....	24
3.4 γ ve γ' fazının 1573 K'deki Ni-Al-Ti üçlü faz diyagramı.....	24
3.5 γ fazının kristal yapısı.....	25
3.6 γ' fazının kristal yapısı.....	25
3.7 Türbin kanatları döküm çeşitleri.....	38
3.8 Tek kristal süper alaşımların dökümü için düzeneğin şematik diyagramı.....	38
4.1 Elde tutulan takımla tornalama ve delik işleme.....	45
4.2 19. yüzyılda gerçekleştirilen işlemler.....	46
4.3 Takım modeli ve ortogonal kesme.....	49
4.4 Talaş Tipleri.....	50
4.5 Ortogonal ve eğik kesme.....	52
4.6 Köşe radyüsü / talaş derinliğinin yanaşma açısı ve talaş oluşumuna etkisi.....	53
4.7 Farklı talaş derinliği / ilerlemeler için talaş tipleri.....	54
4.8 Yüzey pürüzlülüğü ve değerlendirmesi.....	55
4.9 Yüzey pürüzlülüğü ile ilgili örnekler.....	57
4.10 İlerleme ve köşe radyüsünün yüzey kalitesi üzerindeki etkileri.....	58
4.11 İlerleme – Köşe Radyüsü – Yüzey Kalitesi ilişkisi.....	58
4.12 Ortogonal kesmede takım açıları ve yüzeyler.....	60
4.13 İlerleme yönü – yanaşma açısı ilişkisi ve talaş kesiti.....	62
4.14 Parçaya giriş ve çıkışta yanaşma açısı.....	62
4.15 Cürufli yüzeyler.....	62
4.16 Kesici uç tipleri.....	64
4.17 Köşe radyüsü.....	65
4.18 Yüzey kalitesi – köşe radyüsü ilişkisi.....	66
4.19 Köşe radyüsü – kesme kuvvetleri.....	66
4.20 Talaş geometrisi.....	68
4.21 Kesici kenar üzerinde basma gerilmesi ve kuvvetler.....	69
4.22 Kesme kuvvetinin bileşenleri.....	70

ŞEKİLLER (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.23 Kesme kuvveti – kesme hızı ilişkisi.....	70
4.24 Kesme kuvveti – deforme olmamış talaş kalınlığı.....	71
4.25 Özgül kesme kuvvetinin değişimi.....	71
4.26 Özgül kesme kuvveti – güç.....	72
4.27 Özgül kesme kuvveti – hız.....	72
4.28 Kesme kuvvetinin bileşenleri.....	73
4.29 Eksenel kuvvet – yanaşma açısı.....	74
4.30 Kesme kuvveti – talaş açısı ilişkisi.....	74
4.31 Kesme ve ilerleme hızları (Genel).....	76
4.32 Kesme ve ilerleme hızları (Tornalama).....	76
4.33 Tornalamada paso kalınlığı ve açıları.....	77
4.34 Sıcaklık / kesme hızı / ilerleme ilişkisi.....	79
4.35 Talaş kaldırma işleminde ısı dağılımı.....	80
4.36 Tipik aşınma bölgeleri.....	81
4.37 Temel aşınma tipleri.....	82
4.38 Aşınma tiplerinin sınıflandırılması.....	85
4.39 Aşınma gelişimi ve ömür.....	89
4.40 Ömür / kesme hızı bağıntısı.....	90
4.41 Takım malzemelerinin sertlik ve tokluk özellikleri.....	93
5.1 Eksenel ve radyal takım hareketleriyle tornalama, alın tornalama.....	95
5.2 Konvansiyonel torna tezgahının konstrüksiyonu.....	96
5.3 Vites kutusu ve kalemlik sistemi.....	97
5.4 CNC torna tezgahı.....	98
5.5 Takımın kesme kısmının geometrisi.....	99
5.6 Takım geometrisi.....	100
5.7 Yüzey pürüzlülüğünün oluşması.....	101
5.8 Uçların mukavemeti.....	102
5.9 Uçların takıma bağlamaları.....	102
5.10 Dış tornalama takımları.....	103
5.11 İç tornalama takımları.....	103

ŞEKİLLER (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.12 Yerleşme açısı ve sağ, sol takımları.....	104
5.13 Tespit sistemi, kesme geometrisi ve takım malzemesi.....	104
5.14 Kater seçimini etkileyen boyutu.....	106
5.15 Kater Boyutu.....	106
5.16 Efektif yanaşma açıları.....	107
5.17 Çeşitli işlemler için kullanılan kesici uç ve katerler.....	108
5.18 Kesici uç şekli ve mukavemet, erişim, güç ve titreşim ilişkisi.....	108
5.19 Kesici kenarın uzunluğu / talaş derinliği.....	110
5.20 Efektif kesici kenar uzunlukları.....	111
5.21 Çalışma alanları.....	113
5.22 Farklı iş parçası malzemeleri için kullanılan uç tipleri.....	114
5.23 Takım malzemelerinin kullanım alanları.....	115
5.24 Tornalamada kesme kuvvetleri.....	118
5.25 Yerleşme açısının etkisi.....	119
5.26 Uç şekli (a) ve yanaşma açısı (b) örnekleri.....	122
5.27 Kesici kenar uzunluğu (a), kesici kenar kalınlığı (b), köşe radyüsü konfigürasyonu (c) ve kesme kenarı durumu (d) örnekleri.....	122
6.1 İşleme prosesinde çeşitli işlenebilirlik parametreleri.....	124
7.1 You Ji YV-1200ATC dik torna tezgahı.....	125
7.2 Deneyde kullanılan iş parçası (1 – Kaba Geometri, 2 – Final Geometri).....	127
7.3 Taylor – Hobson Surtronic 3P yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı.....	129
7.4 Mitutoyo Quick Scope Mikroskop.....	130
8.1 Genel Deney Grafiği.....	137
8.2 CVD kaplamalı kesici uçların aşınma örnekleri.....	138
8.3 PVD kaplamalı kesici uçların aşınma örnekleri.....	138
8.4 0,15 mm/dev ilerlemede elde edilen grafik.....	139
8.5 0,20 mm/dev ilerlemede elde edilen grafik.....	140
8.6 0,4 mm kesici uç radyüsü ile elde edilen grafik.....	141
8.7 0,8 mm kesici uç radyüsü ile elde edilen grafik.....	141
8.8 1,2 mm kesici uç radyüsü ile elde edilen grafik.....	142

ŞEKİLLER (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
8.9 CVD kaplama ile elde edilen grafik.....	143
8.10 PVD kaplama ile elde edilen grafik.....	143

SİMGE ve KISALTMALAR

a_p	Talaş Derinliği
A_s	Talaş Kesiti
ABP	Anti-Faz Sınır Enerjisi (Anti-Phase Boundary Energy)
ATS	Antifaz Sınırı
b	Talaş Genişliği
d	İş Parçasının Nihai Çapı
CAD	Bilgisayar Destekli Dizayn (Computer Aided Design)
CAM	Bilgisayar Destekli Üretim (Computer Aided Manufacturing)
CBN	Kübik Bor Nitrat (Cubic Boron Nitride)
CIM	Bilgisayarla Bütünleşik Üretim (Computer Integrated Manufacturing)
CNC	Bilgisayarlı Nümerik Kontrol (Computer Numerical Control)
CVD	Kimyasal Buhar Biriktirme (Chemical Vapour Deposition)
D	İş Parçası Çapı
D₁	İş Parçasının Paso Kaldırıldıktan Sonraki Çapı
DNC	Direk Nümerik Kontrol (Direct Numerical Control)
f	İlerleme
F_c	Teğetsel Kuvvet
F_{CO}	Talaş Oluşmadan Önce Malzemeyi Deforme Etmek İçin Gerekli Olan Kuvvet
F_{CN}	Radyal Kuvvet
F_f	İlerleme Kuvveti
F_p	Eksenel Kuvvet
F_r	Radyal Kuvvet

SİMGE ve KISALTMALAR (devam)

F_s	Kesme Kuvveti
F_z	Talaş Kaldırma Kuvveti
FMS	Esnek Üretim Sistemleri (Flexible Manufacturing Systems)
K₁	Efektif Yanaşma Açısı
h	Talaş Kalınlığı
h₁	Deforme Olmamış Talaş Kalınlığı
H	Punta Yüksekliği
HSS	Hız Çeliği
k_c	Özgül Kesme Kuvveti
l_a	Efektif Kesici Kenar Uzunluğu
L	Tornalarda Punta Arası Uzaklık
n	Tezgah Devri
Nv	Elektron Boşluk Numarası
NC	Nümerik Kontrol (Numerical Control)
P	Tezgah Gücü
PCD	Elmas (Polycrystalline Diamond)
PVD	Fiziksel Buhar Biriktirme (Physical Vapour Deposition)
R_a	Aritmetik Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü
R_p	Yüzey Pürüzlülüğünün Düzeltilmiş Değeri
R_t	Teorik Yüzey Pürüzlülüğü, Referans Profile Göre En Derin Pürüzün Değeri
R_e	Kesici Takım Köşe Radyüsü
s	İlerleme
T_m	Yüksek Sıcaklık Sürünme Aralığı

SİMGE ve KISALTMALAR (devam)

TSP	Topolojik Olarak Sıkı Paket
V_B	Aşınma
V_f	İlerleme Hızı
V_c	Kesme Hızı
Φ	Kesme Açısı
α	Serbest Açı
β	Kama Açısı
γ	Talaş Açısı
χ	Yerleşme Açısı
χ_n	Yan Yerleşme Açısı
η_m	Tezgah Ana Motoruna Bağlı Kinematik Sistemin Verimi
η_{im}	Tezgah İlerleme Motoruna Bağlı Kinematik Sistemin Verimi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknolojiye paralel olarak mühendislik malzemeleri hızla gelişmekte ve savunma sanayii malzemeleri ise bu gelişmede lokomotif görevi görmektedir. Bilindiği gibi tarihin ilk çağlarından beri savaşlar ve insanın içinde güçlü olma isteği teknolojilerin sürekli gelişmesine sebep olmuştur. Bu sebeplerden dolayı insanlık farkında olmadan savunma sanayi malzemelerini, her zaman için bilim dünyasında araştırma konusu haline getirmiştir. (Kuşhan, 2009)

Teknolojinin ilerlemesiyle süper alaşımlar özellikle havacılık ve uzay endüstrisinde geleneksel metalik malzemelerin yerini almışlardır. Bunun başlıca nedenleri geleneksel metalik malzemelere göre daha mukavemetli olmaları, yüksek korozyon ve sıcaklık dayanımları ve daha hafif olmalarıdır.

Süper alaşımlar aşağıda belirtilen çeşitli endüstri uygulamalarında kullanılmaktadırlar:

- Havacılık ve uzay endüstrisinde yanma odası ve türbin bölümlerinde,
- Gaz türbinlerinde yanma odası ve türbin bölümlerinde,
- Denizcilik uygulamalarında,
- Medikal uygulamalarda. (Sandvik Coromant Application Guide, 2006)

Süper alaşımlar 540°C ~ 1000°C gibi yüksek çalışma sıcaklıklarında darbe veya dayanıklılık kaybı olmadan çalışabilirler. Uçak motoru üretiminin en büyük malzeme grubunu temsil ederler. (Sandvik Coromant Application Guide, 2004)

Nikel esaslı bir süper alaşım olan Inconel 718 havacılık sektöründe en yaygın kullanılan süper alaşımlardan birisidir. Genellikle dövme veya döküm ham malzemenin talaşlı imalatla işlenmesi ile nihai ürün halini alır. Talaşlı imalatının büyük bir kısmını

ise tormalama işlemini oluşturmaktadır. Inconel 718'in sanayide yer edinmesiyle birlikte işlenebilirliği üzerine birçok çalışma yapılmış ve talaşlı imalat teknolojisinin gelişmesinde de büyük etkisi olmuştur.

Talaşlı imalatta işlenebilirlik, işlenecek malzemenin kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi belirtilmiş koşullar altında işleme kolaylığı veya zorluğu olarak tanımlanır. İşlenebilirlik oranı takım ömrüne, yüzey kalitesine ve işleme sırasında harcanan güce bağlıdır. Ayrıca bileşen kuvvetler ve talaş şekli malzemenin işlenebilirliğinde iyi bir görüş sağlar. Malzemenin işlenebilirliği operasyon esnasında oluşan bileşen kuvvetler, takım ömrü ve yüzey kalitesinin ölçümüyle değerlendirilir. (Ezugwu et al., 2003)

Bu tez çalışmasında havacılık sektörü uygulamalarında yaygın olarak kullanılması nedeniyle nikel bazlı bir süper alaşım olan Inconel 718 seçilmiştir. Talaşlı imalat yöntemlerinden tormalama, Inconel 718 malzemesinin ağırlıklı işleme metodu olduğu için de Inconel 718'in tormalanması incelenmiştir.

Yüzey pürüzlülüğü, tribolojinin tüm alanlarında ve talaşlı imalat operasyonlarının kalitesinin belirlenmesinde en önemli faktörlerden birisidir. (Darwish, 2000) İşlenen malzemelerin yüzey pürüzlülüğünün optimum düzeylerde olması, özellikle havacılık sektöründe aşırı kuvvet, sıcaklık ve zorlanmalara maruz kalan süper alaşımlar için çok büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle nikel bazlı süper alaşımların işlenebilirliği ve tormalanmasına etki eden faktörler ile ilgili yapılan literatür çalışması sonucu yüzey pürüzlülüğünün incelenmesine karar verilmiştir. Farklı kesici uç radyüslerinin ve bu kesici uçların kaplama çeşitlerinin çeşitli kesme parametreleri ile yüzey pürüzlülüğünü nasıl etkilediği gözlemlenmiştir. Yapılan deney çalışması ile bu konularda detaylı veri elde edilip literatür ile karşılaştırma imkanı sağlanmıştır.

Tez çalışmasında deney çalışmasının yanı sıra benzer konulardan literatür çalışmaları özetlenmiş, süper alaşımlar ve özellikle nikel bazlı süper alaşımlar detaylı olarak anlatılmış, talaşlı imalat, tormalama ve süper alaşımların işlenebilirliği hakkında genel bilgi verilmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde tez çalışması için yapılan literatür araştırmaları ve kısa özetlerine değinilmiştir. Yapılan araştırmalar aşağıdaki gibidir.

Darwish, çalışmasında süpermet 718 nikel süper alaşımının yüzey pürüzlülüğüne kesici takımın ve kesme parametrelerinin nasıl etkilediğini araştırmıştır. Deneyde aynı uç radyüsüne sahip seramik ve CBN olmak üzere iki farklı kesici uç ile çalışmıştır. İş parçasına tornada kanal açmıştır. İki farklı uç için düşük ve yüksek derece olarak adlandırdığı düzenekte 2^k faktöriyel dizaynı ile deney çalışmasını yapmıştır. Düşük ve yüksek derece düzeneklerde değişkenleri kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme olarak belirlemiştir. Deney sonuçlarını grafiksel olarak değerlendirmiş ve aşağıdaki sonuçları elde etmiştir:

- CBN kesici uçlarla karşılaştırıldığında seramik kesici uçların yüzey pürüzlülüğünü sağlama üzerine daha etkili olduğu görülmüştür.
- İlerlemenin etkisi diğer değişken parametrelere göre daha belirgindir. Çalışmalara göre ilerleme arttıkça yüzey kalitesi düşmektedir.
- Kesme derinliği yüzey pürüzlülüğünde ikinci önemli faktördür. Yüksek ilerlemelerde kesme derinliğinin etkisi düşük ilerlemelere göre daha belirgindir. Genel olarak kesme derinliği arttıkça yüzey kalitesi azalmaktadır. (Darwish, 2000)

Arunachalam ve diğerleri yapmış oldukları çalışmada, yaşlandırma ısıl işlemine tabi tutulmuş Inconel 718 malzemeyi kaplanmış karbür takımlarla tornalamışlar ve yüzey kalitesine etkilerini incelemişlerdir. Deneyde çeşitli kesici uçlar kullanılmış ve bu kesici uçların yüzey kalitesine ve artık gerilme kuvvetlerinin oluşmasına etkisi araştırılmıştır. Ayrıca artık gerilme kuvvetleri ile ilgili detaylı literatür bilgisi verilip istenmeyen bir durum olduğu belirtilmiş ve nasıl engellendiğine dair yapılan

çalışmalara yer verilmiştir. İnceleme sonucu istenen düzeylerde yüzey kalitesi ve artık gerilme kuvvetlerinin uygun kesici takım seçimi ve soğutma sıvısı kullanımı ile sağlanabileceği belirtilmiştir. (Arunachalam, et al., 2004)

Lu, çalışmasında bilgisayar destekli bir sistemle yüzey profili ve yüzey pürüzlülüğünün proses öncesi tahmin edilmesi üzerine bir çalışma yapmıştır. Bilgisayar ve takım tutucusuna bağlanmış bir dinamometre yardımı ile tezgahın çalışma anındaki verileri toplamıştır. Çalışmanın hedefi kesme hızı, kesme derinliği, ilerleme parametrelerini değiştirerek ve dinamometre yardımı ile temel radyal kuvvetleri değiştirerek optimum yüzey profili ve yüzey pürüzlülüğü tahmini yapmaktır. Soğutma sıvısı kullanılmamış, CNMG kesici uç ile çalışılmıştır. Deneyde yatay CNC torna ve malzeme olarak da paslanmaz çelik kullanılmıştır. Deneyin başlangıcında radyal kuvvetleri değiştirerek optimum yayılma seviyesini tespit etmiş ve bu tespitten sonra hedefi kesme hızı, kesme derinliği, ilerleme parametreleriyle teorik ve pratik sonuçları karşılaştırmıştır. Sonuç olarak temel radyal kuvvetlerin optimum yayılma seviyesi belirlenebilirse gerçeğe yakın tahminler yapılabileceğini belirtmiş, farklılıkların ise titreşim, talaş oluşumu, vb. gibi nedenlerden dolayı olabileceğini belirtmiştir. (Lu, 2008)

Ezugwu ve diğerleri, uçak motorlarında kullanılan alaşımların işlenmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Öncelikle yaygın kullanılan iki alaşım olan nikel bazlı alaşımlar ve titanyum alaşımları tanıtılmış ve sonrasında bu iki alaşım grubunun çeşitli kesici takımlarla işlenmesi incelenmiştir. Kesici takım olarak kaplamalı ve kaplamasız karbür takımlar, seramik takımlar ve CBN takımlar incelenmiştir. Belirtilen kesici takımlarla yapılan uygulamalarda kesme hızı, takım aşınması, talaş oluşumu, yüzey kalitesi, vb. konulara değinilmiştir. Kesici takım irdelemesinin ardından işlenebilirlik konusunu soğutma sıvısı kullanımıyla genişletilmiş ve soğutma sıvısının etkileri anlatılmıştır. Son olarak sıcaklık artışının istenmeyen bir durum olduğu belirtilmiş, talaş oluşumu nedeniyle soğutma sıvılarının istenen bölgeye ulaşmadığı vurgulanmıştır. Bu durumun aşılabilmesi için alternatif soğutma sistemleri incelenmiştir. (Ezugwu, et al., 2003)

Lalwani ve diğerkleri, yaptıkları çalışmada MDN250 çeliğinin kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Kesme parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği belirtilmiştir. Çalışmada ayrıca sert metallerin tornalanması hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Literatürde belirtilen sert metaller 45 HRC'yi geçenlerdir. MDN250 çeliğinin sertliği ise 50 HRC olarak belirtilmiştir. Ayrıca endüstrilerin dünya çapında rekabetçiliğini sürdürebilmesi için düşük maliyet, düşük işleme zamanları ve daha iyi yüzey kalitesi sağlamaları gerektiğine de değinilmiştir.

Deneyde kesici uç olarak kaplamalı seramik uç kullanılmış, kesme parametreleri olan kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği düşük, orta ve yüksek seviyede olmak üzere üç farklı düzenekte deney gerçekleştirilmiştir. Metod olarak 2^k faktöriyel metodu ile yapılmış ve analiz yardımıyla çözümlenmiştir. Kesme kuvvetleri Kistler dinamometresi ile, yüzey pürüzlülüğü ise yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Deney sonuçlarını literatür ile karşılaştırmışlardır ve elde ettikleri sonuçlardan bazıları aşağıdaki gibidir:

- Kesme parametrelerinden kesme hızının yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerinde kayda değer bir etkisi yoktur.
- Kesme kuvvetleri üzerinde talaş derinliği ve ilerlemenin etkisi ilerleme kuvveti hariç birbirine yakındır. Sadece ilerleme kuvvetinde en önemli faktör talaş derinliğidir.
- Yüzey pürüzlülüğünde en büyük etmen ilerlemedir. Bunu talaş derinliği takip eder. (Lalwani, et al., 2008)

Rahman ve diğerkleri, Inconel 718'in işlenebilirliğini incelemişlerdir. Çalışmada Inconel 718'in işlenebilirliğinin zorluğunu iki başlık altında toplamışlardır. Bunlar takım ömrünün azlığı ve yüksek kesim hızlarının malzemeye verdiği hasarlardır. Ayrıca yüksek kesim hızlarının malzemenin sertleşmesine, yüzey yırtıklarına ve yüzey bozukluklarına sebep olduğu belirtilmiştir. Yaptıkları literatür araştırması sonucunda takım aşınmasında talaş derinliğinin ilerleme ve kesme hızına göre etkisinin daha az

olduğunu belirtmişlerdir. Takım aşınmasını arttırmasına rağmen kesme hızının yüzey pürüzlülüğünü olumlu yönde etkilediği de belirtilmiştir.

Yapılan deney çalışmasında dört değişik parametreden yararlanılmıştır. Bunlar, talaş derinliği, kesme hızı, ilerleme ve kesici takımın yaklaşma açısıdır. Bu parametrelerle üç farklı düzeyde çalışılmış ve her çalışma için farklı takım tutucu kullanılmıştır. Bu üç farklı deneme için talaş derinliği sabit tutulmuş ve diğer üç parametre değişkenlik göstermiştir. Deney için CNC torna tezgahı kullanılmıştır. Deneyde kesici uç olarak iki farklı kaplamalı karbür uç kullanılmıştır.

Deney sonucunda takım ömrünün yaklaşma açısı -5° 'den $+45^{\circ}$ 'ye doğru gidildikçe arttığı gözlemlenmiştir. Kesme hızı arttıkça takım ömrü azalmaktadır. Yüksek kesme hızlarında sürtünmenin artmasıyla sıcaklığın da arttığı gözlemlenmiştir. Ana sonuç olarak Inconel 718 malzemesinin düşük kesme hızı ve ilerlemelerde kullanılması tavsiye edilmiştir. Kesme hızı ve ilerlemeler arttıkça kesici uç aşınması artmakta ve sıcaklığın da etkisiyle malzeme üzerinde oluşan gerilmeler de artmaktadır. (Rahman, et al., 1997)

Choudhury ve El-Baradie nikel bazlı süper alaşımların işlenebilirliğini kesici takım ve kesici takım aşınması ağırlıklı olarak incelemişlerdir. Ayrıca ısı işlem ve kesici takım çeşitlerine değinilmiştir. İşleme esnasında çabuk sertleşmesi ve paslanmaz çelikler gibi östenitli yapıya sahip olmaları nedeniyle nikel bazlı süper alaşımların işlenebilirliklerinin zor olduğu belirtilmiştir. Takım aşınmasına en önemli etmenin sıcaklık olduğu, ikince etmenin de gerilmeler olduğu belirtilmiştir. Inconel 718'in kesiminde kaplamasız karbür takımların kaplamalılarına göre daha uygun olduğu ve kaplamanın performansı etkilemeyen bir olgu olduğu belirtilmiştir. Seramik kesici takımlar incelendiğinde yüksek hızla işleme veya yüksek ilerlemeler için alüminyum oksit (Al_2O_3) seramik takımlar daha avantajlı iken ortalama kesme hızları ve düşük ilerlemeler içinse güçlendirilmiş alüminyum oksit (Al_2O_3) seramik takımların daha avantajlı olduğu belirtilmiştir. (Choudhury and El-Baradie, 1998)

Taşlıyan ve diğerleri, Inconel 718 süper alaşımının işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerine olan etkisini araştırmışlardır. Kesme parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği ele alınmıştır. Bilgisayar sayısal denetimli torna tezgahında 1,2 mm uç radyüsüne sahip seramik kesici uçla soğutma sıvısı kullanılmadan deneyler yapılmıştır. Kesme parametreleri olarak beş farklı kesme hızı, beş farklı ilerleme ve iki farklı kesme derinliği belirlenmiş ve belirlenen bu değişkenlere göre kesme kuvvetlerinin nasıl etkilendiği incelenmiştir. Deney sonrası elde edilen verilere çoklu varyans metodu uygulanmıştır. Talaş kaldırma esnasında üç ortogonal kesme kuvvetinin (f_c , f_f , f_p) ölçümünde gerinim ölçme esasına dayalı Kistler tipi dinamometre kullanılmıştır. Deney numunesi olarak ise Ø50x500mm ebatlarında Inconel 718 kullanılmıştır.

Sonuç olarak seramik kesici uçların çelik malzemeleri işlerken yüksek kesme hızlarında kullanıldığında iyi bir performans sağlarken, Inconel 718 süper alaşımının kesilmesi esnasında çelik malzemelerde görülen performans görülemediği. Normalde yüksek kesme hızları ile kesme kuvvetleri azalırken, Inconel 718'in kesilmesinde kesici uçta oluşan serbest kenar ve çentik aşınmaları nedeniyle kesme kuvvetleri olumsuz etkilenmiştir. Söz konusu Inconel 718 olduğunda kesme hızı ve kesme kuvveti arasında azalan-artan bir ilişki mevcuttur. Kesme hızının artırılmasıyla önce kesme kuvvetleri azalmış, kesme hızının artırılmasına devam edilmesi ile oluşan aşınmalar nedeniyle kesme kuvvetlerinde yeniden bir artış gözlemlenmiştir. Kesme hızındaki sınır değer 400m/dak.'tır. Bu eğerden sonra deney esnasında kesme kuvvetlerinin arttığı görülmüştür. İlerleme hızı ile kesme kuvvetleri arasında ise artan bir ilişki vardır. İlerleme hızının artırılması ile kesme kuvvetleri de artmıştır. Deney esnasında en az kesme kuvveti 0,05 mm/dev ilerleme hızında elde edilmiştir. (Taşlıyan vd., 2007)

Nalbant ve diğerleri, Inconel 718 süper alaşımının işlenmesinde kesici takım geometrisi, kesici takımın kaplama malzemeleri ve kesme hızı parametrelerinin etkisini araştıran bir çalışma yapmışlardır. Deney kuru kesme şartları altında tornalama üzerine yapılmıştır. Kesme parametrelerinden talaş derinliği ve ilerleme sabit tutulmuş, kesme hızı için ise beş farklı değer belirlenmiş ve bu değerlere göre deney gerçekleştirilmiştir. Kesme kuvvetlerinin tespiti için Kistler tipi dinamometreden yararlanılmıştır. Ana

kesme kuvveti (F_c), genel kesme kuvveti kriteri olarak ele alınmış, diğer kesme kuvvetleri yok sayılmıştır. Malzeme olarak $\text{Ø}50 \times 500 \text{mm}$ ölçülerinde silindirik Inconel 718 kullanılmıştır. Kesici takım olarak TiN ve Al_2O_3 kaplı karbür takımlar iki farklı geometri ile denenmişlerdir.

Yapılan deneyler sonrasında ana kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü arasında negatif bir korelasyon görülmüştür. Ayrıca yüzey kalitesinin sağlanmasında kullanılan kesici uç geometrisinin öneminin oldukça fazla olduğuna da değinilmiştir. Kesici takım kaplamalarının Inconel 718'in genel işlenmesinde çok etkisi olmasa da kesme kuvvetleri üzerinde farklı etkileri görülmüştür. Bu farklı kaplama çeşitlerinden çok yüzey kalitesine yukarıda da belirtildiği gibi kesici uç geometrisi ve ayrıca kesme hızının etkilediği görülmüştür. Deneyde kesme hızının artması ana kesme kuvvetini azaltmakta olduğu görülmüş ve grafiksel olarak da gösterilmiştir. (Nalbant, et al., 2007)

Köse ve diğerleri, Inconel 718'in tornalanması esnasında ilerlemenin kesici takım üzerine yaptığı etkileri araştırmışlardır. Çalışma sonuçlarının analizinde ANSYS programı ve Sonlu Elemanlar Metodu'ndan yararlanılmıştır. Kesici uç olarak güçlendirilmiş seramik uçlar ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiC}_w$) kullanılmıştır. Kuru kesme şartlarıyla toplam 50 adet test yapılmış ve testlerde beş farklı kesme hızı, beş farklı ilerleme ve iki farklı kesme derinliği değeri kullanılmıştır. Kesme kuvvetlerinin bilgisini alabilmek için ise Kistler tipi dinamometreden yararlanılmıştır. Yapılan testler sonrası kesme parametrelerinin değişkenliğine göre kesme kuvvetlerinin oluşumu grafiksel olarak analiz edilmiştir. ANSYS'te ise Sonlu Elemanlar Metodu kullanılarak kesici takımlar modellenmiş ve kesici uçlarda oluşan aşınmalar incelenmiştir. Ayrıca ilerlemenin kesici takım üzerine etkileyen gerilme kuvvetleri de grafiksel olarak analiz edilmiştir.

Yapılan deneyler sonrası ilerleme arttıkça seramik kesici uçlar üzerindeki gerilme kuvvetleri de arttığı görülmüştür. Kesici uçların gerilmelerine ilerlemenin yanı sıra kesme kuvvetleri de etkilidir. Kesici takım aşınmasına bakıldığında takım aşınma mesafesinin kesme derinliğine eşit olduğu görülmüştür. Ayrıca aşınma tipleri bakımından çentik ve kenar aşınmaları belirlemiştir. (Köse, et al., 2008)

Altın ve diğerleri, işleme parametrelerinden kesme hızının Inconel 718 malzemesinin işlenebilirliğine olan etkilerini araştırmışlardır. Deney kaplamasız sementit karbür takım ve bilgisayar sayısal denetimli torna tezgahında kesme sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilmiştir. Kesme parametrelerinden ilerleme ve kesme derinliği sabit alınmış, kesme hızı ise beş farklı değer ile değişken tutulmuştur. Deneyde üç ortogonal kesme kuvvetinin (f_c , f_f , f_p) ölçümü için Kistler tipi dinamometre kullanılmıştır. Deney malzemesi olarak Ø50x500mm ebatlarında Inconel 718 kullanılmıştır.

Deney sonucunda kesme hızının artırılmasıyla kesme kuvvetlerinin azaldığı görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü ise kesme hızı arttıkça önce azalmış, 45 m/dak değerinden sonra tekrar artmıştır. Bu deneyde en iyi yüzey kalitesi 45 m/dak kesme hızında sağlanmıştır. Yüzey pürüzlülüğün belirli bir kesme hızından sonra artmasının nedeni olarak Inconel 718 malzemesine bağlı olarak kesme bölgesinde oluşan yüksek sıcaklıkların kesici takım üzerinde oluşturduğu yanak ve plastik deformasyon iddia edilmiştir. Elde edilen talaş biçimi genel olarak sürekli ve dar adımlı olarak tespit edilmiştir. 45 m/dak kesme hızındaki talaş biçimi ise sürekli ve geniş adımlıdır. Gözlemlenen talaş biçimleri literatürle benzerlik arz etmektedir. (Altın vd., 2006)

Devillez ve diğerleri, Inconel 718'in kaplamalı karbür takımlarla kesme sıvısı olmadan tornalanması esnasında kesme hızları ve takım aşınmasını analiz etmişlerdir. Torna tezgahına Kistler tipi dinamometre adapte edilmiş ve kesme kuvvetleri bu dinamometre yardımıyla kaydedilmiştir. Deneyde 68 HR_c sertliğinde içi boş silindirik Inconel 718 malzeme uzunluğa paralel bir ilerleme ile kesilmiştir. Kesme parametrelerinden kesme hızı değişken olarak belirlenmiş, ilerleme için ise iki farklı değer kullanılarak deney gerçekleştirilmiştir. Kaplamasız, TiAlN kaplamalı ve AlTiN kaplamalı olarak karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Deney sonrasında kenar aşınmaları, krater aşınmaları ve çentik aşınmaları incelenmiştir. Takım aşınmalarının incelenmesi beyaz ışık interferometrisi yöntemi ile yapılmıştır.

Deney sonucunda Inconel 718'in kuru şartlarda kesiminde oluşan yüksek termal ve mekanik durumlardan dolayı iyi bir takım ömrü ve yüzey kalitesi için kaplamanın şart

olduğu belirtilmiştir. Takım aşınmalarının beyaz ışık interferometrisi yöntemi ile incelenmesi sonucunda takım aşınmalarının çok detaylı bir şekilde görülebildiği belirtilmiştir. Takım aşınması ile kesme kuvvetleri arasında çok önemli bir bağ olduğuna değinilmiş, bu bağın Inconel 718'in kuru işlenmesinde optimum kesme şartlarının bulunmasını sağladığı belirtilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda seçilen takımlar arasında en başarılı kesici takımın AlTiN kaplamalı karbür takım olduğu görülmüştür. (Devillez, et al., 2007)

Lin ve diğerleri, yüksek sertlikteki alaşımlandırılmış çeliğin CBN takımla tornalanması esnasında oluşan takım aşınmasını incelemişlerdir. CBN takımların sertleştirilmiş çeliklerde ve kesimi zor olan malzemelerde sıcaklık dayanımı nedeniyle avantajlı oldukları belirtilmiştir. Yapılan deneyde 50-59 HRc sertliğinde AISI 4340 malzeme kullanılmıştır. Kesme parametrelerinden ilerleme ve kesme derinliği sabit alınmış ve kesme hızının değişken hallerindeki deneylerin sonuçları incelenmiştir. Kesme kuvvetleri Kistler dinamometre yardımı ile elde edilmiştir. Takım aşınmaları ise bir mikroskop yardımı ile irdelenmiştir. Deney sonrasında çeşitli kesme hızlarındaki talaş oluşumları incelenmiş, düşük kesme hızlarından yüksek kesme hızlarına doğru talaş geometrisinin düzgünden testere dişli hale geldiği ve diş aralıklarının da giderek açıldığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla sürtünme kuvvetinde de bir artış vardır. Sıcaklık artışının düşük ve yüksek kesme hızlarında yüksek iken orta değerlerde daha az olduğu görülmüştür. Kesme hızı açısından bakıldığında, kesme hızının belirli bir üst noktaya kadar artmasıyla takım ömrünün de arttığı, bu noktadan sonra kesme hızının artmasıyla takım ömrünün azaldığı görülmüştür. Yüksek kesme hızlarında sürtünmenin artmasıyla takım aşınması da artmaktadır. Aşınma tipleri serbest yüzey aşınması ve krater aşınması şeklinde oluşmaktadır. (Lin, et al., 2008)

Remadna ve Rigal, alaşımlandırılmış sert çeliğin CBN kesici takımlarla tornalanmasındaki işleme parametrelerinin belirlenmesi, takım aşınması, kesme hızları ve yüzey kalitesine yönelik bir çalışma yapmışlardır. Deney esnasında malzeme olarak HR_c 52'lik silindirik alaşımlandırılmış çelik kullanılmıştır. Deneyde mikroskop yardımıyla takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ölçer ve bilgisayar destekli program ile de yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Tüm deneyler için aynı geometriye sahip kesici

takım kullanılmıştır. İki farklı konfigürasyon için ilkinde kesme parametrelerinden kesme hızı kesme esnasında sabit tutulmuş, ikincisinde ise kesme süresince değişken kesme hızlarıyla çalışılmıştır.

Takım aşınma türlerinin kesici takım geometrisine, kesilen malzemeye ve kesme koşullarına bağlı olduğu görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü tribolojinin tüm alanlarında ve işlenen malzemenin kalitesindeki en büyük etmenlerden birisidir. Kesme parametreleri ise (kesme hızı, kesme derinliği, ilerleme) yüzey pürüzlülüğünün tayin edilmesinde önemli rol oynar.

Yapılan deneyler sonucunda kesme hızı varyasyonlarının takım ömrüne etkisinin büyük olduğu görülmüştür. Deneyler sonrası takımlarda oluşan aşınmalar incelendiğinde ise takım aşınmaları ile kesme işlemi ile oluşan kesme kuvvetleri arasında bir bağ bulunduğu belirtilmiştir. Kesme geometrisinin takım ömrü üzerine etkisi de büyüktür. (Remadna and Rigal, 2006)

Astakhov çalışmasında kesici takım aşınmasını incelemiştir. Yapılan deneyde Inconel 718'in karbür kesici uçlarla tormalanması ve karbür kesici uçlarda oluşan aşınmaları incelemiştir. Deney verilerini Kistler tipi dinamometre yardımıyla elde etmiştir. 15x büyütmeli optikte takım aşınmaları ve yüzey kusurları incelenmiştir. Seçilen iş parçasının, kesici takımın, kesme rejimlerinin ve takım geometrisinin deney sonucuna etkisi olduğu görülmüştür. Kesme hızı optimizasyonu ile takım aşınması minimize edilmeye çalışılmıştır. Optimum kesme hızında sürtünme minimum değerine ulaşmaktadır. İş parçası ve takım aşınma ilişkisine bakıldığında optimum kesme hızının malzeme çeşidine göre değişkenlik gösterdiği belirtilmiştir. (Ashtakov, 2004)

Dursun, yüksek lisans tezinde Inconel 718 ve Titanyum malzemelerin frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasını incelemiştir. Deneyi kuru kesme koşulunda, 2 farklı geometriye sahip TiAlN kaplı karbür parmak freze ile yapmıştır. Yüzey pürüzlülüğünü ölçmek için portatif yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanmış, takım aşınmasını ise mikroskopta incelemiştir. Deney esnasında kesme parametreleri olan yan ve dik kesme derinlikleri, kesme hızı ve ilerleme değerlerini

değiştirerek çeşitli sonuçlar elde etmiş ve bu sonuçlara göre yorum yapmıştır. Frezeleme deneyleri için dört faktör (kesme parametresi), iki bölüm ve sekiz deneyden oluşan (2^{4-1} factorial fractional design) deney matrisini oluşturmuş ve bu deney matrisi ile beş farklı deney yapmıştır. Yapılan bu beş adet deneyde malzeme olarak Inconel 718 ve Titanyum, takım olarak ise iki farklı geometri ile çeşitli varyasyonları değerlendirmiştir. Deneyler sonrası sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve grafiksel olarak desteklenmiştir. Yüzey pürüzlülüğünü değerini deney sonrası yüzeyden alınan 10 adet ölçümden en büyük ve en küçük değer çıkarılmasının ardından kalan sekiz adet ölçüm değerinin aritmetik ortalamasının hesaplanmasıyla elde etmiştir. Takım aşınmasını mikroskopta yanak aşınması, yüz aşınması, çentiklenme, pullanma, çatlaklar ve tam bozulma başlıkları altında incelemiştir.

Deneyler sonucunda Inconel 718'in yüzey kalitesinin aynı şartlarda Titanyum'a göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca takım bakımından incelendiğinde köşe radyüsü 1mm olan takım köşe radyüsü sıfır olan takıma göre daha iyi bir yüzey kalitesi sağlamıştır. Kesme parametreleri bakımından değerlendirildiğinde ise kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliklerinin düşük değerlerinde daha iyi bir yüzey kalitesi elde edilmiştir. Takım aşınması bakımından bakıldığında köşe radyüsü sıfır olan takımın daha çok aşındığı gözlemlenmiştir. Titanyumun işlenmesinde takımlarda yanak aşınması görülmüş, Inconel 718'in işlenmesinde ise çentiklenme ve tam bozulmalar görülmüştür. (Dursun, 2007)

Altın, doktora tezinde Inconel 718 süper alaşımının işlenebilirliğini incelemiştir. Çalışmasını tornalama üzerine yapmış ve kesme parametrelerinin karbür ve seramik kesici takımlar için takım ömrü, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini analiz etmiştir. Bu analizler sonucunda optimum işleme şartlarını belirlemeye çalışmıştır. Kesme kuvvetlerini tezgaha bağlanan bir dinamometre yardımıyla ölçmüştür. Dört tip kesici uç ve her kesici uç için yuvarlak ve kare geometrili uç kullanarak toplam sekiz farklı kesici ucla çalışma yapmıştır. Sonuç olarak yüzey kalitesinin geliştirilmesi için talaş derinliği ve ilerlemenin azaltılması gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca seramik uçlu takımların Inconel 718 süper alaşımının yüksek hızlarda tornalanmasında uygun olmadığını, takım aşınmalarının çabuk gerçekleştiğini

tespit etmiştir. Son olarak sementit karbür kesici takımlar ile Inconel 718 işlenirken yuvarlak geometrili takımların tercih edilmesini, seramik kesici takımlar ile işlemede kaliteli bir yüzey için kare profilli takımlar seçilmesini ve kaba tornalamada ise yuvarlak geometrili seramik kesici takımların seçilmesini tavsiye etmiştir. (Altın, 2005)

İşbilir, yüksek lisans tezinde tornalamada yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrüne etkili faktörleri sebep-sonuç diyagramları ile analiz etmiştir. Bu çalışmada basılı kaynaklarda yer alan bilgileri kullanmış, ayrıca bir deney yapmamıştır. Sebep-sonuç diyagramlarını modellemiş ve aşağıdaki sonuçları elde etmiştir:

- Yüzey pürüzlülüğünde kesme hızı, malzeme sertliği, uç radyüsü ve ilerlemenin etkisi vardır. Kesme sıvısı ve talaş derinliğinin etkisi yoktur.
- İlerleme hızı ve malzeme sertliği arttıkça yüzey pürüzlülüğü artar.
- Kesme hızı ve kesici uç radyüsü arttıkça yüzey pürüzlülüğü azalır.
- Takım ömrü üzerinde kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve malzeme sertliği etkilidir. (İşbilir, 2006)

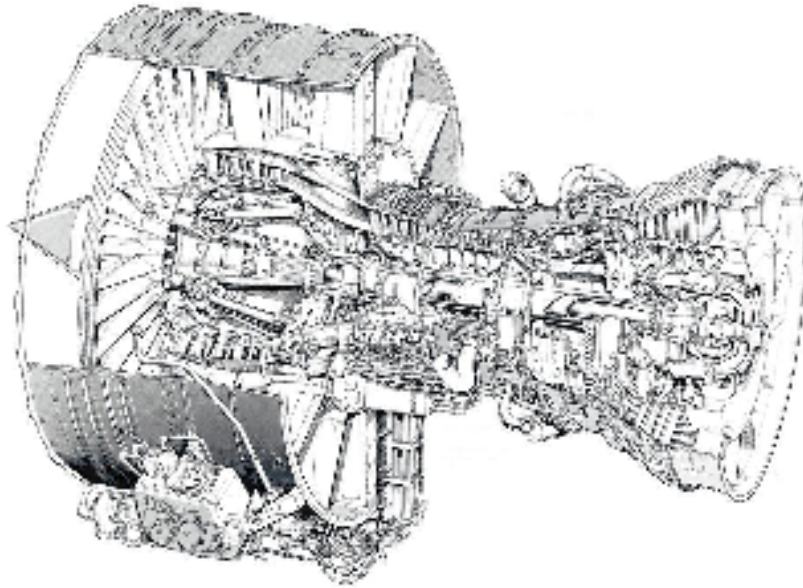
Neşeli, yüksek lisans tez çalışmasında dinamik kesme şartları altında takım geometrisine bağlı olarak meydana gelen tırlama titreşiminin yüzey pürüzlülüğüne etkisini deneysel olarak incelemiştir. Tam Faktöriyel Tasarım yöntemiyle üç seviyeli, dört faktörlü deney yapısını kullanarak $3^4 = 81$ farklı deney yapmıştır. Yaptığı deneylerde kuru kesme koşullarında negatif talaş açılı takım tutucu kullanmış ve çeşitli radyüslerdeki uçları deneyerek AISI 1040 imalat çeliğini kesmiştir. Deney sonucunda yaklaşma açısının 60° olduğu durumda en az tırlama titreşimini elde etmiş, açık arttıkça kesme kuvvetlerinde meydana gelen artışlardan dolayı titreşimin ve dolayısıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığını gözlemlemiştir. Uç radyüsünün yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelendiğinde ise radyüsün artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün de arttığı görülmüştür. Talaş açısı bakımından yüzey pürüzlülüğü incelendiğinde ekside ufak değerdeki talaş açıları söz konusu olduğunda daha az titreşim ve daha iyi yüzey elde edilmiştir. (Neşeli, 2006)

BÖLÜM 3

SÜPER ALAŞIMLAR

Yüzey pürüzlülüğünün incelenmesinde kullanılan Inconel 718 malzeme bir süper alaşım olduğu için bu bölümde detaylı olarak süper alaşımlardan bahsedilmiş, özellikle nikel esaslı süper alaşımlar detaylı olarak incelenmiştir.

Süper alaşımlar, diğer alaşımlardan farklı olarak yüksek sıcaklıklarda iyi korozyon ve oksidasyon direncine, üstün sürtünme ve kopma dayanımına sahip, nikel, nikel-demir veya kobalt esaslı alaşımlardır. Matris içinde ince dağılmış formda değişik karbürler ve intermetalik fazlar içerirler. Uçak motorları parçaları gibi uzun süreler boyunca yüksek sıcaklığa ve oksidasyona dayanıklı olması istenen alanlarda ham malzeme olarak kullanılırlar. Bunun yanı sıra gemi, lokomotif ve enerji santrali gaz türbinlerinde, roketlerde tahrik sistemlerinde, petrol ve kimya tesislerinin değişik yerlerinde kullanılırlar. (Akdoğan, 2008; Choudhury and El-Baradie, 1998; Callister, 1997)



Şekil 3.1 Gaz türbini mantığıyla çalışan CFM 56 ticari uçak motoru (Flight Global Web Sitesi, 2009)

İlk süper alaşımlar östenitik paslanmaz çeliklerin bir modifikasyonu olup, günümüzde kullanımda olan bir çok malzeme 1950-1970 yılları arasında geliştirilmiştir. 1980'lerde gelişen teknoloji ile bazı elementlerin süper alaşımlara katılabilme olanağının artmasıyla bugün yoğun ilgi duyulan spesifik mekanik özellikler kazanmışlardır. Bu nedenle de yüksek sıcaklık uygulamaları söz konusu olduğunda süper alaşımlar diğer tüm ticari metalürjik malzemelerden daha çok tercih edilmektedirler. (Akdoğan, 2008)

Genellikle alaşımlara ilave edilen katkı elementleri, alaşımların mekaniksel özelliklerini bileşim oranlarına bağlı olarak değiştirmektedir. Bu elementler alaşımların;

1. Dayanımını arttırır,
2. Sertliği yükseltir,
3. Sertleşmeyi kolaylaştırır,
4. Çekirdeğine kadar sertleşmeyi sağlar,
5. Korozyona karşı dayanımı yükseltir,
6. Mıknatıslanma özelliğini geliştirir,
7. Yüksek sıcaklıklara karşı dayanımı arttırır,
8. Elektrik direncini yükseltir,
9. Isı etkisi altında genleşmeyi ayarlar,
10. Kristal yapısını inceltir. (Erdoğan vd., 2005)

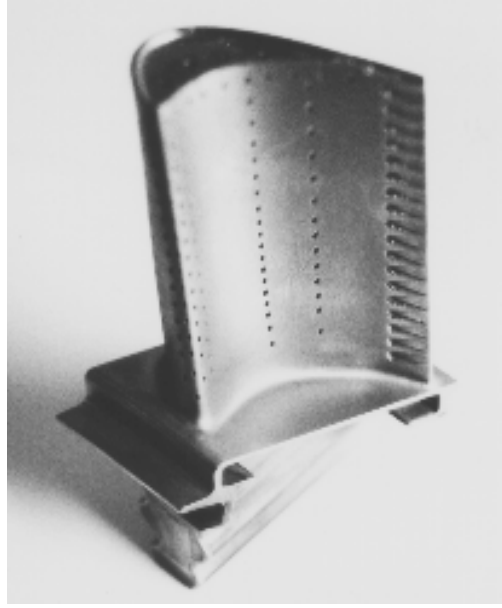
3.1 Süper Alaşımların Gelişim Süreci

Süper alaşımlar ilk olarak 1940'lı yılların başlangıcında nikel-krom alaşımlarına ufak miktarlarda titanyum ve alüminyum ilaveleriyle yüksek oksidasyon ve deformasyon dayanımlarının arttırılabilmesi sayesinde türbin kanatlarında kullanılmaya başlanmıştır. İlk üretilen süper alaşım Nimonic 80'dir ve sonrasında Nimonic 80A geliştirilmiştir. Sonrasında Nimonic 80A'ya yapılan yaklaşık % 20 oranında kobalt ilavesi ile 50°C daha çok sıcaklık dayanımı olan Nimonic 90 elde edilmiştir. Türbin motoru üreticilerinden gelen yüksek sıcaklık dayanımı talebinin artmasıyla molibden

ilaveli alaşımlar kullanılmış ve Nimonic 105 ve 115 elde edilmiştir. 1940'lı yılların sonunda Pratt and Whitney Aircraft ve General Electric Company tarafından Waspalloy ve M-252 adında iki yeni nikel esaslı dövme alaşım keşfedilmiştir. Bu iki alaşımı farklı yapan, katı eriyik ve karbür yapı mukavemeti sağlayan molibden'dir. Bu sayede türbin kanatlarında nikel esaslı dövme alaşımların kullanımını giderek yaygınlaşmıştır.

İlk alaşımlardan olan Nimonic 80A yüksek frekanslı ergitme tekniği kullanılarak hava yardımıyla ergitilmekteydi. O yıllarda bile malzemenin sertleştirilmesi sayesinde mukavemetinin arttırılabileceği biliniyordu. Fakat bu, hava ile ergitme yöntemiyle mümkün değildi. 1950'li yıllarda vakumla ergitme ve arındırma yönteminin geliştirilmesi sayesinde önemli bir gelişme sağlanmıştır. Vakumla ergitme, reaktif ergitme elementlerinin sertleştirilmesinde oksidasyonu engellemiştir. Ayrıca bu yöntem ham malzemelerde bulunan bizmut, kurşun, teleryum gibi uçucu olan elementlerin uzaklaşmasını sağlamış ve bu sayede süper alaşımların sürünme mukavemeti ve sünekliğine ters etkide bulunmuştur. Uçucu element içeriğinin azalmasıyla sıcak şekillendirmede önemli derecede bir iyileşme sağlanmıştır. Bu gelişme sayesinde Nimonic 115 ve Udimet 700 gibi daha mukavemetli süper alaşımlar elde edilmiştir.

1950'lerin sonuna yaklaşıldığında türbin kanatları çalışma sıcaklıkları, büyük zahmetlerle elde edilen dövme alaşımların kapasiteleriyle sınırlıydı. Güçlendirilmiş alaşımların mevcut olmasına rağmen bu alaşımları dövme yöntemiyle elde etmek imkansızdı. Dökme süper alaşımlar, vakum ve döküm teknolojilerinin geliştirilmesine kadar fazla kabul görmüyordu. Bu yöntemlerin gelişmesiyle vakum yöntemiyle dökülen ilk alaşımlardan birisi Inco 713C'dir. Bu malzemenin yüksek karbon içeriği nedeniyle çok fazla karbür oluşturması ve düşük sıcaklıktaki kötü sünekliği bütün olarak dökülen ve parçalarda problemler yaşanmasına neden olmuştur. Bu problemi aşmak için düşük karbon içeriği olan versiyonu geliştirilmiş ve türbin kanatlarında kullanılmaya başlanmıştır. (Ezugwu, et al., 1999)



Şekil 3.2 Tipik bir türbin kanadı ve üzerindeki havalandırma delikleri (Kaszeta, 2009)

Dövme alaşımlarda talep edildiği gibi döküm alaşımlarda da daha mukavemetli alaşımların talebi sonucu, döküm alaşımların titanyum ve alüminyum içeriğinin artırılmasıyla IN 100 geliştirilmiştir. 1960'lı yılların ortalarında Rene 77 malzemesi ve 1960'lı yılların sonlarında ise Rene 80 malzemesi General Electric Company tarafından benzer titanyum ve alüminyum alaşım içerikleriyle geliştirilmiştir. Geliştirilen Rene 80, korozyon direnci ve kopma dayanımı bakımından Rene 77'den daha iyidir.

1960'ların sonunda süper alaşımlardaki mukavemeti arttırabilmek için titanyum ve alüminyum katkısının daha fazla yapılamayacağı noktaya gelinmiştir. Bu sırada daha iyi döküm yapabilmek için titanyum oranının azaltılması gerektiği öğrenilmiştir. Bu durum sonucunda katı eriyik mukavemetini arttırabilmek için düşük titanyum-alüminyum oranları ve buna karşılık yüksek molibden-tantal oranları ihtiva eden B-1900 döküm alaşımı geliştirilmiştir. Martin Metals firması ise, alaşımlarında molibden yerine tungsten kullanarak Mar-M 200 alaşımını geliştirmiştir. Fakat bu alaşımda orta düzey sıcaklıklarda yetersiz sürünme ve kopma mukavemetleri problemleri yaşanmıştır. 1969 yılına gelindiğinde Martin Metals firması Mar-M 200'deki bu problemi döküm

alaşımı içeriğine yaklaşık %2 oranında hafniyum katarak aşmış ve ürünün patentini almıştır. Sonrasında hafniyumun yararlı etkisi Inco 713LC ve B1900 gibi birçok döküm alaşımda kullanılmıştır. Yüksek mukavemeti olan IN-100'ün ve sıcak korozyon direnci yüksek olan Udimet 500'ün birleştirilmesi ile IN-792 ve Mar-M 432 alaşımları oluşturulmuştur. Bu alaşımlar titanyum-alüminyum ve sıcaklığa dayanıklı metal ilaveleriyle yüksek oranlarda krom içeriği ile birlikte yüksek oranlarda krom ile elde edilmiştir. (Ezugwu, et al., 1999)

Çizelge 3.1'de süper alaşımların gelişim süreci ile sıcaklık dayanımları arasındaki ilişki gösterilmiştir. Yıllar geçtikçe gelişen teknolojiyle beraber geliştirilen malzemelerin sıcaklık dayanımları da artış göstermiştir.

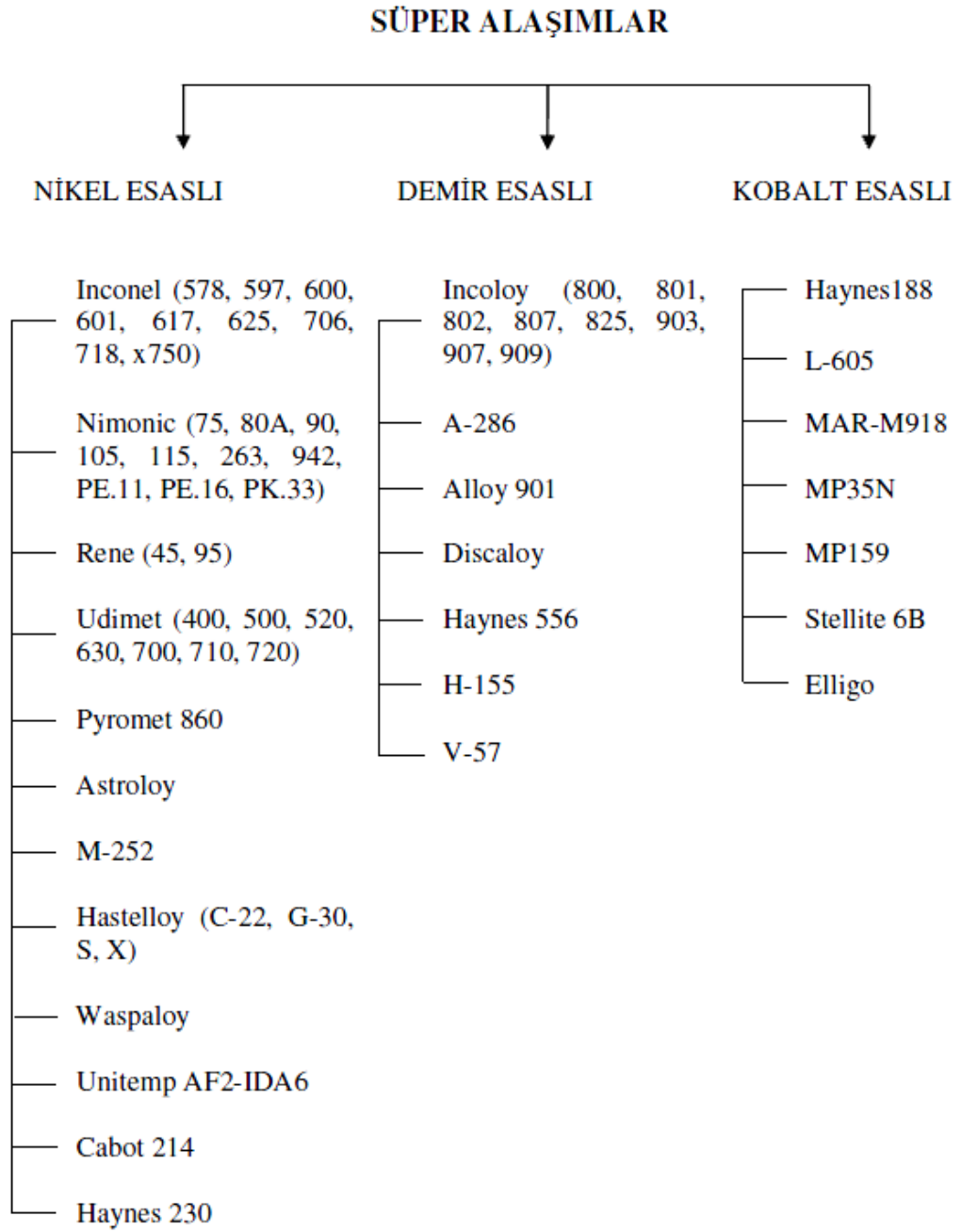
Çizelge 3.1 Süper alaşımların gelişimi ve sıcaklık dayanımı (Altın, 2005)

SICAKLIK °C	YAKLAŞIK YILLAR
1093	TRW-VIA MM200 MM246 MM247 IN100.....B-1900 R'80 IN-792
1038	IN-738
982	713C MM322 R77 U500 U-700 MM509 MM302
927	WASPALOY Wf-52
871	X-40 M-252
816	S-816 ICONELX-750 NIMONIC80 A
760	HA-21 NIMONIC80 HASTELLOYB

3.2 Süper Alaşımların Sınıflandırılması

Süper alaşımlar genel olarak üç ana başlık altında toplanır.

Çizelge 3.2 Süper alaşımların sınıflandırılması (Altın, 2005)



3.3 Nikel Esaslı Süper Alaşımlar

Nikel esaslı süper alaşımlar, en çok kullanılan süper alaşımlar olup çoğunlukla uçak motorlarında türbin komponenti olarak kullanılırlar. Bu süper alaşımların yüksek sıcaklıklarda korozyona, mekanik ve termal yorulmalara, mekanik ve termal şoklara, sürünmeye ve aşınmaya dayanıklı olmaları, zorlu ortamlarda kullanabilmelerini sağlar. Bu özellikler, alaşımın kullanıldığı alanlarda verimli ve efektif servis performansları için gereklidir. Uçak motorlarında özellikle yüksek basınç ve sıcaklıklarda çalışan türbin kanatlarında kullanılırlar. En yaygın kullanılan nikel esaslı süper alaşım ise Inconel 718'dir. (Ezugwu, et al., 2003)

Uçak gaz türbinlerinde, buhar türbinli elektrik santrallerinde, pistonlu motorlarda, metal işlemede, medikal uygulamalarda, uzay araçlarında, ısı işlem ekipmanlarında, nükleer güç sistemlerinde, kimyasal ve petrokimyasal endüstride, kirlilik kontrol ekipmanlarında, metal işleme fabrikalarında, kağıt fabrikalarında, vb. uygulamalarda kullanılırlar. (ASM Metals Handbook, Vol.2, 1995)

3.3.1 Nikel Esaslı Süper Alaşımların Kimyasal Bileşenleri

Nikel esaslı süper alaşımların nominal kimyasal bileşenlerin toplam ağırlığın %38 - %76'sını nikel(Ni), %0 - %27'sini krom(Cr) ve %0 - %20'sini kobalt(Co) oluşturur. Ayrıca sıcaklığa karşı dayanıklı elementler olan tungsten(W), tantal(Ta) ve molibden(Mo) ilaveleri ile mukavemet ve oksidasyon dayanımı özelliklerini arttırlar. Silikon, fosfor, sülfür, oksijen ve nitrojen gibi element konsantrasyonları uygun ergitme prosesinde alaşımın içinde bulunurlar. Çizelge 3.3'te döküm nikel esaslı süper alaşımların ağırlık bakımından kimyasal bileşen oranları verilmiştir.

Dövme nikel esaslı süper alaşımlar yaklaşık %10 - %20 oranında krom(Cr), %0 - %8 oranında alüminyum(Al) ve titanyum(Ti) karışımı ve %5 - %15 oranında ise kobalt(Co) ve demir(Fe) içerirler. Çizelge 3.4'te dövme nikel esaslı süper alaşımların ağırlık bakımından kimyasal bileşen oranları verilmiştir. (Ezugwu, et al., 2003)

Çizelge 3.3 Döküm nikel esaslı süper alaşımların ağırlık bakımından kimyasal bileşen oranları (Ezugwu, et al., 2003)

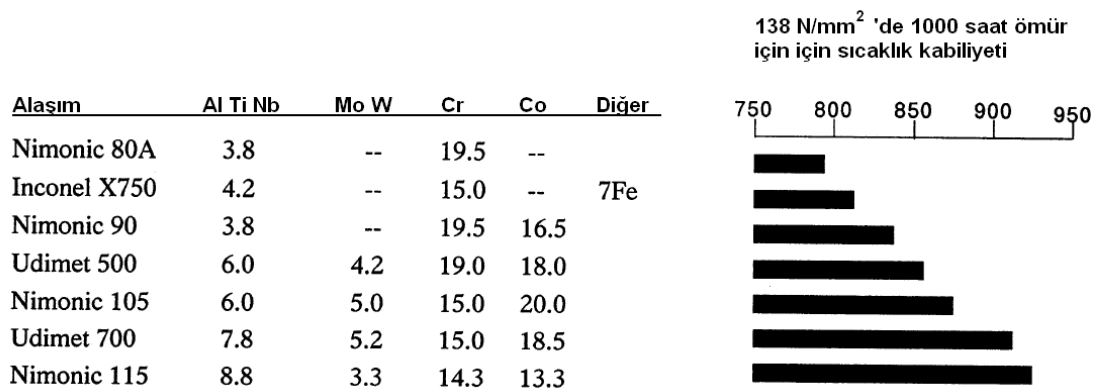
	Ni	Cr	Co	Mo	W	Ta	Cb	Al	Ti	Mn	Si	C	B	Zr
Alaşıım 713C	74	12.5	-	4.2	-	-	2.0	0.8	-	-	-	0.12	0.012	0.10
Alaşıım 713LC	75	12.0	-	4.5	-	-	2.0	0.6	-	-	-	0.05	0.010	0.10
B-1900	64	8.0	10.0	6.0	-	4.0	-	1.0	-	-	-	0.10	0.015	0.10
FORD 406	60	6.0	10.0	1.0	8.5	6.0	2.0	2.0	-	-	-	0.13	0.018	0.06
IN-100	60	10.0	15.0	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
IN-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
UDIMET 500	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

Çizelge 3.4 Dövme nikel esaslı süper alaşımların ağırlık bakımından kimyasal bileşen oranları (Ezugwu, et al., 1999)

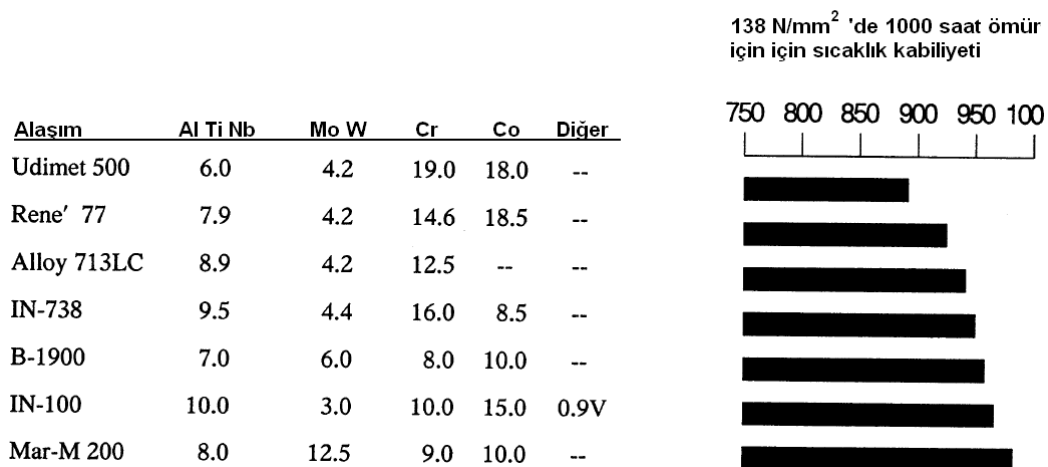
	Ni	Cr	Co	Mo	W	Ta	Cb	Al	Ti	Fe	Mn	Si	C	B	Zr	Diğer	
Astroloy	55.1	15.0	17.0	5.25	—	—	—	4.0	3.5	—	—	—	0.06	0.030	—	—	
D-979	45.0	15.0	—	4.0	4.0	—	—	1.0	3.0	27.0	—	—	0.05	0.010	—	—	
Hastelloy X	47.3	22.0	1.5	9.0	0.6	—	—	—	—	18.0	0.50	0.50	0.10	—	—	—	
Inconel 600	76.6	15.8	—	—	—	—	—	—	—	7.2	0.20	0.20	0.04	—	—	—	
Inconel 601	60.7	23.0	—	—	—	—	—	1.35	—	14.1	0.50	0.25	0.05	—	—	—	
Inconel 625	61.6	22.0	—	9.0	—	—	4.0	0.2	0.2	3.0	0.15	0.30	0.05	—	—	—	
Inconel 706	41.5	16.0	0.5	0.5	—	—	2.9	0.2	1.75	40.0	0.18	0.18	0.03	—	—	—	
Inconel 718	53.0	18.6	—	3.1	—	—	5.0	0.4	0.9	18.5	0.20	0.30	0.04	—	—	—	
Inconel X-750	73.0	15.0	—	—	—	—	0.9	0.8	2.5	6.8	0.70	0.30	0.04	—	—	—	
IN-102	67.9	15.0	—	3.0	3.0	—	3.0	0.4	0.6	7.0	—	—	0.06	0.005	0.03	0.02 Mg	
IN-587	47.2	28.5	20.0	—	—	—	0.7	1.2	2.3	—	—	—	0.05	0.003	0.05	—	
IN-597	48.4	24.5	20.0	1.5	—	—	1.0	1.5	3.0	—	—	—	0.05	0.012	0.05	0.02 Mg	
IN-853	74.6	20.0	—	—	—	—	—	1.5	2.5	—	—	—	0.05	0.007	0.07	1.3 Y ₂ O ₃	
M-252	55.2	20.0	10.0	10.0	—	—	—	1.0	2.6	—	0.50	0.50	0.15	0.005	—	—	
Nimonic 75	78.8	20.0	—	—	—	—	—	—	0.4	—	0.10	0.70	0.01	—	—	—	
Nimonic 80A	74.7	19.5	1.1	—	—	—	—	1.3	2.5	—	0.10	0.70	0.06	—	—	—	
Nimonic 90	57.4	19.5	18.0	—	—	—	—	1.4	2.4	—	0.50	0.70	0.07	—	—	—	
Nimonic 105	53.5	14.5	20.0	5.0	—	—	—	1.2	4.5	—	0.50	0.70	0.20	—	—	—	
Nimonic 115	57.3	15.0	15.0	3.5	—	—	—	5.0	4.0	—	—	—	0.15	—	—	—	
Nimonic PE.11	39.0	18.0	1.0	5.25	—	—	—	0.85	2.35	33.5	—	—	0.05	—	—	—	
Nimonic PE.16	43.5	16.5	1.0	3.3	—	—	—	1.2	1.2	33.0	0.10	0.15	0.05	0.020	—	—	
Nimonic PK.33	55.9	18.5	14.0	7.0	—	—	—	2.0	2.0	0.25	0.10	0.15	0.05	0.030	—	—	
Nimonic 120	63.8	12.5	10.0	5.7	—	—	—	4.5	3.5	—	—	—	0.04	—	—	—	
Nimonic 942	49.5	12.5	1.0	6.0	—	—	—	0.6	3.9	27.5	—	—	0.03	—	—	—	
Pyromet 860	43.0	12.6	4.0	6.0	—	—	—	1.25	3.0	30.0	0.05	0.05	0.05	0.010	—	—	
RA-333	45.0	25.5	3.0	3.0	3.0	—	—	—	—	18.0	1.50	1.20	0.05	—	—	—	
Rene' 41	55.3	19.0	11.0	10.0	—	—	—	1.5	3.1	—	—	—	0.09	0.005	—	—	
Rene' 95	61.3	14.0	8.0	3.5	3.5	3.5	—	3.5	2.5	—	—	—	0.15	0.010	0.05	2.0 ThO ₂	
TD nickel	98.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.0 ThO ₂
TD nic	78.0	20.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.0 ThO ₂
Unimet 500	53.6	18.0	18.5	4.0	—	—	—	2.9	5.9	—	—	—	0.08	0.006	0.05	—	
Unimet 520	56.9	19.0	12.0	6.0	1.0	—	—	2.0	3.0	—	—	—	0.05	0.005	—	—	
Unimet 700	53.4	15.0	18.5	5.2	—	—	—	4.3	3.5	—	—	—	0.08	0.030	—	—	
Unimet 710	54.9	18.0	15.0	3.0	1.5	—	—	2.5	5.0	—	—	—	0.07	0.020	—	—	
Unitemp AF2-1DA	59.5	12.0	10.0	3.0	6.0	1.5	—	4.6	3.0	—	—	—	0.32	0.015	0.10	—	
Waspaloy	58.3	19.5	13.5	4.3	—	—	—	1.3	3.0	—	—	—	0.08	0.006	0.06	—	

Süper alaşımların kimyasal bileşenleri, bileşen türüne göre sıcaklık kapasiteleri üzerinde farklı etkiler yaratmaktadır. Bu etkiler dövme nikel esaslı süper alaşımlar için aşağıda Çizelge 3.5'te ve döküm nikel esaslı süper alaşımlar için Çizelge 3.6'da gösterilmiştir. (Ezugwu, et al., 1999)

Çizelge 3.5 Dövme nikel esaslı süper alaşımların bileşenleri ile sıcaklık kapasiteleri arasındaki ilişki (Ezugwu, et al., 1999)

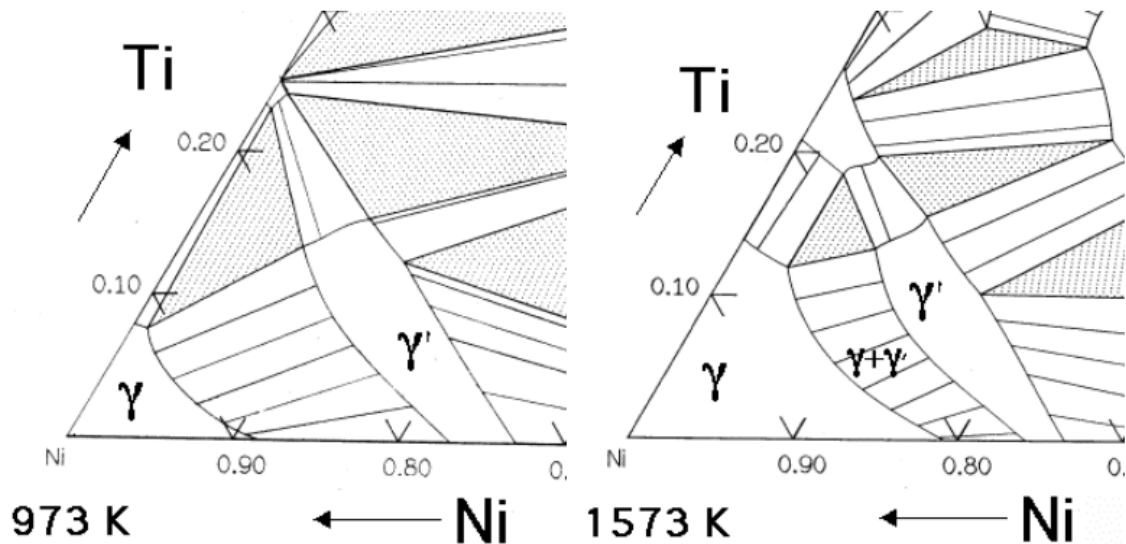


Çizelge 3.6 Döküm nikel esaslı süper alaşımların bileşenleri ile sıcaklık kapasiteleri arasındaki ilişki (Ezugwu, et al., 1999)



3.3.2 Nikel Esaslı Süper Alaşımların Mikroyapısı

Nikel esaslı süper alaşımlardaki temel eriyik toplam konsantrasyondaki atomik yüzdesi 10'dan düşük olan alüminyum ve/veya titanyumdur. Bu, γ (gama) ve γ' (ilk gama)'dan oluşan dengeli bir iki fazlı mikroyapı oluşturur. Malzemenin yüksek sıcaklığa ve sürünme deformasyonuna dayanımı γ' fazı sayesinde. γ' fazının oranı kimyasal bileşene ve sıcaklığa bağlıdır. Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te üçlü faz diyagramlarıyla bu durum gösterilmiştir.



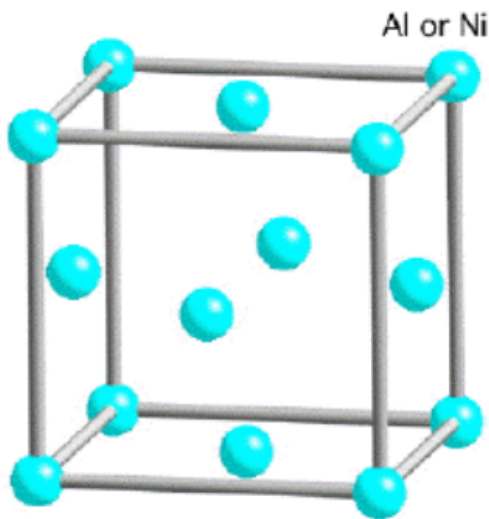
Şekil 3.3 γ ve γ' fazının 973 K'deki
Ni-Al-Ti üçlü faz diyagramı

Şekil 3.4 γ ve γ' fazının 1573 K'deki
Ni-Al-Ti üçlü faz diyagramı

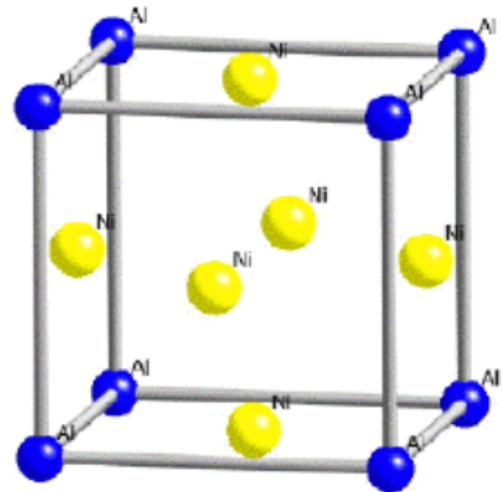
(Bhadeshia, 2009)

Yukarıdaki Ni-Al-Ti üçlü faz diyagramları γ ve γ' fazının faz alanlarını göstermektedir. Sıcaklık arttıkça γ' fazının ölçütünün azaldığı görülmektedir. Bu olay γ' fazının yeterli bir yüksek sıcaklıkta erimesi (solüsyon işlemi) ve devamında daha düşük sıcaklıkta yaşlandırma ile daha üniform bir yapı ve güçlenen tortuların ayrışması için kullanılmaktadır.

γ fazı yüzey merkezli kübik yapı ve farklı atomların (alüminyum ve/veya titanyum ve nikel atomları) rasgele dağılımı ile katı eriyik halindedir. γ' fazı da yüzey merkezli kübiktir fakat γ fazından farklı olarak alüminyum ve/veya titanyum atomları kübik kafesin köşelerinde iken yüzeylerde nikel atomları bulunur. Bu atomik dizilimin kimyasal formülü Ni_3Al , Ni_3Ti veya $Ni_3(Al,Ti)$ şeklinde verilebilir. Şekil 3.5'te γ fazının, şekil 3.6'da ise γ' fazının kristal yapıları gösterilmiştir. (Bhadeshia, 2009)



Şekil 3.5 γ fazının kristal yapısı



Şekil 3.6 γ' fazının kristal yapısı

(Bhadeshia, 2009)

Nikel esaslı süper alaşımlarda ana faz varlıkları aşağıdaki gibidir.

- 1 - γ (gama) fazı – yüzey merkezli kübik östenitin sürekli matrisi
- 2 - γ' (ilk gama) fazı – ana çökelti fazı
- 3 - Karbürler – çeşitli tipler, başlıca $M_{23}C_6$ ve MC (burada “M” bir metal içindir.)

Nikel esaslı süper alaşımların yıllarca gelişiminde (1940'tan 1970'e) mikroyapılarında değişiminde aşağıdaki eğilimler gözlenmiştir.

- 1 - γ' 'ünün kısmi hacim oranı artırılmıştır.
- 2 - γ' 'ünün boyutu ilk olarak artırılmış ve daha sonra yaklaşık $1\mu\text{m}$ 'da sabit bırakılmıştır.
- 3 - γ' daha kübik olmuştur.
- 4 - Daha ince bölünmüş γ' ikinci bir faz çözeltisi belirginleşmiştir.

Nikel esaslı süper alaşımlarının giderek gelişmesinde bunlardan bazıları “problem” yapılar üretmiştir. Hücresel karbürler kısa kopma ömrüne ve σ fazı düşük sıcaklık gevrekliğine ve de kısa kopma ömrüne neden olmaktadır. İyileştirilmiş ısıt işlemler hücresel karbür problemini yok ederken alaşımın kimyasını değiştirmek yerine geliştirilmiş nikel-esaslı süper alaşımlardaki σ fazının yok olmasına neden olmuştur.

3.3.2.1 γ fazı

Nikel esaslı sürekli östenitin bir matrisi olan γ fazı, krom, molibden, tungsten, kobalt, demir, titanyum ve alüminyum gibi katı eriyik elementleri ilaveleriyle mukavemetlendirilir. Bu elementler Çizelge 3.7'de gösterildiği gibi atomik çapta nikelde %1-13 farklıdır.

Alüminyum bir çökelti mukavemetlendirici olmanın yanında kuvvetli bir katı eriyik mukavemetlendiricidir. Tungsten, molibden ve krom da kuvvetli bir katı eriyik mukavemetlendiren elementlerdir. Atomik boyut faktörüne ilave olarak elementin periyodik tablodaki pozisyonunun katı eriyik mukavemetlenmesini etkilediği görülmektedir. Elektron boşluk numarasındaki (N_v) artışın istiflenme enerjisini ve bu nedenle çapraz kaymayı zorlaştırdığı görülmektedir.

Yüksek sıcaklık sürünme aralığı olan 0,6 (T_m) üzerindeki sıcaklıklarda difüzyon bağımlıdır. Yavaş difüzyon elementleri molibden ve tungsten bu alaşımlarda yüksek sıcaklık sürünmesini azaltmak için en faydalıdır. Kobalt kısmi dislokasyonlar arasında istiflenme enerjisini azaltmakla çapraz kaymayı daha da zorlaştırır ve bu nedenle alaşımın yüksek sıcaklık kararlılığını artırır.

Çizelge 3.7 Nikel esaslı süper alaşımlarda ve elektron boşluk numaralarında alaşım elementleri ve nikel arasında atomik çaplarda fark N_v^* (Smith, 2001)

	Atomik çapta nikelden fark (%)	Elektron boşluk numarası (N_v)
Nikel	§	0.66
Krom	+3	4.66
Molibden	+12	4.66
Tungsten	+13	4.66
Kobalt	+1	1.71
Demir	+3	2.66
Alüminyum	+6	2.66
Titanyum	+9	6.66
Niobyum	+18	5.66

* Elektron boşluk numarası ilk uzun periyodun üçüncü kabuğunda elektron boşluklarının ortalama sayısını temsil eder.

§ Nikelin atomik çapı = 0.2491

3.3.2.2 γ' fazı

γ' fazı östenitik nikel süper alaşımlarında çökelti sertleşmesi ısıl işlemiyle çökeltilebilir. Yüksek nikel matrisinde γ çökeltisi yüzey merkezli kübik A_3B tip bileşiğe sahiptir. “A” Ni, Co ve Fe gibi nispeten elektronegatif elementlerden, “B” Al, Ti veya Nb gibi elektropozitif elementlerden oluşmuştur. Tipik olarak bir nikel esaslı süper alaşımda γ' $Ni_3(Al,Ti)$ olur, ancak kobalt ilave edilirse kobalt $(Ni, Co)_3(Al, Ti)$ olarak bir miktar nikel için yer değişebilir.

Ni atomu 3d elektron durumundan dolayı nispeten basılamaz olduğu için yüksek nikel matris γ ile yaklaşık sadece % 0,1 uyumsuzluğa sahip γ' çökeltmesinin lehindedir. Bu nedenle γ' düşük düzey enerjisi ve olağanüstü uzun dönem kararlılığı

ile homojen bir şekilde çöker. γ' ve γ arasındaki uyum tetragonal çarpılma ile korunur.

γ' [$\text{Ni}_3(\text{Al,Ti})$] kısa diziliş düzeni gösterdiği için süperkafes ve antifaz sınırı (ATS) hatalarının her ikisi de kaydırmanın sonucu olarak olur. Bu nedenle ATS dislokasyon iç etkileşimi ile $\gamma - \gamma'$ alaşımlarında mukavemetlenme olur. $\text{Ni}_3(\text{Al,Ti})$ 'da düzenin derecesi sıcaklıkla arttığı için yüksek γ' kısmi hacimli oranlı alaşımlar 800 °C'ye kadar sıcaklık arttıkça dayanım da dikkate değer bir artış gösterir.

γ / γ' uyumsuzluğu γ' parçacık morfolojisini belirler. Küçük uyumsuzlukla ($\sim \% 0,05$) γ' küre olarak oluşur. Uyumsuzluk arttığında $\{100\}$ ara yüzeyleriyle küp şeklinde oluşur. $\%1,25$ 'in üzerinde uyumsuzlukta uyumlu plakalar olarak oluşur.

3.3.2.3 Karbürler

Nikel esaslı ısı dirençli alaşımlarda karbürlerin rolü

Nikel esaslı süper alaşımların karbon içerikleri dövme alaşımlar için $\%0,02$ 'den yaklaşık $\%0,2$ 'ye ve döküm alaşımlar için $\%0,6$ 'ya kadar değişir. Metalik karbürler tane sınırlarında ve tane içlerinde oluşur. Karbürlerin alaşım matrisinden sert ve daha kırılğan oldukları için, bunların tane sınırları boyunca dağılımı nikel-esaslı ısı dirençli alaşımların yüksek sıcaklık dayanımlarını, sünekliğini ve sürünme özelliklerini etkileyecektir. Bu nedenle, tane sınırları boyunca karbürlerin optimum miktar ve dağılımı söz konusudur.

Tane sınırları boyunca karbürler yoksa yüksek sıcaklık deformasyonu sırasında boşluklar tane sınırları boyunca birleşecek ve fazla tane sınırı kayması olacaktır. Diğer taraftan tane sınırları boyunca sürekli karbür çökeltileri uzanırsa düşük darbe özellikleriyle birlikte sürekli kırılma yolu oluşacaktır. Bu nedenle tane sınırı kayması engellenecek ve sonuç olarak gerilimler yığılacak ve erken kopmaya neden olacaktır. Tane sınırları boyunca süresiz bir karbür zinciri optimum şarttır çünkü

bu yapıdaki karbürler tane sınırı kırılmasını zorlaştırır ve aynı zamanda tane sınırındaki deformasyondan dolayı sürekliliği kısıtlamaz.

Karbür tipleri

Ni-esaslı süper alaşımlarda oluşan yaygın tip karbürler MC, $M_{23}C_6$ ve M_6C 'dir. MC karbürler tek karbürlerdir ve genel MC formülüne sahiptir, burada "M" titanyum, tantal, niobyum veya tungsten gibi metalik elementler içindir. Bu karbürler çok karardır ve katılma sıcaklığı başlangıcının hemen altında oluştuğu düşünülmektedir. Bu karbürler çözündürme ısıl işlemi sırasında katı fazda zorlukla çözünürler ve tane büyümesini kısıtlarlar.

$M_{23}C_6$ karbürlerinde "M" genellikle kromdur ancak bu element, 760-980 °C aralığında hizmet verir ve düşük sıcaklık ısıl işlemleri sırasında oluşan $M_{23}C_6$ alaşım karbürlerine bağlı olarak demirle ve küçük oranda tungsten, molibden ve kobaltla yer değişebilir. Bu karbürler MC karbürlerinin bozunmasından veya alaşım matrisinde çözünen karbondan oluşabilir ve genellikle tane sınırlarında çöker, $M_{23}C_6$ karbürleri kompleks kübik yapıya sahiptirler.

M_6C karbürleri 815-980 °C aralığında oluşurlar. Bu karbürler $M_{23}C_6$ karbürlerine benzerler ve esas alaşımın molibden ve tungsten içerikleri yüksek olduğunda oluşma eğilimine sahiptirler. Nikel esaslı alaşım yaklaşık %6-8'den fazla Mo veya W (Örneğin M 252 ve Rene 241'de) içeriğinde M_6C , $M_{23}C_6$ ile birlikte tane sınırlarında oluşacaktır.

3.3.2.4 Topolojik olarak sıkı paket (TSP) fazlar

Nikel esaslı süper alaşımlarda kompozisyon yeterli bir şekilde kontrol edilememiştir. TSP fazı ısıl işlem ve kullanım sırasında oluşabilir. Bunların en önemlileri σ , μ ve laves veya X'dir. $\{111\}$ düzlemlerine paralel ince plakalar olarak

oluşan bu fazlar düşük kopma dayanımlarına ve düşük kopma sünekliğine neden olabilirler.

TSP fazının arzu edilmeyen başka bir özelliği, Cr, Mo ve W gibi refrakter elementleri uzaklaştırmakla nikel esaslı alaşımların kimyasal dengesini değiştirmesidir. Böylece katı eriyik mukavemetlenmesi, aynı zamanda γ/γ' uyumsuzluğu azalır. Faz kompozisyonu olarak bilinen bir alaşımlama tasarım tekniği kullanılarak şimdi süper alaşımlarda genellikle TSP fazlarından kaçınılmaktadır. Bu teknik esas olarak γ matrisi için ortalama elektron boşluk numarasını hesap etmektedir. Faz kompozisyonu ticari süper alaşımların tasarımını büyük ölçüde kolaylaştırmıştır. Çünkü TSP fazını oluşturmak için bütün alaşım elementlerinin eğilimleri hesaplamaya dahil edilmiştir. (Smith, 2001)

3.3.3 Nikel Esaslı Süper Alaşımların Mukavemetlendirilmesi

Nikel esaslı süper alaşımların mukavemet artırıcı metotları katı eriyik mukavemetlendirmesi, çökelme sertleşmesi ve dağılım sertleşmesidir.

3.3.3.1 Katı eriyik mukavemetlendirmesi

Ticari östenitik süper alaşımlar katı eriyikte mukavemet, sürünme dayanımı ve yüzey bozulmalarına karşı dayanım için her zaman sağlam alaşım ilaveleri içerirler. Buna ek olarak, daha güçlü alaşımlar uygun ısı işlem ve termo-mekanik işlemler sonucu intermetalik bir yapının küçük ve uyumlu partiküllerini oluşturacak elementler içerirler. Bu yüzden tipik nikel esaslı süper alaşımlar östenitik nikel-krom-tungsten (veya molibden) matrisinin çeşitleridir. Yararlı bir katı eriyik mukavemetlendirmesi için alaşım elementinin aşağıdaki maddeleri sağlaması gerekir.

- 1) Matris içinde büyük ölçüde katı çözünebilme özelliğine sahip olmalıdır.
- 2) Matris ile atomik boyutta büyük farklılık olmalıdır.
- 3) Erime noktası yüksek olmalıdır.

Katı eriyik elementleri tipik olarak γ fazında bulunurlar ve alüminyum, krom, demir, titanyum, tungsten, vanadyum, kobalt ve molibden içerirler. Bu elementlerin nikel atomuna göre atom çaplarındaki farklılık + %1 kobalt ve + %13 tungsten arasında değişir.

3.3.3.2 Çökeltme sertleşmesi

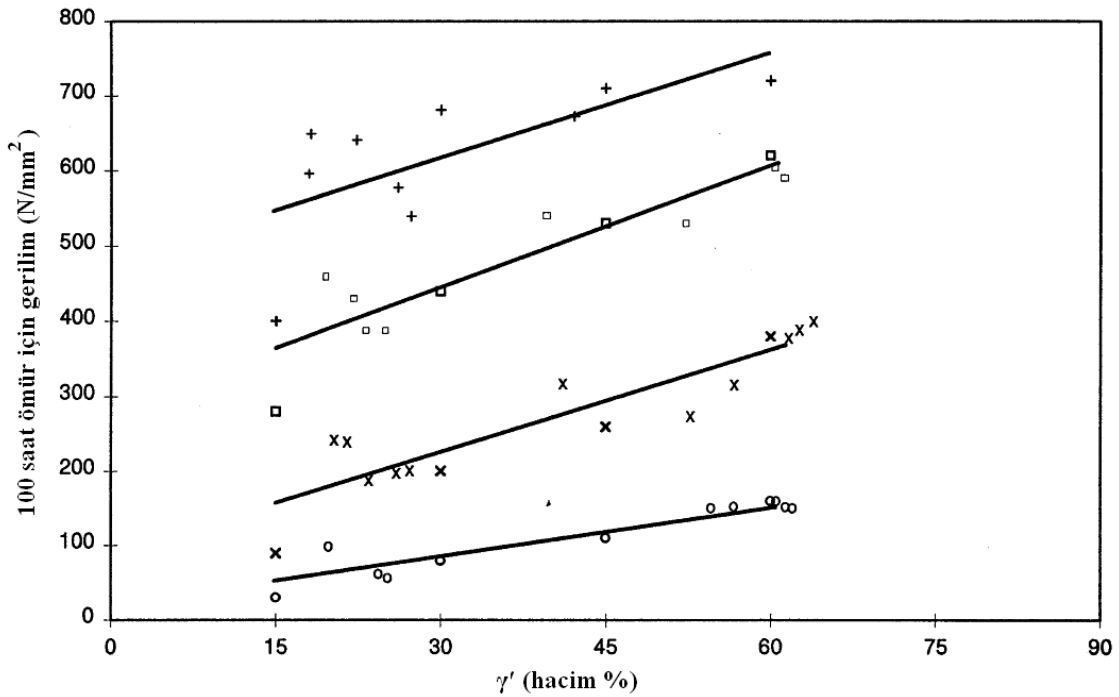
Nikel esaslı süper alaşımlardaki çökeltme sertleşmesi γ' çökeltmesi ile olur. Borit ve karbür gibi diğer fazlar düşük sıcaklıklarda düşük hacim oranlarından dolayı az miktarda mukavemetlendirme sağlarlar, buna rağmen nikel alaşımların sürünme ve kopma ömürlerini etkilerler.

Mukavemetteki artış dislokasyon ve γ' çökeltmesi arasındaki etkileşim ile sağlanır ve bu etkileşim de aşağıdaki faktörlere bağlıdır.

- 1) Mevcut γ' fazının hacim oranı
- 2) γ' fazının tanecik büyüklüğü
- 3) Anti faz sınır enerjisi – ABP (anti-phase boundary energy)

Belirli bir sıcaklıkta, γ' fazının hacim oranı direk olarak alüminyum, titanyum, niyobyum, vb, gibi toplam sertleştirme elementleri ile bağlantılıdır ve bu oran nikel esaslı süper alaşımların yüksek sıcaklık dayanımını belirler. γ' fazının hacim oranının nikel esaslı süper alaşımların yüksek sıcaklık dayanımlarına etkisi Çizelge 3.8'de gösterilmiştir. Bu etki alaşım tasarımcıları için muhtemelen en önemli rehberdir.

Çizelge 3.8 γ' fazının hacim oranının nikel esaslı süper alaşımların yüksek sıcaklık dayanımlarına etkisi (Euzugwu, et al., 1999)



Alaşımların dayanımlarının artırılması ayrıca γ' fazının tanecik boyutu ile de alakalıdır. Ticari nikel esaslı süper alaşımlar için normal ısıl işlem uygulaması γ' fazının tanecik boyutunun ve buna uygun olarak en yüksek sertlik değerlerinin yakalanmasına odaklıdır. Çalışma esnasında alaşım daha önceki yaşlandırma ısıl işleminde gördüğü sıcaklıktan daha fazla sıcaklığa maruz kalırsa γ' taneciği irileşir ve mukavemeti düşer.

Anti-faz sınır enerjisi (ABP) çökelme düzenleme derecesinin fonksiyonudur. Eğer bir uygun düzenlenmiş γ' taneciği dislokasyon nedeniyle bölünürse, bu bir yüksek enerji alanına sebep olur ve dislokasyonun ilerlemesine engel olur. Böylelikle aynı kayma düzleminde dislokasyonun devamı için geçiş anti-faz sınır enerjisi (ABP) yok edilene kadar engellenir. Genel etki kesme mukavemetine eklenir.

3.3.3.3 Dağılım sertleşmesi

γ' taneciğinin eriyik olduğu sıcaklığın üstüne çıkabilmek ve bu yüksek sıcaklıklarda mukavemeti sağlayabilmenin en efektif yolu, matris içerisinde çözünmeyen, farklı ve kararlı metal olmayan bir dağılım fazı eklenmesidir. Yüksek sıcaklıklarda çalışma kabiliyeti için en iyi dağılım malzemeleri, toryum dioksit, itriyum oksit, lantan oksit gibi yüksek serbest enerjili oluşumları olan elementlerin oksitleridir. Dağılım fazının büyüklüğü ve dağılımı etkinliği ve mukavemetlendiriciliği yönetir. Tanecikler ufak ve üniform dağılımlı olmalıdır. Erişilebilecek mukavemetlendirme oranı sünekliği sağlarken eklenen oksitin düşük hacim oranı ile limitlidir.

3.3.4 Nikel Esaslı Süper Alaşımların Isıl İşlemleri

Nikel esaslı süper alaşımların ısıl işlemleri tavlama veya yumuşatma, ergitme işlemi ve yaşlandırma / çökeltme sertleşmesi olarak üç ana grupta incelenebilir.

3.3.4.1 Tavlama veya yumuşatma

Bu tarz ısıl işlemler süper alaşımı plastik deformasyona zorlayacak kadar ağır şartlarda çalışan malzemeler için bu deformasyonun önlenmesi adına yapılır. Orta ve son ısıl işlemler ile hem yumuşak hem de sünek bir ürün elde edilir. Yumuşatma genellikle yeniden kristallenme ile alakalıdır fakat aynı zamanda bazı krom karbürlerinin erimesine neden olabilir. Tavlama genellikle katı eriyikle sertleştirilmiş alaşımlar için gereklidir. Yumuşatma ısıl işlemleri ayrıca çökeltme ile sertleştirilebilen alaşımların üretimi sırasında da kullanılabilir ve bu operasyon için kullanılan zaman ve sıcaklık değerlerinin çökeltme ile sertleştirilmiş fazları tam anlamıyla eritemeyebileceğinin hatırlanması önemlidir.

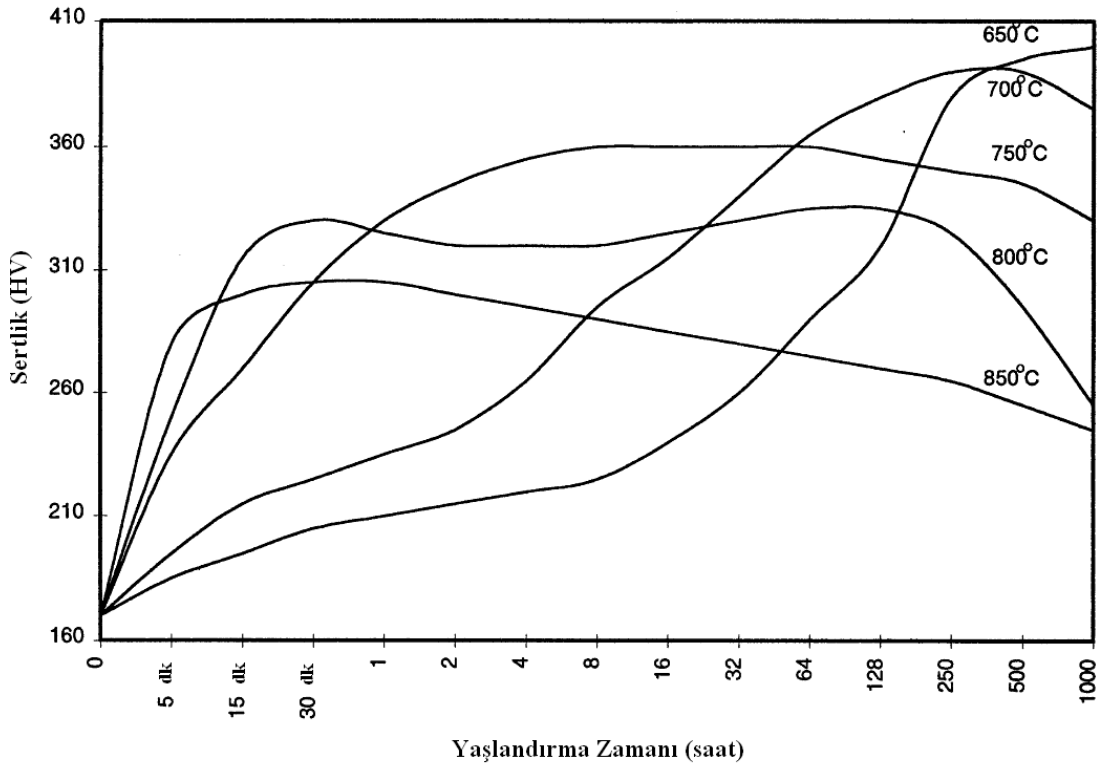
3.3.4.2 Ergitme işlemi

Ergitme işleminin ana amacı γ' ve bazı durumlarda karbürlerin tekrar ısıtma/yaşlandırma anındaki çökelmelerinin kontrolü veya özel durumlarda soğutma esnasında çökeltilen fazların eritilmesidir. Ergitme işlemi sıcaklığının seçimi mevcut olan çeşitli fazların erime sıcaklığına ve tane irileşme sıcaklığına bağlıdır. Bu nedenle daha küçük tane boyutu, daha düşük sıcaklıkta gerilme ve yorulma özellikleri, sonuç olarak düşük ergitme işlemi sıcaklığı tercih edilir. Diğer taraftan yüksek ergitme sıcaklığıyla elde edilen iri taneler sayesinde yüksek sıcaklıklarda sürünme ve kopma özellikleri geliştirilir.

3.3.4.3 Yaşlandırma / çökeltme sertleşmesi

Bu ısıl işlemin amacı sertleştirme fazlarını belli bir istenen mekanik özellikleri geliştirecek bir yapıyı oluşturacak şekilde çökeltmektir. Çizelge 3.9'da nikel esaslı bir süper alaşım olan Nimonic 80A'nın yaşlandırma eğrileri verilmiş, yaşlandırma zamanı ve sıcaklığın Nimonic 80A'nın sertliğine etkisi gösterilmiştir. Optimum sertleştirmenin 700 °C'de 128 saatten sonra veya 650 °C'de 500 saatten sonra elde edilebileceği bellidir. Fakat bu süreler ticari ve ekonomik olarak kabul görmez ve ayrıca belirtilen maksimum sertliğe ihtiyaç duyulmaz. Bunu yerine istenen oranları sağlayacak kadar ısıl işlem uygulanır. (Euzugwu, et al., 1999)

Çizelge 3.9 Yaşlandırma zamanı ve sıcaklığın Nimonic 80A'nın sertliğine etkisi
(Euzugwu, et al., 1999)



3.3.5 Nikel Esaslı Süper Alaşımların Gerilme – Kopma Özellikleri

3.3.5.1 Yüksek sıcaklıkta gerilme – kopma özellikleri

Genelde nikel esaslı süper alaşımlar 760 – 980 °C sıcaklık aralığında kullanılır. Bazı nikel esaslı süper alaşımların, 650, 815 ve 982 °C'de 100 ve 1000 saat için yüksek sıcaklık gerilim – kopma değerleri çizelge 3.10'da verilmiştir.

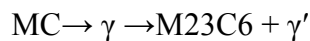
Çizelge 3.10 Dövme ve döküm nikel esaslı süper alaşımların kopma dayanımları (ksi)
(Smith, 2001)

Alaşım	Karakteristik Kopma Dayanımları (ksi)					
	650°C		815°C		982°C	
	100 saat	1000 saat	100 saat	1000 saat	100 saat	1000 saat
Dövme						
Inconel X-750	80	68	26	16	3.5	--
Udimet 500	--	--	44	32	--	--
Udimet 700	--	102	58	43	17	8
Waspaloy A	108	88	40	25	6.8	--
Astroloy	--	112	59	42	15	8
Rene 41	110	102	45	29	12	--
Döküm						
B-1900	--	--	73	55	26	15
MAR-M200	--	--	76	60	27	19
IN 200	--	--	73	55	25	15
IN 738	--	--	76	52	26	14
MAR-M246	--	--	82	65	27	18

3.3.5.2 Isıl işlemin gerilme – kopma özelliklerine etkisi

Dövme Alaşımlar

Isıl işlem daha önce incelendiği gibi nikel esaslı süper alaşımların kopma özelliklerini etkiler. Nimonic 80A ve M-252 gibi dövme alaşımlar için ilk başta uygulanan ısıl işlemler prensip olarak sadece yüksek sıcaklık çözdürme işleminin ardından yaşlandırmadan meydana gelmiştir. Bu iyi çekme dayanımı kısa süre kopma özellikleri sağlamış ancak optimum uzun süre kopma özellikleri üretmek için etkin olarak yapıyı kararlı hale getirmemiştir. Başka bir orta sıcak yaşlandırma ilavesi ile uzun süre kopma dayanımı, esaslı bir şekilde arttırılmıştır. Fazla yaşlandırma MC reaksiyonunu ortaya çıkarır, böylece $M_{23}C_6$ karbürlerindeki kaba parçacıkların tane sınırı ilerde γ' 'nin bir katmanında çepeçevre kuşatılır.



Döküm Alaşım lar

Döküm nikel esaslı süper alaşımlar ilk olarak geliştirildiğinde bunlara basit ısı işlemler uygulanmıştır. Bu alaşımlar kendi kalıplarında soğutulmuş ve daha sonra tamamen γ' fazı oluşturması için yaklaşık 760 °C'de yaklaşık 12 saat süreyle yaşlandırılmıştır. Bugün endüstriyel türbinlerde ve jet motorlarında kullanılan döküm süper alaşımlarına yapılarını homojenize etmek ve dayanım sürekliliklerini arttırmak için aşamalı ısı işlemler uygulanır.

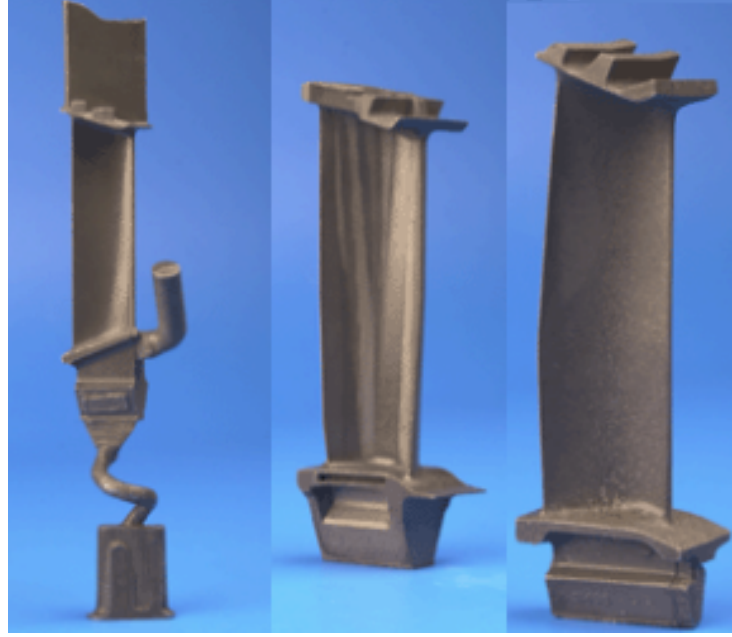
3.3.6 Nikel Esaslı Süper Alaşımların Tek Kristal Dökümleri

3.3.6.1 Yönlü katılaşmış nikel esaslı süper alaşımların tek kristal dökümleri

70'li yılların sonlarında ve 80'li yılların başlarında bazı gaz türbin kanatları için çok kristalli döküm nikel esaslı süper alaşımların yerini almak için sütunsal taneli ve tek kristal dökümlerin ortaya çıkması süper alaşım dökümlerin dayanımında büyük bir artış ve yüksek sıcak yeteneği sağlamıştır.(Şekil 3.7) Türbin kanatlarında bu malzemenin kullanımı gaz türbinlerinin 100 saat / 140 MPa (20,3 ksi) gerilme kopma yetenekli yaklaşık 50 °C (90 °F) daha yüksek kullanımı sağlamıştır.

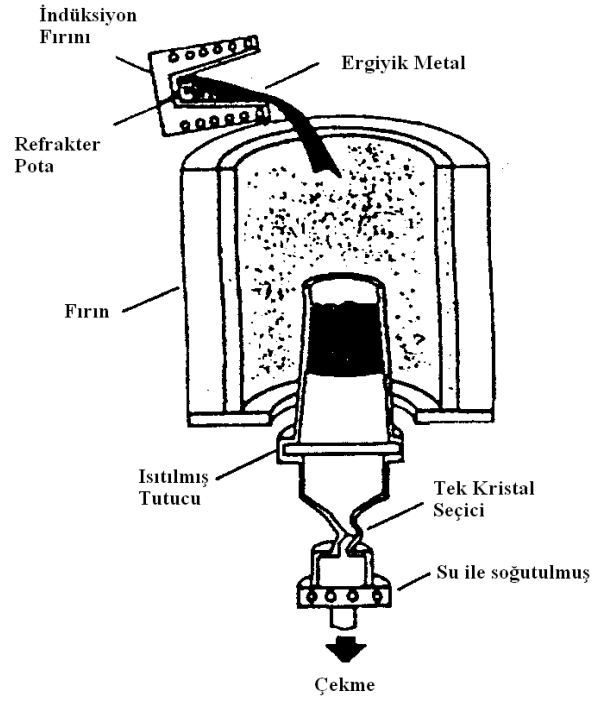
Sütunsal taneli kristal yapılı türbin kanatları (Şekil 3.7 - b) dökülen dökümün bir fırından kalıbın şekil 3.8'de gösterildiği gibi tek kristal selektörünü (kolunu) kullanmaksızın yavaş bir şekilde çekilmesiyle üretilir.

Bir spiral kanal kullanmakla türbin kanatları için kalıbın dibine yakın, tek kristal dökümler (Şekil 3.7 - a) üretilmiştir. Bu nedenle tane sınır kaymasını önlemek amacıyla ayrı karbürlerin oluşması için B, Zr ve C ilaveleri istenmiştir. (Smith, 2001)



(a) Tek Kristal (b) Sütunsal Kristal (c) Çok Kristal

Şekil 3.7 Türbin kanatları döküm çeşitleri (Bhadeshia, 2009)



Şekil 3.8 Tek kristal süper alaşımların dökümü için düzeneğin şematik diyagramı (Smith, 2001)

Sonuç olarak B, Zr, C ve Hf tane sınırı mukavemetlenme elementlerinin uzaklaştırılması süper alaşım dökümlerin düşük ergime sıcaklığını 80-100 °C (150-200 °F) yükseltir. Tek kristal süper alaşımlara yüksek sıcaklıklarda çözündürme ısıl işlemi uygulanabilir. Böylece dökümün yavaş soğutulmasından oluşan kaba gama ilk fazı çözümlenebilir. Maksimum bir mukavemetlendirme için ince bir gama ilk dağılımı düşük sıcaklıklarda çökeltiler ve büyütülebilir. PWA1480'in oksidasyon direncinde kısmi iyileşme bir miktar tungstenin tantal ile yer değiştirmesine atfedilir. Çünkü tantal tungstenden daha yüksek oksidasyon direncine sahiptir. CMSX-4C ve PWA 1484 gibi yüksek dayanım tek kristal alaşımlar (Çizelge 3.11) nikel esaslı süper alaşımların özelliklerini daha da iyileştirmek için geliştirilmektedir. Bu iki alaşım PWA 1480 gibi ilk jenerasyon tek kristal alaşımından 30 °C daha yüksek kullanım sıcaklığına sahiptir. Bu alaşımların %3 renyum ilavesi yüksek alüminyum ve titanyum içeriklerine izin verir. Bu tekrar gama ilk'in (γ') yüksek hacim oranını üretir. Renyum, γ/γ' ara yüzeyinde reaksiyon kinetiklerini azaltmakla γ' in kabalaşmasını azaltır. Bu alaşımlar için yeterli yapısal kararlılığı korumak amacıyla içeriği azaltılmıştır. (Smith, 2001)

Çizelge 3.11 Yönlü katılaştırılmış süper alaşımların nominal kimyasal kompozisyonları (Smith, 2001)

	Kompozisyon (%)											
	Cr	Co	W	Mo	Ta	Nb	Ti	Al	Hf	B	Zr	C
Alaşım	Sütunsal Taneli Alaşımlar											
MAR-M200+Hf	9	10	12	–	--	1	2	5	2	0.015	0.08	0.14
MAR-M246+Hf	9	10	10	2.5	1.5	--	1.5	5.5	1.5	0.015	0.05	0.15
MAR-M247	8.4	10	10	0.6	3	--	1	5.5	1.4	0.015	0.05	0.15
Rene 80H	14	9.5	4	4	--	--	4.8	3	0.75	0.015	0.02	0.08
	Tek Kristal Alaşımlar											
PWA 1480	10	5	4	–	12	--	1.5	5	–	–	–	–
PWA 1484*	5	10	6	2	8.7	--	--	5.6	0.1	–	–	–
CMSX-2	8	5	8	0.6	6	--	1	5.5	–	–	–	–
CMSX-3	8	5	8	0.6	6	--	1	5.5	0.15	–	–	–
SRR99	8.5	5	9.5	–	2.8	--	2.2	5.5	–	–	–	–

*%3 Renyum içerir.

3.4 Demir Esaslı Süper Alaşımlar

Bu alaşımlarda düşük maliyetli demir nikel kısmen yer değiştirmiştir. Düşük nikel içeriklerinden dolayı yüksek sıcaklıklarda nikel esaslı süper alaşımlar kadar faydalı değildir. Demir esaslı süper alaşımların çoğu %25'ten %45'e kadar nikel ve %15'ten %60'a kadar demir içerirler. %15'ten %28'e kadar krom yüksek sıcaklı oksidasyon direnci için ilave edilirken %1'den %6'ya kadar molibden katı eriyik mukavemetlenmesi için ilave edilir. (Akdoğan, 2008; Smith, 2001)

Titanyum, alüminyum ve niobyum mukavemet arttırıcı çökelti oluşturmak için nikel kombine edilir. Ayrıca alüminyum ve titanyum içermeleri nedeni ile çökeltme sertleşmesi işlemi ile sertleştirilebilirler. Kübik yüzey merkezli kafes yapısına sahip matriste alaşım elementlerine bağlı olarak çökelen fazlar, malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde etkin rol oynarlar. Demir esaslı süper alaşımlar yaklaşık 650 °C'a kadar olan sıcaklıklarda kullanım bulmaktadırlar. Demir esaslı süper alaşımların dayanımları, nikel esaslı alaşımlara göre daha düşüktür. Bu nedenle de, daha uzun ömür ve aynı zamanda yüksek mekanik ve termik zorlamalarda nikel ve kobalt esaslı alaşımlar tercih edilir. Pek çok gaz türbin motorlarında, kanatlarında, diskler ve şaftlar ile buhar türbinlerindeki bazı parçalar demir esaslı süper alaşımlardan yapılabilir. Diğer süper esaslı alaşımlara kıyasla daha ucuzdurlar. (Akdoğan, 2008)

3.5 Kobalt Esaslı Süper Alaşımlar

Element kobalt, nikelin hemen önündeki dördüncü periyodun bir geçiş metalidir ve atom numarası 27'dir. Kobalt, atomik boyut, ergime noktası ve yoğunluk gibi nikel benzeyen çok güzel fiziksel özelliklere sahiptir.

Kobalt oda sıcaklığında bir hegzagonal sıkı paket kristal yapıya sahiptir ancak 417 °C'de allotropik dönüşüme uğrar ve yüzey merkezli kübik yapıya dönüşür. Kobaltı krom, nikel, tungsten, karbon ve diğer alaşım elementleri ile alaşımlamakla karmaşık kobalt esaslı süper alaşımlar ilk olarak gaz türbin motorlarında kullanılmaya başlandığı 1943'ten beri giderek geliştirilmiştir.

Kobalt esaslı süper alaşımlar sınıfı kimyasal olarak nikel esaslı alaşımlardan daha az karmaşıktır. Döküm kobalt esaslı süper alaşımlar yaklaşık %50-60 Co, %20-30 Cr, %5-10 W ve %0.1-1 C içerirler. Bu alaşımların balansı nikel, tantal, demir, niobyum ve diğer elementlerden yapılmıştır. Dövme kobalt esaslı alaşımlar yaklaşık %40 Cu ve kaynaklanabilirlik için artırılmış nikel (yaklaşık %20) ve de pek çok alaşım elementleri içerir. (Smith, 2001)

Kobalt esaslı süper alaşımlar çok düzgün gerilme, kopma, zaman sıcaklık özelliklerine sahiptir. Bu özellikler alaşımı nispeten düşük gerilmelerde ve yüksek sıcaklıklarda uzun ömür statik parçalar için değerli kılmaktadır. Normal olarak ısıl işleme tabi tutulmazlar, ancak kaynak yapmak veya işlemek gerektiğinde bu kural bozulabilir. (Akdoğan, 2008; Smith, 2001)

Kobalt esaslı süper alaşımlarda yaygın olarak sadece yüzey merkezli kübik γ matris ve çeşitli tip karbürler görülür. Kobalt esaslı süper alaşımlarda mukavemetlenme öncelikle katı eriyik mukavemetlenmesi ve karbür çökmesi kombinasyonundan elde edilir. Östenitik matrisi, çoğunlukla nikel ve tungsten, tantal, demir ve molibden gibi refraktör elementlerle balanslı yaklaşık %50 Co ve %25 Cr'dan meydana gelir. Östeniti yüzey merkezli kübik yapıya sahiptir. Bununla beraber alaşımsız kobalt 417 °C'de yüzey merkezli kübik yapıdan hegzagonal sıkı pakete dönüştüğü için yüzey merkezli kübik matriste hegzagonal sıkı paket yapının istiflenme hatalarını oluşturmak amacıyla yüzey merkezli kübik kararlaştırılmış kobalt alaşımları için bir eğilim vardır. Bu nedenle normal olarak yüzey merkezli kübik olan süper alaşımlarda daha küçük katmanlar veya hegzagonal sıkı paket yapı hacimleri istif hataları ile oluşturulur. Kobalt alaşımları için yüzey merkezli kübik yapısının hegzagonal sıkı paket yapıya dönüşüm eğiliminin var olduğu kabul edilebilir.

İstiflenme hataları oluşturma eğilimi tekrar istiflenme hata enerjisi oluşturma ile ilişkilendirilebilir ve kobalt esaslı alaşımlarda alaşım elementleri ile etkilenir. İstiflenme hatası enerjisini artıran nikel, demir zirkonyum ve tantal gibi elementler yüzey merkezli kübik yapıyı kararlı hale getirir. İstiflenme hatasını azaltan krom, molibden ve tungsten gibi elementler hegzagonal sıkı paket yapıyı kararlı hale getirir ve

bu nedenle kobalt alaşımları için istiflenme hataları oluşturma eğilimini artırır. (Smith, 2001)

3.6 Süper Alaşım Inconel 718

Inconel 718, niobyumca zengin γ' (Ni_3Nb – yüzey merkezli kübik) çökeltileri ile mukavemetlendirilen, sıcak mukavemeti yüksek, korozyona ve oksidasyona dirençli, iyi sürünme ve yorulma değerleri veren ve en çok kullanılan süper alaşımlardan biridir. Uçak motor parçaları için uygun malzeme oldukları yaklaşık 30 yıl önce anlaşılmıştır. Kolaylıkla kaynak edilebilir ve form verilebilir. Tüm dövme formları ve hassas döküm halinde bulunabilir. (Aydın, 2004; Smith, 2001)

Çizelge 3.12’de düşük sıcaklıklarda Inconel 718’e ait elastikiyet (elastisite) modülleri, çizelge 3.13’te ise Inconel 718’e fiziksel katsayılar ve termal özellikler verilmiştir.

Çizelge 3.12 Düşük sıcaklıklarda Inconel 718’e ait elastikiyet (elastisite) modülleri (Aydın, 2004)

Sıcaklık °C	Elastikiyet Modülü, ksi x 10 ³		Poisson Oranı
	Young Modülü	Burulma Modülü	
21	29,0	11,6	0,284
64	29,7	11,4	0,307
108	29,3	11,2	0,303
160	28,9	11,1	0,308

*AMS 5596B’ye göre ısıtılma işlem görmüş soğuk haddelenmiş sac.

Çizelge 3.13 Inconel 718'e fiziksel katsayılar ve termal özellikler (Aydın, 2004)

Yoğunluk, lb/in ³ , (g/cm ³)	
Tavlanmış	0,296, (8,19)
Tavlanmış ve yaşlandırılmış	0,297
Erime aralığı (°F)	2300 – 2437
(°C)	1260 – 1336
70°F'da Spesifik ısı, Btu/lb°F (21°C, J/kg°C)	0,104 (435)
Kütle noktası, °F (°C)	
Tavlanmış malzeme	<-320 (<-196)
Tavlanmış ve yaşlandırılmış malzeme	-170 (-112)
Genişleme katsayısı, 70-200°F, 10 ⁻⁶ in/in °F	7,2
21-93°C, µm/m °C	13,0
Termal iletkenlik, Btu in/ft ² h °F	79
W/m °C	11,4
Elektriksel direnç, ohm circ mil/ft	751
µΩ m	1,25

BÖLÜM 4

TALAŞLI İMALAT

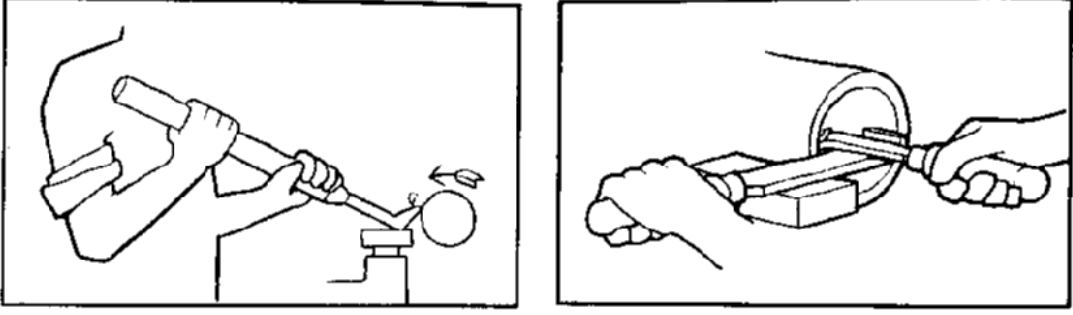
Tornalama, talaşlı imalatın kapsadığı bir alt konu olduğu için tornalamadan önce bu bölümle birlikte talaşlı imalatla ilgili detaylı bilgi verilmiştir.

Talaşlı imalat metal, plastik, ahşap gibi malzemelerin üzerinden veya iç kısmından talaş denilen malzeme kaldırarak şekil veren işlemdir. Kaba iş parçasını arzu edilen şekil ve ölçülere işlemekte kullanılır. İmal edilen hemen her ürünün talaşlı imalat işlemi gerektiren bileşenleri mevcuttur. Elde edilen ürüne kattığı değerden dolayı en önemli üretim aşamalarından bazılarını oluştururlar. Metaller, talaşlı imalatın endüstriyel uygulamalarında en yaygın kullanılan malzemelerdir. (Akkurt, 2007; ASM Metals Handbook, Vol.16, 1997)

4.1 Talaşlı İmalatın Tarihçesi ve Gelişim Süreci

Talaşlı imalat 18. ve 19. yüzyıllardaki endüstri devrimi ile gelişimine başlamış ve 20. yüzyılda büyük bir hızla gelişimini sürdürmüştür. 18. yüzyılda en bilinen iş malzemesi parçası ağaçtır. Bu yüzyılda metallerin işlenmesi ve işleme için kullanılan tezgahlar son derece sınırlı tezgahlar olup 19. yüzyıla kadar metallerin demirci ustalarının işleri arasında sayılmıştır. Bu işlemler ancak önce buhar makinesinin bulunması, daha sonra elektrik enerjisiyle sağlanan gücün kullanılmasıyla büyük hız kazanmışlardır.

Bulunan bu yeni güç sayesinde takım tezgahları önemli gelişmeler kaydetmiş ve hareketin iletimi için miller ve kayış-kasnak mekanizmaları kullanılmaya başlanmıştır. İlk takım tezgahları vida çekme işlemlerini de gerçekleştirebilen torna tezgahları, planya ve freze tezgahlarıdır. Takımı taşıyan bir kızağın kullanılmaya başlanması 19. yüzyıl başlarında önemli bir adım olarak göze çarpmaktadır, çünkü takım kızağının kullanılmasıyla artık takımın elle tutulması gerekmemiş ve bir katere monte edilmesi sağlanmıştır. (Şekil 4.1)

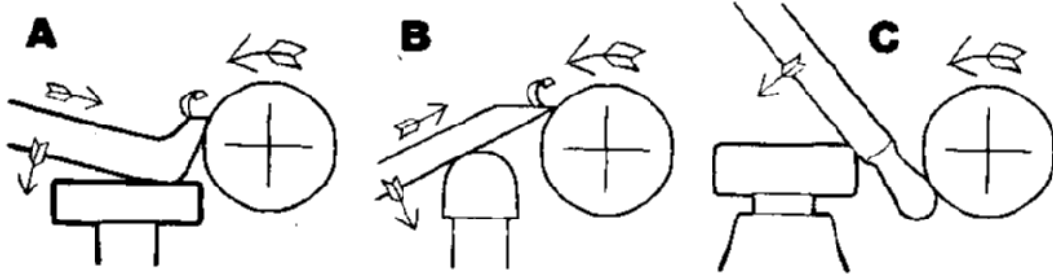


Şekil 4.1 Elde tutulan takımla tornalama ve delik işleme (Çakır, 1999)

19. yüzyıl başlarında talaş kaldırma işlemleri son derece yavaş işlemlerdir, örneğin 1,5 metre karelik demir esaslı metal bir yüzeyin planyalanması bir tam işgünü sürmüştür. Planyalama en fazla uygulanan yüzey işlemlerinin başında gelmektedir. Katere bağlanmış iş parçasının genişliği boyunca parça yüzeyinde doğrusal hareketler yapan bir torna kalem ile gerçekleştirilen bu işlem alın frezeleme işleminin atasıdır. Talaş derinliği ve strok uzunluğu ayarlanmış ve tezgahın parçayı kendi kendine işlemesi sağlanmıştır. Bugün bu işlemin yerini alın frezeleme işlemi almış, ancak işlem prensip olarak broşlama ve benzer işlemlere temel teşkil etmiştir.

19. yüzyılda Avrupa ve Amerika'da atölyeler ve atölyelerdeki tezgah parkları önemli gelişmeler kaydetmiştir. Amerika kıtasında silah üreticileri sayesinde yeni tezgahlar üretilmiş, birbirinin yerini alabilen parçalar, standartlaştırılmış ölçüler seri üretim teknolojisinin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Bu yüzyılın ortalarında universal freze ve taşlama tezgahları kullanılmaya başlanmış, yüzyılın sonuna doğru endüstriyel ülkelerde, takımların hızlı değiştirilmesine olanak sağlayan revolver tornalar ve otomatik çubuk işleme tezgahları yaygınlık kazanmıştır.

Şekil 4.2'de 19. yüzyılda gerçekleştirilen üç talaşlı imalat yöntemi gösterilmiştir. Bunlar (A) demir ve çeliğin tornalanması, (B) yumuşak metalin tornalanması, (C) bir yüzeyin ince işlenmesi işlemleridir.



Şekil 4.2 19. yüzyılda gerçekleştirilen işlemler (Çakır, 1999)

19. yüzyıl başlarında demir ve daha sonra çelikler üzerinde işlemler geliştirilmiş ve takım çelikleri üretilmiştir. Bu andan itibaren yüksek karbon çelikleri ve alaşımli karbon çelikleri en iyi takım malzemeleri haline gelmişlerdir. Bu malzemelerin demirci tarafından uygulanan ısıl işlemler sayesinde son derece sert malzemeler olmalarına karşın dakikada birkaç metrelik kesme hızları sonucunda oluşan ısı nedeniyle bile yumuşamaları en büyük dezavantajlarıdır. Takımların ömrü çok kısadır ve takımlar ısıl işlemlerin ve metalürji biliminin gelişmemiş olması nedeniyle son derece güvenilir özelliklere sahiptirler. Bu zaman aralığında iş parçası malzemeleri olarak gri dökme demir, bronz ve dövme demir gibi işlenmeleri fazla çaba gerektirmeyen malzemeler kullanılmıştır. Çelik ve özellikle alaşımli çelik son derece zor işlenebilen ve son derece pahalı malzemeler olmuşlardır.

İlk geliştirilmiş takım malzemesi hız çeliğine benzeyen Mushet çeliğidir ve bu çelik bir kaza eseri bulunmuştur. Mangan ile yapılan deneyler çeliğin havada sertleştirilebilmesini sağlamış, bunun sonucunda ise alaşımli çeliğin karbon çeliğine göre çok daha iyi bir işleme kapasitesinin olduğu ortaya çıkmıştır. Karbon çeliğine göre daha yüksek sıcaklıklarda çalışabilmesi sayesinde kullanımı yaygınlaşmış, alaşımli çeliklerin geliştirilmesine ve ısıl işlemlere ilgi artmıştır. Yaklaşık 10 m/dak hızlara erişilmiş ve daha fazla çeşide sahip iş parçası malzemesi yüksek hızlarda işlenebilir hale gelmiştir.

20. yüzyılda en büyük olay 1900'ler civarında Fredrick Taylor tarafından hız çeliğinin bulunmasıdır. Bulunan bu takım o derece yüksek kesme hızlarında ve ilerleme değerlerinde çalışmıştır ki oluşan talaşlar mavi renk almışlar, kesici takım kızıl renk aldığı halde sertliğini kaybetmemiştir. Özel torna tezgahında yumuşak çelik bir dövme parçanın işlenmesinde kesme verileri: kesme hızı 40 m/dak, ilerleme 1,6 mm/dak, talaş derinliği 4,8 mm şeklindedir.

Daha sonraları Almanya'da kesici takımların maksimum kızıl sertlik kapasiteleri test edilmeye başlanmış, yüzyılın başlarında hız çeliğinin (HSS) bulunuşu ile tezgahlarının büyük bir çoğunluğu bir anda demode olmuştur.

Bu bulunan yeni malzemenin etkileri büyük olmuş, kızıl sertlik 250° C'tan 600° C'a çıkarılmıştır. Taylor HSS takımları bulana dek on binlerce deney yapmış, 400000 kg'lık dövme çelik işlemiş ve bu yeni takımı ortaya çıkarmıştır. HSS uçlar torna tezgahlarında takım olarak kullanılmaya başlamış, bileme için değiştirilebilen bu uçlar değiştirilebilir kesici uçların atası olmuştur.

Tungsten karbür veya sert metal olarak da bilinen sinterlenmiş karbürler 1930'larda geliştirilmiştir. Bu malzeme bir bağlayıcı metal içerisinde %90 sert karbür parçacıklar bulunduran bir toz metalürjisi ürünüdür. Tozların preslenmesi ve sinterlenmesi esnasında aradaki bağlayıcı malzeme eriyerek kesici takım malzemesi oluşturulmaktadır. Bu malzeme 1927'deki Leipzig Fuarında ilk kez gösterime çıkmıştır. Amerika'da da gerçekleştirilen gösterimlerde HSS'lerin onlarca katı kesme hızı değerlerinde çalışmış, takım sonsuz bir ömre sahipmiş gibi bir etki uyandırmıştır. Sinterlenmiş karbür 1930'larda birçok ülkede, birçok üretici firma tarafından kesici takım malzemesi olarak geliştirilmiştir. Bu ise talaşlı imalat işlemlerinin performansında çok önemli bir artış sağlamıştır. (Çakır, 1999)

Takım tezgahları alanında büyük devir 1950 yıllarında nümerik programa göre çalışan ve Nümerik Kontrollü (NC-Numerical Control) denilen tezgahların uygulamaya konulması ile başlar. Aynı tarihlerde seramikten yapılan takımların kullanılması ile kesme hızları ve işleme kaliteleri büyük değerlere ulaşmış ve her iki uygulama da takım

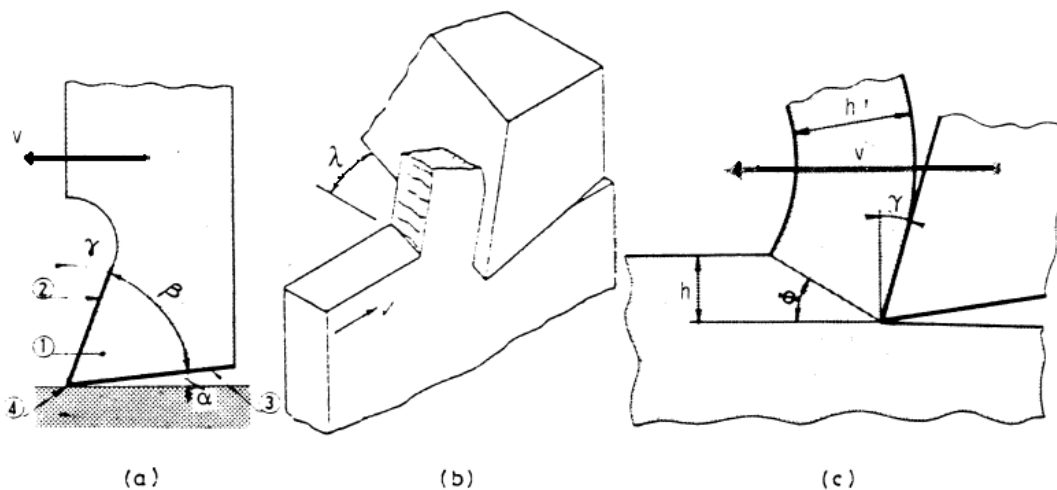
tezgahı gerek nitelik, gerekse nicelik bakımından büyük gelişme göstermiştir. Bu gelişme daha önce bilinen mekanik otomat tezgahları da kapsamına alarak günümüzde, pim kontrollü, kam kontrollü, kopya kontrollü, tek akslı, transfer tezgahları olarak bilinen büyük bir tezgah yelpazesini oluşturmuştur. NC tezgahların bilgisayarla donatılması ile CNC (Computer Numerical Control) ve DNC (Direct Numerical Control) tezgahları oluşmuş, bilgisayarların ve kişisel bilgisayarların kullanılması ile de bu tezgahlar işlemlerini optimizasyon düzeyinde yapmaya başlamışlardır.

Tezgahların gelişmesine paralel olarak imalat sistemlerinde de büyük gelişmeler olmuştur. Şöyle ki, 1947 yılında ortaya atılan otomasyona dayalı imalat sistemi genişleyerek optimizasyon devrine geçilmiş, robotların kullanımı gittikçe artarak günümüzde robot-fabrikalar ve robot tesisatları kurulmuştur. Ayrıca bilgisayarların yardımı ile ayrı, ayrı yapılan bilgisayar destekli konstrüksiyon CAD (Computer Aided Design) ve bilgisayar destekli imalat CAM (Computer Aided Design) işlemleri birleştirilerek CAD-CAM (Bilgisayar destekli konstrüksiyon imalat) ve bunların CNC ve DNC tezgahların birleşmesi ile esnek imalat sistemleri FMS (Flexible Manufacturing Systems) ortaya atılmıştır. İmalatı yansıtan FMS ile fabrikanın kalite kontrol, stok kontrol muhasebe alım satım ve yönetim gibi diğer kısımları bilgisayarların kontrolü altında birleştiren bilgisayar destekli bütünleşik İmalat Sistemleri CIM (Computer Intergrated Manufacturing) devri başlamıştır. Bu gelişmeler, imalat teknolojisinde, takım ve tezgah konstrüksiyonunda büyük değişiklikler meydana getirmiştir.

4.2 Talaş Kaldırma Mekanîği ve Talaş Tipi

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

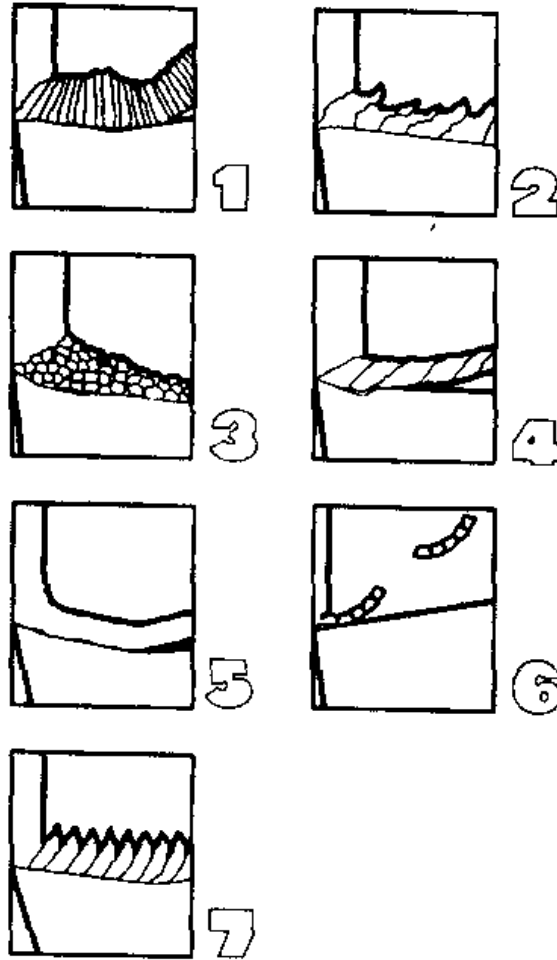
Bir parçanın üzerinden belirli bir malzeme tabakası kaldırılması için, takımın o malzemeye nüfuz etmesi gerekir. Bu da, ancak takıma uygulanan kuvvetlerin yeterli ve takım malzemesinin parça malzemesinden daha sert olması halinde gerçekleşir. Ayrıca takım ucunun kama şeklinde yapılması, olayı kolaylaştıran bir etkidir. Talaş kaldırma olayını incelemek için kama şeklinde bir kesme ucundan (ağzından) meydana gelen ve Şekil 4.3'te gösterilen bir takım modeli oluşturulur. Bu takımla talaş kaldırma işlemine ortogonal kesme denilir. Ortogonal kesmede takımın kesme kenarı, takım ile parça arasında kesme hızına dik (Şekil 4.3 - a) veya eğik (Şekil 4.3 - b) olabilir. Bu son duruma ortogonal eğik (meyilli) kesme denilir. Böyle bir takımın bir parça üzerine belirli bir kuvvetle bastırıldığını ve kuvvet yönüne doğru hareket ettirildiği düşünülürse takım ucunun temas ettiği metal tabakasında önce elastik, sonra plastik şekil değiştirmeler meydana gelerek metal tabakasında akmalara başlar ve gerilmeler malzemenin kopma sınırını aştığı anda tabaka, talaş şeklinde belirli bir yüzey boyunca parçadan ayrılır.(Şekil 4.3 - c) Tabakanın parçadan ayrılma şekli parça malzemesinin özelliklerine ve işleme koşullarına bağlı olarak farklı bir şekilde gerçekleşir. Buna göre çeşitli talaş şekilleri meydana gelir.



Şekil 4.3 Takım modeli ve ortogonal kesme (Akkurt, 2004)

Esasen talaşın iş parçasından ayrılması bir mekanik kopmadır. Bu kopma burada makaslama (kesme) şeklinde gerçekleşmektedir. Bilindiği gibi genelde kopma, sünek ve gevrek olmak üzere iki çeşittir. Sünek kopmada malzeme kopmadan önce büyük plastik şekil değiştirmeler göstermektedir. Sünek şekilde kopan malzemelere sünek malzemeler denilmektedir. Gevrek kopmada, kopmadan önce çok az veya hiçbir plastik şekil değiştirmeler meydana gelmez. Bu malzemelere gevrek malzemeler denilmektedir. (Akkurt, 2004)

Talaşlı imalat alanında en genel yedi farklı talaş tipi mevcuttur. (Şekil 4.4)



Şekil 4.4 Talaş Tipleri (Çakır, 1999)

Bu tipler:

- 1) Birçok çeliklerde olduğu gibi sürekli, uzun talaş
- 2) Paslanmaz çeliklerde olduğu gibi lameller halinde talaş
- 3) Dökme demirlerde olduğu gibi kısa talaş
- 4) Süper alaşımlarda olduğu gibi değişken, yüksek mukavemetli talaş
- 5) Alüminyumda olduğu gibi yumuşak ve düşük mukavemetli talaş
- 6) Sert çeliklerde olduğu gibi yüksek sıcaklık / basınca dayanıklı talaş
- 7) Titanyumda olduğu gibi parçacıklar halinde talaş şeklindedir.

4.3 Talaş Oluşumu

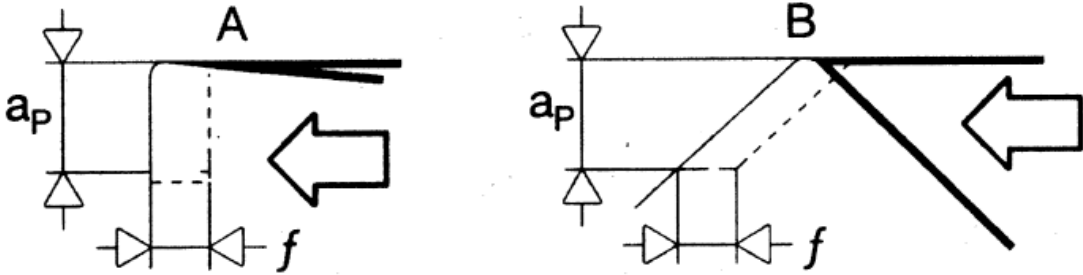
Talaşın şekli önemli ölçüde talaş kaldırılan iş parçası malzemesine bağlıdır. Genellikle deforme olmuş talaş farklı parçacıklardan oluşmuştur ve bu parçacıklar sünek malzemelerde bir arada bulunurlar.

Farklı mekanik özelliklere sahip bir orta karbonlu çelik ile bir alaşımlı çelik karşılaştırıldığında, orta karbonlu çeliğinin daha fazla deforme olduğu ve daha büyük bir kıvrıma sahip olduğu görülür. Düşük olan deformasyon ile daha da düşen mukavemet nedeniyle alaşımsız çelik talaşlar daha dayanıklı alaşımsız çelik talaşlara göre daha kolay kırılırlar. Alaşımsız çeliklerde ilerleme hızı yüksek olduğu zaman talaş kırma daha yumuşaktır. Yüksek ilerleme hızlarında alaşımlı çeliğin deformasyonu daha az olacaktır, bu ise talaş kırma alanında kalmak kaydıyla yüksek ilerleme hızlarında çalışılmasını gerektirir. Parçacıkların maruz kalacakları sıkıştırma miktarı talaşın talaş açısı boyunca ne büyüklükteki bir basınçla karşı karşıya kaldığına bağlıdır. Daha kalın bir talaş oluşumuna neden olan daha büyük bir sıkıştırma daha düşük mukavemet demektir ve bazı durumlarda talaşın belirli uzunluklarda kendi kendine kırılması söz konusudur.

Ancak talaş kırma problemi yalnızca çeşitli talaş açısı ve ilerleme değerlerini içeren kombinasyonlarının seçimi ile çözülemez. Yalnızca talaş kırma problemine çözüm teşkil eden çeşitli kombinasyonlardan olumsuz yönde etkilenen diğer talaş kaldırma

faktörleri de mevcuttur. Kesme kuvvetleri, takımın mukavemeti, sıcaklık ve titreşimler talaş oluşumunda önem kazanan diğer faktörlere örnektir. Talaş oluşturma özellikle son yirmi yıldır büyük gelişmeler gözlenen bir teknoloji alanı haline gelmiştir.

Şu ana dek daha çok, iş parçası dönme ekseninin ana kesici kenar ile dik açı yaptığı ortogonal kesme işlemi incelenmiştir.(Şekil 4.5 - A) Bu durum talaş kaldırma işleminin basitleştirilmiş hali olup sadece alın tornalama ve kanal açma işlemleri gibi bazı işlemler için geçerli bir durumdur. Birçok talaş kaldırma işleminde kesme yönünün ana kenara dik olmayıp belirli bir açı yaptığı eğik kesme (Şekil 4.5 - B) söz konusudur ki bu durum takım geometrisini talaş akış yönünü değiştirir. Böyle bir işlemde birden fazla kesici kenar ve köşe radyüsü ve kesme hızının talaş genişliği boyunca değişimi söz konusudur. Tipik bir kesme işleminde elde edilen saat yayı şeklindeki talaşlar yerine çeşitli boyutlarda dairesel ve helisel talaşlar elde edilir.

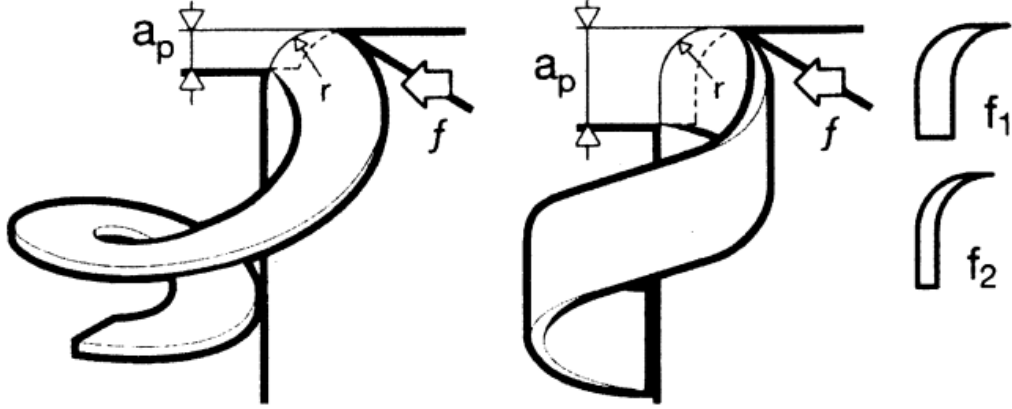


Şekil 4.5 Ortogonal ve eğik kesme (Çakır, 1999)

Takımın yanaşma açısı, açı küçüldükçe talaş kalınlığının azalması ve talaş genişliğinin artması nedeniyle talaş oluşumunu etkiler. Daha küçük giriş açılarında (60° - 45°) talaş oluşumu daha yumuşak ve daha düzgündür. Talaşların şekli ve yönü kesici kenarın köşe radyüsüne bağlı olarak değişir.

Talaş akış yönünü yanaşma açısı kadar talaş derinliğine bağlı olarak köşe radyüsü de etkiler. Küçük talaş derinlikleri köşe radyüsünden etkilenen, dairesel (virgül) şekilli

talaş kesitlerinin elde edilmesini; büyük talaş derinlikleri ise köşe radyüsünden daha az, yanaşma açısının daha fazla etkilenen dışa yönlü, spiral talaş kesitlerin elde edilmesini sağlar.(Şekil 4.6) İlerleme talaş kesitinin genişliğini ve talaş akışını etkiler.



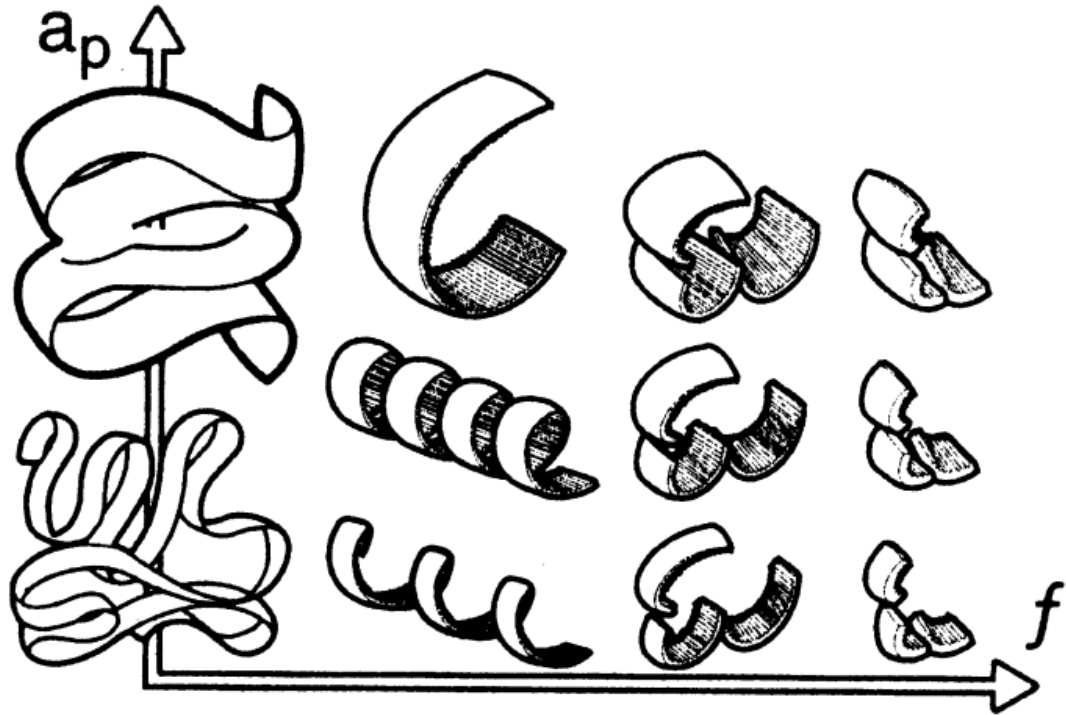
Şekil 4.6 Köşe radyüsü / talaş derinliğinin yanaşma açısı ve talaş oluşumuna etkisi (Çakır, 1999)

Talaş oluşumu ilk kıvrılma ile başlar ve kesme verileri (özellikle ilerleme ve talaş derinliği), talaş açısı, iş parçası malzemesinin tipi ve koşulları, köşe radyüsünün büyüklüğü gibi faktörlerden etkilenir. Belirli bir uzunluğa kadar dairesel şekilli veya helisel talaşlar en uygun talaş kesitleridir ve ancak çok iyi tasarlanmış bir kesici geometrisi ile elde edilirler. İnce işlemlerde kullanılan bir kesici uç köşe radyüsüyle çalışır, dolayısıyla geometrisinde en önemli bölge ucun köşesidir. Kaba işlemlerde kullanılan uçlarda ise önemli olan tamamıyla talaş yüzeyi üzerindeki geometridir.

Talaş kontrolü özellikle tornalama ve delme işlemlerinde en önemli faktörlerden biridir. Frezeleme işleminde kesici kenarın sınırlı temas uzunluğu nedeniyle ancak belirli uzunlukta bir talaş elde edilir. Delme ve delik işlemede ise işlenen delik içerisindeki hacmin sınırlı olması nedeniyle talaş kontrolü son derece önemlidir. Bunun yanı sıra modern derin delik delme işleminde talaşların kesme bölgesinden herhangi bir

probleme neden olmaksızın uzaklaştırılabilmeleri için belirli uzunlukta olmaları gerekir. En ufak bir sıkışma takımın kırılmasına yol açar.

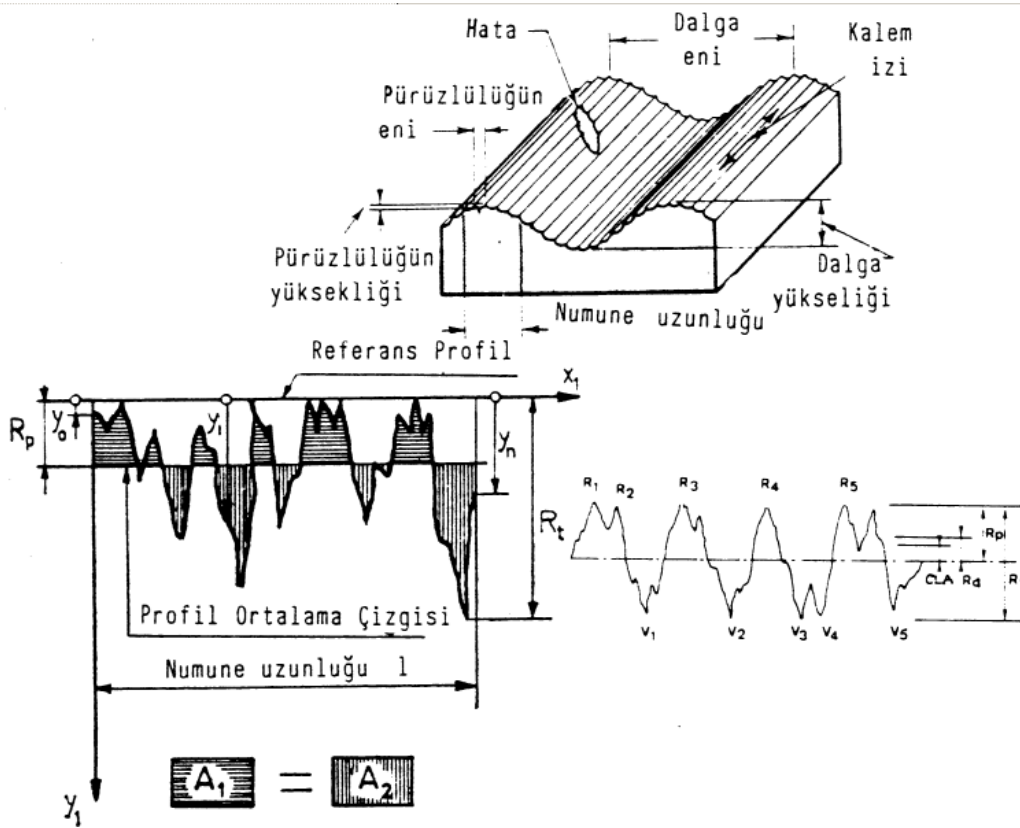
Kesme verilerinin, özellikle ilerleme ve talaş derinliğinin talaşın boyutları ve şekli üzerine doğrudan etkisi vardır.(Şekil 4.7) Soğutma sıvısı ve takım geometrisi de talaş oluşumunu etkiler. Yanaşma açısının talaşın uzunluğu, genişliği ve akış yönü üzerindeki etkisi büyüktür. Köşe radyüsünün talaş üzerindeki etkisi talaş derinliğine bağlıdır. Bunların yanı sıra talaş yüzeyi üzerindeki kesme geometrisinin talaş oluşumunu önemli ölçüde etkilediği gözlemlenmiştir. Bu yüzeyin uygun tasarımı sayesinde kesici kenarların talaş kontrolü sağlanır. (Çakır, 1999)



Şekil 4.7 Farklı talaş derinliği / ilerlemeler için talaş tipleri (Çakır, 1999)

4.4 Yüzey Kalitesi

Talaş kaldırma ile işlenen yüzeylerde, dalga ve pürüzlülük olmak üzere (Şekil 4.8) iki türlü yüzey sapması meydana gelir. Dalga geometrik sapmalar grubuna dahildir, dolayısıyla yüzey kalitesini esasen yüzey pürüzlülüğü tayin eder.



Şekil 4.8 Yüzey pürüzlülüğü ve değerlendirilmesi (Akkurt, 2004)

Standartlara göre yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi belirli kriterlerle yapılır. Bu kriterlere göre pürüzler, yüzeye dik olan bir kesitte, belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilir. Referans profil olarak genellikle geometrik profil alınır. Profil ortalama çizgisinin yeri, bu çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olacak şekilde belirlenir. Yüzey pürüzlülüğü (Şekil 4.8), yüzey pürüzlülüğünün derinliği (R_t), yüzey

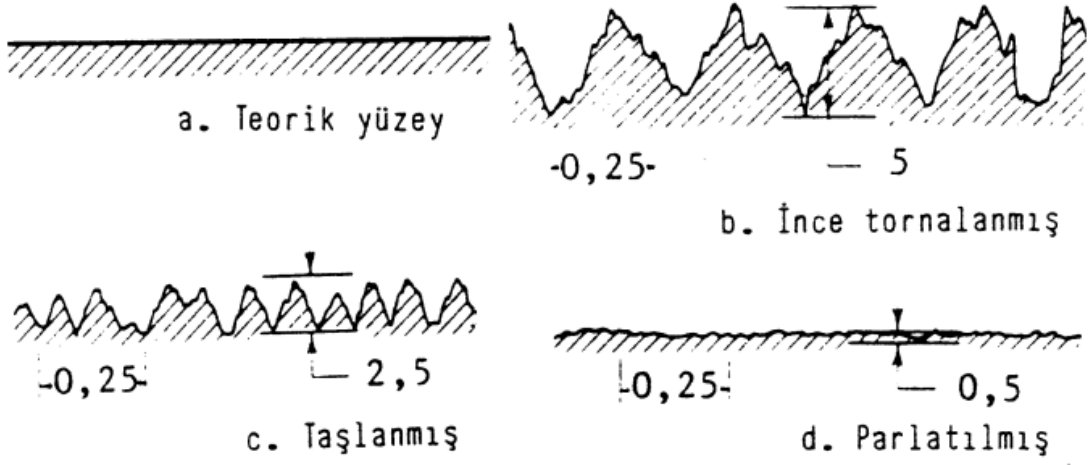
pürüzlülüğünün düzeltilmiş derinliği (R_p) ve yüzey pürüzlülüğünün aritmetik ortalama değeri (R_a) gibi kriterlere göre değerlendirilir. (R_t) referans profile göre en derin pürüzün değeri; (R_p), referans profil ile profilin ortalama çizgisi arasındaki mesafe; (R_a)'da, ortalama çizgiye göre pürüz yüksekliklerinin veya derinliklerinin mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasıdır.

Ölçme tekniğinin gelişmesi ile yukarıdaki eğerlerin biri veya hepsi ölçülebilir hale gelmiştir. Ancak pratikte yüzey kalitesi genellikle (R_p) veya (R_a)'nın değerleri ile ifade edilir. Parça imalat resminin üzerinde bu değerlerden birinin verilmesi yeterlidir. Eskiden daha çok (R_p)'nin kullanılmasına karşın, günümüzde daha ziyade uluslararası bir kriter olarak kabul edilen (R_a) kullanılır. (R_a)'nın değerleri standartlaştırılmış ve ISO sistemine göre Çizelge 4.1'de gösterildiği gibi N ile simgelenmiştir. Genellikle yüzey pürüzlülüğünün değeri (μm) olarak ifade edilir. ABD ve İngiltere'de (R_a) anlamına gelen CLA ve AA kriterleri kullanılır. Bunların birimi mikrometre'dir. (μm) Bilindiği gibi $1 \mu in = 1/40 \mu m$ 'dir. Bazı imalat resimlerinde yüzey kaliteleri, eskiden olduğu gibi ters üçgenlerden oluşan simgelerle ifade edilir. Bu işaretler ile (R_a) arasındaki bağıntı Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 (R_a) ile yüzey kalite simgesi arasındaki bağıntı (Akkurt, 2004)

Pürüzlülük Derecesi	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
R_a (μm)	0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	6.3	12.5	25	50
CLA (μin)	1	2	4	8	16	32	63	125	250	500	1000	2000
Simge	▽▽▽▽			▽▽▽			▽▽			▽		
Not: ISO sistemine göre R_a değerleri N ile simgelenmiştir.												

Yüzeylerde oluşan yüzey pürüzlülüğü işleme yöntemine bağlıdır.(Şekil 4.9) Burada dikkat edilecek husus, yüzey pürüzlülüğünün takım ucunun r yarıçapının değerine de bağlı olmasıdır. (Akkurt, 2004)

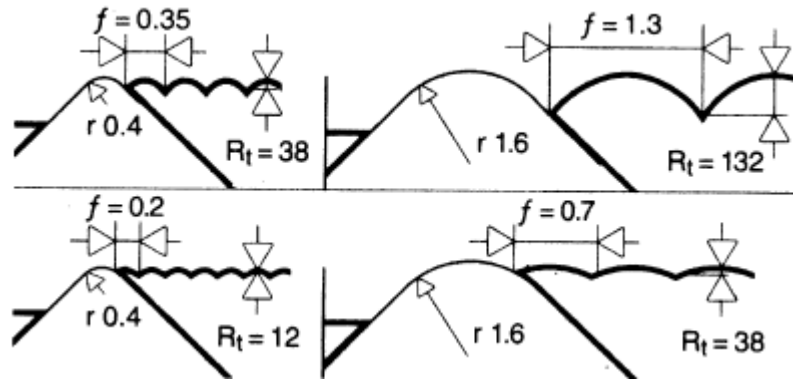


Şekil 4.9 Yüzey pürüzlülüğü ile ilgili örnekler (Akkurt, 2004)

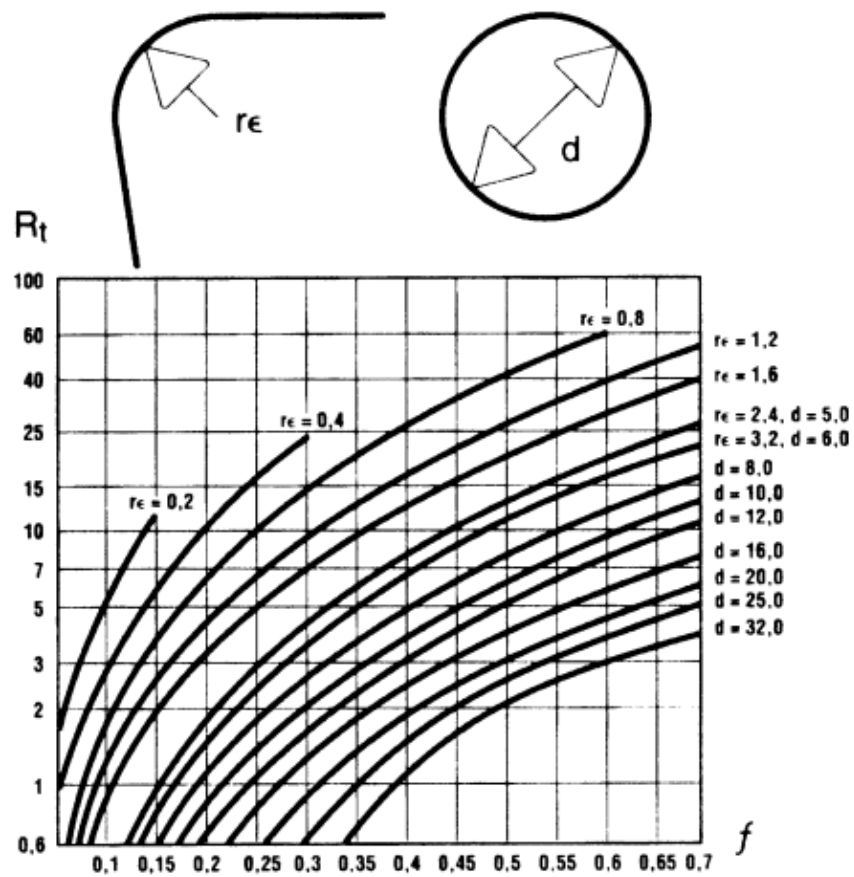
İlerleme değeri ve köşe radyüsü yüzey kalitesi ve hassasiyeti etkiler. Kesme işleminin büyük bir kısmı uç kısmınca gerçekleştirilir. Teorik maksimum yüzey pürüzlülüğü değeri (R_t) daha yüksek kesme hızları ve daha pozitif kesme geometrisi kullanılarak artırılabilir.

$$R_t = \frac{f^2}{8r_e} \times 1000$$

Şekil 4.10'da teorik R_t değerinin ilerleme hızı ve köşe radyüsüne (veya kesici uç çapına) göre değişimini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi daha büyük bir köşe radyüsü, aynı yüzey pürüzlülüğü değeri için daha büyük ilerleme değeriyle çalışma olanağı vermektedir. Şekil 4.11'de ise tornalama işleminde köşe radyüsü, ilerleme ve yüzey kalitesi ilişkisi bir diyagram üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.10 İlerleme ve köşe radyüsünün yüzey kalitesi üzerindeki etkileri (Çakır, 1999)



Şekil 4.11 İlerleme – Köşe Radyüsü – Yüzey Kalitesi ilişkisi (Çakır, 1999)

Köşe radyüsü ve ilerlemenin koordinasyonunda, arzu edilen yüzey kalitesinin sağlanması için ilerleme değerinin belirli bir değer altında tutulması zorunluluğu

ortaya çıkmaktadır. Burada kural ilerleme değerinin köşe radyüsünün üçte birinden daha küçük olmasıdır. (Çakır, 1999)

4.5 Talaş Kaldırma ve Talaşlı İmalatı Etkileyen Faktörler

Talaş kaldırma, yani parçanın iyi işlenmesini tayin eden faktörler şunlardır;

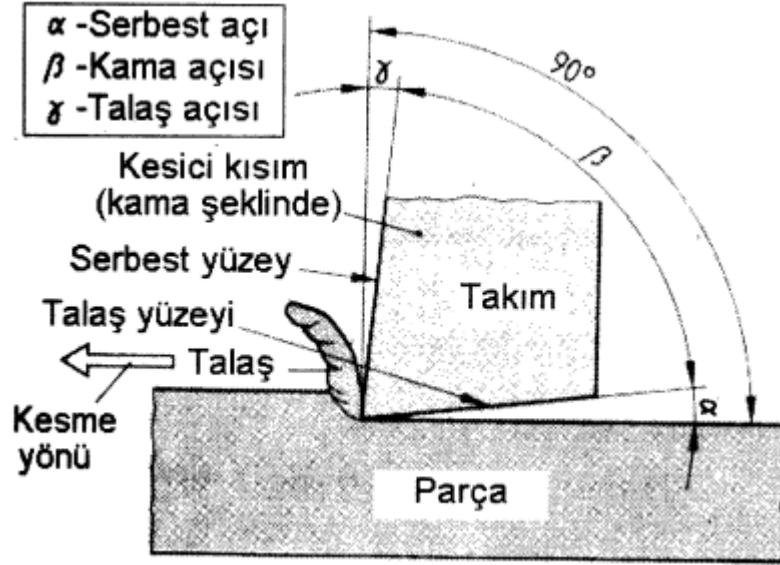
- Takım geometrisi (yanaşma açısının etkisi, köşe radyüsünün etkisi)
- Talaş geometrisi
- Kesme kuvvetleri ve kesme gücü
- Kesme koşulları (kesme hızı, ilerleme, talaş kalınlığı)
- Isı oluşumu
- Takım aşınması (aşınma mekanizmaları, aşınma tipleri)
- Takım ömrü
- Takım malzemeleri
- Kesme malzemeleri ve
- Kesme sıvılarıdır. (Akkurt, 2007; Çakır, 1999)

4.5.1 Takım Geometrisi

Esasen herhangi bir takım sap ve kesme kısmından meydana gelmektedir. Sap kısmı takımı takım tutturma sistemine bağlamak için kullanılır. Kesme kısmı ise talaş kaldırır. Parça malzemesine nüfuz etmek için takımların kesme kısmı kama şeklinde yapılır. Kesme kısmının geometrisi talaş kaldırma bakımından son derece önemlidir. Buna göre takımın kesme kısmı ortogonal kesmede şu yüzeylerden oluşur. (Şekil 4.12)

- **Talaş yüzeyi** – talaşın parçadan koptuktan sonra aktığı yüzey,
- **Serbest yüzey** – parçanın işlenmiş tarafına bakan yüzey,

- **Takım veya kesme kısmının ucu** – talaş ve serbest yüzeylerin kesiştiği noktadır. Pratikte takım ucu nokta şeklinde sivri değil, küçük bir yay şeklinde yuvarlatılmıştır. Bu yayın yarıçapına uç yarıçapı veya radyüsü denir.



Şekil 4.12 Ortogonal kesmede takım açıları ve yüzeyler (Akkurt, 2007)

Talaş yüzeyi ve parçanın işlenmiş yüzeyine dönük serbest yüzeyi takımın kama şeklinde olan kesici kısmını meydana getirirler. Takımın bu yüzeyleri parça yüzeyine göre takım açılarını belirler. Buna göre takım geometrisi,

- Talaş açısı (γ)
- Kama açısı (β) ve
- Serbest açısı (α) olmak üzere üç açı tarafından tayin edilir.

Kesme açısı dikey doğru ile talaş yüzeyi, kama açısı takımın talaş yüzeyi ile serbest yüzeyi ve serbest açısı, serbest yüzeyi ile parçanın işlenmiş yüzeyi arasındaki açıdır. Bu açıların arasında,

$$\gamma + \beta + \alpha = 90^\circ$$

bağıntısı vardır. Talaş açısı (γ) talaşın parçadan uzaklaşmasını, kama açısı(β) takım ucunun parçaya nüfuz etmesini serbest açısı(α) takımın işlenen yüzeye sürtünmemesini sağlar. Kama açısı ne kadar küçükse, takım parçaya o kadar kolay nüfuz eder, ancak inceleştği için kırılma tehlikesi büyür.

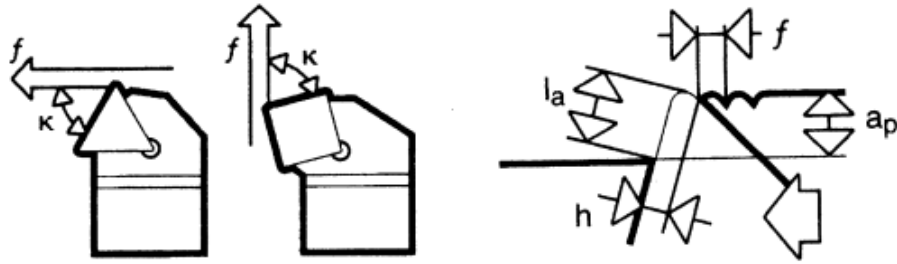
Talaş açısı (γ) pozitif (+) ve negatif (-) olabilir. Pozitif Şekil 4.12'deki durumdadır. Yani dik eksenden talaş yüzeyine doğrudur. Negatif dikey eksenden parçanın işlenmemiş yüzeyine doğrudur ve bu durumda $-\gamma$ olarak ifade edilir. Her iki durumda da bu açılardan toplamı 90° ile eşittir. Bu demek ki γ açısı negatif olduğu durumda $\beta + \alpha > 90^\circ$ olur. Genelde gevrek malzemelerin işlenmesinde γ açısı küçük ve β açısı büyük sünek malzemelerin γ açısı büyük ve β açısı küçük alınır Çok sert malzemelerde ve kaba talaş kaldırmada γ açısı negatif olabilir. (Akkurt, 2007)

4.5.1.1 Yanaşma açısının talaşlı imalata etkisi

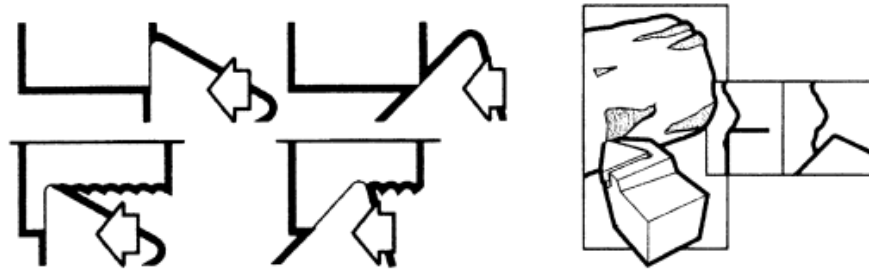
Yanaşma açısı kesici kenar ile ilerleme yönü arasında kalan açıdır. Bu açı talaşın oluşumunu etkilediği gibi kesme kuvvetlerinin yönünü, kesme işlemine katılan kesici kenar uzunluğunu, kesici kenar ile iş parçası arasındaki temas alanını ve kullanılan takım ile yapılacak talaş kaldırma işlemlerini de etkiler. Yanaşma açısı $45^\circ - 90^\circ$ arasında değişir, ancak kopya tornalama işleminde ve çeşitli profillerin işlenmesinde 90° 'den büyük yanaşma açıları da kullanılabilir.

Yanaşma açısı kesici takımın çeşitli yönlerde talaş kaldırmasına izin verecek ve işlemler için gerekli takım sayısını azaltacak şekilde seçilmelidir.(Şekil 4.13) Buna ek olarak kesici takım daha büyük bir uç açısına, dolayısıyla daha güçlü bir uca sahip olacak şekilde tasarlanmalıdır. Uygun yanaşma açısının seçimiyle talaş kalınlığı azaltılarak basıncın daha büyük bir kesici kenar uzunluğu üzerine dağılımı sağlanır. Yanaşma açısının kesme başlangıcında ve sonunda takımın mukavemeti, kesme esnasında kuvvetlerin etkime yönleri ve talaş akışı üzerinde etkisi vardır.

Yanaşma açısının 90° 'den küçük olması halinde kesici uç parçaya en zayıf noktası olan uç kısmıyla değil, çok daha güçlü, ilk darbeye çok daha dayanıklı olan ana kesici kenarıyla girer ve temastan itibaren aşırı bir darbeye maruz kalmadan kesme işlemini sürdürür.(Şekil 4.14) Uygun bir yanaşma açısının seçimi halinde bilhassa cürüflu yüzelerde kesici kenar sert tabakayı ezmek yerine kesecek, iş parçasına girişte büyük bir avantaj sağlayacaktır.(Şekil 4.15) Cürüflu, sert tabakanın aşındırıcı özelliğinden dolayı yanaşma açısının doğru seçilmesi takım ömrü üzerinde olumlu etkide bulunur.



Şekil 4.13 İlerleme yönü – yanaşma açısı ilişkisi ve talaş kesiti (Çakır,1999)



Şekil 4.14 Parçaya giriş ve çıkışta
yanaşma açısı

Şekil 4.15 Cürüflu yüzeyler

(Çakır,1999)

Bir parçanın işlenmesi için geçen zaman ilerlemenin arttırılması ile ve 90° 'den küçük bir yanaşma açısı kullanılması ile azaltılabilir. İlerlemedeki artış işleme zamanının azaltılmasını ve kesici kenarın daha iyi kullanımını sağlayacak, takım ömrü artacak, dolayısıyla verimlilik artacaktır.

Genellikle kesici takımın kaldırabileceği talaş derinliği için en büyük değer seçilmeli ve işlem için uygun bir ilerleme değeri kullanılmalıdır. Son olarak işleme koşullarını optimize edecek kesme hızı değeri seçilir.

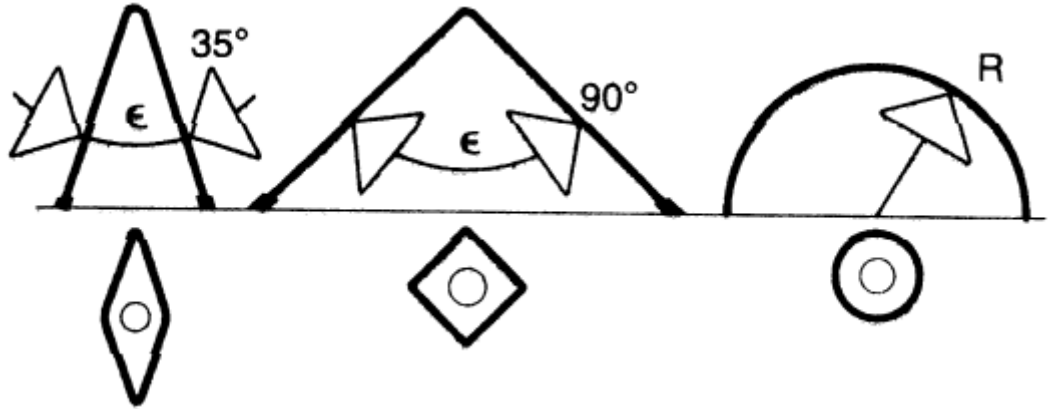
Yanaşma açısının daha küçük seçilmesi daha büyük uç açısına sahip, daha mukavemetli kesici uçların kullanılmasına olanak sağlar. Bu durumda kesici kenarın daha büyük kesiti olacaktır. İş parçasına giriş ve çıkışta daha avantajlı olan küçük yanaşma açıları genellikle mukavemeti arttırmak amacıyla kullanılmalı, büyük yanaşma açıları ise sadece 90° 'lik faturalara doğru talaş kaldırma işlemlerinde ve profillere erişimin zor olduğu durumlarda tercih edilmelidir.

Genel tornalama işlemleri için, iş parçası malzemesi veya işlemler farklı bir yanaşma açısı gerektirmiyorsa yanaşma açısı olarak $60^\circ - 80^\circ$ arasında bir açı seçilmelidir.

4.5.1.2 Köşe radyüsünün talaşlı imalata etkisi

İki kesici kenarın birleştiği köşe noktası keskin ancak zayıf bir noktadır. Talaş kaldırma işlemini küçük bir kesit alanıyla gerçekleştirmesi nedeniyle köşe noktası kesici kenarın en zayıf noktasıdır. Talaş kaldırma esnasında iş parçasına önce bu kısım temas etmekte, dolayısıyla malzeme deformasyonundan dolayı ortaya çıkan gerilmeleri önce bu kısım karşılamak zorunda kalmaktadır.

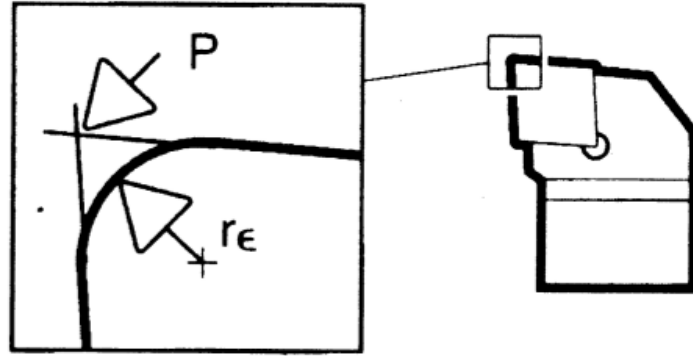
Kesici uca ait uç açısı ucun mukavemetini belirler. Genellikle bu açı $35^\circ - 90^\circ$ arasında değişir, ancak yuvarlak kesici uçlarda kesici kenar çok daha büyük bir kesit alanına sahiptir.(Şekil 4.16) Dolayısıyla yuvarlak kesici uçlarda kesici kenar çok güçlüdür.



Şekil 4.16 Kesici uç tipleri (Çakır,1999)

İki kesici kenarı birleştiren noktanın sadece kesme işlemini gerçekleştirecek kadar güçlü olması değil, aynı zamanda kesme fonksiyonunu yerine getirecek geometride de olması gerekir. Bu ise iki kenar arasında bir radyüs verilerek gerçekleştirilir.

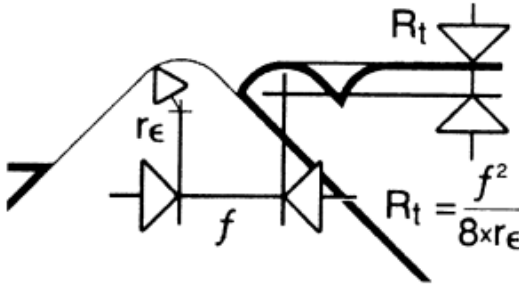
Köşe radyüsü (R_e) teorik bir P noktasında birleşen iki kesici kenara teğettir.(Şekil 4.17) Fonksiyonel açıdan ucun yuvarlatılması keskinliği, dolayısıyla ucun zayıflığını azaltır. Şöyle ki, daha büyük kesit alanı işleme esnasında daha büyük kuvvetlere mukavemet gösterir. Daha büyük bir köşe radyüsü kesmeyi daha uzun bir kenar boyunca dağıtır ve böylelikle daha iyi bir takım ömrü sağlar. Büyük köşe radyüsü ile ısının sistemden uzaklaştırılması çok daha kolay, böylelikle ısıl gerilmelerden çıkan tahribat çok daha azdır.



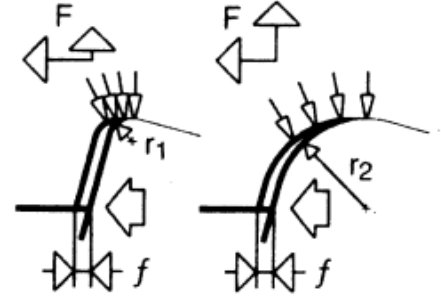
Şekil 4.17 Köşe radyüsü (Çakır,1999)

Kaba tornalama işleminde verimliliği etkileyen en belli başlı faktör talaş derinliğidir. Talaş derinliği için en büyük değerin kullanılması takım ömrünü olumsuz yönde etkilerse, daha büyük bir kesici ucun seçilmesine alternatif olarak daha büyük bir köşe radyüsünün seçilmesi performansı artırır.

İş parçasının yüzey kalitesi köşe radyüsünün büyüklüğünden etkilenir. Yüzey kalitesi ilerleme ile köşe radyüsünün bir fonksiyonudur.(Şekil 4.18) Bu sonuç teorik bir sonuçtur. Pratikte kesme hızı ve kesici kenarda oluşan aşınma da yüzey pürüzlülüğüne etkide bulunurlar. Büyük köşe radyüsünün kaba ve ince tornalama işlemlerinde birçok avantajı vardır. Bu avantajlar arasında birim kenar uzunluğu başına daha düşük basınç, daha düşük ısı oluşumu ve belirli bir ilerleme değeri için daha iyi yüzey kalitesi sayılabilir. (Şekil 4.19)



Şekil 4.18 Yüzey kalitesi – köşe radyüsü ilişkisi



Şekil 4.19 Köşe radyüsü – kesme kuvvetleri

(Çakır, 1999)

0,4mm köşe radyüsü ve 0,25mm/dev ilerleme ile 20 mikronluk bir R_1 yüzey pürüzlülüğü değeri elde edilirken aynı ilerleme değerinde, köşe radyüsünün 2,4mm'ye çıkarılması halinde 3,3 mikronluk bir R_1 değeri elde edilmektedir. Buradan da görüldüğü gibi daha büyük bir köşe radyüsünün ve daha düşük bir ilerleme değerinin seçimi ile yüzey kalitesi arttırılmaktadır.

Köşe radyüsünün talaş oluşumu ve basınç üzerindeki etkileri gözden geçirilecek olursa büyük köşe radyüsü ile küçük köşe radyüsü arasında büyük farklılıklar olduğu gözlenir. Büyük köşe radyüsü küçük köşe radyüsüne göre daha iyi bir talaş kırma görevi görmekte, küçük köşe radyüsü (r_1) radyüsün başladığı noktadan kesme işleminin bitiş noktasına dek sabit kalınlıktaki bir talaş oluşumuna neden olurken büyük radyüs (r_2) konikleşen bir talaş oluşumuna neden olmaktadır.

Aynı talaş derinliği için büyük köşe radyüsüne sahip takımın kesmeye katılan uzunluğu küçük köşe radyüsüne sahip takıma göre daha büyüktür. Basınç büyük köşe radyüslü takımında daha düzgün yayılmakta ve daha düşük olmaktadır. Uç incelidikçe iş parçasına nüfuziyet artar, talaş kaldırmak için gerekli kesme kuvveti ve kesme gücü ucun mukavemeti gibi azalır.

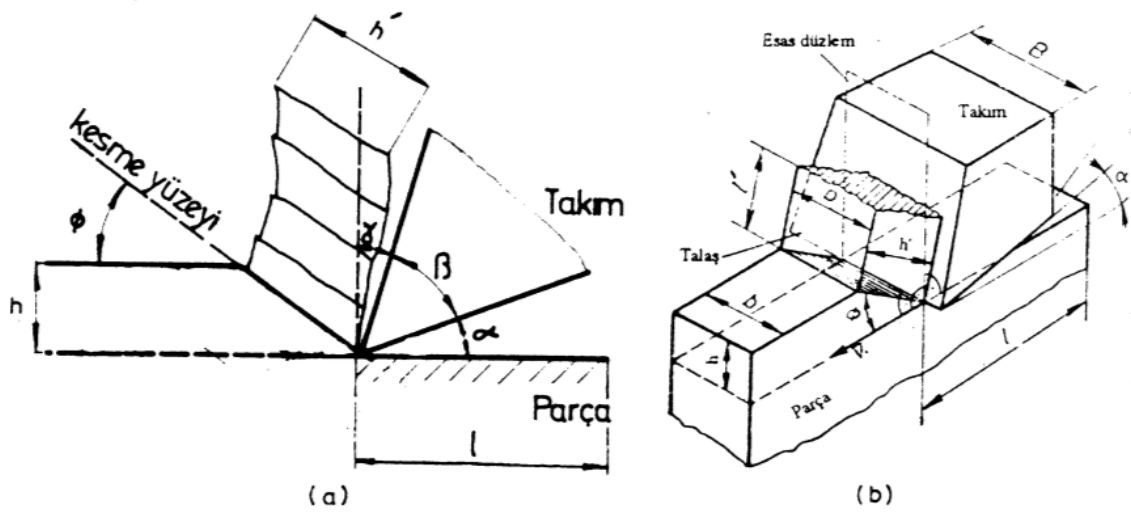
Büyük köşe radyüslerinin kullanımıyla ucun daha güçlendiği, daha iyi yüzey kalitesinin elde edildiği ve kesici kenar üzerinde daha iyi bir basınç dağılımının olduğu gözlenmektedir. Ancak keskin bir uca göre büyük köşe radyüsüne sahip takımlar talaş kaldırmada daha büyük güce gereksinim gösterirler ve doğal olarak köşe radyüsü arttıkça güç gereksinimi artar.

Köşe radyüsünün artması titreşim eğilimini de artırır. Daha büyük bir kesme uzunluğu daha yüksek bir rijitliğe gereksinim gösterir. Yuvarlak kesici uçların kesici kenarları son derece güçlüdür. Ancak bu kesici uçların kullanıldığı işlemlerde rijitlik açısından takımın, bağlama elemanlarının, iş parçasının ve tezgahın test edilmesi gerekir. Tırlama riski olduğunda köşe radyüsünün seçiminde son derece dikkatli olunmalıdır. Bu durum yavaşma açısının, kesme geometrisinin ve köşe radyüsünün seçiminin son derece önemli olduğu delik işleme işlemlerinde çok daha büyük önem kazanır.

Genellikle rijitliğin ve talaş oluşumunun izin verdiği müddetçe kaba tornalama işlemlerinde mukavemetin, ince tornalama işlemlerinde ise yüzey kalitesinin sağlanması için büyük bir köşe radyüsü seçilmelidir. (Çakır, 1999)

4.5.2 Talaş Geometrisi

İş parçası üzerinden kaldırılan malzeme tabakasının talaşa dönüşmesi kesme bölgesi denilen bir bölgede meydana gelmektedir. Ancak basitleştirmek amacı ile bu bölge yerine kesme düzlemi denilen bir düzlem alınmaktadır. Buna göre kesme bölgesine dayanan talaş kaldırma teorisine kalın bölge teorisi ve kesme düzlemine dayanan ince bölge teorisi denilmektedir. İnce bölge teorisine göre takım parça üzerinden kesme yönü denilen belirli bir doğrultuda talaş kaldırılır.(Şekil 4.20 - a) Talaşın parça üzerinden ayrıldığı yüzeye kesme yüzeyi denir. Kesme yüzeyi kesme yönü ile kesme açısı (Φ) adını taşıyan bir açı meydana getirir. Kesme yüzeyi boyunca parçadan ayrılacak olan talaşın boyutları, genişliği (**b**) ve kalınlığı (**h**) ile ifade edilir. (Şekil 4.20 - b) (Akkurt, 2004)



Şekil 4.20 Talaş geometrisi (Akkurt, 2004)

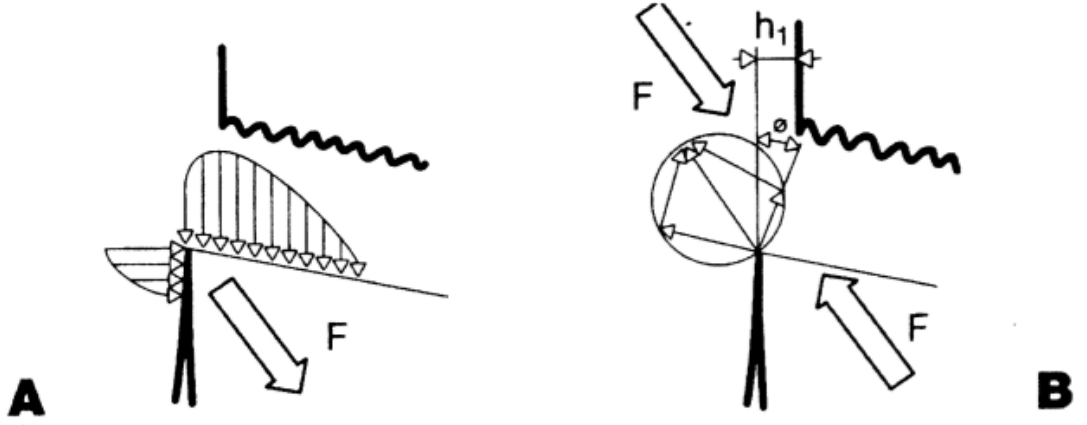
4.5.3 Kesme Kuvvetleri ve Kesme Gücü

Talaş kaldırma işleminde talaşı iş parçasından ayırmak için büyük bir güce gereksinim vardır. Günümüzde kesici takımlar tezgah gücünü çok daha efektif kullanmalarının yanında yüksek işleme hızlarında çalışırlar. Talaş kaldırmak için gerekli olan güç ile kesme kuvvetleri arasında bir ilişki vardır.

Kesme kuvvetleri teorik olarak hesaplanabildikleri gibi bir dinamometre yardımıyla da ölçülebilirler. Bu kuvvetler genellikle talaş kaldırma ve talaş kırma kuvvetleridir. İşlem esnasında ortaya çıkan çok kuvvetli basınç ve sürtünme çeşitli yönlerden kesici uç üzerine etkiyen kuvvetlerin ortaya çıkmasına neden olur. Kesici kenar üzerine kesme işlemi boyunca uygulanan gerilme esas itibarıyla basma gerilmesidir. Ancak bir miktar kayma gerilmesi de söz konusudur. Talaş yüzeyi üzerindeki en büyük basma gerilmesi kenar üzerindedir.(Şekil 4.21 - a) Talaş ile talaş yüzeyi arasındaki temas alanı kesme kuvvetlerine bağlıdır ki bu durum geometri optimizasyonunun en önemli nedenlerinden biridir. Geometri optimizasyonu talaş oluşumunun kontrolü, kesme kuvvetleri ve kesici kenarın mukavemeti açısından son derece gereklidir. Temas alanının ve kesici geometrisinin genellikle iş parçası malzemesine göre farklılık göstermesi nedeniyle

iş parçası malzemesinin de kesme kuvvetleri üzerinde etkisi vardır. Kesme sıvısının kullanımı da kesme kuvvetlerini etkiler, ancak bu kullanım düşük kesme hızlarında sınırlandırılmıştır.

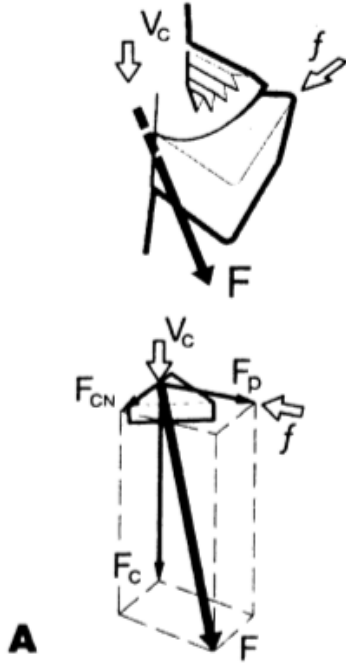
Şekil 4.21 – b’de verilen ortogonal görünüşte gösterildiği gibi talaş kaldırma esnasında ortaya çıkan kuvvetler ve kayma düzlemi açısından bir denge mevcuttur. Kayma düzlemi boyunca iş parçası ve talaşa ait kuvvet, takım yüzeyi ve talaş arasındaki kuvvete prensip olarak eşittir.



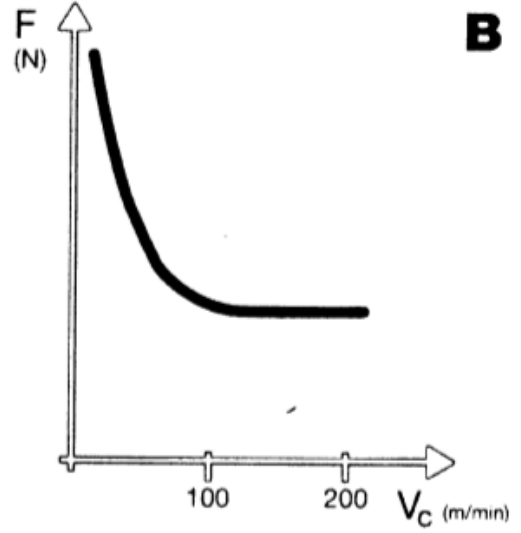
Şekil 4.21 Kesici kenar üzerinde basma gerilmesi ve kuvvetler (Çakır,1999)

Şekil 4.22’de gösterildiği gibi kesme kuvveti üç bileşene sahiptir. Teğetsel kuvvet(F_c), radyal kuvvet(F_{CN}), ve aksenal kuvvet(F_p). Teğetsel kuvvet sadece iş parçası ve takım arasındaki temas ve sürtünmeye değil, aynı zamanda talaş ile talaş yüzeyi arasındaki temas koşullarına da bağlıdır. Talaş oluşumunun ve talaş kırmanın niteliği teğetsel kuvveti önemli ölçüde etkiler.

Birçok iş parçası malzemesi için kesme hızı artarsa kesme kuvvetleri düşer. Bunun nedeni akış bölgesindeki yüksek sıcaklıklar ve azalan temas yüzey alanıdır. Kesme kuvvetlerindeki azalma miktarı malzeme çeşidine, malzeme koşullarına ve çalışılan kesme hızı aralığına göre farklılık gösterir. (Şekil 4.23)



Şekil 4.22 Kesme kuvvetinin bileşenleri

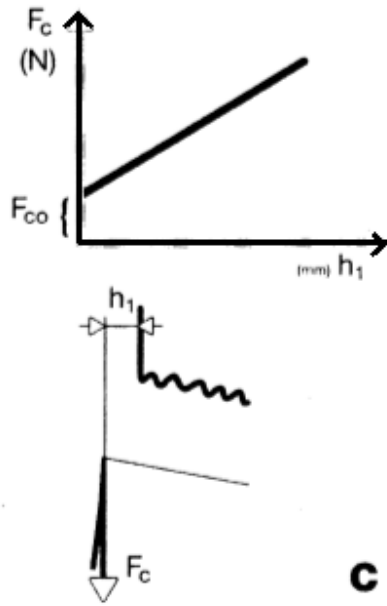


Şekil 4.23 Kesme kuvveti – kesme hızı ilişkisi

(Çakır,1999)

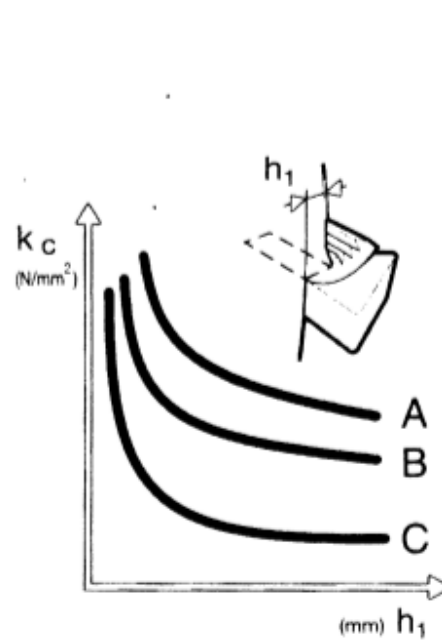
Bunun yanı sıra deforme olmamış talaş kalınlığı (h_1) ile bu kuvvetin büyüklüğü arasında bir bağlantı vardır. (Şekil 4.24)

Teğetsel kuvvetinin büyüklüğü torku, dolayısıyla talaş kaldırma için gerekli gücü etkiler. Prensip olarak teğetsel kuvvet ile kesme hızının çarpımı talaş kaldırmak için gerekli gücü verir.



Şekil 4.24 Kesme kuvveti -
deforme olmamış talaş kalınlığı

(Çakır,1999)



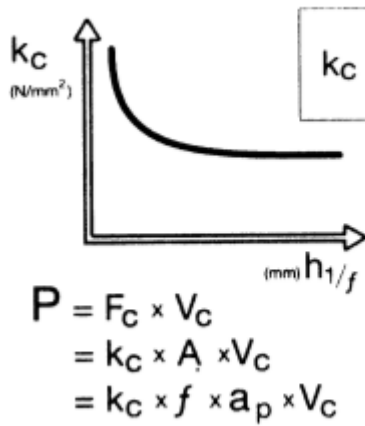
Şekil 4.25 Özgül kesme kuvvetinin
değişimi

Şekil 4.24'te kuvvet ekseninde gösterilen F_{CO} kuvveti herhangi bir talaş oluşmadan önce malzemeyi deforme etmek için gerekli olan kuvvettir. Bu kuvvetin büyüklüğü iş parçası malzemesinin tipine ve koşullarına bağlı olarak farklılık gösterir. Isıl dirençli, nikel esaslı bir alaşım için başlangıçta talaş oluşturmak için gerekli kuvvet alaşımsız alüminyum için gerekli kuvvetin 10 katından daha fazladır.

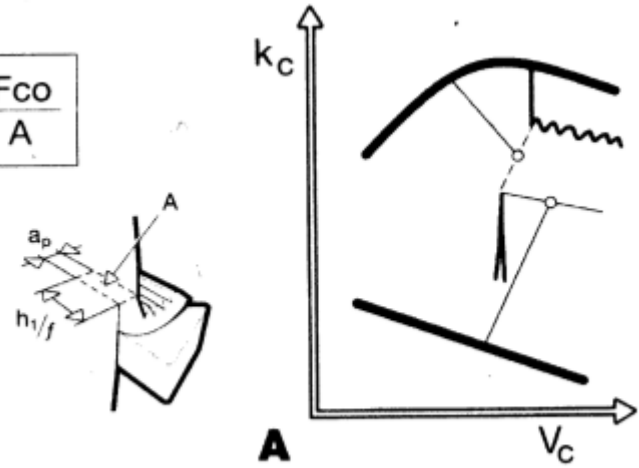
Özgül kesme kuvvetinin (k_c) deforme olmamış talaş kalınlığı (h_1) ve malzeme tiplerine değişimi Şekil 4.25'te gösterilmiştir. Burada (A) paslanmaz çelik (B) alaşımlı çelik, (C) gri dökme demir malzemeleridir. Özgül kesme kuvveti iş parçası malzemesinin kayma akma mukavemetine ve kayma düzleminin alanına bağlıdır. Kayma düzleminin alanı değiştiğinde bu alana bağlı olarak kuvvet de değişir. Kayma düzlemi alanının özgül kesme kuvveti üzerinde, talaş kaldırma işlemi esnasında değişiklik göstermeyen malzeme akma mukavemetine göre çok daha büyük etkisi olduğu düşünülmektedir. Ancak alaşım ilavesi ve ısıl işlem malzemesinin akma mukavemetini değiştirebilir.

Özgül kesme kuvveti herhangi bir talaş kaldırma işlemi için güç hesabında kullanılan önemli faktörlerden biridir. Bu kuvvet Newton/mm^2 cinsinden birim talaş kesit alanını kaldırmak için gerekli teğetsel kuvvet olarak tanımlanır. Bu kuvvet birim talaş hacminin kaldırılması için gerekli özgül enerji ile yakın ilişkisi vardır. (Şekil 4.26)

Talaş kaldırmak için gerekli gücün belirlenmesinde kullanılan özgül kesme kuvveti değeri çok çeşitli iş parçası malzemeleri için mevcuttur. Bu değer malzemelerin işlenebilirliğinin belirlenmesi için de kullanılabilir. Özgül kesme kuvveti değeri belirli kesme verileriyle işlenmiş, belirli koşullardaki bir malzeme için geçerlidir. Örneğin bu değer kesme hızına bağlı olarak değişim gösterir. Kesme hızının artması kesme sıcaklıklarının artmasına, bunun sonucunda k_c değerinin düşmesine neden olur.(Şekil 4.27) Bunun yanı sıra kesici takım geometrisinin de k_c üzerinde etkisi vardır. Pozitif talaş açıları için k_c değeri negatif talaş açılara göre daha düşüktür.



Şekil 4.26 Özgül kesme kuvveti - güç

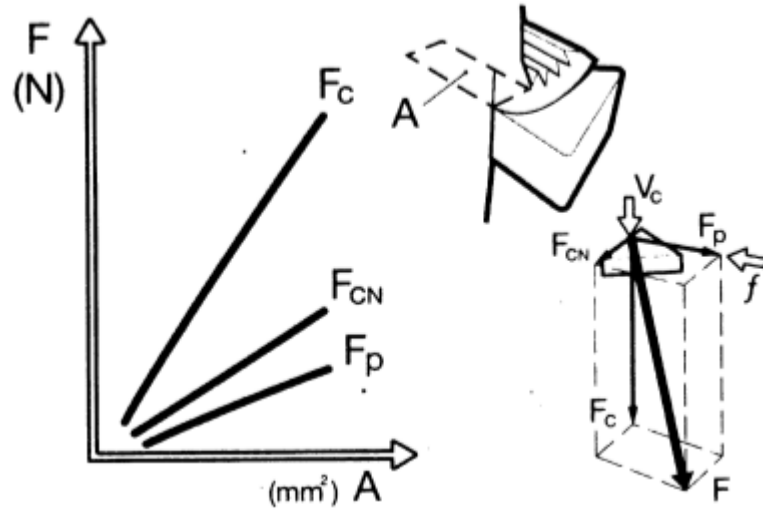


Şekil 4.27 Özgül kesme kuvveti - hız

(Çakır,1999)

Teğetsel kuvvet için bir birim kuvvet gibi de tanımlanan özgül kesme kuvveti deforme olmamış talaş kalınlığı/ilerleme oranına sıkı sıkıya bağlıdır. h_1 kalınlığının artması k_c değerinin düşmesine neden olur. Bu ise kaldırılan talaşın kesiti küçüldükçe özgül kesme kuvvetinin, dolayısıyla gerekli gücün artması demektir. Bu kuvvet aynı zamanda talaş kaldırma işleminde maksimum ilerleme değerlerinin tavsiye edilmesinin bir nedenidir.

Radyal kesme kuvveti bileşeni (F_{CN}), teğetsel kuvvete dik açı yapan kuvvet (Şekil 4.28), aksel kesme kuvveti (F_p) ise takımın ilerleme yönü boyunca, iş parçasının işleme yönü doğrultusunda olan kuvvettir.



Şekil 4.28 Kesme kuvvetinin bileşenleri (Çakır,1999)

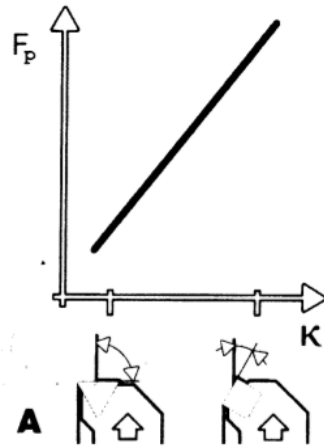
Geometri, özellikle yanaşma açısı aksel ve radyal kuvvet bileşenlerinin büyüklüklerini belirler. Bu kuvvetler arasındaki ilişki özellikle narin bir iş parçası veya uzun bir takımında, hassasiyet gerektiren ve titreşimin istenmediği durumlarda son derece önemlidir. Talaş açısı ise radyal kesme kuvvetini etkiler. Pozitif talaş açıları düşük kesme kuvvetleri demektir.

Kesme kuvvetinin farklı bileşenleri farklı talaşlı imalat işlemlerinde önem kazanır. Şöyle ki, teğetsel kuvvet frezeleme ve tornalama işlemlerinde, özellikle

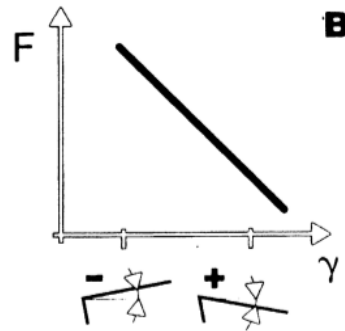
güç hesabında; radyal kuvvet delik işleme işlemlerinde; aksenal kuvvet ise delik delme işlemlerinde diğer bileşenlerden daha önemlidir. Radyal kuvvetin büyüklüğü takımın yanaşma açısına ve köşe radyüsüne bağlıdır. 90° 'lik bir yanaşma açısı ve küçük bir köşe radyüsü radyal kuvveti minimize etmesine karşın takımın sehimine ve titreşime neden olması nedeniyle sakıncalıdır. (Şekil 4.29)

Kesme kuvvetlerinin her üç bileşeni de talaş kesitinin artması ile artar, ancak büyük artışı teğetsel kuvvet gösterir. Kaba tornalama işlemlerinde kesme kuvveti bileşenleri arasındaki ilişki $F_C : F_{CN} : F_P = 4 : 2 : 1$ şeklindedir. Teğetsel kesme kuvveti aksenal kesme kuvvetinin dört, radyal kesme kuvvetinin iki katıdır. Delme işleminde bu ilişki çok daha farklıdır ve önemli ölçüde ilerlemeye bağlıdır.

Titreşim kesme kuvvetlerinin etkisi ile ortaya çıkan bir durumdur. İş parçası veya kesici takımdaki sehimlerin yanı sıra değişken talaş derinliklerinin söz konusu olduğu talaş kaldırma işlemlerinde işleme koşullarındaki değişikliklerden, iş parçası malzemesinden ve yığılma kenar oluşumundan etkilenir.



Şekil 4.29 Aksenal kuvvet –
yanaşma açısı



Şekil 4.30 Kesme kuvveti – talaş
açısı ilişkisi

(Çakır,1999)

Talaş kaldırma işleminde pozitif bir talaş açısına ve iyi talaş kırma özelliklerine sahip bir takım kullanıldığında, yüksek kesme hızlarının kesme kuvvetleri / titreşimler üzerinde olumlu etkilerde bulunduğu gözlenmiştir. (Şekil 4.30)

İşlem esnasında tüm sistemin rijitliğinin sağlanması son derece önemlidir. Takım tutucunun nitelikleri ve kesici ucu rijit bir şekilde tespit edebilmesi rijitlik için önemli faktörlerden bazılarıdır. (Çakır, 1999)

4.5.4 Kesme Koşulları

Kesme koşulları, kesme hızı, ilerleme hızı, talaş kalınlığı gibi faktörleri içerir.

4.5.4.1 Kesme hızı

Kesme hızı takımın parça üzerinden talaş kaldırma hızıdır. Kinematik olarak bu hız kesme hızına bağlıdır. Tornalama, frezeleme, delme ve taşlamada kesme hareketi dönme şeklinde olduğundan, kesme hızı çevresel hız v veya dönme hızı n olarak ifade edilebilir.(Şekil 4.31, 4.32) tornalama, frezeleme, delmede v m/dak, taşlamada m/s; n ise dev/dak (rpm) olarak ölçülür. Çevresel ve dönme hızları arasında

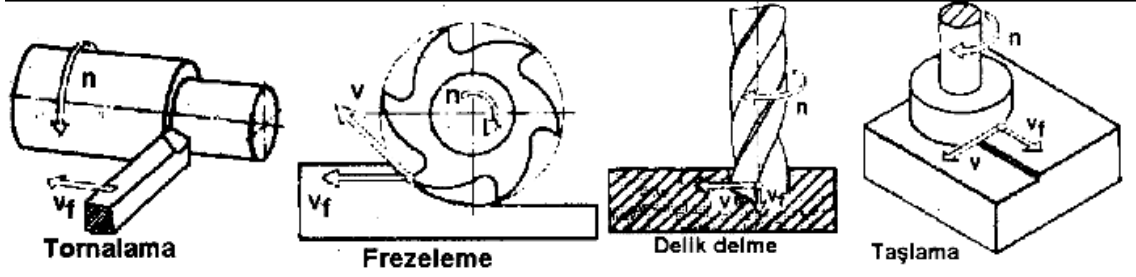
$$v = \pi \cdot D \cdot n / 1000 \text{ (m/dak)}$$

bağıntısı vardır; burada D mm olarak parça veya takımın çapıdır.

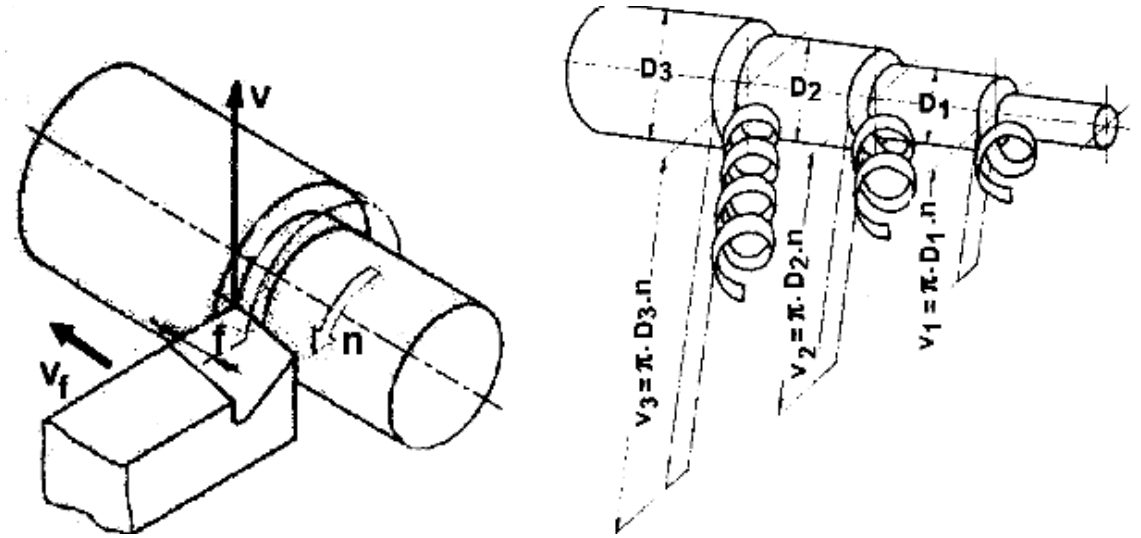
4.5.4.2 İlerleme hızı

İlerleme hızı (v_f) takımın bir yüzeyi işlemesi için o yüzey boyunca yaptığı hareketin hızıdır. İlerleme hızı v_f mm/dak veya f olarak mm/dev olarak ifade edilir. İlerleme hızı v_f ile ilerleme f arasında

$$v_f = f \cdot n \quad \text{bağıntısı vardır.}$$



Şekil 4.31 Kesme ve ilerleme hızları (Genel) (Akkurt, 2007)

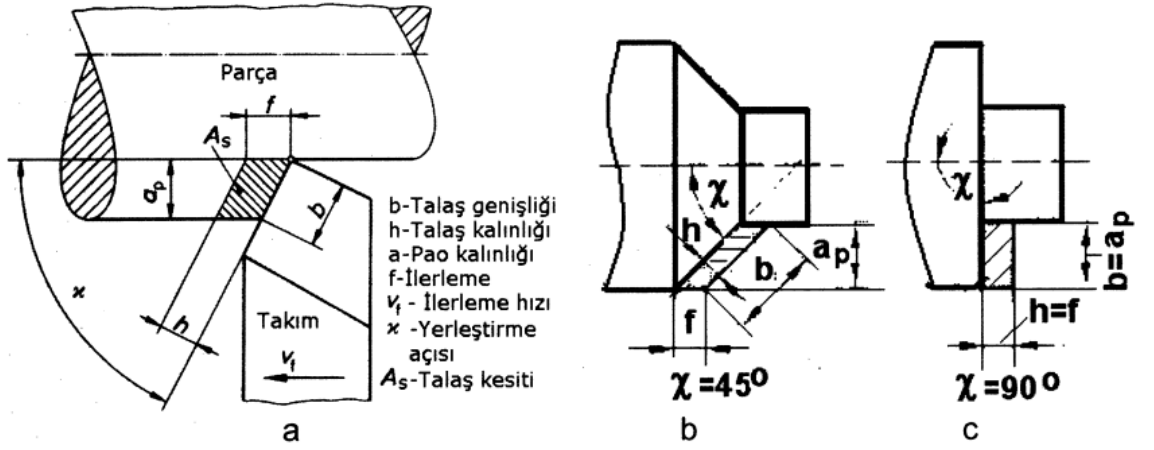


Şekil 4.32 Kesme ve ilerleme hızları (Tornalama) (Akkurt, 2007)

4.5.4.3 Talaş Kalınlığı

Talaş esasen, malzeme üzerinden kaldırılan tabakanın, kaldırılmış halidir. Bununla beraber talaş kalınlığı ile şu hususu hatırlamakta fayda vardır. Kaldırılan malzeme tabakası talaşa dönüştükten sonra kalınlaşır ve uzunluk olarak kısalır; yani talaş boyutları kaldırılmadan önceki duruma göre değişir. Bu değişimi hesaplamak çok zor olduğundan genelde pratik hesaplarda talaş boyutları olarak Şekil 4.33 - a'da gösterildiği gibi parça üzerinden henüz kaldırılmamış talaşa dönüşmemiş tabaka alınır. Buna göre talaş geometrisi kalınlığı h ve genişliği b olarak ifade

edilir. Talaş kalınlığı h takımın kesme ağzına dik bir yönde ölçülür. Talaş genişliği b ise kesme ağzı boyunca ölçülür.



Pratik hesaplarda talaşın boyutları h ve b yerine, paso boyutları kullanılır. Paso takımın parça üzerinde bir pasoda yani ilerlemede kaldırdığı tabakadır. Buna göre paso boyutları paso kalınlığı a_p ve genişliği f ile ifade edilir.(Şekil 4.33 - a) Paso kalınlığı a_p parça yüzeyine dik bir yönde ölçülür. Genişliği f ise parça yüzeyi boyunca ölçülür ve esasen takımın bir devirde yaptığı ilerleme ile eşittir. Talaş boyutları h ve b ile paso boyutları a_p ve f arasında Şekil 4.33 - b'ye göre

$$h = f \cdot \sin\chi \quad ; \quad b = a_p / \sin\chi$$

bağıntıları bulunur. Buna göre talaş kesiti;

$$A_s = b \cdot h = a_p \cdot f \quad (\text{mm}^2)$$

olarak ifade edilir. Görüldüğü gibi talaş kalınlığı h ile ilerleme f ve b ile a arasında değer bakımından fark χ yerleşme açısına bağlıdır. Buna göre $\chi = 90^\circ$ için $h = f$ ve

$b=a$ 'dır.(Şekil 4.33 - c) $\chi = 45^\circ$ için $\sin 45^\circ = 0,707$ olduğu dikkate alınırsa $h = 0,707 \cdot f$ ve $b = a / 0,707$ 'dir.

Paso kalınlığı a_p tayin edilirken, paso kalınlığı ile parçadan kaldırılacak toplam paso kalınlığı a dikkate alınması gerekir. Genelde boyuna tornalamada:

$$a = (D - d) / 2 \quad \text{ve} \quad a_p = (D - D_1) / 2$$

dır. Burada;

D – hammadde yani parçanın işlenmeden önce çapı,

d – parçanın nihai yani işlendikten sonra çapı,

D_1 – parçanın bir paso kaldırıldıktan sonra çapıdır. (Akkurt, 2007)

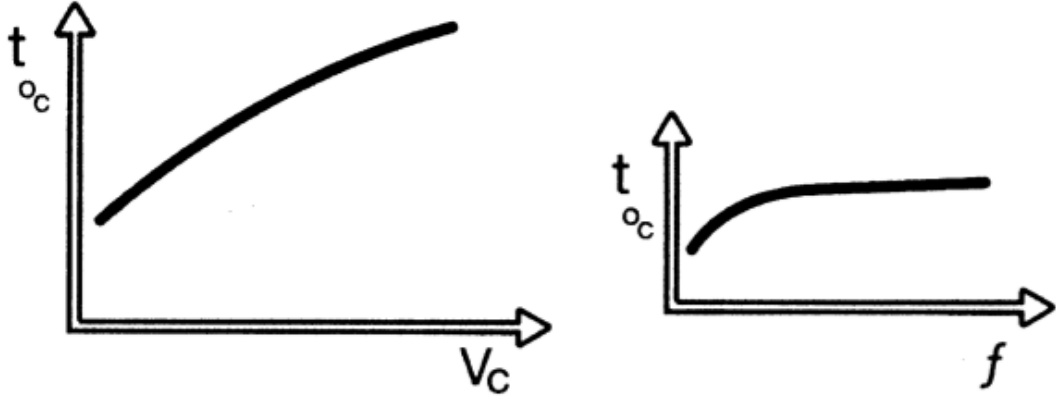
4.5.5 Isı Oluşumu

Talaş kaldırma işlemi esnasında ortaya çıkan mekanik enerjinin hemen hemen tamamı ısı enerjisine dönüşür. Bu nedenle talaşlı imalat işleminde dikkate alınması gereken bir diğer önemli faktör ısı oluşumu ve kesme bölgesindeki sıcaklıklardır. Bu faktör doğal olarak takım performansını ve iş parçası kalitesini önemli ölçüde etkiler.

Aşırı sıcaklıklar yetersiz takım ömrünün ve kesme hızı sınırlamalarının en belli başlı nedenidir. Belirli bir kesme hızında teğetsel kesme kuvvetince oluşturulan enerji deformasyon ve kayma işlemi için harcanır. Bu enerjiye ek olarak bir miktar enerji de talaş yüzeyi ve talaş kırıcı arasında talaş oluşumunda harcanır. Esas itibariyle ısı oluşumu üç bölgede gerçekleşir;

- Kayma bölgesi,
- Talaş yüzeyi,
- Kesici kenarın serbest yüzeyi.

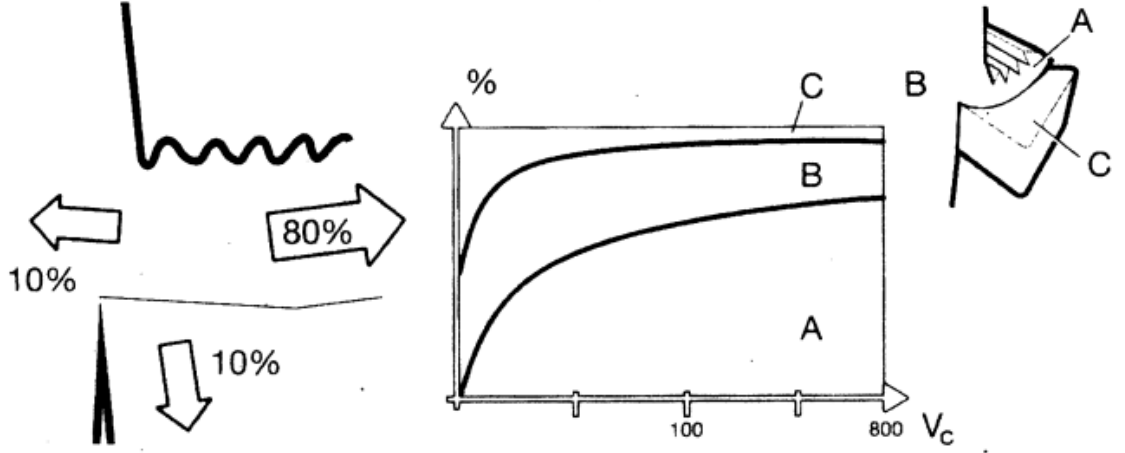
İşleme esnasında ortaya çıkan ısı kesme kuvvetleri gibi işlenen iş parçası malzemesine göre farklılık gösterir. Kesme hızı ısı oluşumu üzerinde çok önemli bir rol oynar. İlerlemenin ısı oluşumuna etkisi daha azdır. (Şekil 4.34)



Şekil 4.34 Sıcaklık / kesme hızı / ilerleme ilişkisi (Çakır, 1999)

Kesme bölgesindeki sıcaklıklar önemli ölçüde talaş ile takım arasındaki temas, kesme kuvvetlerinin büyüklüğüne ve takım ile iş parçası malzemesi arasındaki sürtünme koşullarına bağlıdır. Modern kesici takımlar genellikle yığılma kenar oluşumunun söz konusu olduğu sıcaklıkların üzerinde çalışırlar.

İşleme esnasında oluşan ısının büyük bir bölümü talaş ile kesme bölgesinden uzaklaştırılır. Talaştaki ısı talaşın kesici takım ile temasta olduğu sürece sadece kesici takımı etkileyecektir. Oluşan ısının büyük bir çoğunluğu kayma bölgesinde oluşur, bu nedenle talaş ile kesici takım arasındaki temas uzunluğu takımın performansını etkiler. Küçük talaş açılarının bir sonucu olan küçük kayma açıları iş parçasına geçen ısı miktarını artırır. (Şekil 4.35)



Şekil 4.35 Talaş kaldırma işleminde ısı dağılımı (Çakır, 1999)

Akış bölgesi boyunca ısıya dönüşen enerji daha azdır. Takım ile talaş arasındaki erimiş haldeki ince tabaka, yeni oluşmuş talaşın sürekli akışı ve kayma işleminden etkilenir. Modern kesici uçlarda kesme işlemi, kesici kenara olan ısı akışını minimize edecek şekilde optimize edilmiştir.

Üçüncü ısı kaynağını teşkil eden takım ile işlenmiş yüzey arasında oluşan ısının mümkün olduğunca düşük tutulması gerekir ki bu yeterli boşluk açısı bırakılacak ve serbest yüzeyin aşırı aşınmasının önüne geçilerek sağlanabilir. Eğer bu koşullar sağlanmazsa yüksek sıcaklıklar ve bunun sonucunda ani takım kırılmaları söz konusu olacaktır.

4.5.6 Takım Aşınması

İşleme esnasında tüm takımlar aşınır ve bu aşınma takımlar ömürlerini tamamlayana dek devam eder.

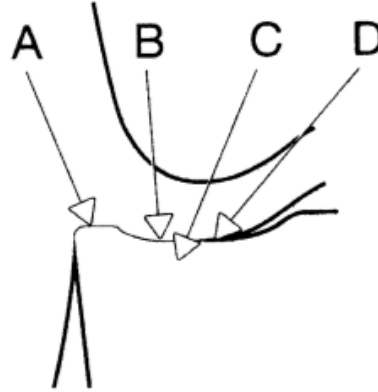
Takım aşınması kaçınılmazdır, ancak aşınmanın ne zaman, ne miktarda oluştuğunun ve ne tip bir aşınma olduğunun bilinmesi halinde fazla olumsuz etkisi de yoktur. Bir kesici kenarın çok küçük bir zaman aralığında, büyük miktarlarda

talaş kaldırması son derece olumludur, ancak takım ömrünü gereğinden önce tamamlaması veya kırılması bir olumsuzluktur.

4.5.6.1 Aşınma mekanizmaları

Takım aşınması kesici kenar üzerine etkiyen yük faktörlerinin bir sonucudur. Kesici kenarın ömrü birçok yüke bağlı olarak belirlenir. Aşınma takım, iş parçası malzemesi ve işleme koşullarının etkileşiminden kaynaklanan bir olaydır.

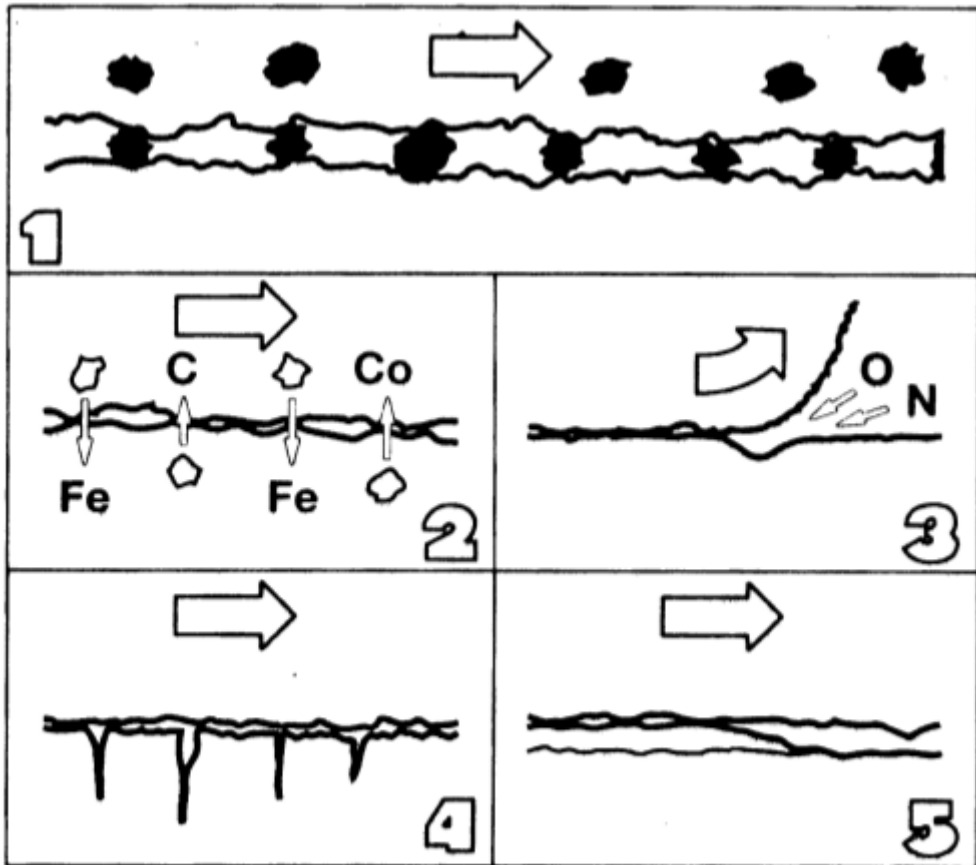
Temel yük faktörleri ve bu faktörlerin etki ettiği bölgeler Şekil 4.36'da gösterilmiştir. Şekilde (A) mekanik, (B) ısıl, (C) kimyasal, (D) abraziv yükleri temsil etmektedir.



Şekil 4.36 Tipik aşınma bölgeleri (Çakır, 1999)

Mekanik yükün statik bileşeninin yanı sıra talaş oluşumundan, değişken talaş derinliklerinden, darbeli ve frezeleme işleminde olduğu gibi aralıklı kesme işlemlerinden kaynaklanan çeşitli dinamik bileşenleri de söz konusudur. Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici ucun talaş ve serbest yüzeylerinde büyük miktarda ısı oluşumu söz konusudur. Takım malzemesi için ısıl yükün ve frezeleme işlemi gibi bazı işlemlerde, kesici kenarın iş parçasından çıkması ve iş parçasına tekrar girmesi esnasında dinamik bileşenin de göz önüne alınması gerekir.

Talaş kaldırma işlemi sırasında birçok iş parçası malzemesi içerisinde sertlikleri bazen takım malzemesi sertliğine yaklaşan son derece sert parçacıklar bulunur. Bu parçacıklar takım üzerinde aşındırıcı bir etkide bulunurlar. Bu kalıntıların ve cürufli bir yüzeyin söz konusu olmadığı durumlarda bile talaş kaldırma işlemi esnasında, kesici kenar üzerinden malzeme nedeniyle, değişken miktarlarda abraziv bir aşınma söz konusudur.



Şekil 4.37 Temel aşınma tipleri (Çakır, 1999)

İşleme esnasında kesici kenar üzerine etkileyen çeşitli yük faktörleri nedeniyle aşağıdaki temel aşınma mekanizmaları talaş kaldırma işlemine etkide bulunurlar.(Şekil 4.37) Şekilde (1) abraziv aşınmayı, (2) difüzyon aşınmasını, (3)

oksidasyon aşınmasını, (4) yorulma aşınmasını (statik veya dinamik), (5) adeziv aşınmayı göstermektedir.

Abraziv aşınma : En yaygın aşınma tiplerinden biridir. Genellikle iş malzemesine ait sert parçacıklar nedeniyle ortaya çıkar. Bu durum, iş parçası yüzeyi ile takım arasına giren sert parçacıkların neden olduğu taşlama işlemine benzer bir durumdur. Bu aşınma tipi kesici ucun serbest yüzeyinin aşınmasına yol açar.

Kesici kenarın abraziv aşınmaya dayanma kabiliyeti önemli ölçüde ucun sertliğine bağlıdır. Sert parçacıkların sıkıştırılması ile elde edilen takım malzemesi abraziv aşınmaya dayanacaktır, ancak bu malzemenin diğer tip yüklere de dayanabilmesi için gereken önlem alınmalıdır.

Difüzyon aşınması : Bu aşınma tipi kesme işlemi esnasında daha çok kimyasal yükten etkilenir. Takım malzemesinin kimyasal özellikleri ile takım – iş parçası malzemesi arasındaki afinite difüzyon aşınması mekanizmasının ortaya çıkmasına neden olur. Takım malzemesi sertliğinin bu tip aşınma üzerine etkisi yoktur. Malzemeler arasındaki metalurjik ilişkiler aşınma miktarını belirler.

Oksidasyon aşınması : Yüksek sıcaklıkların ve havanın varlığı birçok metal için oksidasyon demektir. Oksitler birbirlerine göre farklılık gösterirler. Tungsten ve kobalt gözenekli oksit film tabakaları oluştururlar, ancak bu tabakalar talaş ile yüzeyden uzaklaştırılabilirler. Alüminyum oksit gibi bazı oksitler ise son derece dayanıklı ve serttir. Bu nedenle bazı takım malzemeleri için kesici kenar aşınması söz konusudur. Özellikle kesici kenarın talaş ile temasta olan kısmında, talaş genişliğinin sona erdiği noktada (talaş derinliğinde) hava da kesme işlemine etkide bulunur ve oksidasyon nedeni ile kenarda çentikler oluşur. Oksidasyon aşınması bugün talaşlı imalat alanında pek yaygın olmayan bir aşınma tipidir.

Yorulma aşınması : Termo-mekanik bir kombinasyonun sonucudur. Sıcaklıktaki dalgalanmalar ve takıma etkiyen kesme kuvvetlerinin sıfır ile maksimum değerler arasında değişmesi kesici kenarın çatlamasına ve kırılmasına

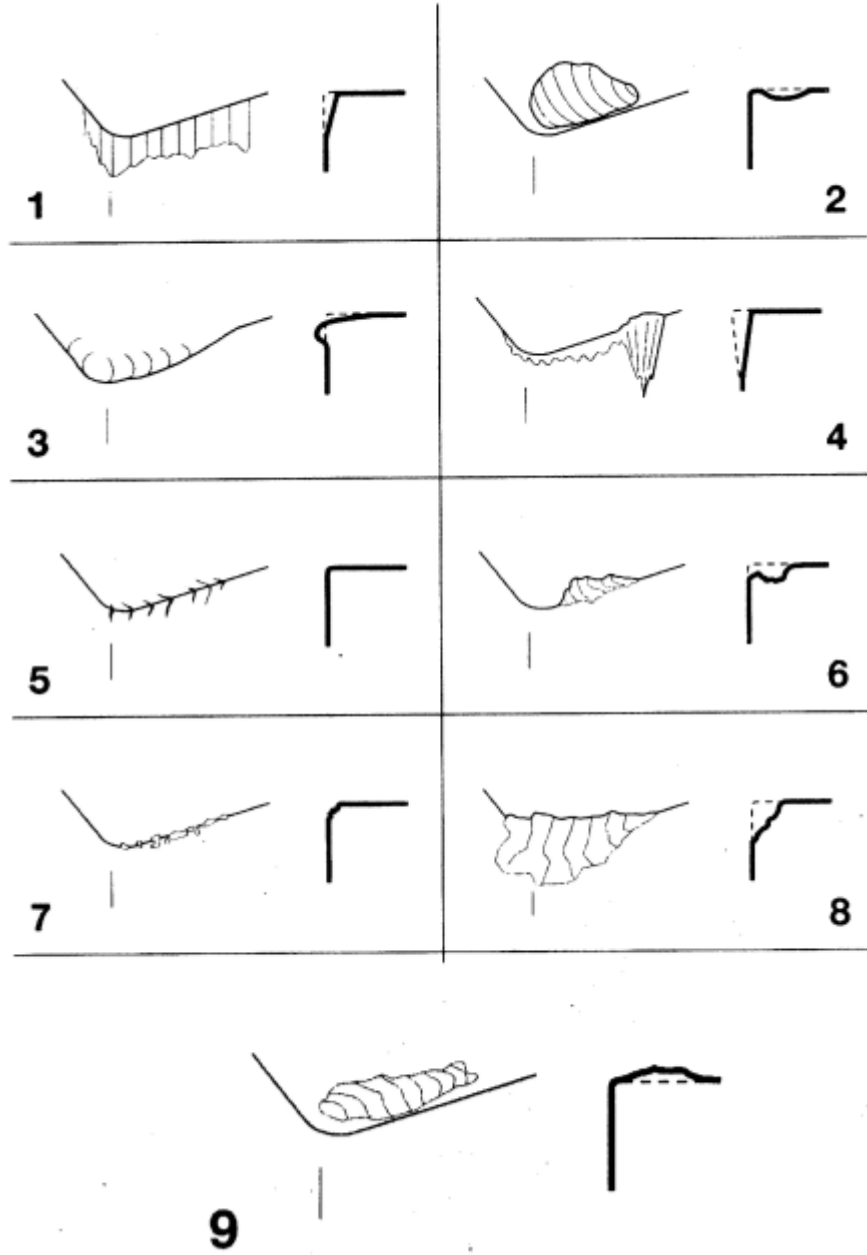
yol açar. Aralıklı kesme işlemi ucun sürekli olarak ısınıp soğumasına ve talaş ile temasta olan kesici kenarda şok etkisine neden olur. Bazı takım malzemelerinin diğer malzemelere göre yorulma aşınmasına daha duyarlı olduğu bilinmektedir. Mekanik yorulma kesme kuvvetlerinin kesici kenarın mukavemetinden çok daha büyük olduğu durumlarda görülür. Bu durum sert ve dayanıklı iş parçası malzemelerinin çok yüksek ilerleme hızlarında işlendiği veya takım malzemesinin yeterince sert olmadığı durumlarda söz konusudur. Bu gibi durumlarda plastik deformasyon oluşur.

Adeziv aşınma : Genellikle takımın talaş yüzeyindeki düşük işleme sıcaklıklarından dolayı ortaya çıkar. Çelik, alüminyum ve dökme demir gibi uzun ve kıs atalaş oluşumunun söz konusu olduğu malzemelerde görülür. Bu aşınma mekanizması genellikle kenar ile talaş arasında yığılma kenar oluşumuna neden olur. Yığılma kenar oluşumu talaş tabakaların sürekli olarak kesici kenar üzerine kaynak olup kenarın bir parçası haline gelmeleri işlemidir. Bu kenarın çok fazla büyümesi ve bir noktada kopması, kesici kenar üzerinden bir kısım malzemenin de yığılma kenar ile uzaklaşmasına neden olur. Bazı kesici takım malzemeleri ve sünek çeliklerde yığılma kenar oluşumu diğerlerine göre çok daha fazladır.

4.5.6.2 Aşınma tipleri

Belli başlı aşınma tipleri Şekil 4.38’de gösterilmiştir. Bu aşınma tipleri arasında: **(1)** serbest yüzey aşınması, **(2)** krater aşınması, **(3)** plastik deformasyon, **(4)** çentik oluşumu, **(5)** ısıl çatlaklar, **(6)** mekanik yorulma çatlakları, **(7)** kesici kenardan parçacık kopmaları, **(8)** kesici ucun kırılması ve **(9)** yığılma kenar oluşumu sayılabilir. (Şekil 4.38)

Bu aşınma tiplerinden bazıları aşınma olmayıp takımın tamamen kırılmasıdır.



Şekil 4.38 Aşınma tiplerinin sınıflandırılması (Çakır, 1999)

Serbest yüzey Aşınması : Adından da anlaşılacağı gibi bu aşınma kesici kenarın serbest yüzeyinde meydana gelir. Abrasiv tip bir aşınma mekanizmasından kaynaklanır. Talaş oluşumu sırasında ve sonrasında ana kesici kenar, yardımcı kesici kenar ve köşe radyüsü veya paralel kenar iş parçası ile temastadır. Bu temas nedeniyle oluşan serbest yüzey aşınması en yaygın aşınma tiplerinden biridir.

Burada amaç serbest yüzey aşınmasının ilerlemesinin kontrol edilebilir bir düzeyde tutulmasıdır. Serbest yüzey aşınmasında belirli bir değerin üzerine çıkılmasıyla yüzey kalitesi kötüleşir, hassasiyet azalır, sürtünme artar.

Krater aşınması : Talaş yüzeyinde abraziv ve difüzyon aşınma mekanizmaları nedeniyle oluşur. Krater, talaş kaldırma esnasında sert parçacıkların takımın talaş yüzeyinde taşlama işlemine benzer bir işlem gerçekleştirmeleri sonucunda veya takım ile talaş malzemesi arasında, talaş yüzeyinin en sıcak kısmında oluşan difüzyon nedeniyle ortaya çıkar. Krater aşınmasının belirli bir değerin üzerine çıkması halinde kesici kenarın geometrisi değişir ve uç zayıflar.

Plastik deformasyon : Plastik deformasyon kesici kenar üzerinde yüksek sıcaklıklar ve yüksek basıncın bir kombinasyonu sonucunda oluşur. Yüksek kesme hızı, yüksek ilerleme değerleri ve sert iş parçası malzemeleri ısı ve basınç demektir. Takım malzemesinin bu etkilere dayanabilmesi ve plastik olarak deforme olmaması için yüksek kızıl sertliğe sahip olması gerekir. Kesici kenarın bu şekilde deformasyona uğraması daha yüksek sıcaklıkların oluşumuna, geometri deformasyonuna ve talaş akışının değişimine neden olacaktır. Kenarın yuvarlatılması ve uygun kesici geometrisi bu tip aşınmanın önlenmesinde önemli rol oynar.

Yardımcı kenarda çentik oluşumu : Bu aşınma tipi tipik bir adezyon aşınmasıdır. Ancak oksidasyon aşınmasının da bu tip aşınmanın oluşumuna katkısı vardır. Çentik kesici kenar ile malzemenin ayrıldığı noktada oluşur. Aşınma kesmenin sonunda, havanın kesme bölgesiyle temas ettiği bölgede oluşması nedeni ile bölgeseldir. Çentik aşınmasının belirli bir değerin üstüne çıkması ince işlemlerde yüzey kalitesini etkiler, kesici kenar zayıflar.

Isıl çatlaklar : Bu aşınma tipi genellikle ısı sirkülasyonu nedeniyle ortaya çıkan yorulma aşınmasıdır. Özellikle frezelemede söz konusu olan sıcaklık değişimleri bu tip aşınmaya neden olur. Bu aşınma sonucu kesici kenara dik çatlaklar meydana gelir ve takım malzemesi kenarda dışa doğru zorlanır. Bu zorlanma sonucunda

takım malzemesinde ani kırılma ve ucun kullanılamaz hale gelmesi söz konusudur. Kesme esnasında değişen talaş kalınlıkları da sıcaklık oluşumuna etkide bulunurlar.

Mekanik yorulma çatlakları : Bu çatlaklar kesme kuvvetlerindeki ani değişimler sonucu ortaya çıkarlar. Mekanik yükün kendi başına çatlak oluşturacak büyüklükte olmamasına rağmen mekanik yükteki sürekli değişim çatlığa neden olur. Kesmenin başlangıcında ve kesme kuvvetinin büyüklüğü ve yönündeki değişimler kesici ucun mukavemetinden ve tokluğundan fazla olduğunda bu tip bir aşınma gözlenir. Çatlaklar kesici kenara paraleldir.

Kesici kenardan parçacık kopması (dökülme) : Bu aşınma tipi kenarın aşınmaktan çok kırılması nedeniyle oluşur. Bu aşınma tipinde genellikle takıma etkiyen yükün sürekli olarak üst ve alt değerler arasında değişmesi nedeniyle bir yorulma oluşur ve bunun sonucunda takım malzemesi takım yüzeyinden kopar. Darbeli kesme işlemi bu tip aşınmanın en sık görülen nedenlerinden biridir. Kenar üzerindeki dikkatli bir inceleme aşınmanın serbest yüzey aşınması mı, yoksa kenardan parçacık kopması aşınması olduğunu belirleyecektir.

Kesici kenarın kırılması : Kesici kenarın ömrünü tamamlamasına neden olan bir aşınma tipidir. Kenardaki büyük miktardaki kırılma mümkün olduğunca kaçınılması gereken, en tehlikeli aşınma türüdür. Kenarın kırılması birçok diğer aşınma tipi için de yolun sonu demektir. Geometrinin değişimi, kenarın zayıflaması, sıcaklıktaki ve kuvvetlerdeki artışlar kesici kenarın bu tip bir aşınmaya maruz kalmasına neden olur. Yüksek kesme hızlarında ve ağır talaş kaldırma koşullarında kesici kenar üzerinde oluşan çeşitli gerilmeler kesici ucun mukavemet sınırını aştığı anda kırılmanın oluşumu kaçınılmazdır.

Yığılma kenar oluşumu : Önemli ölçüde sıcaklığa dolayısıyla kesme hızına bağlı bir aşınma türüdür. Takım yüzeyine kaynak olan malzemedan dolayı ortaya çıkan, takım yüzeyinden parçacık kopmasına neden olan yığılma kenar istenmeyen bir durumdur. Düşük sıcaklıklar ve yüksek basınçlar iş parçası malzemesinin takım yüzeyine kaynak olmasına neden olur. Yığılma kenar oluşumuna sebebiyet veren

sıcaklık ve kesme hızları bilindiğinden bu tip aşınmanın kolaylıkla önüne geçilebilir. Birçok modern talaş kaldırma işleminde kesme hızları yığılma kenar oluşum alanının çok üzerindedir ve birçok kalite yığılma kenar oluşumuna engel olacak şekilde seçilir. Yığılma kenar oluşumuna izin verildiği takdirde yüzey kalitesi bozulur ve bu oluşumun devam etmesi halinde kenarın kırılması ve hatta ömrünü tamamlaması söz konusu olabilir.

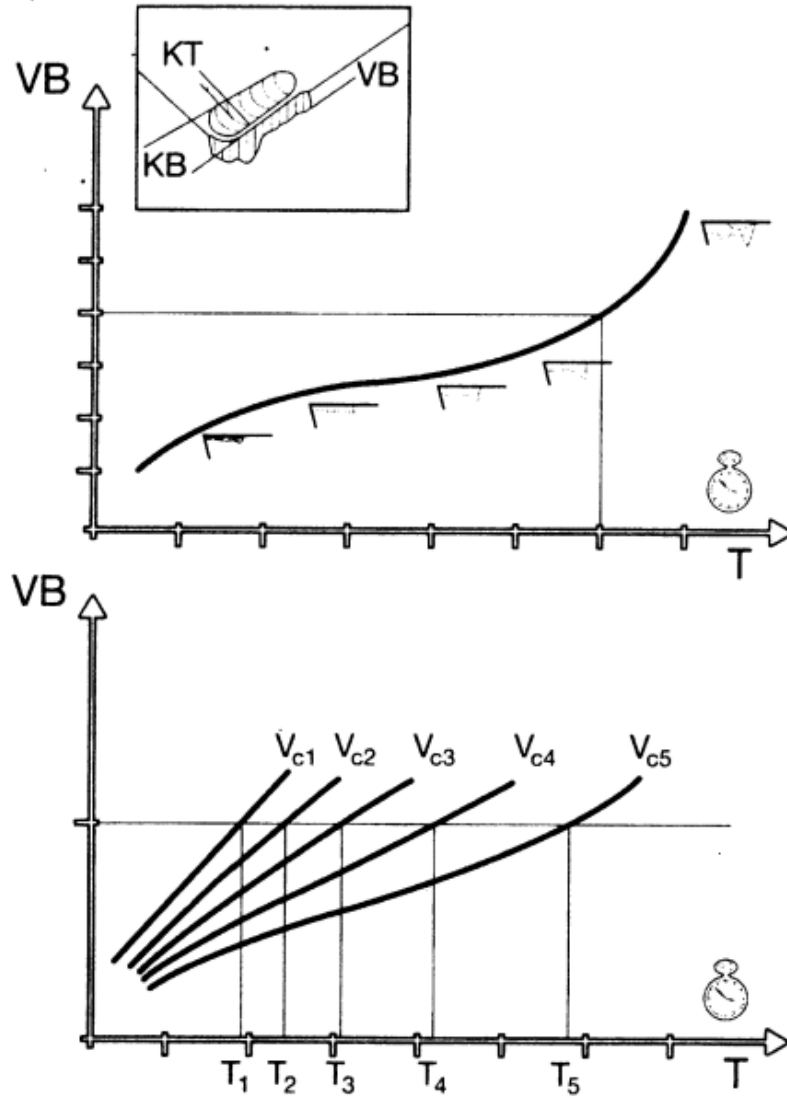
4.5.7 Takım Ömrü

Kesici bir kenar için takım ömrü kenarın, yapılması gereken bir işlemde belirlenen bir koşulu yerine getiremeyecek derecede aşınması ile sınırlıdır. Takımın yerine getirmesi gereken koşullar istenilen yüzey kalitesinin ve boyut hassasiyetinin sağlanması ve talaş kontrolüdür. Genellikle takım ömrü ucun veya kenarın kırılması ile sona erer. Ancak talaşlı imalatta modern takımların modern uygulamalarda kullanılmaları sayesinde bu tip aşınmaya hiçbir zaman izin verilmez. Takım ömrünün belirlenmesi özellikle insan müdahalesi olmaksızın yapılan işlemlerde son derece önemlidir.

Takım ömrü kriteri genellikle yapılan işlemin ince veya kaba işlem olmasıyla değişir. Takım ömrünün sonunda, herhangi hatalı bir parça üretiminden veya takımın kırılma noktasından hemen önce kesici kenar değiştirilir. Bu anlamda önemli olan ucun kırılması değil aşınmasıdır. Bugün aşınmanın başlangıcının belirlenmesi ve aşınma yönünün daha iyi kontrolü ile ilgili büyük gelişmeler kaydedilmiştir. Takım malzemesi ve geometrisinde yapıyla iyileştirmeler takım ömrünü arttırmıştır.

Kesici kenarın ne zaman aşındığının belirlenmesi için doğru tanımlamaların yapılması gerekmektedir. Farklı işlemlerde, farklı takımlarda aşınma değerleri farklıdır. Ancak şu bir gerçektir ki bir kenar istenilen yüzey kalitesini sağlayamıyorsa veya belirli bir tolerans aralığında tutamıyorsa daha fazla bu işlemde kullanılmaz. Kesici kenarın kırılma riski aşınma miktarı arttıkça artar.

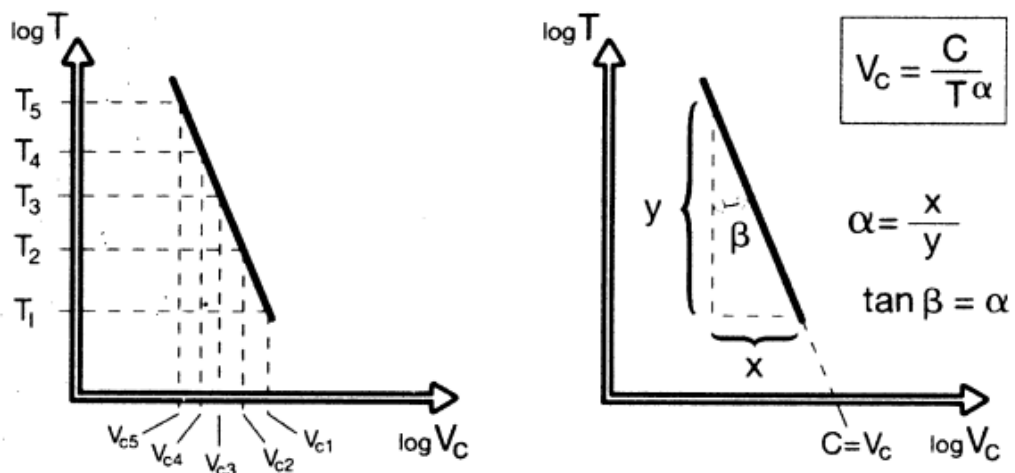
Aşınma (VB) / zaman (T) diyagramında takım aşınması her zaman doğrusal değildir. Aşınma eğrisinin başlangıçta orta hızlı, daha sonra ise ani bir artışı söz konusudur. Eğrinin şekli kesme hızı ve her hıza karşı gelen belirli aşınma değerlerine göre farklılık gösterir. Maksimum aşınma için bir sınır değer belirlenir. Düşük kesme hızları için aşınmanın daha yavaş geliştiği, yüksek kesme hızları için ise genellikle daha hızlı bir aşınmanın söz konusu olduğu gözlenmektedir. (Şekil 4.39)



Şekil 4.39 Aşınma gelişimi ve ömür (Çakır, 1999)

İşleme zamanı (T) belirli bir aşınma miktarı için kesici kenarın ömrüdür. Bir sonraki adım işleme zamanı ile kesme hızı arasındaki bağıntısını belirlemesidir. Bu amaçla logaritmik bir cetvel üzerinde zaman(T) – kesme hızı (V_c) eğrisi çizilir. (Şekil 4.40)

Bu diyagramla temsil edilen bağıntı Taylor bağıntısı olarak bilinir. Bu bağıntıda iki sabit vardır.(α, C) Doğrunun eğimi $\alpha = x/y$ bağıntısından hesaplanır. C ise logaritmik doğrunun ve $\log V_c$ eksenini kestiği noktanın belirlenmesi ile bulunur. (Çakır, 1999)



Şekil 4.40 Ömür / kesme hızı bağıntısı (Çakır, 1999)

4.5.8 Takım Malzemeleri

Takım malzemeleri şu özellikler sahip olmaları gerekir: yüksek sertlik, yüksek eğilme mukavemeti, basma mukavemeti, ve tokluk, yüksek sıcaklığa ve aşınmaya dayanıklı, kolay işlenebilmesi, ucuz olmasıdır. Bu özelliklerin arasında en önemlileri sertlik ve tokluktur. Sertlik malzemelerinin aşınmaya dayanımını, tokluk darbe, basınç ve eğileme zorlamalara karşı mukavemeti gösterir. Bir malzeme ne

kadar sert ise aşınma dayanımı da o kadar yüksektir. Malzeme yüksek tokluğa sahipse darbe, basınç ve eğileme zorlamalara karşı mukavemeti de yüksektir. Genelde malzemelerin sertlik ve tokluk özellikleri birbirine zıt özelliklerdir. Sert bir malzemenin tokluğu düşüktür. Bunun tersi de geçerlidir, yani tok bir malzemenin sertliği düşüktür. Buna göre takım malzemeleri alanında araştırmalar hem sert hem tok malzeme elde etme yönünde yapılmaktadır.

Günümüzde tüm bu özelliklere sahip takım malzemesi yoktur. Genellikle yüksek sertliğe, yüksek sıcaklığa ve aşınma mukavemetine sahip olan takım malzemeleri, eğilme, basınç ve darbelere karşı mukavemetleri düşük, zor işlenebilen ve pahalı malzemelerdir. Tarihsel açısından takım malzemeleri incelenirse bunlar;

- Takım çelikleri,
- Hız çelikleri (HSS),
- Senterlenmiş karbürler (SM- sert metaller),
- Seramikler, Sermet,
- CBN,
- Elmaslar (PCD),
- Abrasifler

olarak sınıflandırılır. Bunlardan takım çelikleri ve hız çelikleri demir esasına dayanan, senterlenmiş karbür demir olmayan metaller ve seramik, elmaslar ve abrasifler metal olmayan malzemelerdir. Ayrıca takım çelikleri sertliklerini sertleşme yoluyla kazanırlar. Karbürler, seramikler, elmas ve abrasifler doğal sertliğe sahiptirler. Seramikler, elmaslar ve abrasifler yüksek sertlik, yüksek aşınma mukavemetine, ancak düşük tokluğa ve darbe mukavemetine sahiptirler. Bunları sırasıyla sert metal adını taşıyan karbürler, hız çelikleri, az alaşımlı çelikler ve en sonunda karbon çelikleri takip eder.

İmalat şekline göre: karbon çelikleri, az alaşımlı çelikler ve kısmen hız çelikleri yekpare (kesici uç ve sap ile birlikte), hız çelikleri kaynaklı (kesici uç sapa kaynak

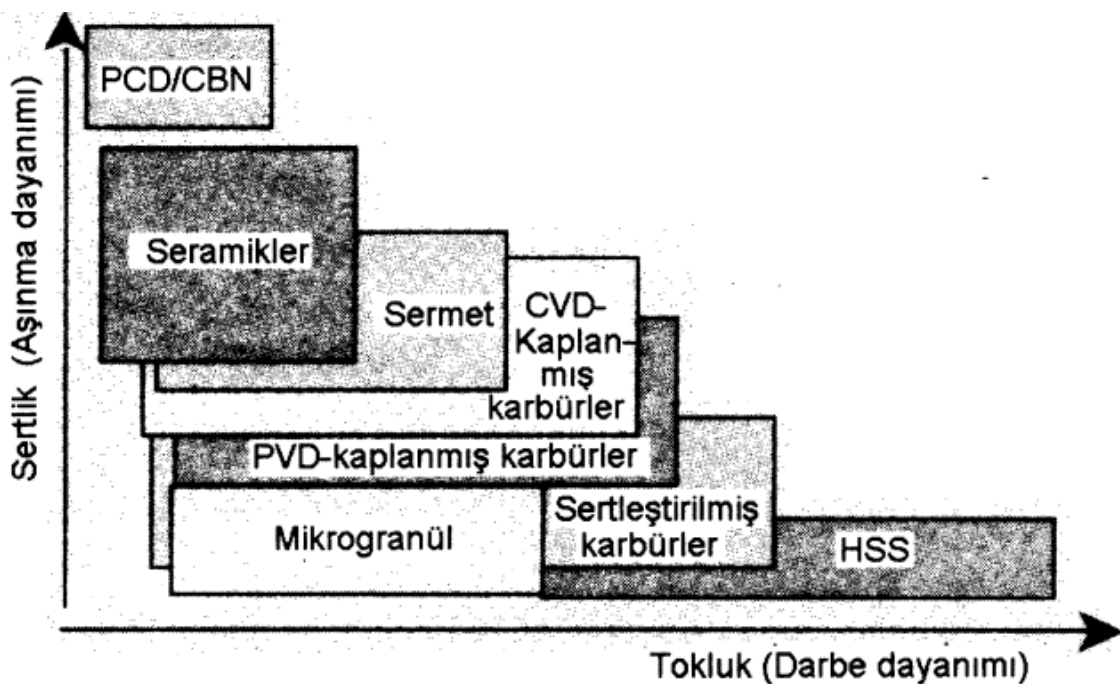
ile bağlanmış) biçimde imal edilirler. Hız çelikleri, sert metallere, seramikler ve kısmen elmaslar uç (plaket) şeklinde; elmaslar ve abrasifler tane şeklinde imal edilirler. Günümüzde kesme takımları için en çok kullanılan sert metallere ve seramiklerdir.

Takım malzemelerinde önemli bir gelişme kaplamalardır. Plaket çok ince bir tabaka ile kaplandığında takım ömrü önemli ölçüde artmaktadır. Kaplama için iki proses kullanılmaktadır. (CVD (chemical vapor deposition) denilen kimyasal ve PVD (physical vapor deposition) adını taşıyan fiziksel proses.) CVD yüksek sıcaklıkta (yaklaşık 1000 ° C) yapılan bir kaplama yöntemidir ve çok ince bir kaplama tabakası ile sonuçlanır. PVD alçak sıcaklıkta (yaklaşık 500 ° C) bir kaplama prosesidir ve daha kalın bir kaplama tabakası meydana getirir.

Sert metallere bir başka gelişme karbür tanecik boyutudur gittikçe azaltılmasıdır. Günümüzde mikron (1 mikron = 0,001 mm) seviyesindeki tanecik boyutunun yanı sıra mikron altı ve nano seviyesinde tanecik boyutuna sahip karbür plaketleri vardır. Tanecik boyutu sayesinde malzemenin sertlik ve tokluk özellikleri arasında bir denge kurulmaya çalışılmaktadır.

Metal olmayan metal malzemelerin bir karışımı olan seramikler daha iyi darbe ve eğilme mukavemetine sahiptirler. Bu nedenle bunlar orta kaba talaş kaldırmada da kullanılabilirler. Bu iki grubun arasında en çok kullanılan Sermettir. (Cermet = Ceramic + metals) Çok yüksek kesme hızlarında kullandıkları için seramik takımlarla iyi sonuç alınabilmesi için tezgah sisteminin çok rijit olması gerekir. Eskiden taşlamada taşların yapısında yer alan Kübik Bor Nitrid (CBN) günümüzde tornalamada, frezelemede de kullanılmaktadır. Elmastan sonra ikinci sert malzeme olan CBN toz halinde bulunan suni bir aşındırıcı malzemesidir. CBN gövdesi sert metalden yapılan bir plaketin üzerine yüksek sıcaklık ve basınç altında bir tabaka olarak oluşturulur. Çok yüksek ısı dayanımına sahip bu takım malzemesi 1000 m/dak'ya varan kesme hızlarında ince ve çok ince talaş kaldırmada kullanılmaktadır.

Şekil 4.41’de yukarıda incelenen takım malzemelerinin sertlik ve tokluk bakımından durumları verilmiştir. Sertlik aşınma mukavemeti ile ilgili olup kesme hızını etkilemektedir. Buna göre sert takım malzemeleri yüksek hızlarda kullanılabilirler. Tokluk ilerleme hızlarını etkiler. Buna göre yüksek tokluğa sahip takım malzemeleri yüksek ilerleme hızlarında kullanılabilirler.



Şekil 4.41 Takım malzemelerinin sertlik ve tokluk özellikleri (Akkurt, 2007)

4.5.9 Parça Malzemeleri

Talaş kaldırma sırasında parça malzemelerinin davranışları farklıdır. Bu farklılık işleme kabiliyeti ile ifade edilir. Malzemelerin işleme kabiliyetleri kesme hızına bağlı olarak değerlendirilir. Buna göre belirli bir ömür için en yüksek kesme hızı ile işlenen bir malzemenin en iyi işleme kabiliyetine sahip olduğu söylenebilir. Böyle bir malzemenin işleme kabiliyeti izafi olarak 100 ile gösterilir ve diğer malzemelerin işleme kabiliyetleri 100’e oranla ifade edilir. Malzemelerin

sertliği arttıkça işleme kabiliyetleri azalır. Bu nedenle daha yumuşak olan alüminyum, bronz, pirinç gibi malzemeler çelikten daha kolay işlenir.

4.5.10 Kesme Sıvıları

Talaş kaldırma sırasında kullanılan sıvıların başlıca amacı soğutma ve yağlamadır. Soğutma ile kesme sırasında oluşan ısıyı çevreye taşıyarak ısı miktarını azaltmaktır. Yağlama ile de takım ile talaş ve takımla işlenen yüzey arasında nüfuz ederek sürtünmeyi azaltmak ve takım aşınmasını önlemektir. Kesme sıvılarından istenilen özellikler şu şekilde sıralanabilir; yüksek ısı iletme (soğutma) kabiliyeti, metalik yüzeylere yapışmış bir tabaka oluşturabilmeleri (yağlama için) kararlı olmaları yani çabuk bozulmamaları, anti koroziyon olmaları, insan sağlığına zarar vermemeli ve yanma tehlikesi taşımamalıdır. Bu özelliklerden ilk ikisi dikkate alınırsa kesme sıvıları soğutucu ve yağlayıcı olmak üzere iki gruba ayrılır.

Genel olarak kesme sıvıları; su ve yağ karışımı olan bor yağı, kesme yağları ve kimyasal veya sentetik kesme sıvıları olmak üzere üç gruba ayrılır. Süt rengine olan boryağı soğutucu grubuna girer ve genellikle yüksek hızlar kullanılan hafif talaş kaldırma koşullarında kullanılır. Yağlayıcı grubuna giren kesme yağları ağır talaş kaldırma koşullarında kullanılırlar. Sentetik kesme sıvıları hem soğutucu hem yağlayıcı özelliklere sahip olabilirler. (Akkurt, 2007)

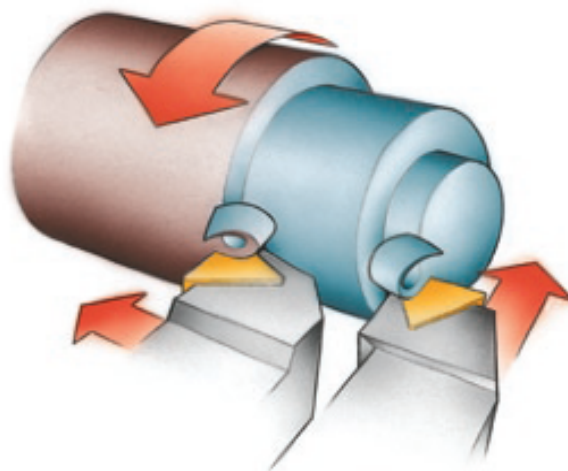
BÖLÜM 5

TORNALAMA

Bu tez çalışmasında tornalama ile yüzey pürüzlülüğü incelendiğinden talaşlı imalat konusunun ardından bölüm 5 ile tornalama konusuna da detaylı olarak değinilmiştir.

Tornalama iki hareketin bileşimidir: iş parçasının dönmesi ve takımın ilerleme hareketi. Tornalama, temel olarak tek nokta temaslı kesici takım ile silindirik şekiller yaratır ve çoğu durumda iş parçası dönerken takım sabittir. Bu, pek çok yönden, tanımlanması nispeten karmaşık olmayan, en doğrudan metal kesme metodudur. Diğer taraftan en yaygın yöntem olarak kullanılan ve gelişmeye en yatkın yöntem olan tornalama, günümüzde, uygulamalardaki değişik faktörlerin çok dikkatli değerlendirilmesini gerektiren, yüksek oranda uygun çözümlendirilmiş bir işlemdir.

Tornalama süreci, genellikle tek kesme kenarı işlemi olmasına karşın, iş parçasının şekil ve malzemesi, işlem tipi, şartlar, gereksinimler, maliyetler vs. nin kesme takımının bir çok faktörünü belirlemesi yönünden çeşitlidir. (Sandvik Coromant Talaşlı İmalat Teknik Kılvauzu, 2005)

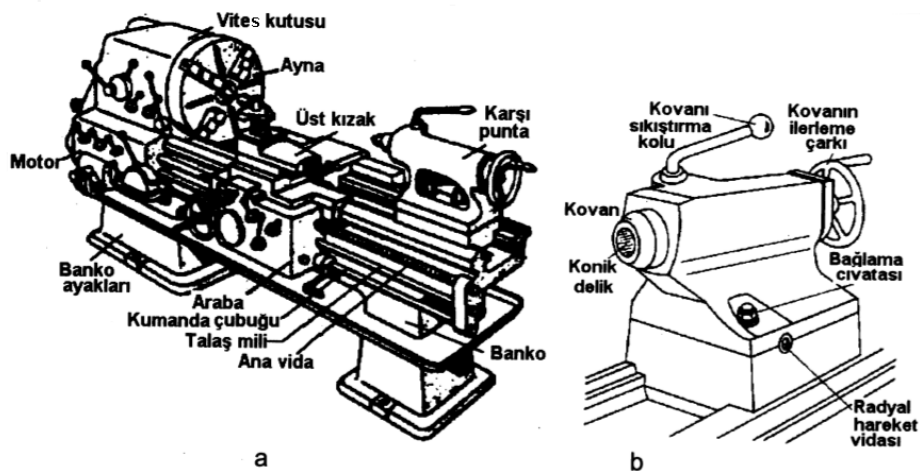


Şekil 5.1 Eksenel ve radyal takım hareketleriyle tornalama, alın tornalama (Sandvik Coromant Talaşlı İmalat Teknik Kılvauzu, 2005)

5.1 Torna Tezgahları

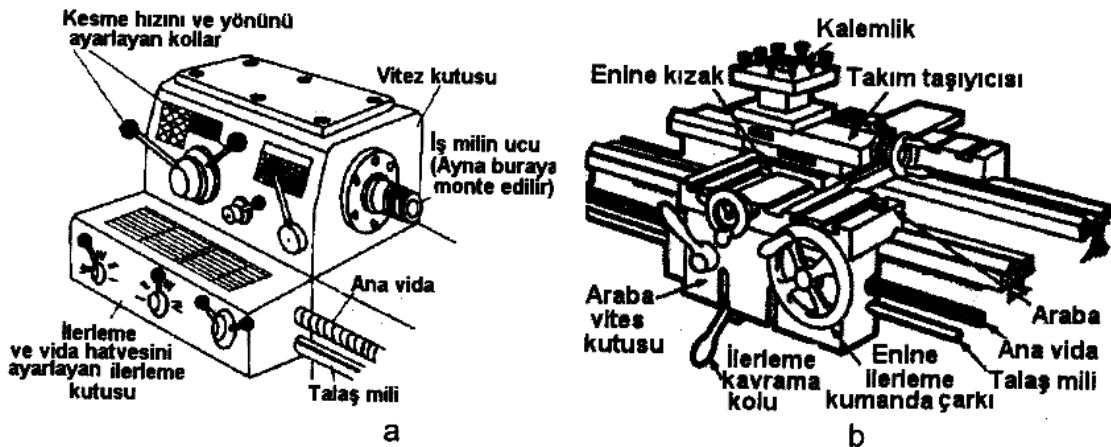
Tornalama işlemi torna denilen tezgahlarda yapılır. Bunlar konvansiyonel ve CNC olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Konvansiyonel tezgahlarda tezgahın tüm çalışması operatörün girişimi ile yapılır ve bunun kontrolü altında gerçekleştirilir. CNC tezgahlarda tezgahın tüm çalışması ve kontrolü yazılı bir programdan alınan sinyallere göre yapılır.

Şekil 5.2 - a'da universal bir torna tezgahı verilmiştir. Tezgah şu ana elemanlardan meydana gelmektedir, banko denilen gövde; içinde iş mili (fener mili) bulunan ve iş parçasının dönmesini sağlayan vites kutusu, üzerinde takım tutturma tertibatı (kalemlik) bulunan üst kızak (arabacık) iş parçasının desteklenmesini sağlayan karşı punta; takımın ilerlemesini sağlayan ilerleme vites kutusu; üst kızıağı destekleyen ve takımın ilerlemesinde katkıda bulunan alt kızak (araba). Bunların yanı sıra, talaş kaldırma sırasında ilerleme vites kutusu ile araba arasında hareketi ileten talaş mili, vida açma sırasında aynı elemanlar arasında hareket ileten ana vida, torna motorunu çalıştıran elektrik devresini açan ve kapatan kumanda çubuğu gibi elemanlardan meydana gelir. İş milin ucuna punta veya ayna bağlanır. Buna göre tornada parça; yalnızca aynaya bağlanır, ayna ile karşı punta arasına veya iki punta arasına tutturulur.



Şekil 5.2 Konvansiyonel torna tezgahının konstrüksiyonu (Akkurt, 2007)

Talaş kaldırmak için gereken kesme (dönme) ile takımın ilerleme hareketi ana denilen bir tek motordan sağlanır. (Şekil 5.2 - a) Bu motordan alınan dönme hareketi, vites kutusunun (Şekil 5.3 - a) içinde bulunan iş miline, buna bağlı ayna veya puntaya ve bunlara bağlı olan veya dayanan parçaya ulaşır. İlerleme hareketi vites kutusundan alınan dönme hareketi, ilerleme kutusuna ve talaş milin aracılığı ile araba sistemine iletilir.(Şekil 5.3 - b) Burada tezgahın bankosuna bağlı bir kremayer mekanizması, dönme hareketini ilerleme hareketine dönüştürür ve tüm araba sistemini tezgah boyunca ilerlemesini sağlar.

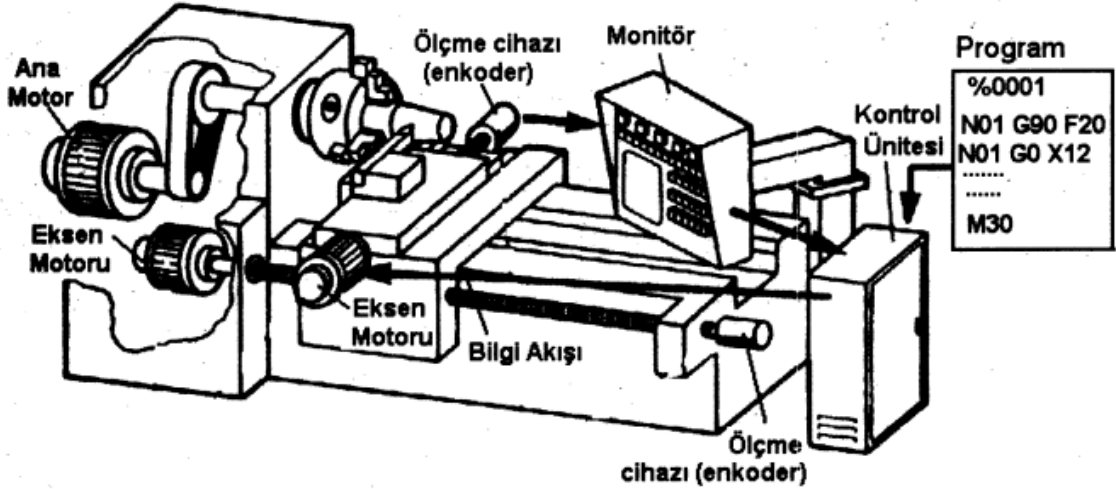


Şekil 5.3 Vites kutusu ve kalemlik sistemi (Akkurt, 2007)

Araba sistemi (Şekil 5.3 - b) araba vites kutusu, buna bağlı alt kızak, bunun üzerinde üst kızak (arabacık), takım taşıyıcısı, takım tutturma tertibatı (kalemlik) 'dan meydana gelir. Üst kızak üzerinde bulunan takım taşıyıcısı ile birlikte, alt kızak üzerinde tezgahın enine doğru, enine ilerleme hareketini yapar. Tüm bu hareketler motor veya el çarkların yardımıyla yapılabilir. Ayrıca takım taşıyıcısı, üst kızak üzerinde hareket edebilir ve tezgah eksenine göre eğik konuma getirilebilir. Kalem adını da taşıyan torna takımları kalemlige bağlanır. Tezgaha bağlanacak parça uzunluğuna göre, karşı punta banko kızakları üzerinde tezgah boyunca kaydırılabilir.(Şekil 5.2 – b) Karşı puntanın parçayı tutan esas elamanı kovandır. Kovanın içinde bulunan konik deliğe punta bağlanır. Kovan ileri geri hareketi yapabilir. Tornalarda punta arası uzaklık (L-mm),

işlenecek en büyük parça uzunluğunu ve punta yüksekliği (H-mm), işlenecek en büyük parça çapını verir.

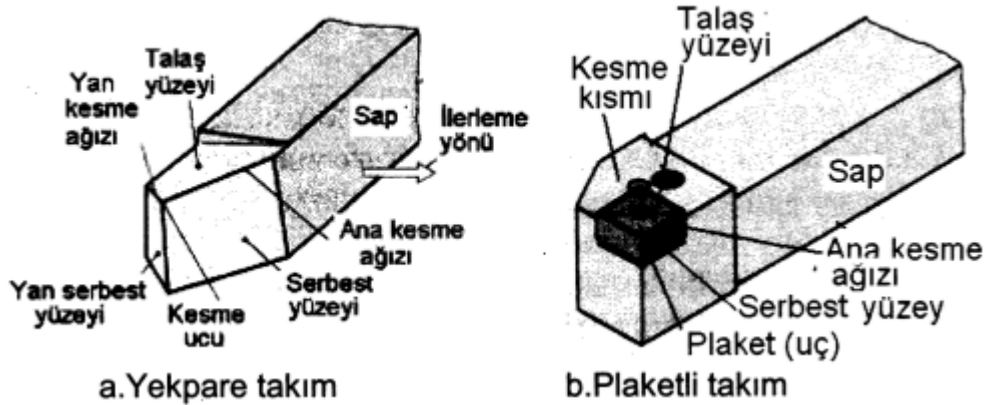
CNC tornaları konstrüksiyonu konvansiyonel tornalardan çok daha basittir. Şekil 5.4'te bir CNC torna tezgahının şeması gösterilmiştir. CNC tezgahlarda ana motor yalnızca iş miline kesme dönme hareketini sağlar. İlerleme hareketi her ilerleme yönleri için ayrı, ayrı ilerleme motorlarından sağlanır. Burada ilerleme yönlerine eksen denilir. Buna göre her eksen için ayrı bir ilerleme motoru kurulur. Motorların hepsi servomotor şeklindedir. Servomotorlar programdan alınan sinyallere göre hızlarını değiştirebilen motorlardır. Bu nedenle burada vites kutularına ihtiyaç yoktur. Ana motor ile iş mili arasında dönme hızı direkt veya bir dişli veya bir dişli kayış kasnak mekanizması ile iletilir. İlerleme motorundan alınan dönme hareketi genelde bir bilyeli civata mekanizması ile ilerleme hareketine dönüştürülür ve direkt olarak somuna bağlı olan kızağa verilir. Motor ile civata mekanizması arasında bağlantı direkt veya bir dişli veya bir dişli kayış kasnak mekanizması ile iletilir.



Şekil 5.4 CNC torna tezgahı (Akkurt, 2007)

5.2 Torna Takımları

Kalem adı taşıyan torna takımları tek ağızlı, çubuk (prizmatik) şeklinde takımlardır. Bunlar kesici ve sap kısımlarından meydana gelirler.(Şekil 5.5) Sap kısmı takımı, takım tutturma sistemine bağlamak için kullanılır. Kesme kısmı ise talaş kaldırır.



Şekil 5.5 Takımın kesme kısmının geometrisi (Akkurt, 2007)

Parça malzemesine nüfuz etmek için takımların kesme kısmı kama şeklinde yapılır; kesme kısmının geometrisi talaş kaldırma bakımından son derece önemlidir. Şekil 5.5 – a’da yekpare ve Şekil 5.5 – b’de plaketli(uçlu) bir takım gösterilmiştir.

5.2.1 Takım Geometrisi

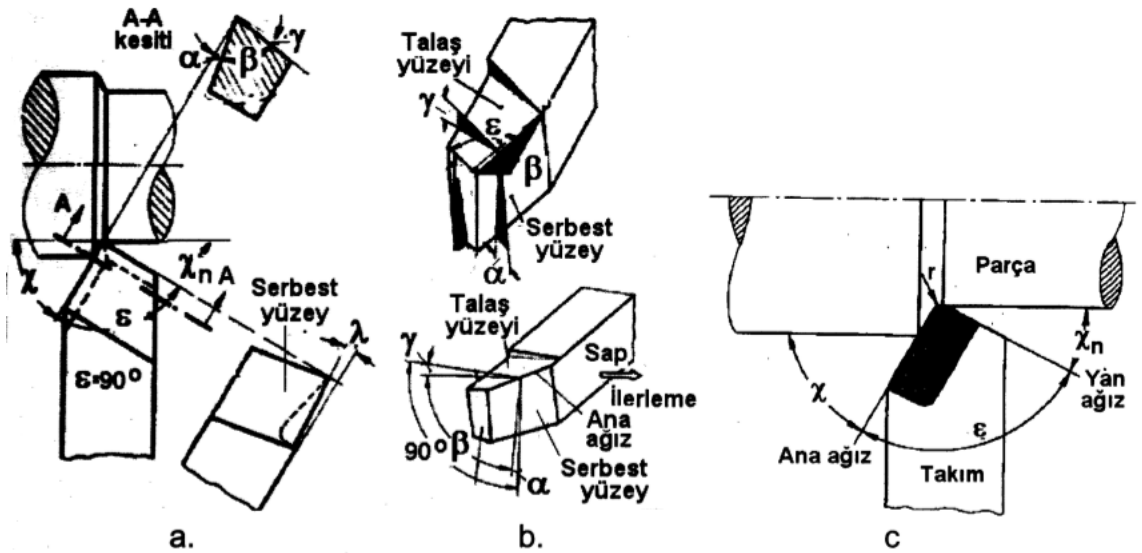
Torna takımı üç boyutlu prizmatik bir cisim olduğundan işlem gören ve işlem görmeyen yüzey ve kenarlardan oluşur. İşlem görmeyen yüzeyler ve kenarlar prizma şeklinden dolayı işlem gören yüzey ve kenarları tamamlayan yüzeylerdir. Buna göre bir takımın kesme kısmını oluşturan işlem gören yüzey ve kenarlar şunlardır:

- **Talaş yüzeyi** – talaşın parçadan koptuktan sonra aktığı yüzey;
- **Serbest yüzey** – parçanın işlenmiş tarafına bakan yüzey,

- **Ana kesme ağzı** – talaş ve serbest yüzeyin kesiştiği kenar;
- **Takım veya kesme kısmının ucu** – talaş serbest ve yan serbest yüzeylerin kesiştiği noktadır. Pratikte takım ucu nokta şeklinde sivri değil, küçük bir yay şeklinde yuvarlatılmıştır. Bu yayın yarıçapına **uç yarıçapı** veya **radyüsü** denilir.

İşlem görmeyen yüzeyler;

- **Yan serbest yüzey** – serbest yüzeyin karşıtıdır;
- **Yan kesme ağzı** – talaş yüzeyi ile yan serbest yüzeyin kesiştiği kenardır.



Şekil 5.6 Takım geometrisi (Akkurt, 2007)

Serbest talaş yüzeylerin kesişmesinden meydana gelen ana ağzı esasen talaş kaldıran kesen kısımdır. Talaş yüzeyi ve parçanın işlenmiş yüzeyine dönük serbest yüzeyi takımın kama şeklinde olan kesici kısmını meydana getirirler. Takımın bu yüzeyleri, parça yüzeyine göre takım açılarını belirler.

Torna takımlarında bu açıları belirlemek için Şekil 5.6 – a’da gösterildiği gibi takımın parçaya göre üstten görünüşü alınır. Bu görünüşte takım ağzına dik A-A

kesiti alınır; takımın talaş açısı (γ), kama açısı (β) serbest açısı (α) belirlenir. Şekil 5.6 – b ve Şekil 5.6 – c’de bu açılar takım üzerinde gösterilmiştir. Bunların arasında daha önce belirtildiği gibi $\alpha+\beta+\gamma=90^\circ$ bağıntısı vardır. Yukarıda ortogonal modelle ilgili belirtildiği gibi γ açısı pozitif(+) veya negatif(-) alınır. Genelde γ açısı Şekil 5.6 – a ve Şekil 5.6 – b’de gösterildiği gibi pozitif olarak alınır.

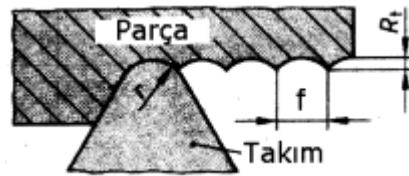
Üst görünüşte takım ile parça arasında (Şekil 5.6 - c) uç açısı (ϵ), yerleşme açısı(χ) ve yan yerleşme açısı (χ_n) vardır. Uç açısı ana ve yan ağızların arasındaki açı; yerleşme açısı, ana ağız ile ilerleme yönü arasındaki açı ve yan yerleşme açısı yan ağız ile parçanın talaş kaldırılmış yüzey arasındaki açıdır. Bunların arasında, $\chi+\epsilon+\chi_n=180^\circ$ bağıntısı vardır. Özetlenirse takım geometrisini tayin eden açılar arasında;

$$\alpha+\beta+\gamma=90^\circ \text{ ve } \chi+\epsilon+\chi_n=180^\circ$$

bağıntıları vardır. Takım ucun yarıçapının değeri parça yüzeyindeki yüzey pürüzlüğü belirler.(Şekil 5.7) Bu bakımdan uç yarıçapı r , İlerleme s ve yüzey pürüzlüğü R_t arasında;

$$s = \sqrt{8.R_t.r}$$

bağıntısı vardır.

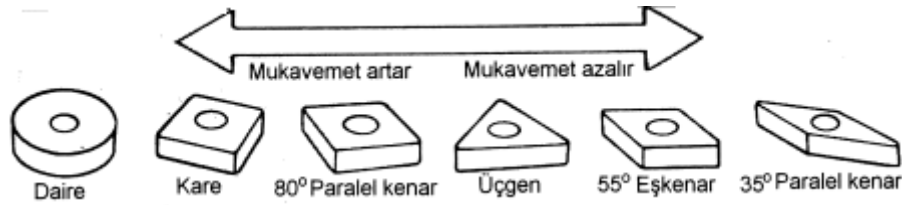


Şekil 5.7 Yüzey pürüzlülüğünün oluşması (Akkurt, 2007)

5.2.2 Torna Takımlarının Konstrüksiyonu

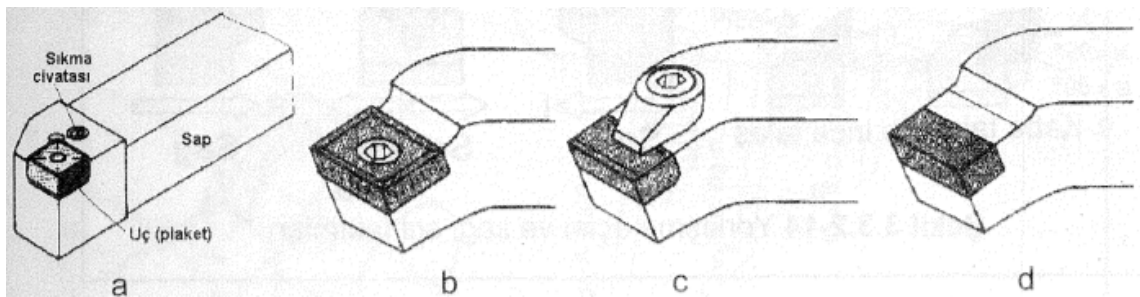
Malzemesi karbon çeliği olan takımlar yekpare olarak yapılır; ancak günümüzde bu takımlar hemen, hemen hiç kullanılmamaktadır. Oldukça az kullanılan hız çeliği

takımları yekpare veya uç şeklinde yapılır. Bu takımlarda kullanılan uçlar takıma sert lehimle bağlanırlar. Günümüzde en çok kullanılan takımlar sert metal plakette (uçlu) takımlardır.(Şekil 5.5 - b) Uçlar Şekil 5.8’de gösterildiği gibi, daire, kare, üçgen ve çeşitli köşe açlarına sahip eşkenar ve paralel kenar olabilirler. Şekil 5.8’de görüldüğü gibi uçların daire uçlara doğru mukavemeti artar. Buna göre mukavemeti yüksek olan bir daire, kare, köşe açısı 80° olan paralel kenar, köşe açısı olan 75° eşkenar uçlar kaba talaş; üçgen, 55° eşkenar ve 35° paralel kenar uçlar, ince ve çok ince talaş kaldırmalarda kullanılırlar.



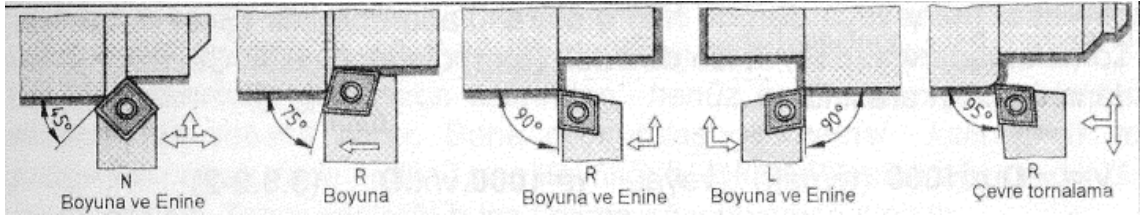
Şekil 5.8 Uçların mukavemeti (Akkurt, 2007)

Günümüzde uçlar takıma genelde çözülebilen bir bağlantı olan mekanik biçimde bağlanır.(Şekil 5.9 - a, b, c) Az da olsa lehimle bağlanan plakette de vardır.(Şekil 5.9 - d) Mekanik olarak bağlanan uçlara değiştirilebilir uçlar denilir. Bunların her kenarı birer ağızdır, yani çok ağızlı yapılırlar ve bir ağız körlendiğinde bilinmez. Yalnızca uçlar çözülür, başka bir ağız işleme durumuna getirilir ve tekrar bağlanır. Tüm ağızlar körlendikten sonra başka uçla değiştirilir.



Şekil 5.9 Uçların takıma bağlamaları (Akkurt, 2007)

Şekle ve işleme yönlerine göre torna takımları; dış tornalama (Şekil 5.10) ve iç tornalama (Şekil 5.11) olmak üzere iki büyük gruba ayrılırlar. Her iki gruptaki takımlar boyuna, boyuna ve enine kanal açma, profil ve özel kanal açma ve vida açma gibi alt gruplara ayrılırlar.

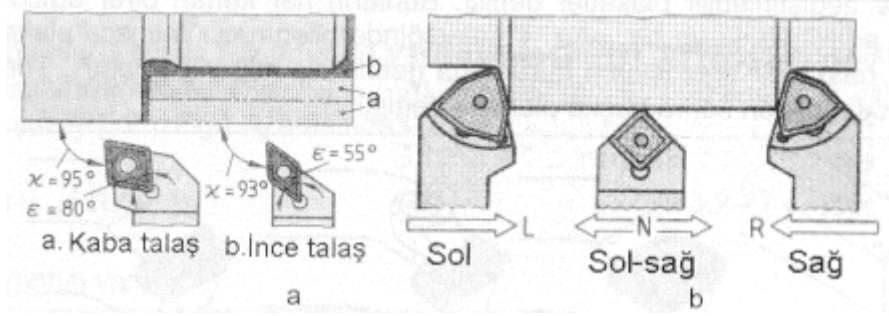


Şekil 5.10 Dış tornalama takımları (Akkurt, 2007)



Şekil 5.11 İç tornalama takımları (Akkurt, 2007)

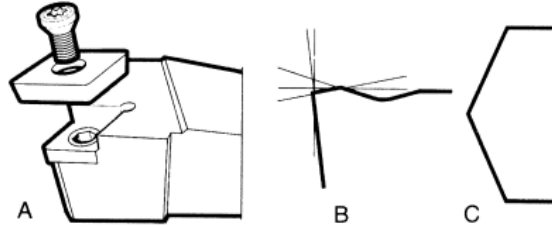
Yerleşme (γ) ve uç açısı (ϵ) ile ilgili takımlar Şekil 5.12’de gösterildiği gibi yalnızca soldan sağa talaş kaldıran ve sol (**L**), sol ve sağ yönde talaş kaldıran sol-sağ (**N**) ve yalnızca sağdan sola talaş kaldıran sağ (**R**) takımlar vardır. Bu özelliklerine göre ISO ve DIN standartlarında birçok takımlar, kesme açıları birlikte standart haline getirilmiştir. (Akkurt, 2007)



Şekil 5.12 Yerleşme açısı ve sağ, sol takımları (Akkurt, 2007)

5.3 Tornalamada Kesici Takım Seçimi

Modern bir kesici takımı belirleyen üç ana değişken mevcuttur; uç tespit sistemi (A), değiştirilebilir kesici ucun tipi ve geometrisi (B) ve kesici takım malzemesi (C). (Şekil 5.13)



Şekil 5.13 Tespit sistemi, kesme geometrisi ve takım malzemesi (Çakır,1999)

Bugün talaş kaldırma işlemlerinde modern bir kesici takım sistemi, kesici ucu tespit eden bir mekanizmaya sahip çelik katerden ve sert bir malzemeden yapılmış, bir çok kenara sahip bir kesici uçtan oluşmuştur. Kesici ucun bir kenarına ait aşınma değeri belirli bir değerin üzerine çıktığında ve uç belirli bir yüzey kalitesini boyut toleranslarını sağlayamaz hale geldiğinde, ucun döndürülmesi ile kesici kenarın değiştirilmesi işlemi gerçekleştirilir. Kesici takım değişkenlerinin belirlenmesi işlemi

takım envanterine, takım tezgahı özelliklerine, teknik resimlere bağlı olarak adım, adım gerçekleştirilir.

Bir tornalama işleminde kesici takım seçimini etkileyen faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- 1) *İş parçası malzemesi*; işlenebilirlik, koşullar, işlenebilirlik, v.s.
- 2) *İş parçası tasarımı*; şekil, boyutlar, işlem payları.
- 3) *Sınırlamalar*; hassasiyet, yüzey kalitesi, v.s.
- 4) *Takım tezgahı*; tip, güç, koşul ve özellikler.
- 5) *Kararlılık*, kesici kenarlardan üretim kaynaklarına.
- 6) *Düzenleme*; erişebilirlik, tespit, değiştirme.
- 7) *Takım programı*; doğru takım.
- 8) *Performans*; kesme verileri, takım ömrü ve ekonomiklik.
- 9) *Kalite*; takımların tezgahlara iletilmesi ve bakım.

Tornalama işleminde kesici takım (kater + kesici uç) seçimi aşağıdaki faktörler dikkate alınarak adım, adım yapılır:

- 1) Uç tespit sistemi
- 2) Katerin boyutu ve tipi
- 3) Kesici ucun şekli
- 4) Kesici ucun büyüklüğü
- 5) Köşe radyüsü
- 6) Kesici ucun tipi
- 7) Kesici takım malzemesi
- 8) Kesme verileri

5.3.1 Uç Tespit Sistemi

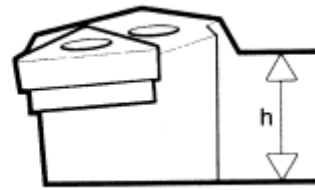
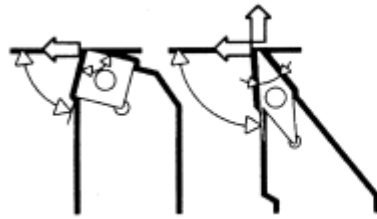
Kesici uç için ilk seçilmesi gereken tespit sistemi olmalıdır. Katerler değişik uygulamalarda optimum performansı sağlayacak ve geniş bir uygulama alanına sahip olacak şekilde tasarlanırlar. Yapılacak işlemin tipi ve bazı durumlarda iş

parçasını boyutları takım tespit sisteminin belirlenmesine yardımcı olur. Büyük iş parçalarına uygulanan kaba işlemler ince işlemlere göre çok daha ağır çalışma koşulları gerektirirler.

5.3.2 Katerin Boyutu ve Tipi

Uç tespit sistemi belirlendiğinde bir sonraki adım katerin boyutunun ve tipinin belirlenmesidir. Bu belirleme işlemi ilerleme yönünden, talaş derinliğinden, iş parçası malzemesinden, takım tespit sisteminden ve profile erişebilirlik faktörlerinden etkilenir. (Şekil 5.14)

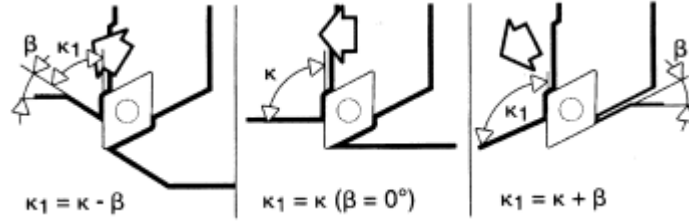
Seçim işleminde kural tezgah için mümkün olan en büyük kater boyutunun (h) seçilmesidir.(Şekil 5.15) Bu katerin uzunluğunun azaltılması ve kesici kenar için mümkün olan en rijit oturma yüzeyinin sağlanması için şarttır. Katerin boyutu daha sonra uç boyutunun seçiminde göz önüne alınır ve efektif kesici kenar uzunluğu belirlenir. Genellikle işlemin izin verdiği en küçük yanaşma açısı seçilir.



Şekil 5.14 Kater seçimini etkileyen Boyutu

(Çakır,1999)

Kopya tornalama ve profil işleme işlemlerinde efektif yanaşma açısı (K_1) da dikkate alınmalıdır. Her bir takım tipi için maksimum bir kopyalama açısı (β) tavsiye edilir ve bu kopyalama işleminde dikkate alınır. (Şekil 5.16)

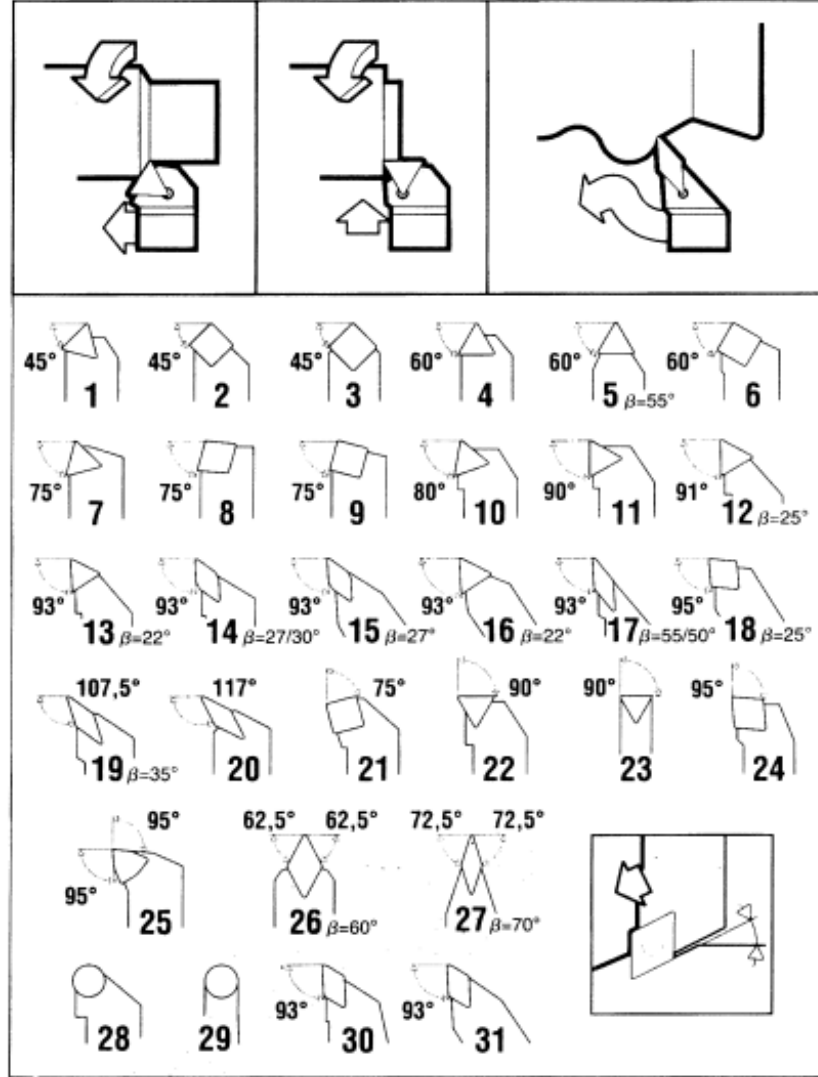


Şekil 5.16 Efektif yanaşma açıları (Çakır,1999)

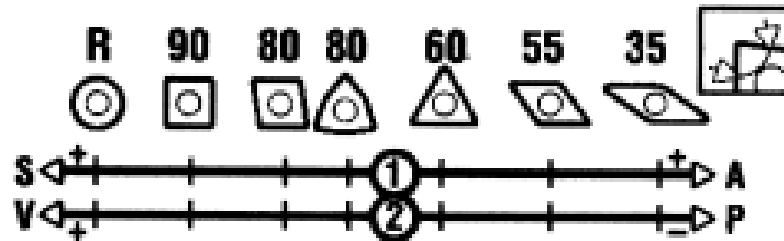
Kater tipleri yanaşma açısına ve kullanılan ucun uç açısına göre belirlenir.(Şekil 5.17) Bu aşamada seçme işleminde kesme kuvvetlerinin, uç mukavemetinin ve profile erişebilirliğinin dikkate alınması gerekir.

5.3.3 Kesici Ucun Şekli

Bu aşamada, yani ucun şeklinin belirlenmesi işleminde yanaşma açısı ve takımın profile erişebilirliğinin dikkate alınması gerekir. Mukavemet ve ekonomiklik açısından en büyük uç açısına sahip kesici uç seçilmelidir. Ancak talaş kaldırma işlemlerinde işlem çeşitliliği söz konusuysa ve mukavemetin yerine çok yönlülük dikkate alınacaksa daha küçük uç açıları da dikkate alınmalıdır. (Şekil 5.18)











Şekil 5.17 Çeşitli işlemler için kullanılan kesici uç ve katerler (Çakır,1999)



Şekil 5.18 Kesici uç şekli ve mukavemet, erişim, güç ve titreşim ilişkisi (Çakır,1999)

Şekil 5.18’de 1 no’lu cetvel kesici kenarın mukavemetini (**S**) göstermektedir. Kesici uç açısı büyüdükçe mukavemet artmaktadır. Çok yönlülük ve profile erişebilirlik (**A**) söz konusu olduğunda ise sağa doğru gidildikçe, yani uç açısı küçüldükçe daha iyi sonuçlar alınmaktadır. 2 no’lu cetvelde ise sağa doru gidildikçe titreşim eğilimi (**V**) azalmakta, bunun yanı sıra güç gereksinimi (**P**) de azalma göstermektedir. Çizelge 5.1’de kesici ucun şeklinin seçimini etkileyen faktörler gösterilmiştir.

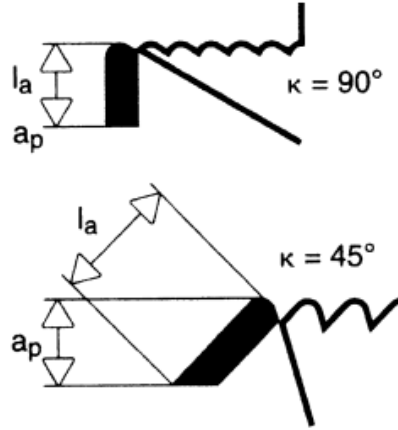
Çizelge 5.1 Uç şeklinin seçimini etkileyen faktörler (Çakır,1999)

Uç şekli seçimini Etkileyen Faktörler	R	90	80	80	60	55	35	
								
Kaba İşlem (dayanım)	●	●	●	○	○			
Orta Kaba / Yarı ince (kenar sayısı)		○	●	●	●	●		
İnce İşlem (kenar sayısı)			○	○	○	○	●	
Boyuna ve alın tornalama (ilerleme yönü)			●	○	○	●	●	
Profil işleme (Erişebilirlik)			○	○	○	●	●	
İşlem çeşitliliği	○		●	○	○	●	○	
Sınırlı tezgah gücü			○	○	●	●	●	
Titreşim eğilimi (azalma)				○	●	●	●	
Sert malzeme	●	●						
Aralıklı işleme	●	●	○	○	○			
Büyük giriş açısı			●	●	●	●	●	
Küçük giriş açısı	●	●		●	●			

● En Uygun ○ Uygun

5.3.4 Kesici Uçun Büyüklüğü

Kesici uçun seçimi seçilen katere bağlıdır. Katerin boyutu yanaşma açısı ve kesici uçun şekli belirlendiği için bir yerde kesici uçun büyüklüğü de belirlenmiştir. Ancak seçilen takım ile kaldırılacak en büyük talaş derinliği, özellikle kaba tornalama işleminde, kater boyutu seçimini etkiler. Uçun büyüklüğünün belirlenmesi için efektif kesici kenar uzunluğu (l_a) belirlenmelidir. (Şekil 5.19)



Şekil 5.19 Kesici kenarın uzunluğu / talaş derinliği (Çakır,1999)

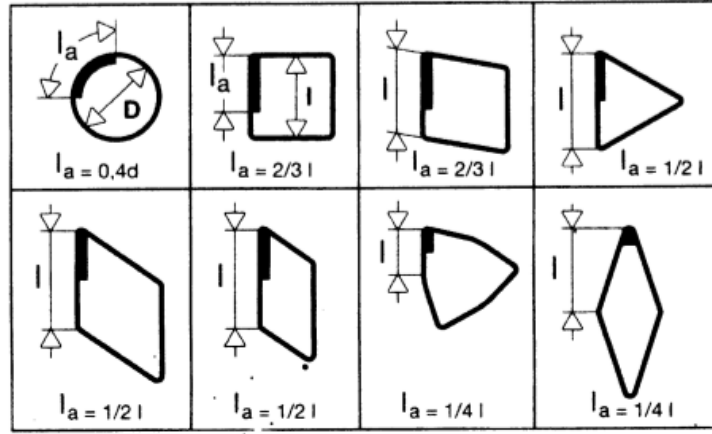
Yanaşma açısının 90° olduğu durumda $l_a = a_p$ ' dir. 45° 'lik bir yanaşma açısında ise l_a talaş derinliğinin 1,4 katıdır ($l_a = a_p / \sin \kappa$). Çizelge 5.2'de yanaşma açısı, talaş derinliği ve efektif kesici kenar uzunluğu verilmiştir.

Çizelge 5.2 Yanaşma açısı – talaş derinliği – efektif kesici kenar uzunluğu ilişkisi (Çakır,1999)

K	a_p										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
	l_a										
90	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
75	1.5	2.1	3.1	4.1	5.2	6.2	7.3	8.3	9.3	11	16
60	1.2	2.3	3.5	4.7	5.8	7	8.2	9.3	11	12	18
45	1.4	2.9	4.3	5.7	7.1	8.5	10	12	13	15	22
30	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	30
15	4	8	12	16	20	24	27	31	35	39	58

Uç büyüklüğünün seçiminde birbiriyle çelişen iki faktör vardır. Bu faktörlerden birincisi güvenilirlik, diğeri ise maliyettir. Daha büyük daha kalın bir uç daha pahalıdır, ancak daha büyük bir rijitliğe sahiptir. Bu durum özellikle çok kaba talaş kaldırma işlemlerinde ve darbeli işlemlerde son derece önemlidir.

Kesici ucun mukavemeti daha çok ucun şekline ve uç açısına bağlıdır. Bu nedenle kesici ucun şekli maksimum efektif kesici kenar uzunluğu sağlayacak şekilde seçilmelidir. Şekil 5.20’de gösterilen farklı uç şekilleri için tavsiye edilen maksimum kesici kenar uzunlukları sürekli kaba talaş kaldırma işlemlerinde işleme güvenilirliği açısından uygun uzunluklardır. Daha kısa işleme süreleri için daha büyük talaş derinliği değerleriyle çalışılabilir.



Şekil 5.20 efektif kesici kenar uzunlukları (Çakır,1999)

Eğer efektif kesici kenar uzunluğu talaş derinliğinden az ise ya daha büyük bir kesici uç seçilir ya da talaş derinliği azaltılır. Talaş kaldırma işlemlerinin zor olduğu durumlarda daha büyük ve daha kalın kesici uçlar dikkate alınmalıdır.

5.3.5 Köşe Radyüsü

Köşe radyüsü kaba işlemlerde mukavemeti, ince işlemlerde ise yüzey pürüzlülüğünü, belirlemede temel faktördür. Radyüsün büyüklüğü titreşim eğilimini ve bazen ilerleme hızını etkiler. Genellikle kaba işlemlerde en yüksek uç mukavemetinin sağlanması için mümkün olan en büyük köşe radyüsü seçilmelidir.

Büyük bir radyüs yüksek ilerlemelerde çalışılabilmesini sağlar, ancak bu radyüsün titreşim açısından kontrol edilmesi gerekir.

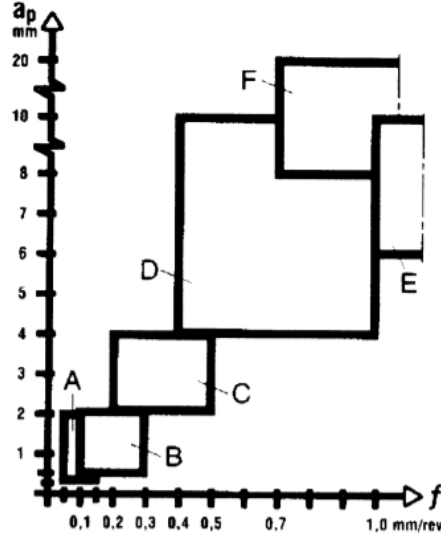
Kaba talaş kaldırma işlemlerinde, ilerleme hızının belirlenmesi aşamasında, maksimum ilerlemenin köşe radyüsünü aşmamasına dikkat edilmelidir. Genellikle kaba işlemlerde ilerleme değeri köşe radyüsü büyüklüğünün yarısı civarındadır.

Daha yüksek ilerleme hızları ancak güçlü kesici kenarlara ve en az 60°'lik bir uç açısına sahip, tek taraflı, 90°'den küçük bir yanaşma açısı ile kullanılan kesici uçlar ve iyi işlenebilirliğe sahip iş parçası malzemeleri için tavsiye edilir.

5.3.6 Kesici Ucun Tipi

Talaş kaldırma işlemlerinin çoğunda istenilen kesme koşullarını sağlayacak şekilde tasarlanmış çeşitli kesici uçlar mevcuttur. Kesici ucun tipi genellikle kesici ucun geometrisi ile belirlenir. Çeşitli kesme koşulları ve malzemeler kesici kenar açısından farklı gereksinimleri beraberinde getirir. Örneğin alüminyumun işlenmesi sertleştirilmiş çeliğin işlenmesinden farklıdır. Kesici ucun şeklinin yanaşma açısına ve köşe radyüsüne bağlı olarak belirlenmesinden sonra uç geometrisinin belirlenmesi gerekir. Kesici uç tipinin seçimi iş parçası malzemesine ve işleme ait çalışma alanına bağlı olarak yapılır. Bunun yanı sıra tezgahın çalışma koşulları, gücü sürekli veya aralıklı talaş kaldırma işlemi ve titreşim eğilimi de tip seçimini etkiler. Tornalama işlemi kaldırılan malzemeye, hassa boyutların ve istenilen yüzey kalitesinin elde edilmesine veya bu ikisinin bir kombinasyonuna bağlı olarak çeşitli çalışma alanlarına bölünmüştür.

Şekil 5.21'de 6 değişik çalışma alanı gösterilmiştir. Kesici ucun tipinin belirlenmesi aşamasında ilerleme ve talaş derinliği değerlerinin bu çalışma alanlarının birisinin içerisinde kalması gerekmektedir. Her bir çalışma alanı için çeşitli kesici uç tipleri mevcuttur. Ancak bir kesici uç için uygun çalışma alanı kesici ucun büyüklüğü, şekli, köşe radyüsü gibi faktörlere bağlı olarak farklılık gösterir.



Şekil 5.21 Çalışma alanları (Çakır,1999)

Dış tornalama için çalışma alanları:

A. Çok ince işlemler	$f = 0,05$	$a_p = 0,25-2,0$ mm.
B. İnce işlemler	$f = 0,1- 0,3$	$a_p = 0,5-2,0$ mm
C. Orta kaba işlemler	$f = 0,2-0,5$	$a_p = 2,0-4,0$ mm
D. Kaba işlemler	$f = 0,4-1,0$	$a_p = 4,0-10,0$ mm
E. Çok kaba işlemler	$f \geq 1,0$	$a_p = 6,0-20,0$ mm
F. Son derece kaba işlemler	$f \geq 0,7$	$a_p = 8,0-20,0$ mm

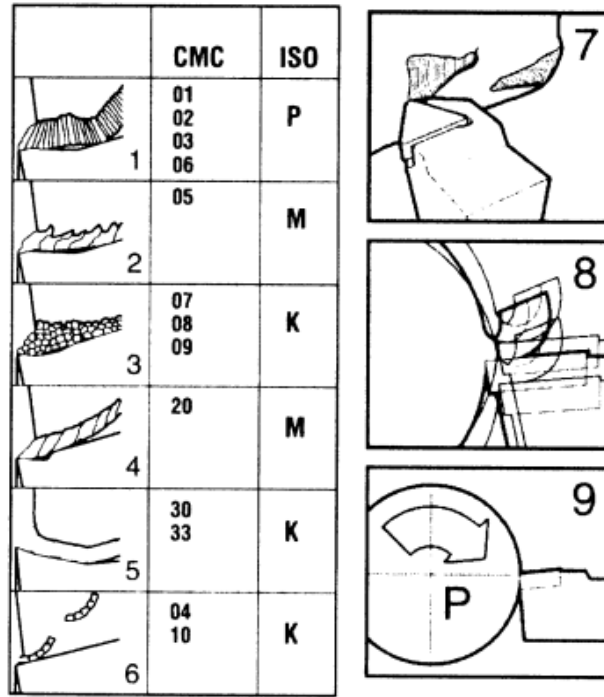
Uç tipini etkileyen bir başka temel faktör iş parçası malzemesidir. Birçok ulusal standarda göre çok fazla sayıda takım malzemesi mevcuttur.

Birçok tornalama işleminde 6 temel iş parçası malzemesi mevcuttur:

- 1) Uzun talaş veren malzemeler (birçok çelik tipi gibi)
- 2) Paslanmaz çelikler
- 3) Kısa talaş veren malzemeler (dökme demirler gibi)
- 4) Isıl dirençli malzemeler (Ni esaslı alaşımlar gibi)

- 5) Yumuşak malzemeler (Al alaşımları gibi)
- 6) Sertlikleri 400HB'den daha büyük olan sert malzemeler

Şekil 5.22'de farklı iş parçası malzemeleri için kullanılan farklı uç tipleri gösterilmektedir. P,M,K sinterlenmiş karbür uçlara ait ISO simgeleridir.




Şekil 5.22 Farklı iş parçası malzemeleri için kullanılan uç tipleri (Çakır,1999)

5.3.7 Kesici Takım Malzemesi

Kesici ucun belirlenmesinde son olarak takım malzemesi seçimi yapılır. Çok farklı takım malzemeleri mevcuttur ve takım malzemesi üzerindeki gelişmeler her geçen gün yeni takım malzemelerinin bulunmasına yol açmaktadır. Modern talaşlı imalat yöntemlerinde kullanılan takım malzemeleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilirler:

- Kaplama sinterlenmiş karbürler (GC)
- Sinterlenmiş karbürler (C)
- Sermetler (CT)
- Seramikler (CC)
- Kübik bor nitrürler (CB)
- Çok kristalli elmaslar (CD)

Farklı iş parçası malzemeleri için kullanılan takım malzemeleri Şekil5.23'te gösterilmiştir.

	
1	GC, C CT, CC
2	GC, C CT
3	GC, C CT, CC CB
4	GC, C CC, CB
5	C, CD
6	CB, CT C, GC

Şekil 5.23 Takım malzemelerinin kullanım alanları (Çakır,1999)

Kaplamalı sinterlenmiş karbür (GC) kaliteleri modern talaşlı imalat uygulamalarında en fazla kullanılan takım malzemelerini ve bir çok tornalama işleminde en iyi çözümü oluştururlar. Bu malzemeler büyük çeşitlilikteki iş parçası için uygun takım malzemesi olup, sadece çeliğin işlenmesinde değil dökme demir ve paslanmaz çeliğin işlenmesinde de kullanılır.

Kaplamalı sinterlenmiş karbürler birçok işlem için ilk seçilmesi gereken takım malzemesini oluştururlar. Kaplamalı takımların yanında kaplamasız sinterlenmiş karbürler (C) de belirli iş parçası malzemeleri ve belirli çalışma alanlarında yaygın olarak kullanılırlar.

Titanyum esaslı sinterlenmiş karbür olan sermetler (CT) elverişli koşullarda hafif kabadan inceye değişen işlemler için uygun takım malzemesidirler, son derece iyi yüzey kalitesi sağlarlar.

Değişik işlemlerde kullanılan, çeşitli kalitelerdeki seramikler (CC) dökme demirlerden çeliklere çeşitli talaş kaldırma işlemlerinde, ısıl dirençli malzemelerin ve sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesinde kullanılırlar. Seramik takımların kullanımı ile tornalama işlemleri bugün taşlama işleminin yerini almıştır.

Doğru uygulamalarda son derece yüksek bir üretim hızı sağlamalarına karşın seramik takımlar kesme verileri, kesici kenar, işlem tipi ve rijitlik açısından dengeli çalışma koşulları gerektirirler. Seramikler çok yüksek talaş debisine sahiptirler. Sahip oldukları uzun takım ömrü hassas ve kaliteli yüzeylerin elde edilmesini sağlar. Ancak bu malzemeler belirli bir grup iş parçası malzemesi için uygun değildirler. Seramik takımlarda kaplama yeni bir uygulamadır ve bazen işlemlerin optimizasyonunda son derece yararlıdır.

Kübik bor nitrür (CBN) çok sert bir takım malzemesidir ve sertleştirilmiş çelik, gri dökme demir ve nikel veya kobalt esaslı alaşımların işlenmesi için uygundur. Bu takımlar talaş kaldırmanın zor olduğu yerlerde kullanılırlar, üretim hızları ve takım ömürleri doğru uygulamalarda seramik ve karbür takımlara göre daha iyidir. Kübik bor nitrür esas itibarıyla sert malzemelerin ince işlenmesi için son derece uygun bir takım malzemesidir.

Çok kristalli elmas (CD) tamamıyla değişik bir uygulama alanına sahiptir. Bu takım malzemesi karbon içeren iş parçası malzemelerinin işlenmesi için uygun değildir. Son derece serttir. Uç olarak üretilir ve bu uç sert ve aşınmaya karşı

dayanıklı bir kenara sahiptir. Demir esaslı olmayan metallerin ve metalik olmayan malzemelerin ince ve yarı ince işlemlerinde kullanılır. Bu malzemeler için en belli başlı iş parçası malzemesi örneği aşındırıcı alüminyum alaşımlarıdır. Doğru uygulamalarda kullanıldığında son derece uzun bir ömüre sahiptir, çok iyi bir yüzey kalitesi sağlar.

Takım malzemesi seçimi genellikle iş parçası malzemesine ve çalışma alanına bağlı olarak gerçekleştirilir. Çeşitli talepler, koşullar ve aşınma değerleri bir kalitenin bir diğerine tercih edilmesine neden olabilirler. İşlem için doğru kalitenin ve kesme verilerinin seçilmesi son derece önemlidir.

5.3.8 Kesme Verileri

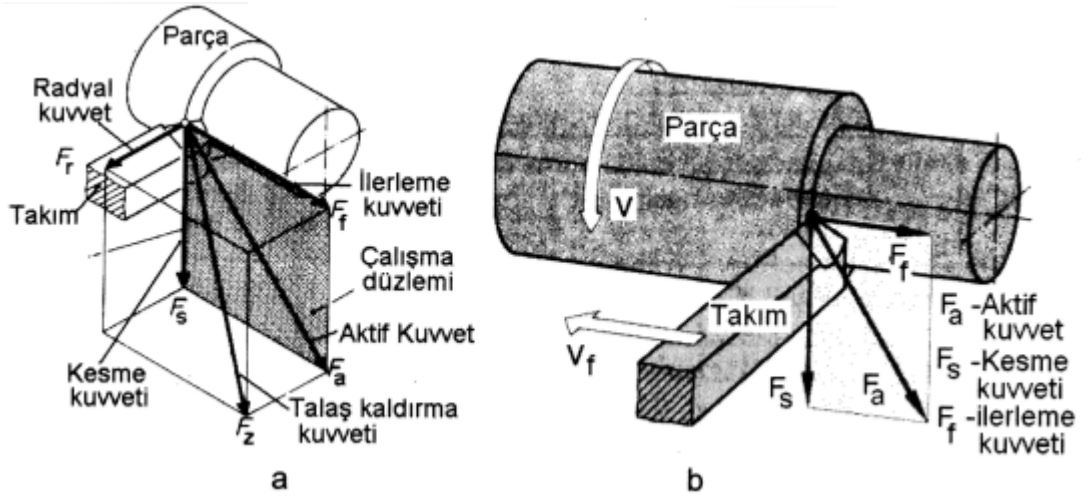
İşlem için tüm fiziksel faktörlerin belirlenmesinden sonra kesme verilerinin belirlenmesi işlemi gerçekleştirilir. Kesme verileri seçilen kesici takım malzemesine ait çalışma alanı ve iş parçası malzemesine bağlı olarak tablolardan seçilir.

İlerleme kaba işlemede uygun talaş kaldırma hızı ve ince işlemede arzu edilen yüzey kalitesini sağlayacak şekilde seçilmelidir. Nominal kesme hızı tabloları iş parçası malzemesine bağlıdır ve sertlik değerlerinden etkilenir.

Kesme hızı ilerleme değerine bağlı olarak belirlenir. (Çakır, 1999)

5.4 Talaş Kaldırma Kuvvetleri

Talaş takımının malzemeye, talaş kesitine bağlı olan belirli bir kuvvetle nüfuz etmesi ile kaldırılır. Bu kuvvete talaş kaldırma kuvveti (F_z) denilir.(Şekil 5.24 - a) Bu kuvvet kesme kuvveti (F_s), radyal kuvvet (F_r) ve ilerleme kuvveti (F_f) olmak üzere üç bileşene ayrılabilir. Kesme kuvveti kesmeyi gerçekleştiren, ilerleme kuvveti takımın ilerlemesini gerçekleştiren kuvvettir. Radyal kuvvet takımını parçadan uzaklaştırmaya çalışan kuvvettir. Radyal kuvvet, takımını kalemlige bağlanarak dengelenir.



Şekil 5.24 Tornalamada kesme kuvvetleri (Akkurt, 2007)

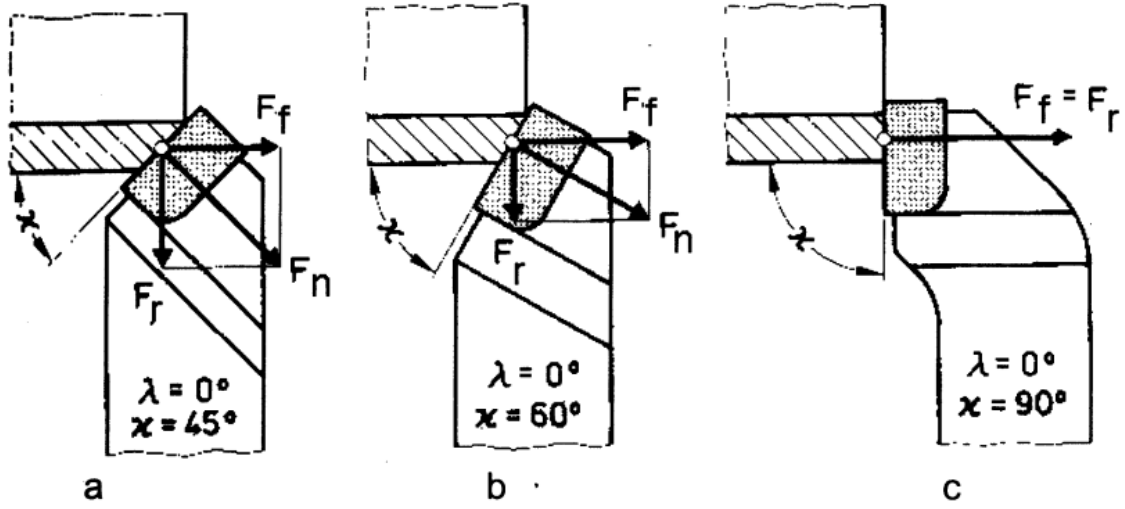
F_s kesme kuvveti ve F_f ilerleme kuvveti kesme gücünü ve buna bağlı tezgah gücünü yani tezgahın talaş kaldırma gücünü tayin ederler. Bu kuvvetlerin bulunduğu düzleme çalışma düzlemi denilir.(Şekil 5.24 - b) Bunların bileşkesine aktif kuvvet (F_a) denilir. Dolayısıyla talaş kaldırmayı esas etkileyen F_s kesme kuvveti ve F_f ilerleme kuvvetidir. Ancak takım iyi tutturulmamışsa F_r radyal kuvveti talaş kaldırmayı etkileyen titreşimler meydana getirir. Bu kuvvetler tüm tezgah yapısını etkiler. Bu nedenle takım tezgahları bu kuvvetlere göre tasarlanır.

Kesme kuvveti:

$$F_s = A_s \cdot k_s = a_p \cdot f \cdot k_s$$

bağıntısı ile tayin edilebilir. Burada A_s – talaş kesiti; a_p – paso kalınlığı; f – ilerleme; k_s – özgül kesme hızıdır; bunun değeri deneylerle tayin edilir.

χ yerleşme açısının değeri F_f ilerleme ve F_r radyal kuvvetleri etkilemektedir. Buna göre χ yerleşme açısının büyümesi ilerleme kuvvetini büyümesine ve radyal kuvvetin azalmasına (Şekil 5.25 - a); χ yerleşme açısının azalması ilerleme kuvvetinin küçülmesine ve radyal kuvvetinin büyümesine (Şekil 5.25 - b) neden olur. $\chi = 90^\circ$ olduğu durumda ilerleme kuvveti maksimum değere ulaşır ve radyal kuvvet sıfır olur.



Şekil 5.25 Yerleşme açısının etkisi (Akkurt, 2007)

5.5 Kesme ve Tezgah Gücü

Kesme yani talaş kaldırma gücü F_s kesme kuvvetine bağlı olarak

$$P_s = \frac{F_s v}{60.1000} \text{ [kW]}$$

bağıntısı ile tayin edilir. Bunun yanı sıra F_f ilerleme kuvvetine bağlı olarak

$$P_f = \frac{F_f v_f}{60.1000.1000} \text{ [kW]}$$

bağıntısı ile ilerleme gücü de hesaplanır. Burada: F_s – kesme kuvveti (N), F_f – ilerleme kuvveti (N), v – kesme hızı (m/dak), v_f – ilerleme hızı (mm/dak)’dır.

Konvansiyonel tezgahlarda hem kesme gücü, hem ilerleme gücü ana motor denilen bir tek motordan sağlanır. Bu durumda tezgah gücü olarak adlandırılan bu motorun gücü

$$P_m = \frac{F_s + F_f}{\eta_m} \text{ [kW]}$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada η_m – tezgahın kinematik sisteminin verimidir.

CNC tezgahlarda kesme gücü ana motordan ve ilerleme gücü ilerleme motorları tarafından sağlanır. Bu durumda ana motorun gücü

$$P_m = \frac{P_s}{\eta_m} = \frac{F_s v}{60.1000.\eta_m} \text{ [kW]}$$

ve ilerleme motorun gücü

$$P_{im} = \frac{P_f}{\eta_{im}} = \frac{F_f v_f}{60.1000.1000.\eta_{im}} \text{ [kW]}$$

bağıntıları ile hesaplanır. Burada η_m – ana motora bağlı kinematik sistemin verimi, η_{im} – ilerleme motoruna bağlı kinematik sisteminin verimidir. Tezgahın her eksenine için birer ilerleme motoru vardır. Bu motorların ilerleme gücü yukarıdaki bağıntıya göre ayrı, ayrı hesaplanır. (Akkurt, 2007)

5.6 Kesici Uç Tanımlama Sistemi

Kesici uç tanımlama sisteminde kesici uç karakteristiğini belirleyen on farklı adım vardır.

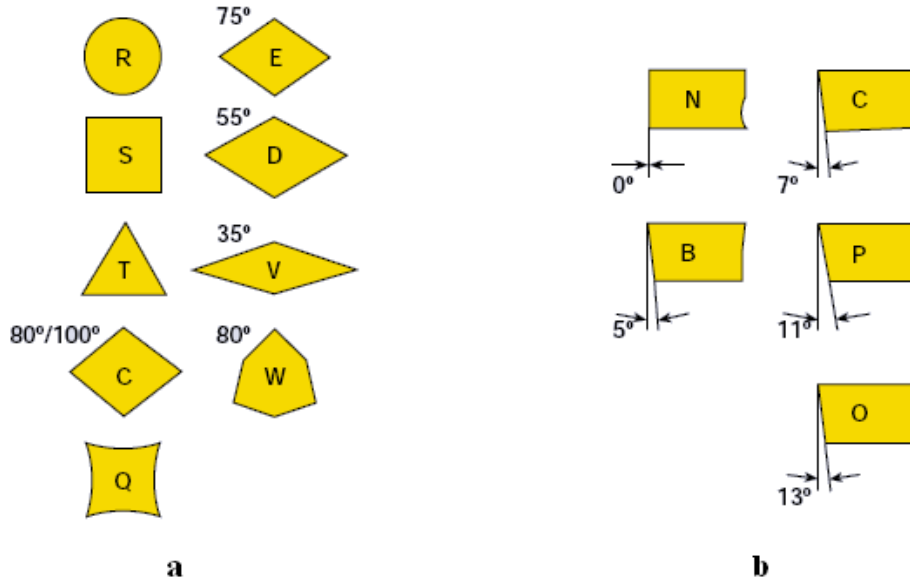
- 1 – Uç şekli
- 2 – Yanaşma açısı
- 3 – Tolerans sınıfı
- 4 – Uç tipi
- 5 – Kesici kenar uzunluğu
- 6 – Kesici uç kalınlığı
- 7 – Köşe radyüsü konfigürasyonu
- 8 – Kesme kenarı durumu
- 9 – Kesme yönü
- 10 – Yüzey uzunluğu (American National Standart, 2002)

Kesici uç tanımlamada genellikle ANSI ve ISO standartları kullanılmaktadır. Çizelge 5.3'te ANSI ve ISO sistemlerinde kesici uç tanımlama örneği verilmiştir.

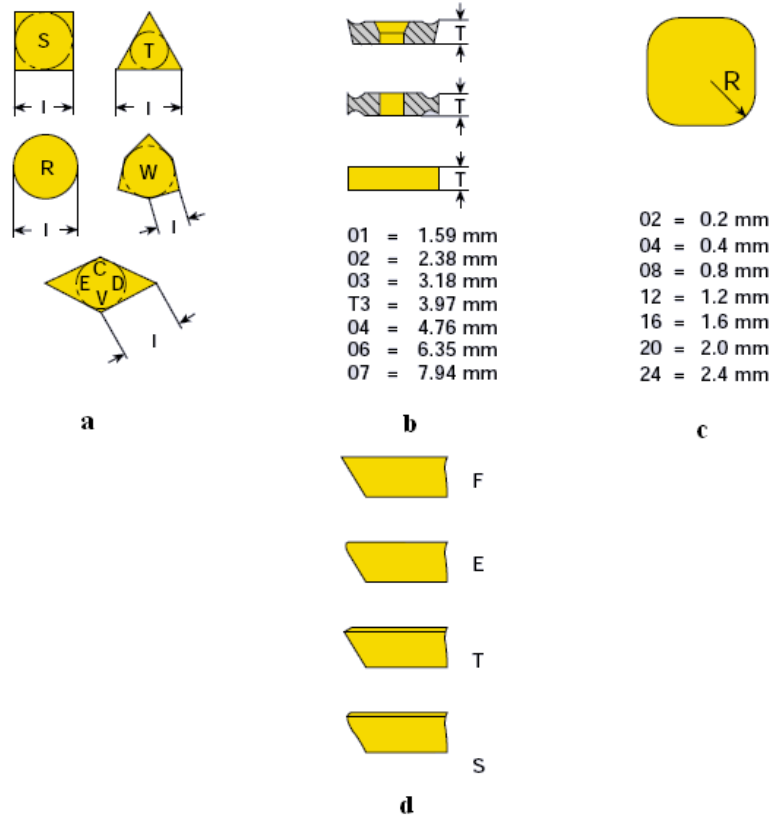
Çizelge 5.3 ANSI ve ISO standartlarına göre kesici uç tanımlama (Ishakov, 2004)

ANSI	C	N	M	G	4	3	2	A	R	–
ISO	C	N	M	G	12	04	08	A	R	–
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Kesici ucun şeklini **(1)**, yavaşma açısını **(2)** ve tolerans sınıfını **(3)** belirlemek için harf kullanılır. Şekil 5.26'da bazı uç şekli ve yavaşma açısı örnekleri verilmiştir. Dördüncü tanımlama adımı olan uç tipini belirlerken de **(4)** harf kullanılır ve kesici ucun yüzeyindeki sıkma deliklerini, havşaları ve bu tarz bazı özellikleri belirlemede kullanılır. Kesici kenar uzunluğu **(5)**, kesici kenar kalınlığı **(6)**, köşe radyüsü konfigürasyonu **(7)** ve kesme kenarı durumu **(8)** ile ilgili tanımlamalar ve kullanım şekillerinden örnekler Şekil 5.27 ile gösterilmiştir. Kesme yönü **(9)** ile kesici uç ve takım tutucunun hangi yöne doğru kesme yapabileceği belirtilmiştir. R sağ yönlü, L sol yönlü, N ise nötr kesici ucu belirtir. Yüzey uzunluğu **(10)** köşe radyüsü konfigürasyonuna göre kullanılır. Kesici ucun köşe radyüsü var ise kullanılmaz, köşe radyüsü yerine yüzey mevcut ise kullanılır. (American National Standard, 2002 ; Iscar Web Sitesi, 2009)



Şekil 5.26 Uç şekli (a) ve yanaşma açısı (b) örnekleri (Iscar Web Sitesi, 2009)



Şekil 5.27 Kesici kenar uzunluğu (a), kesici kenar kalınlığı (b), köşe radyüsü konfigürasyonu (c) ve kesme kenarı durumu (d) örnekleri (Iscar Web Sitesi, 2009)

BÖLÜM 6

NİKEL ESASLI SÜPER ALAŞIMLARIN İŞLENEBİLİRLİĞİ

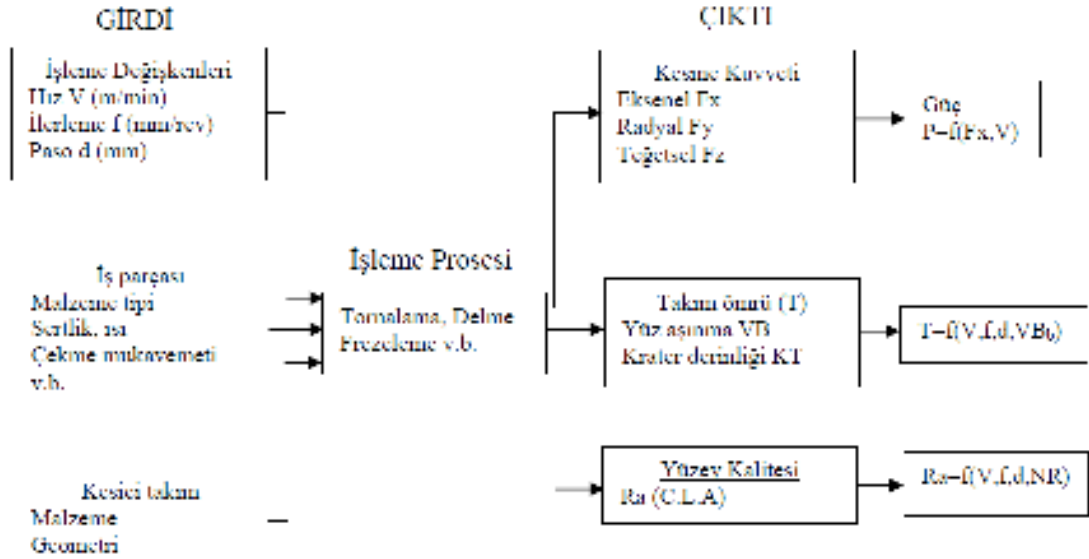
Nikel esaslı süper alaşımlar kalite ve üretim gereksinimlerini sağlayabilmek bakımından işlenebilirliği en zor süper alaşımlardandır. Kötü işlenebilirlik özelliğinin sebepleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Yüksek sıcaklık özelliklerinden dolayı mukavemetlerinin büyük kısmını işleme esnasında kazanırlar.
- Kesici takımında oluşan uç aşınmaları ve çentik tipi aşınmaların temelini oluşturan iş parçası sertleşmesi işleme sırasında çabucak oluşur.
- Kesici takımlar süper alaşımlarda bulunan sert aşındırıcı karbürler sebebiyle yüksek aşınmaya maruz kalırlar.
- Mevcut ticari kesici takımlarla yüksek sıcaklıktaki kesimlerde ortaya çıkan kimyasal reaksiyon yüksek difüzyon aşınma oranına sebep olur.
- Nikel esaslı süper alaşımların işlenmesi esnasında kesici takıma yapışması takımın yontulmasına, dökülmesine ve çentik aşınmasına sebep olur.
- İşleme esnasındaki dayanıklı ve sürekli talaş oluşumu takımın aşınmasına sebep olur.
- Isıl iletkenliğin düşük olması kesici takımın zarar görecekt derecede ısınmasına sebep olur.

Nikel esaslı süper alaşımların işlenebilirliğinde en önemli iki faktör kısa takım ömrü ve iş parçasının sert olmasıdır. İşleme esnasındaki yüzey değişimi (artan gerilmeler gibi) parçaların artmasına sebep olabilir ve bu da işlenen malzemenin mekanik özelliklerini ve gerilme – korozyon özelliklerini değiştirebilir. Bu nedenle işleme esnasında parçanın yüzey bütünlüğünün sağlanmasına özen gösterilmelidir. Takım ömrü nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde oldukça yetersizdir. Takım malzemesi seçimi, takım geometrisi, işleme metodu, kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği, vb.

parametreler yeterli takım ömrünün sağlanmasında kontrol edilmesi gereken parametrelerdir. (Ezugwu, et al., 1999)

İşlenebilirliğin üç temel parametresi, kesme kuvveti, takım ömrü ve yüzey kalitesidir. Şekil 6.1 torna operasyonlarında girdi/çıkış formu için farklı işlenebilir parametreleri gösterir.



Şekil 6.1 İşleme prosesinde çeşitli işlenebilirlik parametreleri (Aydın, 2004)

BÖLÜM 7

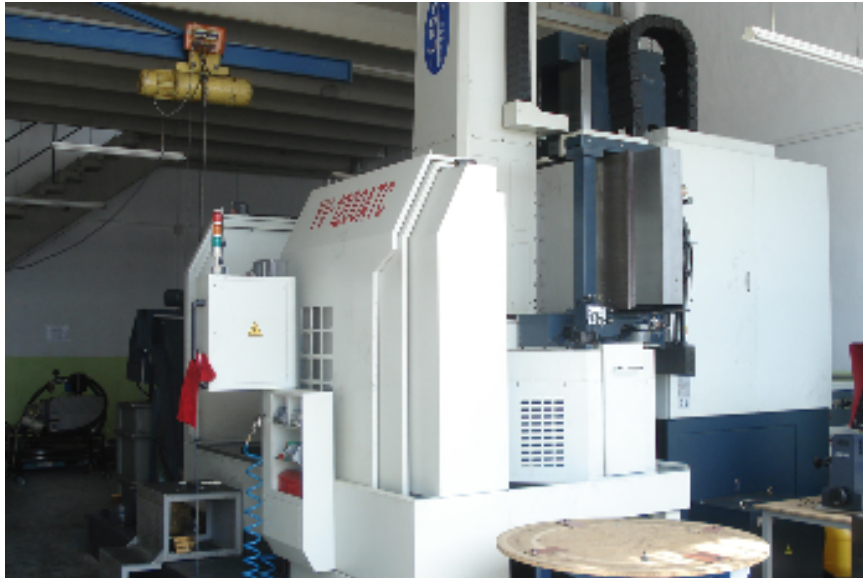
DENEY METODU ve KULLANILAN MATERYALLER

Deneyde Inconel 718 malzemeler Akbey Mühendislik firmasında bir dik torna tezgahında kesilmiş ve final kesim sonrası ortaya çıkan yüzeyler yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı yardımıyla ölçülmüştür. Ortaya çıkan sonuçlar analiz edilmiş, deney sonuçları literatür ile karşılaştırılmıştır.

7.1 Deneyde Kullanılan Materyaller

7.1.1 Tezgah ve Kesme Sıvısı

Deneyde Tayvan malı, **You Ji** markalı, **YV-1200ATC** modeli CNC dik torna tezgahı kullanılmıştır. Şekil 7.1’de tezgahın fotoğrafı gösterilmiştir. Ayrıca çizelge 7.1’de de tezgahın teknik özellikleri belirtilmiştir. Kesme sıvısı olarak Eralube HP Slideway 68 marka ve modeli kesme sıvısı kullanılmıştır.



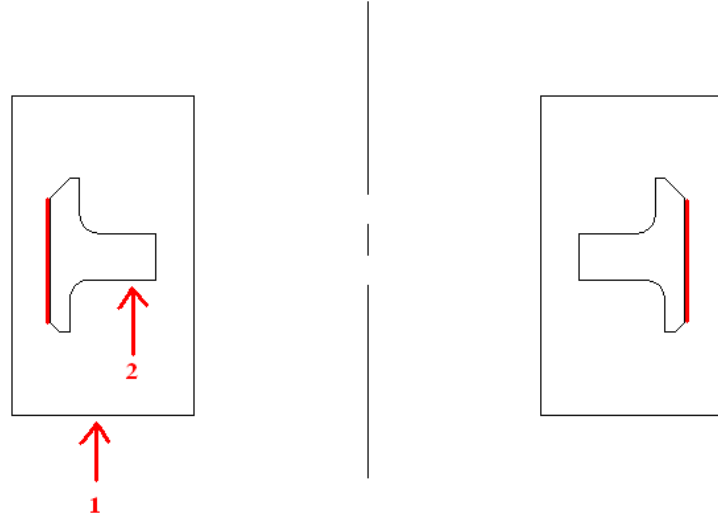
Şekil 7.1 You Ji YV-1200ATC dik torna tezgahı (Akbey Mühendislik)

Çizelge 7.1 Tezgahın teknik özellikleri

<i>Marka</i>	<i>You Ji</i>
Model	YV-1200ATC
Kontrol Ünitesi	FANUC
Max. Çevirme Çapı	Ø1600 mm
Tornalama Çapı	Ø1350 mm
Max.Torn. Yüksekliği	1200 mm
Ayna Çapı	49 inch
Fener Mili Devir Aralığı	350 dev/dak
Fener Mili Rulman İç Çapı	Ø800 mm
Ayna Yük Kapasitesi	5,000 kg-f
Ekseni Rapit Hızları (X)	12 m/dak
Ekseni Rapit Hızları (Z)	10 m/dak
Fener Mili Motor Gücü	45(α40) kw
Taret Takım Sayısı	5/12/16 adet
Makine Ağırlığı	22,000 kg-f

7.1.2 İş Parçası ve Kullanılan Malzeme

SAE AMS 5662 Rev.M havacılık malzeme spesifikasyonuna uygun **Inconel 718** dövme malzeme kullanılmıştır. Bu standarda göre Inconel 718 dövme malzemenin bileşenleri çizelge 7.2’de verildiği gibidir. Şekil 7.2’de gösterildiği gibi iş parçası kabadan final’e işlenmiş ve son olarak parçanın dış çapındaki final yüzey pürüzlülüğü değerleri 24 farklı parçadan toplanarak analiz çalışmaları yapılmıştır. Şekil 7.2’de 1 numaralı geometri kaba geometriyi, 2 numaralı geometri final geometriyi temsil etmektedir, ayrıca yüzey pürüzlülük değerlerinin alındığı dış çap şekil 7.2’de kırmızı olarak belirtilmiş olup, bu çapın final işleme değeri Ø 942 mm’dir.



Şekil 7.2 Deneyde kullanılan iş parçası (1 – Kaba Geometri, 2 – Final Geometri)

Çizelge 7.2 Inconel 718 malzemenin SAE AMS 5662 spesifikasyonuna göre bileşenleri

<i>Element</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Karbon	--	0.08
Mangan	--	0.35
Silikon	--	0.35
Fosfor	--	0.015
Sülfür	--	0.015
Krom	17.50	21.00
Nikel	50.00	55.00
Molibden	2.80	3.30
Kolombiyum (Niobyum)	4.75	5.50
Titanyum	0.65	1.15
Alüminyum	0.20	0.80
Kobalt	--	1.00
Tantalum	--	0.05
Boron	--	0.006
Bakır	--	0.30
Kurşun	--	0.0005 (5 ppm)
Bizmut	--	0.00003 (0.3 ppm)
Selenyum	--	0.0003 (3 ppm)

7.1.3 Kesici Uç

Deney esnasında **GREENLEAF** marka kesici uçlar ile çalışılmıştır. ANSI uç tanımlama sistemine göre DNGG talaş kırıcı turbo form karbür kesici uçlar seçilmiştir. 0,4 mm, 0,8 mm ve 1,2 mm olmak üzere üç farklı uç radyüsü, CVD ve PVD olmak üzere iki farklı kaplama ile toplam 6 farklı DNGG talaş kırıcı karbür kesici uç ile çalışılmıştır. Bu uçlar **GREENLEAF** markasının kataloğundan hassas final işleme yetenekleri sebebiyle seçilmiştir. Çizelge 7.3'te kullanılan kesici uçlar ve özellikleri belirtilmiştir.

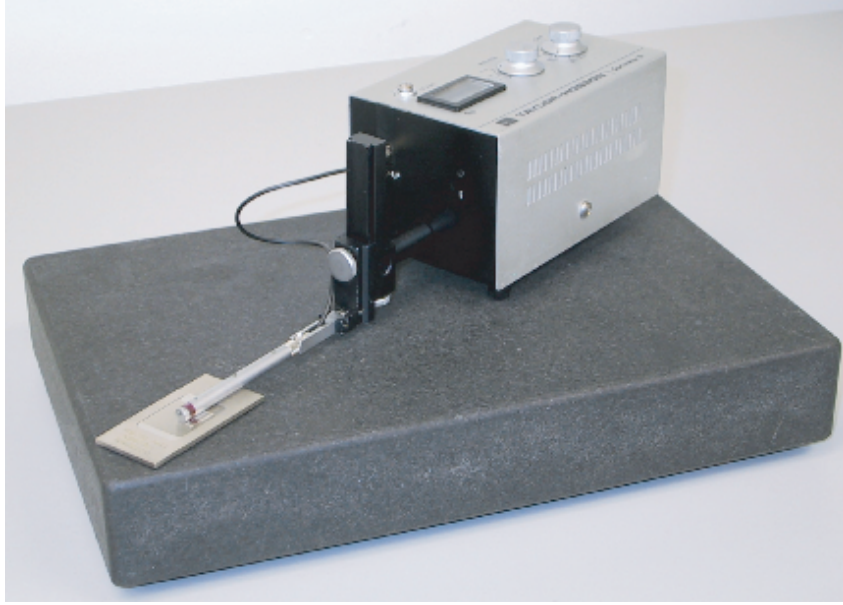
Çizelge 7.3 Deneyde kullanılan kesici uçlar ve belirgin özellikleri

<i>Kesici Uç (ANSI)</i>	<i>Uç Şekli</i>	<i>Yanaşma Açısı</i>	<i>Uç Radyüsü</i>	<i>Kaplama</i>
DNGG-431-TF, GA-5026	55° baklava	0° Nötr	0,4 mm	CVD
DNGG-432-TF, GA-5026	55° baklava	0° Nötr	0,8 mm	CVD
DNGG-433-TF, GA-5026	55° baklava	0° Nötr	1,2 mm	CVD
DNGG-431-TF, G-925	55° baklava	0° Nötr	0,4 mm	PVD
DNGG-432-TF, G-925	55° baklava	0° Nötr	0,8 mm	PVD
DNGG-433-TF, G-925	55° baklava	0° Nötr	1,2 mm	PVD

7.1.4 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı

Kesimi yapılan 24 adet deney parçasının R_a (aritmetik ortalama) yüzey pürüzlülük değerleri şekil 7.3'te gösterilen **Taylor – Hobson** marka **Surtronic 3P** model yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı şekil 7.3'te de görülebilen, yüzey pürüzlülüğü önceden bilinen belirli bir referans yüzeyden ölçüm olarak doğrulandıktan sonra şekil 7.2'de belirtilen iş parçalarının dış çaplarından ölçüm alınmış ve bulunan sonuçlar değerlendirilmiştir. Ölçüm cihazı R_a , $R_{y_{max}}$, (R_{maxDIN}) ve RTM (R_{zDIN}) parametrelerine göre ölçüm yapabilmektedir. Yüzey pürüzlülük değerlerini μm ve μin şeklinde ölçülebilmektedir.

Ölçülen değer cihazın dijital ekranında gösterilmektedir. Deney çalışmasında R_a yüzey pürüzlülük değerleri μm olarak ölçülmüştür.



Şekil 7.3 Taylor – Hobson Surtronic 3P yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

7.1.5 Mikroskop

Deneyde kesici uçlarda oluşan aşınmayı görebilmek adına Şekil 7.4'te gösterilen Mitutoyo marka Quick Scope Vision Measuring Microscope modeli büyütme cihazı kullanılmıştır.



Şekil 7.4 Mitutoyo Quick Scope Mikroskop (Mitutoyo Web Sitesi, 2010)

7.2 Deney Metodu

Deneyde ana hedef yüzey pürüzlülüğünün çeşitli girdi değerleriyle oynanarak nasıl bir sonuç verdiğini, bu girdi değerlerinin değişimiyle yüzey pürüzlülüğünün nasıl bir etkileşim içinde olduğunu görmektir. Bu nedenle deney matrisini oluşturmadan önce teorik olarak yüzey pürüzlülüğünün hangi değerlerden etkilendiği incelenmiştir.

$$R_t = \frac{f^2}{8r_e} \times 1000$$

Teorik yüzey pürüzlülüğü değeri (R_t), yukarıdaki formülde de görüldüğü gibi kesici uç radyüsünden ve ilerlemeden etkilenmektedir. Formüle göre kesici uç radyüsü büyüdükçe daha düzgün bir yüzey elde edilmekte, küçüldükçe pürüzlülük değeri büyüdüğünden daha kötü bir yüzey elde edilmektedir. Yine formülden görüldüğü gibi yüksek ilerleme (f) değerleri kötü yüzeye sebebiyet verirken, düşük ilerlemelerde yüzey kalitesinin daha iyi olacağı gözlemlenmiştir.

Literatür incelendikten sonra yüzey kalitesinin sağlanmasında etkisi büyük olan **ilerleme (f)** ve **kesici uç radyüsünün** deney matrisinde değişken olarak seçilmesine karar verilmiştir. Bu iki değişken değerlerin yanı sıra **kesici uç kaplama çeşitlerinin** yüzey kalitesine olan etkisini de görebilmek adına üçüncü değişken olarak atanmıştır. Toplam üç farklı değişkenin belirlenmesinin ardından geriye kalan tüm değerler yapılacak olan işe göre literatüre de uygun bir değer seçilerek **sabit** tutulmuştur. Sabit tutulan değerler kesme hızı (V_c) ve kesme derinliğidir. İki farklı ilerleme değeri, üç farklı kesici uç radyüsü ve iki çeşit kesici uç kaplaması ile oluşturulan deney matrisi çizelge 7.4'te belirtilmiştir.

Çizelge 7.4 Deney Matrisi

<i>Deney No</i>	<i>İlerleme (mm/dev)</i>	<i>Kesici Uç Radyüsü (mm)</i>	<i>Kesici Uç Kaplaması</i>
1	1	1	1
2	1	1	2
3	1	2	1
4	1	2	2
5	1	3	1
6	1	3	2
7	2	1	1
8	2	1	2
9	2	2	1
10	2	2	2
11	2	3	1
12	2	3	2

Deney verileri aşağıda belirtilmiştir.

Kesme hızı (V_c)	= 50 m/dak (sabit)
İşlenen Malzeme Çapı (D)	= 942 mm (final ölçüsü)
Talaş Derinliği	= 0,25 mm (sabit)
Kullanılan Kesici Uç Geometrisi	= Greenleaf DNGG - TF, 55°, Nötr (sabit)
Kesici Uç Radyüsü	= Değişken
	1 – 431 (0,4 mm radyüs)
	2 – 432 (0,8 mm radyüs)
	3 – 433 (1,2 mm radyüs)
Kesici Uç Kaplaması	= Değişken
	1 – GA-5026 (CVD Kaplama)
	2 – G-925 (PVD Kaplama)
İlerleme	= Değişken
	1 – 0,15 mm/devir
	2 – 0,20 mm/devir

Deney verileri oluşturulurken literatürden ve pratik bilgidен yararlanılmıştır. İşlenecek ve yüzey pürüzlülüğü incelenecek olan parçanın yüzeyi, parçanın final geometrisini oluşturduğu için Greenleaf kataloğundan Inconel 718 malzeme işlemeye uygun final geometriyi oluşturabilecek özellikte olan DNGG TF talaş kırıcılı kesici uç geometrisi seçilmiş, yine katalogta önerilen üç çeşit kesici uç radyüsü ve iki farklı kaplama çeşidi deneyde ilerlemeye ek olarak değişken olarak belirlenmiştir. İlerleme için ise iki farklı değişken literatürden yararlanılarak belirlenmiştir. Bölüm 5, kısım 5.3.6'da belirtilen dış çap tornalama için çalışma alanlarında ince işlemlerde önerilen ilerleme değeri 0,1 – 0,3 mm/devir aralığında olduğu için 0,15 ve 0,20 mm/devir değerlerinde karar kılınmıştır. Son olarak uygun talaş derinliği 0,25 mm ve uygun kesme hızı da 50 m/dak olarak seçilmiştir ve bu veriler doğrultusunda deneye başlanmıştır.

Deney verilerinin belirlenmesinin ardından oluşan deney matrisi çizelge 7.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 7.5 Deney Matrisi (verilerle birlikte)

<i>Deney No</i>	<i>İlerleme (mm/dev)</i>	<i>Kesici Uç Radyüsü (mm)</i>	<i>Kesici Uç Kaplaması</i>
1	0,15	0,4	CVD
2	0,15	0,4	PVD
3	0,15	0,8	CVD
4	0,15	0,8	PVD
5	0,15	1,2	CVD
6	0,15	1,2	PVD
7	0,20	0,4	CVD
8	0,20	0,4	PVD
9	0,20	0,8	CVD
10	0,20	0,8	PVD
11	0,20	1,2	CVD
12	0,20	1,2	PVD

Hazırlanan deney matrisi ile sonuçların daha güvenilir olması için 6 farklı deney yapılmış ve tüm deneyler sonrası 72 adet yüzey pürüzlülüğü ölçümleri alınmıştır. Literatürde ilgili deney verilerine göre belirlenmiş yüzey pürüzlülük değerleri bulunmuş ve sonuçlar literatür değerleriyle karşılaştırılmıştır. Literatüre göre beklenen yüzey pürüzlülüğü değerleri çizelge 7.6 ile belirtilmiştir.

Çizelge 7.6 Literatüre göre beklenen yüzey pürüzlülüğü değerleri (Sandvik Coromant Talaşlı İmalat Teknik Kılavuzu, 2005)

İlerleme (mm/dev)	Kesici Uç Radyüsü (mm)	Ra (µm)
0,15	0,4	1,41
0,15	0,8	0,70
0,15	1,2	0,47
0,20	0,4	2,50
0,20	0,8	1,25
0,20	1,2	0,83

BÖLÜM 8

DENEY ve ANALİZ

8.1 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Sonuçları

Inconel 718 malzemenin dış çapının final geometriye getirilecek şekilde son pasosunun deney matrisine uygun şekilde kesiminin ardından elde edilen 6 adet tekrar ve 72 adet yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonucu çizelge 8.1 ile verilmiştir. Hata oranını düşürmek ve daha kesin bir sonuç elde edebilmek adına deney matrisi 6 defa tekrarlanmıştır. Ayrıca deney tekrarlarının benzer koşullar altında yapılabilmesi için aynı CNC tezgah operatörü ile çalışılmıştır. Her tekrar için kullanılan kesici uç yenidir. Bilenmiş veya kullanılmış kesici uçlara yer verilmemiştir. Çizelge 8.2’de ise ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleriyle literatüre göre ölçülmesi beklenen değerler karşılaştırılmıştır. Literatür değerleri ile karşılaştırıldığında birkaç değer dışında elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin olması beklenen değere yakın veya bu değerden daha iyi durumda olduğu görülmüştür.

Çizelge 8.1 Deney sonucu elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri

Deney No	İlerleme (mm/dev)	Kesici Uç Radyüsü (mm)	Kesici Uç Kaplaması	1. Tekrar Ra (μm)	2. Tekrar Ra (μm)	3. Tekrar Ra (μm)	4. Tekrar Ra (μm)	5. Tekrar Ra (μm)	6. Tekrar Ra (μm)
1	0,15	0,4	CVD	1,143	1,194	1,143	1,194	1,092	1,194
2	0,15	0,4	PVD	0,807	0,833	1,702	1,067	1,194	1,067
3	0,15	0,8	CVD	0,613	0,762	1,143	0,778	0,889	0,762
4	0,15	0,8	PVD	0,504	0,529	1,067	0,742	0,813	0,660
5	0,15	1,2	CVD	0,349	0,449	0,397	0,497	0,435	0,533
6	0,15	1,2	PVD	0,329	0,336	0,310	0,435	0,410	0,483
7	0,20	0,4	CVD	1,524	1,323	1,524	2,032	1,524	2,210
8	0,20	0,4	PVD	1,311	1,252	0,940	1,321	1,575	2,083
9	0,20	0,8	CVD	0,891	1,007	0,889	1,143	1,272	1,143
10	0,20	0,8	PVD	0,685	0,742	0,686	0,702	1,219	1,118
11	0,20	1,2	CVD	0,762	0,794	0,831	0,865	0,889	0,814
12	0,20	1,2	PVD	0,562	0,484	0,762	0,745	0,762	0,691

Çizelge 8.2 Yüzey pürüzlülük değerlerinin literatür değerleriyle karşılaştırılması

<i>Deney No</i>	<i>1. Tekrar Ra (µm)</i>	<i>2. Tekrar Ra (µm)</i>	<i>3. Tekrar Ra (µm)</i>	<i>4. Tekrar Ra (µm)</i>	<i>5. Tekrar Ra (µm)</i>	<i>6. Tekrar Ra (µm)</i>	<i>Ra (µm)</i>
1	1,143	1,194	1,143	1,194	1,092	1,194	1,41
2	0,807	0,833	1,702	1,067	1,194	1,067	1,41
3	0,613	0,762	1,143	0,778	0,889	0,762	0,70
4	0,504	0,529	1,067	0,742	0,813	0,660	0,70
5	0,349	0,449	0,397	0,497	0,435	0,533	0,47
6	0,329	0,336	0,310	0,435	0,410	0,483	0,47
7	1,524	1,323	1,524	2,032	1,524	2,210	2,50
8	1,311	1,252	0,940	1,321	1,575	2,083	2,50
9	0,891	1,007	0,889	1,143	1,272	1,143	1,25
10	0,685	0,742	0,686	0,702	1,219	1,118	1,25
11	0,762	0,794	0,831	0,865	0,889	0,814	0,83
12	0,562	0,484	0,762	0,745	0,762	0,691	0,83

8.2 Analiz ve Değerlendirme

Bulunan yüzey pürüzlülüğü sonuçlarının ardından yapılan analiz ve değerlendirmeler şu şekildedir. Deney esnasında referans değerlere göre oluşan bir kaç büyük yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonucu dışında sonuçlar literatüre göre de beklenen değerler çerçevesinde elde edilmiştir. Yapılan üçüncü tekrarda kesici uçların da bazı yüksek yüzey pürüzlülüğü değerlerine paralel olarak daha çok aşındığı tespit edilmiştir.

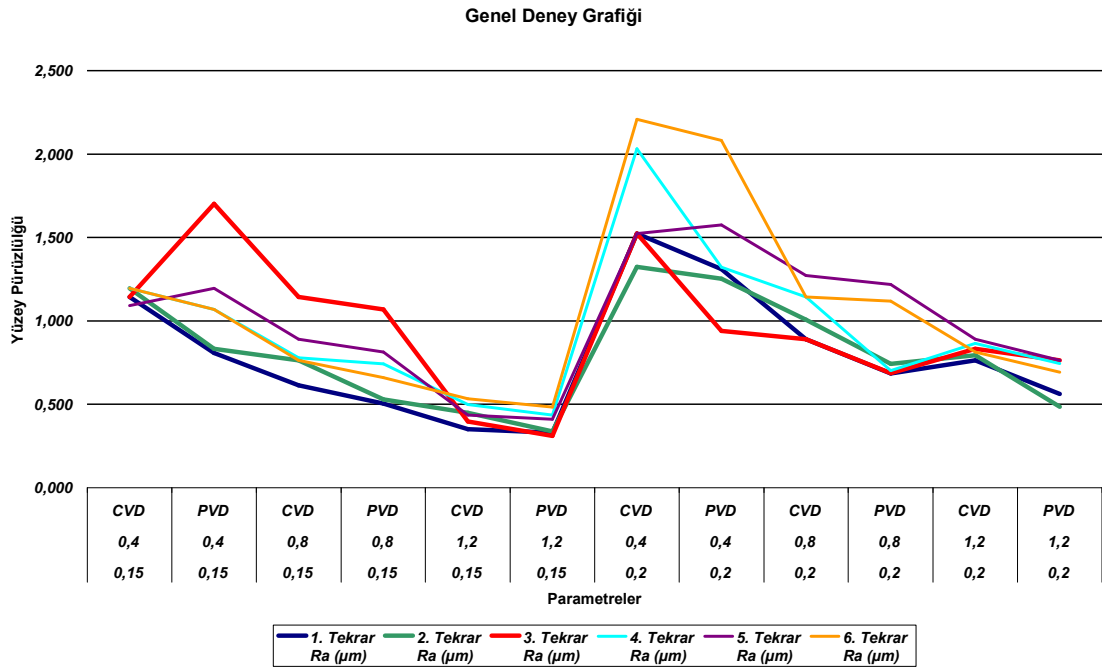
Genel deney grafiğinden de anlaşılacağı gibi (Şekil 8.1) kesici uç radyüsü büyüdükçe yüzey kalitesinde iyileşme gözlemlenmektedir. Bu durum literatür verileriyle de örtüşmektedir.

Kesici uç radyüsünün aksine ilerleme değeri arttıkça yüzey kalitesinin bozulduğu ve yüzeyin daha pürüzlü bir hal aldığı görülmektedir. Bu durum yine literatür verileriyle örtüşmektedir.

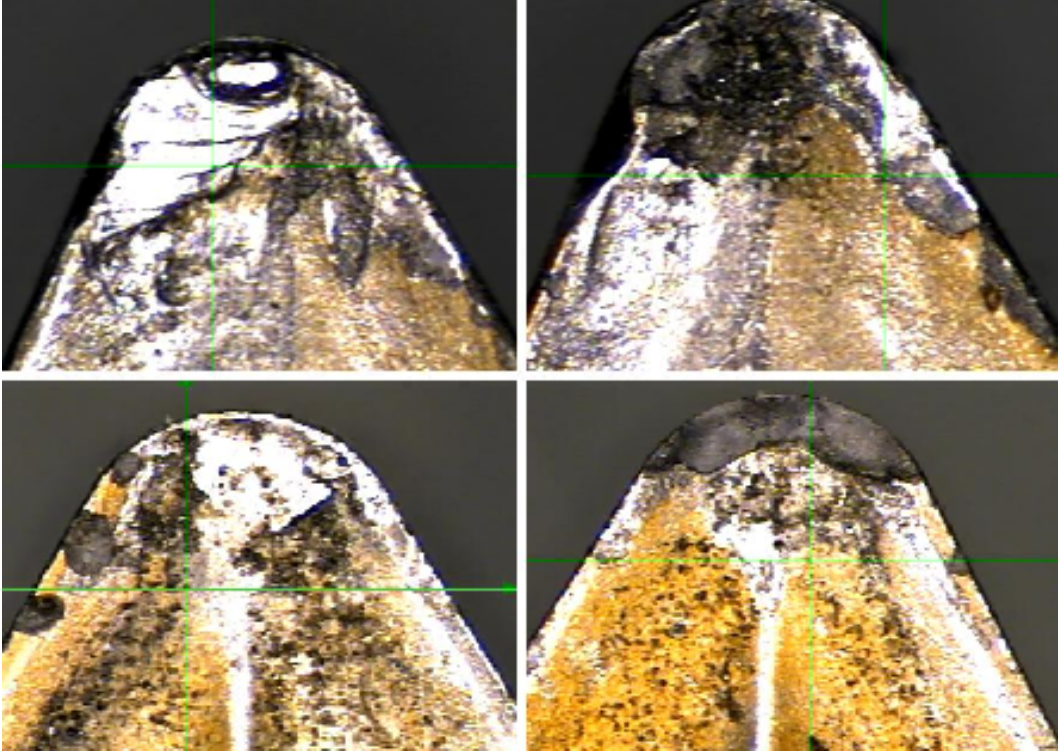
Kesici uç kaplamalarına bakıldığında PVD kaplama ile sağlanan yüzey kalitesi CVD kaplamaya göre biraz daha iyidir.

CVD kaplamalı uçlarla elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin PVD kaplamalı uçlara göre daha kötü olmasının bir diğer nedeni ise CVD kaplamalı kesici uçlardaki aşınma oranlarının PVD kaplamalı kesici uçlara göre daha fazla olmasıdır. Şekil 8.2 ve 8.3 ile CVD ve PVD kaplamalı kesici uçlarda oluşan aşınmalara örnek resimler gösterilmiştir.

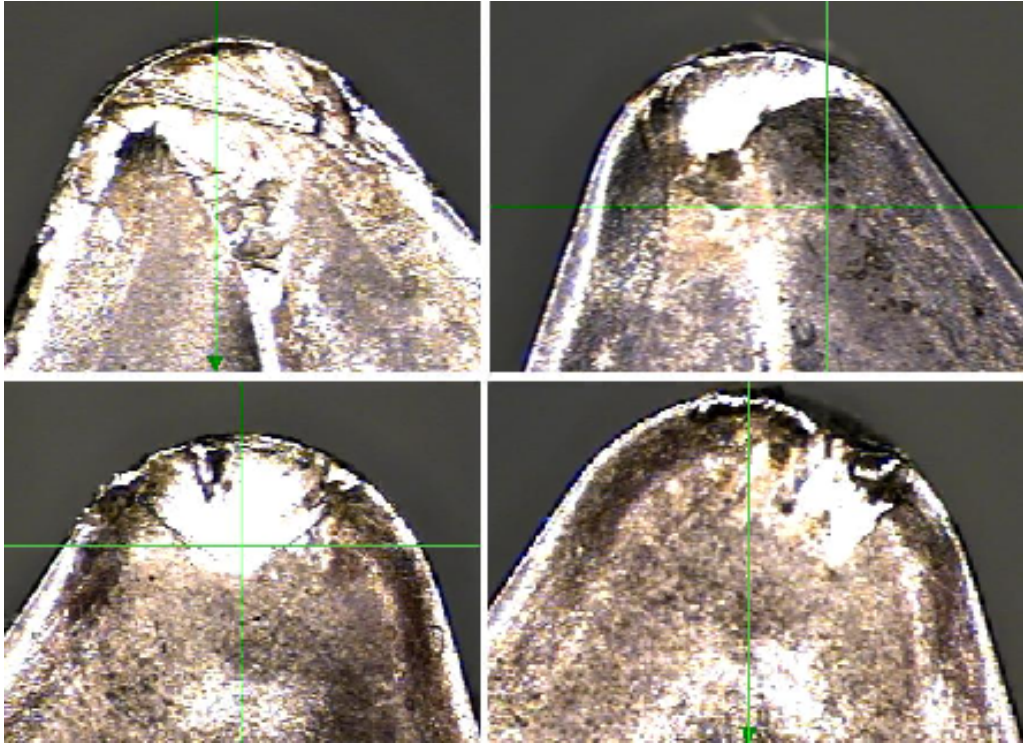
Şekil 8.1'deki genel deney grafiğine göre değerlendirme yapılırsa optimum yüzey kalitesi için büyük kesici uç radyüsü, düşük ilerleme değeri ve PVD kaplamalı kesici uç kullanılmalıdır.



Şekil 8.1 Genel Deney Grafiği

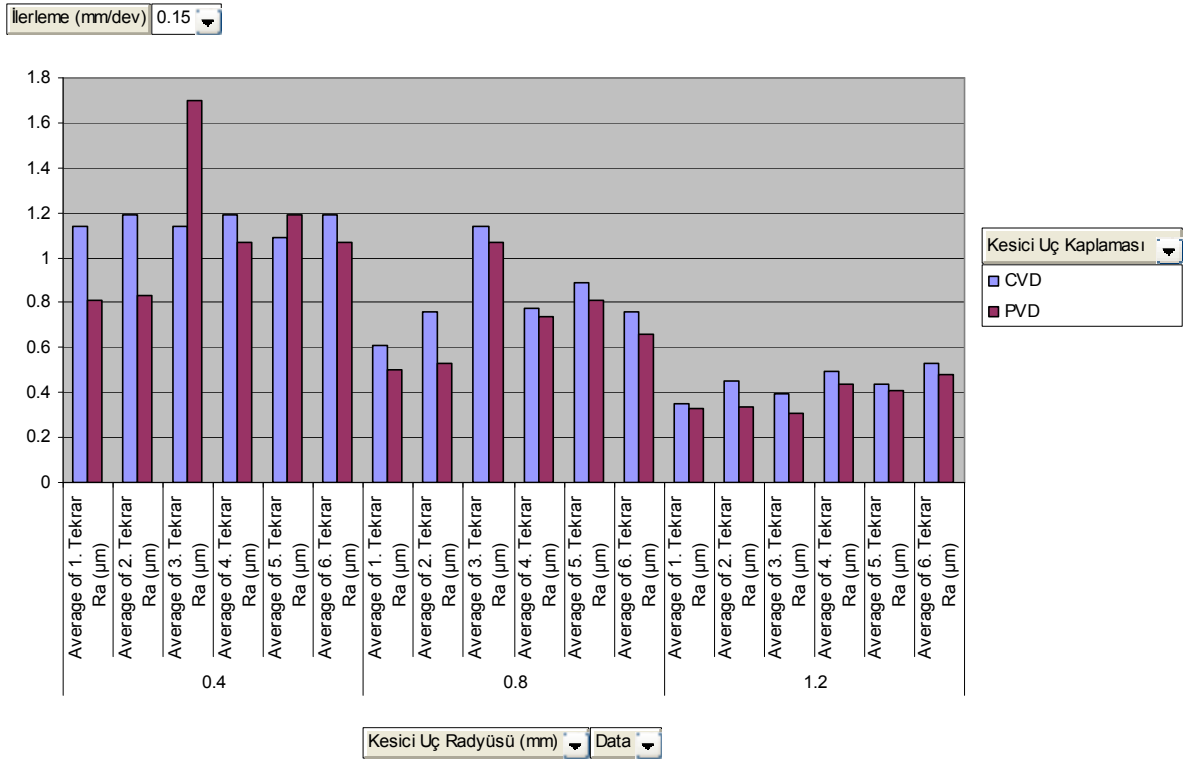


Şekil 8.2 CVD kaplamalı kesici uçların aşınma örnekleri

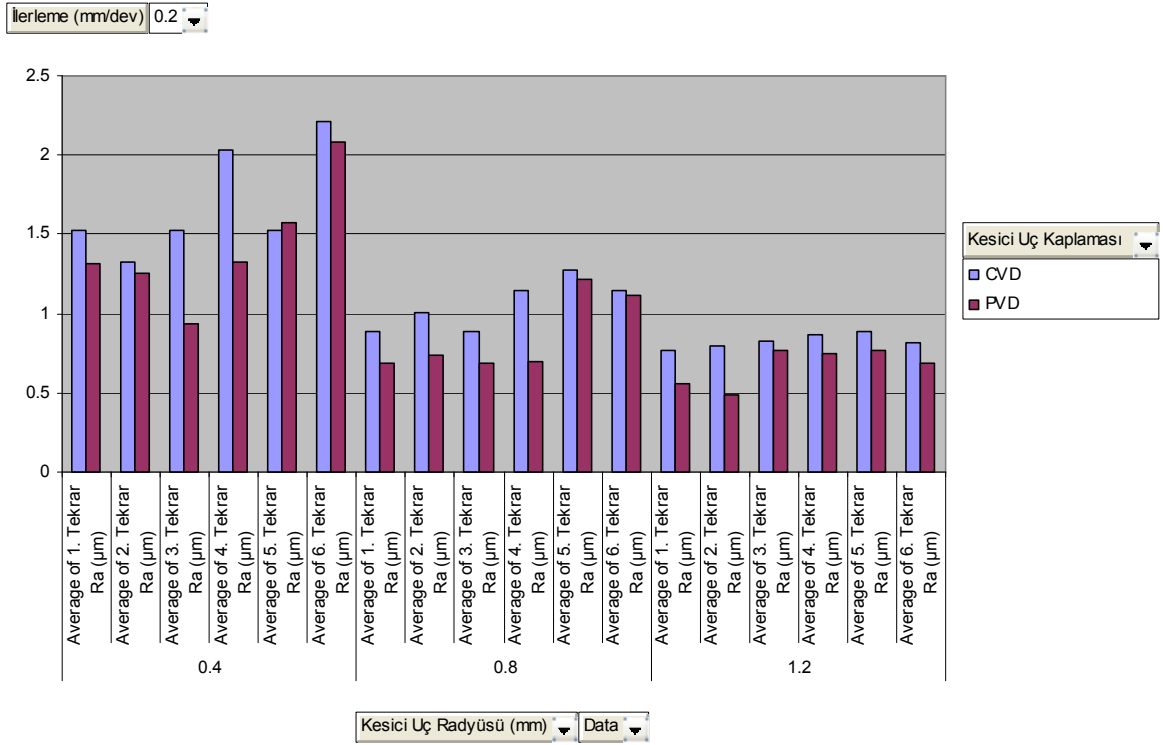


Şekil 8.3 PVD kaplamalı kesici uçların aşınma örnekleri

Şekil 8.4 ve 8.5'te 0,15 mm/devir ilerleme ve 0,20 mm/devir ilerleme değerleri ile oluşturulmuş grafikler görülmektedir. Bu grafikler incelendiğinde genel deney grafiğinde bulunan sonuçlara benzer sonuçlar görülmektedir. Düşük ilerleme değerlerinde daha iyi bir yüzey elde edilmiştir. 3. tekrarda 0,15 mm/devir ilerleme ve 0,4 mm kesici uç radyüsü ile yapılan deneyde elde edilen 1 adet yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri dışında PVD kaplama ile bu verilere göre az da olsa daha iyi bir yüzey elde edilmektedir.

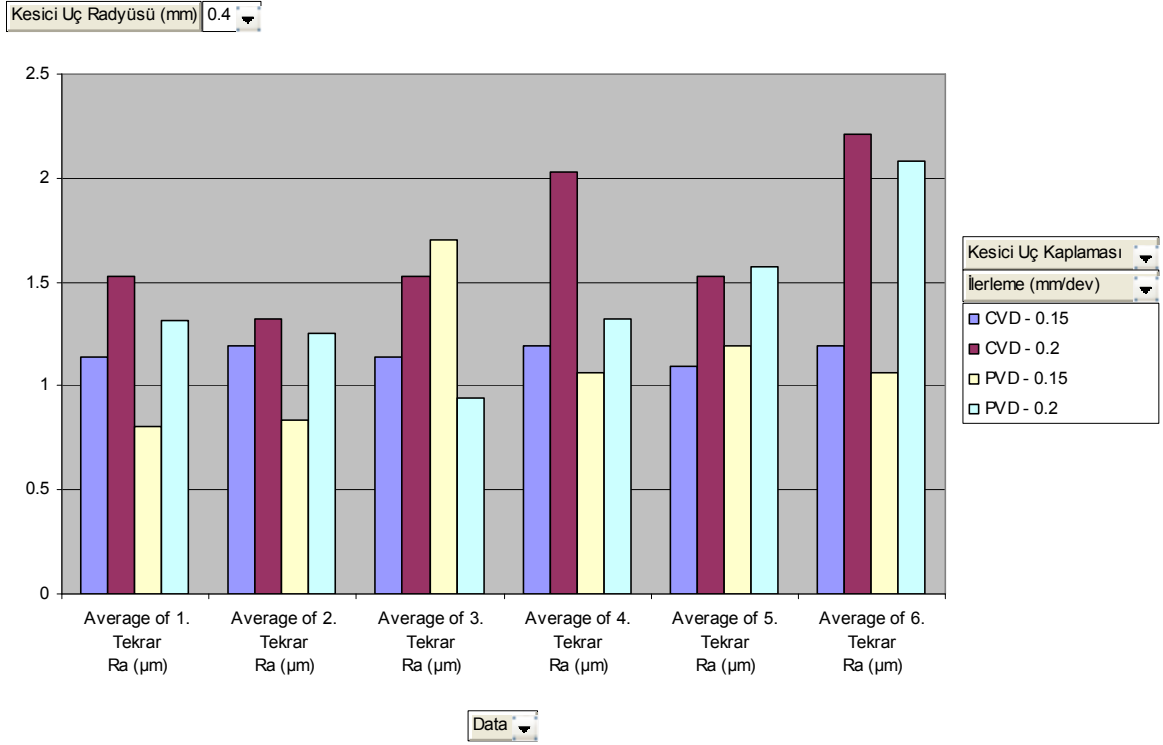


Şekil 8.4 0,15 mm/dev ilerlemede elde edilen grafik

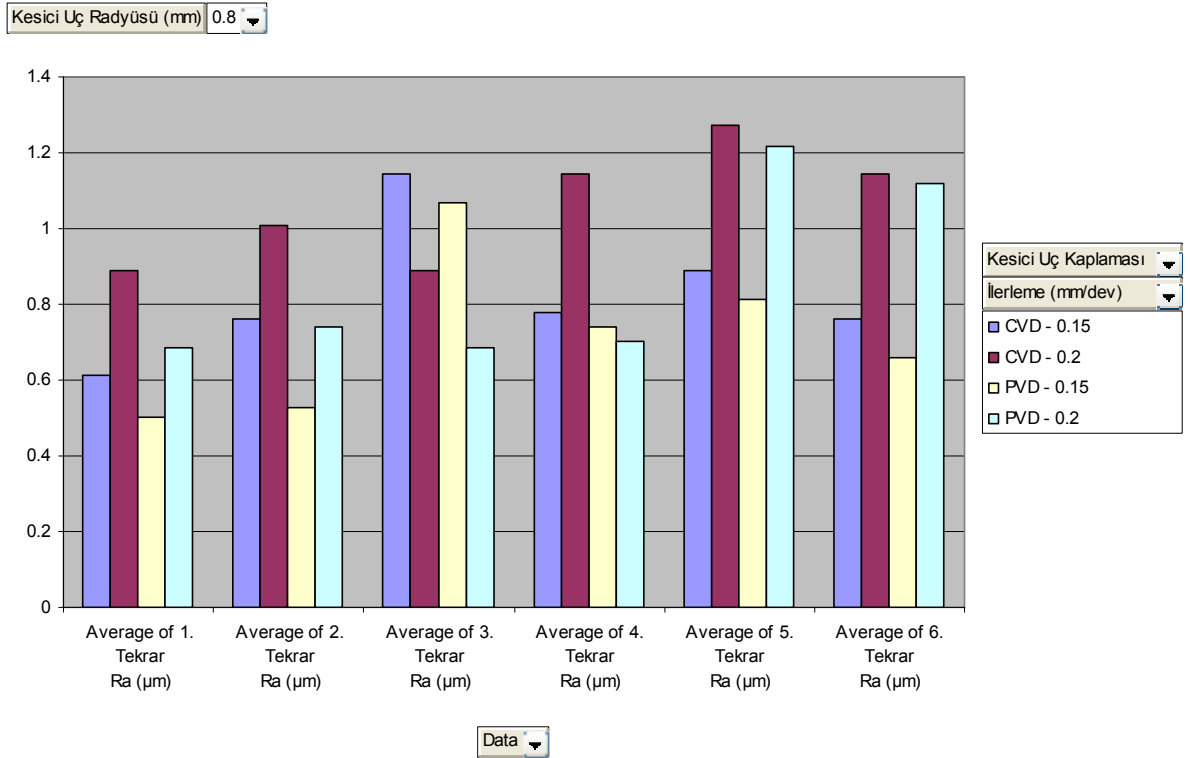


Şekil 8.5 0,20 mm/dev ilerlemede elde edilen grafik

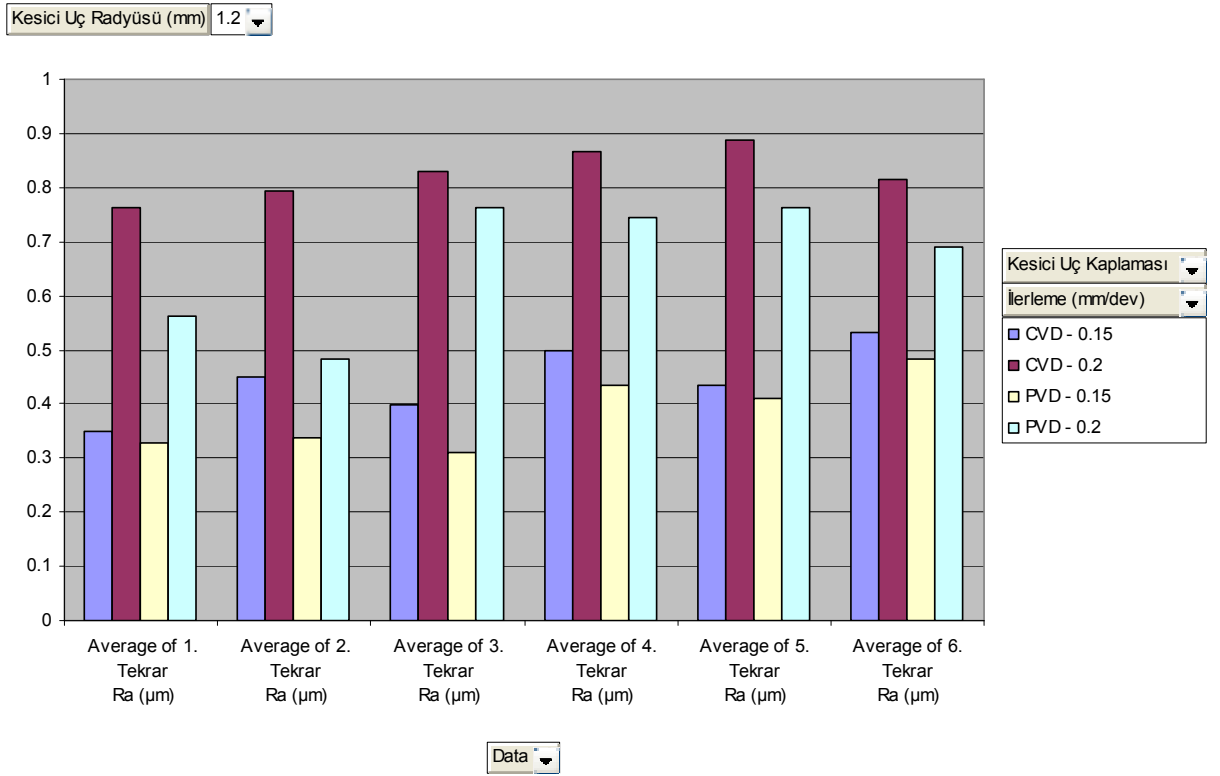
Şekil 8.6, 8.7 ve 8.8’de sırasıyla 0,4 mm, 0,8 mm ve 1,2mm kesici uç radyüsü ile oluşturulmuş grafikler görülmektedir. Yine bu grafiklerde de genel deney grafiğini doğrular nitelikte sonuçlar oluşmuştur. Kesici uç radyüsü büyüdükçe yüzey kalitesi bozulmaktadır. Benzer sonuçların haricinde gizli kalmış en önemli bulgulardan birisi CVD veya PVD kaplamaların yüzey kalitesine etkisi arasındaki fark kesici uç radyüsü küçüldükçe azalmaktadır. Kesici uç radyüsü büyüdükçe ise daha önceden de gözlemlendiği gibi PVD kaplamalı kesici uçlar ile daha iyi yüzeyler elde edilmektedir. Bu grafikler ile elde edilen bulgunun en büyük avantajı küçük radyüslü kesici uç kullanımında kaplama çeşidi fark etmediği için maliyet bakımından en uygun uç hangisi ise, bu ucun kullanılabilmesi olmuştur.



Şekil 8.6 0,4 mm kesici uç radyüsü ile elde edilen grafik

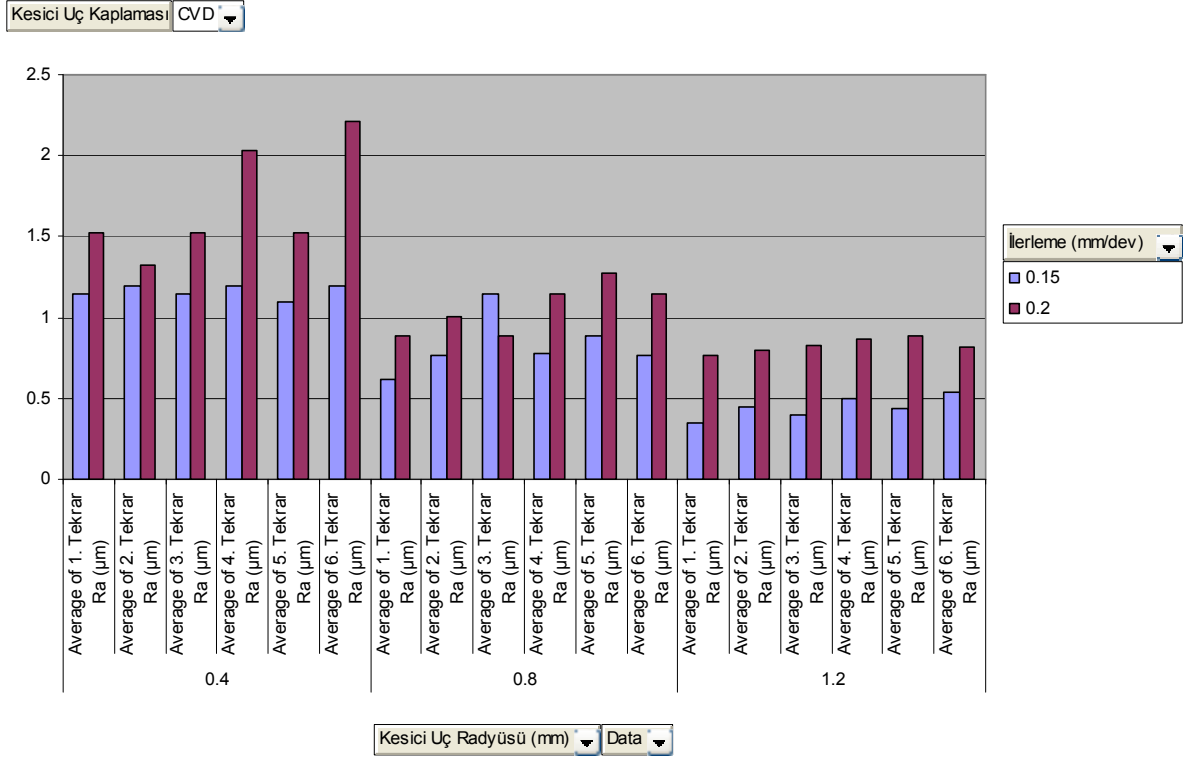


Şekil 8.7 0,8 mm kesici uç radyüsü ile elde edilen grafik

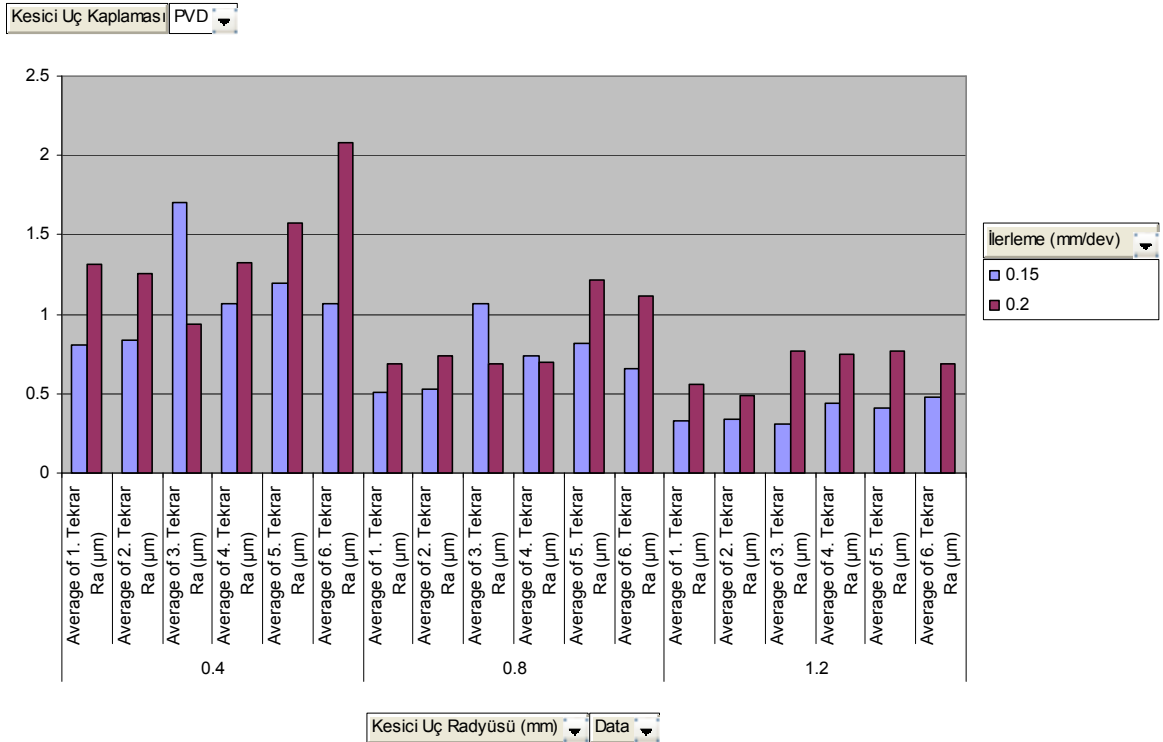


Şekil 8.8 1,2 mm kesici uç radyüsü ile elde edilen grafik

Şekil 8.9 ve 8.10'da CVD ve PVD kaplama ile oluşturulmuş grafikler görüntülenmektedir. CVD kaplama ile yüzey pürüzlülüğü değerleri PVD kaplamaya göre daha fazladır. Yani grafiklere göre CVD kaplamalı kesici uçlarla PVD uçlara göre daha kötü yüzeyler elde edilmiştir. PVD kaplamalı kesici uçların iyi yüzey kalitesi sağlamanın yanı sıra tokluklarının da yüksek olmaları sayesinde darbe dayanımlarının yüksek oldukları bilinmektedir. CVD kaplamalı kesici uçların ise yüksek sertlik sayesinde aşınmaya karşı dayanımlarının iyi olduğu bilinmektedir.



Şekil 8.9 CVD kaplama ile elde edilen grafik



Şekil 8.10 PVD kaplama ile elde edilen grafik

BÖLÜM 9

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan deneyler sonrasında kesici uç radyüsü büyüdükçe yüzey pürüzlülüğünün azaldığı ve yüzey kalitesinin iyileştiği gözlemlenmiştir. İlerleme değeri arttıkça ise yüzey kalitesi kötüleşmekte ve yüzeyin daha pürüzlü bir hal aldığı görülmektedir. Kesici uç kaplamalarına bakıldığında PVD kaplama ile sağlanan yüzey kalitesi CVD kaplamaya göre biraz daha iyidir. Bunun sebebi olarak ise yapılan deneylerde CVD kaplamalı kesici ucun PVD kaplamalı kesici uca göre daha kolay aşınması söylenebilir. PVD kaplamalı kesici uçların iyi yüzey kalitesi sağlamasının yanı sıra tokluklarının da yüksek olmaları sayesinde darbe dayanımlarının yüksek oldukları bilinmektedir. CVD kaplamalı kesici uçların ise yüksek sertlik sayesinde aşınmaya karşı dayanımlarının iyi olduğu bilinmektedir. CVD veya PVD kaplamaların yüzey kalitesine etkisi arasındaki fark kesici uç radyüsü küçüldükçe azalmaktadır. Elde edilen bu bulgunun en büyük avantajı, küçük radyüslü kesici uç kullanımında kaplama çeşidi fark etmediği için maliyet bakımından en uygun uç hangisi ise, bu ucun kullanılabilmesi olmuştur.

Öneri olarak söylenebilecekler ise, bu tez çalışması nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde, özellikle Inconel 718 mazleme uygulamalarında hassas yüzey kalitesi istenen alanlarda yapılacak çalışmalara ışık tutabilir. Tez çalışmasında belirtilen detayların yanı sıra soğutma sıvısı ve soğutma durumu, kesici takım aşınması gibi parametreler göz önünde bulundurulmalıdır. Isının malzeme üzerindeki etkisi ile kesme koşulları değişebilir, dolayısıyla yüzey pürüzlülüğü de değişebilir. Farklı türde, kaplamalı veya kaplamasız, talaş kırıclı veya talaş kırıcsız kesici takım kullanımı söz konusu olduğunda tez çalışmasının faydalı olabilmesi için, bu çalışmada kullanılan kesici takım ve kullanılacak olan kesici takımların arasındaki ilişki detaylı olarak incelenmelidir. Deney çalışmaları esnasında sabit olarak alınan kesme parametrelerinin değişimi, kesici takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri farklılık gösterebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Aerospace Material Specification, SAE AMS 5662M, Nickel alloy, corrosion and heat-resistant, bars, forgings and rings, Haziran 2009, 11 p.
- Akdoğan, A., 2008, Malzeme II ders notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 9 s., www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/malzeme2/Super_Alasmilar.pdf, Mart 2009
- Akkurt, M., 2007, Makine Bilgisi, Birsen Yayınevi, 664 s.
- Akkurt, M., 2004, Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları, Birsen Yayınevi, 664 s.
- Altın, A., Gökkaya, H. ve Nalbant, M., 2006, İşleme parametrelerinden kesme hızının Inconel 718 süper alaşımın işlenebilirliğine etkisi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 21, No 3, 581-586
- Altın, A., 2005, Nikel esaslı Inconel 718 süper alaşımının işlenebilirliğinin incelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 233 s.
- American National Standard, ANSI B212.4-2002, For cutting tools – indexable inserts – identification system, American National Standards Institute, Inc., Cemented Carbide Producers' Association, 2002, 10 p.
- Arunachalam, R.M., Manan, M.A. and Spowage, A.C., 2004, Surface integrity when machining age hardened Inconel 718 with coated carbide tools, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 44, 1481-1491
- Aydın, K., 2004, Talaşlı imalat tekniklerinde süperalaşım Inconel 718 ve whiskers ile güçlendirilmiş seramik kesici uçlarda tornada yapılan uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 94 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

ASM (American Society for Metals) Handbook, 1995, Volume 2, Properties and selection : nonferrous alloys and special-purpose materials, ASM International, 3470 p.

ASM (American Society for Metals) Handbook, 1997, Volume 16, Machining, ASM International, 1089 p.

Astakhov, V.P., 2004, The assessment of cutting tool wear, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 44, 637-647

Bhadeshia, H.K.D.H., Nickel Based Superalloys, University of Cambridge Web Sitesi, <http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/2003/Superalloys/superalloys.html>, Mayıs 2009

Callister, W.D.Jr, 1997, Materials science and engineering : an introduction, John Wiley & Sons, Inc., 852 p.

Choudhury, I.A. and El-Baradie, M.A., 1998, Machinability of nickel-base super alloys: a general review, Journal of Materials Processing Technology, 77, 278-284

Çakır, M.C., 1999, Modern Talaşlı İmalatın Esasları, Vipaş A.Ş. Yayınları, 324 s.

Darwish, S.M., 2000, The impact of the tool material and the cutting parameters on surface roughness of supermet 718 nickel superalloy, Journal of Materials Processing Technology, 97, 10-18

Devillez, A., Schneider, F., Dominiak, S., Dudzinski, D. and Larrouquere, D., 2007, Cutting forces and wear in dry machining of Inconel 718 with coated carbide tools, Wear, 262, 931-942

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Dursun, M., 2007, Titanyum ve Inconel 718 malzemelerin frezelenmesinde takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünün araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, 198 s.
- Erdoğan, M., Çakmakkaya, M. ve Erol, A., 2005, Katı elementlerin süper alaşımlara kazandırdığı genel özellikler, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 41-46
- Ezugwu, E.O., Bonney, J. and Yamane, Y., 2003, An overview of the machinability of aeroengine alloys, Journal of Materials Processing Technology, 134, 233-253
- Ezugwu, E.O., Wang, Z.M. and Machado, A.R., 1999, The machinability of nickel based alloys: a review, Journal of Materials Processing Technology, 86, 1-16
- Flight Global Web Sitesi Resim galerisi – CFM 56 uçak motoru resmi, <http://www.flightglobal.com/AIRSPACE/photos/aeroenginesjetcutaways/cfm56-cutaway-5594.aspx>, Mayıs 2009
- Greenleaf Corporation Catalogue, 2006, Metalcutting tools and systems, 444 p.
- Ishtakov, E., 2004, Engineering formulas for metal cutting, Industrial Press, 209 p.
- Iscar Web Sitesi, Tornalamada ISO kesici uç tanımlama sistemi, <http://www.iscar.com/ProductLines/ProductLineSubDetail.asp/CountryID/1/ProductLineSubDetailID/24>, Aralık 2009
- İşbilir, F., 2006, Takım ömrünün sebep-sonuç diyagramları ile açıklanması, yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrüne etkili faktörlerin analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 85 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Lalwani, D.I., Mehta, N.K. and Jain, P.K., 2008, Experimental investigations of cutting parameters influence on cutting forces and surface roughness in finish hard turning of MDN250 steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 206, 167-179
- Lin, H.M., Liao, Y.S. and Wei, C.C., 2008, Wear behaviour in turning high hardness alloy steel by CBN tool, *Wear*, 264, 679-684
- Lu, C., 2008, Study of prediction of surface quality in machining process, *Journal of Materials Processing Technology*, 205, 439-450
- Kaszeta, R.W., What is film cooling?, Minnesota Üniversitesi Web Sitesi, <http://www.me.umn.edu/labs/tcht/measurements/what.html>, Mayıs 2009
- Köse, E., Kurt, A. and Şeker, U., 2008, The effects of the feed rate on the cutting tool stresses in machining of Inconel 718, *Journal of Materials Processing Technology*, 196, 165-173
- Kuşhan, M.C., 2009, Savunma sanayii malzemeleri ders notları, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 21 s.
- Mitutoyo Web Sitesi, “Mitutoyo Quick Scope Vision Measuring Microscope” kataloğu, <http://www.mitutoyo.com/pdf/Quickscope1836.pdf>, Mart 2010
- Nalbant, M., Altın, A. and Gökkaya, H., 2007, The effect of coating material and geometry of cutting tool and cutting speed on machinability properties of Inconel 718 super alloys, *Materials and Design*, 28, 1719-1724

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Neşeli, S., 2006, Tornalamada takım geometrisi ve tırlama titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 148 s.

Rahman, M., Seah, W.K.H. and Teo, T.T., 1997, The Machinability of Inconel 718, Journal of Materials Processing Technology, 63, 199-204

Remadna, M. and Rigal, J.F., 2006, Evolution during time of tool wear and cutting forces in the case hard turning with CBN inserts, Journal of Materials Processing Technology, 178, 67-75

Sandvik Coromant Application Guide, 2004, Aerospace Engine, 116 p.

Sandvik Coromant Application Guide, 2006, Heat Resistant Super Alloys, 128 p.

Sandvik Coromant El Kitabı, 2005, Talaşlı imalat teknik kılavuzu, 602s.

Smith, W.F., 2001, Mühendislik alaşımlarının yapı ve özellikleri : demir dışı alaşımlar, cilt II, Nobel Yayın Dağıtım, 602 s.

Taşlıyan, A., Acerer, M., Şeker, U., Gökaya, H. ve Demir, B., 2007, Inconel 718 süper alaşımının işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkisi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 22, No 1, 1-5

ÖZGEÇMİŞ

Adı – Soyadı : Dinçer Tali
Doğum Yeri ve Tarihi : Eskişehir, 1982
Medeni Hali : Evli (2009)
Orta Okul ve Lise : Eskişehir Kılıçoğlu Anadolu Lisesi (1993 - 2000)
Lisans : Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği
Bölümü (2000 – 2005)
Askerlik : Yapıldı. (2005 – 2006)

İş Tecrübesi

:

1. JMS A.Ş. – Kalite ve Mühendislik Departmanı (2006 – 2007)
2. Türk Demirdöküm Fabrikaları A.Ş. – Kalite Mühendisi (2007 – 2008)
3. Tusaş Motor Sanayi A.Ş. – Yan Sanayi Geliştirme Mühendisi (2008 -)

Hobiler

: Kitap okumak, müzik dinlemek, bateri çalmak, yüzmek,
bilim, havacılık, gezi, sinema, bilgisayar oyunları