

**AZDIRMA FREZE ÇAKILARINDA KESME KUVVETLERİNİN VE  
TAKIM AŞINMASININ İNCELENMESİ**

**Alaattin KAÇAL**

**DOKTORA TEZİ  
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEMMUZ 2008**

**ANKARA**

Alaattin KAÇAL tarafından hazırlanan AZDIRMA FREZE ÇAKILARINDA KESME KUVVETLERİNİN VE TAKIM AŞINMASININ İNCELENMESİ adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN .....  
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 .....  
Makina Eğitimi, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN .....  
Makina Eğitimi, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Yusuf ÖZÇATALBAŞ .....  
Metal Eğitimi, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ .....  
Makina Eğitimi, Karabük Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK .....  
Makina Eğitimi, Gazi Üniversitesi

Tarih: 31/07/2008

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

Prof. Dr. Nermin ERTAN .....  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

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

Alaattin KAÇAL

# **AZDIRMA FREZE ÇAKILARINDA KESME KUVVETLERİNİN VE TAKIM AŞINMASININ İNCELENMESİ**

**(Doktora Tezi)**

**Alaattin KAÇAL**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Temmuz 2008**

## **ÖZET**

Günümüzde dişli çark açma için bir çok yöntem kullanılmakla birlikte, azdırma usulü en çok kullanılan yöntem olarak göze çarpmaktadır. Bu çalışmada; azdırma yönteminin gerçek imalat şartlarında azdırma freze çakılarında oluşan kesme kuvvetlerinin, takım aşınmaları ve aşınma mekanizmalarının, dişli çark dişlerinin yüzey pürüzlülüklerinin kesme parametreleri ile olan ilişkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. İşleme deneylerinde TiN kaplanmış ve kaplamasız HSS azdırma çakılar kullanılarak, SAE 8620 malzemedan dişli çarklar işlenmiştir. Kesme kuvvetlerini ölçebilmek için KISTLER 9272A dört bileşenli (Fx, Fy, Fz, Mz) dinamometreyi de içeren bir deney seti tasarlanmış ve imal edilmiştir. Ayrıca, MINITAB R14 yazılımı kullanılarak deney sonuçlarının ANOVA (varyans analizi) testleri yapılmıştır.

Deney sonuçlarına göre; tasarlanan ve üretilen deney setiyle kesme kuvvetlerinin ölçülebildiği belirlenmiştir. Fz esas kesme kuvvetinin kesme parametrelerindeki değişimlere karşı daha duyarlı olduğu görülmüştür. Kaplamalı azdırmalar kesme kuvvetlerinde % 59 oranında azalma sağlamıştır. Yanak aşınması üzerinde en etkili parametre kaplama olmuştur. Takım

aşınmasında etkili olan aşınma mekanizmasının birkaç mekanizmanın birleşimi (adhesiv + difüzyon + termal ve/veya mekanik yorulmalar + az miktarda abrasiv) şeklinde ortaya çıktığı görülmüştür. En iyi ortalama pürüzlülük değeri kesme hızının en fazla ilerlemenin en düşük olduğu kesme şartlarında elde edilmiştir. Gerçek işleme şartlarında yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar azdırma işleminin anlaşılmasında ve azdırma çakı ile dişli çark arasındaki ilişkinin değerlendirilmesinde önemli katkılar sağlamıştır.

**Bilim Kodu** : 708.3.028  
**Anahtar Kelimeler** : Dişli çark, azdırma freze çakısı, takım aşınması, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü  
**Sayfa Adedi** : 186  
**Tez Yöneticisi** : Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN

**INVESTIGATION OF CUTTING FORCES AND TOOL WEAR ON HOBS****(Ph.D.Thesis)****Alaattin KAÇAL****GAZI UNIVERSITY****INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY****July 2008****ABSTRACT**

Although there are a lot of methods for making gears, hobbing is the most common method. In this study, investigation of relations of cutting parameters with cutting forces, tool wear and wear mechanism, surface roughness of gear teeth occurred on hobs at real manufacturing conditions of hobbing has been aimed. Gear samples made from SAE 8620 were machined by using TiN coated and uncoated hobs, in machining tests. For the measurement of cutting forces, an experimental setup which consists of KISTLER 9272A dynamometer with four components ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ,  $M_z$ ) and equipments was designed and manufactured. Additionally, ANOVA (Analysis of variance) tests of experimental results were carried out using MINITAB R14 software.

According to experimental results; it was determined that cutting forces could be measured using the experimental setup designed and made. Main cutting force of  $F_z$  was more sensitive to variation of cutting parameters. The coated hobs provided ratio of 59 % decrease on cutting forces. The coating is the most effective parameter on flank wear. Effective wear mechanism on tool wear is the form of combination of several mechanisms (adhesive + diffusion + thermal

**and/or mechanical fatigue + a little abrasive). The lowest value of mean roughness was obtained at high cutting speed and low feed rate. The results obtained in this study that were performed in real manufacturing conditions provided important benefits to understanding of hobbing operation and evaluate the relations between hob and gear.**

**Science Code : 708.3.028**

**Key Words : Gear, hob, tool wear, cutting forces, surface roughness**

**Page Number: 186**

**Adviser : Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN**

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli görüşleriyle ve katkılarıyla beni yönlendiren kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN'e yine değerli bilgilerinden faydalandığım Sayın Prof. Dr. Ulvi ŞEKER, Sayın Doç. Dr. Yusuf ÖZÇATALBAŞ, Sayın Doç Dr. İbrahim ÇİFTÇİ ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Abdulkadir GÜLLÜ'ye, tüm çalışma arkadaşlarıma ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmayı, 07/2005-11 numaralı proje ile destekleyen Gazi Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR .....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ .....	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	xv
RESİMLERİN LİSTESİ .....	xx
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xxi
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	4
2.1. Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi ve Takım Aşınması Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	4
2.2. Azdırma Freze Çakılarında Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi ve Takım Aşınmasının Ölçülmesi Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	17
3. KESME KUVVETLERİ, TAKIM AŞINMASI VE İŞLENEBİLİRLİK .....	36
3.1. Kesme Mekanîği ve Modelleri .....	36
3.2. Kesme Kuvvetleri.....	39
3.2.1. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi.....	41
3.2.2. Ölçme sistemleri.....	42
3.3. Takım Aşınması .....	44
3.3.1. Aşınma mekanizmaları .....	46
3.3.2. Aşınma tipleri .....	48
3.4. İşlenebilirlik.....	50

**Sayfa**

4. DİŞLİ ÇARKLAR .....	53
4.1. Genel .....	53
4.2. Ortak Dişli Çark Terimleri ve Ana Boyutları .....	54
4.3. Diş Profilleri .....	56
4.4. Dişli Malzemeleri.....	57
4.5. Silindirik Düz Dişli Çarklar .....	59
4.5.1. Silindirik düz dişli çark elemanları.....	60
4.6. Helis Dişli Çarklar.....	61
4.7. Konik Dişli Çarklar .....	63
4.8. Sonsuz Vida ve Karşılık Dişlisi .....	64
4.8.1. Sonsuz vida .....	65
4.8.2. Karşılık dişlisi .....	65
4.9. Kremayer Dişliler.....	66
4.10. Zincir Dişliler.....	66
5. DİŞLİ ÇARK ÜRETİM YÖNTEMLERİ .....	68
5.1. Vargelleme Usulüyle Dişli Çark İşleme (Dişli Biçimli Çakılarla) .....	71
5.2. Kremayer Biçimli Çakı ile Dişli Çark Üretimi .....	72
5.3. Konik Dişli Çark Üretim Yöntemleri.....	73
5.3.1. Yuvarlanma metodu ile konik dişli çark üretimi.....	73
5.3.2. Helisel konik dişli çarkların üretimi .....	75
5.4. Azdırma Usulüyle Dişli Çark İşleme .....	76
5.4.1. Azdırma çakılar .....	79
5.4.2. Azdırmalar için kesici malzemeler.....	87

	<b>Sayfa</b>
5.4.3. Azdırma ile kesme işlemi.....	88
5.4.4. Eksenel ilerleme $f_a$ (mm/iş devri).....	92
5.4.5. Kesme hızı.....	94
5.4.6. Azdırma ağız sayısı .....	94
5.4.7. Kesme kuvvetleri.....	95
5.4.8. Azdırmalarda aşınma .....	98
5.4.9. Azdırma çakılar için işlenebilirlik .....	100
5.5. Raspalama.....	100
5.6. Dişli Çark Taşlama.....	101
6. MALZEME VE METOD.....	103
6.1. Kullanılan Takım Tezgahı .....	103
6.2. Kullanılan Azdırma Çakılar.....	104
6.3. Deney Numunesinin Özellikleri .....	104
6.4. Deney Setinin Tasarımı ve Kuvvetlerin Değerlendirilmesi .....	107
6.5. Takım Aşınmasının Ölçülmesi .....	111
6.6. Yüzey Pürüzlülüklerinin Ölçülmesi.....	112
6.7. Deneylerde Kullanılan Kesme Parametreleri .....	113
6.8. İstatistiksel Analiz.....	114
7. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME .....	116
7.1. Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi.....	117
7.2. Takım Aşınmasının Değerlendirilmesi .....	129
7.2.1. Kesilen diş boyuna göre takım aşınmasının değerlendirilmesi.....	129
7.2.2. Sabit talaş hacminde ulaşılan takım aşınmasının değerlendirilmesi ...	133

**Sayfa**

7.2.3. SEM Görüntülerinin Değerlendirilmesi.....	137
7.3. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi .....	148
7.3.1. Kesilen diş boyuna göre yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi ....	148
7.3.2. İlk üretilen dişli çarkların yüzey pürüzlülüklerinin değerlendirilmesi .....	152
7.4. Deney Verilerinin İstatistiksel Analizi .....	156
7.4.1. Kesme kuvveti bileşenlerinin analizi.....	157
7.4.2. Takım aşınmasının analizi .....	162
7.4.3. Yüzey pürüzlülüğünün analizi .....	165
8. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	168
KAYNAKLAR.....	173
ÖZGEÇMİŞ.....	185

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Deneylelerdeki azdırma çakı, tezgah ve deney dişlisi özellikleri .....	24
Çizelge 3.1. Bazı transdüserler ve özellikleri .....	44
Çizelge 4.1. Dişli çark çeşitleri .....	54
Çizelge 4.2. Bazı metalik dişli malzemelerinin karakteristik özellikleri .....	58
Çizelge 4.3. Silindirik düz dişli çarkların elemanları, sembolleri ve formülleri .....	62
Çizelge 5.1. Fischer'e göre dişli çark üretim yöntemleri .....	70
Çizelge 5.2. Azdırma çakı malzeme özellikleri .....	87
Çizelge 5.3. Ağız sayısı uç talaş kalınlığı ve ilerleme iz derinliği arasındaki ilişki.....	95
Çizelge 5.4. C ve a katsayılarının değerleri.....	98
Çizelge 6.1. Kullanılan takım tezgahının özellikleri .....	103
Çizelge 6.2. SAE 8620 (21NiCrMo2) Semantasyon çeliğinin kimyasal özellikleri .....	105
Çizelge 6.3. Pürüzlülük ölçümlerinde kullanılan örnekleme ve ölçme uzunlukları .....	112
Çizelge 6.4. Kullanılan yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri .....	113
Çizelge 6.5. Deneylelerde kullanılan kesme parametreleri.....	114
Çizelge 6.6. Deney deseni .....	115
Çizelge 7.1. Deneylelerdeki işleme süreleri .....	116
Çizelge 7.2. İş parçasına ilk temas ve tam kesme arasında geçen süre (sn).....	117
Çizelge 7.3. İlerleme değerlerinin azdırma çakıya göre değerleri (mm).....	117
Çizelge 7.4. İlerleme artışına göre Fz esas kesme kuvvetinin artış oranları .....	126
Çizelge 7.5. Kesme hızına göre Fz esas kesme kuvvetinin azalma oranları .....	128

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 7.6. Kontrol faktörleri ve seviyeleri .....	157
Çizelge 7.7. Kesme kuvveti bileşenleri için varyans analizi sonuçları .....	158
Çizelge 7.8. Fx teğetsel kuvvet için model sabitleri ve değişkenlerin katsayı tablosu .....	160
Çizelge 7.9. Fx teğetsel kuvvet modeli için varyans analizi tablosu .....	160
Çizelge 7.10. Fy radyal kuvvet için model sabitleri ve değişkenlerin katsayı tablosu .....	161
Çizelge 7.11. Fy radyal kuvvet modeli için varyans analizi tablosu .....	161
Çizelge 7.12. Fz esas kesme kuvveti için model sabitleri ve değişkenlerin katsayı tablosu .....	162
Çizelge 7.13. Fz esas kesme kuvveti modeli için varyans analizi tablosu .....	162
Çizelge 7.14. Takım aşınması için varyans analizi sonuçları .....	163
Çizelge 7.15 Takım aşınması için model sabitleri ve değişkenlerin katsayı tablosu .....	164
Çizelge 7.16. Takım aşınması modeli için varyans analizi tablosu.....	164
Çizelge 7.17. Yüzey pürüzlülüğü için varyans analizi sonuçları.....	165
Çizelge 7.18 Yüzey pürüzlülüğü için model sabitleri ve değişkenlerin katsayı tablosu .....	166
Çizelge 7.19. Yüzey pürüzlülüğü modeli için varyans analizi tablosu.....	167

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Yaklaşma açısı( $2\varepsilon$ ) ve $N/\tau_s.b.s$ arasındaki ilişki .....	19
Şekil 2.2. Azdırma dışında görülebilen aşınma türleri .....	21
Şekil 2.3. Kaplamalar ve işlenen parça sayısı arasındaki ilişki .....	25
Şekil 2.4. Tamamen (Al, Ti)N kaplanmış takımda oluşan maksimum yanak aşınması .....	28
Şekil 2.5. Tamamen (Al, Ti)N kaplanmış takımda bitirme yüzey pürüzlülüğü .....	28
Şekil 2.6. Hassas kesme dişli çark işlemede tek üretim pozisyonunda oluşan kesme kuvveti bileşenleri.....	31
Şekil 3.1. Eğik kesme, a)Şematik gösterim, b) Üstten görünüş, c) Çıkan talaş.....	37
Şekil 3.2. Dik kesmenin şematik olarak gösterilmesi .....	38
Şekil 3.3. Gerçek talaş oluşumu .....	39
Şekil 3.4. Transdüserler .....	42
Şekil 3.5. Genel bir ölçme sistemi.....	43
Şekil 3.6. Temel aşınma mekanizmalarının şematik olarak gösterilmesi.....	46
Şekil 3.7. Aşınma mekanizmalarının takım üzerindeki dağılımı.....	47
Şekil 3.8. Aşınma tipleri .....	49
Şekil 3.9. Malzemelerin genel mekanik özellikleri.....	51
Şekil 4.1. Genel dişli çark elemanları.....	55
Şekil 4.2. Evolvent eğrisi ile diş profilinin oluşturulması .....	57
Şekil 4.3. Silindirik dış (a) ve silindirik iç (b) düz dişli çarklar.....	60
Şekil 4.4. Silindirik düz dişli çarkın elemanlarının gösterimi .....	61
Şekil 4.5. Helis dişli çarklar.....	63

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.6. Konik dişli çarklar ve elemanları.....	64
Şekil 4.7. Karşılık dişlisinin farklı tasarımları .....	65
Şekil 4.8. Kremayer dişlisi ve pinyon .....	66
Şekil 5.1. Fellow yöntemi ile dişli çark işlenmesi .....	72
Şekil 5.2. Maag yöntemi ile dişli işleme .....	73
Şekil 5.3. Yuvarlanma metoduna göre konik dişli işleme prensibi .....	74
Şekil 5.4. Konik dişlinin üretilmesi(a- başlangıç hareketi, b-kesmenin başlaması, c-dişin iki tarafının işlenmesi ve d-dişin bitiş anı.) .....	74
Şekil 5.5. Helis konik dişli çark işlemek için kesici.....	75
Şekil 5.6. Helis konik dişli çark işlenirken kesicinin izlediği yol.....	76
Şekil 5.7. Azdırma çakı ve iş parçasının hareketleri .....	77
Şekil 5.8. Azdırma freze tezgahının ana kısımları .....	78
Şekil 5.9. Eğim açısının ayarlanması .....	79
Şekil 5.10. Azdırmanın ana kısımları.....	80
Şekil 5.11. Helis sarımı a) Düz dişli ve helis sarımı alın kesiti ile helis sarımı temas çizgili düz sarımına ait elemanları ve b) Bir azdırma ve helis dişli sistemi .....	81
Şekil 5.12. Azdırma Sırt Boşluğu .....	83
Şekil 5.13. Bileme Açısı .....	83
Şekil 5.14. Takma uçlu azdırma.....	86
Şekil 5.15. Hassas kesme azdırma .....	86
Şekil 5.16. Azdırma ile kesmenin modeli.....	89
Şekil 5.17. Azdırma ve dişli çarkın konumu .....	89
Şekil 5.18. Azdırma işleminde kesme yönleri.....	90



<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.19. Azdırma işleminde kesme bölgeleri.....	91
Şekil 5.20. Azdırmanın ilerlemesi ile dişli çark dişlerinin oluşumu.....	91
Şekil 5.21. Uç talaş kalınlığı .....	93
Şekil 5.22. İlerlemenin kesme kuvveti üzerine etkisi .....	96
Şekil 5.23. Kesme hızı ve kesme kuvvetleri arasındaki ilişki .....	97
Şekil 6.1. Deneylerde kullanılan azdırmanın şekli ve temel ölçüleri (mm).....	104
Şekil 6.2. Deney numunesi.....	105
Şekil 6.3. Deney numunesinin sertlik ölçüm noktaları ve ölçülen değerleri.....	106
Şekil 6.4. Dinamometre ve Amplifier'in özellikleri .....	107
Şekil 6.5. a)Deney setinin montaj çizimi b) Katı model çizimi .....	109
Şekil 6.6. Dinamometre ölçme alternatifi .....	110
Şekil 6.7. Deney seti temas noktasının yerleştirilmesi .....	110
Şekil 7.1. Azdırma işleminde kesme süreci .....	116
Şekil 7.2. Kesme kuvvetlerinin iş parçasının devir sayısına göre değişimi .....	118
Şekil 7.3. HSS azdırmada kesme kuvveti bileşenlerinin ilerlemeye göre değişimi a) $V_c=27,5$ m/dak b) $V_c=33,22$ m/dak c) $V_c=38,5$ m/dak ve d) $V_c=41,8$ m/dak .....	119
Şekil 7.4. HSS azdırmada kesme kuvveti bileşenlerinin kesme hızına göre değişimi a) $f=0,25$ mm/iş devri b) $f=0,4$ mm/iş devri c) $f=0,63$ mm/iş devri ve d) $f=1$ mm/iş devri.....	120
Şekil 7.5. TiN kaplanmış HSS azdırmada kesme kuvveti bileşenlerinin ilerlemeye bağlı olarak değişimi a) $V_c=27,5$ m/dak b) $V_c=33,22$ m/dak c) $V_c=38,5$ m/dak ve d) $V_c=41,8$ m/dak .....	122
Şekil 7.6. TiN kaplanmış HSS azdırmada kesme kuvveti bileşenlerinin kesme hızına göre değişimi a) $f=0,25$ mm/iş devri b) $f=0,4$ mm/iş devri c) $f=0,63$ mm/iş devri ve d) $f=1$ mm/iş devri.....	123

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 7.7. TiN kaplanmış ve kaplamasız HSS azdırmalarda Fz esas kesme kuvvetinin ilerlemeye bağlı olarak değişimi a) $V_c=27,5$ m/dak b) $V_c=33,22$ m/dak c) $V_c=38,5$ m/dak ve d) $V_c=41,8$ m/dak .....	125
Şekil 7.8. TiN kaplanmış ve kaplamasız HSS azdırmalarda Fz esas kesme kuvvetinin kesme hızına bağlı olarak değişimi a) $f=0,25$ mm/iş devri b) $f=0,4$ mm/iş devri c) $f=0,63$ mm/iş devri ve d) $f=1$ mm/iş devri .....	127
Şekil 7.9. Kaplamasız HSS azdırmada yanak aşınmasının kesme boyuna bağlı olarak değişimi a) $V_c=27,5$ m/dak ve b) $V_c=41,8$ m/dak.....	130
Şekil 7.10. Kaplamasız HSS azdırmada yanak aşınmasının kesme boyuna bağlı olarak değişimi a) $f=0,25$ mm/iş devri ve b) $f=1$ mm/iş devri.....	131
Şekil 7.11. TiN kaplanmış HSS azdırmada yanak aşınmasının kesme boyuna bağlı olarak değişimi a) $V_c=27,5$ m/dak ve b) $V_c=41,8$ m/dak.....	132
Şekil 7.12. TiN kaplanmış HSS azdırmada yanak aşınmasının kesme boyuna bağlı olarak değişimi a) $f=0,25$ mm/iş devri ve b) $f=1$ mm/iş devri .....	133
Şekil 7.13. Yanak aşınmasının ilerlemeye bağlı olarak değişimi a) $V_c=27,5$ m/dak b) $V_c=33,22$ m/dak c) $V_c=38,5$ m/dak ve d) $V_c=41,8$ m/dak.....	134
Şekil 7.14. Yanak aşınmasının kesme hızına bağlı olarak değişimi a) $f=0,25$ mm/iş devri b) $f=0,4$ mm/iş devri c) $f=0,63$ mm/iş devri ve d) $f=1$ mm/iş devri.....	136
Şekil 7.15. Kaplamasız HSS azdırmada yüzey pürüzlülüğünün kesme boyuna bağlı olarak değişimi a) $V_c=27,5$ m/dak ve b) $V_c=41,8$ m/dak.....	149
Şekil 7.16. Kaplamasız HSS azdırmada yüzey pürüzlülüğünün kesme boyuna bağlı olarak değişimi a) $f=0,25$ mm/iş devri ve b) $f=0,63$ mm/iş devri .....	150
Şekil 7.17. TiN kaplanmış HSS azdırmada yüzey pürüzlülüğünün kesme boyuna bağlı olarak değişimi a) $V_c=27,5$ m/dak ve b) $V_c=41,8$ m/dak.....	151
Şekil 7.18. TiN kaplanmış HSS azdırmada yüzey pürüzlülüğünün kesme boyuna bağlı olarak değişimi a) $f=0,25$ mm/iş devri ve b) $f=0,63$ mm/iş devri .....	152
Şekil 7.19. Yüzey pürüzlülüğünün ilerlemeye bağlı olarak değişimi a) $V_c=27,5$ m/dak b) $V_c=33,22$ m/dak c) $V_c=38,5$ m/dak ve d) $V_c=41,8$ m/dak.....	153

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 7.20. Yüzey pürüzlülüğünün kesme hızına bağlı olarak değişimi a) $f=0,25$ mm/iş devri b) $f=0,4$ mm/iş devri ve c) $f=0,63$ mm/iş devri .....	155
Şekil 7.21. Azdırma işleminde kesme parametrelerinin kesme kuvveti bileşenleri üzerindeki etkileri.....	159
Şekil 7.22. Azdırma işleminde kesme parametrelerinin takım aşınması üzerindeki etkileri.....	164
Şekil 7.23. Azdırma işleminde kesme parametrelerinin pürüzlülük üzerindeki etkileri.....	166

**RESİMLERİN LİSTESİ**

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 6.1. Deney numunesinin mikroyapısı .....	106
Resim 6.2. Deney setinin fotoğrafları .....	111
Resim 6.3. Pürüzlülük ölçümü için kullanılan düzenek .....	113
Resim 7.1. HSS azdırmanın SEM fotoğrafları (Vc:27,5 m/dak ve f:0,25 mm/iş devri) .....	138
Resim 7.2. HSS azdırmanın SEM fotoğrafları (Vc:41,8 m/dak ve f:0,25 mm/iş devri) .....	140
Resim 7.3. TiN kaplanmış HSS azdırmanın SEM fotoğrafları (Vc: 27,5 m/dak ve f:0,25 mm/iş devri) .....	142
Resim 7.4. TiN kaplanmış HSS azdırmanın SEM fotoğrafları (Vc: 41,8 m/dak ve f:0,25 mm/iş devri) .....	143
Resim 7.5. HSS azdırmanın SEM fotoğrafları (Vc:41,8 m/dak ve f:1 mm/iş devri) .....	145
Resim 7.6. TiN kaplanmış HSS azdırmanın SEM fotoğrafları (Vc: 41,8 m/dak ve f:1 mm/iş devri) .....	146

## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
C	Karbon
Cr	Krom
F <sub>c</sub>	Esas kesme kuvveti (N)
Fe	Demir
F <sub>x</sub>	Teğetsel kesme kuvveti(N)
F <sub>y</sub>	Radyal kesme kuvveti (N)
F <sub>z</sub>	Esas kesme kuvveti (N)
μm	Mikrometre
Mn	Mangan
Mo	Molibden
N	Newton
Ni	Nikel
P	Fosfor
R <sub>a</sub>	Ortalama pürüzlülük değeri (μm)
S	Kükürt
Si	Silisyum

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>ADI</b>	Austempered Ductile Iron (Östemperlenmiş dökme demir)
<b>BSD</b>	Bilgisayarlı Sayısal Denetim
<b>BUE</b>	Built Up Edge (Yığılma kenar)
<b>CBN</b>	Kübik Bor Nitrid

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>CNC</b>	Computer Numeric Control-Bilgisayarlı Sayısal Denetim
<b>CVD</b>	Chemical Vapour Deposition-Kimyasal Buhar Biriktirme
<b>DIN</b>	Alman standartları
<b>HRB</b>	Rockwel-B sertliği
<b>HB</b>	Brinell sertliği
<b>PVD</b>	Physical Vapour Deposition-Fiziksel Buhar Biriktirme
<b>SEM</b>	Scanning Electron Microscope (Tarama Elektron Mikroskobu)
<b>TiN</b>	Titanyum Nitrid
<b>TSE</b>	Türk Standartları Enstitüsü
<b>V<sub>B</sub></b>	Yanak aşınması

## 1. GİRİŞ

Dişli çarklar; dövme, plastik enjeksiyon ve talaş kaldırarak işleme vb. birkaç farklı yöntem ile üretilmektedir. Çelik ve döküm malzemelerden talaş kaldırarak dişli çark işleme yöntemi, en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Talaş kaldırmak suretiyle dişli çark işleme işlemi birkaç farklı metot ile yapılmaktadır. Modül çakılar, azdırma freze çakısı, kremayer çakı, vb. kullanarak dişli çarklar işlenebilmektedir.

Tasarımı yapılacak bir dişli çarktan, yüksek aşınma direnci, daha fazla yük taşıyabilme kapasitesi ve sessiz çalışma beklenir. Değişik üretim yöntemleri ile bunlara ulaşmak mümkün olabilmektedir [1,2].

Azdırma freze çakısı kullanılarak yapılan dişli çark işleme metodu sanayide en çok tercih edilen metottur. Bu yöntemde azdırma çakı ve iş parçası kendi eksenini etrafında dönerken birbirleri ile çalışan dişli çarklar gibi uyumlu hareket ederler. Azdırma freze çakıları özel azdırma freze tezgahlarında kullanılan kesicilerdir. Düz ve helis dişli çarkların, sonsuz vida çarklarının işlenmesi için sırtı torna edilmiş, vidaya benzer biçimdeki freze çakılarıdır [3,4].

Azdırma ile dişli çark işleme; işlem kinematiği, talaş oluşumu ve aşınma mekanizmasının karmaşık olmasına karşın, yüksek kalitede ve hassasiyette dişli çark üretmek için etkili bir metottur [5].

Azdırma işleminde de diğer kesme işlemlerinde olduğu gibi, endüstrinin ilgisi nedeniyle iş parçası, takım ve üretim bilgilerinin araştırılmasının yanı sıra, kesme kuvvetleri, takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve bunlara etkiyen parametrelerin değerlendirilmesinin gerekliliği ortaya çıkmıştır [6,7].

Azdırma ile kesme işlemlerinde, kesici birçok kesme dişine sahiptir. Bir kesici diş, dişli çarkı keserken, her bir dişin kesme kenarı diş boşluğu üzerinde kesme pozisyonları oluşturur. Talaş kesitleri bu pozisyonlara göre oluşmaktadır. Bazı çalışmalarda kuvvetler bu pozisyonlara göre değerlendirilmiştir [5-7]. Bazı

çalışmalarda ise vida açmada olduğu gibi talaşların farklı doğrultularda akarken birbiriyle çarpıştığı, bunun da kesme alanına ya da talaş yüzeyine tesir eden kuvvetleri etkilediği belirtilmektedir [8].

Azdırma çakılarda meydana gelen aşınmalar incelendiğinde, diğer talaşlı üretim operasyonlarında görülebilen aşınma tiplerinin ve aşındırma mekanizmalarının benzer biçimde ortaya çıktığı görülmektedir. Azdırma çakılarda özellikle kesici dişler üzerindeki gerilmelerde azdırma işleminin doğası gereği bölgesel değişiklikler görülmektedir. Diğer frezeleme operasyonlarında da olduğu gibi sürekli bir kesme söz konusu değildir. Bu durumda mekanik yorulmalardan kaynaklanan çatlakları görmek mümkündür. Azdırma çakılar kesme yaparken iş parçası da kendi ekseninde etrafında döner. Bu nedenle azdırma çakılarda kesme, kesici kenarda talaş derinliği kadar değil, küçük bir oranda olmaktadır. Bu da oluşabilecek aşınma tipini ve miktarını etkilemektedir [9-11].

Bu çalışmada, azdırma ile dişli çark üretimi konusundaki mevcut bilgiler dahilinde ve yapılan çalışmalardan farklı olarak, gerçek işleme şartlarında yapılacak deneyler sonucunda kesme kuvvetlerinin, takım aşınmalarının, aşınma mekanizmalarının ve dişli çark yüzey pürüzlülüklerinin deneysel olarak tespit edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın amacına ulaşmak için aşağıda belirtilen aşamalar hedeflenmiştir:

- Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi için Kistler 9272A dinamometrenin de içinde bulunduğu bir deney setinin oluşturulması ve deneylerin yapılması. Kesme kuvveti bileşenlerinin değerlerinin kesme parametreleri ile olan ilişkilerinin belirlenmesi.
- Kesici takımda meydana gelen aşınmaların ölçülmesi, yanak aşınmalarının kesme parametrelerine ve kesilen diş boşluğu boyuna göre değerlendirilmesi, aşınmaların detaylarının ve aşınma mekanizmalarının tespiti için kesici uçların SEM görüntülerinin alınması.



- Kesme deneyleri sonucunda dişli çark diş yanaklarında elde edilen yüzey pürüzlülüklerinin ölçülmesi ve kesme boyuna ve kesme parametrelerine göre değerlendirilmesi.
- Elde edilen tüm sonuçların İstatistiksel analizlerinin yapılarak faktörlerin ve seviyelerinin sonuçlar üzerindeki etkilerinin belirlenmesi. Buna yönelik olarak ANOVA ve çoklu regresyon analizlerinin yapılması.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Talaşlı imalatta ürün kalitesini düşürmeden üretim girdilerini ve dolayısı ile de maliyeti azaltmak için işleme parametrelerinin uygun düzeyde tutulmasını sağlamak amacıyla yıllardır çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Talaş kaldırma esnasında oluşan kesme kuvvetleri konusunda yapılan çeşitli çalışmalarda; kesme kuvvetlerinin kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği, kesici takım geometrisi gibi parametreler ile doğrudan bir ilişkisinin olduğu ve bu amaçla çeşitli kuvvet ölçme yöntem ve metotlarının geliştirildiği görülmektedir. Bunun yanında talaşlı üretimde önemli bir konu olan takım aşınması, aşınma mekanizmaları ve yüzey pürüzlülüğü üzerine de birçok çalışma yapılmıştır.

Literatüre bakıldığında azdırma freze çakılarında kesme kuvvetlerinin ölçülmesi ve takım aşınmasının tespiti ve yüzey pürüzlülüğü konuları üzerine yapılan çalışma sayısının diğer alanlarda yapılan çalışmalara oranla oldukça az olduğu göze çarpmaktadır. Literatür araştırması; genel işlenebilirlik çalışmaları ve azdırma üzerine yapılan çalışmalar olarak iki farklı grupta ele alınmıştır.

### 2.1. Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi ve Takım Aşınması Üzerine Yapılan Çalışmalar

Talaş kaldırma esnasında oluşan kesme kuvvetleri, kesme performansına ve birim parça maliyetine doğrudan etki etmektedir. Doğal olarak bu konu, yıllardan beri araştırmacıların ilgisini çekmiş, hakkında birçok araştırma yapılmış ve halen de yapılmaktadır. Metal ve metal alaşımlarının işlenmesinde kullanılan takımların kesici kenarları aşınmaya karşı yeterince dirençli olmasına rağmen, talaş kaldırma sırasında oluşan gerilmeler karşısında oldukça zorlanmaktadırlar. Bu sebeple takımın kullanılabileceği optimum kesit ve kesmeyi kolaylaştıracak açıları (ideal takım geometrisi) bulmak için pek çok araştırma yapılmıştır. 1930'lu yıllarda sert karbürlerin bulunması, kesme hızlarını daha da artırarak daha kaliteli yüzeylerin elde edilmesini sağlamıştır. Seramik, CBN, PCBN kesiciler ve kaplama teknolojisinin kullanılması da işleme kalitesini önemli ölçüde iyileştirmiştir. Son yıllarda gelişen

bilgisayar teknolojisinin talaşlı imalata transferiyle birlikte, talaş kaldırma sürecindeki problemler optimum düzeylere indirilmiştir. Özellikle kesme kuvvetleri ve gerilme değerlerinin önceden tahmin edilmesine yardımcı olan ANSYS gibi bilgisayar paket programlar sayesinde, talaş kaldırma işlemlerinde kayda değer iyileştirmeler sağlanmıştır [12].

Cook ve ark. “Takım Tezgahları Dinamometreleri” ismini verdikleri çalışmalarında torna, freze ve taşlama tezgahlarında oluşan kesme kuvvetlerini ölçebilecek, “gerinim ölçer tipi” dinamometre tasarımı ve imalatını yapmışlardır. Bu çalışmada, dört adet sekiz köşeli ring kullanmışlardır. Gerinim ölçerleri doğrudan takım üzerine yerleştirmek uygun olmayacağı için ölçme bölgesini üzerinde taşıyacak bir takım tutucu kullanılmıştır [13].

Karabay ve Karabay, değişik tiplerde gerinim ölçer ve komparatörlü dinamometreler imal etmişlerdir. Bu dinamometrelerle, talaş kaldırma özelliklerinin, benzer gereçler için dış ülkelerde tespit edilen bağıntılarla uyum içinde olduğunu ve dolayısıyla ülkemizde, kendi imkanlarımızla başka ülkelerin standartlarına uygun test ve ölçümler yapılabileceğini ortaya koymuşlardır [14].

Otmanbölük ve ark. gerinim ölçer esasına dayalı ve ring teorisine göre torna tezgahı için bir dinamometre imalatı yaparak kesme kuvvetlerini ölçmüşlerdir. Ölçümler neticesinde elde edilen pratik kesme kuvvetleriyle teorik kesme kuvvetlerinin kıyaslamasını yapmışlardır. Elde ettikleri deneysel sonuçların teorik değerlere çok yakın bulunduğunu ve dolayısıyla bu tür dinamometre uygulamalarının standartlara uygun olduğunu ortaya koymuşlardır [15].

Fu ve ark. “Yüzey Frezeleme İşlemlerindeki Kuvvet Sistemlerinin Tahmini için Matematik Model” isimli çalışmalarında, yüzey frezeleme işlemi için bir matematik model geliştirmişlerdir. Bu modele göre, yüzey frezeleme işleminde oluşan kuvvetler, kesme şartları, takım geometrisi ve iş parçası dikkate alınarak tahmin edilmeye çalışılmıştır [16].

King ve Foschi “Üç Boyutlu Bileşenlerde Doğrudan Kuvvet Çözümlemesi için Çapraz-Ring Dinamometresi” isimli çalışmalarında, ağaç parçalarının işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin ölçülmesini amaçlamışlar ve bu alanda kullanılabilecek bir dinamometre geliştirmişlerdir [17].

Jin ve ark. kesme kuvveti sinyallerini incelemenin bir yolunu bulmak amacıyla, atelye şartlarına iyi uyum sağlayabilme yeteneğine sahip olan özel olarak tasarlanan fiber optik sensörlü standart bir takım tutucu kullanarak, kesme kuvveti ölçen bir takım geliştirmişlerdir. Takım tutucusunu, kesme işlemi süresince Fz kesme kuvveti yönündeki yer değiştirmeyi belirleyecek şekilde tasarlamışlar. Sonuç olarak yer değiştirmeyi; takım sapına bağlanan fiber optik sensörle, kesme kuvvetinin ölçülmesini sağlamışlardır. Bu takımı ayarlamak için fazla zaman gerekmeyeceğini ve değişik işlemler için takımın uyumluluğunun etkilenmeyeceğini belirtmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarda, takım tutucunun statik ve dinamik performansının yeterli olduğunu ve çıkış sinyallerinin takım şartlarına duyarlı olduğunu göstermişlerdir [18].

Kline ve Devor “Parmak frezelemede takım salgısının kesme geometrisi ve kuvvetlere etkisi” isimli çalışmalarında, aşınma ve kesici takım eksen kaydırma ile frezeleme işlemi için iş parçasına giriş ve çıkış açıları, talaş derinliği ve kesici takım uç yarıçapı parametreleri kullanılarak bir matematiksel kesme kuvveti modeli geliştirmişlerdir [19].

Olgaç ve Guttermuth “Kesme kuvvetleri dinamiklerinin geriye dönük modelleri için basitleştirilmiş bir tanıma metodu” isimli çalışmalarında, kesme kuvvetlerinin belirlenmesine yönelik matematiksel modelleme amaçlı bir tekniği anlatmışlardır [20].

Özfiliz, yatay frezelemede meydana gelen kesme kuvvetlerinin ölçülmesi için gerinim ölçer tipi ve üç bileşenli kuvvet ölçebilen bir dinamometrenin tasarımını ve üretimini yapmıştır. Bu dinamometre ile yaptığı deneysel çalışmalar sonucunda, ilerleme hızının ve kesme derinliğinin artırıldığında kesme kuvvetlerinin de arttığını,

yine aynı kesme şartlarında, işlenen malzemenin sertliği ile doğru orantılı olarak kesme kuvvetlerinin de arttığını tespit etmiştir [21].

Dönertaş, freze tezgahlarında talaş kaldırma esnasında oluşan kesme kuvvetlerini ölçebilecek bir dinamometre tasarımını, imalatını ve bilgisayar bağlantısını yapmıştır. Dinamometresinde gerinim ölçer teknolojisi kullanmış ve kuvvetlerin algılanabilmesi için malzemelerin elastik deformasyonlarından yararlanmıştır. Saniyede alınacak veri sayısının kullanıcı tarafından belirlenebildiği bu dinamometre ile 3 yönde ölçüm yapılabilmektedir [22].

Kim ve Kim “Bir işleme merkezinde, dolaylı kesme kuvveti ölçümleriyle adaptif kesme kuvvetinin kontrolü” isimli çalışmalarında, birçok ticari BSD işleme merkezlerine bağlanabilen bir adaptif kesme kuvveti kontrol elemanının frezeleme operasyonlarındaki kullanımı üzerinde durmuşlardır. x, y ve z eksenlerindeki kesme kuvvetlerini alternatif akımlı ilerleme tahrik servo motorlarından elde edilen akımların kullanılmasıyla dolaylı olarak ölçmüşlerdir. Tahrik motorundan, kesme kuvveti ölçümünü analiz etmek amacıyla yatay bir işleme merkezinin ilerleme tahrik kontrol sisteminin tipik bir modelini geliştirmişler ve darbeli frezeleme kuvvetlerini, ilerleme tahrik sistemi, geri besleme kontrol hücresi akımlarının bant genişliklerinin ölçümüyle dolaylı olarak ölçmüştür. Dolaylı ölçülen kesme kuvveti sinyallerinin, adaptif kontrol biriminde kesme kuvveti düzeltimi amacıyla kullanılabileceğini göstermişlerdir [23].

Nolzen ve Iserman, “Frezeleme işlemi için hızlı adaptif kesme kuvveti kontrolü” isimli çalışmalarında, kesme derinliğindeki artış gibi kesme şartlarında çok hızlı gerçekleşen değişiklikleri incelemek amacı ile bir metot kullanmışlardır. İş parçası geometrisinden bağımsız olarak freze çıkısındaki kesme kuvveti değişimini incelemişlerdir. Frezeleme işleminde kesme kuvvetinin kontrol edilmesi için bir yaklaşım sunmuşlar ve kullandıkları sistemin ilerleme hızını kontrol edilebilme özelliği olan takım tezgahları ve kuvvet dinamometreli ana motorlara uygulanabileceğini göstermişlerdir. Amaç, kesme sürecindeki bağımsız parametrelerin değişimi ile freze çıkısına gelen kuvvet arasında bir ilişki kurmaktır.

Kullandıkları değişken ise kesme kuvveti üzerinde önemli bir etkiye sahip olan ilerleme değeridir. Adaptif kesme kuvveti kontrol sistemini; bir dinamometre (Kistler 9255) sinyalleri kullanarak kesicinin her bir dişi ile kesme süreci hakkında bilgi sağlamak amacıyla uygulamışlardır [24].

Heikkala, “Yüzey frezelemede kesme kuvveti bileşenlerinin tespiti” isimli çalışmasında, kesme kuvveti bileşenlerinin yönlerinin ve büyüklüklerinin bilinmesinin makine-takım konstrüksiyonu ve iş parçası-bağlama kalıbı tasarımı açısından zorunlu olduğunu belirtmiştir. Frezeleme işlemlerinde kuvvet dağılımını etkileyen birçok faktörün analizinin yapıldığı bu çalışmada, kesme şartları bilinen freze çıkısının yüzey frezelemedeki üç kuvvet bileşeninin etkilerini matematiksel olarak belirlenmesi amacıyla kolay bir metot tanımlamıştır. Çalışmada, hesaplamalar bir yazılım yardımı ile yapılmış, kesme deneyleri ile bu hesaplama sonuçları arasında x ve y yönlerinde maksimum  $\pm\%15$  ve z yönünde ise  $\pm\%30$ 'luk bir sapma tespit edilmiştir. Bu sapmaların nedeni, farklı kaynaklarda bazı malzemeler için verilen özel kesme kuvveti değerlerinin ve kesme geometrisi tanımlamalarının eksik olmasına bağlanmıştır [25].

Cheng ve ark. çalışmalarında, yüzey frezelemedeki ani kesme kuvveti katsayıları karakteristiklerini incelemişlerdir. Yüzey frezelemedeki bu ani kesme kuvveti katsayılarını tespit etmek amacıyla, ani kesme kuvveti katsayılarıyla ölçülen kesme kuvveti sinyalleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Ani kesme kuvveti katsayıları ve diğer kesme parametreleri arasındaki ilişkileri de belirlemişlerdir. Normal kuvvet katsayısının temel olarak, talaş kalınlığı, kesme kenarı uzunluğu ve kesme hızından etkilendiği ve yatay kuvvet katsayısının yalnızca talaş kalınlığı, kesme uzunluğu ve kesme hızından etkilenmeyip aynı zamanda talaş kalınlığındaki değişimlerden de etkilendiğini tespit etmişlerdir [26].

Gülmez ve ark. takma uçlu yüzey frezeleme takımı kullanarak simetrik yüzey frezeleme yöntemi ile düzlem yüzey işlemede, kesme parametrelerinin işlenebilirliğe etkisini ZF-7B bor alaşımli çelik üzerinde deneysel olarak araştırmışlardır. Kesme kuvvetleri; yük sensörü, amplifikatör, A/D dönüştürücü, veri toplama kartı ve

bağlantı kabloları yardımı ile bilgisayara aktarılmıştır. Sonuç olarak; kesici takım geometrisine bağlı olarak iş parçası ile kesici takım arasındaki temas uzunluğu ve aynı anda kesme yapan kesici ağız sayısı arttıkça Z eksenindeki kuvvet artmıştır. Kesme kuvvetlerinin; frezeleme yöntemine, kesilen malzemenin cinsine, takım geometrisine ve talaş kaldırma koşullarına bağlı olduğu gözlemlenmiştir [27].

Ay ve ark. yaptıkları çalışmada, yüzey frezeleme işleminde kesici takıma etki eden kesme kuvvetleri ve titreşimler incelenip kesme esnasında oluşan kuvvet ve titreşimler deneysel olarak ölçülmüştür. Deneylede; Ç1040, Ç1045, Ç1050 malzemeler, değişik kesme derinlikleri ve ilerleme değerlerinde uç yarıçapı olan 0,8 mm kesiciler kullanılmıştır. Sonuç olarak, kesme derinliği arttığında yüzey kalitesinin olumsuz etkilendiği, kesme kuvvetlerinin arttığı, yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme miktarının yüzey kalitesini iyileştirdiği ifade edilmiştir [28].

Qraby ve Hayhurst, “Yüksek kapasiteli ve üç bileşenli kesme kuvveti dinamometresi” adını verdikleri çalışmalarında, kesme kuvveti bileşenlerini belirlemek amacıyla, kesici takımın bağlanabileceği bir kateri bulunan dinamometrenin tasarımını ve üretimini yapmışlardır [29].

Sukvittayawong ve Inasaki, tornalama işlemlerinde oluşan kesme kuvvetlerini ( $F_c$  ve  $F_a$ ) ölçerek, özellikle  $F_a/F_c$  oranına göre kesici ömrünü tahmin etmeye çalışmışlardır. KISTLER marka dinamometrede kullanarak 250HB sertlik değerindeki deney numunesinin işlenebilirlik testlerinde, ilerleme kuvvetinin ( $F_a$ ) esas kesme kuvvetine ( $F_c$ ) oranının kesici takım aşınmasının araştırılması için kullanılabileceğini, kesici ömrünün tahmini olarak bulunmasında en küçük kareler yönteminin kullanılmasının deney maliyetini düşüreceğini belirtmişlerdir [30].

Korkut, tornalamada oluşan kesme kuvvetlerini ölçmek amacıyla gerinim ölçer esaslı bir dinamometre tasarım ve imalatını yapmıştır. Hazırlanan dinamometrede, 3 adet Wheatson köprüsü ve 4 adet gerinim ölçer kullanarak kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Dinamometrenin hassasiyeti için elektrik devrelerinden yararlanılmış ve

dinamometreden alınan kuvvet sinyalleri, işlem amplifikatörü ile işlenerek bilgisayara aktarılmıştır [31].

Yardımoğlu ve Boyar, talaş kaldırmada gerekli olan enerjiyi belirten, özgül kesme enerjisini deneysel olarak araştırmışlardır. Kesme kuvvetlerini, kalemlige tutturulan “üç eksenli mekanik kuvvet ölçer” ile ölçmeye çalışmışlardır. Genel olarak, kuvvet bileşenlerinin ilerleme hızı ile doğru orantılı olduğunu ve talaş derinliğinin artmasıyla kesme kuvvetlerinin arttığını gözlemişlerdir. Ayrıca kesme hızının artışı ile özgül kesme enerjilerinin azaldığını göstermişlerdir [32].

Rahman ve Tsutsumi, “Tornalamada bağlama kuvveti üzerine devir sayısının etkisi” isimli çalışmalarında, farklı bağlama durumlarında yüksek devir sayısının bağlama kuvveti üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Analitik olarak yapılan çalışmalarında, kesme kuvvetinin radyal bileşeninin devir sayısı ile ters orantılı olduğunu tespit etmişlerdir [33].

Youn ve ark. çalışmalarında, akustik emisyon (Acoustic Emission- AE ) kullanımı ile kullanılan kesici takımlardaki küçük çatlaklar kadar, çok büyük takım kırılmalarını da tespit etmek amacıyla, kesme kuvveti sinyallerinin uygulanabilirliğini incelemişlerdir. S45C ve ısı işlem görmüş S45C çeliklerine, gerçek işleme şartları altında, sementit karbür kesicilerle tornalama deneyleri yaparak; kesme kuvveti elemanlarının grafik ve şekillerle ifade edilmesiyle, AE'nin sinyal özellikleri ile kesici takımlardaki çatlaklarını göstermişlerdir. Çeşitli takım çatlakları tiplerindeki çift sinyallerin analizleri kullanılarak, kesici takımlardaki çatlakları başarılı bir şekilde tespit etmişlerdir [34].

Hamid ve Ali, kesme deneylerini Alüminyum 2014-T6 malzeme ile HSS ve karbür takımlar kullanarak; devir sayısı, ilerleme ve kesme derinliği gibi kesme parametreleri değişkenlerinde yapmışlardır. Takım-iş parçası temasından sonraki ilk bir kaç devir süresince, geçici dinamik kuvvet davranışını kaydederek zaman ve frekans analizleri yapmışlar, deneylerin bir çoğunda kesme şartlarına bağlı olarak 1,5-2 devir seviyelerinde, kesme kuvvetlerinin denge durumuna ulaştıklarını



göstermişlerdir. Buna bağlı olarak uygulanan mevcut kesme kuvvetleri modellerinin, geçici kesme şartları süresince gerçek kuvvet davranışını gösteremeyeceğine işaret ederek; ani kuvvet ve kesme derinliği kadar bunların ilk ve bunu izleyen zamanlardaki türevlerini kapsayan yeni bir dinamik model önermişlerdir. Sistemlerinde kesme kuvvetlerini ölçmek amacıyla KISTLER 9257B tipi bir dinamometreden yararlanmışlardır [35].

Mıstıkoğlu ve Göncel, çalışmalarında; üç kanallı “Hortsmann” marka dinamometre ile tornalama işlemlerinde oluşan kesme kuvvetlerini tespit ederek bir veri tabanı oluşturmuşlardır. Bu veri tabanına dayanarak tornalama işlemleri için eğitim amaçlı bir simülasyon programı hazırlamışlardır. Çalışmaları sonunda optimum kesici geometrisini tayin etmişlerdir [36].

Dai ve Gautschi, “Gelecek nesil kesme kuvveti dinamometreleri” adlı çalışmalarında, dönel kesme kuvveti dinamometreleri (Rotating Cutting Force Dynamometers-RCD) ve üç parçalı dinamometrelerde kesme kuvveti ölçme aralığını genişletme ve hassas bir ölçme yapma konularını incelemişlerdir [37].

Ippolito ve ark., kesme kuvvetleri ile takım aşınması arasında ilişki kurabilmek için kesme kuvvetlerini ölçmüşlerdir. Çalışmalarında, kesme kuvvetlerinin zamana bağlı olarak değiştiğini, sert metal uçlarda krater aşınmasının kesme kuvvetlerini arttırdığını belirtmişlerdir [38].

Biçer, tornalama işlemlerinde kesme kuvvetlerini ölçebilecek bir dinamometrenin tasarımını ve üretimini gerçekleştirmiştir. Yapılan dinamometre 2,5-6000 N'luk kesme kuvveti ölçme kapasitesine sahip olup,  $F_v$  (ilerleme) ve  $F_s$  (teğetsel) kuvvetlerini algılamaktadır [39].

Santochi ve ark. “Kesme kuvveti görüntüleme için sensör içeren bir takım” isimli çalışmada, tornalama operasyonlarındaki kuvvetlerin ölçülmesinde gerinim ölçer özellikli kesici takımların kullanıldığı yeni bir görüşü tanıtmışlardır. Takım sapı içerisine sensör yerleştirilerek, kullanımı ve montajı kolay olan ve radyo-telsiz

dalgaları aracılığıyla verilerin BSD'ye aktarıldığı yeni bir sistemi incelemişlerdir. Özellikle ölçme köprüsündeki ölçme sinyallerini yükseltmiş ve kızılötesi dönüştürücüyle dış veri alma sistemine göndermişlerdir. Sistem; kesme kuvvetleri sinyallerinin gerinim ölçerler vasıtasıyla ölçüldüğü algılama sistemi ile sinyallerin yükseltilip frekans entegreli devreye dönüştürülmesi ve kızıl-ötesi verici diyotuna gönderildiği sinyal işleme çevrimlerinden oluşmaktadır [40].

Özçatalbaş ve Ercan, tornalama sırasında oluşan kesme kuvvetlerini gerinim ölçer ile ölçme tekniği kullanarak algılayabilen bir dinamometre imal etmişler ve gerinim ölçerler ölçme köprüsünden aldıkları analog sinyalleri amplifikatörden geçirerek hassasiyetini artırmış ve dijital dönüştürücü vasıtasıyla da bilgisayar ortamına aktararak kesme kuvveti değerlerinin bilgisayar ortamında depolanması ve değerlendirilmesini sağlamışlardır. Ayrıca bu dinamometre farklı malzemelerin işlenebilirlik deneylerinde başarıyla kullanılmıştır [41].

Strafford ve Audy, “Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi yoluyla karbonlu çeliklerin işlenebilirliğinin dolaylı gösterimi” isimli çalışmalarında, tek noktadan kesme işlemi yapan takımlarla, tornalamada oluşan kesme kuvveti elemanlarının bağıntılarını ve farklı karbon içeren çeliklerin mikroyapılarına bağlı olarak kuvvet genliklerini incelemişlerdir. Sürekli kesme şartları altında, silindirik çelik malzeme deney numuneleri ve sementit karbür kesici takım kullanılarak incelemeler yapmış ve dinamik kuvvetleri üç parçalı bir Kistler piezoelektrik dinamometresi tarafından ölçerek, beş dakika aralıklarla değerlendirmişlerdir. Bu kısa periyotların ötesinde elde edilen sonuçların takım aşınmasından önemli bir ölçüde etkilenmediğini, bu çeşit bilginin işleme şartlarını iyileştirmeye yardımcı olabileceğini ve iş parçası malzemesinin işlenebilirliğinin dolaylı gösteriminde kullanılabileceğini belirtmişlerdir [42].

Grum ve Kisin, çalışmalarında, iş parçası mikroyapısının kesme kuvveti üzerine etkisi üzerinde durmuşlardır. Son tornalama işlemlerinde kesme kuvvetinin analizi, iş parçası malzemesinin farklı işleme koşulları altındaki mukavemeti ve sertliği ile çok yakından ilgilidir. Çalışmalarında mikroyapının artan etkisinin uzamayı engelleyen

yumuşak fazın büyüklüğü ve bitirme tornalama esnasında ölçülmüş olan kesme kuvveti ile ilgili olduğu belirtilmiştir. Kesme kuvveti büyüklüğü genellikle statik ve dinamik bileşenleri ile birlikte ele alınır. Çalışmalarında her iki bileşene de önem vermişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar, yumuşak fazın uzamasının engellenmesinde, kesme kuvvetinin statik ve dinamik bileşenlerinin ortalama büyüklüğünün belirleyici olduğunun gösterilmesini sağlamıştır [43].

Duran, tornalama esnasında oluşan 3 eksendeki kesme kuvvetlerini ölçebilecek gerinim ölçer esaslı sekizgen halka dinamometresi tasarlamış ve imalatını yapmıştır. Çalışmasında, değişik yavaşlama açıları kullanarak Ç1060 malzemesinin işlenmesi esnasında oluşan kesme kuvvetlerini ölçmüş ve bu kuvvetlerin kesici takım üzerindeki etkilerini ANSYS sonlu elemanlar paket programı kullanarak değerlendirmiştir [44].

Günay, çalışmasında BSD torna tezgahı için bir dinamometrenin tasarım ve imalatını yapmıştır. Ayrıca kullanılan dinamometrenin tasarım ve imalat safhasında diğer çalışmalardan farklı olarak gerinim ölçer esaslı analog yük hücresi kullanmıştır. Çalışmasında dik kesme sırasında kesici takım talaş açısındaki değişimin kesme kuvvetleri üzerindeki etkisini incelemiştir [45].

Kurt ve ark. doğrusal hareketle talaş kaldıran vargel tezgahında oluşan kesme kuvvetlerinin bilgisayar yardımıyla ölçülebilmesi için bir dinamometrenin tasarım ve imalatını yapmıştır. Dinamometre tasarımında 3 adet gerinim ölçer esaslı analog yük hücreleri kullanılmıştır. Yük hücreleri, kesici takımın tezgaha bağlandığı başlığa kesme kuvvetlerinin yönlerine zıt olacak şekilde yerleştirilmiştir. Gerinim ölçerdeki boyutsal değişimden elde edilen sinyallerin sayısal bir dönüşümü yapılmış ve daha sonra bilgisayar yardımıyla kesme kuvvetlerinin ölçülmesi amaçlanmıştır. Teorik hesaplamalar sonucu bulunan ( $F_c$ ) değerleri ile kesme deneyleri sonucunda ölçülen ( $F_c$ ) değerlerinin birbirini doğrular nitelikte olması, tasarımı ve imalatı yapılan dinamometrenin güvenilirliğini göstermiştir [46].

Demir, çalışmasında, düzlem taşlama tezgahında taşlama yapılırken taşlama parametrelerinin taşlama kuvvetlerine etkilerini incelemek amacıyla gerinim ölçer esaslı bir dinamometre tasarlamış ve imal etmiştir [47].

Sağlam ve ark. çalışmalarında, şerit testere ile dört farklı sertlikte malzeme (Ç1020, Ç1040, Ç1060, Ç4140) değişik kesme hızı-ilerleme değerleri ile kesme işlemi yapılmış, ortalama kesme kuvvetleri, aşınma değerleri bilgisayara kaydedilmiş ve yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Artan kesme hızına karşılık kesme kuvvetlerinde azalma, yüzey kalitesinde iyileşme, kesme sabitinde ve diş başına kesme derinliğinde azalma görülürken, artan ilerlemeye karşılık bu değerlerde artış görülmüştür [48].

Turgut, “Bağlama kalıplarında bağlama kuvvetlerinin hesaplanmasında kullanılan emniyet katsayılarının deneysel olarak incelenmesi” isimli çalışmasında;  $K$  emniyet katsayısının gerçek değerini belirlemek amacı ile, üç boyutlu bir dinamometre geliştirilmiş ve sisteme yerleştirilen bağlama kalıbında bağlama kuvvetlerinin belirlenmesini sağlamıştır. Sistemde, üç adet gerinim ölçer yük hücresi, üç adet izole edilmiş gerinim ölçer girdi modülü, terminal kart, veri okuma kartı ve paket program kullanmıştır. Çalışma sonucunda  $K$  değeri uygulamalı olarak belirlenmiş ve elde edilen deney sonuçlarının çoklu regresyon analizi yapılarak bir model geliştirilmiştir [49].

Korucu, çalışmasında; talaşlı imalatta önemli bir yere sahip olan delme işlemlerinde oluşan kesme kuvvetlerinin deneysel olarak ölçmüş, ölçülen bu kesme kuvvetleri etkisiyle kesici takımda meydana gelen gerilmelerin sonlu elemanlar metodu kullanarak analiz etmiş ve bir matematiksel model geliştirmiştir. Kesme deneyleri takma uçlu matkaplar kullanılarak AISI 1050 çelik malzemeye uygulanmıştır [50].

Sutherland ve ark. broşlama işlemindeki kesme gücü sistemleri için mekaniğe dayalı bir model geliştirmiştir. Talaş yükü geometrisinde işleme kinematiği ve broşun sarmal şekilli kesici dişleri esas alınmıştır. İtme ve kesme kuvveti için denklemler geliştirmek için işleme deneyleri yapılmıştır. Geliştirilen modelin belirlediği kesme

gücü, üretim işlemleri esnasında ortaya çıkan gerçek kesme gücü ile karşılaştırılarak geçerliliği tespit edilmiştir [51].

Bouzakis ve ark. aşınmaya karşı kaplanmış kesici takımların fiziksel buhar çökertme (PVD) yöntemi ile tekrar kaplanmasıyla üretim maliyetlerinin düşürülmesini amaçlamışlardır. Bununla beraber tekrar kaplanmış gerilme özellikleri değişmiş bu yüzden de kesme performanslarının yeni takımlara nazaran zayıflamış olabileceği belirtilmiştir. Sonuç olarak aşınma davranışlarında bozulmaların olmasının mümkün olacağı vurgulanmıştır. Sementit karbür takımlarda tekrar şartlandırma yöntemleri esnasında meydana gelen yüzey gerilme değişimlerinin, takım kesme performansında etkili olduğu vurgulanmıştır. Araştırmalarında, frezeleme ve azdırma ile dişli çark açma işlemlerinde sementit karbür takımların aşınma davranışlarını bir ölçüde iyileştirebilmişlerdir [52].

Balazinski ve Ennajimi, “17-4PH paslanmaz çeliğinin frezelenmesinde ilerleme değişimlerinin takım aşınmasına etkisi” isimli çalışmalarında; 17-4PH paslanmaz çeliğinin işlenmesinde, kesme işlemi boyunca ilerleme değerinde yapılacak uygun değişimlerin takım ömründe önemli ölçüde artışı mümkün kıldığını göstermiştir. Deneyler takım aşınmasının yaklaşık olarak %30 azaldığını açıkça göstermiştir [53].

Nelson ve ark. çalışmalarında, sertleştirilmiş kalıp çeliklerinin frezelenmesinde meydana gelen takım aşınmasını incelemişlerdir. Çalışmalarında, takım ömrünün yanak aşınması bilgileri ile işleme parametrelerine bağlı olarak bulunması amacıyla H13 sıcak iş takım çeliğinin (42-46 HRC) yüzey frezelenmesini; 3 eksenli freze tezgahında yapmışlardır. PCBN ise daha yüksek kesme hızı denemelerinde oldukça iyi performans göstermiştir. Kesmenin sınırlı aksenal ve radyal derinliği ile maksimum talaş kalınlığına bağlı en ideal takım ömrü için tüm parametreler değerlendirmişlerdir [54].

Plebani ve Fu, düzlem yüzey frezeleme işleminde takım aşınmasının bir fonksiyonu olarak oluşan dinamik kesme kuvveti değişiminin özelliklerini tanımlamak amacıyla, bir metot geliştirmişlerdir. Yüzey frezeleme işlemi için yaptıkları analizlerde, takım

aşınmasını tanıtmaya bakımdan metodun tepe frekans metoduna göre daha iyi olduğunu göstermişlerdir [55].

Chou, “Sürekli ve kesikli kesmede farklı mikroyapılarda M50 çeliğinin tornalanması” isimli çalışmasında, M50 çeliğinin (63 HRC) kübik boron nitrid (CBN) takımlarla sürekli ve kesikli kesmede işlenmesinde mikroyapının takım aşınmasına etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Toz metalurjisi metodu ile üretilen M50'nin sürekli kesmede oluşan takım aşınması karbürlerden dolayı geleneksel M50'den daha düşük bulunmuştur. Kesikli kesmede toz metalurjisi çeliğin son mikroyapısı aşınma oranının azalmasına yol açsa da sürekli kesmedeki kadar etkili olmadığı söylenmiştir. Çalışmada, sertleştirilmiş çelik bileşenlerinin işlenmesinde iş malzemesi ve takım seçimi ana hatlarıyla açıklamıştır. Sürekli kesmede sert tornalama için toz metalurjisi ile üretilen çeliğin düşük takım aşınmasına neden olduğunu ve böylece oldukça iyi işlenebilirliğe sahip olabildiğini göstermiştir. Kesikli kesmede toz metalurjisi çelikte her şeye rağmen takım aşınması azaldığını, bununla beraber verimliliğin de azaldığını belirtilmiştir [56].

Nouari ve ark., “Alüminyum alaşımlarının kuru işlenmesinde takım aşınmasının optimizasyonu ve deneysel analizi” isimli çalışmalarında, WC-Co sementit karbür matkaplar kullanarak alüminyum alaşımlarının kesme sıvıları kullanılmadan delinmesi esnasında oluşan takım aşınmasını incelemişlerdir. Takım kaplama malzemesi için imkan verdiği ölçüde elmas kullanmışlardır. Optimum takım geometrisi kombinasyonlarının ve kesme koşullarının yüksek yüzey kalitesi oluşturduğunu, işlenen malzemede iyi derecede boyutsal doğruluk ve matkap için uzun kullanım ömrü sağladığını belirtmişlerdir. Ayrıca Third Wave Advant Edge sonlu elemanlar yazılımı ile, kuru delik delmede takım aşınmasına neden olan esas parametrelerden birisi olan takım talaş ara yüzey sıcaklığının tahmin edilmesinde sayısal bir hesaplama kullanmışlardır [57].

Tosun ve Muratoğlu, %17 SiC parçacık ile takviyelendirilmiş 2124 alüminyum alaşımının delinmesinde takım aşınmasına matkap tiplerinin ve matkap uç açısının etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Deneysel çalışmalar farklı devir sayılarının,

ilerlemenin ve matkap uç açısının değiştirilmesi ile yapılmıştır. Delme testleri 5 mm çaplı HSS, TiN kaplanmış HSS ve sert metal matkaplar kullanılarak yapılmıştır. Deney sonuçlarında matkap tiplerinin değiştirilmesi ile alt yüzey hasarlarına uç açısının etkili olduğunu göstermişlerdir [58].

Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi üzerine yapılan çalışmalarda; gerinim yararlanılarak geliştirilen dinamometreler, üç eksenli mekanik kuvvet ölçer, komparatörlü dinamometreler, hazır olarak temin edilen piezoelektrik dinamometreler, döner takım içerisine entegre edilen sensör ve gerinim ölçer esaslı yük hücrelerinden oluşmuş dinamometre gibi yöntemlerden yararlanılmıştır. Kesme parametrelerinin kesme kuvvetlerine, dolayısıyla takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin tespiti gibi konuların incelendiği ve elde edilen sonuçların değerlendirildiği görülmüştür.

Sonuç olarak literatürdeki çalışmaların bir çoğunun, torna, freze, matkap ve taşlama gibi takım tezgahlarında kullanılan kesici takımlar üzerine yapıldığı görülmektedir. Yapılan çalışmaların genelde kesme parametrelerinin ve iş parçası şartlarının kesme kuvvetlerine, yüzey pürüzlülüğüne ve takım aşınmasına etkilerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca, gerilme ve sıcaklık değerlerinin tespiti, analizi ve modellenmesi gibi konuların incelendiği görülmektedir.

## **2.2. Azdırma Freze Çakılarında Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi Ve Takım Aşınmasının İncelenmesi Üzerine Yapılan Çalışmalar**

Azdırma usulü dişli çark işlemede, kesme işlemi kinematiğinin ve talaş oluşumu mekanizmasının karmaşık oluşu, bu alanda kesme kuvvetleri ve takım aşınması üzerine yapılan çalışmaların diğer talaşlı imalat operasyonlarına kıyasla sınırlı sayıda kalmasına neden olmuştur. Başlangıçta, yapılan çalışmalar azdırma işleminin ve kesicilerin incelenmesi, analizi ile düz ve helis dişli çarkların üretiminde azdırma yönteminin uygulanmasını içermektedir [59-62]. Daha sonraki çalışmalar optimizasyon, aşınma ve pürüzlülük gibi konular ele alınmıştır.

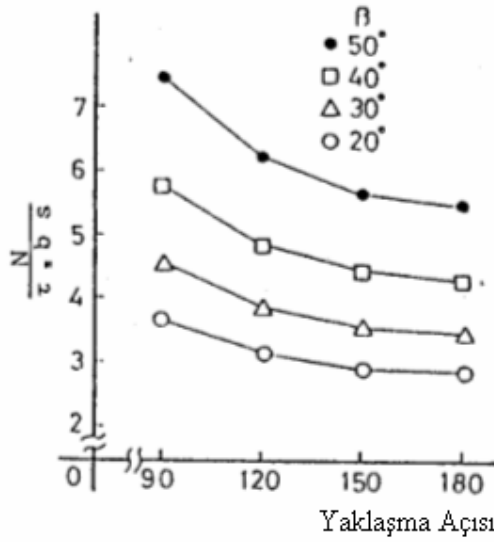
Thamer, kesici kenarda meydana gelen kesme kuvvetlerini kesme yapan alanın kesitinden yararlanarak hesaplamıştır [63].

Ziegler çalışmasında, düz dişli çarkların azdırma ile üretimi sırasında maksimum esas kesme kuvvetinin araştırılması için, azdırmanın her bir kesici kenarının karmaşık kesme geometrisini hesaplamış ve buradan yola çıkarak kesme kuvvetlerini tespit etmiştir [64].

Ohtubo, azdırmadaki kesme miktarından, kesme kuvveti için gerekli olan gücü kolayca belirlemek için dişli çark dişlerinin diş boşluğu alanının kullanılmasını önermiştir. Kesme miktarı ve diş boşluğu arasındaki alanın hesaplanması için basit eşitlikler türetmiştir [65].

Suzuki ve ark., “Dişli çark açmada kesme kuvvetleri üzerine temel çalışma” isimli çalışmalarında, iki simetrik sürekli kesici kenar ile kesmenin teorisi üzerinde durmuşlardır. Azdırmanın birçok kesici dişi vardır ve ayrıca her bir azdırma dişinin 3 kesici kenarı vardır. Azdırma keserken, bir dişin kesici kenarlarından her biri eş bir talaş çıkarır. Çalışmalarında talaşların girişimi teorik olarak incelenmiştir. Talaş girişiminin temel ve basit bir modeli üç kenarlı tam derin ya da tam derin olmayan kesmedir. Böylece, tek nokta uçlu düz takım ile yapılmış tam derin olmayan üç kenarlı kesmede esas kesme gücünü değişik yaklaşma açılarında teorik olarak incelemişlerdir. Kesme kuvveti, özgül kesme kuvvetinin iş malzemesinin akma gerilmesi  $\tau_s$  ile bölüdüğü,  $N/\tau_s.b.s$  değerine dayanarak tayin edilmiştir. Sonuçlar takımların yaklaşma açısı küçük olduğunda esas kesme gücünün büyüdüğünü göstermiştir Şekil 2.1’de yaklaşma açısı ( $2\varepsilon$ ) ve  $N/\tau_s.b.s$  arasındaki ilişki verilmiştir [8].





Şekil 2.1. Yaklaşma açısı ( $2\epsilon$ ) ve  $N/\tau_s.b.s$  arasındaki ilişki [8].

Özellikle her bir azdırma dişindeki azdırma işlemi kuvvetinin detaylarını araştırmak amacıyla dişli çarkın sadece bir diş dolusu ve diş boşluğunun işlenmesi sırasında iş parçası üzerinden kuvvetlerin ölçülmesiyle azdırma ve iş parçasının her bir dişindeki teğetsel, radyal ve eksenel kuvvet bileşenleri elde edilmektedir [66]. Azdırma torku, azdırma freze tezgahının titreşimini ve üretilen dişli çarkın tamlığını etkileyen önemli bir faktördür [67]. Azdırma freze tezgahlarının en uygun tasarımı için (özellikle azdırma freze çakısı mili), onun statik ve dinamik performans limitlerinin gözlemlenmesi ve beklenen kesme kuvvetlerinin zamana bağlı olarak kesin bilgisi gereklidir. Bu bilgiler özel tasarlanmış dinamometreler ile elde edilebilmektedir. Geliştirilen hesaplama prosedürleriyle her işleme durumunda ve dişli çark azdırma işleminde kesme kuvveti bileşenlerinin kesin olarak saptanması sağlanmıştır [68-71]. Ayrıca kesme kuvveti bileşenlerinin tespit edilmesiyle optimum kesme performansı ve iş parçasını bağlamak için gerekli olan sıkma kuvvetinin belirlenmesi de mümkün olabilmektedir [72].

Azdırma çakılarda kesme kuvvetinin tahmin edilmesi için kesme kuvvetinin kesme hızı, talaş genişliği ve talaş kalınlığı arasındaki ilişkiden ve işleme deneylerinde bulunan birim kesme gücü ve kaldırılan talaş miktarından yola çıkılarak bir metot belirlenmiştir. Kesme kuvvetinin tahmin edilmesi için eşitlikler hesaplandığında,

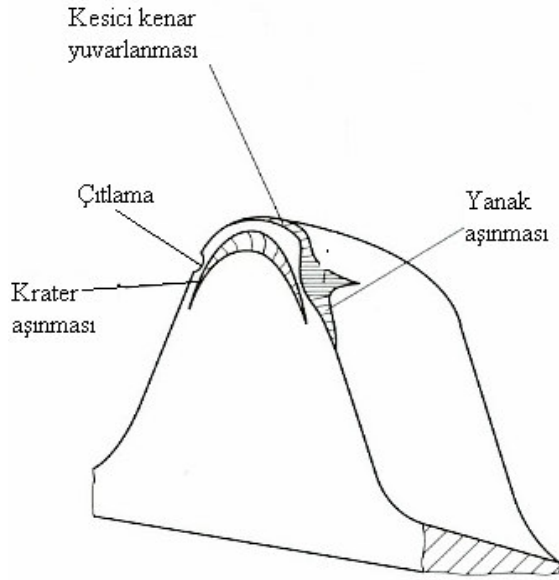
azdırmanın devir sayısının dolayısıyla kesme hızının kesme kuvveti üzerine önemli bir etkisinin olmadığı teorik olarak görülmüştür [73,74 ].

Abood ve ark., azdırma usulü dişli çark açmada kesme kuvvetlerinin hesaplanması için üç boyutlu bir modeli geliştirmeyi denemişlerdir. Anlık talaş kesiti kalınlığı, meydana gelen kesme kuvvetlerinin hesaplanmasını sağlayacağından her kesici kenarın her noktasında hesaplanmıştır. Üç eksenli bir dinamometre direkt olarak prototip azdırma freze tezgahının tablasına bağlanmış ve gerçek kesme kuvvetlerinin ölçülmesi için kullanılmıştır. İyi bir korelasyon elde edilmiş ve azdırma usulü dişli çark işleme sırasında kesme kuvveti davranışının karmaşık döngüsel doğasını tanımlamak için kullanılmıştır [75].

Bouzakis ve Koenig, işleme deneylerinden elde edilen tüm kesme verilerinin bir veri toplama merkezinde toplanmasıyla; azdırma freze çakısında meydana gelen takım aşınması ve kesme kuvvetinin matematiksel yapısının belirlenebileceğini, böylece iyi bir işlem planlaması ve optimizasyonun yapılabileceğini belirtmişlerdir [76]. Benzer bir çalışmayı Weck ve arkadaşlarının da yaptığı görülmektedir [77].

Kuljanic azdırma işleminin optimizasyonunu takım ömrüne ilave olarak kesicinin tekrar bilenmesi ve maliyeti açısından ele almış ve bir model önermiştir [78].

Azdırma çakılardaki aşınma, bilinen aşınma mekanizmalarına ve tiplerine ek olarak, kesici dişler üzerinde bölgesel gerilme değişikliklerine sahiptir. Azdırma çakılar kesme yaparken iş parçası da kendi ekseni etrafında döner. Bu nedenle azdırma çakılarda kesme, kesici kenarda talaş derinliği kadar olmayıp, noktasal olmaktadır. Bu da oluşabilecek aşınma tipini ve miktarını etkilemektedir. Ayrıca kesme işleminin kesme sıvısı kullanılarak yapılması da ortaya çıkabilecek aşınma tiplerini etkilemektedir. Azdırma dişlerinde görülebilen aşınmalar Şekil 2.2’de verilmiştir [5, 9-11].



Şekil 2.2. Azdırma dişinde görülebilen aşınma türleri

Her bir kesici dişin değişik kesme katkısı ardışık azdırma dişlerinde eşit olmayan aşınma dağılımına ve kesici takımın tamamının verimsiz kullanılmasına neden olur. Bununla birlikte, dişli çark genişliği takımın iş parçasına giriş ve çıkış bölgesindeki talaş geometrisini etkilemektedir [79]. Azdırma usulü dişli çark işleme sırasında, kesme koşullarında değişikliğe yol açan takım aşınması, kesici kenarların geometrisini değiştirir. Bu durum, kesme kuvvetlerinin artmasına ve dişli çark profilinin bozulmasına neden olur [80].

Milner ve Raafat çalışmalarında, azdırma işleminde ortaya çıkan takım aşınmalarını gösterilmişlerdir. Takım ömründeki değişiklik işleme şartlarına bağlı olarak dikkate alınmış ve istatistiksel yaklaşımlarla, kesme hızı, ilerleme ve malzeme sertliği gibi bağımsız değişkenlerin yardımıyla, etkili olan değişken belirlenmiştir. Kesme hızının takım ömrü üzerinde önemli ölçüde etkisinin olduğu görülmüştür [81].

Galczynskia, dişli çark üretiminde doğruluk ve ekonomikliğe olan talebin artması, azdırma ile yapılan işlemlerdeki etkili parametrelerin kontrolünü zorunlu kıldığını belirtmiştir. Bu zorunluluk dikkate alınarak takım aşınmasını tespit edebilen bir detektörün geliştirilmesi üzerine araştırma yapmıştır. Deneysel bir yöntem kullanarak

azdırma ile diş açma işlemindeki akustik sinyal yayılımının kapasitesi ile ilgili olarak azdırma çakıdaki aşınma boyutu hakkında bilgi alınması sağlamıştır. Sinyalin uygunluğu, makinenin temelinden ve işleme parametrelerinden bağımsız ve takım aşınmasının belirlenmesinin amacı için büyük modüllü azdırma çakı ile diş açılmıştır [82].

Zlatonoviç ve Stosiç, karşılaştırmalı işlenebilirlik testlerinde TiN kaplanmış ve bir miktar da (Ti 0,5-Al 0,5)N kaplanmış azdırma çakılarının karşılaştırmasını yapmışlardır. TiN'ü püskürtme iyon kaplama kullanarak kaplamışlardır. Ayrıca çift katot metodu kullanılarak özel tasarlanmış Leybold sistemi ile (Ti 0,5-Al 0,5)N kaplanmışdır. TiN ve (Ti 0,5-Al 0,5)N kaplamaların özellikleri SEM, Auger ve X-Ray spektroskopu, optik mikroskop ve çentik testleriyle belirlenmiş ve açıklanmıştır. Yapılan deneyler ile azdırma çakının kaplanmasının yanak aşınması, krater aşınması ve azdırma çakı dişlerinin kesici kenarlarının körlenmesi üzerindeki etkisini belirlemişlerdir. Dişli çark dişlerinin yüzey pürüzlülüğünü de ölçmüşlerdir. TiN kaplanmış azdırma çakı ile (Ti 0,5-Al 0,5)N kaplanmış azdırma çakılar benzer performanslar göstermiş fakat daha düşük olan yanak aşınması nedeniyle (Ti 0,5-Al 0,5)N'nin TiN kaplamaya bir alternatif olabileceğini söylemişlerdir [83].

Dai ve ark. yaptıkları çalışma sonucunda, CVD yöntemiyle elmas kaplanmış azdırmaların takım ömrü ve işleme kalitesi açısından diğer kaplama türlerinden yaklaşık olarak 10 kat daha iyi olduğunu söylemişlerdir [84].

Stachurski ve Slupik, 60 HRC sertliğinde 18H2N2 (Polonya Standardı) malzemenin silindirik düz dişli çark, yine aynı sertlik değerinde 15HGM (Polonya Standardı) malzemenin de konik dişli çark işlemişlerdir. İşlemlerde K10 karbür insert kesici ve özel azdırma çakı kullanmışlardır. Çalışmalarında; takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, kesme hızı ömür ilişkisi, mikrosertlikler gibi konuları incelemişlerdir. Sonuçta seri üretimde azdırma çakının kullanımının daha ekonomik olduğunu söylemişlerdir. Ayrıca difüzyonun neden olduğu krater aşınmasının oluşması ihtimalinden dolayı kesme hızının 90 m/dak'yı aşmaması gerektiğini vurgulamışlardır [85].

Yonekura ve ark., fazla sertleştirilmiş büyük modüllü dişli çarkların bitirme tamlığının iyileştirilmesinde uygun bir metod bulmak için modül 8 karbür azdırma çakı ile hem universal hem de CNC azdırma tezgahlarda deneyler yapmışlardır. Azdırma çakının uygunluğu, universal tezgahta kesici kenarda çıtlama olmaksızın bir dişli çarkın sadece bir dişinin son bitirme işlemini yapmaktaki performansı ile karakterize edilmiştir. Ancak, yüksek sertlikteki dişli çarkın tamlığında yetersiz olmuş ve özellikle de diş profil hataları sıklıkla görülmüştür. Bu nedenle büyük dişli çarklar için yüksek rijitlikte ve salgıları elimine eden yeni CNC azdırma tezgahları geliştirilmiştir. Deneysel sonuçlardan, sertleştirilmiş dişli çarkların bitirme işlemlerinde etkili olan yeni azdırma freze tezgahları imal edilmiştir Çizelge 2.1'de deneylerde kullanılan azdırma çakı, tezgah ve deney dişli çarkının özellikleri verilmiştir [86].

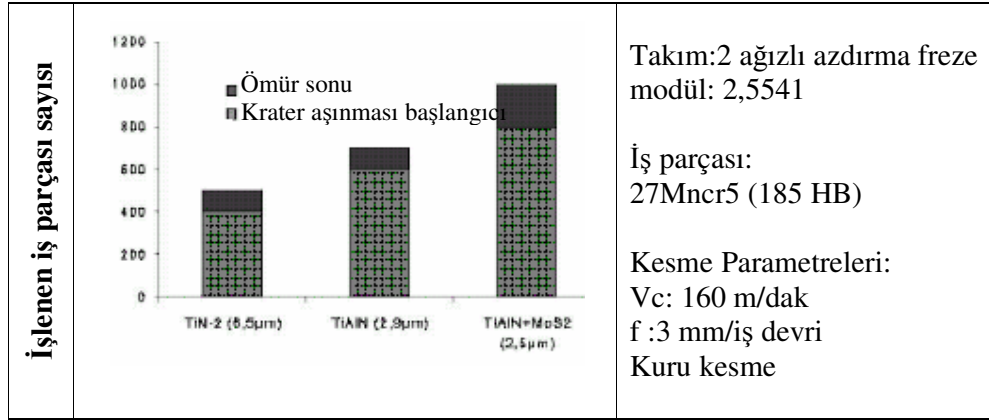
Kima ve ark., dişli çark planyalama (fellows) işlemi için akustik emisyonun kullanıldığı on-line takım ömrü görüntülemenin geliştirilmesini incelemiştir. Akustik emisyon sinyallerinin karakteristik özellikleri; kesme koşulları, takım malzemesi ve malzemenin kesilmesindeki takım geometrisi ile ilgilidir. Akustik emisyon sinyalleri ve takım aşınması arasındaki ilişki deneysel olarak araştırılmıştır. Kima ve arkadaşları deneylerini; 44 dişli bir pinyon kesici ile SCM420 malzemeye dişli çark açılması esnasında yapmıştır. Etkili akustik emisyon gerilim voltajının, takım aşınmasına göre düzenli olarak arttığını belirtmişlerdir. Takım ömrü görüntülemeye akustik emisyon voltajının maksimum değerinin etkili bir parametre olduğunu söylemişlerdir. Bu çalışmada; hem dönel cisimler için akustik emisyon sinyallerinin kazanılması hem de sinyal işleme tekniklerini, dişli çark işlemede gerçek zamanlı işlem görüntülenmesi için geliştirmişlerdir. On-line takım ömrü görüntüleme sistemi geliştirilerek dişli çark açma işlemlerinde başarıyla uygulanmıştır [87].

Çizelge 2.1. Deneylelerdeki azdırma çakı, tezgah ve deney dişlisi özellikleri [86].

<b>HASSAS KESME AZDIRMA ÇAKI</b>			
Modül	8		
Kavrama açısı	20°		
Çap	150 mm		
Talaş açısı	30°		
Talaş kanalı sayısı	12		
Ağız sayısı	1		
<b>KESME KOŞULLARI</b>			
Azdırma tezgahı	A(KR -1000), B(KL-1000 CNC)		
Kesme hızı	75 mm/dak		
İlerleme	2 mm/devir		
Kesme derinliği	0.35 mm		
Kesme yönü	Zıt yönlü, kuru işleme.		
<b>DENEY DİŞLİ ÇARKI</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
Diş sayısı (Z)	18	84	84
Helis açısı ( $\beta$ )	0°	0°	0°
Dişli çark genişliği (b)	60mm	62mm	62mm
Sertlik HRC	60	60	60
Malzeme	SCM420	SCM415	S45C

Rech ve ark., çift fonksiyonlu kaplamaların davranışlarını incelemek için azdırma freze çakılarını fiziksel buhar çökertme (PVD) metoduyla kaplamışlardır. Azdırma freze çakısının test edilmesi ile ilgili ayrıntılar hazırlandıktan sonra, işleme deneyleri yapmışlardır. ASP2052 ve (Ti,Al)N+MoS<sub>2</sub>'nin birleştirilmesi ile kaplanan HSS azdırma çakıların yüksek hızlı dişli çark açmada dikkate değer performanslarını özellikle belirtmişlerdir. Çalışmalarında her bir azdırma freze çakısının aşınma anına kadar kaç tane parça işlediğini tespit etmişlerdir. Şekil 2.3'te elde ettikleri veriler ile ilgili bir grafik verilmiştir [88].

Vicenzi ve ark., 16MnCr5 malzemeyle dişli çark genişliği 12 mm olan dişli çark işlemişlerdir. Deneylelerde 450 ve 550 m/dak kesme hızı, 3 ve 4 mm/iş devri ilerleme ile 600 adet dişli çark işlemişler. Deneylelerde fabrikasyon sermet azdırma (CCG) ile özel olarak üretilmiş F10M azdırma çakı kullanmışlardır. Sonuçta F10M azdırmaların kuru işleme koşullarında fabrikasyon sermet azdırmaya göre daha iyi performans gösterdiğini söylemişlerdir [89].



Şekil 2.3. Kaplamalar ve işlenen parça sayısı arasındaki ilişki [88].

Matsuoka ve Tsuda çalışmalarında, azdırma ile kuru kesme sırasında azdırma ağız sayısının ve ilerleme değerinin krater aşınması, yanak aşınması ile yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisini incelemiştir. Çalışmalarının sonucunda ilerleme değerinin artırılması ile krater ve yanak aşınmasında bir azalma görülürken pürüzlülükte bir artış görülmüştür. Azdırma ağız sayısındaki artışın pürüzlülüğü olumlu yönde etkilediğini belirtmişlerdir [90].

Kim, “Azdırma freze çakısı geometrisi ve aynı ya da zıt yönlü kesme operasyonu ile silindirik dişli çarkların üretiminin simülasyonu” isimli çalışmada, azdırma frezelerin geometrisini temsil eden bir metodu eğrilerden oluşan koordinatları kullanarak geliştirmiştir. Tanımlanan metodun, üretilen dişli çarklarda azdırma profil hatalarının etkisini ve ayar hatalarının görülmesine izin verdiğini belirtilmiştir. Bu nedenle azdırma tasarım parametrelerinde ve izin verilebilir ayarlama hatalarındaki toleranslar etkin olarak belirtilebilmiştir. Kesici geometrisinin tam ve kesin olarak tanımlanmasının, azdırma çakı geometrisindeki sapmaların üretilen parçalara etkisini anlamak için bir zorunluluk olduğunu vurgulamışlardır [91].

Bouzakis ve ark., “Azdırma ile dişli çark işlemede kesme işleminin simülasyonu ve takım aşınmasının tahmini için modeller” isimli çalışmalarında, azdırma ile dişli çark işlenmesinde takım aşınmasının seyrini deneysel ve analitik metotlar ile

açıklamışlardır. Tanıtılan işlemler; mümkün olan her azdırma operasyonunu kapsayacak biçimde aşınma tiplerini ve mekanizmalarını belirlemek için analitik olarak belirlenmiş takım geometrisi ve deney sonuçlarının ilişkilendirilmesi temeline oturtulmuştur. Bu yolla tek bir kesmede, azdırma dışındaki aşınmanın ilerlemesini matematiksel modellerle detaylı olarak belirlemek mümkün olacaktır. Yapılan çalışmanın sonuçları, azdırma ile dişli çark açmada takım aşınma davranışını tahmin etmek, kesme işleminin optimizasyonu ve azdırma çakı dişlerinde aynı tarzda dağılan kontrollü bir aşınma elde etmek için önerilen analitik-deneysel yaklaşımların başarıyla uygulanabildiğini göstermektedir [5].

Antoniadis ve ark., sementit karbür azdırma çakılarla yaptıkları deneylerde saptanan erken yorulma kusurlarını analitik ve sayısal yazılım araçları kullanarak incelemişlerdir. FRSFEM modelinin uygulanmasıyla, kesme olayındaki her bir üretim pozisyonu için kesme kuvveti bileşenlerinin ve talaşların belirlenmesi sağlanmıştır. Sert metal takımlarla dişli çark işlemede oluşan gerilme bölgelerini kesin olarak hesaplayabilmek için azdırma çakı diş geometrisinin güvenilir bir katı model FEM simülasyonu yapılmıştır. Bu model takımların deney sonuçlarının anlamını açıklamak için kullanılmıştır. Böylece gerilme hesaplanması ve malzemenin mekanik özellikleri vasıtası ile beklenen takım ömrü ve erken kırılmanın beklendiği kesme şartları tespit edilebilmiştir. Yazarların hazırladıkları model, takım - iş parçası kombinasyonun geniş alternatifleri için optimum kesme koşullarına ait bir veri tabanı oluşturulmasını sağlamıştır [9].

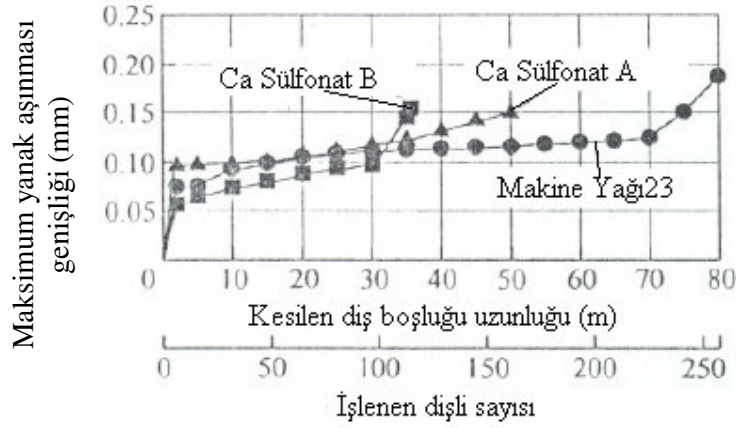
Antoniadis ve ark., “Azdırma ile dişli çark açmada sementit karbürlerin yorulma kırılmasının araştırılması, bölüm 2: takım gerilme seviyesine kesme parametrelerinin etkisi- nicel parametrik analiz” isimli çalışmalarında, sementit karbür kesici dişleri olan azdırma frezeler ile dişli çark açmada meydana gelen gerilme düzeylerine kesme parametrelerinin etkisinin nicel olarak tanımlandığı bir parametrik analiz göstermişlerdir. Yapılan analiz ile özetlenen sayısal sonuçlar, aksel ilerlemenin önemli parametreleri, azdırma işleminin kinematığı ve kesme geometrisi hakkında önemli bulgular sağlamıştır. Takım geometrisi hakkında, azdırma freze talaş kanalı sayısının takım ömrüne önemli etkisinin bulunduğu oysa çakı çapının beklenen takım



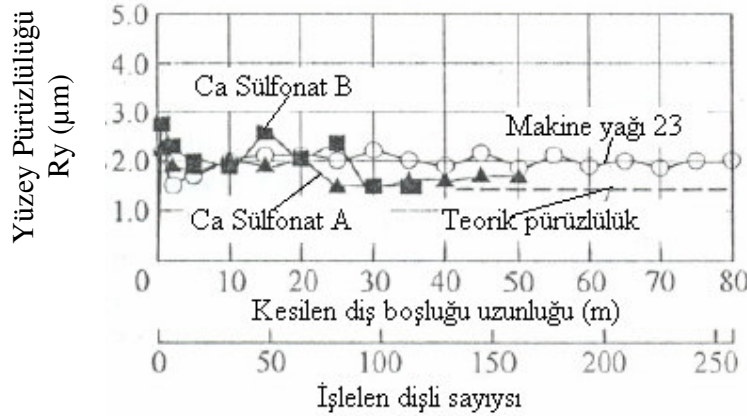
ömrüne etkisinin olmadığını söylemişlerdir. Sunulan analiz önceden belirlenmiş takım ömründe sadece yorulma kırılmasından dolayı hata vermektedir. Bu varsayımda kesici dişlerdeki yorulma kritik seviyenin biraz üzerinde olursa ömür tahmini başarılı yapılamaz. Ayrıca yorulma tehlikesinden dolayı kesici takımlar bilinen ve diğer aşındırıcı mekanizmaları ile aşınmaktadır. Oluşan erken yorulma belirtilerinden sakınılması gerektiği hatırlanırsa, sementit karbürler HSS kesicilere tercih edilmeli ve özellikle PVD ve CVD ile ince sert kaplama yapılabilir. Burada takım ömrünün optimizasyonu ile azdırma freze tezgahlarının maksimum ekonomik ömürde kullanılmalarını sağlamışlardır [10].

Rech, çalışmasında azdırma ile yüksek hızlı dişli çark işlemede kesici uç geometrisinin belirlenmesi için fly tool adını verdiği tek uçlu kaplamalı ve kaplamasız PM-HSS bir takım kullanmıştır. 5 eksenli bir CNC freze tezgahında bu takımı kullanarak dişli çark işlemiştir. İşlemi azdırma yöntemine uygun olarak gerçekleştirmiştir. Çalışmasında, helis açısı  $30^\circ$ , 23 dişli ve modülü 2 olan dişli çark işlemiştir. Dişli çark malzemesi 27MnCr5 ve 270HB sertlik değerindedir. Deneyler sonucunda PM- HSS kesici takımlar ile kuru işlemede optimum kesici kenar radyüsünün 10-20 $\mu$ m arasında uygun olduğu görülmüştür [92].

Matsuoka ve ark., azdırma frezeleme işlemlerinde yanak ve krater aşınmasına, takım ömrüne ve bitirme yüzey pürüzlülüğüne kalsiyum sülfonatın etkisini araştırmışlardır. Deneylerinde TiN ve (Al, Ti)N filmiyle tamamen kaplanmış iki çeşit azdırma çakı kullanmışlardır. Deneyler sonucunda; TiN kaplanmış takım kullanıldığında kalsiyum sülfonat takım ömrünü uzatmış ve 23 numaralı petrol esaslı kesme yağına kıyasla krater aşınmasını azaltmıştır. (Al, Ti)N ile kaplanmış takımlarda ise petrol esaslı ve katkısız kesme yağları kalsiyum sülfonata kıyasla daha uzun takım ömrü ortaya çıkmıştır. Bunun, kalsiyum sülfonatın kimyasal ve/veya korozif etkisinden kaynaklandığı öne sürülmüştür. Kalsiyum sülfonatlar her iki kaplama çeşidi için bitirme yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmiştir. Şekil 2.4 ve 2.5’de tamamen (Al, Ti)N kaplanmış takıma ait maksimum yanak aşınması ve bitirme yüzey pürüzlülüğünü gösteren grafikler verilmiştir [93].



Şekil 2.4. Tamamen (Al, Ti)N kaplanmış takımda oluşan maksimum yanak aşınması [93].



Şekil 2.5. Tamamen (Al, Ti)N kaplanmış takımda bitirme yüzey pürüzlülüğü [93].

Matsuoka ve Tsuda azdırma ile kuru kesme sırasında kaplamanın krater aşınması davranışına etkisini incelemişlerdir. Kuru kesme işleminde kaplamanın daha uygun olduğunu belirtmişlerdir. Kaplama filminin plastik deformasyona uğramasından dolayı kaplanmış talaş yüzeyinde krater aşınması görülmüştür. Kaplama tabakalarının kalkmasıyla krater aşınması takım malzemesine doğru ilerlemiştir. Kesme işleminin sürmesi ile kesilen talaşların aşındırıcı etkisi nedeniyle krater aşınmasının arttığı belirtilmiştir [94].

Sugimoto ve ark., “İndüksiyonla sertleştirilmiş ve karbürlenmiş dişli çarkların bitirme işleminde hassas kesme azdırma çakıların performansı” isimli çalışmalarında, karbonlu ve alaşımlı çeliklerden yapılan sertleştirilmiş dişli çarkların son bitirme işlemleri için karbür hassas kesme azdırma çakı ve TiN kaplamalı hassas kesme azdırma çakılar kullanarak bunların performanslarını incelemiştir. Sertleştirilmiş dişli çarkların son bitirme işlemi için kullanılan karbür azdırma çakının takım ömründe kesici ucun serbest kesici kenarında meydana gelen yanak aşınması ve/veya çıtlamanın klavuz (esas) kesici kenara göre daha etkili olduğu bulunmuştur. Yazarlar çalışmalarında 6 çeşit karbür azdırma freze çakısı kullanmışlar ve aşağıdaki sonuçları bulduklarını açıklamışlardır:

- 600 HV civarında indüksiyonla sertleştirilmiş dişli çarkların son bitirme işlemleri kaplamasız karbür hassas kesme azdırma çakı ile kolayca yapılabilmiştir.
- 750 HV civarına karbürizasyonla sertleştirilen dişli çarkların son bitirme işlemleri, kullanılan kaplamasız karbür hassas kesme azdırma çakının kesici kenarlarındaki çıtlama ve aşınmadan dolayı güçlüklerle yapılabilmiştir.
- 5µm kalınlıkta TiN kaplanmış karbür hassas kesme azdırma çakı kullanıldığında takım ömrü kaplamasız olana nazaran 10 kat artmıştır.
- Sadece yanak kısmı kaplanmış hassas kesme azdırma çakının takım ömrü özellikle indüksiyonla 600 HV civarında sertleştirilmiş dişli çarkların son bitirme işlemlerinde etkileyici oranda artmıştır.
- Kesici kenarın serbest tarafındaki takım aşınması, karbürizasyonla sertleştirilmiş dişli çarkların işlenmesinde klavuz taraftan fark edilir derecede fazladır.
- Aşınmadaki farklılığın nedeni, klavuz ve serbest tarafın maksimum takım açılarındaki farklılığın hesaplanmasıyla açıklanmıştır [95].

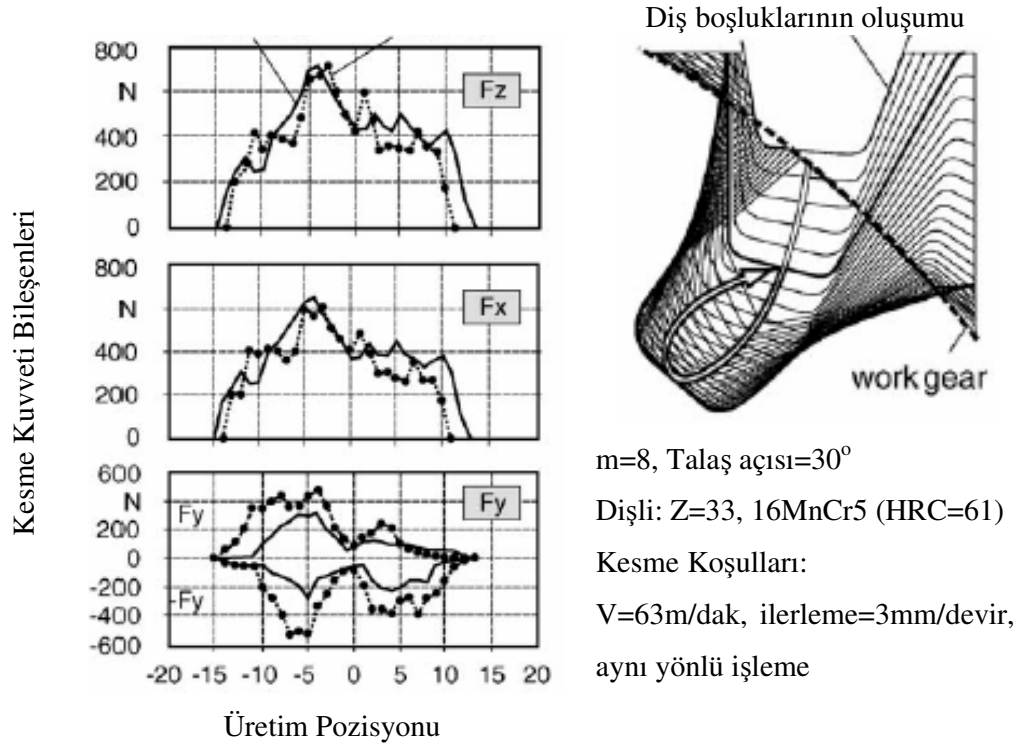
Son zamanlarda dikkati çeken dişli çark malzemesi olan östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirden azdırma ile dişli çark üretimi üzerine yapılan çalışma sayısında artış görülmektedir. Bu malzemenin çeliğe eşdeğer mukavemeti ve ekonomik olması gibi bir çok avantajları vardır. Sertleştirilmiş olan dişli çark dişlerinin işlenmesinin zor olduğu düşünülür, eğer bunun aksi mümkün olursa, üretim maliyetleri azalacak, dişli çark diş yüzeylerine son işlem yapılmadan

kullanılabilecek, ısıtıl işlemde kaynaklanan çarpılmalar ortadan kalkacaktır. Ueno ve ark. çalışmalarında, azdırma kesici ağzına aynen benzeyen tek kesicili bir takım kullanarak östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir malzemedan dişli çark işlemler ve sonuçları incelemişlerdir [96].

Matsuoka ve ark., “Östemperlenmiş dökme demir dişli çarkın azdırma çakı ile işlenmesi üzerine temel araştırma (Grafit parçacıklarının işlenebilirliğe etkisi)” isimli çalışmalarında, östemperlenmiş dökme demirlerdeki (ADI) grafit parçacıklarının (grafit parçacıklarının sayısı) takım aşınmasına ve bitirme yüzey pürüzlülüğüne etkisini TiN ve (Al, Ti)N kaplanmış HSS azdırma çakılar kullanarak araştırmışlardır. Deneyleri kuru olarak, 47 m/dak kesme hızında azdırmanın bir kesici ağzıyla aynı geometrik özellikteki kesici kullanarak yapmışlardır. Sonuç olarak aşağıdaki noktaları aydınlatmışlardır:

- ADI 1 mm<sup>2</sup>'de ortalama 284 adet grafit parçacığı ihtiva ettiğinde (ortalama çap 28 µm) kesici takımda bozulma olmaksızın iyi bir işlenebilirlik göstermiştir. (Al, Ti)N kaplamalı takım kullanıldığında takım ömrü iyileşmiş ve kesme sonunda yüzey pürüzlülüğü Ry 3,5µm olmuştur.
- ADI işlendiğinde oluşan takım bozulmalarının talaş yüzeyinde biriken metalin aşındırıcı etkisiyle oluştuğu ileri sürülmüştür.
- Aşınma ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki tanımlanmıştır [97].

Ariura ve Umezaki, “Özel tasarlanmış hassas kesme azdırma çakıları ile yüksek hassasiyette azdırma frezeleme” isimli çalışmalarında, en ideal son işlemleri ekonomiklik ve verimlilik yönünden araştırmışlardır. Farklı hassas kesme azdırma çakılarla son bitirme işlemlerini ele almışlardır. Deneylerinde sermet, karbür ve CBN azdırma çakılar kullanmışlar, bunların yanak aşınması iz genişlikleri, üretilen dişli çarkların yüzey pürüzlülüğü ve diş profil doğruluğunu karşılaştırmışlardır. Yazarlara göre hassas kesme azdırma çakılarda şu özellikler olmalıdır: iyi bir aşınma ve çatlama direnci, işlenen diş yüzeylerinin düzgün olması ve yüksek hassasiyetle işleme [98].



Şekil 2.6. Hassas kesme dişli çark işlemede tek üretim pozisyonunda oluşan kesme kuvveti bileşenleri [99].

Antoniadis ve ark., “Hassas dişli çark kesmenin bir simülasyon modeli” isimli çalışmalarında, hassas kesme işleminin ürün ve biçimlenmemiş talaş ölçüleri gibi titizlikle simüle edildiği karmaşık algoritmaları ve sonuç olarak da kesme kuvveti bileşenlerini belirtmişlerdir. Çalışmada kesme kuvveti bileşenlerinin yönleri yorumlanmış, kompleks ve pahalı olan kesici takımların aşınma davranışlarının önceden belirlenmesi mümkün olmuştur. Ayrıca göze çarpan bir başka nokta da, değişik kesme profilleriyle dişli çarkın kaba işlenmesinin simülasyonu, kaldırılan bitirme talaşı miktarının analitik olarak belirlenmesi ve kesme kuvvetlerinin yönünün tahmini mümkün olmuştur. Şekil 2.6’da hassas kesme dişli çark işlemede tek üretim pozisyonunda oluşan kesme kuvveti bileşenleri görülmektedir [99].

Komori ve ark., çalışmalarında azdırma işleminde takım talaş ara yüzeyinde talaş oluşumunun seyri ve azdırma freze çakısı kesici kenarı ile dişli çark (iş parçası) diş yanakları arasındaki boşluğu açıklamak için kapsamlı bir simülasyon programı

geliştirmişlerdir. Geliştirilen simülasyon ile talaş kırılma mekanizması ve kesici kenardaki bozulmalar açıklanmaktadır. Kesici kenarda oluşabilecek çıtlamaları değerlendirmek için bir simülasyon medotu önermişlerdir. Ayrıca önerilen simülasyonda talaş oluşumunun grafiksel olarak gösterimi ve kesme bölgesinin biçimiyle büyüklüğünün tanımlanması yoluyla talaş oluşum olayının anlaşılması kolay olmaktadır. Takım talaş yüzeyinde talaş oluşumunun seyri, kesici kenarın kesme pozisyonlarının eş zamanlı hesaplanması ile etkili bir biçimde tasvir edilebilmiştir [100].

Seri üretim şartlarında azdırma freze tezgahlarında dişli çark açma işlemi sırasında çoğunlukla soğutma sıvıları veya kesme yağları kullanılmaktadır. Özellikle üretilen dişli çark diş yüzeylerinde iyi bir pürüzlülük değeri ve ideal takım ömrü elde etmek için kesme yağı veya soğutma sıvısı kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra kuru olarak (kesme yağı veya soğutma sıvısı kullanmadan) dişli çark açmanın da bazı önemli avantajları vardır. Bunlar: üretim maliyetlerinin azalması, verimliliğin artması, en önemlisi de çevreyi kirletici ve insan sağlığına zararlı etkilerinin çok daha az olmasıdır. Bu avantajlarına rağmen kuru işlemede, azdırma freze çakısında aşınmalar, üretilen dişli çarkın diş yanaklarında bozulmalar ve daha kaba bir yüzey pürüzlülüğü ortaya çıkabilmektedir [101-103].

Ayrıca Kobialka, yukarıda bahsedilenlere paralel olarak kuru işleme için uygun işleme stratejisinin belirlenmesi, uygun tezgah ve azdırmanın belirlenmesi konuları üzerinde durmuştur. Buna yönelik olarak; direkt tahrikli takım ve iş parçası mili ile mevcut makine kavramlarının, yüksek ilerleme ve yüksek kesme hızları için daha olumlu sonuçlar verdiğini, bunun yanında toz metalurjisi yoluyla üretilmiş HSS azdırmaların mükemmel aşınma dirençli (Ti,Al)N esaslı kaplamalarla birleşince kuru işleme için etkili bir takım olarak öne çıktığını vurgulamıştır [104].

Tokawa ve ark. TiAlN kaplamalı yüksek hız çeliği azdırma kullanarak azdırma tezgahında kuru olarak çevreyle dost azdırma işlemi gerçekleştirilmişlerdir. Sonuçlarda; toplam kesme maliyetin %34 azaldığı, kesme hızının iki kat, takım ömrünün 5 kat arttığı ve elektrik maliyetlerinin de %51 azaldığı görülmüştür [105].

Matsuoka ve ark. kesme yağı miktarının minimum tutulmasının etkilerinin kuru ve tam akışlı kesme yağı kullanılan azdırma işlemleri ile kıyaslayarak yanak ve krater aşınması ile pürüzlülük açısından değerlendirmişlerdir. Ayrıca farklı tiplerde kaplamalar kullanmışlardır. Çalışmalarında ortaya çıkan önemli noktanın kesme yağı akışındaki artışla yanak aşınması değeri de artması olduğunu belirtmişlerdir. Hatta kesme yağı tam akışlı uygulandığında en yüksek değerine ulaşmıştır. Krater aşınması minimum kesme yağı akışında, kuru ve tam kesme yağı akışına göre daha az görülmüştür [106].

Umezaki ve ark. çalışmalarında, dişli çark azdırma işlemlerinde diş profil hatalarının nedenleri, hatasız dişli çark üretimi için diş profil hatalarının ölçümleri ile hesaplamalarının karşılaştırılması yapılarak araştırılmıştır. Dişli çarklar değişik kesme şartları altında işlenmiştir. Yığıma kenar oluşma ihtimali zor olduğundan küresel grafitli dökme demir deney malzemesi olarak kullanılmıştır. Bu karşılaştırmalardan diş profil hataları ana sebebinin geometrik sapmaların ve azdırma salgısının olduğu işaret edilmiştir. Azdırma işleminin dinamik hatalarının neden olduğu diş profil bozuklukları, helis dişli çarkların azdırma ile işlenmesinde az çok görüldüğü halde, bu şartlar altında çok küçük olduğu vurgulanmıştır [107].

Liu ve ark. çalışmalarında, azdırma işleminde sıcaklığın ölçülmesi için iş parçası-takım ısı çifti prensibine göre bir ekipman geliştirmişlerdir. Dişli çark azdırma işleminde kesme sıcaklığının değişim özeliği; azdırma işlemi sıcaklığı ile kesme şartları arasındaki ilişkiye ve azdırma işlem sıcaklığına kesme şartlarının etkisi deneyler aracılığı ile tartışılmıştır. Bunların tümü, kesme şartlarının ve azdırmanın geometrik parametrelerinin uygun seçimi, azdırmaların takım ömrünün uzatılmasını ve dişli çark azdırma işlemlerinin önceden planlanması için referans standartlar sağlamıştır [108].

Literatüre bakıldığında, azdırma freze çakılarında kesme kuvvetlerinin ölçülmesi ve takım aşınmasının tespiti üzerine yapılan çalışma sayısı diğer talaşlı imalat operasyonlarında yapılan kesme kuvvetleri ve takım aşınması çalışmalarına oranla

daha az olduğu göze çarpmaktadır. Azdırma işleminin kinematiğinin karmaşıklığının bunda etkili olduğu araştırmacılar tarafından önemle işaret edilen bir faktördür.

Çalışmalarda azdırma işleminde meydana gelen kesme kuvvetleri ve bileşenlerinin deneysel olarak ölçülmesi, analizleri ve sonlu elemanlar metodu ile gerilme analizlerinin yapılması gibi konuların ele alındığı görülmektedir. Kuvvet ölçümlerinin gerinim ölçerler aracılığı ile parça üzerinden ya da azdırma milinden alındığı görülmektedir. Ayrıca takım aşınmasında etkili olan aşınma mekanizmaları, talaş oluşumu, talaş tipleri ve etkili olan kesme parametreleri de araştırılmıştır. Bazı araştırmacılar da, hassas kesme azdırma çakılardaki aşınma davranışları ve kesme kinematiği ile bu işlemin simülasyonu gibi konuları ele almışlardır. Çalışmalarda göze çarpan en önemli ayrıntı; yapılan çalışmaların birçoğunda deney şartlarını kolaylaştırmak için özel tasarlanmış tek bir kesici dişi olan çakıların kullanılmasıdır.

Azdırma usulü dişli çark imalatı yapan bazı işletmeler, bir azdırma freze çakısı ile işlenen dişli çark sayısını esas alarak, çakı seçimi ve optimum kullanımına yönelik basit bir yöntem kullanmaktadırlar. Bu yöntem çok fazla zaman gerektirmekte ve bilimsel ciddiyetten uzak olmaktadır. Bu nedenle dişli çark üretiminde yaygın olarak kullanılan Ç4140, Ç4340, Ç8620 veya paslanmaz çelikler kullanarak, azdırma yöntemi ile dişli çark işlenmesinde elde edilecek aşınma ve kesme kuvvetleri sonuçlarının kesme hızı, ilerleme vb. parametrelerle olan ilişkilerinin değerlendirilmesi, kesme koşulları, maliyet ve zaman kaybına yönelik değerlendirmeler yapılabilecektir. Böylece; dişli çark imalat sektöründe yaygın olarak kullanılan azdırma freze çakılarının da kesici takım ömründen daha verimli yararlanılabilecektir.

Yapılan bu çalışmada ise, azdırma yöntemi ile dişli çark açma işlemi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin ölçülmesi, oluşan takım aşınmalarının tiplerinin ve etkin aşınma mekanizmalarının tespiti ve yüzey pürüzlülüklerinin belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca elde edilen deney sonuçlarının istatistiksel analizleri de yapılmıştır. Deneylemin tamamı üniversal azdırma freze tezgahında standart azdırma çakılar kullanılarak yapılmıştır. Kesme kuvvetlerinin ölçülebilmesi gerçek kesme



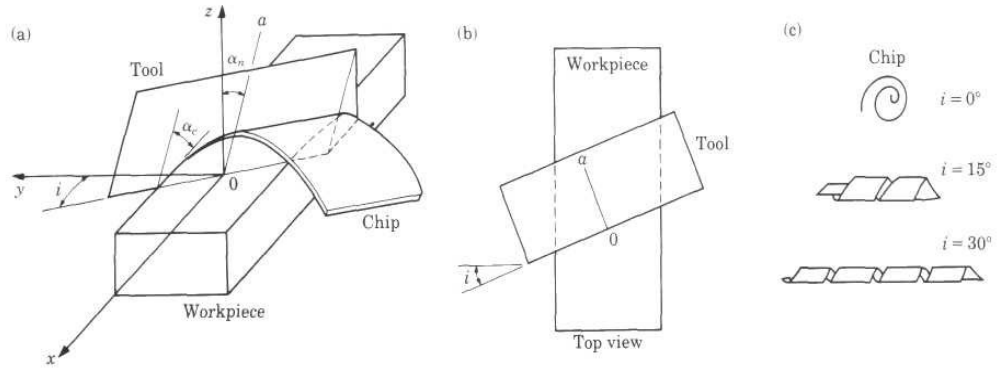
şartlarında oluşabilecek durumlar dikkate alınarak bir deney seti tasarlanmış, imal edilmiş ve yapılan kesme deneyi ile kesme kuvvetlerinin ölçülebildiği ortaya konmuştur. Sistemde, kuvvet ölçümü için KISTLER 9272A 4 bileşenli ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ,  $M_z$ ) dinamometre, veri okuma kartı (KISTLER PCIM DAS 1602/16), çok kanallı bir amplifier, verilerin işlenmesi ve grafiklerin elde edilmesi için de KISTLER Dynoware yazılımı kullanılmıştır. Takım aşınmaları ve yüzey pürüzlülüğünün deneylerde kullanılan kesme parametreleri ile olan ilişkileri de ortaya konmuştur. Değerlendirmesi her ne kadar zor olsa da deneysel çalışmanın gerçek kesme şartlarında gerçekleştirilmesi ile elde edilen sonuçlar, azdırma işlemine gerçek doğasının anlaşılmasında ve azdırma akı ile ürün arasındaki ilişkinin değerlendirilmesinde önemli katkılar sağlamıştır.

### **3. KESME KUVVETLERİ, TAKIM AŞINMASI VE İŞLENEBİLİRLİK**

Endüstriyel makine parçalarının birçoğu son kullanım formuna talaşlı imalatla işlenerek getirilmektedir. Talaşlı imalat işleminde iş parçasını istenilen geometriye getirmek için, hammadde formu ve istenilen geometriye bağlı olarak, üzerindeki fazlalıklar uygun takım tezgahı, kesici takım ve kesme parametreleri kullanılarak alınır. Talaş kaldırmak suretiyle, istenilen ölçü, tolerans ve yüzey kalitesinde üretilirler. Uzay ve havacılık, otomotiv ve kalıp gibi endüstriyel alanlarda çoğu ürüne, son şekli talaşlı imalat işlemleriyle verilir [109,110]. Talaşlı imalat işleminde etkin olan kesme hareketi iş parçasının kesici takım önündeki plastik deformasyonunu ve deforme olan bu katmanın talaşa dönüşmesini gerektirir. Bu yöntem çoğunlukla metalleri şekillendirmek için uygulansa da diğer bazı malzemeler de aynı yöntemle şekillendirilebilir [111].

#### **3.1. Kesme Mekanikliği ve Modelleri**

Kesme olayı dik ve eğik kesme olarak ikiye ayrılmıştır. Eğik kesme üç boyutlu bir davranış göstermektedir. Kesme mekanikliği ve talaş oluşum mekanizması bu iki modelde farklı olarak açıklanmıştır. 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. Talaşlı imalat yöntemlerinden, vargelleme, delme, frezeleme ve tek noktadan kesme işlemi yapılan tornalama gibi işlemler eğik kesme işlemleridir. Eğik kesme işleminde, kesici takımın kesici kenarı ile kesme hız vektörü arasında bir eğim vardır (Şekil 3.1). Bu eğim, talaşın akış yönünü ve böylece de takımın performansını önemli şekilde etkilemektedir [110].

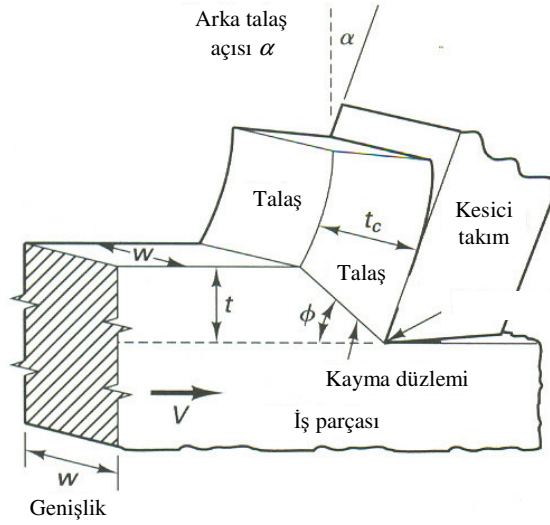


Şekil 3.1. Eğik kesme, a) Şematik gösterim, b) Üstten görünüş, c) Çıkan talaş [112]

Şekil 3.1'deki  $i$  açısı  $0^\circ$  olduğunda işlem dik kesme işlemi olur. Şekil 3.1-a'da eğik kesme işlemi esnasında oluşan bileşke kuvvet üç bileşene ( $x$ ,  $y$  ve  $z$  yönlerinde) ayrılırken, dik kesmede  $y$  yönündeki kuvvet bileşeni sıfır olur. Buna bağlı olarak dik kesme işleminde bileşke kuvvet yalnızca  $x$  ve  $z$  yönlerinde iki bileşene ayrılır.

Dik kesme işleminde ayrıca kayma işleminin tek bir düzlemde gerçekleştiği (kayma işlemi gerçekte ise dar bir kayma bölgesinde gerçekleşir), kesici ucun mükemmel sivri olduğu ve kesici takım boşluk yüzeyi ile yeni işlenen yüzey arasında bir sürtünme olmadığı varsayılır. Şekil 3.2'de görüldüğü gibi iş parçası kesici takım önünden  $V$  kesme hızında geçer. Kesilen talaş, talaş yüzeyi üzerinden kayarak geçer. Bu durumda kayma  $V_s$  hızında ve kayma açısı  $\phi$ 'da gerçekleşir. Kesici takım esas olarak, sahip olduğu  $\alpha$  talaş açısı ve  $\gamma$  boşluk açısı ile bu işlemi gerçekleştirir [49].

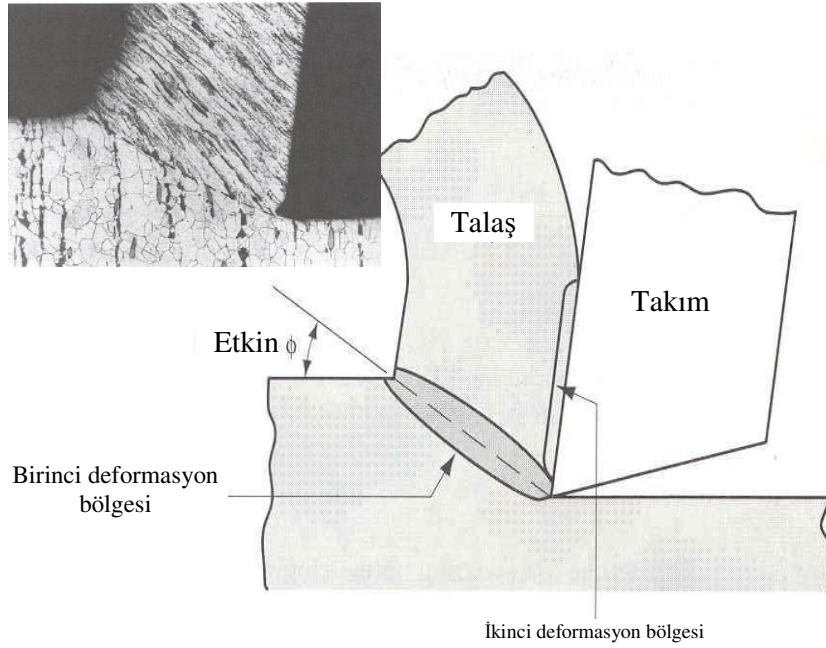
Dik kesme modeli, talaş oluşma işlemi esnasında iş parçası malzemesinin davranışını, kesici takım geometrisinin en kritik elemanını (talaş açısı) ve kesici takım, talaş ve yeni oluşan iş parçası yüzeyi arasındaki etkileşimleri açıklamak için yeterli görülmektedir. Bu modele göre, iş parçasının kesici takımı zorlamasıyla kayma düzleminde iş parçasının kayma gerilmesinin aşılmasıyla talaş oluşumu gerçekleşir [110].



Şekil 3.2. Dik kesmenin şematik olarak gösterilmesi [49]

Gerçekte talaş oluşumu ince bir bölgede gerçekleşir (Şekil 3.3). Talaş oluşumu plastik deformasyonun önemli derecede rol oynadığı bir işlemdir. Talaş oluşumu, iş parçasının kesici takım önündeki bölgesel deformasyonu ile gerçekleşir. İş parçası ve kesici takım arasındaki bağıl hareket sonucu iş parçasında oluşan gerilme, iş parçasını birinci deformasyon bölgesinde plastik deformasyona uğratarak talaş oluşumunu gerçekleştirir. Oluşan talaş, kesici takımın talaş yüzeyi üzerinden geçerken kayma veya yapışma sonucu ikinci defa deformasyona uğrar ve kesme bölgesinden uzaklaştırılır [49].

Kesme sırasında kullanılan güç ekseriyetle ısıya dönüşerek talaşın, iş parçasının ve kesici takımın sıcaklığını artırır. Oluşan ısı sonucu sıcaklık artışı kesici takım performansını ve iş parçası kalitesini etkiler [114].



Şekil 3.3. Gerçek talaş oluşumu [113]

Isının takım aşınması ve takım ömrü üzerinde doğrudan bir etkisi vardır ve kesme hızının artmasını sınırlandırır. Oluşan ısının çoğu, kesme bölgesinden talaş, iş parçası, kesici takım ve ortam tarafından uzaklaştırılır, bunların her biri tarafından uzaklaştırılan ısının miktarı iş parçası malzemesi, kesme parametreleri, kesici takım malzemesi, takım geometrisi ve kesme şartlarıyla değişir. Kesme hızı, kesme sıcaklığı üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Kesme hızının artmasıyla metal kesme işlemindeki deformasyon ve sürtünme için kullanılan birim zamandaki enerji artar ve bu da ısıyı ve dolayısıyla sıcaklığı artırır [115].

### 3.2. Kesme Kuvvetleri

Talaş kaldırma işleminde talaşı iş parçasından ayırmak için büyük bir güce ihtiyaç vardır. Talaş kaldırmak için gerekli olan güç ile kesme kuvvetleri arasında bir ilişki vardır. Kesme kuvvetleri ampirik eşitlikler ile hesaplanabildikleri gibi dinamometre ve benzeri ölçüm sistemleri ile deneysel olarak da tespit edilebilmektedir. Bu

kuvvetler genellikle talaş kaldırma ve talaş kırma kuvvetleridir. Kesme işlemi sırasında kesme bölgesinde ortaya çıkan yüksek gerilme ve sürtünme, çeşitli doğrultulardan kesici üzerine etkiyen kuvvetlerin meydana gelmesine sebep olmaktadır. Kesici kenar üzerine kesme işlemi boyunca uygulanan gerilme esas itibari ile basma gerilmesidir, ancak bir miktar kayma gerilmesinin ortaya çıkması da söz konusudur [116]. Deneysel araştırmaların ortaya koyduğu sonuçlara göre, talaş kaldırma sırasında esas kesme kuvvetini etkileyen değişik faktörler vardır. Bunların en önemlileri [117];

- Kesme hızı faktörü ( $k_v$ ),
- Talaş açısı faktörü ( $k_\gamma$ ),
- Takım aşınma faktörü ( $k_u$ ),
- Takım malzemesi faktörü ( $k_o$ )'dur.

Kesme kuvvetlerini etkileyen faktörlerden birisi takım-talaş arasındaki temas uzunluğudur. Örneğin; iki fazlı ve kesikli talaş çıkaran malzemeleri işlemede, kesici takım ve talaş arasında daha az temas uzunluğunun 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 optimum bir değeri mevcut olup, bu değerin daha fazla artışı kesici ucun dayanımını azaltacağından aşınmayı artırır. Artan aşınma ile birlikte boşluk yüzeyi temas alanını artıracığından takımdaki kesme kuvvetleri artacaktır [118].

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

### 3.2.1. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi

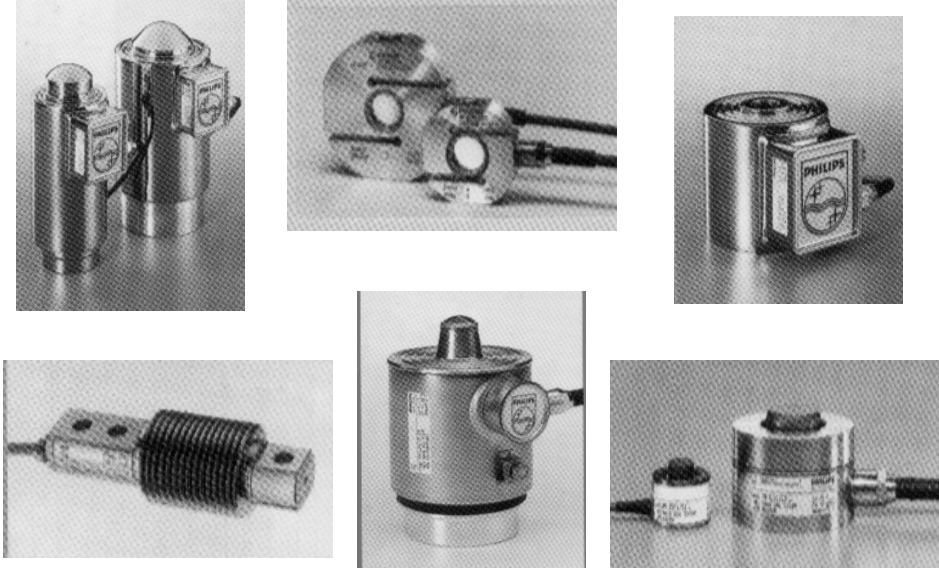
Statik ve dinamik kuvvetlerin ölçülmesinde yük hücrelerinin veya transdüserlerin kullanıldığı dinamometreler yaygın olarak kullanılmaktadır. Burada, elastik bir makine elamanına uygulanan kuvvetin bu elastik elemanda oluşturduğu deformasyon miktarından yola çıkılarak kuvvetler belirlenmektedir. Ancak deformasyonların küçük olması gerinim ölçerlerin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Normal kesme kuvvetleri sadece katı cisimler mekaniğinde karşılaşılan büyüklükler değildir. Örneğin talaş kaldırma işlemi ve talaş oluşumu esnasında oluşan kuvvetler göz önüne alınır ve kesici takımın bir ankastre çubuk gibi davrandığı düşünülürse yatay ve düşey düzlemde takımda oluşan eğilme-burulma ve basma-burkulma kuvvetleri hesaplanabilir.

*Bilinen bir yükü dengelenerek kuvvet ölçme:* Bu yöntemde, ölçülecek olan kuvvet, kütlesi bilinen bir karşı ağırlık ile dengelenir. Bu dengelemeye göre kuvvet, karşı ağırlığın kütlesinin yerçekimi ivmesiyle çarpılması sonucu hesaplanır. (kuvvet=karşı ağırlığın kütlesi x yer çekimi ivmesi). Bu metot yüksek bir hassasiyet sağlamakla birlikte karmaşık bir yapıya sahiptir. Kullanım alanı sınırlı olup, orta büyüklükteki kuvvetlerin ölçümlerinde kullanılmaktadır [45].

Doğrudan kuvvet ölçme metodu olarak da bilinen bu metodun tipik örnekleri; basit bir analitik terazi, çoklu manivelâ sistemler, sarkaç kuvvet ölçme mekanizması, manivela terazi ve kuvvet dengeleme metodudur.

*Elastik cismin deformasyonu ile kuvvet ölçme:* Kuvvet ölçme metodunun ikinci kategorisinde yer alan bu metot, dolaylı kuvvet ölçme metodu olarak da isimlendirilmektedir. Bu metotta ise kalibre edilmiş kütleler veya transdüserler (Şekil 3.4) kullanılmaktadır. Yüksek bir hassasiyet elde etmek için, kaliteli bir elastik cisim seçilir ve bu cisme uygun sınırlar içinde kuvvet uygulanırsa, elastik cismin deformasyonundan kuvvet ölçülebilmektedir. Yük uygulandığında, elastik cisim elastik bölgede kalacak şekilde ölçüm yapılabilmesi için çevre şartlarına göre, uygun boyut ölçme metodlarından birisi kullanılabilir. Kuvvetin doğru ölçülebilmesi için

elastik cisimde ortaya çıkan deformasyonun çok hassas olarak ölçülmesi gerekir. Bu metot, genellikle yüksek hassasiyet sağlar ve tüm yük dönüştürücülerde kullanılabilir [22].



Şekil 3.4. Transdüserler [45].

*Fiziksel özelliklerin değişimi ile kuvvet ölçme:* Malzemelerin fiziksel özelliklerindeki değişiminden yararlanma esasına dayanan bu metodun güvenilirliği diğer iki metoda göre daha azdır. Çünkü fiziksel özelliklerdeki değişim her zaman doğrusal olmamaktadır. Ancak elektriksel olarak değerlendirme yapıldığı için, bilimde ve endüstrideki ölçme işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, deformasyonla elektriksel direnç değiştiğinden deformasyon özelliği ile fiziksel özelliklerin birlikte kullanılması da mümkündür [22].

### 3.2.2. Ölçme sistemleri

Ölçme aletleri, verilerin toplanması ile kayıt aletleri ve verilerin işlenmesi şeklinde iki sınıfa ayrılabilir. Ölçme sistemleri sıcaklık, basınç, kuvvet, strain (gerinim, birim uzama), hız, yer değiştirme gibi farklı büyüklüklerin değişimi hakkında bilgi toplamak amacıyla; bir veya daha fazla aletin kombinasyonundan

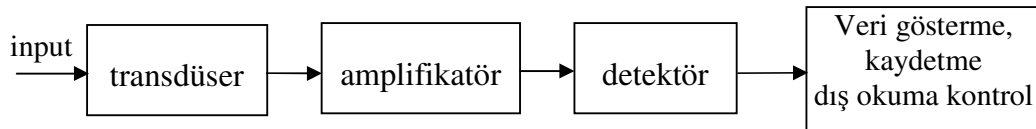


oluşmaktadır. Bu yolla bilgi toplamada çıktı; elde edilen bir ölçüm olarak bilinirken, girdi ise büyüklük miktarındaki değişimdir. Ölçme sistemlerinin karmaşıklığı ise, ölçüm yapan aletin tipine ve istenilen hassasiyete bağlıdır. Ölçme sistemleri temel olarak birincil, ikincil ve üçüncül ölçme sistemleri olarak üç grupta incelenebilmektedir [45].

*Birincil sistemler:* Birincil sistemler istenilen bilginin incelendiği ve herhangi bir ekipman olmaksızın bakma veya dokunma gibi temel duyularla yapılır. Farklı iki uzunluğun birbirleriyle karşılaştırılması şeklinde gerçekleşir.

*İkincil sistemler:* İkincil sistemler, birincil sinyalin (değişim miktarı) başka sinyal şekilleri (ikincil sinyal) değişimini içermektedir. Böyle bir değişimi yapan aletler de transdüser olarak bilinmektedir. Transdüserler birer sensör olmakla beraber, en büyük özelliği enerjiiyi bir şekilden başka bir şekle değiştirmesidir.

*Üçüncül sistemler:* üçüncül sistemler iki çevrimi içermektedir. Birincisi, ikincil sistemlerde olduğu gibi birincil sinyalin ikincil sinyale çevrilmesi ve ikincisi de başka bir üçüncül sinyale dönüştürülmesidir. Örneğin, dönen bir mildeki açısal hızın ölçülmesinde, birincil sinyal (açısal hız) elektro-mekanik bir transdüserle ölçülür ve ikincil elektriksel sinyale (voltaj) çevrilerek sinyal işlenir ve ibreli bir ölçme aletiyle ölçülür. Genel bir ölçme sistemi ise Şekil 3.5’de gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Genel bir ölçme sistemi [45].

Transdüser bloğu, bir sensör ve bir köprü devresi veya bazı uyarım şekilleri için amplifikatör (yüksekteç) tarafından istenilen elektriksel çıkışın üretildiği çeşitli transdüserlerden oluşmaktadır. Basit sistemlerde doğru akım (DC) yeterli olurken birçok hassas sistemlerde alternatif akım (AC) gereklidir. Böyle durumlarda

amplifikatör çıkışı AC olacak ve DC sinyallerini görme ve kontrol amacıyla çevrilmesinde kullanılan bir detektör (faz duyarlıklı alet) de yer alacaktır. Son blok ise elde edilen çıktının (ölçülen değer) gösterildiği, kaydedildiği, okunduğu veya kontrol edildiği birimdir.

### 3.3. Takım Aşınması

Neredeyse bütün talaşlı imalat işlemleri esnasında kesici takımlar belirli bir süre sonra kesme kabiliyetlerini kaybederler. Kesici takım geometrisindeki tedrici şekil değişikliği (aşınma), anlık yüksek kuvvetlerden dolayı kesici ucun kırılması, yüksek sıcaklık ve gerilmeler nedeniyle kesici takım malzemesinin dayanımının azalarak plastik deformasyona uğraması gibi unsurlar kesici takımın kesme kabiliyetini kaybetmesinin nedenlerindedir [119, 120].

Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takımın aşınması aşağıdakilerden biri veya birkaçının aynı anda gözlenmesiyle anlaşılır:

- Kesme kuvvetlerindeki aşırı yükselme,
- Sıcaklık artışı,
- Aşırı titreşim,
- Yüksek gürültü,
- İşlenen malzeme boyutlarındaki değişim,
- İşlenen yüzeyin bozulması [114].

Talaş kaldırma işlemi sırasında kesici takımın kesme kabiliyetini yitirmesine neden olabilen üç faktör mevcuttur:

*Kırılma:* Kesici takıma gelen anlık yüksek kuvvetler nedeniyle oluşan kırılmalar veya sürekli olmayan kesme işlemi (frezeleme işlemi gibi) esnasında mekanik ve ısı yorulmalar sonucu kırık oluşumundan dolayı kesici takımında kırılma ve pullanma-soyulma şeklinde oluşan aşınmalardır.

*Plastik deformasyon:* Kesici takımda plastik deformasyon, yüksek basınç ve sıcaklık sonucu oluşur. Plastik deformasyona uğramış kesici takım geometrisi değiştiği için kesme işlemini etkin bir şekilde yapamaz, sıcaklık artar ve talaş akışı değişir. Plastik deformasyona direnç için kesici takımın sıcak sertlik özelliğinin iyi olması gerekir. Ayrıca, uç yuvarlatma ve kesme geometrisi iyileştirilerek plastik deformasyona direnç artırılabilir.

*Tedrici takım aşınması:* Kesici takım üzerinde tedrici aşınma talaş yüzeyi ve yan yüzey olmak üzere iki bölgede görülür. Talaş yüzeyindeki aşınma “krater aşınması” ve yan yüzeydeki aşınma da “yan yüzey (yanak) aşınması” olarak isimlendirilir [114].

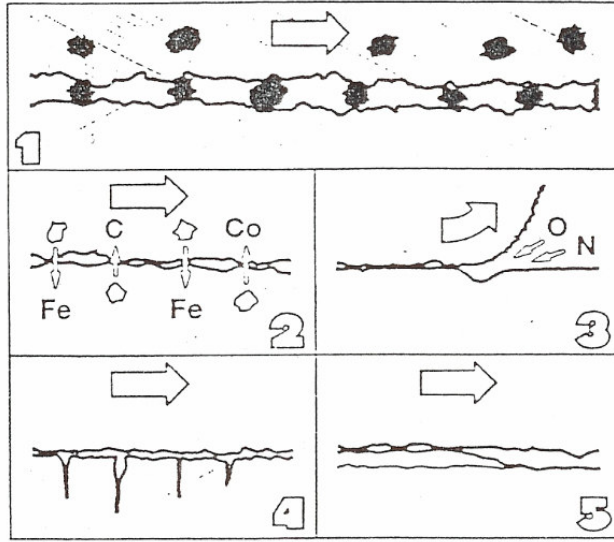
Takım aşınması, kesici kenar üzerine gelen çeşitli yüklerin etkisi ile meydana gelen malzeme kaybı ve kesicide ortaya çıkan geometrik değişikliktir. Aşınmaya neden olan yük faktörleri kesici kenar ömrünü ve kenar geometrisini değiştirmeye çalışır. Bu faktörler;

- Mekanik,
- Termal (Isıl),
- Kimyasal,
- Aşındırıcı faktörlerdir.

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

1. Abresiv (aşındırıcı) aşınma mekanizması,
2. Difüzyon aşınma mekanizması,
3. Oksidasyon aşınma mekanizması,
4. Yorulma ile aşınma mekanizması,
5. Yapışma (adhesiv) aşınma mekanizması [116].

Şekil 3.6’da temel aşınma mekanizmalarının davranışları verilmiştir.



Şekil 3.6. Temel aşınma mekanizmalarının şematik olarak gösterilmesi [116,121].

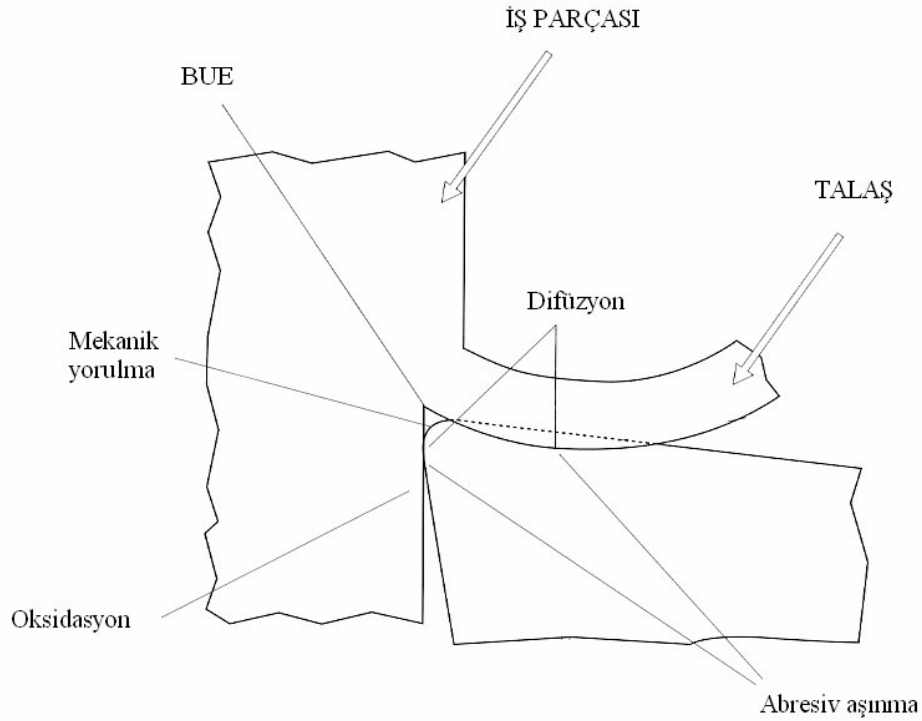
### 3.3.1. Aşınma mekanizmaları

*Abresiv (aşındırıcı) aşınma mekanizması:* En çok görülen aşınma mekanizmalarındandır. Genelde iş parçası içinde bulunan sert parçacıklar sebep olur. Sert parçacıklar iş parçası ile kesici kenar arasına geldiğinde taşlama benzeri bir durum olur ve kenarda aşınmalar başlar. Şekil 3.7’de aşınma mekanizmalarının takım üzerindeki dağılımı verilmiştir

*Difüzyon aşınma mekanizması:* Takım ve talaş yüzeyi arasındaki temas yüzeyinde artan sıcaklık difüzyona sebep olur. Bu nedenle takım-talaş ara yüzeyinde her iki yöne gerçekleşen atomsal düzeydeki yayılım nedeni ile takım malzemesi mikro yapısal değişime uğrar. Çoğunlukla sıcaklığa bağlıdır. Bu nedenle yüksek kesme hızında daha fazla görülür. Yayılım; çelikten takım içine demir transferi ve karbonun talaşa difüzyonu şeklinde olmaktadır.

*Oksidasyon aşınma mekanizması:* Genelde metal malzemeler için yüksek sıcaklık ve havanın varlığı oksidasyonu artırır. Oksidasyon, tungsten ve kobaltta talaş tarafından daha kolay kazınıp uzaklaştırılabilen gözenekli oksit filmi şeklinde oluşur. Kesici

kenarla parçanın ara yüzeyinde, talaş genişliğinin bittiği yerde hava talaş sürecine katılma imkanı bulur ve bu bölgede tipik çentiklerin oluşmasına neden olur [116, 122].



Şekil 3.7. Aşınma mekanizmalarının takım üzerindeki dağılımı [11].

*Yorulma ile aşınma mekanizması:* Termo-mekanik bir olaydır. Kesme bölgesinde sıcaklıktaki düzensiz değişimler ve kesme kuvvetlerindeki dinamik değişimler kesici kenarda çatlama ve kırılmalara neden olur. Yetersiz tokluk nedeni ile talaş kaldırma sırasında kesiciden küçük parçaların kopmasıyla oluşan bir aşınma mekanizmasıdır. Aralıklı kesme işlemi kesici ucun sürekli olarak ısınıp soğumasına ve kesme bölgesinde kesici kenarda şok etkilerine neden olur. Yapışık talaşın altında kaldığından tespiti zordur.

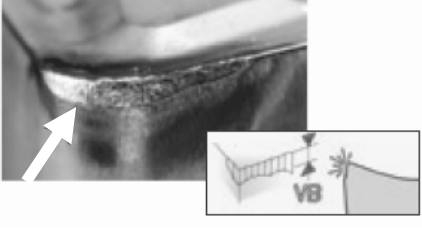
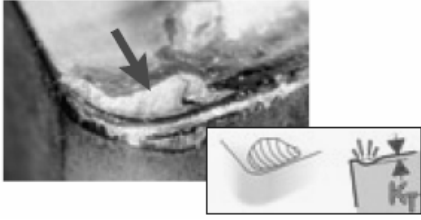
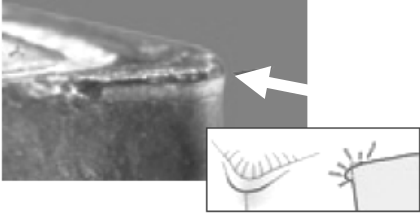
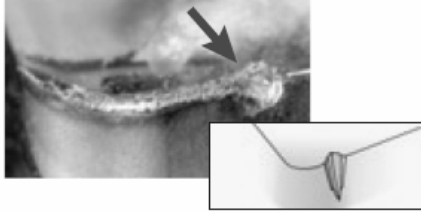
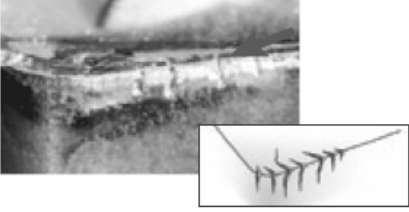

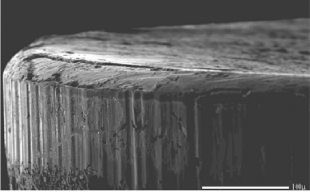
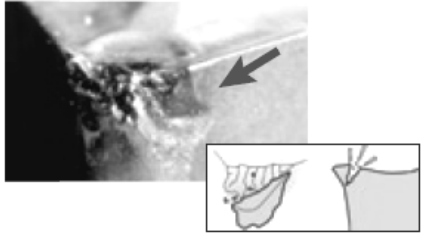
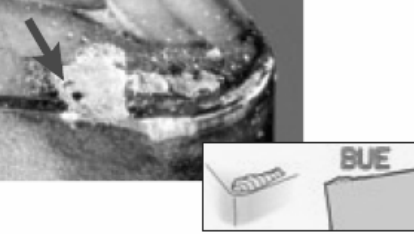
*Yapışma (adhesiv) aşınma mekanizması:* Takım-talaş ara yüzeyinde düşük sıcaklıklarda oluşur. Akma veya kısa talaş veren malzemelerin tamamında görülebilir. Bu mekanizma genellikle kesici kenar ile talaş arasında, kenar üzerinde

yığılmış talaş (BUE) oluşmasına neden olur. Dinamik bir yapısı vardır. Birbirini takip eden talaş katmanları talaş yüzeyine kaynaklanarak sertleşir ve kesici kenarın bir parçası haline alır. Oluşan BUE tabakası yırtılıp kopar ve yenisi oluşur. Bu kopmalar sırasında kesici kenardan parçalarda kopmaya başlar. Yüksek sıcaklıklarda yapışma olayı önemli ölçüde ortadan kalkar. Yapışan tabaka takım geometrisini değiştirdiğinden kesme kuvvetlerini de değiştirir. [116, 122].

### 3.3.2. Aşınma tipleri

Belirtilen aşınma mekanizmaları nedeniyle meydana gelen aşınma tiplerinin sınıflandırılması, işleme tipi, malzeme için doğru işleme şartları ile takım sınıfının belirlenmesinde ve dolayısıyla kesme işleminin optimizasyonu için önemlidir. [116, 121]. Şekil 3.8’de kesici takımlarda görülebilen aşınma tipleri verilmiştir.

1. Yan yüzey (yanak) aşınması : Abrasiv aşınma mekanizmasıyla oluşur.
2. Krater aşınması : Abrasiv ve difüzyon aşınma mekanizmasıyla oluşur.
3. Plastik deformasyon : Yorulma aşınma mekanizmasıyla oluşur.
4. Çentik aşınması : Oksidasyon ve yapışma aşınma mekanizmasıyla oluşur.
5. Termal çatlaklar : Isıl yorulma aşınma mekanizmasıyla oluşur.
6. Mekanik yorulma çatlakları : (Mekanik) yorulma ile aşınma mekanizmasıyla oluşur.
7. Çıtlama (Çentiklenme) : Yorulma aşınma mekanizmasıyla oluşur.
8. Kırılma (Kesici uç kırılması) : Plastik deformasyondan sonra oluşur.
9. Yığılma-sıvanma (BUE) : Adhesiv aşınma mekanizmasıyla oluşur.

	
Yanak Aşınması	Krater Aşınması
	
Plastik Deformasyon	Çentik Aşınması
	
Termal Çatlaklar	Mekanik yorulma çatlakları
	
Çıtlama	Kırılma
	
Yapışma	

Şekil 3.8. Aşınma tipleri [123]

### 3.4. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, talaşlı imalatla şekillendirilmek üzere seçilen malzemenin özelliklerinin (alaşım elementleri ve mikroyapı özellikleri ile sertlik, akma ve çekme dayanımı, ısı iletkenlik, taneler arası bağ özellikleri, elastik modülü gibi parametreleri), seçilen talaşlı imalat yöntemindeki parametrelere (işleme şekli, tezgah gücü ve özellikleri, takım tutucu ve formu, kesici uç malzemesi ve formu, kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, soğutma tipi ve yöntemi, vb.) bağlı olarak, malzemenin ve talaşlı imalat yönteminin değişkenlerinin ayrı ayrı ve bütün olarak sergiledikleri davranışlardır. İşlenebilirlik, ekseriyetle malzemenin özgül bir özelliği olarak algılansa da, sadece işlenen malzemeye bağlı olmayıp aynı zamanda işleme yöntemi ve işleme parametrelerini de kapsamaktadır [111].

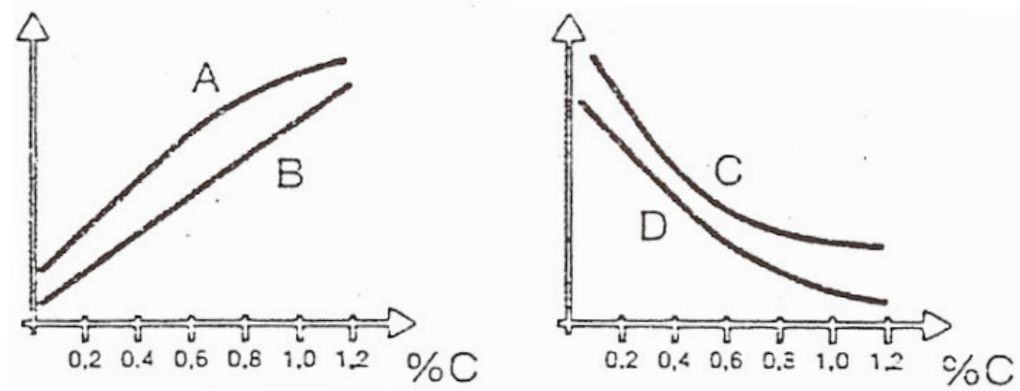
İş parçası malzemesinin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin optimum değerlerde olduğu var sayılarak, seçilen işleme yöntemi ve parametrelerin, hammaddenin işlenmesinde sergiledikleri davranış ve etkilerin, işlenebilirlik açısından değerlendirilmesinde çeşitli kıstaslar kullanılır. Bunlardan en yaygın olanları:

1. İş parçası malzemesi,
2. Takım tezgahı,
3. İşleme biçimi,
4. Takım,
5. Kesme parametreleri,
6. Kesme sıvısı vb [121].

Yapılan üretimde iyi bir işlenebilirlik değeri elde etmek ve talaş kaldırma olayını optimize etmek için malzeme özelliklerinin iyi tayin edilmesi gerekmektedir. İş parçasının işlenebilirlik özelliklerinin belirlenmesinde ve optimizasyonunda ilk önce yaygın olarak kullanılan malzemelerin temel mekanik özelliklerinin tespit edilmesi gerekir. Bunlar; sertlik, akma dayanım, çekme dayanımı ve sünekliktir. Şekil 3.9'daki grafiklerde mekanik özellikler görülmektedir. Burada (A) çekme



dayanımını, (B) sertliği, (C) darbe dayanımını, (D) uzamayı göstermektedir[116, 121, 122].



Şekil 3.9. Malzemelerin genel mekanik özellikleri [121].

Malzemelerin işlenebilirliğini etkileyen temel özelliklerini şöyle sıralayabiliriz:

- Sertlik ve dayanım,
- Süneklik,
- Isıl iletkenlik,
- Deformasyon sertleşmesi (pekleşme),
- Kalıntılar (inklüzyonlar),
- İşlemeyi kolaylaştıran katkıları [116, 122].

*Sertlik ve dayanım:* Düşük sertlik değeri işlenebilme açısından daha uygundur. Fakat bazı malzemelerde düşük yüzey kalitesi ve yığıntı talaş oluşumu söz konusu olabilir. Soğuk çekme ile sertlik elde edilmesi olumlu etki oluşturabilir.

*Süneklik:* Sünekliğin düşük değeri genelde olumludur. Talaş oluşumunda bir avantaj ve enerjinin verimli kullanılması mümkündür. Düşük süneklik yüksek sertliklerde, yüksek süneklik de düşük sertliklerde oluşur. Bu nedenle süneklik ve sertlik değerinin optimum olduğu yerde işlenebilirlik değeri de iyidir.

*Isıl iletkenlik:* Yüksek ısı iletkenlik kesme bölgesinde oluşan ısının hızla uzaklaştırılabileceği anlamını taşır. İşlenebilirlik açısından bu özellik önemli bir rol

oynar. Malzeme grupları belirli bir ısı iletkenlik değerinden daha fazlasını veremezler. Alüminyumun ısı iletkenlik değeri oldukça yüksektir. Alaşım ılı çelikler orta değerlerde bir ısı iletkenliğe sahiptir.

*Deformasyon sertleşmesi (pekleşme):* Deformasyon sertleşmesi, plastik deformasyon sırasında görülür. Metaller için deformasyon sertleşmesinin değeri malzemenin pекleşme kabiliyetine bağlıdır. Çeliklerin talaşlı imalat yöntemleri ile işlenmesi sırasında deformasyon sertleşmesi kesici kenara yakın bir bölgede meydana gelir. Yüksek pекleşme talaş oluşumu için gereken enerjiyi, dolayısıyla kesme kuvvetlerini artırır. Pекleşme sırasında ince ve sert bir tabaka oluşur. Bu tabakanın kalınlığı ilerleme ile aynı olursa kesici kenarın maruz kaldığı yükler artar.

*Kalıntılar (inklüzyonlar):* Malzeme yapısında makro ve mikro kalıntılar olmak üzere iki tip kalıntı vardır. Düşük kaliteli çeliklerde bulunan üst curuf veya uygun olmayan curuflar makro kalıntılara örnek olabilir. Bunlar daha çok ani takım kırılmalarına neden olur. Mikro kalıntılar; istenen, kısmen istenmeyen ve istenmeyen kalıntılar olarak üçe ayrılır. Demir ve mangan oksitler (FeO, MnO), kısmen istenmeyen kalıntılardandır. Oksit tabakalarının deformasyonun nispeten daha kolaydır. Talaş kaldırma olayına katılabilirler. Alüminalar ve spineller (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Ca), istenmeyen kalıntılardır. Bunların kesici üzerinde aşındırıcı etkisi vardır ve deforme edilmeleri zordur.

*İşlemeyi kolaylaştıran katkılar (katıklar):* Çeliklerin işlenebilirliğini artırmak için en iyi yöntem, sülfür (kükürt) ilavesidir. Yeterli miktarda mangan ile birlikte mangan sülfürü oluşturarak düşük dayanımlı düzlemler oluşturur. Böylece kesme bölgesinde deformasyon için gerekli olan enerji azalır. Kayma açısının ve talaş yarıçapının artmasına neden olurken takım-talaş temas boyunu azaltır ve takım-talaş ara yüzeyinde katı yağlayıcı görevi görür. İşlenebilirliği olumlu etkileyen katkılar; kurşun (Pb), kükürt (S), fosfor (P) ve % 0.3-0.6 arasında karbondur (C).

Bu anlatılanların dışında malzemenin yapısı, iş parçası şartları, alaşım elementlerinin cinsi ile oranları da işlenebilirliği etkileyebilmektedir [116, 121, 122].

## 4. DİŞLİ ÇARKLAR

### 4.1. Genel

Dişli çarklar makinelerde en çok kullanılan elemanlardır. Üzerinde dişli çark olmayan makine çok azdır. Makinelerde motorun sabit devri ve gücü dişli çark mekanizmalarıyla farklı devir ve güçlerde değiştirilebilir. Bu sayede motor gücünü değiştirmeden bir şanzıman aracılığıyla istenen güç elde edilebilir. Güç ve hareket iletmeye yarayan, birbirine eşit aralıklarda, aynı biçim ve büyüklükte, çark gövdesi çevresine girintiler açılarak oluşturulan çıkıntılara “diş” denir. Bir eksen etrafında dönebilen, çevresinde dişler bulunan silindirik ve kesik koni gibi biçimlerde olabilen makine elemanlarına dişli çark adı verilmektedir [124].

Dişli çark mekanizmaları, güç ve hareket iletim elemanı olarak kullanılır. Güç, şekil bağına dayalı olarak iletilir. Dişli çark mekanizmaları, bir milden diğer bir mile hareket ve güç iletiminde devir sayısını küçültüp büyütme, hareketin yönünü değiştirmek ve momenti değiştirerek iletmek için kullanılır. Bir dişli çark mekanizması, biri döndüren diğeri döndürülen çark olmak üzere en az iki çarktan oluşmaktadır. Bu iki dişliden küçük olanına pinyon, büyük olanına çark adı verilir [125].

Eksenleri aynı düzlemde paralel olan iki mil arasında güç ve devir ileten çarklara silindirik veya alın dişli çarklar denir. Dişlerin yönü çark eksenine göre paralel ise silindirik düz çarklar olarak adlandırılır. Dişli çarklardan birisinin yarıçapı sonsuz ise bu tip dişliler düz kremayer olarak adlandırılır. Dişlerin yönü çark eksenine göre belli bir açıda ise helisel, birbirine dik düzlemlerde hareket ileten dişli çarklara da konik dişli çarklar denilmektedir (Çizelge 4.1) [126].

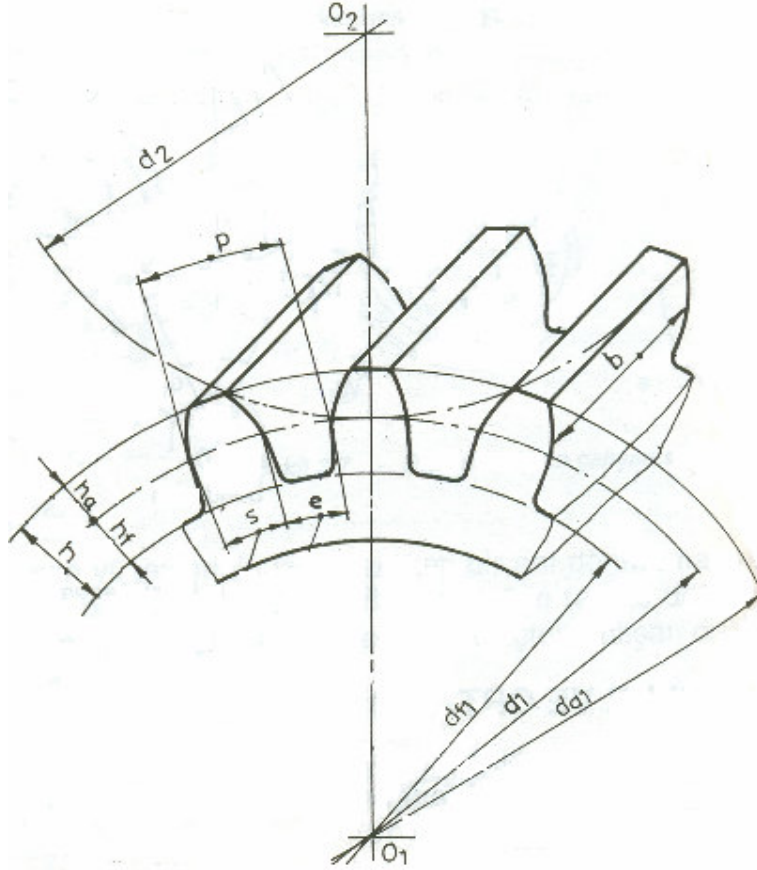
Çizelge 4.1. Dişli çark çeşitleri [127]

Dişli çark adı	Özelliği	Resmi
Silindirik düz	İki dişli çarkın eksenleri birbirine paralel ve diş eksenleri de aynı yönde	
Silindirik helis	İki dişli çarkın eksenleri birbirine paralel ve diş eksenleri çark eksenine göre eğik	
Ok	Dişli çark eğim açıları birbirine ters iki helis	
Kremayer	Dişli çarklardan birisinin yarıçapı sonsuz	
Konik	Dişli çarkların eksenleri birbirini kesiyor. Diş eksenleri çark eksenine göre eğik ise düz konik, çark eksenine göre eğik ise helisel konik	
Hipoid	Konik dişli çark eksenleri birbirini kesmiyor	
Sonsuz vida	Dişli çark eksenleri uzayda birbirine dik	

#### 4.2. Ortak Dişli Çark Terimleri ve Ana Boyutları

Dişli çarklarda kullanılan terim ve semboller TS 3350'de standartlaştırılmıştır. Silindirik düz dişli çarklar için ifade edilen temel kavramlar genel bir anlam taşımaktadır. Bu nedenle diğer dişli çarklar için de geçerlidir ve elde edilen

denklemler az bir değişiklikle diğer dişli çarklara da uygulanabilir. Genel dişli çark elemanları Şekil 4.1’de görülmektedir. Bunlar aşağıdaki gibi açıklanabilir:



Şekil 4.1. Genel dişli çark elemanları[128]

*Bölüm dairesi çapı (d)* : Dişli çarkın yuvarlandığı dairedir ve dişler bu dairenin üzerinde oluşturulmaktadır. Bu dairenin ölüsüne bölüm dairesi çapı adı verilir.

*Diş st dairesi çapı (da)* : Dişlerin st kısmından geçen dairedir. Bu dairenin ölüsüne diş üstü çapı adı verilmektedir.

*Diş dibi dairesi çapı (df)* : Dişlerin dip kısmından geçen dairedir ve ölüsüne diş dibi çapı adı verilir.

*Adım (p)* : Bölüm dairesi üzerinde bir diş dolusu ve bir diş boşluğundan meydana gelen çevresel uzunluğa adım denir.

*Modül (m)* : Dişli çarklarda sabit bir oran olup, bölüm dairesi çapının diş sayısına bölünmesiyle bulunmaktadır.

*Diş sayısı (z)* : Bölüm dairesi üzerinde diş profillerinin sayısıdır.

*Diş yüksekliği (h)* : Bir diş profilinin diş başından diş dibine kadar olan mesafesidir.

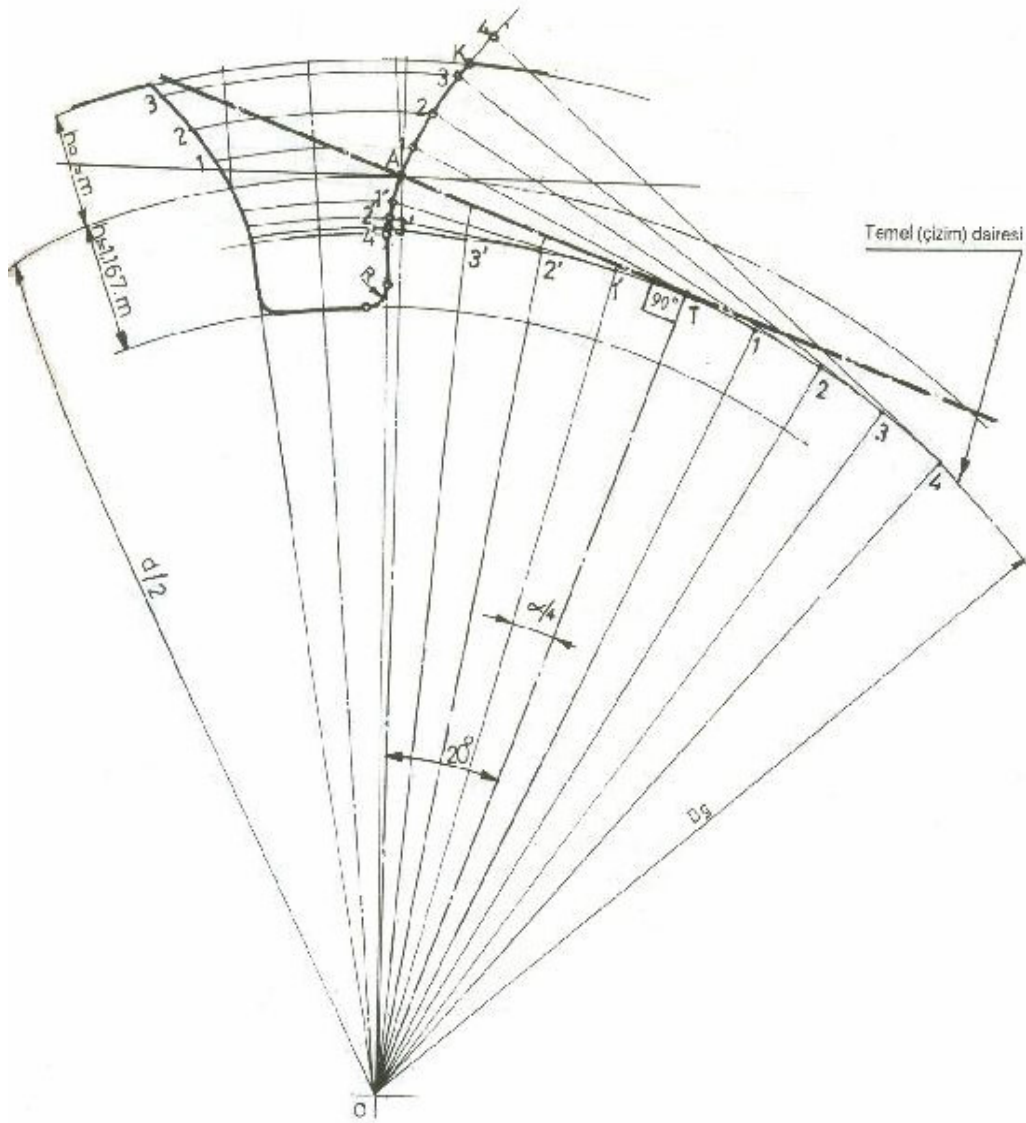
*Diş başı yüksekliği (ha)* : Diş üstü dairesi ile bölüm dairesi arasında kalan mesafedir.

*Diş dibi yüksekliği (hf)* : Diş dibi ile bölüm dairesi arasındaki mesafedir.

*Diş kalınlığı ve diş boşluğu (s,e)* : Dişli çark sistemine göre, bölüm dairesi üzerinde diş dolusu ile diş boşluğunun ölçüsüdür.

### 4.3. Diş Profilleri

Pratik kullanımda, farklı diş sayılarındaki dişli çarkların birbirleri ile kusursuz kavrama ve çalışma durumunda olmaları gerekir. Bunun için dişli çarkların profilini oluşturan yan yüzey eğrilerinin birbirleriyle çakışması gerekir. Kavrama eğrisi olarak evolvent veya sikloid eğrileri kullanılmaktadır. Evolvent eğrisi; sabit bir daire üzerinde yuvarlanan doğruyun bir noktası tarafından meydana getirilir. Eğri noktaların birleştirilmesi ile oluşturulur. Şekil 4.2'de evolvent eğrisi ile diş profilinin oluşturulması görülmektedir. Sikloid eğrisi; yuvarlanan iki daire üzerindeki bir noktanın meydana getirdiği eğridir. Eğer bu daire bir doğru üzerinde yuvarlanıyorsa sikloid, başka bir daire üzerinde yuvarlanıyorsa hiposikloid eğrisi olur [128].



Şekil 4.2. Evolvent eğrisi ile diş profilinin oluşturulması [128]

#### 4.4. Dişli Malzemeleri

Dişli çark tasarımında malzeme seçimi önemli bir basamaktır. Tasarımcı, malzemenin fiyatı, bulunabilirliği, yük taşıma kabiliyeti, üretim gereksinimleri, dişli boyutları ve ağırlığının yanında, sıcaklık gibi çalışma parametreleri, yük, hız, yağlama şekli ve beklenen güvenilirliği düşünmelidir. Diş yüzeyi sertliği, kırılma tokluğu, eğme dayanımı, yorulma, darbe ve aşınma dayanımı dişli performansını etkileyen en kritik malzeme özelliklerindendir bazılarıdır. Korozyon dayanımı, korozif

çalışma ortamı veya yüksek oksitleyici çevre içerisinde kullanılan dişlilerde önemlidir. Son yıllarda ortaya çıkan önemli bir ihtiyaç da dişlilerin mümkün olduğu kadar sessiz çalışmasıdır. Çizelge 4.2’de dişli malzemesi olarak kullanılan bazı metallerin özellikleri verilmiştir [129].

Çizelge 4.2. Bazı metalik dişli malzemelerinin karakteristik özellikleri [129]

Malzeme	20 °C’de Elastisite modülü GPa	20 °C’de yoğunluk g/cm <sup>3</sup>	Çekme Dayanımı (R <sub>m</sub> ) MPa En az	Kopma Uzaması (A) En az %	Isıl iletkenlik W/m·K
Plastik şekillendirilebilen alüminyum alaşımları	70	2,7	200	7	151
Döküm alüminyum alaşımları	70	2,7	150	3	146
Pirinç	100	8,6	180	8	120
Alüminyum bronz	117	7,5	170	8	50
Kurşun bronz	97	8,9	240	10	47
Fosfor bronz (döküm)	110	8,7	275	10	50
Gri dökme demir	109	7,4	150	0,3	50
Temper dökme demir	170	7,8	290	3	70
Magnezyum alaşımları	41	1,8	175	8	110
Düşük alaşımlı çelik	196	7,8	550 <sup>6)</sup>	13	35
Orta alaşımlı çelik	200	7,8	900	9	30
Paslanmaz Çelik	193	7,8	380	12	15

Dişlilerin ihtiyaçları göz önüne alındığında en çok aranan malzeme özellikleri;

- Büyük teğetsel kuvvetler ve düşük çevresel hızlar için rijitlik,
- Gidip gelme hareketinde olduğu gibi darbeli çalışan dişlilerde tokluk,
- Kuru sürtünme hali için aşınma dayanımı ve
- Sessiz çalışmadır [127].

Dişli malzemeleri arasında demir dışı metaller, sinterlenmiş toz metaller, çeşitli plastikler, geniş uygulama alanı bulan malzemelerdir. Demir esaslı malzemeler olarak, dökme demirler, karbonlu çelikler ve alaşımlı çelikler kullanılır. Orta yük uygulamaları için dökme demirler dinamik çalışma şartlarında mükemmel darbe dayanımı, iyi kayma ve aşınma özellikleri ve en az işletme maliyeti sağlar. Karbon



Çelikleri baęlı olarak kolay iřlenir, ucuzdur, sertleřtirilebilir ve korozyona dayanımlarının dūřuk olmasına raęmen orta yūk oranlarındaki gūc iletim diřlilerinde kullanılır. Dūřuk, orta, yūksek alařımlı çelikler geniř aralıktaki mekanik özelliklere sahiptir ve diřli malzemeleri içinde en yūksek dayanım ve kararlılık saęlarlar [129].

Diřli malzemesi olarak plastik ve metalik malzemelerin kullanımları yanında duyulmaya pek alışık olunmayan ahşap gibi egzotik malzeme kullanımı da mevcuttur. Ahřap dişliler, saat yapımıcıları ve Changing Times, Harlingen, TX gibi firmalar tarafından kullanılmaktadır. Bu şirketler ahşap dişlilerden saat yapımında uzmanlaşmışlardır ve ūretilen saatler yerel mağazalarda antika meraklılarına satılmaktadır [127].

Demir dışı metal dişliler bakır, alūminyum ve çinko alaşımlarından yapılmaktadır. Bununla birlikte bakır alaşımları özellikle bronzlar, elik eř dişliyle yūksek kayma hızı ve aşınma dayanımı nedeniyle dişli yapımında en çok kullanılan demir dışı dişli malzemesidir.

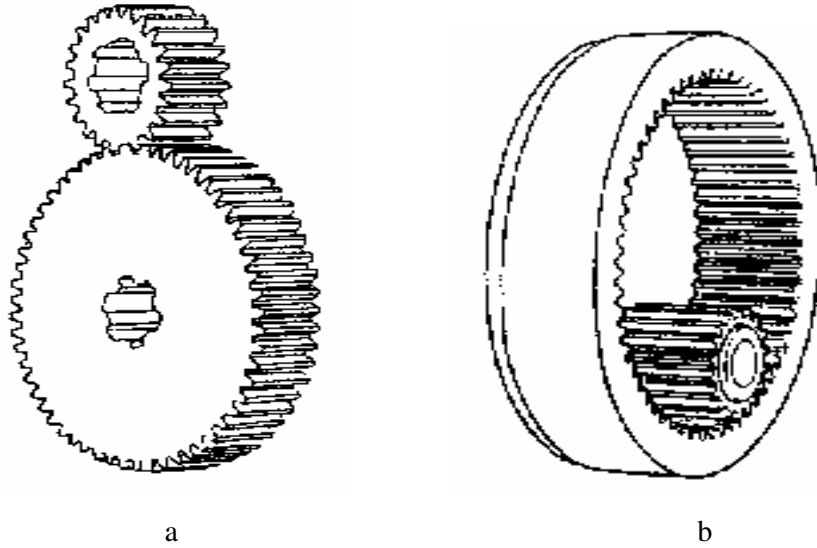
#### **4.5. Silindirik Dūz Diřli arklar**

Eksenleri paralel olan miller arasında kuvvet ve hareket iletiminde kullanılan, diřleri mil eksenlerine paralel olarak açılmıř diřli çarklara silindirik dūz diřli çark (dūz diřli, alın diřli) adı verilir. Silindirik dūz diřli çarklar çift olarak çalıřır, diřli çiftinin çevresel hızları birbirine eřit ve dōnūř yōnleri birbirine terstir.

Silindirik dūz dişli çarkların gōbek, kol ve dişlerin açıldığı dış çap şekli farklılıklar oluşturabilir. Diřlerin açıldığı yerin durumuna gōre silindirik dūz dişli çarklar iki şekilde yapılır;

*Dıř diřli çarklar:* ark gōvdesinde diř ūstleri çark ekseninden dıřa doęru bakan diřlilerdir.

*İç dişli çarklar:* Çark gövdesinde diş üstleri çarkın merkezine doğru bakan dişlidir. Bunlara çember dişli çark da denilmektedir. Diş sayısı, adım, diş sayısı oranı ve eksenler arası negatif işaret alır. Bu dişli çarklar Şekil 4.3’de gösterilmektedir.

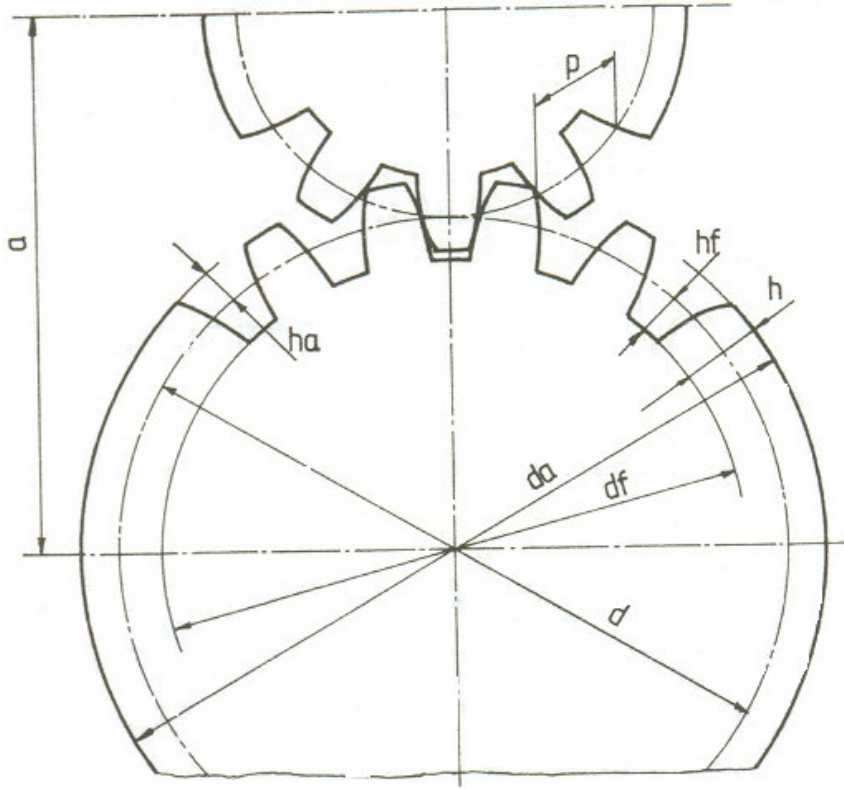


Şekil 4.3. Silindirik dış (a) ve silindirik iç (b) düz dişli çarklar [3]

Silindirik düz dişli çarklar eksenler arası hassasiyetin fazla olmadığı yerlerde güvenle kullanılabilirler. İletilebilen güç, modül ve dişli çark malzemesine göre değişir. Hareket halinde hız değiştirmek arzu edildiğinde aksel kayma ile birbirini kavrayabildiğinden tercih edilirler. Aksel kuvvet olmadığından yataklama açısından daha basit tasarım gerektirirler [124-128].

#### 4.5.1. Silindirik düz dişli çark elemanları

Silindirik düz dişli çarkların elemanları “Ortak Dişli Çark Terimleri ve Ana Boyutları” bölümünde anlatıldığı gibidir. Şekil 4.4’de silindirik düz dişli çarkın elemanlarının gösterimi, Çizelge 4.3’de ise silindirik düz dişli çarkların elemanları, sembolleri ve hesaplama formülleri verilmiştir.



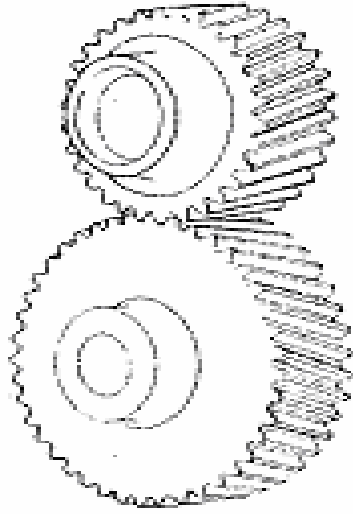
Şekil 4.4. Silindirik düz dişli çarkın elemanlarının gösterimi [128]

#### 4.6. Helis Dişli Çarklar

Bu dişli çarklar birbirine paralel, dik veya herhangi bir açıda çalışan millerde hareket ve güç iletiminde kullanılırlar. Helis dişli çarklarda dişlerin doğrultuları mil eksenine paralel değil, eğiktir. Dişlerin bu eğikliği dişli eksen etrafında büyük adımlı bir helis meydana getirecek şekildedir. Birbirleri ile çalışan helis dişli çarklardan birisi sağ helis olurken diğeri sol helis olacak şekilde yapılırlar. Helis dişli çarklarda da evolvent ve sikloid eğrili diş profilleri kullanılmaktadır. Bu çarklar eksenlerin durumuna göre dik, paralel ve eğik konumlarda çalışabilirler. Şekil 4.5’de birbiriyle çalışan helis dişli çarklar görülmektedir. Helis dişli çarklar sessiz ve titreşimin az olması gerektiği yerlerde kullanılırlar. Diş kavramaları yavaş bir hareketle olduğundan yüksek devirlerde gürültüsüz çalışırlar. Büyük güçler iletiğinden iletim sırasında mil eksenine paralel basınç meydana geldiği için yataklama işleminin buna uygun olması gerekmektedir [128].

Çizelge 4.3. Silindirik düz dişli çarkların elemanları, sembolleri ve formülleri [128].

Dişli Elemanı	Sembol	Formül
Modül	$m$	$\frac{p}{\pi} = \frac{d}{z} = \frac{da}{z+2}$
Adım	$p$	$m \cdot \pi = \frac{d \cdot \pi}{z+2} = da \cdot \pi$
Diş Sayısı	$z$	$\frac{d}{m} = \frac{d \cdot \pi}{p} = \frac{da - 2m}{m}$
Bölüm Dairesi Çapı	$d$	$m \cdot z = \frac{p \cdot z}{\pi} = da - 2m$
Diş Üstü Dairesi Çapı	$da$	$d + 2m = m(z + 2)$
Diş Dibi Dairesi Çapı	$df$	$d - 2.332m = da - 2h$
Diş Yüksekliği	$h$	$m \frac{13}{6} = 2.166m$
Diş Üstü Yüksekliği	$ha$	$m = \frac{p}{\pi}$
Diş Dibi Yüksekliği	$hf$	$m \cdot \frac{7}{6} = 1.166m$
Diş Dolusu	$s$	$\frac{p}{2}$
Diş Boşluğu	$e$	$\frac{p}{2}$
Dişli Genişliği	$b$	Az yüklerde (6-8).m Çok yüklerde (8-12).m
Eksenler arası	$a$	$\frac{d1 + d2}{2} = \frac{m(z1 + z2)}{2}$



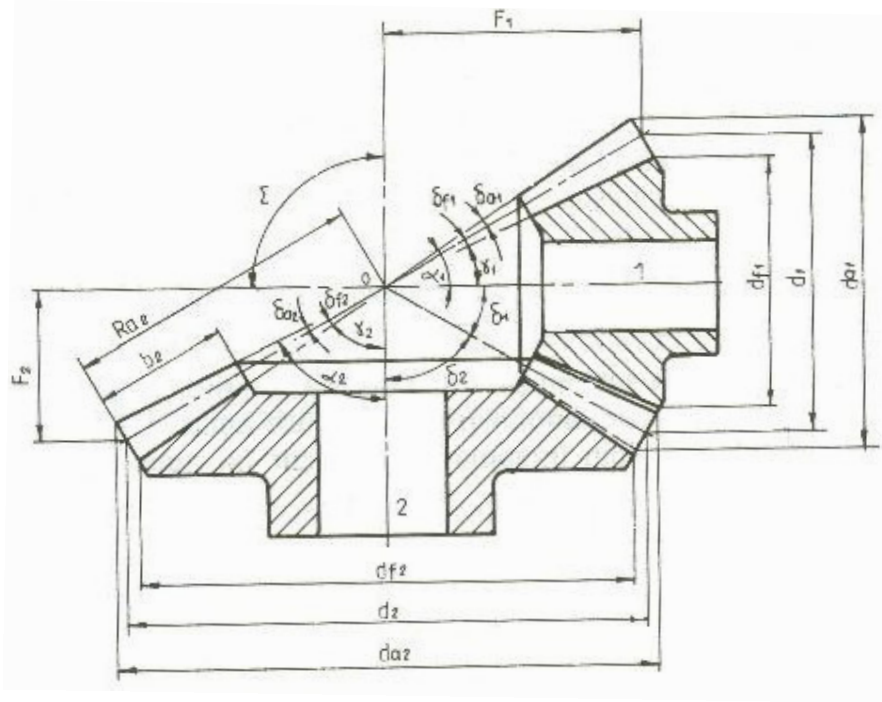
Şekil 4.5. Helis dişli çarklar [3]

#### 4.7. Konik Dişli Çarklar

Eksenleri kesişen millerde, kuvvet ve hareket iletimi amacıyla kullanılan ve yanal yüzeylerin çevresine kesik koni tepe noktasında birleşecek şekilde dişler açılmış olan dişli çarklara konik dişli çark adı verilir. Şekil 4.6'da konik dişli çarklar ve elemanları görülmektedir.

Konik dişli çarklar, çalışma sistemlerine göre; içten ve dıştan çalışan konik dişliler, dişlilerin açılışına göre; düz konik, helis konik, spiral konik, evolvent konik, daire yaylı konik ve ok dişli konik olmak üzere çeşitlere ayrılırlar.

Konik dişli çarklar genellikle, kuvvet ve hız aktarımının eksenleri kesişen miller aracılığıyla yapıldığı sistemlerde kullanılırlar. Oldukça büyük kuvvetlerin taşınmasında, kuvvet makinelerinin ve taşıtların dişli kutularında yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Konik dişli çarklar, birbirleri ile dik,  $90^\circ$  den büyük veya küçük açılarda çalışabilirler. Çalışma konumları dikkate alınarak hesaplamaları yapılır.



Şekil 4.6. Konik dişli çarklar ve elemanları [128]

#### 4.8. Sonsuz Vida ve Karşılık Dişlisi

Sonsuz vida ve karşılık dişlisi bir sistem olup, birbiri ile dik yada çapraz çalışan sonsuz vida ve çarkından oluşur. Burada vida kendi eksenini etrafında dönerken, buna bağlı olan çark da kendi eksenini etrafında vidanın ağız sayısı oranında döner. Tek ağızlı bir vida bir tur dönerse çark bir diş döner. Başka bir deyişle çarkın bir tam tur dönmesi için vidanın çarkın diş sayısı kadar dönmesi gerekir.

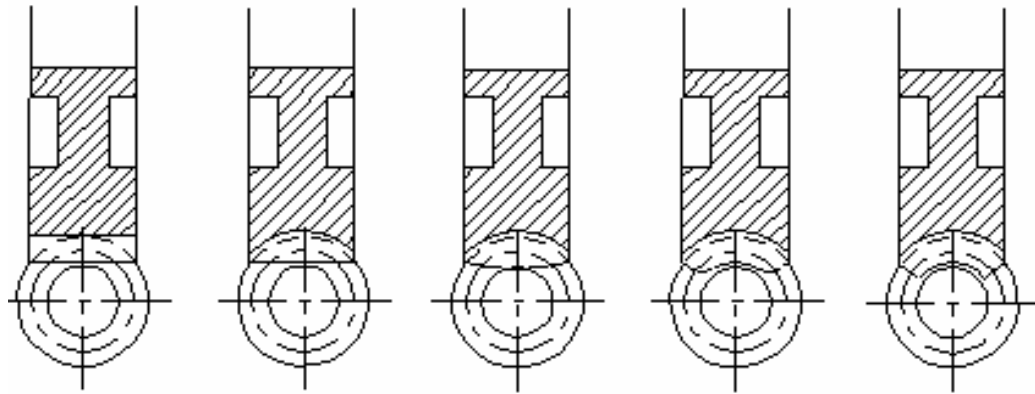
Yükün fazla olduğu, az bir kuvvet ile daha fazla iş yapılması gereken yerlerde, yüksek iletim oranlarının elde edilmesinde ve hızın az olduğu yerlerde kullanılırlar. Vinçler, hız kutuları, asansörler, elevatörler, tekstil makineleri ve pompaları örnek olarak verebiliriz [124,127].

#### 4.8.1. Sonsuz vida

Sonsuz vidayı diğer vidalara benzetmek mümkündür. Tek ayrıcalığı vida kanallarının frezelenmesinde sonsuz vidanın adımının modül cinsinden olmasıdır. Dolayısıyla vidanın diğer ölçüleri hesaplandıktan sonra, profiline uygun çakılarla universal freze tezgahlarında açılabilir. Sonsuz vidanın adımı karşılık dişlisinin çevresel adımıdır. Vidanın yükselim açısı dişlinin helis açısına eşittir. Bu açıyı genelleştirerek vidalarda olduğu gibi eğim açısı demek normaldir. ' $\alpha$ ' ile gösterilir. Ayrıca vidalarda yükselimi vidanın ağız sayısı ile adımın çarpımından bulunabilir [3].

#### 4.8.2. Karşılık dişlisi

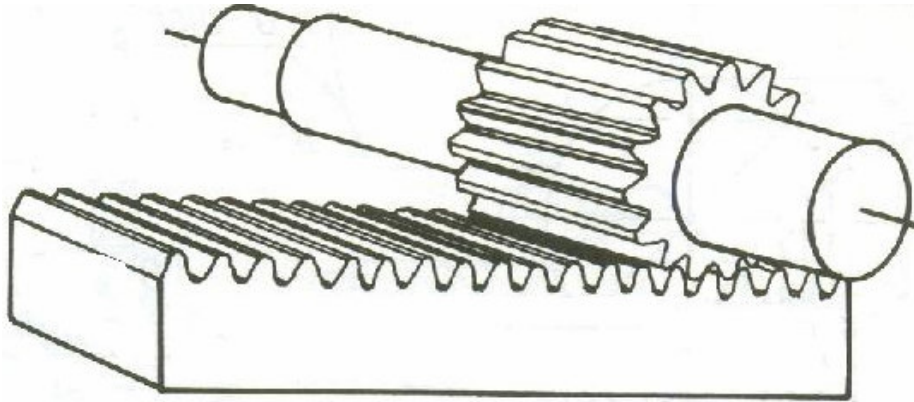
Karşılık dişlileri kendilerini döndüren sonsuz vidanın çapı ve devir sayılarına bağlı olarak daha kolay çalışmaları gayesi ile çeşitli şekillerde oluşturulurlar. Sonsuz vida ve karşılık dişlisinin uzun ömürlü ve verimli olmaları için bilhassa dişli kutularında genel olarak yağ içinde çalıştırılırlar. Vida üzerindeki helis eğim açısı ( $\alpha$ ) karşılık dişlisi üzerinde de aynı değerde ve yönde oluşturulur. Karşılık dişlisi, genellikle azdırma freze çakısı ile açılır. Gri-Döküm, hafif metal veya savurma kalay bronzundan yapılırlar. Dişli yüzeyleri iyi işlenmeli ve kaygan olmalıdır. Çalışma konumuna göre çeşitli biçimlerde yapılabilirler [3]. Şekil 4.7'de karşılık dişlisinin farklı tasarımları görülmektedir.



Şekil 4.7. Karşılık dişlisinin farklı tasarımları [128]

#### 4.9. Kremayer Dişliler

Yarıçapı sonsuz olan ve içten çalışan dişli çark kabul edilebilen kremayer dişlisinde; dişler düz bir çubuk üzerine açılır. Yani üzerine düz veya helisel dişler açılmış doğrusal çubuklara kremayer dişli denir. Bu dişliler pinyon adı verilen başka bir dişli ile çalışırlar. Düz, helis, ok veya spiral dişli olarak yapılabilirler. Diş profilleri de, düz trapez, tepe ve dipleri yuvarlatılmış trapez ve yan profili sikloid eğrili olabilmektedir. Çubuk yapıları da, çıtalı, tablalı, yüksek diş bitimli ve yuvarlak olabilmektedir. Şekil 4.8’de kremayer dişlisi pinyon dişli ile birlikte görülmektedir [128].



Şekil 4.8. Kremayer dişlisi ve pinyon [128]

Kremayer dişliler, doğrusal hareketi dairesel harekete, dairesel hareketi de doğrusal harekete çevirmek gerektiğinde kullanılmaktadırlar. Sonsuz vida ve karşılık dişlisi sistemi ile birlikte kullanılabilirler. Kremayer dişliler özellikle takım tezgahlarının bir çoğunda görülebilmektedir. Bunların dışında vinçlerde ve bağlama kalıplarında da kullanılmaktadırlar.

#### 4.10. Zincir Dişliler

Hareket ve gücün iletileceği mesafenin fazla olduğu durumlarda, aradaki bağlantıyı dişli çarklarla sağlamak mümkün değildir. Bunun için zincir kullanılır. Hareket ve güç iletimini sağlamak için zincir şekline uygun olarak yapılan dişli çarklara zincir



dişliler denir. Zincir dişliler sessiz çalışma ve hareket iletiminde kaymaların önlenmesi, aynı zamanda daha yüksek çevresel hızlarına çıkılabilmesi nedeniyle diğer dişlilere nazaran önemlidir. Montajda; miller salgısız, eksen yönündeki boşluklar her iki yöne eşit dağıtılmış ve miller birbirine paralel olmalıdır. Zincir dişliler büyüklüklerine göre; dökme demir, elik, ıslah ve sementasyon çeliklerinden yapılırlar. Genelde orta mesafedeki miller arasındaki hareket ve g iletiminde, zincir şekline göre motorlu araçlarda, vinçlerde, bisiklet ve asansörlerde kullanımı yaygındır [124,128].

Yukarıda belirtilen dişli çark tiplerinin dışında farklı diş profillerinde yapılabilen pompa dişlileri de mevcuttur. Pompadan beklenen özelliklere dayanılarak, pompada kullanılan dişli çark diş profilleri belirlenmektedir. Pompa dişlileri genellikle diş profiline uygun olarak üretilmiş azdırmalar ile yapılmaktadır.

## 5. DİŞLİ ÇARK ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Dişli çark işleme operasyon tipinin seçimi, dişli sınıfına, kullanılan ekipmanların tipine, ekipmanların durumuna, iş gücü deneyimine ya da dişli tasarımcısının kişisel tercihlerine bağlıdır. Bazı durumlarda, aynı sonuçları elde etmek için bir üretim metodundan daha fazlası gerekmektedir [130].

Dişli çarklar yapıldıkları malzemeye göre farklı şekillerde biçimlendirilebilirler. Genel olarak her malzeme için kullanılacak imal yöntemi talaşlı imalattır. Genelde uygun kesici takımlar kullanılarak istenen diş profili ve diş sayısındaki dişlilerin, dişli açma tezgahlarında açılması uygulama bakımından pratik ve en çok tercih edilen yöntem olarak göze çarpmaktadır.

Çelik dişlilerin seri imalatı için kullanılan yöntemlerden birisi sıcak dövme ile plastik şekillendirilmedir. Bu yöntemde belirli bir sıcaklığa ısıtılan parçalar dövme tezgahlarında istenen boyutlara kadar dövülür, bilye bombardımanı ya da talaş alma yöntemleri ile yüzeyler temizlenir. Ardından gerekiyorsa, uygun ısıl işlemler yapılır. Son işlem olarak taşlama tezgahlarında boyutsal çarpıklıklar giderilir [127].

Alüminyum, bronz, çelik ve kestamid (döküm polyamid) gibi malzemelerden döküm yoluyla dişli çark üretilebilir. Metalik malzemelerin seramik kalıplara dökülmesi düzgün yüzeyler elde edilmesi açısından önemlidir. Bronz gibi malzemeler ana hatlarıyla döküldükten sonra talaşlı imalat ile istenen ölçülere getirilir. Döküm yoluyla üretim seri imalata olanak tanınması bakımından ekonomiktir. Dişlerin kalıp içerisinde şekillendiriliyor olması nedeniyle genellikle son işleme gerek duyulmaz. Döküm yoluyla üretilen dişliler hareket iletimi ve düşük yük taşıyan oyuncak gibi yerlerde kullanılır. Bu yöntemle elde edilen dişli çarkların diş yüzeylerinde oluşan pürüzlülük ise aşınmayı arttıran bir özelliktir [129, 131].

Toz metalurjisi yöntemleri ile dişli çark üretimi de yapılmaktadır. Toz metaller, dişli şekli verilmiş metal kalıp boşluklarında preslenir ve dayanımlarını arttırmak için ısıl işlem (sinterleme) uygulanır. Toz metaller kalıba döküm ile benzer özellikler

gösterirler. Ancak bunların özellikleri çeşitli metal tozların karıştırılmasıyla kontrol edilebilir. Küçük boyuttaki dişlilerin üretiminde bu yöntem kullanılır [131].

Metal olmayan polyamid, asetal gibi termo-plastik dişliler enjeksiyon kalıplama yoluyla üretilirler. Bu yöntemle elde edilen dişliler, düşük yükleri taşırlar. Başlangıçtaki kalıp maliyeti yüksek olmasına karşın seri üretim için ekonomiktir. Polyamid gibi malzemeler, enjeksiyon kalıplama öncesinde yapılarında bulunan doğal nem nedeniyle kalıplama öncesi fırınlarda kurutulmalıdır. Besleyici içerisine granül halde konan malzeme helezon aracılığı ile kalıba doğru iletilirken ısıtıcılar ile ergiyik hale getirilir. Ergimiş malzeme kalıbı tamamen dolduracak ve gözenek oluşmayacak şekilde uygun basınçta kalıba basılır. Uygun bekleme süresinin sonunda kalıp açılır ve içerisindeki malzeme uygun soğutma ortamında, genellikle suda belli bir süre tutularak soğutulur. Kalıp kapatılarak işlemler tekrarlanır. Termoplastik polimerler için işlem sırası oldukça kısa (10-30 saniye) olduğu için seri üretimi oldukça kolaydır [131,132].

Dişliler ekstrüzyon yöntemi ile üretilirken; uzun çubuklardan şekillendirilir. İstenen uzunlukta kesilen parçalar işlenir. Bu yöntemle, alüminyum ve bakır alaşımlarından yapılan dişliler üretilebilir.

Çelik çubukların sertleştirilmiş kalıp boyunca çekilmeleriyle de dişlinin elde edilmesi mümkündür. Soğuk şekillendirme dayanımı arttırır. Çubuklar istenen boyda kesilerek son işlemler uygulanır. Çizelge 5.1'de Fischer'e göre dişli çark üretim yöntemleri görülmektedir.

Çizelge 5.1. Fischer'e göre dişli çark üretim yöntemleri [133]

Talaşlı İmalat			Talaşsız İmalat	
Yöntem	Takım	Uygulama	Yöntem	Uygulama
Azdırma	Azdırma çakı	Düz ve helis dış dişli, konik ve helisel çarklar.	Döküm	Dökme demir çelik döküm ve temper dökümden yapılmış alın ve konik dişliler.
Vargelleme (Fellow)	Kesici çark paket takım	Düz ve helisel, iç ve dış diş açma.	Püskürtme döküm Basınçlı döküm	Plastikten ve hafif metalden yapılmış dişleri düz olan alın ve konik dişliler.
Profil frezesi (Maag)	Profil freze çakısı	Düz ve helisel, iç ve dış diş açma.	Hassas dövme	Taşıtlar için düz olarak yapılmış konik dişliler.
Dişli Taşlama	Taşlama diski	Düz ve helis dış dişli açma, sertleştirilmiş çarklar.	Sinterleme	Düz olarak yapılmış konik dişliler.
Raspalama	Raspa çarkı	Düz ve helis dış dişli açma.	Soğuk presleme	Düz olarak yapılmış küçük alın ve konik dişliler.
			Sıcak presleme	Düz olarak yapılmış küçük konik dişliler.
			Haddeleme	Silindirik düz ve kremayer dişliler

İpekçioğlu, talaş kaldırarak dişli üretimini aşağıdaki gibi sınıflandırmıştır [3].

1- Silindirik düz ve helisel dişli çarklarla, sonsuz vida çarkını “Yuvarlanma metodu” ile dişli açma.

a) Vargelleme usulüyle dişli çark açma (Fellow),

b) Kremayer biçimli bıçakla dişli açma (Maag),

c) Azdırma dişli açma yöntemi.

2 - Konik dişli çark açma yöntemleri; “Yuvarlanma metodu” ve “Şablona göre kopya usulü” diş açan özel tezgahlar.

3 - Dişli çark taşlama.

Üniversal freze tezgahlarında da modül freze çakıları kullanılarak dişli çarkların işlenmesi mümkün olabilir. Fakat burada gerek işlenen dişlilerin kusurlu olması gerekse sınırlı ölçülerde ve tipte dişli çark işlenebilmesi nedeniyle bu yöntem fazla

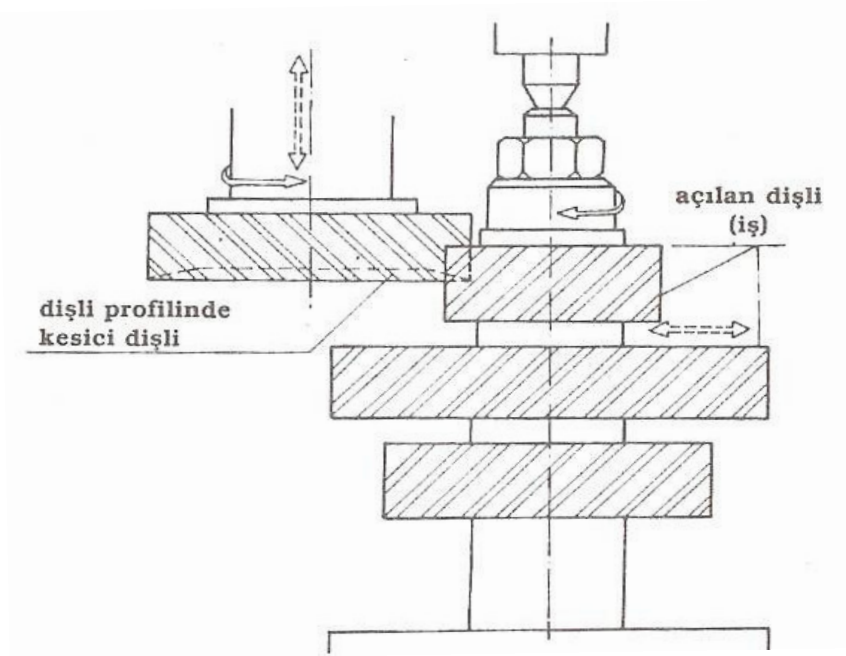
kullanılmamaktadır. Hassas olmayan ve yüksek çevresel hızların gerekmediği yerlerde kullanılacak bazı dişliler bu yöntemle yapılabilir.

### **5.1. Vargelleme Usulüyle Dişli Çark Üretimi (Dişli Biçimli Çakılarla)**

Bu dişli çark açma yönteminde kesici olarak dişli biçimli kesiciler kullanılır. Bu çakılara "Pinyon" adı da verilir. Çakının, planya tezgahlarında olduğu gibi iş parçası üzerinde hareket etmesi ve profiline uygun hareketlerle, diş kanallarının açılması sağlanır. Kesme işlemi için açılacak olan dişli çarkın özelliklerine uygun çakı seçilir. Adımı, diş dolusu ve diş boşluğu, diş derinliği ile kavrama açısı aynı olduğundan, sanki birbiriyle çalışan dişli çarklar görünümündedir [3].

Bu tezgahlar klasik freze tezgahlarının dik planya başlığı gibi çalışmasıyla dairesel hareket krank-biyel mekanizması ile doğrusal harekete çevrilmektedir. Doğrusal hareket eden iş milinin ucuna form çakısı bağlanmakta tezgah mili sabit veya parçaya doğru hareket etme serbestliği göstermektedir. Azdırma tezgahlarında olduğu gibi parçanın bağlandığı iş tablası açılacak dişliye bağlı olarak kesici çakı ile uyumlu olarak ters yönde dönmektedir. Bu hali ile form çakısı parçayı keserken o parçanın karşılık dişlisi gibi parça ile beraber döner ve hidrolik bir düzenek yardımı ile iç ilerleme diye tabir edilen sabit bir hızla diş derinliğini oluşturur.

Ülkemizde bu tip dişli açma metoduna eski bir Amerikan firmasının ismi olan Fellow metodu da denilmektedir. Metot olarak yatay veya dikey kesim yapılabilen bu yöntem ile bilhassa azdırma ile açılmayan birbirine çok yakın geometrideki dişli çarklar özellikle senkromeçli şanzıman dişlilerinin, iç dişlilerin ve özel bağlama ile kremayer dişlilerin açılabilmesi mümkündür. Şekil 5.1'de Fellow yöntemi ile dişli çark üretimi görülmektedir [3].



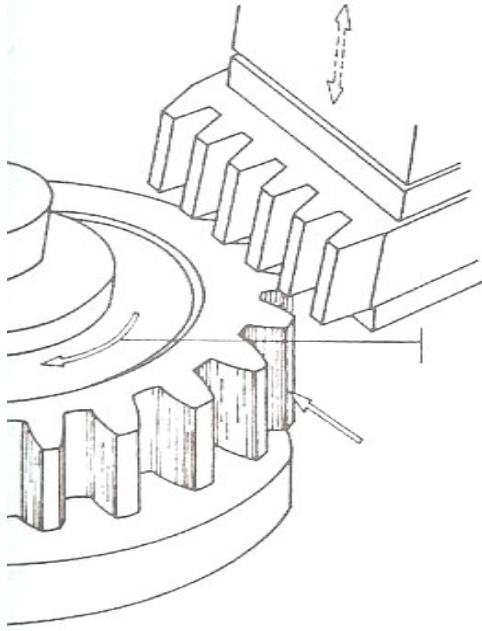
Şekil 5.1. Fellow yöntemi ile dişli çark üretimi [134]

## 5.2. Kremayer Biçimli Çakı ile Dişli Çark Üretimi

Bu yöntemde dişli çark kendi ekseninde dönerken kremayer dişlisi şeklindeki çakı, vargelleme hareketi yaparak dişli çarkı oluşturur. En doğru diş açma yöntemlerinden biridir. Bu yönteme “Maag” yöntemi de denilmektedir [134].

Maag usulü dişli çark üretimi planya tipinde başlığı bulunan tezgahlarda yapılır. Burada tezgahın çakı bağlama başlığının görevi tıpkı bir planya gibi olup, açılması gereken dişli yüzeyine teğet ve dik olarak, aşağı-yukarı kurs hareketini yaparak, talaş kaldırmaktır. Diş profilinin oluşması da bu harekete bağlıdır. Başlık yukarı hareketini yaparken açtığı kanala sürtünmemesi için bir miktar eğilir. Çakı tekrar iniş hareketine hazırlanırken, çakının eksenine eğildiği miktar kadar tekrar düzelir. Çakı, başlıkta bu alternatif doğrusal hareketini yaparken, dişli taslağı yani açılacak dişli çarkta bir miktar döner. Dönme anında ilerleyen işe, doğrusal hareketini yapan çakı

değerek talaş kaldırır [3]. Şekil 5.2'de Maag yöntemi ile dişli çark üretimi görülmektedir..

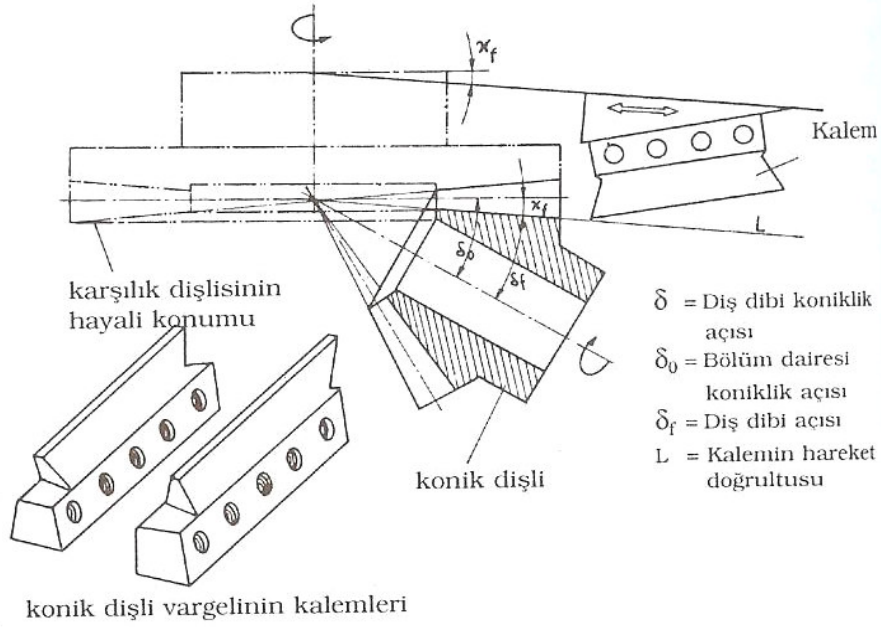


Şekil 5.2. Maag yöntemi ile dişli işleme [134]

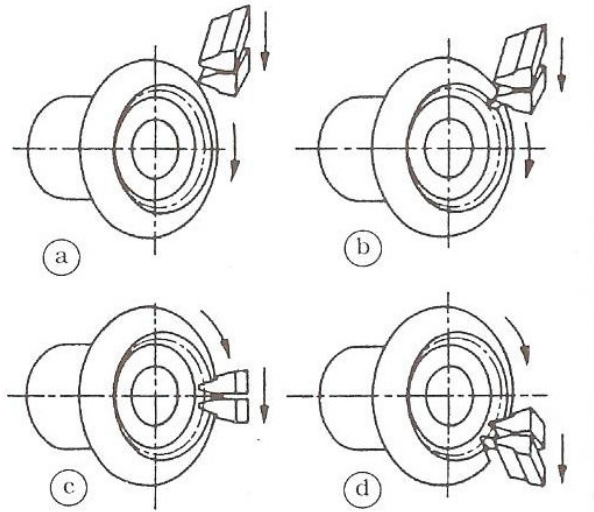
### 5.3. Konik Dişli Çark Üretim Yöntemleri

#### 5.3.1. Yuvarlanma metodu ile konik dişli çark üretimi

Bu yöntemde dişli çark modülüne uygun olarak seçilen ve düz kesici ağzı bulunan çakılar, dişin tepe noktası doğrultusunda alternatif (ileri - geri) hareket yaparlar. Çakıların arasındaki açı, dişlinin diş sayısına göre tezgahta bağlı olduğu kızıktan ayarlanır. Çakılar tezgah gövdesinde, üzerinde bulunduğu başlık kısmı merkezinde belirli olarak dönme hareketi yapar. Bu dönmede; iş parçası da konisi etrafında döner ve bu hareket iki dişlinin çalışmasına benzetilebilir. Şekil 5.3'de Yuvarlanma metoduna göre konik dişli üretimi prensibi görülmektedir.



Şekil 5.3. Yuvarlanma metoduna göre konik dişli işleme prensibi [134]



Şekil 5.4. Konik dişlinin üretilmesi (a-başlangıç hareketi, b-kesmenin başlaması, c-dişin iki tarafının işlenmesi ve d-dişin bitiş anı.) [134]

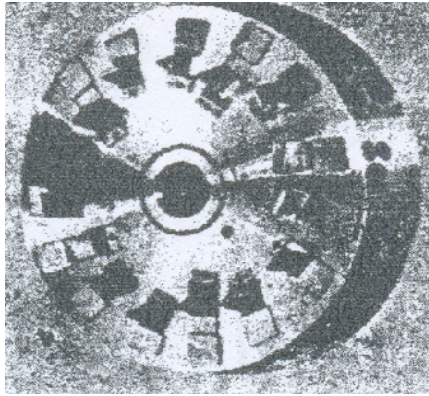
Şekil 5.4'de görülen diş açma metodunda, diş yuvaları boşaltılmadan doğrudan açılır. Burada iki çakının da ayrı ayrı görevi vardır. Çakılardan birisi dişin bir yüzünün, diğer çakı da öbür yüzünün profilini çıkarır. Bir dişin işlenmesi bitince ikinci diş



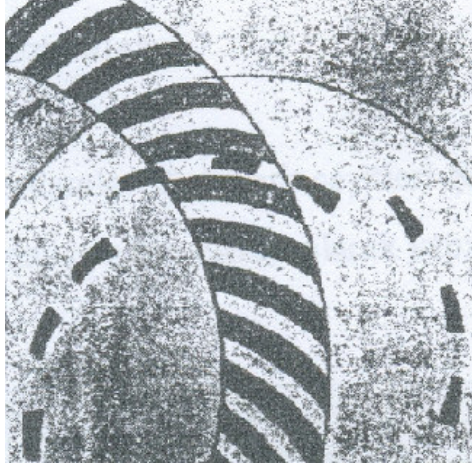
geçmek için kesici başlığı otomatik olarak geri gider. Bu esnada tezgah tarafından otomatik olarak bir diş bölüntüsü gerçekleştirilir. İşlem yeniden ikinci dişi kesmeye başlar ve devam eder. Diş yüzeyleri tepe konisinde birleşen doğru çizgiler olduklarından, dişlinin bölüm dairesi koni tepesine doğru yaklaşır. Çakının doğrusal hareketinde, meydana gelen bu doğruların, yan yana birleşmesinden profilli yüzey elde edilir [3].

### 5.3.2. Helisel konik dişli çarkların üretimi

Helisel konik dişli çarklar taşıtların diferansiyellerinde kullanılır. Helisel olması sessiz ve rijit çalışmasını sağlar. Bu dişlilerin açılmasında da açılacak olan dişli hayali bir dişli üzerinde çalışıyormuş gibi düşünülür. Bu tezgahlarda kullanılan özel olarak yapılmış kesicilerden bir tanesi Şekil 5.5'de görülmektedir. Diş profilini çıkaran kesici dişler büyük bir disk yüzeyine yüzey freze çakısı dişleri gibi belirli aralıklarla dizilmiştir. Bu diziliş, çakı merkezinin çevresinde olabildiği gibi üç aynı değişik merkezli çevreye de, şekildeki gibi dizilerek kullanılmaktadır. Bu sistem tezgahın tipine göre değişmektedir. Bu diskin üzerinde aksel yönden kaçık olan uçlar. Şekil 5.6'da görüldüğü gibi keserek dönerler. Kesme sırasında uçlar, iç ve dış yan yüz profilini tamamlayarak diğer dişe otomatik olarak geçerler.



Şekil 5.5. Helis konik dişli çark işlemek için kesici [3]

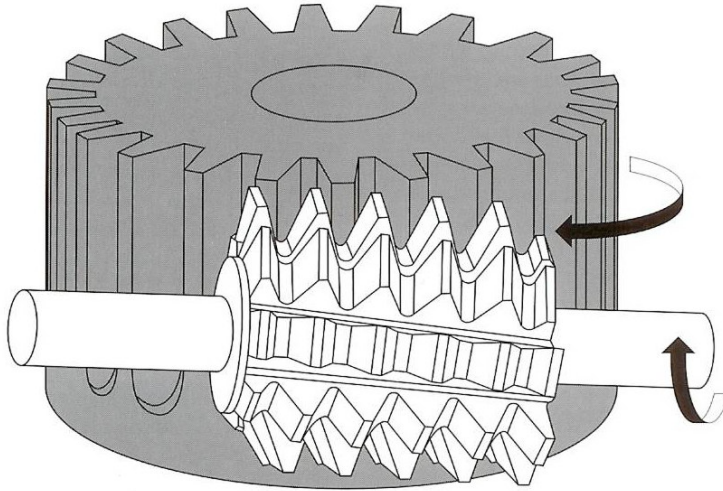


Şekil 5.6. Helis konik dişli çark işlenirken kesicinin izlediği yol [3]

#### 5.4. Azdırma Usulüyle Dişli Çark Üretimi

En doğru dişli çark işleme yöntemlerinden birisidir. Bu yöntemde azdırma çakı ve iş parçası kendi eksenleri etrafında dönerken birbirleri ile çalışan dişliler gibi uyumlu hareket ederler. Bu yöntemde yuvarlanma metodu da denilmektedir. Talaş verme azdırma çakıdan yapılır. Diş derinliğinin tamamı bir seferde verilebilir. İlerleme hareketi düşey olarak yapılmaktadır. Genel frezeleme işlemlerinde olduğu gibi aynı ve zıt yönlü ilerleme verilebilmektedir. Şekil 5.7’de kesme sırasında azdırma çakı ve iş parçasının koordineli hareketleri gösterilmektedir.

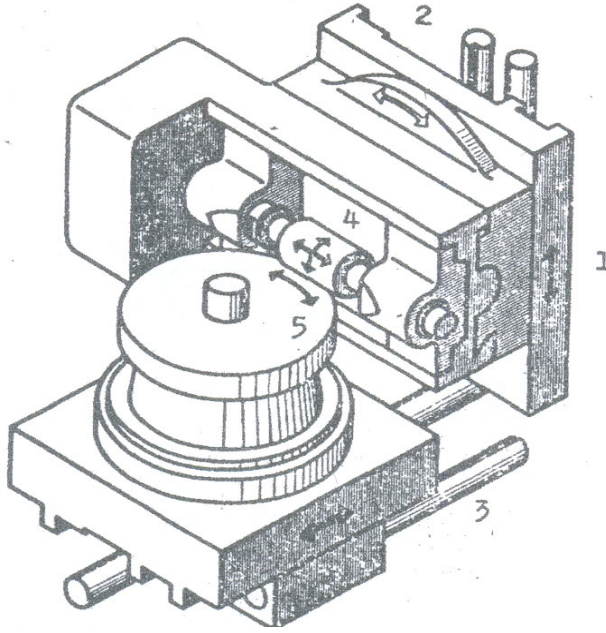
Dişli çarkın dönüş sayısı, azdırma çakının ağız sayısı dikkate alınarak hesaplanır. Tezgah azdırma çakı milinin dönüşü ile iş parçasının dönüşü arasında sayısal bir ilişki vardır. İş parçası bir tam tur döndüğünde azdırma çakı açılan dişli çarkın diş sayısı kadar dönmelidir. Bu dönüş oranı hem diş sayılarının tam oluşmasını hem de dişli çark profilinin uygun biçimde kesilmesini sağlamaktadır. Bu uyumlu dönüşün sağlanması için mekanik azdırma freze tezgahlarında dişli çark donanımı oluşturulmuştur. Tezgahın çark donanımı, azdırma ağız sayısı ve dişli çark diş sayısı dikkate alınarak tezgah kataloğundan tespit edilmektedir. CNC azdırma tezgahlarında çark donanımının yerini bilgisayar kontrollü sistemler almıştır.



Şekil 5.7. Azdırma çakı ve iş parçasının hareketleri [11]

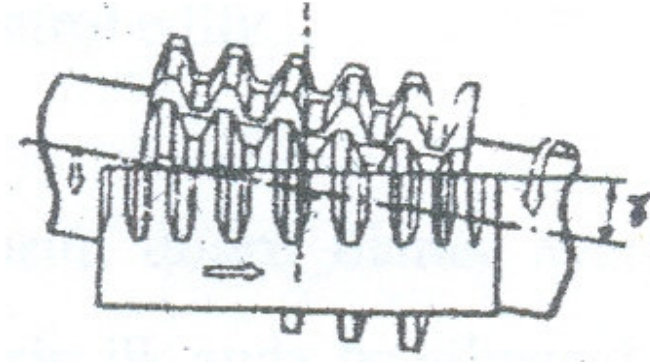
Tezgah firmalarının dizaynına göre tezgah tablası hareketli veya sabit olabilir. Azdırmanın bağlı olduğu kafa bloğu parçaya yanaşır ve kesme yapar. Diğer çözüm ise azdırma kafası sabit kalır tezgah tablası ve bağlı olan parça azdırmaya yanaşır ve keser. Tezgah tablasının dönüşü azdırmanın devrine göre otomatik olarak ayarlanır. Tezgah tablası genelde bir ağızlı sonsuz vida ve karşılık dişlisinden oluşan tahrik düzeninden ve rulmanlı yataklamadan oluşan düzenektir. Yalnız unutulmamalıdır ki bir tezgah bütün modülleri açamaz. Kapasitesine göre modülleri de sınırlı olur. Örneğin; 0,5 - 0,75 - 1,25 - 1,5 - 1,75 - 2 gibi 2 modülden sonrası için ikinci bir azdırma dişli tezgahı bulunabilir [3].

Şekil 5.8'de azdırma freze tezgahının ana kısımları görülmektedir. Burada (1) azdırma gövdesinin kompleksi olup, aşağı ve yukarıya ilerleme hareketine sahiptir. (2) Gövdenin üzerinde Azdırma çakısının "Eğim açısı" kadar sağa ve sola dereceli olarak döndürülebilir. (3) numaralı kısım dişlinin bağlandığı tabladır. Dişli, diş derinliğine göre kızaklar üzerinde öne ve arkaya yatay ilerlemeye sahiptir. Azdırma çakısının (4) bağlandığı gövde olup, azdırma çakısının yönüne uygun kesmede dönerek, iş çapının eksenin merkezlenebileceği dişlinin (5) gereğine göre iki yöne de dönebilme imkanı olduğu çizimde açık olarak izah görülmektedir [3].



Şekil 5.8. Azdırma freze tezgahının ana kısımları [3]

Azdırma freze çakısı, 1 diş doğrultusuna gelebilmesi için çakı üzerinde yazan eğim açısı kadar gövde üzerindeki dereceden döndürülür. Eğer bir düz dişli açılacaksa, çakı ekseninin yani diş kanallarının yer düzlemine dikliği Şekil 5.9' da görüldüğü gibi sağlanır. Bu açı verilmezse, kesme çok zorlanır. Çakının yan yüzleri, zorla sürtünerek keseceğinden diş kanalları geniş çıkar ve dişli bozular. Azdırma çakısının hem kesme hem de vidalama özelliği (valsleme) gösterebilmesi için kendi ekseninde dönecektir. Dolayısıyla iş parçası da çevresi etrafında dönecektir.



Şekil 5.9. Eğim açısının ayarlanması [3]

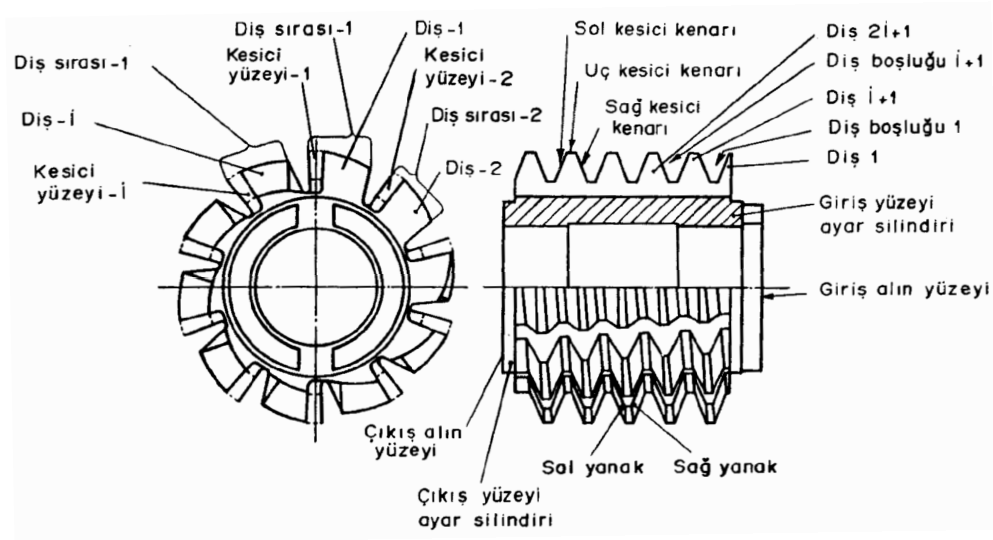
Klasik tip azdırma tezgahlarında açılacak dişlilerle ilgili önemli bir husus diş sayısıdır. Tezgah kapasitesi ve bu gibi nedenler bir kenara bırakılırsa, bu tezgahlarda diş sayısı az olan (6 ila 7) dişliler açılabilir. Tezgah kinematiği bakımından klasik tezgahlarda bu tür kısıtlamalar olmakla beraber CNC kontrollü tezgahlarda 4 dişe kadar dişli sayıları rahatlıkla elde edilebilmektedir [11].

#### 5.4.1. Azdırma çakılar

Azdırma çakılar, azdırma freze tezgahlarında kullanılan, helis, düz dişli çarkların ve sonsuz vida çarkı vb. dişli çarkların açılmasında kullanılan, sırtı torna edilmiş vida benzeri freze çakıları sınıfındadır [1]. Azdırma çakılar Türk Standartları Enstitüsü tarafından Kasım 1993 tarih ve TS 11133 sayılı standartla standartlaştırılmıştır. TS 11133'e göre azdırma; kendi eksenini etrafında dönerek, dönmekte olan silindirik biçimli iş parçası çevresinden talaş kaldırarak diş açan kesici takımdır [135]. Şekil 5.10'da azdırmanın ana kısımları verilmiştir.

Azdırma çakıları imali hem kolay hem de her zaman takımın bilenmesiyle yine aynı dişli profilini vermesi bakımından talaşlı imalatta kullanılan vazgeçilmez bir dişli çark işleme takımıdır. Bir sonsuz vida mili gibi tanımlanan azdırmaların kaba formu tornadan elde edilen trapez vida gibidir. Bu takımlar daha sonra talaş boşluğu oluşturmak için eksene paralel kanallara bölünerek her bir kanal için kesici ağız oluşturulmuştur. Kesme sırasında sürtünme olmaması için kesici dişlerin sırtları

geriye doğru boşaltılmıştır. Azdırma tarafından üretilen dişliler eş yuvarlanma metoduna dayanarak kesilirler. Azdırma sonsuz vida, açılan dişli ise bu sonsuz vidanın karşılık dişlisi gibi düşünülürse, kesme hareketinin olabilmesi için sonsuz vida üzerinde belirli aralıklarda yarıklar ve boşluk açısının elde edilebilmesi içinde spiral olarak komple boşaltılması gerekir [4].



Şekil 5.10. Azdırmanın ana kısımları [135]

Azdırma freze çakısının elemanlarını aşağıdaki gibi açıklanmıştır:

*Adım*, yan yana sıralı aynı yön ve biçimdeki sağ (sol) kesme kenar yanakları arasında kalan bölüm silindiri üzerindeki helisel uzaklıktır.

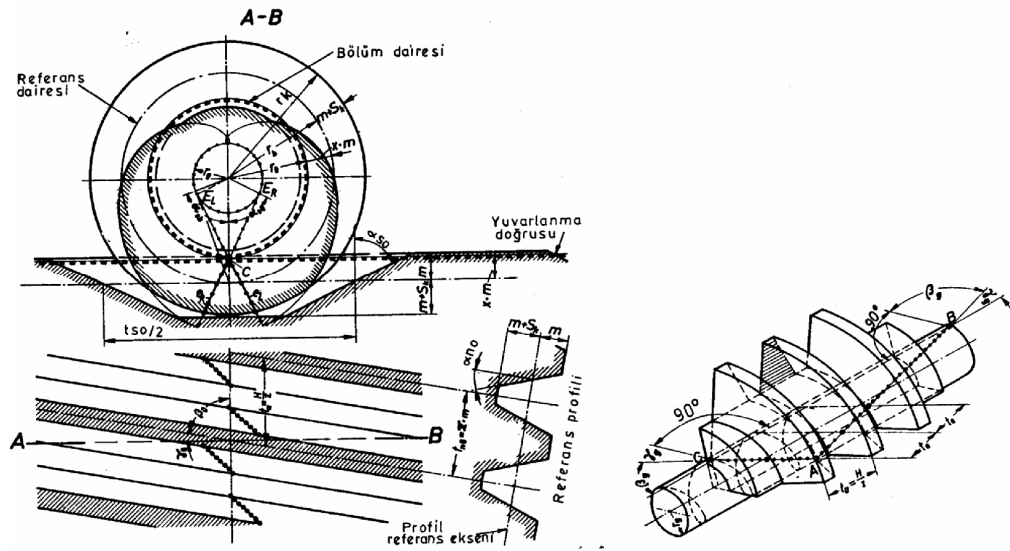
*Sağ (Sol) Adım*, azdırmanın sağdan sola (soldan sağa) doğru bölüm silindiri üzerinde bulunan kesici kenarları arasındaki uzaklıktır.

*Kesici kenarları*, talaş kaldırarak dişli çark diş profilini oluşturan dişlerin kenarlarıdır.

*Sağ (sol) kesici kenarları*, bir azdırma dişin simetri ekseninin sağında (solunda) kalan kesme kenarlarıdır.

*Dişler*, azdırma silindiri çevresinde belirli bir helis açısında bir veya bir kaç ağızlı, vida kanallı, aynı biçim ve büyüklüklerde, eşit aralıklarda sıralanmış kesici (kama), talaş ve boşluk açılı yüzeyleri bulunan ve kesme yaparak dişli çark diş profilini meydana getiren kısımlardır.

*Referans profili*, helis sarımı diş yanağı teğetine dik bir kesit düzlemindeki profildir (Şekil-5.11).



Şekil 5.11. Helis sarımı [135]

- a) Düz dişli ve helis sarımı alın kesiti ile helis sarımı temas çizgili düz sarımına ait elemanları ve b) Bir azdırma ve helis dişli sistemi

*Referans silindiri*, bir sıfır (kavrama açısı  $20^\circ$ ) dişlisinin bölüm dairesine ve düz dişlinin profil referans çizgisine temas eden azdırma eksenini ile ortak eksenli bir silindiridir.

*Bölüm dairesi*, azdırma ile aynı eksenli bir dairedir.

*Temel silindiri*, helis sarımındaki diş yanakları evolvent yüzeylerini meydana getiren silindiridir.

*Helis adımı (H)*, azdırma eksenine paralel (aynı düzlemde olmayan) bir doğrunun bir tam dönüşünde sağ (sol) diş yanağının paralelle kesiştiği iki nokta arasındaki uzaklıktır.

*Helis sarımı*, azdırmayı saran hayali sarmal bir yüzeydir.

*Ayar açısı ( $\gamma$ )*, azdırma bölüm silindiri üzerinde, bir adımdaki helis sarımının açısıdır.

*Kuvvet açısı*, bir azdırma yarıçapı kesit düzlemi üzerinde bulunan ve azdırma yarıçapının normal diş yanağını kestiği noktada meydana gelen açıklığın  $90^\circ$ 'ye tamamlandığı açıdır.

*Kavrama açısı ( $\alpha$ )*, bölüm silindiri üzerindeki en büyük kuvvet açısıdır.

*Diş kalınlığı (s)*, bölüm silindiri üzerinde bir dişin her iki yanağı arasındaki bir helis çizgisi veya yayının uzunluğudur.

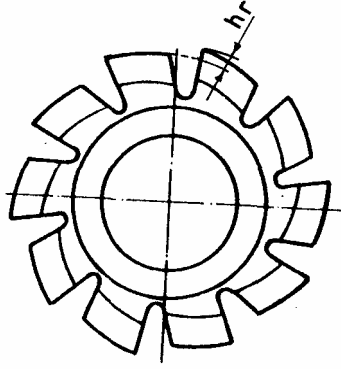
*Talaş kanalı*, azdırma dişi kesme yüzeyi ile bir önceki dişin arka yüzeyi arasında kalan azdırma eksenine paralel oluktur. Kanal sayısının artması azdırmanın kesme kapasitesini artırır; bununla birlikte faydalı diş boyunu azaltır, bu nedenle kesici çapı artmaktadır.

*Talaş Kanalı Adımı( $H_n$ )*, azdırmanın birbirine komşu ve ortak eksenli iki kesme yüzeyi arasındaki daire yay uzunluğudur.

*Talaş kanalı helis adımı (HN)*, azdırma eksenine paralel bir doğru üzerindeki bir talaş yüzeyinin helis tam boyundaki hayali kesim noktaları uzaklığıdır.



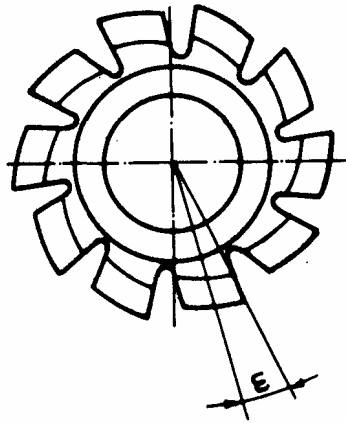
*Diş üstü sırt boşluğu ( $h_r$ )*, bir önceki dişin sırt boşluğu uzantısı ile kesme yüzeyi uç noktası arasındaki uzaklıktır (Şekil 5.12).



Şekil 5.12. Azdırma sırt boşluğu [135]

*Diş yüksekliği ( $h$ )*, azdırma ekseninden itibaren kesme kenarının en büyük değeri ( $r_k$ ) ile en küçük değeri ( $r_f$ ) arasındaki farktır.

*Diş üstü eğrisi*, azdırmanın diş üstü silindiri ile diş yanaklarını (sağ-sol) birleştiren eğrisidir.



Şekil 5.13. Bileme açısı [135]

*Diş Dibi eğrisi*, azdırmanın diş dibi silindiri ile diş yanaklarını (sağ-sol) birleştiren eğrisidir.

*Bileme açısı ( $\epsilon$ )*, azdırmanın bileme esnasında ayarlandığı açıdır (Şekil 5.13).

Azdırma çakılar; sınıflar, tipler, türler ve çeşitler olmak üzere dört ana guruba ayrılmıştır [135]. Bunları aşağıdaki gibi belirtilebilir;

Sınıflar: Mamül kalitesi derecesine göre,

1. A kalitesi,
2. B kalitesi,
3. C kalitesi,
4. D kalitesi,
5. AA kalitesi.

Tipler: Referans profili numaralarına göre,

1. Referans profili I,
2. Referans profili II,
3. Referans profili III,
4. Referans profili IV,

Türler: Kama kanallarına göre,

1. Tür A enine kama kanallı,
2. Tür B Boyuna kama kanallı.

Çeşitler: Vida diş ağız sayısına göre azdırmalar,

1. Bir ağızlı,
2. İki ağızlı.

Ayrıca azdırmalar kendi tasarımlarına göre 4 gruba ayrılmışlardır [11].

- 1- Taşlanmış tekparça azdırmalar,
- 2- Takma uçlu azdırmalar,
- 3- Hassas kesme azdırmalar (Skiving hob)
- 4- Sınıflandırılmış taşlanmamış azdırmalar.

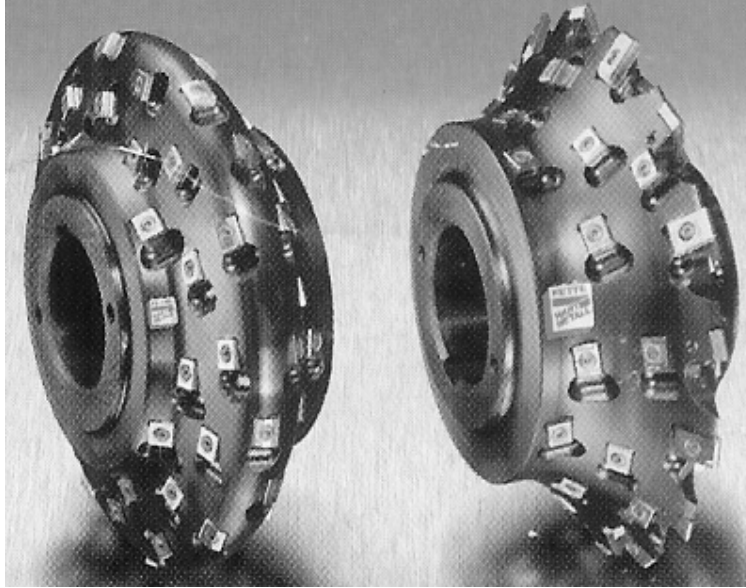
Son yıllarda kullanım alanı genişleyen takma uçlu azdırmaları aşağıda belirtildiği gibi açıklamak mümkündür.

*Takma uçlu azdırmalar:* İlk defa II. Dünya harbi sırasında kullanılmışlardır, çünkü o esnada yeteri kadar HSS çelik temin edilemiyordu. Mühendislerin bulduğu çözümlerle azdırmaların gövdesi adi çelikten yapıp onun gövdesine açılan yarıklara kesici uçlar yerleştirilerek kesici kısım oluşturuldu. Şekil 5.14'de takma uçlu bir azdırma çakı görülmektedir.

Özel bir aparat içerisine yerleştirilen uçlar aynı şekilde normal bir sonsuz vida gibi taşlanabilmektedir. Bu daha büyük çaplı taşlama taşı kullanılabilme imkanı verdiği gibi taşlama süresini de kısaltır. Bundan daha büyük bir avantaj ise dişin kendisinin bütün boyu taşlanarak tüm diş boyunun tamamının kullanılmasına imkan sağlamasıdır. Böylece daha fazla parça kesilebilmektedir. Küçük hacimli malzemenin daha hassas ısı işlem neticelerinin elde edilmesi ve tüm neticelerini sonunda bu azdırmalar daha yüksek kesme hızlarında çalışma imkanı verirler. Takma uç olarak farklı özerliklerde ve alaşımlardaki malzemeler kullanılmaktadır (karbür, kaplamalı karbür, CBN gibi).

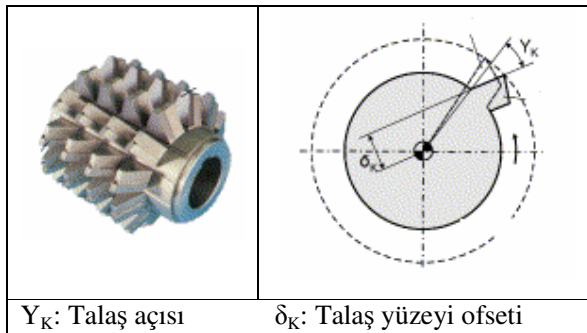
Bu tip azdırmalar daha fazla yaklaşım boyuna ihtiyaç duyarlar. Daha büyük çaplarda ve modülde (genellikle 6 ve üstü) imal edilmekte ve daha fazla tezgah gücüne ihtiyaç duyulmaktadır. Azdırma çapının büyük olması, aynı devirle dönerken daha yüksek kesme hızına neden olur. Diğer taraftan aynı sayıda yanaklara sahip olması halinde çapı büyük olan azdırma daha uzun bir diş kesme uzunluğuna sahip olacaktır. Çapın büyük olması daha fazla yarık açılmasına imkan tanıyacağından her dişe gelen yük düşecektir. Büyük çaplı azdırmalarda dişlerin yanaklarındaki kesici kenar uzunluğu

arttığından özellikle çok ağızlı azdırmalarda büyük önem kazanır. Normal azdırmalara nazaran takma uçlu azdırmalar çok daha pahalıdır [4,11].



Şekil 5.14. Takma uçlu azdırma [11]

*Hassas kesme azdırmalar:* Kaba olarak işlenmiş dişlilerin son ölçülerine dar tolerans aralıklarında getirilmelerinde kullanılmaktadır. Hassas kesme azdırmaları diğer azdırmalardan ayıran en önemli ayrıntı, her bir dişin geriye doğru talaş açısına sahip olması ve talaş yüzeyi doğrultusunun azdırma merkezinden kaçık olmasıdır. Şekil 5.15'te hassas kesme azdırma görülmektedir



$\gamma_K$ : Talaş açısı

$\delta_K$ : Talaş yüzeyi ofseti

Şekil 5.15. Hassas kesme azdırma [99]

### 5.4.2. Azdırmalar için kesici malzemeler

Azdırmalarda ideal kesici malzemesinin seçimi belli teknolojik gerekliliklerden dolayı önem arz eder. Dişli çark üretiminde yüksek üretim hassasiyeti gerekliliğinden dolayı yekpare takımlar tercih edilir, örneğin; tüm malzemeler yekpare azdırmaların üretimi için uygun değildir, bununla birlikte bazı HSS malzemeler popüler olsa da, son zamanlarda karbürler popüler olmuşlardır. HSS; içerdiği alaşım kompozisyonunun yüksek oranda ısı transferi eğilimine imkan verdiği yüksek alaşım çeliklerinden bir grubun genel adıdır. Kobalt alaşımli yüksek hız çelikleri dişli işleme takımlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kobalt ısı direncini ve sıcak sertliği artırır, böylece takımın yüksek kesme hızında kullanımına imkan verir. Karbonla birlikte alaşım elementleri tungsten, molibden, krom ve vanadyum çok sert ve aşınma dirençli karbürleri oluşturur. Bu elementlerin içeriğinin fazlalığı aşınma direncini artırır ve tokluk değerini azaltır. Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen HSS'ler bu problemin çözümü için geliştirilmiştir ve bilinen HSS'lerden daha yüksek tokluk sağlamıştır [11].

Çizelge 5.2. Azdırma çakı malzeme özellikleri [11]

Özellikler	Birim	HSS	Karbür
Sertlik	HV10	800-900	1200-1900
Azami Eğilme Gerilmesi	N/mm <sup>2</sup>	5000	1000-2500
Yoğunluk	g/cm <sup>3</sup>	8-8.3	11-15
Elastik Modülü	10 <sup>3</sup> N/mm <sup>2</sup>	217	480-660
Isıl Genleşme Katsayısı	µm/(m °C)	10-13	5-7
Isıl İletkenlik (20°C'nin üzerinde)	W/(m °C)	19	30-100

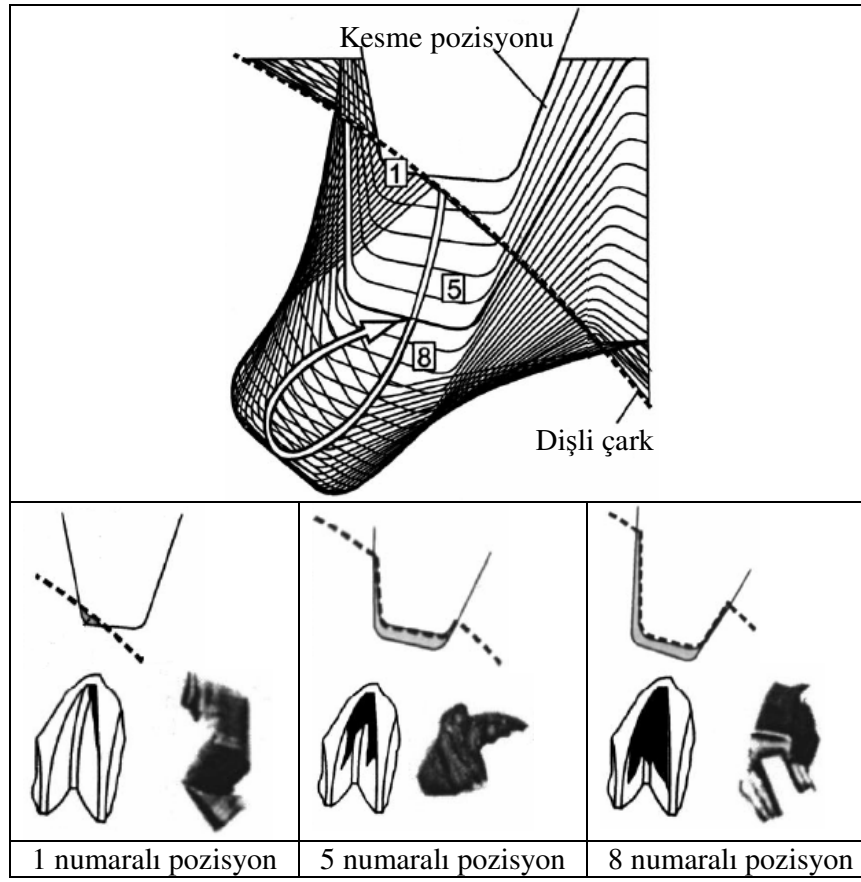
Karbür; esasında tungsten karbür (WC), titanyum karbür (TiC) ve tantal karbür (TaC) gibi sert malzemeler ile ilave olarak da kobalt (Co) içeren ve toz metalurjisi ile üretilen kesicilerdir. HSS ve karbürlerin teknolojik karakteristiklerin karşılaştırılması Çizelge 5.2'de verilmiştir. HSS kesiciler daha tok yapıda bulunurlar, karbür kesiciler ise daha yüksek aşınma direncine sahiptirler. HSS azdırmalar mekanik ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra üretim kolaylığı açısından çok tercih edilen bir malzemedir. Kaplama teknikleri ile özellikleri daha da geliştirilebilmektedir. Ancak, daha yüksek

kesme hızlarında işleme ve daha sert malzemelerin işlenmesi gereksinimi karbür azdırmaların tercihini gerektirmektedir. Özellikle, HSS'lerin çalışma sıcaklıklarının 500 °C, karbürlerin de 1000 °C civarında olması. Bunun yanı sıra karbürler yüksek kesme hızlarında ve kuru kesme şartlarında daha verimli dişli işlemenin yapılmasına imkan vermeleri karbür azdırmalara olan talebi arttırmıştır..

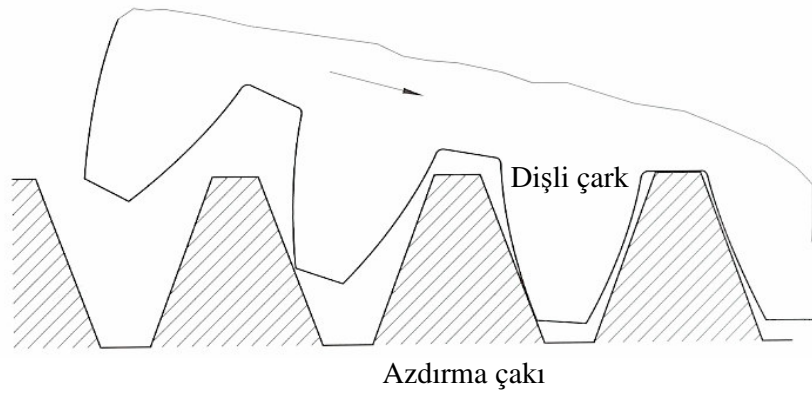
### 5.4.3. Azdırma ile kesme işlemi

Azdırma işleminde kesme mekaniği ve talaş oluşumu diğer talaşlı üretim operasyonlarına göre oldukça farklıdır. Kesme sırasında azdırma ve dişli çark uyumlu bir şekilde hareket ederken kesme işlemi yapılmaktadır. Dişli çarkın işlenmesi süresince bu uyumlu hareketin değişmeden sürdürülmesi oluşacak profilin tamlığı açısından önemlidir. Dişli çark azdırmanın altında dönerken azdırma da kendi ekseninde dönerek kesmeyi gerçekleştirir. Bu arada azdırma sabit bir ilerleme hızı ile aşağı doğru ya da yukarı doğru hareket eder. Esasen dişli çarkın dönüş tarzı dişli çarkın profilini oluşturmaktadır. Genel olarak bir dişin içerisinde azdırmanın kesme yapması Şekil 5.16'da verildiği gibi olmaktadır. Buradaki kesme hareketlerinin sayısı azdırmanın çevresindeki kesici uç sayısı ve kullanılan tezgahın diferansiyel bölüntü mekanizması ile ilgilidir. Örneğin; azdırma 1 devir yaptığında dişli çarkın 1 diş dönmesi sağlanıyorsa ve azdırmanın çevresinde 16 diş var ise azdırmanın altından bir diş boşluğu geçene kadar azdırma çevresindeki 16 diş bu diş boşluğundan kesme yapar. Böylelikle diş boşluğu üzerinde 16 farklı kesme pozisyonu oluşacaktır. Şekil 5.16'da kesme pozisyonlarına göre yapılan kesme miktarının temsili ve oluşan talaşlardan örnekler verilmiştir. Bu kesme pozisyonlarının oluşturulması, kesme kuvvetlerinin detaylı olarak incelenmesine de olanak tanımaktadır. 2. Bölümde de anlatılan kesme kuvvetleri ile ilgili çalışmaların bir çoğunda bu kesme pozisyonları dikkate alınmıştır.

Azdırma çarkının tamamının dişli çark üzerindeki konumunu ise Şekil 5.17'de görülmektedir.

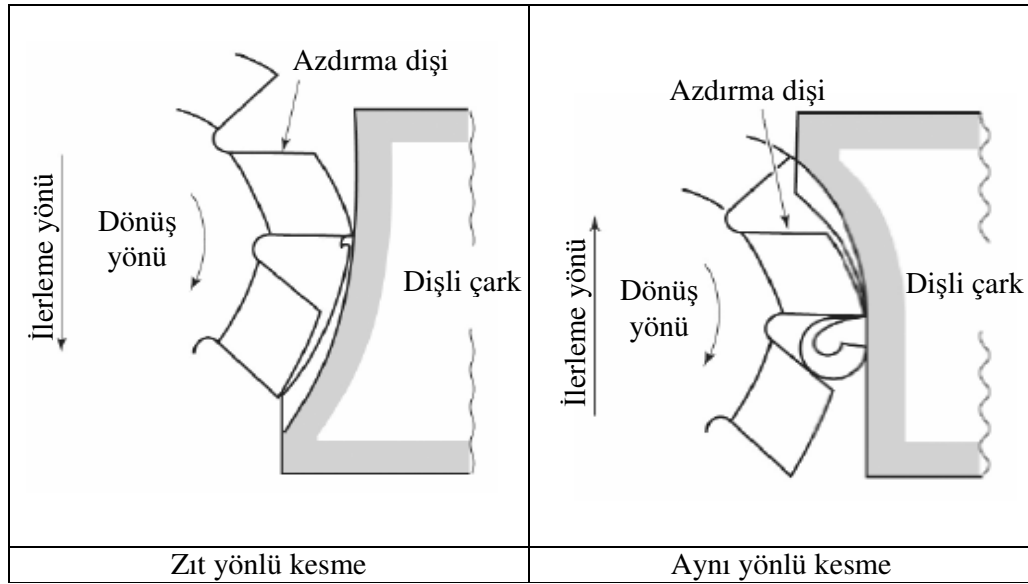


Şekil 5.16. Azdırma ile kesmenin modeli [9]



Şekil 5.17. Azdırma ve dişli çarkın konumu [11]

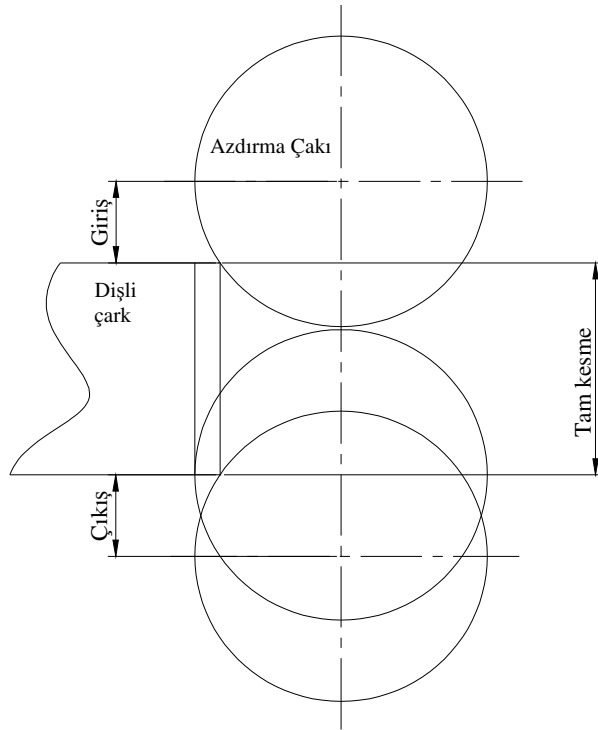
Azdırma işlemi aslında tipik bir frezeleme işlemidir. Tıpkı frezeleme operasyonlarında olduğu gibi aynı yönlü ve zıt yönlü kesme işlemi yapılabilmektedir. Zıt yönlü azdırma işleminde ilerleme hareketi yukarıdan aşağıya doğru, aynı yönlü azdırma işleminde ise aşağıdan yukarıya doğrudur (Şekil 5.18). Şekilde de görüldüğü gibi zıt yönlü kesmede talaş kalınlığı kesici dişin hareketi ile artmakta, aynı yönlü kesmede ise talaş kalınlığı büyük başlayıp daha sonra azalmaktadır.



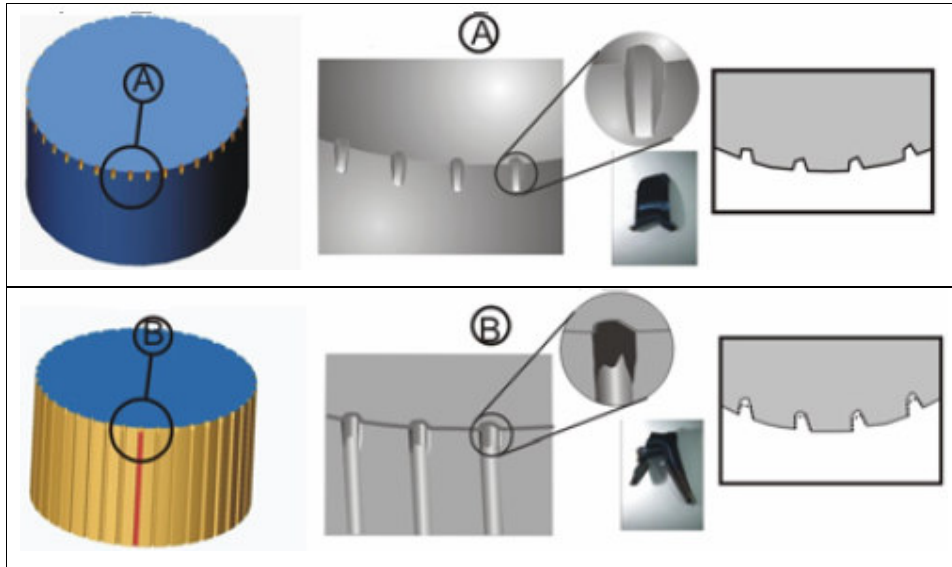
Şekil 5.18. Azdırma işleminde kesme yönleri [136]

Azdırma ile dişli çark üretiminde dişli çark diş genişliği tamamlanıncaya kadar yapılan kesme üç bölgeye ayrılmaktadır [9]. Bunlar giriş, tam ve çıkış kesme bölgeleri olarak adlandırılır. Bu üç bölgenin ölçüleri dişli çark ve azdırma çakının geometrik ölçüleri ile doğrudan ilgilidir. Şekil 5.19'da bu üç bölgenin oluşumunu gösteren bir şekil verilmiştir. Bölgeler arasında kesilen talaşların boyutları bakımından farklılıklar görülmektedir. Giriş bölgesinde talaşlar küçük iken, tam kesmenin olduğu bölgede büyüktür. Giriş bölgesinde; azdırma ilerledikçe talaşların boyutu büyür. Çıkış bölgesinde ise küçülmektedir [5]. Şekil 5.20'de azdırmanın ilerlemesi ile dişli çarkta oluşan dişlerin şekli ve talaşların temsili şekilleri verilmiştir.





Şekil 5.19. Azdırma işleminde kesme bölgeleri



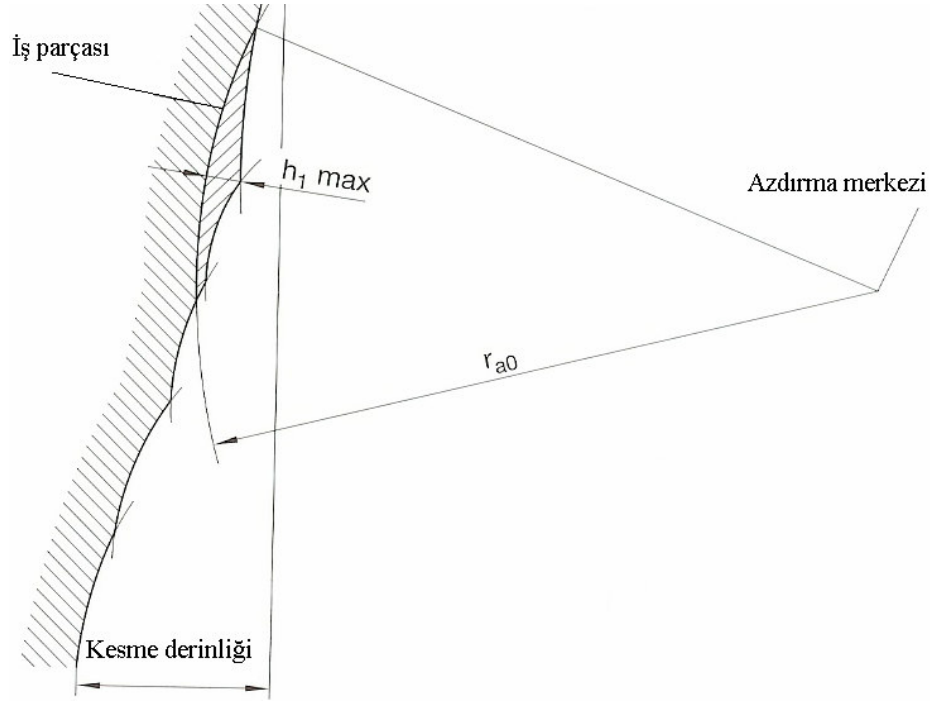
Şekil 5.20. Azdırmanın ilerlemesi ile dişli çark dişlerinin oluşumu [5]

#### 5.4.4. Eksenel ilerleme $f_a$ (mm/iş devri)

Azdırma işleminde ilerleme değeri iş parçasının 1 devrinde mm olarak verilmektedir. İlerleme yukarıda da belirtildiği gibi aşağı ya da yukarı doğru verilebilmektedir. İlerleme değeri diğer talaşlı üretim operasyonlarında olduğu gibi kesme kuvvetleri aşınma ve yüzey pürüzlülüğünü etkilemektedir. Deneysel çalışmalar, eksenel ilerleme değerinin uç talaş kalınlığını etkilediğini açıkça göstermiştir. Uç talaş kalınlığı teorik olarak azdırma dişlerinin uçlarıyla kaldırılan maksimum talaş kalınlığıdır. Uç talaş kalınlığı azdırma gerilmesi için bir kriter olarak ele alınır; yüksek uç talaş kalınlığı yüksek kesme kuvvetlerine ve düşük takım ömrüne neden olur. Şekil 5.21’de uç talaş kalınlığı görülmektedir. Modül, eksenel ilerleme, kesme derinliği ve ağız sayısı arttığında uç talaş kalınlığı artar. Dişli çark diş sayısı, azdırma çapı ve talaş kanalı sayısı arttığında, uç talaş kalınlığı azalır.

Uç talaş kalınlığı azdırma tasarımı ve optimizasyonu için önemli bir kriterdir. Uç talaş kalınlığı azdırma dişleri tarafından kaldırılabilen maksimum talaş kalınlığı ile ilişkilendirilmiştir. Uç talaş kalınlığının hesaplanmasında kullanılan parametreler şunlardır:

- Modül,
- Diş sayısı,
- Helis açısı,
- Kesici çapı,
- Talaş kanalı sayısı,
- Eksenel ilerleme,
- Ağız sayısı,
- Kesme derinliği,
- Profil değişikliği.



Şekil 5.21. Uç talaş kalınlığı [11].

Hoffmeister'in uç talaş kalınlığının hesaplanması için geliştirdiği formül Eş. 5.1'de verilmiştir.

$$h_1 \max = 4,9mZ_2^{(9,25 \cdot 10^{-3} \beta_0 - 0,542)} e^{-0,015 \beta_0} e^{-0,015 x p} \left( \frac{r_{a0}}{m} \right)^{(-8,25 \cdot 10^{-3} \chi_0 - 0,225)} \cdot i^{-0,877} \left( \frac{f_a}{m} \right)^{0,511} \left( \frac{a}{m} \right)^{0,319} \quad (5.1)$$

Burada;

- $m$  : Modül,
- $Z_2$  : Diş sayısı,
- $\beta_0$  : Helis açısı (radyan),
- $xp$  : Profil kaydırma faktörü,
- $r_{a0}$  : Azdırma yarı çapı,
- $i$  : Kanal sayısı/ağız sayısı,

$f_a$  : Aksenal ilerleme,

$a$  : Kesme derinliği.

Deneysel alışmalar uç talaş kalınlığı 0,2-0,25 mm arasında olmasının uygun olduğunu belirtmektedir.

Ekonomik nedenlerden işleme zamanını dūřürmek için aksenal ilerlemenin arttırılmasının tercih edilmesi mümkün olabilir. Bununla birlikte aksenal ilerlemenin arttırılması ile pürüzlülük de artmaktadır. Kaba işleme için karbür azdırmalar kullanıldığında, maksimum uç talaş kalınlığı 0,12 ile 0,20 mm arasında olmalıdır. Karbür azdırmalar soğutma sıvısı olmadan kullanıldığında, yeterli talaş kesiti sağlanarak kesme işleminden dolayı oluşan ısının % 80'inin talaş tarafından giderilmesi sağlanmalıdır [11].

#### **5.4.5. Kesme hızı**

Kesme hızı azdırma işleminde de önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Kesme hızı; kesme kuvvetleri, azdırma aşınması, pürüzlülük ve işleme zamanı gibi parametreler üzerinde farklı oranlarda etkili olmaktadır. Kesme hızı değerini için, minimum azdırma aşınması değerinde bir dişli çarkı, istenen ölçü tamlığında ve yüzey kalitesinde en kısa sürede işlemeye imkan verecek değerini seçilmesine dikkat edilmelidir. Tüm talaşlı üretim operasyonlarında olduğu gibi kesme hızını belirlerken azdırma akının malzemesi, takım tezgahı ve iş parçası özellikleri önem arz etmektedir.

#### **5.4.6. Azdırma ağız sayısı**

Ağız sayısının iki ve daha fazla olması halinde azdırmalar parçaların bağlı olduğu tezgah tablasını daha hızlı dndrrleri ve daha kısa sürede kesme yaparlar. Çok ağızlı azdırma kullanırken firmanın önerdiği tezgah tabla hızı aşılmamalıdır. Bu husus özellikle küçük diş sayısına sahip dişlilerde göz önüne alınmalıdır. Çok ağızlı azdırma seçilirken tezgahın çok rijit ve bilhassa azdırma kafasını yukarı ve aşağı

hareket ettiren ilerleme milinin boşluksuz olması gerekir. Aksi takdirde kesilen dişlinin yanak profili azdırmadan sonra yapılacak olan bitirme işlemi için yetersiz kalır ve profilde çukurluk oluşur [4].

Sonsuz vida karşılık dişlisi için kullanılan azdırma çakıların dışındaki azdırmalar için ağız sayısının artması işleme performansını artırır. Ağız sayısı arttırıldığında uç talaş kalınlığını vermek için (Eşitlik 5.1'e göre) aksenal ilerleme azaltılmalıdır. Aksenal ilerleme ve ağız sayısının büyük olmasıyla işleme zamanı kısalmaktadır. Ağız sayısının değişmesi uç talaş kalınlığının üzerinde etkilidir. Bu da Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Ağız sayısı uç talaş kalınlığı ve ilerleme iz derinliği arasındaki ilişki [11].

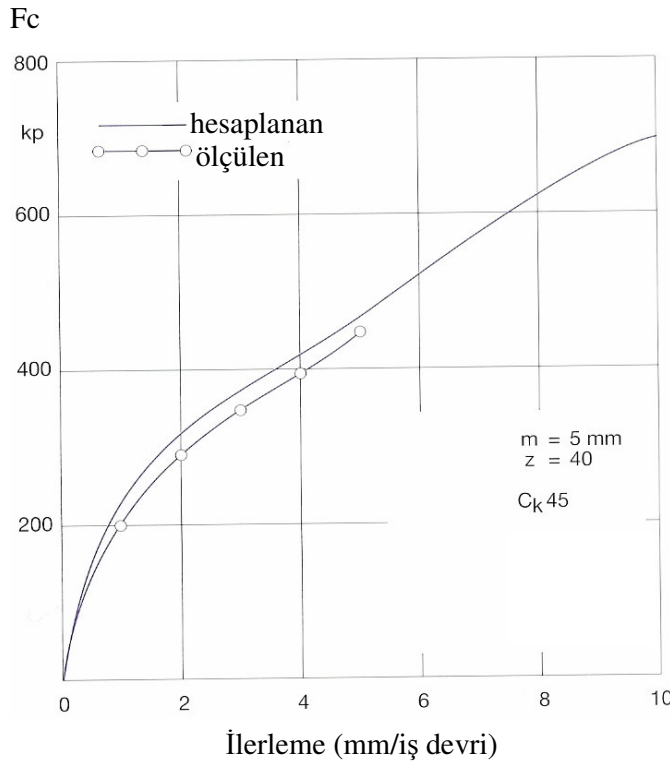
Modül	2,5				
Kavrama açısı	20°				
Diş sayısı	29				
Helis açısı	15°				
Profil değişim faktörü	0,2				
Kesme derinliği (mm)	5,63				
Kesici çapı (mm)	110				
Yarık sayısı	24				
Ağız sayısı $Z_0$	1	2	3	4	5
Uç talaş kalınlığı (mm)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Aksenal ilerleme $f_a$ (mm/iş devri)	15,71	4,78	2,38	1,46	0,99
İlerleme iz derinliği (mm)	0,206	0,019	0,005	0,002	0,001

#### 5.4.7. Kesme kuvvetleri

Yaklaşık 100 yıldan beridir azdırma operasyonları bilinmektedir. İnsanoğlu azdırma işleminin doğasını ve problemlerini uzunca bir süredir incelemektedir. Tornalama ve frezeleme gibi talaşlı imalat operasyonları, kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, iş parçası ve kesici özellikleri gibi parametrelerle değerlendirilmektedir. Diğer talaşlı üretim operasyonlarının aksine azdırma işlemi biraz daha karmaşıktır. Özellikle kesme derinliği kavramı biraz farklılık göstermektedir. Daha önce bahsedildiği gibi kesme pozisyonları kaldırılan talaş kesitini etkilemektedir. Thamer, bu kesme

pozisyonlarının tavrı ile ortaya çıkan talaş kesit alanlarından yararlanarak azdırma işlemi sırasında ortaya çıkan kesme kuvvetlerinin belirlenmesini sağlamıştır [63]. Ayrıca talaş kesitinin küçük veya büyük olması azdırma ve dişli çark geometrisinin yanı sıra ilerleme ile de ilgilidir. Küçük modül ölçüsü ve düşük ilerleme talaş kesitini azaltırken büyük modül ölçüsü ve ilerleme değeri talaş kesitini artırmaktadır [63].

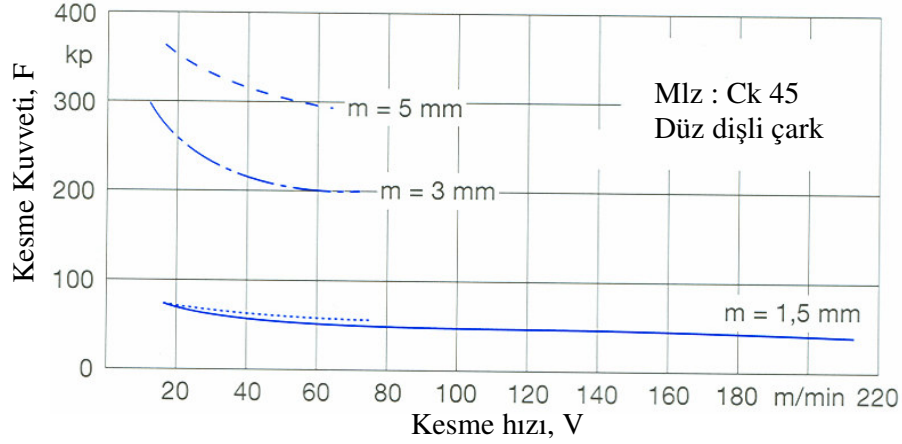
Tüm metal kesme operasyonlarında olduğu gibi, azdırma işleminde de ilerlemedeki değişimin kesme kuvvetleri üzerinde önemli etkisi vardır. İlerlemenin artması ile kesme kuvvetleri artarken, ilerlemenin azalması ile de kesme kuvvetlerinde azalma görülmektedir (Şekil 5.22).



Şekil 5.22. İlerlemenin kesme kuvveti üzerine etkisi [63]

Yine aynı yaklaşımla kesme hızının artması ile kesme kuvvetleri de azalmaktadır. Ancak kesme hızındaki artışın (özellikle 100 mm/dak'dan yukarıya hızla yükselmesi) fazla değişmediği görülmüştür (Şekil 5.23). 1,5 ve daha aşağı modül

ölçülerinde kesme hızındaki artışın kuvvetler üzerinde fazla bir etkisi olmamaktadır [64].



Şekil 5.23. Kesme hızı ve kesme kuvvetleri arasındaki ilişki [11]

Keme kuvvetlerinin teorik olarak belirlenmesi amacıyla bazı çalışmalarda ampirik eşitlikler verilmiştir. İlk önerilen eşitliklerden birisi [81];

$$F = f \cdot 0,8 \cdot NDP^{-13} \cdot H \quad (5.2)$$

Burada;

- F : Kesme kuvveti (pound)
- f : İlerleme (inch/iş devri)
- NDP : Normal çapsal adım (inch)
- H : İş parçası sertliği (Vickers)

Son yapılanlardan birisi olan ve Vytenis tarafından yapılan çalışmada; kesme pozisyonlarından yola çıkılarak  $F_z$  kuvvetinin belirlenmesi için bir eşitlik geliştirilmiştir [137].

$$F_z = C \cdot t^a \quad (N) \quad (5.3)$$

Burada;

- $F_z$  : z yönündeki kesme kuvveti (N)  
 $t$  : kesilen bölgenin genişliği (talaş kalınlığı) (mm)  
 $C$  : Malzemeye bağlı katsayı (Çizelge 5.4)  
 $A$  : Malzemeye bağlı katsayı (Çizelge 5.4)

Çizelge 5.4. C ve a katsayılarının değerleri [137]

Dişli çark malzemesi	Sertlik (HB)	Katsayılar	
		C	a
Sade karbonlu çelik	HB≤197	1165,21	0,6442
	HB 198-229	1285,63	0,6446
	HB>229	1528,65	0,6443
Alaşımli çelik	HB≤197	1660,03	0,6764
	HB 198-229	1767,01	0,6704
	HB>229	1954,87	0,6706
Gri dökme demir	HB≤180	983,42	0,6431
	HB>180	1023,82	0,6116
Dökme demir		830,17	0,6077

#### 5.4.8. Azdırmalarda aşınma

Azdırma çakılarda meydana gelen aşınmalar incelendiğinde, diğer talaşlı üretim operasyonlarında görülebilen aşınma tiplerinin ve aşındırma mekanizmalarının benzer biçimde ortaya çıktığı görülmektedir. Azdırma çakılarda özellikle kesici dişler üzerindeki gerilmelerde kesme azdırma işleminin doğası gereği bölgesel değişiklikler görülmektedir. Diğer frezeleme operasyonlarında olduğu gibi sürekli bir kesme söz konusu değildir. Bu durumda mekanik yorulmalardan kaynaklanan çatlakları görmek mümkündür. Azdırma çakılar kesme yaparken iş parçası da kendi eksenini etrafında döner. Bu nedenle azdırma çakılarda kesme, kesici kenarda talaş derinliği kadar değil, noktasal olmaktadır. Bu da oluşabilecek aşınma tipini ve miktarını etkilemektedir. Kesme parametrelerinin azdırma aşınması üzerindeki etkileri diğer talaşlı imalat operasyonlarından farklıdır. Genel yaklaşımla azdırma aşınması üzerinde kesme hızı ve ilerlemenin önemli bir etkisi vardır. Bilindiği gibi



kesme hızının artmasıyla kesme bölgesinde ortaya çıkan ısı artmaktadır. Isı artışıyla birlikte kesici kenarda ve yüzeyde aşınma hızlanmaktadır. Küçük ilerleme değerlerinde küçük talaş kalınlığı vardır ve kesme kuvvetleri de azdır. Ancak, ilerlemenin az olması kesme giriş bölgesinde kesmeye katılan azdırma diş sayısını arttırmaktadır. Bu durumda aşınma miktarı fazla olabilmektedir. Eğer ilerleme değeri arttırılırsa, talaş kalınlığı artacak ve kesme kuvvetleri de artacaktır. Kesme başlangıç bölgesinde kesme ye katılan azdırma diş sayısı azalacaktır [64].

Aşınma üzerine etkiyen faktörler; kesme parametreleri, işleme şekli ve dişli çark olmak üzere üç farklı başlıkta toplanabilmektedir. Bu yaklaşım biraz açılır ise; azdırma aşınması; azdırmanın çapından, ağız sayısından ve talaş kanalı sayısından, kesici kenar geometrisinden, dişli çark malzemesinden ve tasarımından etkilenmektedir. Bunlara ek olarak, azdırma işleminde seçilen işleme tipi de (aynı yönlü, zıt yönlü) aşınma dağılımını etkilemektedir. Aynı yönlü kesme işleminde azdırma dişinin sol yanağında aşınma fazla iken zıt yönlü kesme işleminde sağ yanağındaki aşınma fazla olmaktadır. Bu durum zıt yönlü kesme sırasında ortaya çıkan temsili kesme yayı uzunluğunun aynı yönlüden daha uzun olmasıdır. Ayrıca dişli formunun oluşturulması esnasında esas etken kenar her iki kesme tipinde kesicinin farklı yanakları olmaktadır [11].

Ayrıca kesme işleminin kesme sıvısı kullanılarak yapılması da ortaya çıkabilecek aşınma tiplerini etkilemektedir. Azdırma dişlerinde görülen aşınmalar Şekil 5.15’de verilmiştir. Aşınma iz genişliğindeki yaklaşık 0.1 mm’den yukarı doğru artış ve işlemlerin ekonomik faydası üzerinde artan etkiye sahiptir. Bu nedenle, aşınma iz genişliğinin 0,1-0,15 mm arasında tutulması tavsiye edilmektedir [11].

Azdırma üzerine yapılacak kaplama ile aşınma oluşumunda önemli faydalar sağlanabilmektedir. Kaplama, bir bariyer gibi esas takım malzemesini aşınmaya karşı korumaktadır. Azdırmalarda endüstriyel olarak en çok tercih edilen kaplama türü TiN kaplamadır. TiN düşük kimyasal yakınlığı nedeni ile takım ve talaş arasındaki sürtünmeyi azaltarak meydana gelen ısıyı düşürür ve dolayısıyla takım aşınmasını azaltıcı rol oynar. Ayrıca kaplama ile daha yüksek kesme hızı değerlerine ulaşmak

mümkündür. Kesici uçta plastik deformasyon ya da kırılma olamadığı sürece kesici uç bilenerak tekrar tekrar kaplanabilmektedir. Özellikle HSS azdırmaların kaplanması gerek işleme performansı gerekse işleme ekonomisi açısından önemli sonuçlar ortaya koymaktadır.

#### **5.4.9. Azdırma çakılar için işlenebilirlik**

Azdırma işleminde kesme hızının seçimi için ilk önce aşınma miktarının belli bir seviyeyi aşmadığı farz edilmelidir. Yüksek aşınma, kesici dişlerin kesici kenarlarında geometrik sapmalara ve yüksek kesme kuvvetlerine neden olmaktadır. Sonuçta dişli kalitesi azalmaktadır. Beklenen aşınma miktarı orantılı arttığında, takımın verimli kullanımı sağlanabilmektedir. Aynı zamanda tekrar tekrar bileme ile ekonomik takım ömrü sağlanmış olur. Kesici takımdaki aşınmanın hızlı olarak artması düşük takım ömrüne neden olur dolayısıyla, tezgahta takım değiştirme sırasında zaman kaybına ve yüksek bileme maliyetlerine yol açar. Bu durumda dişli malzemelerinin işlenebilirliği; belirlenen takım ömrü ve aşınma miktarını etkileyen kesme hızına bağlı olarak belirlenmektedir. Bununla birlikte işlenebilirliği malzemenin hem çekme gerilmesindeki hem de mikroyapısındaki değişiklikler etkilemektedir. Azdırma işlemlerinde işlenebilirlik, kullanılan azdırmanın kaplamalı veya kaplamasız olmasıyla veya oluşan talaşların biçimlerdeki farklılıklarla da yorumlanabilmektedir [11].

#### **5.5. Raspalama**

Raspalama işleminde dişli çarklarda uygulanan bir bitirme işlemidir. Taşlama yönteminin uygulanmadığı bitişik dişlilerin olduğu durumlarda uygulanır. Hızlı ve ekonomik olduğundan tercih edilir. Dişli çarkların işlemeden sonra görülebilen hataların giderilmesinde ve profillerin değiştirilmesinde kullanılır. Raspalama işlemi, dönel ve boylamasına bileşik hareket eden parçadan birkaç mikron kalınlığında talaş alınan özel bir tekniktir. Klasik, çapraz ve alttan raspalama olmak üzere üç farklı şekilde raspalama yapılabilir.

Klasik raspalama; dişli genişliği 38 mm'den büyük olduğu durumlarda uygulanır. Burada iş parçası akı eksenine paralel hareket eder ve raspalama süresi uzundur.

Çapraz raspalama; dişli genişliği 38 mm'den kk olduğu durumlarda uygulanır. Raspalama süresi klasik raspalamaya göre % 50 daha azdır.

Alttan raspalama; kurs boyu azdır ve raspalama süresi kısıdır. Kapalı tip dişlilerde raspa çakısının kurs ıkışları yapamadığı yerlerde uygulanır [4].

### **5.6. Dişli ark Taşlama**

Kullanım yerlerini önemi dikkate alınarak, dişli çarkların yapımlarında sertleştirme işlemlerinden sonra hassas olarak taşlanmaları, özel raspalama tezgahlarında dişlerin raspalanması veya birbirlerine alıştırılması gerekir.

Hassas taşlama işlemlerinde kullanılan tezgahlarda dişli çarkların, diş profillerinin bozulmadan çıkarılması; bileme taşlarının tezgahı ile uyumlu titreşimsiz olması, işlem bakımından oldukça önemlidir. Bu ortamda taşlanan dişli çarkların, daha yüksek randımanla ve oldukça sessiz çalışmaları sağlanır. Taşlamada amaç; dişlinin diş yüzeylerinde bırakılan taşlama payının taşlanarak yüzey kalitesinin arttırılmasıdır. Dişli arklar birçok şekillerde taşlanmakla beraber, daha çok aşağıdaki taşlar kullanılmaktadır:

1. Profil taşlarla,
2. Çanak taşlarla,
3. Azdırma biçimli özel taşlarla.

Profil taşlarla taşlama; diş profiline göre hazırlanmış özel profillerdeki taşlarla dişlerin taşlanmasıdır. Bu yöntem oldukça eski ve işlemin yapılması da basittir. Burada dişleri taşlanacak dişli bir malafaya takılır. Tezgahın bölme işleminde yararlanacak biçim de tezgahtaki yerine bağlanır. Diş profiline uygun profildeki

zımpara taşıyla diş boşluğu arasında ayarlama yapılır. Tezgah çalıştırılarak, dişli çark taşın altında otomatik olarak ileri geri hareket yaparak diş yanakları taşlanır.

Çanak taşlarla taşlamada; taşlama mili dişli çark eksenine dik konumdadır. Taşlama sırasında zımpara taşlarının yüzeyi, hayali bir kremayer üzerindeki diş yüzeylerine paralel konumdadır. Dişli çark bu kremayerin üzerinde yuvarlanarak hareket ederken dişlilerin yan yüzeyleri ayrı ayrı iki zımpara taşıyla profiline göre taşlanır.

Azdırma biçimli özel taşlarla taşlama yöntemi, dişli çarkların taşlanması en yeni metotlardan birisidir. Kullanılan taşın biçimi azdırma çakılarının biçimi gibi vida şeklindedir. Azdırma biçimli, vidaya benzer bu taşla dişlinin taşlanması, "Sonsuz vida ve çarkının" çalışma prensibine benzer şekilde, taşlama taşı dişlinin içinde çalışır. Bu yolla yapılan taşlama işlemi, hassaslığı ve kalitesi bakımından tercih edilmektedir [3].

## 6. MALZEME VE METOD

Çalışmada, dişli çark üretiminde önemli bir yer tutan azdırma usulü ile dişli çark işlenmesi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin bir dinamometre yardımı ile ölçülmesi, kesici takım da meydana gelen takım aşınmalarının incelenmesi ve işlenen dişli çarkların yüzey pürüzlülüklerinin ölçülmesi amaçlanmıştır. Literatür incelendiğinde, konunun önemine rağmen ülkemizde akademik düzeyde çalışılmamış olması ve uluslararası araştırmacılar tarafından da sınırlı sayıda çalışılmış olması konunun özgünlüğünü ve önemini göstermektedir. Çalışma; Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Talaşlı Üretim Anabilim Dalı tezgah ve ekipmanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada uygulanan yöntem, kullanılan ekipmanlar ve kesme parametreleri aşağıdaki konu başlıkları altında verilmiştir.

### 6.1. Kullanılan Takım Tezgahı

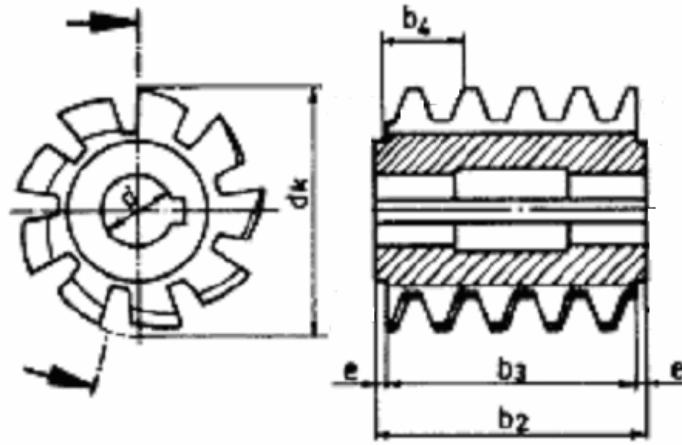
Kesme deneyleri, Talaşlı Üretim Anabilim Dalı Freze Atelyesinde bulunan üniversal azdırma freze tezgahında gerçekleştirilmiştir. Çizelge 6.1’de tezgahın özellikleri verilmiştir.

Çizelge 6.1. Kullanılan takım tezgahının özellikleri

<b>VEBZAHNSCHNEIDEMASCHINENFABRIK MODUL</b>	
<b>ZFWZ 250 x 2,5</b>	
<b>Motor gücü</b>	5.6 kW
<b>İlerleme değerleri</b>	0,25 – 0,4 – 0,63 – 1 – 1,6 – 2,5 - 4
<b>Devir sayıları (dev/dak)</b>	125 - 151 - (175 - 190)
<b>Max. frezeleme genişliği</b>	125 mm
<b>İşlenebilecek min. diş sayısı</b>	6
<b>İşlenebilecek max. parça çapı</b>	250 mm
<b>Max. Kesici çapı</b>	80 mm
<b>İşlenebilecek max. modül</b>	2,5 mm
<b>Bölüntü ve ilerleme ayarları</b>	Bölüntü ve ilerleme dişli serisinin kullanımı ile

## 6.2. Kullanılan Azdırma Çakılar

Deneylerde kesici takım olarak kullanılmak üzere, TS 11133'e uygun olarak B1 sağ RP I x 2.25 TS11133 tip azdırma çakı seçilmiştir. Deneylerde kıyaslama yapabilmek için kaplamasız HSS ve TiN kaplamalı HSS azdırma çakılar kullanılmıştır. Şekil 6.1'de deneylerde kullanılan azdırmanın şekli ve temel ölçüleri verilmiştir.

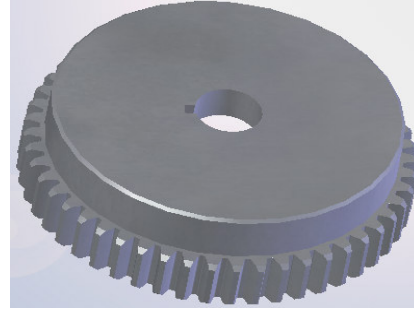
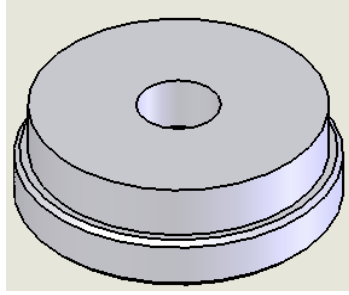


Modül	$d_k$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$e$	$d$	Ayar Açısı	Talaş kanalı sayısı	Kavrama Açısı
2,25	70	56	50	11	3	27	2°	12	20°

Şekil 6.1. Deneylerde kullanılan azdırmanın şekli ve temel ölçüleri (mm)

## 6.3. Deney Numunesinin Özellikleri

Kesme deneylerinde kullanılacak dişli çark taslakları, dişli çark yapımında çok tercih edilen SAE 8620 sementasyon çeliği malzemeden 117 mm çapında hazırlanmıştır. Numuneler, özdeş ve tam ölçülerde olması için CNC torna tezgahında kesme sıvısı kullanılarak hazırlanmıştır. Numuneler her hangi bir ısıl işlem uygulanmadan kullanılmıştır.



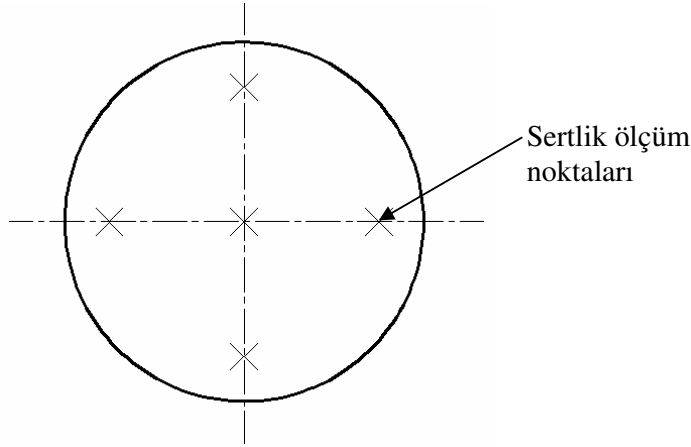
<b>Düz Dişli Çark</b>		
Modül (m)		2,25
Diş sayısı (z)		50
Diş profili		TS 3601
Diş derinliği (h)		4,875
Diş genişliği (B)		18

Şekil 6.2. Deney numunesi

Şekil 6.2’de deney numunesinin resmi ve temel ölçüleri verilmiştir. Çizelge 6.2’de deney numunesinin kimyasal özellikleri verilmiştir. Deney numunesinin geometrik özelliklerinin belirlenmesinde dikkate alınan hususlar “Deney Setinin Tasarımı” başlığı altında ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Şekil 6.3’te ölçülen sertlik değerleri ve ölçüm noktaları verilmiştir. Sertlik ölçümleri TS 140’a göre 745 seri numaralı DIGIROCK BMS-203-RSR sertlik ölçüm cihazında yapılmıştır. Dairesel kesitli deney numunesinin üzerinde sertlik ölçüm noktaları; kesme deneylerinin yapılacağı kısımda, aralarında 90° açı olacak şekilde 4 adet ve 1 adet parçanın orta noktasında olmak üzere 5 noktadan yapılmıştır. Sertlik değeri bu ölçümlerin aritmetik ortalaması alınarak tespit edilmiştir. SAE 8620 sementasyon çeliğinin mikroyapısı ferrit ve perlitten meydana gelmektedir.

Çizelge 6.2. SAE 8620 (21NiCrMo2) Sementasyon çeliğinin kimyasal özellikleri

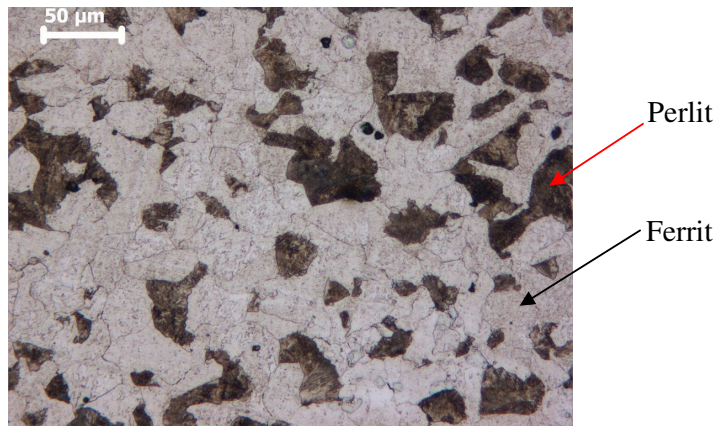
MKE	SAE/ AISI	Kimyasal Bileşim (% ağırlık)									
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Fe
Ç8620	8620	0,20	0,25	0,70	0,03	0,035	0,50	0,50	0,20	-	Kalan



Ölçüm No	Ölçülen Değer	Ölçüm Ortalaması	HRB	HB30
1	57,5	56,47	83,5	160
2	55,6			
3	57,1			
4	54,6			
5	57,6			

Şekil 6.3. Deney numunesinin sertlik ölçüm noktaları ve ölçülen değerleri

Perlit oldukça serttir ve takım aşınması üzerinde etkilidir. Kullanılan deney numunesinin mikroyapısı Resim 6.1’de verilmiştir. Mikroyapı görüntüsü alınmadan önce malzeme yüzeyi parlatma işlemine tabi tutulmuş ve % 2 nital ile dağlama işlemi yapılmıştır. Leica Q 550 MW görüntü analiz programı ile perlit hacim oranı belirlenmiştir. Deney numunesinin perlit hacim oranı % 15,5 olarak tespit edilmiştir.




Resim 6.1. Deney numunesinin mikroyapısı



#### 6.4. Denei Setinin Tasarımı ve Kuvvetlerin Değerlendirilmesi

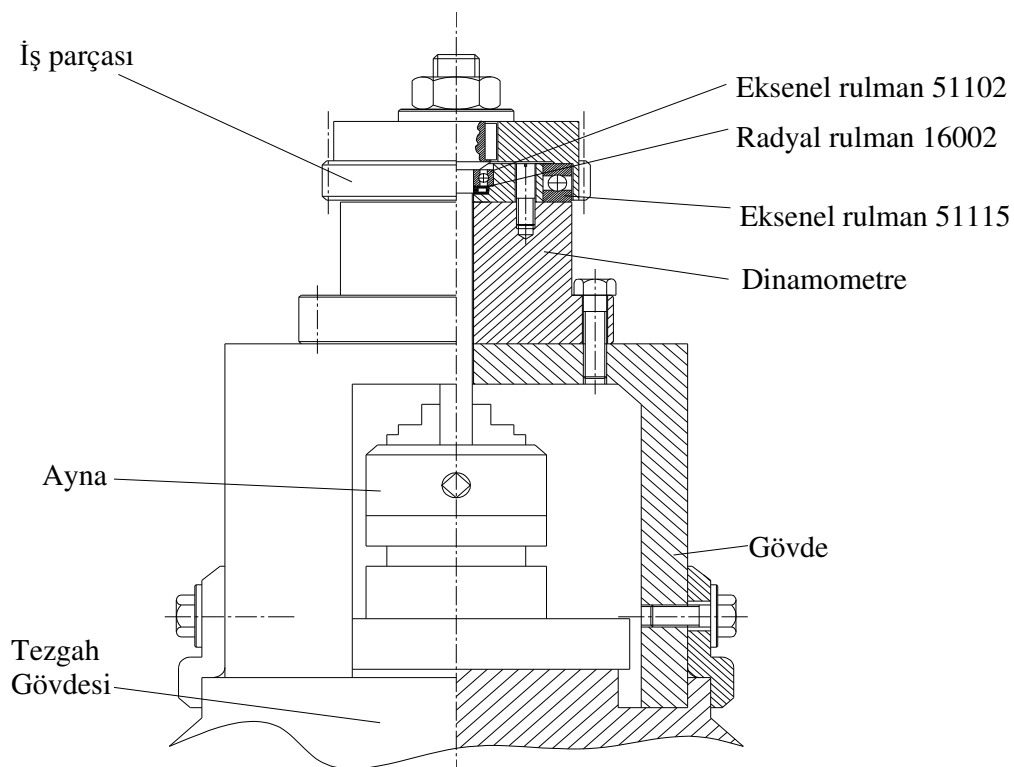
Azdırma freze tezgahının ve azdırma usulü dişli çark üretimini karmaşık olması nedeniyle, kesme kuvveti ölçümü için kullanılacak dinamometrelerin özel olarak geliştirilmesi veya mevcut dinamometrelerin tezgah üzerine adaptasyonu gerekmektedir.

	
<b>Dinamometre Teknik özellikler</b>	
<b>Tip 9272 A</b>	
Kalibrasyon	: Kalibre edilmiştir.
Ölçme aralığı	: Fx, Fy ±5 kN Fz -5...+20 kN Mz ±200 kN
Duyarlılık	: Fx, Fy ≈ -7,8 pC/N Fz ≈ -3,5 pC/N Mz ≈ -160 pC/N
Doğal Frekans	: fn (x,y) ≈ 3,1 kHz fn (z) ≈ 6,3 kHz fn (Mz) ≈ 4,2 kHz
Çalışma sıcaklık aralığı	: 0...70 °C
Çap	: 100 mm
Yükseklik	: 70 mm
Bağlantı	: Fischerflange 9 pole neg.
Sızdırmazlık	: IP67
Kütle	: 4,2 kg
<b>Amplifier Teknik Özellikleri</b>	
<b>Tip 5070A01100</b>	
Kanal sayısı	: 8
Açıklama	: 19" rack
Bağlantı	: Fischer 9 pol. Neg.
Ölçüm aralığı	: ±200...200000 pC
Frekans aralığı	: ≈0...>45 kHz
Çıktı sinyali	: ±10 V
Güç	: 100...240 V
Arayüz	: RS-232C

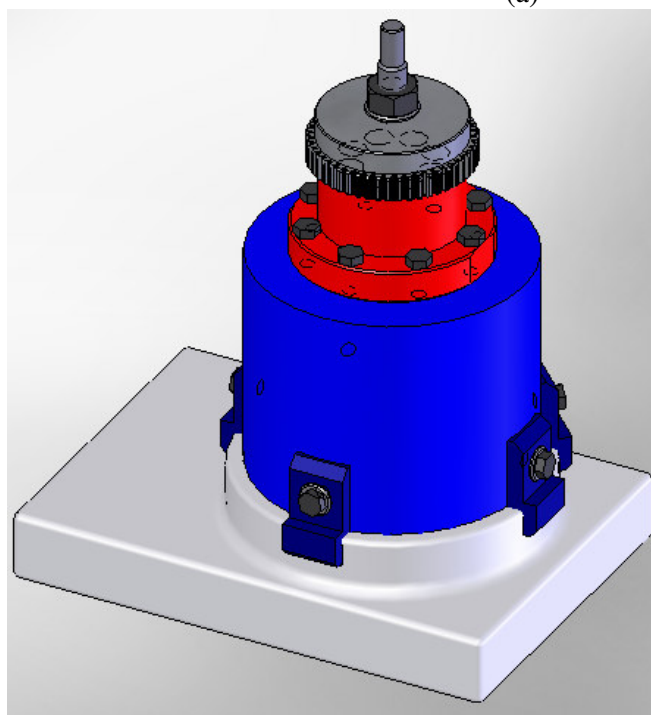
şekil 6.4. Dinamometre ve Amplifier'in özellikleri

Deney setinin tasarımında öncelikle; KISTLER 9272-A 4 bileşenli piezo-elektrik dinamometre, dinamometreden gelen sinyallerin veri okuma kartına (KISTLER PCIM DAS 1602/16) aktarılmasında KISTLER 5070-A çok kanallı amplifier, 1677-A5 veri kablosu, 1500-B15 kablo, RS232 kablo ve son olarak da verilerin işlenmesi ve grafiklerin elde edilmesi için Windows işletim sistemi ile uyumlu KISTLER Dynoware 2825A-02-01 yazılımı hazır olarak temin edilmiştir. Şekil 6.4’de kullanılan dinamometrenin bir resmi ve özellikleri verilmiştir. Kesme deneylerin en uygun biçimde yapılabilmesi için dinamometreyi içine alan bir sistem tasarlanmış ve üretilmiştir (Şekil 6.5). Tasarımı yapılan sistemde kuvvet verileri, iş parçası ile dinamometre arasında doğrudan temas sağlanarak iş parçası üzerinden alınmıştır.

Azdırma yöntemi ile dişli çark açma işleminde, hem çakının hem de iş parçasının hareketli oluşu, kesme kuvvetlerinin dinamometre ile alınmasında önemli bir zorluk oluşturmaktadır. İlk tasarımda bir adet radyal ve bir adet aksel rulman kullanılarak kesme anındaki kuvvetlerin dinamometre üzerine düzgün olarak aktarılması düşünülmüştür. Fakat burada kuvvetler iş parçasını taşıyan milden geçerek dinamometreye iletiildiğinden bazı ölçüm hataları ile karşılaşmıştır. Bu sorunun aşılması için dinamometre ile iş parçası arasında doğrudan teması sağlayabilecek daha büyük ölçülerde bir aksel rulman daha kullanılmıştır. Böylelikle kesme kuvvetlerinin ölçümü için optimum başarı sağlanmıştır. Deney setinin tasarımında ve özellikle deney numunesinin geometrik şeklinin ve ölçülerinin belirlenmesinde dinamometrenin teknik özellikleri belirleyici olmuştur. Şekil 6.4’de verilen dinamometrenin  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ,  $M_z$  yönlerindeki ölçme kapasitesi temas noktası dinamometrenin merkezinde ve üst yüzeyinde olduğunda elde edilen değerlerdir. Dinamometre yüzeyinden ve merkezinden uzaklaştıkça dinamometrenin o yönde ölçebileceği maksimum kuvvet azalmaktadır. Şekil 6.6’daki gibi bir deney şartları oluşturulursa dinamometrenin ölçebileceği maksimum  $F_x$  ve  $F_y$  kuvveti 5 kN’dan 2 kN’a,  $F_z$  kuvveti de 20 kN’dan 4 kN’a düşmektedir. Bu sınırlama dikkate alınarak ortalama temas noktası Şekil 6.7’de gösterildiği gibi olacak şekilde deney seti tasarımı yapılmıştır.

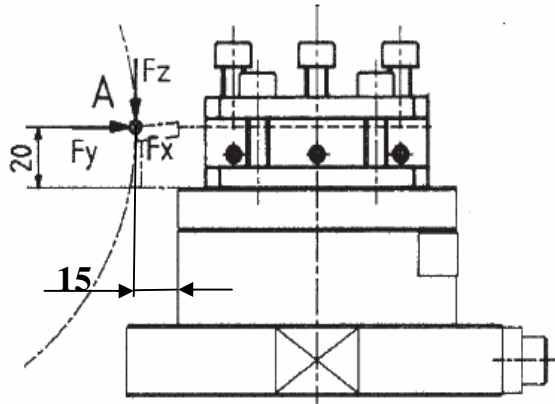


(a)

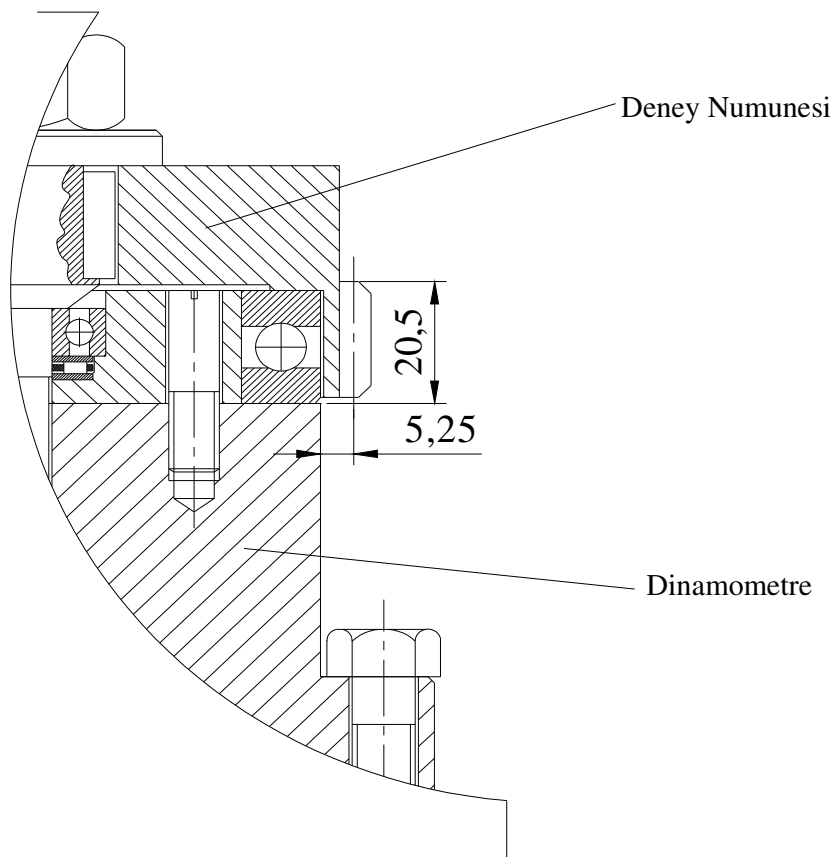


(b)

Şekil 6.5. a) Deney setinin montaj çizimi b) Katı model çizimi

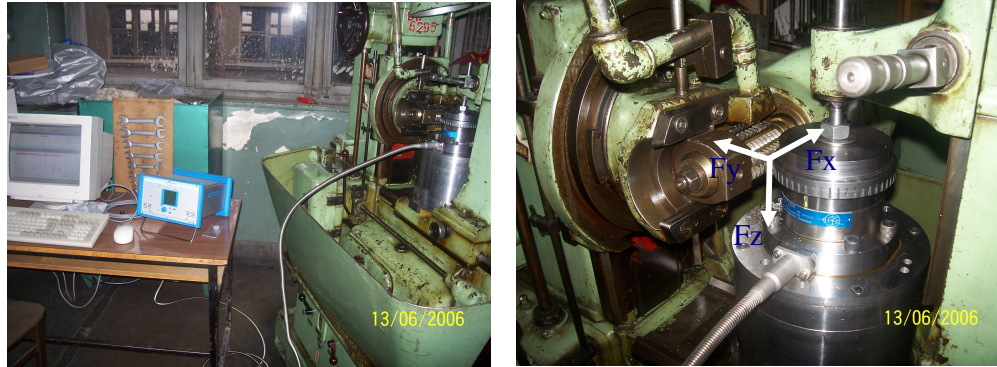


Şekil 6.6. Dinamometre ölçme alternatifi [138]



Şekil 6.7. Deney seti temas noktasının yerleştirilmesi

Resim 6.2’de tasarımı ve imalatı gerçekleştirilen deney setinin kesme deneylerinin yapılması esnasında çekilen fotoğrafları yer almaktadır.



Resim 6.2. Deney setinin fotoğrafları

Kesme deneyleri sırasında bir dişli çarkın üretimi süresince kesme kuvvetlerinin ölçümleri alınmıştır. Elde edilen bu ölçüm değerlerinden yola çıkılarak oluşturulacak grafiklerde; tam kesmenin yapıldığı süreçte elde edilen kuvvet değerlerinin ortalamasından sıkma nedeniyle oluşan kuvvet değerlerinin çıkartılması sonunda ortaya çıkan değerler kullanılmıştır. Ortalamaların alınması Dynoware 2825A-02-01 programı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Dinamometrenin sıfırlanması ve kalibrasyonu sistem boşta iken yapılabilmektedir. Ölçüm, sıkma işleminden sonra başlatılabildiğinden ve her defasında eşit sıkma yapılmasının zorluğu nedeniyle sıkmadan dolayı oluşan kuvvetler ölçüm sonunda değerlendirilmiştir. Sıkma kuvvetinin tespiti kesme işlemi sonunda Dynoware yazılımının verdiği grafik üzerinden, ölçmenin başlangıcı ile kesmenin başladığı aralıktan ortalama olarak alınmıştır.

### 6.5. Takım Aşınmasının Ölçülmesi

Azdırma çakılarda takım aşınmasının ölçülmesi ve değerlendirmesine yönelik bir standart bulunmamaktadır. Ancak kesici takımında meydana gelen aşınma tipleri ve mekanizmaları torna ve freze deneylerinde görülenler ile benzerlik göstermektedir. Azdırma ile dişli çark açma işleminde, azdırmanın bir kesici dişinin kaldırdığı talaş kesiti çok küçük olduğundan aşınma süreci uzun zaman ve çok sayıda deney numunesi gerektirmektedir. Bu nedenle takım aşınmalarının tespitinde her parametre

için 5'er adet deney numunesi işlenmiş ve elde edilen sonuçlar bu doğrultuda değerlendirilmiştir. Ölçüm için azdırma üzerinde kesmeye katılan kesici diş sırasından en fazla aşınan dişin aşınma değeri alınmıştır. Takım aşınması ölçümleri Talaşlı Üretim Anabilim Dalı envanterinde bulunan 500109 seri numaralı Mitutoyo TM takım mikroskobu ile 40X büyütmede ölçülmüştür. Burada sadece kesici takım yanak aşınmaları ölçülmüştür. En yüksek ve en düşük kesme hızı ile ilerleme değerlerinde kullanılan azdırmaların yanak aşınması ölçülen dişlerinin tel erozyon tezgahında çıkarılmasından sonra Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fak. Metal Eğitimi Bölümü bünyesinde bulunan tarama elektron mikroskobu (SEM) cihazı ile görüntüleri alınarak etkin aşınma mekanizmalarının tespit edilmesi sağlanmıştır.

#### 6.6. Yüzey Pürüzlülüklerinin Ölçülmesi

İşlemesi yapılan dişli çarkların diş yüzeylerinin pürüzlükleri işleme kalitesinin tespiti ve etkilendiği parametrelerin tespiti için ölçülmüştür. Pürüzlülük ölçümü dişli çark diş yüzeyinde ilerleme yönünde (kesme izlerine dik) ve bölüm dairesi üzerinde yapılmıştır. Ölçüm işlemlerinde ISO 4288'e uyulmuş ve örnekleme uzunluğu ( $\lambda$ ) ve ölçme uzunluğunun (L) tespitinde ilgili kurallara uyulmuştur. Örnekleme uzunluğunun tespitinde ilerleme değerleri belirleyici olmuştur (Çizelge 6.3.). Yüzey pürüzlülüklerinin ölçümü için 9633 seri numaralı Mahr Perthometer M1 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu cihazın teknik özellikleri Çizelge 6.4'te verilmiştir. Hassas ölçme yapabilen bu cihaz izleyici uçlu (Stylus) cihazlar sistemine göre çalışmaktadır [139].

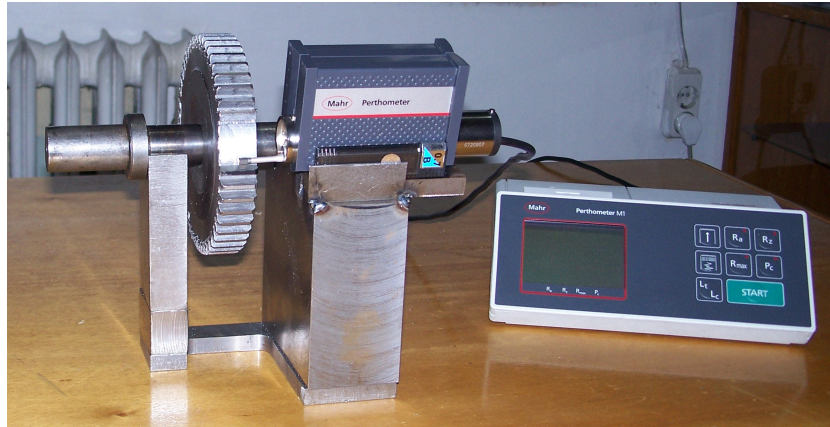
Çizelge 6.3. Pürüzlülük ölçümlerinde kullanılan örnekleme ve ölçme uzunlukları

İlerleme, f (mm/iş devri)	Örnekleme uzunluğu (Cut-off length)	Ölçme uzunluğu (L)
0,25	0,25	1,75
0,4	0,8	5,6
0,63	0,8	5,6
1	2,5	17,5

Dişli çarkların diş yüzeylerindeki pürüzlülüğün ölçümünün doğru ve tekrarlanabilir olması için Resim 6.3’de gösterilen düzenek tasarlanmış ve kullanılmıştır. Değerlendirmelerde ortalama yüzey pürüzlülüğü, Ra kullanılmıştır.

Çizelge 6.4. Kullanılan yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri

<b>Model</b>	M1
<b>Tarama hızı</b>	0,5 m/sn
<b>Tarama kuvveti</b>	0,75 mN
<b>İğne uç yarı çapı</b>	2 $\mu$ m
<b>Ölçüm aralıkları</b>	100-150 $\mu$ m
<b>Profil çözünürlüğü</b>	12 mm
<b>Filtre</b>	Gaussian
<b>Örnekleme uzunluğu (Cut-off length)</b>	0,25 – 0,8 – 2,5 (mm)
<b>Ölçme uzunluğu (L)</b>	1,75 – 5,6 – 17,5 (mm)
<b>Ölçülebilen parametreler</b>	Ra, Rz, Rmax
<b>Dil</b>	Seçilebilir 10 Avrupa, 3 Asya dili
<b>Güç kaynağı</b>	Entegre, NiCd şarj edilebilir pil
<b>Boyutlar</b>	190 x 170 x75 mm
<b>Yaklaşık ağırlık</b>	90 gr



Resim 6.3. Pürüzlülük ölçümü için kullanılan düzenek

## 6.7. Deneylerde Kullanılan Kesme Parametreleri

Kesme deneylerinin tamamı Çizelge 6.5’te verilen kesme parametreleri kullanılarak Çizelge 6.6’da verilen deney desenine göre yapılmıştır. Azdırma ile dişli çark

üretiminde kesme işlemlerinin tamamına yakını kesme sıvısı veya kesme yağı kullanılarak yapılmaktadır. Bu şartlar altında dahi kesici takımın meydana gelebilecek aşınmaların görülmesi uzun zaman almaktadır. Tablodan da anlaşılacağı üzere, meydana gelebilecek aşınma tiplerini ve miktarlarını daha kısa sürede gözlemleyebilmek için tüm kesme deneyleri kuru kesme şartlarında yapılmıştır. Çizelgede belirtilen bir diğer ayrıntıya bakılırsa, kesme derinliğinin diğer talaşlı imalat işleme deneylerinin aksine değişken bir parametre olarak değil sabit bir parametre olarak ortaya çıkmasıdır. Bunun nedeni azdırma ile dişli çark üretimi işleminin doğası gereği toplam kesme derinliğinin bir defada verilmesidir. Toplam derinlik azdırma ve iş parçasının birbirleri ile koordineli hareketleri sonucunda oluşmaktadır.

Çizelge 6.5. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri

Parametre	Değerler
Kesme Hızı (m/dak)	27,5 – 33,22 – 38,5 – 41,8
İlerleme (mm/iş devri)	0,25 – 0,4 – 0,63 - 1
Kesme Derinliği (mm)	4,87
Modül (mm)	2,25
Kullanılan Çakı	Kaplamasız HSS ve TiN kaplamalı HSS Azdırma
Kesme Yöntemi	Zıt yönlü kesme

## 6.8. İstatistiksel Analiz

Her deney grubu için tam faktöriyel deney tasarımı uygulanmıştır. Deneyler için kesme hızı, ilerleme ve kesici takım kaplaması değişken parametreler (kontrol faktörleri) olarak belirlenmiştir. Buradan yola çıkılarak kesme kuvvetleri, takım aşınması ve pürüzlülük üzerine bu üç parametrenin etkisi incelenmiştir. Kesme parametrelerinin kesme kuvveti, takım aşınması ve pürüzlülük üzerindeki etkilerini çizgi grafiklerde büyük oranda görmek mümkündür. Ancak daha detaylı bir bilgiye ulaşmak için MINITAB R14 yazılımı kullanılarak ANOVA testi (varyans analizi) uygulanmıştır. ANOVA tabloları kesme kuvveti bileşenleri, takım aşınması ve pürüzlülük üzerinde her bir işleme parametresinin etkisini net bir şekilde ortaya koymaktadır. ANOVA tablolarına ek olarak çıkarılan etki grafikleri her bir parametre



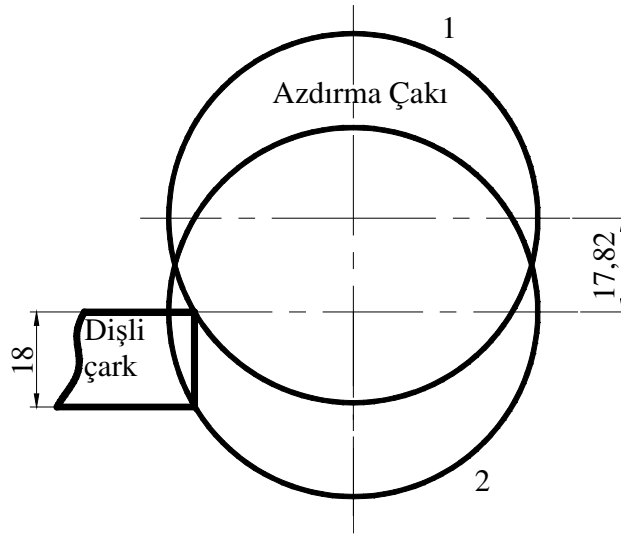
grubundaki seviye etkilerinin belirlenmesinde ve birbiri üzerindeki etkilerinin anlaşılmasında yardımcı olmaktadır. ANOVA testleri özellikle deneysel sonuçların doğru bir şekilde yorumlanmasında yardımcı olmuştur. Ayrıca çoklu regresyon analizi yapılmıştır.

Çizelge 6.6. Deney deseni

Deney No	Kesici Çakı	İlerleme (mm/iş devri)	Kesme Hızı (m/dak)
1	HSS	0,63	27,5
2	TiN	0,63	27,5
3	HSS	1	27,5
4	TiN	1	27,5
5	HSS	0,4	27,5
6	TiN	0,4	27,5
7	HSS	0,25	27,5
8	TiN	0,25	27,5
9	HSS	0,25	33,22
10	TiN	0,25	33,22
11	HSS	0,4	33,22
12	TiN	0,4	33,22
13	HSS	1	33,22
14	TiN	1	33,22
15	HSS	0,63	33,22
16	TiN	0,63	33,22
17	HSS	0,63	41,8
18	TiN	0,63	41,8
19	HSS	1	41,8
20	TiN	1	41,8
21	HSS	0,4	41,8
22	TiN	0,4	41,8
23	HSS	0,25	41,8
24	TiN	0,25	41,8
25	HSS	0,25	38,5
26	TiN	0,25	38,5
27	HSS	0,4	38,5
28	TiN	0,4	38,5
29	HSS	1	38,5
30	TiN	1	38,5
31	HSS	0,63	38,5
32	TiN	0,63	38,5

## 7. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Yapılan çalışmanın ve azdırma işleminin anlaşılabilirliğini arttırmak için ilk olarak deney şartları dikkate alınarak azdırma işleminde kesme süreci ve bu esnada harcanan süreler çıkarılmıştır. Dişli çarkın işlenmesi sırasında dişli çark ve azdırmanın çapına bağlı olarak giriş mesafesi 17,82 mm olarak bulunmuştur. Bu mesafeden itibaren tam kesme süreci başlamaktadır. Dişli çark genişliği 18 mm olduğuna göre tam kesme sadece 0,18 mm mesafede yapılmaktadır. Bu mesafeden sonra çıkış süreci başlamaktadır. Bu hareketlerin seyri Şekil 7.1’de verilmiştir. Bu şekilde 1 numara; azdırmanın giriş konumunu, 2 numara ise; tam kesmenin başlangıcındaki konumunu göstermektedir.



Şekil 7.1. Azdırma işleminde kesme süreci

Çizelge 7.1. Deneylelerdeki işleme süreleri

Kesme Hızı (m/dak)	Devir Sayısı (dev/dak)	İşin 1 Tur dönme süresi (sn)	İşin 1 diş dönme süresi (sn)
27,5	125	24	0,48
33,22	151	19,87	0,3974
38,5	175	17,143	0,343
41,8	190	15,79	0,3158

Çizelge 7.1’de kesme parametrelerine göre iş parçasının 1 turunun ve 1 dişinin azdırma çakının önünde dönmesi esnasında geçen süreler verilmiştir. Çizelge 7.2’de azdırmanın iş parçasına ilk temas ve tam kesme başlangıç noktaları arasındaki mesafenin (17,82 mm) geçilmesi esnasında harcanan süreler verilmiştir.

Çizelge 7.2. İş parçasına ilk temas ve tam kesme arasında geçen süre (sn)

Kesme Hızı (m/dak)	Devir Sayısı (dev/dak)	İlerleme (mm/iş devri)			
		0,25	0,4	0,63	1
27,5	125	1710,65	1069,14	678,819	427,656
33,22	151	1416,254	885,158	562,005	354,063
38,5	175	1221,884	775,705	484,874	305,471
41,8	190	1125,448	703,405	44,606	281,362

Çizelge 7.3’te ilerleme değerlerinin azdırma çakının 1 devrinde ve 1 dişinde ne kadar olduğu verilmiştir.

Çizelge 7.3. İlerleme değerlerinin azdırma çakıya göre değerleri (mm)

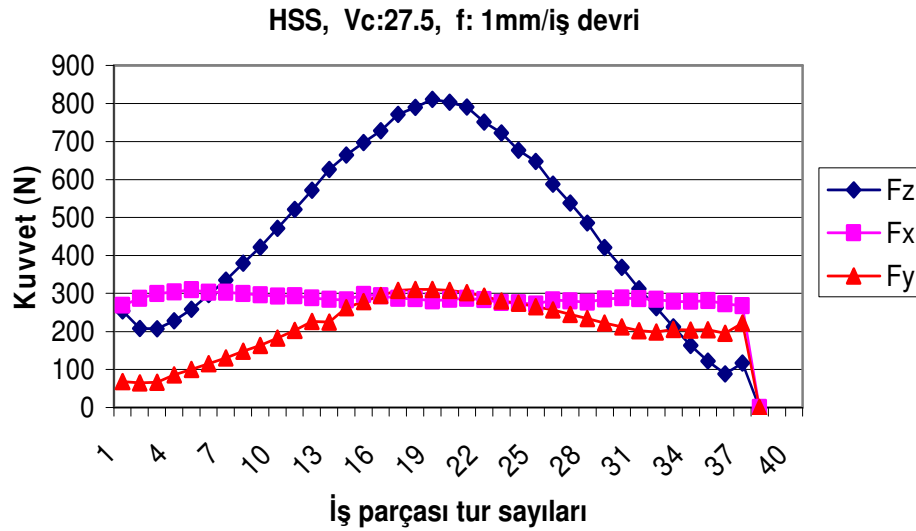
Azdırmanın ilerlemesi	İlerleme (mm/iş devri)			
	0,25	0,4	0,63	1
Azdırmanın 1 turunda	0,005	0,008	0,0126	0,02
Azdırmanın 1 dişinde	0,000416	0,000667	0,00105	0,00167

Belirlenen kesme parametrelerinde ve deney şartlarında yapılan azdırma yöntemi ile dişli çark işlenmesi sırasında elde edilen deneysel sonuçlar; kesme kuvvetleri, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü başlıkları altında sınıflandırılarak değerlendirilmiştir.

### 7.1. Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi

Azdırma ile dişli çark açılması esnasında oluşan kesme kuvveti bileşenleri, KISTLER 9272A dört bileşenli dinamometre aracılığı ile ölçülmüştür. Şekil 7.2’de bir dişli çarkın azdırma tezgahında açılması esnasında kesme işleminin

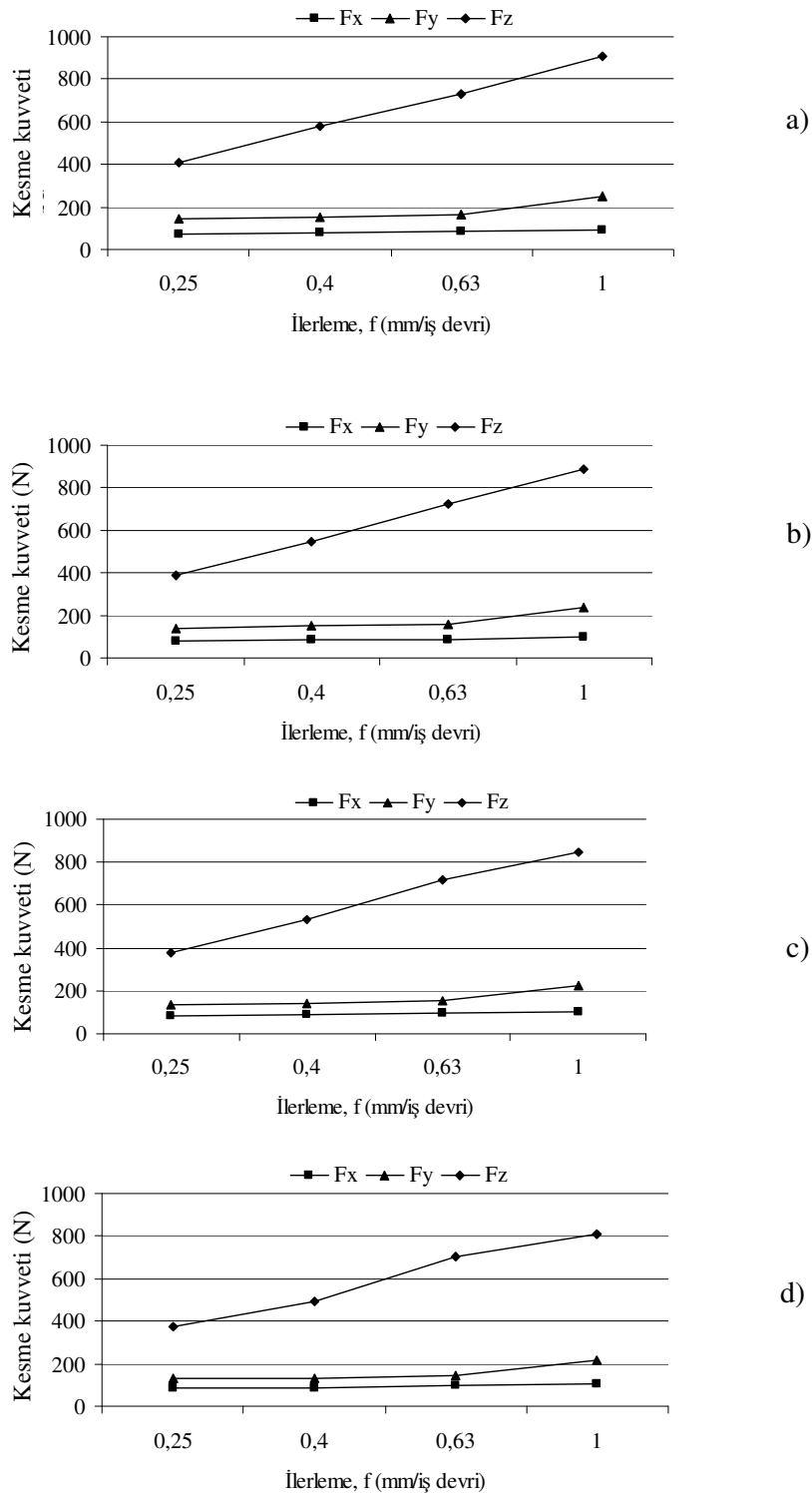
başlangıcından bitimine kadar geçen sürede elde edilen kesme kuvvetleri değişimleri verilmiştir. Grafik; iş parçasının her bir turunda elde edilen kesme kuvveti değerlerinin ortalaması alınarak düzenlenmiştir.



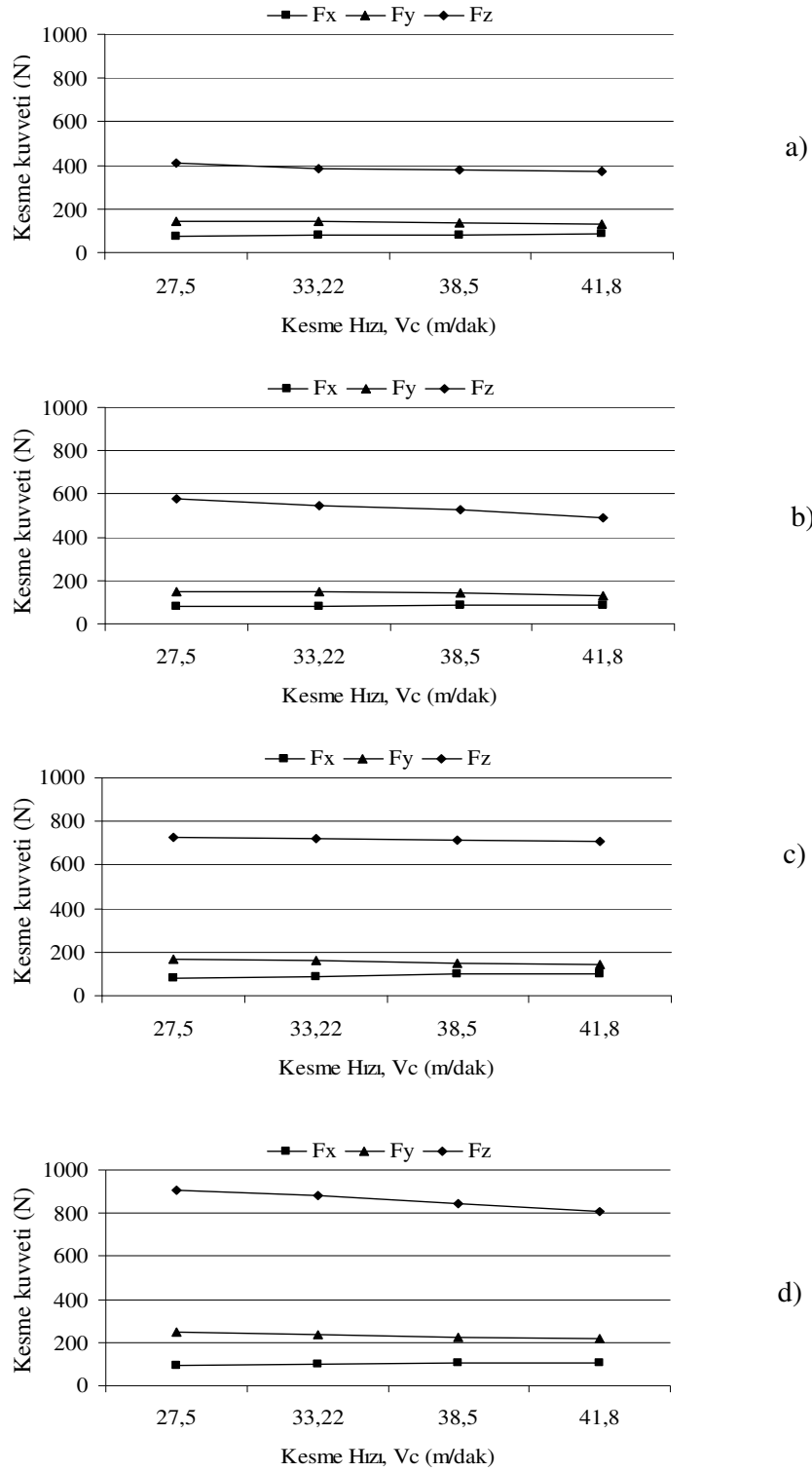
Şekil 7.2. Kesme kuvvetlerinin iş parçasının devir sayısına göre değişimi

Burada  $F_x$  teğetsel kuvvet,  $F_y$  radyal kuvvet ve  $F_z$  esas kesme kuvvetidir. Kesme işleminin büyük çoğunluğunu yapan da  $F_z$  kuvvetidir. Başlangıçta düşük olan bu kuvvet azdırmanın iş parçası içerisine daha fazla girmesi ile artmıştır (kaldırılan talaş miktarı arttığından). Yaklaşık 20. turda en yüksek değerini almış (tam kesme) ve bu noktadan sonra iş parçasının alt kısmından çıkmaya başladığından  $F_z$  esas kesme kuvveti tekrar azalmaya başlamıştır.  $F_x$  teğetsel kuvveti iş parçası ve azdırmanın belirli bir koordinasyon içinde dönmesi sebebiyle fazla bir değişim göstermemiştir.  $F_y$  radyal kuvveti de azdırmanın iş parçası üzerinde ilerlemesiyle değişmiştir.

Kesme kuvveti bileşenlerinin kesme parametreleri ile olan ilişkilerinin tespiti için tam kesme sırasında ölçülen kuvvetlerin ortalaması kullanılmıştır. Bu parametrelerin kesme kuvveti bileşenleri üzerinde etkisi; kaplamasız HSS azdırma için Şekil 7.3 ve Şekil 7.4'de, TiN kaplamalı HSS azdırma için de Şekil 7.5 ve Şekil 7.6'da verilmiştir.

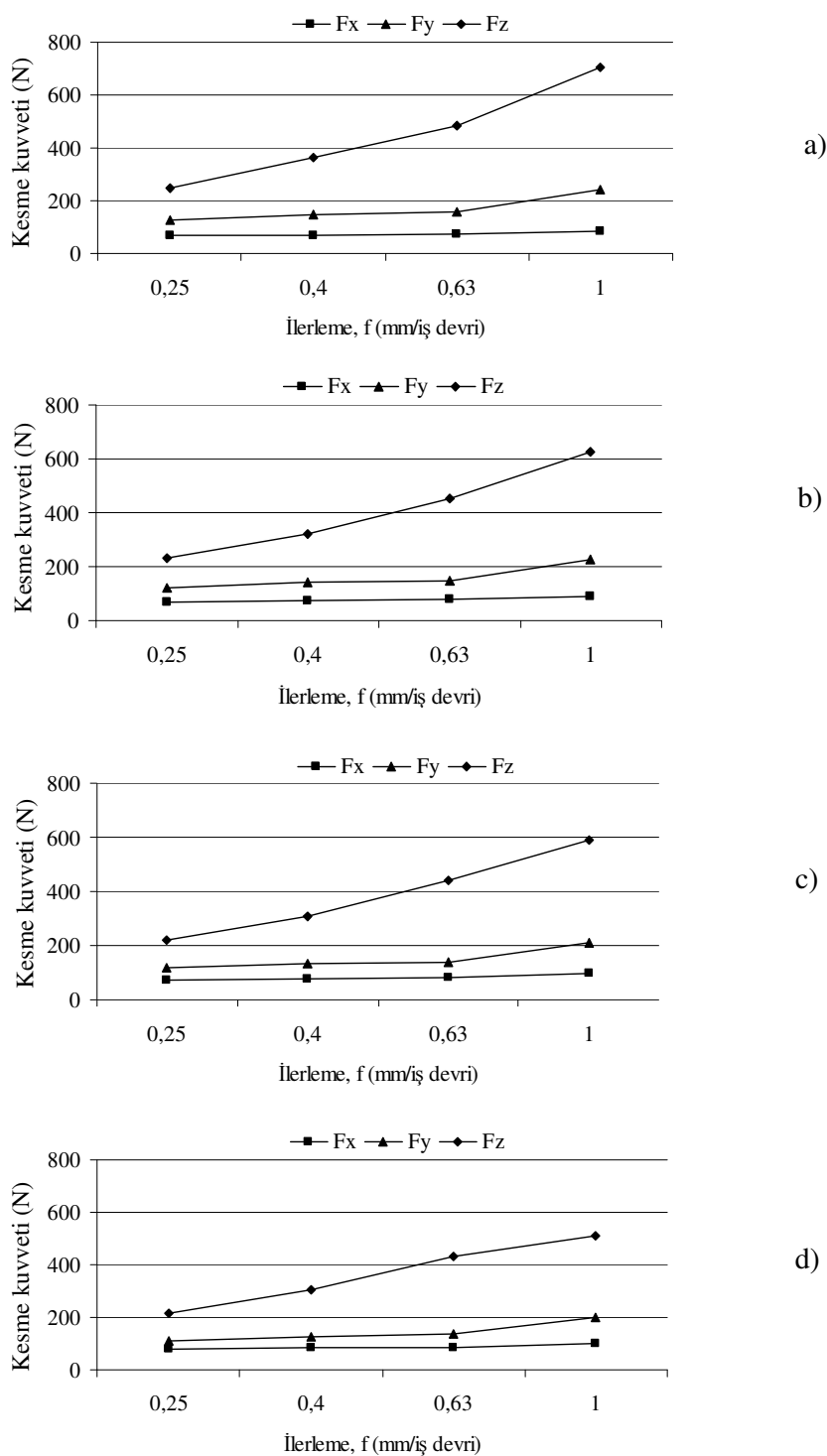


Şekil 7.3. HSS azdırmada kesme kuvveti bileşenlerinin ilerlemeye göre değişimi a)  $V_c=27,5$  m/dak, b)  $V_c=33,22$  m/dak, c)  $V_c=38,5$  m/dak ve d)  $V_c=41,8$  m/dak



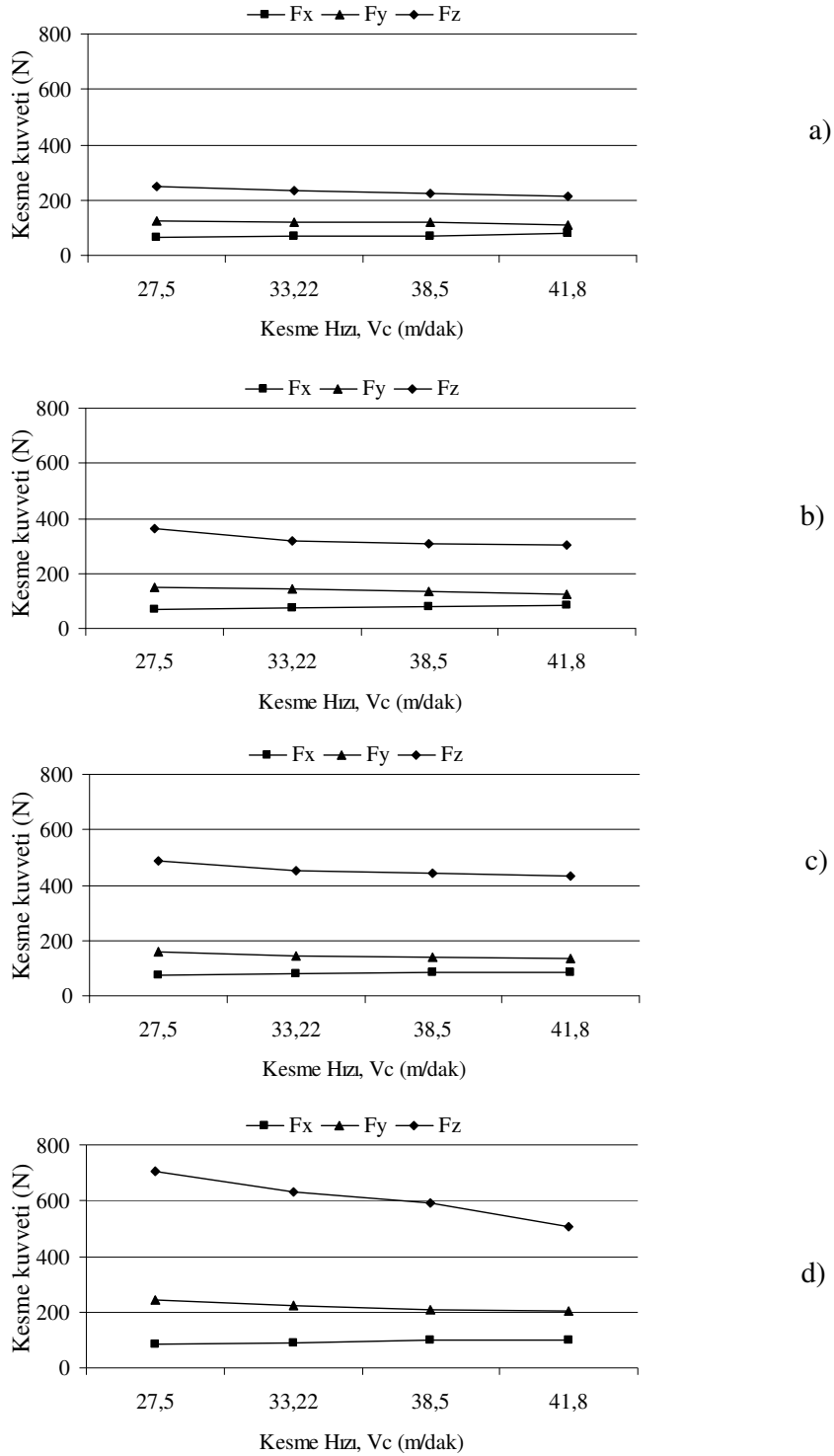
Şekil 7.4. HSS azdırmada kesme kuvveti bileşenlerinin kesme hızına göre değişimi  
a)  $f=0,25$  mm/iş devri, b)  $f=0,4$  mm/iş devri, c)  $f=0,63$  mm/iş devri ve  
d)  $f=1$  mm/iş devri

Şekil 7.3'deki grafiklere göre tüm deneyler için ilerleme değerindeki artışa paralel olarak kesme kuvveti bileşenlerinin değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Ortaya çıkan bu durum literatürde verilen bilgiler ile paralellik arz etmektedir [63,110,120]. Esas kesme kuvveti  $F_z$ 'nin gerek değerinin gerekse artış eğiliminin diğer bileşenlere göre çok daha fazla olduğu görülmektedir. Tüm bileşenler için en yüksek değerlerinin kesme hızının 27,5 m/dak ve ilerlemenin de 1 mm/iş devri olduğu kesme şartlarında elde edildiği görülmüştür. Burada,  $F_x$ : 94,84 N,  $F_y$ : 248,9 N ve  $F_z$ : 904,71 N olarak ölçülmüştür. Şekil 7.3'deki grafiklere bakılırsa,  $F_x$  teğetsel kuvveti, ilerlemedeki değişimden diğerlerine göre daha az etkilenmektedir. Bu durum azdırma işleminin yapısı ile ilgilidir. Azdırma işleminde çakı ve iş parçasının temas ettiği noktada dönüş x eksenine doğrultusundadır. Azdırma çakı ve iş parçası birbirleri ile koordineli döndüklerinden ilerlemedeki artış bu dönüşü etkilememektedir. Tüm kesme hızlarında 0,25 mm/iş devri ilerleme değerinin 4 kat artmasına karşılık  $F_x$  teğetsel kuvveti ortalama % 26 (ortalama 20,88 N) artmıştır.  $F_y$  radyal kuvvetinde görülen artış  $F_x$ 'e göre biraz daha fazladır. 0,25-0,63 mm/iş devri ilerleme değerleri arasında  $F_y$  radyal kuvvetinde görülen artış eğilimi hemen hemen aynıdır. Ancak 0,63'ten 1 mm/ iş devri ilerleme değerine çıkıldığında  $F_y$  radyal kuvvetinin değerinde nispeten fazla bir artış görülmüştür. Şekil 7.3'teki tüm grafiklerde bunu görmek mümkündür. İlerlemenin 4 kat artmasıyla  $F_y$  radyal kuvveti ortalama %70 (ortalama 96 N) oranında artmıştır. Şekil 7.4'de kesme hızındaki değişimlerin kesme kuvveti bileşenleri üzerindeki etkisini gösteren grafikler görülmektedir. Bu grafikler incelendiğinde;  $F_y$  ve  $F_z$  kesme kuvvetlerinin değerlerinin kesme hızının artışına bağlı olarak azaldığı,  $F_x$  teğetsel kuvveti değerinin ise bir miktar arttığı görülmektedir. Bunun nedeninin kesme hızının artması ile bu noktada iş parçasının daha hızlı dönmesi ve "x" yönündeki birim zamandaki temas sayısının artmasıyla  $F_x$  teğetsel kesme kuvvetinin artışı olabilir. 27,5 m/dak kesme hızı değerinin yakalaşık olarak % 52 oranında artmasıyla tüm ilerleme değerleri için  $F_x$  teğetsel kuvveti bileşeninin değeri ortalama % 12 (ortalama 12 N) artmıştır. Yine kesme hızındaki aynı artışa bağlı olarak  $F_y$  radyal kuvvetinde ortalama % 13,5 (ortalama 21,1 N) oranında bir azalma görülmüştür. Görülüyor ki; kesme hızındaki artışın kesme kuvveti bileşenleri üzerindeki etkisi ilerlemeye göre daha az olmaktadır.



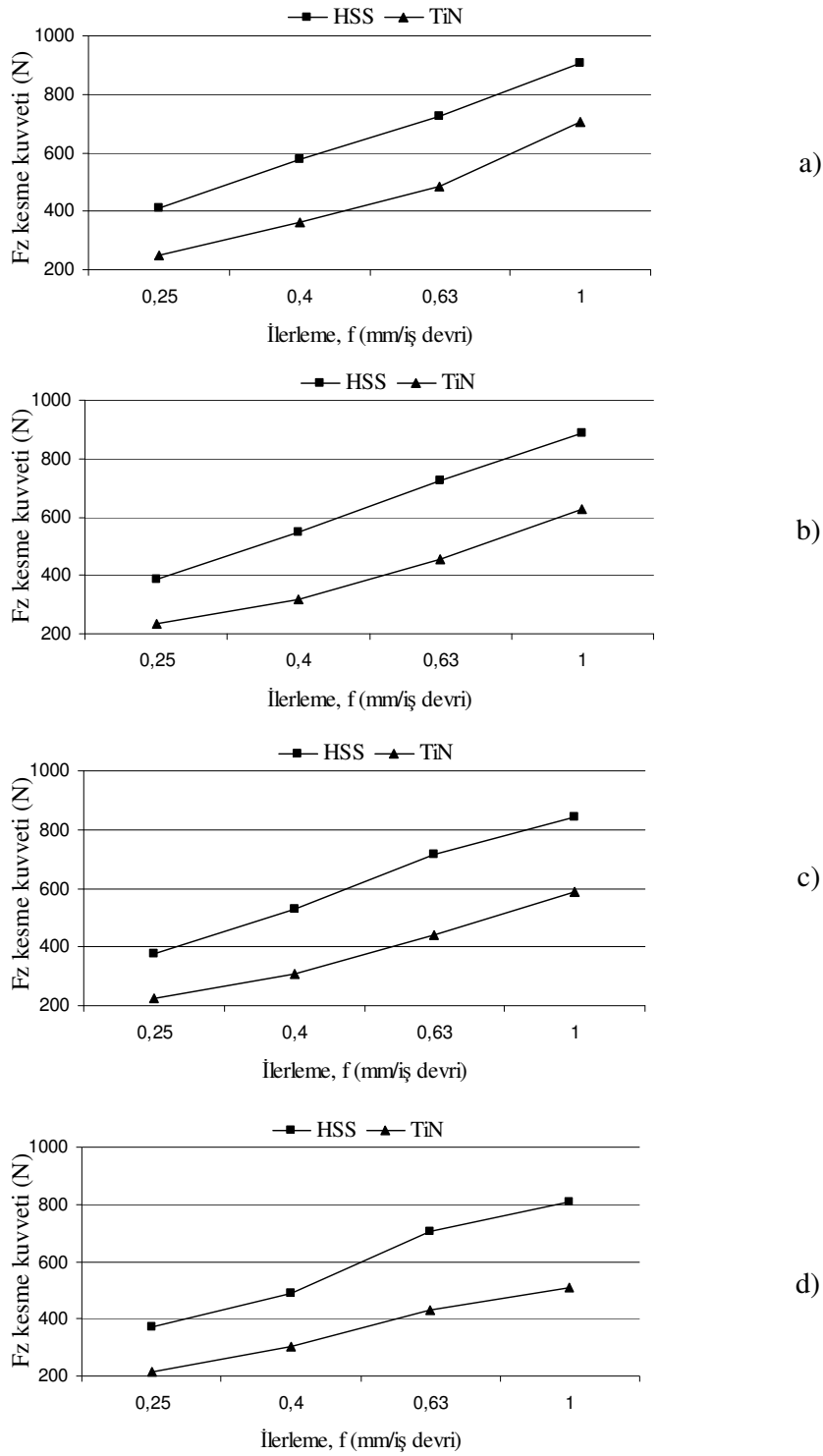
Şekil 7.5. TiN kaplanmış HSS azdırmada kesme kuvveti bileşenlerinin ilerlemeye bağlı olarak değişimi a)  $V_c=27,5$  m/dak, b)  $V_c=33,22$  m/dak, c)  $V_c=38,5$  m/dak ve d)  $V_c=41,8$  m/dak





Şekil 7.6. TiN kaplanmış HSS azdırmada kesme kuvveti bileşenlerinin kesme hızına göre değişimi a)  $f=0,25$  mm/iş devri, b)  $f=0,4$  mm/iş devri, c)  $f=0,63$  mm/iş devri ve d)  $f=1$  mm/iş devri

Şekil 7.5'e bakıldığında; TiN kaplamalı azdırma ile yapılan kesme işleminde, kaplamasız HSS azdırmada olduğu gibi, ilerleme değerindeki artışa paralel olarak kesme kuvveti bileşenlerinin arttığı görülmektedir. Fz esas kesme kuvvetindeki artışın diğerlerine göre çok daha fazla olduğu görülmektedir. TiN kaplamalı azdırmada en yüksek değerler, kesme hızının 27,5 mm/dak ve ilerlemenin 1 mm/iş devri olduğu kesme şartlarında elde edilmiştir. Burada, Fx: 86,65 N, Fy: 243,09 N ve Fz:703,64 N olarak ölçülmüştür. Şekil 7.5'deki grafikler incelendiğinde; Fx teğetsel kuvvetinin, ilerlemedeki değişimden diğer bileşenler kadar etkilenmediği ve ölçülen değerlerin kaplamasız azdırmada elde edilen değerlere yakın çıktığı ölçülmüştür. Bu durumda buradaki değişimin uygulanan deney parametreleri ile kayda değer bir ilişkisinin bulunmadığı söylenebilir. Aynı şekilde, Fy radyal kuvveti için ölçülen değerler de kaplamasız azdırma ile elde edilen değerlere yakın çıkmıştır. Kaplamasız azdırma ve kaplamalı azdırmada ölçülen Fx ve Fy kuvvetleri arasında tüm deneylerde 5 ila 20 N arasında değişen bir fark göze çarpmaktadır. Özellikle Fz kuvveti değerleri ve parametrelere göre değişimi dikkate alınırca, Fx ve Fy'nin kaplamalı veya kaplamasız oluşundan kaynaklanan farkların çok önemli olmadığı söylenebilir. Tüm kesme hızlarında 0,25 mm/iş devri ilerleme değerinin 4 kat artmasına karşılık Fx teğetsel kuvveti bileşeni ortalama % 30,75 (ortalama 21,55 N) oranında artmıştır. Fy radyal kuvvetinde görülen artış Fx'e göre biraz daha fazladır. Bu da ortalama % 84,75 (ortalama 101,17 N) oranında artış olarak belirlenmiştir. Yine kaplamasız azdırmada olduğu gibi; 0,25-0,63 mm/iş devri ilerleme değerleri arasında Fy radyal kuvvetinde görülen artış eğilimi hemen hemen aynıdır. Ancak 0,63'ten 1 mm/ iş devri ilerleme değerine çıkıldığında Fy radyal kuvvetinde daha fazla bir artış görülmüştür. Kaplamalı azdırmada da Fy ve Fz kesme kuvveti bileşenleri değerlerinin kesme hızının artışına bağlı olarak azaldığı, Fx bileşeni değerinin ise bir miktar arttığı görülmektedir (Şekil 7.6). 27,5 m/dak kesme hızı değerinin yakalaşık olarak % 52 oranında artmasıyla tüm ilerleme değerleri için Fx teğetsel kuvveti bileşenin değeri ortalama % 18,25 (ortalama 13,4 N) artmıştır. Yine kesme hızındaki aynı artışa bağlı olarak Fy radyal kuvvetinde ortalama % 16,75 (ortalama 25,47 N) oranında bir azalma görülmüştür. Kesme hızındaki artışın Fx ve Fy kesme kuvveti bileşeni kesme kuvveti bileşenleri üzerindeki etkisi ilerlemeye göre daha az olduğu görülmüştür.

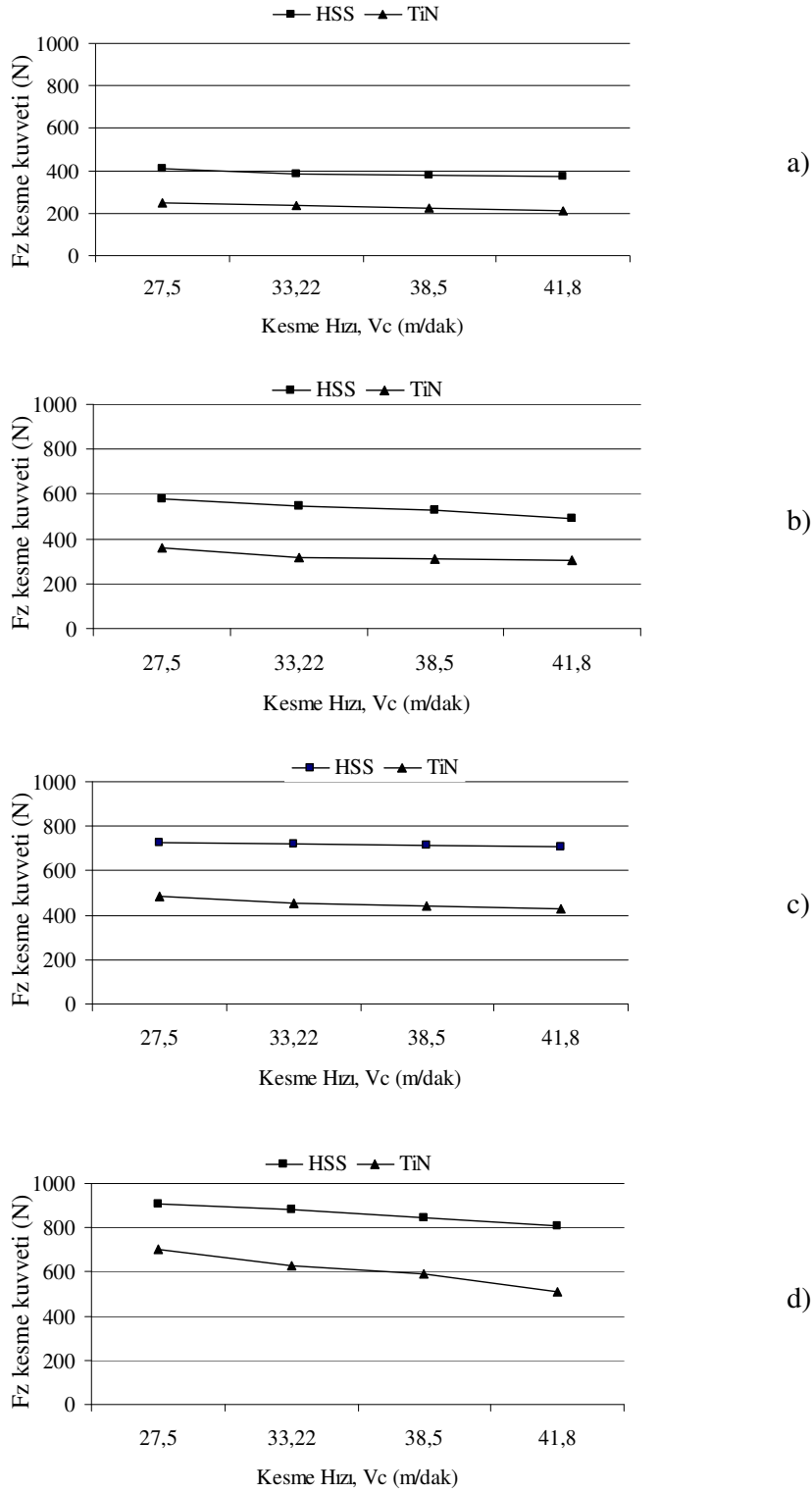


Şekil 7.7. TiN kaplanmış ve kaplamasız HSS azdırmalarda Fz esas kesme kuvvetinin ilerlemeye bağlı olarak değişimi a)  $V_c=27,5$  m/dak, b)  $V_c=33,22$  m/dak, c)  $V_c=38,5$  m/dak ve d)  $V_c=41,8$  m/dak

Azdırma işleminde kesme kuvveti bileşenlerinin en büyüğü olan ve kesme parametrelerinden daha fazla etkilenen ilerleme yönündeki Fz esas kesme kuvveti karşılaştırmalı olarak Şekil 7.7 ve Şekil 7.8’de verilmiştir. Bu grafiklerde kaplamasız azdırma eğrileri; HSS ve kaplamalı azdırma eğrileri de; TiN ile sembolize edilmiştir. Şekil 7.7’ye bakıldığında ilerlemenin artması her iki kesici için Fz esas kesme kuvvetinin değerini arttırmıştır. Artış eğiliminin düzenli bir seyir sergilediği görülmektedir. İlerleme değerinin 0,25’den 1 mm/iş devri değerine arttırılmasıyla tüm kesme hızlarında görülen artış oranları Çizelge 7.4’de verilmiştir. Burada kaplamasız azdırmada en fazla artışın 33,22 m/dak kesme hızında en düşük olanın da 41,8 m/dak kesme hızında ortaya çıktığı görülmektedir. Kaplamalı azdırma da ise en yüksek artış oranı 27,5 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. En yüksek kesme hızında da en düşük artış oranı görülmüştür. Düşük kesme hızında ilerlemeden en fazla kaplamalı azdırmanın etkilendiği görülmektedir. % 181 oranındaki artışın; düşük kesme hızı ve yüksek ilerleme nedeniyle oluşan kesme şartlarına bağlı olarak artan kesme kuvvetinden kaynaklandığı söylenebilir. Şekil 7.7’de verilen 4 grafikte, kaplamalı azdırmalarda elde edilen Fz kuvveti kaplamasız azdırmalarda elde edilen Fz esas kesme kuvvetinden ortalama % 59 daha az olmuştur. TiN kaplamanın özelliği itibari ile II. deformasyon bölgesinde kesici takım ve talaş arasında sürtünmenin azalmasına bağlı olarak takım-talaş temas uzunluğu azalmaktadır. Bunun sonucunda da kesme kuvvetlerinde kaplamasız kesici takıma nazaran azalmalar görülmektedir [140].

Çizelge 7.4. İlerleme artışına göre Fz esas kesme kuvvetinin artış oranları

<b>Kesme Hızı (m/dak)</b>	<b>Kaplamasız HSS</b>	<b>TiN Kaplamalı HSS</b>
27,5	%120	%181
33,22	%130	%169
38,5	%123	%165
41,8	%116	%138



Şekil 7.8. TiN kaplanmış ve kaplamasız HSS azdırmalarda Fz esas kesme kuvvetinin kesme hızına bağlı olarak değişimi a)  $f=0,25$  mm/iş devri, b)  $f=0,4$  mm/iş devri, c)  $f=0,63$  mm/iş devri ve d)  $f=1$  mm/iş devri

Şekil 7.8 incelendiğinde kesme hızının artması sonucunda her iki kesici için Fz esas kesme kuvvetinin değerinde azalma görülmüştür. Bu azalma artan kesme hızıyla birlikte artan talaş kaldırma sıcaklığına bağlanmaktadır. Artan sıcaklıkla birlikte kesme bölgesinde işlenen malzemenin akma mukavemetinin düşmesi ile deformasyon kolaylaşacak ve kesme kuvvetleri de azalacaktır [120,122]. Dört grafikte de düzenli bir azalma görülebilmektedir. Kesme hızının 27,5 m/dak'dan 41,8 m/dak'ya arttırılmasıyla tüm ilerleme değerlerinde görülen Fz kuvvetindeki azalma oranları Çizelge 7.5'de verilmiştir. Burada kaplamasız azdırmada en fazla azalmanın 0,4 mm/iş devri ilerlemede, en düşük azalmanın da 0,63 mm/iş devri ilerlemede ortaya çıktığı görülmektedir. Kaplamalı azdırma da ise en yüksek azalma oranı 1 mm/iş devri ilerleme değerinde elde edilmiştir. 0,63 mm/iş devri ilerleme değerinde ise en düşük azalma oranı görülmüştür. Şekil 7.8'de verilen 4 grafikte de Şekil 7.7'de olduğu gibi, TiN kaplamanın sürtünmeyi azaltıcı etkisine bağlı olarak kaplamalı azdırmalarda elde edilen Fz esas kesme kuvveti kaplamasız azdırmalarda elde edilen Fz kuvvetinden ortalama % 59 daha az olmuştur.

Çizelge 7.5. Kesme hızına göre Fz esas kesme kuvvetinin azalma oranları

İlerleme (mm/iş devri)	Kaplamasız HSS	TiN Kaplamalı HSS
0,25	%9	%17
0,4	%17	%18
0,63	%3	%12
1	%12	%38

Genel olarak değerlendirildiğinde; kesme kuvveti bileşenlerinden Fx bileşeni (teğetsel kuvvet) her iki azdırma tipinde de ilerlemeden daha fazla etkilenmektedir. Aynı kuvvet bileşeni kesme hızından da ters yönde etkilenmektedir. Bu durum azdırma işleminin kinematik yapısı ile ilgilidir. Fy bileşeni (radyal kuvvet) Fx'e nazaran ilerlemeden daha fazla etkilenmiştir. Esas kesme kuvvetin Fz'nin (esas kesme kuvveti) kesme parametrelerindeki değişimlere karşı daha duyarlı olmuştur. Özellikle kaplamanın Fz kuvveti üzerinde daha etkili olduğu söylenebilir.

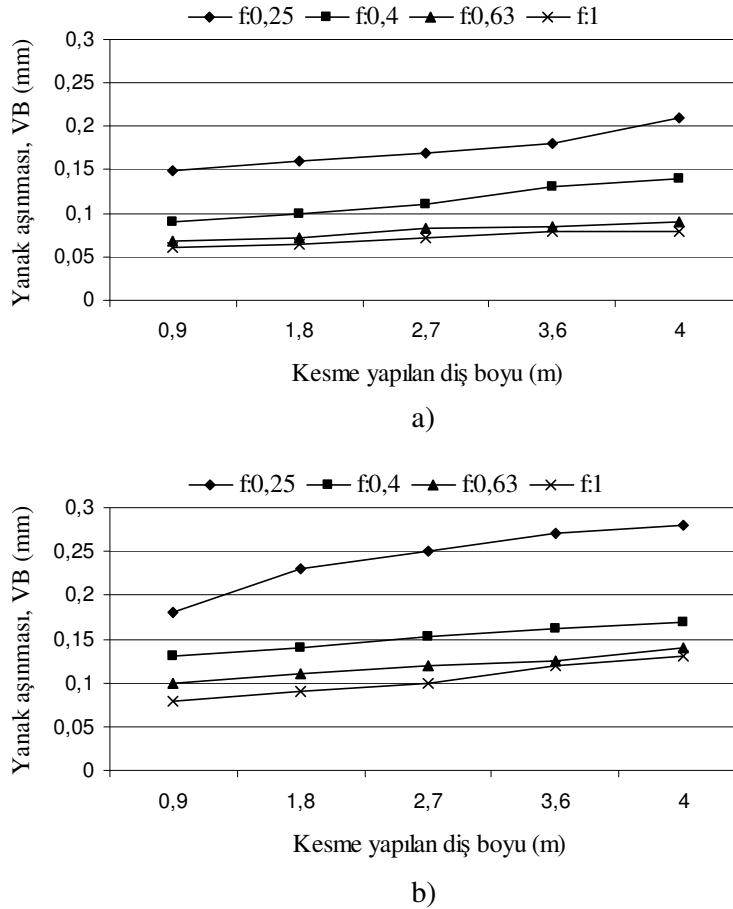
## 7.2. Takım Aşınmasının Değerlendirilmesi

Takım ömrü ve takım aşınması çalışmaları genellikle zamana bağlı olarak değerlendirilmektedir. TS 10329 (Torna kalemleri ömür deneyi) ve ISO 8688-1 (Frezelemede kesici takım ömrü deneyi -Yüzey frezeleme) ve ISO 8688-2 (Frezelemede kesici takım ömrü deneyi -Parmak frezeleme)'de önerildiği gibi belirlenen aşınma tipinde belirtilen değere ulaşıncaya kadar takımın kesme yaptığı süre, takım ömrü olarak kabul edilebilir. Ancak takım ömrü kaldırılan talaş hacmine göre de değerlendirilebilmektedir. Azdırma ile yapılan deneylerde takım aşınması kaldırılan sabit talaş hacmine göre değerlendirilmiştir.

### 7.2.1. Kesilen diş boyuna göre takım aşınmasının değerlendirilmesi

Takım aşınmasının belirlenmesine yönelik ilk olarak yanak aşınması değerleri takım mikroskobunda ölçülmüştür. Şekil 7.9'da kesme yapılan diş boyuna göre yanak aşınması grafikleri verilmiştir. Bu grafikler en düşük ve en yüksek kesme hızlarında 4 farklı ilerleme değerinde ölçülen yanak aşınması değerlerinden yola çıkılarak hazırlanmıştır.

Şekil 7.9'daki grafiklerde görüldüğü gibi, kesilen diş boyunun artmasıyla yanak aşınması artmaktadır. Şekildeki her iki grafikte de düşük ilerleme değerlerinde görülen yanak aşınması miktarı diğerlerine göre fazla olmuştur. En yüksek aşınma değerlerinin yüksek kesme hızında ve düşük ilerleme değerinde ortaya çıktığı görülmektedir (Şekil 7.9-b). Şekil 7.9-a'da verilen grafikte 0,25 ve 0,4 mm/iş devri ilerleme değerlerinde görülen artış diğerlerine göre daha fazladır. 0,25 mm/iş devrinde % 40 ve 0,4 mm/iş devri ilerlemede ise % 55 oranında bir artış gözlenmiştir. Şekil 7.9-b'de en yüksek artış 1 mm/iş devrinde % 62 oranında görülmüştür. 0,25 mm/iş devrinde ise % 56 oranında gerçekleşmiştir. Burada aynı ilerleme değerlerinde elde edilen aşınma miktarları, kesme hızının yüksek olması [81] nedeni ile Şekil 7.9-a'da verilen grafikteki aşınma değerlerinden fazla olmuştur.

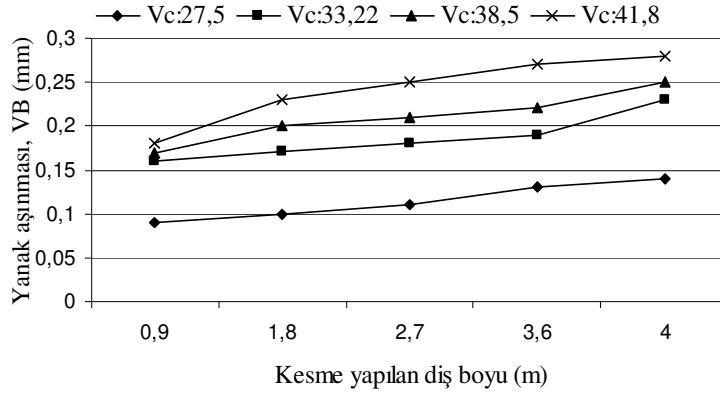


Şekil 7.9. Kaplamasız HSS azdırmada yanak aşınmasının kesme boyuna bağlı olarak değişimi a)  $V_c=27,5$  m/dak ve b)  $V_c=41,8$  m/dak

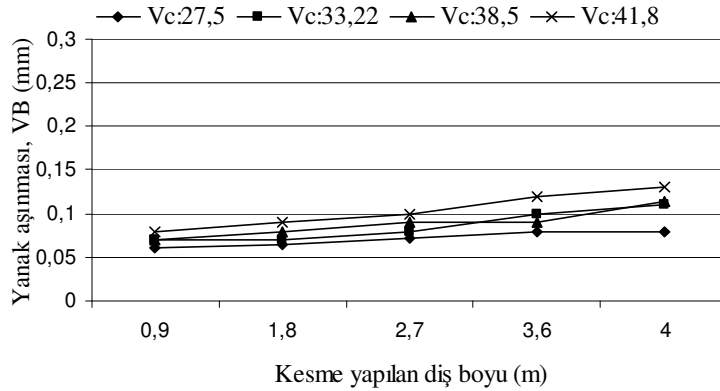
Şekil 7.10'daki grafiklerde ise 0,25 ve 1 mm/iş devri ilerleme değerlerinde 4 farklı kesme hızında kesilen diş boyu ve ölçülen yanak aşınması arasındaki ilişki verilmiştir. Şekil 7.10-a'da 0,25 mm/iş devri ilerleme değerinde en düşük ve en yüksek kesme hızlarında görülen % 55 oranındaki artış en yüksek artış olarak göze çarpmaktadır. Şekil 7.10-b'de ise en yüksek artış % 64 oranında 38,5 m/dak kesme hızında görülmüştür. 41,8 m/dak kesme hızında ise % 63 oranında bir artış meydana gelmiştir. Şekil 7.10-a'da tüm kesme hızlarında kesilen diş boyuna bağlı olarak ölçülen yanak aşınması değerlerinin birbirinden uzak olduğu görülmektedir. Bunun aksine Şekil 7.10-b'de verilen grafikte ise tüm kesme hızlarında ölçülen aşınma değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu duruma bakarak, yüksek



ilerleme değerlerinde kesme hızındaki değişimin yanak aşınması üzerinde düşük ilerleme değerine göre daha az etkili olduğu söylenebilir.



a)

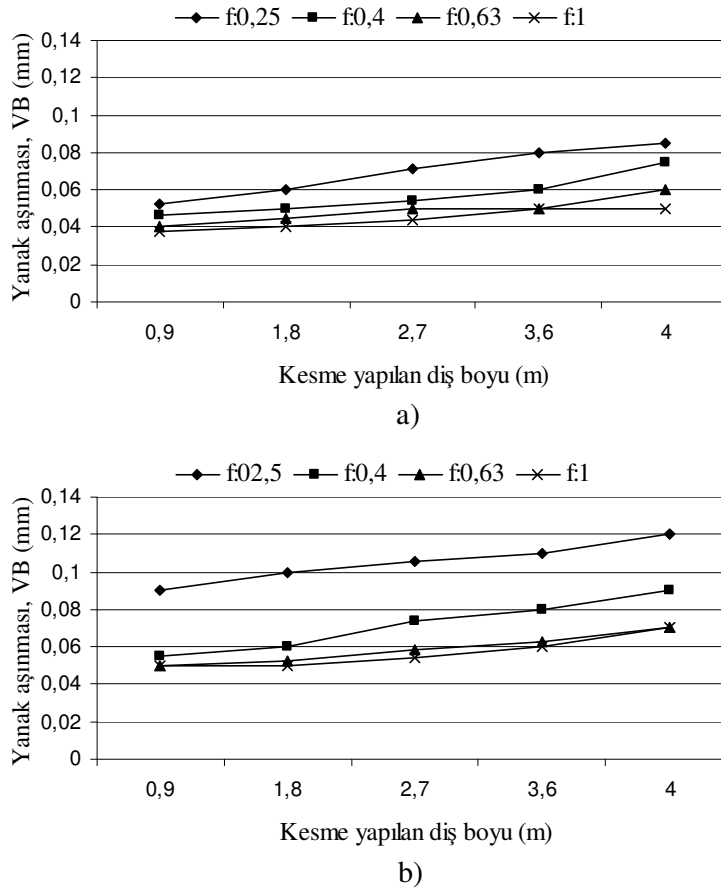


b)

Şekil 7.10. Kaplamasız HSS azdırmada yanak aşınmasının kesme boyuna bağlı olarak değişimi a)  $f=0,25$  mm/iş devri ve b)  $f=1$  mm/iş devri

Şekil 7.11'de TiN kaplanmış HSS azdırmada 27,5 ve 41,8 m/dak kesme hızında dört farklı ilerleme değerinde elde edilen yanak aşınmaları kesilen diş boyuna bağlı olarak verilmiştir. Kaplamasız azdırmada olduğu gibi TiN kaplamalı azdırmada da kesilen diş boyunun artmasıyla yanak aşınması artmaktadır. Şekildeki her iki grafikte de düşük ilerleme değerlerinde görülen yanak aşınması miktarı diğerlerine göre fazla olmuştur. Kaplamalı azdırmada da en yüksek aşınma değerlerinin yüksek kesme hızında ve düşük ilerleme değerinde ortaya çıktığı görülmektedir. Şekil 7.11-a'da verilen grafikte 0,25 ve 0,4 mm/iş devri ilerleme değerlerinde görülen artış

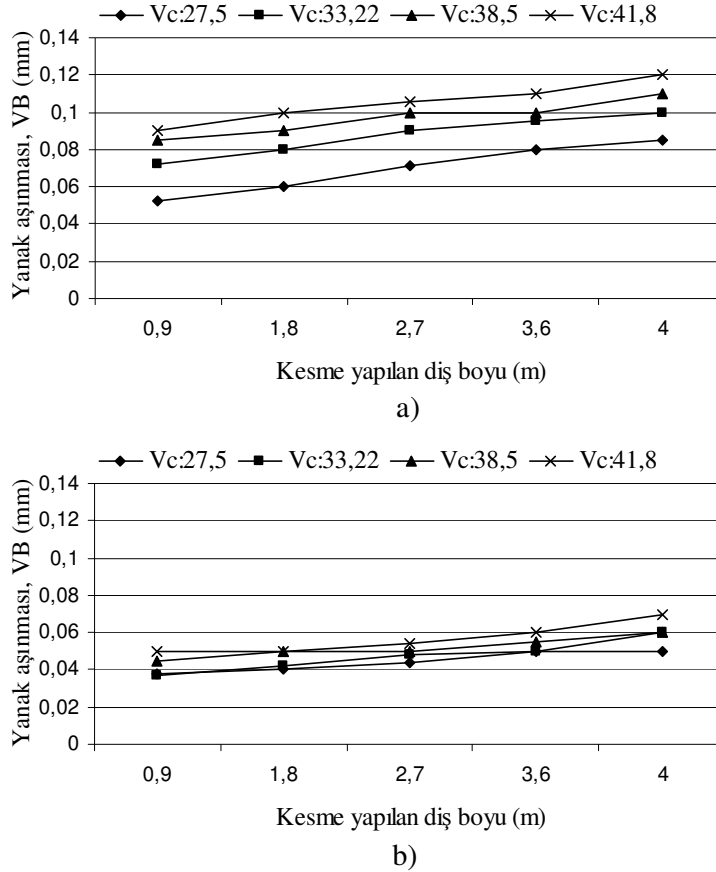
diğerlerine göre daha fazladır. Hem 0,25 mm/iş devrinde hem de 0,63 mm/iş devri ilerlemede % 63 oranında bir artış gözlenmiştir. Şekil 7.11-b’de en yüksek artış 0,4 mm/iş devrinde % 63 oranında görülmüştür. 0,25 mm/iş devrinde % 33, 0,63 ve 1 mm/iş devrinde ise % 40 oranında gerçekleşmiştir. Şekil 7.11-b’de verilen grafikte; aynı ilerleme değerlerinde elde edilen aşınma miktarları, kesme hızının yüksek olması nedeni ile Şekil 7.11-a’daki aşınma değerlerinden fazla olmuştur.



Şekil 7.11. TiN kaplanmış HSS azdırmada yanak aşınmasının kesme boyuna bağlı olarak değişimi a)  $V_c=27,5$  m/dak ve b)  $V_c=41,8$  m/dak

Şekil 7.12’deki grafiklerde 0,25 ve 1 mm/iş devri ilerleme değerlerinde 4 farklı kesme hızında TiN kaplamalı azdırma ile kesilen diş boyu ve ölçülen yanak aşınması arasındaki ilişki verilmiştir. Şekil 7.12-a’da (0,25 mm/iş devri ilerleme değerinde) en düşük ve en yüksek kesme hızlarında görülen % 63 oranındaki artış en yüksek artış

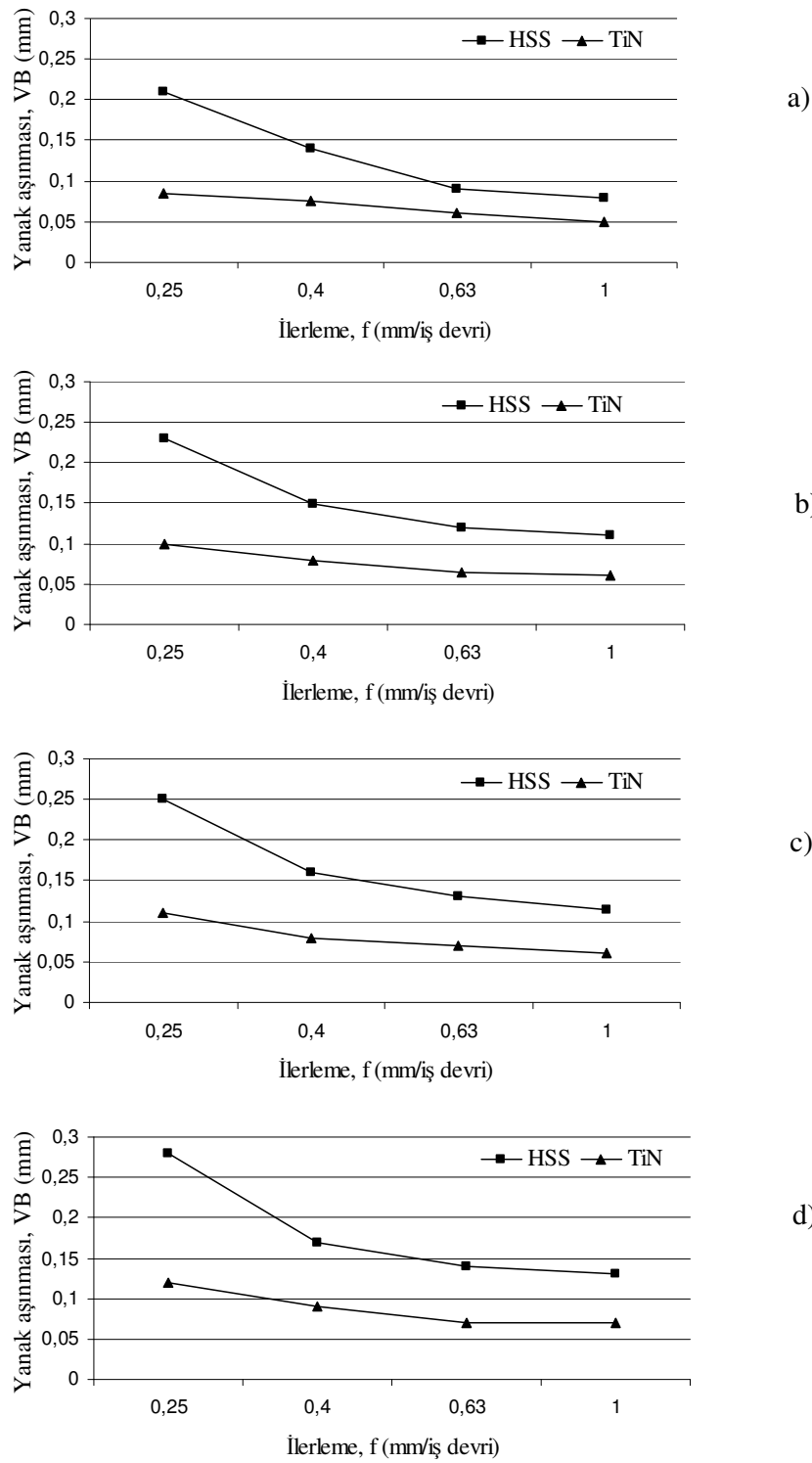
olarak göze çarpmaktadır. Şekil 7.12-b’de ise en yüksek artış % 62 oranında 33,22 m/dak kesme hızında görülmüştür. 41,8 m/dak kesme hızında ise % 40 oranında bir artış meydana gelmiştir. Şekil 7.12-b’de verilen grafiklerde tüm kesme hızlarında ölçülen aşınma değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 7.12. TiN kaplanmış HSS azdırmada yanak aşınmasının kesme boyuna bağlı olarak değişimi a)  $f=0,25$  mm/iş devri ve b)  $f=1$  mm/iş devri

### 7.2.2. Sabit talaş hacminde ulaşılan takım aşınmasının değerlendirilmesi

Şekil 7.13’deki grafiklere bakılırsa; ilerleme değerindeki artışla birlikte her iki kesici takımında da yanak aşınmasında bir azalma görülmüştür. Kesme hızının 41,8 m/dak olduğu şartlarda ilerleme değeri dört kat artırıldığında yanak aşınmasında HSS için % 54, TiN kaplamalı HSS için % 42 değerinde bir azalma görülmüştür.

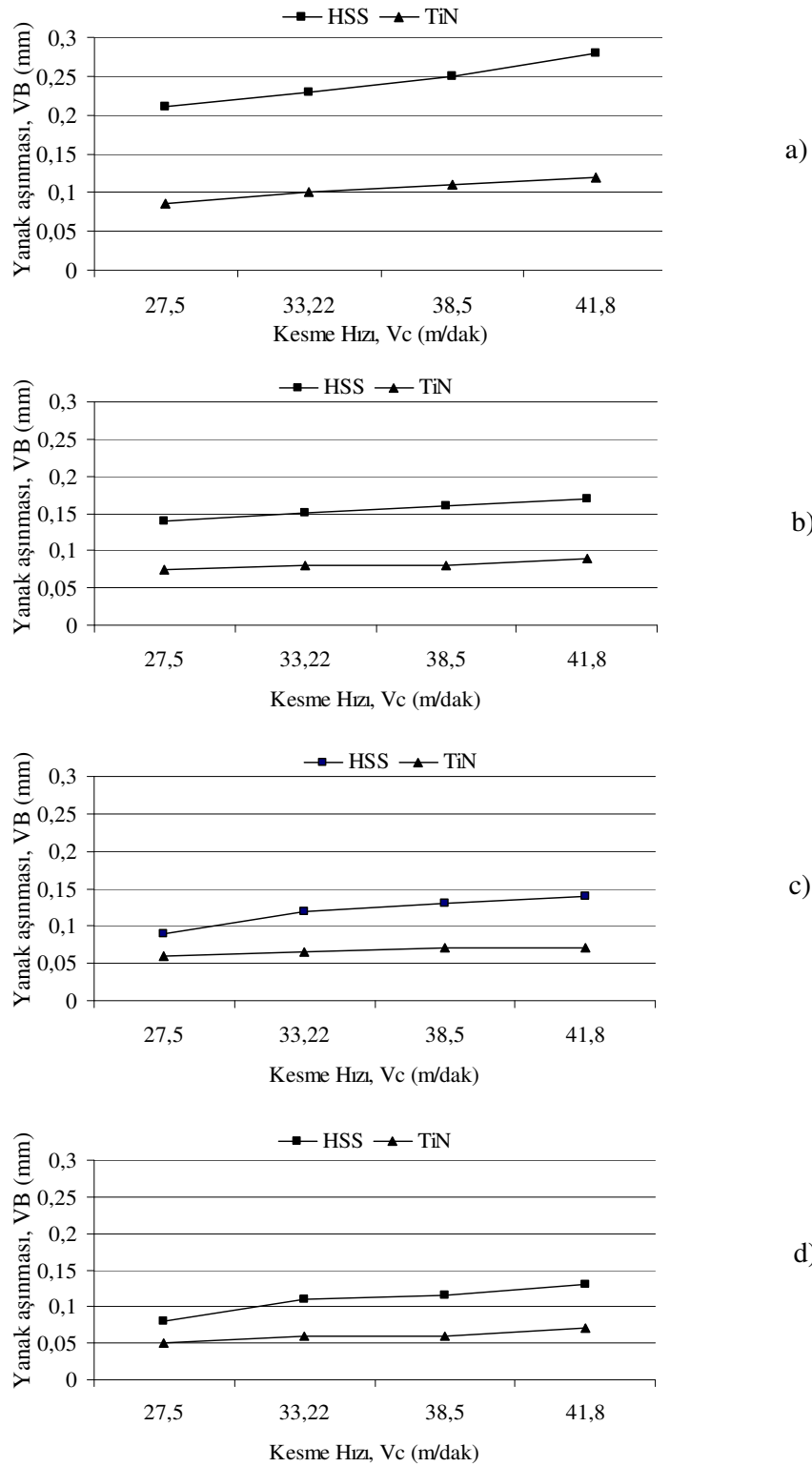


Şekil 7.13. Yanak aşınmasının ilerlemeye bağlı olarak değişimi a)  $V_c=27,5$  m/dak, b)  $V_c=33,22$  m/dak, c)  $V_c=38,5$  m/dak ve d)  $V_c=41,8$  m/dak

En yüksek yanak aşınması değerleri tüm kesme hızları için en düşük ilerleme olan 0,25 mm/iş devri değerinde görülmüştür. En düşük değerler ise ilerlemenin 1mm/iş devri olduğu şartlarda görülmüştür. Bunun temel sebeplerinden birisi takım ömrünün zamana bağlı değil sabit hacim prensibine göre değerlendirilmesidir. Düşük ilerleme değerlerinde küçük talaş kalınlığı vardır ve kesme kuvvetleri de azdır. Ancak, ilerlemenin az olması kesme giriş bölgesinde kesmeye katılan azdırma diş sayısını arttırmaktadır. Bu durumda birim zamanda temas eden kesici diş sayısı artacağından sürtünmeye bağlı olarak ısı artışı ve aşınma mekanizmalarının etkisinde bir hızlanma olabilir [64,90]. Bu durum; artan ilerleme ile yanak aşınmasının azalmasının diğer bir nedeni olarak gösterilebilir.

Şekil 7.13’de elde edilen yanak aşınması sonuçları azdırmanın kaplamalı veya kaplamasız olması açısından değerlendirildiğinde, TiN kaplanmış azdırma ile yapılan kesme deneyleri sonucunda elde edilen yanak aşınması değerlerinin kaplamasız azdırmaya nazaran % 48 daha az olduğu görülmüştür. TiN kaplamanın azdırma için sağladığı yüksek aşınma direncinin [5,94] bu sonucun ortaya çıkmasında etkili olduğu söylenebilir. Şekil 7.13’deki tüm grafiklerde kaplamalı ve kaplamasız azdırma arasında en fazla yanak aşınması farkı düşük ilerleme değerlerinde görülmüştür. Bu sonuca bağlı olarak düşük ilerleme değerlerinde ortaya çıkan olumsuz şartlara TiN kaplamalı azdırmanın daha dirençli olduğu ortaya çıkmaktadır.

Şekil 7.14’e bakıldığında, tüm ilerleme değerlerinde kesme hızının artması ile birlikte yanak aşınması değeri hem kaplamasız azdırmada hem de kaplamalı azdırmada artmaktadır. Aşınmadaki artış kesme hızındaki yükselme ile kesme bölgesinde takım-talaş ara yüzeyinde artan sıcaklık ile ilişkilidir [120,123]. En yüksek aşınma değeri kesme hızının 41,8 m/dak ve ilerlemenin 0,25 mm/iş devri olduğu kesme şartında kaplamasız azdırma için 0,28 mm TiN kaplamalı azdırma için 0,12 mm olarak ölçülmüştür. Tüm kesme şartlarında kaplamalı azdırmalarda daha az aşınma gözlemlenmiştir. azaltması nedeniyle kesme bölgesinde daha az ısı oluşmaktadır. Ayrıca kaplamanın ısıya karşı daha dirençli olması aşınmanın daha az olmasını sağlamaktadır [140].



Şekil 7.14. Yanak aşınmasının kesme hızına bağlı olarak değişimi a)  $f=0,25$  mm/iş devri, b)  $f=0,4$  mm/iş devri, c)  $f=0,63$  mm/iş devri ve d)  $f=1$  mm/iş devri

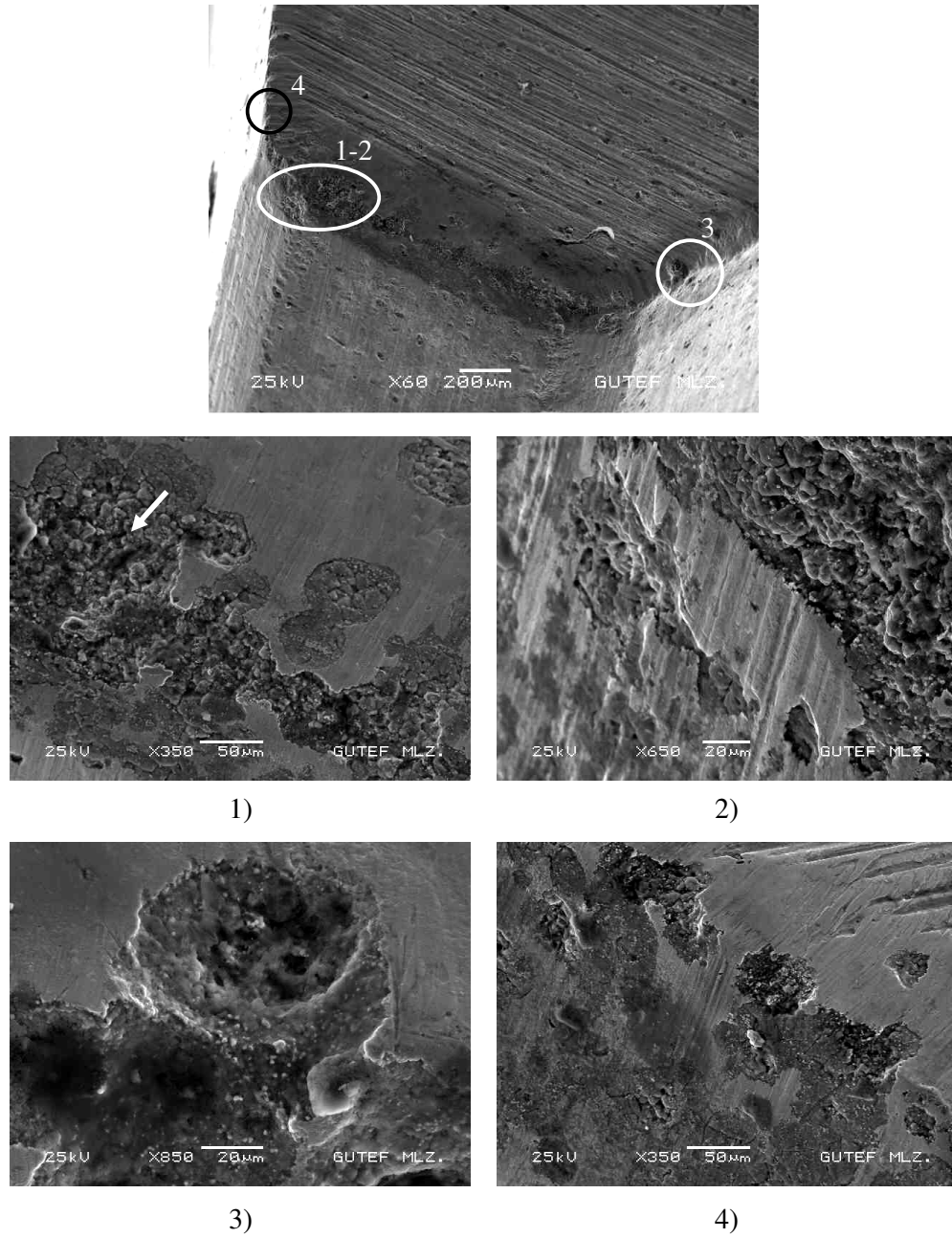
Şekil 7.14’de verilen tüm grafikler dikkate alındığında kaplamasız azdırmada elde edilen yanak aşınması değerleri TiN kaplanmış azdırmalarda elde edilen yanak aşınması diğerlerinden ortalama olarak % 96 fazla gerçekleşmiştir. TiN kaplamanın takım ve talaş ara yüzeyindeki sürtünmeyi Şekil 7.13 ve 7.14’de verilen grafiklerde de görüldüğü gibi, deneylerin yapıldığı kesme parametrelerine bağlı olarak en yüksek yanak aşınması değerleri kesme hızının en yüksek ve ilerleme değerinin en düşük olduğu şartlarda elde edilmiştir. Ayrıca TiN kaplanmış azdırmaların aşınmaya karşı daha dirençli olmaları nedeniyle bu azdırmalarda oldukça düşük yanak aşınmaları ölçülmüştür. Bu sonuçlara bağlı olarak kuru kesme şartlarında TiN kaplanmış azdırmaların aşınma yönünden daha iyi performans sağlayacağı söylenebilir. Ayrıca kesme hızının ortalama bir değerde (33,22 m/dak) ve ilerlemenin de mümkün olduğunca (pürüzlülük ve kuvvet gibi diğer üretim beklentileri de dikkate alınarak ) yüksek alınması azdırmanın bilemeden önce daha uzun süre kullanımını sağlayabilir.

### **7.2.3. SEM görüntülerinin değerlendirilmesi**

Takım mikroskobunda görülemeyen yanak aşınması dışındaki aşınmaların ve aşınma mekanizmalarının tespiti için tarama elektron mikroskobunda (SEM) en yüksek ve en düşük kesme parametrelerinde kullanılan kaplamasız ve kaplamalı azdırmaların görüntüleri alınmıştır.

Resim 7.1’deki ana resme bakıldığında kesme yapan kenarlar boyunca talaş yüzeyine iş parçası malzemesinin yapıştığı görülmektedir. 1 numaralı resimde adhesiv aşınma mekanizmasının etkisi ile yapışan ince malzeme tabakasının yer yer kalktığı görülmektedir. Ok işareti ile gösterilen bölgede yoğun difüzyon olduğu görülmektedir. HSS takım malzemesi karbürlerden ve bunları saran matristen oluşmaktadır. Bu karbürler HSS’in yapısında bulunan tungsten, molibden, vanadyum, krom gibi elementlerle birlikte oluşmaktadır [11]. Takım içerisinde bulunan karbon kesme süreci boyunca üzerine yapışan talaş ile difuze olmaktadır. Zaman içerisinde difuze olan karbon miktarı arttıkça bozulan matris yapısından dolayı takım malzemesinin yapısında bulunan çeşitli karbür partikülleri açığa

çıkılmaktadır. Temelde azdırma işlemi de bir frezeleme işlemidir. Dolayısıyla termal ve mekanik gerilmeler takım üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Özellikle mikro çatlakların ve kenar çitlamalarının ortaya çıkmasında etkindir [141].



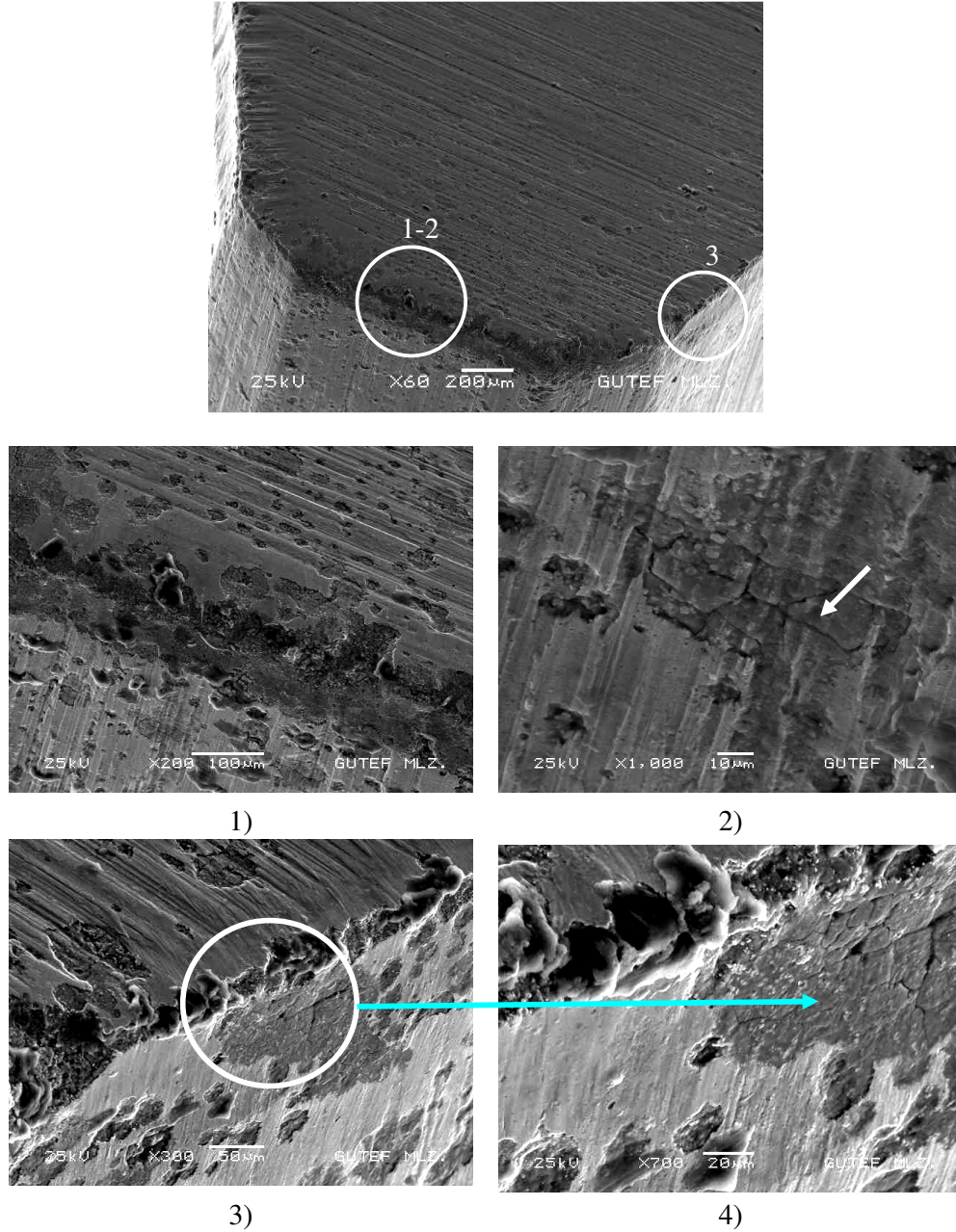
Resim 7.1. HSS azdırmanın SEM fotoğrafları ( $V_c=27,5$  m/dak ve  $f=0,25$  mm/iş devri)



Yapışan malzeme bir süre sonra gerek altında oluşan difüzyon gerekse mekanik ve/veya termal yorulmanın etkisi ile küçük parçalar halinde takımdan uzaklaşmaktadır. Bunun nedeni, frezeleme gibi kesikli kesme yapılan durumlarda takım üzerinden talaş akışının da kesikli olmasıyla ortaya çıkan bölgesel eğilme gerilmeleridir [120,141]. 2 numaralı resimde de yan yüzeye yapışan malzemeyi ve kopan parçaları görmek mümkündür. Ayrıca kopma sonucu ortaya çıkan kısımlarda oluşmuş difüzyon etkileri görülmektedir. Yapışan malzeme katmanları üzerinde kesme sırasında oluşan abrasiv aşınma izleri açıkça görülmektedir. Ancak bu izlerin henüz takım malzemesi üzerine etki etmediği belirgindir. 3 numaralı resimde ise adhesiv etki ile yapışan malzemenin difüzyonla birlikte takım üzerinde gerçekleştirdiği derin tahribat görülmektedir. Tekrar tekrar yapışma ve kopma (bu arada difüzyon devam etmekte) sürekli olarak takımı aşındırmaktadır. Kopma sonrası açıkta kalan bölgeye, kesme devam ettiği için, adhesiv etkiyle birlikte daha fazla yapışma olmaktadır. Her defasında yapışmanın arttığı düşünülürse kopmayla birlikte takımdan ayrılan parçaların miktarı da artacaktır. Yapışan tabakaların katman katman kalktığı görülebilmektedir. Bu resimde açığa çıkan karbür partikülleri ve yeniden başlamış malzeme yapışması görülmektedir. 4 numaralı resimde azdırmanın sağ yanağındaki malzeme yapışması görülmektedir.

Resim 7.2’de kesme hızının en yüksek ilerlemenin en düşük olduğu şartlarda kesme yapan HSS azdırmanın 5 deney numunesi kestikten sonra elde edilen SEM görüntüleri verilmiştir. Ana resim genel olarak değerlendirilirse; burada da iş parçası malzemesinin kesici takım üzerine kesme yapan kenar boyunca yapıştığı görülmektedir. Bu kesici takım yüksek kesme hızında kullanıldığından yanak aşınması değeri en yüksek çıkmıştır. 1 numaralı resimde talaş yüzeyine ve sırt taraftaki serbest yüzeye yapışan malzeme tabakaları ve bunlardan pullanma şeklinde takım üzerinde ayrılan kesimler görülmektedir. Kesici kenarın kenar çıtlamaları nedeniyle keskinliğini bir miktar yitirdiği görülmektedir. Kenar üzerine yapışmış talaş parçaları da görülmektedir. Kesici kenar üzerine yapışan bu talaş parçalarının büyüklüğü ve biçimi kesici kenarın sağlıklı kesme yapabilmesini engellemektedir. Yapışan malzemenin neden olduğu kesici kenar geometrisinin değişmesi birinci ve ikinci deformasyon bölgelerindeki kayma ve talaş akışı üzerinde olumsuz etki

yapmaktadır. Bu yapışma, kesme süreci boyunca derece derece takımın kesme kabiliyetinin bozulmasına yol açmaktadır [141].

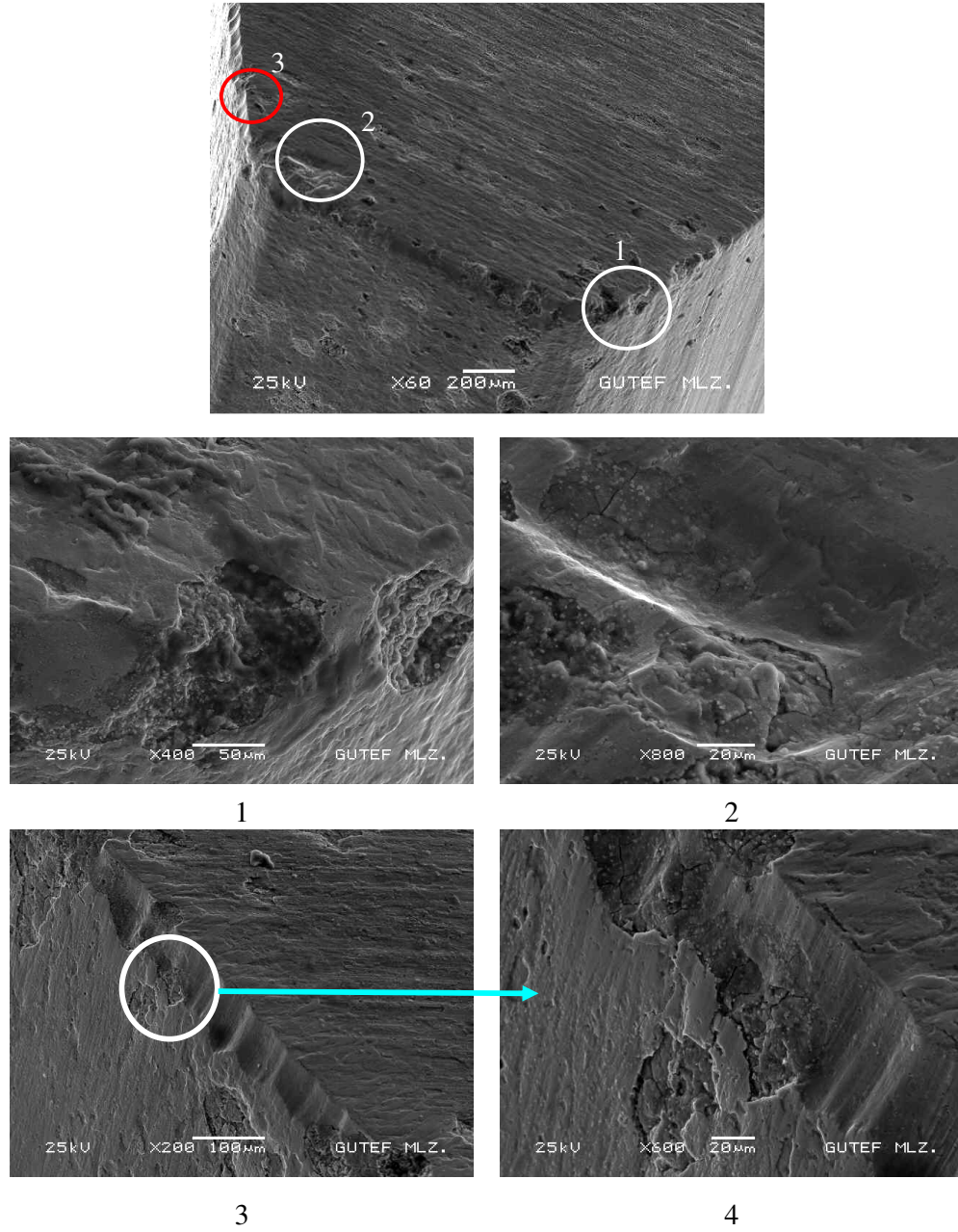


Resim 7.2. HSS azdırmanın SEM fotoğrafları ( $V_c=41,8$  m/dak ve  $f=0,25$  mm/iş devri)

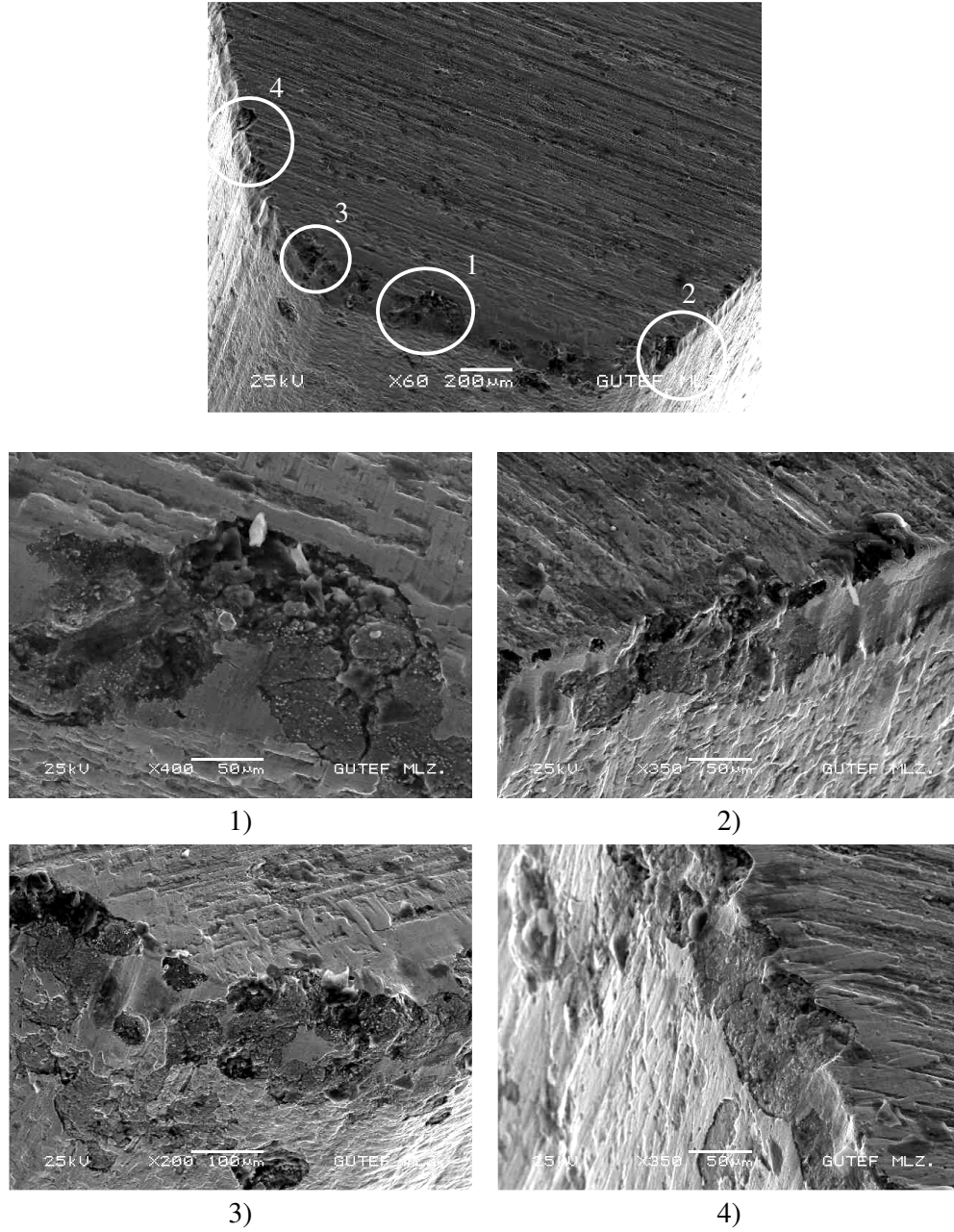
Resim 7.2'deki 2 numaralı resimde Ok işareti ile gösterilen kısımda kesici takım üzerinde abrasiv aşınma izleri (olukları) görülmektedir. Yapışan malzeme üzerinde de abrasiv aşınma izleri görülmektedir. Ayrıca yapışmış tabakanın kopmasıyla ortaya çıkan bölgede çorak toprak şeklinde mikro-çatlaklar görülmektedir. Bu mikro-çatlakların kesikli kesmeden dolayı etkisini arttıran termal ve/veya mekanik yorulmaların etkisiyle ortaya çıktığı söylenebilir. Kesme hızının yüksek olması kesicinin kesme frekansını arttırdığından termal ve mekanik yorulmanın etkisi de artmaktadır. 3 ve 4 numaralı resimde talaş yüzeyine ve yan yüzeye yoğun bir şekilde yapışmış iş parçası malzemesi görülmektedir. Kesici kenar üzerine yapışmış talaş parçaları ve kesici kenar geometrisinde yaptıkları değişiklik görülmektedir. Kesici takım yan yüzeyinde mikro-çatlaklar görülmektedir. Yakından incelendiğinde (4 numaralı resim) bu çatlakların termal ve/veya mekanik yorulmalardan kaynaklandığı söylenebilir.

Resim 7.3'de SEM görüntüsü Resim 7.1'de verilen takım ile aynı kesme parametrelerinde TiN kaplanmış azdırma çakının kesme deneyleri sonucunda çekilen SEM görüntüleri yer almaktadır. Ana resme bakıldığında kesme kenarlarında kenar çatlaklarının olduğu görülmektedir. Ayrıca kesme kenarları boyunca kaplamasız takıma göre daha az malzeme yapışması görülmektedir. 1 numaralı resimde yapışan iş parçası malzemesinin kalkması sonucu ortaya çıkan oyuntular görülmektedir. Bu oyuntuların kesici kenar üzerinde olduğu görülmektedir. Ayrıca yapışan malzeme ve takım malzemesi arasındaki difüzyon nedeniyle ortaya çıkmış karbür partikülleri de göze çarpmaktadır. Talaş yüzeyinde ve yan yüzeyde ince bir tabaka halinde malzeme yapışması vardır. 2 numaralı resimde talaş yüzeyi üzerinde difüzyon nedeniyle meydana gelen bir oyuk görülmektedir. Oyuk yüzeylerinde malzeme yapışması ve bazı kısımlarda tabaka tabaka yapışan malzemenin kalktığı görülmektedir. Yavaş yavaş karbür partiküllerinin belirginleştiği görülmektedir. Yine burada termal ve/veya mekanik yorulmalara bağlı olarak mikro-çatlaklar oluşmuştur. 3 numaralı resim ve onun detayı olan 4 numaralı resim incelendiğinde, yan yüzeyde abrasiv aşınma izlerinin üzerine iş parçası malzemesinin yapıştığı görülmektedir. Bunun yanı sıra, talaş yüzeyinde ve yan yüzeylerde yapışan ince malzeme tabakası koparken kaplama tabakasını da bir miktar kaldırmıştır. Kopmalar sonucu kalkan kaplamanın

altındaki esas takım malzemesinde, difüzyona bağlı olarak açığa çıkan karbür partikülleri ve termal ve/veya mekanik yorulmalardan kaynaklanan mikro-çatlaklar vardır.



Resim 7.3. TiN kaplanmış HSS azdırmanın SEM fotoğrafları ( $V_c = 27,5$  m/dak ve  $f = 0,25$  mm/iş devri)

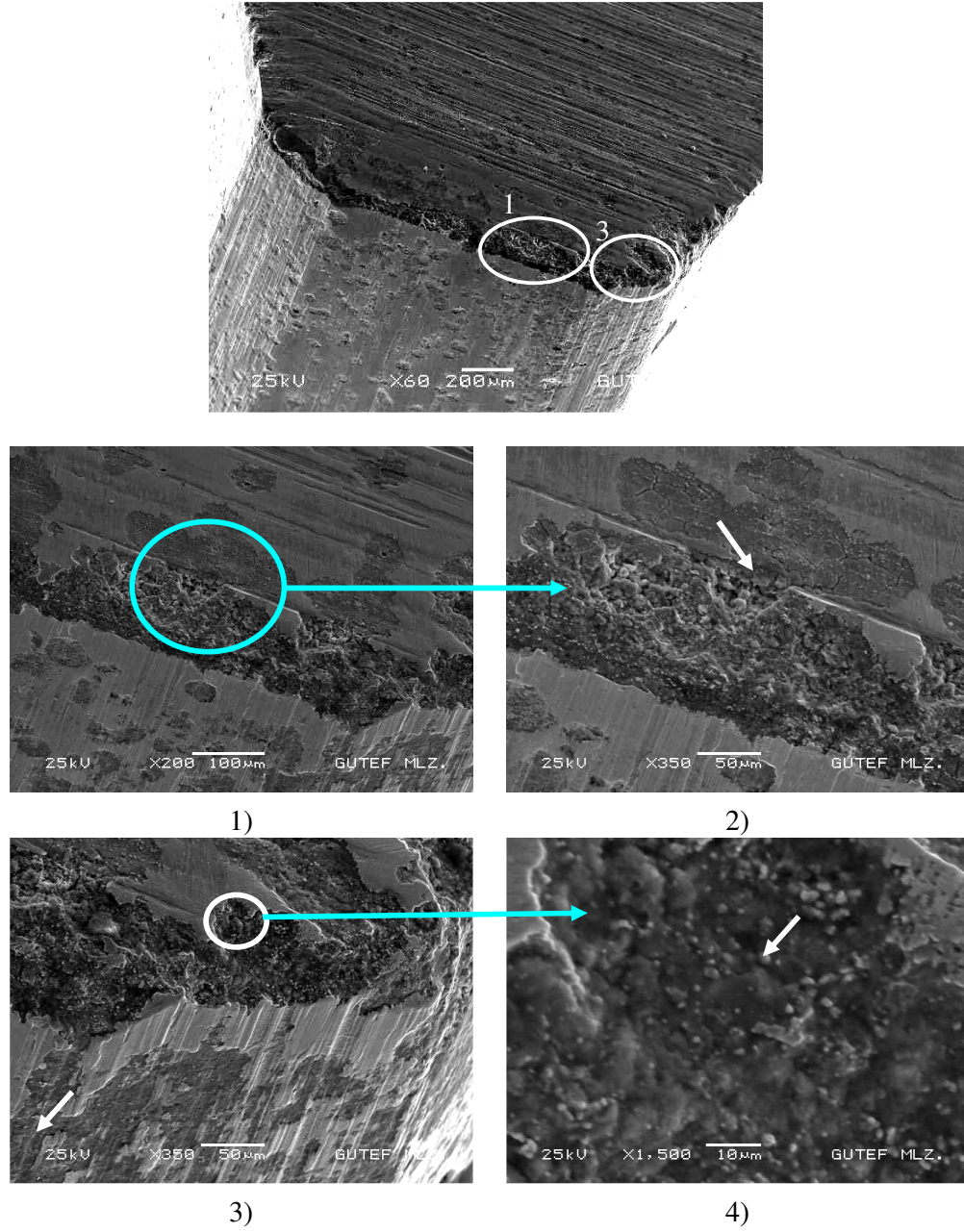


Resim 7.4. TiN kaplamalı HSS azdırmanın SEM fotoğrafları ( $V_c=41,8$  m/dak ve  $f=0,25$  mm/iş devri)

Resim 7.4'deki ana resme bakacak olursak; kenar boyunca yer alan kenar çitlamaları görülmektedir. Ayrıca az miktarda da malzeme yapışması görülebilmektedir. 1 numaralı resme bakılırsa talaş yüzeyine yapışan az miktardaki iş parçası malzemesi üzerine batmış talaş kırıntıları görülmektedir. Yapışan malzemenin kopup gittiği

verde tekrar yapışma başlamış ve difüzyon nedeni ile karbür partikülleri açığa çıkmıştır. Termal ve/veya mekanik yorulmaların etkisi ile derin mikro-çatlaklar ortaya çıkmıştır. 2 numaralı resimde yan yüzeyde kesici kenara yakın bölgede yapışmalar ve kaplaması kalkmış kısımlar görülmektedir. Ayrıca kesicinin keskin kenarına yapışan ve geometrisini değiştirerek daha hızlı aşınmasına neden olan talaş yapışmaları da açık olarak görülmektedir. Yukarıda bahsedilen aşınma gelişmelerinin 3 ve 4 numaralı resimlerde de benzer biçimde ortaya çıktığı görülmüştür.

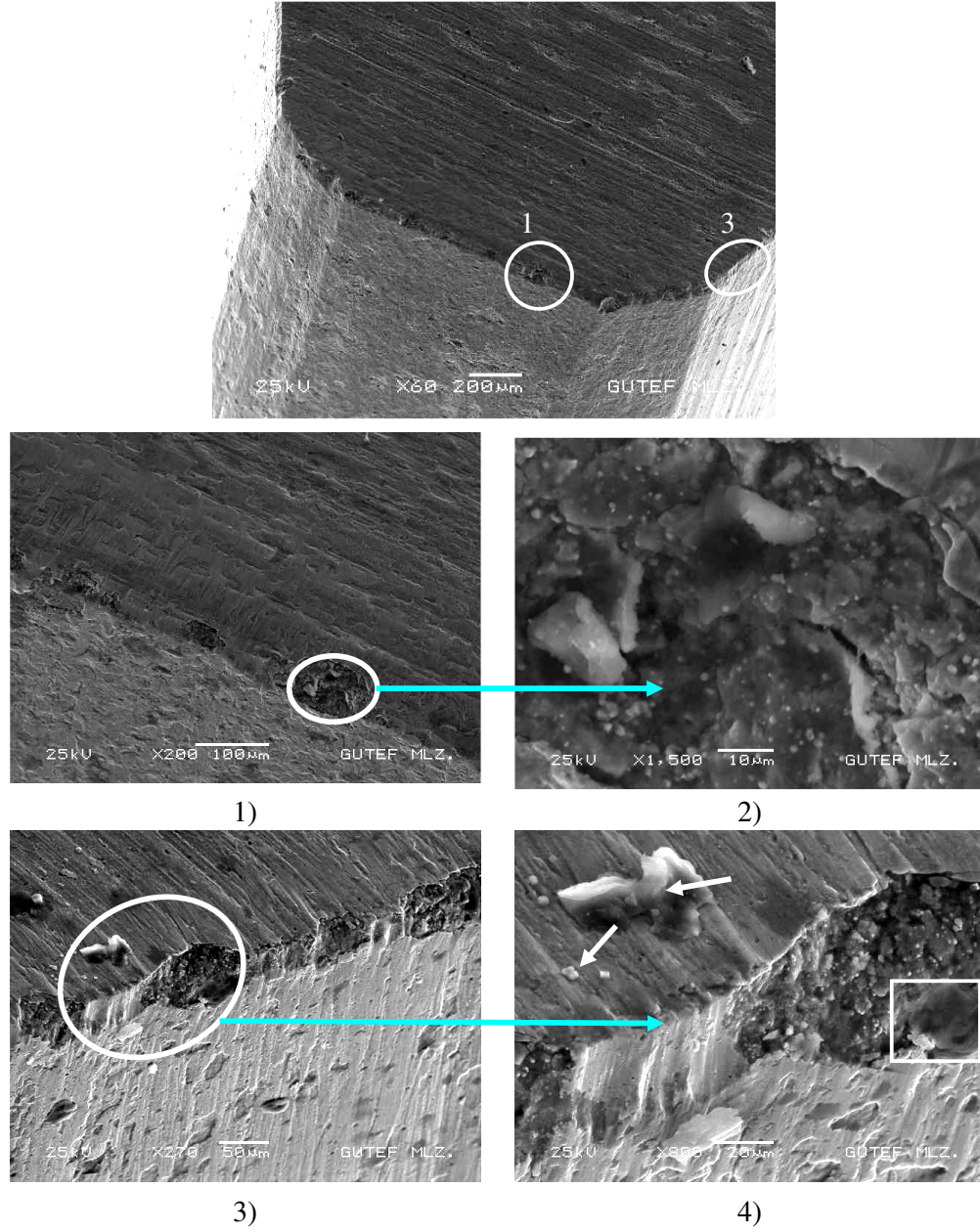
Resim 7.5’de en yüksek kesme hızı ve ilerleme değerlerinde kullanılan kaplamasız HSS azdırmanın SEM görüntüleri verilmiştir. Ana resme genel olarak bakıldığında; ön ve köşe kısımlardaki kesici kenarlarda düzensiz aşınma belirtileri ve yan yüzeylerde bir miktar yanak aşınması göze çarpmaktadır. 1 numaralı resimde, iş parçası malzemesinin talaş yüzeyine, yan yüzeye ve sırt yüzeyine yapıştığı görülmektedir. Yapışan malzeme tabakasının yer yer parçalar (pullanma) halinde kalktığı görülmektedir. Yapışan malzeme tabakasının altında başlayan ve sonra hızlanan difüzyon mekanizması talaş yüzeyinde açıkça görülmektedir. 1 numaralı resimde daire içine alınan bölge yakından incelenirse (2 numaralı resim); yapışan iş parçası malzeme tabakasının takım üzerinden kopmasında taşlama izlerinin çentik etkisi yapmış olabileceğinden söz edilebilir. Dolayısıyla kopma ve takım üzerindeki aşınma hızlanacaktır. Yukarıda incelenen tüm SEM görüntülerinde olduğu gibi, yapışan malzeme tabakasına karbon difüze olmakta ve bunun sonucu olarak da karbür partikülleri açığa çıkmaktadır. 4 numaralı resimde Ok işareti ile gösterilen bölgede karbür partikülleri net bir biçimde görülebilmektedir. 3 numaralı resimde yapışan malzeme tabakalarının kopması sonucu ortaya çıkan yoğun tahribat görülmektedir. Meydana gelen bu girintili çıkıntılı bölgeye malzeme yapışması daha hızlı olacağından takımın aşınması hızlanacaktır. Yan yüzeyde yapışan malzeme tabakası üzerinde ve Ok işareti ile gösterilen bölgede takım üzerinde çok az olmak üzere abrasiv aşınma izleri görülmektedir. Bu izlerin iş parçası malzemesinin yapısında bulunan perlitten kaynaklandığı düşünülebilir.



Resim 7.5. HSS azdırmanın SEM fotoğrafları ( $V_c=41,8$  m/dak ve  $f=1$  mm/iş devri)

Resim 7.6'da yüksek kesme hızı ve ilerleme değerlerinde kullanılan TiN kaplamalı HSS azdırmanın SEM görüntüleri verilmiştir. Ana resme bakıldığında, kaplamadan dolayı iş parçası malzemesinin yapışması daha az görülmektedir. Kesme yapan kenarlar boyunca küçük kenar çtılamaları görülmektedir. 1 numaralı resme bakılırsa

talaş yüzeyine yapışan malzeme tabakasının çok küçük oranlarda gerçekleştiği görülmektedir. Yapışan malzemenin çıkan talaşların akışı yönünde şekillendiği ortaya çıkmaktadır. Yapışan malzeme tabakalarının bazı bölgelerde kalkmasıyla kesici kenar üzerinde oyuntu biçimli tahribatlar açık olarak görülebilmektedir.



Resim 7.6. TiN kaplanmış HSS azdırmanın SEM fotoğrafları (  $V_c = 41,8$  m/dak ve  $f = 1$  mm/iş devri)



2 numaralı resimde daire içerisinde alınan bölgeye yakından bakıldığında; difüzyon sonucu ortaya çıkan karbür partikülleri, termal ve/veya mekanik yorulmalar nedeniyle ortaya çıkan mikro-çatlaklar ve bu bölgeye tekrar yapışmaya başlamış iş parçası malzemesini görmek mümkündür. 3 numaralı resimde gerek talaş yüzeyinde gerekse yan yüzeyde takım üzerine yapışmış malzeme tabakaları görülmektedir. Kenar üzerine yapışan malzemenin, kesme süreci içerisinde yapıştığı bölgeden ayrılırken takım malzemesinden kopardığı parçalar nedeniyle kesici kenarın geometrisinde bir bozulma gerçekleşmiştir. 4 numaralı resme bakılırsa kaplamanın kalktığı bölgelerde yapışma, difüzyon ve sonrasında gelişen kopmanın hızlandığı açıktır. 4 numaralı resimde ok ile gösterilen talaş parçacıklarının talaş yüzeyindeki yapışmış ince malzeme tabakası üzerine nüfuz ettiği görülmektedir. Kesici kenar üzerinde kopma sonucu açıkta kalan bölgede tekrar malzeme yapışması olmaktadır. Bu kısım kare içerisinde gösterilmiştir. Kopma olan bölgenin ön kısmında henüz kopmamış ancak malzeme yapışmasının devam ettiği alan görülmektedir. Bu alan ilk bakışta kısmen düzenli bir yanak aşınması gibi görünmektedir.

Yukarıda incelenen tüm SEM görüntülerinden yola çıkılarak azdırma çakılardaki aşınma tipleri ve mekanizmaları için aşağıdakiler söylenebilir;

- Takım mikroskobu ile ölçülebilen ve daha fazla görülen yanak aşınması kesicinin kesme kabiliyetinin azalmasına ve dişli çark diş profilinin tam ve doğru olarak oluşmamasına neden olmaktadır. Talaş yüzeyinde meydana gelen krater aşınması, bilerek giderilebildiğinden genelde yanak aşınmasına tercih edilen bir aşınma türüdür [11].
- Azdırmanın kesme kabiliyetinin bozulmasına neden olan baskın aşınma mekanizmasının birkaç mekanizmanın birleşimi şeklinde ortaya çıktığı görülmektedir. Bunlar; malzeme yapışması (adhesiv), difüzyon, kesikli kesmeden kaynaklanan termal ve/veya mekanik yorulmalar ve çok düşük oranda abrasiv aşınma mekanizmalarıdır.

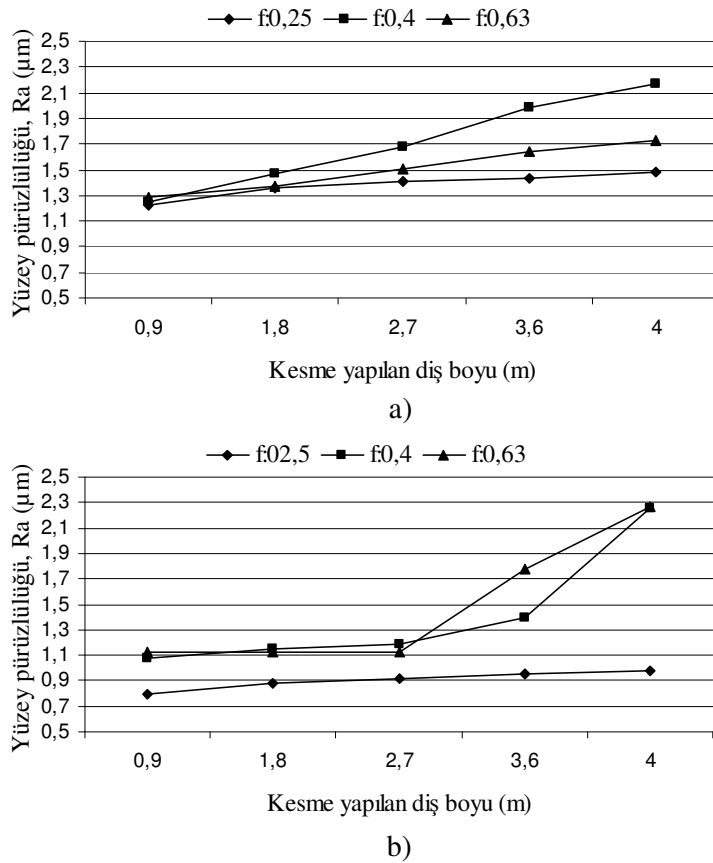
- İncelenen tüm takımlarda, yapışan malzeme takım üzerinden kalkarken beraberinde bir miktar takım malzemesini de götürmektedir. Sürtünmeli yapışma (galling) olarak adlandırılan bu durum [141] aşınma seyrinde en önemli etkidir. Difüzyon ve termal ve/veya mekanik yorulma mekanizmalarının etkisiyle yapışma ve kopma takım üzerinde daha şiddetli etki oluşturmaktadır.
- Kesme hızının yükselmesi ile kesicinin birim zamandaki kesme sayısı arttığından mekanik ve/veya termal yorulmaların takım üzerindeki etkisi artmış ve mikro-çatlakların sayısında ve boyutunda artışlar gözlenmiştir.
- İlerlemenin artması ile difüzyon aşınma mekanizmasının kesici takım üzerinde oluşturduğu etkinin arttığı görülmüştür.
- TiN kaplamalı HSS azdırmalarda malzeme yapışmasının daha az olduğu görülmüştür. Dolayısıyla yapışmanın az olması diğer mekanizmaların takım üzerindeki etkisini de azaltmıştır. Bu durum TiN kaplamanın yüksek aşınma direncine, düşük termal iletkenliğine, daha az kimyasal etkileşim ve takım talaş ara yüzeyinde sağladığı düşük sürtünme değerine bağlanabilir [140,142].

### **7.3. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi**

#### **7.3.1. Kesilen diş boyuna göre yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi**

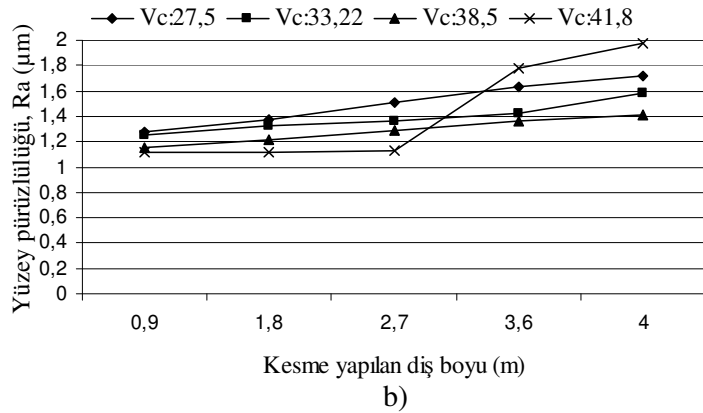
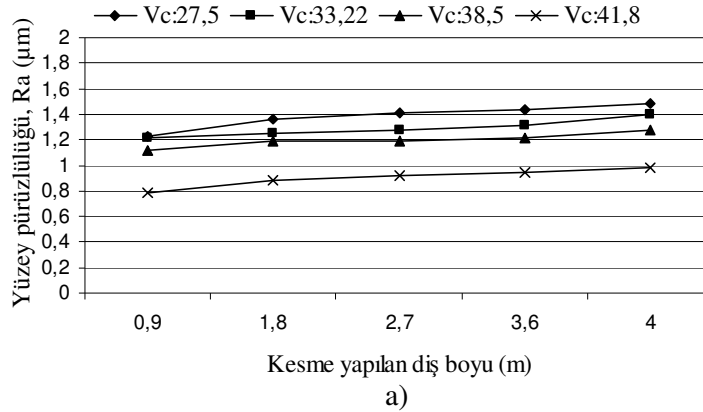
İşlenen her bir dişli çarkın yüzey pürüzlülüklerinin ölçümü Stylus (izleyici uç) tekniğini kullanan bir profilometre ile yapılmıştır. Pürüzlülük ölçümlerinde 1 mm/iş devri ilerlemede elde edilen pürüzlülük değerleri, muhtemelen kullanılan takım tezgahından kaynaklanan etkiler nedeni ile, diğer ilerleme değerlerine göre anlamsız çıkmıştır. Bu nedenle sonuçların bilimsel açıdan yorumlanmasında hatalar olabileceğinden 1 mm/ iş devri ilerleme değeri pürüzlülük değerlendirmelerinde (istatistiksel analizler dahil) dikkate alınmamıştır. Şekil 7.15'de Kaplamasız HSS azdırmada yüzey pürüzlülüğünün kesme boyuna bağlı olarak değişimi en düşük ve

en yüksek kesme hızları için 3 farklı ilerleme değerinde verilmiştir. Her iki grafikte de en yüksek ilerleme değerinde en yüksek pürüzlülük değeri elde edilmiştir. Kesme yapılan diş boyu arttıkça ölçülen pürüzlülük değeri de artmıştır. Bu durum kullanılan azdırma çakının kesme boyuna bağlı olarak aşınmasına atfedilebilir. Şekil 7.15-a'da işlenen diş boyunun 0,9 metreden 4 metreye çıkmasıyla ölçülen pürüzlülük oranlarında en fazla artış % 73 oranında ilerlemenin 0,4 mm/iş devri olduğu kesme parametrelerinde elde edilmiştir. Ayrıca bu kesme parametrelerinde kesilen diş boyuna göre aşınma miktarı da yüksek çıkmıştır (Şekil 7.9). Pürüzlülükteki bu artış oranı aşınmada görülen artış oranı ile ilişkilendirilebilir. Deneylerde kullanılan en yüksek kesme hızında işlenen dişli çark diş yüzeylerinde ise (Şekil 7.15-b) % 107 oranında bir artış 0,4 mm/iş devri ilerleme değerinde ölçülmüştür. Burada 0,63 mm/iş devri ilerleme değerinde görülen artış oranı % 102 olarak gerçekleşmiştir.



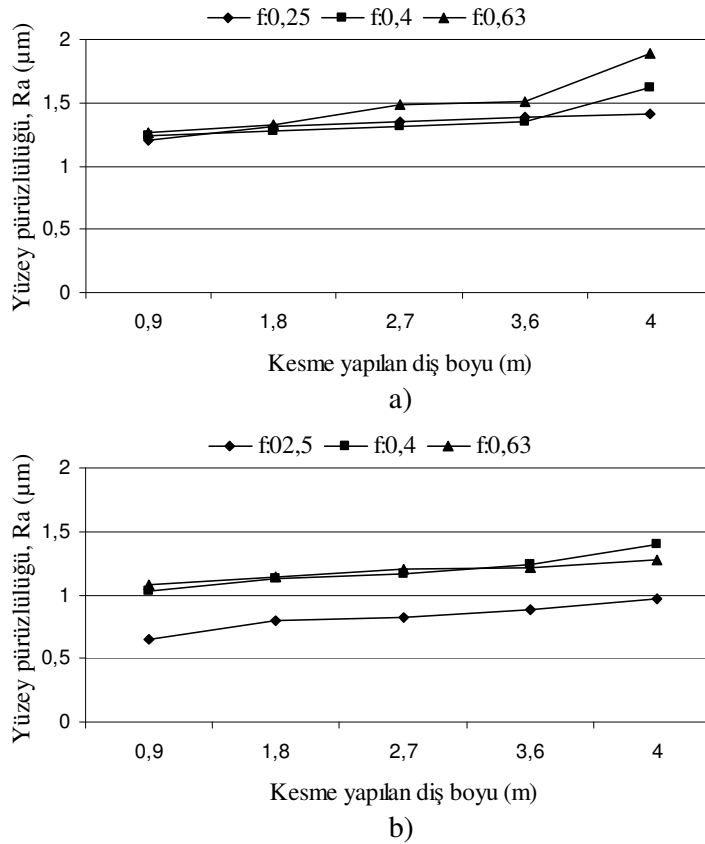
Şekil 7.15. Kaplamasız HSS azdırma yüzey pürüzlülüğünün kesme boyuna bağlı olarak değişimi a)  $V_c=27,5$  m/dak ve b)  $V_c=41,8$  m/dak

Şekil 7.16'da Kaplamasız HSS azdırmada yüzey pürüzlülüğünün kesme boyuna bağlı olarak değişimi ise 0,25 ve 0,63 mm/iş devri ilerleme değerlerinde 4 farklı kesme hızında verilmiştir. İlk grafikte 41,8 m/dak kesme hızında en düşük, 27,5 m/dak kesme hızında da en yüksek pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Yüksek kesme hızı; kesme bölgesindeki deformasyonun kolaylaşması ve çıkan talaşların daha hızlı uzaklaşması nedeni ile pürüzlülük üzerinde olumlu etkiler gösterebilir. Şekil 7.16-a'da en fazla artış % 24 oranında 41,8 m/dak kesme hızında görülmüştür. Şekil 7.16-b'de en fazla artış % 76 oranında yine 41,8 m/dak kesme hızında görülmüştür. Ancak bu grafikte tüm kesme hızlarında ölçülen pürüzlülük değerleri birbirlerine oldukça yakındır. Bu grafiğin en yüksek ilerleme değerinde elde edilen değerlerden oluşturulduğu dikkate alınır, literatürde [139] görüldüğü gibi yüksek ilerleme değerinde kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde fazla bir etkisinin olmadığı söylenebilir.



Şekil 7.16. Kaplamasız HSS azdırmada yüzey pürüzlülüğünün kesme boyuna bağlı olarak değişimi a)  $f=0,25$  mm/iş devri ve b)  $f=0,63$  mm/iş devri

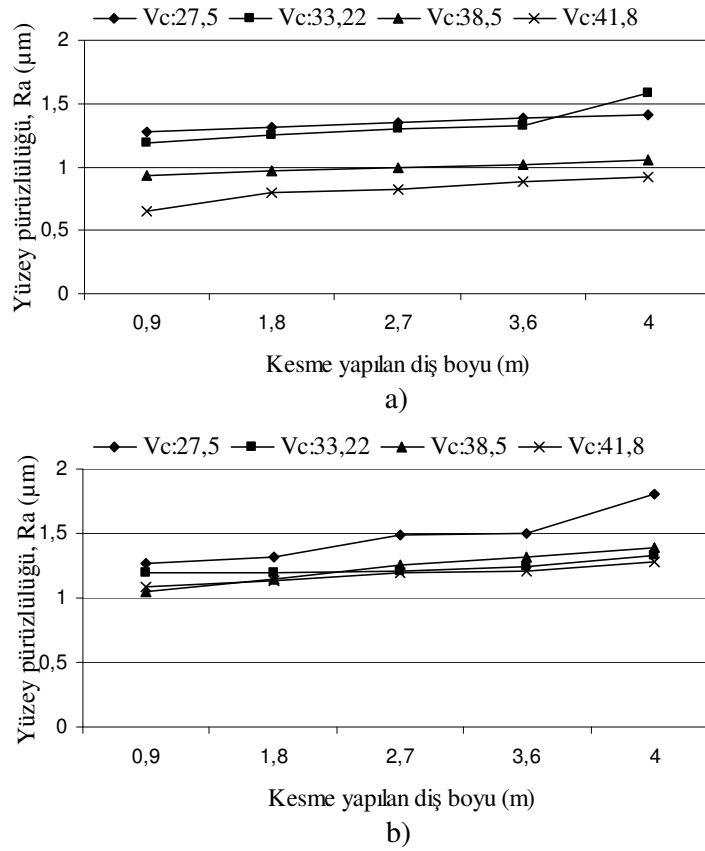
Şekil 7.17’de verilen grafiklerde TiN kaplanmış HSS azdırmada 27,5 ve 41,8 m/dak kesme hızında dört farklı ilerleme değerinde elde edilen yüzey pürüzlülükleri kesilen diş boyuna bağlı olarak verilmiştir. Kaplamasız azdırmada olduğu gibi TiN kaplamalı azdırmada da kesilen diş boyunun artmasıyla yüzey pürüzlülüğü de artmaktadır. Kesilen diş boyunun 0,9 metreden 4 metreye çıkmasıyla en fazla artış, Şekil 7.17-a’da % 50 oranında 0,63 mm/iş devri ilerlemede, Şekil 7.17-b’de ise % 49 oranında 0,25 mm/iş devri ilerleme değerinde gerçekleşmiştir. TiN kaplamalı azdırmada gerek ölçülen pürüzlülük değerleri gerekse artış oranları kaplamasız azdırmadan az çıkmıştır. Bu durum kaplamanın kesme üzerindeki (kesme kuvvetleri, takım aşınması) olumlu etkilerine atfedilebilir.



Şekil 7.17. TiN kaplanmış HSS azdırmada yüzey pürüzlülüğünün kesme boyuna bağlı olarak değişimi a) Vc=27,5 m/dak ve b) Vc=41,8 m/dak

Şekil 7.18’deki grafiklerde 0,25 ve 0,63 mm/iş devri ilerleme değerlerinde 4 farklı kesme hızında TiN kaplamalı azdırma ile kesilen diş boyu ve ölçülen yüzey

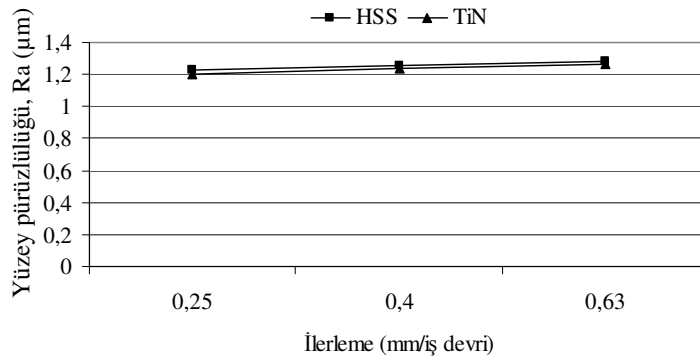
pürüzlülüğü arasındaki ilişki verilmiştir. Burada; düşük ilerleme değerinde kesme hızlarının pürüzlülük üzerindeki etkisinin yüksek ilerlemelere nazaran daha az olduğu göze çarpmaktadır. Şekil 7.18-a'da kesilen diş boyunun 0,9 m'den 4 m'ye çıkması ile yüzey pürüzlülüğünde en fazla artış % 41 oranında 41,8 m/dak kesme hızında ortaya çıkmıştır. Şekil 7.18-b'de ise en fazla artış % 42 oranında 27,5 m/dak kesme hızında görülmüştür.



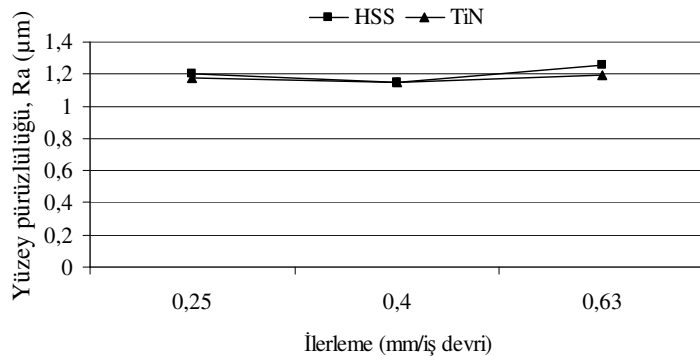
Şekil 7.18. TiN kaplanmış HSS azdırmada yüzey pürüzlülüğünün kesme boyuna bağlı olarak değişimi a)  $f=0,25$  mm/iş devri ve b)  $f=0,63$  mm/iş devri

### 7.3.2. İlk üretilen dişli çarkların yüzey pürüzlülüklerinin değerlendirilmesi

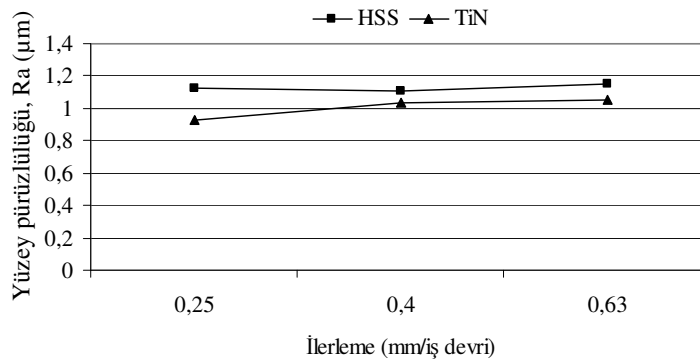
Şekil 7.19 incelendiğinde ilerleme oranının artması ile her iki azdırma çakıda da ortalama pürüzlülük değeri artmıştır. İlerlemenin artması ile ilerleme iz derinliği artacak ve buda pürüzlülüğü arttıracaktır.



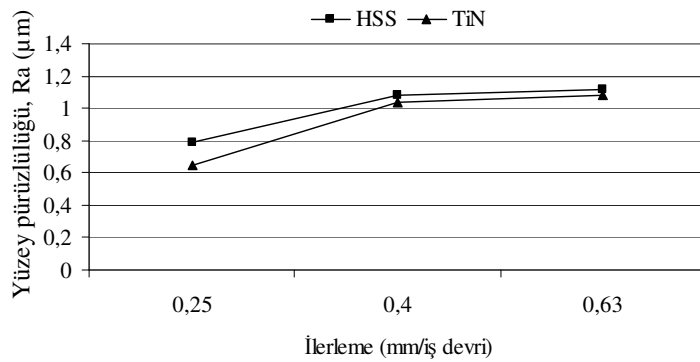
a)



b)



c)



d)

Şekil 7.19. Yüzey pürüzlülüğünün ilerlemeye bağlı olarak değişimi a)  $V_c=27,5$  m/dak, b)  $V_c=33,22$  m/dak, c)  $V_c=38,5$  m/dak ve d)  $V_c=41,8$  m/dak

Şekil 7.19'daki grafiklerde ilerlemenin 0,25'den 0,63 mm/iş devrine çıkmasıyla yüzey pürüzlülüğünde kaplamasız HSS azdırma için sırayla a: % 4, b: % 4, c: % 2 d: % 41 ve TiN kaplamalı azdırma için a: % 5, b: % 0,8, c: % 12, d: % 66 oranlarında artış ortaya çıkmıştır. Düşük kesme hızlarında pürüzlülük üzerinde kaplamasız HSS ve kaplamalı HSS arasında önemli bir farkın olmadığı görülmüştür. Kaplamasız azdırmada yüzey pürüzlülüğü; 27,5 m/dak kesme hızı için % 10 ve 33,22 m/dak kesme hızı için de % 2 oranında TiN kaplamalı azdırmadan fazla olmuştur. En yüksek kesme hızı olan 41,8 m/dak kesme hızında bu fark % 10 oranında gerçekleşmiştir. TiN kaplamalı azdırmanın sergilediği daha iyi pürüzlülük değerleri kaplamanın kesme performansını iyileştirmesine atfedilebilir.

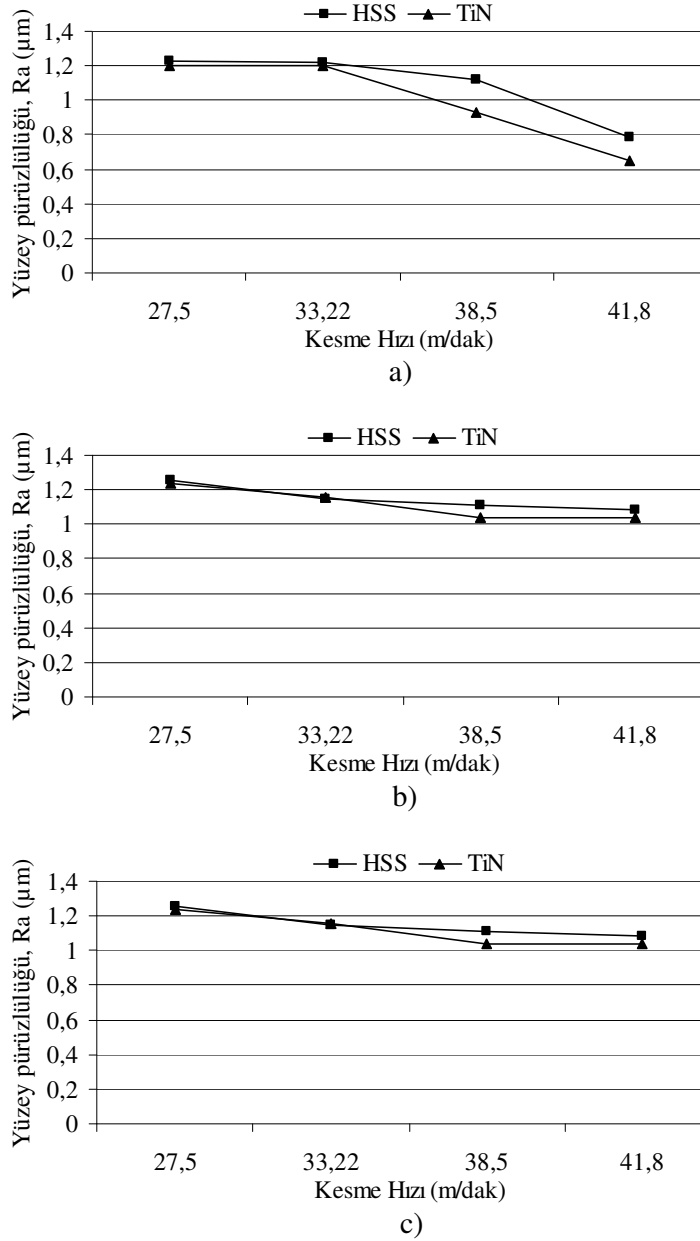
Şekil 7.20'ye bakıldığında kesme hızının artması ile her iki azdırma çakıda da ortalama pürüzlülük değeri azalmıştır. Kesme hızının artmasıyla birlikte kesme bölgesinde oluşan sıcaklık artacak ve malzemenin daha kolay deforme edilmesiyle talaşların kesme bölgesinden daha hızlı uzaklaştırılması sağlanacaktır. Bu durumda pürüzlülük değerinde bir miktar iyileşmenin olması kaçınılmazdır. Her iki azdırma çakıda da düşük ilerleme değerinde kesme hızındaki artışla birlikte pürüzlülükteki iyileşme daha fazla olmuştur. Grafiklerde kesme hızının 27,5 m/dak'dan 41,8 m/dak'ya çıkması ile ölçülen pürüzlülükte görülen azalma, kaplamasız HSS azdırma için sırayla a: % 36, b: % 24, c: % 13 ve TiN kaplamalı azdırma için a: % 46, b: % 27, c: % 14 oranlarında meydana gelmiştir.

Kaplamasız azdırmada ölçülen yüzey pürüzlülüğü; 0,25 mm/iş devri ilerleme için % 11 ve 0,4 mm/iş devri ilerleme için % 3 oranında TiN kaplamalı azdırmadan fazla olmuştur. 0,63 mm/iş devri ilerleme için bu fark % 5 oranında ortaya çıkmıştır.

Genel olarak bakıldığında; deney sonuçlarının iki boyutlu ilişki grafiklerinden, işlenen dişli çark diş yüzeylerinde kesme hızının ilerlemeden daha fazla etkisi olmuştur. Kaplamanın, özellikle de düşük kesme hızlarında çok az bir etkisi olmuştur. Şekil 7.19 ve Şekil 7.20'deki grafiklerden de anlaşıldığı gibi ilerlemenin en düşük kesme hızının en yüksek olduğu kesme şartlarında iyi bir yüzey pürüzlülüğü elde edilmesi mümkündür. 0,25 mm/iş devri ilerleme ve 38,5-41,8 m/dak kesme



hızlarında ölçülen yüzey pürüzlülüğü değeri  $1\mu\text{m}$ 'nin altına inmiştir. Bu değer dişli çark yüzeyi için orta taşlama kalitesinde bir değerdir. Bu değerlerdeki bir dişli çark çok fazla hassasiyet gerektirmeyen dişli kutularında rahatlıkla kullanılabilir.



Şekil 7.20. Yüzey pürüzlülüğünün kesme hızına bağlı olarak değişimi  
a)  $f=0,25$  mm/iş devri, b)  $f=0,4$  mm/iş devri ve c)  $f=0,63$  mm/iş devri

#### 7.4. Deney Verilerinin İstatistiksel Analizi

Yapılan deneylerde kesme kuvveti bileşenlerinin, takım aşınmasının ve yüzey pürüzlülüğünün girdi olarak kullanılan kesme hızı, ilerleme ve kesici takım kaplaması kontrol faktörlerine göre değiştiği kabul edilmiş ve bu kabule dayalı olarak varyans analizi ve çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Varyans analizi yöntemi; aslında deney sonuçlarında ortaya çıkan toplam değişimin, değişime neden olduğu varsayılan faktörlere göre ayrıştırılarak toplam varyansın içindeki paylarının belirlenmesinin esas alan bir yöntemdir. F-testi olarak da bilinen varyans analizi faktörler veya seviyelerinin birbirinden farksız olduğunu kabul eden belirli bir hipotezin kontrolünde kullanılır. Burada hesaplanan test istatistiği değerinin tablo değerinden küçük olması durumunda faktör veya seviyelerinin etkilerinin önemsiz olduğu, büyük olması durumunda ise faktör veya seviyelerinin etkilerinin önemli olduğuna karar verilir. Bu hüküm analiz için belirlenen önem düzeyine göre verilir [143]. Yüzde katkı oranı her bir faktör ve/veya etkileşimin deney sonuçlarının toplam varyasyonuna ne oranda katkı sağladığını temsil etmektedir. Katkı oranı hatalara bağlı olarak deneylerin doğruluğunun yüzdelik olarak belirlenmesini sağlar [144]. Yüzde katkı oranını hesaplanmasında kullanılan formül Eşitlik 7.1'de verilmiştir.

$$KO = \frac{KT_n - (HV.Sd_n)}{KT_T} \quad (7.1)$$

Burada;

KO : Katkı oranı (%)

$KT_n$  : n. Faktörün kareler toplamı

HV : Hata varyansı

$Sd_n$  : n. Faktörün serbestlik derecesi

$KT_T$  : Toplam kareler toplamı

Çizelge 7.6’da deney sonuçlarının istatistiksel analizlerinde kullanılan kontrol faktörleri ve seviyeleri verilmiştir. Yapılan analizler kesme kuvveti bileşenleri, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü başlıkları altında aşağıda verilmiştir. Pürüzlülük analizlerinde daha önceden de belirtildiği gibi ilerleme faktör seviyelerinden 4 numaralı seviye değerlendirme dışı bırakılmıştır.

Çizelge 7.6. Kontrol faktörleri ve seviyeleri

Sembol	Kesme parametreleri	Birimi	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
K	Kaplama	--	Kaplamasız (1)	TiN kaplamalı (2)	--	--
Vc	Kesme Hızı	m/dak	27,5	33,22	38,5	41,8
f	İlerleme	mm/iş devri	0,25	0,4	0,63	1

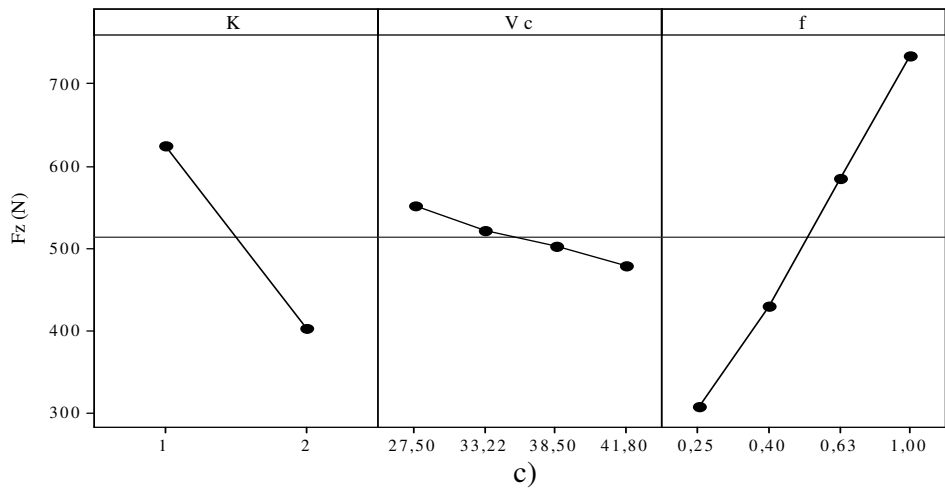
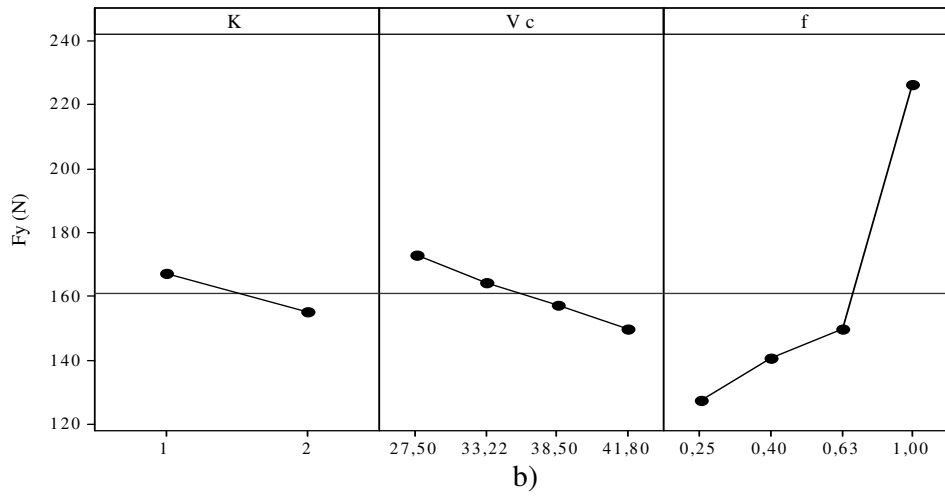
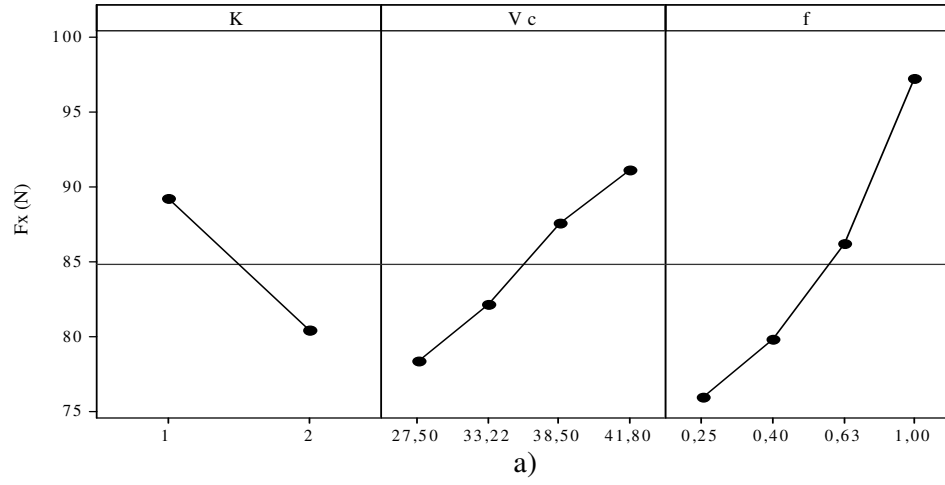
#### 7.4.1. Kesme kuvveti bileşenlerinin analizi

Çizelge 7.7’de verilen varyans analizi sonuçlarına göre Fx (teğetsel) kuvveti üzerinde % 95 önem düzeyinde % 58,15 katkı oranı ile ilerleme en etkin parametre olarak ortaya çıkmıştır. İkinci önemli faktörün de % 21,45 katkı oranı ile kesme hızının olduğu görülmektedir. Fx teğetsel kuvveti için K\*Vc, K\*f ve Vc\*f etkileşimlerinin Fy radyal kuvveti için de K\*Vc etkileşiminin anlamsız olduğu, bir başka deyişle Fx teğetsel kuvveti üzerinde bir etkisinin olmadığı görülmektedir. İlerlemenin Fy radyal kuvveti bileşeni üzerindeki etkisinin % 91,95 katkı oranı ile istatistiksel olarak oldukça büyük olduğu görülmektedir. Fz esas kesme kuvvetinin varyans analizi sonuçlarına göre % 64,92 katkı oranı ile ilerleme en etkin parametre olarak ortaya çıkmıştır. Kaplama % 31,1 katkı oranı değeri ile ikinci etkin parametre olmuştur. TiN kaplamanın kesme sırasında takım-talaş ara yüzeyinde sürtünmeyi azaltarak deformasyon bölgesinde kaymayı kolaylaştırması kesme kuvvetini azalttığından kaplamanın kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi göz ardı edilemez. Fz esas kesme kuvveti için K\*Vc etkileşimi istatistiksel olarak % 95 önem seviyesinde anlamsız çıkmıştır.

Çizelge 7.7. Kesme kuvveti bileşenleri için varyans analizi sonuçları

Faktörler	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Varyans	F-değeri	P-değeri	% KO
<b>Fx teğetsel kuvveti</b>						
K	1	618,99	618,99	182,19	0,000	17,4
Vc	3	769,39	256,46	75,49	0,000	21,45
f	3	2068,29	689,43	202,92	0,000	58,15
K*Vc	3	8,29	2,76	0,81	0,518	0,05
K*f	2	26,94	8,98	2,64	0,113	0,57
Vc*f	9	16,48	1,83	0,54	0,815	0,4
Hata	9	30,58	3,40			1,98
Toplam	31	3538,97				100
<b>Fy radyal kuvveti</b>						
K	1	1173,5	1173,5	237,09	0,000	2,28
Vc	3	2383,2	794,4	160,51	0,000	4,61
f	3	47226,3	15742,1	3180,65	0,000	91,95
K*Vc	3	29,9	10,0	2,01	0,183	0,03
K*f	2	138,3	46,1	9,31	0,004	0,25
Vc*f	9	349,1	38,8	7,84	0,003	0,59
Hata	9	44,5	4,9			0,29
Toplam	31	51344,8				100
<b>Fz esas kesme kuvveti</b>						
K	1	393833	393833	1389,74	0,000	31,10
Vc	3	22554	7518	26,53	0,000	1,71
f	3	822189	274063	967,10	0,000	64,92
K*Vc	3	800	267	0,94	0,461	0,004
K*f	2	14353	4784	16,88	0,000	1,09
Vc*f	9	8828	981	3,46	0,039	0,49
Hata	9	2550	283			0,686
Toplam	31	1265107				100

Şekil 7.21’de ana faktör seviyelerinin kesme kuvveti bileşenleri üzerindeki etkileri verilmiştir. Burada her bir seviyede elde edilen ortalama kuvvet değerleri verilmiştir. Buna göre; Fx: 84,82 N, Fy: 161,25 N ve Fz: 514,365 N ortalama kuvvet değerlerine sahiptirler. Kesme hızındaki değişim her ne kadar Fx teğetsel kuvvetini etkiliyor gibi görünse de genel itibari ile her üç kuvvet bileşeninin üzerinde de önemli bir etkisi görülmemektedir. Kaplama parametresinin Fz esas kesme kuvveti üzerinde meydana getirdiği değişim diğerlerine göre daha fazladır. Bu farkın nedeni olarak; TiN kaplama ile talaş yüzeyinde takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünmenin azalması gösterilebilir [142]. Fz esas kesme kuvvetinin kesme kuvveti bileşenlerinin en büyüğü olması nedeniyle Fz esas kesme kuvvetinin ilerleme faktör seviyelerinde ki değişimlere daha duyarlı olduğu söylenebilir.



Şekil 7.21. Azdırma işleminde kesme parametrelerinin kesme kuvveti bileşenleri üzerindeki etkileri

Yapılan regresyon analizi sonucu, istatistiksel model sabiti ve değişkenlerin katsayı tablosu Çizelge 7.8’de verildiği gibi oluşmuştur. Parametre etkileri incelendiğinde değişkenlerden en büyük etkiye ilerlemenin (f) sahip olduğu ve kaplamanın Fx teğetsel kuvvetine ters etki ettiği görülmüştür. Analiz sonucunda geliştirilen istatistiksel modelin belirlilik katsayısının  $R^2 = 0,97$  olarak bulunması, modelin uygunluğunun yüksek olduğunu göstermektedir. Başka bir deyişle, bağımsız değişkenler olan kesme hızı, ilerleme ve kaplamanın Fx kuvveti üzerindeki etkisi % 97’dir. Analiz sonucu geliştirilen model Eş. 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7.8. Fx teğetsel kuvveti için model sabitleri ve değişkenlerin katsayı tablosu

<b>Faktörler</b>	<b>Katsayı</b>	<b>SE Katsayı</b>	<b>T</b>	<b>P</b>
<b>Fx kuvvet bileşeni</b>				
Sabit	50,116	2,413	20,77	0,000
K	-8,796	0,643	-13,68	0,000
Vc	0,899	0,059	15,16	0,000
f	28,422	1,137	24,99	0,000

$$F_x = 50,1 - 8,80 K + 0,899 V_c + 28,4 f \quad (7.2)$$

Çizelge 7.9. Fx teğetsel kuvvet modeli için varyans analizi tablosu

<b>Kaynak</b>	<b>SD</b>	<b>KT</b>	<b>KO</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Model	3	3446,3	1148,8	347,23	0,000
Artık (Hata)	28	92,6	3,3		
Toplam	31	3539,0			

Geliştirilen istatistiksel modelinin uygunluğu varyans analizi kullanılarak kontrol edilmiş (Çizelge 7.9) ve modelin P değerine bağlı olarak %95 güven düzeyinde uygun olduğu görülmüştür (F = 347,23 ve P < 0,05). Çizelge 7.10’da Fy radyal kuvveti için yapılan regresyon analizinin sonucunda elde edilen istatistiksel model sabiti ve değişkenlerin katsayı tablosu verilmiştir. Parametre etkileri incelendiğinde Fy radyal kuvveti için de değişkenlerden en büyük etkiye ilerlemenin (f) yaptığı görülmüştür. Kaplamanın ve kesme hızının Fy radyal kuvvetine ters etki ettiği görülmüştür. Analizi sonucunda geliştirilen istatistiksel modelin belirlilik katsayısı

$R^2 = 0,90$  olarak bulunmuştur. Bağımsız değişkenler olan kesme hızı, ilerleme ve kaplamanın Fy radyal kuvveti üzerindeki etkisi % 90 düzeyinde ortaya çıkmıştır. Analiz sonucu Fy kuvveti için geliştirilen model Eş. 7.3’de verilmiştir.

Çizelge 7.10. Fy radyal kuvvet için model sabitleri ve değişkenlerin katsayı tablosu

<b>Faktörler</b>	<b>Katsayı</b>	<b>SE Katsayı</b>	<b>T</b>	<b>P</b>
<b>Fy kuvvet bileşeni</b>				
Sabit	161,14	17,18	9,38	0,000
K	-12,111	4,579	-2,64	0,013
Vc	-1,584	0,422	-3,75	0,001
f	129,814	8,097	16,03	0,000

$$F_y = 161 - 12,1 K - 1,58 V_c + 130 f \quad (7.3)$$

Fy radyal kuvveti istatistiksel modelinin uygunluğu varyans analizi kullanılarak test edilmiş (Çizelge 7.11) ve modelin P değerine bağlı olarak %95 güven düzeyinde uygun olduğu görülmüştür (F = 92,69 ve P < 0,05).

Çizelge 7.11. Fy radyal kuvvet modeli için varyans analizi tablosu

<b>Kaynak</b>	<b>SD</b>	<b>KT</b>	<b>KO</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Model	3	46648	15549	92,69	0,000
Artık (Hata)	28	4697	168		
Toplam	31	51345			

Fz esas kesme kuvveti için yapılan regresyon analizi sonucu, istatistiksel model sabiti ve değişkenlerin katsayı tablosu Çizelge 7.12’de verildiği gibi oluşmuştur. Faktörlerin etkileri incelendiğinde diğer kuvvet bileşenlerinde olduğu gibi değişkenlerden en büyük etkiye ilerlemenin sahip olduğu görülmüştür. Fz kuvvetine kaplamanın ve kesme hızının ters etki ettiği görülmüştür. Analizi sonucunda geliştirilen istatistiksel modelin belirlilik katsayısı  $R^2 = 0,96$  olmuştur. Fz esas kesme kuvveti kuvveti üzerinde bağımsız değişkenler olan kesme hızı, ilerleme ve

kaplamanın etkisi % 97'dir. Analiz sonucu geliştirilen istatistiksel model Eş. 7.4'de verilmiştir.

Çizelge 7.12. Fz esas kesme kuvveti için model sabitleri ve değişkenlerin katsayı tablosu

Faktörler	Katsayı	SE Katsayı	T	P
<b>Fz kuvvet bileşeni</b>				
Sabit	699,73	55,08	12,70	0,000
K	-221,88	14,68	-15,12	0,000
Vc	-4,86	1,35	-3,59	0,001
f	559,45	25,96	21,55	0,000

$$Fz = 700 - 222 K - 4,86 Vc + 559 f \quad (7.4)$$

Çizelge 7.13. Fz esas kesme kuvveti modeli için varyans analizi tablosu

Kaynak	SD	KT	KO	F	P
Model	3	1216841	405614	235,30	0,000
Artık (Hata)	28	48266	1724		
Toplam	31	1265107			

Fz esas kesme kuvveti istatistiksel modelinin güvenilirliği varyans analizi kullanılarak kontrol edilmiş (Çizelge 7.13) ve istatistiksel modelin P değerine bağlı olarak %95 güven düzeyinde uygun olduğu görülmüştür (F = 235,30 ve P < 0,05).

#### 7.4.2. Takım aşınmasının analizi

Çizelge 7.14'de verilen varyans analizi sonuçlarına göre takım aşınması üzerinde % 95 güven düzeyinde % 47,15 katkı oranı ile kaplamanın en etkin parametre olduğu görülmektedir. TiN kaplanmış azdırmanın kaplamasız olana nazaran abrasiv aşınmaya karşı daha yüksek aşınma direnci ve takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünmenin ve oluşan ısının daha az olması aşınmanın daha az olmasının sağlamaktadır [142]. İkinci önemli faktörün de % 35,71 katkı oranı ile ilerlemenin olduğu ortaya çıkmıştır. Takım aşınması için Vc\*f etkileşiminin % 95 güven



düzeyinde önemsiz olduğu ( $P > 0,05$  olduğundan), bir başka deyişle takım aşınması üzerinde bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

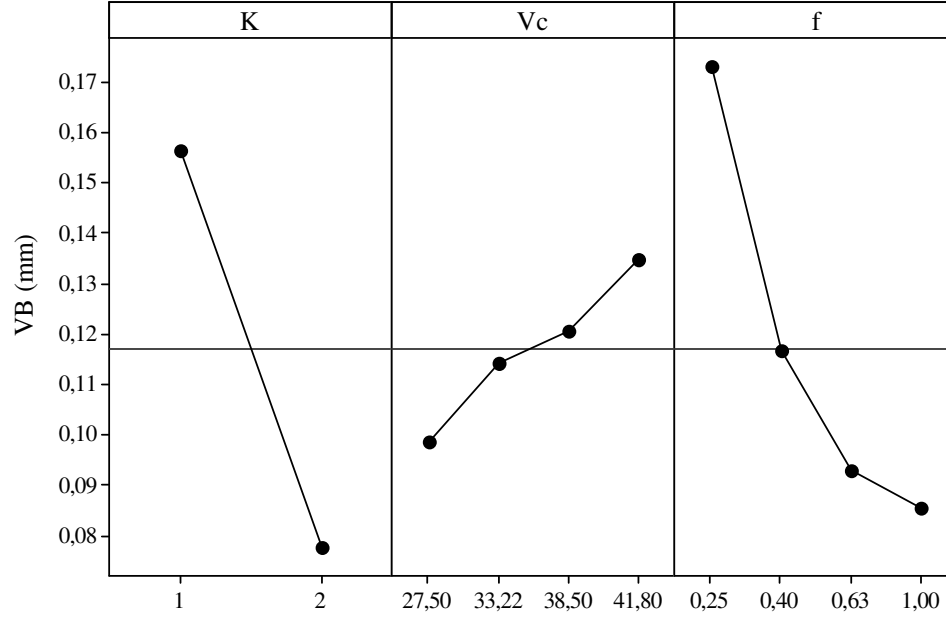
Çizelge 7.14. Takım aşınması için varyans analizi sonuçları

Faktörler	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Varyans	F-değeri	P-değeri	% KO
K	1	0,0496125	0,0496125	1742,49	0,000	47,15
Vc	3	0,0054156	0,0018052	63,40	0,000	5,07
f	3	0,0376344	0,0125448	440,60	0,000	35,71
K*Vc	3	0,0009063	0,0003021	10,61	0,003	0,78
K*f	2	0,0105750	0,0035250	123,80	0,000	10,003
Vc*f	9	0,0007469	0,0000830	2,91	0,063	0,47
Hata	9	0,0002562	0,0000285			0,817
Toplam	31	0,1051469				100

Şekil 7.22’de ana faktör seviyelerinin kesme deneyleri sonunda ortaya çıkan takım aşınması üzerindeki etkileri verilmiştir. Burada her bir seviyede elde edilen ortalama yanak aşınması değerleri verilmiştir. Buna göre; takım aşınması için ortalama yanak aşınması değeri 0,11719 mm değerinde gerçekleşmiştir. Kesme hızındaki değişimin beklenenin aksine takım aşınmasını diğer faktörlere göre çok daha az etkilediği görülmektedir. Kaplama ve ilerlemenin takım aşınması üzerinde meydana getirdiği değişimin birbirlerine yakın olduğu ortaya çıkmıştır. Ancak en yüksek değerler ilerleme faktörünün 1. seviyesi olan 0,25 mm/iş devri ilerlemede elde edildiği görülmüştür. Bu durum; düşük ilerleme değerlerinde kesme giriş bölgesinde kesmeye katılan azdırma diş sayısını artması ve buna bağlı olarak birim zamanda temas eden kesici diş sayısı artacağından sürtünmeye bağlı olarak ısı artışı ve aşınma mekanizmalarının etkisinde bir hızlanma olmasına [64] atfedilebilir.

Takım aşınması için yapılan regresyon analizi sonucu, istatistiksel model sabiti ve değişkenlerin katsayı tablosu Çizelge 7.15’de verildiği gibi oluşmuştur. Parametre etkileri incelendiğinde değişkenlerden en büyük etkiye İlerlemenin (f) negatif olarak sahip olduğu görülmüştür. Negatif olmasının nedeni artan ilerlemeye karşın aşınma azalmasıdır. Kaplamanın (K) etkisi de negatif olmuştur. Çünkü kaplama kullanımının takım aşınmasını azaltmaktadır. Analizi sonucunda geliştirilen istatistiksel modelin belirlilik katsayısı  $R^2 = 0,78$  olarak bulunmuştur. Başka bir deyişle, bağımsız

değişkenler olan kesme hızı, ilerleme ve kaplamanın takım aşınması üzerindeki etkisi % 78'dir. Analiz sonucu geliştirilen model Eş. 7.5'de verilmiştir.



Şekil 7.22. Azdırma işleminde kesme parametrelerinin takım aşınması üzerindeki etkileri

Çizelge 7.15. Takım aşınması için model sabitleri ve değişkenlerin katsayı tablosu

Faktörler	Katsayı	SE Katsayı	T	P
Sabit	0,21105	0,038290	5,51	0,000
K	-0,07875	0,010200	-7,72	0,000
Vc	0,00235	0,000941	2,50	0,019
f	-0,10276	0,018040	-5,70	0,000

$$V_B = 0,211 - 0,0788 K + 0,00235 V_c - 0,103 f \quad (7.5)$$

Çizelge 7.16. Takım aşınması modeli için varyans analizi tablosu

Kaynak	SD	KT	KO	F	P
Model	3	0,081825	0,027275	32,75	0,000
Artık (Hata)	28	0,023322	0,000833		
Toplam	31	0,105147			

Geliştirilen istatistiksel modelinin uygunluğu varyans analizi kullanılarak kontrol edilmiş (Çizelge 7.16) ve modelin P değerine bağlı olarak %95 güven düzeyinde uygun olduğu görülmüştür ( $F = 32,75$  ve  $P < 0,05$ ).

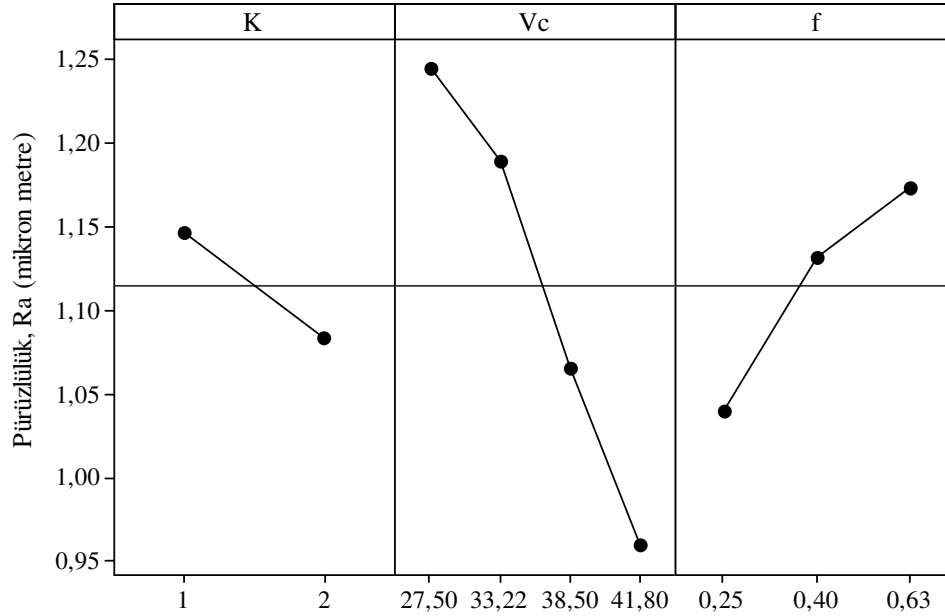
### 7.4.3. Yüzey pürüzlülüğünün analizi

Çizelge 7.17’de verilen varyans analizi sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü üzerinde % 95 güven düzeyinde kesme hızının % 56,21 katkı oranı ile en etkin parametre olduğu görülmektedir.  $V_c*f$  etkileşimi de % 21,8 katkı oranı ile pürüzlülük üzerinde etkili olmuştur. Yüzey pürüzlülüğü için  $K*f$  etkileşiminin % 95 güven düzeyinde önemsiz olduğu ( $P > 0,05$  olduğundan), bir başka deyişle yüzey pürüzlülüğü üzerinde bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Şekil 7.23’de ana faktör seviyelerinin kesme deneyleri sonunda iş parçasında ölçülen yüzey pürüzlülükleri üzerindeki etkileri verilmiştir. Burada her bir seviyede elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmiştir. Buna göre; ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri  $1,115 \mu m$  değerinde gerçekleşmiştir. Kaplama seviyelerindeki değişimin yüzey pürüzlülüğünü diğer faktörlere göre çok daha az etkilediği görülmektedir. İlerleme seviyelerindeki değişimin ortaya çıkardığı farklar kaplamaya nispeten biraz fazla olmuştur. Yüzey pürüzlülüğü kesme hızı faktör seviyelerindeki değişime karşı daha fazla duyarlı olmuştur.

Çizelge 7.17. Yüzey pürüzlülüğü için varyans analizi sonuçları

Faktörler	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Varyans	F-değeri	P-değeri	% KO
K	1	0,023375	0,023375	41,85	0,001	4,35
$V_c$	3	0,294424	0,098141	175,73	0,000	56,21
f	2	0,074356	0,037178	66,57	0,000	14,2
$K*V_c$	3	0,009461	0,003154	5,65	0,035	1,8
$K*f$	2	0,004755	0,002378	4,26	0,071	0,9
$V_c*f$	6	0,114024	0,019004	34,03	0,000	21,8
Hata	6	0,003351	0,000558			0,74
Toplam	23	0,523747				100



Şekil 7.23. Azdırma işlemede kesme parametrelerinin pürüzlülük üzerindeki etkileri

Yapılan regresyon analizi sonucu, istatistiksel model sabiti ve değişkenlerin katsayı tablosu Çizelge 7.18'de verildiği gibi oluşmuştur. Analizi sonucunda geliştirilen istatistiksel modelin belirlilik katsayısı  $R^2 = 0,71$  olarak bulunmuştur. Başka bir ifadeyle, bağımsız değişkenler olan kesme hızı, ilerleme ve kaplamanın takım aşınması üzerindeki etkisi % 71'dir. Analiz sonucu geliştirilen model Eş. 7.6'da verilmiştir.

Çizelge 7.18. Yüzey pürüzlülüğü için model sabitleri ve değişkenlerin katsayı tablosu

Faktörler	Katsayı	SE Katsayı	T	P
Sabit	1,7653	0,1391	12,69	0,000
K	-0,0625	0,03600	-1,73	0,098
Vc	-0,0198	0,003319	-5,99	0,000
f	0,3365	0,1152	2,92	0,008

$$Ra = 1,77 - 0,0624 K - 0,0199 Vc + 0,336 f \quad (7.6)$$

Yüzey pürüzlülüğü için geliştirilen istatistiksel modelinin uygunluğu varyans analizi kullanılarak test edilmiş (Çizelge 7.19) ve modelin P değerine bağlı olarak % 95 güven düzeyinde uygun olduğu görülmüştür ( $F = 15,79$  ve  $P < 0,05$ ).

Çizelge 7.19. Yüzey pürüzlülüğü modeli için varyans analizi tablosu

<b>Kaynak</b>	<b>SD</b>	<b>KT</b>	<b>KO</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Model	3	0,36826	0,12275	15,79	0,000
Artık (Hata)	20	0,15549	0,00777		
Toplam	23	0,52375			

## 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

- Yapılan bu çalışma kapsamında, azdırma yöntemi ile dişli çark açma işlemi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin ölçülmesi, oluşan takım aşınmalarının tiplerinin ve etkin aşınma mekanizmalarının tespiti ve yüzey pürüzlülüklerinin belirlenmesi gerçekleştirilmiştir.
- Kesme kuvvetlerinin ölçülebilmesi için gerçek kesme şartlarında oluşabilecek durumlar dikkate alınarak bir deney seti tasarlanmış, imal edilmiş ve yapılan kesme deneyi ile kesme kuvvetlerinin ölçülebildiği ortaya konmuştur. Sistemde, kuvvet ölçümü için KISTLER 9272A 4 bileşenli ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ,  $M_z$ ) dinamometre kullanılmıştır.
- Deney sonuçlarına göre kesme kuvvetlerinin, kesme hızından daha çok ilerleme değerinden etkilendiği ortaya çıkmıştır. Kesme hızındaki artışa bağlı olarak  $F_y$  radyal kuvvet ve  $F_z$  esas kesme kuvveti değerlerinin azaldığı,  $F_x$  teğetsel kuvvet değerinin ise bir miktar arttığı görülmektedir. Bunun nedeninin kesme hızının artması ile bu noktada iş parçasının daha hızlı dönmesi ve “x” yönündeki birim zamandaki temas sayısının bir miktar artışı ile ilgili olduğu düşünülmektedir.
- $F_z$  esas kesme kuvvetinin kesme parametrelerindeki değişimlere karşı daha duyarlı olduğu görülmüştür.
- Kaplamalı azdırma ile yapılan deneylerde kesme kuvvetleri kaplamasız olanlara nazaran % 59 oranında daha az çıkmıştır.
- Takım ömrüne yönelik sabit talaş hacminde ölçülen yanak aşınmaları değerlendirilmiştir. Yanak aşınması, deneylerde kullanılan tüm azdırmalarda en fazla görülen aşınma tipi olarak göze çarpmaktadır. Kesme hızının 27,5 m/dak’dan 41,8 m/dak’ya artması ile yanak aşınmasında kaplamasız HSS

azdırma için % 43 ve TiN kaplamalı HSS azdırma için % 42 oranında bir artış görülmüştür.

- İlerlemenin 0,25 mm/iş devrinden 1 mm/iş devrine artırılması ile yanak aşınmasında kaplamasız HSS azdırma için % 54 ve TiN kaplamalı HSS azdırma için % 42 oranında bir azalma görülmüştür. En fazla yanak aşınması kesme hızının en yüksek ilerlemenin en düşük olduğu değerde 0,28 mm olarak ölçülmüştür.
- Deney sonuçlarına göre kaplamsız azdırmalarda elde edilen yanak aşınması değerleri TiN kaplanmış HSS azdırmalarda ölçülen değerlerden ortalama olarak % 96 oranında fazla çıkmıştır.
- Azdırmanın kesme kabiliyetinin bozulmasına neden olan etkin aşınma mekanizmasının birkaç mekanizmanın birleşimi şeklinde ortaya çıktığı görülmüştür. Bunlar; malzeme yapışması (adhesiv), difüzyon, kesikli kesmeden kaynaklanan termal ve/veya mekanik yorulmalar ve düşük oranda abrasiv aşınma mekanizmalarıdır. TiN kaplamalı HSS azdırmalarda malzeme yapışmasının daha az olduğu görülmüştür. Dolayısıyla yapışmanın az olması diğer mekanizmaların takım üzerindeki etkisini de azaltmıştır.
- Kesme hızının yükselmesi ile kesicinin birim zamandaki kesme sayısı arttığından mekanik ve/veya termal yorulmaların takım üzerindeki etkisi artmış ve mikro-çatlakların sayısında ve boyutunda artışlar gözlenmiştir.
- Yüksek kesme hızında ilerlemenin artması ile difüzyon aşınma mekanizmasının kesici takım üzerinde oluşturduğu etkinin arttığı görülmüştür.
- Kuru kesme şartlarında TiN kaplanmış azdırmaların aşınma yönünden daha iyi performans sağlayacağı söylenebilir. Ayrıca kesme hızının ortalama bir değerde (33,22 m/dak) ve ilerlemenin de mümkün olduğunca (pürüzlülük ve kuvvet gibi

diğer üretim beklentileri de dikkate alınarak) yüksek alınması azdırmanın bilemeden önce daha uzun süre kullanımını sağlayabilir.

- Yüzey pürüzlülüğünün deneylerde kullanılan kesme parametreleri ile olan ilişkileri de ortaya konmuştur. Pürüzlülük kesme hızındaki değişimlere karşı daha duyarlı olmuştur.
- En iyi ortalama pürüzlülük değeri kesme hızının en fazla ilerlemenin en düşük olduğu durumda ölçülmüştür. Ancak bu kesme şartlarında aşınma değerlerinin de fazla olmasına da dikkat edilmelidir. İlerlemenin en düşük kesme hızının en yüksek olduğu kesme şartlarında iyi bir yüzey pürüzlülüğü elde edilmesi mümkündür. 0,25 mm/iş devri ilerleme ve 38,5-41,8 m/dak kesme hızlarında ölçülen yüzey pürüzlülüğü değeri 1µm'nin altına inmiştir. Bu değer dişli çark yüzeyi için orta taşlama kalitesinde bir değerdir. Bu değerlerdeki bir dişli çark çok fazla hassasiyet gerektirmeyen dişli kutularında rahatlıkla kullanılabilir.
- Yapılan kesme deneyleri sonuçlarına göre kaplamanın yüzey pürüzlülüğü üzerinde fazla bir etkisinin olmadığı görülmüştür
- Elde edilen kesme kuvvetleri değerlerinin istatistiksel analiz sonuçlarına göre (ANOVA); ilerleme Fx için % 58,15 Fy için % 91,95 ve Fz için % 64,92 katkı oranları ile en etkin parametre olmuştur. Kaplama % 31,1 katkı oranı ile Fz esas kesme kuvveti üzerinde etkili olmaktadır.
- Ölçülen yanak aşınması değerlerinin ANOVA sonuçlarına göre; % 47,15 katkı oranı ile kaplama önemli etkiye sahiptir. % 35,71 katkı oranı ile ilerlemenin etkisinin de oldukça etkili olduğu görülmüştür.
- Kesme deneyleri sonucunda işlenen dişli çark diş yüzeylerinde elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin istatistiksel analiz (ANOVA) sonuçlarına göre; kesme hızı % 56,21 katkı oranı ile en etkin parametre olmuştur. Kesme hızı ve ilerleme



birlikte ( $V_c \cdot f$  etkileşimi) yüzey pürüzlülüğünü % 21,8 katkı oranında etkilemektedir.

- Bu sonuçlara bağlı olarak kesme parametrelerinin belirlenmesinde dikkat edilecek nokta; azdırma işleminin sonucunda beklenenin azdırma çakının daha az aşınmasının mı, işlenen dişli çarkın diş yüzeylerinde elde edilecek pürüzlülük değerinin mi? olduğuna tam karar vermektir.
- Bu çalışma ile gerçekleştirilen önemli bir husus ise; değerlendirmesi her ne kadar zor olsa da deneysel çalışmanın gerçek kesme şartlarında yapılmasıdır. Elde edilen sonuçlar, azdırma işlemini gerçek doğasının anlaşılmasında ve azdırma çakı ile ürün arasındaki ilişkinin değerlendirilmesinde önemli katkılar sağlamıştır.
- Kesme parametrelerinin daha geniş yelpazede seçilebilmesine imkan veren bilgisayar kontrollü azdırma freze tezgahlarında benzer kesme deneylerinin yapılması ile her geçen gün yaygınlaşan CNC azdırma freze tezgahlarına yönelik sonuçlar elde edilebilir.
- Dişli çark imalat sektöründe yaygın kullanılan farklı malzeme türleri için yapılacak deneysel çalışmalar ile geniş bir kesme şartları atlası oluşturulabilir.
- Hassas kesme azdırmalar kullanılarak yapılacak kesme deneyleri ile daha iyi yüzey pürüzlülüğü için kesme parametreleri araştırılabilir.
- Değişik kesme sıvıları kullanılarak kesme parametrelerinin, takım aşınmasının ve yüzey pürüzlülüğünün birbirleri ile olan ilişkileri araştırılabilir.
- Deneysel sonuçlardan elde edilen verilerin çeşitli eniyileme yöntemleri kullanılarak ideal kesme şartlarının belirlenmesi sağlanabilir.

- Kesme sonrasında dişli çark diş yüzeylerinde meydana gelen artık gerilmeler araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

1. Koenig W., Klocke F., “Fertigungsverfahren- Drehen, Fraesen, Bohren”, *Springer-Verlag*, Berlin, Heidelberg, 25-35, (1997).
2. Schlarb G., “New innovations and applications of hobs”, *SME Technical Paper*, MR99-268 (1999).
3. İpekçioğlu N., “Frezecilik”, *Milli Eğitim Basımevi*, 473-508, (1984).
4. Law, I., “Gears & Gear Cutting”, *Trans-Atlantic Publications, Inc.*, A.B.D., 10-97, (1987).
5. Bouzakis K.D., Kombogiannis S., Antoniadis A., Vidakis N., “Gear hobbing cutting process simulation and tool wear prediction models”, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 124: 42-51 (2002).
6. Sulzer G., “Leistungssteigerung bei der Zylinderradherstellung durch genaue Erfassung der Zerspänkinematik,” Dissertation, *TH Aachen*, 18-28, (1974).
7. Bouzakis K. D. and Antoniadis A., “Optimizing Tool Shift in Gear Hobbing” *CIRP Ann.*, 44 (1995).
8. Suzuki T., Ariura Y. Umezaki Y., “Basic study on cutting forces in gear cutting (theory of cutting with 2continuous symmetrical cutting edges)” *JSME International Journal Series C-Dynamics Control Robotics Design and Manufacturing*, 36 (4): 543-548 (1993).
9. Antoniadis A., Vidakis N., Bilalis N., “Fatigue fracture investigation of cemented carbide tools in gear hobbing, part 1 : FEM modelling of fly hobbing and computational interpretation of experimental results”, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 124: 784-791 (2002).
10. Antoniadis A., Vidakis N., Bilalis N., “Fatigue fracture investigation of cemented carbide tools in gear hobbing, part 2 : the effect of cutting parameters on the level of tool stresses- a quantitative parametric analysis”, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 124: 792-798 (2002).
11. FETTE, “Gear cutting tools, hobbing gear milling”, (2005).
12. Günay, M., Korkut, İ., Aslan, E., Şeker, U., “Experimental investigation of the effect of cutting tool rake angle on main cutting force”, *Journal of Materials Processing Technology*, 44–49, (2005).
13. Cook N. H., Loewen E. G. and Shaw M. C., “Machine-tool dynamometers”, *American Machinist*, A.B.D. 225-237, (1954).

14. Karabay M. ve Karabay S., “Takım tezgahları için dinamometre tasarımı”, 2. *Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi*, Ankara, 209-216 (1986).
15. Otmanbölük N., Ay İ. ve Aksoy Z., “Tornalamada kesme kuvvetlerinin ölçümü için ortogonal-ring dinamometresi tasarımı”, *Malzeme ve İmalat Sempozyumu*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Denizli, 45-52, (1987).
16. Fu H. J., Devor R. E., Kapoor S. G., “A mechanistic for the prediction of the force system in face milling operations”, *Journal of Engineering for Industry*, 106/8, 582-591, (1984).
17. King B., Focshi R., O., “Crossed-ring dynamometer for direct force resolution into three orthogonal components”, *Int. J. Tool Des. Res.*, 9: 345-356 (1969).
18. Jin W. L., Venuviod P. K., Wang, X., “Optical fibre sensor based cutting force measuring device”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 35 (6): 877-883 (1995).
19. Kline W. A., Devor R. E., “ The Effect of Runout on Cutting Geometry and Forces in End Milling”, *International Journal of Machine Tool Design Research*, 23: 123-140 (1982).
20. Olgaç N., Guttermuth J. R., “A simplified identification method for autoregressive models of cutting force dynamics”, *Journal of Engineering for Industry*, 110: 288-296 (1988).
21. Özfiliz C., “Strain gage tipi freze tezgahı dinamometresinin tasarımı”, Y. Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-3, Konya (1988).
22. Dönertaş M. A., “Freze tezgahında gerinim ölçme esaslı, bilgisayar bağlantılı dinamometrenin tasarımı ve imalatı”. Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-3, (1999).
23. Kim T. Y., Kim J., “Adaptive cutting force control for a machining center by using indirect cutting force measurement”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 36 (8): 925-937 (1996).
24. Nolzen H., Iserman R., “Fast adaptive cutting force control for milling operation”, *IEEE Conference on Applications-Proceedings*, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 760-765 (1995).
25. Heikkala J., “Determining of cutting force components in face milling”, *Journal of Materials Processing Technology*, 52: No.1, 1-8 (1995).

26. Cheng P. J., Tsay, J. T. and LIN, S. C., “A study on instantaneous cutting force coefficients in face milling”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 37(10): 1393-1408 (1997).
27. Gülmez S., Gürler M., Boztoprak Y., “ZF-7B Bor alaşımlı çelik malzemenin düzlem yüzey frezelenmesinde kesme parametrelerinin işlenebilirliğine etkisi”, *3.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Ankara, 292-307 (2003).
28. Ay M., Eldoğan O., Kurt M., “CNC freze tezgahlarında yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörlerin belirlenmesi”, *3.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Ankara, 317-329 (2003).
29. Qraby S. E., Hayhurst D. R., “High-capacity compact-three component cutting force dynamometer”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 30(4): 549-559 (1990).
30. Sukvittayawong S., and Inasaki I., “Optimization of turning process by cutting force dynamometer”, *JSME International Journal Series III*, 34: 346-363 (1991).
31. Korkut İ., “Tornalama esnasında oluşan kuvvetlerin, gerilmelerin bilgisayar yardımıyla ölçülebilmesi amacıyla gerinim ölçer esasına dayalı bir dinamometre tasarımı ve imalatı”. Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-3, (1996).
32. Yardımoğlu B., Boyar L., “Talaşlı imalatta takıma gelen kuvvetlerin deneysel incelenmesi”, *5. Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, ODTÜ*, Ankara, 1-5 (1992).
33. Rahman M., Tsutsumi M., “Effect on spindle speed on clamping force in turning”, *Journal of Materials Processing Technology*, 38: 407-416 (1993).
34. Youn J. W., Yang M. Y., Park H. Y., “Detection of cutting tool fracture by dual signal measurements”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 34 (4): 507-525 (1994).
35. Hamid A. A., Ali Y., “Experimental determination of dynamic forces during transient orthogonal cutting”, *Journal of Material Processing Technology*, 55 (3-4): 162-170 (1995).
36. Mistikoğlu S., Göncel O. T., “Torna tezgahlarında ilerleme hızı ve talaş derinliğine bağlı kuvvet değişimlerinin simülasyonu”, *Endüstriyel Otomasyon Teknolojileri Sempozyumu Bildiri Kitabı*, İstanbul, 78-87 (1995).

37. Dai X., Gautschi G. H., "Next generation of cutting force dynamometers", *International symposium on test and measurement*, International Academic Publishers, Beijing, China, 615-616 (1997).
38. Ippolito, R., Michelett G. F., Vilenchich R., "Experimental analysis of the correlation between cutting forces variation with time and cutting data", *Politecnico di Torino, Istituto di Tecnologia Meccanica*, Torino, Italy, 8-15, (1992).
39. Biçer H. İ., "Tornada kesme kuvvetlerini ölçen strain gage'li bir dinamometre tasarımı ve yapımı", Y. Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-2, (1993).
40. Santochi M., Dini G., Tantussi G., Beghini M., "Sensor integrated tool for cutting force monitoring", *Cirp Annals Manufacturing Technology*, 46 (1): 49-52 (1997).
41. Özçatalbaş Y., Ercan F., "İki bileşenli gerinim ölçerli torna dinamometresi tasarımı, imalatı ve bilgisayara entegrasyonu", *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 12 (1): 1-12 (1997).
42. Strafford K. N., Audy J., "Indirect monitoring of machinability in carbon steels by measurement of cutting forces", *Journal of Material Processing Technology*, 67 (1-3): 150-156 (1997).
43. Grum J., Kisin M., "Influence of microstructure on surface integrity in turning - part II: the influence of a microstructure of the workpiece material on cutting forces" *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 43 (15): 1545-1551 (2003).
44. Duran A., "Strain gauge esasına dayalı üç boyutlu torna dinamometresinin imali, kuvvetlerin ölçülmesi ve HSS torna kaleminde meydana gelen sehimin sonlu elemanlar yöntemi ile analizi", *Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fak. Dergisi TEKNOLOJİ*, 3(1): 141-157 (2000).
45. Günay M., "Talaş kaldırma işlemlerinde kesici takım talaş açısının kesme kuvvetlerine etkisinin deneysel olarak incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-49 (2003).
46. Kurt A., Şeker U., Çiftçi İ., "Doğrusal hareketle talaş kaldırmada oluşan kesme kuvvetlerinin ölçülebilmesi için 3 boyutlu bir dinamometre tasarımı ve imalatı", *II. Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Sempozyumu*, Manisa, 656-667 (2001).
47. Demir H., "Düzlem taşlamada taşlama parametrelerinin taşlama kuvvetlerine ve yüzey kalitesine etkilerinin incelenmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-138 (2003).

48. Sağlam H., Ünüvar A., Ersoyoğlu A.S., “Şerit testere ile kesmede, kesmeyi etkileyen parametrelerin deneysel incelenmesi” **3.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu**, Ankara, 198-210, (2003).
49. Turgut Y., “Bağlama Kalıplarında Bağlama Kuvvetlerinin Hesaplanmasında Kullanılan Emniyet Katsayılarının Deneysel Olarak İncelenmesi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-138 (2007).
50. Korucu S., “Delik İşlemlerinde Kesiciler Üzerine Etki Eden Gerilmelerin Matematiksel Olarak Modellenmesi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-5 (2007).
51. Sutherland J.W., Salisbury E.J. and Hoge F.W., “A model for the cutting force system in the gear broaching process”, **International Journal of Machining Tools and Manufacturing**, 1409-1421 (1997).
52. Bouzakis K.-D., Skordaris G., Hadjiyiannis S., Asimakopoulos A., Mirisidis J., Michailidis N., Erkens G., Cremer R., Klocke F. and Kleinjans M., “A nano indentation based determination of internal stress alterations in PVD films and their cemented carbides substrates induced by recoating procedures and their effect on the cutting performance”, **Thin Solids Films**. 447-448: 264-271 (2004).
53. 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).
54. Nelson S., Schueller JK., Tlusty J., “Tool wear in milling hardened die steel”, **Journal of Manufacturing Science and Engineering-Transactions of The ASME**, 120 (4): 669-673 (1998).
55. Plebani L. J., Fu J. J., “Entropy based method for characterizing dynamic cutting forces and tool wear in face milling processes”, **Proceedings of the Industrial Engineering Research Conference, Published by IEE, Norcross GA, USA**, 365-369 (1993).
56. Chou Y.K., “Hard turning of M50 steel with different microstructures in continuous and intermittent cutting”, **Wear**, 255: 1388-1394 (2003).
57. Nouari M., List G., Girot F., Coupard D., “Experimental analysis and optimisation of tool wear in dry machining of aluminium alloys”, **Wear**, 255: 1359-1368 (2003).
58. Tosun G., Muratoglu M., “The drilling of an Al/SiCp metal-matrix composites. Part 1: microstructure”, **Composites Science and Technology**, 64 (2): 299-308 (2004).

59. Cooke D.A.D, Welbourn D.B., "Forces in gear hobbing-1", *Machinery (Lond)*, 111(2860): 475-477 (1967).
60. Cooke D.A.D, Welbourn D.B., "Forces in gear hobbing-1", *Machinery (Lond)*, 112(2882): 258-261 (1968).
61. Wakuri A.; Ueno, T.; Ainoura M., "Study of gear hobbing" *Japan Society of Mechanical Engineers -- Bulletin*, 9(34): 409-416 (1966).
62. Hannam R.G.; Andrew C., "Analysis of geometry of gear hobbing" *Institution of Mechanical Engineers -- Proceedings*, 182(25): 559-570 (1967-1968).
63. Thamer "Investigation of the cutting force in hobbing", *Research report*, Aachen Polytechnic, 48-74, (1964).
64. Ziegler "Cutting forces when hobbing straight-and helical tooth spur gears", *Research report*, Aachen Polytechnic, 67-83, (1966).
65. Ohtubo T., "Simple equations for cut amount in hobbing", *Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu, C Hen/Transactions of the JSME*, Part C, 55(511): 818-819 (1989).
66. Umezaki Y., Arura Y., Chu H., "Cutting forces in gear rubbing (1st report). the three components of cutting forces on hob and work in various hobbing methods" *Journal of JSPE*, 54: 31-38, (1988).
67. Umezaki Y., Suzuki T, Inoue S., "Numerical analysis of hobbing torques (2nd report, on the hobbing torques of different heat treated materials under various hobbing conditions)", *Bulletin of the JSME*, 29(255): 3209-3217 (1986).
68. Koenig W., Bouzakis K., "Determination of the time course of the cutting force components in gear hobbing", *ASME*, (Paper) Issue 80 - C2/DET-75, 9 (1980).
69. Bashkirov, V.N., "Experimental study of the dynamics of hobbing with coarse-module hobs", *Soviet Engineering Research*, 4(12): 67-69 (1984).
70. Deb Sr., Bhattacharyya A., "Forces in gear cutting", *Journal of the Institution of Engineers (India): Mechanical Engineering Division*, 51(5), 102-107 (1971).
71. Bhattacharyya A, Deb Sr., "Mechanics of gear hobbing", *ASME- 69-WA/Prod-7*, 6 (1969).
72. Ohtubo T., "Study on designing gear cutting fixtures", *Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu, C Hen/Transactions of the JSME*, Part C, 55(515): 1820-1822 (1989).



73. Ali K. A., "Experimental determination of relationship of cutting force with cutting parameters", *Mechanical Engineering Research Bulletin (Dhaka)*, 7: 29-32 (1984).
74. Ohtubo T., "Simple equations for prediction of cutting forces in gear hobbing", *Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu, C Hen/Transactions of the JSME Part C*, 55(511): 820-822 (1989).
75. Abood A.M., Bicker R., Pennell T., "An analysis of cutting forces in gear hobbing", *VDI Berichte*, 1(1665): 255-262 (2002).
76. Bouzakis K., Koenig W., "Process models for the Incorporation of gear hobbing into an information centre for machining data", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 30(1): 77-82 (1981).
77. Weck M.; Hurasky-Schonwerth, O.; Winter W., "Manufacturing simulation for the analysis of the gear hobbing process" *VDI Berichte*, 1(1665): 145-158 (2002).
78. Kuljanic E., "Method for Optimization of hobbing", *CIRP Annals*, 34(1): 75-78, (1985).
79. Bouzakis, K. D., Kombogiannis, S., Antoniadis, A., Vidakis, N., "Modeling of gear hobbing: part 1 - cutting simulation and tool wear prediction models", *ASME, Manufacturing Engineering Division, MED*, 10: 253- 259, (1999).
80. Galczynski R., "Gear hobbing - the effect of wear on torque", *Chart. Mech. Engr.*, 34(5): 36- 38. (1987).
81. Milner D. A.; Raafat H., "Tool wear and tool life gear hobbing". *American Society of Mechanical Engineers (Paper)*, No. 78-WA/PROD-34, 13 (1978).
82. Galczynskia R., "Effect of hob wear on the sounds emitted in the gear hobbing process", *Precision Engineering*, 25-30 (1984).
83. Zlatanović M., Stosić P., "Comparative tests of TiN and (Ti0.5,Al0.5)N coated hobs in gear cutting operations", *Vacuum*, 557-562 (1989).
84. Dai M., Zhou K., Yuan Z., Ding O. And Fu Z., "The cutting performance of diamond and DLC-coated cutting tools", *Diamond and Related Materials*, 1753-1757 (2000).
85. Stachurski,Z. and Slupik H., "Hobbing as finishing machining of the hard teeth", *Journal of Materials Processing Technology*, 353-358 (1997).

86. Yonekura M., Sugimoto T., Sumi M., Kumagai F., Nagano K., Sakuragi I., “A study on finish hobbing with carbide hob (Improvement of gear accuracy using new hobbing machine)”, *JSME International Journal Series C*, 41(2): 291-298 (1998).
87. Kima J-S., Kangb M-C., Ryuc B-J., and Jic Y-K., “Development of an on-line tool-life monitoring system using acoustic emission signals in gear shaping”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 61-1777 (1999).
88. Rech J., Djouadi M.A. and Picot J., “Wear resistance of coatings in high speed gear hobbing”, *Wear*, 45-53 (2001).
89. Vicenzi B., Risso L. and Calzavarini R., “High performance milling and gear hobbing by means of cermet tools with a tough(Ti, W, Ta) (C, N)-Co, Ni, W composition”, *International Journal of Refractory Metals&Hard Materials*, 11-16 (2001).
90. Matsuoka H., H., Tsuda Y., “Fundamental research on behavior of crater wear of hob in dry hobbing (3rd report, Influence of number of hob threads and hob feed)”, *JSME International Journal Series C*, 67(654): 533-539 (2001).
91. Kim D. H., “Geometry of hob and simulation of generation of the cylindrical gears by conventional or climb hobbing”, *Proceedings of the Instotion of Mechanical Engineers*, 215( 4): 533-544 (2001).
92. Rech J., “Influence of cutting edge preparation on the wear resistance in high speed dry gear hobbing”, *Wear*, 261(5-6): 505-512 (2006).
93. Matsuoka H., Ono H., Tsuda Y., “Wear reduction effects of Ca sulfonate on coated tools in hobbing”, *JSME International Journal Series C*, 45(3): 821-830 (2002).
94. Matsuoka H., H., Tsuda Y., “Influence of Coating Films on Behavior of Crater Wear of Hob in Dry Hobbing”, *JSME International Journal Series C*, 67(656): 1163-1169 (2001).
95. Sugimoto T., Ishibashi A., Yonekura M., “Performance of skiving hobs in finishing induction hardened and carburized gears”, *Gear Technology*, May/June, 34-41 (2003).
96. Ueno T., Yano M., Inoue S., Goka M., “Fundamental research on the hobbing of austempered spheroidal graphite cast iron. (Cutting tests using highspeedsteel(fly-tools)” *JSME International Journal, Series 3: Vibration, Control Engineering, Engineering for Industry*, 32(3): 475-479 (1989).

97. Matsuoka H., Tsuda Y., Ono H., “Fundamental research on hobbing of austempered ductile iron gear(Influence of graphite particle on machinability)”, *JSME International Journal Series C*, 46(3): 1160-1170 (2003).
98. Ariura Y., Umezaki Y., “High accurate hobbing with specially designed finishing hobs”, *Gear Technology*, November/December, 20-27 (2003).
99. Antoniadis A., Vidakis N., Bilalis N., “A simulation model of gear skiving” , *Journal of Materials Processing Technology*, 146, 213-220 (2003).
100. Komori M., Sumi M., Kubo A., “Simulation of hobbing for analysis of cutting edge failure due to chip crush”, *Gear Technology*, September/October, 64-69 (2004).
101. Joyce K., “Producing 'green' gears”, *Machinery*, 162(4106): 28-29 (2004).
102. Sakuragi I., Kobayashi M., Hakamata N., Kawata M., Sumi M., Yonekura M., “Carbide hobbing technology for automotive gears, *Transactions of the JSME Series C*, 67(655): 811-816 (2001).
103. Research Report, *Japan Gear Manufacturers Association*, JGMA Publications, 36-41, (2000).
104. Kobialka, C., “Contemporary gear hobbing-Tools and process strategies” *VDI Berichte*, 1(1665): 241-253 (2002).
105. Tokawa T.; Nishimura Y.; Nakamura Y., “High productivity dry hobbing system” *Technical Review - Mitsubishi Heavy Industries*, 38(1): 27-31 (2001).
106. Matsuoka, H., Suda, S., Yokota, H., Tsuda, Y., “Fundamental research on hobbing with minimal quantity lubrication of cutting oil (Effect of quantity of oil supply)”, *JSME International Journal Series C*, 49(2): 590-599 (2006).
107. Umezaki Y, Ariura Y., Chiu H., “Improvement of gear accuracy in gear hobbing” *JSME International Journal*, 30(259): 175-182 (1987).
108. Liu D., Bai Z., Guo H., “Study on the cutting temperature in gear hobbing” *Chinese Journal of Mechanical Engineering (English Edition)*, 12(2): 142-147 (1999).
109. Köksal, S, “Face milling of nickel-based superalloys with coated and uncoated carbide tools”, PhD thesis, *School of Engineering, Coventry University, England*, Coventry, 1-60 (2000).
110. Shaw, M.C., “Metal cutting principles”, *Oxford University Press*, Oxford, 1-9 (1989).

111. De Garmo, E.P., Black, J.T. and Kohser, R.A., "Materials and processes in manufacturing", *Prentice-Hall Inc.*, New Jersey, 214-652 (1997).
112. Kalpakjian, S., "Manufacturing process for engineering materials", *Addison-Wesley*, New York, 120-121 (1991).
113. Groover, M.P., "Fundamentals of modern manufacturing – Materials, processes and systems", *Prentice-Hall Inc.*, New Jersey 220-639 (1996).
114. Sandvik Coromant, "Modern metal cutting – A practical handbook", English Edition, *Sandvik Coromant*, Sweden, I-III (1994).
115. Zhang, J.H., "Theory and technique of precision cutting", *Pergamon Press*, Oxford, 1-50 (1991).
116. Çakır, M. C., "Modern Talaşlı İmalatın Esasları", *VİPAŞ*, Bursa, 31-93 (2000).
117. Mendi F., "Takım Tezgahları Teori ve Hesapları", *72TDFO Ltd. Şti.*, Ankara, 21, 83-88 (1996).
118. Şahin Y., "Kesici takım geometrisi ve seçimi", Talaş Kaldırma Prensipleri Cilt-I, *Nobel Yayınevi*, Ankara, 1-150 (2000).
119. Çiftçi, İ., "Alüminyum esaslı kompozitlerde takviye oranı ve boyutunun mekanik özellikler ve işlenebilirlik üzerine etkisinin araştırılması", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-10 (2003).
120. Trent, E.M., "Metal cutting", *Butterworths Press*, London, 1-171 (1989).
121. Çiftçi, İ., Türker, M., Şeker., U., "CBN cutting tool wear during machining of particulate reinforced MMCs", *Wear*, 1041-1046, (2004).
122. Özçatalbaş, Y., Ercan, F., "The effects of heat treatment on the machinability of mild steels", *Journal of Materials Processing Technology*, 6784, 1-12 (2003).
123. Sandvik Coromant, "Milling Catalog ", (2008).
124. Zeyveli M., "Genetik algoritma ile hız kutusu dişli tasarımı", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-70 (2005).
125. Rende, H., "Dişli Çarklar", Makine Elemanları Cilt II, *Seç Yayın Dağıtım*, İstanbul, 1-20, (1997).
126. TS 3350, "Dişli Çarklar - Terimler ve Semboller", *TSE*, (1979).
127. Can, H., "Ön gerilmeli plastik dişli tasarımı", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-50 (2004).

128. Şen, İ. Z., “Makine Meslek Resmi II”, *Lito Matbaacılık ve Pazarlama*, İstanbul, 177-257 (1995).
129. Booser, E. R., “Tribology Data Handbook, An Excellent Friction, Lubrication and Wear Resource”, *Society of Tribologist and Lubrication Engineers*, NewYork, 526-538, (1997).
130. Keith, L., “Gear Fundamentals”, *Gear Technology*, 10(5): 46-52, (1993)
131. Norton, R. L., “Machine design :an integrated approach 2<sup>nd</sup> edition”, *Prentice Hall*, Upper Saddle River, N.J., 706-707, (2000).
132. Callister, D. W. Jr., , “Materials science and engineering an introduction”, Wiley international edition, *John Wiley&Sons Inc.*, New York, 480-491, 509-510, 517, (2002).
133. Kulaksız, Ö., Çakır, Ö., Ulusoy O., “Metal Meslek Bilgisi Çeviri”, *MEB Yayınları*, Ankara, 25-48 (1995).
134. Şahin, N., “Tesviyecilik Meslek Teknolojisi III”, *Kozan Ofset*, Ankara, 1-60 (2001).
135. TS 11133, “Kesici Takımlar - Modül Azdırma Freze Bıçakları - Evolvent Alın Dişli Açan (1 Modülden 16 Modüle Kadar)”, *TSE*, (1993).
136. South, D. W., Ewert, R. H., “Encyclopedic dictioanry of gears and gearing” *Mc Graw-Hill*, 381, 382, (1995).
137. Sinkevicius, V., “Simulation of gear hobbing forces”, *Mechanics*, 2(28): 58-63, (2001).
138. Kistler 9272A, “Dinamometre kullanım kitapçığı”, *Kistler*, 17-29 (2005).
139. Güllü A., Özdemir A., Demir H., “Yüzey pürüzlülüğü ölçme yöntemleri ve mukayesesi” *Teknoloji*, Karabük, 6(1-2): 79-92 (2003).
140. Habalı, K., “Kesici takım kaplama malzemesinin takım-talaş ara yüzey sıcaklığı üzerindeki etkisinin deneysel olarak araştırılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 50-110 (2003).
141. Jawaid A., Köksal, S., Sharif, S., “Cutting performance and wear characteristics of PVD coated and uncoated carbide tools in face milling Inconel 718 aerospace alloy”, *Journal of Materials Processing Technology*, 116, 2-9, (2001).

142. Söderberg, S., “Wear mechanism and tool life of high speed steels related to microstructure”, Doktora Tezi, *Uppsala Üniversitesi*, Uppsala, 1-85, (1982)
143. Işık, A., “Uygulamalı İstatistik II”, *Beta Basım Yayın*, İstanbul, 5-100 (2006).
144. Ross, R. P., “Taguchi techniques for quality engineering-loss function, orthogonal experiments, parameter and tolerance design, 1 st edition ISBN 0-07-053866, *Mc Graw-Hill*, 102-179 (1988).

## ÖZGEÇMİŞ

### ***Kişisel Bilgiler***

Soyadı, adı : KAÇAL, Alaattin  
 Uyuğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 1975 Eskişehir  
 Medeni hali : Evli  
 Telefon : 0 (312) 202 86 87  
 Faks : 0 (312) 212 00 59  
 e-mail : akacal@gazi.edu.tr

### ***Eğitim***

<i><b>Derece</b></i>	<i><b>Eğitim Birimi</b></i>	<i><b>Mezuniyet tarihi</b></i>
Yüksek lisans	Dumlupınar Üniversitesi /Fen Bil. Makina Eğitimi Anabilim Dalı	2002
Lisans	Dumlupınar Üniversitesi Simav Teknik Eğt. Fak. Mak. B.	1998
Lise	Turgut Reis End. Mes. Lisesi Tes. Böl.	1992

### ***İş Deneyimi***

<i><b>Yıl</b></i>	<i><b>Yer</b></i>	<i><b>Görev</b></i>
2003-2008	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
1999-2003	Dumlupınar Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

### ***Yabancı Dil***

İngilizce

### ***Yayımlar***

1. Kaçal, A., “Üniversal yüzey ve delik işleme aparatları” **Dumlupınar Ü. Simav Tek. Eğt. Fak. Seminerleri**, 146-154, Simav, (2000).
2. Tuğcu, A., Kaçal, A., “Kesici takımların seramik kaplanması”, **Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, Sayı:2, 152-165 (2001).

3. Kaçal, A., Işık, A., Erginli, M., “Bilgisayar destekli rulman seçimi”, **Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, Sayı:4, 239-254, (2003).
4. Kaçal,A., Gülesin, M. “Azdırma freze çakılarına kesme kuvvetlerinin ölçülmesi ve takım aşınmasının incelenmesi üzerine yapılan çalışmaların değerlendirilmesi”, **4. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu**, Selçuk Üniv., Konya, 574-580 (2005).
5. Kaçal,A., Turgut, Y., “Metrik vida açmada alternatif kesici uç yaklaşımı”, **Gazi Ü. Teknik Eğt. Fak. Politeknik Dergisi**, Cilt: 11, Sayı: 1, 37-41, (2008)

### **Hobiler**

Müzik, Amatör olarak bağlama çalmak, Bilgisayar teknolojileri