

**AISI 316 ÖSTENİTİK ÇELİĞİN İŞLENMESİNDE KESME
DEĞERLERİNİN VE TAKIM KAPLAMASININ YÜZEY
PÜRÜZLÜLÜĞÜNE VE TAKIM AŞINMASINA ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ**

Emre ALTINKAYA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KASIM 2006
ANKARA**

Emre ALTINKAYA tarafından hazırlanan AISI 316 ÖSTENİTİK ÇELİĞİN İŞLENMESİNDE KESME DEĞERLERİNİN VE TAKIM KAPLAMASININ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE VE TAKIM AŞINMASINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Abdulkadir GÜLLÜ
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitim Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN

Üye : Doç. Dr. Ersan Aslan

Üye : Doç. Dr. Yusuf ÖZÇATALBAŞ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Abdulkadir GÜLLÜ

Üye : Yrd. Doç. Dr. İhsan KORKUT

Tarih : 24.11.2006

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

TEZ BİLDİRİMİ

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

Emre ALTINKAYA

**AISI 316 ÖSTENİTİK ÇELİĞİN İŞLENMESİNDE KESME DEĞERLERİNİN
VE TAKIM KAPLAMASININ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE VE TAKIM
AŞINMASINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**
(Yüksek Lisans Tezi)

Emre ALTINKAYA

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Kasım 2006**

ÖZET

Bu çalışmada, üç değişik kaplama ve formda kesici uç kullanılarak AISI 316 östenitik paslanmaz çelik frezeleme metoduyla soğutma sıvısı kullanılmadan işlenmiştir. İşleme esnasında her bir kaplamalı takım ile üç değişik kesme hızı (180, 225, 270 m/min) ve üç değişik ilerleme oranı (0,05, 0,1, 0,15 mm/rev) talaş derinliği sabit tutularak ayrı ayrı uygulanmıştır. Sonuç olarak kullanılan kesici takımlardan TiAlN malzemesiyle kaplanmış takımın diğer takımlardan daha iyi aşınma ve yüzey pürüzlülük sonuçları verdiği ortaya çıkmıştır. TiAlN kaplı kesici takımı sırasıyla TiN/TiCN/TiN kaplanmış takım ve TiN/TiCN/Al₂O₃ kaplanmış takım takip etmiştir. Takım aşınmaları genel olarak kesme hızının artmasıyla artmış, ilerleme değerlerinin artmasıyla azalmıştır. Yüzey pürüzlülük değerleri ise genel olarak kesme hızının artmasıyla azalmış, ilerlemenin artmasıyla artış eğilimi göstermiştir.

Bilim Kodu : 708.3.028
Anahtar Kelimeler : Kesici takım, TiAlN, TiN, Al₂O₃, paslanmaz çelik, takım aşınması, AISI 316, yüzey pürüzlülüğü.
Sayfa Adedi : 102
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Abdulkadir Güllü

**THE INFLUENCE OF CUTTING TOOL COATING AND CUTTING VALUE
ON SURFACE ROUGHNESS AND TOOL WEAR IN MACHINING OF
AISI 316 AUSTENITIC STAINLESS STEEL**

Emre ALTINKAYA

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE**

November 2006

ABSTRACT

In this study, three different coated and formed cutting tool insert used in the method of AISI 316 austenitic stainless steel without using the cooling liquid. In the process of machining, three different cutting speed (180, 225, 270 m/min) and three different feed rate (0,05, 0,1, 0,15 mm/rev) had applied to each coated tool by keeping the depth of cut constant. Consequently, it was observed that one of cutting tools that coated with TiAlN material, gave better wear and surface roughness results. Cutting tools those were coated with TiN/TiCN/TiN and TiN/TiCN/Al₂O₃ had used in the process afterwards. In generally, cutting tool wears had increased by increase in cutting speed, decreased by increase in feed rate. In addition, surface roughness values had decreased by increase in cutting speed and tend to increase by means of increase in feed rate.

Science Kode : 708.3.028

Key Words : Cutting tool, TiAlN, TiN, Al₂O₃, stainless steel, tool wear, AISI 316, surface roughness.

Page Number : 102

Study Administrator: Yrd. Doç. Dr. Abdulkadir Güllü

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca çok değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Yrd. Doç. Dr. Abdulkadir Güllü'ye yine hiçbir zaman yardımını esirgemeyen arkadaşım Akın GEZGİN'e ve maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR.....	2
3. KURAMSAL TEMELLER.....	13
3.1. Talaş Kaldırma Yöntemleri.....	13
3.2. Frezelemede Temel İşlemler.....	14
3.2.1. Frezeleme işlemine tesir eden faktörler.....	14
3.2.2. Frezelemede kesme değerleri.....	15
3.2.3. Talaş hacminin hesaplaması.....	17
3.3. Kesici Takım Malzemesi.....	18
3.3.1. Karbonlu ve düşük alaşımlı takım çelikleri.....	20
3.3.2. Yüksek hız çelikleri.....	20
3.3.3. Seramikler.....	21
3.3.4. Elmaslar.....	21
3.3.5. Kübik bor nitrürler (CBN).....	22
3.3.6. Sert metaller.....	23

Sayfa

3.4. Kesici Takım Kaplama Yöntemleri.....	23
3.4.1. CVD (Kimyasal buhar biriktirme) yöntemi.....	24
3.4.2. PVD (Fiziksel buhar biriktirme) yöntemi.....	27
3.4.3. DVD (Doğrudan buhar biriktirme) yöntemi.....	29
3.5. Takım Aşınması.....	30
3.5.1. Takım aşınma şekilleri.....	33
3.5.2. Takım aşınma kontrolü.....	39
3.6. Yüzey Pürüzlülüğü.....	40
3.7. Malzeme Teknolojisi.....	41
3.7.1. Çelikler.....	43
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	49
4.1. Deneyde Kullanılan Malzemenin Özellikleri.....	51
4.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	51
4.3. Deneyde Kullanılan Takımlar.....	52
4.3.1. Takım tutucu.....	52
4.3.2. Kesici uçlar.....	52
4.4. Deneyde Kullanılan Kesme Parametreleri.....	54
5. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	55
5.1. Kesme Hızlarının Takım Aşınmasına Etkisi.....	55
5.1.1. TiAlN kaplı kesici takım ve $f=0,05$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi.....	55
5.1.2. TiAlN kaplı kesici takım ve $f=0,10$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi.....	56

Sayfa

5.1.3. TiAlN kaplı kesici takım ve $f=0,15$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi.....	57
5.1.4. En üst katmanı TiN kaplı kesici takım ve $f=0,05$ mm/dev ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi.....	58
5.1.5. En üst katmanı TiN kaplı kesici takım ve $f=0,10$ mm/dev ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi.....	60
5.1.6. En üst katmanı TiN kaplı kesici takım ve $f=0,15$ mm/dev ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi.....	61
5.1.7. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takım ve $f=0,05$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi.....	62
5.1.8. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takım ve $f=0,10$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi.....	63
5.1.9. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takım ve $f=0,15$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi.....	64
5.2. İlerleme Hızının Takım Aşınmasına Etkisi.....	65
5.2.1. TiAlN kaplı kesici takımın ve $V=180$ m/dak kesme hızının aşınmaya etkisi.....	65
5.2.2. TiAlN kaplı kesici takımın ve $V=225$ m/dak kesme hızının aşınmaya etkisi.....	67
5.2.3. TiAlN kaplı kesici takımın ve $V=270$ m/dak kesme hızının aşınmaya etkisi.....	68
5.2.4. En üst katmanı TiN kaplı kesici takım ve $V=180$ m/dak ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi.....	69
5.2.5. En üst katmanı TiN kaplı kesici takım ve $V=225$ m/dak ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi.....	70
5.2.6. En üst katmanı TiN kaplı kesici takım ve $V=270$ m/dak ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi.....	71
5.2.7. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takım ve $V=180$ m/dak ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi.....	73

Sayfa

5.2.8. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takım ve $V=180$ m/dak ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi.....	75
5.2.9. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takım ve $V=270$ m/dak ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi.....	76
5.3. Kaplama Malzemesinin Takım Aşınmasına Etkisi.....	78
5.3.1. $V=180$ m/dak kesme hızı ve değişik ilerlemedeki kaplama malzemelerinin aşınmaya etkisi.....	78
5.3.2. $V=225$ m/dak kesme hızı ve değişik ilerlemedeki kaplama malzemelerinin aşınmaya etkisi.....	80
5.3.3. $V=270$ m/dak kesme hızı ve değişik ilerlemedeki kaplama malzemelerinin aşınmaya etkisi.....	80
5.4. Kaplama malzemesinin, kesme hızının ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğüne etkisi.....	83
5.5. Talaş kırıcı formunun takım aşınmasına ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri.....	84
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	89
6.1. Sonuç.....	89
6.2 Öneriler.....	91
7. KAYNAKLAR.....	93
EKLER.....	97
EK-1 Kaplama malzemesinin takım aşınmasına etkisi adlı çalışmada elde edilen eğri benzeşim formülü ve benzeşim katsayıları.....	98
EK-2 Yüzey pürüzlülük sonuçları	101
ÖZGEÇMİŞ.....	102

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. PVD ve CVD yöntemleriyle kaplanmış malzemelerin özellikleri.....	8
Çizelge 3.1. Paslanmaz çeliklerin kompozisyonları.....	47
Çizelge 4.1. Deneyde kullanılan AISI 316 malzemesinin analiz sonuçları.....	51
Çizelge 4.2. Deneyde kullanılan kesme parametreleri.....	54
Çizelge 5.1. TiAlN kaplı kesici takım ve $f=0,05$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları.....	56
Çizelge 5.2. TiAlN kaplı kesici takım ve $f=0,10$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları.....	57
Çizelge 5.3. TiAlN kaplı kesici takım ve $f=0,15$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları.....	58
Çizelge 5.4. En üst katmanı TiN kaplı kesici takım ve $f=0,05$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları.....	59
Çizelge 5.5. En üst katmanı TiN kaplı kesici takım ve $f=0,10$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları.....	60
Çizelge 5.6. En üst katmanı TiN kaplı kesici takım ve $f=0,15$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları.....	61
Çizelge 5.7. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takım ve $f=0,05$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları.....	63
Çizelge 5.8. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takım ve $f=0,10$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları.....	64

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.9. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takım ve $f=0,15$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları.....	65
Çizelge 5.10. TiAlN kaplı kesici takımın ve $V=180$ m/dak kesme hızının aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları.....	66
Çizelge 5.11. TiAlN kaplı kesici takımın ve $V=225$ m/dak kesme hızının aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları.....	67
Çizelge 5.12. TiAlN kaplı kesici takımın ve $V=270$ m/dak kesme hızının aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları.....	68
Çizelge 5.13. En üst katmanı TiN kaplı kesici takımın ve $V=180$ m/dak kesme hızının aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları.....	69
Çizelge 5.14. En üst katmanı TiN kaplı kesici takımın ve $V=225$ m/dak kesme hızının aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları.....	71
Çizelge 5.15. En üst katmanı TiN kaplı kesici takımın ve $V=270$ m/dak kesme hızının aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları.....	72
Çizelge 5.16. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takımın ve $V=180$ m/dak kesme hızının aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları.....	74
Çizelge 5.17. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takımın ve $V=225$ m/dak kesme hızının aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları.....	76
Çizelge 5.18. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takımın ve $V=270$ m/dak kesme hızının aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları.....	77
Çizelge 5.19. Talaş kırıcı formunun takım aşınmasına etkisi deney parametreleri...	85

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Değişik kesme hızlarında kenar aşınması ile kesme mesafesinin karşılaştırılması.....	2
Şekil 2.2. İlerlemeye göre takım ömrü ve kesme hızlarının karşılaştırılması.....	3
Şekil 2.3. Değişik kaplama malzemelerinin aşınma ile pürüzlülük karşılaştırması....	4
Şekil 2.4. Değişik kaplama malzemelerinin kesme kuvvetinin ve yan kenar aşınmasının kesme zamanına göre karşılaştırılması.....	4
Şekil 2.5. Değişik kaplamalı takımların aşınma zaman grafiği.....	5
Şekil 2.6. Değişik kaplamalı takımların kesme hızı - sıcaklık grafiği.....	7
Şekil 2.7. Değişik kaplamalı takımların işleme zamanına göre yan kenar aşınma değerleri.....	8
Şekil 2.8. Takım ömrünün kaplama ve kesme zamanı grafiği.....	9
Şekil 2.9. Değişik kaplamalı takımların sıcaklık – sertlik grafiği.....	11
Şekil 2.10 Değişik kaplamalı takımların takım ömrü grafiği.....	11
Şekil 3.1 Kesme kuvvetlerinin gösterilmesi.....	16
Şekil 3.2 Frezede ilerlemenin gösterilmesi.....	17
Şekil 3.3 CVD Sisteminin şematik gösterimi.....	26
Şekil 3.4 Arc PVD Sisteminin şematik gösterimi.....	29
Şekil 3.5 Temel aşınma mekanizmaları.....	32
Şekil 3.6 Yan kenar aşınması.....	34
Şekil 3.7 Krater aşınması.....	35
Şekil 3.8 Plastik deformasyon.....	35
Şekil 3.9 Termal çatlak.....	36

Şekil	Sayfa
Şekil 3.10 Çentik aşınması.....	36
Şekil 3.11 Çıtlamanın oluşumu.....	37
Şekil 3.12 BUE oluşumu.....	38
Şekil 3.13 Mekanik yorulmadan kaynaklanan kırılmalar.....	38
Şekil 3.14 Takım aşınma kontrolünün yapılacağı bölgeler.....	40
Şekil 3.15 Ortalama Pürüzlülük, Ra.....	41
Şekil 3.16 Malzemelerin malzeme gurupları halinde sınıflandırılması.....	42
Şekil 4.1 Takım tutucu ölçüleri.....	52
Şekil 4.2. Deneylerde kullanılan takma uç ölçüleri.....	53
Şekil 5.1. TiAlN kaplı kesici takım ve $f=0,05$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi.....	55
Şekil 5.2. TiAlN kaplı kesici takım ve $f=0,10$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi.....	56
Şekil 5.3. TiAlN kaplı kesici takım ve $f=0,15$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi.....	57
Şekil 5.4. En üst katmanı TiN kaplı kesici takım ve $f=0,05$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi.....	59
Şekil 5.5. En üst katmanı TiN kaplı kesici takım ve $f=0,10$ mm/dev ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi.....	60
Şekil 5.6. En üst katmanı TiN kaplı kesici takım ve $f=0,15$ mm/dev ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi.....	61
Şekil 5.7. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takım ve $f=0,05$ mm/dev ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi.....	62
Şekil 5.8. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takım ve $f=0,10$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi.....	63
Şekil 5.9. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takım ve $f=0,15$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi.....	64

Şekil	Sayfa
Şekil 5.10. TiAlN kaplı kesici takım ve $V=180$ m/min kesme hızının aşınmaya etkisi.....	65
Şekil 5.11. TiAlN kaplı kesici takım ve $V=225$ m/min kesme hızının aşınmaya etkisi.....	67
Şekil 5.12. TiAlN kaplı kesici takım ve $V=270$ m/min kesme hızının aşınmaya etkisi.....	68
Şekil 5.13. En üst katmanı TiN kaplı kesici takım ve $V=180$ m/min kesme hızının aşınmaya etkisi.....	69
Şekil 5.14. En üst katmanı TiN kaplı kesici takım ve $V=225$ m/min kesme hızının aşınmaya etkisi.....	70
Şekil 5.15. En üst katmanı TiN kaplı kesici takım ve $V=270$ m/min kesme hızının aşınmaya etkisi.....	72
Şekil 5.16. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takım ve $V=180$ m/min kesme hızının aşınmaya etkisi.....	73
Şekil 5.17. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takım ve $V=225$ m/min kesme hızının aşınmaya etkisi.....	75
Şekil 5.18. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takım ve $V=270$ m/min kesme hızının aşınmaya etkisi.....	77
Şekil 5.19. Sabit $V=180$ m/min kesme hızında ve 0,05-0,10-0,15 ilerleme hızlarında takım kaplamalarının karşılaştırılması; a) 0,05 ilerleme, b) 0,10 ilerleme, c) 0,15 ilerleme.....	79
Şekil 5.20. Sabit $V=225$ m/min kesme hızında ve 0,05–0,10–0,15 ilerleme hızlarında takım kaplamalarının karşılaştırılması; a) 0,05 ilerleme, b) 0,10 ilerleme, c) 0,15 ilerleme.....	81
Şekil 5.21. Sabit $V=270$ m/min kesme hızında ve 0,05–0,10–0,15 ilerleme hızlarında takım kaplamalarının karşılaştırılması; a) 0,05 ilerleme, b) 0,10 ilerleme, c) 0,15 ilerleme.....	82
Şekil 5.22. Kaplama malzemelerinin ilerleme hızı – yüzey pürüzlülüğü grafiği.....	83
Şekil 5.23. Kaplama malzemelerinin kesme hızı – yüzey pürüzlülüğü grafiği.....	84
Şekil 5.24. a) $V=180$ m/min. $f=0,10$ mm/diş, b) $V=225$ m/min. $f=0,05$ mm/diş, c) $V=270$ m/min. $f=0,15$ mm/diş	86

Şekil**Sayfa**

Şekil 5.25. Talaş kırıcı formuna göre yüzey pürüzlülüğü grafikleri,	
a) $V=180 \text{ m/min}$ $f=0,10 \text{ mm/diş}$, b) $V=225 \text{ m/min}$ $f=0,05 \text{ mm/diş}$,	
c) $V=270 \text{ m/min}$ $f=0,15 \text{ mm/diş}$	87

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Deneylerde kullanılan Mitutoyo marka mikroskop.....	49
Resim 4.2. Deneylerde kullanılan CNC freze tezgahı.....	50
Resim 4.3. Deneylerde kullanılan yüzey pürüzlülük cihazı.....	50
Resim 4.4. Numunenin tezgaha bağlanması.....	51
Resim 4.5. Kullanılan kesici takımlar a) TiAlN; b)TiN-TiCN-TiN, (c) TiN-TiCN Al ₂ O ₃	53
Resim 4.6. TiN/TiCN/TiN kaplı kesici takımlar, a) PDERGP, b) PDSRGC, c) PDERGC.....	54
Resim 5.1. TiAlN kaplamalı takımın V= 180m/min kesme hızı ve f= 0,15 mm/diş ilerlemedeki yan kenar aşınması.....	67
Resim 5.2. En üst katmanı TiN olarak kaplanmış, PDERGP talaş kırıcı formulu takımın V= 225 m/min kesme hızı ve f= 0,05 mm/diş ilerlemedeki yan kenar aşınması.....	72
Resim 5.3. En üst katmanı TiN olarak kaplanmış, PDERGP talaş kırıcı formulu takımın V= 270 m/min kesme hızı ve f= 0,05 mm/diş ilerlemedeki yan kenar aşınması.....	74
Resim 5.4. En üst katmanı Al ₂ O ₃ olarak kaplanmış, PDERGP talaş kırıcı formulu takımın V= 180 m/min kesme hızı ve f= 0,05 mm/diş ilerlemedeki yan kenar aşınması.....	76
Resim 5.5. En üst katmanı Al ₂ O ₃ olarak kaplanmış, PDERGP talaş kırıcı formulu takımın V= 225 m/dak kesme hızı ve f= 0,05 mm/diş ilerlemedeki yan kenar aşınması.....	77
Resim 5.6. En üst katmanı Al ₂ O ₃ olarak kaplanmış, PDERGP talaş kırıcı formulu takımın V= 270 m/dak kesme hızı ve f= 0,05 mm/diş ilerlemedeki yan kenar aşınması.....	79
Resim 5.7. En üst katmanı TiN olarak kaplanmış, PDSRGC talaş kırıcı formulu takımın V= 225 m/min kesme hızı ve f= 0,05 mm/diş ilerlemedeki yan kenar aşınması.....	91

Resim**Sayfa**

Resim 5.8. En üst katmanı TiN olarak kaplanmış, PDERGC talaş kırıcı formlu takımın $V=270$ m/min kesme hızı ve $f=0,15$ mm/diş ilerlemedeki yan kenar aşınması.....	91
---	----

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
V	Kesme hızı, m/dak
D	Freze kafası çapı, mm
n	Devir sayısı, rev/min
f	İlerleme miktarı, mm/rev
L	Kesme genişliği, mm
a	Talaş derinliği, mm
Z	Diş sayısı, (adet)
Kısaltmalar	Açıklama
YHÇ	Yüksek hız çelikleri
CAM	Bilgisayar destekli tasarım
BSD	Brinell sertlik değeri
RC	Rockwell sertlik değeri
BUE	Talaş yapışma ve sıvanması
CVD	Kimyasal buharlaştırma metodu
PVD	Fiziksel buharlaştırma metodu
DVD	Doğrudan buhar biriktirme yöntemi
WC	Tungsten karbür
TiC	Titanyum karbür
TiN	Titanyum nitrür
AlN	Alüminyum nitrür
Al₂O₃	Alüminyum oksit

TiAlN

Titanyum alüminyum nitrür

TiCN

Titanyum karbonitrür

Siyalon

Si-Al-O-N den oluşan seramik kesici takım

AISI

Amerikan demir ve çelik enstitüsü

1. GİRİŞ

İmalat sanayinde metal, alaşım ve dökme demirden üretilen ürünler çeşitli takım tezgahları kullanılarak elde edilirler. Bu nedenle talaş kaldırma işlemi, imalat sanayinde üretim işlemlerinin belki de en önemlisidir.

Günümüzde teknolojinin sürekli olarak ilerlemesi, beraberinde talaşlı imalatla kullanılan makinelerin hızlarındaki artışı da getirmiştir. Takım tezgahlarındaki bu gelişmeyle birlikte güvenilir, verimli, hassas seri parçaların üretilmesi için kesici takım ömrünün fazla olması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Kesme hızını yükseltebilmek ve üretimi en yüksek seviyeye getirebilmek için sert metal uçlarda ısı dayanımı arttırmak üzere pek çok geliştirme yapılmıştır. Özellikle işleme maliyetini azaltmak, takım ömrünü arttırmak ve daha iyi yüzey kalitesi elde etmek isteği talaş kaldırma alanında araştırmaların yapılmasını zorunlu kılmaktadır.

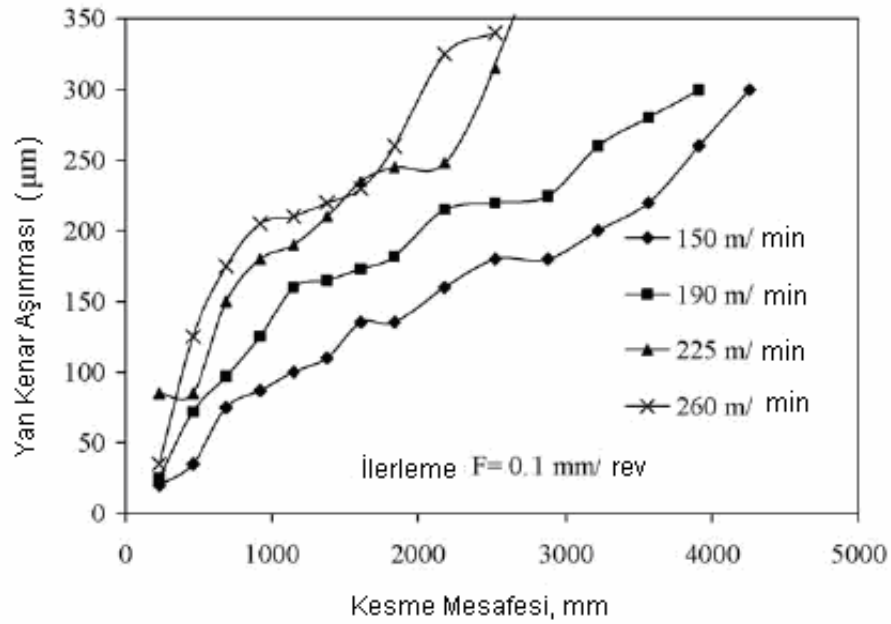
Kesici takımların kaplanması kesici takım teknolojisinde önemli bir gelişme olarak kabul edilmiştir. Kaplanmış sementit karbür takımlar esas olarak sementit karbür takımın bir veya daha fazla aşınmaya dirençli ince katmanla kaplanması ile elde edilen kesici takımlardır. Titanyum karbür (TiC), titanyum nitrür (TiN), ve alüminyum oksit (Al_2O_3) yaygın olarak kullanılan kaplama türleridir. İnce ve sert kaplama malzemesinin takım aşınmasını azalttığı ve verimliliği artırdığı bilinmektedir. Bu nedenle kaplama işlemi ilave bir masraf gerektirse de, talaşlı imalat sektöründe kullanılan sementit karbür takımların çoğunluğunu kaplanmış takımlar oluşturmaktadır [1].

Talaş kaldırma teorisi, kesme kuvvetlerinin ve sıcaklıklarının ölçülmesi, işlenebilirlik, ekonomiklik, kesme sıvısı gibi pek çok alanda araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonunda farklı malzeme türlerinde kesici takımlar, takım geometrileri ve soğutma sıvıları geliştirilmiştir. Talaş kaldırma sürecinde kullanılan gelişmiş özelliklerdeki bu etkenler, artan işleme hızına bağlı olarak toplam işleme sürecini kısaltmıştır. Ancak halen takım ömrü, bitirme yüzey kalitesi gibi pek çok alanda yapılması gereken çalışmalara ihtiyaç vardır.

2. LİTERATÜR

Ducros ve Sanchette yaptıkları deneysel çalışmada CVD yöntemiyle CrN–TiN, TiN–AlTiN ve CrN–AlTiN kaplanmış takımlar kullanarak, kaplamaların kesme performanslarını ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, TiAlN alaşımlı kaplamaların abresiv aşınmanın sınırlandırılması ve talaş sıvanmasının önüne geçilmesi bakımından en iyi kaplama türü olduğu tespit edilmiştir [2].

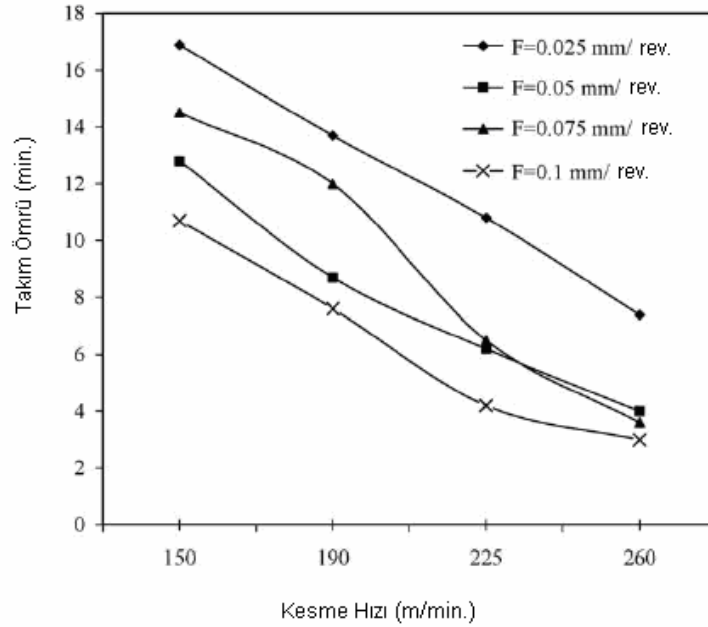
Yahya ve Hossein yaptıkları deneysel çalışmada; TiN/TiCN/TiN olarak üç katmanlı kaplanmış karbür ucun AISI 304 tipi paslanmaz çeliğin işlenmesindeki davranışlarını incelemişlerdir. Deneylerde elde ettikleri bazı grafikler Şekil 2.1 ve Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Değişik kesme hızlarında kenar aşınması ile kesme mesafesinin karşılaştırılması [3]

Ayrıca bu çalışmada yığıntı talaşın östenitik paslanmaz çelik gibi malzemelerde belirli kesme şartlarında kolaylıkla oluşabileceğinden bahsedilerek, kendi çalışmalarında yığıntı talaş oluşumunun çoğunlukla 190 m/min kesme hızı ve 0.75 m/rev ilerlemede gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Yığıntı talaşın yüksek değerdeki

ilerleme ve orta kesme hızlarında (180 ve 225 m/min) oluştuğunu tespit etmişlerdir [3].

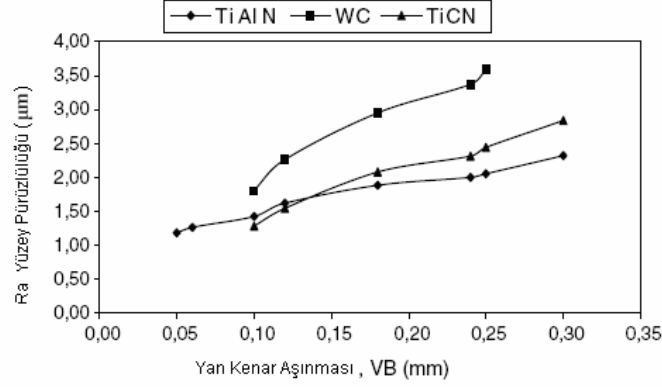


Şekil 2.2. İlerlemeye göre takım ömrü ve kesme hızlarının karşılaştırılması [3]

Samir K. Khrais ve Y.J. Lin, “AISI 4140 çeliğinin PVD yöntemiyle TiAlN kaplanmış kesici takımlar kullanılarak işlenmesinde, aşınma mekanizmaları ve takım performansı” adlı çalışmalarında, işleme parametrelerini ve kesme şartlarını değiştirmişlerdir. Sonuç olarak kesme hızının artmasıyla takım aşınmasında bir artış olduğunu saptamışlardır. Ayrıca; soğutma sıvısı yüksek kesme hızlarındaki ısıdan olumsuz etkilendiğinden, kuru kesme şartlarının, soğutma sıvısı kullanılarak yapılan kesmeden daha iyi sonuç verdiği sonucuna da varmışlardır. Uyguladıkları kesme hızlarından en iyi sonucu da 260 m/min’de almışlardır [4].

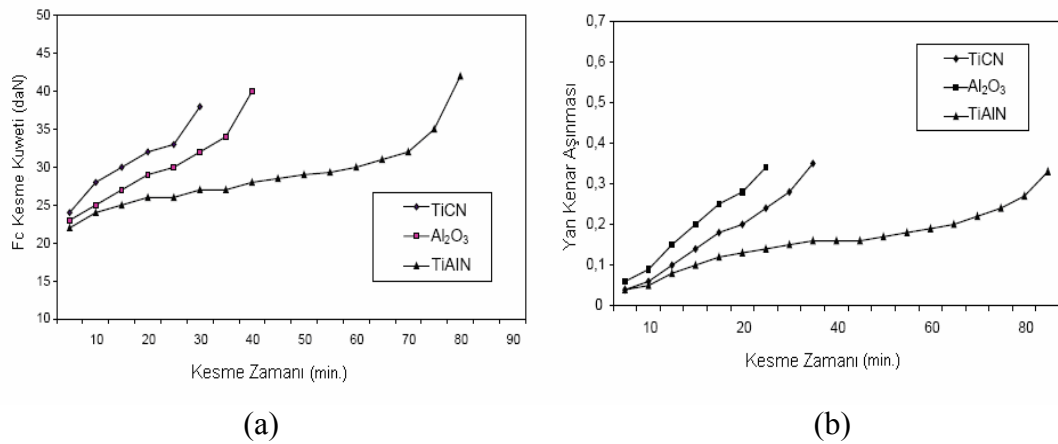
Işık, “Tornalama işlemiyle takım çeliklerinin işlenebilirliği” adlı çalışmada, sıcak iş takım çelikleri, soğuk iş takım çelikleri ve kalıp çeliklerini kaplamasız, TiAlN ve TiN+TiCN+TiC kaplanmış takımlarla işlemiştir (Şekil 2.3). Kaplamalı takımlar kullanılarak yapılan deneylerin sonuçlarında yan kenar aşınmasının ucun kırılmasında krater aşınmasından daha etkili olduğu sonucu çıkmıştır. Genel olarak takım ömrüne en etkili parametrenin kesme hızı, daha sonra ilerleme ve en son olarak da kesme derinliği olduğu söylenmiştir. Yüzey pürüzlülüğüne en etkili

parametrenin ise; ilerleme, daha sonra kesme derinliği ve en son olarak da kesme hızı olduğunu göstermiştir. Yüzey pürüzlülüğü üzerine kaplamalı takımların karşılaştırılmasında ise, en iyi sonucu TiAlN kaplı takım vermiştir [5].



Şekil 2.3. Değişik kaplama malzemelerinde aşınma ile pürüzlülüğün karşılaştırılması [5]

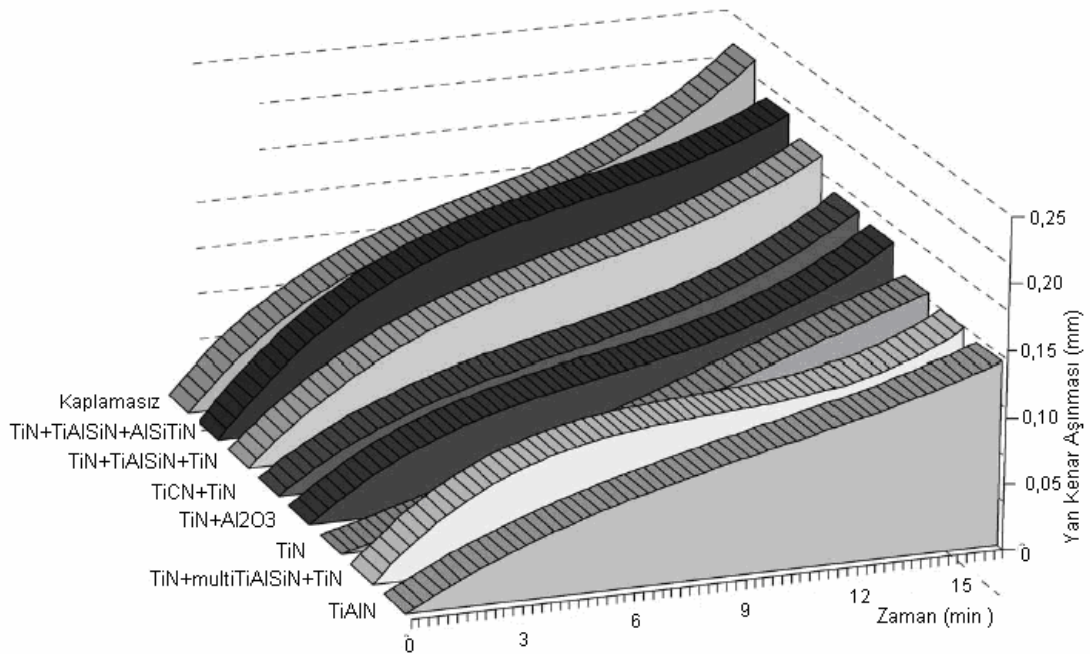
Çakır ve Işık “AISI 1050 çeliğinin işlenmesinde kullanılan kaplamalı ve kaplamasız kesici takım kırılmalarının araştırılması” adlı çalışmalarında, değişik kaplamalı takımlar kullanarak takıma gelen kuvvetleri ölçmüşlerdir (Şekil 2.4). Sonuç olarak TiAlN kaplı takımın, Al_2O_3 ve TiCN kaplı takımlara göre daha az kesme kuvvetine maruz kaldığı saptanmıştır [6].



Şekil 2.4. Değişik kaplama malzemelerinin kesme kuvveti ve yan kenar aşınmasının kesme zamanına göre karşılaştırılması. a) Kesme zamanına göre değişen kesme kuvvetleri b) Kesme zamanına göre etki eden yan kenar aşınması [6]

Nalbant ve Gökkaya “AISI 1030 çeliğinde kesici takım geometrisi ve işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi” adlı çalışmalarında, üç katman olarak CVD yöntemiyle TiN, Al₂O₃, TiC kaplanmış takım kullanmışlardır. İlerlemenin yüzey pürüzlülüğüne uç yarıçapı ve kesme derinliğinden daha çok etki ettiği sonucuna varılmıştır [7].

Dobrzanski ve Mikula’nın yaptıkları çalışmada, PVD ve CVD yöntemiyle değişik kaplama malzemeleri kullanarak seramik kesici takımları kaplamışlar ve kuru kesme şartları altında, yüksek kesme hızlarında kaplamaların özelliklerini ve yapılarını incelemişlerdir. Sonuç olarak, aşınma testlerinde en iyi özelliği TiAlN kaplı kesici takım, yüzey pürüzlülüğü testlerinde ise en iyi özelliği TiN+multiTiAlSiN+TiN kaplanmış kesici takımın gösterdiği belirtilmiştir [8].



Şekil 2.5. Değişik kaplamalı takımların aşınma zaman grafiği [8]

Çiftçi, yaptığı deneysel çalışmada, AISI 316 ve AISI 304 paslanmaz çelikleri TiC/TiCN/TiN ve TiCN/TiC/Al₂O₃ katmanlarıyla çok katlı kaplanmış sementit karbür kesici takımlar kullanarak işlemiş ve kesici takım kaplaması ve kesme hızının kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemiştir. Deney sonucunda,

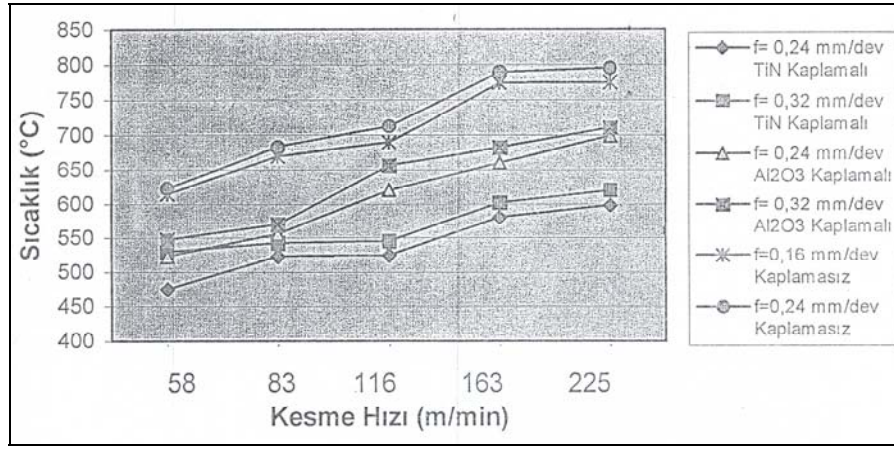
TiC/TiCN/TiN kaplanmış kesici takımın TiCN/TiC/Al₂O₃ kaplanmış kesici takımdan daha düşük kesme kuvvetlerine sebep olduğunu ortaya çıkarmıştır. Kesme hızının kesme kuvvetlerinde önemli derecede bir değişikliğe neden olmadığı, ancak işlenmiş yüzey pürüzlülüğünü önemli derecede etkilediği görülmüştür. Artan kesme hızı ile yüzey pürüzlülük değerleri belirli bir kesme hızı değerine kadar azalmış, ancak bu değerden sonra artan kesme hızı ile de artış eğilimi göstermiştir [1].

Camuşcu ve Aslan yaptıkları deneysel çalışmada AISI D3 takım çeliğinin frezelenmesinde kesici takım performanslarını karşılaştırmışlardır. Bunun için, kaplamalı karbür, kaplamalı sermet, alüminyum oksit seramik takım ve CBN takımlar kullanmışlardır. Sonuç olarak TiCN kaplanmış karbür takım en kötü performansı göstermişken, TiCN + TiAlN kaplanmış ve TiAlN kaplanmış kesici takımlar, takım ömrü ve bitirme yüzeyindeki koşullarda benzer performanslar göstermişlerdir. Bunun da TiAlN kaplama malzemelerinin sertleştirilmiş takım çeliklerinin işlenmesinde TiCN kaplama malzemesinden daha iyi olduğunu gösterdiği ifade edilmiştir [9].

Reiter ve arkadaşları tarafından yapılan, ‘Östentik Paslanmaz Çelikte Kör Deliklere Kılavuz Çekilmesinde Çeşitli PVD Kaplamaların İncelenmesi’ adlı çalışmada; son on yıldır endüstrideki uygulamalardan dolayı paslanmaz çeliğin kullanılabilirliğinin arttığından ve bu malzemeleri işlemenin zorluğundan bahsedilmiştir. Bu nedenle kaplamalı takımlarla yapılan denemelerin tümünde takımların yüksek performans gösterdiği belirtilmiştir ve özellikle sürtünme bakımından mükemmel özellik gösterdikleri ortaya konmuştur [10].

Yalçın ve Yılmaz tarafından yapılan, ‘Arc PVD Yüzey Kaplama Metoduyla Titanyum Nitrür Kaplanmış Matkap Takımlarında Takım Aşınmasının Deneysel Olarak İncelenmesi’ adlı çalışmada, TiN kaplanan ve kaplamasız takımlar Ç4140 ıslah çeliğinin delinmesinde test edilmiştir. Sonuçta nispeten ucuz HSS matkap takımlarına, özellikle Arc PVD tekniği ile TiN kaplanması sayesinde, yüksek kesme özellikleri kazandırılarak takım performansının arttırılabileceği ortaya konmuştur [11].

Habalı, kesici takım malzemesinin takım-talaş ara yüzey sıcaklığı üzerindeki etkisini deneysel olarak incelediği çalışmasında, kaplamasız Al_2O_3 ve TiN kaplanmış kesici takımlar kullanmıştır. Kesme hızı artışıyla yüzey pürüzlülüğünde bir azalma gözlemlemiş, kesici takım malzemesi olarak TiN kaplı kesici takımın Al_2O_3 kaplı kesici takıma oranla daha iyi yüzey pürüzlülüğü çıkardığını belirlemiştir. Bununla ilgili olarak elde ettiği grafiklerden biri Şekil 2.6’da verilmiştir [12].



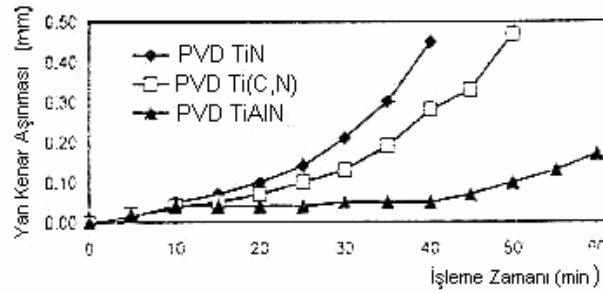
Şekil 2.6. Değişik kaplamalı takımların kesme hızı - sıcaklık grafiği [12]

Can, AISI 5140 çeliklerinin işlenmesinde, uygun takım ömrü ve istenen yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için en uygun takım kaplaması ve kesme değişkenlerinin belirlenmesi amacıyla deneysel bir çalışma yapmıştır. Sonuç olarak, ilerleme hızının artması ve kesme hızının azalmasıyla yüzey pürüzlülüğünde bir artış gözlemlemiştir. Kaplamasız takımın, kaplamalı takıma oranla daha iyi yüzey pürüzlülük değerleri çıkardığını belirtmiştir. Takım ömrüne bakıldığı zaman ise TiAlN kaplı kesici takımların TiN kaplı kesici takımlara göre $V=200$ m/min’e kadar daha iyi takım ömrüne sahip olduğu bu hızdan sonrasında ise durumun terse döndüğü ifade edilmiştir [13].

Paldey ve Devi yaptıkları deneysel çalışmada tek ve çok katmanlı takım kaplamalarını incelemiştir. Bunun için PVD yöntemiyle TiC, TiN, TiAlN, Al_2O_3 kaplanmış takımları kullanmışlar ve yüksek sıcaklık sertliklerini, oksidasyon hızlarını, aşınma özelliklerini deneysel olarak bulmuşlardır. Sonuç olarak en yüksek

sıcaklık sertliğine sahip kaplama malzemesinin TiAlN olduğunu göstermişlerdir. TiAlN dan sonra en yüksek sıcaklık sertliğine sahip olan TiCN'yi sırasıyla Al₂O₃ ve TiN kaplamalar takip etmektedir. En düşük sıcaklık sertliğine ise TiC kaplama malzemesinin sahip olduğu gösterilmiştir.

Yine aynı çalışmada elde edilen diğer bir bulgu da yan kenar aşınmasının en düşük hızda devam ettiği kaplamanın PVD ile TiAlN kaplanmış kesici uç olduğudur. TiN kaplı kesici ucun ise en yüksek yan kenar aşınmasına sahip olduğu belirtilmiştir [14].



Şekil 2.7. Değişik kaplamalı takımların işleme zamanına göre yan kenar aşınma değerleri [14]

Janoss tarafından paslanmaz çelikler üzerinde yapılan çalışmada kaplama yöntemi ve kaplama malzemesinin, yüzeyin mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisi incelenmiştir. En yüksek sertlik değeri ve düşük sürtünme katsayısına sahip kaplama malzemesinin PVD yöntemiyle kaplanmış TiAlN olduğu tespit edilmiştir [15].

Çizelge 2.1. PVD ve CVD yöntemleriyle kaplanmış malzemelerin özellikleri [15]

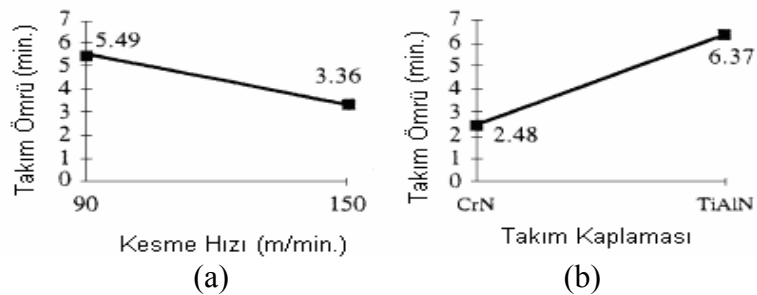
Kaplama Malzemesi	Kaplama Yöntemi	Sertlik VHN	Sürtünme Katsayısı	Oksidasyon Sıcaklığı (°C)	Korozyon Direnci
TiN	PVD	2900	0,65	500	iyi
TiAlN	PVD	4500	0,42	800	iyi
CrN	PVD	2500	0,55	700	mükemmel
TiC	CVD	3200	0,60	350	iyi
TiC/TiN	CVD	3000	0,65	500	iyi
TiCN	PVD	4000	0,45	400	iyi

Kim ve arkadaşları, ark iyon kaplama metoduyla sert metal üzerine TiAlN ve TiN kaplanmış kesici takımları, yüksek hızlardaki frezelemede kullanmış ve sonuçta kaplamasız takımların aşınma hızının kaplamalı takımlara oranla daha çok olduğunu ve yüzey pürüzlülüğünün de buna bağlı olarak daha hızlı arttığını bildirmişlerdir [16].

Özses, değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelediği çalışmasında, kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünün iyileştiğini, fakat bununla birlikte takım aşınmasının hızlandığını, dolayısıyla takım ömrünün azaldığını vurgulamıştır. İlerleme hızındaki artış ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğüne en çok etki eden parametre olduğunu tespit etmiştir [17].

Ghani ve Choudhury yaptıkları deneysel çalışmada, kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği gibi kesme parametrelerinin yan kenar aşınmasına ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir. Kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğinin arttırılmasıyla yan kenar aşınması hızlanmıştır. Yan kenar aşınmasının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün de arttığı saptanmıştır [18].

Sharman ve arkadaşları tarafından yürütülen çalışmada TiAlN ve CrN kaplı takımların ömürleri inconel 718 malzeme üzerinde parmak frezeleme işlemiyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak TiAlN kaplı kesici takım CrN kaplı kesici takımdan daha iyi performans göstermiştir (Şekil 2.8) [19].



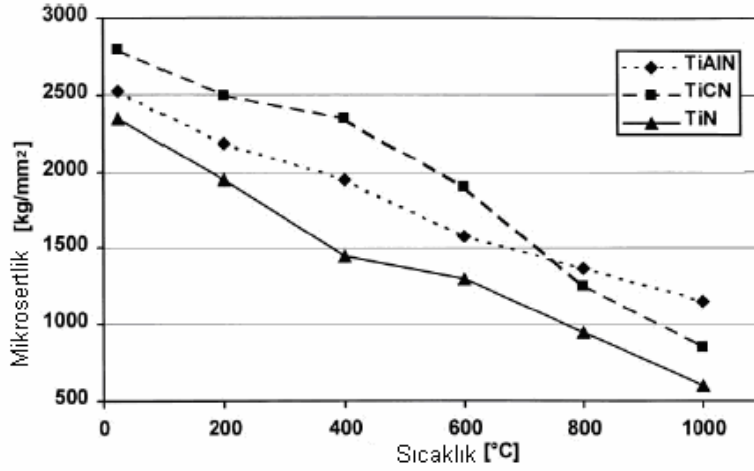
Şekil 2.8. Takım ömrünün kaplama ve kesme zamanı grafiği. a) Kesme hızı – takım ömrü grafiği, b) Takım kaplaması – takım ömrü grafiği [19]

Ezugwu ve Okeke'nin yaptığı çalışmada işleme operasyonunda ortalama güç tüketimiyle kabul edilebilir yüzey hassasiyetini elde etmek için, sağ vida çekme takımlarına TiN kaplamışlardır. Sonuçta, iş parçası kalitesini ve takım ömrünü arttırmak için, kesici takımların sert seramik filmlerle kaplanmasını önermişlerdir [20].

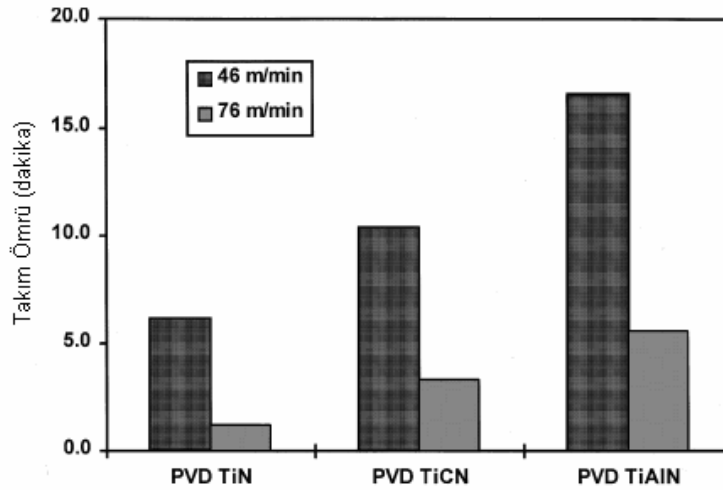
Wang tarafından yapılan, 'Çelik Tornalamada kesici takıma etkiyen kesme kuvvetlerine, çok katlı yüzey kaplamalarının etkileri' adlı çalışmada; takımlara kaplanan sert kaplamalar, takımların yan yüzeylerinde meydana gelen kuvvet bileşenlerinin, düşük sürtünme katsayısından dolayı azaldığını iddia edilmiştir. Bunun yanı sıra, kaplanmış ve kaplanmamış torna takımlarında kesme kuvveti bileşenleri kıyaslanmıştır. Ölçümleri sonucu, ilerleme kuvveti ve takım kuvveti daha az olmuştur. Kaplanan takımlarda azalan kesme kuvvetler, takım tezgahına etkileyen kuvvetleri azaltarak takım tezgahı işleme verimini arttırdığını ortaya koymuşlardır [21].

Tokmanoğlu ve Türküz'ün yaptığı, 'Kesici takım sanayine yönelik ince sert seramik kaplamaların önemi ve uygulama sonuçları' adlı çalışmada; takımların aşınmadan dolayı çok büyük malzeme kayıplarına maruz kaldıklarını ortaya koyarak, yaptıkları deneylerde kaplamalı takımların %10-30 arasında takım ve işleme maliyetini düşürdüğünü gözlemlemişlerdir [22].

Jindal ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada PVD yöntemiyle TiN, TiCN ve TiAlN kaplanmış karbür takımların tornalama işlemindeki performanslarını incelemişlerdir. Inconel 718 kullanarak yaptıkları çalışmada 25°C ile 1000°C arasında kaplamaların mikro sertliklerini incelemişler ve sonuç olarak yüksek sıcaklıkta en iyi sertliği TiAlN kaplı takımın verdiğini bildirmişlerdir (Şekil 2.9). Ayrıca en iyi takım ömrünü de TiAlN kaplı takımda elde etmişlerdir. TiAlN kaplı takımı sırasıyla TiCN ve TiN kaplı takımlar takip etmiştir (Şekil 2.10) [23].



Şekil 2.9. Değişik kaplamalı takımların sıcaklık – sertlik grafiği [23]



Şekil 2.10. Değişik kaplamalı takımların takım ömrü grafiği [23]

Errico, yaptığı çalışmada PVD yöntemiyle kaplanmış sermet uçların frezelemedeki takım ömürlerini karşılaştırmıştır. Tek ve çok katman olarak yaptığı kaplamalar sonucunda TiN ve TiAlN kaplı sermet uçların diğer kaplamalı ve kaplamasız uçlara göre çok daha fazla kesici takım ömrüne sahip olduğu anlaşılmıştır [24].

Tamura ve Tokunaga ise, geniş çaplardaki çelik boruların ve martenzitik paslanmaz çeliğin düzgünce kesilebilmesi için, testere disk yüzeylerini TiCN (titanyum karbonitrür) ile kaplamışlardır. Sonuç olarak, kesilmesi zor olan malzemeler için

kaplamalı kesici takımların, kaplamasız kesici takımlara göre dört kat daha fazla kesme performansını arttırdığını gözlemlemişlerdir [25].

Ezugwu ve Wang, inconel 718 kullanarak yaptıkları çalışmada, çok katman olarak kaplanmış TiC/ Al₂O₃/TiN ve TiN/TiCN/TiN kesici takımları karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, TiN/TiCN/TiN kaplanmış kesici takımın daha iyi takım ömrü sonucu verdiği saptanmıştır [26].

Bu deneysel çalışmada AISI 316 çeliklerin frezeleme operasyonlarındaki bitirme işlemlerinde, istenilen yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasını elde etmek bakımından, en uygun kaplama malzemesi ve uygun kesme değişkenlerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Çalışmalara başlamadan önce daha önce yapılan çalışmalar incelenmiş ve bu çalışmalardaki öneriler de dikkate alınmıştır.

3. KURAMSAL TEMELLER

3.1. Talaş Kaldırma Yöntemleri

Talaş kaldırma, kesici bir takım ile parça üzerinden malzeme kaldırma işlemidir. Bu şekilde kaldırılan malzemeye talaş denir [27]. Takım tezgahlarına bağlanan, belirli bir geometriye sahip kesici takım aracılığı ile istenilen boyut ve biçimde parça üretilmesi veya iş parçasından fazla malzemelerin talaş şeklinde kaldırılma işlemi, “Talaş kaldırma” işlemi olarak tanımlanır [28]. Talaş kaldırma işleminin sistematığı, takım ile parça arasındaki izafi hareketlere, takım ucunun geometrisine ve takımların kesici uç sayılarına göre yapılabilir. Talaş kaldırma işlemi, takım ile parça arasındaki izafi hareketlerin bir sonucudur. Takım ile parça arasında kesme, ilerleme ve yardımcı olmak üzere üç tür hareket vardır. Kesme hareketi esas talaş kaldırma hareketidir. İlerleme hareketi, parçanın uzunluğu boyunca belirli bir kısmının işlenmesini sağlayan harekettir. Yardımcı hareket ise, takımın parçaya yaklaşma hareketi, ilerleme hareketi bittikten sonra takımı başlangıç noktasına getirme gibi kesme öncesi ve sonrası hareketlerini kapsar.

Genellikle kesme hareketi dönme veya doğrusal, ilerleme ve yardımcı hareketlerse doğrusaldır. Bu hareketlerin parça veya takım tarafından yapılması, çeşitli talaş kaldırma yöntemlerini meydana getirir [27].

Herhangi bir ürünün imalatında birçok işleme metodu mevcuttur. Bunlar şöyle sınıflandırılabilir.

Geleneksel talaş kaldırma işlemleri; tornalama, vargelleme, planyalama, delme-delik büyütme, raybalama, kesme, tığ çekme, frezeleme, taşlama, dişli çark açma, geleneksel olmayan talaş kaldırma işlemleri ise, ultrasonik, elektrikle boşaltma, elektronik, lazerle kesme, elektromagnetizma, aşındırıcı jet, elektro sıvama, plazma püskürtme vb. işlemlerdir.

Bu ikinci guruptaki işlemlerde çoğu parçaların hassas olması ve küçük talaş miktarlarında işlenmesi istenilen yerlerde kullanılır. Bu işlemlerin hepsi de ya gidip gelme ya da dönme prensibine göre çalışır [28].

3.2. Frezelemede Temel İşlemler

Freze takımlarını karakterize eden özellik, bunların torna veya planya takımları gibi bir veya iki esas ağza değil, genellikle çok sayıda ağza sahip olmalarıdır. Frezelemede takım üzerinde bulunan çok sayıda kesici kenardan sırayla her biri kısa bir süre parçayı keser ve sonra boş döner. Böylelikle dişler parça ile devamlı kesme halinde olmadığı gibi genellikle talaş kesiti de her an değişir [27].

Günümüzde frezeleme işlemlerinde takım, hemen hemen her yönde iş parçasına doğru hareket edebilmektedir. Frezeleme tezgahları, kontrol üniteleri ve kesici takımlardaki ilerlemeler sonucunda giderek evrensel bir işleme metodu haline gelmektedir. Günümüzde işleme merkezleri, frezeleme işlemlerinde en yaygın kullanılan tezgahlardır [29].

3.2.1. Frezeleme işlemine tesir eden faktörler

Bu faktörler şu şekilde sıralanabilir;

- 1) Freze Tezgahı: Makinenin cinsi ve gücü,
- 2) Hareket Büyüklükleri: Kesme hızları, paso derinliği ve genişliği, soğutma ve yağlama şekli,
- 3) Takım: Kesici kenar sayısı, çap, ağız uçları ve kuvvet dağılımlarının şekilleri,
- 4) İşletme Tedbirleri: İşçinin seçimi, iş planı, makine bakımı vb. [27].

Ekonomik frezeleme demek, az bir güç tüketerek ve kısa zamanda frezenin uzun bir mukavemetle temiz ve hassas bir yüzey elde edilmesidir. Şu halde frezeleme yalnız talaş kaldırmak değil, aynı zamanda işlenen yüzeyin istenilen makro ve mikro hassasiyeti sağlaması demektir [30].

3.2.2. Frezelemede kesme değerleri

Kesme değerleri ve kesme şartlarının frezelemedeki etkileri

Kesici takım endüstrisinde kesici takımın verimliliğini kesme hızı ile ayarlayıp yükseltmek mümkündür. Ancak, özellikle frezeleme işlemlerinde bazen bu mümkün olamamaktadır [31].

Talaş kaldırma işlemlerinde talaş kaldırma miktarını ve takım ömrünü, genellikle kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği değerlerinin değişkenliği ayarlamaktadır. Bu konuda etkili olan diğer faktörleri de iş parçası ve malzemesi, kesici uç veya takım malzemesi ve geometrisi, makine gücü ve makinenin kararlı (rijit) olması, kesici takım ve makinenin ayarlanması olarak sıralayabiliriz. Bu değişkenlerden kesme hızı doğal olarak takım ömrünün en büyük düşmanıdır. Çünkü kesme hızı kesme kenarını tahrip eden ısının oluşmasında birinci derecede rol oynamaktadır. Çok yüksek kesme hızlarında, çok yüksek talaş kaldırma miktarlarına erişildiği inkar edilemez. Ancak, bunun yanında erken oluşacak kesme kenar aşınmalarının neden olduğu, uç değiştirme ve harcanan zamanın da artacağı göz önünde tutulmalıdır [30].

Kesici takımların limit dayanımları içerisindeki ilerleme değerleri, kesme kenarı üzerinde, kesme hızından daha az olumsuz etki yaratmaktadır. Kesme derinliği ise kesme kenarında en az olumsuz etkiye sahip bir faktördür.

Kesme hızı

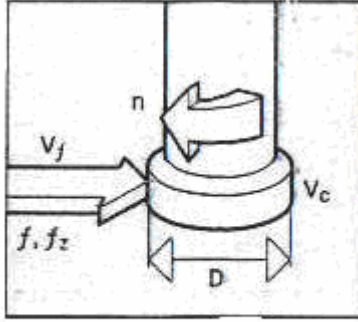
Frezelemede kesme hızı, kesici üzerindeki bir noktanın dakikada katettiği mesafedir ve birimi m/min'dir.

$$V = \pi \cdot D \cdot n / 1000 \quad (3.1)$$

Burada;

D = Freze çapı,

n = Takımın dakikadaki dönme sayısı (rev/min.)



$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (\text{m/min})$$

Şekil 3.1 Kesme Hızı [29]

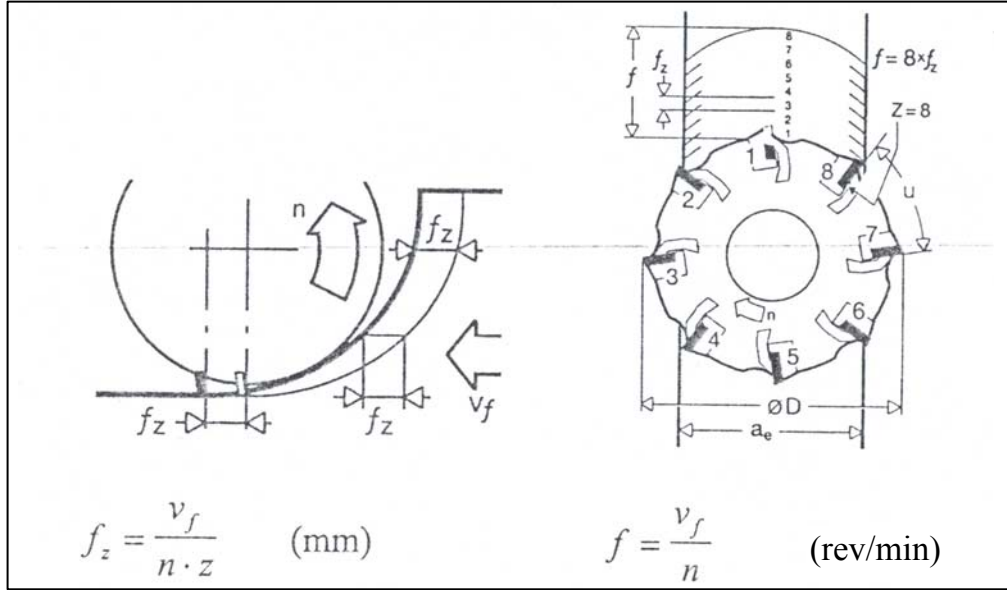
Kesme hızı iş parçasının sertliğine ve kesici takım kalitesine bağlı olarak seçilmelidir. Sert malzemelerde düşük kesme hızı, yumuşak malzemelerde yüksek kesme hızı uygulanmalıdır [32].

İlerleme

Dakikadaki ilerleme veya ilerleme hızı (V_f – mm/min) takımın iş parçasına doğru birim zamandaki ilerlemesidir (Şekil 3.1). Bu aynı zamanda tabla ilerlemesi veya tezgah ilerlemesi olarak da adlandırılır [29].

Devir başına ilerleme (f – mm/diş) özellikle ilerleme değerlerinin hesabında ve bir alın frezenin son işlem kapasitesinin belirlenmesi aşamasında kullanılır. Bu devir takımın bir devirdeki hareket miktarına eşit olan yardımcı bir değerdir (Şekil 3.2).

Kesici uç başına ilerleme ise (f_z – mm / kesici uç) frezeleme işleminde önemli bir büyüklüktür. Freze çok uçlu bir takımdır ve her ucun yeterli talaşı kaldırabilmesi için uygun bir ilerleme değerine gereksinimi vardır. Kesici uç başına ilerleme; bir kesici kenarın parçaya girişi ile bir sonraki kesici kenarın parçaya girişi arasında geçen sürede, tablanın ilerlediği mesafe olarak tanımlanır. Bu nedenle bu büyüklük, takımdaki kesici uç sayısına (z) ve ilerleme hızı veya devir başına ilerlemeye bağlı olarak ifade edilir [29].



Şekil 3.2 Frezede ilerlemenin gösterilmesi [29]

Kesme derinliği (mm)

Kesme hızı, kesme kuvvetleri üzerine az bir etkiye sahiptir. İlerleme değeri, kesme kuvvetine daha çok etki eder. Kesme derinliği ise, teğetsel ve radyal kesme kuvvetlerine etki etmektedir. Kesme derinliğinin artırılması ile orantılı olarak radyal ve teğetsel kuvvetler de artmaktadır [31].

3.2.3. Talaş hacminin hesaplanması (cm³/min)

$$V = \frac{a_r \times F \times a_a}{1000} = \frac{a_p \times f_z \times V_c \times Z}{\pi \times D} \quad (3.2)$$

V= Kaldırılan talaş hacmi, (cm³/min)

a_r= Kesme genişliği, (mm)

V_c= Kesme hızı, (m/min)

F=İlerleme miktarı, (mm/min)

f_z= Diş başına ilerleme, (mm/diş)

a_p= Kesme derinliği, (mm)

Z= Diş sayısı, (adet)

3.3. Kesici Takım Malzemesi

Kesici takımlar talaş kaldırma işleminde diğer malzemelere şekil verme, şekil değiştirme, kesme, koparma ve istenilen toleransta ölçüye getirme işlemi esnasında değişik zorlamalara maruz kalırlar. Ticari olarak bugün mevcut takım malzemelerinin değişik uygulamalardaki performansları, takım ömrüne, talaş kaldırma miktarına, yüzey hassasiyetine ve takım maliyetine bağlı olarak değişmektedir. Kullanılan takım malzemeleri esas olarak üç gruba ayrılabilir. Bunlar genelde demir içeren malzemeler, demir içermeyen malzemeler ve metal olmayan malzemelerdir. Talaş kaldırma işleminde belirli bir malzeme için uygun takım seçimi bunların mekanik özellikleri ile belirlenir. Uygun takım malzemesinin seçiminde takımın kesme işlemi ve fonksiyonu üzerine nasıl etki edeceğinin belirlenmesi için bu malzemenin fiziksel ve mekaniksel özelliklerinin anlaşılması gerekmektedir [28].

Talaş kaldırma işlemlerinde, ya tornalama işleminde olduğu gibi sürekli kesme işlemi ya da frezeleme işleminde olduğu gibi aralıklı kesme yapılır. Sürekli kesme işleminde uçta yüksek sıcaklıklar oluşurken, aralıklı kesme işleminde daha düşük sıcaklık oluşmasına rağmen uçlar, ısı ve mekanik yüklemelere maruz kalır ve nispeten kesme kuvvetleri yüksek olur [28].

Yüksek kesme hızları, kesicinin uç bölgesinde yüksek sıcaklıklar oluşturmaya rağmen işleme zamanı dikkate alınmalıdır. Bir kesici takımın yüksek sıcaklıklarda kesme yeteneğini muhafaza etmesi için yüksek sıcaklık sertliğine sahip olması gerekir [28].

Kesici takım malzemelerinden istenen ortak özellikler sertlik, sıcak sertlik, aşınma direnci, tokluk ve ekonomiktir. İşlenen malzemeye uygun takım malzemesinin seçimi ile kesici takım-iş parçası malzemeleri arasında sürtünme sonucu oluşan yüksek sıcaklık aşınma mekanizmalarının (difüzyon, oksidasyon vb.) bertaraf edilmesi ile yüksek kesme hızlarına ulaşılır. Böylece takım ömrü ve üretim hızı artırılarak ekonomiklik sağlanır. Takım malzemeleri üç ana grupta toplanabilir:

Metal esaslı, karbür esaslı ve seramik esaslı takım malzemeler. Günümüzde yaygın olarak kullanılan takım malzemeleri yüksek hız çelikleri ve sementit karbürlerdir. Yüzey kalitesinin iyileştirilmesi ve takım ömrünün artırılmasına yönelik çalışmalar sonucunda, kübik bor nitrür (CBN) ve elmas kaplanmış takımlar da kullanılmaya başlanmıştır [33]. Bir takım malzemesinde aranan özellikler şunlardır:

— Takım sadece oda sıcaklığında değil, kesme sıcaklıklarında da iş parçasının en sert bileşeninden daha sert olmalıdır.

— Takım geometrisinin bozulmasını önleyen yüksek kızıl sertlik, talaş işlemi prosesi sırasındaki ağır şartlar altında muhafaza edilmeli ve hatta aşınma direncine yardımcı olmalıdır.

— Aralıklı kesmede mekanik şoklara (darbeli yükleme) dayanacak toklukta olmalıdır,

— Aralıklı kesme işlemlerinde hızlı ısınma ve soğumalar meydana geldiği için yüksek termal şok direnci iyi olmalıdır.

— Lokalize kaynak teşekkülünü önlemek için iş parçasına karşı düşük yapışkanlık (iş parçası ile reaksiyona girmemelidir) özelliğine sahip olmalıdır.

— Takım bileşenlerinin iş parçasına difüzyonu, hızlı aşınmaya yol açar. Bu bakımdan takımın kimyasal kararlılığı iyi olmalıdır.

Düşük sertlik ve yapışma arzu edilmez. Zira bunlar takım profilinin bozulmasına yol açar, takım burnu yuvarlaklaşır. Uygun olmayan tokluk ve termal şok direnci takım ağzının talaşlanması ve hatta tamamen hasarına sebep olur. Ne var ki, malzemenin sertlik ve ısı direnci, ancak tokluğun azalması ile sağlanabilir [33].

Bu takım malzemelerin içyapıları, ömürleri, imalat şekilleri mekanik özelliklerine göre 8 grupta incelenir.

3.3.1. Karbonlu ve düşük alaşımlı takım çelikleri

Karbon çelikleri, kesici takım malzemesi olarak kullanılan en eski tip çeliklerdir. Karbon içerikleri %0.6-1.4 arasında değişmektedir. Düşük alaşımlı çeliklerde, kesme özelliklerini iyileştirmek amacıyla az miktarda krom (Cr), vanadyum (V), tungsten (W), molibden (Mo), mangan (Mn) gibi alaşım elementleri bulunmaktadır. Çelikler, tavlama şartlarında kolayca şekillendirilebilir ve takiben su verme ve temperleme ile sertleştirilir. Takım kesitinin tamamı martenzite dönüşmez, iç kısım tok ve yüksek şok direncine sahip olur. Karbon çeliklerinin sertliği martenzitik yapısından ileri gelir (58-64Rc). 250 °C üzerindeki sıcaklıklarda temperleme sonucu martenzit yumuşar; bu nedenle karbon çelikleri sadece ahşap gibi yumuşak malzemelerin işlenmesi için uygundur ve sadece düşük üretim hızlarında (10m/min) kullanılırlar. Karbon çeliklerinin en önemli avantajı, kolay işlenmesi ve ucuz olmasıdır. Ayrıca çalışma sıcaklıklarında (max. 200–250 °C) sertliklerini ve keskinliklerini korurlar [28, 33].

Düşük alaşımlı çeliklerin sertliği, su verme ve temperlemeden sonra yaklaşık 700 HV'dir. Temperlenmiş çeliğin mukavemeti, ince demir karbür partiküllerinden ileri gelmektedir. 350 °C'nin üzerinde demir karbür partikülleri hızla kabalaşarak çelik yumuşar ve aşınma direnci giderek azalır. Bu nedenle düşük kesme hızlarında kullanılmaktadır. Düşük alaşımlı çelikler hızlı aşınır, çünkü sert partiküllerin hacmi sadece %5 civarındadır. Genellikle bu sert partiküller en yumuşak karbürlerden biri olan Fe₃C esaslıdır. Bütün bu dezavantajlarından dolayı metallerin işlenmesinde sınırlı kullanım alanına sahiptir. Bununla birlikte ucuz olmalarından dolayı, karbon çeliklerinde olduğu gibi ağaç işleme takımlarında kullanılırlar [28, 33].

3.3.2. Yüksek hız çelikleri (YHÇ)

Yüksek hız çelikleri, oda ve yüksek sıcaklıklarda yüksek sertliği ve yüksek şok direnci sayesinde iyi performansıyla kesici takım malzemesi olarak kullanılmaktadır. Diğer takım malzemelerine oranla düşük maliyeti ve işlenebilme kabiliyeti nedeniyle kullanımı yaygındır. Yüksek hız çelikleri önemli miktarda W, Mo, V ve Cr gibi karbür yapıcı elementlerle alaşımlandırılmıştır [33].

Yüksek hız çelikleri, yüksek alaşımlı asal çelikler olup 600 °C sıcaklıklara kadar sertliklerini muhafaza ettiklerinden yüksek kesme hızlarında talaşlı imalatta kullanılan kesici takımlardır. Bu çelikler ihtiva ettikleri ana elemente göre iki ana gruba ayrılırlar. Molibdenli yüksek hız çelikleri (AISI M grubu: %0.8 C, %0.4 Cr, %5-8 Mo, %0-6 W ve % 1-2 V) ve tungstenli yüksek hız çelikleri (AISI T grubu: %0.7 C, %4 Cr, %18 W ve %1 V). Üretilen bütün yüksek hız çeliklerinin büyük çoğunluğunu (ABD’de %95’ini) M grubu çelikler oluşturmaktadır. M grubu çeliklerin başlangıç maliyeti benzer T grubu çelikten %40 daha düşüktür. Ayrıca M grubu yüksek hız çelikleri daha yüksek abrasif dirence sahiptir [28, 33].

3.3.3. Seramikler

Metal işleme teknolojisinin gelişmesi ile işleme hızlarının artması daha uzun ömürlü (yüksek hızlarda çalışan) ve iş parçası ile etkileşmesi en aza indirilmiş takım malzemesi arayışlarını hızlandırmıştır. Seramik malzemeler, tokluk dezavantajlarına karşılık yüksek sıcaklıklardaki mekanik ve kimyasal kararlılıkları ile özellikle sürekli çalışan takımlar olarak kullanım alanı bulmaktadırlar [33].

Seramik kesiciler, yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklı olan inorganik, metal olmayan malzemelerdir. Seramik kesicilerin kullanım alanları katkılı seramiklerin ve seramik matrisli kompozitlerin ortaya çıkmasıyla artmaya başlamıştır. Seramik kesicilerin esasını alüminyum oksit (Al_2O_3) oluşturmaktadır. Bunun yanında magnezyum (MgO), yitrium oksit (Y_2O_3), zirkonyum oksit (ZrO), krom oksit (CrO) gibi malzemeler, farklı özellikteki seramiklerin elde edilmesinde kullanılmaktadır.

3.3.4. Elmaslar

Elmas, karbonun tetrahedral formu olup en sert ve çizilme direnci en yüksek malzeme olarak bilinir. Bu özellikler elması takım malzemesi olarak çekici kılar.

Ne var ki, endüstriyel alanda kullanılan doğal tek kristal elmasın küçük miktarları bile oldukça pahalıdır. Ayrıca elmas çok gevrekler. Elmas 650 °C’de hızla okside olmaya başlar ve atmosferik basınçta 1500 °C’nin üzerindeki sıcaklıklarda tekrar grafitte dönüşür [33].

Doğal elmasın tahmin edilemeyen erken hasara uğramasına karşılık, üretilmiş tek kristaller daha güvenilir performans sergilemektedir. Son zamanlarda, çok kristalli takım uçlar kendiliğinden sinterlenen yuvalar içinde veya bir karbür altlık üzerine sinterlenmiş 0.5 mm kalınlıkta tabakalar olarak kullanılmaya başlamıştır [33].

Elmas kesiciler genellikle demir içermeyen metaller ve metal olmayan malzemelerin işlenmesinde başarılı olarak kullanılmaktadır. Metalik malzemeler olarak; alüminyum, duralüminyum, magnezyum gibi hafif metaller; bakır, çinko, çinko alaşımları gibi yumuşak malzemeler, bronz ve kurşun alaşımları ile beyaz metal olarak adlandırılan yatak malzemeleridir. Elmasla işlenen metal olmayan malzemelerin bazıları ise sert ve yumuşak kauçuk, her çeşit plastik, grafit, karbon ve seramik malzemelerdir [28].

3.3.5. Kübik bor nitrürler (CBN)

Yüksek sıcaklık ve aşırı yüksek basınç altında sinterlenerek oluşturulmuş bu malzemeler, elmastan sonra en yüksek sertlik değerine sahiptir. Küçük miktardaki seramik veya metal bağlayıcı ile %100 yoğunluktaki bor nitrür karıştırılır. Kübik bor nitrürün sertliği, sıcaklık artışı ile azalmaktadır. Elmasla karşılaştırıldığında kübik bor nitrürün en önemli avantajı, demir veya diğer metaller ile temasında veya havada yüksek sıcaklıkta sahip olduğu çok yüksek kararlılığıdır.

Çok kristalli kübik bor nitrür endüstriyel alanda son birkaç yıldır kullanım alanı bulmaktadır. Demir içerikli malzemeler ile reaksiyon direnci ve mükemmel aşınma direnci ile kombine edilen kübik bor nitrür, diğer takım malzemelerden daha yüksek sıcaklıklarda ve daha yüksek hızlarda sert malzemelerin işlenmesinde kullanılmaktadır. Özellikle, elmasın kullanılamadığı yüksek hızlarda sert dökme

demir ve sertleştirilmiş çeliğin kesimi için kullanılmaktadır. Ayrıca, süperalaşımlar (nikel ve kobalt esaslı), kübik bor nitrür kompozit kesici takımlarla, sementit karbürlerden çok daha yüksek hızlarda işlenebilmektedir [28, 33].

3.3.6. Sert metalller

Sert metalller, toz metalürji tekniği ile üretilir. Aşınmaya dirençli, yüksek sıcaklığa dayanıklı malzeme sınıfından olup, sert karbür parçacıkların yumuşak ve sünek metalllerle birleştirilmesiyle üretilir. Genellikle tungsten ve karbon tozları ile kobaltın, ergime noktası altında sinterlenmesiyle elde edilir. Değişik tipli takım elde etmek için metal olarak, titanyum, tantalum ve niobyum kullanılır. Üretimleri; karıştırma, sıkıştırma, ön sinterleme ve sinterleme aşamalarından oluşur [28].

Yapılan araştırmalar, sinterlenmiş karbürli takımların TiC, TiN ve Al₂O₃ gibi malzemelerle değişik metotlarda kaplanmasıyla daha iyi kesme yapılabildiğini göstermiştir. Kaplanmış karbür uçlar, daha iyi takım ömrü, daha fazla üretim artışı, daha kolay talaş akmasını sağlamaktadır. Kesme kuvvetlerini, aşınmayı, oluşan ısıyı büyük oranda azaltmaktadır. Bu özellikler daha kaliteli yüzey ve daha yüksek kesme hızı istendiğinde büyük avantaj sağlar [28].

Sinterlenmiş karbürler, delme işlemlerinde, raybalamada, planyalamada, frezelemede ve özelliklede tornada kesici takım olarak kullanılmaktadır. Kaplamalı takımlarda yine frezeleme ve tornalamada sıkça kullanılmaktadır. Ancak PVD'li kaplamalarla özellikle, freze kesicileri, yüksek sıcaklık alaşımları ve paslanmaz çelikler gibi işlenmesi güç olan malzemelerin işlenmesinde başarılı şekilde kullanılmaktadır [28].

3.4. Kesici Takım Kaplama Yöntemleri

Teknolojinin hızla ilerlediği günümüzde kesici takımların kesme ömürlerini uzatmak ve performanslarını arttırmak için, üretilen parçaların maliyetinin en az olmasının da bir gereği olarak kesici takımların aşınmaya ve/veya korozyona maruz kalan tüm

yüzeylerin kaplanması çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu kaplama yöntemleri malzemelerin bulunduğu fiziksel hale göre değişmektedir [34].

İnce sert kaplamalar yüzey mühendisliğinde malzemelerin yorulması açısından da önemlidir. Yorulma olayında çatlak oluşumu genelde yüzeyde başlar. Yüzeyde başlayan yorulma çatlakları genelde çentik etkisi gösterir. Bu da gerilme konsantrasyonuna ve sonunda çatlakların hızla ilerlemesine yol açar. Bu nedenle malzemenin yorulma dayanımı yüzey özelliklerinin geliştirilmesi ile artırılır. Yüzey özelliklerinin geliştirilmesi ile de yüzey çatlaklarının oluşumu engellenmiş olur. Kullanılan malzemenin yüzeyinde yorulma dayanımını artırıcı yüzey tabakasını oluşturmak iki farklı yöntem ile sağlanabilir. Bunlardan birincisi malzeme üzerindeki mikro yapının ve kompozisyonun kimyasal ve termokimyasal ısı işlem ve mekanik işlemle değiştirilmesidir. İkinci yöntem ise yüzeyin farklı bir metal malzeme ile kaplanmasıdır. Son yıllarda ana malzeme yüzeylerinin ince sert filmlerle kaplanmasıyla yüzey özelliklerinin geliştirilmesi sağlanabilmektedir. Bu tür kaplamalarda genellikle CVD ve PVD yöntemleri kullanılmaktadır. CVD yöntemi yüksek sıcaklıkta buharlaştırılan bir metalin kaplanacak bir metal üzerine taşınması ve kimyasal bir bağla biriktirilmesidir. PVD yöntemi ise vakum altında buharlaştırılan bir metalin herhangi bir kimyasal reaksiyona izin vermeden ana malzeme üzerine biriktirilmesidir. Bu yöntemle üretilen ince filmlerin üstün özellikleri malzemenin yüzey özelliklerini önemli derecede geliştirmektedir. Kaplanan malzemenin yüzeyindeki bu önemli gelişmeler aşağıdaki gibi tanımlanabilir;

- * Yüksek sertlik
- * Yüksek aşınma direnci
- * Yüksek korozyon direnci
- * Kimyasal kararlılık
- * Erozyon aşınmalarına direnç [34].

3.4.1. CVD (Kimyasal Buhar Biriktirme) yöntemi

CVD, buhar fazındaki kaplama malzemesinin çok sayıda kimyasal işlemlerden geçirilerek ön ısıtmalı levha üzerine biriktirilmesi olarak tanımlanabilir. CVD sürecinin temeline genellikle gaz fazında olan kimyasal tepkimelerin katı ürünleri kaplanacak ana malzeme üzerinde biriktirilmesiyle oluşturulur. Dolayısıyla malzeme yüzeyinde çok özel nitelikli, çok ince sert tabakalar oluşturulmuş olur [34].

CVD, prensip olarak 20. yüzyılın başında biliniyordu. Fakat 1940 ve 1950 yıllarına kadar bu metotla ilgili herhangi bir üretime başlanamamıştır. İlk çalışma olarak ABD’de Battelle Memorial Enstitüsü’nde değişik metallerin karbürlerini, nitrürlerini ve oksitlerini borürlerle kaplayarak kullanılabildikleri gösterilmiştir. Bazı çalışmalarda metallerin üzerinden çok küçük aralıklarla temas ettirilen uygun gazın geçirilmesiyle veya indüksiyon akımıyla ısıtılmış tellerle (genelde tungsten teller) metale ısı uygulanır ve gaz geçirilir.

Campbell tarafından birçok çeşitli reaksiyonlar denenmiş ve metotların indirgenmesiyle ilgili birçok uygulamalar yapılmış ve bulunmuştur. CVD kaplama metodunun temelini, genellikle gaz fazında olan kimyasal tepkimelerin katı ürünlerinin kaplanacak olan ana malzeme üzerine biriktirilmesi oluşturur.

CVD yöntemiyle katı fazın yanında sıvı faz da kaplama malzemesi olarak kullanılır. Bu kimyasal reaksiyonların oluşması için 1000 °C sıcaklığında 5-15 µm kalınlıklar için 5-6 saat gerekir. Reaksiyon sıcaklığının artmasıyla endotermik reaksiyonda da artma meydana gelir [34].

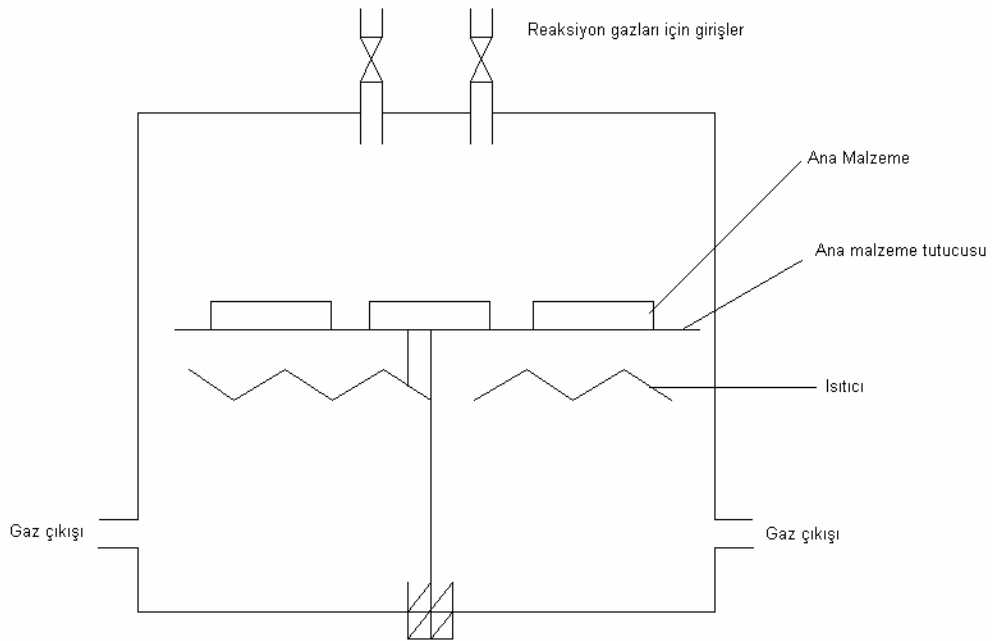
Kimyasal buhar biriktirme yönteminde ortama gaz halinde verilen kaplama malzemesi ana malzeme yüzeyinde biriktirilir. Kplama malzemesi genelde klorür, florür, borür veya iyodür halindedir. Redükleyici olarak kullanılan gaz ise hidrojen gazıdır. Kimyasal reaksiyon sonucu çıkan ikinci gaz ise gaz halindedir ve vakum odasından uzaklaştırılır [34].

Kimyasal yolla buharlaştırma işlemleri grup halinde üretim yöntemlerine sahiptir. Kimyasal buharlaştırmayla katman oluşturmak iş parçalarının kaplanması kapalı odalarda reaksiyon içinde bırakılarak yapılır. Çok katlı tabakalar oluşturmak için heterojen reaksiyonların geliştirilmesi ve direkt olarak ana malzeme üzerine gönderilmesi gerekir. Bu arada gaz içinde toz yoğunlaşmalarının önüne geçilmesi gerekir [34].

Kimyasal reaksiyon başlatılmadan ana malzeme sıcaklığı yükseltilir. Bu işlem düşük basınçta ya DC (doğru akım) ya da RF (radyo frekansı) plazma ışın, ya da ana malzeme yüzeyini katalitik etkilerle ısıtma şeklinde olabilir.

CVD'nin üretim metotlarına baktığımız zaman beş farklı teknik görebiliriz.

- * Atmosferik basınçta CVD,
- * Yüksek sıcaklıkta CVD,
- * Düşük sıcaklıkta CVD,
- * Plazma destekli CVD,
- * Foton destekli CVD.



Şekil 3.3. CVD Sisteminin şematik gösterimi [34]

3.4.2. PVD (Fiziksel buhar biriktirme) yöntemi

PVD yönteminin diğerlerine nispeten daha düşük işlem sıcaklıklarında yapılabilmesi ve geniş kaplama kalınlık aralıklarında kaplamaların elde edilmesi, PVD yöntemine daha geniş kullanım alanları sunmaktadır. PVD yönteminin ilk uygulaması, Faraday'ın 1850 yılında metalleri vakum altında buharlaştırarak ürettiği kaplamalar olarak kabul edilebilir. Kundt ise 1888 yılında, bu yöntemi kullanılarak üretilmiş ince filmlerin yansıtma özellikleri üzerine bazı çalışmalar yapmıştır. Daha sonraki yıllarda ise, ince metalik film tabakaların kinetiği, gazların difüzyonu ve gaz-metal reaksiyonları üzerine bir takım araştırmalarda bulunulmuştur.

Vakum teknolojisinde sağlanan gelişmeler sonucunda ise, II. Dünya Savaşı sırasında PVD tekniği endüstriyel olarak kullanılmaya başlanmıştır. Daha çok, başlangıçta dekoratif amaçlı yapılan kaplamalarda kullanılan PVD yönteminin takım ömürlerinin arttırılmasında oldukça nadir durumlarda kullanılması söz konusu idi. Yüksek hız takım çeliklerinin PVD yöntemi ile kaplanması kullanım açısından oldukça sınırlı kalmıştır. Bunun gerçekleşmesi üretim mühendisleri ve takım üreticileri için oldukça uzun yıllar almıştır. Kesme ve şekil verme takımlarının PVD yöntemi ile kaplanması 70'li yılların ortasında başlamış ve 1980 yılında Mitsubishi tarafından dişli kesme takımlarında yapıldığı gibi Balzers ve Gühring tarafından burgu delicilerin TiN ile kaplanması geliştirilmiş ve kaplama yapılarak endüstrinin hizmetine girmiştir. O zamandan beri PVD kaplamalar iki esas doğrultuda yapılmaktadır;

- a) Sertliğin iyileştirilmesi,
- b) Termal direncin iyileştirilmesi [34].

Şimdilerde ise değişik PVD kaplama yöntemleri ile farklı tiplerdeki kaplama-altyapı malzeme bağları gibi çok değişik kaplama yapıları elde edilebilmektedir. Metal ve plastik endüstrisinde farklı birçok işlemler kullanılmaktadır. Bunlar; kesme, şekil verme, zımbalama ve plastik enjeksiyon kalıplamadır. Ancak, bu işlemler için bir takım eksiklikler söz konusudur. TiN adhesif aşınmayı azaltıcı yönde iyidir; fakat

bütün çalışma malzemeleri için geçerli değildir. (Ti,Al)N oksidasyon direnci gerektiren yerlerde daha iyi kullanım imkanı vermektedir. Aşınmanın söz konusu olduğu, ya da tok malzemelerin istenmediği yerlerde Ti(C,N) kaplamalar daha iyi özelliklere sahiptir. Daha kalın bir kaplamaya ihtiyaç varsa korozyon direnci için CrN kaplamalar kullanılabilir. PVD ile üretilmiş nitrit esaslı sert kaplamalar, özellikle TiN ve son zamanlarda CrN tabakalar kesme ömürlerini uzatmak ve performanslarını geliştirmek için kullanılmaktadırlar [34].

İmalatta kullanılan kesici takımlara yönelik PVD uygulamalarında temel olarak iki PVD tekniği kullanılmaktadır. Bu iki yöntem kaplama malzemesinin buhar fazına geçirilmesindeki farklılığa dayanmaktadır.

Birinci yöntem; inert bir gazın vakum altında manyetik alanda yüklenerek hızlandırılması; kaplama malzemesinin (örneğin Titanyum) üzerine çarpması ve buradan atom -iyon koparması esasına dayanan sıçratma (Magnetron Sputtering) tekniğidir [34].

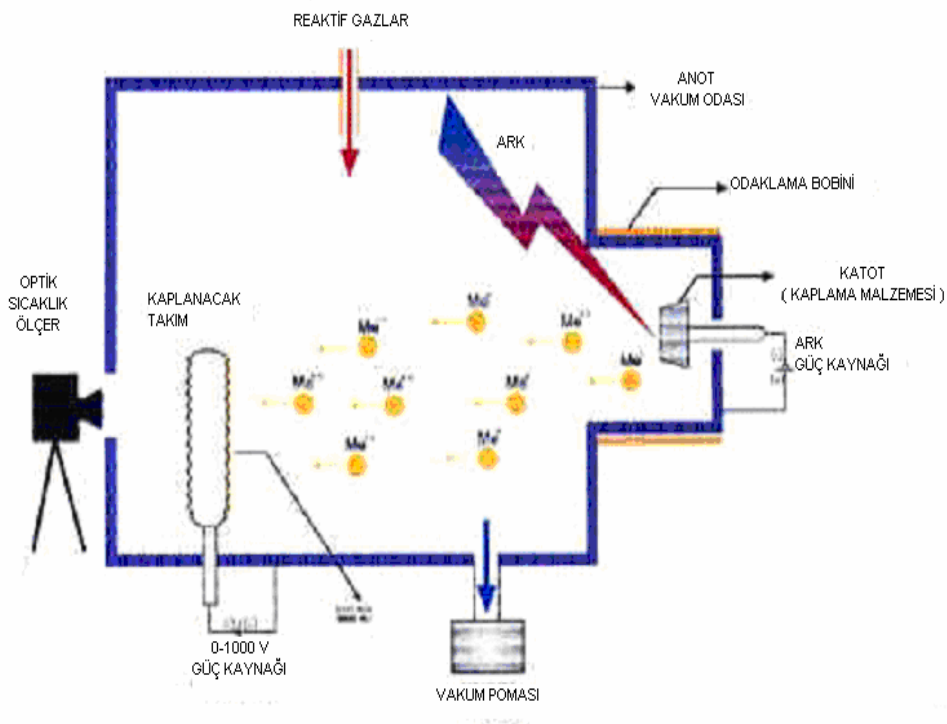
Diğeri ise buhar fazına geçişin sıçratma ile değil; kaplama malzemesi üzerine DC akım ile ark oluşturularak malzemenin buharlaştırılması ve iyonize edilmesi esasına dayanan Ark PVD tekniğidir. ARK PVD yönteminde kaplama malzemesinin iyonizasyonu daha yüksek olduğundan kaplamanın takım üzerine yapışma özellikleri daha iyidir. Bu nedenle performans daha yüksektir.

Kaplama yapışmaları genellikle ana malzeme sıcaklığının yüksek olmasına bağlıdır. Fakat yüksek sıcaklık ana malzeme üzerinde istenmeyen durumlara da neden olmaktadır. Burada önemli olan ana malzemenin yapısıdır. Eğer ana malzeme çelik ise kaplamada PVD yöntemlerinin kullanılmasını en önemli nedenlerinden birisi yüksek sıcaklığın ana malzemedeki sertliğin azalmasına neden olmasıdır.

Şekil 3.4’de magnetik odaklamalı ark PVD sistemi şematik olarak gösterilmektedir. Kaplama malzemesi temizlenerek vakum odasına yerleştirilir. Daha sonra yüksek vakum değerlerine (10^{-3} - 10^{-6} Torr) ulaşılan kadar oda içerisindeki hava çekilir.

Yüksek saflıktaki kaplama malzemesi (Titanyum; Krom vb.) üzerinde bir DC güç kaynağı ile ark oluşturulur. Ark ile oluşan noktasal yüksek sıcaklık ile metal buharlaşır; aynı zamanda iyonize olur. Metal iyonları ortama verilen reaktif gazlarla birlikte (N_2 vb.) plazma oluşturur.

Kaplama uygulanacak taban malzemeye de (takım-kalıp vb.) 0–1000 V arası negatif bir BIAS hızlandırma voltajı uygulanır. Pozitif yüklü plazma negatif yüklü taban malzeme üzerine biriktirilir.



Şekil 3.4. Ark PVD Sisteminin şematik gösterimi

3.4.3. DVD (Doğrudan buhar biriktirme) yöntemi

DVD sistemi; zengin malzeme çeşidiyle kaplama yapılabilen, hızlı, etkili ve az kirlilik üreten bir metot kullanarak, kırılman elementler, bileşimler ve alaşımlar ile karmaşık şekiller üzerine kaplama yapabilen, küçük alana sahip yüzeylerde bile yüksek performanslı kalın ve ince film katmanların oluşturulmasını sağlamak için tasarlanmış son zamanlarda geliştirilen, ışına dayalı bir elektron buharlaşma

teknolojisi. E-ışın (Elektron-Işın) teknolojisinden yola çıkılarak DVD sistemiyle en etkili kaplamanın oluşturulabilmesi amaçlanmıştır. Böyle bir durumda buharlaştırma elamanı olarak E-Işın sisteminin DVD’de kullanılabilir olduğu görülmüştür. DVD süreci silindir şeklindeki bir ağızlığın ortasına yerleştirilen çubuk destekli bir potadan metallerin E-Işın ile yüksek oranda buharlaşmasıyla karakterize edilmektedir. Ağızlık içinden geçen taşıyıcı bir gaz akımı, buhar parçacıklarını yüksek verimle iş parçası alt tabakalarına kadar odaklama ile iletebilen süpersonik bir püskürtme meydana getirir ve bu püskürtme sayesinde kuvvetli bir kaplama oluşturur. DVD teknoloji tekniği, işlem sürecindeki bazı temel nitelikleri endüstriyel açıdan verimli olacak şekilde bir sistemde birleştirme gereksiniminden meydana çıkmıştır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 1) Çok yüksek oranda buhar birikimi,
- 2) Yüksek oranda zengin kaplama malzemesi kullanma verimliliği (100 cm^2 ’lik alanlarda kullanım ve verimlilik diğer kaplama teknolojilerinin en az üç katıdır.),
- 3) Kaplamanın atom yapısının tam kontrolü [34].

3.5. Takım Aşınması

Bütün kesici takımlar talaş kaldırma işlemi sırasında aşınır ve bu aşınma, kesici takım ömrünü tamamlayıncaya kadar devam eder [36]. Kesici takım ucunun bozulması genellikle aynı anda çok farklı aşınma mekanizması tarafından etkilendiği için çok karmaşık bir olaydır [28].

Bir bitirme işleminde kullanılan değiştirilebilir ucun kesici kenarı, artık istenilen yüzey hassasiyetini sağlayamıyorsa aşınmış demektir. Ucun değiştirilmesi için çok büyük bir aşınma gerekli değildir. Takım uç radyüsünde çok küçük bir parça boyunca oluşacak aşınma, takımın değiştirilmesini gerektirebilir.

Takım aşınması kesici kenar üzerindeki yük faktörlerinin etkisi altındadır. Kesici kenar ömrü, takım geometrisini değiştirmeye çalışan çeşitli yüklerle belirlenir. Aşınma, takım-iş parçası-işleme şartları arasındaki etkileşimin bir sonucudur.

Temel yük faktörleri;

- 1- Mekaniksel
- 2- Termal
- 3- Kimyasal
- 4- Aşındırıcı

Mekanik yüklerin statik bileşenlerinden başka, talaş şekillendirme sürecinin kendisinden oluşan çeşitli dinamik yükler de söz konusudur. Bunların en önemlileri değişen kesme derinliğinden, kesintili işlemeden kaynaklananlar ve frezelemede görünenlerdir.

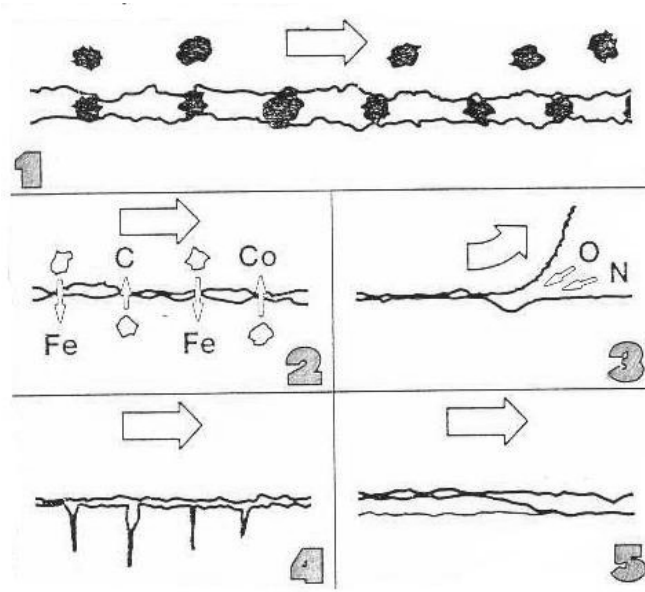
Talaş kaldırma işlemi, talaş yüzeyinde ve kesici ucun yan kenarında çok miktarda ısı oluşmasına sebep olur. Termal (ısı) yük; önemli ölçüde takım malzemesi üzerinde ve frezelemede olduğu gibi bazı işlemlerde, kesici kenarlar iş parçasından ayrılırken ve tekrar girerken ortaya çıkan dinamik bir faktördür.

Talaş oluşumunun biçimlenme süreci, devamlı olarak yeni bir metal ara yüzeyi oluşturması anlamı taşır ve talaş biçimlendirmesi sırasında, takım boyunca hayli yüksek sıcaklık ve basınçta zorlamalar vardır. Oluşan yüzeyler metallerin kimyasal reaksiyonları ve difüzyon için oldukça uygun bir ortam hazırlar.

Pek çok iş parçası malzemesinin işlenmesi sırasında, sertlikleri takım malzemesi ile karşılaştırılabilecek kadar yüksek çeşitli tipte oldukça sert parçacıklar görülür. Bu parçacıklar takım üzerinde, taşlamadan daha çok aşınma etkisi yaratan bir sınır oluştururlar. Bu kalıntılar veya kabuk döküntüleri, malzeme miktarının çok büyük kısmını oluşturmaya bile, işleme sırasında tüm işlenecek malzemenin kesici kenardan geçmesiyle bir aşınma görülür.

Talaş kaldırma sırasında kesici kenar üzerindeki yük faktörlerinin bir sonucu olarak, bazı temel aşınma mekanizmaları metalden talaş kaldırma işlemine etki eder. Bunlar;

- 1- Abresiv (aşındırıcılarla) aşınma
- 2- Difüzyon aşınma
- 3- Oksidasyon aşınması
- 4- Yorulma ile aşınma (statik ve dinamik)
- 5- Yapışma ile (adhesiv) aşınma



Şekil 3.5. Temel aşınma mekanizmaları [36]

Abrasyon aşınma çok yaygındır ve aşınmaya çoğunlukla iş parçası malzemesinin sert parçacıkları sebep olur. Bu parçacıklar iş parçası yüzeyi ile takım arasına geldiği zaman taşlama işlemine benzer bir durum oluşur. Kesici kenarın yan yüzeyinde aşınmaya sebep olan uç üzerindeki mekanik yüklerin bir sonucudur. Abrasiv aşınma takım talaş yüzeyinde krater oluşmasına sebep olur.

Difüzyon aşınmasında, talaş kaldırma sırasında oluşan kimyasal yükler daha etkilidir. Takım malzemesinin kimyasal özellikleri ve takım malzemesinin iş parçası malzemesine olan birleşme eğilimi difüzyon aşınma mekanizmasının oluşumunu belirleyecektir. Malzemeler arasındaki metalürjik ilişki aşınmanın büyüklüğünü tayin eder. Aşınma mekanizması daha çok yüksek sıcaklığa bağlıdır ve bu sebeple yüksek kesme hızlarında daha büyüktür.

Metallerin çoğu için yüksek sıcaklık ve havanın varlığı *oksidasyon* demektir. Bazı kesici takım malzemeleri oksidasyon sebebiyle aşınmaya diğerlerinden daha meyillidirler. Özellikle kenarla parçanın ara yüzeyinde, talaş genişliğinin bittiği yerde hava talaş kaldırma sürecine katılma imkanı elde eder. Oksidasyon bu bölgede kesici kenarda tipik çentiklerin oluşmasına sebep olur. Ancak bu tür aşınma günümüzün işleme şartlarında yaygın olmayan bir durumdur.

Yorulma ile aşınma sıcaklık dalgalanmaları ve kesme kuvvetlerinin yüklenmesi ve kaldırılması, kesici kenarda çatlaklara ve kırılmalara sebep olur. Bu durum sert veya işlenmesi zor malzemelerin, oldukça yüksek ilerleme değerleri ile işlenmesinden veya takım malzemelerinin çok sert olmasından kaynaklanabilir. Bununla birlikte bazı durumlarda plastik deformasyonun hakimiyeti de söz konusudur.

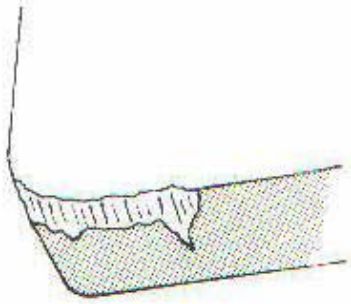
Adhezyon aşınması ise, takımın talaş yüzeyinde daha çok düşük işleme sıcaklıklarında oluşur. Uzun ve kısa talaş veren iş malzemelerinin (çelik, alüminyum, dökme demir gibi) hepsinde söz konusu olabilir. Bu mekanizma genellikle kesici kenar ile talaş arasında kenarda yığılmış talaş (BUE) oluşmasına sebep olur. Deformasyonla sertleştirilmiş malzemeler, örneğin östenitik paslanmaz çelikler işlenirken, talaş derinliğinin maksimum sınırında bu aşınma mekanizması bölgesel aşınmanın hızlanmasına sebep olur. Bu durum en yaygın çentik aşınma tipi olarak görülür. Aşınma hızlanması takım malzemesi ile iş parçası malzemesi arasındaki kimyasal yakınlığa da bağlıdır.

3.5.1. Takım aşınma şekilleri

Kesici kenarın büyütülerek incelenmesi ve aşınma tipinin verdiği ipuçları doğrultusunda hareket etmek suretiyle kesici kenar için uygun bir takım ömrü kontrol edilebilir, arttırılabilir ve emniyetli hale getirilebilir. Toplam 9 adet aşınma tipi mevcuttur.

Yan kenar (yanak) aşınması

Kesici kenarın yan yüzeylerinde oluşan, genellikle abresiv aşınma mekanizmasından kaynaklanan bir aşınma tipidir. Bu aşınma tipi genel olarak normal kabul edilir. Sürekli artan bir yanak aşınması sağlamak en ideal durum olarak kabul edilir [36].



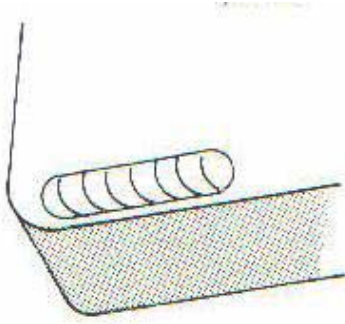
Şekil 3.6. Yan kenar aşınması [36]

Serbest yüzeyde aşınma çoğaldıkça, kesme kuvveti artacak, kesme sırasında oluşan ısı da artacağı için ortaya kötü bir yüzey kalitesi çıkacaktır. Bu yüzden yan kenar aşınmasının çabuk oluşmasından kaçınılmalıdır [36].

“Yan kenar aşınması, sert metal ucun sünekliğinden veya kesme hızının çok fazla olmasından kaynaklanabilir”. Aşınmaya mukavim, daha sert veya köşe radyüsü ve serbest açısı daha fazla bir sert metal uç kullanılması, ya da kesme hızının arttırılıp ilerlemenin düşürülmesi ve kesme sıvısı kullanılması aşınma oluşumunu geciktirebilmektedir [35, 36]

Krater aşınması

Krater aşınması veya çukur aşınma olarak bilinen aşınma tipi, talaş yüzeyinde abrasiv ve difüzyon aşınma mekanizmaları sebebiyle oluşur [36]. Kesme hızının artması ile ortaya çıkan ısı da artar. Bu durumda aşırı ısınmış talaş ile kesici ucu temas yüzeyi arasında bir difüzyon meydana gelir. Kesici uç krater şeklinde oyulur [36].



Şekil 3.7. Krater aşınması [36]

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

“Krater aşınması kesme hızının çok yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Önlenebilmesi için, kesme hızı ve ilerleme azaltılmalıdır, aşınmaya karşı daha dayanıklı bir kesici uç cinsi (alüminyum oksit kaplı) seçilmelidir ve pozitif bir uç geometrisi seçilmelidir” [36].

Plastik deformasyon



Şekil 3.8. Plastik deformasyon [36]

“Plastik deformasyon, kesici kenar üzerindeki yüksek basınç ve yüksek sıcaklık birleşiminin bir sonucu olarak ortaya çıkar. Eğer kesme kenarında yüksek kesme hızından dolayı, çok yüksek bir sıcaklık varsa, bu durum kesici uçta alçalma veya yükselme şeklinde deformasyon olayını meydana getirir.” Kesme hızını ve ilerlemeyi azaltmak, aşınmaya daha mukavim ve daha sert bir uç kullanmak problemin çözümü için uygulanabilir [36].

Termal çatlaklar



Şekil 3.9. Termal çatlak [36]

“Termal çatlaklar genellikle ısı değişimlerinden kaynaklanan yorulma aşınmasıdır. Özellikle frezelemede oluşan sıcaklık değişimleri bu tip aşınmanın oluşmasına sebep olur. Termal çatlaklar kesici kenara dik olarak gerçekleşir ve bu aradaki takım malzemesi kesici kenardan koparak ayrılabilir. Bu da takımın kırılma ihtimalini artırır ve kesici kenar bozulmasına sebep olur” [36]. Yüksek kesme hızında, büyük hacimde talaş kaldırılması da bu aşınma tipinin oluşmasında rol oynar. Aşınmaya daha mukavim (termal şoklara dayanıklı) kesici uç kalitesi seçilmesi, pozitif açılı takım kullanılması, kesici ucun köşe radyüsünün artırılması, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliklerinin azaltılması, bol ve sürekli soğutma uygulanması veya hiç uygulanmaması ile aşınmanın önüne geçilebilmektedir [35, 36].

Çentik aşınması

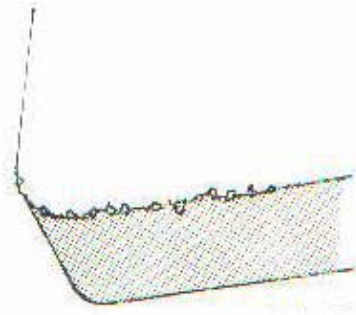


Şekil 3.10. Çentik aşınması [36]

“Yardımcı kesici kenarda oluşan çentik aşınması tipik bir adhezyon (yapışma) aşınması olmakla beraber oksidasyon aşınma mekanizması ile birlikte büyüyebilir”. Çentik, kesici kenar ile parça malzemesinin birleştiği yerde oluşur. Aşırı çentik aşınması, yüzey pürüzlülüğünü etkiler ve özellikle kesici kenarın dayanımını zayıflatır [36].

Çentikler genellikle yüksek ısıya mukavim malzemelerin işlenmesinde, aşındırıcı yüzey tabakaları sebebiyle veya daha önceki işleme sırasında sertleşmiş iş parçalarında ortaya çıkar. Kesme hızı ve ilerlemenin çok yüksek olduğunu gösterir. Önlemek için, yanaşma açısı (ayar açısı) mümkün olduğu kadar büyük seçilmelidir. Eğer kesme derinliği büyükse, sert metal ucun köşe radyüsü, kesme derinliğinin iki katı alınmalı ve kesme hızı ile ilerleme düşürülmelidir [36].

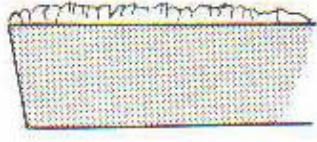
Çıtlama



Şekil 3.11. Çıtlamanın oluşumu [36]

“Kesici kenarda meydana gelen çentikler, aşınmadan ziyade kesici kenardaki küçük boyutlu kırılmalardır” [36]. Kesici kenardaki mekanik gerilmeler aşırı ise ve uç aşırı bir şekilde sıcaklık değişimlerine maruz kalıyorsa, ucun kesici kenarında küçük parçalar halinde kopmalar olacaktır. Önlemek için, daha sünek bir sert metal kalitesi seçilmesi, büyük köşe radyüsü kullanılması, kesme hızı ve ilerlemenin arttırılması, kesme derinliğinin arttırılması, daha rijit takım kullanılması, profil takım geometrisi seçilmesi gibi alternatifler denenmelidir.

Yığılma – Sıvanma (BUE)



Şekil 3.12 BUE oluşumu [36]

Kesici kenarda yığılma oluşması, genellikle sıcaklık ve sıcaklıkla ilişkili bir durum olan kesme hızının etkisiyle meydana gelir. BUE kesici kenar geometrisinde olumsuz bir değişikliğe sebep olur. Kesme hızı az olduğu zaman talaş kaldırma bölgesinde sıcaklık düşecek ve bundan dolayı kesme kenarında malzeme birikmesi olacaktır. Bu durum kesme kuvvetlerini arttırdığı gibi, kötü bir yüzey kalitesi elde edilmesine sebep olur [36].

Bu tip aşınmanın nedenleri, düşük kesme hızı ve ilerleme, negatif kesme geometrisi, bazı paslanmaz ve saf alüminyum gibi çok yapışkan (sünek) malzemelerin işlenmesidir. Kesme hızı artırılır, pozitif kesme geometrisi seçilirse BUE'nin önüne geçilmiş olur [36].

Mekanik yorulma kırılmaları



Şekil 3.13. Mekanik yorulmadan kaynaklanan kırılmalar [36]

Kesme kuvveti darbeleri aşırı olduğu zaman oluşur. İşleme sırasında kesme kuvvetlerinin etkisi ile sert metal uçlar mekanik şokların etkisi altına girer. Kesme

kuvvetlerinin değişmesi ve kesmenin büyümesi sırasında, kesme kenarında paralel çatlaklar meydana gelebilir. Uçlardaki kırılmalar çoğu zaman mekanik çatlakların çok kere tekrarlanmasıyla meydana gelebilir. Kesme sırasında kalın talaş çıkması, mekanik kırılmaların bir göstergesidir [36].

“Kesici kenardaki aşırı yük değişimleri ve ağır darbe veya titreşimle talaş kaldırmaya başlamak mekanik yorulma kırılmalarının sebepleridir. Daha tok özellikli bir uç seçmek, ilerleme değerini azaltmak, takım yanaşma şeklinin değiştirilmesi, rijitliğin artırılması bu tip kırılmaların önüne geçebilmektedir”[36].

Kırılma

Kırılma kesici kenar görevinin tamamen sona ermesidir. Kenar kırılması genellikle diğer aşınma tiplerinin en son noktasıdır. Bunun dışında çok gevrek kalitede uç kullanmak, uç üzerindeki aşırı yükler, çok zayıf uç geometrisi seçilmesi ve işlemede çok küçük ucun tercih edilmesi kırılmanın nedenleri arasındadır. Kırılmanın önüne geçebilmek için; ilerlemeyi ve talaş derinliğini azaltmak, daha sağlam (tercihen tek kesme kenarına sahip) bir uç seçmek, daha kalın ve daha geniş bir uç seçmek ve rijitliği arttırmak etkili olmaktadır.

3.5.1. Takım aşınmasının kontrolü

Bir takımın yararlı çalışma süresi, kesici ucun iş parçası üzerinde kaldığı toplam zamandır. Bu zaman zarfında uçta oluşan aşınmaların kontrol edilmesi ile takım ömrünün azalması, ölçülerde sapmaların meydana gelerek ölçü kontrolünü zorlaşması ve işlenmiş yüzeylerin bozuk çıkması engellemiş olur [36].

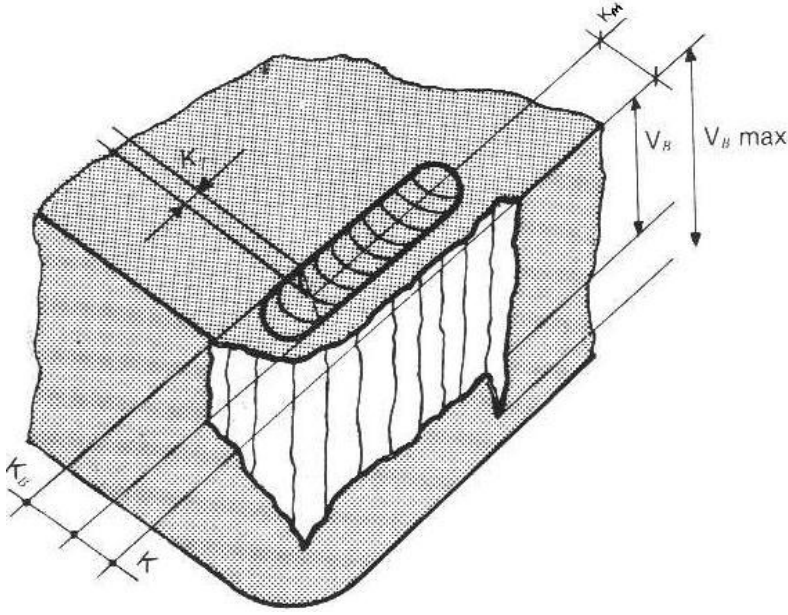
VBmax = Maksimum serbest yan yüzey aşınması

VB = Serbest yan yüzey aşınması

KT = Krater derinliği

KB = Krater genişliği

KM = Krater orta eksen mesafesi



Şekil 3.14. Takım aşınma kontrolünün yapılacağı bölgeler [36]

3.6. Yüzey Pürüzlülüğü

Frezeleme işlemlerinde çok iyi yüzey elde etmek mümkündür. Ancak bu sonuca varabilmek, bazı şartların eksiksiz yerine getirilmesine bağlıdır. Frezelenmiş bir yüzeyde, takımın bırakmış olduğu izlerin neticesinde düzensizlikler ortaya çıkmaktadır. Bu düzensizlikler pürüzlülük ve dalgalılık olarak tanımlanır [31].

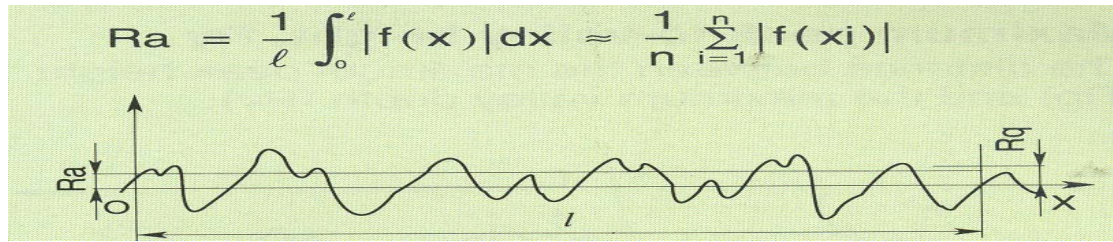
İşlenmiş yüzeylerde, işleme metodu ne olursa olsun yüzey pürüzlülüğünün oluşması kaçınılmazdır. İşleme metodu, kesicinin cinsi ve işlenen malzemeye bağlı olarak, talaş kaldırma sırasında fiziksel, kimyasal ve ısı faktörleriyle, kesen ve kesilen arasındaki mekanik hareketlerin de etkisiyle işlenmiş yüzeylerde, genellikle istenmediği halde izler oluşur. Nominal yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü denir [37].

Genel olarak frezelenen yüzeyde ölçülen pürüzlülük değerlerinin aritmetik ortalaması, pürüzlülük değeri olarak alınmaktadır ve (R_a) olarak gösterilmektedir. Kalite kontrol çalışanları genelde R_a değerini dikkate almaktadırlar.

Gerçekte, yüzey pürüzlülüğü yüzeye dik olan bir kesitte, belirli bir numune uzunluğu boyunca belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre belirlenmektedir. Ortalama profil çizgisi, bu çizginin altında ve üstünde kalan alanların toplamı birbirine eşit olacak şekilde seçilmelidir. Buna göre yüzey pürüzlülüğü; R_{max} , referans profiline göre en derin pürüzün değeri; R_p , referans profili ile ortalama profil çizgisi arasındaki mesafe, R_a 'da ortalama profil çizgisine göre pürüz yükseklik ve derinlik değerlerinin aritmetik ortalama değeri olarak ifade edilir.

R_t değeri, yüzey pürüzlülüğü hakkında kesin bir fikir vermez. Bu nedenle yüzey pürüzlülüğü R_a ve R_p değerleri ile ifade edilmektedir.

Aritmetik ortalama, ortalama çizgiden (merkez çizgisinden) profil sapmasının mutlak değeridir.

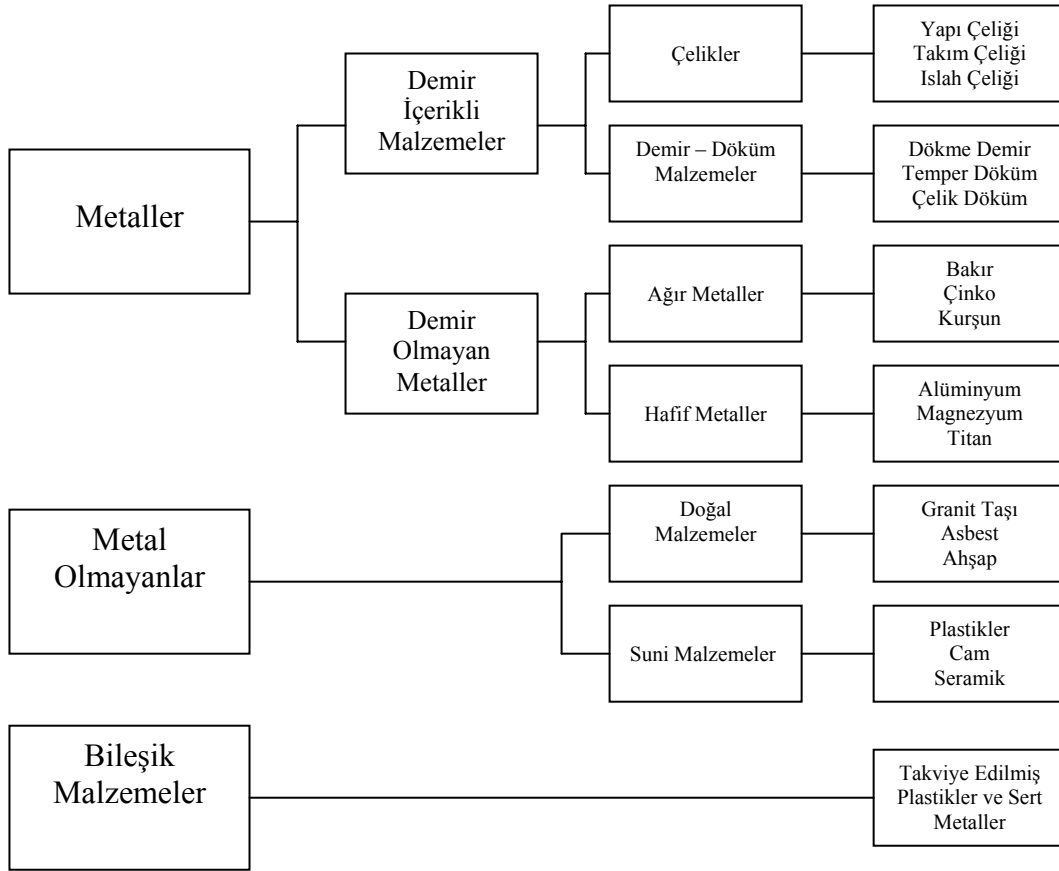


Şekil 3.15. Ortalama Pürüzlülük, R_a

3.7. Malzeme Teknolojisi

Malzemeler yer yer farklı niteliklere sahiptir. Dolayısıyla belirli bir makine elemanı için, kendi görevini iyi ve sürekli olarak yerine getirebilecek şekilde bir seçim yapılır. Matkap sert takım çeliğinden, lehim levhası iyi ısı iletim kabiliyeti olan bakırdan, el matkap makinesinin gövdesi akımı izole eden plastik malzemelerden, şanzıman mili yüksek dayanımlı ıslah çeliğinde ve takım tezgahı gövdesi titreşimleri absorbe eden dökme demirden yapılır [38].

Malzemelerin türleri hakkında bir özet bilgi elde etmek için, kimyasal yapılarına veya ortak niteliklerine göre gruplar halinde düzenlenmişlerdir [38].



Şekil 3.16. Malzemelerin malzeme gurupları halinde sınıflandırılması [38]

Çelikler, dayanımı yüksek olan demir esaslı malzemelerdir. Çeliklerden öncelikle, kuvvetleri üstüne almaya (karşılamaya) ve aktarmaya mecbur kalan makine parçaları yapılır. Saplamlar ve dişli çarklar bunlara örnek olarak verilebilir.

Demir – döküm malzemelerin bazıları titreşim sönümleyici (absorbe edici) özellikler gösterir. Bunlar, zor şekilli makine parçalarının, döküm yapılarak en iyi şekilde üretilmesinde ağırlıklı olarak kullanılır. Makine gövdeleri örnek olarak verilebilir.

Ağır metaller; örneğin bakır, çinko, krom, nikel, kurşun ve benzeri malzemelerdir. Genel olarak özel, malzemeye ilişkin tipik niteliklerinden dolayı kullanılır. İyi elektrik iletkenliğinden dolayı sargı telleri olarak bakırın kullanılması, korozyon dayanımından dolayı çelik parçaların kaplanması çinko, krom ve nikelin kullanılması buna örnek olarak verilebilir.

Alüminyum, titanyum ve magnezyum hafif metallerdir. Bağlı olarak hafif olan metaller yüksek dayanıma sahiptir. Bunların ana kullanım yerleri binek taşıtlar için düşünülürse uçaklar için hafif makine parçalarıdır.

Sert kaya taşı örneğin granit veya ahşap gibi doğada mevcut bulunan maddelerdir. Bunlar özel maksatlar için örneğin bir kontrol masasının plakası, granit pleyt olarak kullanılır.

Suni malzemeler olarak da plastik malzemelerin büyük bir çoğunluğu ile seramikler gösterilebilir. Plastik malzemeler hafif, elektriği izole eden ve yumuşak olanından sert olanına kadar çeşitli cinslerde katı halde yapılmış durumdadır. Bu malzemelerin kullanılması tekerlek lastiğinden şanzıman yapı parçalarına kadar çok çeşitli alanlara yayılmıştır.

Karışım (kompozit) malzemeler, birçok malzemedan bir araya gelmiştir ve bir malzemenin olumlu özelliklerini diğer bir malzemeyle birleştirir. Örneğin cam elyaf takviyeli plastikler, cam elyaf gibi mukavim ve plastik gibi hafiftirler.

3.7.1. Çelikler

Çelik, egemen elementleri demir ve karbon olan alaşımdır [40]. Ham demir %3 ila %5 karbonun yanı sıra arzu edilmeyen ve çok yüksek miktarda demirle iç içe olan elementleri (silisyum, mangan, kükürt ve fosfor) içerir. Ham demirin ve demir süngerinin çeliğe dönüştürülmesinde karbon oranının düşürülmesi ve istenmeyen maddelerin hemen hemen tamamının ayrıştırılması gerekir. Bu olaya tasfiye (dışlama) denir. Tasfiye işleminden sonra çelik son bir ısıtma işleminden daha geçirilir [38].

Yüksek karbonlu çeliklerde, sertleştirme ve menevişlemeden sonra yapıda artık karbon bulundurulabilir. Bu durumda sertleştirilmiş martenzit ile sert karbürlerin birleşiminden daha yüksek aşınma dirençli bir gereç üretilmiş olur. Tungsten, krom, vanadyum ve molibdenle demirdekenden daha sert karbürler elde edilir. Böylece

yüksek karbonlu çeliklerin öz sertliği yükseltilmiş olur. Bu yüksek karbonlu çeliklerin üretilmesinin temelidir [39].

Paslanmaz çelikler

Paslanmaz çelikler ise, yüksek alaşımlı çeliklerin bir bölümüne verilen addır. Paslanmaz çelikler önemli oranda krom içerirler. Bu gerecin koruyucu özelliği, açık yüzeyinde çabucak oluşan krom oksit filminin, daha sonraki oksitlenmeleri önlemesinden ileri gelir [31].

Paslanmaz çelikler bazı korozyon faktörlerine karşı temiz kalmak, parlaklıklarını korumak ve yüzeylerinde pitler oluşturmaması gibi üstün özellikler gösterirler. Fakat diğer bazı faktörlere karşı da gösterdikleri mukavemet bakımından adi çeliklerden farksız olup, hatta daha az dayanıklıdır. Korozyona karşı en az mukavemeti %12 Cr içeren paslanmaz çelik gösterir. Krom elemanı metal yüzeyinde gayet ince, gümüşü ve sıkıca yapışan bir krom oksit filmi oluşturmak suretiyle çeliğin paslanmazlığını sağlar. Yani, bu ince krom oksit tabakası oksidasyon ve korozyonun daha içerilere işlemesini önleyen bir engel teşkil eder [31, 40].

Diğer bazı alaşım elemanlarına rağmen paslanmaz çelik bir demir, nikel ve krom alaşımıdır ve kullanma alanı gün geçtikçe gelişmekte, her geçen gün biraz daha fazla önem kazanmaktadır. Bugün uzay endüstrisinden tıp dalına kadar geniş bir kullanım alanı vardır [40].

Paslanmaz çelikte, korozyona ve oksidasyona karşı mukavemeti artıran alaşım elemanı kromdur. Kromun çeliğe diğer bir etkisi de, çeliklerin ısı altındaki dayanıklılıklarını büyük çapta artırmasıdır. Krom çeliğin yüksek sıcaklıktaki oksidasyona karşı dayanıklılığını artırır. Alaşım elemanlarından nikel de, çeliğin korozyona mukavemetini artırırken ısı geçirgenliğini azaltır. Bunun yanı sıra, darbe dayanıklılığını artırır, haddelenebilirliği sağlar ve kaynak yapılmasını kolaylaştırır. Molibden yüksek sıcaklıklarda yük altındaki deformasyonlara mukavemeti artırır ve

kaynak yapılmasını kolaylaştırır. Colombium ve titanyum ise alaşımlardaki karbonla birleşerek krom karbür dönüşümüne engel olur.

Paslanmaz çelikler üç ana grupta toplanır.

Östenitik Çelikler

Martenzitik Çelikler

Ferritik Çelikler [31, 40].

Östenitik Paslanmaz Çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler bugün krom, demir ve nikel alaşımı olarak bilinirler. Yüksek mukavemet ve korozyon direnci sayesinde uçak, kimya, petro-kimya, gıda, ilaç endüstrisinde, nükleer enerji santrallerinde takım ve paslanmaz eşya endüstrisinde kullanılırlar. 304 ve özellikle bunun düşük karbonlu modeli olan 304L tipi paslanmaz çelikler kaynaklanabilme özelliği sayesinde taşıma tanklarında ve kaynatma kazanlarında tercih edilir. 304 tipi çeliğin yeterli olmadığı koşullarda kimyasallara ve çukurcuk korozyonuna karşı dirençli olan 316 ve 316L tipi paslanmaz çelikler kullanılır. 316 (%2-4 molibden içeren) tipi paslanmaz çelikler düşük karbonlu olarak 316L, dayanıklılığı arttırmak için azot eklenmesi ile 316N, işlenebilirliği iyileştirmek amacıyla kükürt eklenmesi 316F ve yüksek karbon değerlerinde 316H olarak adlandırılır [31].

YMK östenitik paslanmaz çeliklerin süneklik, şekillendirilebilirlik ve korozyon dirençleri mükemmeldir. Mukavemet, yoğun katı eriyik mukavemetleşmesi ile elde edilir ve östenitik paslanmaz çeliklerin soğuk deformasyon sonucu pekleşmesi ferritik paslanmaz çeliklerden daha fazla olabilir. Düşük sıcaklıklardaki darbe özellikleri mükemmeldir. Yüksek nikel ve krom miktarı bu çeliklerin maliyetinin artmasına neden olur [41].

Martenzitik paslanmaz çelikler

Martenzitik paslanmaz çelikler, çok sert oldukları için talaş kaldırma yöntemiyle işlenmeden önce uygun bir ısıtılma işlemine tabi tutulmalıdır. 34 ile 52 Rc arasında sertliğe sahip bu çelikler, sert metal kesici takımlar ile işlenebilir ise de kesici takımın ömrü beklenenden daha az olur. Martenzitik paslanmaz çelikler, diğer paslanmaz çelikler ile karşılaştırıldıklarında iki ana faktör olan yüksek mukavemet ve ekonomiklik ön plana çıkmaktadır [42].

Literatürde, önceleri az karbonlu krom- nikelli martenzitik paslanmaz çelikler (yumuşak martenzitik paslanmaz çelikler) olarak da adlandırılan bu tür çeliklerin son geliştirilmiş türleri %0.015'den daha az karbon içeriğine sahiptir. Bunlar, bileşimlerinde %12- 13 Cr, %4- 6 Ni ve bazı türlerinde de % 2.5' a kadar Mo içeren ve kaynak kabiliyetleri alışılmış martenzitik kromlu paslanmaz çeliklerden daha iyi olan çeliklerdir. Bu tür çelikler, yüksek mukavemet ve düşük sıcaklıklarda iyi tokluk özelliği gösterirler [31,42].

Ferritik paslanmaz çelikler

Östenitik paslanmaz çeliklere göre paslanmazlık özelliği daha düşük olan bir çelik türüdür ve bu nedenle paslanmazlık özelliğinin çok ciddi boyutlarda istenmediği otomotiv sanayi gibi alanlarda daha çok kullanım alanı bulurlar. Östenitik paslanmaz çeliklere göre daha gevrek mukavemet özellikleri gösteren bu tip çelikler paslanmaz çeliklerde bir dezavantaj teşkil eden manyetik özellikler gösterirler ve içeriğinde %11,5 ile %16,5 arasında krom içeren türleri bulunmasının yanı sıra %0,5'den daha az miktarda nikel içerirler [40].

Çizelge 3.1. Paslanmaz çeliklerin kompozisyonları [31]

Paslanmaz Çeliklerin Simgesi (SAE / AISI)		Kimyasal Kompozisyon			
Hadde Ürünü	Döküm Ürünü	C	Cr	Ni	Diğer
Ferritik					
405		0,08	11,5-13,5		0,30Al
430-F (otomat)		0,12	14-16		0,06-S
422		0,25	18-23	1,0	
Martenzitik					
410		0,15	11,5-13,5		
403		0,15	11,5-13,5		
416 (otomat)		0,15	12-14		0,35-S
418		0,15	12-14		3,0-W
414		0,15	11,5-13,5		2,0Ni
420-F		0,35	12-14		0,7-S
440-C		1,00	16-18		
Östenitik					
302 (18-8)		0,15	17-19	8-10	
303-F (otomat)		0,15	17-19	8-10	0,35-S
304		0,08	12-20	8-11	
316		0,10	16-18	10-14	3,0Mo
347		0,08	17-19	9-12	
310		0,25	24-26	19-22	
Çökeltilerek Sertleştirilmiş					
350 (tavlanmış ve çökeltilmiş)		0,10	17,0	4,2	2,8Mo
17-7		0,07	17,0	7,2	1,2Al

Paslanmaz çeliklerin bileşimlerinde kromdan sonra gelen en önemli alaşım elementi nikeldir. Nikel çeliğin oksitlenme direncini artırır.

Paslanmaz eliklerin niteliklerini yükseltmek için katılan diğ er elementler şunlardır;

Molibden: Çeliklerin sertleşebilirlik ve dirençlerini arttırır. Molibden kuvvetli karbür meydana getirdiğinden özellikle östenitik pasa dayanıklı çeliklerin yapımında kullanılır.

Vanadyum: Bu element de sertleşebilirliğı belirli bir oranda arttırır. Azot ile birleşip nitrürleri oluşturduğundan çeliklerde ferritli ince yapıyı oluşturmak amacıyla tane küçültücü olarak kullanılır.

Volfram: eliğın dayanımını arttırır. Volframın oluşturduğı karbürler, çeliklerin aşınma direncini çok arttırır.

Titan: V, Mo, W gibi güçlü bir karbür oluşturucudur. Özellikle  stenitik paslanmaz çeliklerde, duyarlaşmaya karşı bir dengeleyici olarak bileşime katılır.

Azot: Yüksek sıcaklıklarda sertlik ve akma dayanımını arttırmak amacıyla bileşime özellikle katılır [40].

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

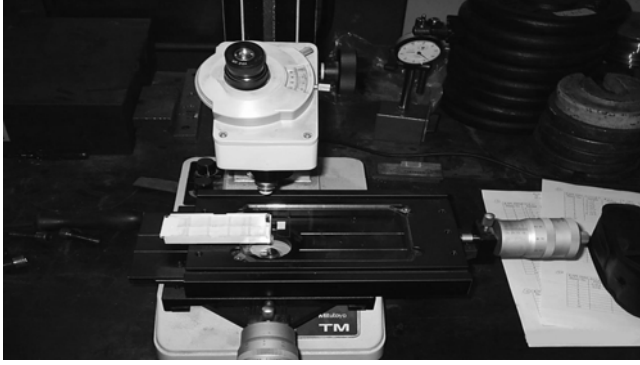
Bu çalışmada, kesici takım kaplamalarının, takım performansına ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmak için frezeleme işlemi üzerinde araştırmalar yapılmıştır.

Deneyler birbirinden bağımsız iki grupta halinde yapılmıştır. Birinci grup çalışmada üç farklı kaplama kalitesinde uçlar kullanılarak, kaplamanın AISI 316 paslanmaz çeliğin işlenmesinde takım aşınmasına ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir. Her kaplama için Çizelge 3.2'deki kesme parametreleri ayrı ayrı kullanılmış ve toplam 27 adet deney yapılmıştır.

İkinci grup çalışmada ise, aynı kaplama kalitesinde fakat farklı talaş kırıcı geometrisine sahip takımlar seçilerek, talaş kırıcı formunun AISI 316 paslanmaz çeliğin parmak freze ile işlenmesinde, takım aşınmasına ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir. Her talaş kırıcı formu için Çizelge 5.19'daki parametreler uygulanmış ve toplam 9 adet deney yapılmıştır.

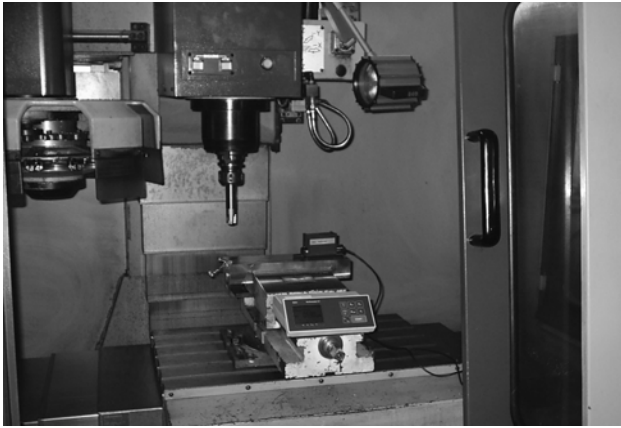
Kesici takım aşınma kriteri, TS ISO 8688'e bağlı kalınarak yan yüzey aşınma şeridi genişliği ($VB=0,3$ mm) esas alınmıştır ve kesici takımın yan yüzeyinde oluşan aşınma şeridi takımcı mikroskobu vasıtasıyla ölçülmüştür (Resim 4.1). Toplam talaş hacmini belirlemek için CAD programı kullanılarak parça modellenmiş, ayrıca Formül 2.2 kullanılmıştır.

Aşınma deneyleri, belirlenen kontrol mesafesinde takma ucun mikroskop altında incelenmesiyle yapılmıştır. Her kontrol mesafesinde uçtaki aşınma miktarı ve o zamana kadarki kaldırdığı talaş hacmi not edilmiştir. Aşınma seviyesi 0,30 mm'ye ulaştığı zaman, takımın aşındığı kabul edilmiş ve deney sonuçlandırılmıştır.



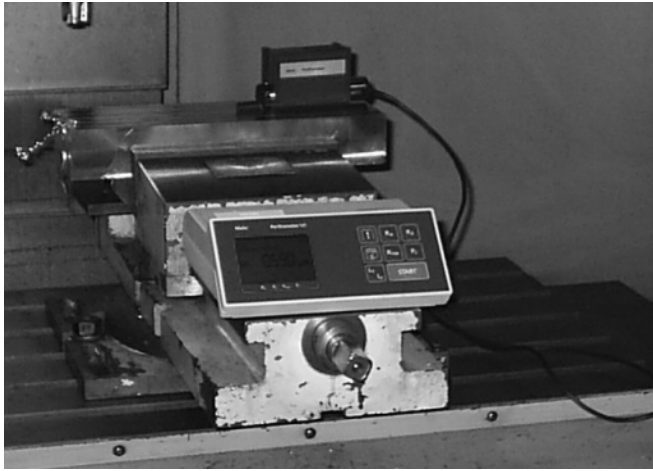
Resim 4.1. Deneylerde kullanılan Mitutoyo marka takımcı mikroskop

Deneyler Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Talaşlı Üretim Anabilim Dalındaki BSD laboratuvarında, Johnford VMC-550 marka CNC dik işleme merkezinde yapılmıştır (Resim 4.2). Kullanılan takım tezgâhının bazı özellikleri şunlardır: Tezgâh gücü 10 kW, maksimum devir sayısı 8000 rev/min (rpm) X eksen 600 mm, Y eksen 500 mm, Z eksen 600 mm, ölçü hassasiyeti 0,001 mm ve işletim sistemi Fanuc'tur.



Resim 4.2. Deneylerde kullanılan BSD freze tezgahı

Numunenin yüzey pürüzlülüğü Mahr marka pürüzlülük cihazıyla ölçülmüştür (Resim 4.3).



Resim 4.3. Deneylerde kullanılan yüzey pürüzlülük cihazı

4.1. Deneyde Kullanılan Malzemenin Özellikleri

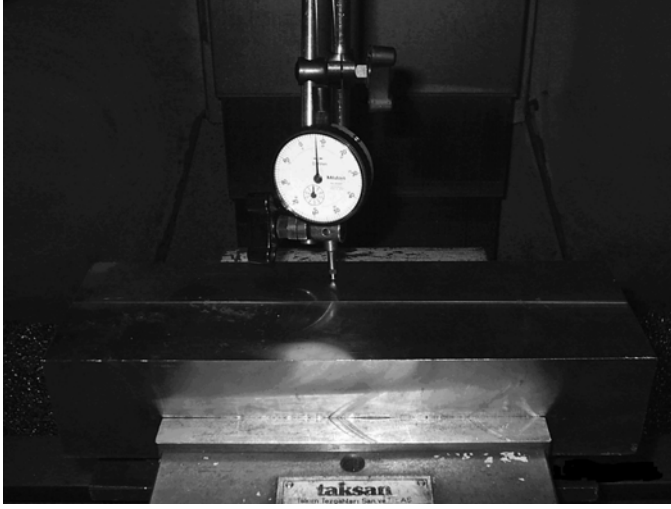
Deneyde kullanılan malzeme AISI 316 Östenitik paslanmaz çelik olarak seçilmiştir. Malzeme boyutları ise 300x100x65 mm olarak tayin edilmiştir. Malzemenin kimyasal analizi Kırıkkale Çelik Fabrikasında yaptırılmış ve analiz değerleri Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deneyde kullanılan AISI 316 malzemesinin kimyasal bileşimi (% Ağırlık)

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo
0,0390	1,8116	0,6704	0,0323	0,0056	16,5397	10,2502	1,8877
Cu	Al	V	Ti	Co	Sn	Fe	
0,2313	0,0179	0,0548	0,0058	0,0628	0,0090	68,3619	

4.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Deneylere başlanmadan önce numunenin bütün yüzeylerinden 0,5~1 mm arasında talaş kaldırılarak 300x100x65mm ölçüsüne getirilmiştir. Bu iş için Johnford VMC–550 marka BSD freze tezgahı, 80 mm çapında tarama kafası ve buna ait takma uçlar kullanılmıştır. Ölçüsüne getirilen numune mengeneyle kompratör yardımıyla rijit bir şekilde bağlanmıştır (Resim 4.4).

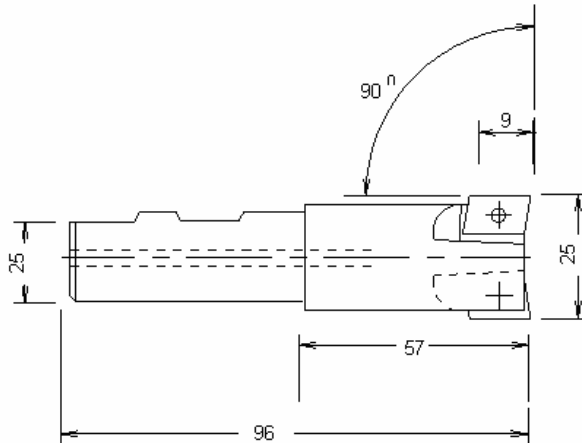


Resim 4.4. Numunenin tezgaha bağlanması

4.3. Deneyde Kullanılan Takımlar

4.3.1. Takım tutucu

Deneylerde Kennametal tarafından üretilen ve ISO tarafından 25A3R040A25SAD10 olarak kodlanan takım tutucu kullanılmıştır. Tutucuda kullanılabilecek uç sayısı üç olmasına rağmen, kaldırılan talaş miktarını en azda tutmak için tek kesici uç kullanılmıştır.

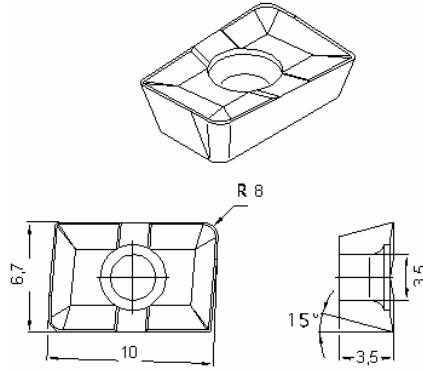


Şekil 4.1 Takım tutucusunun ölçüleri

4.3.2. Kesici uçlar

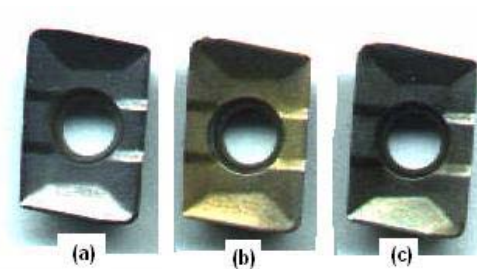
Birinci grup çalışmada kullanılan uçlar Kennametal tarafından üretilmiş olup, ISO tarafından ADPT 1035 PDERGP (KC725), ADPT 1035 PDERGP (KC935) ve ADPT 1035 PDERGP (KC525) olarak kodlanmıştır (Resim 4.5).

İkinci grup çalışmada kullanılan uçlar ise Kennametal tarafından üretilmiş olup, ISO tarafından ADPT 1035 PDERGP (KC725), ADPT 1035 PDERGC (KC725) ve ADPT 1035 PDSRGC (KC725) olarak kodlanmıştır (Resim 4.6).

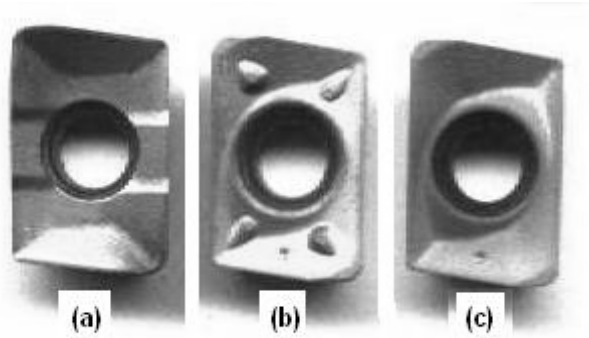


Şekil 4.2. Deneylerde kullanılan takma uç ölçüleri

KC725 kalite olarak kodlanan karbür uçlar, PVD yöntemiyle TiN-TiCN-TiN sırasında üç katmanla kaplanmıştır. KC935 kalite olarak kodlanan karbür uçlar, CVD yöntemiyle TiN-TiCN-Al₂O₃ olarak üç katmanla kaplanmıştır. KC525 kalite olarak kodlanan karbür uç ise, PVD yöntemiyle TiAlN olarak tek katmanla kaplanmıştır (Resim 4.5).



Resim 4.5. Kullanılan kesici takım kaplamaları a) TiAlN; b) TiN-TiCN-TiN, c) TiN-TiCN-Al₂O₃



Resim 4.6. TiN/TiCN/TiN kaplı kesici takımlar, a) PDERGP, b) PDSRGC, c) PDERGC

4.4. Deneyde Kullanılan Kesme Parametreleri

Deneyde kullanılan kesme parametreleri malzeme mekanik özelliklerine uygun, imalatı geçerli aralıkta seçilmesinin yanı sıra, kesici takımların üretici firma katalogları da göz önüne alınmıştır. Deneylerde kullanılan kesme derinliği, bitirme işlemi göz önüne alınarak standartların dışında seçilmiştir.

Çizelge 4.2. Deneyde kullanılan kesme parametreleri

Kesme hızı (V) m/min	İlerleme (f) mm/diş	Kesme derinliği (a) mm
180	0,05	1
	0,1	
	0,15	
225	0,05	1
	0,1	
	0,15	
270	0,05	1
	0,1	
	0,15	

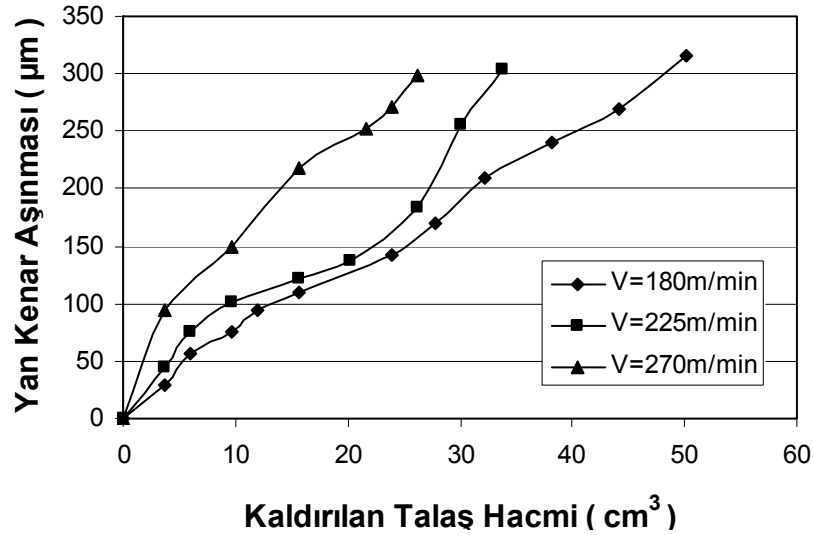
Çalışmalarda $V=180$, $V=225$ ve $V=280$ m/min kesme hızları ve her bir kesme hızı için 0.05, 0.1 ve 0.15 mm/rev ilerleme oranları kullanılmıştır. Talaş derinliği ise 1 mm olarak alınmıştır.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Kesme Hızının Takım Aşınmasına Etkisi

5.1.1. TiAlN kaplı kesici takım ve $f=0,05$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi

TiAlN kaplanmış kesici takım kullanılarak $f=0,05$ mm/diş sabit ilerlemeyle yapılan deneysel çalışmanın grafiği Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. TiAlN kaplı kesici takım ve $f=0,05$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi

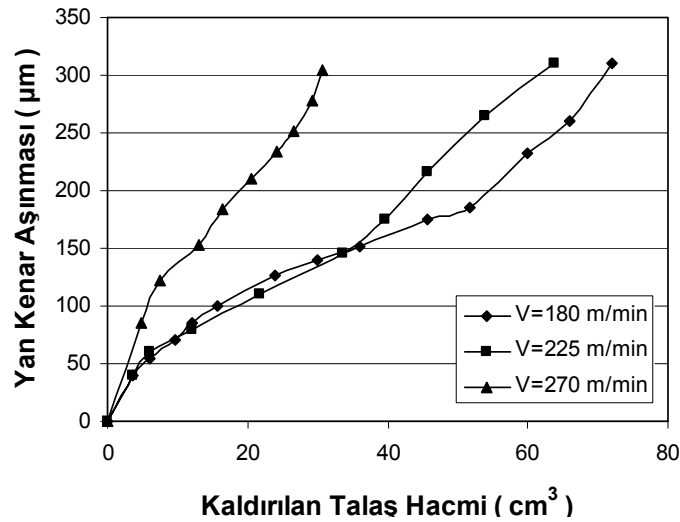
Kesme hızının 180 m/min’den 225 m/min’e çıkmasıyla elde edilen %25’lik bir artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %22’lik bir düşme görülmüştür. Kesme hızının 225 m/min’den 270 m/min’e çıkmasıyla elde edilen %25’lik artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %33’lük bir düşme görülmüştür. Bu durum, literatürde de açıklandığı gibi kesme hızının artmasıyla takım ömrünün ters orantılı olduğuyla açıklanabilir (3, 4, 5, 17 ve 18). Kesme hızlarının, kaldırılan talaş hacmine göre yan kenar aşınmasını gösteren eğri benzeşim formülü ve R^2 analizi yapılmış ve Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. TiAlN kaplı kesici takım ve $f=0,05$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/diş)	Kesme Hızı (m/dak)	Takım Kaplaması	Eğri Benzeşim Formülü	Benzeşim Katsayısı (R^2)
0,05	180	TiAlN	$y = 0,006x + 11,8$	$R^2 = 0,994$
0,05	225	TiAlN	$y = 0,0079x + 8,6444$	$R^2 = 0,952$
0,05	270	TiAlN	$y = 0,0103x + 34,915$	$R^2 = 0,963$

5.1.2 TiAlN kaplı kesici takım ve $f=0,10$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi

TiAlN kaplanmış kesici takım kullanılarak $f=0,10$ mm/diş sabit ilerlemeyle yapılan deneysel çalışmanın grafiği Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2. TiAlN kaplı kesici takım ve $f=0,10$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi

Kesme hızının 180 m/min’den 225 m/min’e çıkmasıyla elde edilen %25’lik bir artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %11’lik bir düşme görülmüştür. Kesme hızının 225 m/min’den 270 m/min’e çıkmasıyla elde edilen %25’lik artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %52’lik bir düşme görülmüştür. Kesme hızı ile takım

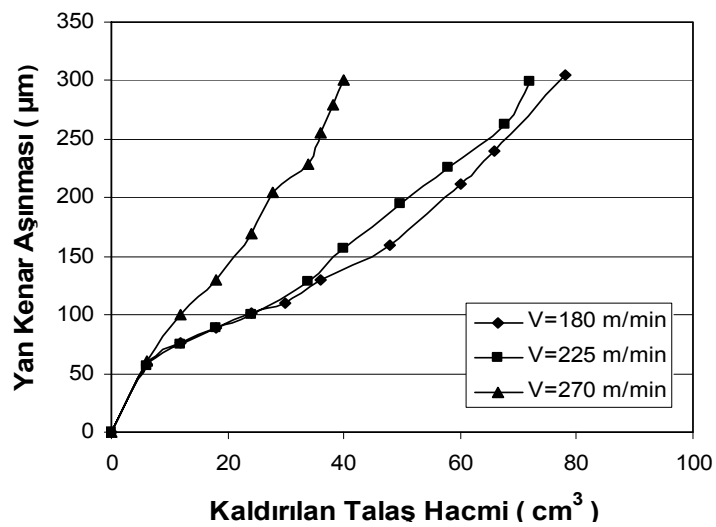
ömrü ters orantılıdır. Bu durum literatürde de benzer şekilde tespit edilmiştir. (3, 4, 5, 17 ve 18). Kesme hızlarının kaldırılan talaş hacmine göre yan kenar aşınmasını gösteren eğri benzeşim formülü ve R^2 analizi yapılmış ve Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. TiAlN kaplı kesici takım ve $f=0,10$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/diş)	Kesme Hızı (m/min)	Takım Kaplaması	Eğri Benzeşim Formülü	Benzeşim Katsayısı (R^2)
0,10	180	TiAlN	$y = 0,0035x + 28,451$	0,9678
0,10	225	TiAlN	$y = 0,0044x + 15,699$	0,9818
0,10	270	TiAlN	$y = 0,0086x + 33,34$	0,9718

5.1.3. TiAlN kaplı kesici takım ve $f=0,15$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi

TiAlN kaplanmış kesici takım kullanılarak $f=0,15$ mm/diş sabit ilerlemeyle yapılan deneysel çalışmanın grafiği Şekil 5.3’de verilmiştir.



Şekil 5.3. TiAlN kaplı kesici takım ve $f=0,15$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi

Kesme hızının 180 m/min'den 225 m/min'e çıkmasıyla elde edilen %25'lik bir artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %8'lik bir düşme görülmüştür. Kesme hızının 225 m/min'den 270 m/min'e çıkmasıyla elde edilen %25'lik artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %45'lik bir düşme görülmüştür. Kesme hızlarının kaldırılan talaş hacmine göre yan kenar aşınmasını gösteren eğri benzeşim formülü ve R^2 analizi yapılmış ve Çizelge 5.3'de verilmiştir. Ayrıca takımda meydana gelen yan kenar aşınmasının fotoğrafı da Resim 5.1'de verilmiştir.

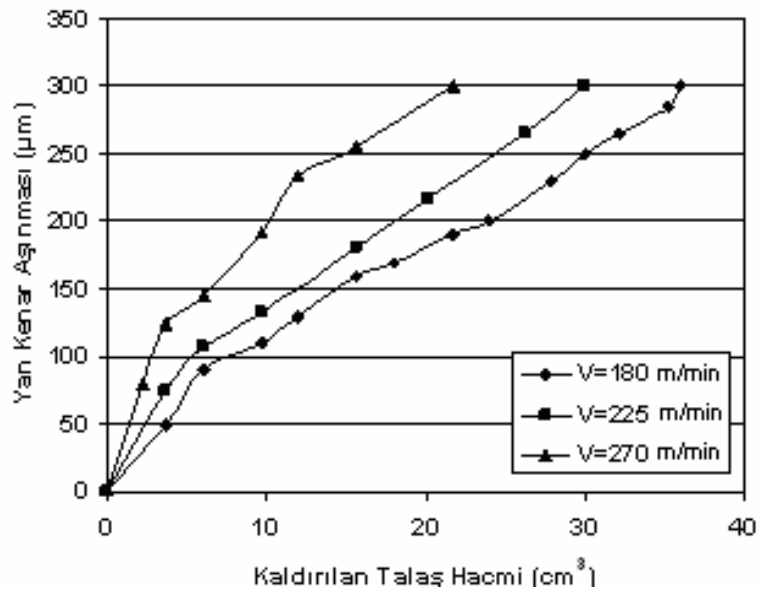
Çizelge 5.3. TiAlN kaplı kesici takım ve $f=0,15$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/diş)	Kesme Hızı (m/min)	Takım Kaplaması	Eğri Benzeşim Formülü	Benzeşim Katsayısı (R^2)
0,15	180	TiAlN	$y = 0,0034x + 18,507$	0,9695
0,15	225	TiAlN	$y = 0,0037x + 16,512$	0,9837
0,15	270	TiAlN	$y = 0,007x + 7,8557$	0,9918

Sonuç olarak, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3' deki aşınma miktarlarının Şekil 5.1'den farklı olduğu görülmüştür. Bunun nedeni olarak da TiAlN kaplama malzemesinin yüksek kesme hızlarında (200 m/min) performansının düşmesiyle açıklanmıştır ve Can'ın yaptığı çalışmada bulduğu sonuçlara atfedilmiştir [13].

5.1.4. En üst katmanı TiN kaplı kesici takım ve $f=0,05$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi

TiN-TiCN-TiN olarak üç katman kaplanmış kesici takım kullanılarak $f=0,05$ mm/diş sabit ilerlemeyle yapılan deneysel çalışmanın grafiği Şekil 5.4'de verilmiştir.



Şekil 5.4. En üst katmanı TiN kaplı kesici takım ve $f=0,05$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi

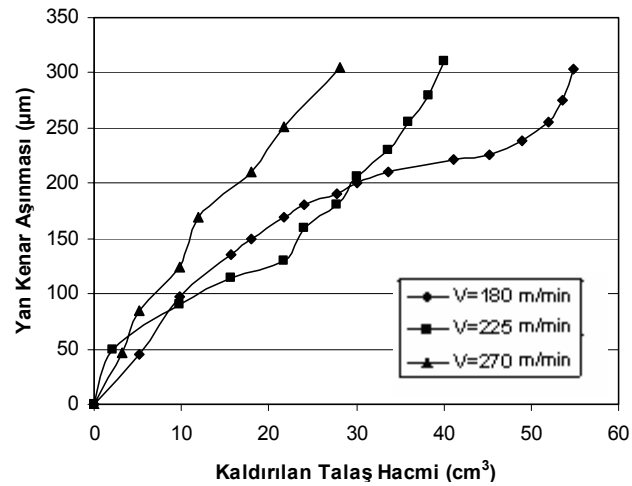
Kesme hızının 180 m/min'den 225 m/min'e çıkmasıyla elde edilen %25'lik bir artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %17'lik bir düşme görülmüştür. Kesme hızının 225 m/min'den 270 m/min'e çıkmasıyla elde edilen %25'lik artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %28'lik bir düşme görülmüştür. Kesme hızlarının kaldırılan talaş hacmine göre yan kenar aşınmasını gösteren eğri benzeşim formülü ve R^2 analizi yapılmış ve Çizelge 5.4'de verilmiştir. Ayrıca takımda meydana gelen yan kenar aşınmasının fotoğrafı da Resim 5.2 ve Resim 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.4. En üst katmanı TiN kaplı kesici takım ve $f=0,05$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/diş)	Kesme Hızı (m/min)	Takım Kaplaması	Eğri Benzeşim Formülü	Benzeşim Katsayısı (R^2)
0,05	180	TiN-TiCN-TiN	$y = 0,0074x + 28,821$	0,9831
0,05	225	TiN-TiCN-TiN	$y = 0,0091x + 32,383$	0,9757
0,50	270	TiN-TiCN-TiN	$y = 0,0129x + 51,824$	0,9207

5.1.5. En üst katmanı TiN kaplı kesici takım ve $f=0,10$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi

TiAlN kaplanmış kesici takım kullanılarak $f=0,10$ mm/diş sabit ilerlemeyle yapılan deneysel çalışmanın grafiği Şekil 5.5’de verilmiştir.



Şekil 5.5. En üst katmanı TiN kaplı kesici takım ve $f=0,10$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi

Çizelge 5.5. En üst katmanı TiN kaplı kesici takım ve $f=0,10$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

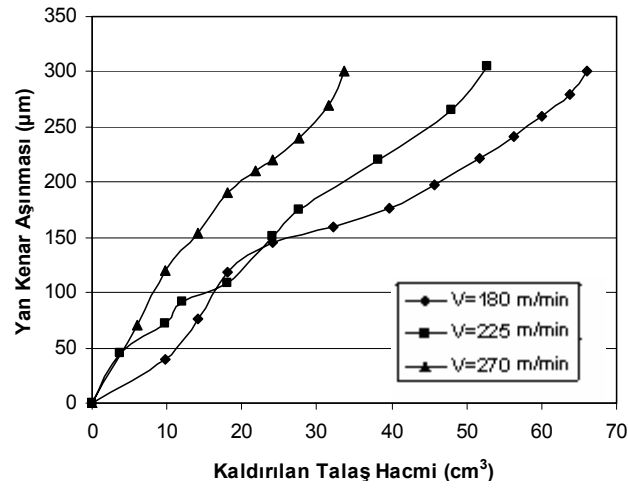
İlerleme Hızı (mm/diş)	Kesme Hızı (m/min)	Takım Kaplaması	Eğri Benzeşim Formülü	Benzeşim Katsayısı (R^2)
0,10	180	TiN-TiCN-TiN	$y = 0,0044x + 49,074$	0,923
0,10	225	TiN-TiCN-TiN	$y = 0,0068x + 9,5565$	0,9672
0,10	270	TiN-TiCN-TiN	$y = 0,0106x + 18,411$	0,9838

Kesme hızının 180 m/min’den 225 m/min’e çıkmasıyla elde edilen %25’lik bir artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %27’lik bir düşme görülmüştür. Kesme hızının 225 m/min’den 270 m/min’e çıkmasıyla elde edilen %25’lik artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %29’lik bir düşme görülmüştür. Kesme hızlarının

kaldırılan talaş hacmine göre yan kenar aşınmasını gösteren eğri benzeşim formülü ve R^2 analizi yapılmış Çizelge 5.5.'de verilmiştir.

5.1.6. En üst katmanı TiN kaplı kesici takım ve $f=0,15$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi

TiAlN kaplanmış kesici takım kullanılarak $f=0,15$ mm/diş sabit ilerlemeyle yapılan deneysel çalışmanın grafiği Şekil 5.6'de verilmiştir.



Şekil 5.6. En üst katmanı TiN kaplı kesici takım ve $f=0,15$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi

Çizelge 5.6. En üst katmanı TiN kaplı kesici takım ve $f=0,15$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

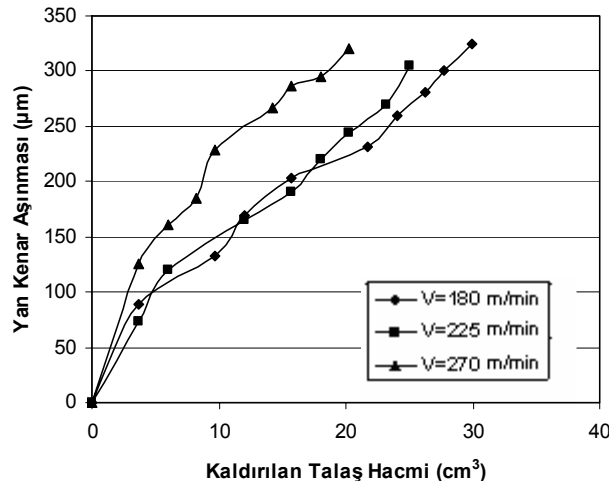
İlerleme Hızı (mm/diş)	Kesme Hızı (m/min)	Takım Kaplaması	Eğri Benzeşim Formülü	Benzeşim Katsayısı (R^2)
0,15	180	TiN-TiCN-TiN	$y = 0,0041x + 17,737$	0,9750
0,15	225	TiN-TiCN-TiN	$y = 0,0054x + 17,462$	0,9916
0,15	270	TiN-TiCN-TiN	$y = 0,0082x + 24,127$	0,9774

Kesme hızının 180 m/min'den 225 m/min'e çıkmasıyla elde edilen %25'lik bir artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %20'lik bir düşme görülmüştür.

Kesme hızının 225 m/min'den 270 m/min'e çıkmasıyla elde edilen %25'lik artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %36'lık bir düşme görülmüştür. Bu durum, literatürdeki kesme hızının artmasına karşın takım ömrünün ters orantılı olduğuyla açıklanabilir. Kesme hızlarının kaldırılan talaş hacmine göre yan kenar aşınmasını gösteren eğri benzeşim formülü ve R^2 analizi yapılmış Çizelge 5.6'da verilmiştir.

5.1.7. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takım ve $f=0,05$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi

TiN-TiCN- Al_2O_3 kaplanmış kesici takım kullanılarak $f=0,05$ mm/diş sabit ilerlemeyle yapılan deneysel çalışmanın grafiği Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.7. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takım ve $f=0,05$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi

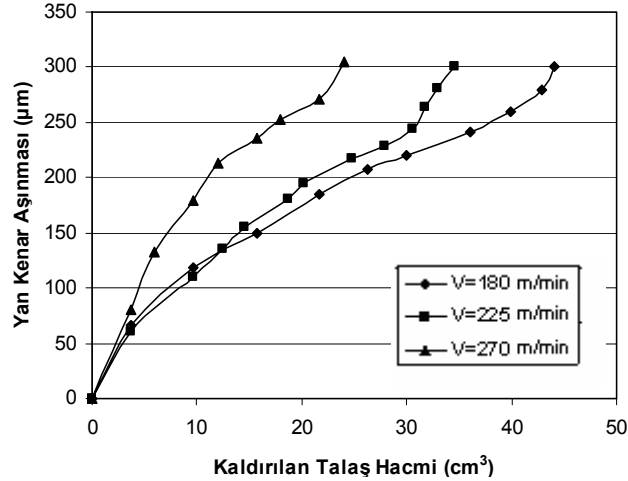
Kesme hızının 180 m/min'den 225 m/min'e çıkmasıyla elde edilen %25'lik bir artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %17'lik bir düşme görülmüştür. Kesme hızının 225 m/min'den 270 m/min'e çıkmasıyla elde edilen %25'lik artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %19'luk bir düşme görülmüştür. Kesme hızlarının kaldırılan talaş hacmine göre yan kenar aşınmasını gösteren eğri benzeşim formülü ve R^2 analizi yapılmış Çizelge 5.7'de verilmiştir. Ayrıca takımda meydana gelen yan kenar aşınmasının fotoğrafı da Resim 5.4, 5.5 ve 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.7. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takım ve $f=0,05$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/diş)	Kesme Hızı (m/min)	Takım Kaplaması	Eğri Benzeşim Formülü	Benzeşim Katsayısı (R^2)
0,05	180	TiN-TiCN- Al_2O_3	$y = 0,0097x + 33,754$	0,9742
0,05	225	TiN-TiCN- Al_2O_3	$y = 0,0109x + 26,217$	0,9768
0,05	270	TiN-TiCN- Al_2O_3	$y = 0,0144x + 54,853$	0,9265

5.1.8. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takım ve $f=0,10$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi

TiN-TiCN- Al_2O_3 kaplanmış kesici takım kullanılarak $f=0,10$ mm/diş sabit ilerlemeyle yapılan deneysel çalışmanın grafiği Şekil 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.8. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takım ve $f=0,10$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi

Kesme hızının 180 m/min’den 225 m/min’e çıkmasıyla elde edilen %25’lik bir artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %22’lik bir düşme görülmüştür. Kesme hızının 225 m/min’den 270 m/min’e çıkmasıyla elde edilen %25’lik artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %30’lık bir düşme görülmüştür. Kesme hızlarının

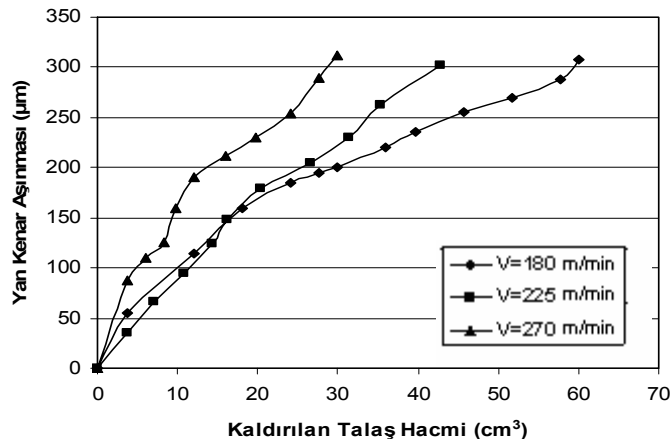
kaldırılan talaş hacmine göre yan kenar aşınmasını gösteren eğri benzeşim formülü ve R^2 analizi yapılmış Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.8. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takım ve $f=0,10$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/diş)	Kesme Hızı (m/min)	Takım Kaplaması	Eğri Benzeşim Formülü	Benzeşim Katsayısı (R^2)
0,10	180	TiN-TiCN- Al_2O_3	$y = 0,0058x + 41,357$	0,9618
0,10	225	TiN-TiCN- Al_2O_3	$y = 0,0077x + 28,164$	0,9782
0,10	270	TiN-TiCN- Al_2O_3	$y = 0,0116x + 42,153$	0,9398

5.1.9. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takım ve $f=0,15$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi

TiN-TiCN- Al_2O_3 kaplanmış kesici takım kullanılarak $f=0,15$ mm/diş sabit ilerlemeyle yapılan deneysel çalışmanın grafiği Şekil 5.9’da verilmiştir.



Şekil 5.9. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takım ve $f=0,15$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisi

Kesme hızının 180 m/min’den 225 m/min’e çıkmasıyla elde edilen %25’lik bir artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %28’lik bir düşme görülmüştür. Kesme hızının 225 m/min’den 270 m/min’e çıkmasıyla elde edilen %25’lik artışla, takımın

kaldırdığı talaş miktarında %30'lık bir düşme görülmüştür. Bu durum, literatürdeki kesme hızının artmasına karşın takım ömrünün ters orantılı olduğuyla açıklanabilir. Kesme hızlarının kaldırılan talaş hacmine göre yan kenar aşınmasını gösteren eğri benzeşim formülü ve R^2 analizi yapılmış Çizelge 5.9'da verilmiştir.

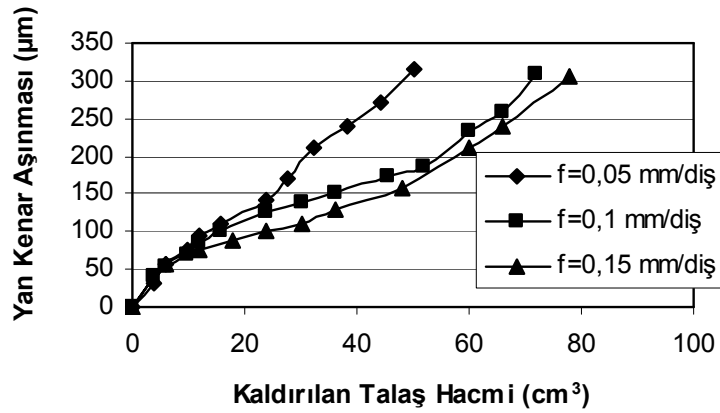
Çizelge 5.9. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takım ve $f=0,15$ mm/diş ilerlemede kesme hızının aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/diş)	Kesme Hızı (m/min)	Takım Kaplaması	Eğri Benzeşim Formülü	Benzeşim Katsayısı (R^2)
0,15	180	TiN-TiCN- Al_2O_3	$y = 0,0045x + 51,195$	0,9407
0,15	225	TiN-TiCN- Al_2O_3	$y = 0,007x + 7,453$	0,9854
0,15	270	TiN-TiCN- Al_2O_3	$y = 0,0091x + 48,811$	0,9465

5.2. İlerleme Hızının Takım Aşınmasına Etkisi

5.2.1. TiAlN kaplı kesici takım ve $V=180$ m/min kesme hızında ilerlemenin aşınmaya etkisi

TiAlN kaplanmış kesici takım kullanılarak $V=180$ m/min sabit kesme hızıyla yapılan deneysel çalışmanın grafiği Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



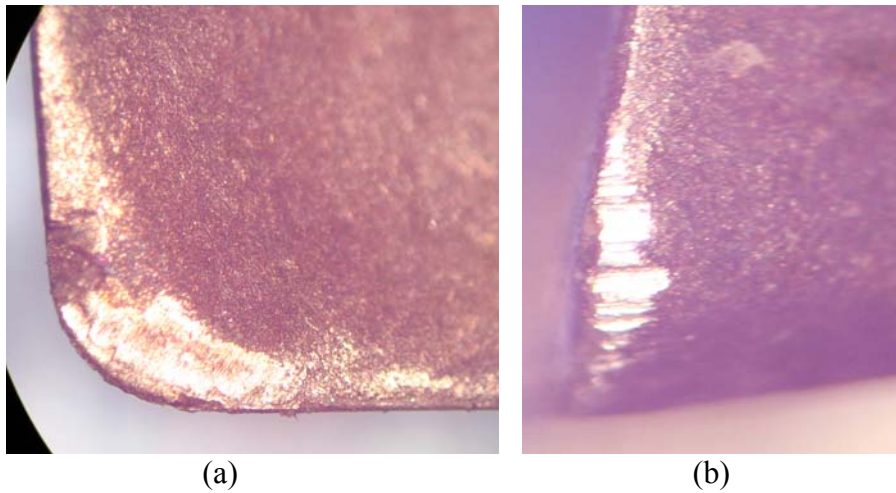
Şekil 5.10. TiAlN kaplı kesici takım ve $V=180$ m/min kesme hızında ilerlemenin aşınmaya etkisi

İlerleme hızının 0,05 mm/diş'den 0,10 mm/diş'e çıkmasıyla elde edilen % 100'lük bir artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %43'lük bir artış görülmüştür. İlerleme hızının 0,10 mm/diş'den 0,15 mm/diş'e çıkmasıyla elde edilen %50'lik artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %8'lik bir artış görülmüştür.

İlerleme hızlarının kaldırılan talaş hacmine göre yan kenar aşınmasını gösteren eğri benzeşim formülü ve R^2 analizi yapılmış Çizelge 5.10'da verilmiştir. Ayrıca takımda meydana gelen yan kenar aşınmasının fotoğrafı da Resim 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.10. TiAlN kaplı kesici takım ve $V=180$ m/min kesme hızında ilerlemenin aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

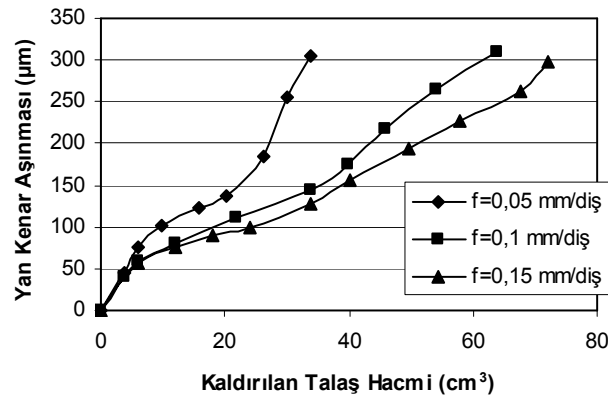
İlerleme Hızı (mm/diş)	Kesme Hızı (m/min)	Takım Kaplaması	Eğri Benzeşim Formülü	Benzeşim Katsayısı (R^2)
0,05	180	TiAlN	$y = 0,006x + 11,8$	0,994
0,10	180	TiAlN	$y = 0,0035x + 28,451$	0,9678
0,15	180	TiAlN	$y = 0,0034x + 18,507$	0,9695



Resim 5.1. TiAlN kaplamalı takımın $V= 180$ m/min kesme hızı ve $f= 0,15$ mm/diş ilerlemedeki takım aşınması a) Takımın talaş yüzeyindeki aşınma b) Yan kenar aşınması

5.2.2. TiAlN kaplı kesici takım ve V=225 m/min kesme hızında ilerlemenin aşınmaya etkisi

TiAlN kaplanmış kesici takım kullanılarak V=225 m/min sabit kesme hızıyla yapılan deneysel çalışmanın grafiği Şekil 5.11’de verilmiştir.



Şekil 5.11. TiAlN kaplı kesici takım ve V=225 m/min kesme hızının aşınmaya etkisi

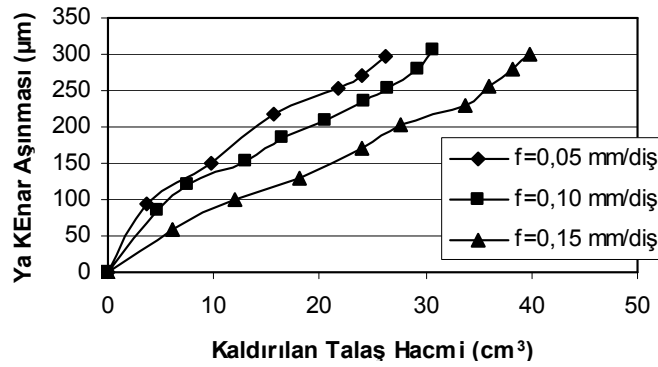
İlerleme hızının 0,05 mm/diş’den 0,10 mm/diş’e çıkmasıyla elde edilen %100’lük bir artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %88’lik bir artış görülmüştür. İlerleme hızının 0,10 mm/diş’den 0,15 mm/diş’e çıkmasıyla elde edilen %50’lik artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %13’lük bir artış görülmüştür. İlerleme hızlarının kaldırılan talaş hacmine göre yan kenar aşınmasını gösteren eğri benzeşim formülü ve R^2 analizi yapılmış Çizelge 5.11’de verilmiştir.

Çizelge 5.11. TiAlN kaplı kesici takımın ve V=225 m/min kesme hızının aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/diş)	Kesme Hızı (m/min)	Takım Kaplaması	Eğri Benzeşim Formülü	Benzeşim Katsayısı (R^2)
0,05	225	TiAlN	$y = 0,0079x + 8,6444$	0,9519
0,10	225	TiAlN	$y = 0,0044x + 15,699$	0,9818
0,15	225	TiAlN	$y = 0,0037x + 16,512$	0,9837

5.2.3. TiAlN kaplı kesici takım ve V=270 m/min kesme hızında ilerlemenin aşınmaya etkisi

TiAlN kaplanmış kesici takım kullanılarak V=270 m/min sabit kesme hızıyla yapılan deneysel çalışmanın grafiği Şekil 5.12’de verilmiştir.



Şekil 5.12. TiAlN kaplı kesici takım ve V=270 m/min kesme hızında ilerlemenin aşınmaya etkisi

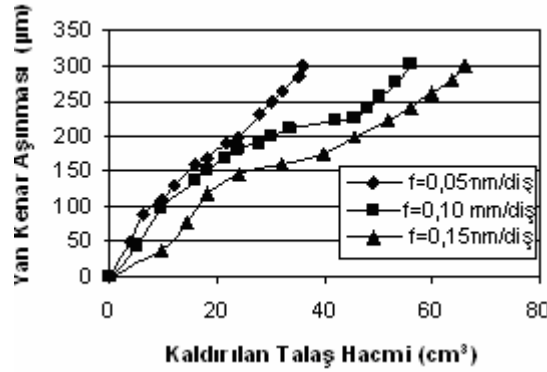
İlerleme hızının 0,05 mm/diş’den 0,10mm/diş’e çıkmasıyla elde edilen %100’lük bir artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %14’lük bir artış görülmüştür. İlerleme hızının 0,10 mm/diş’den 0,15 mm/diş’e çıkmasıyla elde edilen %50’lik artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %30’luk bir artış görülmüştür. İlerleme hızlarının, kaldırılan talaş hacmine göre yan kenar aşınmasını gösteren eğri benzeşim formülü ve R^2 analizi yapılmış Çizelge 5.12’de verilmiştir.

Çizelge 5.12. TiAlN kaplı kesici takım ve V=270 m/min kesme hızında ilerlemenin aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/diş)	Kesme Hızı (mm/min)	Takım Kaplaması	Eğri Benzeşim Formülü	Benzeşim Katsayısı (R^2)
0,05	270	TiAlN	$y = 0,0103x + 34,915$	0,9627
0,10	270	TiAlN	$y = 0,0086x + 33,34$	0,9718
0,15	270	TiAlN	$y = 0,007x + 7,8557$	0,9918

5.2.4. En üst katmanı TiN kaplı kesici takım ve V=180 m/min kesme hızında ilerlemenin aşınmaya etkisi

TiN-TiCN-TiN olarak üç katman kaplanmış kesici takım kullanılarak V=180 m/min sabit kesme hızıyla yapılan deneysel çalışmanın grafiği Şekil 5.13’de gösterilmiştir.



Şekil 5.13. En üst katmanı TiN kaplı kesici takım ve V=180 m/min kesme hızında ilerlemenin aşınmaya etkisi

İlerleme hızının 0,05 mm/diş’den 0,10 mm/diş’e çıkmasıyla elde edilen %100’lük bir artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %56’lık bir artış görülmüştür. İlerleme hızının 0,10 mm/diş’den 0,15 mm/diş’e çıkmasıyla elde edilen %50’lik artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %14’lük bir artış görülmüştür. Bu durum, 3 numaralı literatürle paralellik göstermiştir. İlerleme hızlarının kaldırılan talaş hacmine göre yan kenar aşınmasını gösteren eğri benzeşim formülü ve R^2 analizi yapılmış Çizelge 5.13’de verilmiştir.

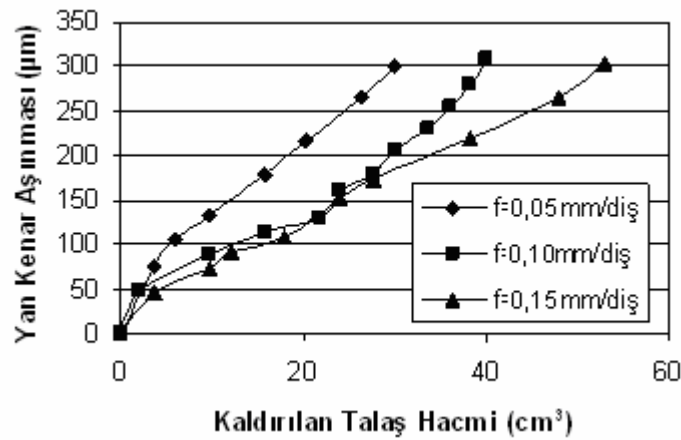
Çizelge 5.13. En üst katmanı TiN kaplı kesici takımın ve V=180 m/min kesme hızında ilerlemenin aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/diş)	Kesme Hızı (mm/min)	Takım Kaplaması	Eğri Benzeşim Formülü	Benzeşim Katsayısı (R^2)
0,05	180	TiN-TiCN-TiN	$y = 0,0074x + 28,821$	0,9831
0,10	180	TiN-TiCN-TiN	$y = 0,0044x + 49,074$	0,923
0,15	180	TiN-TiCN-TiN	$y = 0,0041x + 17,737$	0,975

5.2.5. En üst katmanı TiN kaplı kesici takım ve V=225 m/min kesme hızında ilerlemenin aşınmaya etkisi

TiN-TiCN-TiN olarak üç katman kaplanmış kesici takım kullanılarak V=225 m/min sabit kesme hızıyla yapılan deneysel çalışmanın grafiği Şekil 5.14’de gösterilmiştir.

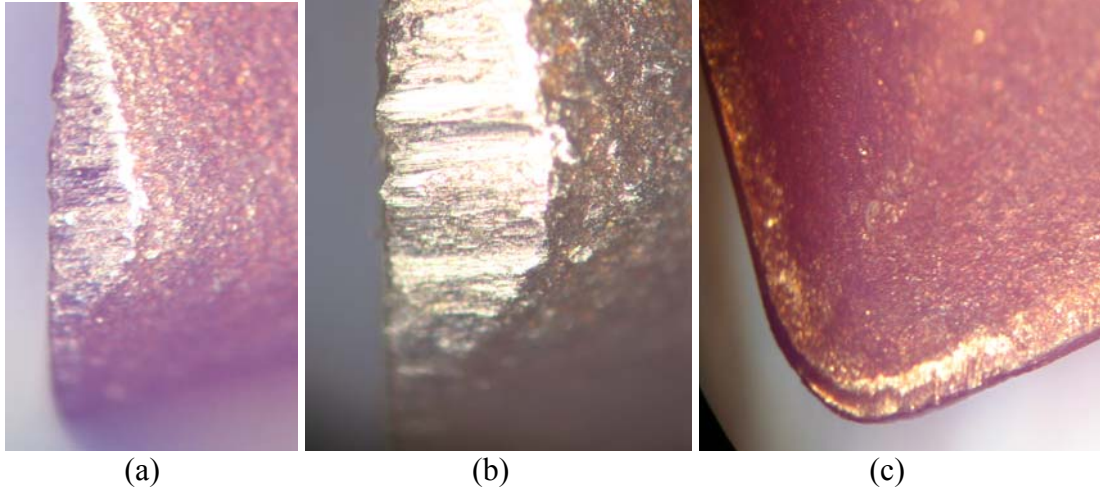
İlerleme hızının 0,05 mm/diş’den 0,10 mm/diş’e çıkmasıyla elde edilen %100’lük bir artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %33’lük bir artış görülmüştür. İlerleme hızının 0,10 mm/diş’den 0,15 mm/diş’e çıkmasıyla elde edilen %50’lik artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %32’lik bir artış görülmüştür. İlerleme hızlarının kaldırılan talaş hacmine göre yan kenar aşınmasını gösteren eğri benzeşim formülü ve R^2 analizi yapılmış Çizelge 5.14’de verilmiştir. Ayrıca takımda meydana gelen yan kenar aşınmasının fotoğrafı da Resim 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.14. En üst katmanı TiN kaplı kesici takım ve V=225 m/min kesme hızında ilerlemenin aşınmaya etkisi

Çizelge 5.14. En üst katmanı TiN kaplı kesici takım ve V=225 m/min kesme hızında ilerlemenin aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/diş)	Kesme Hızı (mm/min)	Takım Kaplaması	Eğri Benzeşim Formülü	Benzeşim Katsayısı (R^2)
0,05	225	TiN-TiCN-TiN	$y = 0,0091x + 32,383$	0,9757
0,10	225	TiN-TiCN-TiN	$y = 0,0068x + 9,5565$	0,9672
0,15	225	TiN-TiCN-TiN	$y = 0,0054x + 17,462$	0,9916



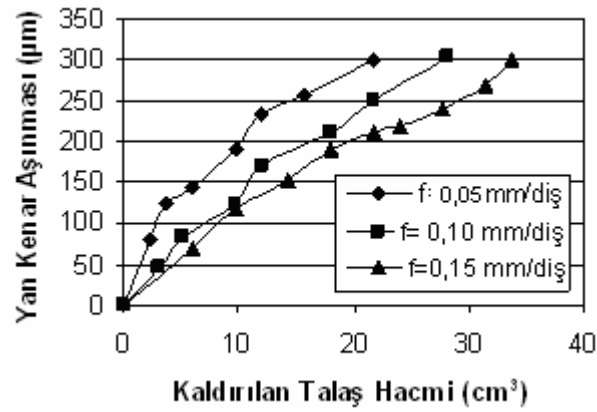
Resim 5.2. En üst katmanı TiN olarak kaplanmış, PDERGP talaş kırıcı formulu takımın V= 225 m/min kesme hızı ve $f= 0,05$ mm/diş ilerlemedeki takım aşınması a) Yan kenar aşınması 5x b) Yan kenar aşınması 20x c) Takımın talaş yüzeyindeki aşınma

5.2.6. En üst katmanı TiN kaplı kesici takım ve V=270 m/min kesme hızında ilerlemenin aşınmaya etkisi

TiN-TiCN-TiN olarak üç katman kaplanmış kesici takım kullanılarak V=270 m/min sabit kesme hızıyla yapılan deneysel çalışmanın grafiği Şekil 5.15’de verilmiştir.

İlerleme hızının 0,05 mm/diş’den 0,10 mm/diş’e çıkmasıyla elde edilen %100’lük bir artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %29’lük bir artış görülmüştür.

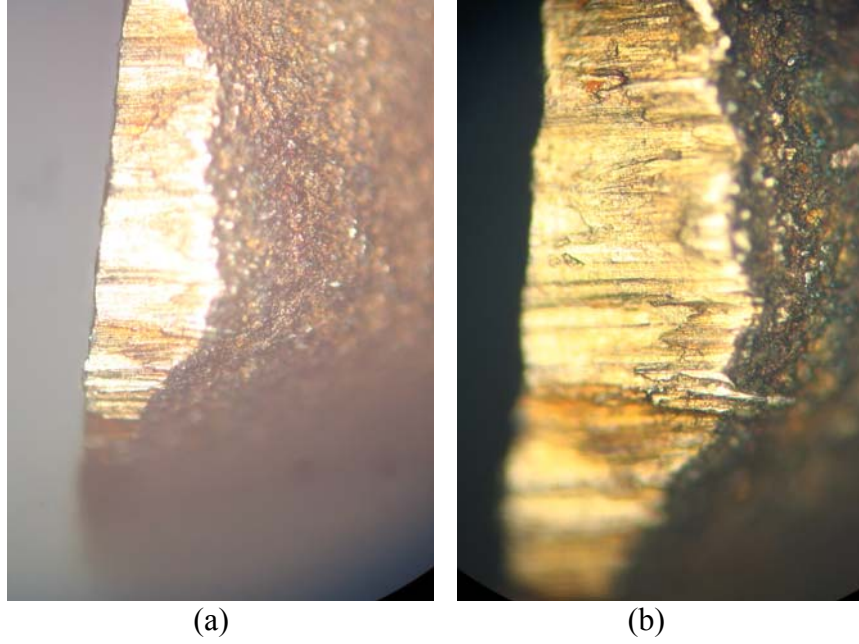
İlerleme hızının 0,10 mm/diş'den 0,15 mm/diş'e çıkmasıyla elde edilen %50'lik artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %19'lık bir artış görülmüştür. İlerleme hızlarının kaldırılan talaş hacmine göre yan kenar aşınmasını gösteren eğri benzeşim formülü ve R^2 analizi yapılmış Çizelge 5.15'de verilmiştir. Ayrıca takımda meydana gelen yan kenar aşınmasının fotoğrafı da Resim 5.3'de verilmiştir.



Şekil 5.15. En üst katmanı TiN kaplı kesici takım ve $V=270$ m/min kesme hızında ilerlemenin aşınmaya etkisi

Çizelge 5.15. En üst katmanı TiN kaplı kesici takımın ve $V=270$ m/min kesme hızında ilerlemenin aşınmaya etkisinin incelendiği deney ait eğri Benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

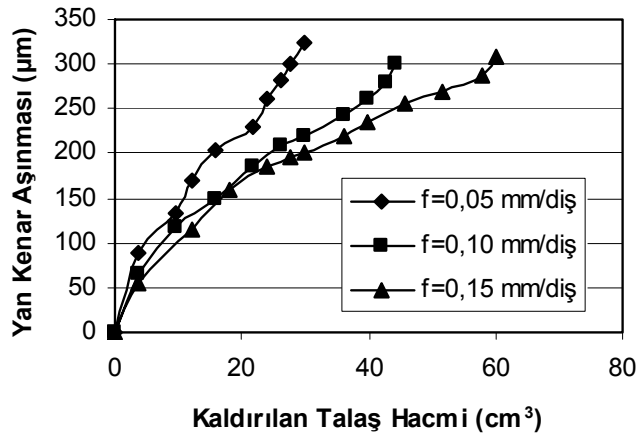
İlerleme Hızı (mm/diş)	Kesme Hızı (mm/min)	Takım Kaplaması	Eğri Benzeşim Formülü	Benzeşim Katsayısı (R^2)
0,05	270	TiN-TiCN-TiN	$y = 0,0129x + 51,824$	0,9207
0,10	270	TiN-TiCN-TiN	$y = 0,0106x + 18,411$	0,9838
0,15	270	TiN-TiCN-TiN	$y = 0,0082x + 24,127$	0,9774



Resim 5.3. En üst katmanı TiN olarak kaplanmış, PDERGP talaş kırıcı formulu takımın $V= 270$ m/min kesme hızı ve $f= 0,05$ mm/diş ilerlemedeki takım aşınması a) Yan kenar aşınması 20x b) Yan kenar aşınması 50x

5.2.7. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takım ve $V=180$ m/min kesme hızında ilerlemenin aşınmaya etkisi

TiN-TiCN- Al_2O_3 olarak üç katman kaplanmış kesici takım kullanılarak $V=180$ m/min sabit kesme hızıyla yapılan deneysel çalışmanın grafiği Şekil 5.16'da verilmiştir.

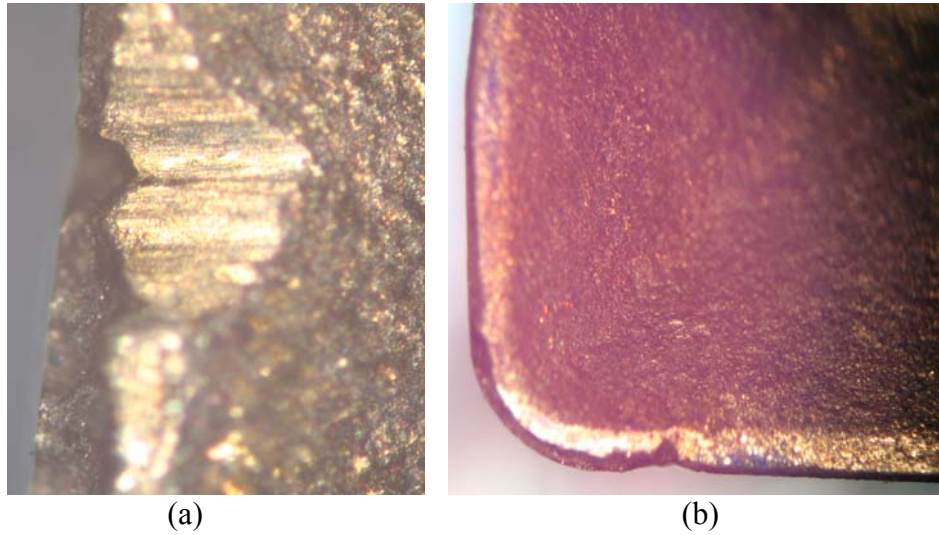


Şekil 5.16. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takım ve $V=180$ m/min kesme hızında ilerlemenin aşınmaya etkisi

Çizelge 5.16. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takımın ve $V=180$ m/min kesme hızında ilerlemenin aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/diş)	Kesme Hızı (m/min)	Takım Kaplaması	Eğri Benzeşim Formülü	Benzeşim Katsayısı (R^2)
0,05	180	TiN-TiCN- Al_2O_3	$y = 0,0097x + 33,754$	0,9742
0,10	180	TiN-TiCN- Al_2O_3	$y = 0,0058x + 41,357$	0,9618
0,15	180	TiN-TiCN- Al_2O_3	$y = 0,0045x + 51,195$	0,9407

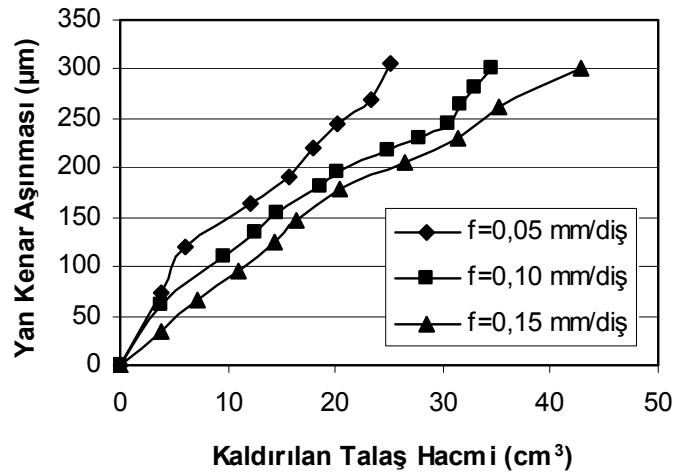
İlerleme hızının 0,05 mm/diş'ten 0,10 mm/diş'e çıkmasıyla elde edilen %100'lük bir artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %47'lik bir artış görülmüştür. İlerleme hızının 0,10 mm/diş'ten 0,15 mm/diş'e çıkmasıyla elde edilen %50'lik artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %36'lık bir artış görülmüştür. İlerleme hızlarının kaldırılan talaş hacmine göre yan kenar aşınmasını gösteren eğri benzeşim formülü ve R^2 analizi yapılmış Çizelge 5.16'da verilmiştir. Ayrıca takımda meydana gelen yan kenar aşınmasının fotoğrafı da Resim 5.4'de verilmiştir.



Resim 5.4. En üst katmanı Al_2O_3 olarak kaplanmış, PDERGP talaş kırıcı formulu takımın $V= 180$ m/min kesme hızı ve $f= 0,05$ mm/diş ilerlemedeki yan takım aşınması a) Yan kenar aşınması b) Talaş yüzeyindeki aşınma

5.2.8. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takım ve $V=225$ m/min kesme hızında ilerlemenin aşınmaya etkisi

TiN-TiCN- Al_2O_3 olarak üç katman kaplanmış kesici takım kullanılarak $V=225$ m/min sabit kesme hızıyla yapılan deneysel çalışmanın grafiği Şekil 5.17’de verilmiştir.



Şekil 5.17. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takım ve $V=225$ m/min kesme hızında ilerlemenin aşınmaya etkisi

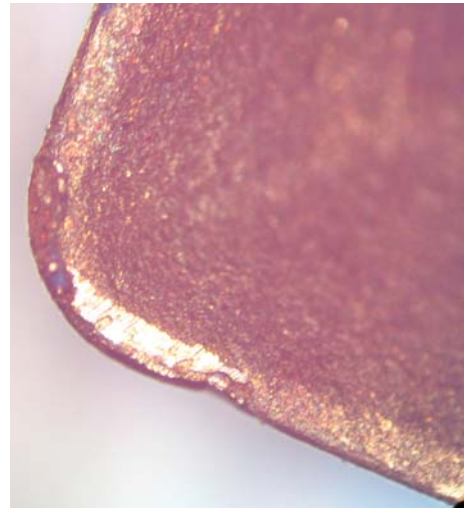
İlerleme hızının 0,05 mm/diş’ten 0,10 mm/diş’e çıkmasıyla elde edilen %100’lük bir artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %38’lik bir artış görülmüştür. İlerleme hızının 0,10 mm/diş’ten 0,15 mm/diş’e çıkmasıyla elde edilen %50’lik artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %24’lük bir artış görülmüştür. İlerleme hızlarının kaldırılan talaş hacmine göre yan kenar aşınmasını gösteren eğri benzeşim formülü ve R^2 analizi yapılmış Çizelge 5.17’de verilmiştir. Ayrıca takımda meydana gelen yan kenar aşınmasının fotoğrafı da Resim 5.5’de verilmiştir.

Çizelge 5.17. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takım ve $V=225$ m/min kesme hızında ilerlemenin aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/diş)	Kesme Hızı (mm/min)	Takım Kaplaması	Eğri Benzeşim Formülü	Benzeşim Katsayısı (R^2)
0,05	225	TiN-TiCN- Al_2O_3	$y = 0,0109x + 26,217$	0,9768
0,10	225	TiN-TiCN- Al_2O_3	$y = 0,0077x + 28,164$	0,9782
0,15	225	TiN-TiCN- Al_2O_3	$y = 0,007x + 17,453$	0,9854



(a)

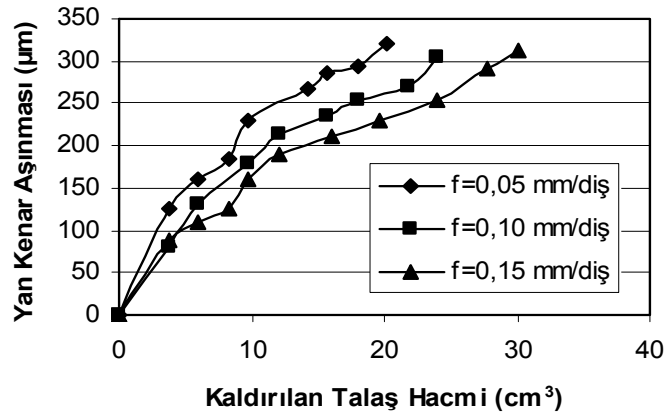


(b)

Resim 5.5. En üst katmanı Al_2O_3 olarak kaplanmış, PDERGP talaş kırıcı formulu takımın $V= 225$ m/dak kesme hızı ve $f= 0,05$ mm/diş ilerlemedeki takım aşınması a) Yan kenar aşınması b) Talaş yüzeyindeki aşınma

5.2.9. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takım ve $V=270$ m/min kesme hızında ilerlemenin aşınmaya etkisi

TiN-TiCN- Al_2O_3 olarak üç katman kaplanmış kesici takım kullanılarak $V=270$ m/min sabit kesme hızıyla yapılan deneysel çalışmanın grafiği Şekil 5.18'de verilmiştir.

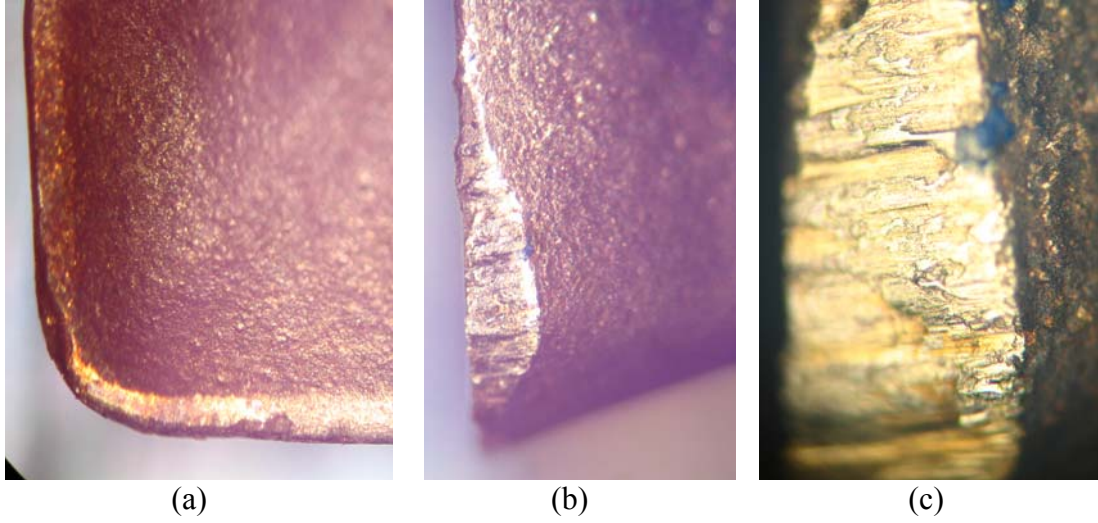


Şekil 5.18. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takım ve $V=270$ m/min kesme hızında ilerlemenin aşınmaya etkisi

İlerleme hızının 0,05 mm/diş'ten 0,10 mm/diş'e çıkmasıyla elde edilen %100'lük bir artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %20'lik bir artış görülmüştür. İlerleme hızının 0,10 mm/diş'ten 0,15 mm/diş'e çıkmasıyla elde edilen %50'lik artışla, takımın kaldırdığı talaş miktarında %25'lik bir artış görülmüştür. İlerleme hızlarının kaldırılan talaş hacmine göre yan kenar aşınmasını gösteren eğri benzeşim formülü ve R^2 analizi yapılmış Çizelge 5.18'de verilmiştir. Ayrıca takımda meydana gelen yan kenar aşınmasının fotoğrafı da Resim 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.18. En üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takımın ve $V=270$ m/min kesme hızında ilerlemenin aşınmaya etkisinin incelendiği deneye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/diş)	Kesme Hızı (mm/min)	Takım Kaplaması	Eğri Benzeşim Formülü	Benzeşim Katsayısı (R^2)
0,05	270	TiN-TiCN- Al_2O_3	$y = 0,0144x + 54,853$	0,9265
0,10	270	TiN-TiCN- Al_2O_3	$y = 0,0116x + 42,153$	0,9398
0,15	270	TiN-TiCN- Al_2O_3	$y = 0,0091x + 48,811$	0,9465

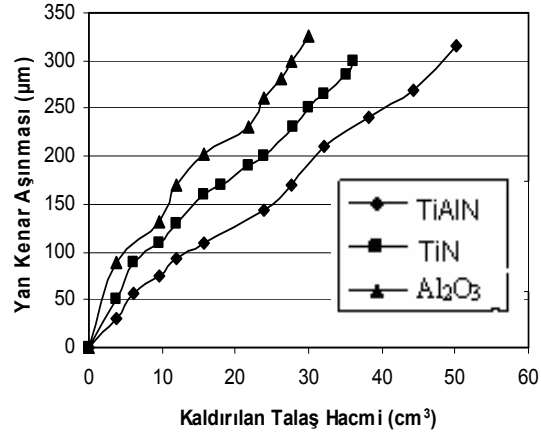


Resim 5.6. En üst katmanı Al_2O_3 olarak kaplanmış, PDERGP talaş kırıcı formulu takımın $V=270$ m/dak kesme hızı ve $f=0,05$ mm/diş ilerlemedeki yan kenar aşınması a) Talaş yüzeyindeki aşınma b) Yan kenar aşınması 5x c) Yan kenar aşınması 50x

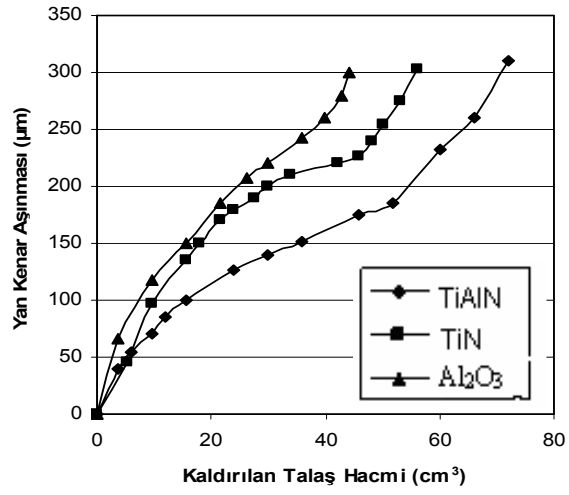
5.3. Kaplama Malzemesinin Takım Aşınmasına Etkisi

5.3.1. $V=180$ m/min kesme hızı ve değişik ilerlemedeki kaplama malzemelerinin aşınmaya etkisi

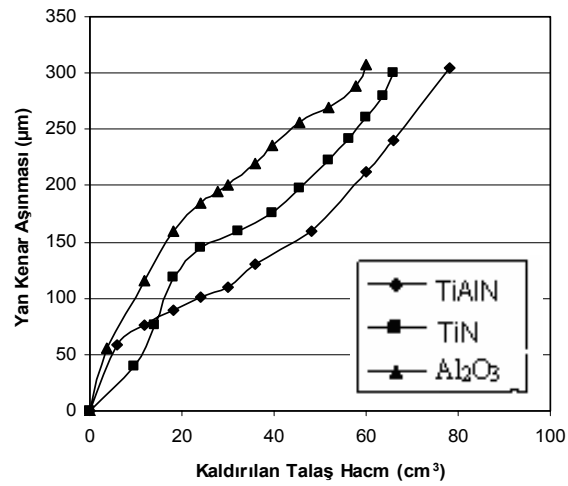
$V=180$ m/min kesme hızı ve $f=0,05$, $f=0,10$ ve $f=0,15$ mm/diş ilerleme değerleri kullanılarak yapılan çalışmada en iyi aşınma dayanımını PVD yöntemiyle TiAlN kaplanmış kesici takım vermiştir. TiAlN kaplı kesiciden sonra en iyi aşınma dayanımını en üst katmanı TiN kaplanmış takım ve daha sonra da en üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takımlar göstermiştir. Ayrıca takımda meydana gelen yan kenar aşınmasının fotoğrafı da Resim 5.1 ve Resim 5.4’de verilmiştir. Deneylere ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları Ek-2 Çizelge 2.1’de verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

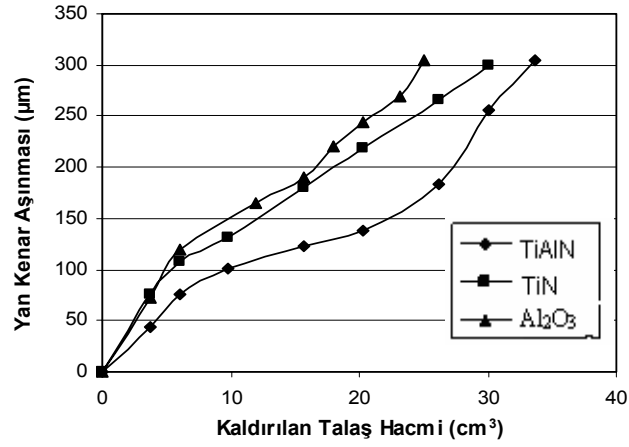
Şekil 5.19. Sabit $V=180$ m/min kesme hızında ve 0,05-0,10-0,15 mm/diş ilerleme hızlarında takım kaplamalarının karşılaştırılması; a) 0,05 mm/diş ilerleme, b) 0,10 mm/diş ilerleme, c) 0,15 mm/diş ilerleme

5.3.2. V=225 m/min kesme hızı ve değişik ilerlemedeki kaplama malzemelerinin aşınmaya etkisi

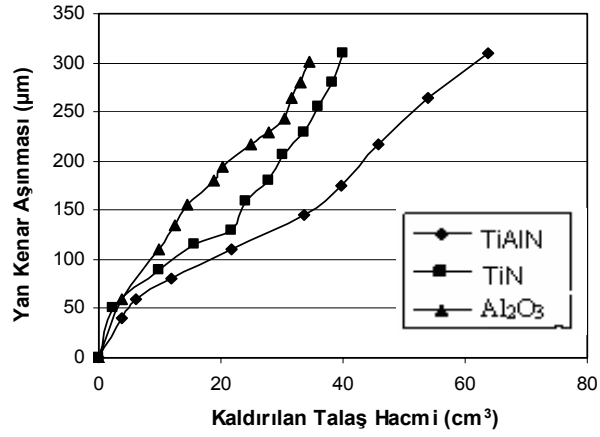
V=225 m/min kesme hızı ve $f=0,05$, $f=0,10$ ve $f=0,15$ mm/diş ilerleme değerleri kullanılarak yapılan çalışmada en iyi aşınma dayanımını PVD yöntemiyle TiAlN kaplanmış kesici takım vermiştir. TiAlN kaplı kesiciden sonra en iyi aşınma dayanımını en üst katmanı TiN kaplanmış takım ve daha sonra da en üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takımlar göstermiştir. Ayrıca takımda meydana gelen yan kanar aşınmasının fotoğrafı da Resim 5.2 ve Resim 5.5’de verilmiştir. Deneylere ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları Ek-2 Çizelge 2.2’de verilmiştir.

5.3.3. V=270 m/min kesme hızı ve değişik ilerlemedeki kaplama malzemelerinin aşınmaya etkisi

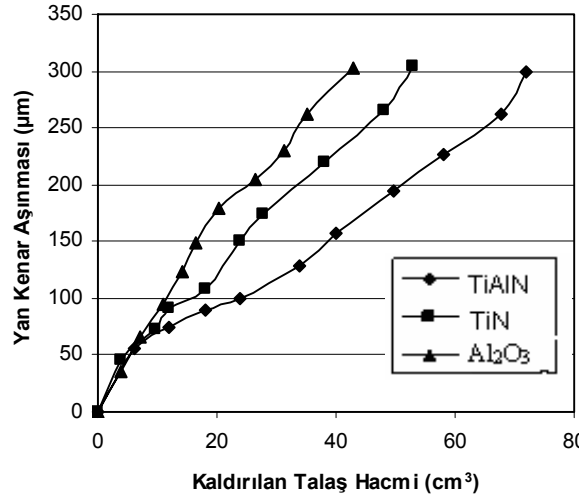
V=180 m/min kesme hızı ve $f=0,05$, $f=0,10$ ve $f=0,15$ mm/diş ilerlemeler kullanılarak yapılan çalışmada en iyi aşınma dayanımını PVD yöntemiyle TiAlN kaplanmış kesici takım vermiştir. TiAlN kaplı kesiciden sonra en iyi aşınma dayanımını en üst katmanı TiN kaplanmış takım ve daha sonra da en üst katmanı Al_2O_3 kaplı kesici takımlar göstermiştir. Bu sonuç, TiAlN kaplama malzemesinin diğer iki kaplamaya nazaran daha yüksek sertlik ve oksidasyon sıcaklığı, daha düşük sürtünme katsayısına atfedilmiştir. Ayrıca takımda meydana gelen yan kanar aşınmasının fotoğrafı da Resim 5.3 ve Resim 5.6’da verilmiştir. Deneylere ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları Ek-2 Çizelge 2.3’de verilmiştir.



(a)

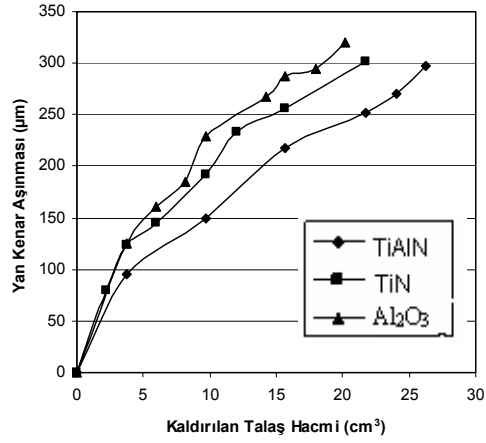


(b)

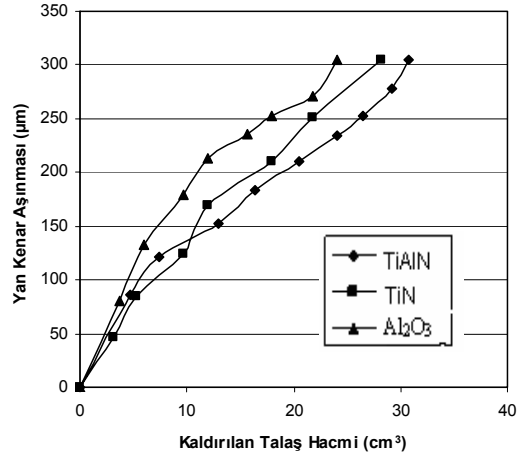


(c)

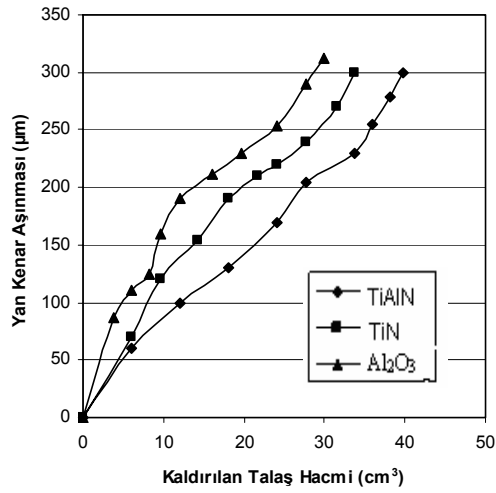
Şekil 5.20. Sabit $V=225$ m/min kesme hızında ve 0,05–0,10–0,15 mm/diş ilerleme hızlarında takım kaplamalarının karşılaştırılması; a) 0,05 mm/diş ilerleme, b) 0,10 mm/diş ilerleme, c) 0,15 mm/diş ilerleme



(a)



(b)



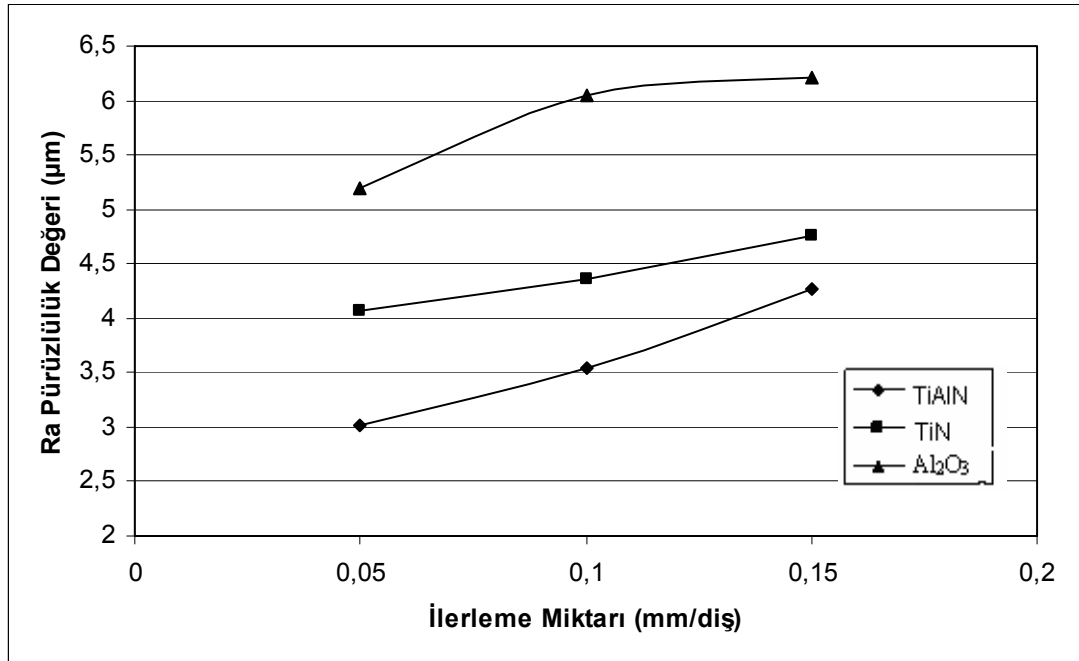
(c)

Şekil 5.21. Sabit $V=270$ m/min kesme hızında ve 0,05–0,10–0,15 mm/diş ilerleme hızlarında takım kaplamalarının karşılaştırılması; a) 0,05 mm/diş ilerleme, b) 0,10 mm/diş ilerleme, c) 0,15 mm/diş ilerleme

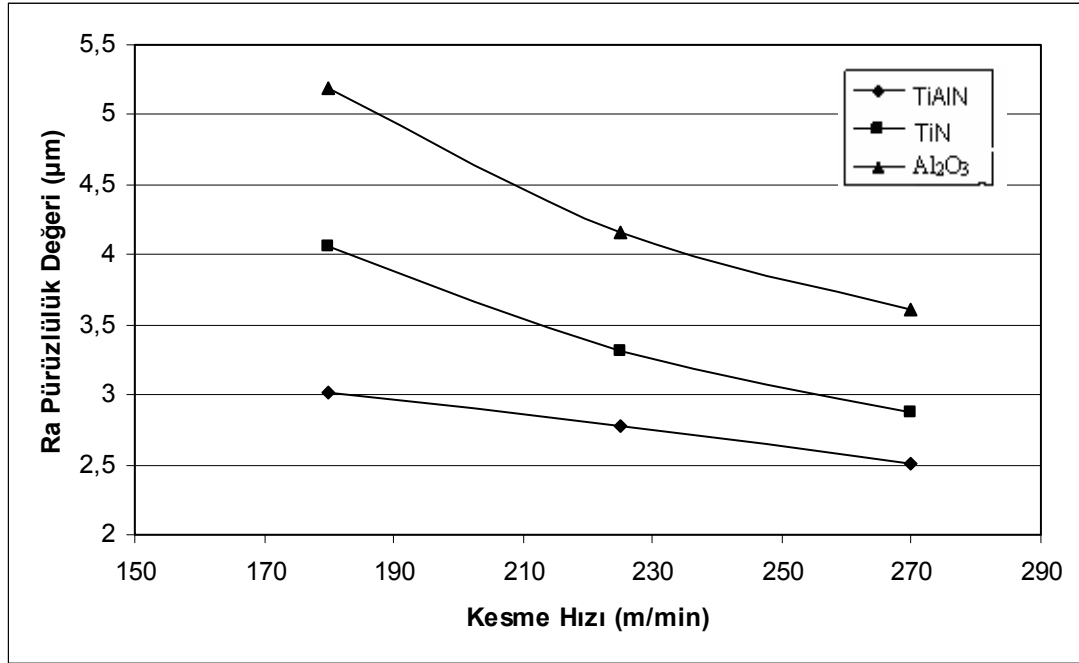
5.4. Kaplama Malzemesinin, Kesme Hızının ve İlerlemenin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Pürüzlülük deneylerinde de aşınma deneylerinde olduğu gibi üç farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme ve üç farklı malzemeyle kaplanmış kesici takımlar kullanılmıştır. Şekil 5.22’de görüldüğü gibi ilerleme hızındaki artışla beraber yüzey pürüzlülüğünde bir artış meydana gelirken, kesme hızının artışıyla yüzey pürüzlülüğünde bir azalma eğilimi meydana geldiği görülmektedir (Şekil 5.23). Yine Şekil 5.22 ve 5.23’de takım kaplamalarının mukayesesi yapılmıştır. Sonuç olarak TiAlN kaplanmış kesici takımın diğer kaplamalı takımlara göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Bu durum TiAlN kaplama malzemesinin diğer kaplama malzemelerine göre daha düşük sürtünme katsayısına sahip olmasıyla açıklanabilir.

Yapılan deneylerin diğer sonuçları tablo halinde Ek-3’te verilmiştir.



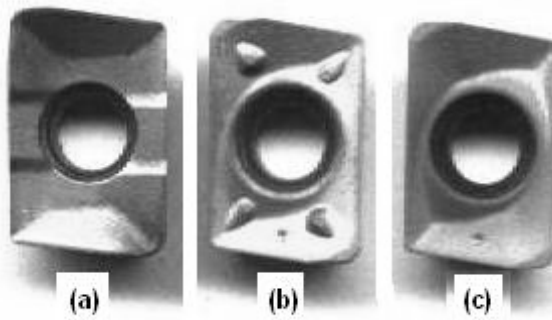
Şekil 5.22. Kaplama malzemelerinin ilerleme hızı – yüzey pürüzlülüğü grafiği



Şekil 5.23. Kaplama malzemelerinin kesme hızı – yüzey pürüzlülüğü grafiği

5.5. Talaş kırıcı formunun takım aşınmasına ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri

Bu grupta yapılan deneyler Çizelge 5.19’da verilmiştir. Ayrıca takım talaş kırıcı formları da Resim 4.6’da verilmiştir.



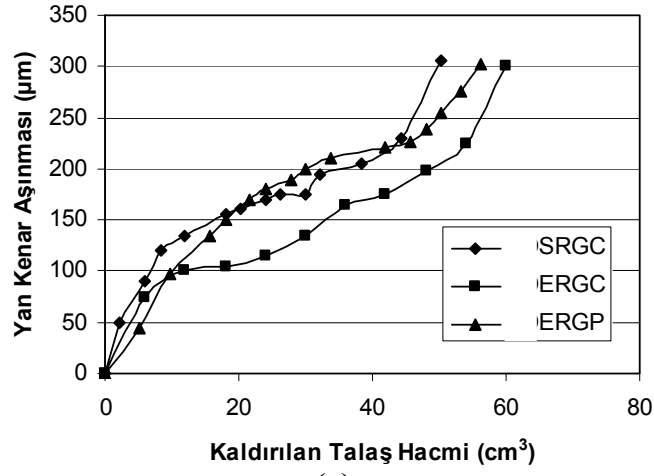
Resim 4.6. TiN/TiCN/TiN kaplı kesici takımlar, a) ERGP, b) SRGC, c) ERGC

Çizelge 5.19. Talaş kırıcı formunun takım aşınmasına etkisinde kullanılan deney parametreleri

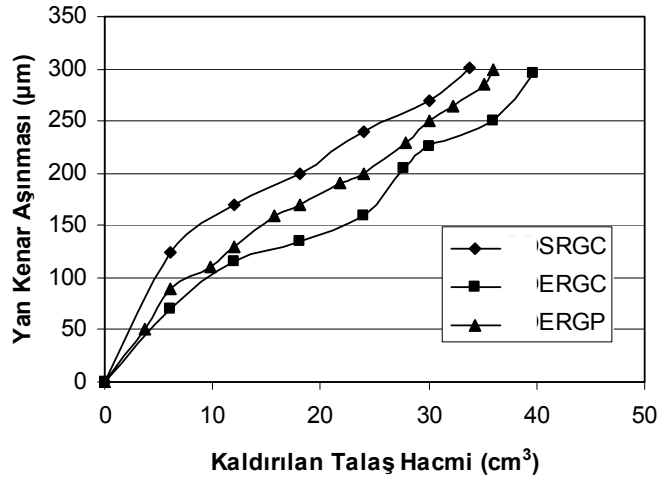
Talaş Kırıcı Formu	Takım Kaplaması	Kesme Hızı (m/min)	İlerleme (mm/diş)
ERGP	TiN/TiCN/TiN	180	0,05
		225	0,10
		270	0,15
SRGC	TiN/TiCN/TiN	180	0,05
		225	0,10
		270	0,15
ERGC	TiN/TiCN/TiN	180	0,05
		225	0,10
		270	0,15

Şekil 5.24’de de görüldüğü gibi her kesme hızı ve ilerleme değerinde bütün talaş kırıcı formları yaklaşık sonuçlar vermiştir. Geneline bakıldığında zaman ERGC (Resim 4.6 (c)) talaş kırıcı formunun diğerlerinden biraz daha iyi sonuç verdiği ve diğer formlara göre takımın kaldırdığı talaş hacminde %5~8 arasında bir artış olduğu görülmüştür. Ayrıca elde edilen bazı fotoğrafla Şekil 5.7 ve 5.8’de verilmişti.

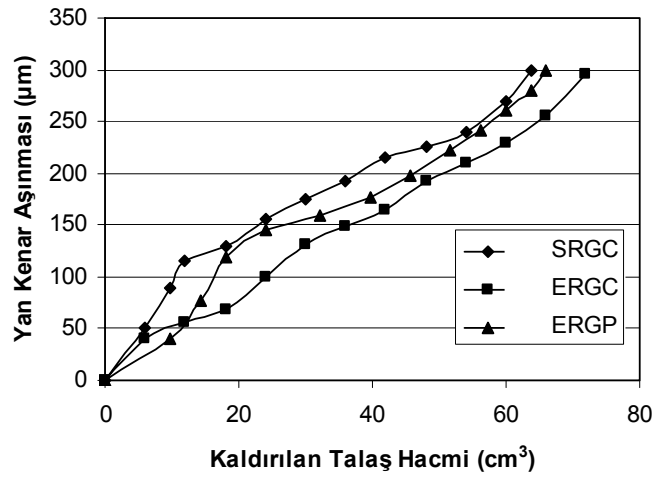
Yapılan deneyde yüzey pürüzlülükleri de ölçülmüş ve birbirlerine çok yakın sonuçlar bulunmuştur (Şekil 5.25). Aşınma deneyinde olduğu gibi ERGC (Resim 4.6 (c)) talaş kırıcı formunun diğer takımlara göre biraz daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. ERGC tipi talaş kırıcı kesici takım diğer talaş kırıcı formlu takımlara nazaran %7~12 arasında yüzey pürüzlülüğünde bir iyileşme göstermiştir. Buna sebep olarak ta talaş kırıcı deseninin, talaşı ne kadar çabuk uzaklaştıracak şekilde olursa aşınmanın daha az olacağı ve dolayısıyla aşınmanın geç olacağı gerçeğiyle açıklanabilir [29].



(a)

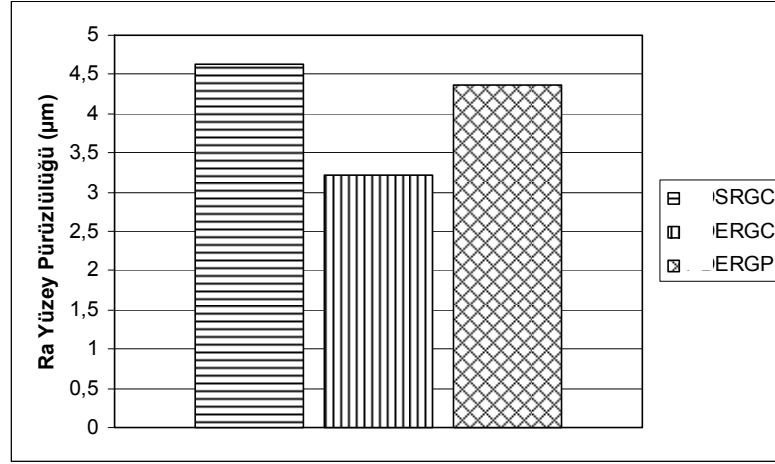


(b)

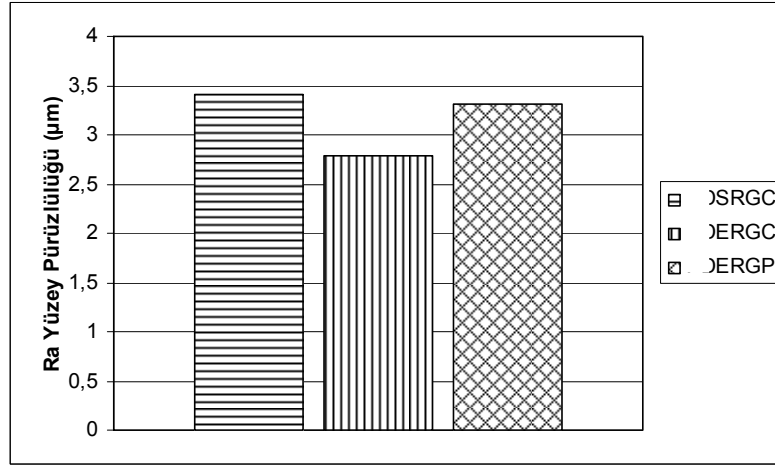


(c)

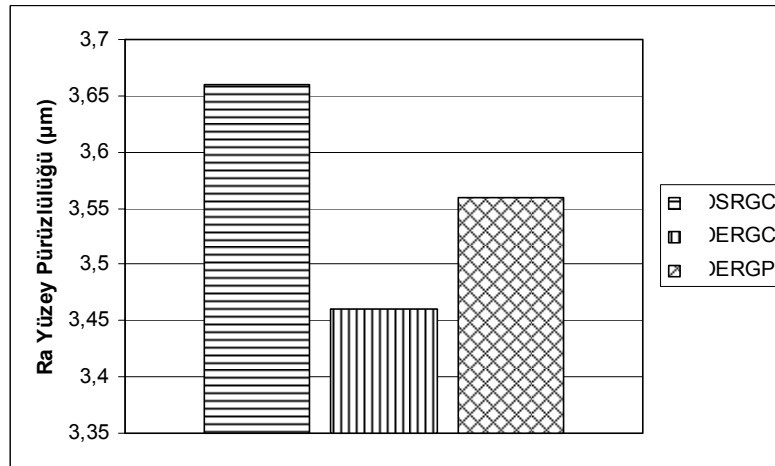
Şekil 5.24. a) $V=180$ m/min $f=0,05$ mm/diş, b) $V=225$ m/min $f=0,1<0$ mm/diş, c) $V=270$ m/dak $f=0,15$ mm/diş



(a)

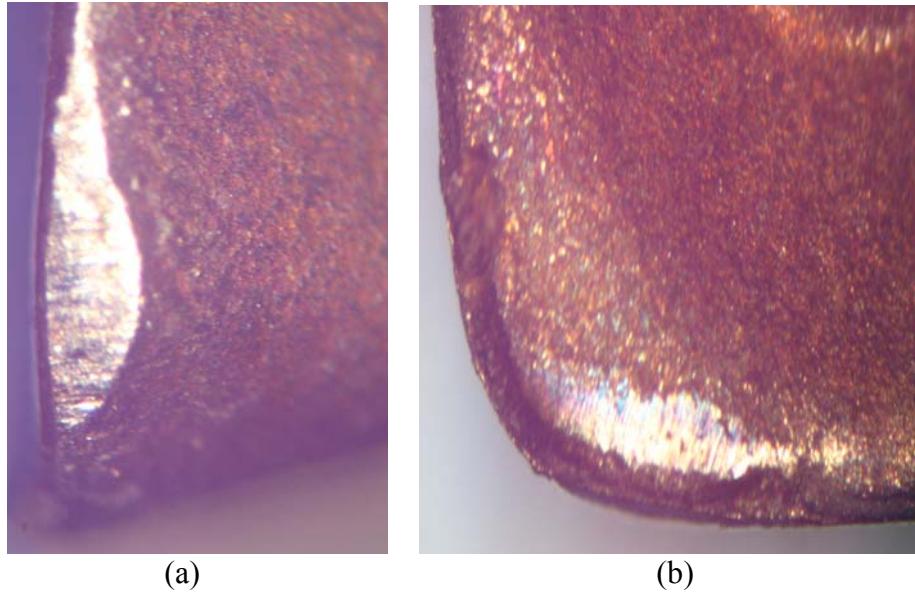


(b)

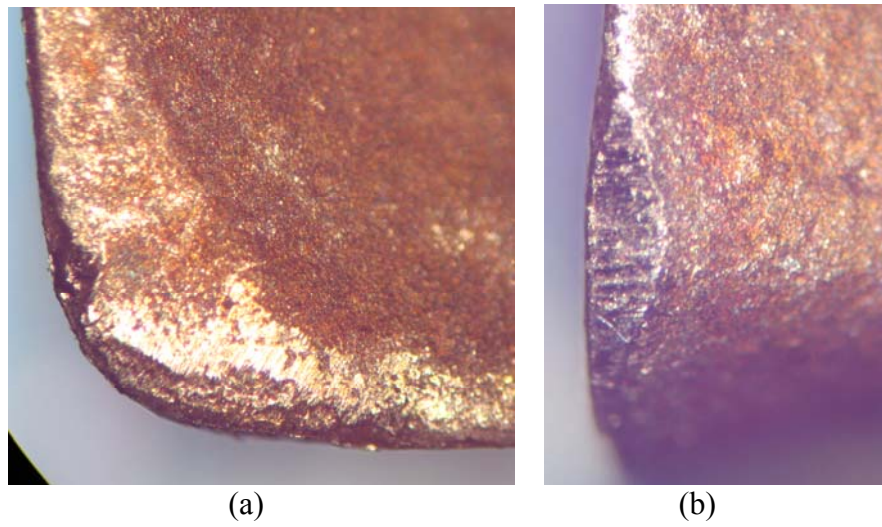


(c)

Şekil 5.25. Talaş kırıcı formuna göre yüzey pürüzlülüğü grafikleri, a) $V=180$ m/min $f=0,05$ mm/diş, b) $V=225$ m/min $f=0,10$ mm/diş, c) $V=270$ m/min $f=0,15$ mm/diş



Resim 5.7. En üst katmanı TiN olarak kaplanmış, SRGC talaş kırıcı formu takımın $V= 225$ m/min kesme hızı ve $f= 0,10$ mm/diş ilerlemedeki yan kenar aşınması a) Yan kenar aşınması b) Takımın üst görünüşü



Resim 5.8. En üst katmanı TiN olarak kaplanmış, ERGC talaş kırıcı formu takımın $V= 270$ m/min kesme hızı ve $f= 0,15$ mm/diş ilerlemedeki yan kenar aşınması a) Takımın üst görünüşü b) Yan kenar aşınması

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuç

Yapılan bu çalışmada, imalatta büyük bir kullanım alanı olan CVD ile TiN/TiCN/TiN olarak üç katman kaplanmış, CVD ile TiN/TiCN/Al₂O₃ kaplanmış ve PVD ile TiAlN kaplanmış kesici uçlar kullanılmıştır. Kalite ve ekonomiklik bakımından büyük bir öneme sahip olan işlenmiş parçanın yüzey pürüzlülüğü ve takımdaki aşınmalar değerlendirilmiştir. Malzeme olarak sünek ve işlenmesi zor olan AISI 316 östenitik paslanmaz çelik seçilmiştir. Bu araştırmada elde edilen önemli bulgular aşağıda özetlenmiştir.

1. Kesme hızının takım aşınmasını nasıl etkileyeceğini görmek için yapılan deneylerde, kesme hızının artması ile takım ömründe bir azalma görülmüştür. Bu durum, yüksek kesme hızlarında ortaya çıkan aşırı ısının kesici takım malzemesinde deformasyonlara yol açmasına bağlanabilir. Bu sonuç 3, 4, 5, 17 ve 18 numaralı literatürlerle paralellik göstermektedir. Operasyon süresini uzatacakmış gibi görünse de, uç değiştirmek için harcanacak zamanı göz önüne alırsak, takım aşınmasını en azda tutabilmek için kesme hızının uygun bir seviyeye çekilmesi etkili olacaktır.
2. İlerleme miktarındaki değişimin takım aşınmasını nasıl etkileyeceğini görmek için yapılan deneylerde ise, ilerleme miktarının artmasıyla takım aşınmasında kısmen bir iyileşme görülmüştür. Takımların işleme zamanlarına bakıldığı zaman ise ilerlemenin artmasının takımın ömrünü olumsuz etkilediği belirlenmiştir ve kesme sırasında ki sürtünmenin, ilerlemenin artmasıyla yükselmesine bağlanmıştır. Bu durum pek çok literatürle paralellik göstermektedir.
3. Kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelemek için yapılan deneylerde, kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünde bir azalma görülmüştür. Bu durum, kesme hızındaki artışa bağlı olarak artan sıcaklıkla, iş parçası malzemesinin daha kolay deforme edilmesine ve akma bölgesi oluşmasına bağlanabilir ve 8, 12, 13 ve 17 numaralı literatürlerle paralellik göstermektedir. Yüzey pürüzlülüğünü

iyileştirmek için temizleme pasosunda kesme hızını arttırmak etkili bir yöntem olacaktır.

4. İlerlemenin yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemek için yapılan deneylerde ilerleme miktarındaki artışla yüzey pürüzlülüğünde de bir artış görülmüştür. Bu durum 8, 12, 13 ve 17 numaralı literatürlerle paralellik göstermektedir.

5. Kesici takım kaplama malzemesinin takım aşınmasına etkisini incelemek için yapılan deneylerde TiAlN kaplı takımın diğer takımlardan daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Bu durum TiAlN kaplama malzemesinin diğer malzemelere göre daha yüksek sertlik değerlerine, yüksek oksidasyon sıcaklığı değerlerine ve düşük sürtünme katsayısına atfedilmiştir (Çizelge 2.1). Bu sonuç mevcut literatürlerin pek çoğuyla paralellik göstermektedir.

6. Yine kesici takım kaplama malzemesinin takım aşınmasına etkisini incelemek için yapılan deneylerde TiAlN kaplı takımdan sonra en iyi sonucu TiN/TiCN/TiN şeklinde üç katman kaplanmış takım vermiştir. Su sonuç kaplamanın son katman malzemesi olan TiN'in, TiN/TiCN/Al₂O₃ olarak gene üç katman kaplanmış takımın son kaplama malzemesi olan Al₂O₃'den daha iyi özellikler göstermesine atfedilmiştir. Bu durum 12 ve 26 numaralı literatürlere tam bir paralellik sergilemektedir.

7. Kesici takım kaplama malzemesinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemek için yapılan çalışmada, TiAlN kaplı kesici takımın diğer kaplama malzemeleriyle kaplanmış kesici takımlardan daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Bu durum daha düşük sürtünme katsayısına atfedilmiştir. Takım – talaş ara yüzeyindeki deformasyon bölgesinde düşük sürtünme katsayısına bağlı düşük sürtünme kuvvetleri, sıcaklığın da düşmesine sebep olmaktadır. TiAlN kaplı kesici takımı sırasıyla, son katmanı TiN kaplı kesici takım ve son katmanı Al₂O₃ kaplı kesici takım takip etmektedir.

8. Takımların üzerinde bulunan talaş kırıcı formun takım aşınmasına olan etkisini incelemek için yapılan çalışmada, talaş kırıcı formun takım aşınmasını çok fazla

etkilememekle beraber, ERGC kodlu takımın %5~8 arasında kaldırdığı talaş miktarında bir artış görülmüştür. ERGC kodlu takımı sırasıyla ERGP ve SRGC kodlu takımlar izlemiştir.

9. Yine talaş kırıcı formunun yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini incelemek için yapılan çalışmada, ERGC kodlu talaş kırıcı formunun diğer formlara göre %7~12 arasında bir iyileşme gösterdiği görülmüştür. Bu durum bize ERGC kodlu takımın üzerinde bulunan talaş kırıcı desenin, talaşı takımdan ve malzemedan uzaklaştırmada daha başarılı olduğunu göstermiştir. ERGC kodlu takımı sırasıyla ERGP ve SRGC kodlu takımlar izlemiştir.

10. Her bir deney gurubunda bağımlı değişkenin yüzey pürüzlülüğüne ve takım yan kenar aşınmasına etkisi, eğri benzeştirme işlemine tabi tutulmuş ve eğri benzeşim katsayıları elde edilmiştir. İlerleme, kesme hızı ve takım kaplamasını yüzey pürüzlülüğüne ve takım aşınmasına etkisini gösteren benzeşim katsayıları 0,92-1 arasında değişen değerlerde bulunmuştur. Bu durumda eğrilerin ara değerleri hesaplanarak yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması tahmini yapmak mümkün olabilecektir [13].

6.2. Öneriler

1. Bu çalışmada sadece uç yarıçapı $r=0,8$ mm olan takımlar kullanılmıştır. Radyüsün özellikle yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemek için uç yarıçap alternatifleri denenebilir.
2. Bu çalışmada kesme kuvvetleri ve tezgah rijitliği dikkate alınmadan değerlendirme yapılmıştır. Kesme kuvvetleri ve tezgah titreşimi ölçülerek etkileri incelenebilir.
3. Bu deneysel çalışmada tek tip malzeme kullanılmıştır. Aynı malzemenin değişik sertlikleri veya farklı malzemeler kullanılarak işlenilebilirlik deneyleri yapılabilir.
4. Deneylerde üç farklı kesme hızı ve ilerleme değerleri kullanılmıştır. Bu sayı artırılarak daha geniş aralıklardaki dalgalanmalar görülebilir.

5. Deneylerde üç adet kesici uç bağlanabilen tutucuya tek uç bağlanmıştır. Tutucuya bağlanan kesici takım sayıları değiştirilerek etkileri incelenebilir.

6. Bu çalışmada sabit kesme derinliği kullanılmıştır. Kesme derinliğinin takım aşınmasına ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemek için bu sayı arttırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Çiftçi, İ., “Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme hızının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 20 (2): 205-209 (2005).
2. Ducros, C., and Sanchette, F., “Multilayered and nanolayered hard nitride thin films deposited by cathodic arc evaporation. Part 2: Mechanical properties and cutting performances”, *Surface & Coatings Technology*, 257:29-37 (2006).
3. Hossein-El-Abou, K. A., and Yahya, Z., “High-speed end-milling of AISI 304 stainless steels using new geometrically developed carbide inserts”, *Journal of Materials Processing Technology* 162-163, 596-602 (2006).
4. Khrais, S.K., and Lin, Y. J., “Wear mechanisms and tool performans of TiAlN PVD coated inserts during machining of AISI 4140 steels”, *Elsevier Science Direct Wear*, 116:52-58 (2006).
5. Işık, Y. “Investigating and machinability of tool steel in turning operations”, *Materials and Design*, 116:25-33 (2006).
6. Çakır, M.C., and Işık, Y., “Detecting tool breakage in turning AISI 1050 steel using coated and uncoated cutting tools”, *Journal of Materials Processing Technology*, 159, 191-198 (2005).
7. Nalbant, M., and Gökkaya, H., “The effects of cutting tool geometry end processing parameters on the surface roughness of AISI 1030 steel”, *Materials and Design*, 261:13-18 (2005).
8. Dobrzanski, L.A., and Mikula, J., “Structure and properties of PVD and CVD coated Al₂O₃ + TiC mixed oxide tool ceramics for dry on high speed cutting processes”, *Journal of Materials Processing Technology*, 164-165, 822-832 (2005).
9. Aslan, E., ve Camuşcu, N., “Sertleştirilmiş AISI D3 takım çeliğinin CBN parmak freze ile yüksek hızda işlenmesi”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 18(3): 453-458 (2005).
10. Reiter, A.E, Brunner, B., Ante, M., Rechberger, J., “Investigation of Several PVD Coatings for Blind Hole Tapping in Austenitiv stainless Steel”, *Materials and Design*, 24:399-404 (2005).
11. Yalçın,B., Yılmaz, N., “Arc PVD Yüzey Kaplama Metoduyla Titanyum Nitrür Kaplanmış Matkap Takımlarında Takım Aşınmasının Deneyisel Olarak

- İncelenmesi”, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, (2003).
12. Habalı, K., “Kesici takım kaplama malzemesinin takım-talaş ara yüzey sıcaklığı üzerindeki etkisinin deneysel olarak araştırılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Makine Eğitim Bölümü*, Ankara, 58-94 (2003).
 13. Can, A., “AISI 5140 çeliğinin Sermet, PVD ile TiAlN – CVD ile TiN kaplanmış kesici uçlarla tornalanmasında kesme değişkenleri, kaplama cinsi ve takım aşınmasının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Makine Eğitim Bölümü*, Ankara, 1-32 (2003).
 14. Paldey, S. and Devi, S.C., “Single layer and multilayer wear resistant coatings of (Ti,Al)N a review”, *Materyal Science and Engineering*, 342: 58-79 (2003).
 15. Janoss, B., “PVD/CVD coatings enhance stamping and forming of stainless steels”, *Multi Arc inc NJ*, 42: 1-9 (2003).
 16. Kim, H., Myung, C., and Park, W., “Performance evaluation of AIP-TiAlN coated tool for high speed machining”, *Surface and Coating Technology*, 163: 734-738 (2003).
 17. Özses, B., “Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü*, Ankara, 1-35 (2002).
 18. Ghani, A.K., and Choudhury, L.A., “Study of tool life surface roughness and vibration in machining nodular cast iron with ceramic tool”, *Journal of Materials Processing Technology*, 127: 17-22 (2002).
 19. Sharman, A., Dewes, R.C., Aspinwall, D.K., “Tool life when high speed ball nose end milling Inconel 718 TM”, *Journal of Materials Processing Technology*, 118: 29-35 (2005).
 20. Ezugwu, E., Okeke, C.I., “Tool Life and Wear Mechanism of TiN Coated Tools in an Intermittent Cutting Operation”, *Journal Material Processing Technology*, 97,114-119 (2000).
 21. Wang, J., “The Effect of the Multi-Layer Surface Coating pf Carbide Insert on the Cutting Force in Turning Operation”, *Journal of Materials Processing Technology*, 97, 114-119 (2000).
 22. Tokmanoğlu, K., Türküz, c., “Kesici Takım Sanayine Yönelik İnce Sert Seramik Kaplamaların Önemi ve Uygulama Sonuçları”, *Yüzey İşlemleri Dergisi*, Kasım-Aralık Sayısı, 300-304 (2000).

23. Jindal, P.C., Santhanam, A.T., Schleinkofer, U., and Shuster, A.F., "Performance of PVD Tin, TiCN, and TiAlN coated cemented carbide tools in turning", *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, 17: 163-170 (1999).
24. Errico, G.E., "A comprative study of PVD coated cermet inserts for milling splications", *Journal Of Material Processig Technology*, 78: 48-52 (1998).
25. Tamura, M., Tokunaga, T., "Deposition of TiCN Coating onto Large-Diameter Tip Saws", *Surface and Coating Technology*, 108-109, 551-557 (1998).
26. Ezugwu, E.O., and Wang, Z.M., "The performans of PVD and CVD coated carbide tools when machining nickel based Inconel 718", *Proceedings of the Third ICPCG*, 3: 102-107 (1996).
27. Akkurt, M., "Takım Tezgahları Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Teknolojisi", *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 351-356,374 (1985).
28. Şahin, Y., "Talaş kaldırma prensipleri", *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 163-170 (2000).
29. Çakır, M.C., "Modern talaşlı imalat yöntemleri", *Vipaş A.Ş. Yayınları*, Bursa, 219-289 (2000).
30. Bodur, H.O., "Takım Tezgahları", *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 171-178 (1984).
31. Böhler Sert Maden ve Takım Sanayi ve Ticaret A.Ş., "Teknik Bülten", *Yeni Karar Yayıncılık*, 14:1-9, 19:1-5, 24:1-7 (1990).
32. Şahin, Y., "İmal Usulleri", *Gazi Kitapevi*, Ankara, 63-75 (2003).
33. Özdemir, Ö., İpek, M., Sakin, Z., "Kesici Takım Malzemeleri", *Mühendis Makine Dergisi*, 487 (Ağustos 2000).
34. Dağ, M., "PVD Yöntemi ile TiN Kaplanmış AISI 304 Çeliğinin Aşınma Deneyleri ve Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-25 (2002).
35. Kibbe, R., White, W., "Machine tool practices", *Prentice Hall Englewood Cliffs, New Jersey*, 281-285, 525-527 (1991).
36. Böhler Sert Maden ve Takım Sanayi ve Ticaret A.Ş., "Talaş kaldırma bilgileri", *Yeni Karar Yayıncılık*, İstanbul, 31-42 (1990).

37. Güllü, A., “Silindirik taşlamada istenen yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için taşlama parametrelerinin bilgisayar yardımıyla optimizasyonu”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Makine Eğitim Bölümü**, Ankara, 1-30 (1995).
38. M.E.B., “Metal meslek bilgisi”, **Milli Eğitim Basımevi**, İstanbul, 247-248 (2000).
39. Cerit, M.A., “Makine mühendisliği el kitabı cilt 1”, **MF Ltd. Şti.**, Ankara, 2-4-5 (1994).
40. Thelning, K.E., “Çelik ve Isıl İşlemi BOFORS Elkitabı”, Çeviri Editörü, Tekin, A., **Flaş Yayınları**, İstanbul, 82-88 (1987).
41. Askeland, D.R., “The science and engineering of materials 3.ed.”, Çeviri Editörü, Erdoğan, M., **Nobel Yayın Dağıtım**, 329-332 (2001).
42. Taban, E., Kaluç, E., “Petrol ve Doğalgaz Boru Hatlarının Yapımında Kullanılan Süpermartenzitik Paslanmaz Çelikler ve Kaynak Edilebilirliği”, **Mühendis ve Makine Dergisi**, 45:536 (2002).

EKLER

EK-1 Kaplama malzemesinin takım aşınmasına etkisi adlı çalışmada elde edilen eğri benzeşim formülü ve benzeşim katsayıları

Çizelge 1.1. 180 m/min sabit kesme hızında değişik takım kaplamaları ve ilerleme hızlarıyla elde edilen eğri benzeşim formülü ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/diş)	Kesme Hızı (mm/min)	Takım Kaplaması	Eğri Benzeşim Formülü	Benzeşim Katsayısı (R ²)
0,05	180	TiAlN	$y = 0,006x + 11,8$	0,994
0,05	180	TiN	$y = 0,0074x + 28,821$	0,9831
0,05	180	Al ₂ O ₃	$y = 0,0097x + 33,754$	0,9742
0,10	180	TiAlN	$y = 0,0035x + 28,451$	0,9678
0,10	180	TiN	$y = 0,0044x + 49,074$	0,923
0,10	180	Al ₂ O ₃	$y = 0,0058x + 41,357$	0,9618
0,15	180	TiAlN	$y = 0,0034x + 18,507$	0,9695
0,15	180	TiN	$y = 0,0041x + 17,737$	0,975
0,15	180	Al ₂ O ₃	$y = 0,0045x + 51,195$	0,9407

EK-1 (Devam) Kaplama malzemesinin takım aşınmasına etkisi adlı çalışmada elde edilen eğri benzeşim formülü ve benzeşim katsayıları

Çizelge 1.2. 225 m/min sabit kesme hızında değişik takım kaplamaları ve ilerleme hızlarıyla elde edilen eğri benzeşim formülü ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/diş)	Kesme Hızı (mm/min)	Takım Kaplaması	Eğri Benzeşim Formülü	Benzeşim Katsayısı (R ²)
0,05	225	TiAlN	$y = 0,0079x + 8,6444$	0,9519
0,05	225	TiN	$y = 0,0091x + 32,383$	0,9757
0,05	225	Al ₂ O ₃	$y = 0,0109x + 26,217$	0,9768
0,10	225	TiAlN	$y = 0,0044x + 15,699$	0,9818
0,10	225	TiN	$y = 0,0068x + 9,5565$	0,9672
0,10	225	Al ₂ O ₃	$y = 0,0077x + 28,164$	0,9782
0,15	225	TiAlN	$y = 0,0037x + 16,512$	0,9837
0,15	225	TiN	$y = 0,0054x + 17,462$	0,9916
0,15	225	Al ₂ O ₃	$y = 0,007x + 17,453$	0,9854

EK-1 (Devam) Kaplama malzemesinin takım aşınmasına etkisi adlı çalışmada elde edilen eğri benzeşim formülü ve benzeşim katsayıları

Çizelge 1.3. 270 m/min sabit kesme hızında değişik takım kaplamaları ve ilerleme hızlarıyla elde edilen eğri benzeşim formülü ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/diş)	Kesme Hızı (mm/min)	Takım Kaplaması	Eğri Benzeşim Formülü	Benzeşim Katsayısı (R ²)
0,05	270	TiAlN	$y = 0,0103x + 34,915$	0,9627
0,05	270	TiN	$y = 0,0129x + 51,824$	0,9207
0,05	270	Al ₂ O ₃	$y = 0,0144x + 54,853$	0,9265
0,10	270	TiAlN	$y = 0,0086x + 33,34$	0,9718
0,10	270	TiN	$y = 0,0106x + 18,411$	0,9838
0,10	270	Al ₂ O ₃	$y = 0,0116x + 42,153$	0,9398
0,15	270	TiAlN	$y = 0,007x + 7,8557$	0,9918
0,15	270	TiN	$Y = 0,0082x + 24,127$	0,9774
0,15	270	Al ₂ O ₃	$y = 0,0091x + 48,811$	0,9465

EK-2 Yüzey pürüzlülük sonuçları

İlerleme Hızı (mm/diş)	Kesme Hızı (mm/min)	Takım Kaplaması	Ra Pürüzlülük Değeri (μm)
0,05	180	TiAlN	3,02
0,05	180	TiN	4,06
0,05	180	Al ₂ O ₃	5,19
0,10	180	TiAlN	3,54
0,10	180	TiN	4,36
0,10	180	Al ₂ O ₃	6,05
0,15	180	TiAlN	4,27
0,15	180	TiN	4,75
0,15	180	Al ₂ O ₃	6,21
0,05	225	TiAlN	2,78
0,05	225	TiN	3,31
0,05	225	Al ₂ O ₃	4,16
0,10	225	TiAlN	3,30
0,10	225	TiN	4,20
0,10	225	Al ₂ O ₃	4,66
0,15	225	TiAlN	4,03
0,15	225	TiN	4,52
0,15	225	Al ₂ O ₃	4,82
0,05	270	TiAlN	2,51
0,05	270	TiN	2,88
0,05	270	Al ₂ O ₃	3,61
0,10	270	TiAlN	2,97
0,10	270	TiN	3,04
0,10	270	Al ₂ O ₃	4,09
0,15	270	TiAlN	3,28
0,15	270	TiN	3,56
0,15	270	Al ₂ O ₃	4,32

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ALTINKAYA, Emre
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 24.03.1981 Ankara
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (318) 225 41 13
e-mail : emrealtinkaya@gmail.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniv./ Makine Eğitim Bölümü	2000
Lise	Kırıkkale Anadolu Teknik Lisesi	1996

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005-2006	Mesan Metal İşlem Sanayi	Teknik Koordinatör

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Bilgisayar teknolojileri, doğa sporları, müzik aletleri