

**TALAŞ KALDIRMA SIRASINDA OLUŞAN SICAKLIK VE TERMAL  
YORULMA FAKTÖRLERİNİN TAKİM AŞINMA DAVRANIŞLARINA  
ETKİSİ**

**Ümit YALÇIN**

**DOKTORA TEZİ  
MAKİNE EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEMMUZ 2008**

**ANKARA**

Ümit YALÇIN tarafından hazırlanan TALAŞ KALDIRMA SIRASINDA OLUŞAN SICAKLIK VE TERMAL YORULMA FAKTÖRLERİNİN TAKİM AŞINMA DAVRANIŞLARINA ETKİSİ adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç.Dr. İhsan KORKUT

Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Ulvi ŞEKER

Makine Eğitimi AD, Gazi Üniversitesi

Prof.Dr. Ahmet ÖZDEMİR

Makine Eğitimi AD, Gazi Üniversitesi

Doç.Dr. İhsan KORKUT

Makine Eğitimi AD, Gazi Üniversitesi

Doç.Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

Makine Eğitimi AD, Karabük Üniversitesi

Yrd.Doç.Dr. Kasım HABALI

Makine Eğitimi AD, Gazi Üniversitesi

Tarih: 07/07/2008

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onamıştır.

Prof Dr. Nermin ERTAN

Fen Bilimleri Enstitü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

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

Ümit YALÇIN

**TALAŞ KALDIRMA SIRASINDA OLUŞAN SICAKLIK VE TERMAL  
YORULMA FAKTÖRLERİNİN TAKIM AŞINMA DAVRANIŞLARINA  
ETKİSİ**

(Doktora Tezi)

Ümit YALÇIN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
Temmuz 2008**

**ÖZET**

Günümüzde kesici takım malzeme teknolojisinin önemi, işlenmesi güç malzemelerin yüksek kesme ve ilerleme hızlarında işlenebilmesine imkân sağlayacak şekilde her geçen gün daha da artmaktadır. Ekonomiklik ve çevre kirliliği dikkate alınarak kesme şartlarının iyileştirilmesi ve kesici takım ömründen en fazla faydanın sağlanabilmesi çabaları konunun güncelliğini korumaktadır.

Bu çalışma ile alın frezelemede kesme parametrelerine bağlı olarak, kesme bölgesinde oluşan sıcaklığın, takım aşınması ve termal yorulma çatlakları üzerindeki etkisinin tespit edilmesi hedeflenmiştir. Deneylerde kullanılan tezgah gücü sınırlayıcı bir faktör olsa da bazı parametrelerde azaltmaya gidilerek belirlenen kesme hızı (100, 110, 120, 130 m/min), ilerleme (0,05 – 0,075 – 0,1 mm/z), talaş derinliği (1,25 – 2 mm) ve kuru/ıslak kesme ortamları için deneyler gerçekleştirilmiştir. Kesme kuvvetlerinin ölçümünde Kistler 9257B Kuvvet Ölçer kullanılmıştır. Ayrıca talaş kaldırma sırasında oluşan sıcaklıklar ve yüzey pürüzlülükleri ölçülmüş, kesicideki aşınma mekanizması incelenmiştir. Sıcaklık ölçümünde iş parçasına gömülmüş ısı çift yöntemi kullanılmıştır. Deney sonuçlarından, artan kesme hızıyla birlikte sıcaklık değerlerinde de bir artış olduğu gözlenmiştir. İlerleme ve talaş derinliğine bağlı artan talaş kesitiyle

sıcaklıklar da artmıştır. Kesici takımlar üzerinde tarama elektron mikroskobu yardımıyla yapılan incelemelerde, yanal yüzeylerdeki yanak aşınmalarına ilave olarak, talaş yüzeyinde tabaka kalkması, mekanik yorulma çatlakları, termal yorulma çatlakları, bazı noktalarda çentik aşınmaları ve plastik deformasyona rastlanmıştır.

**Bilim Kodu** : 708.3.028  
**Anahtar Kelimeler** : Talaş Kaldırma, Frezeleme, Kesme Kuvvetleri, Kesme Sıcaklıkları, Termal Yorulma Çatlakları.  
**Sayfa Adedi** : 138  
**Tez Yöneticisi** : Doç.Dr. İhsan KORKUT

**THE EFFECTS OF CUTTING TEMPERATURE AND THERMAL FATIGUE  
FACTORS ON TOOL WEARS IN FACE MILLING OPERATIONS**

**(Ph. D. Thesis)**

**Ümit YALÇIN**

**GAZİ UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**July 2008**

**ABSTRACT**

**The recent cutting tool technology improves the capability of machining of wide range materials with the high cutting speed and the feed rates. Improving the cutting conditions and to reach maximum tool life will be always up to date, since the cutting tool economy and environmental sensitivity has growing importance.**

**In this thesis, the effects of cutting temperature on the thermal cracks and tool wears are evaluated in face milling operations according to cutting parameters. The experimental studies are carried out with the cutting parameters including, the cutting speeds (100, 110, 120, 130 m/min), the feed rates (0,05 – 0,075 – 0,1 mm/teeth), the cutting depths (1,25 – 2 mm) and dry/wet coolant conditions. Kistler 9257B dynamometer is used for measuring the cutting forces. The cutting temperatures, the surface roughness measured and tool wears are investigated. During the chip removal thermocouple which are embedded in the workpiece is used to measure the cutting temperature. According to experimental results, the cutting temperatures are increased while cutting speeds are increasing. The temperature is also increased with the inclined metal removal rate that depends on the feed rate and the cutting depth. In addition to flank wear, some inspection has been carried out with scanning electron microscope for the tool deteriorations. It is concluded that thermal cracks,**

**mechanical fracture on tool face, some chipping, flaking, flank wears and plastic deformations has been occurred.**

**Science Code : 708.3.028**  
**Key Words :Chip Removal, Milling, Cutting Forces, Cutting Temperatures, Thermal Cracks.**  
**Page Number : 138**  
**Supervisor : Assoc.Prof.Dr. İhsan KORKUT**

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde her türlü maddi manevi desteğini esirgemeyen, değerli görüş ve önerileriyle beni yönlendiren, Danışmanım Sayın Doç.Dr. İhsan KORKUT'a ve Sayın Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e teşekkürü bir borç bilirim.

Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölüm Başkanlığı ve Talaşlı Üretim Anabilimdalı Başkanlığı'na bağlı atölye ve laboratuvarları kullanma konusunda gösterdikleri yardımlarından dolayı Sayın Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN'e, cihazların kullanımı konusunda ve her vesilede yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Yakup TURGUT, Arş. Gör. Mustafa GÜNAY ve Arş. Gör. Alaattin KAÇAL'a, ayrıca bu çalışmayı 07/2005-02 proje kodu ile destekleyen Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler Birimi'ne teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR .....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ .....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
3. KURAMSAL TEMELLER.....	17
3.1. Kesme Kuvvetler.....	17
3.1.1. Kesme modelleri .....	17
3.1.2. Talaş açısının önemi ve takım geometrisinde talaş açısı .....	20
3.2. Talaş Kaldırmada Oluşan Isı .....	21
3.2.1. Sıcaklık dağılımı .....	24
3.3. İşlenebilirlik .....	31
3.3.1. İş Parçası malzeme özelliklerinin etkisi .....	34
3.3.2. İşlenebilirliği etkileyen diğer malzeme özellikleri .....	39
3.4. Takım Aşınması .....	43
3.4.1. Aşınma mekanizmaları .....	44
3.4.2. Takım aşınma tipleri ve miktarlarının belirlenmesi.....	47
3.4.3. Takım aşınmasının kontrolü .....	58
3.4.4. Aşırı aşınmanın önlenmesi .....	61

	<b>Sayfa</b>
4. MATERYAL VE METOT .....	63
4.1. Deney Seti .....	63
4.1.1. Kullanılan takım tezgahı .....	63
4.1.2. Kuvvet ölçümü .....	64
4.1.3. İş parçası bağlama kalıbı .....	65
4.1.4. Sıcaklık ölçümü .....	65
4.1.5. Kesici takım ve takım tutucu .....	68
4.1.6. İş parçası .....	69
4.1.7. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı .....	69
4.1.8. Soğutma sıvısı .....	70
4.1.9. Ph metre .....	70
4.1.10. Tarama elektron mikroskobu (SEM) .....	70
4.2. Deneylerin Yapılışı .....	71
4.3. Deney Tasarımı ve Ölçümler .....	73
5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA .....	75
5.1. Kuvvet Ölçüm Sonuçları .....	75
5.2. Sıcaklık Ölçüm Sonuçları .....	80
5.3. Yüzey Pürüzlülüğü .....	85
5.4. Takım Kötüleşmesi .....	94
5.4.1. Yanak Aşınması .....	94
5.4.2. Mekanik Yorulma Çatlakları .....	94
5.4.3. Termal Yorulma Çatlakları .....	103
5.4.4. Plastik Deformasyon .....	105

	<b>Sayfa</b>
5.4.5. Bölgesel Çıtlamalar .....	109
5.4.6. Tabaka Kalkması .....	110
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	111
KAYNAKLAR .....	115
EKLER .....	120
EK-1 Kuru ve Islak Kesme Şartları için Takım Uç Aşınmaları .....	121
EK-2 İş parçası Malzeme Test Raporu .....	127
EK-3 İş Parçası Bağlama Kalıbı .....	128
EK-4 İş Parçası Bağlama Kalıbı Montajı .....	129
EK-5 Deney Numuneleri .....	130
EK-6 Sıcaklık Veri Toplama Cihaz Özellikleri .....	131
EK-7 Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı Teknik özellikleri .....	132
EK-8 Ölçülen Kesme Kuvvet ve Moment Değerleri .....	133
EK-9 Ölçülen Sıcaklık Değerleri .....	135
EK-10 Deneylerde Elde Edilen Ortalama Yüzey Pürüzlülük Değerleri (Ra).....	136
EK-11 Ölçülen Takım Yanak Aşınma Miktarları .....	137
ÖZGEÇMİŞ .....	138

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Malzeme Özelliklerinin Artan Değerinin Genel İşlenebilirlik Etk.[47].	39
Çizelge 3.2. Takım Kötüleşmesinin Ölçülmesi ve Değerleri [53].....	60
Çizelge 4.1. Kullanılan Takım Tezgahı Özellikleri .....	63
Çizelge 4.2. Kuvvet Ölçer ve Yükseltici Teknik Özellikler .....	64
Çizelge 4.3. Isıl Çift Eleman Tipleri .....	66
Çizelge 4.4. Kullanılan Isıl Çift Özellikleri .....	67
Çizelge 4.5. Kullanılan Takım Tutucu Teknik Özellikleri .....	68
Çizelge 4.6. Ç 1050 (SAE 1050) İmalat Çeliği Alaşım Elemanları.....	69
Çizelge 4.7. HI 8014 Ph Metre Özellikleri .....	70
Çizelge 4.8. Tarama Elektron Mikroskopu Teknik Özellikleri.....	71
Çizelge 4.9. Kesme Parametreleri.....	73
Çizelge 4.10. Belirlenen Parametreler .....	74
Çizelge 5.1. Mekanik Yorulma Çatlakları Görülen Deneylerde Kesme Paramet.....	97
Çizelge 5.2. Talaş Derinliği 1.25 mm ve Kuru Kesme İçin Talaş Kaldırma Kuv. ....	97
Çizelge 5.3. Talaş Derinliği 2 mm ve Kuru Kesme İçin Talaş Kaldırma Kuvveti	102
Çizelge 5.4. Talaş Derinliği 2 mm ve Islak Kesme İçin Talaş Kaldırma Kuvveti...	103
Çizelge 5.5. Termal Yorulma Görülen Deneylere Ait Kesme Parametreleri .....	103
Çizelge 5.6. Plastik Deformasyon Görülen Deneylere Ait Kesme Parametreleri....	106
Çizelge 5.7. Çıtlamalar Görülen Deneylere Ait Kesme Parametreleri .....	109
Çizelge 5.8. Tabaka Kalkması Görülen Deneylere Ait Kesme Parametreleri .....	110

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Talaş uzunluğu (takım ömrü) ve kesme hızı arasındaki ilişki [6].....	3
Şekil 2.2. Yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrü arasındaki ilişki [6]. .....	4
Şekil 2.3. Simetrik ve asimetrik yüzey frezeleme [7]. .....	5
Şekil 2.4. Simetrik ve asimetrik frezelemede kesme kuvveti yön değişimi [7].....	6
Şekil 2.5. Sıcaklık ölçmek için deney setinin hazırlanması [9]. .....	8
Şekil 2.6. Soğutulmuş basınçlı havanın hazırlanması [9]. .....	8
Şekil 2.7. Farklı kesme ortamlarındaki takım aşınmaları [9].....	9
Şekil 3.1. Dik kesmenin şematik olarak gösterimi [5]. .....	18
Şekil 3.2. Dik kesmede oluşan kuvvetler [5]. .....	19
Şekil 3.3. Talaş kesitinin yanaşma açısı ile ilişkisi [47]. .....	19
Şekil 3.4. Kesme gücü (P) ile oluşan ısı bölgesi [47]. .....	22
Şekil 3.5. Metal işlemede ısı dağılımı [49]. .....	23
Şekil 3.6. Sıcaklığın kesme hızı (V) ve ilerleme (f) ye bağlı olarak değişmesi [49].	24
Şekil 3.7. Metal işlemede oluşan yüksek sıcaklıkların dağılım eğrileri (izotermik dağılım) [49].....	25
Şekil 3.8. Düşük karbonlu çeliğin yüksek hızlarda işlenmesinde ısı dağılımı [50]... 26	26
Şekil 3.9. Farklı kesme hızlarında, düşük karbonlu çeliğin 30 s süreyle işlenmesi sırasında kesici takımında, oluşan sıcaklık dağılımları ve kesici takım yapısındaki değişiklikler [50]. .....	27
Şekil 3.10. Dökme demir malzemenin sabit kesme hızı ve farklı ilerlemelerde işlenmesi esnasında kesici takım üzerinde oluşan sıcaklık dağılım eğrileri [50]. .....	28
Şekil 3.11. Sıcaklığın kesme hızı ve ilerleme ile değişmesi (düşük karbonlu çelik için) [50]. .....	29

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.12. Yüksek iletkenliğine sahip bakırın sabit ilerleme ile (0,22 mm/dev.) Farklı hızlarda işlenmesi sırasında takımın ısı dağılımları [50].	29
Şekil 3.13. Düşük karbonlu çeliğin sert metal uçlu kesici takımla, farklı kesme hızları ve ilerlemelerde işlenmesiyle sıcaklıktaki değişimler [50].	30
Şekil 3.14. Talaş kaldırma sırasında sıcaklık ve basma gerilmesi dağılımı [50].	30
Şekil 3.15. Malzeme gruplarında karşılaşılan talaş biçimleri [49].	33
Şekil 3.16. Malzeme gruplarına göre takım talaş açısının işlenebilirliğe etkisi [52].	34
Şekil 3.17. Malzemelerin temel mekanik özelliklerinin karbon muhtevası ile değişimi [50].	35
Şekil 3.18. Çekme dayanımı (TS)' ye karşılık, sertlik (HB) ve süneklikteki (D) değişim [49].	36
Şekil 3.19. Termal iletkenlik (TC) ile işlenebilirlik değeri (M) arasındaki ilişki [49]	36
Şekil 3.20. Temel aşınma mekanizmalarının davranışları [49].	44
Şekil 3.21. İnce paso tornalamada kullanılan bir değiştirilebilir uçta görülen yanak aşınmaları (abrasif aşınma mekanizması) [49].	45
Şekil 3.22. Aşınma konumları kodlama sistemi [53].	48
Şekil 3.23. Düzenli yanak aşınması [53].	48
Şekil 3.24. Düzensiz yanak aşınması [53].	49
Şekil 3.25. Bölgesel yanak aşınma tipleri [53].	50
Şekil 3.26. Krater aşınması [53].	51
Şekil 3.27. Basamak tipi yüzey aşınması [53].	51
Şekil 3.28. Düzenli çıtlama [53].	52
Şekil 3.29. Düzensiz çıtlama [53].	52
Şekil 3.30. Bölgesel çıtlama [53].	53
Şekil 3.31. Termal çatlaklar [53].	53

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.32. Paralel çatlaklar [53].	54
Şekil 3.33. Düzensiz çatlaklar [53].	54
Şekil 3.34. Tabaka kalkması [53].	55
Şekil 3.35. Kesici kenarda oluşan BUE .	55
Şekil 3.36. Plastik deformasyon [53].	57
Şekil 3.37. Takım aşınma son noktası [53].	57
Şekil 3.38. Kesici takım aşınması analizleri.	58
Şekil 3.39. Çeşitli aşınma tipleri ve bunların analizinde esas alınan boyutlar [1].	58
Şekil 3.40. Yanak aşınması ve analizi için bölgeler [1, 46].	59
Şekil 3.41. Kesme parametrelerine (V, a, f) bağlı olarak aşınmadaki artma eğilimi [50].	61
Şekil 3.42. Isıya bağlı artan sıcaklık değerlerine bağlı olarak değişik aşınma mekanizmalarının oluşma eğilimleri [50].	62
Şekil 4.1. Kistler 9257B Kuvvet Ölçer ve 5070A Yükseltici.	64
Şekil 4.2. Sıcaklığa bağlı ısı çift üzerinde oluşan EMF (mV) [50].	66
Şekil 4.3. Deneyde kullanılan K Tipi ısı çifti.	67
Şekil 4.4. Deneylerde kullanılan takım tutucu.	68
Şekil 4.5. Kuvvet ölçer, kalıp ve iş parçası.	71
Şekil 4.6. Isıl Çiftlerin Bağlanması.	72
Şekil 4.7. Deney düzeneğinin şematik tanıtımı.	73
Şekil 5.1. Kesme kuvvetleri doğrultuları.	75
Şekil 5.2. Alın frezelemede talaş kaldırma kuvvetleri [47].	76
Şekil 5.3. Kesme hızına bağlı talaş kaldırma kuvveti değişimi, talaş derinliği 1,25 mm - kuru kesme.	77

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.4. Kesme hızına bağlı talaş kaldırma kuvveti değişimi, talaş derinliği 2 mm - kuru kesme. ....	78
Şekil 5.5. Kesme hızına bağlı talaş kaldırma kuvveti değişimi, talaş derinliği 1,25 mm - sulu kesme. ....	79
Şekil 5.6. Kesme hızına bağlı talaş kaldırma kuvveti değişimi, talaş derinliği 2 mm - sulu kesme. ....	80
Şekil 5.7. Kesme hızına göre sıcaklık değişimleri, talaş derinliği 1,25 mm – kuru kesme. ....	81
Şekil 5.8. Kesme hızına göre sıcaklık değişimleri, talaş derinliği 2 mm – kuru kesme. ....	81
Şekil 5.9. Kesme hızına göre sıcaklık değişimleri, talaş derinliği 1,25 mm – sulu kesme. ....	83
Şekil 5.10. Kesme hızına göre sıcaklık değişimleri, talaş derinliği 2 mm – sulu kesme. ....	84
Şekil 5.11. Kesme hızı ve ilerlemeye göre pürüzlülük değerleri. ....	86
Şekil 5.12. Artan ilerleme ile yüzey pürüzlülüğü değişimi. ....	88
Şekil 5.13. İlerleme 0,050 mm/z için kuru ıslak şartlarda yüzey pürüzlülüklerindeki değişim. ....	91
Şekil 5.14. İlerleme 0,075 mm/z için kuru ıslak şartlarda yüzey pürüzlülüklerindeki değişim. ....	92
Şekil 5.15. İlerleme 0,100 mm/z için kuru ıslak şartlarda yüzey pürüzlülüklerindeki değişim. ....	93
Şekil 5.16. Takım uç görüntüsü (2 Nolu Deney). ....	95
Şekil 5.17. Takım uç görüntüsü (3 Nolu Deney). ....	95
Şekil 5.18. Takım uç görüntüsü (26 Nolu Deney). ....	96
Şekil 5.19. Takım uç görüntüsü (7 Nolu Deney). ....	97
Şekil 5.20. Takım uç görüntüsü (9 Nolu Deney). ....	98
Şekil 5.21. Takım uç görüntüsü (16 Nolu Deney). ....	98

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.22. Takım uç görüntüsü (17 Nolu Deney). .....	99
Şekil 5.23. Takım uç görüntüsü (29 Nolu Deney). .....	99
Şekil 5.24. Takım uç görüntüsü (30 Nolu Deney). .....	100
Şekil 5.25. Takım uç görüntüsü (33 Nolu Deney). .....	100
Şekil 5.26. Takım uç görüntüsü (42 Nolu Deney). .....	101
Şekil 5.27. Takım uç görüntüsü (45 Nolu Deney). .....	101
Şekil 5.28. Takım uç görüntüsü (20 Nolu Deney). .....	102
Şekil 5.29. Takım uç görüntüsü (9 Nolu Deney). .....	103
Şekil 5.30. Takım uç görüntüsü (22 Nolu Deney). .....	104
Şekil 5.31. Takım uç görüntüsü (24 Nolu Deney). .....	104
Şekil 5.32. Takım uç görüntüsü (32 Nolu Deney). .....	105
Şekil 5.33. Takım uç görüntüsü (10 Nolu Deney). .....	106
Şekil 5.34. Takım uç görüntüsü (35 Nolu Deney). .....	107
Şekil 5.35. Takım uç görüntüsü (39 Nolu Deney). .....	107
Şekil 5.36. Takım uç görüntüsü (44 Nolu Deney). .....	108
Şekil 5.37. Takım uç görüntüsü (47 Nolu Deney). .....	108
Şekil 5.38. Takım uç görüntüsü (47 Nolu Deney). .....	109
Şekil 5.39. Takım uç görüntüsü (41 Nolu Deney). .....	110

## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
$j$	Takım İş Parçası Bağlı Konumu
$a$	Talaş Derinliği, mm
$a'$	Çıkan Talaş Kalınlığı, mm
$\phi$	Talaş Kayma Düzlemi Açısı, ( $^{\circ}$ )
$\alpha$	Serbest Kenar Boşluk Açısı, ( $^{\circ}$ )
$\beta$	Sürtünme Açısı, ( $^{\circ}$ )
$\gamma$	Talaş Açısı, ( $^{\circ}$ )
L	Boy, mm.
A	Kesit Alanı, mm <sup>2</sup>
E	Elastikiyet Modüllü, N/cm <sup>2</sup>
f	İlerleme, mm/z – mm/min
V	Kesme Hızı, m/min
F <sub>c</sub>	Esas Kesme Kuvveti (Dik Kesme), N
F <sub>p</sub>	Radyal Kuvvet (Dik Kesme), N
F <sub>s</sub>	Kayma Düzlemi Boyunca Etki Eden Kuvvet (Dik Kesme), N
F <sub>l</sub>	Sürtünme Kuvveti (Dik Kesme), N
F <sub>R</sub>	F <sub>c</sub> ile F <sub>p</sub> 'nin Bileşke Kuvveti, (Dik Kesme)N
K <sub>r</sub>	Kesici Takım Yanaşma Açısı, ( $^{\circ}$ )
b	Yanaşma Açısına Bağlı Talaş Derinliği, mm
h	Yanaşma Açısına Bağlı Talaş Kalınlığı, mm
Q <sub>ss</sub>	Kayma (yığılma) Bölgesinde Oluşan Isının Sıcaklığı, $^{\circ}$ C
QR $\gamma$	Talaş yüzeyinde Oluşan Isının Sıcaklığı, $^{\circ}$ C
QR $\alpha$	Kesici kenarın serbest tarafında (serbest yüzeyde) Oluşan Isının Sıcaklığı, $^{\circ}$ C

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
P	Kesme Kuvveti, N
F	Talaş Kaldırma Kuvveti, N
F <sub>x</sub>	Ortalama Kesme Kuvveti, N
F <sub>n</sub>	Normal Kuvvet, N
F <sub>y</sub>	İlerleme Kuvveti, N
F <sub>z</sub>	Radyal Kuvvet, N

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
AISI	Amerikan Çelik ve Demir Enstitüsü (American Institute of Steel and Iron)
BUE	Kesici Kenarda Malzeme Birikmesi (Built-Up Edge)
CBN	Kübik Boron Nitrid (Cubic Boron Nitride)
CNC	Bilgisayarlı Sayısal Denetim (Computer Numerical Control)
EMF	Elektro Motor Kuvveti (Electro Motor Force)
HSTR	Yüksek Dayanımlı Isıl Direnç (High Strength Thermal Resistance)
ISO	Uluslararası Standardlar Organizasyonu (International Standards Organization)
M	İşlenebilirlik (Machinability)
SEM	Tarama Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
PCBN	Çoklu Kübik Boron Nitrid (Poly Cubic Boron Nitride)
TC	Termal İletkenlik (Thermal Conductivity)

## 1. GİRİŞ

Günümüzde metal kesme işlemleri yüksek hassasiyetler ve verimlilik gerektirmektedir. Bu amaçla imalat sektöründe işleme cinsine ve işlenen malzeme yapısına uygun kesici takımın seçilmesi, bu seçilen takım ile en uygun kesme parametrelerini kullanarak verimli çalışma esas haline gelmiştir. Artan ekonomik rekabet ve teknolojik gelişmeler, kesme esnasında oluşan sıcaklıklar, ısı alış verişi, kesme kuvvetleri, takım aşınmaları, malzeme yüzeyindeki pürüzlülükler gibi tüm parametrelerin iyi bilinmesini gerektirmektedir.

Kesme şartlarının ve parametrelerinin doğru seçilmesi imalata takım ömrünün artması olarak yansımaktadır. İşlenen malzemenin boyut ve yüzey kalitesindeki kötüleşmeler, kesme kuvvetlerindeki değişimler, kesme bölgesindeki sıcaklık artışları kesici takım kötüleşmesi ile sonuçlanır. Bu açıdan kesici takım aşınması, iş parçası ile kesici kenar arasında oluşan yüksek sıcaklık, sürtünme ve yüklerin bir sonucudur [1, 2]. Metal kesme esnasında birçok aşınma mekanizması gerçekleşmektedir. Bunlar Abrasyon, Difüzyon, Oksidasyon, Yorulma ile Aşınma ve Adhezyon (yapışma) aşınmasıdır [3-4]. Bunlardan yorulma aşınması, genellikle termo –mekanik karışımı yorulmaların bir sonucudur. Ani sıcaklık değişimleri ve kesikli talaş kaldırma dolayısıyla kesme kuvvetlerindeki yüklenme ve boşalmalar, kesici kenarlarda kırılmalara ve çatlaklara sebep olur. Frezelemede olduğu gibi belirli aralıklarla gerçekleşen kesme işlemi, kesici kenarın parça ile temasında darbelerin oluşmasına ve tekrar eden ısınma ve soğumalara neden olur. Bazen kesme kuvvetlerinin yüksek olması nedeniyle, kesici kenarda sadece mekanik yorulmalar bile takım kötüleşmesine sebep olabilir.

Bir kesici takımın ömrü, belirli kriterlere ulaşmak için gerekli kesme zamanı olarak tanımlanır. Deneysel olarak yapılan çalışmalarda takım kötüleşmesini tespit edebilmek için doğrudan ölçüm metodu ya da dolaylı metotlar kullanılır.

Doğrudan ölçümde kesici takım kenar ve yüzeylerindeki aşınmalar ölçülerek kötüleşmenin miktarı belirlenmektedir. Dolaylı metotlarda ise işlenen yüzeyin yüzey

kalitesinin değişmesi, kesme kuvvetlerinin büyümesi sonucu tezgâh ve iş parçasındaki kötüleşmeler ve işleme sıcaklığının değişmesinden faydalanarak kesici takım ömrü belirlenmeye çalışılır [5]. Ayrıca yüzey frezelemede takım ömrü testleri ISO 8688 ile standartlaştırılmıştır.

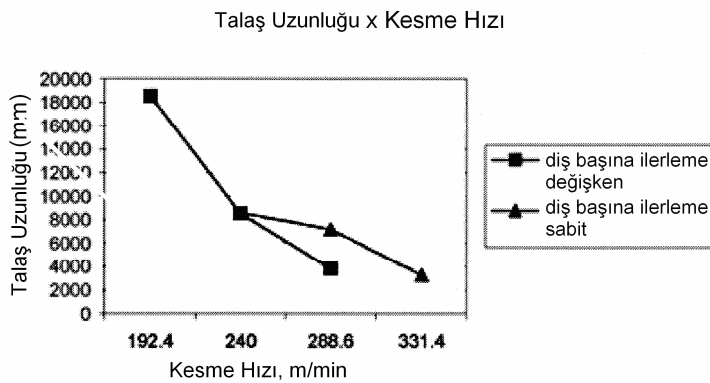
Özellikle yüzey frezeleme işlemlerinde kesici takımlardan en etkili şekilde faydalanmak, en uygun kesme şartlarını belirleyerek, kesici takım ömrünün arttırılmasıyla sağlanacaktır. Bu çalışma ile yüzey frezelemede talaş kaldırma sırasında oluşan sıcaklık ve termal yorulma faktörlerinin takım aşınma davranışlarına ve termal yorulma çatlaklarına etkisinin deneysel olarak araştırılması hedeflenmiştir. Bu hedefler doğrultusunda kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve soğutma sıvısı kullanılmasına göre kesici takım üzerinde oluşan kesme kuvvetleri ve aşınma ile birlikte kesme bölgesinde oluşan sıcaklıklar ve yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür.

Metal kesmede verimliliğin arttırılması, kesici takım ömrünün en uygun kullanılmasını sağlayacak ve ekonomik işlemeye yol açacaktır. Ayrıca günümüzde artan öneme sahip çevre kirliliği açısından ve ciddi bir maliyet unsuru olarak soğutma sıvılarının takım ömrüne olumlu/olumsuz etkilerinin bu çalışma kapsamında araştırılması da gerçekleştirilmiştir. Genel anlamda talaşlı imalatta soğutma sıvısı kullanımının talaş kaldırma işlemi üzerinde olumlu etkileri olacağı düşünülmektedir. Fakat yapılan bu araştırma kapsamında, soğutma sıvısı kullanımının verimlilik açısından fayda sağlayıcı önemli bir parametre olmadığı görülmektedir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

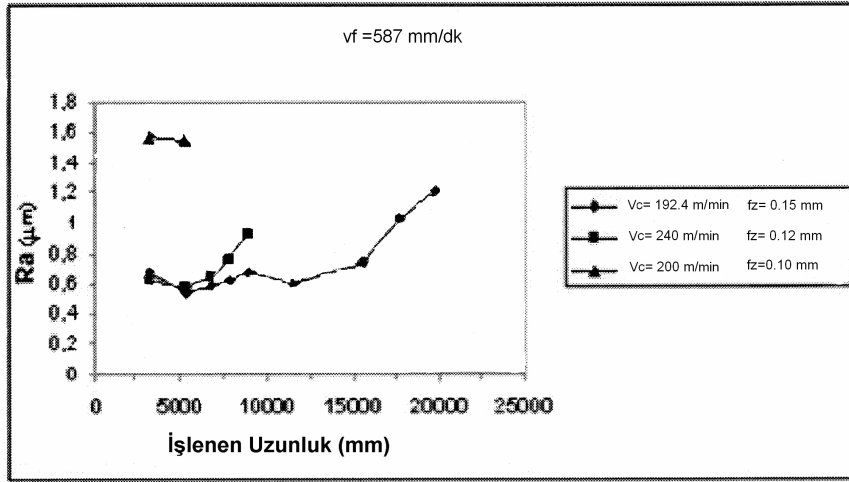
Bu bölümde özellikle frezelemede kesme parametrelerinin takım ömrü ve takım performansına etkilerini araştıran çalışmalar ele alınmıştır. İncelenen araştırmalarda kesme parametrelerinin kesme sıcaklıkları, kesme kuvvetleri, aşınmalar, yüzey pürüzlülüklerine etkileri ve bunlar arasındaki ilişkiler üzerinde durulduğu görülmektedir. Bazı çalışmalarda bu ilişkilerden bazılarının modellenmesinin ele alındığı görülmüştür.

Diniz, Filho ve Caldeirani, düz yüzeylerde yüzey frezelemede kesme parametreleri, kesme hızı, ilerleme hızı ve diş başına ilerlemenin takım ömrüne ve iş parçası yüzey kalitesine etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışmalarının birinci aşamasında ilerleme hızı sabit tutularak, diş başına ilerlemenin artmasına neden olacak şekilde kesme hızı değiştirilmiştir. İkinci aşamada ise kesme hızı ve ilerleme diş başına ilerleme sabit kalacak şekilde değiştirilmiştir. Takım yanak aşınması ve yüzey pürüzlülüğü işleme zamanına göre ölçülmüştür. Farklı kesme parametreleri ile yaptıkları deneylerde, iki temel sonuca ulaşmışlardır; a) Kesme hızının takım ömrünü doğrudan etkilediği, b) İş parçası yüzey pürüzlülüğündeki artışın esas kesici kenardaki takım aşınması artışıyla yakından ilişkili olmadığını tespit etmişlerdir [6]. Çalışmadan elde edilen deneysel sonuçlara göre, takım ömrü (talaş kaldırma uzunluğu, mm) ve kesme hızı (m/min) arasındaki ilişki, diş başına ilerlemenin değişmesi ve sabit olması durumlarına göre Şekil 2.1'de verilen grafikte ifade edilmektedir.



Şekil 2.1. Talaş uzunluğu (takım ömrü) ve kesme hızı arasındaki ilişki [6].

Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) ile dış başına ilerleme ve kesme hızının değişken olduğu durumda Takım Ömrü (işleme uzunluğu, mm) arasındaki ilişki grafiği Şekil 2.2’de verilmiştir.



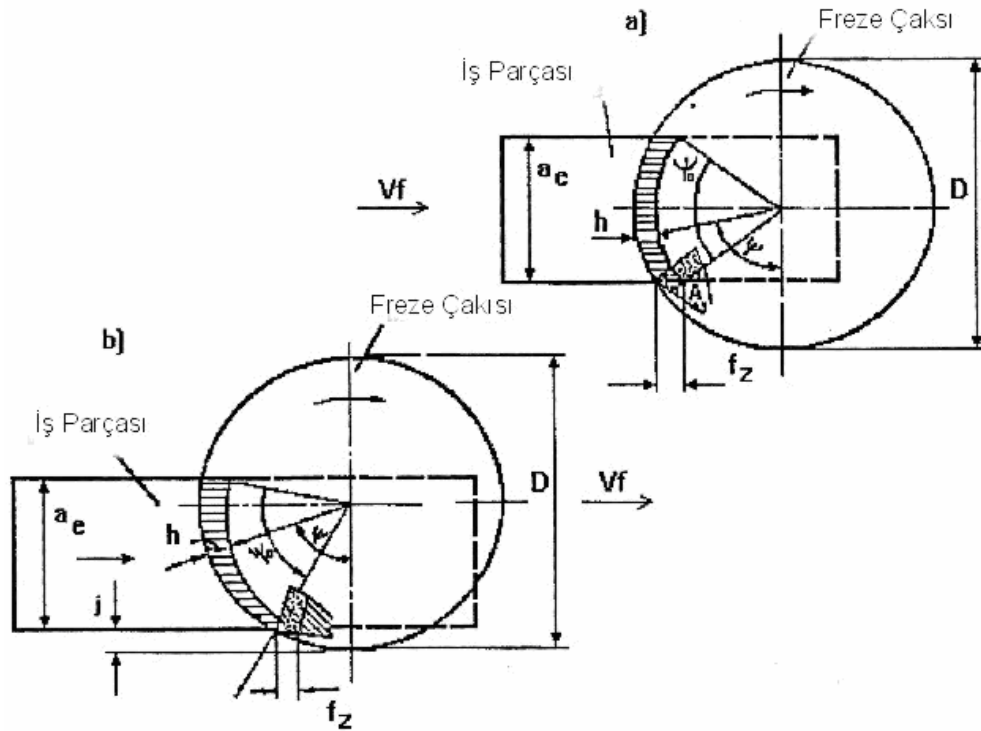
Şekil 2.2. Yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrü arasındaki ilişki [6].

Çalışmanın [6] genel sonuçları;

- Kesme hızındaki değişimler takım ömrünü etkileyen esas faktördür. Dış başına ilerleme veya ilerleme hızındaki değişimler bunu etkilememektedir.
- Kesici kenarların iş parçasına giriş frekansı takım aşınması ve takım ömrünü etkileyen en önemli faktördür.
- Ortalama yüzey pürüzlülüğü için bulunan değerler umulan değerlerin daima altında olmuştur.

Diğer taraftan, esas kesici kenardaki aşınmanın iş parçası yüzey pürüzlülüğü ile hiçbir ilişkisi olmadığı tespit edilmiştir. Zaten küçük değerde olan, yüzey pürüzlülüğünün takım ömrü boyunca artması, yardımcı kesici kenardaki aşınma sebebiyledir. Bu nedenle iş parçası yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü sonunda bile düşük olarak gerçekleşmiştir.

Diniz ve Filho yapmış oldukları diğer bir çalışmada, yüzey frezelemede takım ve iş parçası bağıl konumlarının takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini araştırmışlardır [7]. Yüzey frezeleme, geniş ve düz yüzeylerin işlenmesinde endüstriyel talaş kaldırma uygulamalarında yaygın kullanılmaktadır. Bazı araştırmalarda [7, 8, 9, 10] görülebileceği gibi, bu tür talaş kaldırmada her bir kesici kenarın kesikli talaş kaldırmasından dolayı takım kötüleşmesini daha iyi anlayabilmek için çalışmalar yapılmıştır. Adı geçen literatürde, iş parçası ve takımın birbirlerine göre bağıl konumlarının nasıl olması gerektiği ve iş parçası genişliği / takım çapı oranının takımı nasıl etkilediği incelenmiştir. Ancak yapılan çalışmalarda, takım iş parçası bağıl konumlarının takım ömrüne ve iş parçası yüzey pürüzlülüğüne etkisi nicel olarak verilmemiştir.

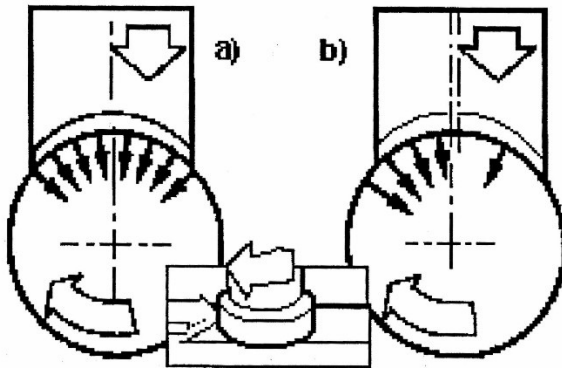


Şekil 2.3. Simetrik ve asimetric yüzey frezeleme [7].

- a) Simetrik
- b) Asimetrik

Şekil 2.3, simetrik ve asimetric frezelemeyle ilgili parametreleri vermektedir. Şekil 2.4 'de ise iş parçası takım bağıl konumunun kesme kuvvetlerine etkisi gösterilmiştir. Aynı kesme şartları altında simetrik kesme, daha düşük kesme kuvveti ( $1\text{mm}^2$  talaş kesitini kesmek için gerekli teğetsel kuvvet) gerektirmektedir. Deneyler farklı bağıl

konumlarda yapılmış ve takım aşınması ile yüzey pürüzlülüğü işleme zamanına göre ölçülmüştür. İlave olarak takımdaki aşınmayı değişik aşınma safhalarında fotoğraflamışlar ve takım çapı ucundan iş parçası başlangıcına olan mesafeyi ölçen bir parametrenin artmasıyla birlikte takım ömrünün azaldığını tespit etmişlerdir. Diniz ve Filho bu çalışmayı 15 kW gücündeki bir CNC tezgah üzerinde; P25 kalite grubunda ve ISO kodu SEKR1204AZ-WM olan Karbür Uç ve R260 22-125-157 (talaş açısı  $9^\circ$ ) olan takım tutucu ile yapmışlardır. Takım 8 ağızlı ve 125 mm çapındadır. Yanak Aşınması Optik bir Mikroskop ile ölçülmüş ve Sayısal Tarama Elektron Mikroskobu (Dig.Scan.Electrn.Mic-DSEM) ile bu aşınmalar fotoğraflanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçümünde ise Mitutoyo portatif ölçüm cihazı kullanmışlardır. Malzeme olarak, 520 mm uzunluğunda 87.5 mm genişliğinde AISI 1045 çeliği kullanmışlardır. J (Şekil 2.3) parametresine bağlı olarak takım iş parçası bağıl konumu değiştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.4. Simetrik ve asimetrik frezelemede kesme kuvveti yön değişimi [7]

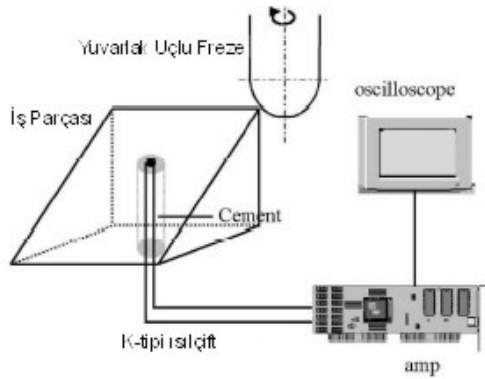
Diniz ve Filho bu çalışma sonucunda;

- Takım ömrü açısından küçük j değerlerine sahip Asimetrik kesmenin önerilebileceğini,
- Büyük j değerlerinin kesici kenar çatlamasını arttırması nedeniyle takım ömrünü azalttığını,
- İş parçası takım bağıl konumunun takım ömrünün başından itibaren yüzey pürüzlülüğünü etkilemediğini,

- Bulunan ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin umulanın altında olduğunu,
- Esas kesici kenardaki aşınmanın yüzey pürüzlülüğüyle ilişkili olmadığını, yüzey pürüzlülüğündeki artmanın yardımcı kesici kenardaki aşınmadan kaynaklandığını, tespit etmişlerdir.

Liu, Z.Q. ve arkadaşları, dökme demir, temperlenmiş karbon çeliği ve sertleştirilmiş karbon çeliğinin, PCBN, seramik, kaplanmış karbür ve ince dokulu karbür takımlarla yüksek hızlı işlenmesi esnasında takım performanslarını çalışmışlardır. Takım aşınmaları mikroskop yardımıyla tespit edilmiştir. Araştırma sonuçları, farklı iş parçası takım malzemelerine göre aşınma tiplerinin değiştiğini ortaya koymuştur. Yüksek kesme sıcaklıkları ve kesme kuvvetleri nedeniyle oluşan ve en çok görülen aşınmalar talaş yüzeyi aşınması, yanak aşınması, çıtlama, çatlaklar, yapışma, difüzyon ve kimyasal aşınmalardır. Yüksek hızlı işlemede takım malzemelerinin en önemli değerlendirme unsurları, yüksek ısıl direnç, yüksek aşınma direnci ve kaplama malzemelerinin kimyasal kararlılığıdır [8].

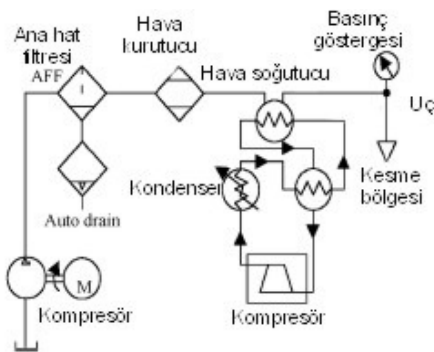
Kim S.W., Lee, Kim J.S. ve Jung “Yüksek Hızda Küresel Uçlu Parmak Frezelemede Termal Karakteristiklerin Değerlendirilmesi” adlı çalışmalarında, 210 m/min. kesme hızında takım ömrünü arttıracak en uygun kesme şartlarını bulmaya yönelik deneysel bir çalışma yapmışlardır [9]. Kuru, ıslak ve -9 °C ve -35 °C’de soğutulmuş basınçlı hava ortamlarının kesmeye etkileri araştırılmıştır. Kesme bölgesindeki sıcaklığı doğrudan ölçmek amacıyla ısıl çift iş parçasına gömülmüştür (Şekil 2.5). Kesme sıcaklıkları sırasıyla, kuru, ıslak, -9 °C ve -35 °C de soğutulmuş basınçlı hava ortamlarında; 790, 350, 540 ve 450 °C olmuştur. Küresel uçlu parmak freze için, -9 °C ’de soğutulmuş basınçlı hava ortamı en iyi takım ömrünü sağlamıştır. Her ne kadar ıslak ortam en iyi soğutmayı sağlasa da en kötü takım ömrünü gerçekleştirmiştir [9]. Bu çalışma, maksimum gücü 22 kW, devir sayısı 15-20000 dev/min ve ilerleme hızı 50 m/min ‘ya kadar ulaşabilen yüksek hızlı Dik İşleme Merkezinde yapılmıştır. Kesme hızı 210 m/min civarında kullanılmıştır. Şekil 2.5 ’de gösterildiği gibi iş parçası ile kesici takım arasında 45° lik bir tırmanma açısı verilmiştir. İş parçası sertliği STD11 (42 HR<sub>c</sub>) olarak ölçülmüştür. Kullanılan kesici takım TiAlN kaplanmış Ø8 mm küresel uçlu karbür takımdır.



Şekil 2.5. Sıcaklık ölçmek için deney setinin hazırlanması [9].

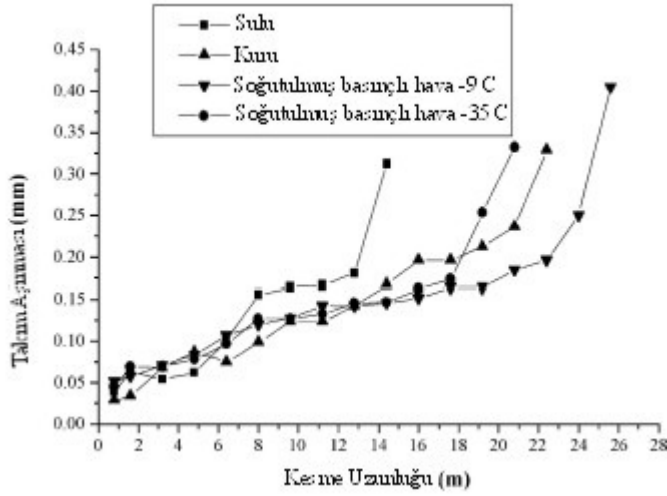
İş parçası sıcaklığı, parça içine 0,5 mm çapındaki deliğe yerleştirilmiş K-tipi ısı çifti (ölçme aralığı -200 – 1250 °C, çapı 0,076 mm) ile gerçekleştirilmiştir. Isıl çiftin iş parçasına yerleştirilmesinde, birleşme noktası yaklaşık 0,3 mm ve 1 mm boyundadır. Isıl çift iş parçasından porselen dolgu maddesi kullanılarak izole edilmiş ve iş parçası yüzeyinden 0,3 mm mesafeye yerleştirilmiştir. Yanak aşınmaları CCD fotoğraf makinası ve takımcı mikroskobu kullanılarak ölçülmüştür. Takım ömrü testleri, 0,3 mm yanak aşınması değerine ulaşıldığında bitirilmiştir.

Soğutulmuş hava 5 mm çapında bir ağızdan, kesme noktasından 10 mm uzaklıktan, püskürtme basıncı  $7,5 \text{ kg/cm}^2$  olacak şekilde uygulanmıştır. Şekil 2.6 soğutulmuş basınçlı havanın hazırlanmasını şematik olarak göstermektedir.



Şekil 2.6. Soğutulmuş basınçlı havanın hazırlanması [9].

Çalışma sonucunda ölçülen takım aşınması Şekil 2.7'de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Farklı kesme ortamlarındaki takım aşınmaları [9].

Bu çalışma sonucunda;

- Takım ömrünü arttırmak için en uygun kesme ortamı olarak soğutulmuş basınçlı hava ortamının tavsiye edilebileceği,
- Yuvarlak uçlu parmak freze ile Yüksek hızlı kesikli talaş kaldırmada, soğutma sıvısı veya düşük sıcaklıktaki soğuk hava ile soğutma, kuru işlemeye göre daha düşük takım ömrü göstermiştir.
- Islak şartlarda kesme sıcaklığı farklı kesme ortamlarına göre en düşük olsa bile, takım ömrü en kısa olmuştur.
- Kesme sıcaklıkları, kuru, ıslak, -9 °C ve -35 °C soğutma şartları için sırasıyla, 790, 350, 540 ve 450 °C olarak gerçekleşmiştir.

Sharman A. ve arkadaşları Inconel 718 malzemenin yüksek hızlı işleme yöntemiyle, kesme hızı yaklaşık 150 m/min değerlerinde TiAlN ve CrN kaplamalı tungsten karbür takımlarla işlemeyi ele almışlardır. Tespit ettikleri baskın aşınma, CrN kaplamayı büyük oranda etkileyen yapışma (adhesive) aşınmasıdır [10].

Richetti ve diğerleri çalışmalarında, çeliklerin alın frezelemede takma uç sayısının takım ömrüne etkilerini araştırmıştır. Çalışmada pratikte takım ömrü deneylerinde maliyetleri en aza indirmek için tek veya sadece birkaç kesici uçla deneylerin

yapıldığını belirtmekte ve AISI 1045 ve 8640 malzeme ile 1, 2, 3, 6 adet takma uç kullanılarak deneylerin gerçekleştirildiği belirtilmektedir. Deney sonuçları, takım tutucudaki takma uç sayısındaki azalmanın doğal sonucu olarak kaldırılan talaş miktarındaki azalma olduğu ve aynı diş başına ilerleme miktarlarında, takım ömrünün arttığını göstermiştir [11].

Gu ve diğerleri, “Kaplanmış ve Kaplanmamış Takma Uçlarda Takım Ömrü ve Aşınma Mekanizmaları” isimli çalışmalarında ön ısıtılmış 4140 çeliğinin yüzey frezelenmesi için sistematik bir çalışma yapmışlardır. Kaplanmamış C5 sementit karbür ve TiN, TiAlN, ZrN kaplamalı takma uç yanak aşınması değerlendirilmiştir. Bu çalışmada takım ömrü, kesme hızı ve ilerlemenin bir fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. Yapışma, aşınma, mekanik kırılmalar ve termal çatlaklar tanımlanmış ve aşınma haritalarıyla sunulmuştur. TiN ve TiAlN kaplamalar takım ömründe belirgin bir artış sağlamıştır [12].

Yan W. ve arkadaşları ise frezelemede aşınma için frezeleme kuvvetlerini esas alan bir metot üzerinde çalışmışlardır. CNC tezgahta dik kesme kuvvetleri  $F_x$  ve  $F_y$  ‘yi iş parçası altına yerleştirdikleri bir Kuvvet Ölçer (Kistler 9265A2) ve Kistler 5006 yükseltici yardımıyla ölçmüşlerdir. Aşınmaları da ölçerek elde ettikleri veriler yardımıyla kesme kuvvetleriyle aşınmayı tespit edebilmek üzere model geliştirmişlerdir [13].

Kuljanic, “Tek Ağızlı ve Çok Ağızlı Frezelemede Aşınmanın Araştırılması” adlı çalışmasında, takım ömrünün kesici diş sayısına bağlı olarak, doğrusal olmayan azalan bir fonksiyon olduğunu göstermektedir. İş parçasına temas eden kesici iki ağız eş zamanlı olarak kestiğinde takım ömründe belirgin bir etki yapmadığı görülmüştür. Bununla beraber diş sayısını arttırmak, iş parçası ve kesici sıcaklığını arttırarak takım ömründe azalmaya sebep olacaktır. Bu, frezelemede oluşturulan ısı oranının diş sayısının bir fonksiyonu olarak ifade edilmesiyle açıklanmıştır. Kesicideki diş sayılarının takım ömrüne etkisi, kesme hızı, diş başına ilerleme ve iş parçası–takım–tezgah sisteminin rijitliğine bağlıdır. Bir hedef olarak bu çalışmanın pratik sonuçları, tek ağızlı kesici yerine üç ağızlı kesici kullanmaktır [14].

Lin ve Yang çalışmalarında alın frezelemede takım aşınmasını tam zamanında olarak görüntülemek için yeni bir yaklaşım ortaya koymuşlardır. Bu yaklaşım, kesici aşınmasına bağlı olarak ortalama kesme kuvvet katsayılarındaki değişme esasına dayanmaktadır. Bu çalışma ile kesme kuvvet katsayılarındaki kesme parametrelerini olduğu kadar takım aşınmasının etkileri de bir dizi deney ile çalışılmıştır. Normal kesme kuvvet katsayısının, ortalama talaş alanı ve yanak aşınmasının bir fonksiyonu olarak iyi bir şekilde ifade edilebileceği bulunmuştur. Yaptıkları çalışma sonucunda, takım aşınmasının, ortalama normal kesme kuvvet katsayılarının bilinmesiyle tahmin edilebileceğini göstermişlerdir [15].

Abdou ve Yien “ Frezelemede Kuvvet Biçimleri ve Takım Ömrünün Analizi” isimli çalışmasında, kuru şartlarda kesme kuvvetlerini ve takım ömrünü bir dizi deney ile ölçmüşlerdir. Elde edilen deney sonuçlarına göre, Kuvvet, Takım Ömrü ve Kuvvet/Takım Ömrü olmak üzere üç matematiksel model geliştirilmiştir. Elde edilen bu kuvvet modeline, takım ömrü modeline ve harcanan güç, kesme parametreleri ve yüzey pürüzlülüğü gibi işlenebilirlik parametreleri modellerine, minimum maliyeti esasına dayanan işlem optimizasyonu uygulanmıştır [16]. Orady ve Tlusty ise çalışmalarında, frezelemede takım aşınmasındaki termal çevrimlerin etkileri incelemişlerdir [17].

Zurecki, Harriott ve Zang “Sıvı Nitrojen ile Metallerin Kuru İşlenmesi” adlı çalışmalarında, klasik kesme sıvılarına alternatif olarak, endüstriyel ölçekte sistemlerde uygulanabilecek, az miktardaki sıvı nitrojeni kullanan bir metot ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada CNC torna ve frezele tezgâhlarına monte edilmiş sıvılaştırılmış bir nitrojen sisteminin işlemleri ve etkileri açıklanmıştır. Titanyum alaşımlarını keserken klasik karışım soğutma sıvılarıyla kıyaslandığında sıvı nitrojenin kullanılması takım ömrünü 6 kat daha uzatmaktadır. Karbür takımların aşınma mekanizmaları SEM (Scanning Electron Microscope) yöntemiyle tespit edilmiş, takım ucu sıcaklıkları gömülmüş ısıl çiftler yardımıyla ölçülmüştür. Hedeflenen sistemin ekonomikliği de ayrıca tartışılmıştır [18].

Milner yaptığı çalışmada, takım ömrü testlerinin kesme sıcaklığıyla yakın ilişkisini ortaya koymuş, ve çeliklerin işlenebilirliğinin kesme sıcaklığıyla ilişkili olduğunu göstermiştir. Bu kesici takım sıcaklık tahmin denklemi, üç bağımsız değişkenle incelenmiştir; kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği. İstatistiksel bir metot olan Yüzey- Cevap metodu ile Takım Ömrü Tahmin Denklemi geliştirilmiştir. Sıcaklık ölçümünde elektronik bir teknik olan termistör kullanılmıştır [19].

Liu, Ai, Zhang, Wang, Wan 'ın yaptığı ortak çalışmada, yüksek hız frezelemede kesici takım aşınma mekanizmaları ve biçimlerini araştırmışlardır. Yüksek hızda işleme, verimliliği arttırması ve daha iyi yüzey kalitesi elde edilmesi sebepleriyle önem kazanmaktadır. Bu çalışmada PCBN, Seramik ve Kaplanmış Karbür takımlarla, dökme demir, temperlenmiş karbon çeliği, sertleştirilmiş karbon çeliğinin işlenmesi sunulmuştur. Deney sonuçları, takım aşınma tiplerinin takım ve iş parçası malzemesine göre değiştiğini göstermektedir. Gözlemlenen etkin aşınma biçimi talaş yüzeyi aşınması, yanak aşınması, çıtlama ve çatlak 'dır [20].

Kalaszi ve Ran "Frezelemede Kesme Ömrü Eşitliğini Belirlemek için Kombine Metot ile Kısa Süreli Ömür Testi" başlıklı çalışmalarında yüzey frezelemede takım ömrü belirlemek için, kombine türetilmiş ısı eşitliği ve aşınma ölçülmesine dair kısa süreli bir metodu anlatmışlardır. Bu metot tek ağızlı kesicilerle işleme esasına dayanmakla beraber çok ağızlı kesiciler için de uygulanması tartışılmıştır. Yeni metotla bulunan sonuçlar klasik sonuçlarla kıyaslandığında bu metodun uygulanabilirliğini kanıtlamaktadır [21].

Matsumura ve Usui çalışmalarında, frezelemede lazer ölçme takımları ile takım aşınmasının görüntülenmesi ve takım aşınma telafisinin uygulanmasını gerçekleştirmişlerdir. Yan kesici kenarlardaki takım aşınması, freze çakı çapındaki değişimle görüntülenmiştir. Takım aşınmasının ardışık tahmini ve görüntüleme aralığının ardışık belirlenmesi, görüntüleme yaklaşımının pratikte uygulanabilmesi için tartışılmıştır [22].

Şeker, Korkut, Turgut ve Boy “Talaş Kaldırmada Sıcaklık ölçümü” isimli çalışmalarında, talaş kaldırmadaki performans iyileştirmelerinin, kesici takımındaki sıcaklıkla ilişkili olduğunu belirtmişler ve kesici takımındaki bu sıcaklığın ölçülmesiyle ilgili deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Kesme bölgesindeki sıcaklık ölçümü için, takıma gömülmüş ısı çift yöntemini uygulamışlardır. Uygun donanım ve yazılımla bu sıcaklık bilgisi bilgisayara eş zamanlı olarak taşınmıştır [23].

Balazinski ve Ennajimi “Paslanmaz Çeliklerin Frezelenmesinde İlerleme Değişmelerinin Takım Ömrüne Etkileri” isimli çalışmalarında, Paslanmaz Çelik 17-4PH malzemesinin frezelenmesindeki deneysel sonuçlara göre kesme işlemi boyunca ilerleme hızlarının uygun değiştirilmesiyle takım ömrünün uzatılabildiğini göstermişlerdir. Deneylerde takım aşınmasında yaklaşık yüzde 30 bir kötüleşmeyi tespit etmişlerdir. Bu çalışmada takım-talaş ara yüzündeki sıcaklık dağılımlarının ve krater eksen yerinin, ilerleme değişmeleriyle etkileşimi gösterilmiştir [24].

Toenshoff ve Wasmann, yüzey frezelemede yüklenmiş titreşimlerin takım ömrüne etkilerini araştırmışlardır. Kesme işlemlerinde kesintili talaş kaldırmadaki kesme kuvvetlerindeki ani değişmeler, yapısal sistem makine- iş parçası- takım titreşimden etkilenmektedir. Kesme bölgesinde titreşimler oluşur ve bu titreşimler takımın aşınma davranışlarını etkileyecektir. Araştırma, titreşim ve takım ömrünü belirleyen parametreler arasındaki temel ilişkiyi göstermektedir. Bu nedenle aşınma davranışlarını olumlu yönde etkileyecek kesme şartlarının seçiminde faydalı olacaktır [25].

Genel olarak yapılan çalışmalarda kesme parametreleri ve kesme kuvvetlerinin takım ömrüne olan etkileri araştırılmıştır. Yüzey frezelemedeki kesikli talaş kaldırma sebebiyle, termal yorulma faktörlerinin takım ömrüne olumsuz yönde etkileri olacağı yapılan çalışmalarda görülmektedir.

Konuyla ilgili araştırmalar daha anlaşılır olabilmesi amacıyla sınıflandırılıp Çizelge 2.1’de sunulmuştur





Çizelgenin incelenmesinden de anlaşılacağı gibi, dikkate alınan araştırmaların büyük bir kısmında kesici takım aşınması, aşınma mekanizmaları, kesme kuvvetlerinin takım aşınmasına etkileri, kesme kuvvetleri ile takım ömrü arasındaki ilişki araştırılmıştır. Kesme esnasında oluşan titreşim ve iş parçasında elde edilen yüzey kalitesi ile kesici takım ömrü arasındaki ilişkiyi araştıran yayınlar da mevcuttur.

Yapılan araştırmalarda kullanılan kesici takımlar, karbürler, sinterlenmiş karbürler, kaplanmış (TiN, TiAlN, ZrN) sementit karbür takımlar, CBN ve kaplanmış yüksek hız çelikleridir. Kesme kuvvetlerinin ölçümünde gerilim ölçerler kullanılmıştır [13, 26]. Kesme sıcaklığının ölçülmesinde malzemeye gömülmüş ısı çift yöntemi (K-tipi) [12, 27] kullanıldığı gibi, temassız tip (IR) ısıölçerler [28] kullanılabilir. Bir kısım çalışmalarda yüzey pürüzlülüğü ölçülerek Ra pürüzlülük değerleri esas alınarak takım aşınması ve ömrü ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki bağlantı ortaya konmuştur [6, 28, 29]. Çalışmaların hemen hemen tamamında yüzey frezelemede kesme parametreleri; kesme hızı, ilerleme hızı, talaş derinliği ve diş başına ilerleme değiştirilerek bunların takım ömrüne ve iş parçası yüzey kalitesine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Yapılan çalışmaların birçoğunda takımda oluşan kötüleştirmeler Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) cihazı kullanılarak fotoğraflanmış ve örnekleriyle ortaya konmuştur [30, 31, 8, 12, 28].

Literatürde termal yorulmaların takım ömrünü olumsuz etkilediğini belirten araştırmalar mevcuttur. Ancak bu çalışmaların tamamı yüksek hızlı işleme ile ilgilidir [9, 32].

Literatürde taranan çalışmalarda takım aşınmasını etkileyen parametrelerin tamamının araştırılmasına yönelik bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu tez çalışması ile kesme parametrelerinin takım aşınması üzerindeki etkileri, kesme kuvvetleri, soğutma ortamına göre kesme sıcaklıkları, iş parçası yüzey pürüzlülüğündeki değişimler, aşınma tipleri ve aşınma miktarları ölçülerek tespit edilen parametrelerin birbirleriyle ilişkileri araştırılmıştır. Tüm bu parametrelerin aynı çalışma içerisinde incelenmesi araştırmaya özgünlük ve bilimsel yenilik katmıştır.

### **3. KURAMSAL TEMELLER**

#### **3.1. Kesme Kuvvetleri**

Talaş kaldırma işleminde kesme kuvvetlerini etkileyen faktörlerden birisi takım-talaş temas uzunluğudur [46]. Örneğin; iki fazlı ve kesikli talaş çıkaran malzemeleri işlemede, kesici takım-talaş temas uzunluğunun daha az olmasından dolayı çok küçük kuvvetler meydana gelmektedir. Kesme hızının artırılması, kayma açısını arttırdığı, daha ince talaş oluşturduğu ve temas uzunluğunu azalttığı için kesme kuvvetleri de oldukça düşmektedir. Sınırlı temas uzunluğuna sahip takımlar kullanılarak, takım-talaş arasındaki temas uzunluğunun sınırlandırılmasıyla kesme kuvvetlerinde belirli düşüşler sağlanabilmektedir. Kesme kuvvetleri kesici uç geometrisinden de etkilenmektedir. Talaş açısının en uygun bir değeri mevcut olup, bu değerinde daha fazla artışı kesici ucun dayanımını azaltacağından aşınmayı artırır. Artan aşınma ile birlikte boşluk yüzeyi temas alanını artıracığından takımdaki kesme kuvvetleri artacaktır.

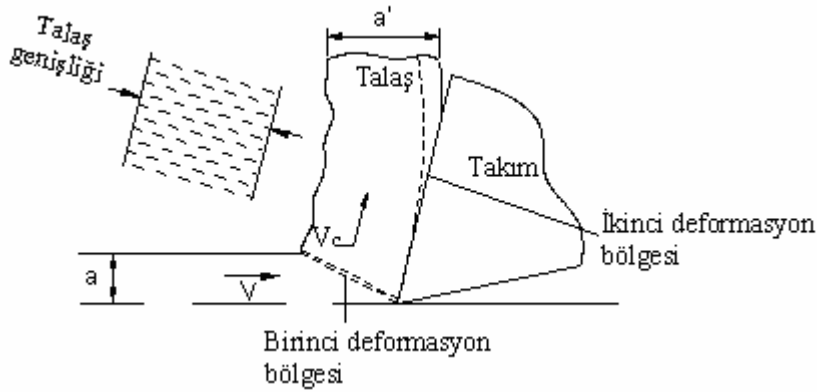
Talaş kaldırmada gerekli olan kuvvetlerin, haddeleme, dövme gibi diğer metal işleme yöntemleriyle karşılaştırıldığında oldukça küçük olduğu görülür. Bunun sebebi kaldırılan metal tabakası kesitinin küçük olmasıdır. Dolayısıyla ölçülecek kuvvetler genelde birkaç bin Newton'dan daha büyük değildir.

##### **3.1.1. Kesme modelleri**

Kesme mekaniği dik ve eğik kesme olarak ikiye ayrılmıştır. Eğik kesme üç boyutlu bir davranış göstermektedir. Dik kesme ise iki boyutlu analiz yapma kolaylığı gösterir. Genelde iki boyutlu kuvvet analizi yapmak daha pratik olduğundan, kesme kuvvetinin ölçümü için yapılan çalışmaların çoğunda dik kesme alınarak incelemeler yapılmıştır (Şekil 3.1).

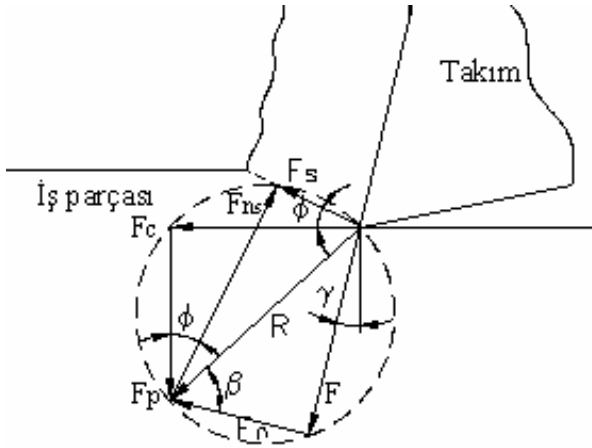
Uygulamalı mekanik prensiplerine göre metallerden talaş kaldırmayı analiz etmek için aşağıdaki yaygın kabuller kullanılmaktadır:

- i) Kesme yüzeyi, kesme kenarından yukarıya uzanan düzlemdir.
- ii) Takımın keskinliği en iyi düzeydedir ve takımın boşluk açısı boyunca iş ile kesici yüzeyleri arasında temas yoktur.
- iii) Kesme kenarı hareketin yönüne dik olarak uzatılan bir doğrudur ve işin hareketi ile bir düzlem oluşturur.
- iv) Talaş her iki yüzeye akamaz.
- v) Talaş derinliği daima sabit kalır.
- vi) Talaşın genişliği iş parçasının kesilen genişliğinden daha büyüktür.
- vii) İş parçası takıma göre bağlı ve düzenli bir hızla hareket eder.
- viii) Sürekli talaş, sıvanma oluşmadan meydana gelir.



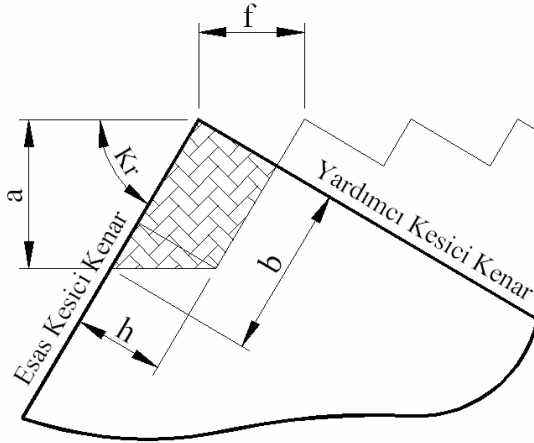
Şekil 3.1. Dik kesmenin şematik olarak gösterimi [5].

Kuvvet bağıntılarını çıkarabilmek için, talaş serbest olarak malzemeden izole edilmiş gibi dengede düşünülerek incelenir. Talaş ve takımın talaş yüzeyi arasındaki kuvvet, kayma düzlemi boyunca talaş ve iş parçası arasındaki kuvvete eşit olmalıdır. Takım yüzeyinde elde edilen kuvvet bileşenleri (Şekil 3.2), takım yüzeyindeki sürtünme katsayısının ve sürtünme kuvvetinin de hesaplanmasına da imkan sağlar [5].



Şekil 3.2. Dik kesmede oluşan kuvvetler [5].

Talaşlı imalatta takım tezgahlarının pek çoğu için kesme kuvveti, talaş kesiti ile işlenen malzemenin özgül kesme direncinin çarpımı esasına dayanır ve buna bağlı olarak esas kesme kuvveti  $F_C$ , bu esasa göre belirlenir. Hesaplamalarda, talaş geometrisi de büyük önem taşımaktadır. Talaş kesitini belirleyen en önemli faktör Şekil 3.3'de gösterilen kesici takımın yanaşma açısıdır ( $K_r$ ), [47].



- $f$  = İlerleme, mm/z, mm/min.
- $a$  = Talaş Derinliği, mm.
- $K_r$  = Kesici Takım Yanaşma Açısı, (°).
- $b$  = Yanaşma Açısına Bağlı Talaş Derinliği, mm.
- $h$  = Yanaşma Açısına Bağlı Talaş Kalınlığı, mm.

Şekil 3.3. Talaş kesitinin yanaşma açısı ile ilişkisi [47].

Yapılan pek çok deneysel araştırmanın ortaya koyduğu sonuçlara göre, talaş kaldırma sırasında asıl kesme kuvveti  $F_C$ 'yi etkileyen değişik faktörler söz konusudur. Bunların en önemlileri:

- i) Talaş açısı faktörü,
- ii) Kesme hızı faktörü,
- iii) Takım aşınma faktörü,
- iv) Takım malzemesi faktörüdür.

### **3.1.2. Talaş açısının önemi ve takım geometrisinde talaş açısı**

Genel kural olarak, talaş açısının artması ile kesme kuvvetleri azalır ve daha iyi bitirme yüzeyi elde edilir. Talaşların yön kontrolü, talaşların akmasına sebep olan doğru talaş açısının verilmesi ile sağlanır.

Aşırı pozitif talaş açısının takım kesici ucunu zayıflatacağı bilinmektedir. Her değişik büyüklükteki talaş açısının belli bir amacı vardır. Kullanılan tip, iş parçası malzemesinin özelliğine ve yapılan kesme işlemine bağlıdır. Talaş açıları, HSS kesici takımlar üzerinde taşlanarak oluşturulmaktadır. Değiştirilebilir sementit karbür kesici takımlarda ise, istenilen talaş açısını sağlayan uygun takım tutucu içine yerleştirilerek oluşturulur. Verimli talaş kaldırma işlemi için pozitif talaş açılı takımların kullanılması önerilmektedir. Pozitif talaş açılı kesici takım kayma bölgesinde daha büyük kayma açısı yaratır. Bu durum talaşın takım-talaş ara yüzeyi boyunca serbestçe akmasını sağlar ve krater aşınmasına yol açar. Bu etki, talaş açısının doğal krater oluşturma eğilimidir. Düşük çekme dayanımlı, demir içerikli olmayan ve içerisinde aşındırıcı parçacıkları bulunmayan sünek malzemeler, küçük çaplı uzun miller veya işlenirken sertleşen malzemelerden talaş kaldırırken pozitif talaş açılı takımlar kullanılmaktadır.

Bir kesici takım için talaş açısının değeri ve tipi belirlenirken aşağıdaki faktörler dikkate alınmalıdır:

- i) İşlenecek malzemenin sertliği,
- ii) Kesme işlemi tipi (sürekli veya kesikli),
- iii) Kesici takım malzemesi,
- iv) Kesici ucun dayanımı.

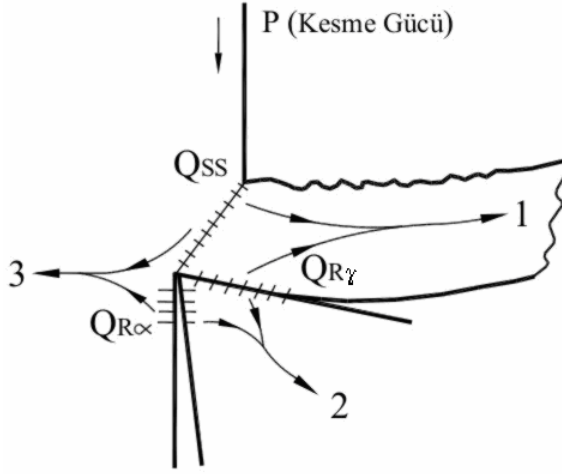
Yüksek çekme dayanımlı ve aşındırıcı içerikli malzemelerde, ilerleme değerinin büyük ve kesme işleminin kesikli olarak yapılması sırasında negatif talaş açısı tercih edilir. Bir kesici takım üzerinde negatif talaş açısı kayma bölgesi boyunca daha küçük bir kayma açısı oluşturur. Bu nedenle daha fazla sürtünme ve ısı meydana gelir. Isıdaki artış dezavantaj olarak görülmesine rağmen, tok malzemelerin karbürlü takımlarla işlenmesinde istenilen bir durumdur. Genellikle negatif talaş açılı kesici takımlar esmer dökme demir, temper dökme demir, dökme çelikler, takım çelikleri ve sıcak iş takım çelikleri veya sade karbonlu çelikler gibi malzemelerin karbürlü takımlarla işlenmesinde tercih edilir. Kesici takım üzerinde negatif talaş açısının avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- i) İş parçasından kesici takıma uygulanan şokun, kesicinin uç noktası veya kenarında değil, takım yüzeyinde oluşması, bunda özellikle seramik takımlarda takım ömrünü artırması,
- ii) Metal üzerinde sert dış yüzeyin kesici kenar ile temas etmemesi,
- iii) Kesikli kesme ile yüzeylerin kolaylıkla işlenebilmesi,
- iv) Daha yüksek kesme hızlarının kullanılabilir olmasıdır.

### **3.2. Talaş Kaldırmada Oluşan Isı**

Talaş kaldırmak için uygulanan kuvvetlerden oluşan mekanik enerjinin hemen hemen tamamına yakın bir kısmı ısıya dönüşür. Bu sebeple kesme bölgesinde ısı oluşumu ve sıcaklık, talaş kaldırma işlemindeki diğer bir önemli faktördür. Bu faktör takım performansı ve iş parçası kalitesi açısından büyük önem taşır. Aşırı sıcaklıklar; öncelikle yetersiz takım ömrüne ve yüksek kesme hızlarında sınırlamalara neden olur.

Kesme esnasında etkili olan teğetsel kesme kuvveti enerjinin önemli bir kısmını temsil eder. Bu enerji, talaş oluşturmak için deformasyon ve kesme işinde harcanır. İlâveten, bir kısım enerji, talaş yüzeyinde ve talaş kırıcı karşısında talaş biçimlendirilmesi için kullanılır [48]. Kayda değer ısı oluşumu prensip olarak üç bölgede oluşur (Bkz. Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Kesme gücü (P) ile oluşan ısı bölgesi [47].

Kayma (yığılma) bölgesinde  $Q_{SS}$ ,

Talaş yüzeyinde  $Q_{R\gamma}$ ,

Kesici kenarın serbest tarafında (serbest yüzeyde)  $Q_{R\alpha}$

$Q_{SS}$  ve  $Q_{R\gamma}$ 'nin bir kısmı talaşla uzaklaştırılır. Talaşla götürülen ısı miktarı  $Q_1$ 'dir (Şekil 3.4, 1 nolu yön).

$Q_{R\gamma}$  ve  $Q_{R\alpha}$ 'nın bir kısmı kesici takım gövdesinden atılır. Takıma geçen ısı miktarı  $Q_2$ 'dir (Şekil 3.4, 2 nolu yön).

$Q_{R\alpha}$  ve  $Q_{SS}$ 'in bir kısmı iş parçası tarafından uzaklaştırılır. İş parçasına geçen ısı miktarı  $Q_3$ 'dür (Şekil 3.4, 3 nolu yön).

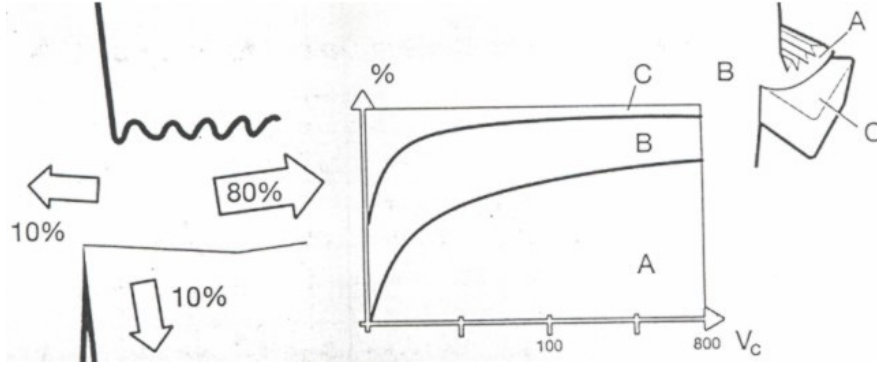
Şekil 3.4'de verilen notasyona göre oluşan ısı ( $Q_S$ );

$$Q_S = Q_{SS} + Q_{R\gamma} + Q_{R\alpha} \quad (3.1)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

İşleme sırasında oluşan ısının büyük bir kısmı, ideal olarak kesme bölgesinden talaşla uzaklaştırılır. Talaş ısı, talaşla kesici takımın temasta olduğu boyda kesici takımı etkileyecektir. Şekil 3.5'de metal işlemede ısı dağılımı şematik ve grafik olarak gösterilmiştir [47].

Isının büyük bir kısmı kayma bölgesinde ( $Q_{ss}$ ) ortaya çıkar. Bu sebeple, takım ve talaş arasındaki temas miktarı ve kalitesi performansını etkiler. Daha küçük talaş açısı neticesinde oluşabilen daha küçük kayma düzlemi açıları ( $\phi$ ) iş parçasına doğru olan ısı akışının artmasına sebep olabilir.



Şekil 3.5. Metal işlemede ısı dağılımı [49].

Enerjinin daha küçük bir kısmı akma bölgesi boyunca ısıya dönüşür. Talaş ve takım arasındaki bu ince erimiş bölge durumu, yeni talaşın sürekli akışı ve talaş yüzeyine yapışan malzemeye karşı oluşan kopma tesirinden etkilenir. Modern kesici takımlarda bu kesme etkisi, kesici kenardaki ısı oluşumunu en aza indirmek için uygun değerlere ayar edilmelidir.

Isının büyük bir kısmı talaş kütlesiyle uzaklaştırıldığına göre, özellikle yüksek kesme hızlarında, ısının tamamına yakını talaşla uzaklaştırılmış kabul edilir ve talaşa ısı geçişi;

$$Q_s = A \cdot V \cdot \rho \cdot C_v \cdot \Delta t \quad (3.3)$$

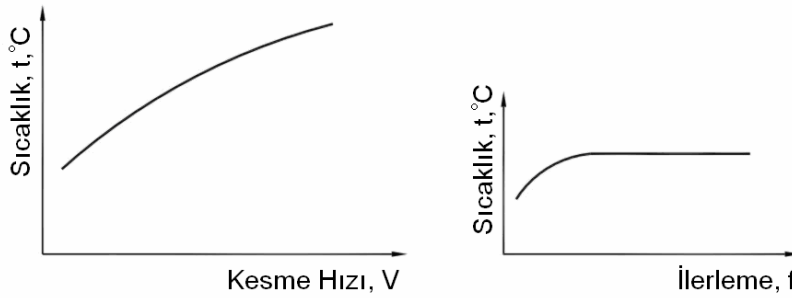
eşitliği ile hesaplanabilir. Bu eşitlikte, A; talaş kesit alanı ( $a \times f$ ,  $\text{mm}^2$ ), V; Kesme hızı (m/s),  $\rho$ ; işlenen malzemenin yoğunluğu ( $\text{g/cm}^3$ ),  $C_v$ ; özgül ısı ( $\text{j/kgK}$  veya  $\text{N mm/gK}$ ) ve  $\Delta t$ ; talaşın ısınması (sıcaklık farkı-K) dir.

$\Delta t$  (talaşın ısınması) ise malzemenin özgül kesme direnci ( $k_s$ ), özgül ısı ve yoğunluğuna bağlı olarak 3.4'deki ampirik formülle [47] hesaplanabilir:

$$\Delta t = \frac{k_s}{\rho \cdot C_v} \quad (3.4)$$

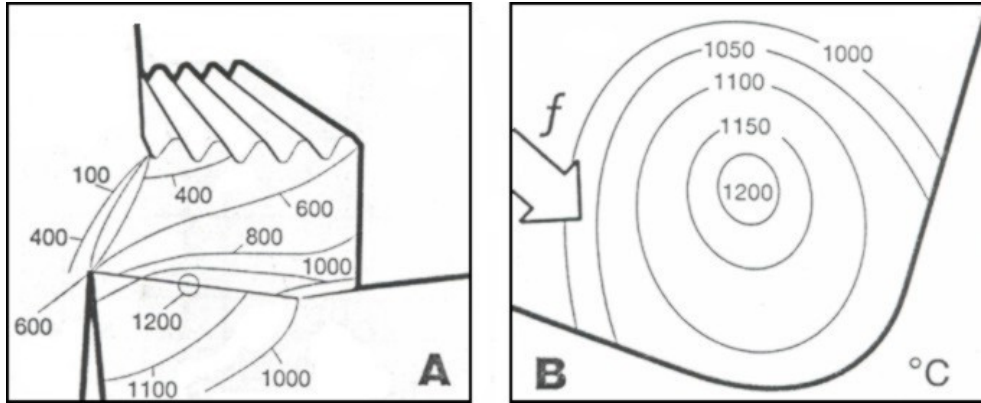
### 3.2.1. Sıcaklık dağılımı

Isı dağılımının miktarı, işlenen malzemenin tipine bağlı olarak değişir. Süper alaşımların işlenmesinden alüminyumun işlenmesine kadar değişen kesme hızları, ısı oluşumunda oldukça önemli rol oynar. İlerleme ise ısı oluşumunda nispeten makul bir etkiye sahiptir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Sıcaklığın kesme hızı (V) ve ilerleme (f) ye bağlı olarak değişmesi [49].

Talaş kaldırma sırasında oluşan sıcaklıkların talaş-takım ve iş parçası üzerine izotermik dağılımını (A) ve değiştirilebilir uçlu bir kesici takım üzerinde izotermik sıcaklık dağılımını (B) gösteren bir örnek Şekil 3.7'de verilmiştir. Kesici takımın 1200 °C'ye kadar çıkan yüksek sıcaklıklara maruz kaldığı bilinmektedir.

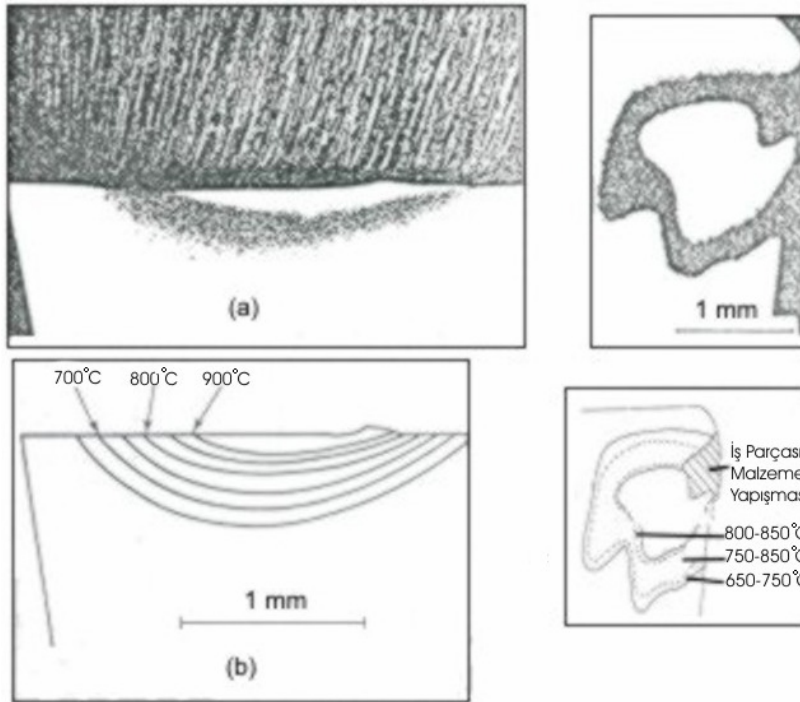


Şekil 3.7. Metal işlemede oluşan yüksek sıcaklıkların dağılım eğrileri (izotermik dağılım) [49].

Kesme hızı ile sıcaklık arasındaki tipik ilişki Şekil 3.6'da gösterilmekle beraber malzemenin alaşım elementlerine ve diğer malzeme parametrelerine bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir.

Kesici takım malzemelerindeki gelişmeler; kesici takımların yüksek sıcaklık etkilerine dayanım kabiliyetlerinde ciddi artışlar sağlamıştır. Sert metal uçlu takımların; daha fazla sıcak sertleşme özelliklerinden dolayı, yüksek hız çeliği takımların iki katı civarındaki sıcaklıklarda işleme özelliklerine sahip olması bunun en güzel örneğini teşkil eder. Isı dağılımını ve sıcaklık kontrolünü anlamak (özellikle talaş yüzeyinde), takım geometrilerinin geliştirilmesinde yardımcı bir faktör olmuştur.

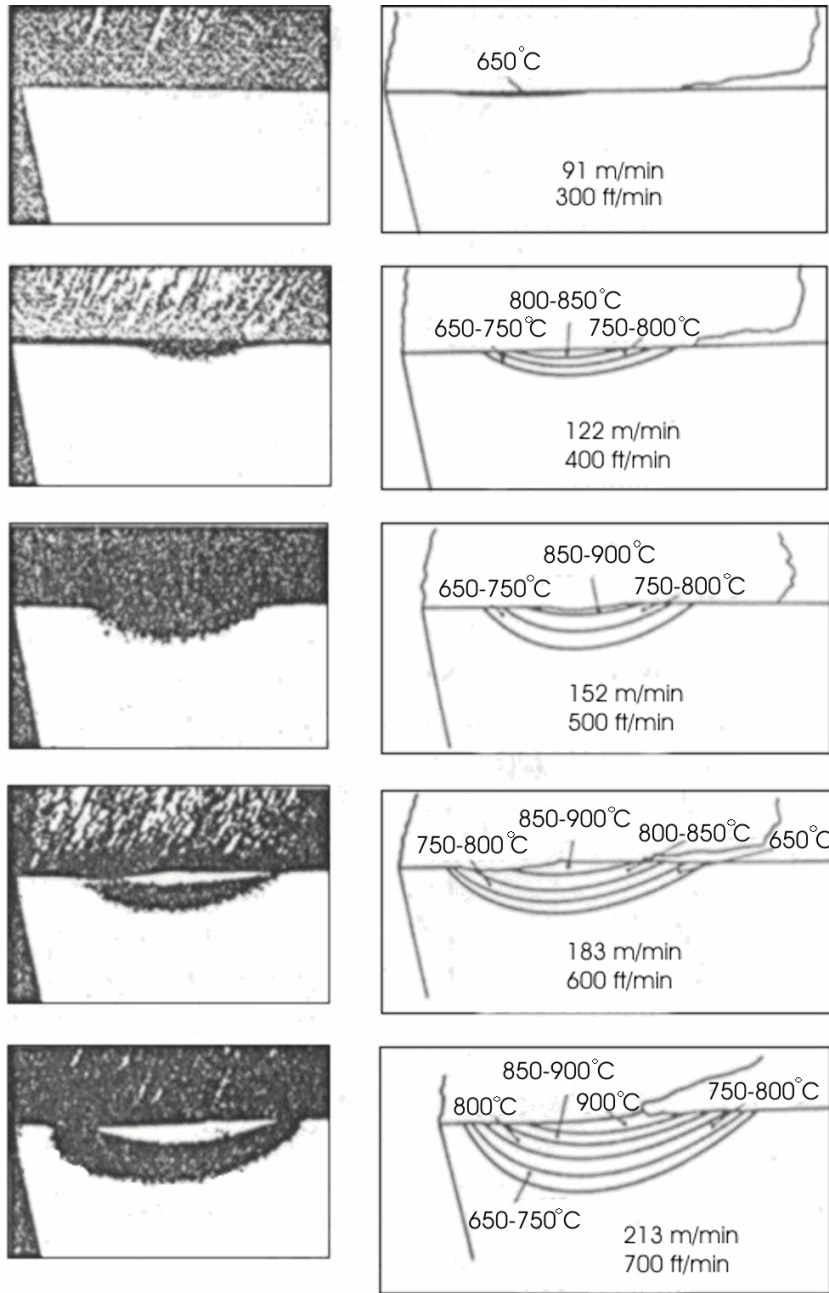
Şekil 3.8, düşük karbonlu çeliğin yüksek hızlarda işlenmesi sırasında ısıdan etkilenmiş bölgeleri (b) ve yapıdaki değişiklikleri (a) göstermektedir.



Şekil 3.8. Düşük karbonlu çeliğin yüksek hızlarda işlenmesinde ısı dağılımı [50].

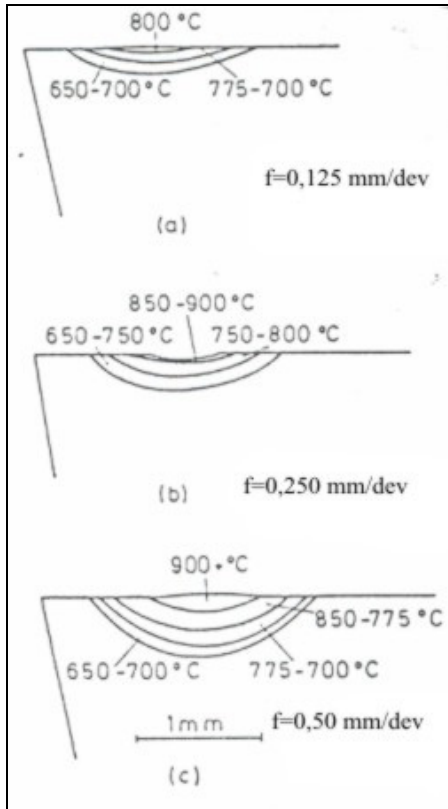
- a) Yapıdaki Değişiklikler.
- b) Isıdan Etkilenen Bölgeler.

Şekil 3.9 düşük karbonlu çeliğin 0,25 mm/dev. İlerleme ile ve 30 sn'lik bir işleme süresinde farklı kesme hızlarında işlenmesinde oluşan sıcaklık bölgelerini ve yapısal değişiklikleri, sıcaklığın nüfuziyetini göstermektedir. Sıcaklığın kesme hızıyla değişimini gösteren güzel bir örnektir.



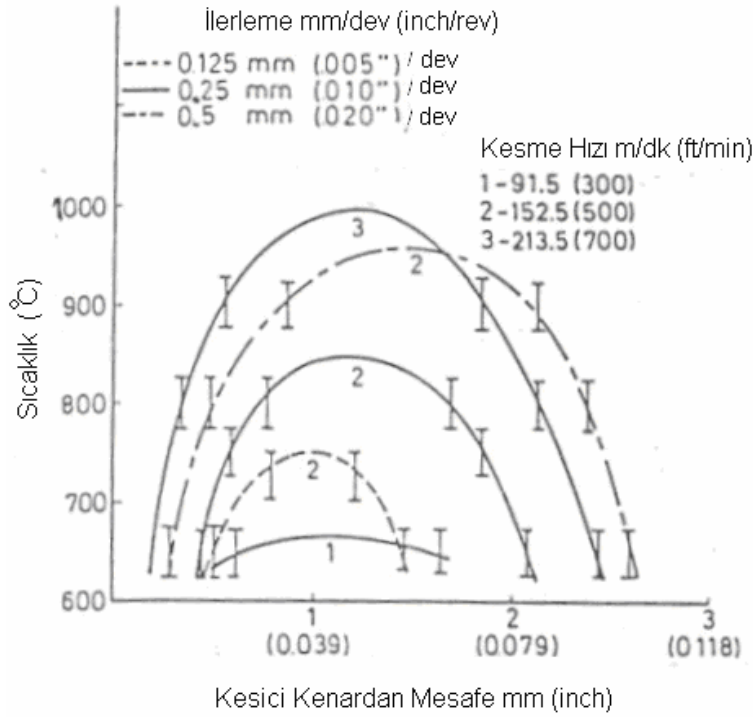
Şekil 3.9. Farklı kesme hızlarında, düşük karbonlu çeliğin 30 s süreyle işlenmesi sırasında kesici takımda, oluşan sıcaklık dağılımları ve kesici takım yapısındaki değişiklikler [50].

Şekil 3.10'de ise farklı ilerlemelerin ısı ve sıcaklık dağılımına etkisini göstermek için, sabit kesme hızında farklı ilerleme değerleri ile işlenmiş dökme demir malzemedeki izotermik sıcaklık dağılımlarını işaret etmektedir.



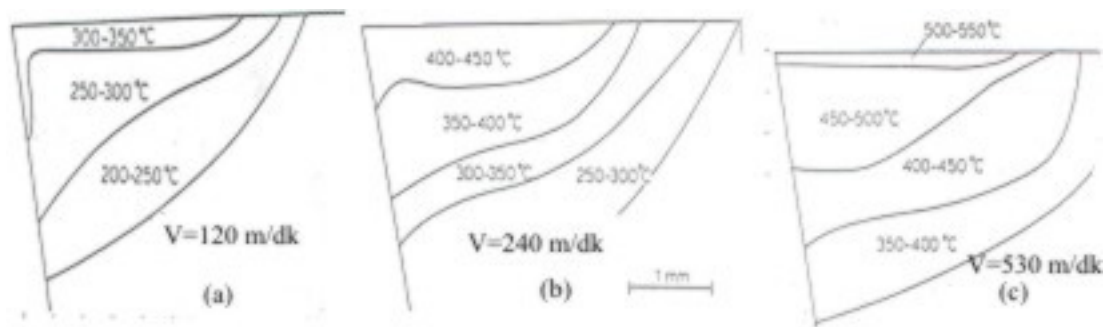
Şekil 3.10. Dökme demir malzemenin sabit kesme hızı ve farklı ilerlemelerde işlenmesi esnasında kesici takım üzerinde oluşan sıcaklık dağılım eğrileri [50].

Şekil 3.11'de, sıcaklığın kesme hızı ve ilerleme ile ilişkisini göstermek için, deneysel sonuçlardan yola çıkılarak çizilmiş grafikler verilmektedir. Grafikte, çizgi tipleri ilerleme değerlerini ifade ederken çizgilerin yanında verilen rakamlar kesme hızlarını ifade etmektedir. Grafiğin yatay ekseni, sıcaklık bölgelerinin kesici kenardan uzaklığını ifade etmektedir. Ölçülen sıcaklık değerleri, talaş yüzeyinde oluşan sıcaklıklardır.



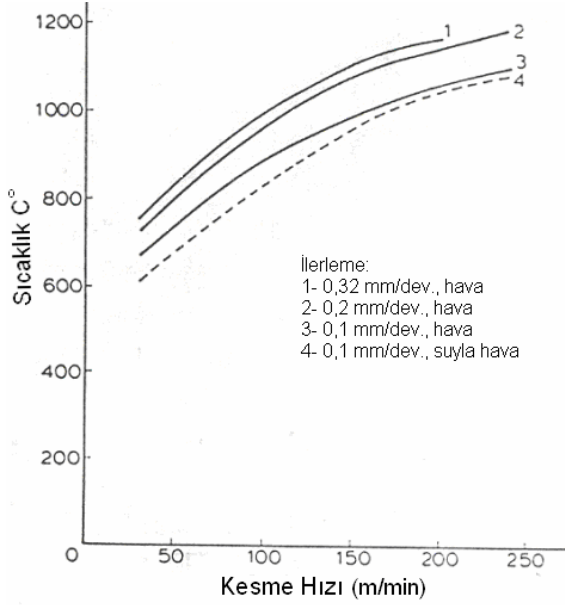
Şekil 3.11. Sıcaklığın kesme hızı ve ilerleme ile değişmesi (düşük karbonlu çelik için) [50].

Şekil 3.12'de ise kesme hızına bağlı olarak sıcaklığın nasıl değiştiğini görmek mümkündür. İletkenliği yüksek bakırın (0,22 mm/dev.) ile farklı kesme hızlarında işlenmesi sırasında kesici takımında oluşan sıcaklık dağılımı görülmektedir.



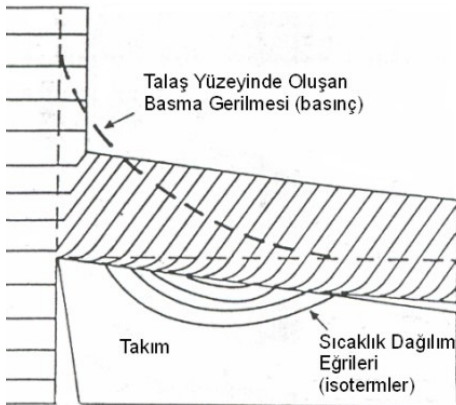
Şekil 3.12. Yüksek iletkenliğine sahip bakırın sabit ilerleme ile (0,22 mm/dev.) farklı hızlarda işlenmesi sırasında takımında ısı dağılımları [50].

Şekil 3.13'da düşük alaşımlı çeliğin sert metal kesici takım takımıyla işlenmesi sırasında kesme hızı ile ilerlemeye bağlı olarak sıcaklık dağılımındaki değişiklikleri ifade etmektedir. Elde edilen sonuçlar Şekil 3.6'daki grafikleri doğrular niteliktedir.



Şekil 3.13. Düşük karbonlu çeliğin sert metal uçlu kesici takımla, farklı kesme hızları ve ilerlemelerde işlenmesiyle sıcaklıktaki değişimler [50].

Şekil 3.14'de, çeliğin işlenmesi sırasında sıcaklık dağılımı ile basma gerilmesindeki dağılım (basınç) bir arada gösterilmiştir. Bu iki dağılım oldukça önemli olup, kesici kenarda yığılma (BUE) ve krater aşınması sıcaklık dağılımı ve basma gerilmesinin ikisinin de yüksek olduğu çakışma bölgelerinde artma eğilimi göstermektedir.



Şekil 3.14. Talaş kaldırma sırasında sıcaklık ve basma gerilmesi dağılımı [50].

Kayma düzleminde oldukça yüksek olan basma gerilmesi, talaş oluşumuna bağlı olarak talaş takımla olan temas yüzeyini terk etmeye başladığında azalır. Bu dağılım düşük karbonlu çeliğin yüksek hızlarda işlenmesi sırasında gözlenmiştir [50].

### 3.3. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, genellikle, iş parçası malzemesinin, ne kadar kolay işlenebileceğinin göstergesi veya bir kesici takımla iş parçasının istenilen biçime getirilmesi yeteneği olarak ifade edilmektedir. Orta karbonlu çelik, termal direnci yüksek bir alayla karşılaştırıldığında daha kolay işlenir. Yine aynı şekilde gri dökme demir, hızlı soğutulmuş dökme demirden daha kolay işlenir. Bununla beraber yapışma eğilimi olan düşük karbonlu çelik için ihtiyaçlar, bazı paslanmaz çeliklerden daha yüksektir. Ancak, kesici takımlardaki gelişmelere bağlı olarak değişik işleme metotları ve şartlardan dolayı, işlenebilirlik kavramı belirsizdir, karşılaştırılabilir ve sayısal değerlerle kolayca ifade edilemez[47].

İş parçası malzemesinin işleme yöntemini etkileyen tüm özelliklerinin bir karşılaştırması muhtemelen var olmakla beraber, ihtiyaç duyulan dokümantasyon, tüm malzeme tedarikçilerinden kolayca elde edilemez. İş parçası malzemesinin kimyasal yapısı, mekanik özellikleri, ısıl işlemi, katkıları, kalıntıları yüzey tabakası vb. özellikleri, takım tezgâhı, kesici takım geometrisi, takım bağlama, operasyon ve işleme şartları gibi parametreler işlenebilirlik üzerinde etkilidir.

Başarılı bir işleme operasyonunun gerçekleştirilmesini sağlayan faktörlerin değerlendirilmesinde modern ve esnek bir yaklaşım esastır. Ancak üretimle ilgili işlenebilirlik kavramı için, genellikle, her parçanın maliyeti, verimlilik oranı, belirli bir yüzey kalitesi oluşturmak için kestirilebilir takım ömrü ve işleme emniyeti sağlamak gibi öncelikler esastır. Talaş kaldırma operasyonlarının gerçekleştirilmesinde bir atölye veya işletme, işlemedeki zorluklar veya kolaylıklara göre kendi önceliklerini benimser. İşlenebilirliği geliştirmek için; döküm kalitesini iyileştirmek, malzemeyi kolay işlenebilir hale getirmek- ısıl işlemlerle yapısını değiştirmek, takım malzemesini, takım geometrisini, bağlama şartlarını veya kesme sıvısını değiştirmek gerekebilir. En geniş anlamda işlenebilirlik, aşağıdaki kriterlerle tanımlanan “kesici takım ve iş parçası” çiftinin işleme karakteristiği gibi görünür. Bu kriterler:

- i) Takım ömrü,
- ii) Talaş oluşumu ve talaşın uzaklaştırılması,
- iii) Yüzey kalitesi,
- iv) Kaldırılan talaş miktarı (talaş kaldırma oranı),
- v) Kesme kuvveti /gücü /özlük kesme direnci,
- vi) Sıvanma (Built-up-edge-BUE) eğilimi, olarak verilebilir.

İş parçası malzeme verileri ve işleme deneylerinin bir kombinasyonu ile, işlenebilirlik değerlendirilmesi, üretim şartlarına uygun olarak gerçekleştirilebilir. Bununla beraber, düzenlemenin birinde iyi olan işlenebilirlik, bir diğerinde iyi sonuç vermeyebilir.

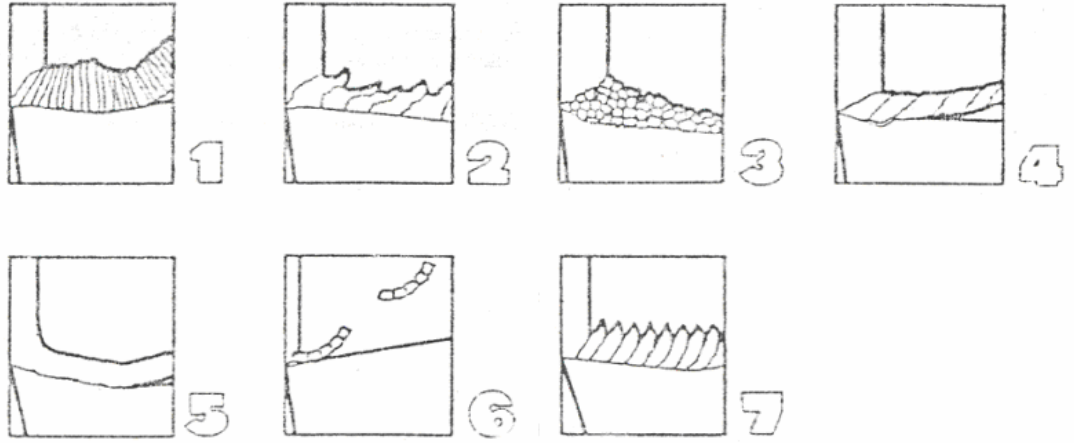
Örnek olarak; bir iş parçası malzemesinin sertliği ve dayanımı işlenebilirliği belirten tipik bir örnek olmayabilir. Kalıntı gerilmeler, kolay işleme katkıları, mikro yapı, sert ve aşındırıcı bileşenler, sıvanma eğilimi vb. faktörler önemli olabilir. Belli bir iş parçası için iyi işlenebilirlik sergileyen bir takım tipi ve malzemesi, diğer bir iş parçası malzemesi için uygun olmayabilir. İş parçasının işlenebilirlik kabiliyeti ve etkinliği çeşitli faktörlere göre belirlenir. Bunlar;

- i) İş parçası malzemesi,
- ii) Takım tezgahı,
- iii) İşleme biçimi (operasyon),
- iv) Takım,
- v) Kesme parametreleri,
- vi) Kesme sıvısı vb.'dir.

İşlenebilirliğin bir diğer gözlenebilir verisi, talaş oluşumu ve şeklidir [51]. Farklı malzemeler farklı talaş tipi oluşumu gösterdiği gibi, aynı malzemenin işleme şartları değiştirildiğinde de farklı talaş tipleriyle karşılaşmaktadır. Metallerin işlenmesinde temel malzeme grupları:

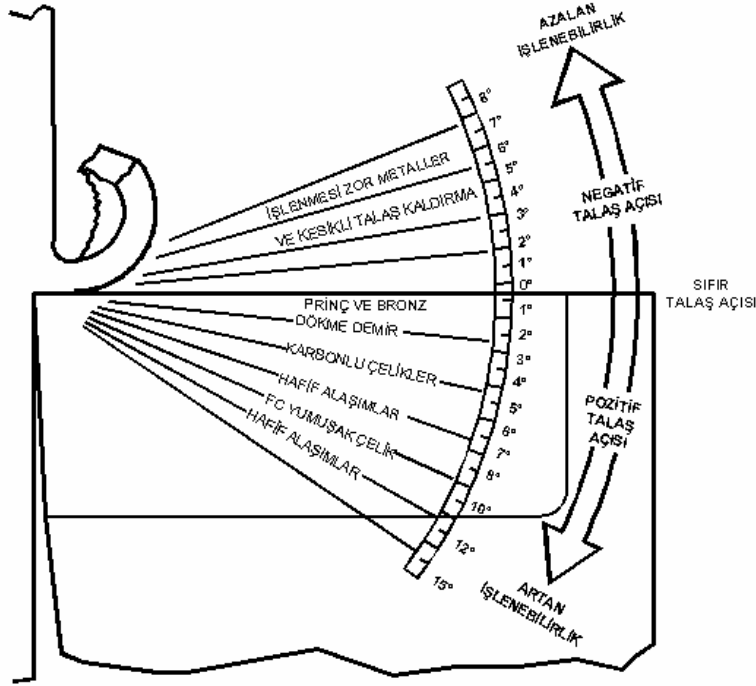
- i) Çelik,
- ii) Paslanmaz Çelikler,
- iii) Dökme Demir,
- iv) Isıl Dirençli Alaşımlar,
- v) Alüminyum vb.,
- vi) Sert Çelikler,
- vii) Titanyum ve titanyum alaşımları

Bu malzeme gruplarında karşılaşılan talaş biçimleri Şekil 3.15’de görülmektedir.



Şekil 3.15. Malzeme gruplarında karşılaşılan talaş biçimleri [49]

Malzeme gruplarına göre kesici takım talaş açısı da işlenebilirliği etkilemektedir. Kesici takım talaş açısının malzeme gruplarına göre artan ve azalan etkisi Şekil 3.16’de görülmektedir.



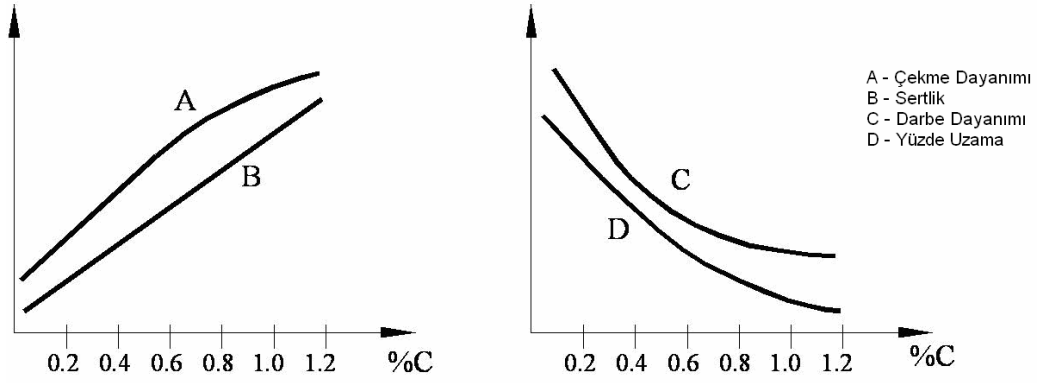
Şekil 3.16. Malzeme gruplarına göre takım talaş açısının işlenebilirliğe etkisi [52].

### 3.3.1. İş Parçası malzeme özelliklerinin etkisi

İşlenebilirliğin değerlendirilmesi ve işleme şartlarının iyileştirilmesinin amaçlandığı çalışmalarda yaygın kullanılan iş parçası malzemeleri gözden geçirildiğinde, öncelikle temel malzeme özellikleri ve bunların işlenebilirliği nasıl etkilediği dikkate alınmaktadır.

Şekil 3.17'deki grafikler, "karbon muhtevası" ile değişen dört temel mekanik malzeme özelliğindeki genel eğilimi göstermektedir. Bunlar;

- Çekme Dayanımı,
- Sertlik,
- Darbe Dayanımı,
- Uzama (Yüzde uzama – süneklik)'dir [50].



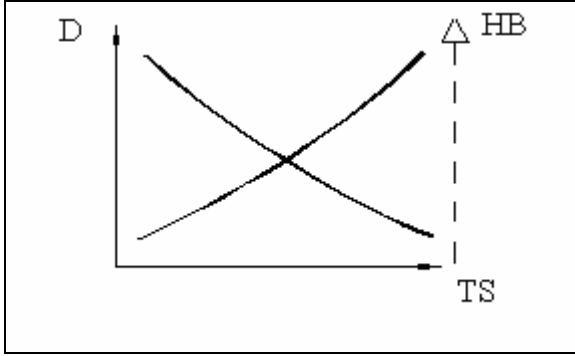
Şekil 3.17. Malzemelerin temel mekanik özelliklerinin karbon muhtevası ile değişimi [50].

### 3.3.1.1. Sertlik ve dayanım

İşlenebilirlik açısından malzemelerde genellikle düşük sertlik ve dayanım değeri daha uygundur. Düşük yüzey kalitesine, çapak oluşmasına ve kısa takım ömrüne sebep olan BUE oluşmasından dolayı problemlere yol açan çok sünek malzemeler bu durumun dışındadır. Soğuk çekme işlemleri ve benzeri yollarla artırılmış sertlik pozitif bir etkiye sahiptir.

### 3.3.1.2. Süneklik

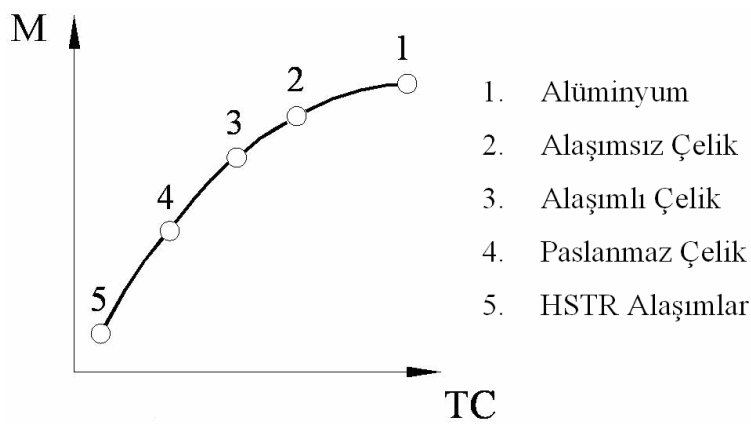
İşlenebilirlik açısından düşük süneklik değerleri olumlu etki yapmakta, talaş oluşumunu kolaylaştırmakta ve buna bağlı olarak verimli bir talaş kaldırma gerçekleşmektedir. Düşük sünekliğin yüksek sertlikte olduğu ve yüksek sünekliğin de düşük sertlikte olduğu dikkate alındığında; iyi işlenebilirlik kriteri, sertlik ve süneklik eğrilerinin kesişme bölgesi dolayında elde edilmektedir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Çekme dayanımı (TS)' ye karşılık, sertlik (HB) ve süneklikteki (D) değişim [49].

### 3.3.1.3. Termal iletkenlik

Yüksek termal iletkenliğin anlamı, talaş kaldırma işleminde oluşan ısının, süratle kesme bölgesinden uzaklaştırılması demektir. İşleme açısından bakıldığında, yukarıda söz edilen sebeple, yüksek değerlerde termal iletkenlik genellikle faydalıdır. Termal iletkenlik işlenebilirlik açısından önemli bir rol oynayabilir fakat, bazı alaşım grupları için daha fazla iyileştirilmesi mümkün değildir. Şekil 3.19 bazı malzemelerin termal iletkenliklerinin (TC), yaklaşık işlenebilirlik değerleri ile ilişkisini göstermektedir.



Şekil 3.19. Termal iletkenlik (TC) ile işlenebilirlik değeri (M) arasındaki ilişki [49].

#### 3.3.1.4. Pekleşme (deformasyon sertleşmesi)

Plastik deformasyon sırasında, metallerin dayanımı artar. Dayanımdaki artış, deformasyon yüzdesine ve malzemenin pekleşme kabiliyetine bağlıdır. Yüksek pekleşme oranı, deformasyon oranındaki artışa bağlı olarak hızlı bir dayanım artışı demektir.

Çelikler işlenirken, deformasyon miktarı oldukça bölgeseldir ve özellikle kesici kenara yakındır. Yüksek pekleşme oranına sahip malzemelere örnek olarak östenitik paslanmaz çelikler ve çeşitli yüksek sıcaklık alaşımları verilebilir. Karbonlu çelikler, oldukça düşük pekleşme oranına sahip malzemeler arasındadır.

Yüksek pekleşme oranı, talaş oluşumu için çok daha fazla enerji ve dolayısıyla (yüksek özgül kesme kuvveti) ihtiyacı demektir. Sertlikteki ciddi bir artış, işleme sonrası yüzeyde ince bir katman oluşmasına yol açar.

Pekleşmeyle sertleşmiş tabakanın kalınlığı, ilerleme değeri ile aynı olursa, kesici kenar, şiddetli gerilmelere maruz kalacaktır [47]. Pekleşme ile oluşan tabakanın kalınlığı ve sertlik düzeyi kesici kenardaki deformasyon miktarıyla orantılıdır. Büyük bir talaş açısına sahip keskin bir kesici kenar, deformasyon miktarını azaltır. Bu sebeple, pozitif bir geometri, katmanın azaltılmasına yardımcı olacak ve bunun sonucu olarak da kesici kenardaki gerilmeler azalacaktır. Bununla beraber, pekleşme, kesici kenar yığılması (BUE) oluşumunu engellemek için bir avantaj olabilir.

#### 3.3.1.5. İnklüzyonlar (kalıntılar)

Malzemenin yapısı içerisinde iki tip inklüzyonlardan söz etmek mümkündür. Makro inklüzyonlar, genellikle, çok sert ve aşındırıcı olup, inklüzyonlardan bağımsız bir malzemeyi kuşatma eğilimlerinden dolayı önemlidir. Düşük kaliteli çeliklerde bulunan inklüzyonlar, üst cüruf veya uygun olmayan cüruf alma vb. gibi fırınlama sırasındaki üretim hatalarından kaynaklanır. Pek çok ani takım kırılma problemleri muhtemelen bu tip inklüzyonlar ile açıklanabilir. Mikro inklüzyonlar, çelik içinde

değişik miktarlarda daima mevcuttur. Bunların işlenebilirlik üzerindeki etkisi üçe ayrılabilir.

a) İstenmeyen inklüzyonlar

b) Nispeten istenmeyen inklüzyonlar ve

c) İstenen inklüzyonlar

a) Alüminatlar ve spineller ( $Al_2O_3$  ve Ca) gibi inklüzyonlar istenmeyen inklüzyonlardır. Bunlar sert ve aşındırıcı özelliktedir.

b) Nispeten istenmeyen inklüzyonlar, demir ve mangan oksitlerdir. ( $FeO_2$ ,  $MnO_2$ ). Bunların deforme edilebilme kabiliyeti bir önceki grubtan daha yüksektir ve talaş akışına katılabilir.

c) İstenen inklüzyonlar, yüksek kesme hızlarında, silikatlar (Si) dır. Silikatlar, yüksek kesme sıcaklıklarında yumuşarlar ve bu sayede kesme bölgesinde olumlu etki yapan bir katman oluştururlar. Bu katman, takım aşınmasını geciktirir.

Günümüzde, SiCa'la deoksidasyona maruz bırakılmış, kalsiyum deoksidasyonlu çelikler mevcuttur ki bu çeliklerde düşük ergime sıcaklığına sahip inklüzyonlar, nispeten yüksek kesme hızları için uygundur.

#### 3.3.1.6. Kolay işleme katkıları

Çeliğin işlenebilirliğini geliştirmek için en yaygın metot, Kükürt ilavesidir. Kolay işlenebilen çeliklerdeki Kükürt miktarı işlenebilirliği iyileştirilmiş çeliklerdekinin on katıdır. Yeterli miktarda Mangan ihtiva eden çeliklerde, Kükürt ve Mangan, Mangan Sülfata dönüşecektir. Talaş oluşumu sırasında bu Sülfat inklüzyonları, düşük dayanımlı düzlemler oluşturacak şekilde plastik deformasyona uğrar ve böylece çatlak oluşumu ve yayılımı için gerekli enerji azalır. Bu, birinci kayma bölgesindeki deformasyonu kolaylaştırır. Kayma açısının ve talaş yarıçapının artmasına sebep olurken talaş kalınlığında, takım/talaş temas boyunda ve işleme sıcaklığında azalmaya sebep olur. İlaveten, Sülfat, takım/talaş ara yüzeyinde bir yağlayıcı gibi görev yapar. Bununla beraber, tamamen aynı Kükürt muhtevasına sahip, aynı tip iki

çelik için işlenebilirlik önemli ölçüde farklı olabilir. İşlenebilirlik, çelikte alaşım elemanı olarak bulunan kükürden ayrı Kükürt ve Kurşun inklüzyonları ile iyileştirilebilir. Aynı zamanda, Sülfatların boyutu, biçimi ve dağıtımı da işlenebilirliği tayin eden faktörler arasındadır. Diğer yaygın kullanılan katkı elemanlarından Kurşun da, Mangan Sülfata benzer davranışlar sergiler. Kurşun ve Kükürtün beraber ilave edilmesi de yaygındır.

Oldukça yeni bir katkı elemanı olan “ Selenyum” da genellikle Kükürtle beraber kullanılır. Kükürt ve Selenyum katkısı kolay işlenebilir çelikler, karbonlu çelikler ve ferritik-martenzitik ve östenitik paslanmaz çeliklerde yaygındır. Kurşunlu veya yeniden sülfürize edilmiş kurşunlu çelikler, sadece karbonlu çeliklerde mevcuttur.

İşlenebilirliği etkileyen temel malzeme özellikleri; Sertlik ve Dayanım, Süneklik, Termal İletkenlik, Pekleşme (Deformasyon Sertleşmesi), Inklüzyonlar ve Kolay İşleme Katkıları’dır. Bunların artan değerlerinin işlenebilirlik üzerindeki etkileri Çizelge 3.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.1. Malzeme Özelliklerinin Artan Değerinin Genel İşlenebilirlik Etkileri [47].

Artan Değerlerinin	Genel İşlenebilirliğe Etkisi
Sertlik ve Dayanım	-
Süneklik	-
Termal iletkenlik	+
Pekleşme	-
İnklüzyonlar { Makro –Mikro }	-{-/+}
Kolay işleme katkıları	++

+: Olumlu, -: Olumsuz

### 3.3.2. İşlenebilirliği etkileyen diğer malzeme özellikleri

Malzemelerin, işlenebilirlik üzerinde önemli etkisi olan temel özellikleri bir önceki kısımda anlatılmıştır. Bunlara ilaveten malzemelerin bazı diğer özellikleri de işlenebilirlik üzerinde söz sahibidir. Bu özellikler,

- Malzemenin yapısı / Morfolojisi
- İş parçası şartları
- Alaşım elementleri
- Yüzey tamlığı – düzgünlüğü'dür.

### 3.3.2.1. Malzemenin yapısı

Malzemenin yapısı işlenebilirliği etkiler. Bazı yapılar, aşındırıcı özelliktedir ve malzemenin dayanımı yapı tipiyle değişir. Çeliklerdeki aşındırıcı bileşen “karbürler” dir. Bunların miktarı ve biçimi, malzeme özelliklerini doğrudan etkiler. Karbon, karbonlu çeliklerdeki en önemli alaşım elementi olup, muhtevasına bağlı olarak çok farklı yapılar elde edilebilir. Oda sıcaklığında ve sertleştirme işlemi uygulanmamış şartlarda, çelikte östenite ilave olarak üç tip yapıdan (fazdan) söz etmek mümkündür ve bunlar işlenebilirliği doğrudan etkiler. Bu fazlar; ferrit, perlit, sementit'dir.

Ferrit, yumuşak ve sünek özelliklere sahipken, bir demir-karbon bileşiği olan sementit, elde edilebilecek en sert yapıdır ve su verme ile elde edilebilecek martensitten bile serttir. Perlit ise, ferrit ve sementitin lameller (plakalar –levhalar şeklinde) bir karışımıdır.

Lameller, ferrit ve sementit şeklinde sıralanmış olup, sertlik açısından orta değerlerde yer alır. Lameller halindeki perlitin sertliği aynı zamanda, lamellerin boyutuna (kalınlığına) bağlıdır. İnce lameller tipli perlit, kaba olana göre daha serttir. Çünkü bünyesinde daha fazla sementit barındırır. Çeliğin yapısındaki ferrit, perlit ve sementit miktarı, temelde doğrudan, çeliğin muhtevasına bağlıdır. Sementitin yüksek aşındırıcı özelliğinden dolayı, küçük bir miktar sementit bile, takım ömrü ve işlenebilirliği dikkate değer ölçüde etkiler. Bunlara ilaveten, ferritik çelikler genellikle martensitik çeliklere göre daha iyi işlenebilirlik özellikleri sergilerler.

### 3.3.2.2. Isıl işlemler

İş parçasına ait bu şartlar şöyle sıralanabilir:

- Sıcak haddelenmiş,
- Normalize (ıslah) edilmiş,
- Tavlanmış (Yumuşatma tavlaması/Gerilim giderme tavlamasına tabii tutulmuş),
- Sertleştirilmiş ve temperlenmiş.

Sıcak haddelenmiş; şartlardaki iş parçası genellikle homojen olmayan, kaba bir yapıya sahiptir. Bunun sebebi, sıcak haddeleme sonrasında malzeme uzun süre yüksek sıcaklıklara maruz kalır ve bu da nispeten kaba bir yapının oluşmasına sebep olur. İşlenebilirlik açısından bakıldığında, homojen olmayan bu yapı, malzemenin düzgün olmayan dağılım miktarına bağlı olarak, sapmalara/boşluklara sebep olur. Bu da işlenebilirlik açısından olumlu bir özellik değildir. Normalizasyon işlemi sırasında; malzeme östenit bölgesindeki sıcaklığa çıkarılır. Malzeme yapısı tamamen östenite dönüştükten sonra malzeme hızla oda sıcaklığına geri soğutulur. Bu işlem, sıcak haddeleme şartlarından daha ince ve homojen bir yapı elde etmek için uygulanır. Normalizasyonun en temel amacı, malzemenin tokluk davranışını iyileştirmektir. Daha düzgün yapıdan dolayı, işlenebilirlik düzeyinde de bir iyileşme sağlanır.

Yumuşatma tavlaması, gerçekte malzemeyi yumuşatmak için uygulanan bir ısı işlemidir. İşlem sırasında, perlitteki sementit lameller küresel sementite dönüştürülür. Sonuç olarak ferrit matris içinde düzgün dağılmış küresel sementitler oluşur ve sertlik önemli ölçüde düşer. Küresel yapıdaki sementitin anlamı, işleme sırasında kesici takımın sementit aşındırıcı taneciklerle çok daha kısa mesafede teması demektir. Normalde, yumuşatma tavlaması karbon miktarı % 0,5'den fazla olan çeliklerde uygulanır. Yüksek karbon muhtevası, küreselleştirme, en uygun işlenebilirlik elde etmek için yapılması gereken işlemlerden biridir. Düşük karbon muhtevasında daha yüksek perlit miktarı uygun işlenebilirlik şartları sergiler.

Yumuşatma tavlaması “Gerilim giderme” tavlaması ile karıştırılmaktadır. Gerilim giderme tavlamasının amacı, isminden de anlaşılacağı gibi malzemede, su verme veya soğuk şekillendirme şartlarında oluşan gerilmelerin giderilmesidir. Eğer bu gerilmeler giderilmeden bırakılacak olursa, talaş kaldırma sırasında serbest kalacak ve iş parçasının doğrusallığını ve toleranslarını etkileyecektir. Gerilim giderme tavlaması düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen bir işlem olup yapıyı etkilemez ve dolayısı ile işlenebilirlik üzerinde de etkisi yoktur.

Soğuk şekillendirilmiş bir malzeme genellikle, normalizasyon veya yumuşatma tavlamasına maruz bırakılır. Genellikle nispeten küçük boyutlu çelik bloklar veya iş parçalarına uygulanır. Küçük iş parçalarında üniform bir yapı elde etmek daha kolaydır.

Soğuk şekillendirme, deformasyon yüzdesinin azalma miktarına bağlı olarak dayanımı arttırır. Soğuk şekillendirme daha iyi yüzey yapısı, BUE oluşumunu azaltma eğilimi, çapak oluşmasını azaltma eğilimi açısından, işleme şartları için uygun durumlar sergiler.

İş parçasının sertliği, takım aşınmasının değerini etkiler, yaklaşık 200 HB sertliğe sahip malzemelerin sementit karbür takımlarla işlenmesinde orta düzeyde bir aşınma meydana gelirken, sertlikteki artma bunun üzerinde önemli rol oynar. Bununla beraber, nispeten yumuşak malzemeler BUE oluşturma eğilimi sergiler ve dolayısıyla nispeten sert malzemelerde olduğu gibi işlenebilirliği negatif olarak etkiler.

### 3.3.2.3. Yüzey düzgünlüğü veya düzensizliği

İşleme sırasında makro inklüzyonların sergilediği durumu sergiler ve düşük yüzey kalitesine, ani takım kırılmalarına veya hızlı takım aşınmasına sebep olur. Ön işlemeye tabi tutulmuş bir malzeme tercih edilmesi, çoğu zaman daha iyi sonuçlar verir. Ham kütük malzeme üzerindeki büyük toleranslar ekstra işleme operasyonları ve istenen boyutun ve yüzey kalitesinin elde edilmesi için daha fazla çaba sarf etmek

anlamına gelebilir. Modern üretimde, en önemli faktörlerden biride yüzey düzgünlüğü ve kalite gibi spesifikasyonlar ve bunların kontrolleridir.

#### 3.3.2.4. Alaşım elementleri

Alaşım elementleri malzemedeki özellikler üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Karbon, çelikteki mekanik ve işlenebilirlik özelliklerini belirleyen en önemli elementtir. Diğer alaşım elemanları; Nikel (Ni), Cobalt (Co), Mangan (Ma), Vanadyum (V), Molibten (Mo), Niobyum (Nb), Tungsten (W), Bakır (Cu) vb.'dir. Bazı alaşım elemanları ise işlenebilirlik üzerinde önemli pozitif etkiye sahiptir. Kükürt (S), Fosfor (P), Kurşun (Pb) bunlara örnek olup kolay işlenebilir çeliklere ilave edilirler. Talaş oluşumu, genellikle sünekliği azaltan alaşım elementleri ile iyileştirilebilir. İş parçası malzemesinin kimyasal analizi, işlenebilirliği hakkında önemli veriler içerir. Aşağıda negatif ve pozitif etkiye sahip elementler gösterilmiştir; Negatif Etkileyenler: Mn, Ni, Co, Cr, V, C < % 0,3 , C > % 0,6 , Mo, Nb, W. Pozitif Etkileyenler: Pb, S, P, C [50].

### 3.4. Takım Aşınması

Takım aşınması, kesici kenar üzerine gelen çeşitli yüklerin etkisi ile meydana gelen malzeme kaybı ve kesicide ortaya çıkan geometrik değişikliktir. Aşınmaya neden olan yük faktörleri kesici kenar ömrünü ve kenar geometrisini değiştirmeye çalışır.

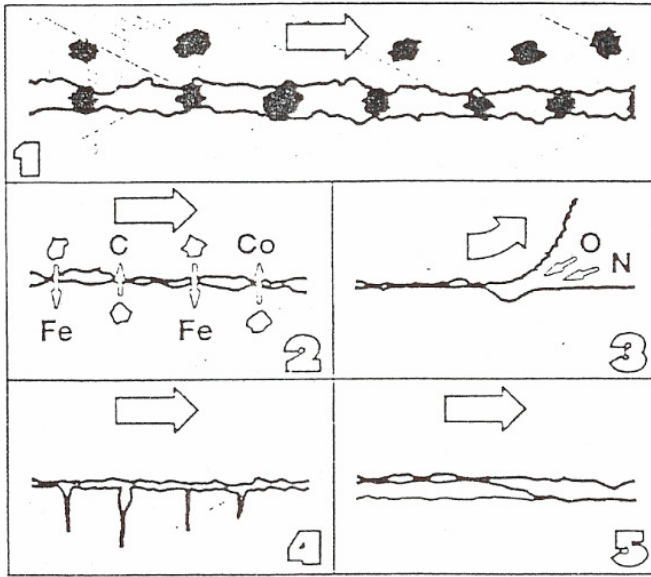
Bu faktörler; Mekanik, Termal, Kimyasal, Aşındırıcı faktörler olarak sınıflandırılabilir.

Talaş kaldırma sırasında kesici kenar üzerinde etkili olan yük faktörlerinin etkisiyle, bazı temel aşınma mekanizmaları talaş kaldırma işlemine etki eder. Bunlar;

- i. Abrasif (aşındırıcı) aşınma mekanizması,
- ii. Difüzyon aşınma mekanizması,
- iii. Oksidasyon aşınma mekanizması,

- iv. Yorulma ile aşınma mekanizması,
- v. Yapışma (adhesif) aşınma mekanizması.

Şekil 3.20’de bu temel aşınma mekanizmalarının davranışları gösterilmiştir [49].



Şekil 3.20. Temel aşınma mekanizmalarının davranışları [49].

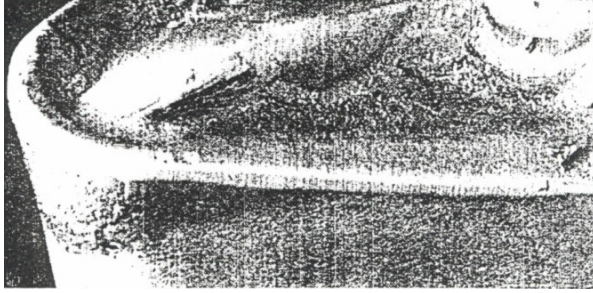
### 3.4.1. Aşınma mekanizmaları

#### 3.4.1.1. Abresif (aşındırıcılarla) aşınma mekanizması

Abrasyon aşınma (aşındırıcılarla aşınma-abrasif aşınma) en yaygın aşınma mekanizmasıdır ve çoğunlukla (ama tamamen değil) iş parçası malzemesinin sert parçacıkları bu aşınmaya yol açar. Sert parçacıklar iş parçası yüzeyi ile takım arasında geldiğinde taşlama işlemine benzer bir durum oluşur (Şekil 3.21).

Kesici kenarın abrasiv aşınmaya karşı direnç kabiliyeti, önemli ölçüde sertliğine bağlıdır. Sert parçacıkların yoğun bir şekilde sıkıştırılması ile oluşan takım malzemesi, abrasiv aşınmaya karşı koyabilecektir fakat işleme sırasında oluşan diğer

yük faktörleri aşınmaya sebep olabilir. Abrasiv aşınma takım talaş yüzeyinde ise krater (çukur) oluşmasına neden olur.



Şekil 3.21. İnce paso tornalamada kullanılan bir değiştirilebilir uçta görülen yanak aşınmaları (abrasif aşınma mekanizması) [49].

#### 3.4.1.2. Difüzyon aşınma (atomik yer değiştirme) mekanizması

Difüzyon aşınmasında, talaş kaldırma işlemi sırasında oluşan kimyasal bileşik oluşturma eğilimi daha etkilidir. Takım malzemesinin kimyasal özellikleri ve takım malzemesi ile iş parçası malzemesi arasında elementler arası olan birleşme eğilimi difüzyon aşınma mekanizmasının oluşmasını belirleyecektir. Takım malzemesinin sertliği süreçte çok fazla etkili değildir. Malzemeler arasındaki metalürjik ilişki, aşınma mekanizmasının büyüklüğünü tayin eder. Bazı takım–iş parçası malzemelerin yapısında bulunan elementler birbirlerine karşı yüksek birleşme eğilimine sahipken bazıları birbirlerine karşı asaldır.

Tungsten karbür ve çelik birbirine karşı difüzyon aşınma mekanizmasının oluşmasına sebep olan bir birleşme eğilimine sahiptirler. Bunun sonucu olarak, takımın talaş yüzeyi üzerinde bir çukur (krater) oluşması söz konusudur. Mekanizma daha çok sıcaklığa bağlıdır ve bu sebeple yüksek kesme hızlarındaki etkisi daha büyüktür. Atomik değişim, ferrit ve karbonun iki-yollu transferi ile oluşur. Ferrit, çelikten takıma transfer olurken, küçük olan ve demirde harekete hazır karbon talaşa nüfuz eder.

#### 3.4.1.3. Oksidasyon aşınma mekanizması

Pek çok malzeme için oksitlenme oldukça farklı olmakla beraber metal malzemelerin çoğu için yüksek sıcaklık ve havanın varlığı oksidasyon demektir. Tungsten ve Kobaltta, talaş tarafından daha kolay kazınıp uzaklaştırılabilen gözenekli oksit filmi şeklinde oksidasyon oluşur. Bununla beraber Alüminyum Oksit gibi bazı oksitler daha güçlü ve daha serttir. Bazı kesici takım malzemeleri oksidasyon sebebiyle aşınmaya diğerlerinden daha meyillidirler. Özellikle kesici kenarla parçanın ara yüzeyinde, talaşın kesici takım talaş yüzeyinden ayrıldığı hat üzerinde, hava, talaş kaldırma sürecine dâhil olur. Oksidasyon bu bölgede kesici kenarda tipik çentiklerin oluşmasına sebep olur. Ancak bu tür aşınma günümüzün işleme şartlarında nispeten yaygın olmayan bir durumdur.

#### 3.4.1.4. Yorulma ile aşınma mekanizması

Yorulma aşınması, genellikle termo-mekanik bir kombinasyondur. Sıcaklık dalgalanmaları ve kesme kuvvetlerinin değişkenliği kesici takımda çatlaklara ve kırılmalara sebep olur. Frezelemede olduğu gibi aralıklı ve darbeli kesme etkisi, sürekli ısı oluşumuna, soğumaya ve aynı zamanda kesici kenara çarpmalarla darbelere sebep olur. Bunlarda kesici takım üzerinde aşındırıcı etkilere sahiptir. Bazı takım malzemeleri yorulma mekanizmasına diğerlerinden daha duyarlıdır. Aynı zamanda, kesici kenarın mekanik dayanımı çok yüksek olduğunda sırf mekanik yorulma ortaya çıkabilir. Bu durum sert veya işlenmesi zor, dayanım sınırı yüksek malzemelerin oldukça yüksek ilerleme değerleri ile işlenmesinden veya takım malzemesinin yeterince sert olmamasından kaynaklanabilir. Bununla beraber bazı durumlarda plastik deformasyonun hâkimiyeti de söz konusudur.

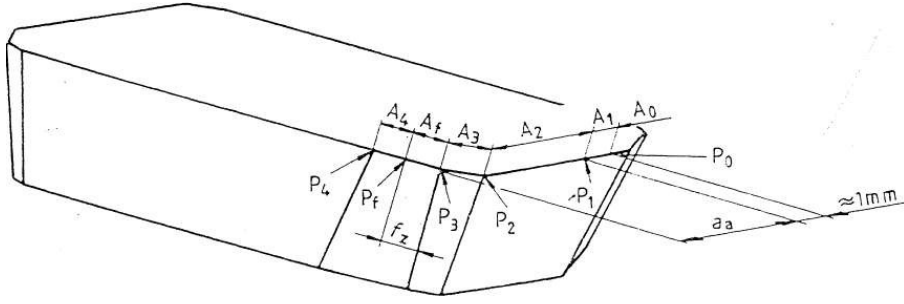
#### 3.4.1.5. Adhezyon (yapışma) aşınma

Adhezyon aşınması takım-talaş ara yüzeyinde, düşük sıcaklıklarda oluşur. Uzun talaş (akma talaş) ve kısa (kırık) talaş veren iş parçası malzemelerinin (çelik, alüminyum ve dökme demir gibi) hepsinde adhezyon aşınması görülebilir. Bu mekanizma

genellikle kesici kenar ile talaş arasında, kenar üzerinde yığılmış talaş (BUE) oluşmasına neden olur. Dinamik bir yapısı vardır. Birbirini takip eden talaş katmanları talaş yüzeyinde üst üste kaynak olarak sertleşir ve kesici kenarın bir parçası halini alır. Kısa aralıklar halinde oluşan BUE tabakası yırtılıp uzaklaşır ve tekrar birikmeye başlayabilir veya kesici kenardan küçük parçaların kırılıp uzaklaşmasına, kopmaya veya kırılmalara sebep olabilir. Sünek çelikler gibi malzemeler, bu basınçla kaynamaya diğerlerinden daha fazla eğilim gösterirler. Daha yüksek işleme sıcaklıklarına ulaşıldığında bu durum için şartlar önemli ölçüde ortadan kalkar. Yapışan tabaka, takım geometrisini değiştirdiğinden kesme kuvvetlerini de değiştirir

#### **3.4.2. Takım aşınma tipleri ve miktarlarının belirlenmesi**

Takım aşınma tiplerinin sınıflandırılması, işleme tipi, doğru işleme şartlarının ve takım sınıfının belirlenmesini sağlamaktadır. Takım aşınmasının belirlenmesi, verimliliği ve işleme operasyonunu değerlendirmek için en önemli bir unsurdur. Temel işleme kriterleri; talaş kaldırma miktarı, ekonomiklik, hassasiyet, yüzey dokusu ve talaş kontrolü takım aşınmasının oluşup gelişmesine bağlıdır. Kesici kenarın büyütülerek incelenmesi ve aşınma biçiminin verdiği ipuçları doğrultusunda hareket etmek suretiyle kesici kenar için uygun bir takım belirlenebilir [49]. Herhangi bir işlem için daima en ideal bir aşınma tipi mevcuttur. Doğru takım ve kesme parametreleri için uygun başlangıç değerleri, uzman desteği, kişisel deneyimler, kalitesi yüksek iş parçası malzemesi ve işleme şartları, ideal aşınma oluşumunun sağlanabilmesi için en önemli karar verme kriterleridir. Şekil 3.22'de aşınma noktaları ve bölgelerine ait kodlama sistemi verilmiştir. Bu kodlama sistemi aşınma tipleri ve aşınma bölgelerini tarif edebilmek amacıyla kullanılmıştır.



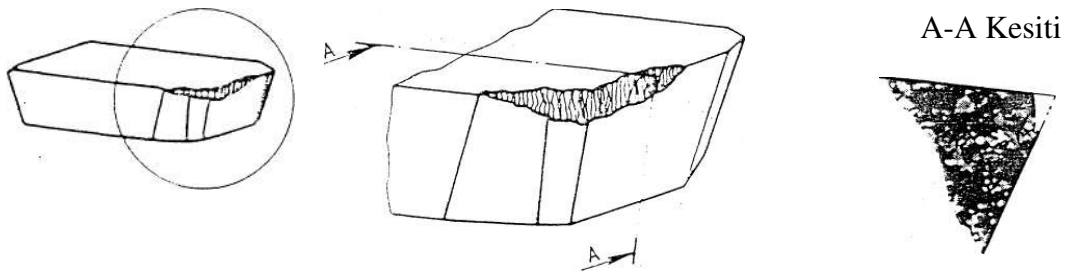
Şekil 3.22. Aşınma konumları kodlama sistemi [53].

### 3.4.2.1. Yanak aşınması

Kesme esnasında takım yanaklarında oluşan malzeme kaybıdır. Yanaklarda gittikçe artan bir aşınmaya sebep olur. Kesici kenarın yan yüzeylerinde (yanaklarında) genellikle abrasiv aşınma mekanizmasından kaynaklanan bir aşınma tipidir. Serbest kenarlar, uç yarıçapı kavisine paralel olan talaş oluşumu sırasında ve sonrasında iş parçası ile temasa maruz kalır. Bu tip aşınma (Şekil 3.23, Şekil 3.24, Şekil 3.25) genellikle karşılaşılabilecek en normal aşınma tipidir. Emniyetli-sürekli artan bir yanak aşınması sağlamak genellikle en ideal durum olarak kabul edilir. Aşırı yanak aşınması sonucu, daha kötü yüzey dokusu ve hassasiyetten sapma söz konusu olur ve kesici kenar şekil değiştirdiğinden sürtünme artar.

#### Düzenli yanak aşınması

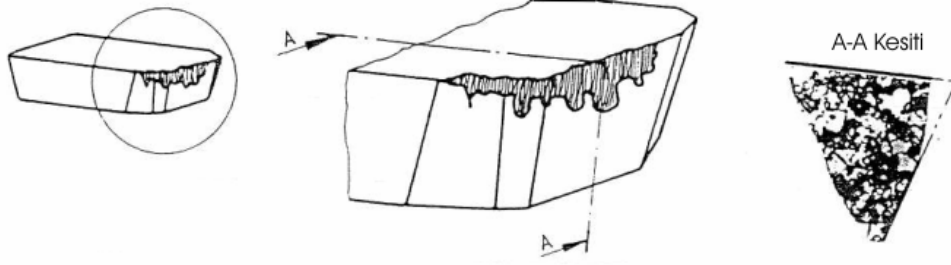
Genellikle aktif kesici kenar uzunluğunca sabit genişliğe sahip aşınma bölgesini ifade eder.



Şekil 3.23. Düzenli yanak aşınması [53].

### Düzensiz yanak aşınması

Aşınma bölgesi düzensiz genişliğe sahiptir ve her kesitte ölçülen yanak aşınmaları değişmektedir.



Şekil 3.24. Düzensiz yanak aşınması [53].

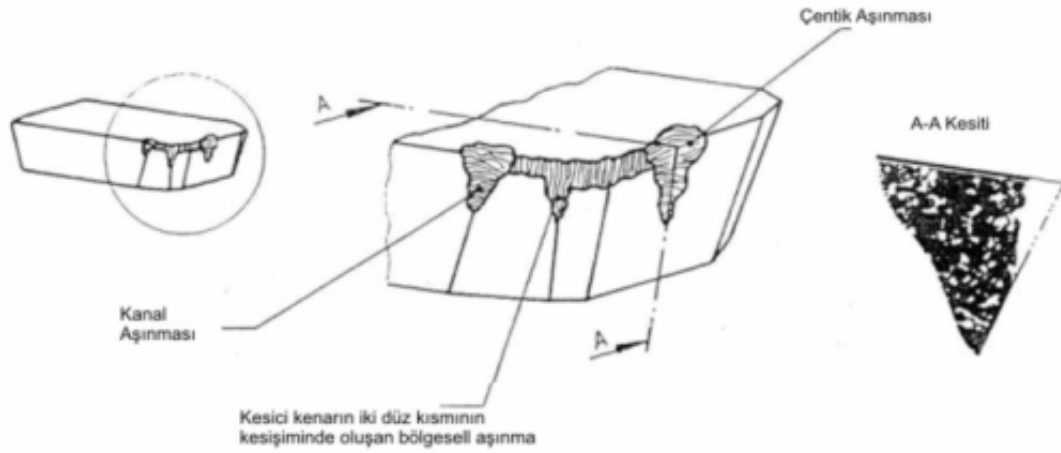
### Bölgesel yanak aşınması (çentik aşınması)

Yanak üzerinde bölgesel noktalarda abartılı biçimlerde gelişen yanak aşınmalarıdır (Şekil 3.22,  $P_1$ 'den  $P_2$ 'ye hat üzerinde ve  $P_f$  veya  $A_1$  noktalarında oluşur).

Yanak aşınmalarının özel bir tipi Çentik Aşınması'dır (Şekil 3.25). İş parçasına bitişik esas yanak yüzeyi üzerinde belirtilen bölgelerde gelişir. Tipik bir adhesyon (yapışma) aşınması olmakla beraber oksidasyon aşınma mekanizması ile büyüyebilir. Aşınma, havanın kesme bölgesine dahil olduğu, kesmenin ucunda (talaş derinliğinin son noktasında) bölgesel olarak oluşur. Esas kesici kenarda çentik oluşması mekanik yüklerin bir sonucudur ve genellikle daha sert malzemelerin işlenmesi sırasında oluşur. Aşırı çentik aşınması, bitirme talaşında yüzey dokusunu (yüzey pürüzlülüğünü) etkiler ve özellikle kesici kenarın dayanımını zayıflatır.

Bir başka özel tip yanak aşınması da Kanal Aşınması'dır. Bu tip aşınma yardımcı kesici kenar üzerinde işlenmiş yüzeye bitişik kısımda gelişir.

Kesici kenarın iki doğru kısmının kesişim noktalarında bazen bir aşınma söz konusu olabilmektedir. Bu aşınma üçüncü özel bir tip yanak aşınması olarak yorumlanabilir.



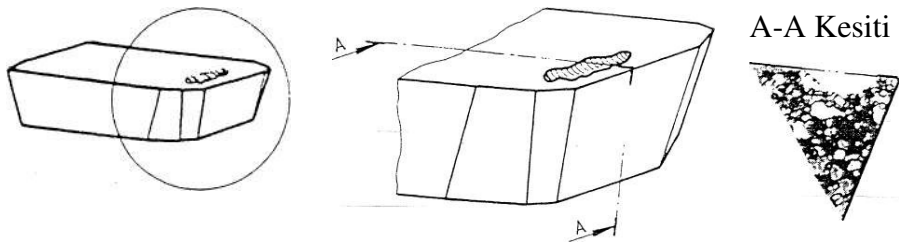
Şekil 3.25. Bölgesel yanak aşınma tipleri [53].

#### 3.4.2.2. Yüzey aşınması

Kesme esnasında tedrici olarak oluşan, takım yüzeyindeki malzeme kaybıdır.

##### Krater Aşınması

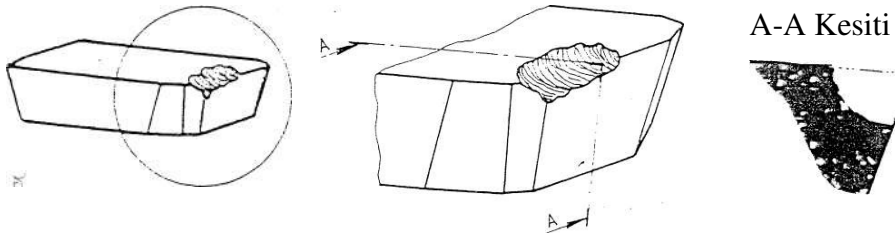
Esas kesici kenara yaklaşık olarak paralel oluşan krater gelişimidir ve esas kesici kenardan bir miktar uzakta, maksimum derinliğe sahiptir. Krater aşınması veya çukur aşınma olarak bilinen aşınma tipi, talaş yüzeyinde abrasiv ve difüzyon aşınma mekanizmaları sebebiyle oluşur (Bkz. Şekil 3.26). Krater, ya sert parçacıkların aşındırma etkisiyle yada takım ile talaş malzemesi arasındaki difüzyon etkisiyle, takım malzemesinin talaş yüzeyinden ayrılmasıyla şekillenerek oluşur. Sertlik, sıcak sertlik ve malzemeler (takım-iş) arasındaki minimum kimyasal yakınlık krater aşınması eğilimini de minimize eder. Aşırı krater aşınması, kesici kenar geometrisini değiştirir ve talaş oluşumunu, biçimlenmesini bozabilir. Kesme kuvvetlerinin doğrultularını değiştirir ve aynı zamanda kesici kenarı zayıflatır.



Şekil 3.26. Krater aşınması [53].

### Basamak Tipi Yüzey Aşınması

Aşınma izinin maksimum olduğu, takım yüzeyine dik olarak ölçülen ve esas kesici kenar ile aşınma izi kesişim bölgesinde oluşan yüzey aşınmasının bir türüdür. Şekil 3.27 Şekil 3.27 basamak tipi yüzey aşınmasını göstermektedir.



Şekil 3.27. Basamak tipi yüzey aşınması [53].

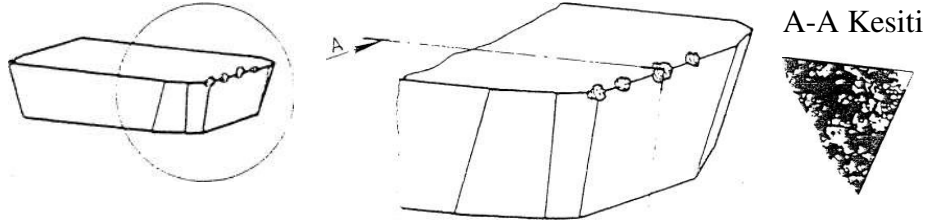
### 3.4.2.3. Çıtlama

Kesici kenarda meydana gelen çıtlamalar, aşınmadan ziyade kesici kenar hattındaki küçük boyutlu kırılmalardır (Bkz. Şekil 3.28). Yükleme ve yükün kaldırılmasından kaynaklanan bu yorulma, kesici takım malzemesinden küçük parçacıkların takım yüzeyinden ayrılmasına sebep olur. Çoğunlukla, kesikli, darbeli çalışma bu tip aşınmaya sebep olur.

Kenardaki aşınmanın, çentiklenmeye mi yoksa yanak aşınmasına mı delalet ettiği çok dikkatli incelenmelidir. Çentiklenme veya parçacık kopmaları kenar kırılmalarının çeşitlerindedir.

### Düzenli çatlama

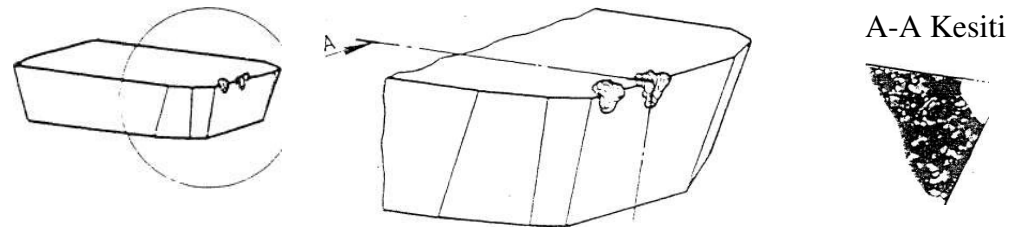
Kesici kenar boyunca yaklaşık eşit aralıklarla oluşan ve belirgin bir şekilde yanak aşınma bölgesinin düzenini bozan takımındaki kırılmalardır.



Şekil 3.28. Düzenli çatlama [53].

### Düzensiz çatlama

Aktif kesici kenar boyunca küçük çatlakların birleşmesiyle oluşan fakat birinden diğerine tutarlılık göstermeyen çatlamalardır (Bkz. Şekil 3.29).



Şekil 3.29. Düzensiz çatlama [53].

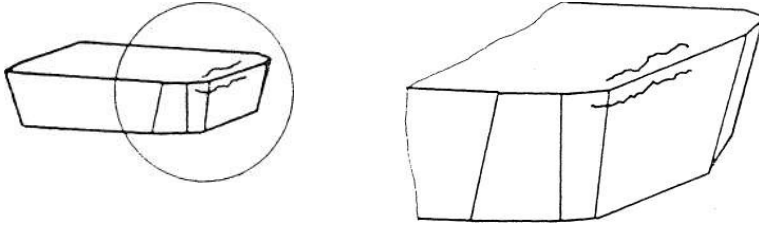
### Bölgesel çatlama

Aktif kesici kenar üzerinde mütemadiyen belirli noktalarda (veya Şekil 3.22'de A0 alanında) meydana gelen çatlama (Bkz. Şekil 3.30).



### Paralel (mekanik) çatlaklar

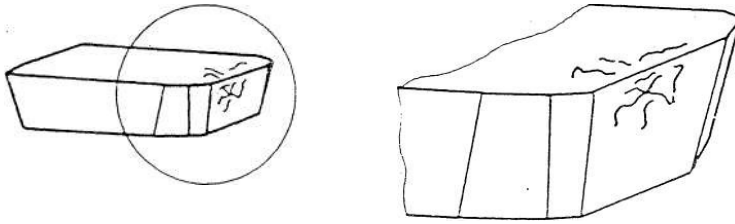
Takım yüzeyinde veya takım yanağında görülen ve yaklaşık olarak esas kesici kenara paralel oluşan çatlaklardır. Mekanik yorulma çatlakları (Bkz. Şekil 3.32), kesme kuvveti darbeleri aşırı olduğunda oluşur. Kuvvet kendi kendine kırılmaya sebep olmayacak büyüklükte olmakla beraber, yükteki sürekli değişim sonucu oluşan kırılmalardır. Kesmenin başlangıcında ve kesme kuvvetindeki değişimlerde bu çatlaklar büyüyebilir.



Şekil 3.32. Paralel çatlaklar [53].

### Düzensiz çatlaklar

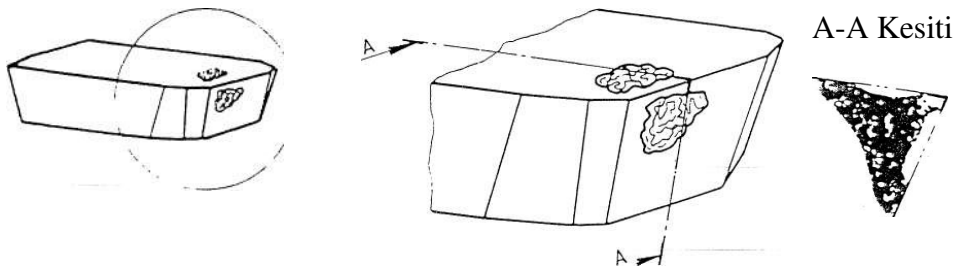
Takım yüzeyinde veya takım yanağında oluşan ve düzensiz konumlanan çatlaklardır (Bkz. Şekil 3.33). Takım üzerindeki termal çevrimler ve mekanik yüklerin, termal ve mekanik çatlaklara yol açmayacak boyuttaki miktarları nedeniyle ortaya çıkar.



Şekil 3.33. Düzensiz çatlaklar [53].

### 3.4.2.5. Tabaka kalkması

Takım yüzeyinden tabaka biçiminde katman kalkmasıdır. Bu katman kalkması genellikle kaplanmış kesici takımlar kullanıldığında ortaya çıkar. Ancak diğer takım türlerinde de görülebilmektedir (Bkz. Şekil 3.34).



Şekil 3.34. Tabaka kalkması [53].

### 3.4.2.6. Kesici kenarda birikme (BUE)

Kesici kenarda yığılma (BUE) oluşması (Şekil 3.35), genellikle yüksek sıcaklık ve onunla ilişkili bir durum olan kesme hızının etkisindedir. BUE kesici kenar geometrisinde negatif (olumsuz) bir değişikliğe sebep olur ve aynı zamanda takım malzemesi BUE biçimindeki kaynaklanmış malzemeyle birlikte kopup uzaklaşabilir. Kesici takım malzemesi ile iş parçası malzemesi arasındaki yapı benzerliği de BUE oluşumunda önemli rol oynar. Düşük sıcaklık ve yüksek gerilmeler, iş malzemesinin talaş nedeniyle takımın talaş yüzeyine basınç kaynağı yapmasına sebep olur.



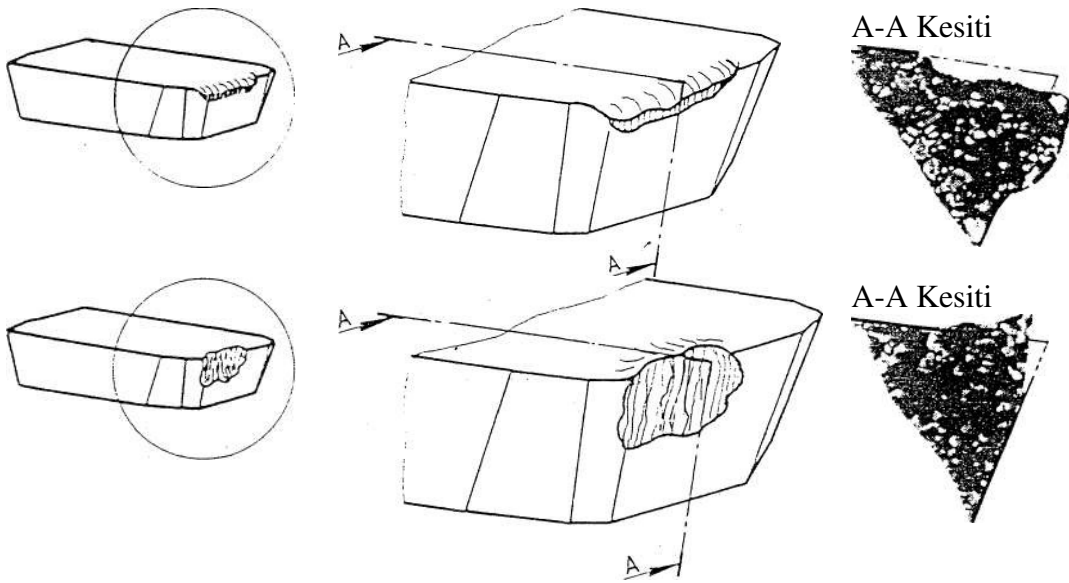
Şekil 3.35. Kesici kenarda oluşan BUE .

BUE oluşumu için sıcaklık-kesme hızı ilişkisini veren bölgeler nispeten iyi tanımlanmış olduğundan BUE oluşumundan sakınmak mümkün olabilir. Modern işlem metotlarının çoğu, BUE oluşan alanın üstünde kesme hızlarında yer alır ve doğru kullanıldığında BUE oluşma eğilimi olmayan modern takım sınıfları mevcuttur.

Yüzey dokusu BUE oluşumundan genellikle ilk zarar gören unsurdur, ancak; bu tip aşınmanın devam etmesine izin verilirse, çok çabuk kesici kenar kırılması hatta takım kırılması riski de söz konusudur.

#### 3.4.2.7. Plastik deformasyon

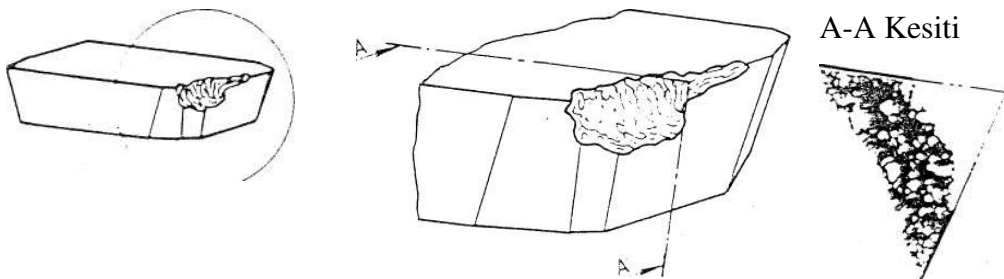
Takımın kesici kenarında, takım malzeme kaybı olmaksızın orijinal biçiminden bozulmalar plastik deformasyona işaret eder. Kesici kenar üzerindeki yüksek basınç ve yüksek sıcaklık kombinasyonunun bir sonucu olarak ortaya çıkar. Yüksek hızlar ve yüksek ilerlemeler, sert iş parçası malzemesi, sıcaklık ve basınç sebebiyle oluşabilir. Takım malzemesinin bunlara karşı koyabilmesi ve plastik olarak şekil değiştirmemesi için yüksek sıcak sertliği kritiktir. Kesici kenarda bir şişmenin oluşması daha yüksek sıcaklıkların oluşmasına, geometrinin deformasyonuna, talaş akışının değişmesine sebep olacak ve kritik bir noktaya ulaşıncaya kadar etkisi devam edecektir. Kenar yuvarlatmanın boyutu ve takım geometrisi bu tip aşınmanın (Bkz. Şekil 3.36) engellenmesinde önemli rol oynar.



Şekil 3.36. Plastik deformasyon [53].

#### 3.4.2.8. Kırılma (katastrofik hata)

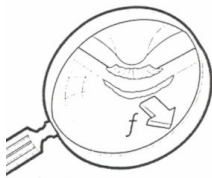
Takım kesici kısmı üzerinde bozulmayı tamamlayan hızlı kötüleşmedir. Kırılma (Şekil 3.37), kesici kenarın görevinin tamamen sona ermesidir. Kırılma, takım geometrinin değişmesi, kesici kenarın dayanımının zayıflaması, sıcaklık ve kuvvet yükselmeleri pek çok kesici kenar hatalarına zemin hazırlar. Ağır kesme şartlarında (kesme parametrelerinin büyük olması) oluşan veya iş parçası malzemesinden kaynaklanan ani kırılmaların sebep olduğu gevrek kırılma ya da uygun olmayan bir takım malzemesi üzerindeki değişik gerilmelerin bir sonucu olabilir. Kenar kırılması genellikle diğer aşınma tiplerinin en son noktasıdır.



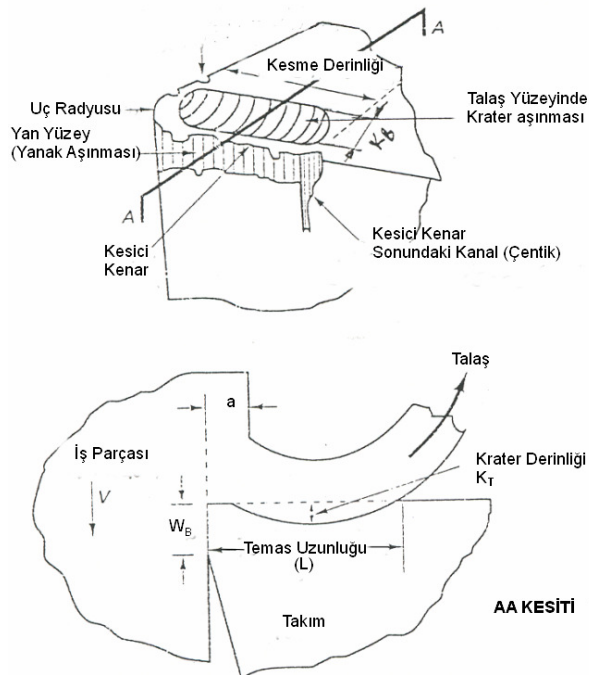
Şekil 3.37. Takım aşınma son noktası [53].

### 3.4.3. Takım aşınmasının kontrolü

Takım aşınması, belli bir seviyeye ulaşmadan önce geçen işleme zamanına bağlı olarak geliştiğinde, muayene ve kontrol yöntemleri ile belirlenir. uygun bir mikroskop veya büyüteç en yaygın kullanılan kontrol aletleridir (Şekil 3.38). Şekil 3.39'da ise çeşitli aşınma tiplerinin analizi için esas alınan boyutlar verilmiştir. Yan yüzey (yanak) aşınması, asıl kesme kenarından ölçülür. Ölçüm yapmak için aşınan kısım üç bölgeye ayrılarak incelenir Toplam uzunluk 4'e bölünür,  $\frac{1}{4}$  'lük kısımlar iki başta ve  $\frac{1}{2}$  'lik kısım ortada kalacak şekilde üçe ayrılarak analiz yapılır (Şekil 3.40).

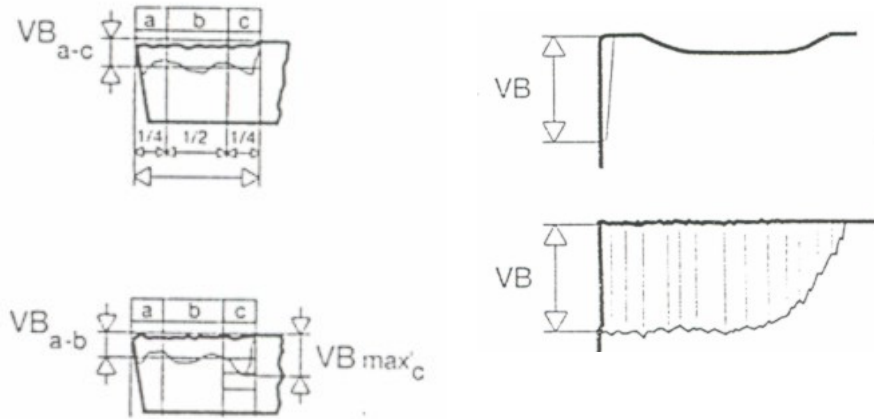


Şekil 3.38. Kesici takım aşınması analizleri.



Şekil 3.39. Çeşitli aşınma tipleri ve bunların analizinde esas alınan boyutlar [1].

a, b, c diye ayrılan bu bölgelerin üçünde aşınma değeri benzer bir dağılım gösteriyorsa, yanak aşınması bu üç bölgenin ortalaması olarak  $VB_{a-c}$  şeklinde alınır (Şekil 3.40).



Şekil 3.40. Yanak aşınması ve analizi için bölgeler [1, 46]

Eğer bu üç bölgenin birinde aşırı bir yanak aşınması durumu söz konusu ise, ortalama değer alınması için bu bölgenin göz ardı edilmesi tavsiye edilir. Ortalama diğer iki bölgeye göre alınır ( $VB_{a-b}$ ). Ayrıca, maksimum aşınmanın olduğu bölge ayrı olarak ele alınarak maksimum yanak aşınması da kaydedilir (Çizelge 3.2).

Krater aşınması, asıl talaş yüzeyinden ölçülen maksimum derinlik (KT) ile belirlenir. Bazı durumlarda krater genişliği de (KB) kaydedilir ve analizlerde dikkatli alınır.

Çizelge 3.2. Takım Kötüleşmesinin Ölçülmesi ve Değerleri [53]

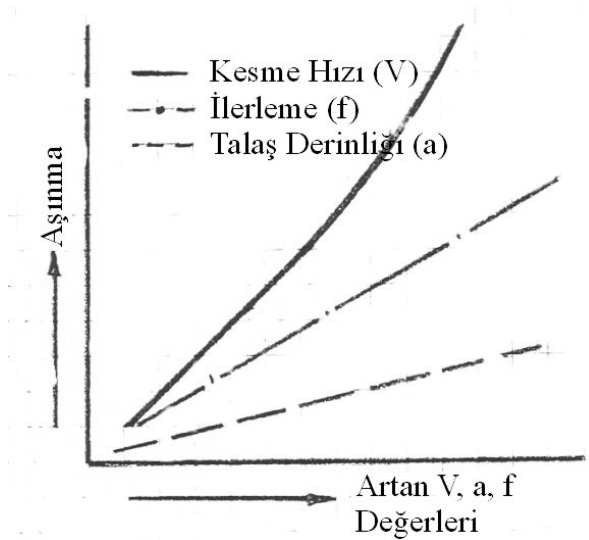
Kod		Takım Kötüleşmesinin Ölçülmesi					
Temel Form	Dağılım	Alt Bölümü	Test Zamanı			Faydalı Zaman	Toplam Zaman
			Küçük (K)	Normal (N)	Büyük (B)	Toplam Hata	
			Takım Kötüleşmesi		Değer, mm		
K	N	B					
V	B	1	<u>Yanak Aşınması</u>				
		2	Düzensiz	0,2	0,35	0,5	
		3	Bölgesel	0,9	1,2	1,5	
				0,8	1	1,2	
K	T	1	<u>Yüzey aşınması</u> Krater Aşınması:				
			Derinlik	0,05	0,1	0,15	
			Genişlik	...	...	...	
			En	...	...	...	
		2	<u>Basamak Biçimli:</u>				
			Derinlik	0,25	0,3	0,35	
			Genişlik	...	...	...	
m	E		<u>Çıtlama</u>	z veya y için, uzunluk değerleri			
C	a						
H	a						
k	k						
			Düzensiz				
			Bölgesel				
			Uzunluk, mm				
		A	Mikro Çıtlama < 0,3	0,2	0,25	0,3	
		B	Makro Çıtlama 0,3 ila 1	0,25	0,4	0,5	
		C	Kırılma > 1	-	-	-	
İ	i		<u>Çatlaklar</u>	En büyük çatlakların sayısı ve aralarındaki mesafe kaydedilir.			
m			Kenara dik olan çatlaklar				
C	1		Kenara paralel olan çatlaklar				
R	2		Düzensiz yönlerde				
F	L		<u>Tabaka Kalkması</u>				
P	D		<u>Plastik Deformasyon</u>	Özel durumlar için kriter olarak kullanılır.			
C	F		<u>Katastrofik Hatalar</u>				

### 3.4.4. Aşırı aşınmanın önlenmesi

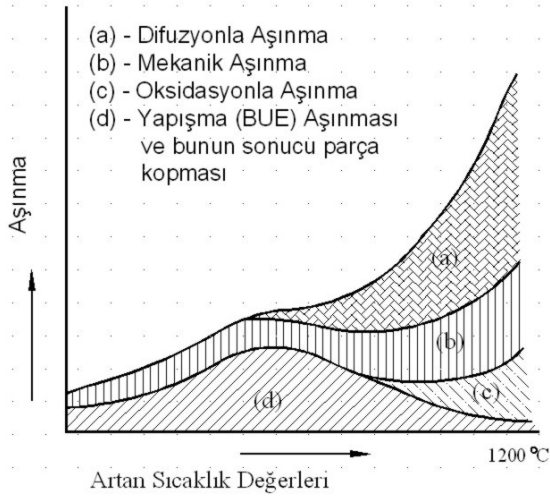
Takım ömrünü olumsuz etkileyecek aşırı aşınmanın önlenmesi amacıyla bazı önlemlerin alınması gerekmektedir. Aşırı uç aşınmasını azaltmak için;

- Kesici takımın veya ucun doğru seçimi (özellikle sementit karbür takma uçlarda kesici takım malzemesinin ve kalitesinin doğru seçilmesi),
- Takım geometrisinin doğru seçimi (talaş açısı, boşluk açısı, kesme kenarı ayar açısı, uç yarıçapı, kesme kenarı vb.),
- Kesme parametrelerinin doğru seçimi (kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği, soğutma sıvısı kullanımı vb.)

önemlidir. Aşınmanın, kesme parametrelerine göre artan değerleri Şekil 3.41'deki eğrilerden görülebilir. Aşınmanın diğer bir önemli faktörü olan ısıya bağlı olarak farklı aşınma mekanizmalarının oluşma eğilimi ise Şekil 3.42'de gösterilmiştir.



Şekil 3.41. Kesme parametrelerine (V, a, f) bağlı olarak aşınmadaki artma eğilimi [50].



Şekil 3.42. Isıya bağlı artan sıcaklık değerlerine bağlı olarak değişik aşınma mekanizmalarının oluşma eğilimleri [50].

## 4. MATERYAL VE METOT

### 4.1. Deney Seti

#### 4.1.1. Kullanılan takım tezgahı

Deneylede Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Talaşlı Üretim Anabilim Dalı atelyelerinde bulunan Johnford VMC 850 Dik İşlem Merkezi kullanılmıştır. Tezgahın teknik özellikleri Çizelge 4.1 'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kullanılan Takım Tezgahı Özellikleri

VMC 850 Dik İşleme Merkezi	
Tabla Çalışma Alanı	1000x500 mm (39.4"x19.7")
Boyuna Hareket (X)	800 mm (31.5") 1050 mm (41.3")
Enine Hareket (Y)	500 mm (19.7")
Düşey Hareket (Z)	610 mm (24")
Fener Mili Ucu Tabla Açıklığı	100 mm~710 mm (3.94"~28")
Fener Mili ile Gövde Açıklığı	550 mm (21.7")
Fener Mili Koniği	BT-40, CAT-40 / BBT-40, HSK A63(Opt.)
Fener Mili Hızı	60~8000 rpm
Fener Mili Motor Gücü	5.5 kW P motor (Std.)
X-Y-Z Hızlı Hareket	30 / 30 / 20 m/min
İlerleme	1~12000 mm/min
Takım Seçimi	Tek Yönlü, Shortest path
Takım Sayısı	ATC 24
En Büyük Takım Çapı	100 mm (4")
En Büyük Takım Uzunluğu	300 mm (12")
En Büyük Takım Ağırlığı	10 kg(22 lb)
Tabla Yük kapasitesi	600 kg(1320 lb)

#### 4.1.2. Kuvvet ölçümü

Kuvvet ve moment ölçümleri için Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Talaşlı Üretim Anabilim Dalı'nda bulunan Kistler 9257B Kuvvet Ölçer ve Kistler 5070A tipinde, 8 kanallı Yükseltici (Şekil 4.1) kullanılmıştır. Kuvvet ölçümünde kullanılan Kuvvet Ölçer ve yükseltici'nin teknik özellikleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Kistler 9257B Kuvvet Ölçer ve 5070A Yükseltici.

Çizelge 4.2. Kuvvet Ölçer ve Yükseltici Teknik Özellikler

Kuvvet Ölçer Teknik Özellikler		Tip 9257B	
Kalibrasyon	Kalibre edilmiştir		
Ölçme Aralığı	Fx, Fy, Fz	kN	±5
Duyarlılık	Fx, Fy	pC/N	≈-7.5
	Fz	pC/N	≈-3.7
Doğal Frekans	f <sub>nx</sub>	kHz	≈2.3
	f <sub>ny</sub>	kHz	≈3.5
Çalışma Sıcaklık Aralığı		°C	0...70
Uzunluk		mm	≈170
Genişlik		mm	≈100
Yükseklik		mm	≈60
Bağlantı	Fischer 9 pol. neg.		
Sızdırmazlık	welded/epoxy (IP67) Bağlantı kablosu tipi 1687B5, 1689B5		
Kütle		kg	7.3
Yükseltici Teknik Özellikler		Tip 5070A01100	
Kanal Sayısı	8		
Açıklama	19" rack		
Bağlantı	Fischer 9 pol. neg.		
Ölçüm Aralığı		pC	±200...200000
Frekans Aralığı		kHz	≈0...>45
Çıktı Sinyali		V	±10
Güç		V	100 ... 240
Arayüz	RS-232C		
Detaylı bilgi	Klavuza bakınız		

### 4.1.3. İş parçası bağlama kalıbı

Deneyde iş parçasını tezgâha bağlayabilmek ve sıcaklık ölçümü için gerekli ısı ölçerleri monte edebilmek amacıyla iş parçası bağlama kalıbı tasarlanmıştır. Kesme esnasında kuvvet ölçümü de yapılacağından, kalıbın Kuvvet Ölçer üzerindeki bağlantı yuvalarına ısı ölçerlerin monte edilebilir olmasına dikkat edilmiştir. Bağlama kalıbından istenen bir başka temel fonksiyon ise; sıcaklık ölçümü için parçaya gömülmüş ısı çift yöntemi kullanılacağından ısı çiftlerin sürekli ve kolay bir şekilde iş parçasına monte edilebilmesidir. Bu amaçla kalıp üzerinde ısı çift bağlantı kanalları oluşturulmuştur. Tasarlanan ve imalatı gerçekleştirilen bağlama kalıbına ait teknik resim EK 3'de verilmiştir. İş parçası ve ısı çiftlerin Kuvvet Ölçer üzerine monte edilmiş haldeki montaj resmi de perspektif olarak EK 4'de yer almaktadır.

### 4.1.4. Sıcaklık ölçümü

Frezeleme esnasında soğutma sıvısı kullanılacak olması ve kesme bölgesine en yakın noktadan sıcaklık okuyabilme imkânı sağlaması dolayısıyla iş parçasına gömülmüş ısı çift yöntemi tercih edilmiştir.

Isıl çiftler yapısal olarak incelendiğinde;

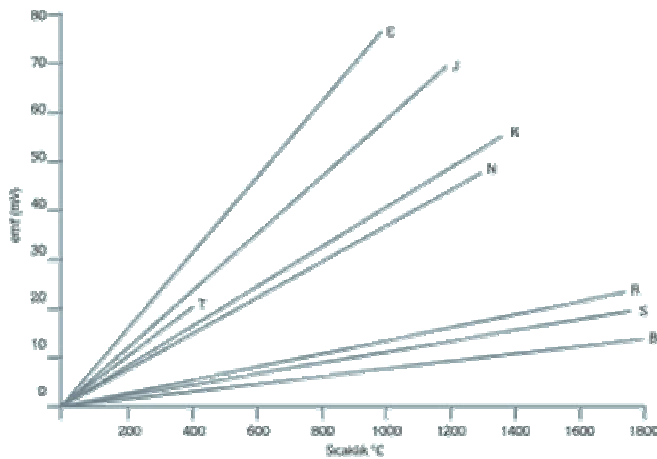
- i. Bağlantı kafası
- ii. Bağlantı klemensi
- iii. Koruyucu tüp
- iv. Eleman teli
- v. İzolatör
- vi. Primer (İç koruyucu)
- vii. Flanş veya rekor gibi malzemelerden oluşmaktadır.

Isıl çift seçiminde etkin olan en önemli parametre çalışma sıcaklık aralığıdır. Çalışma sıcaklığını ise ısı çift elemanının malzemesi belirler. Isıl çiftlerde kullanılan eleman telleri DIN 43710 ve IEC-584 standartlarında belirtilmiştir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Isıl Çift Eleman Tipleri

Eleman Teli	DIN 43710	DIN 43710 ve IEC 584	Sıcaklık Aralığı		Eleman
Cu- Const	U	T	-200°C	+300°C	Bakır- Konstantan
Fe- Konst	L	J	-200°C	+800°C	Demir- Konstantan
Cr- Al		K	-200°C	+1200°C	Kromel- Alümel
NiCr- Ni		K	-200°C	+1200°C	NikelKrom- Nikel
Cr- Const		E	-200°C	+1200°C	Kromel- Konstantan
Nikrosil- Nisil		N	0°C	+1200°C	NikelKrom- Silikon- Nikelsilikon magnezyum
Pt% 10 Rh-Pt		S	0°C	+1500°C	Platin Rodyum- Platin (%10)
Pt% 13 Rh-Pt		R	0°C	+1600°C	Platin Rodyum- Platin (%13)
Pt% 18 Rh-Pt		B	0°C	+1800°C	Platin Rodyum- Platin (%13)
Tn- Tn%26Re		W	0°C	+2000°C	Tungten- Tungsten %26 Renyum

Isıl çift çalışma prensibi gereği, sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkı ısı çift üzerinde gerilim (EMF) yaratır (Şekil 4.2) [50]. Sıcak nokta sıcaklığı aynı kalmak koşulu ile soğuk nokta sıcaklığı değiştiğinde farklı sıcaklıklar okunur. Bu nedenle mV tablolarındaki değerlerde standart sağlamak için ölçülen sıcaklık karşılığı mV değerleri soğuk noktanın 0°C'de tutulması ile elde edilmiştir. Örneğin 200°C'ye karşılık gelen mV değeri, ısı ölçerin sıcak noktası 200°C'de, soğuk nokta 0°C'de iken uç noktada ölçülen mV değeridir.



Şekil 4.2. Sıcaklığa bağlı ısı çift üzerinde oluşan EMF (mV) [50].

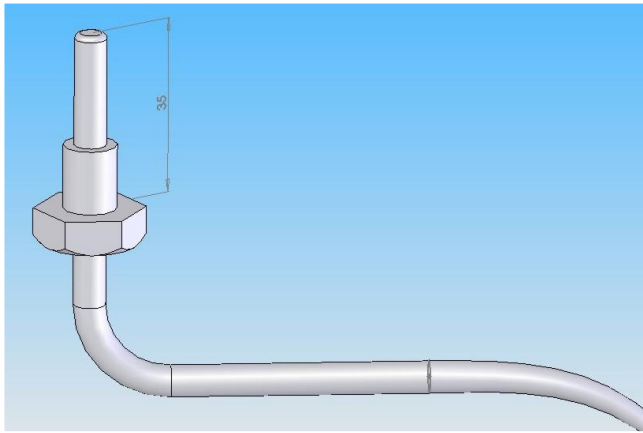
Eleman tellerinin sıcaklık- mV eğrileri incelendiğinde lineer olmadığı görülür. Her eleman telinin diğerine göre lineer olarak daha uygun olduğu bölgeler vardır. Örneğin 800°C ölçeklenen bir Fe- Const termokupl ile 1200°C ölçeklenen NiCr- Ni eleman tellerinin mV eğrisi karşılaştırıldığında 300-500°C arasında Fe-Const, NiCr- Ni'ye göre daha lineer'dir. Bu nedenle bu çalışma aralığında Fe-Const tercih edilir. PtRh-Pt eleman teli incelendiğinde 800°C'nin altında lineer değildir. Bu eleman telleri için 800- 1600°C arası daha uygun çalışma aralığıdır.

Bu değerlendirmeler ışığında sıcaklık ölçümünde ölçüm aralığı -200 ila +1200 °C olan K Tipi Isıl Çift kullanılmıştır. Kullanılan ısıl çift özellikleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Kullanılan Isıl Çift Özellikleri

Eleman Tipi	NikelKrom- Nikel (NiCr- Ni), Mineral İzoleli
İzelasyon	Magnezyum Oksit (MgO <sub>2</sub> ) Safılık %96
Eleman Çapı	1 mm
Koruyucu Kılıf	X 5 CrNi 18 10 , Et Kalınlığı 0.60 mm, Çap 6 mm.

Isıl çiftler boyut olarak iş parçası bağlama kalıbına uyumlu olarak Şekil 4.3'de verilen ölçüde ve şekilde özel olarak 8 adet imal ettirilmiştir.



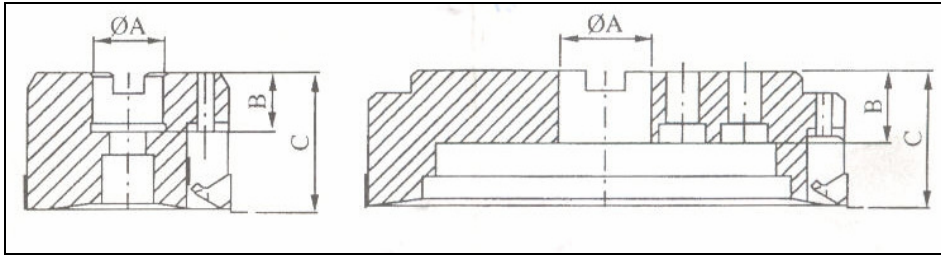
Şekil 4.3. Denede kullanılan K Tipi ısıl çift.

Kullanılan ısıl çiftlerden veri toplamak üzere 8 kanallı Pico TC-08 tipi veri toplama ünitesi temin edilmiş ve ilgili yazılım sağlanmıştır. İlgili yazılım ile 8 adet ısıl çiftten anlık sıcaklık değerleri 1 ms aralıklarla okunmuş ve kaydedilmiştir. Pico TC-08 veri toplama cihazı özellikleri EK- 6 'da verilmiştir.

Isıl çiftlerin kalibrasyon testleri tedarikçi firma (Tetcis) tarafından yapılmıştır.

#### 4.1.5. Kesici takım ve takım tutucu

ISO 8688 Frezelemede Takım Ömrü Testi standartlarında belirtilen, 125 mm çapında ve 6 eşit aralıklı yerleştirilmiş ucu bulunan, AFR 75 0125 12 R06 4 0 kodlu alın frezeleme takımı özel sipariş ile imal ettirilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Deneilerde kullanılan takım tutucu.

Deneilerde kullanılan takım tutucuya ait teknik özellikler Çizelge 4.5'da verilmiştir. Kesici takım olarak SPKN 1203 kodlu Böhler marka SBF kalite kaplamasız kesici takımlar kullanılmıştır.

Çizelge 4.5. Kullanılan Takım Tutucu Teknik Özellikleri

	Çap A, mm	Ölçü B, mm	Ölçü C, mm
Standart Ölçü	40+0,015	29	61
Ayarlanan Ölçü	40+0,014	29	61
Eksenel Ayar Değeri	± 0,01 (ISO standardı)		
Radyal Ayar Değeri	± 0,01 (ISO standardı), SPKN 1203 uca göre ayarlanmıştır.		

#### 4.1.6. İş parçası

ISO 8688 Frezelemede Takım Ömrü standardında belirtilen ebatlara uygun 75 mm genişliğinde 375 mm boyunda ve 20 mm kalınlıkta, AISI 1050 imalat çeliğinden ön işleme ile yüzeyleri temizlenmiş deney numuneleri kullanılmıştır. AISI 1050 imalat çeliğine ait alaşım elemanları ve miktarları Çizelge 4.6'de verilmiştir. Ayrıca kullanılan iş parçasına ait analiz raporu EK 2'de verilmiştir. İş parçaları üzerine ısıl çiftlerin hassas olarak konumlanmasını sağlayacak 8 adet delik hassas olarak  $\pm 0.05$  mm yükseklik hassasiyetiyle delinmiştir. Bu hassasiyet kesme esnasında verilen talaş derinliğine bağlı olarak kesme bölgesi ile ısıl çiftler arasındaki mesafenin sabit tutulabilmesi için kullanılmıştır. Parçayı bağlama kalıbı vasıtasıyla titreşimsiz ve güvenli bir şekilde bağlayabilecek 8 adet bağlantı deliği mevcuttur. Bu bağlantı delik boyları, kesme yüzeyinden aşağıda kalacak şekilde tasarlanmıştır. Deney numunelerine ait teknik resim detayları EK 5' de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Ç 1050 (SAE 1050) İmalat Çeliği Alaşım Elemanları

%C	%Si	%Mn	%Cr	%P	%S	%Mo	%Ni
0.49	0.19	0.65	0.03	0.01	0.005	0.01	0.08

#### 4.1.7. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

Yüzey pürüzlülüklerinin ölçülebilmesi için Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Talaşlı Üretim Anabilim Dalı atölyelerinde bulunan Marh marka Perthometer M1 tipi, masa üstü, yazılı çıktı verebilen pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Kullanılan cihazın teknik özellikleri EK 7'de verilmiştir.

#### 4.1.8. Soğutma sıvısı

Deneylede soğutma sıvısı olarak Rocol marka Ultracut 390H kesme yağı kullanılmıştır. Su/kesme yağı karışım oranı %5 olarak alınmıştır. Deneyleer esnasında soğutma sıvısının sıcaklığı 20,6 °C, Ph değeri 10,10 olarak okunmuştur. Suyun akış hızı 5.65 lt/min olarak ölçülmüştür.

#### 4.1.9. Ph metre

Soğutma sıvısının Ph değerini ölçebilmek için Hana Instrument HI 8014 marka Ph metre kullanılmıştır. Kullanılan Cihazın teknik özellikleri Çizelge 4.7’da verilmiştir.

Çizelge 4.7. HI 8014 Ph Metre Özellikleri


	Ölçüm Aralığı	0,00 ila 14,00 Ph ±1999 mV
	Çözümleme	Ph 1 mV
	Hassasiyet (20°C)	±0,01 Ph ±1 mV
	Tipik EMC Sapması	±0,05 Ph ±8 mV
	Ph Kalibrasyonu	Manuel 2 Noktalı
	Giriş Empedansı	10 <sup>12</sup> Ohm

#### 4.1.10. Tarama elektron mikroskobu (SEM)

Deneyleerde kullanılan kesici takım uçlarının SEM görüntüleri, Uludağ Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi laboratuvarlarında bulunan Carl Zeiss – Evo40 marka cihaz kullanılarak alınmıştır. Bu cihaza ait teknik özellikler Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Tarama Elektron Mikroskobu Teknik Özellikleri

CARL ZEISS EVO 40	
Çözünürlük	3.0 nm 30 kV (SE) 4.5 nm 30 kV (BSD)
Voltaj	0.2 - 30 kV
Büyütme	7 - 1,000,000 x
Görüntü	3072 x 2304 piksel .TIFF, .JPEG



#### 4.2. DeneYlerin Yapılışı

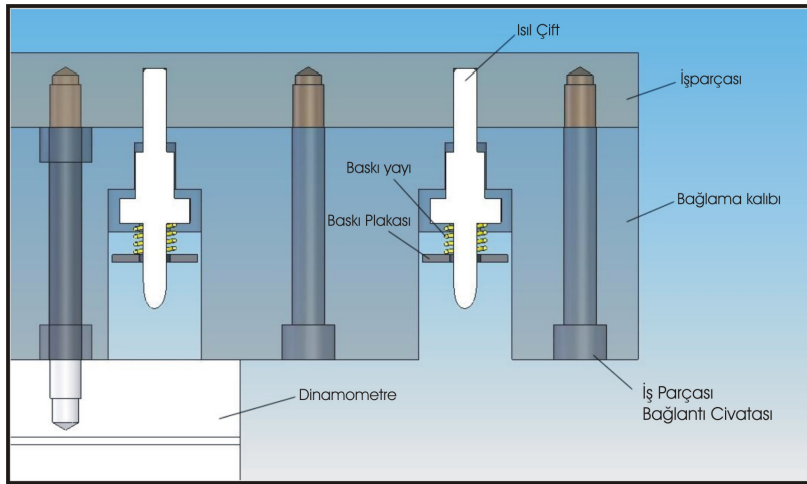
DeneYlere başlamadan önce gerekli olan ayarlar yapılmıştır. Kuvvet Ölçerin tezgâh tablası X eksenine paralel bir şekilde bağlanması, manyetik bir tutucusu olan komparatör yardımıyla sağlanmıştır. Kuvvet Ölçerin üzerine monte edilen iş parçası bağlama kalıbı da aynı yöntemle paralel şekilde bağlanmıştır. Y ekseninde kesici takımın iş parçasına tam eksenden yaklaşması temin edilmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Kuvvet ölçer, kalıp ve iş parçası.

İş parçası bağlama kalıbını Kuvvet Ölçer üzerine bağladıktan sonra, kalıp üzerinden ince bir talaş alınarak iş parçalarının tezgah tablasına paralel bağlanması temin edilmiştir.

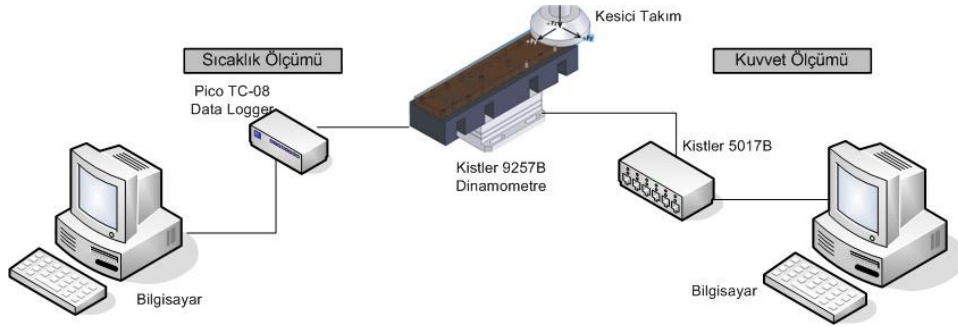
Isıl çiftlerin bağlama kalıbına monte edilmesi Şekil 4.6'da gösterilmektedir. İş parçası üzerindeki tüm delikler CNC Dik İşleme Merkezinde delindiği için, eksenleme ve delik boylarından dolayı hiçbir sorun yaşanmamıştır. Delik boylarının tüm parçalarda özdeş derinlikte olması, ısıl çiftlerin sağlıklı okuma yapabilmesi için bir gerekliliktir. Isıl çiftlerin altında bulunan baskı plakası ve yayı, ısıl çiftin iş parçası ile sürekli temas halinde olmasını temin etmektedir.



Şekil 4.6. Isıl Çiftlerin Bağlanması.

Şekil 4.6'da gösterildiği gibi, iş parçası da bağlama kalıbına 8 adet M8 iş parçası bağlantı civatası yardımıyla bağlanmıştır. Ayrıca bu bağlantı civataları iş parçası yüzeyinden aşağıda kaldığından kesme bölgesinde kesici takım üzerinde çentik etkisi yapması engellenmiştir.

Isıl çiftlerin Pico TC-08 tipi veri toplama ünitesi ile bağlantısı yapılmış ve veri toplama cihazı ile toplanan sıcaklık bilgileri PicoLog Recorder adlı yazılım ile anlık olarak 1 ms aralıklarla kaydedilmiştir. Kuvvet Ölçerden alınan kesme kuvveti bilgileri, 8 Kanallı Yükseltici ile işlendikten sonra uygun veri toplama kartı üzerinden diğer bir bilgisayara Kistler'e ait DynoWare adlı program yardımıyla kaydedilmiştir. Deney düzeneği şematik olarak Şekil 4.7'de görülmektedir.



Őekil 4.7. Deneý düzeneđinin Őematik tanıtımı.

### 4.3. Deneý Tasarımı ve Ölçümler

Deneýlerde kesme parametreleri olarak TalaŐ derinliği, İlerleme, Kesme hızı ve Sođutma Sıvısının kullanılıp kullanılmaması alınmıŐtır. Bunlara ait değerler Çizelge 4.9' de verilmiŐtir.

Çizelge 4.9. Kesme Parametreleri.

Talaş Derinliği (mm)	1,25		2	
İlerleme (mm/z)	0,05	0,075	0,1	
Kesme Hızı (m/min)	100	110	120	130
Soğutma Suyu	Kuru		Islak	

Yukarıda verilen parametrelere bađlı olarak birebir eŐleŐtirme yapıldıđında aŐađıdaki deneý tasarımı ortaya çıkmıŐtır. Bu Őartlara göre 48 adet deneý yapma gerekliliđi belirlenmiŐtir. Çizelge 4.10'de deneý numaraları ve belirlenen parametreleri yer almaktadır. Bu deneý tasarımına bađlı olarak, 48 adet deneý gerçekteŐirilmiş ve;

- i. Kesme kuvvetleri ve kesme momentleri,
- ii. Kesme bölgesindeki sıcaklıklar,
- iii. Yüzey pürüzlülüğü,
- iv. Takım aşınma miktarı ve tipi, ölçümlerek değerlendirmeye alınmıştır.

Çizelge 4.10. Belirlenen Parametreler

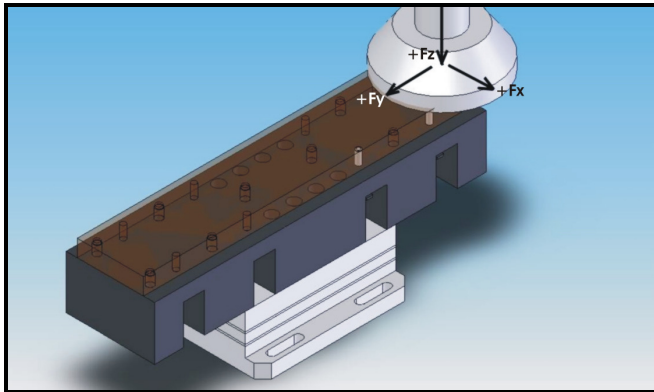
Deneç Yapılış No	Deneç Sıra No	Talaş Derinliği	İlerleme		Kesme Hızı		Soğutma Suyu
			(fz) mm/z	mm/min	m/min	dev/min	
		mm					
15	1	1,25	0,05	76,43	100	254,78	Kuru
21	2		0,075	114,65			
18	3		0,1	152,87			
23	4		0,05	84,08	110	280,25	
14	5		0,075	126,11			
20	6		0,1	168,15			
17	7		0,05	91,72	120	305,75	
24	8		0,075	137,58			
13	9		0,1	183,44			
19	10		0,05	99,36	130	331,21	
22	11		0,075	149,04			
16	12		0,1	198,73			
10	13	2	0,05	76,43	100	254,78	
4	14		0,075	114,65			
12	15		0,1	152,87			
6	16		0,05	84,08	110	280,25	
3	17		0,075	126,11			
8	18		0,1	168,15			
2	19		0,05	91,72	120	305,75	
5	20		0,075	137,58			
11	21		0,1	183,44			
1	22		0,05	99,36	130	331,21	
9	23		0,075	149,04			
7	24		0,1	198,73			
29	25	1,25	0,05	76,43	100	254,78	Islak
40	26		0,075	114,65			
33	27		0,1	152,87			
42	28		0,05	84,08	110	280,25	
31	29		0,075	126,11			
41	30		0,1	168,15			
45	31		0,05	91,72	120	305,75	
30	32		0,075	137,58			
44	33		0,1	183,44			
34	34		0,05	99,36	130	331,21	
43	35		0,075	149,04			
32	36		0,1	198,73			
38	37	2	0,05	76,43	100	254,78	
46	38		0,075	114,65			
25	39		0,1	152,87			
36	40		0,05	84,08	110	280,25	
47	41		0,075	126,11			
27	42		0,1	168,15			
39	43		0,05	91,72	120	305,75	
48	44		0,075	137,58			
26	45		0,1	183,44			
37	46		0,05	99,36	130	331,21	
35	47		0,075	149,04			
28	48		0,1	198,73			

## 5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

### 5.1. Kuvvet Ölçüm Sonuçları

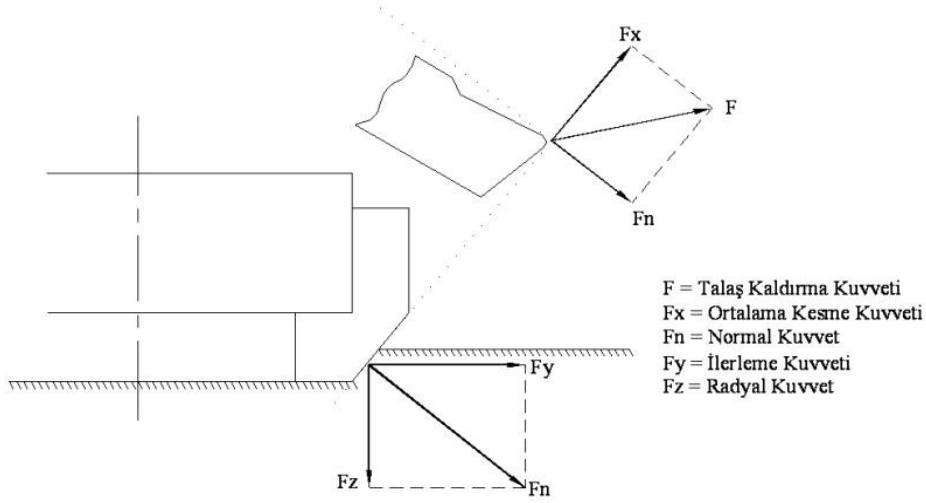
Kesme kuvvetleri  $F_x$  Kesme Kuvveti,  $F_y$  İlerleme Kuvveti ve  $F_z$  Radyal Kuvvet ile kesme momentleri  $M_x$ ,  $M_y$  ve  $M_z$  değerleri deneyler esnasında kaydedilmiştir. Elde edilen değerler EK 8’de toplu halde verilmiştir.

Kesme kuvvetlerinin kuvvetölçerden okunuşlarına göre belirlenen pozitif yönleri Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Momentler de her eksende saat yönü doğrultusunda pozitifdir.



Şekil 5.1. Kesme kuvvetleri doğrultuları.

Şekil 5.2’de gerçekleşen kesme kuvvetlerinin durumu gösterilmiştir. Burada kesme ağzına normal A-A kesitinde talaş kaldırma kuvveti ( $F$ ), kesme kuvveti ( $F_x$ ) ve normal kuvvet ( $F_n$ ) den oluşmaktadır. Ağz düzleminde ise  $F_n$  kuvveti, ilerleme kuvveti ( $F_y$ ) ve radyal kuvvet ( $F_z$ )’den oluşmaktadır.



Şekil 5.2. Alın frezelemede talaş kaldırma kuvvetleri [47].

Talaş kaldırma kuvveti (F), Normal Kuvvet ( $F_n$ ) ile Ortalama kesme Kuvveti ( $F_x$ )'in bileşkesi olarak ortaya çıkmaktadır.

$$F = \sqrt{(F_n^2) + (F_x^2)} \quad (5.1)$$

Burada  $F_n$ ;

$$F_n = \sqrt{(F_y^2) + (F_z^2)} \quad (5.2)$$

olmaktadır.

EK 7'deki deneysel verilere bağlı olarak; kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve kesme işleminin kuru/ıslak olma durumuna göre kesme kuvvetlerindeki değişim Şekil 5.3'deki grafiklerde gösterilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde göze çarpan en önemli eğilim, kesme hızındaki artışa bağlı kesme kuvvetlerindeki düşme eğilimidir. Bu durum beklenen bir durum olup artan kesme hızlarıyla birlikte artan sıcaklığa bağlı olarak deformasyonun ve dolayısıyla kesmenin kolaylaşmasına atfedilebilir.

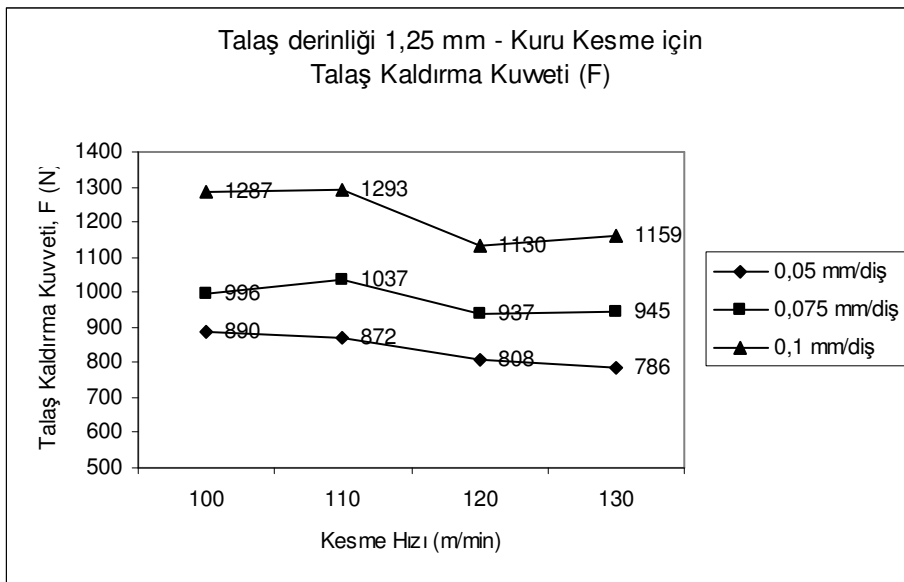
Kuru şartlarda yapılan talaş kaldırma işlemlerinde 1,25 mm'lik talaş derinliği için (Şekil 5.3), 100 ve 110 m/min'lik kesme hızlarında ciddi bir değişim gözlenmezken, 110 m/min'den sonra kesme kuvvetlerindeki değişim daha belirgin hale gelmiştir. Hatta kesme hızının 100 m/min'den 110 m/min'e çıkması halinde kesme kuvvetleri bir miktar artmış, daha sonra düşme eğilimi gözlenmiştir. Bu durum 2 mm talaş derinliğinde, kuru şartlarda yapılan işlemede de (Şekil 5.4) gözlenmektedir. Bu durum 110 mm/min'lik kesme hızının takım/malzeme çifti için kritik bir hız olduğuna işaret etmektedir. 1,25 mm'lik talaş derinliği için, kesme hızının 100 m/min'den 130 m/min'e çıkmasıyla kesme kuvvetlerindeki düşüş ilerlemeye de bağlı olarak;

0,050 mm/z ilerleme için % 11.68,

0,075 mm/z ilerleme için % 5.47,

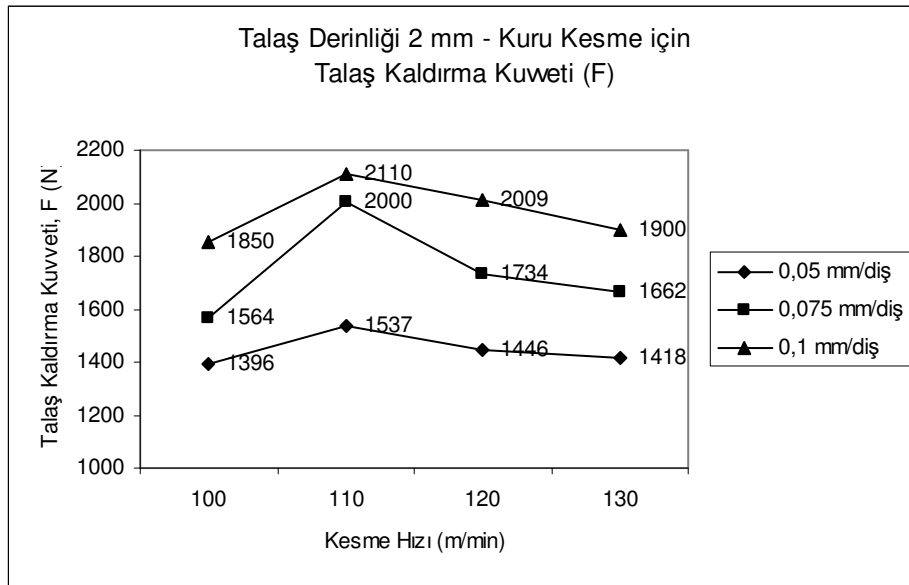
0,100 mm/z ilerleme için % 9.94,,

civarında olmuştur. Diğer bir deyişle kesme hızında %30'luk bir artışa karşılık kesme kuvvetlerinde  $\approx$  %10'luk bir azalma gözlenmiştir.



Şekil 5.3. Kesme hızına bağlı talaş kaldırma kuvveti değişimi, talaş derinliği 1,25 mm - kuru kesme.

2 mm'lik talaş derinliği için kuru kesme şartlarında, kesme hızının 100 m/min'den 110 m/min'e çıkmasıyla kesme kuvvetlerinde önce bir artış, daha sonra hızdaki artışla birlikte kesme kuvvetlerinde bir düşme eğilimi gözlenmektedir (Şekil 5.4). Bu grafikten de 110 m/min'in takım/malzeme çifti için önemli olduğu görülmektedir. Kesme hızının %10 artmasıyla kesme kuvvetlerinde de %10 ~ %28 arasında bir artış söz konusu olmuştur. 110 m/min'lik kesme hızı geçildikten sonra 130 m/min'e kadar %20'lik artışa karşılık kesme kuvvetlerinde %8'den %17'ye kadar bir azalma gözlenmiştir.

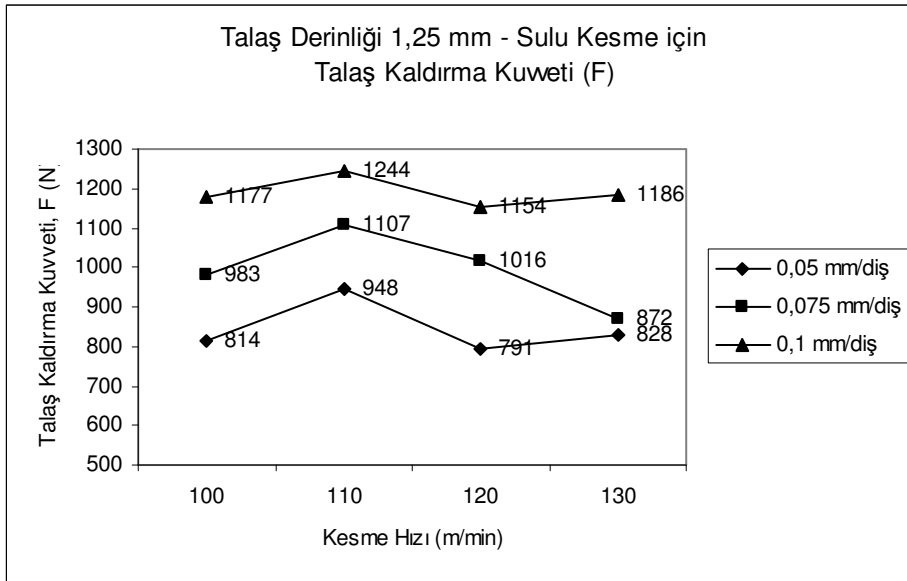


Şekil 5.4. Kesme hızına bağlı talaş kaldırma kuvveti değişimi, talaş derinliği 2 mm - kuru kesme.

Kesme kuvvetlerinin kaldırılan talaş kesiti ile doğru orantılı değişmesine bağlı olarak, talaş kesitini belirleyen talaş derinliği (a) ve ilerleme (f)'deki artışla birlikte kesme kuvvetlerinde bir artış beklenmektedir. Bu durum, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'deki grafiklerde açıkça görülmektedir. 1,25 mm talaş derinliği ve kuru şartlar için ilerlemedeki %50'lik artışla kesme kuvvetlerinde %12 ~ %20 arasında değişen bir artış gözlenirken, ilerlemenin %100 artmasıyla bu artışın %40 ~ %48'lere çıktığı gözlenmiştir.

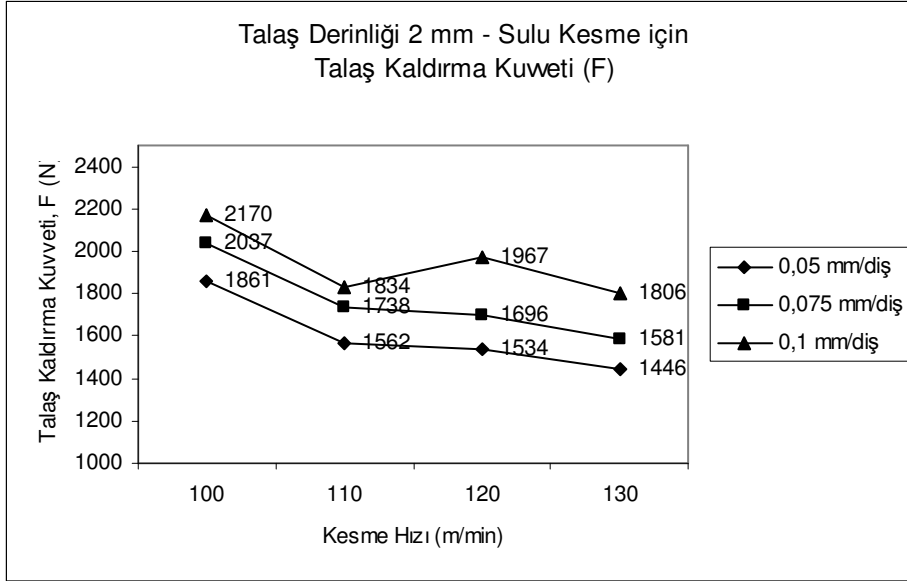
2 mm'lik talaş derinliği ve kuru şartlarda, ilerlemedeki %50'lik artışa karşılık kesme kuvvetlerinde yine %12 ~ %20'lik bir artış gözlenirken, ilerlemenin %100 artışıyla bu oran %32 ~ %40 seviyelerine çıkmıştır.

Frezeleme işlemleri doğası gereği kesikli bir işleme metodu olduğundan, kesme sırasında soğutma işleminin uygulanması termal yorulma etkisini hızlandıracağı düşünülmektedir [4, 5]. Bu etkiyi gözlemek amacıyla aynı deneyler soğutma işlemi uygulanarak (ıslak şartlarda) da gerçekleştirilmiştir. Soğutma işleminin kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da verilen grafiklere bakılarak yorumlandığında, uygulanan kesme parametreleri bazında soğutma işleminin çok önemli bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Özellikle 1,25 mm talaş derinliği için tamamen kuru şartlara yakın eğilimler ortaya koymuştur.



Şekil 5.5. Kesme hızına bağlı talaş kaldırma kuvveti değişimi, talaş derinliği 1,25 mm - sulu kesme.

Ancak talaş derinliğinin 2 mm olarak alındığı ıslak işleme şartlarında, kesme kuvvetlerinin artan kesme hızıyla düzenli bir düşme eğilimine geçtiği gözlenmiş ve 110 m/min'de yaşanan kritik artışlar üzerinde olumlu bir etki yaptığı belirlenmiştir.



Şekil 5.6. Kesme hızına bağlı talaş kaldırma kuvveti değişimi, talaş derinliği 2 mm - sulu kesme.

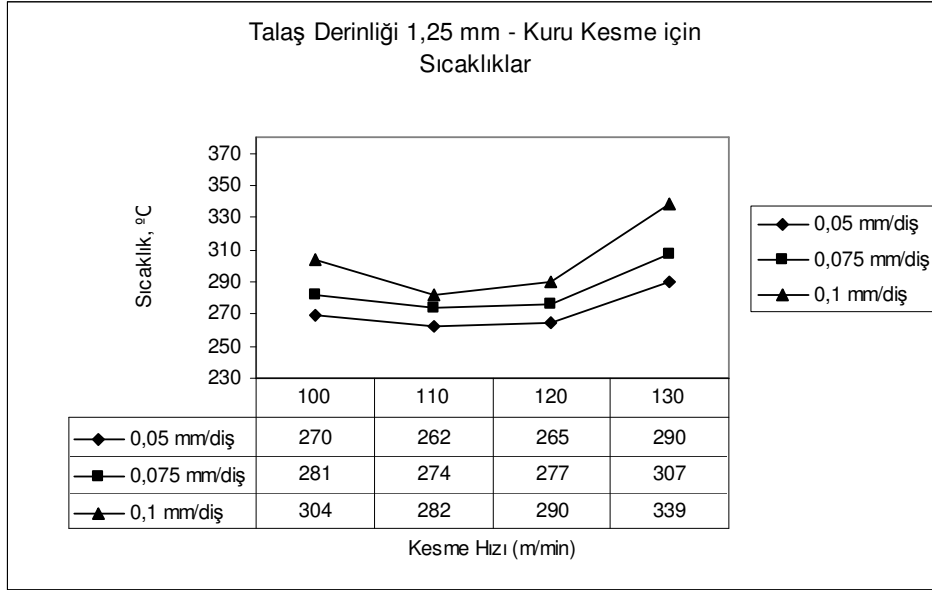
## 5.2. Sıcaklık Ölçüm Sonuçları

Deney tasarımındaki sırasına göre, yapılan her deneye ait ölçülen maksimum sıcaklık değerleri EK 9’da verilmiştir. EK 9’da verilen ölçülen sıcaklıklara göre, kesme hızına bağlı olarak sıcaklıktaki değişimler Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10’daki grafiklerde görülmektedir. Bu grafikler kesme hızının yanı sıra; ilerleme, talaş derinliği, kuru/ıslak kesme şartlarına bağlı olarak da sıcaklığın nasıl değiştiğini gösterecek tarzda düzenlenmiştir.

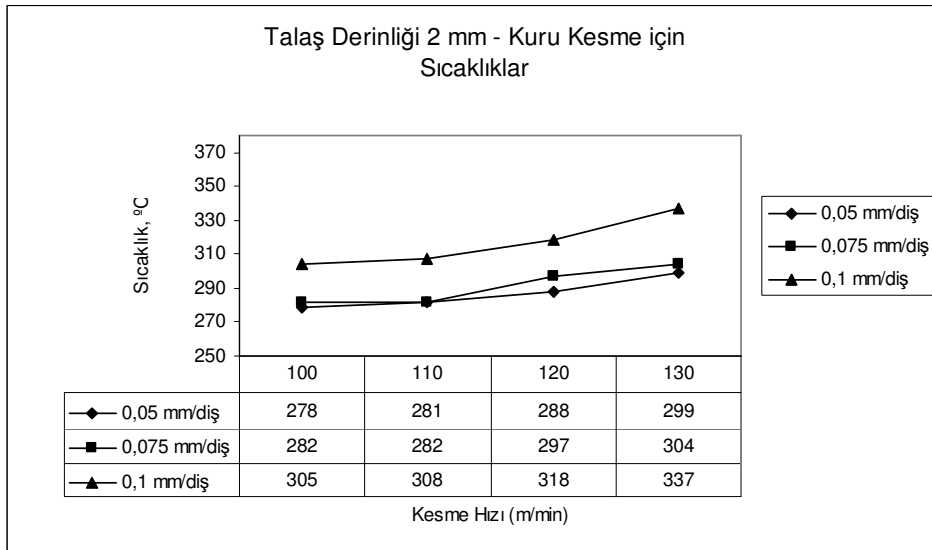
Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10’daki grafiklere bakıldığında genel olarak ortaya çıkan eğilim, artan kesme hızıyla birlikte sıcaklık değerlerinde de bir artış görülmektedir. Talaş kaldırma sırasında harcanan mekanik enerjinin elastik kayıplar dışında tamamına yakınının ısı enerjisine dönüşmesi bu durumu destekler niteliktedir [4, 5]. Artan kesme hızlarıyla artan mekanik enerji kesme bölgesindeki artan sıcaklıkların temel sebebidir.

Kuru şartlarda yapılan kesme deneyleri değerlendirildiğinde (Şekil 5.7 ve Şekil 5.8) görülen en önemli husus, kesme hızındaki artışla sıcaklığın artışına benzer şekilde,

ilerlemedeki artışla beraber sıcaklardaki artış eğilimidir. Kesme hızı ve ilerlemedeki etki kadar yüksek olmasa da talaş derinliğinin 1,25 mm'den 2 mm'ye çıkarılmasıyla sıcaklıklarda yine bir artış eğilimi gözlenmektedir. Bu durum, ilerleme ve talaş derinliğine bağlı artan talaş kesitiyle açıklanabilir.



Şekil 5.7. Kesme hızına göre sıcaklık değişimleri, talaş derinliği 1,25 mm – kuru kesme.



Şekil 5.8. Kesme hızına göre sıcaklık değişimleri, talaş derinliği 2 mm – kuru kesme.

1,25 mm talaş derinliğinde kuru şartlarda yapılan deneyler değerlendirildiğinde (Şekil 5.7 ve Şekil 5.8), kesme hızının 100 m/min'den 130 m/min'e çıkmasıyla, diğer bir deyişle kesme hızındaki %30 artışa karşılık;

0,050 mm/z ilerleme için sıcaklıktaki artış %7,4

0,075 mm/z ilerleme için sıcaklıktaki artış %9,3

0,100 mm/z ilerleme için sıcaklıktaki artış %11,5

olmuştur. Aynı durum 2 mm talaş derinliği için değerlendirildiğinde, kesme hızındaki %30'luk artışa karşılık;

0,050 mm/z ilerleme için sıcaklıktaki artış % 7,6

0,075 mm/z ilerleme için sıcaklıktaki artış % 7,8

0,100 mm/z ilerleme için sıcaklıktaki artış % 10,5

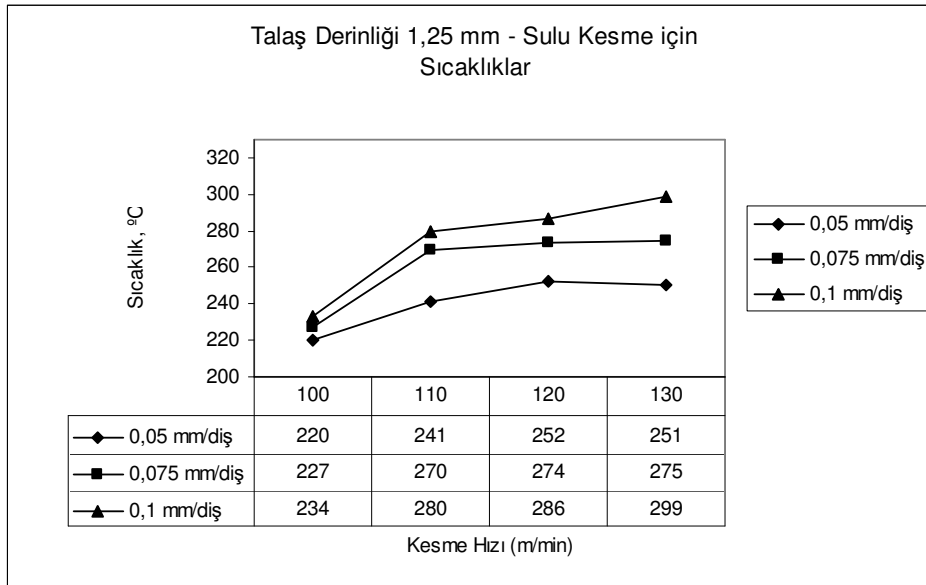
olmuştur. Elde edilen bu bulgular ışığında genel olarak frezelemede kuru işleme şartlarında kesme hızındaki %30 artışa karşılık  $\approx$  % 7,5 ~ % 10 civarında bir sıcaklık artışının beklenebileceği söylenebilir.

1,25 mm talaş derinliğinde kuru şartlarda (Şekil 5.7); ilerlemenin 0,050 mm/z'den 0,075 mm/z'e %50 arttırılmasıyla, %4 ~ %6 arasında değişen bir sıcaklık artışı gözlenmiş, ilerlemenin %100 arttırılarak 0,100 mm/z'e çıkmasıyla ise, sıcaklıktaki artışın %7,6 ~ %16,9 arasında arttığı gözlenmiştir. Bu şartlar için ilerlemenin sıcaklık üzerindeki etkisinin kesme hızından daha az olduğu söylenebilir. Benzer durum 2 mm talaş derinliği için de geçerli olup (Şekil 5.10), ilerlemedeki %100 'lük artışa karşılık sıcaklıktaki artış %9,7 ~ %12,7 arasında değişmektedir. Elde edilen bu deneysel sonuçlara bağlı olarak, frezelemede kuru kesme şartlarında ilerlemenin %50 artmasıyla sıcaklıkta ~ %5'lik, %100 artmasıyla ise sıcaklıkta %10'luk bir artış beklenebileceği söylenebilir.

Talaş derinliğine bağlı olarak sıcaklıktaki değişim değerlendirilecek olursa, talaş derinliğindeki %60'luk artışa karşılık sıcaklıktaki artış %0 ~ %3'ler seviyesinde

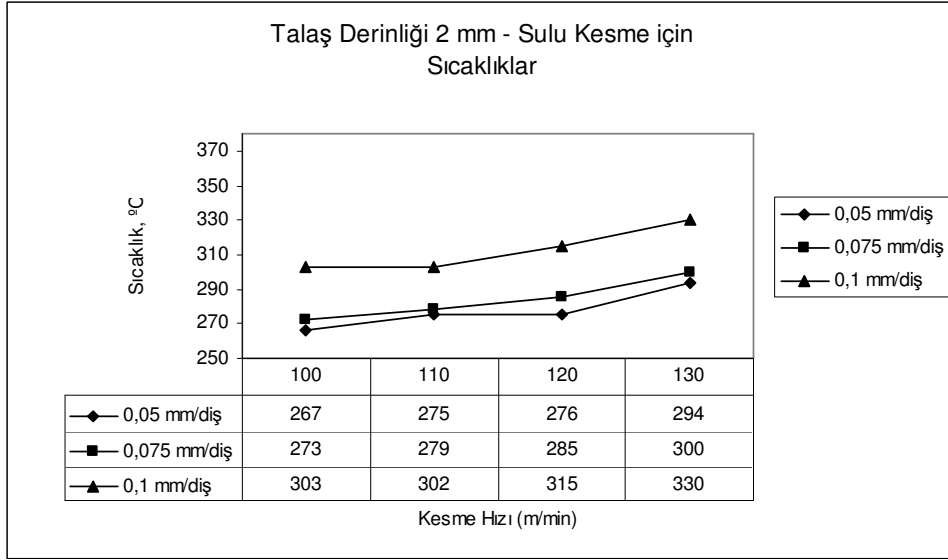
kalmış olup, talaş derinliği etkisinin, takım ömrü modellerine [5] benzer şekilde, kesme hızı ve ilerlemeye göre çok düşük olduğu söylenebilir.

Kesme sıvısının kullanıldığı ıslak kesme şartları değerlendirildiğinde (Şekil 5.9 ve Şekil 5.10), genel olarak kesme sıcaklıklarında bir düşme eğilimi olduğu söylenebilir. Özellikle 1,25 mm talaş derinliği için düşük kesme hızları (100 m/min) ele alındığında sıcaklığın ciddi anlamda soğutma sıvısından etkilendiği görülmektedir.



Şekil 5.9. Kesme hızına göre sıcaklık değişimleri, talaş derinliği 1,25 mm – sulu kesme.

1,25 mm talaş derinliği için 100 m/min kesme hızında sıcakların ilerlemeye de bağlı olarak % 18,5 ~ %23 arasında azaldığı görülmektedir. Bu durum, genel anlamda düşük kesme hızlarında soğutma uygulamasının daha büyük etkiye sahip olduğunu [4] doğrular niteliktedir. 110 m/min ve 120 m/min’de soğutmanın etkisi azalmış ve %1 ~ %8 arasında değişen sıcaklık azalmalarıyla sonuçlanmıştır. Kesme hızının 130 m/min’e çıkmasıyla sıcaklıklardaki azalma eğilimi tekrar artmış ve sıcaklıktaki azalma %12 ~ %14 düzeyine ulaşmıştır.



Şekil 5.10. Kesme hızına göre sıcaklık değişimleri, talaş derinliği 2 mm – sulu kesme.

2 mm'lik talaş derinliğinde soğutmanın etkisi 1,25 mm'lik talaş derinliğindeki kadar yüksek olmamıştır. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak, soğutma uygulamasıyla sıcaklıkta %1 ~ %4 arasında değişen azalmalar gözlenmiştir.

Şekil 5.9 ve Şekil 5.10 'daki grafiklerden soğutma sıvısı kullanılsa dahi, kesme hızındaki artışa bağlı olarak sıcaklıkta da artış gözlenmesi, benzer şekilde harcanan enerjinin ısı enerjisine dönüşmesi teorisi ile açıklanabilir. 1,25 mm talaş derinliği için (Şekil 5.9) kesme hızında %30 artışa karşılık sıcaklıktaki artış %14 ~ %27 arasında değişmiştir. 2 mm talaş derinliği için (Şekil 5.10), kuru şartlardakine benzer şekilde, sıcaklıktaki artış %9 ~ %10 civarında daha düzenli olmuştur. Bu durum çalışma şartlarının ağırlaşmasıyla soğutma suyu uygulamasının daha düzenli sonuçlar vereceğini göstermektedir. Frezeleme işleminin doğasındaki işleme düzensizlikleri, deney düzeneğinin, bağlama aparatlarının, soğutma suyunun dağıtılmasında meydana getirebileceği engeller, soğutma suyu uygulanan deneylerin sonuçlarındaki düzensizliklerin sebebi olarak gösterilebilir. Aynı zamanda düşük talaş derinliği ve düşük ilerlemelerde takım ucunda yoğunlaşan sıcaklığın, (özellikle de düşük kesme hızlarında) transferini güçleştirdiği söylenebilir.

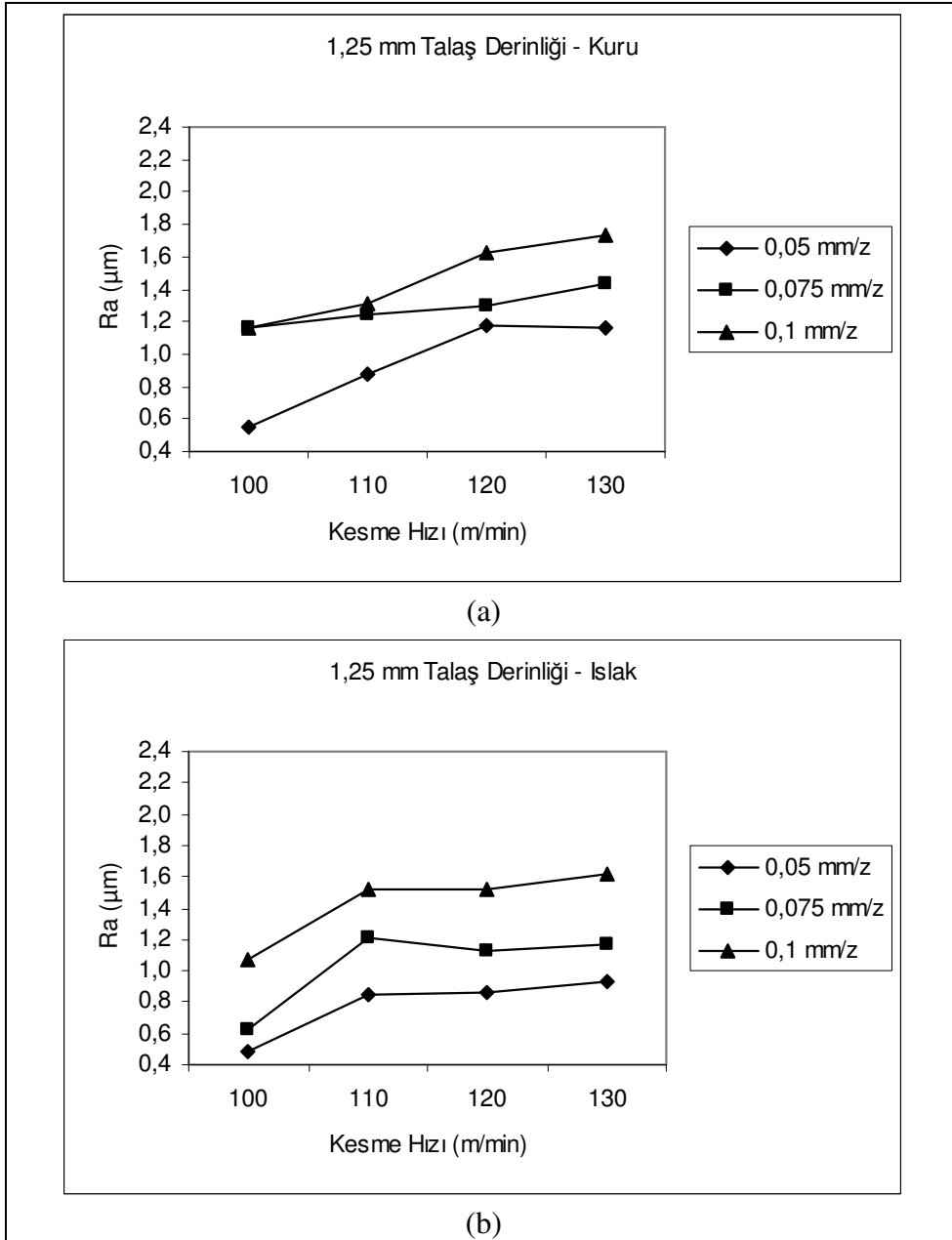
Kesme sıcaklığı üzerinde ilerlemenin de etkili olduğu, soğutma işlemi uygulanan deneylerde de gözlenmiştir (Şekil 5.9 ve Şekil 5.10). Düşük talaş derinliğinde ilerlemenin sıcaklık üzerindeki etkisi de dalgalanmalar göstermiştir (Şekil 5.9). İlerlemedeki %50 artışa karşılık sıcaklıkta, kesme hızına da bağlı olarak, %3,2 ~ %9,6 arasında değişen artışlar gözlenmiş, ilerlemenin %100 artmasıyla sıcaklıktaki artış %6,4 ~ %13,5 düzeyleri arasında değişmiştir.

2 mm'lik talaş derinliğinde soğutma uygulamasının ilerlemeye bağlı sıcaklık artışı üzerindeki etkisi daha düzenli olmuştur (Şekil 5.10). İlerlemedeki %50 artışa karşılık sıcaklıktaki artış %2 ~ %3 seviyesinde, ilerlemedeki %100'lük artışa karşılık, sıcaklıktaki artış %10 ~ %13 seviyesinde kalmıştır. Bu durum kuru çalışma şartları ile tamamen paralellik arz etmektedir.

### 5.3. Yüzey Pürüzlülüğü

Bölüm 4.3'de belirtilen deney tasarımına göre yapılan deneyler sonucunda ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) EK 10'da verilmiştir. EK 10 'da verilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerine göre elde edilen, kesme hızı ve ilerlemeye bağlı yüzey pürüzlülüklerdeki değişimleri gösteren grafikler Şekil 5.7-10'da verilmiştir. Grafikler 1,25 mm ve 2 mm talaş derinlikleri için kuru ve ıslak kesme ortamları düşünülerek hazırlanmış ve karşılaştırma imkânı sağlanmıştır.

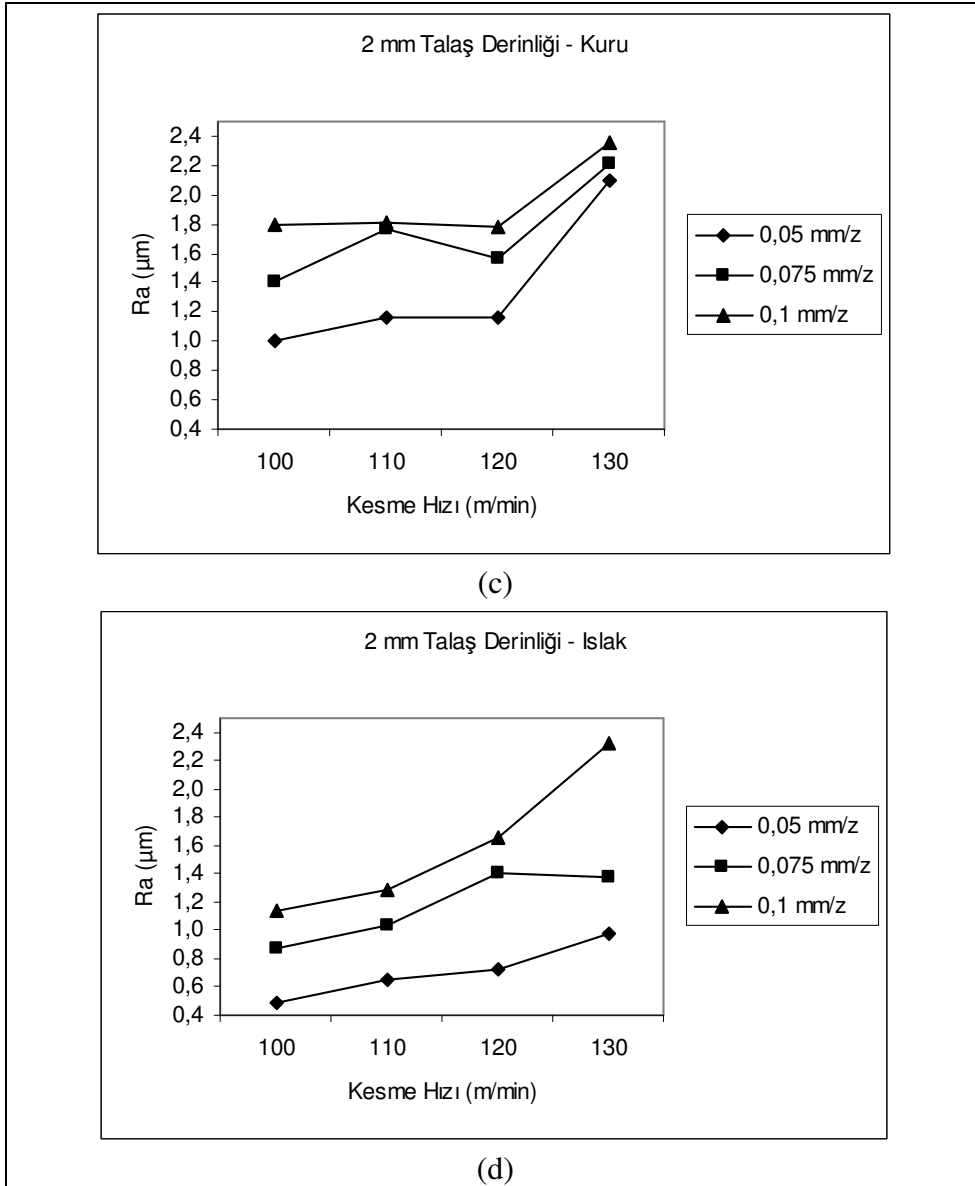
Genel olarak artan ilerleme miktarlarıyla yüzey pürüzlülüğünün düzenli olarak arttığı, 110 m/min ve 120 m/min kesme hızlarında yüzey pürüzlülüklerinin değişmediği yada çok az değişim gösterdiği ancak, artan kesme hızlarıyla ilerleme sabit kaldığı halde yüzey pürüzlülüklerinde de bir artış eğilimi olduğu görülmektedir (Şekil 5.11-5.12). Bu eğilim, artan kesme hızıyla birlikte diş başına ilerlemenin sabit kalmasına rağmen ilerlemenin tabla hızındaki (mm/min olarak) artışıyla açıklanabilir. Kesme hızının 100 m/min'den 110 m/min'e çıkmasıyla birlikte tabla ilerleme hızında %10'luk bir artış, 110 m/min'den 120 m/min'e çıkışında %9, 120 m/min'den 130 m/min'e çıkışında ise %8,33'lük artış gerçekleşmektedir.



Şekil 5.11. Kesme hızı ve ilerlemeye göre pürüzlülük değerleri.

a. 1,25 mm talaş derinliği – kuru,

b. 1,25 mm talaş derinliği – ıslak.



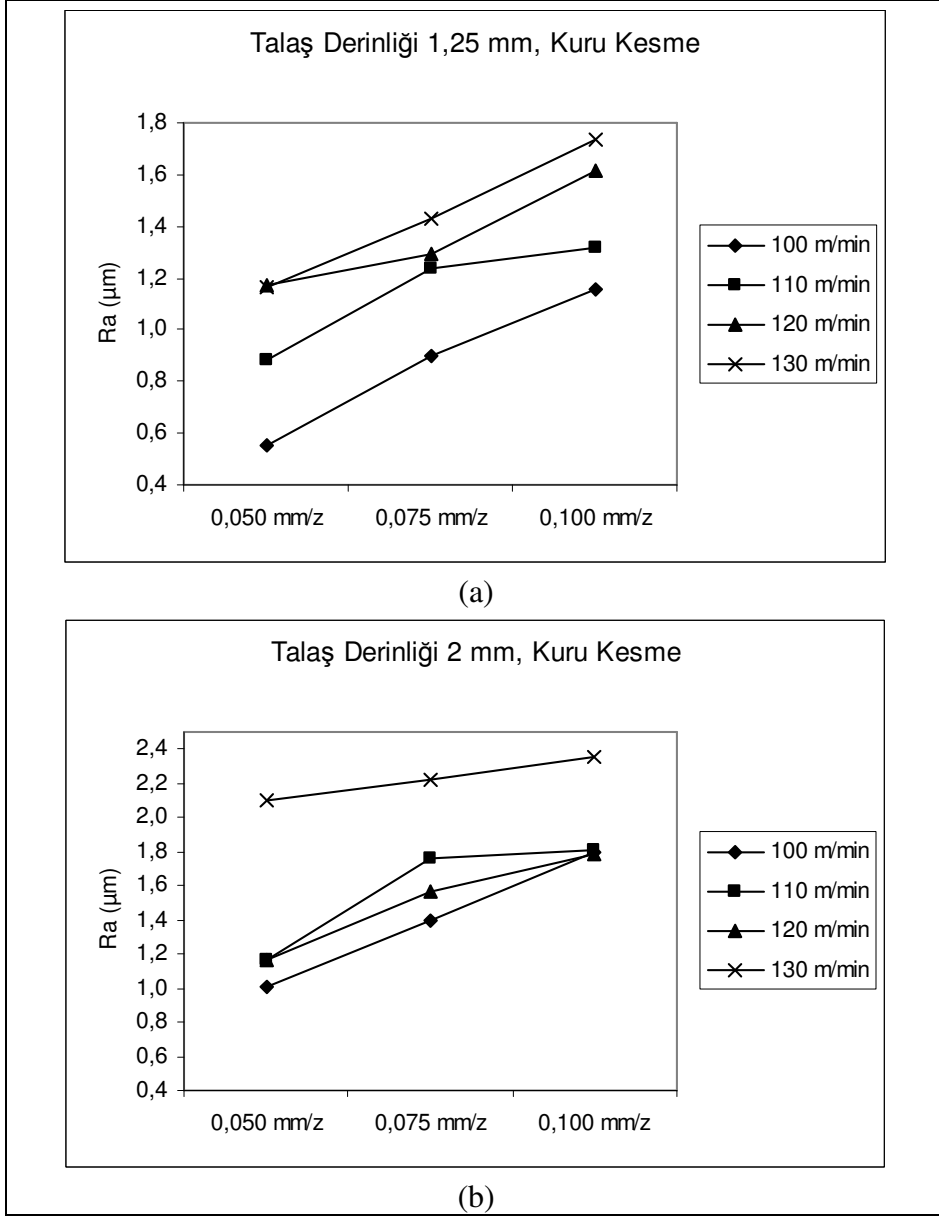
Şekil 5.11. (Devam) Kesme hızı ve ilerlemeye göre pürüzlülük değerleri.

c) 2 mm talaş derinliği – kuru,

d) 2 mm talaş derinliği – ıslak.

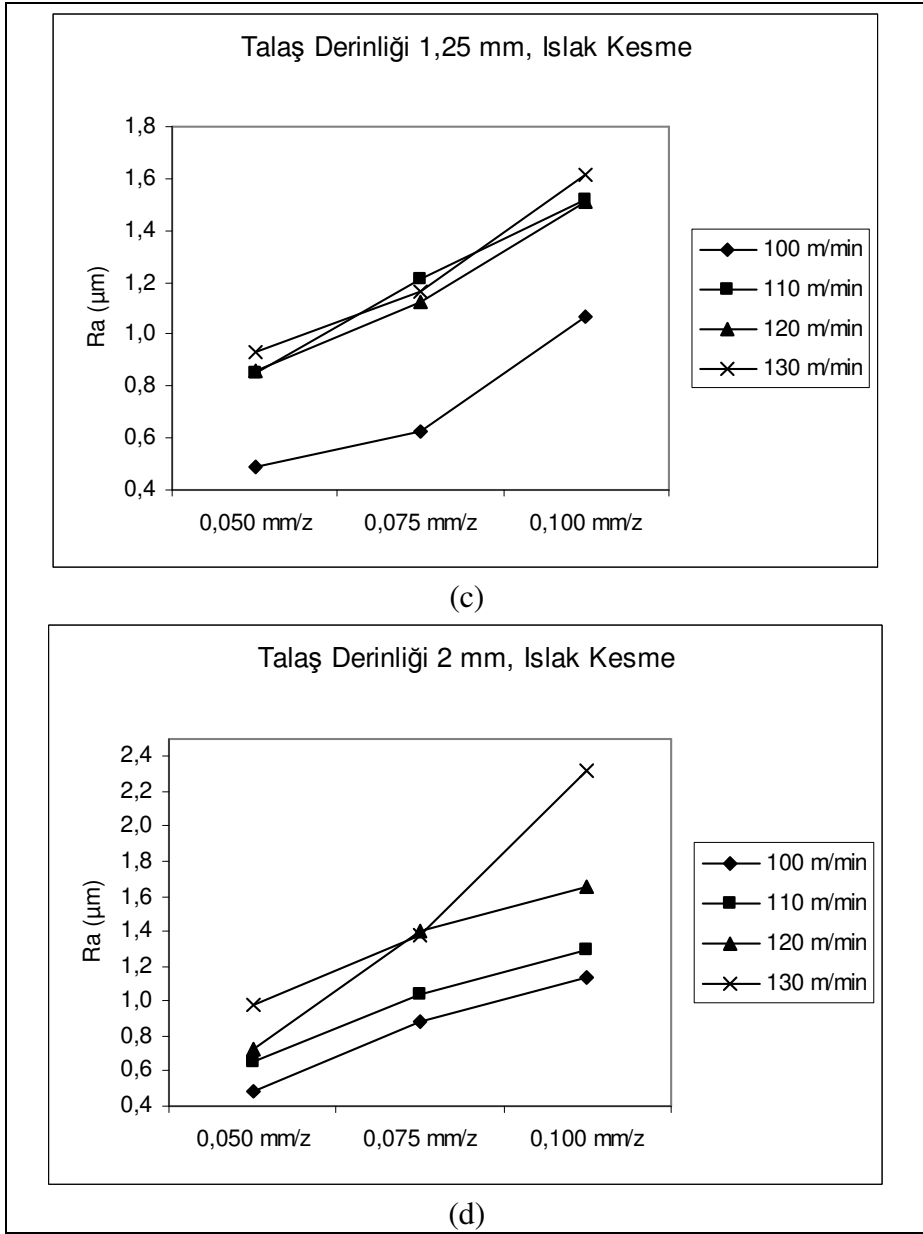
1,25 mm talaş derinliği ve kuru şartlarda, 110 m/min kesme hızı ve üzerinde (Şekil 5.12 (a)), yüzey pürüzlülüğündeki değişimin her üç ilerleme miktarı için de, azaldığı gözlenmektedir. Kuru şartlar için yüzey pürüzlülüğündeki değişim oranı  $\approx$  %13 artma şeklinde olmuştur. Islak kesme şartlarında ise, 110 m/min kesme hızı daha belirgin şekilde kritik bir hız olmuş ve 110 m/min ve üzerindeki kesme hızı değerleri için ortalama değişim oranı %1,76 ile hemen hemen sabit kalmıştır (Şekil 5.12(c)).

Aynı kesme hızları için Şekil 5.12 (a) ve (c) incelendiğinde, tüm değerler için ıslak kesme şartlarında daha düşük yüzey pürüzlülüklerinin elde edildiği görülmektedir.



Şekil 5.12. Artan ilerleme ile yüzey pürüzlülüğü değişimi.

- a) Talaş derinliği 1,25 mm – kuru kesme,  
b) Talaş derinli 2 mm- kuru kesme.



Şekil 5.12. (Devam) Artan ilerleme ile yüzey pürüzlülüğü değişimi.  
 c) Talaş derinliği 1,25 mm – ıslak kesme,  
 d) Talaş derinli 2 mm- ıslak kesme.

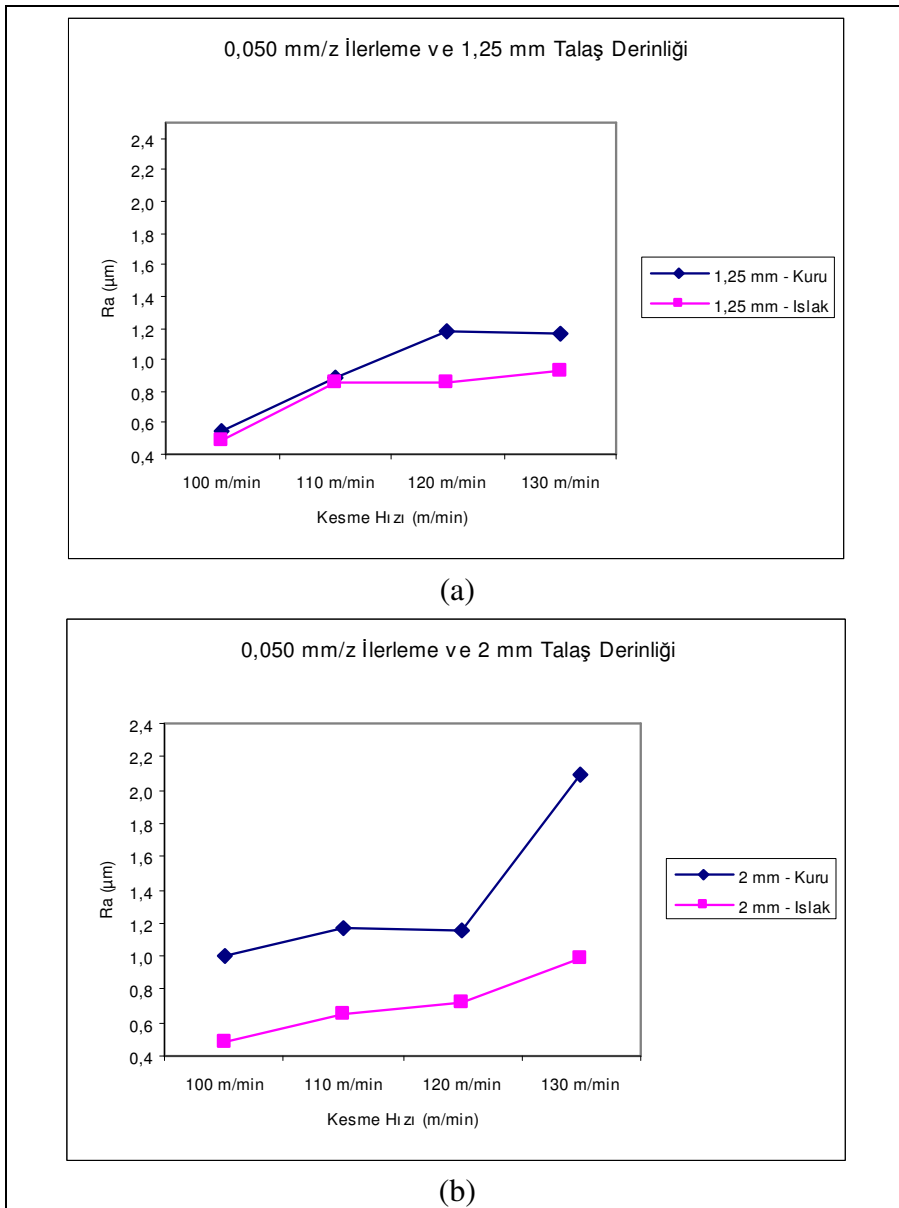
2 mm talaş derinliği ve kuru kesmede 120 m/min kesme hızının kritik olduğu söylenebilir (Şekil 5.12 (b)). 120 m/min'den 130 m/min kesme hızına çıkarken, yüzey pürüzlülüğünde 0,050 mm/z ilerleme hızında %80,6, 0,075 mm/z ilerleme hızında %41,3 ve 0,100 mm/z ilerleme hızında %31,8 artış oranlarıyla ortalama %51

genel bir artış gözlenmektedir (Şekil 5.12 (b)). 120 m/min kesme hızı altındaki kesme hızlarında, yüzey pürüzlülüğündeki değişim oranı ortalama %4,9 olmuştur.

2 mm talaş derinliğinde kuru ve ıslak kesme şartları kıyaslandığında, örneğin 110 m/min kesme hızı için yüzey pürüzlülüğünün ortalama %62,9 oranında iyileştiği görülmektedir (Şekil 5.12 (b) ve Şekil 5.12 (d)). Aynı oran 120 m/min kesme hızı için %26,4 olmaktadır. Ayrıca Şekil 5.13 (b) 'de açık olarak görüldüğü üzere yüzey pürüzlülüğü, ıslak kesmede kuru kesmeye göre oldukça azalma göstermektedir. Tüm ilerleme miktarları için aynı eğilim gözlenebilmektedir (Şekil 5.13 (b), Şekil 5.14 (b), Şekil 5.15 (b)).

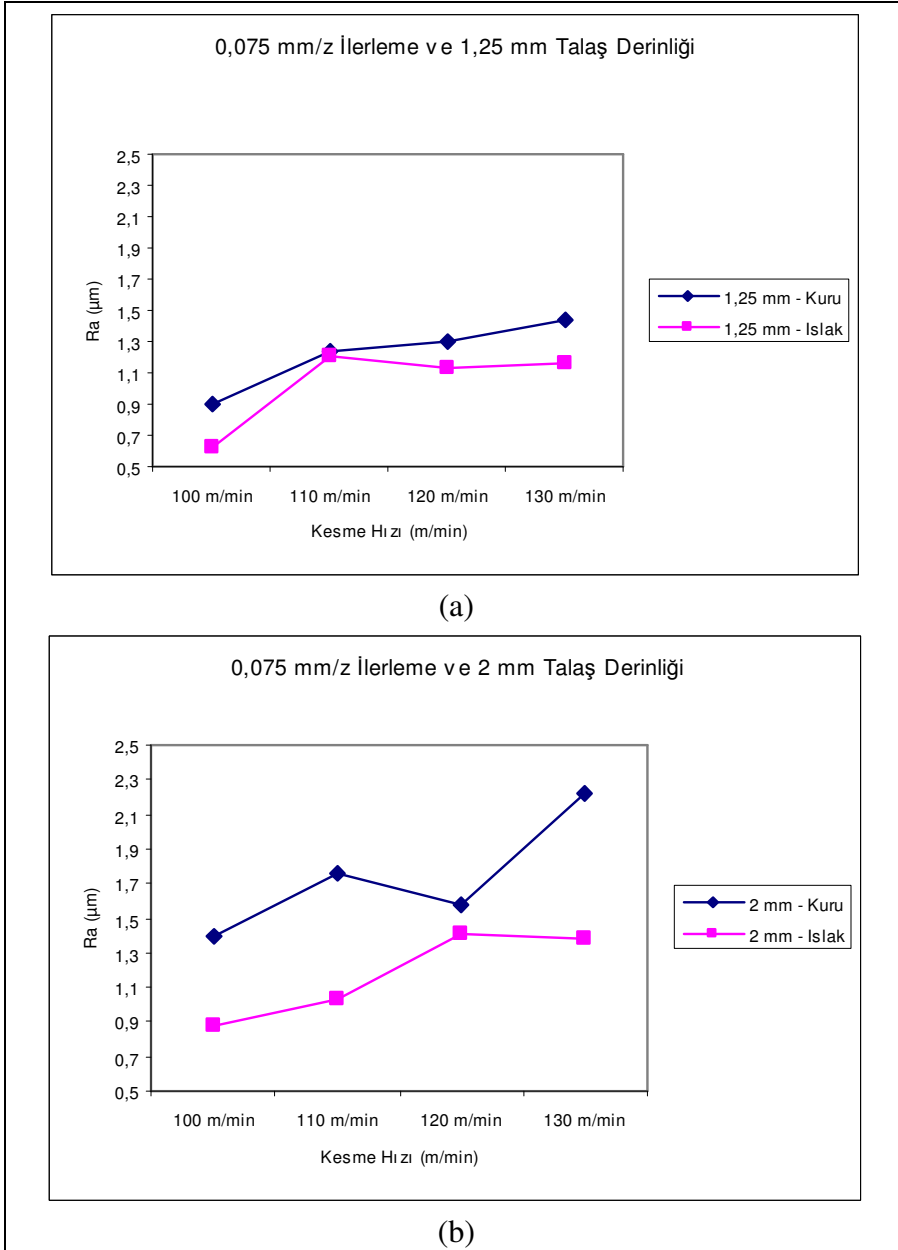
Aynı şekilde yüzey pürüzlülüğü, sadece talaş derinliği dikkate alındığında da, 1,25 mm talaş derinliği için, 2 mm talaş derinliğindeki kadar belirgin olmasa da, ıslak şartlarda kuru kesmeye göre iyileşme göstermektedir (Şekil 5.13, 5.14, 5.15).

Talaş derinliğindeki artma ile birlikte (Şekil 5.11 (a), Şekil 5.11 (b)), yüzey pürüzlülüğünde bir kötüleşme gözlenmekte ve 120 m/min lik kesme hızı aşıldığında genel olarak (ilerlemeden bağımsız olarak) kötüleşme belirgin olarak artmaktadır. Aynı durum ıslak kesmede (Şekil 5.11 (c), Şekil 5.11 (d)) azalmasına rağmen varlığını sürdürmektedir. Bu durum Şekil 5.13(a) ve Şekil 5.13 (b) 'de 0,050 mm/z ilerleme miktarı için daha net görülmektedir.



Şekil 5.13. İlerleme 0,050 mm/z için kuru ıslak şartlarda yüzey pürüzlülüklerindeki değişim.

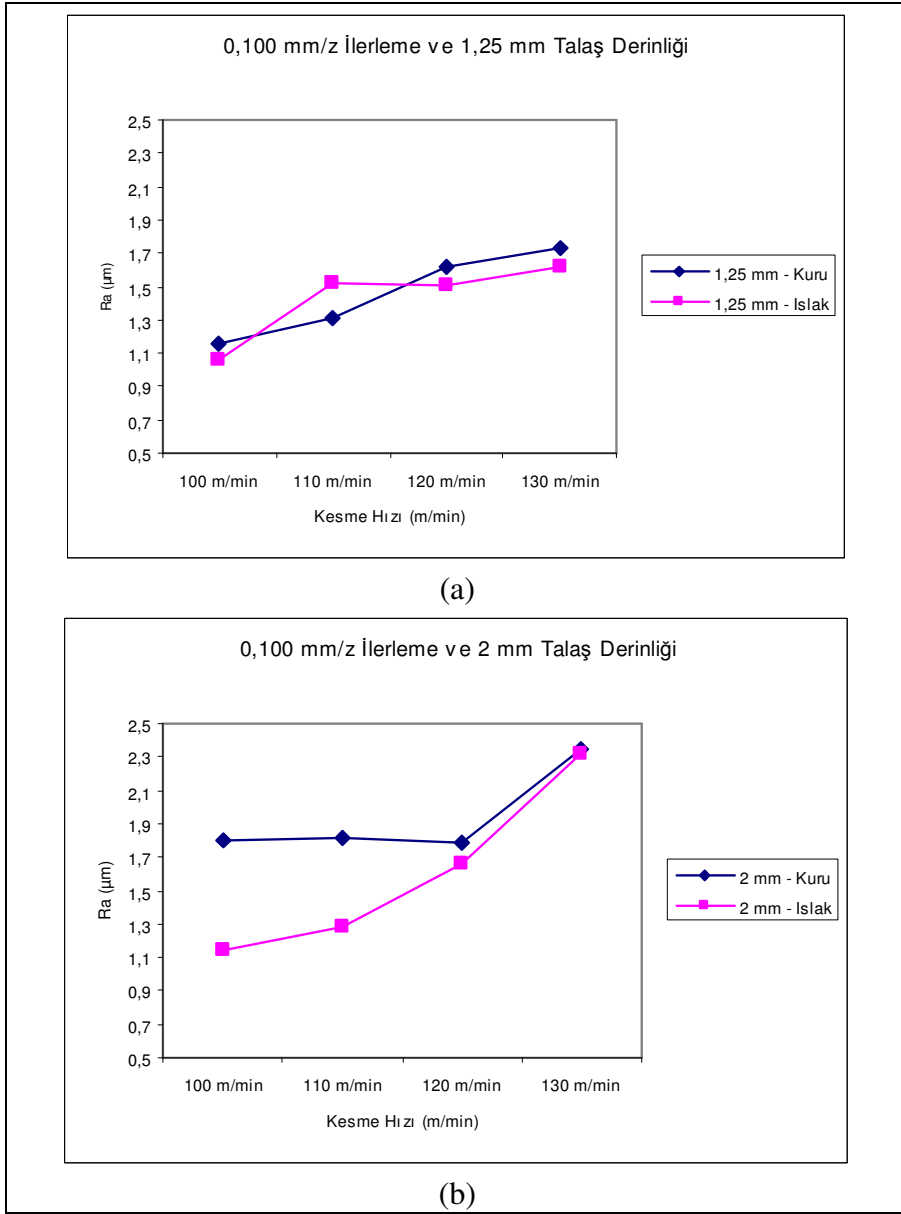
- a) 0,050 mm/z ilerleme ve 1,25 mm talaş derinliği,  
 b) 0,050 mm/z ilerleme ve 2 mm talaş derinliği.



Şekil 5.14. İlerleme 0,075 mm/z için kuru ıslak şartlarda yüzey pürüzlülüklerindeki değişim.

a) 0,075 mm/z ilerleme ve 1,25 mm talaş derinliği,

b) 0,075 mm/z ilerleme ve 2 mm talaş derinliği.



Şekil 5.15. İlerleme 0,100 mm/z için kuru ıslak şartlarda yüzey pürüzlülüklerindeki değişim.

- a) 0,100 mm/z ilerleme ve 1,25 mm talaş derinliği,  
 b) 0,100 mm/z ilerleme ve 2 mm talaş derinliği.

## 5.4. Takım Kötüleşmesi

### 5.4.1. Yanak Aşınması

Deney tasarımında belirlenen kesme parametrelerine bağlı olarak, her kesme şartı için 375 mm'lik numune parça boyunca 3 paso talaş kaldırılmıştır. 1,25 mm talaş kalınlığı için 35156 mm<sup>3</sup>, 2 mm talaş kalınlığı için 56250 mm<sup>3</sup> olarak gerçekleştirilen toplam talaş kaldırma hacimlerinde, kesici takımlarda gerçekleşen yanak aşınması miktarları EK 10'da verilmiştir.

Ölçülen bu yanak aşınma değerleri, Çizelge 3.2. Takım Kötüleşmesinin Ölçülmesi ve Değerleri'nde tavsiye edilen değerlerin oldukça altında kalmıştır.

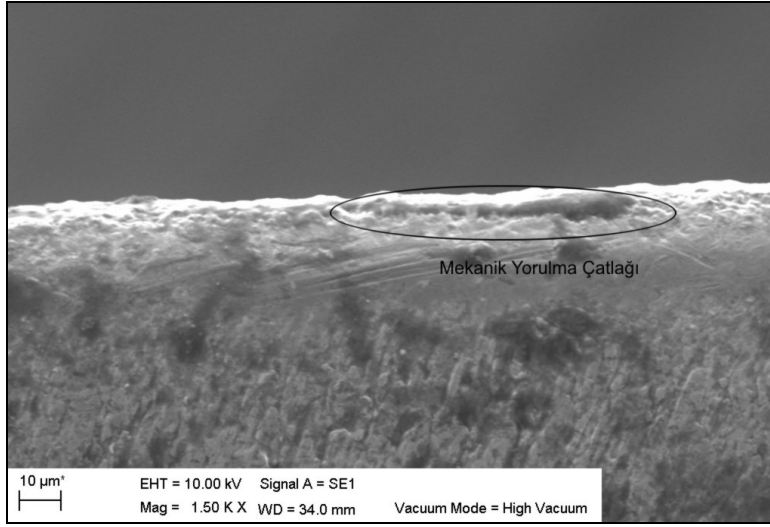
### 5.4.2. Mekanik Yorulma Çatlakları

Kesici takımlar üzerinde tarama elektron mikroskobu yardımıyla yapılan incelemelerde, yanal yüzeylerdeki yanak aşınmalarına ilave olarak, talaş yüzeyinde tabaka kalkması, mekanik yorulma çatlakları, termal yorulma çatlakları, bazı noktalarda çentik aşınmaları ve plastik deformasyona rastlanmıştır.

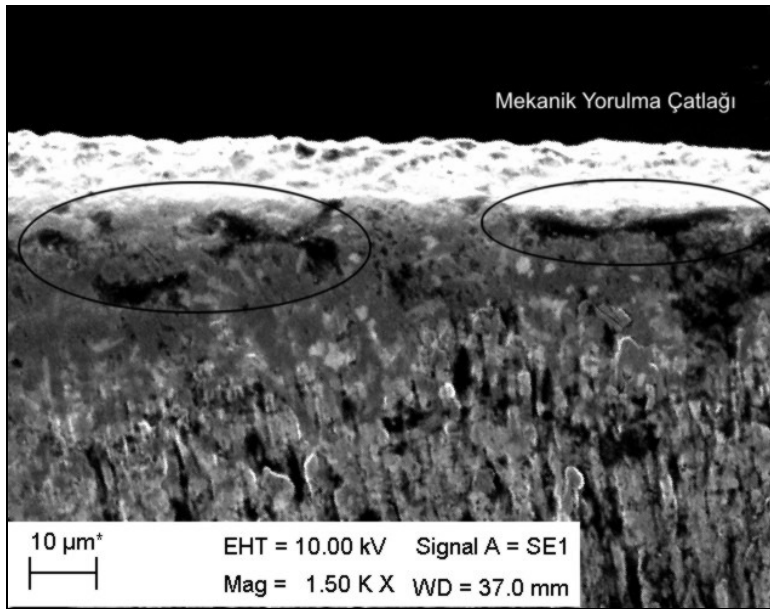
Kesme şartları ile takım kötüleşmesinin değişimini izleyebilmek amacıyla, kuru ve ıslak kesme şartları için kesici takım uçlarından alınan SEM görüntüleri "EK 1- Kuru ve Islak Kesme Şartları için Takım Uç aşınmaları"nda karşılaştırmalı olarak verilmiştir. EK 1'in incelenmesinden de anlaşılacağı üzere gerçekleştirilen mevcut kesme şartlarında, kesme parametreleri ile takım kötüleşmesi arasında belirgin bir bağ kurmak zordur. Bunda en önemli etkenin kesme parametrelerinin, kullanılan tezgah gücü kısıtlaması nedeniyle yeterince ağır seçilememesi söylenebilir. Ancak tespit edilebildiği kadarıyla takım kötüleşmesi ve kesme parametreleri arasındaki ilişki aşağıda ayrıca ele alınmıştır.

Mekanik yorulma çatlakları en sık rastlanan kötüleşme olarak karşımıza çıkmaktadır. Mekanik yorulma çatlaklarının görüldüğü deney kesme parametreleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

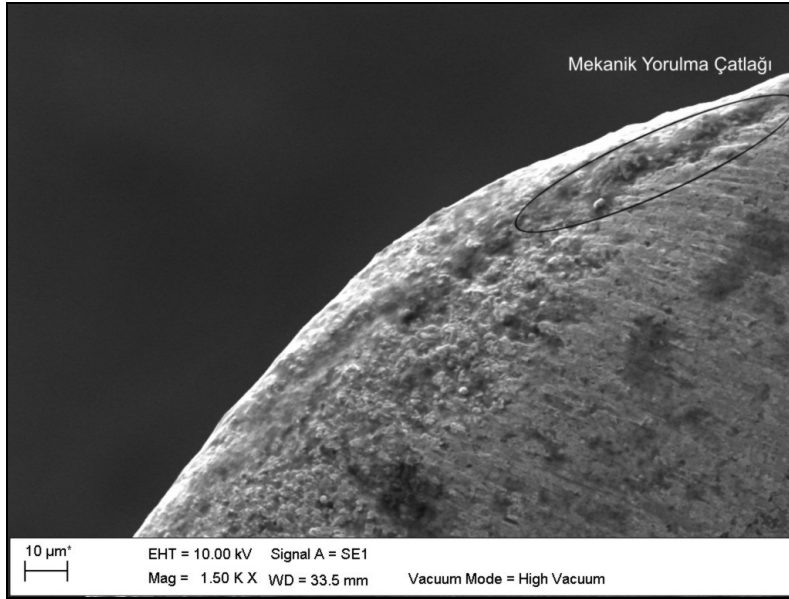
2, 3 ve 26 nolu deneylere ait şekiller (Şekil 5.16, Şekil 5.17 ve Şekil 5.18) incelendiğinde 100 m/min kesme hızı için gerçekleşen mekanik yorulma çatlaklarının küçük boyutlu olduğu görülmektedir.



Şekil 5.16. Takım uç görüntüsü (2 Nolu Deney).

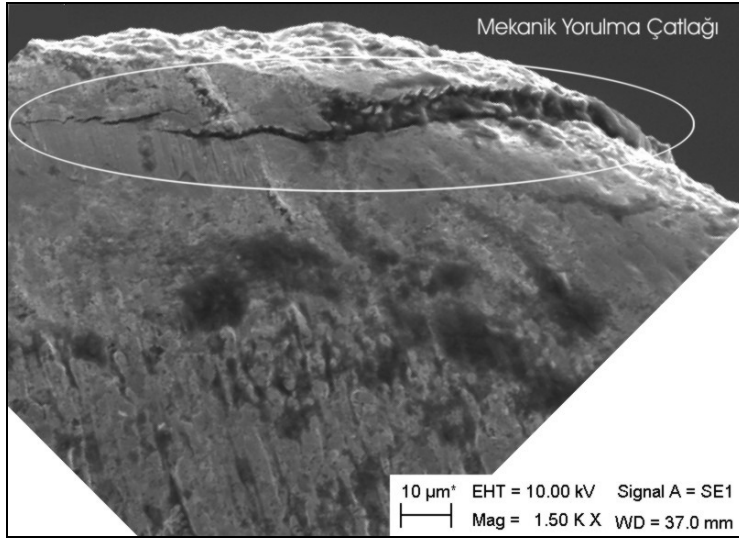


Şekil 5.17. Takım uç görüntüsü (3 Nolu Deney).



Şekil 5.18. Takım uç görüntüsü (26 Nolu Deney).

Bu 2, 3 ve 26 nolu deneyleri elimine ettiğimizde karşılaşılan tüm mekanik yorulma çatlakları 110 ve 120 m/min kesme hızlarında oluşmuştur. 130 m/min kesme hızında mekanik yorulma çatlaklarıyla karşılaşılmamıştır. Bu da frezeleme işleminin kesikli bir talaş kaldırma işlemi olması nedeniyle takımın belirli kesme hızlarının üzerinde daha az darbelere maruz kalması ve kesme kuvvetlerindeki nispi düşüşle açıklanabilir. Örneğin 3 nolu deneyde talaş kaldırma kuvveti 1287 N iken (kesme hızı 100 m/min), aynı şartlarda (sadece kesme hızı 130 m/min olarak değişen) 12 nolu deneyde talaş kaldırma kuvveti 1159 N olarak ölçülmüştür (Çizelge 5.2). Bu da %10.4 lük bir düşüşe karşılık gelmektedir. Bu durum takım kötüleşmesi açısından, mekanik yorulmayı azaltmaktadır. 3 nolu deneyde mekanik yorulma çatlaklarına rastlanırken (Şekil 5.17), 12 nolu deneyde rastlanmamıştır. Benzer durum 7 nolu deney (808 N) (Şekil 5.19) ile 10 nolu deneyde (786 N) de karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 5.19. Takım uç görüntüsü (7 Nolu Deney).

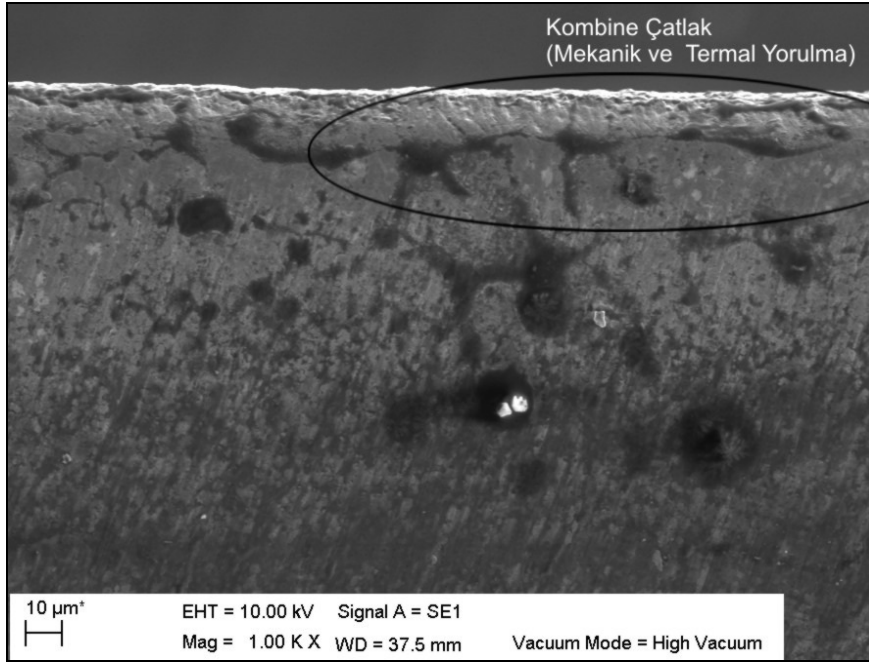
Çizelge 5.1. Mekanik Yorulma Çatlakları Görülen Deneylede Kesme Parametreleri.

Atıf Şekil Numarası	Deney Sıra No	Talaş Derinliği (mm)	Çalışma Şartı	İlerleme fz (mm/z)	İlerleme f (mm/min)	Kesme Hızı (m/min)	Devir Sayısı (dev/min)	Talaş Kaldırma Kuv.-F (N)
Şekil 5.16	2	1.25	Kuru	0.075	115	100	255	996
Şekil 5.17	3	1.25	Kuru	0.100	153	100	255	1287
Şekil 5.19	7	1.25	Kuru	0.050	92	120	306	808
Şekil 5.20	9	1.25	Kuru	0.100	183	120	306	1130
Şekil 5.21	16	2.00	Kuru	0.050	84	110	280	1537
Şekil 5.22	17	2.00	Kuru	0.075	126	110	280	2000
Şekil 5.18	26	1.25	Islak	0.075	115	100	255	983
Şekil 5.23	29	1.25	Islak	0.075	126	110	280	1107
Şekil 5.24	30	1.25	Islak	0.100	168	110	280	1244
Şekil 5.25	33	1.25	Islak	0.100	183	120	306	1154
Şekil 5.26	42	2.00	Islak	0.100	168	110	280	1834
Şekil 5.27	45	2.00	Islak	0.100	183	120	306	1967

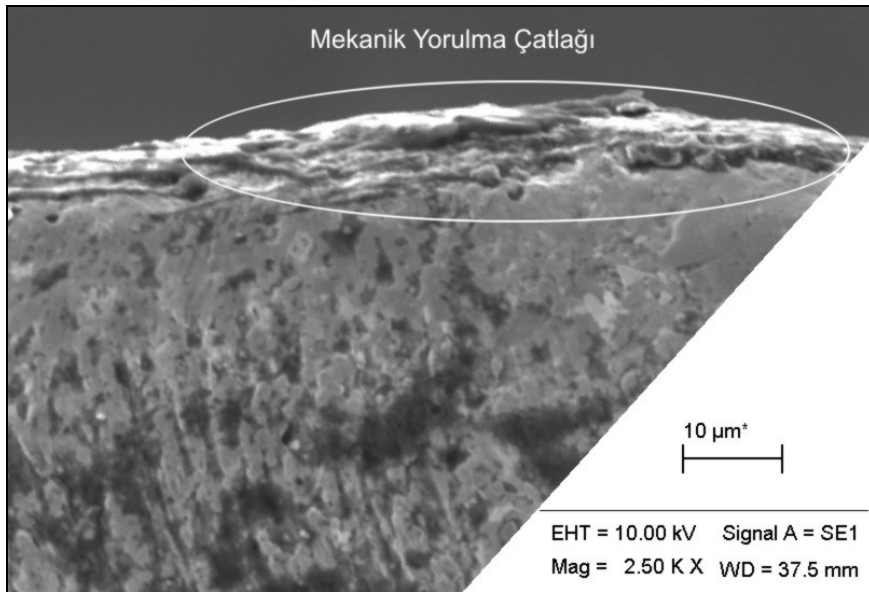
Çizelge 5.2. Talaş Derinliği 1.25 mm ve Kuru Kesme İçin Talaş Kaldırma Kuvveti

	Kesme Hızı (m/min)							
	100		110		120		130	
İlerleme (mm/z)	Deney No	F (N)	Deney No	F (N)	Deney No	F (N)	Deney No	F (N)
0.050	1	890	4	882	7	808*	10	786
0.075	2	996*	5	1037	8	937	11	945
0.100	3	1287*	6	1293	9	1130*	12	1159

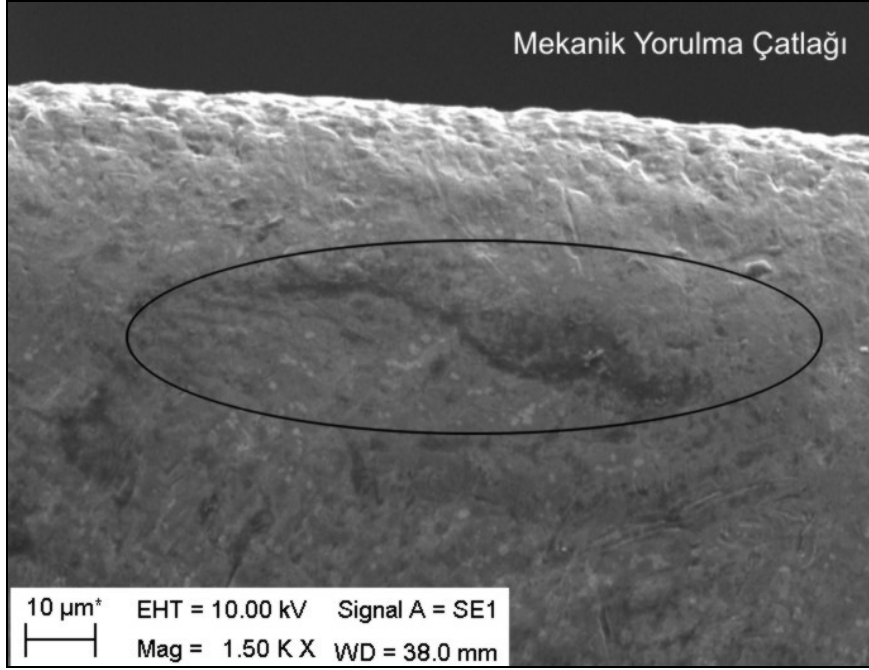
\* Mekanik Yorulma Çatlağı Görülen Deneylede



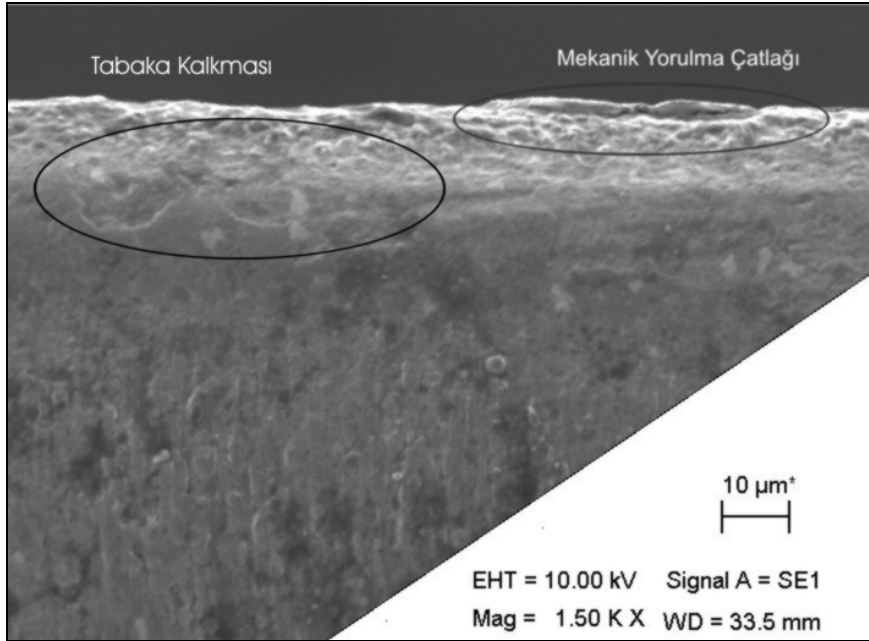
Şekil 5.20. Takım uç görüntüsü (9 Nolu Deney).



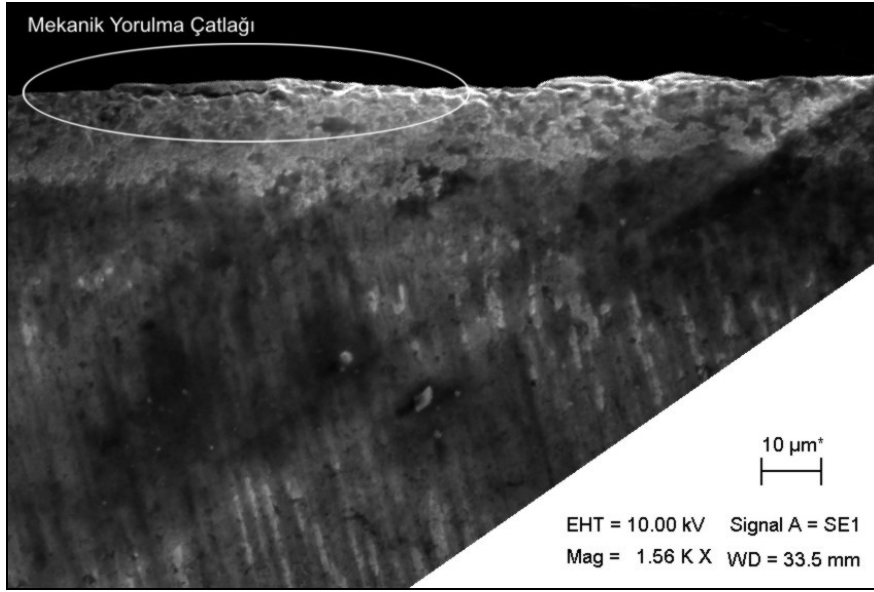
Şekil 5.21. Takım uç görüntüsü (16 Nolu Deney).



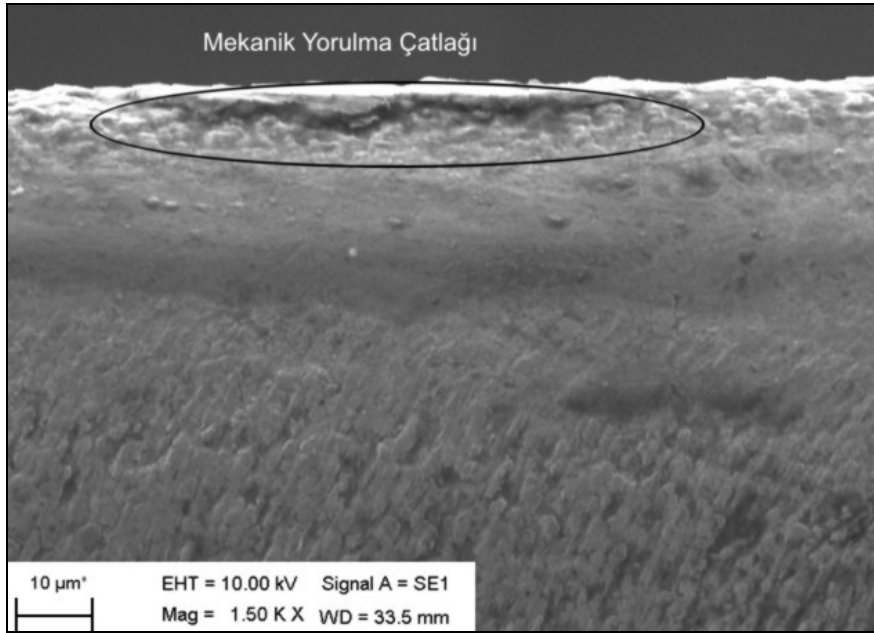
Şekil 5.22. Takım uç görüntüsü (17 Nolu Deney).



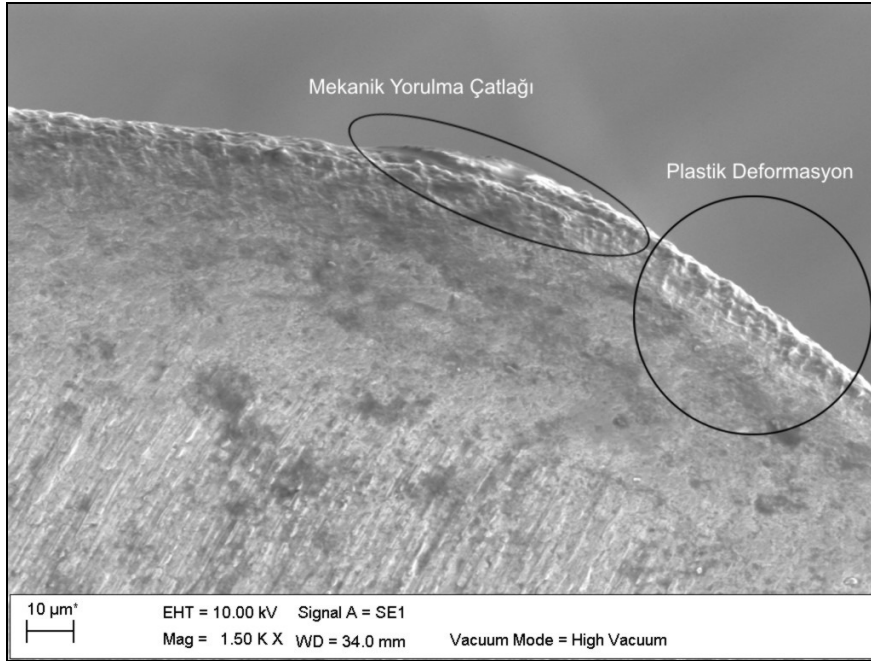
Şekil 5.23. Takım uç görüntüsü (29 Nolu Deney).



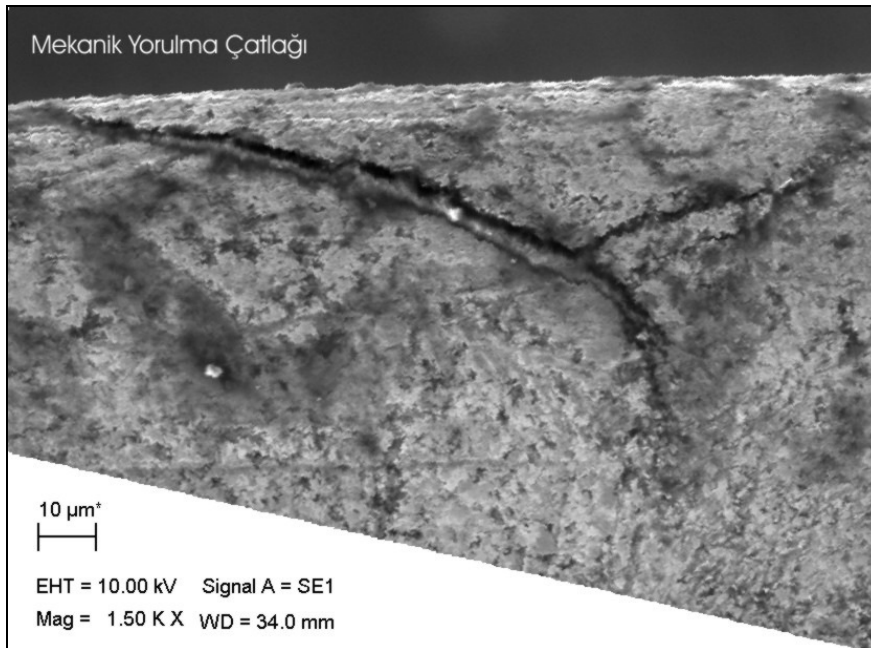
Şekil 5.24. Takım uç görüntüsü (30 Nolu Deney).



Şekil 5.25. Takım uç görüntüsü (33 Nolu Deney).



Şekil 5.26. Takım uç görüntüsü (42 Nolu Deney).



Şekil 5.27. Takım uç görüntüsü (45 Nolu Deney).

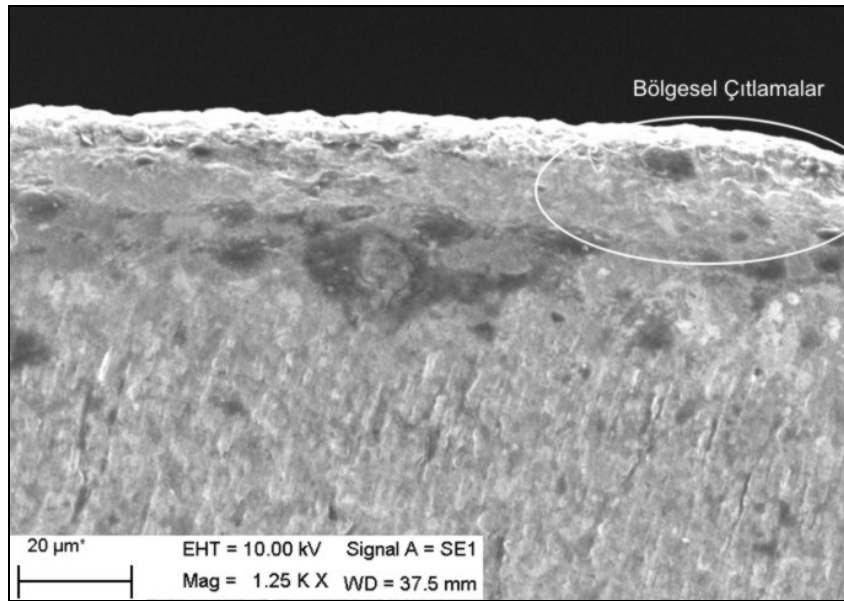
Aynı talaş kaldırma kuvveti ve mekanik yorulma çatlak ilişkisi daha net olarak 14, 17 ve 20 (Şekil 5.29) nolu deneylerde de görülebilmektedir (Çizelge 5.3). 0.075 mm/z ilerleme miktarı için 110 ve 120 m/min kesme hızlarında kesme kuvvetleri

maksimumdur. Kesme hızı 130 m/min'e çıktığında kesme hızı düşmüş ve mekanik yorulma çatlakları görülmemiştir. Şekil 5.22 (17 nolu deney) incelendiğinde oluşan mekanik yorulma çatlaklarının Şekil 5.28'deki (20 nolu deney) bölgesel çatlamalardan daha derin olduğu görülmektedir. Bu da yüksek talaş kaldırma kuvvetinin daha büyük mekanik yorulmalara sebebiyet verdiğini açıkça göstermektedir.

Çizelge 5.3. Talaş Derinliği 2 mm ve Kuru Kesme İçin Talaş Kaldırma Kuvveti

İlerleme (mm/z)	100		110		120		130	
	Deney No	F (N)	Deney No	F (N)	Deney No	F (N)	Deney No	F (N)
0.050	13	1396	16	1537*	19	1446	22	1418
0.075	14	1564	17	2000*	20	1734*	23	1662
0.100	15	1850	18	2110	21	2009	24	1900

\* Mekanik Yorulma Çatlakları Görülen Deneyler



Şekil 5.28. Takım uç görüntüsü (20 Nolu Deney).

Islak şartlarda da aynı durumla karşılaşmıştır. Çizelge 5.4'de mekanik yorulma çatlakları görülen iki deney (42 ve 45), aynı ilerleme hızındaki 130 m/min kesme hızına sahip 48 nolu deneyle karşılaştırıldığında, kesme hızındaki artışa rağmen kesme kuvvetinin düşmesi sebebiyle mekanik yorulma çatlaklarına rastlanmamasını açıklamaktadır.

Çizelge 5.4. Talaş Derinliği 2 mm ve Islak Kesme İçin Talaş Kaldırma Kuvveti

İlerleme (mm/z)	100		110		120		130	
	Deney No	F (N)	Deney No	F (N)	Deney No	F (N)	Deney No	F (N)
0.050	37	1861	40	1562	43	1534	46	1446
0.075	38	2037	41	1738	44	1696	47	1581
0.100	39	2170	42	1834*	45	1967*	48	1806

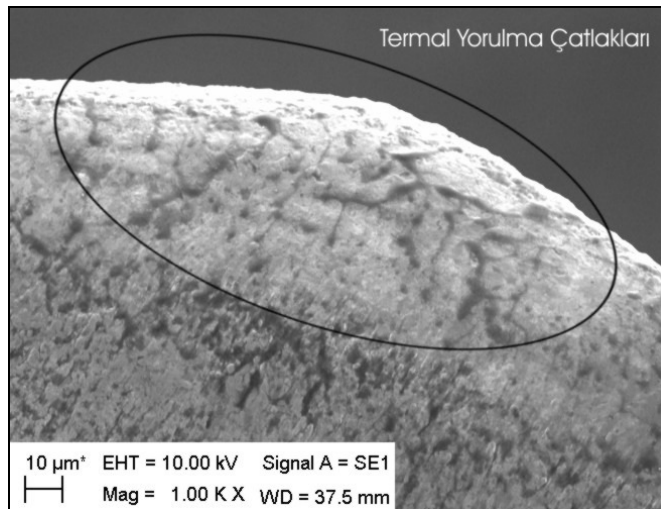
\* Mekanik Yorulma Çatlağı Görülen Deneyler

### 5.4.3. Termal Yorulma Çatlakları

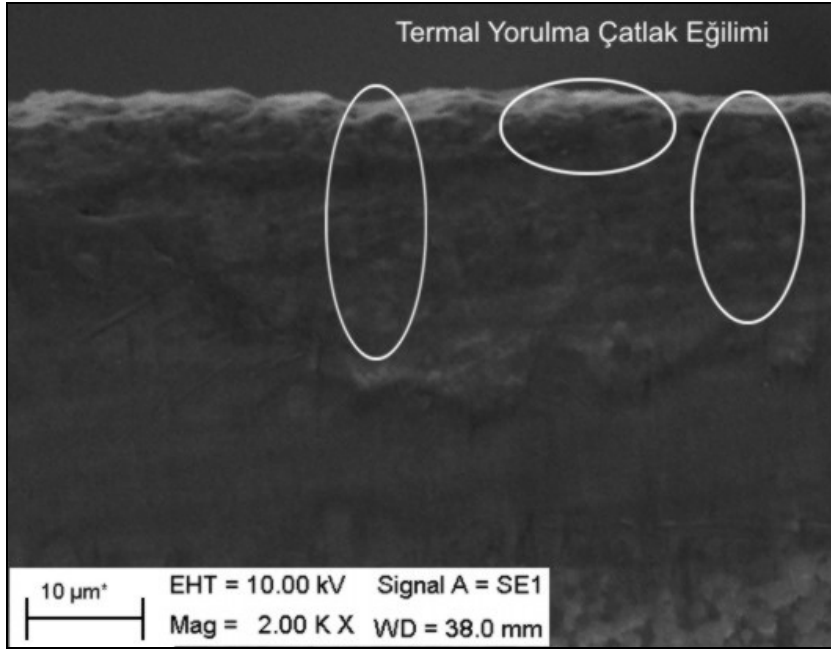
Termal yorulma çatlakları görülen deneyler ise 9 (Şekil 5.20, 5.29), 22 (Şekil 5.30), 24 (Şekil 5.31) ve 32 (Şekil 5.32) nolu deneylerdir. Bu deneylere ait kesme parametreleri Çizelge 5.5’de özetlenmiştir.

Çizelge 5.5. Termal Yorulma Görülen Deneylere Ait Kesme Parametreleri

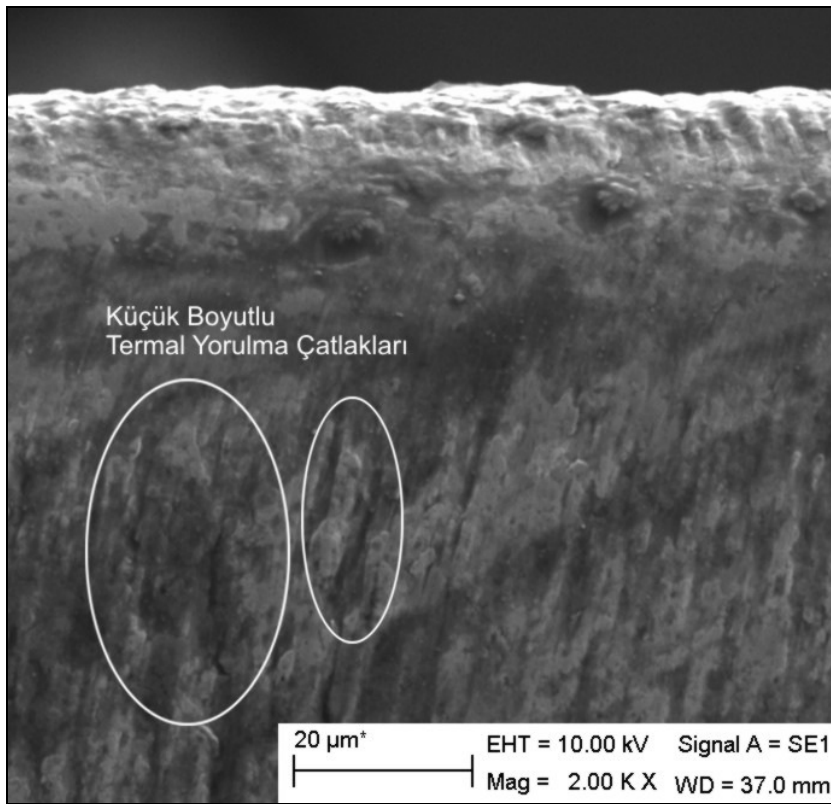
Atıf Şekil Numarası	Deney Sıra No	Talaş Derinliği (mm)	Çalışma Şartı	İlerleme fz (mm/z)	İlerleme f (mm/min)	Kesme Hızı (m/min)	Devir Sayısı (dev/min)
Şekil 5.11 Şekil 5.12	9	1,25	Kuru	0,100	183,44	120	305
Şekil 5.17	22	2,00	Kuru	0,050	99,36	130	331
Şekil 5.18	24	2,00	Kuru	0,100	198,73	130	331
Şekil 5.22	32	1,25	Islak	0,050	76,43	100	254



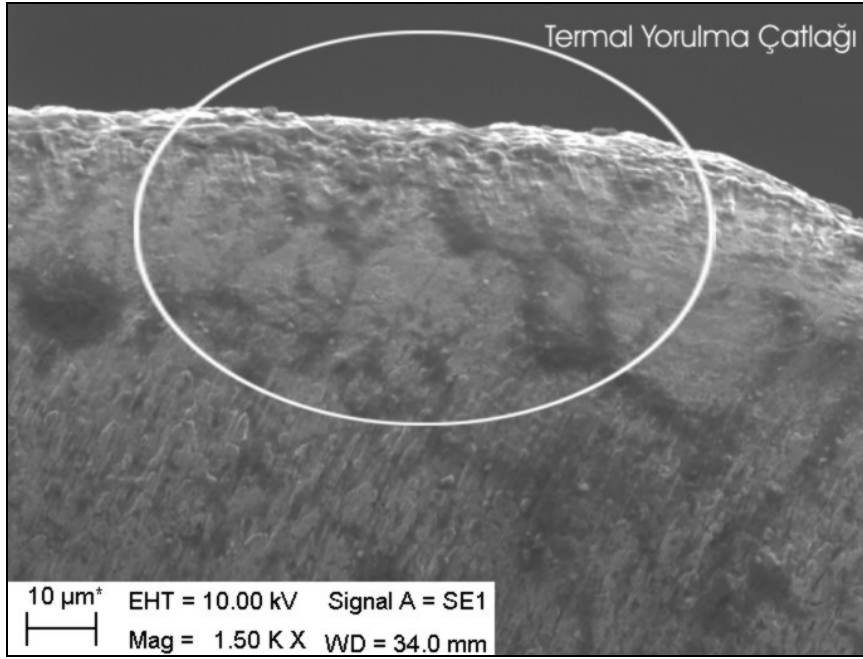
Şekil 5.29. Takım uç görüntüsü (9 Nolu Deney).



Şekil 5.30. Takım uç görüntüsü (22 Nolu Deney).



Şekil 5.31. Takım uç görüntüsü (24 Nolu Deney).



Şekil 5.32. Takım uç görüntüsü (32 Nolu Deney).

Şekil 5.30 ve Şekil 5.31 incelendiğinde, görülen çatlakların termal yorulma çatlak başlangıcı olduğu söylenebilir (22 ve 24 nolu deneyler). Şekil 5.31de ise küçük boyutlu termal çatlaklar görülmektedir. 9 nolu deneye ait Şekil 5.20 ve Şekil 5.29'da mekanik yorulma çatlaklarıyla birleşmiş termal yorulma çatlakları nispeten belirli olarak görülmektedir. Termal yorulma çatlaklarına yeterince rastlanmadığından, deneylerde kullanılan kesme parametrelerinin termal yorulmayı oluşturma yönünde etkisinin olmadığı söylenebilir.

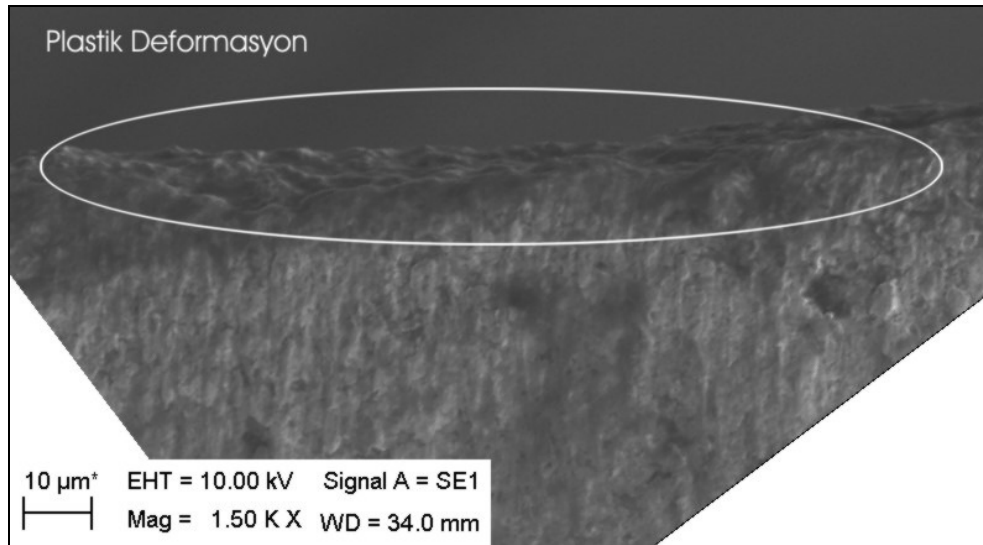
#### 5.4.4. Plastik Deformasyon

Karşılaşılan bir başka takım kötüleşmesi de plastik deformasyondur. Kesici kenar üzerindeki yüksek basınç ve yüksek sıcaklık kombinasyonunun bir sonucu olarak ortaya çıkan bu kötüleşme, Çizelge 5.10'da kesme parametreleri ve numaraları verilen deneylerde gözlenmiştir. Çizelge 5.10' da etkilerini izleyebilmek maksadıyla ilgili deneylere ait sıcaklık ve talaş kaldırma kuvvet değerleri de verilmiştir.

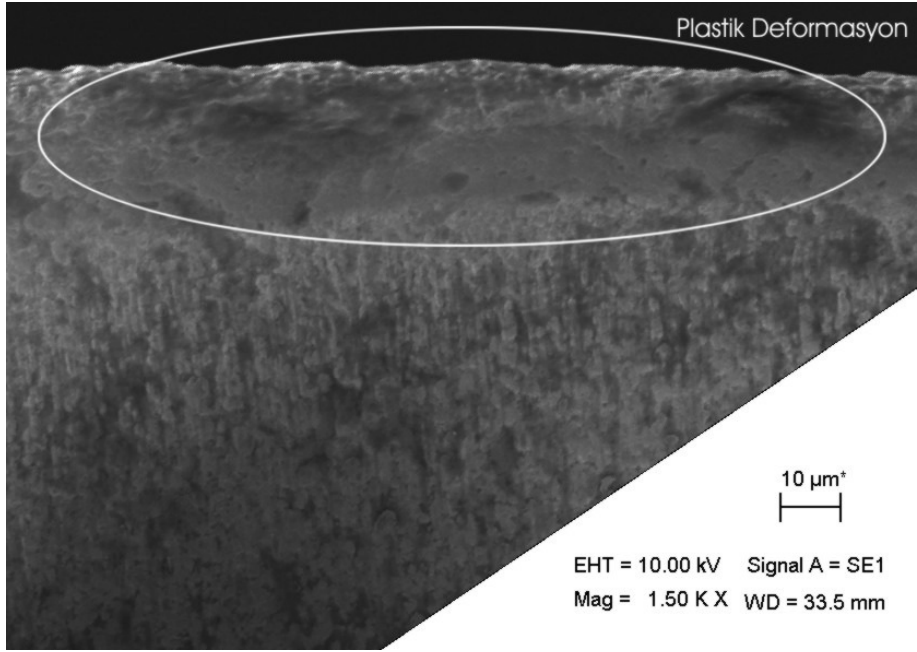
Çizelge 5.6. Plastik Deformasyon Görülen Deneylere Ait Kesme Parametreleri

Atıf Şekil Numarası	Deney Sıra No	Talaş Derinliği (mm)	Çalışma Şartı	İlerleme hızı (mm/z)	İlerleme hızı (mm/min)	Kesme Hızı (m/min)	Devir Sayısı (dev/min)	Talaş Kaldırma Kuv.-F (N)	Ölçülen Kesme Sıcaklığı (C)
Şekil 5.33	10	1,25	Kuru	0,050	99	130	331	786	290
Şekil 5.34	35	1,25	Kuru	0,075	149	130	331	872	275
Şekil 5.35	39	2,00	Islak	0,100	152	100	254	2170	303
Şekil 5.26	42	2,00	Islak	0,100	168	110	280	1834	302
Şekil 5.36	44	2,00	Islak	0,075	137	120	305	1696	285
Şekil 5.37	47	2,00	Islak	0,075	149	130	331	1581	300

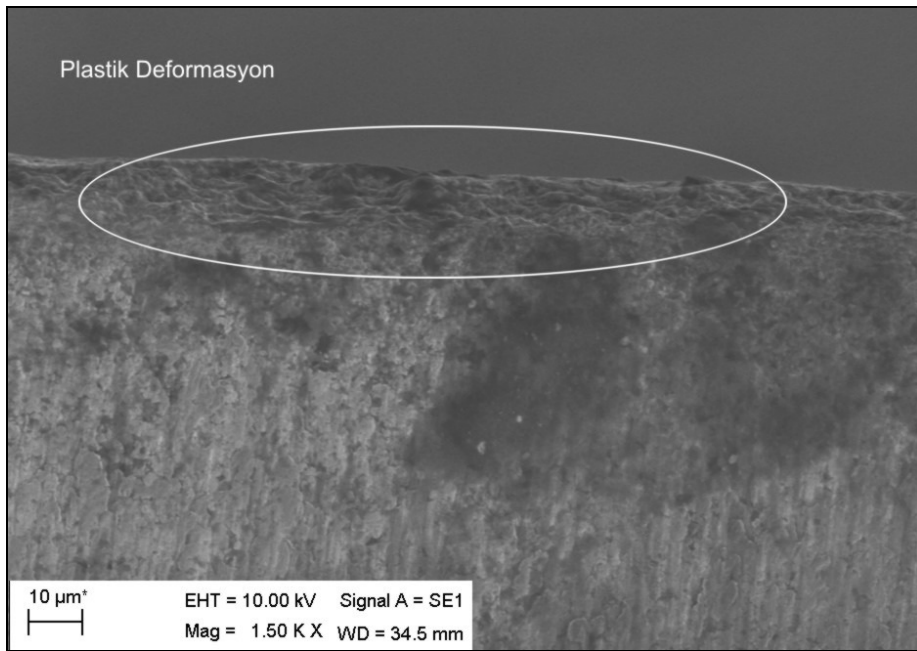
Çizelge 5.10'a göre ağırlıklı olarak yüksek kesme hızı ve/veya yüksek ilerleme hızlarında plastik deformasyon görülmektedir. 39 ve 42 nolu deneylere ait 100 ve 110 m/min'lık kesme hızlarına karşılık ilerleme miktarlarının maksimum değer olan 0,100 mm/z olduğu dikkate değerdir.



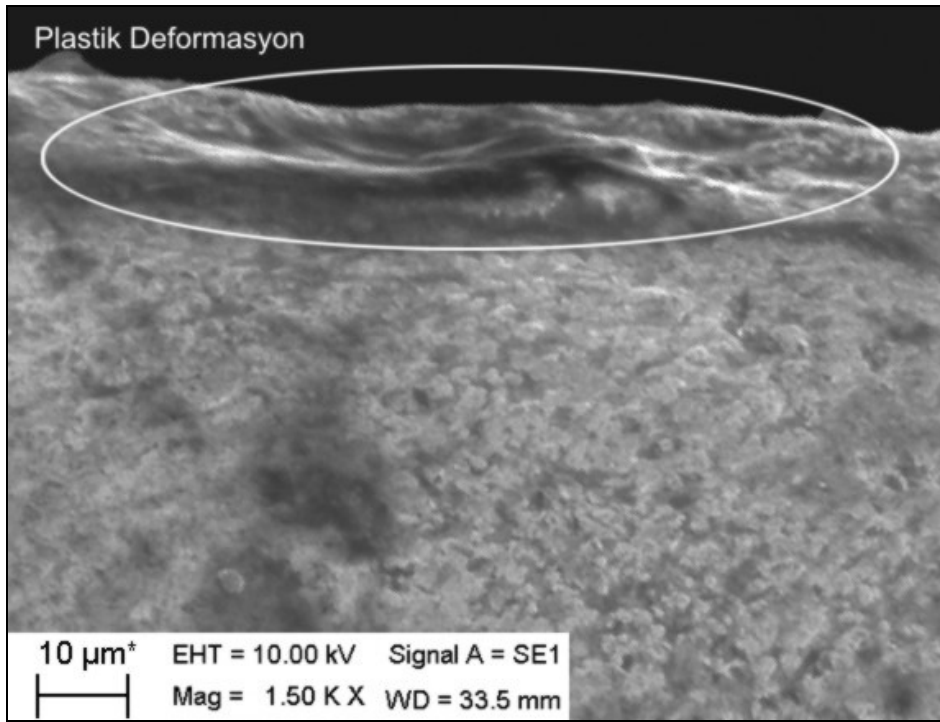
Şekil 5.33. Takım uç görüntüsü (10 Nolu Deney).



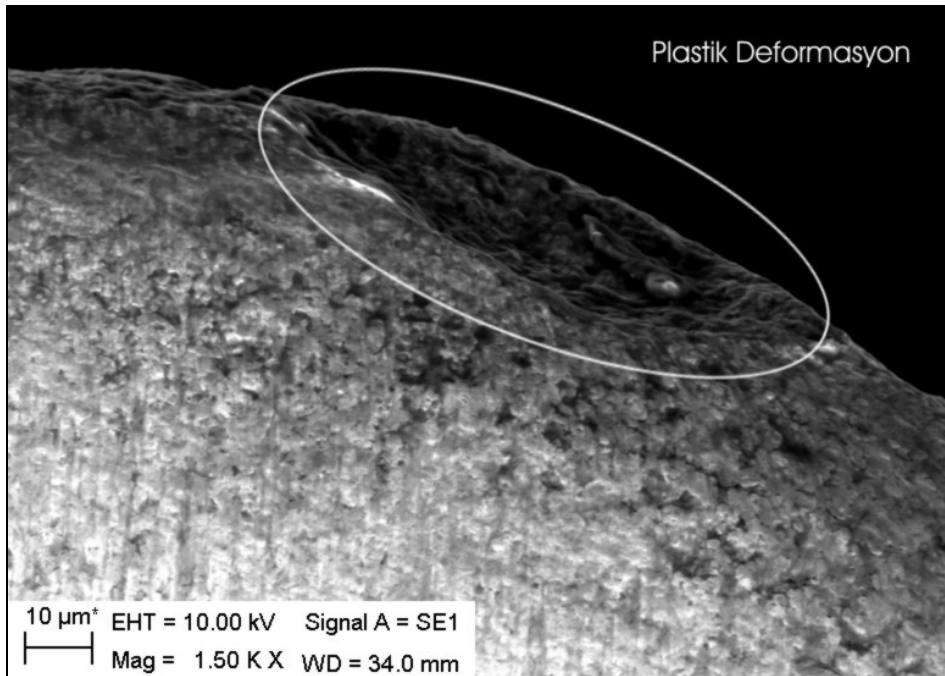
Şekil 5.34. Takım uç görüntüsü (35 Nolu Deney).



Şekil 5.35. Takım uç görüntüsü (39 Nolu Deney).



Şekil 5.36. Takım uç görüntüsü (44 Nolu Deney).



Şekil 5.37. Takım uç görüntüsü (47 Nolu Deney).

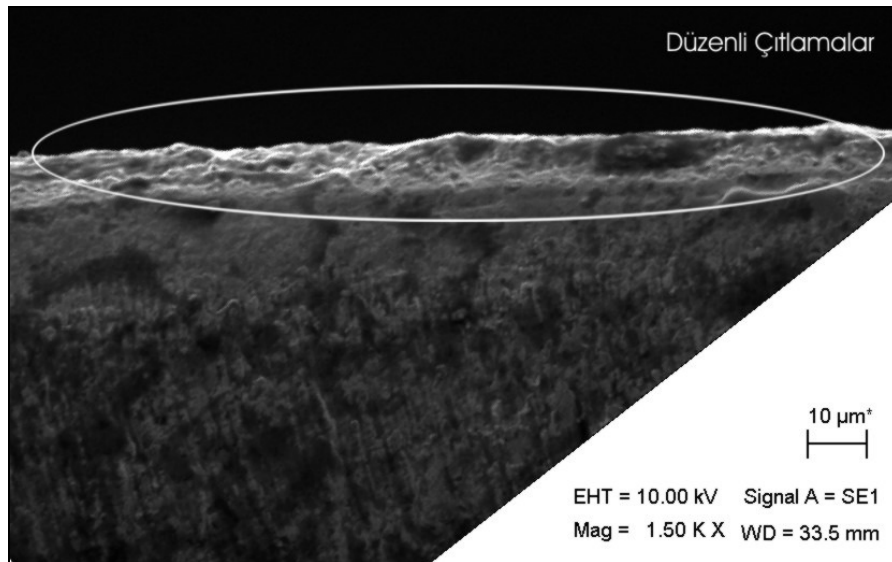
#### 5.4.5. Bölgesel Çıtlamalar

Şekil 5.28 ve Şekil 5.37’de 20 ve 47 numaralı deneylerde kullanılan kesici takımlara ait SEM görüntüleri verilmiştir. Çok sık karşılaşılmamakla beraber aşırı yüklenme ve bu yükün kalkmasından kaynaklanan bu kopmaların, takım esas kesici kenarında ve düzenli çıtlama şeklinde olduğu bu iki kesici takımında görülmektedir. Bu deneylere ait kesme parametreleri Çizelge 5.11’de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Çıtlamalar Görülen Deneylere Ait Kesme Parametreleri

Atıf Şekil Numarası	Deney Sıra No	Talaş Derinliği (mm)	Çalışma Şartı	İlerleme fz (mm/z)	İlerleme f (mm/min)	Kesme Hızı (m/min)	Devir Sayısı (dev/min)
Şekil 5.28	20	2,00	Kuru	0,075	137	120	305
Şekil 5.37	47	2,00	Islak	0,075	149	130	331

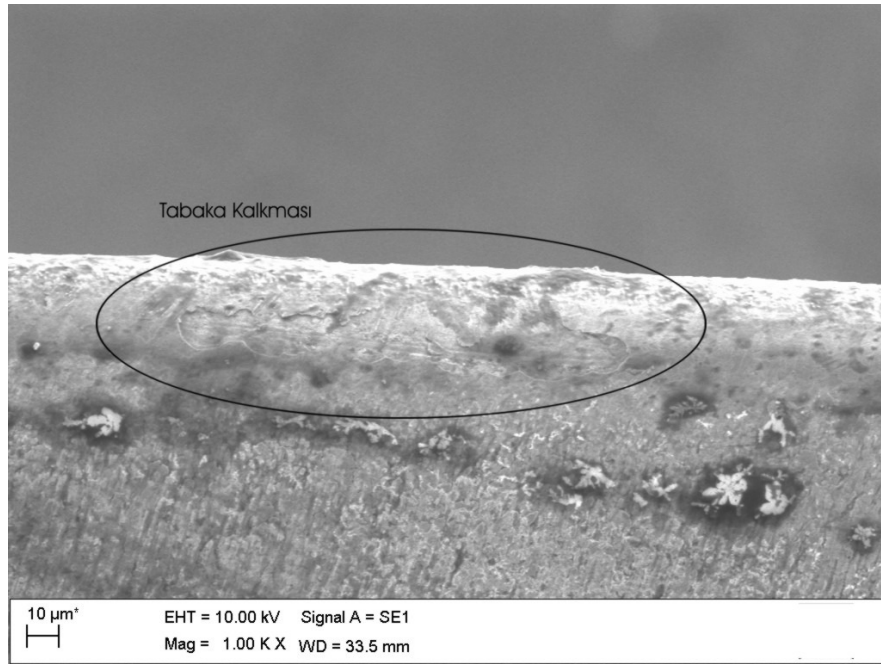
Çıtlamalar ortak olarak, 2 mm talaş derinliğinde, 0.075 mm/z ilerleme hızında görülmüştür. Yeterli çıtlama görülmemekle birlikte kuru ve ıslak şartların çıtlamalar için önemli bir faktör olmadığı söylenebilir.



Şekil 5.38. Takım uç görüntüsü (47 Nolu Deney).

#### 5.4.6. Tabaka Kalkması

Tüm bu takım kötüleşmelerine ilave olarak Şekil 5.23 ve Şekil 5.39-40’da verilen, 29 ve 41 numaralı deneylerde kullanılan kesici takım uçlarına ait görüntülerde belirgin olarak ortaya çıkan tabaka kalkması görülmektedir. Görülen bu tabaka kalkmasının aynı çalışma şartlarında, aynı ilerleme ve kesme hızında görülmesi dikkate değerdir. Deneylerde kullandığımız kesici takım için ıslak şartlarda, 110 mm/min kesme hızı ve 0.075 mm/z ilerleme miktarının tabaka kalkmasına yol açtığı söylenebilir (Çizelge 5.8)



Şekil 5.39. Takım uç görüntüsü (41 Nolu Deney).

Çizelge 5.8. Tabaka Kalkması Görülen Deneylere Ait Kesme Parametreleri

Atıf Şekil Numarası	Deney Sıra No	Talaş Derinliği (mm)	Çalışma Şartı	İlerleme fz (mm/z)	İlerleme f (mm/min)	Kesme Hızı (m/min)	Devir Sayısı (dev/min)
Şekil 5.20	29	1,25	Islak	0,075	126	110	280
Şekil 5.26	41	2,00	Islak	0,075	126	110	280

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Frezeleme işlemlerinde, talaş kaldırma sırasında oluşan sıcaklığın takım aşınma davranışlarına ve termal yorulma çatlaklarına etkisinin deneysel olarak araştırılmasını amaçlayan bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve kesme işleminin kuru/ıslak olma durumuna göre kesme kuvvetlerindeki değişim incelendiğinde göze çarpan en önemli eğilim, kesme hızındaki artışa bağlı kesme kuvvetlerindeki düşme eğilimidir.
- 1,25 mm'lik talaş derinliği için kuru kesme şartlarında, kesme hızında %30'luk bir artışa karşılık, kesme kuvvetlerinde yaklaşık %10'luk bir azalma gözlenmiştir.
- 2 mm'lik talaş derinliği için kuru kesme şartlarında, 110 m/min'in takım/malzeme çifti için önemli olduğu görülmektedir. 110 m/min'lik kesme hızı geçildikten sonra 130 m/min'e kadar %20'lik artışa karşılık kesme kuvvetlerinde %8'den %17'ye kadar bir azalma gözlenmiştir.
- Talaş kesitini belirleyen talaş derinliği ve ilerlemedeki artışla birlikte kesme kuvvetlerinde artış gözlenmiştir. Genel olarak ilerlemedeki %50'lik artışla kesme kuvvetlerinde %12 ~ %20 arasında, ilerlemenin %100 artmasıyla bu artışın %32 ~ %48'lerde çıktığı gözlenmiştir.
- Soğutma işleminin kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi yorumlandığında, uygulanan kesme parametreleri bazında soğutma işleminin çok önemli bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir.
- Kesme sıcaklıkları incelendiğinde genel olarak ortaya çıkan eğilim, artan kesme hızıyla birlikte sıcaklık değerlerinde de bir artış görülmesidir. İlerleme ve talaş derinliğine bağlı artan talaş kesitiyle sıcaklıklarda artış eğilimi görülmektedir.
- 1,25 mm ve 2 mm talaş derinliğinde kuru şartlarda yapılan deneyler değerlendirildiğinde kesme hızındaki %30 artışa karşılık sıcaklıklarda %7,5 ~ %11 civarında bir sıcaklık artışının beklenebileceği söylenebilir.
- Uygulanan deney parametreleri için ilerlemenin sıcaklık üzerindeki etkisinin kesme hızından daha az olduğu söylenebilir. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak, frezelemede kuru kesme şartlarında ilerlemenin %50 artmasıyla sıcaklıkta ~

%5'lik, %100 artmasıyla ise sıcaklıkta %10'luk bir artış beklenebileceği söylenebilir.

- Talaş derinliğine bağlı olarak sıcaklıktaki değişim, kesme hızı ve ilerlemeye göre çok düşük olduğu söylenebilir. Kesme sıcaklığı üzerinde ilerlemenin etkili olduğu, soğutma işlemi uygulanan deneylerde de gözlenmiştir.
- Kesme sıvısı kullanıldığında genel olarak kesme sıcaklıklarında bir düşme eğilimi olduğu görülmüştür. Genel anlamda düşük kesme hızlarında soğutma uygulamasının daha büyük etkiye sahip olduğu görülmektedir. 2 mm'lik talaş derinliğinde soğutmanın etkisi 1,25 mm'lik talaş derinliğindeki kadar yüksek olmamıştır.
- Genel olarak artan ilerleme miktarlarıyla yüzey pürüzlülüğünün düzenli olarak arttığı ancak, artan kesme hızlarıyla diş başına ilerleme sabit kaldığı halde yüzey pürüzlülüklerinde de bir artış eğilimi olduğu görülmüştür.
- Talaş derinliği, ilerleme ve kesme hızı parametrelerine bağlı olarak deney sonuçları incelendiğinde, ıslak kesme şartlarında kuru kesme şartlarına oranla daha düşük yüzey pürüzlülüklerinin elde edilmiştir.
- 1,25 mm talaş derinliği için kuru şartlarda yüzey pürüzlülüğü, 110 m/min üzerindeki kesme hızları ve tüm ilerlemelerin ortalaması alındığında  $\approx$  %13 artma şeklinde olmuştur. Islak kesme şartlarında ise, 110 m/min kesme hızı daha belirgin şekilde kritik bir hız olmuş ve bunun üzerindeki kesme hızı değerleri için ortalama değişim oranı %1,76 ile hemen hemen sabit kalmıştır.
- 2 mm talaş derinliğinde kuru ve ıslak kesme şartları kıyaslandığında, yüzey pürüzlülüğü, ıslak kesmede kuru kesmeye göre oldukça azalma göstermektedir. Tüm ilerleme miktarları için aynı eğilim gözlenmiştir. Benzer durum 1,25 mm talaş derinliği için de, 2 mm talaş derinliğindeki kadar belirgin olmasa da, ıslak şartlarda yüzey pürüzlülüğünde bir iyileşme olduğu görülmüştür.
- Talaş derinliğindeki artma ile birlikte, yüzey pürüzlülüğünde bir kötüleşme gözlenmiş ve 120 m/min lik kesme hızı aşıldığında genel olarak (ilerlemeden bağımsız olarak) kötüleşme belirgin olarak artmıştır.
- Belirlenen kesme parametreleri için, ölçülen yanak aşınma değerleri tavsiye edilen değerlerin altında kalmıştır.

- Mekanik yorulma çatlakları en sık karşılaşılan kötüleşme olarak karşımıza çıkmıştır. 100 m/min kesme hızı için gerçekleşen mekanik yorulma çatlakları küçük boyutlu olduğu görülmüştür. 130 m/min kesme hızında mekanik yorulma çatlaklarına rastlanmamıştır. Gerçekleştirilen deney parametreleri için, 110 m/min ve 120 m/min kesme hızlarının mekanik yorulma çatlakları için kritik olduğu söylenebilir.
- Kesme kuvvetlerindeki artışla birlikte mekanik yorulma çatlaklarının da arttığı görülmüştür.
- Termal yorulma çatlakları kısmen görülmüştür. Termal yorulma çatlaklarına yeterince rastlanmadığından deneylerde kullanılan kesme parametrelerinin termal yorulmayı oluşturma yönünde etkisinin olmadığı söylenebilir.
- Plastik deformasyon, ağırlıklı olarak yüksek kesme hızı ve yüksek ilerleme hızlarında görülmüştür.
- Bölgesel çıtlamalar ortak olarak, 2 mm talaş derinliğinde, 0,075 mm/z ilerleme hızında, iki deneyde görülmüştür. Yeterli çıtlama görülmemekle birlikte kuru ve ıslak şartların çıtlamalar için önemli bir faktör olmadığı söylenebilir.
- Tabaka kalkması şeklinde iki kesici takımında görülen kötüleşme, 110 mm/min kesme hızı ve 0,075 mm/z ilerleme miktarında, ıslak şartlarda gerçekleşmiştir.

*Daha sonra yapılabilir çalışmalar için öneriler:*

Deneysel sonuçlarda elde edilen verilere dayanarak matematiksel modeller geliştirilebilir.

Deneysel sonuçları, teorik ve genetik algoritma uygulanarak elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak kesme şartlarının optimizasyonu yapılabilir.

Deneysel parametreleri daha da artırılarak kapsamlı bir çalışma yapılabilir. Bu durumda deneysel sayısının da artması kaçınılmaz olacaktır. Bu tür kapsamlı çalışmalarda Taquchi yöntemiyle deneysel sayısına sınırlamalar getirilebilir.

Frezeleme işlemlerinde değişik malzeme grupları için takım ömürleri test edilerek malzeme grupları için takım ömrü diyagramları oluşturulabilir.

Benzer deneysel kaplamalı kesici takımlar için yapılabilir. Kaplamalı ve kaplamasız takımlar ile kaplama kalınlıklarının takım ömrü üzerindeki etkileri araştırılabilir.

Deneysel, ağır kesme şartları için yapılarak termal yorulma çatlakları ve aşınmalar daha belirgin ölçülebilir.

Yüksek hızlarda işlemede, termal karakteristikler araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

1. Degarmo, E.Poul, Black, J.T., Kohser, Ronald A., Materials and Processes in Manufacturing, Eight Edition, *Prince-Hall International Inch.*, 637 (1997).
2. Çakır, M.Cemal, Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri, *Vipaş Aş*, Bursa, 237-238 (2000).
3. Şahin, Yusuf, Talaş Kaldırma Prensipleri 2, *Nobel Yayın Dağıtım Ltd.Şti*, Ankara, 10-30 (2001).
4. Çakır, M.Cemal, Modern Talaşlı İmalatın Esasları, *Vipaş Aş*, Bursa, 52-55 (1999).
5. SHAW, Milton C., Metal Cutting Principles, *Clerendon Pres- Oxford*, 18-21, 240-247 (1984).
6. Caldeirani, J. Diniz, A., Filho E., Influence of cutting conditions on tool life, tool wear and surface finish in the face milling process, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences*, 24 (1): 10-14 (2002).
7. Diniz, A., Filho, E., Caldeirani, J., Influence of the relative positions of tool and workpiece on tool life, tool wear and surface finish in the face milling process, *Wear*, 232 (1): 67-75 (1999).
8. Liu, Z.Q., Ai, .X., Zhang, H., Wang, Z.T., Wan, Y., Wear patterns and mechanisms of cutting tools in high-speed face milling, *Journal of Materials Processing Technology*, 129 (1-3): 222-226 (2002).
9. Kim, S.W., Lee, C.M., Lee, D.W., Kim, J.S., Jung, Y.H., Evaluation of the thermal characteristics in high-speed ball-end milling, *Journal of Materials Processing Technology*, 113 (1-3): 406-409 (2001).
10. Sharman, A. , Dewes, R.C., Aspinwall, Tool life when high speed ball nose end milling Inconel 718 TM *Journal of Materials Processing Technology* , 118 (1-3): 29-35 (2001).
11. Richetti, A. Machado, A.R., Da Silva, M.B Influence of the number of inserts for tool life evaluation in face milling of steels, Ezugwu, E.O., Bonney, J. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 44 (7-8): 695-700 (2004).
12. Gu, Jie , Barber, Gary, Tung, Simon, Gu, Ren-Jyh, Tool life and wear mechanism of uncoated and coated milling inserts, *Wear*, 225-229 (I): 273-284 (1999).

13. Yan, W.Wong, Y.S.; Lee, K.S., Ning, T., Investigation of indices based on milling force for tool wear in milling, *Journal of Materials Processing Technology*, 89: 245-253 (1999).
14. Kuljanic, Elso., Investigation of wear in single-tooth and multi-tooth milling, *International Journal of Machine Tool Design & Research*, 14 (1): 95-109 (1974).
15. Lin, Shih-Chieh, Yang, Ray-G., Tool wear monitoring in face milling: American Society of Mechanical Engineers, *Dynamic Systems and Control Division DSC*, Symposium on Mechatronics, 50: 127-133 (1993).
16. Abdou, G., Yien, J., Analysis of force patterns and tool life in milling operations, *International Journal of Advanced . Manufacturing Technology*, 10 (1): 11-18 (1995).
17. Orady, E., (McMaster Univ, Hamilton, Ont, Can), Tlusty, J., Effect of thermal cycling on tool wear in milling, *Manufacturing Engineering Transactions*, 250-255 (1981).
18. Zurecki, Zbigniew Harriott, George,Zhang, Xiaoguang, Dry machining of metals with liquid nitrogen, Technical Paper - *Society of Manufacturing Engineers*, 99-252, 1-12 (1999).
19. Milner, D. A, Temperature investigation of the milling process, *Microtecnic*, 28 (1): 35-38 (1974).
20. Liu, Z.Q., Ai, X., Zhang, H., Wang, Z.T., Wan, Y., Wear patterns and mechanisms of cutting tools in high-speed face milling, *Journal of Materials Processing Technology*, 129 (1-3): 222-226 (2002).
21. Kalaszi, I., Ran, Phung, Short run life test by combined method to determine cutting life equation at milling, *Periodica Polytechnica, Mechanical Engineering*, 20 (3): 179-187 (1976).
22. Matsumura, T., (Tokyo Denki Univ), Usui, E., On-line tool wear compensation system in milling operation, Technical Paper - *Society of Manufacturing Engineers*, 99 (172): 1-6 (1999).
23. Şeker, U., KORKUT, İ., Turgut, Y., Boy, M., “The Measurement of Temperature During Machining”, Proc. *International Congress-Gear Transmissions-03*, Varna, BULGARIA, 2: 86-89 (2003).
24. Balazinski, M., Ennajimi, E., Influence of feed variation on tool wear when milling stainless steel 17-4Ph, *Journal of Engineering for Industry, Transactions of the ASME*, 116 (4): 516-520 (1994).

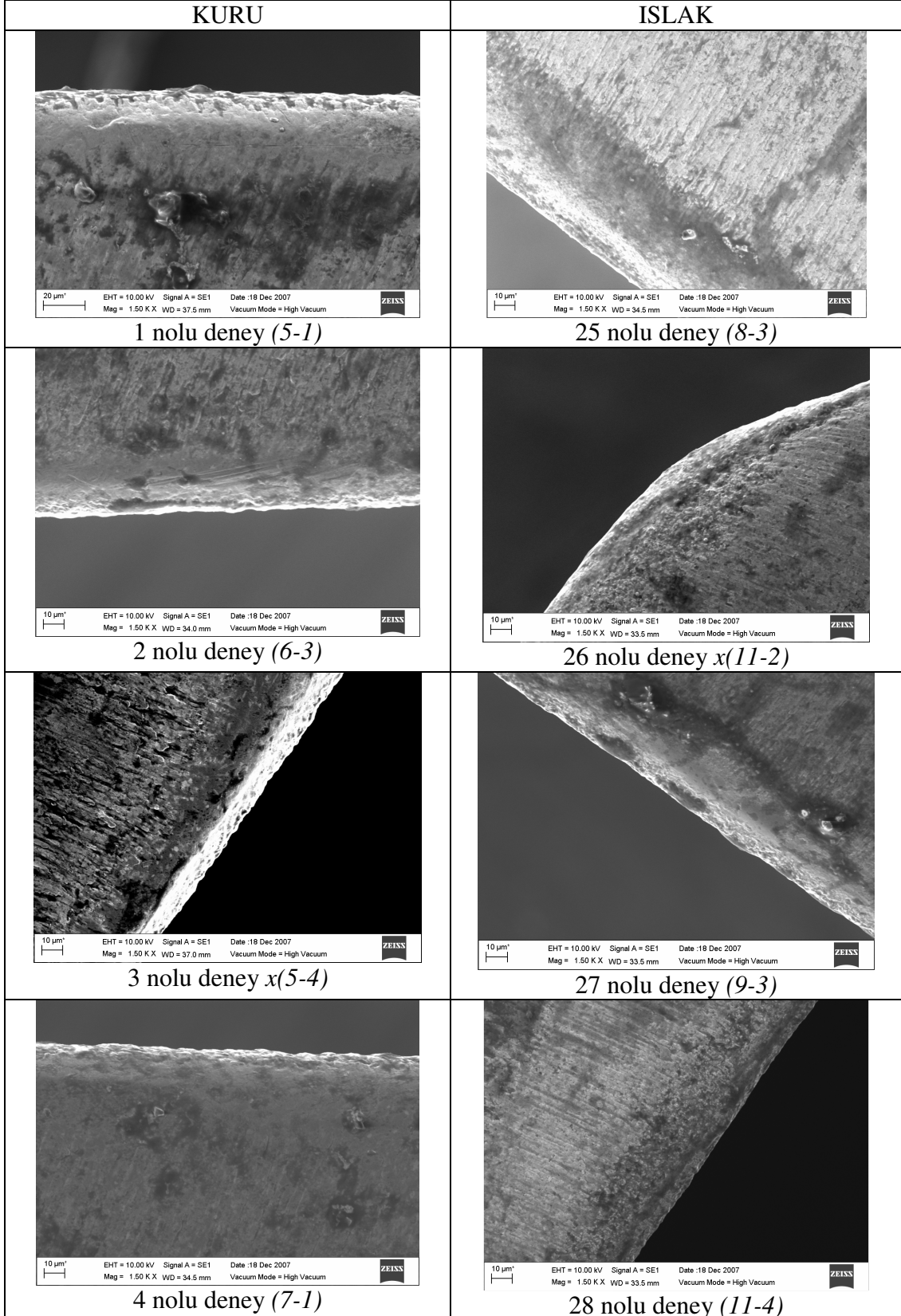
25. Toenshoff, Hans Kurt, Wasmann, Udo, The effect of forced vibrations on tool life in face milling, *Forschung im Ingenieurwesen*, 58 (11-12): 283-289 (1992).
26. H.Shao, H.L.Wang, X.M.Zhao, A Cutting Power Model for Tool Wear Monitoring in Milling., *Internatioanl Journal of Machine Tools & Manufacture*, 44: 1503 -1509 (2004).
27. D'Errico, Giampaolo E. Bugliosi, Sante, Guglielmi, Emanuele, \*Tool-life reliability of cermet inserts in milling tests, *Journal of Materials Processing Technology*, 77 (1-3): 337-343 (1998).
28. Zoya, Z.A. Krishnamurthy, R., The Performance of CBN tools in the machining of titanium alloys, *Journal of Materials Processing Technology*, 100 (2000).
29. Dewes, R.C., Ng, E., Chua, K.S., Newton, P.G., Aspinwall, D.K., Temperature measurement when high speed machining hardened mould/die steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 92-93: 293-301 (1999).
30. Sahran. A.Sayed. R., Nassr.A.A., El-Zahry.R.M., Interrelationships between cutting force variation and tool wear in end-milling, *Journal of Meterials Processing Technology*, 109 (3): 229-235 (2001).
31. Ong, Philip K.L. Mannan, M.A, Experimental Modelling of Cutting Forces as a Function of Tool Wear in End Milling, *Materials Science Forum*, 437-438: 371-374 (2003).
32. Kopac, J., Sokovic, M., Dolinsek, S., Tribology of coated tools in conventional and HSC machining, *Journal of Materials Processing Technology*, 118 (1-3): 377-384 (2001).
33. Choudhury, S.K.,Rath, Subhashree, In-process tool wear estimation in milling sing cutting force model, *Journal of Materials Processing Technology*, 99 (1): 113-119 (2000).
34. Alauddin, M., El Baradie, M.A., Hashmi, M.S.J., Prediction of tool life in end milling by response surface methodolkogy, *Journal of Materials Processing Technology*, 71 (3): 456-465 (1997).
35. Alauddin, M., El Baradie, M.A., Tool life model for end milling steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 68 (1): 50-59 (1997).
36. Ming, C., Fanghong, Sun, Haili, Wang, Renwei, Yuan, Zhenghong, Qu, Shuqiao, Zhang, Experimental research on the dynamic characteristics of the cutting temperature in the process of high-speed milling, *Journal of Materials Processing Technology*, 138 (1-3): 468-471 (2003).

37. Wilkinson, P.Reuben, R.L.,Jones, J.D.C., Barton, J.S.,Hand, D.P., Carolan, T.A., Kidd, S.R., Surface finish parameters as diagnostics of tool wear in face milling, *Wear*, 205 (1-2): 47-54 (1997).
38. Dewes, R.C., Ng, E., Chua, K.S., Newton, P.G., Aspinwall, D.K., Temperature measurement when high speed machining hardened mould/die steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 92-93: 293-301 (1999).
39. Fish, Randall, K.Ostendorf, Mari, Bernard, Gary.D.,Castanon, David, Shivakumar, Hariharan, Modeling the progressive nature of milling tool wear, American Society of Mechanical Engineers, *Manufacturing Engineering, Division*, 11: 111-117 (2000).
40. Cho, D.W.,Choi, W.C., Lee, H.Y., Detecting tool wear in face milling with different workpiece materials, *Key Engineering Materials*, 183 (I): 559-564 (2000).
41. Lam, Joyce Y.H., Geddam, Aseervadam, A neural network approach to tool wear monitoring in end milling operations, *Proceedings of the IASTED International Conference on Intelligent Systems and Control*, 156-161 (2003).
42. Carolan, T.A. , Kidd, S.R., Hand, D.P., Wilcox, S.J., Wilkinson, P., Barton, J.S., Jones, J.D.C., Reuben, R.L., Acoustic emission monitoring of tool wear during the face milling of steels and aluminum alloys using a fiber optic sensor, Part 1, Energy, Analysis, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B, *Journal of Engineering Manufacture*, 211 (B4): 299-309 (1997).
43. Chang, C., S., A force model of face milling tool considering wear, *Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers*, Transactions of the Chinese Institute of Engineers, Series C/Chung-Kuo Chi Hsueh Kung Ch'eng Hsuebo Pao, 22 (3): 187-202 (2001).
44. Wilkinson, P. , Reuben, R.L., Jones, J.D.C., Barton, J.S., Hand, D.P., Carolan, T.A., Kidd, S.R., Surface finish parameters as diagnostics of tool wear in face milling Source, *Wear*, 205 (1-2): 47-54 (1997).
45. Shteinhaus, G., Braun, S., Lenz, E., Automated vibration based tool wear monitoring application to face milling, Computers in Engineering, *Proceedings of the International Computers in Engineering Conference*, 401-406 (1984).
46. Boothroyd G., Knight W.A., Fundamentals of Machining and Machine Tools, Second Edition, *Marcel Dekker Inc.*, Newyork, 84-85: 133 (1989).
47. Brunis D.H., Drager Hans-Jurgen, Talaşlı Metal İşlemede Takımlar ve Takım Tezgahları, Çev. Doç.Dr. Murat DİNÇMEN, *Carl Hanser Yayınevi*, Münih-Viyana, 28-31, 38-43 (1975).

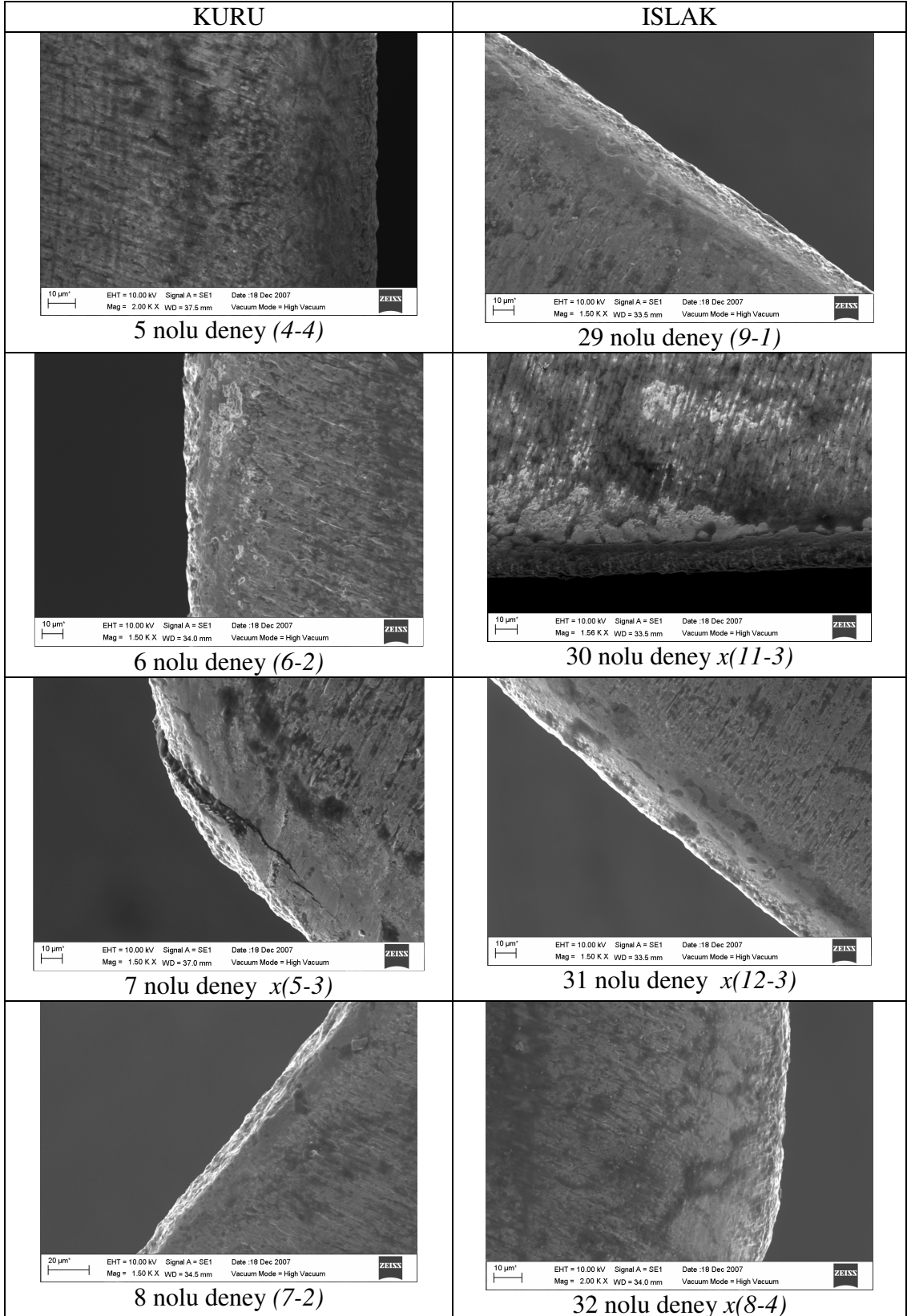
48. Akkurt, Mustafa, Takım Tezgâhları Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Teknolojisi, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 38-39, 214-222 (1985).
49. Sandvik Coromat, Technical Editorial Department, Modern Metal Cutting, *Tofters Tryckeri AB*, I-32-32, II-3-5, IV-5 (1994).
50. Şeker, Ulvi, Kesici Takım Ders Notları, 18-28, 50-72 Ankara, (2006).
51. Black S.C., Chiles V., Lissaman A.J., Martin S.J., Principles of Engineering Manufacture, *Arnold Yayınevi*, London, 357 (1996).
52. KRAR, Steve F., OSWALD, J.William, Technology of Machine Tools, *Glencoe- McGraw-Hill*, Newyork, Forth Edition, 187 (1990).
53. International Standarts, *ISO 8688-1*, Tool Life Testing in Milling- part 1, Face Milling, Reference Number ISO 8688-1:(1989)(E).

**EKLER**

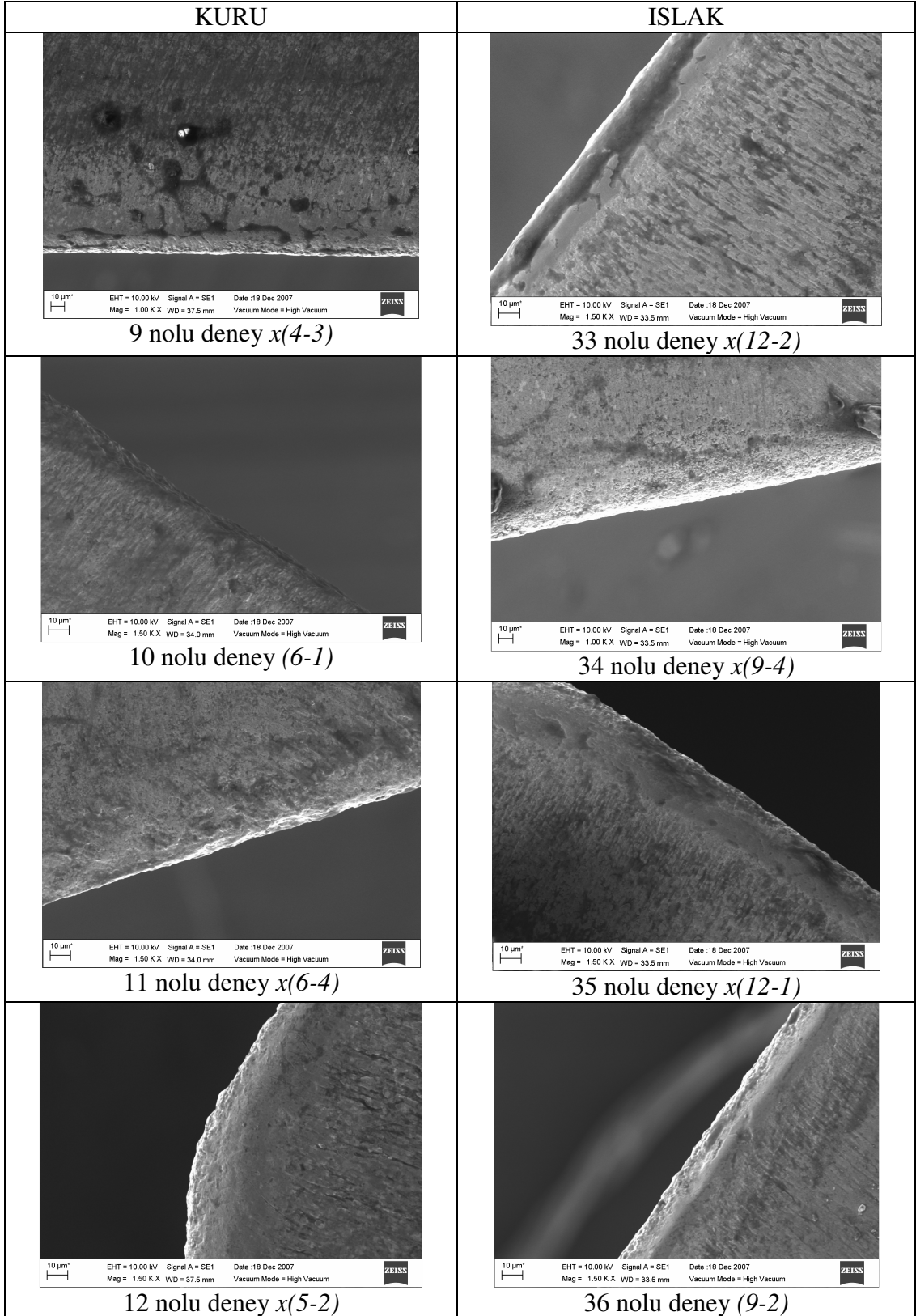
EK-1 Kuru ve Islak Kesme Şartları için Takım Uç Aşınmaları.



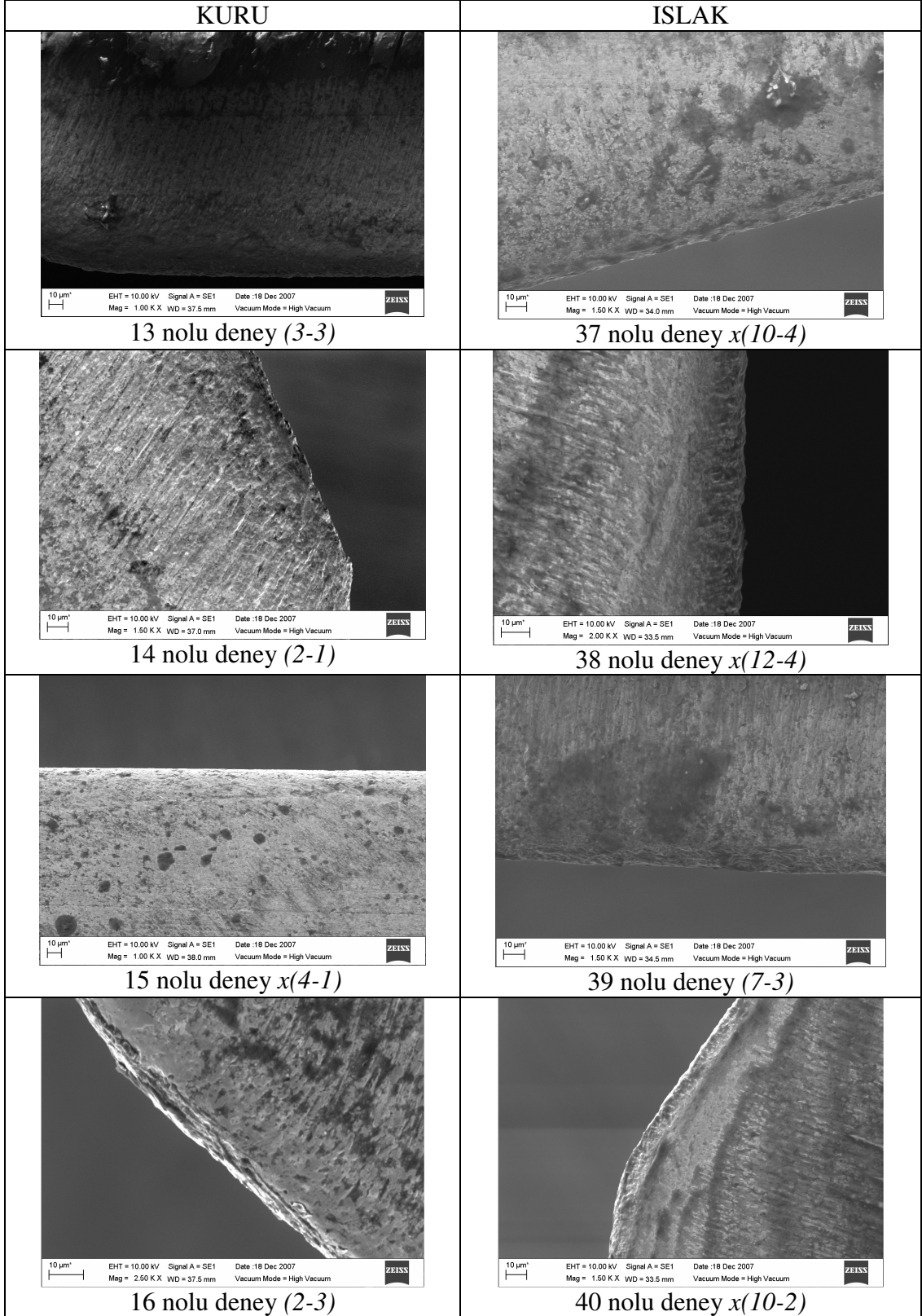
## EK-1 (Devam) Kuru ve Islak Kesme Şartları için Takım Uç.



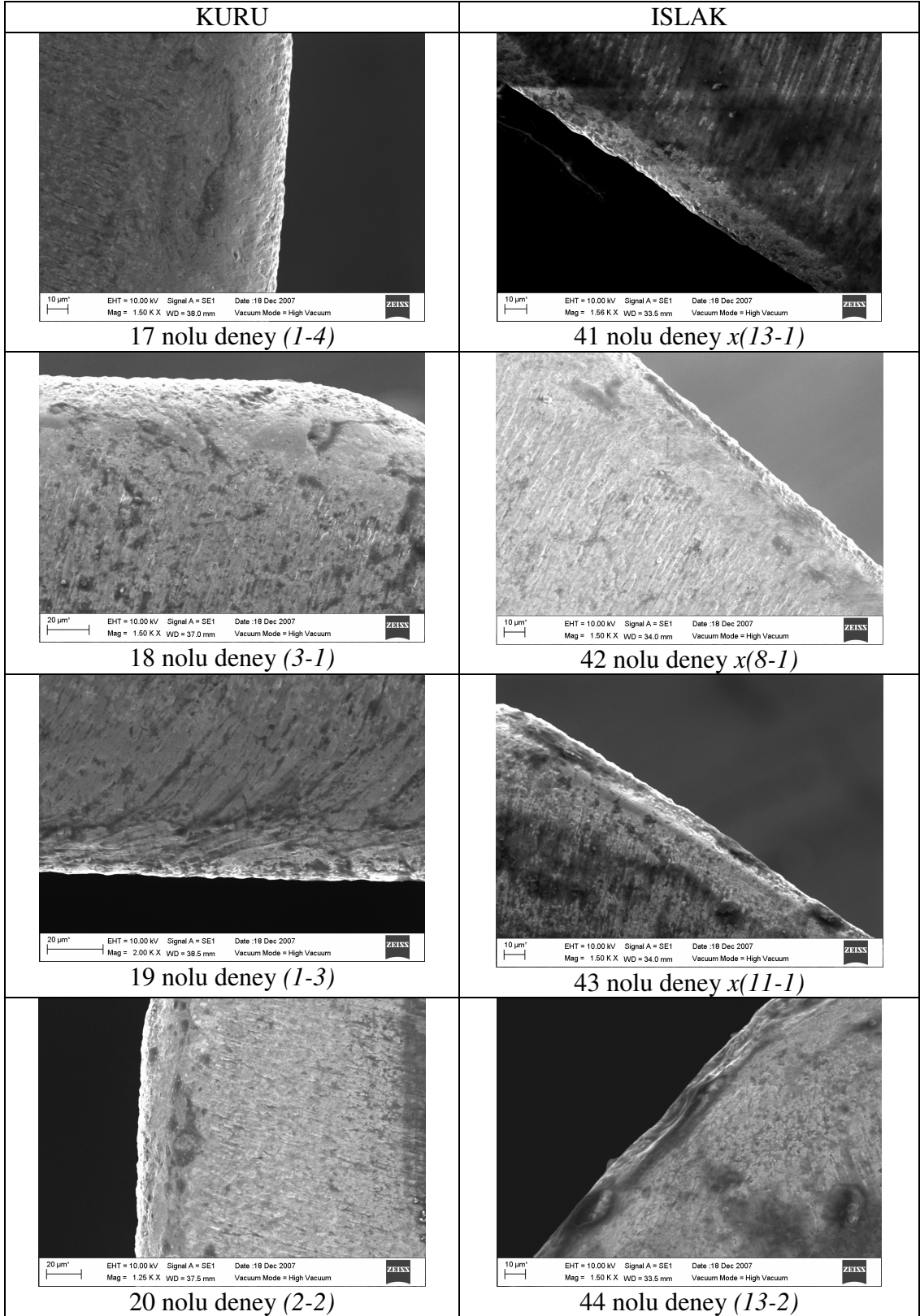
## EK-1 (Devam) Kuru ve Islak Kesme Şartları için Takım Uç Aşınmaları.



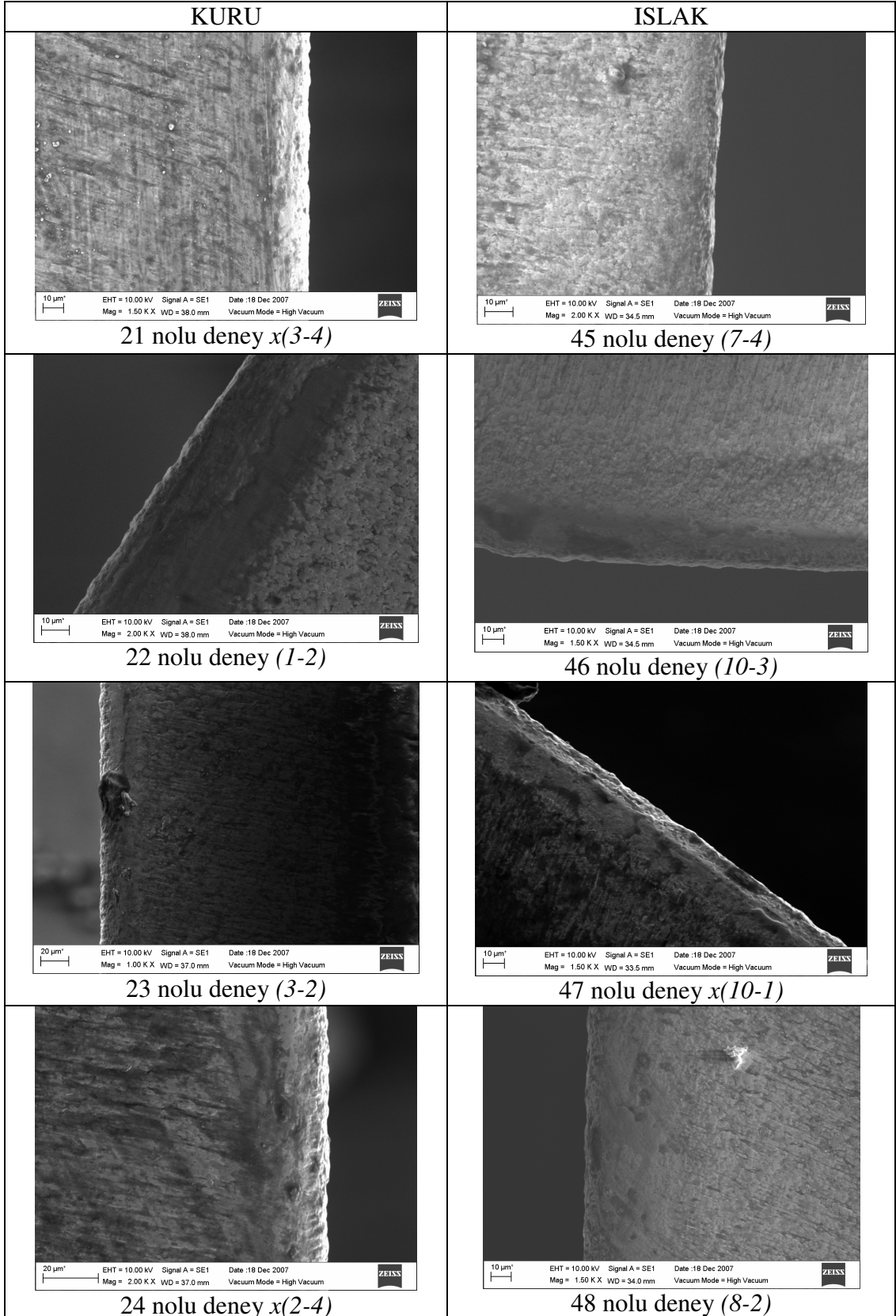
## EK-1 (Devam) Kuru ve Islak Kesme Şartları için Takım Uç Aşınmaları.



## EK-1 (Devam) Kuru ve Islak Kesme Şartları için Takım Uç Aşınmaları.



## EK-1 (Devam) Kuru ve Islak Kesme Şartları için Takım Uç Aşınmaları.



## EK-2 İş parçası Malzeme Test Raporu

T.C.  
KARAKUVVETLERİ KOMUTANLIĞI  
6 NCI ANA BAKIM MERKEZİ KOMUTANLIĞI  
FİZİK KİMYA LABORATUARI  
BALIKESİR

Rapor No : 35 - 2007  
Rapor Tarihi : 18.12.2007

**1. KONU :** Balıkesir üniversitesi Meslek Yüksek Okulu'na ait 1 kalem çelik malzemenin laboratuvar muayenesi.

**2. MUAYENEYİ İSTEYEN MAKAM :**

6 ncı Ana Bakım Merkezi Komutanlığı Döner Sermaye Saymanlığı

**3. RAPORUN HAZIRLANMASI :**

- a) Yer : 6 ncı Ana Bakım Merkezi Komutanlığı Laboratuvar Bölüm Amirliği  
b) Tarih : 18.12. 2007  
c) Personel : Fizik laborant İsmail ALTINÇEKİÇ  
Kimya laborant Ayla ARSLANPAY  
Lab.BI.A Müh.Svl.Me. Ayşegül BULAGAY


**4.YAPILAN ANALİZ :**


%C 0.49 %Si 0.19 %Mn 0.65 %Cr 0.03 %P 0.01 %S 0.005 % Mo 0.01 %Ni 0.08

Malzeme SAE 1050

  
Ayla ARSLANPAY  
Sa.üc.1290  
Kimya laborant

  
İsmail ALTINÇEKİÇ  
Sa.Üc.1193  
Fizik laborant

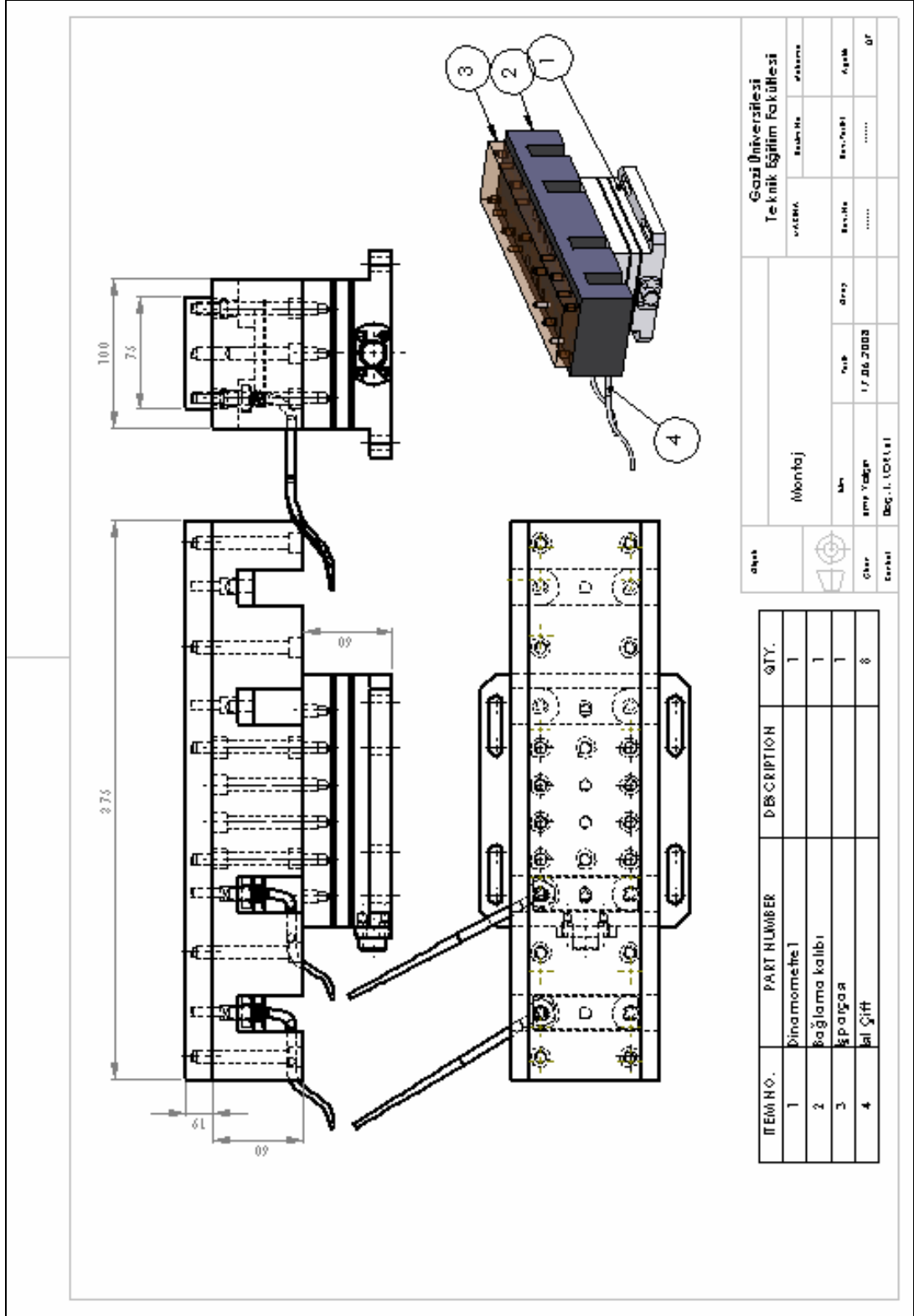
  
Ayşegül BULAGAY  
Müh. Svl. Me.  
Lab. Blm. A.

  
ONAY  
Ahmet KOYUNCU  
Müh. Yb.  
Klt. Ynt. Md.

EKİ \_\_\_\_\_ :  
EK-A(1 adet spektral analiz çıktısı)



## EK-4 İş Parçası Bağlama Kalıbı Montajı





## EK-6 Sıcaklık Veri Toplama Cihaz Özellikleri

	
En fazla kanal sayısı	8
Dönüştürme zamanı	100 ms
Sıcaklık Hassasiyeti	Okuma ortalamasının % $\pm 0.2$ si ve $\pm 0.5$ °C
Voltaj hassasiyeti	Okuma ortalamasının % $\pm 0.2$ si ve $\pm 10$ $\mu V$
Aşırı yük koruma	$\pm 30$ V
Maksimum voltaj	$\pm 7.5$ V
Giriş empedansı	2 M $\Omega$
Giriş aralığı (voltaj)	$\pm 70$ mV
Çözümleme	20 bits
Gürültüsüz Çözümleme	16.25 bits
Desteklenen Isıl çift tipleri	B, E, J, K, N, R, S, T
Giriş konnektörü	Minyatür ısılıçift
Çıktı konnektörü	USB kablosu
PC bağlantısı	USB 1.1
Güç kaynağı	USB port
Boyutlar	201 x 104 x 34 mm
Birlikte kullanılan yazılımlar	PicoLog veri toplama yazılımı Sürücüler ve örnekler (C, Delphi and Visual Basic, Labview, Agilent VEE6.1 and Excel)

## EK-7 Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı Teknik özellikleri

MODEL	M1
Ölçme Prensipleri	Stylus Modeli
Tarama Hızı (mm/s)	0,5
Ölçüm Aralıkları	100-150 µm
Profil Çözünürlüğü (mm)	12
Filtre	Gaussian
Cut-off (Kesme Uzunluğu) (mm)	0,08-0,25-0,8-2,5
Tarama Uzunlukları	1.75- 5,6 – 17,5
Örnekleme Uzunluğu Sayısı	1-5 arası seçilebilir
Dil	Seçilebilir 10 avrupa, 3 asya dili
Güç Kaynağı	Entegre, NiCd şarj edilebilir pil
Boyutlar (boy x en x yük)	190 x 170 x 75 mm
Yaklaşık Ağırlık	90 gr
Ölçülen Parametreler	Ra, Rz, Rmax
Ra	$\frac{1}{\ln} \int_0^{\ln}  f(x)  d(x)$
Rz	$\frac{z1 + z2 + z3 + z4 + z5}{5} \mu\text{m}$
Rmax	En Büyük Pürüzlülük µm

## EK-8 Ölçülen Kesme Kuvvet Ve Moment Değerleri

Deney Yapılış No	Deney Tasarım Sıra No	Fx (N)		Fy (N)		Fz (N)		Mx (Nm)		My (Nm)		Mz (Nm)		F (N)
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
15	1	-644,53	175,78	36,62	512,7	43,95	336,91	0	17,13	-10,4	-1,03	-4,79	46,75	890
21	2	-737,3	180,66	43,95	537,11	73,24	400,39	1,97	20,18	-12,01	-1,9	-2,62	56,15	996
18	3	-969,24	168,46	39,06	708,01	83,01	463,87	2,81	24,43	-13,62	-2,49	-0,97	71,32	1287
23	4	-697,34	212,4	17,09	424,08	29,3	307,62	-0,84	15,44	-9,23	-0,59	-9,8	40,05	872
14	5	-765,9	288,09	34,28	573,73	63,48	400,39	1,4	20,5	-11,57	-1,61	-8,96	58,3	1037
20	6	-944,82	280,76	29,3	769,04	68,36	434,57	1,97	22,74	-12,89	-2,05	-6,56	76,65	1293
17	7	-556,64	141,6	24,41	488,28	24,41	322,27	-1,12	15,44	-9,08	-0,59	-4,5	39,86	808
24	8	-703,12	151,37	36,62	510,25	58,59	351,56	0,84	18,25	-10,25	-1,61	-0,37	51,51	937
13	9	-892,46	173,34	43,95	566,41	97,66	400,39	3,65	20,21	-11,87	-2,87	-1,32	58,00	1130
19	10	-544,43	192,87	31,74	476,07	24,41	307,62	-0,56	15,16	-8,94	-0,59	-7,31	41,55	786
22	11	-686,04	239,26	26,86	546,87	29,3	351,56	-0,56	17,97	-10,55	-1,03	-6,8	51,86	945
16	12	-864,26	202,64	14,65	651,86	73,24	415,04	1,97	21,62	-12,16	-1,76	-2,2	65,36	1159
10	13	-1027,11	864,26	-507,81	823,24	-78,12	463,87	-6,74	24,43	-13,62	2,64	-56,02	135,29	1396
4	14	-1208,5	302,73	977	869,14	68,36	478,52	2,25	25,27	-14,36	-2,05	-10,61	94,83	1564
12	15	-1408,69	368,65	100,1	1079,1	63,48	522,46	1,4	27,8	-15,82	-1,9	-10,37	105,15	1850
6	16	-1208,5	639,65	-224,61	844,73	-43,45	434,57	-4,77	23,3	-13,04	1,46	-38,82	90,8	1537
3	17	-1513,67	495,61	-65,92	1213,38	14,65	488,28	-1,97	25,83	-14,06	-0,44	-20,67	115,68	2000
8	18	-1608,89	507,81	70,8	1237,79	92,77	576,17	2,53	31,16	-17,43	-2,64	-12,38	116,8	2110
2	19	-1118,16	498,05	58,59	817,87	9,77	415,04	-1,68	21,06	-12,16	-0,15	-17,88	77,39	1446
5	20	-1167,11	393,07	-131,84	1162,11	14,15	542	-1,68	28,92	-15,97	0	-20,65	107,32	1734
11	21	-1496	390,62	21,97	1230,47	29,3	532,23	-0,56	28,92	-15,67	-0,59	-13,45	113,69	2009
1	22	-1023,34	817,87	-202,83	876,05	-39,06	444,1	-4,21	23,86	-13,33	1,17	-49,05	104,55	1418
9	23	-1240,16	573,73	-310,06	985,7	9,77	502,93	-2,25	26,39	-15,09	0,29	-28,09	127,01	1662
7	24	-1340,53	551,76	2,44	1225,88	83,1	556,64	1,4	29,76	-16,41	-2,2	-20,74	126,95	1900

## EK-8 (Devam) Ölçülen Kesme Kuvvet Ve Moment Değerleri.

Deney Yapılış No	Deney Tasarım Sıra No	Fx (N)		Fy (N)		Fz (N)		Mx (Nm)		My (Nm)		Mz (Nm)		F (N)
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
29	25	-588,38	187,99	39,06	439,45	29,3	351,56	-0,28	18,25	-10,55	-0,73	-5,56	44,27	814
40	26	-698,24	102,54	65,92	581,05	87,89	375,98	3,09	19,37	-10,84	-2,64	2,59	52,8	983
33	27	-866,7	119,63	70,88	673,83	97,66	424,8	3,65	22,46	-12,74	-2,78	2,34	65,56	1177
42	28	-649,04	327,15	7,32	574,06	19,53	385,27	-0,84	21,34	-11,87	-0,29	-16,05	58,01	948
31	29	-815,43	324,71	75,68	632,32	87,89	400,39	3,09	20,78	-11,73	-2,49	-2,12	56,56	1107
41	30	-976,37	156,25	53,71	659,18	83,01	400,39	2,81	21	-12,01	-2,2	-1,69	58,06	1244
45	31	-539,55	141,6	39,06	480,96	34,18	322,27	-0,56	16,85	-9,81	-0,59	-4,64	40,64	791
30	32	-725,1	114,75	68,36	563,96	112,3	434,57	4,21	22,74	-13,04	-3,37	3,22	55,3	1016
44	33	-854,49	183,11	41,5	617,68	68,36	468,75	1,97	24,99	-14,06	-1,9	-0,61	66,06	1154
34	34	-593,26	180,66	53,71	466,31	78,12	341,8	2,25	17,69	-10,11	-2,34	-3,34	43,41	828
43	35	-622,56	180,66	34,18	480,96	53,71	375,98	1,12	19,65	-11,43	-1,46	-4,72	48,42	872
32	36	-888,67	151,37	70,8	654,3	107,42	434,57	3,93	22,74	-12,89	-3,08	3,03	64,5	1186
38	37	-1535,64	666,5	-427,25	964,36	-9,77	419,92	-3,09	23,02	-12,89	0,59	-44,98	108,95	1861
46	38	-1652,83	812,99	-122,07	1069,34	4,88	522,46	-1,97	27,8	-15,38	0,15	-44,34	119,75	2037
25	39	-1660,1	351,56	131,84	1254,69	87,89	666,41	3,37	30,04	-16,55	-2,64	-9,75	100,76	2170
36	40	-1221,5	600,59	32,8	861,82	-9,77	454,1	-2,81	24,43	-13,62	0,29	-37,33	85,68	1562
47	41	-1262,21	405,27	-53,71	1086,43	29,3	498,05	-1,12	26,39	-14,94	-0,59	-20,69	94,73	1738
27	42	-1439,3	148,93	107,42	993,65	117,19	551,76	5,05	29,48	-16,41	-3,52	6,87	91,42	1834
39	43	-1142,55	375	25,04	949,71	-24,41	380,86	-2,81	19,93	-11,57	0,73	-58,52	105,99	1534
48	44	-1242,68	566,41	-41,5	1047,36	0	483,4	-2,25	25,55	-14,06	0,29	-28,09	92,6	1696
26	45	-1494,34	332,03	102,54	1113,38	83,01	629,88	3,09	33,97	-18,46	-2,49	-1,78	123,05	1967
37	46	-1037,15	830,08	-529,79	871,03	19,53	507,54	-2,81	39,59	-21,53	0,44	-57,19	115,14	1446
35	47	-1172,46	520,02	48,83	924,84	29,3	519,41	0	35,66	-19,48	-0,88	-24,2	115,39	1581
28	48	-1387,46	295,41	102,54	1044,12	107,42	498,05	4,49	26,95	-14,94	-3,08	-3	84,52	1806

## EK-9 Ölçülen Sıcaklık Değerleri

Deney Sıra No	Talaş Derinliği (mm)	İlerleme (mm/z)	Kesme Hızı (m/min)	Soğutma	En Büyük Sıcaklık (°C)
1	1,25	0,05	100	Kuru	270
2	1,25	0,075	100	Kuru	281
3	1,25	0,1	100	Kuru	304
4	1,25	0,05	110	Kuru	262
5	1,25	0,075	110	Kuru	274
6	1,25	0,1	110	Kuru	282
7	1,25	0,05	120	Kuru	265
8	1,25	0,075	120	Kuru	277
9	1,25	0,1	120	Kuru	290
10	1,25	0,05	130	Kuru	290
11	1,25	0,075	130	Kuru	307
12	1,25	0,1	130	Kuru	339
13	2	0,05	100	Kuru	278
14	2	0,075	100	Kuru	282
15	2	0,1	100	Kuru	305
16	2	0,05	110	Kuru	281
17	2	0,075	110	Kuru	282
18	2	0,1	110	Kuru	308
19	2	0,05	120	Kuru	288
20	2	0,075	120	Kuru	297
21	2	0,1	120	Kuru	318
22	2	0,05	130	Kuru	299
23	2	0,075	130	Kuru	304
24	2	0,1	130	Kuru	337
25	1,25	0,05	100	Islak	220
26	1,25	0,075	100	Islak	227
27	1,25	0,1	100	Islak	234
28	1,25	0,05	110	Islak	241
29	1,25	0,075	110	Islak	270
30	1,25	0,1	110	Islak	280
31	1,25	0,05	120	Islak	252
32	1,25	0,075	120	Islak	274
33	1,25	0,1	120	Islak	286
34	1,25	0,05	130	Islak	251
35	1,25	0,075	130	Islak	275
36	1,25	0,1	130	Islak	299
37	2	0,05	100	Islak	267
38	2	0,075	100	Islak	273
39	2	0,1	100	Islak	303
40	2	0,05	110	Islak	275
41	2	0,075	110	Islak	279
42	2	0,1	110	Islak	302
43	2	0,05	120	Islak	276
44	2	0,075	120	Islak	285
45	2	0,1	120	Islak	315
46	2	0,05	130	Islak	294
47	2	0,075	130	Islak	300
48	2	0,1	130	Islak	330

## EK-10 Deneylerde Elde Edilen Ortalama Yüzey Pürüzlülük Değerleri (Ra)

Deney Sıra No	Talas Derinliği (mm)	İlerleme (mm/z)	Kesme Hızı (m/min)	Sogutma	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra - $\mu\text{m}$ )
1	1,25	0,050	100	Kuru	0,549
2	1,25	0,075	100	Kuru	1,157
3	1,25	0,100	100	Kuru	1,160
4	1,25	0,050	110	Kuru	0,879
5	1,25	0,075	110	Kuru	1,240
6	1,25	0,100	110	Kuru	1,316
7	1,25	0,050	120	Kuru	1,173
8	1,25	0,075	120	Kuru	1,296
9	1,25	0,100	120	Kuru	1,618
10	1,25	0,050	130	Kuru	1,168
11	1,25	0,075	130	Kuru	1,432
12	1,25	0,100	130	Kuru	1,734
13	2,00	0,050	100	Kuru	1,002
14	2,00	0,075	100	Kuru	1,400
15	2,00	0,100	100	Kuru	1,800
16	2,00	0,050	110	Kuru	1,167
17	2,00	0,075	110	Kuru	1,765
18	2,00	0,100	110	Kuru	1,811
19	2,00	0,050	120	Kuru	1,160
20	2,00	0,075	120	Kuru	1,570
21	2,00	0,100	120	Kuru	1,783
22	2,00	0,050	130	Kuru	2,096
23	2,00	0,075	130	Kuru	2,219
24	2,00	0,100	130	Kuru	2,350
25	1,25	0,050	100	Islak	0,486
26	1,25	0,075	100	Islak	0,628
27	1,25	0,100	100	Islak	1,065
28	1,25	0,050	110	Islak	0,852
29	1,25	0,075	110	Islak	1,212
30	1,25	0,100	110	Islak	1,515
31	1,25	0,050	120	Islak	0,856
32	1,25	0,075	120	Islak	1,127
33	1,25	0,100	120	Islak	1,512
34	1,25	0,050	130	Islak	0,932
35	1,25	0,075	130	Islak	1,164
36	1,25	0,100	130	Islak	1,618
37	2,00	0,050	100	Islak	0,485
38	2,00	0,075	100	Islak	0,878
39	2,00	0,100	100	Islak	1,142
40	2,00	0,050	110	Islak	0,657
41	2,00	0,075	110	Islak	1,034
42	2,00	0,100	110	Islak	1,290
43	2,00	0,050	120	Islak	0,723
44	2,00	0,075	120	Islak	1,406
45	2,00	0,100	120	Islak	1,661
46	2,00	0,050	130	Islak	0,983
47	2,00	0,075	130	Islak	1,377
48	2,00	0,100	130	Islak	2,317

## EK-11 Ölçülen Takım Yanak Aşınma Miktarları.

Deney Sıra No	Takım Yanak Aşınması (mm)	Deney Sıra No	Takım Yanak Aşınması (mm)
1	0,040	25	0,045
2	0,045	26	0,045
3	0,035	27	0,035
4	0,050	28	0,045
5	0,045	29	0,040
6	0,050	30	0,040
7	0,040	31	0,040
8	0,065	32	0,045
9	0,040	33	0,050
10	0,055	34	0,045
11	0,055	35	0,045
12	0,040	36	0,050
13	0,050	37	0,070
14	0,035	38	0,050
15	0,050	39	0,065
16	0,035	40	0,070
17	0,025	41	0,040
18	0,035	42	0,050
19	0,040	43	0,040
20	0,030	44	0,050
21	0,040	45	0,050
22	0,050	46	0,075
23	0,045	47	0,065
24	0,030	48	0,040

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YALÇIN, Ümit  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 17.01.1966 Bergama / İZMİR  
Medeni hali : Evli  
Telefon : 0 (535) 977 44 55  
e-mail : [uyalcin@msn.com](mailto:uyalcin@msn.com).

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Uludağ Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi İmalat ve Konstrüksiyon Anabilimdalı	2002
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü	1986
Lise	Bergama Endüstri Meslek Lisesi	1982

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1998-1990	Avcılar Endüstri Mes.Lisesi	Teknik Öğretmen

### Yabancı Dil

İngilizce