

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAPLAMALI KESİCİ TAKIMLARIN ERKEN AŞINMA
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nurettin ATEŞ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Sakıp KÖKSAL

Haziran 2009

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAPLAMALI KESİCİ TAKIMLARIN ERKEN AŞINMA
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

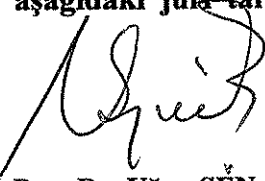
YÜKSEK LİSANS TEZİ


Nurettin ATEŞ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA EĞİTİMİ

Bu tez 19 / 06 /2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Yrd. Doç. Dr. Sakıp KÖKSAL
Jüri Başkanı


Doç. Dr. Uğur ŞEN
Üye


Yrd. Doç. Dr. Ergün NART
Üye

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde engin tecrübesi ve birikimiyle yardım ve önerilerini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Sakıp KÖKSAL'a sonsuz teşekkürlerimi sunmayı borç bilirim.

Projeyi 2008.50.01.14 proje kodu ile destekleyen Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Kesici takımların temininde yardımcı olan Sandvik Coromant Türkiye A.Ş.'ye ve firma temsilcisi Sayın Aksel ÖZTÜRK'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında bana destek olan başta Sayın Mesut EROL olmak üzere tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmamın başından sonuna manevi desteklerini hissettiğim eşime ve kızıma teşekkür ederim.

Çalışmanın yararlı olması dileğiyle...

Nurettin ATEŞ

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ.....	xvi
ÖZET.....	xviii
SUMMARY.....	xix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Taraması.....	5
BÖLÜM 2.	
SÜPER ALAŞIMLAR.....	10
2.1. Süper Alaşımların Genel Özellikleri.....	10
2.2. Süper Alaşımların Gelişimi.....	11
2.3. Süper Alaşımların Sınıflandırılması.....	12
2.3.1. Demir esaslı alaşımlar.....	13
2.3.2. Kobalt esaslı alaşımlar.....	14
2.3.3. Nikel esaslı alaşımlar.....	15
2.3.3.1. Nikel esaslı alaşımların sınıflandırılması.....	16
2.3.3.2. Nikel esaslı alaşımların bileşimi.....	16
2.3.3.3. Nikel esaslı alaşımların özellikleri.....	20
2.4. Süper Alaşımların Yüksek Sıcaklıklardaki Davranışları.....	24
2.4.1. Sürünme/gerilme-kopma	24
2.4.2. Metalürjik kararsızlık	25
2.5. Süper Alaşımların Toz Metalürjisinde Kullanımı	26

2.6. Süper Alaşımların Kullanılma Yerlerine Göre Seçimi.....	26
BÖLÜM 3.	
PASLANMAZ ÇELİKLER.....	29
3.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler.....	29
3.2. Martensitik Paslanmaz Çelikler.....	30
3.3. Çökelti Sertleştirilmiş Paslanmaz Çelikler.....	30
3.4. Östenitik Paslanmaz Çelikler.....	30
3.4.1. Mikroyapıları.....	31
3.4.2. Mekanik özellikleri.....	32
BÖLÜM 4.	
TALAŞ KALDIRMA VE İŞLENEBİLİRLİK	34
4.1. Talaşlı İşlem	34
4.2. Talaş Oluşumu	35
4.2.1. Talaş takım ara yüzeyi.....	36
4.2.2. Deformasyon bölgeleri.....	36
4.2.3. Talaş oluşumunda sıcaklık faktörü.....	41
4.3. Frezelemede Kesme.....	43
4.4. Kesme Kuvvetleri.....	43
4.5. Talaş Tipleri ve Özellikleri.....	44
4.6. İşlenebilirliği Etkileyen Faktörler	46
4.7. Frezelemede Kullanılan Genel Formüller.....	46
4.8. Talaş Kaldırma Parametrelerinin İşlenebilirliğe Etkileri.....	48
BÖLÜM 5.	
KESİCİ TAKIMLAR VE TAKIM AŞINMASI.....	52
5.1. Kesici Takımlarda Aranılan Özellikler.....	52
5.2. Takım Çelikleri.....	54
5.3. Yüksek Hız Çelikleri (HSS).....	55
5.4. Seramik Esaslı Takımlar.....	56
5.4.1. Alüminyum oksit esaslı seramikler (Al_2O_3).....	57
5.4.2. Sialon.....	58

5.4.3. Kübik bor nitrürler (CBN).....	58
5.5. Sermetler (Seramik-Metaller).....	59
5.6. Elmas.....	60
5.7. Sert Maden Uçlar (Sinterlenmiş Karbürler).....	60
5.7.1. Sinterlenmiş karbürlerin sınıflandırılması.....	61
5.8. Kaplamalı Sinterlenmiş Karbürler.....	63
5.9. Kaplama Yöntemleri.....	72
5.9.1. CVD (Kimyasal buhar biriktirme) yöntemi.....	73
5.9.2. PVD (Fiziksel buhar biriktirme) yöntemi.....	74
5.9.3. CVD ve PVD yöntemlerinin karşılaştırılması.....	76
5.10. Nikel Esaslı Alaşımlarda Kullanılan Kesici Takımlar.....	77
5.11. Takım Aşınması.....	78
5.11.1. Takım aşınma mekanizmaları.....	78
5.11.1.1. Abrasyon aşınması.....	79
5.11.1.2. Difüzyon aşınması.....	79
5.11.1.3. Kimyasal reaksiyon.....	80
5.11.1.4. Oksidasyon aşınması.....	80
5.11.1.5. Yorulma aşınması.....	81
5.11.1.6. Adhezyon (yapışma) aşınması.....	81
5.11.2. Aşınma tipleri.....	81
5.11.2.1. Serbest yüzey aşınması.....	82
5.11.2.2. Krater aşınması.....	82
5.11.2.3. Çentik oluşumu.....	83
5.11.2.4. Dökülme (attrition) aşınması.....	85
5.11.2.5. Plastik deformasyon.....	85
5.11.2.6. Termal çatlaklar.....	85
5.11.2.7. Mekanik yorulma çatlakları.....	86
5.11.2.8. Kırılma.....	86
5.11.2.9. BUE (yığılma- sıvanma) etkisi.....	86
5.11.3. Takım aşınması kontrolü.....	89
5.11.4. Takım ömrü.....	92

BÖLÜM 6.

MALZEME VE METOT.....	95
6.1. DeneYlerde Kullanılan Takım Tezgâhı	95
6.2. DeneYlerde Kullanılan Malzemeler	97
6.2.1. DeneY numuneleri.....	97
6.2.2. Kullanılan kesici takımlar ve özellikleri	100
6.2.2.1. PVD-TiAlN kaplamalı takım.....	103
6.2.2.2. PVD-TiAlN + TiN kaplamalı takım.....	104
6.2.2.3. CVD-TiCN+Al ₂ O ₃ +TiN kaplamalı takım.....	105
6.2.2.4. CVD-TiCN+Al ₂ O ₃ kaplamalı takım.....	106
6.2.2.5. CVD-TiCN+Al ₂ O ₃ + (TiN) kaplamalı takım.....	107
6.2.3. DeneYlerde kullanılan kesici takım tutucu.....	109
6.3. Kesme Parametrelerinin Tayini.....	110
6.4. DeneY Yöntemi.	110

BÖLÜM 7.

DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	114
7.1. Nikel Esaslı Alaşımın İşlenmesinden Elde Edilen DeneY Sonuçları ve Değerlendirmesi.....	114
7.1.1. Kesme ve ilerleme hızlarının erken takım aşınmasına etkileri	
7.1.1.1. Kesme hızının erken takım aşınmasına etkisi.....	114
7.1.1.2. İlerleme hızının erken takım aşınmasına etkisi.....	117
7.1.2. PVD - TiAlN kaplamalı (1030) takımın aşınma davranışlarının değerlendirilmesi	119
7.1.3. PVD - TiAlN + TiN kaplamalı (2030) takımın aşınma davranışlarının değerlendirilmesi	124
7.1.4. CVD - TiCN+Al ₂ O ₃ +TiN kaplamalı (2040) takımın aşınma davranışlarının değerlendirilmesi	128
7.1.5. CVD - TiCN+Al ₂ O ₃ kaplamalı (3040) takımın aşınma davranışlarının değerlendirilmesi	131
7.1.6. CVD - TiCN+Al ₂ O ₃ +(TiN) kaplamalı (4240) takımın aşınma davranışlarının değerlendirilmesi	136
7.1.7. Nikel esaslı alaşımın, farklı kesici takımlar ile işlenmesinden	

elde edilen optimum kesme parametreleri.....	141
7.2. Paslanmaz Çeliğin İşlenmesinden Elde Edilen Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	145
7.2.1. Kesme ve ilerleme hızlarının erken takım aşınmasına etkileri	145
7.2.1.1. Kesme hızının erken takım aşınmasına etkisi.....	145
7.2.1.2. İlerleme hızının erken takım aşınmasına etkisi.....	148
7.2.2. PVD - TiAlN kaplamalı (1030) takımın aşınma davranışlarının değerlendirilmesi	151
7.2.3. PVD - TiAlN + TiN kaplamalı (2030) takımın aşınma davranışlarının değerlendirilmesi	155
7.2.4. CVD - TiCN+Al ₂ O ₃ +TiN kaplamalı (2040) takımın aşınma davranışlarının değerlendirilmesi	158
7.2.5. CVD - TiCN+Al ₂ O ₃ kaplamalı (3040) takımın aşınma davranışlarının değerlendirilmesi	160
7.2.6. CVD - TiCN+Al ₂ O ₃ +(TiN) kaplamalı (4240) takımın aşınma davranışlarının değerlendirilmesi	163
7.2.7. Paslanmaz çeliğin, farklı kesici takımlar ile işlenmesinden elde edilen optimum kesme parametreleri.....	166
BÖLÜM 8.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	170
8.1. Sonuçlar.....	170
8.1.1. Nikel esaslı alaşımın işlenmesinde erken takım aşınması sonuçları.....	170
8.1.2. Paslanmaz çelik işlenmesinde erken takım aşınması sonuçları.....	172
8.2. Öneriler.....	174
KAYNAKLAR.....	176
ÖZGEÇMİŞ.....	184

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

V_c	:Kesme hızı, m/dak
f_z	:Diş başına ilerleme miktarı, mm/diş
V_f	:Tabla ilerlemesi mm/dak
Z	:Diş sayısı, adet
a_e	:İşleme genişliği, mm
D_c	:Takım çapı, mm
Q	:Talaş hacmi, cm^3/dak
hm	:Ortalama talaş kalınlığı, mm
t_c	:İşleme zamanı, dak
d	:Talaş derinliği, mm
x, a_p	:Kesme uzunluğu, mm
n	:Fener mili devir sayısı, dev/dak
α	:Talaş açısı, $^{\circ}$
θ	:Kayma düzlemi açısı, $^{\circ}$
t_o	:İş parçasından ayrılacak talaş kalınlığı, mm
t_c	:Kesme işlemi sonucu oluşan talaşın kalınlığı, mm
AlN	:Alüminyum nitrür
AISI	:Amerikan demir ve çelik enstitüsü
Al_2O_3	:Alüminyum oksit
BUE	:Talaş yapışması ve sıvanması (Built-up edge)
CAD	:Bilgisayar destekli tasarım (Computer aided design)
CAM	:Bilgisayar destekli imalat (Computer aided manufacturing)
CBN	:Kübik bor nitrür (Cubic boron nitride)
CNC	:Bilgisayarlı nümerik kontrol (Computer numeric control)
CVD	:Kimyasal buhar biriktirme (Chemical vapour deposition)
EDS	:Elemental analiz

MC	:Metal karbür formu
PCBN	:Kristalize kübik bor nitrür (Polycrystalline cubic boron nitride)
PVD	:Fiziksel buhar biriktirme (Physical vapour deposition)
Rc	:Malzemenin Rockwell sertlik değeri, N/mm ³
SAE	:Amerikan otomotiv mühendisler birliği
SEM	:Elektron tarama mikroskobu
Siyalon	:Si-Al-O-N den oluşan seramik kesici takım
TiAlN	:Titanyum alüminyum nitrür
TiC	:Titanyum karbür
TiCN	:Titanyum karbon nitrür
TiN	:Titantum nitrür
VB	:Yan kenar aşınma genişliği, µm
WC	:Tungsten karbür
WC-Co	:Tungsten–kobalt esaslı düz karbürlü kesici takım
YHÇ	:Yüksek hız çeliği
YMK	:Yüzey merkezli kübik kafes

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	TiCN/TiC/Al ₂ O ₃ kaplanmış kesici takımlarla AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin 0.16 mm/dev ilerleme hızı ve 1.6 mm talaş derinliğinde işlenmesi sonucu elde edilen kesme kuvvetlerinin kesme hızına göre değişimleri.....	7
Şekil 1.2.	Değişik kaplama malzemelerinin kesme kuvveti ve yan kenar aşınmasının kesme zamanına göre karşılaştırılması.....	9
Şekil 1.3.	Değişik kaplamalı takımların aşınma zaman grafiği.....	9
Şekil 2.1.	Süper alaşımların gelişimi ve sıcaklık dayanımları.....	11
Şekil 2.2.	Çeşitli alaşımların bağıl işlenebilirliğinin mukayesesi.....	21
Şekil 2.3.	Nikel ve Nikel bazlı bir süperalaşımın kristal kafes yapısı.....	22
Şekil 2.4.	γ' , γ fazlarını ve çeşitli metal karbürleri gösteren tipik bir süperalaşım mikro yapısı.....	22
Şekil 2.5.	TEM'de alaşım elementlerinin Nikel esaslı süper alaşıma etkilerinin gösterilmesi.....	23
Şekil 2.6.	Süper alaşımların kullanım alanları	26
Şekil 2.7.	Nikel alaşımlarının uçak motorunda kullanıldığı bölümler.....	27
Şekil 2.8.	Uzay araçlarının türbinlerinde kullanılan malzemelerin ağırlığı...	27
Şekil 4.1.	İşlem sayısına göre frezeleme işleminin diğer talaşlı işlemlerle karşılaştırılması.....	35
Şekil 4.2.	İki boyutlu ortogonal model.....	36
Şekil 4.3.	Talaş oluşumu sırasında kayma-gerinme modeli.....	37
Şekil 4.4.	Talaş oluşumunda deformasyon bölgeleri.....	37
Şekil 4.5.	Birincil ve ikincil kayma zonları.....	38
Şekil 4.6.	Ortogonal kesmede, kayma uzaması ve farklı talaş açısı değerleri için kayma düzlemi açıları arasındaki ilişki.....	39
Şekil 4.7.	İkincil deformasyon bölgesinde soğutma.....	40

Şekil 4.8.	İkincil deformasyon bölgesinde talaştaki mikroyapısal değişiklikler.....	40
Şekil 4.9.	Kesme sırasında talaş, takım ve iş parçası arasındaki sıcaklık ve ısı dağılımı.....	41
Şekil 4.10.	Paslanmaz çeliğin işlenmesinde meydana gelen sıcaklık simülasyonu.....	42
Şekil 4.11.	AISI 1045 çeliğinin işlenmesinde oluşan gerilmeler ve ısı dağılımı.....	42
Şekil 4.12.	Frezelemede ardışık iki diş tarafından çizilen sikloit eğrisi.....	43
Şekil 4.13.	Tornalama (a), frezeleme (b) işlemlerinde oluşan kesme kuvvetleri.....	44
Şekil 4.14.	Talaş oluşma işleminin kesme hızı ile birlikte değişimi.....	45
Şekil 4.15.	Formüllerle hesaplanan bazı değerlerin şematik gösterimi.....	46
Şekil 4.16.	Talaş kaldırmada kesme hızının oluşan sıcaklık üzerine etkisi.....	49
Şekil 4.17.	Kesme parametreleri ile kesme kuvvetlerinin değişimi.....	50
Şekil 5.1.	Takım malzemelerinin çeşitli grupları için özellik aralıkları.....	53
Şekil 5.2.	Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak çeşitli takım malzemelerinin sertliği.....	53
Şekil 5.3.	Kesici takım malzemeleri (%).....	54
Şekil 5.4.	Kesici takım üreticileri (%).....	54
Şekil 5.5.	Kesici takım uygulama alanları ve kaliteleri.....	62
Şekil 5.6.	TiN ve TiAlN kaplamaların sıcak sertlik ve oksidasyon oranlarının karşılaştırılması.....	67
Şekil 5.7.	Karbürlü kesici takım üzerine kaplama çeşitlerinin mikroyapısı...	69
Şekil 5.8.	Bir kaplamasız ve üç çeşit kaplamalı (ALOX= TiAlN-Al ₂ O ₃) çok katmanlı kaplama ile takım ömrü deneyi.....	70
Şekil 5.9.	Paslanmaz çelik frezeleme deneyi testi sonuçları.....	70
Şekil 5.10.	Tek katman TiCrAlN ve Nano-çok katmanlı TiCrAlN ve WN kaplamaların H13 çeliğini işleme durumunda sıcaklık ve sürtünme katsayıları.....	71
Şekil 5.11.	TEM’de nano-çok katmanlı TiCrAlN ve WN bölümleri.....	71
Şekil 5.12.	Kuru işleme şartları altında PVD ile kaplanmış nano çok katmanlı TiCrAlN/WN ile tek katmanlı TiCrAlN arasındaki	

	takım ömrü karşılaştırması.....	72
Şekil 5.13.	Kimyasal buhar biriktirme metodu (CVD).....	73
Şekil 5.14.	TiAlCN kafes yapısı.....	74
Şekil 5.15.	Buharlaştırılmış tungsten.....	75
Şekil 5.16.	Kesme süresince 5 temel takım aşınma mekanizmasının şematik gösterimi.....	80
Şekil 5.17.	Aşınma tiplerinin sınıflandırılması.....	84
Şekil 5.18.	Sıcaklığın fonksiyonu olarak oluşan aşınma mekanizmaları.....	87
Şekil 5.19.	Yığıntı kenar (BUE) etkisi.....	88
Şekil 5.20.	(a) BUE oluşumu ve yapışma aşınması kesiti, (b) BUE'li takım kesiti görüntüsü	88
Şekil 5.21.	Krater ve serbest yüzey aşınması.....	89
Şekil 5.22.	Karbür takımın, 1 m/s kesme hızı için serbest yüzey (VB) aşınmasının zamanla gelişim eğrisi.....	91
Şekil 5.23.	Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak, krater ve serbest yüzey aşınması.....	92
Şekil 5.24.	Takım ömrünün VB aşınması ile grafiksel gelişimi.....	93
Şekil 5.25.	Taylor takım ömrü eğrisi.....	94
Şekil 6.1.	Deneysel çalışmada kullanılan takım tezgahı.....	97
Şekil 6.2.	Inconel 625'in SEM'de çekilmiş metalürjik yapısı (850X).....	99
Şekil 6.3.	AISI 304'ün SEM'de çekilmiş metalürjik yapısı (850X).....	99
Şekil 6.4.	Freze çakısı ile iş parçasının konumu ve iş parçası uç kısımlarının geometrisi.....	100
Şekil 6.5.	Kaplamalı sementit karbür kesici takımlar.....	101
Şekil 6.6.	Coromill kesici uçları için genel kod anahtarı.....	102
Şekil 6.7.	PVD-TiAlN kaplamalı kesici takımın SEM görüntüsü (1000X) ve EDS analizi.....	103
Şekil 6.8.	PVD-TiAlN+TiN kaplamalı kesici takımın SEM görüntüsü (1000X) ve EDS analizleri.....	104
Şekil 6.9.	CVD-TiCN+Al ₂ O ₃ +TiN kaplamalı kesici takımın SEM görüntüsü (2000X) ve EDS analizleri.....	105
Şekil 6.10.	CVD-TiCN+Al ₂ O ₃ kaplamalı kesici takımın SEM görüntüsü (1000X) ve EDS analizleri.....	106

Şekil 6.11.	CVD-TiCN+Al ₂ O ₃ + (TiN) kaplamalı kesici takım.....	107
Şekil 6.12.	CVD-TiCN+Al ₂ O ₃ +serbest yüzeyde TiN kaplamalı kesici takımın SEM görüntüsü (1000X) ve EDS analizleri.....	108
Şekil 6.13.	Deneyleerde kullanılan freze takım tutucusu.....	109
Şekil 7.1.	Beş farklı kaplamalı takımla sabit ilerlemelerde Inconel 625'in işlenmesinde kesme hızı (Vc) ile yan kenar aşınması (VB) arasındaki ilişki.....	115
Şekil 7.2.	Beş farklı kaplamalı takımla sabit kesme hızlarında, Inconel 625'in işlenmesinde, ilerleme (fz) ile yan kenar aşınması (VB) arasındaki ilişki.....	118
Şekil 7.3.	PVD-TiAlN kaplamalı takımın, Vc=25 m/dak ve fz=0.08 mm/diş kesme parametrelerindeki SEM görüntüsü (250X) ve EDS element analizleri.....	120
Şekil 7.4.	Inconel 625'in, PVD-TiAlN kaplamalı takım ile Vc=40 m/dak ve fz=0.08 mm/diş kesme parametrelerinden elde edilen talaşın SEM görüntüsü (100X) ve EDS element analizleri.....	121
Şekil 7.5.	PVD-TiAlN kaplamalı takımın, Vc=60 m/dak ve fz=0.12 mm/diş kesme parametresindeki optik mikroskop görüntüsü (50X).....	122
Şekil 7.6.	PVD-TiAlN kaplamalı takımla, Inconel 625'in işlenmesinde çeşitli kesme değerlerine göre oluşan talaş şekilleri.....	123
Şekil 7.7.	PVD-TiAlN+TiN kaplamalı takımın, Vc=25 m/dak ve fz=0.12 mm/diş kesme parametrelerindeki optik mikroskop görüntüsü (50X), mekanik yorulma çatlakları.....	124
Şekil 7.8.	PVD-TiAlN+TiN kaplamalı takımın, Vc=60 m/dak ve fz=0.08 mm/diş kesme parametrelerindeki SEM görüntüsü (100X) ve EDS element analizleri.....	125
Şekil 7.9.	PVD-TiAlN+TiN kaplamalı takımın burun kısmının, Vc=60 m/dak ve fz=0.08 mm/diş kesme parametrelerindeki SEM görüntüsü (180X).....	126
Şekil 7.10.	PVD-TiAlN+TiN kaplamalı takımın, Vc=60 m/dak ve fz=0.12 mm/diş parametrelerindeki optik mikroskop görüntüsü (50X).....	127
Şekil 7.11.	PVD-TiAlN+TiN kaplamalı takımla, Inconel 625'in	

	işlenmesinde çeşitli kesme değerlerine göre oluşan talaş şekilleri	128
Şekil 7.12.	CVD-TiCN+Al ₂ O ₃ +TiN kaplamalı takımın, V _c =25 m/dak ve fz=0.08 mm/diş kesme parametrelerindeki SEM görüntüsü (300X) EDS element analizleri.....	129
Şekil 7.13.	CVD-TiCN+Al ₂ O ₃ +TiN kaplamalı takımla, Inconel 625'in işlenmesinde çeşitli kesme değerlerine göre oluşan talaş şekilleri	130
Şekil 7.14.	CVD-TiCN+Al ₂ O ₃ kaplamalı takımın, V _c =25 m/dak ve fz=0.16 mm/diş kesme parametrelerindeki (a) takım SEM görüntüsü (120X), (b) elde edilen talaş görüntüsü (900X).....	132
Şekil 7.15.	CVD-TiCN+Al ₂ O ₃ kaplamalı takımın, V _c =60 m/dak ve fz=0.08 mm/diş kesme parametrelerindeki SEM görüntüsü (75X) ve EDS element analizleri.....	133
Şekil 7.16.	CVD-TiCN+Al ₂ O ₃ kaplamalı takımın, V _c =60 m/dak ve fz=0.12 mm/diş parametresindeki optik mikroskop görüntüleri (50X).....	134
Şekil 7.17.	CVD-TiCN+Al ₂ O ₃ kaplamalı takımla, Inconel 625'in işlenmesinde çeşitli kesme değerlerine göre oluşan talaş şekilleri	135
Şekil 7.18.	CVD-TiCN+Al ₂ O ₃ +(TiN) kaplamalı takımın, V _c =25 m/dak ve fz=0.08 mm/diş kesme parametrelerindeki SEM görüntüsü (250X) ve EDS element analizleri.....	137
Şekil 7.19.	CVD-TiCN+Al ₂ O ₃ +(TiN) kaplamalı takımın, V _c =40 m/dak ve fz=0.08 mm/diş kesme parametrelerindeki optik mikroskop görüntüleri (50X).....	138
Şekil 7.20.	CVD-TiCN+Al ₂ O ₃ +(TiN)kaplamalı takımın, V _c =60 m/dak ve fz=0.08 mm/diş kesme parametrelerindeki SEM görüntüsü (65X) ve EDS element analizleri.....	139
Şekil 7.21.	CVD-TiCN+Al ₂ O ₃ +(TiN) kaplamalı takımla, Inconel 625'in işlenmesinde çeşitli kesme değerlerine göre oluşan talaş şekilleri	140
Şekil 7.22.	Beş farklı kaplamalı takımla sabit ilerlemelerde AISI 304'ün işlenmesinde, kesme hızı (V _c) ile yan kenar aşınması (VB) arasındaki ilişki.....	146
Şekil 7.23.	Beş farklı kaplamalı takımla sabit kesme hızlarında AISI 304'ün işlenmesinde, ilerleme (fz) ile yan kenar aşınması (VB) arasındaki ilişki.....	149

Şekil 7.24.	PVD–TiAlN kaplamalı takımın, $V_c=260$ m/dak ve $f_z=0.08$ mm/diş kesme parametrelerindeki SEM görüntüsü (250X) ve EDS element analizleri.....	152
Şekil 7.25.	AISI 304'ün, PVD-TiAlN kaplamalı takım ile, $V_c=260$ m/dak ve $f_z=0.08$ mm/diş kesme parametrelerinden elde edilen talaşın SEM görüntüsü (1300X) ve EDS element analizleri.....	153
Şekil 7.26.	PVD-TiAlN kaplamalı takımla, AISI 304'ün işlenmesinde çeşitli kesme değerlerine göre oluşan talaş şekilleri.....	154
Şekil 7.27.	PVD–TiAlN+TiN kaplamalı takımın, $V_c=130$ m/dak ve $f_z=0.16$ mm/diş kesme parametrelerindeki SEM görüntüsü (65X) ve EDS element analizleri.....	155
Şekil 7.28.	PVD–TiAlN+TiN kaplamalı takımın, $V_c=260$ m/dak ve $f_z=0.08$ mm/diş kesme parametrelerindeki SEM görüntüsü (650X) ve EDS element analizleri.....	156
Şekil 7.29.	PVD-TiAlN+TiN kaplamalı takımla, AISI 304'ün işlenmesinde çeşitli kesme değerlerine göre oluşan talaş şekilleri.....	157
Şekil 7.30.	CVD-TiCN+Al ₂ O ₃ +TiN kaplamalı takımın, $V_c=260$ m/dak ve $f_z=0.08$ mm/diş kesme parametrelerindeki SEM görüntüsü (700X) ve EDS element analizleri.....	159
Şekil 7.31.	CVD-TiCN+Al ₂ O ₃ +TiN kaplamalı takımla, AISI 304'ün işlenmesinde çeşitli kesme değerlerine göre oluşan talaş şekilleri	160
Şekil 7.32.	CVD-TiCN+Al ₂ O ₃ kaplamalı takımın $V_c=130$ m/dak ve $f_z=0.08$ mm/diş kesme parametrelerindeki, takım (a) SEM görüntüsü (400X); elde edilen talaşın (b) SEM görüntüsü (500X) ve EDS element analizleri.....	161
Şekil 7.33.	CVD-TiCN+Al ₂ O ₃ kaplamalı takımla, AISI 304'ün işlenmesinde çeşitli kesme değerlerine göre oluşan talaş şekilleri	162
Şekil 7.34.	CVD-TiCN+Al ₂ O ₃ +(TiN) kaplamalı takımın, $V_c=260$ m/dak ve $f_z=0.08$ mm/diş kesme parametrelerindeki SEM görüntüsü (500X) ve EDS element analizleri.....	164
Şekil 7.35.	CVD-TiCN+Al ₂ O ₃ kaplamalı takımla, AISI 304'ün işlenmesinde çeşitli kesme değerlerine göre oluşan talaş şekilleri	165

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Süper alaşımların sınıflandırılması.....	12
Tablo 2.2.	Ticari olarak mevcut Nikel esaslı alaşımlar.....	16
Tablo 2.3.	Nikel esaslı alaşımların kimyasal kompozisyon (ağırlık %) ve yoğunlukları.....	17
Tablo 2.4.	Nikel esaslı ve Nikel-Demir esaslı alaşımların kimyasal kompozisyon (ağırlık %) ve yoğunlukları.....	18
Tablo 3.1.	Tavlanmış östenitik paslanmaz çeliklerin tipik oda sıcaklığı özellikleri.....	33
Tablo 5.1.	Takım malzemelerinin mekanik özellikleri.....	55
Tablo 5.2.	Belli başlı CVD sert kaplama malzemelerinin karakteristik özellikleri.....	64
Tablo 5.3.	Belli başlı PVD sert kaplama malzemelerinin karakteristik özellikleri.....	64
Tablo 5.4.	Bazı yeni PVD çok katmanlı kaplama malzemelerinin karakteristik özellikleri.....	65
Tablo 5.5.	Kaplama malzemelerinin karşılaştırılması.....	65
Tablo 5.6.	H13 çeliğinin frezelenmesi süresince oluşan kesme kuvvetleri....	72
Tablo 5.7.	Buhar fazında kaplama (PVD ve CVD) yöntemleri.....	72
Tablo 5.8.	Farklı kaplama tip ve yöntemlerinin etkileri.....	77
Tablo 5.9.	Doğrudan ve dolaylı takım aşınması ölçme yöntemleri.....	90
Tablo 5.10.	Müsaade edilen VB değerleri.....	91
Tablo 6.1.	HAAS TM-1, CNC tezgahının teknik özellikleri.....	95
Tablo 6.2.	Inconel 625 ve AISI 304'ün mekanik ve fiziksel özellikleri.....	98
Tablo 6.3.	Inconel 625'in kimyasal kompozisyonu.....	98
Tablo 6.4.	AISI 304'ün kimyasal kompozisyonu.....	98
Tablo 6.5.	Kullanılan kesici takımlar ve kaplama malzemeleri.....	101

Tablo 6.6.	Kullanılan kesici takımların ölçüleri.....	102
Tablo 6.7.	Kullanılan kesici takım tutucusu ölçüleri ve özellikleri.....	109
Tablo 6.8.	İşleme deneylerinde kullanılan kesme parametreleri.....	110
Tablo 6.9.	Kesme parametrelerine göre hesaplanan devir sayısı (n), ilerleme hızı (F), işleme zamanı (t).....	112
Tablo 7.1.	Kaplamalı karbür takımlarla Inconel 625' in işlenmesi sonucunda oluşan serbest yüzey aşınma (VB) değerleri ve aşınma şekilleri.....	142
Tablo 7.2.	Aşınma değerlerine göre, talaş derinliği (1 mm), kesme boyu (2 mm) sabitken farklı takımlarla Inconel 625'in işlenmesinde elde edilen optimum kesme parametreleri.....	144
Tablo 7.3.	Kaplamalı karbür takımlarla AISI 304'ün işlenmesi sonucunda oluşan serbest yüzey aşınma (VB) değerleri ve aşınma şekilleri...	167
Tablo 7.4.	Aşınma değerlerine göre, talaş derinliği (1 mm), kesme boyu (2 mm) sabitken farklı takımlarla AISI 304'ün işlenmesinde elde edilen optimum kesme parametreleri.....	169

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Nikel Esaslı Alaşımalar, Paslanmaz Çelikler, Kaplamalı Kesici Takımlar, Takım Aşınması, Yüzey Frezeleme

Nikel esaslı alaşımalar yüksek çalışma sıcaklıklarında gösterdikleri termal dayanım ve mekanik özelliklerini koruma yeteneklerinden dolayı uçak motorlarında ve nükleer endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek korozyon direncine sahip paslanmaz çelikler de endüstriyel uygulamalar için vazgeçilmezdir. Fakat bu malzemelerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan yüksek yapışma özelliği, malzemeye uygun seçilmeyen kesme parametreleri kesici takımların performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu parametrelerin, takım aşınması üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, üretim maliyeti yönünden zorunludur.

Bu çalışmada, kare geometrili, CVD ve PVD kaplamalı beş farklı kesici takım kullanılmıştır. Inconel 625 adlı süper alaşım ile AISI 304 paslanmaz çelik CNC frezede soğutma sıvısı kullanılarak işlenmiştir.

İşleme sırasında her bir kaplamalı takımla üç farklı kesme hızı (Inconel 625 için 25, 40, 60 m/dak ve AISI 304 için 130, 190, 260 m/dak) ve üç farklı ilerleme (0.08, 0.12, 0.16 mm/diş), 1 mm talaş derinliği, 2 mm kesme uzunluğu sabit tutularak ayrı ayrı uygulanmıştır. Takımların frezeleme işlemi sırasında gösterdikleri erken aşınma davranışı analiz edilerek, grafik ve resimlerle açıklanmıştır. Bu malzemelere uygun kesici takım ve bu takımlara uygun kesme parametrelerinin tespit edilmesine çalışılmıştır.

Sonuç olarak; CVD-TiCN+Al₂O₃+TiN, PVD-TiAlN+TiN kaplamalı takımların diğer takımlardan daha iyi sonuçları verdiği ortaya çıkmıştır. Aşınma mekanizması olarak daha çok malzeme yapışmasına (adhezyon) bağlı kaplama kalkması ve küçük ölçekli kenar kırılmaları kaydedilmiştir. Bazı takımlarda nadiren mekanik yorulma çatlağı görülmüştür. Optimum kesme parametreleri olarak; Nikel esaslı alaşım için kesme hızı 40-60 m/dak ve ilerleme 0.16 mm/diş, paslanmaz çelik için kesme hızı 190 m/dak ve ilerleme 0.16 mm/diş olarak bulunmuştur.

THE INVESTIGATION OF THE EARLY WEAR BEHAVIOUR OF COATED CUTTING TOOLS

SUMMARY

Key Words: Nickel Based Alloys, Stainless Steel, Coating Cutting Tool, Tool Wear, Face Milling

Nickel-based alloys are widely used in aircraft and nuclear industry due to their capability of possessing good mechanical properties and corrosion resistance at high service temperatures. Stainless steels with high corrosion resistance are also indispensable for advanced industrial applications. However high adhesion tendency, relatively low thermal conductivity and high temperature strength of this type of materials cause difficulty during machining operations leading to excessive cutting tool wear or short tool life. In addition, improperly selected cutting parameters for a particular operation or tool/material couple can worsen the situation even further. Therefore it is important to determine the suitable cutting conditions and wear behavior for new cutting tools introduced to the industry.

In this study, wear behavior of five different CVD and PVD coated cutting tools were investigated when machining a super alloy named Inconel 625 and AISI 304 stainless steel. Cutting tests were performed on a CNC controlled vertical milling machine with presence of cutting fluid.

During the process of machining, three different cutting speeds and feed rate were applied by keeping the depth of cut and cutting length constant. The cutting speeds were (25, 40, 60 m/min for Inconel 625 and 130, 190, 260 m/min for AISI 304) and feed rates were 0.08, 0.12, 0.16 mm/tooth for both material. The main objective was to analyze the initial wear behavior of the cutting tools and determine the most suitable cutting conditions.

It has been observed that PVD-TiAlN+TiN and CVD-TiCN+Al₂O₃+TiN cutting tools gave better results than any other cutting tools. The dominant wear mechanisms were adhesion with associated coating delamination and edge fracture in the form of chipping. The optimum cutting parameters for Inconel 625 and AISI 304 on the bases of minimum flank wear were identified to be 40-60 m/min; 0.16 mm/tooth and 190 m/min; 0.16 mm/tooth respectively.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Dünyada bilimsel ve teknolojik gelişmeler hızla devam etmektedir. Ar-Ge çalışmaları ile yeni gelişmeler sağlanmaktadır. İnsanların ihtiyaçları gelişen teknolojiye paralel olarak değişmekte ve gelişmektedir. Mal ve ürünlerin üretildiği ortamlar her geçen gün kendini yenilemektedir. Örneğin CNC (Bilgisayar Nümerik Kontrollü) takım tezgâhlarının gelişimi sayesinde; talaşlı imalat yöntemlerindeki üretim kapasitelerinin artması, imalat maliyetinin azalması, daha kaliteli imalatın gerçekleşmesi, daha karmaşık geometrik şekle sahip iş parçalarının istenilen hassasiyette ve yüzey kalitesinde üretilebilmesi sağlanmaktadır. Böylece bilimsel ve teknolojik gelişmelerin üretime aktarılması, sanayide kullanılmasıyla ilgilenen imalat mühendisliği, üretim faaliyetlerinde çok önemli bir konuma gelmiştir [1-3].

Teknolojik gelişmelerdeki yeniliklere paralel olarak yüksek kesme hızlarına ve yüksek aşınma dirençlerine sahip kesici takımların üretilmesi gereği ortaya çıkmıştır. İşlenebilirliği zor olan malzemelerin, talaşlı imalat sektöründe daha fazla kullanılmaya başlanması, talaş kaldırma işleminde kesme parametrelerinin araştırılmasını gerekli kılmaktadır [1, 2].

Nikel esaslı süper alaşımlar 700 °C'yi aşan çalışma sıcaklıklarında termal dayanım gösterirler ve mekanik özelliklerini korurlar. Bu nedenle bu alaşımlar uçak motorlarında, endüstriyel gaz türbinlerinde, uzay araçlarında, roket motorlarında, nükleer reaktörlerde, deniz altılarda, buhar üretme tesislerinde, petrokimyasal cihazlarda ve diğer ısıya dayanıklı uygulamalarda kullanılmaktadır [4, 5]. Fakat bu malzemeler sahip oldukları yüksek kesilme gerilmesi, deformasyon sertleşmesi meyli, mikro yapıdaki aşındırıcı karbür tanecikleri, sıvanma ve buna bağlı kesici uç üzerine yığılma eğilimi ve düşük ısıl iletkenlik özelliklerinden ötürü zor işlenebilen malzemeler olarak sınıflandırılmaktadır [4, 6, 7]. Talaş kaldırma esnasında meydana

gelen yüksek sıcaklıklardan pek fazla etkilenmeksizin dayanımlarını koruma eğilimi gösterirler [8, 9].

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte ülkemiz endüstrisinin paslanmaz çeliklere olan gereksinimi de her geçen gün artmaktadır. Özellikle petro-kimya, kimya, gıda endüstrisinde kullanılan depolama tankları, basınçlı kaplar, ısı değiştiricileri ve paslanmaz boruların üretiminde çok çeşitli türlerde paslanmaz çelik kullanılmaktadır. Paslanmaz çelikleri diğer çeliklerden ayıran en önemli özellik krom içeriğinin çok yüksek (%12) olmasıdır. Bundan dolayı atmosferik oksidasyona karşı oldukça dayanıklı bir alaşımdır. İşlenebilirliği de büyük bir önem taşımaktadır. 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 ısıl dayanımı arttırmak üzere pek çok geliştirme yapılmıştır. İşleme maliyetini azaltmak, takım ömrünü artırmak ve daha iyi bir yüzey kalitesi elde etme isteği talaş kaldırma alanında daha fazla araştırmaların yapılmasını zorunlu kılmaktadır [10, 11].

Nikel esaslı alaşımlarla ve paslanmaz çeliklerle ilgili mevcut işlenebilirlik verilerinin çoğu takım-iş parçası temasının kesintisiz olduğu ortogonal ve/veya yarı ortogonal tornalama işlemine dayanmaktadır. Literatürde kaplamalı tungsten karbür uçlar ile tornalamada aşınma davranışını işleyen çok sayıda yayın olmasına rağmen, yüzey frezeleme işlem kabiliyetleri hakkında yeterli veri bulunmamaktadır [4, 12, 13]. Bunun nedeni olarak frezelemenin tornalamaya göre daha detaylı bir işlem oluşu ve bu tür malzeme fiyatlarının yüksekliği öne sürülmüştür [4, 14]. Tornalama testlerinde elde edilen verilerin tam olarak frezeleme işlemine uygulanması mümkün değildir. Çünkü frezelemede talaş kaldırma işlemi kesintili olarak meydana gelir ve takım-iş parçası arasındaki geometrik ilişki ve proses dinamiği daha komplekstir. Frezeleme işleminde periyodik olarak oluşan termal ve mekanik gerilmeler takım ömrünü, körelme ve aşınma biçimini etkileyen iki önemli unsurdur. Pek çok durumda bu etkilere bağlı olarak takım üzerinde mikro çatlaklar, kırılmalar ve bazı durumlarda kesici ucun tamamen deforme olup kullanılamaz hale gelmesine sebep olurlar. Bu bağlamda daha önce yapılan ve takım-iş parçası ilişkisinin detaylı olarak ele alındığı çalışmalarda frezeleme işlemiyle ilgili olarak; takımın ilk temas noktası, vuru

faktörü, kısmi temas bölgesi, ayaklı talaş oluşumu ve negatif kayma olayları ilk defa tanımlanıp ortaya konmuştur [4, 15]. Hiçbirisi kesintisiz tornalama işleminde bulunmayan bu olayların her birisi frezeleme yaparken kesici takımın performansı üzerinde farklı etkilere sahip olabilir. Bu durum frezeleme testlerine dayalı işlenebilirlik verileri elde etmenin önemini açık olarak ortaya koymaktadır [4, 8, 16].

Talaşlı imalatta, her türlü talaş kaldırma işleminde, istenilen kalitede bir yüzey elde edebilmek için bir çok kesme parametresinin optimum şekilde düzenlenmesi gerekmektedir. Freze tezgâhlarında yapılan imalatın yüzey pürüzlüğü açısından kalitesi, iş parçası malzemesi ve kesici takımın yapısı ile doğrudan ilgilidir. Ayrıca işlenecek malzeme ve kesme işleminde kullanılacak takımın cinsi, malzemesi ve geometrisine bağlı olarak kesme hızı, kesme derinlikleri ve ilerleme değerleri farklılık arz eder. Bu değerler arasındaki ilişkiler iyi bilinmez ve büyüklükleri doğru seçilmez ise, işleme sırasında ortaya çıkan kesme kuvvetlerine bağlı olarak takım aşınması değerleri değişme göstermektedir [1, 3, 17].

Talaşlı üretim sırasında kesici takımın iş parçasına uyguladığı etkiye karşılık, kesici takım deformasyona uğrayabilmektedir. Aynı şekilde iş parçasından talaş kaldırma esnasında, kesici takıma karşı göstermiş olduğu zorluğa karşılık, iş parçası da deformasyona maruz kalır. Söz konusu deformasyonlarda işleme sırasında kullanılan iş parçasının ve kesici takımın malzeme özellikleri de oldukça önemlidir. Talaşlı imalat sırasında genellikle talaş-takım ara yüzeyindeki sürtünmeden dolayı meydana gelen sıcaklıklar sebebiyle takım aşınması oluşmaktadır. Metal kesme işleminde kullanılan iş parçası malzemesinin, özellikle yüksek sıcaklıkta yüksek sertliğe ve gerilime sahip yüksek sıcaklık çeliklerinden birisi olması durumunda kesme sırasında ortaya çıkan ısı artmaktadır. Bu durum yüksek sıcaklık çeliklerinin malzeme özelliklerinden dolayı iş parçasını etkilememekte ancak kesici takım üzerinde olumsuz etkiler meydana gelebilmektedir. Takım aşınmasını geciktirmek ve takım ömrünü artırmak için yeni takım malzemeleri kullanılmakta, takım yüzeylerine kaplamalar yapılmakta ve kesici takım performansını artırmak için farklı geometrilerde takımlar imal edilmektedir [1, 2, 17].

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), titanyum alüminyum nitrür (TiAlN), titanyum karbonitrür (TiCN) 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 [11, 18].

Bu nedenlerden dolayı kesici takımın, kesme işlemi esnasında iş parçasıyla temasta olduğu noktada, meydana gelen deformasyonlar iş parçasının yüzey kalitesini doğrudan etkilemektedir. Yani iş parçasının yüzey kalitesi; iş parçasının malzemesine, kesme parametrelerine ve kesici takım geometrisine, malzemesine ve kaplamasına bağlı olmaktadır [19].

Gerçekleştirilen bu deneysel çalışmada; CNC frezede, soğutma sıvısı ortamında, CVD ve PVD yöntemiyle kaplanmış, beş farklı karbür kesici takım kullanılarak Inconel 625 süper alaşım ile AISI 304 paslanmaz çelik işlenmiştir. Inconel 625 ve AISI 304'ün işlenmesinde her takım için üç farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme seçilmiştir. Talaş derinliği 1 mm, kesme uzunluğu 2 mm sabit tutulmuştur. Yapılan deneysel çalışmalar için 18 farklı deney tasarımı oluşturulmuş, toplam 90 test yapılmıştır.

Kesici uçların frezeleme işlemi sırasında gösterdiği erken aşınma davranışı incelenmiştir. Takım aşınma mekanizmaları ve tipleri ile talaş tipleri ve özellikleri belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda; veriler değerlendirilip, işlenen malzemelere göre kesme hızı ve ilerlemeler ile ilişkilendirilerek, takımlara uygun kesme parametrelerinin tespit edilmesine çalışılmış, ortaya çıkan sonuçlar çalışmada ayrıntılı bir şekilde resim ve grafiklerle açıklanmıştır.

Nikel esaslı alaşımlar ve paslanmaz çeliklerin kaplamalı kesici takımlarla işlenmesinde; kesme parametrelerinin takım aşınmasına etkileri, takımların aşınma

mekanizmaları ve tipleri, kaplamaların aşınmaya etkilerinin konu edildiği bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

1.1. Literatür Çalışması

Javaid ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada; Inconel 718'in frezelenmesinde, PVD kaplamalı ve kaplamasız takımların performansını karşılaştırmış, PVD kaplamalı takımların düşük kesme hızlarında iyi performans sergileyemediğini, çünkü kesmenin başlangıcında kaplamanın tabakalar halinde kalktığını belirtmişlerdir. Orta kesme hızlarında daha iyi performans sergilediğini bildirmişlerdir [4].

Alauddin ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada; Inconel 718'in frezelenmesinde, PVD-TiN kaplamalı takım, 0.1 mm kesme derinliği ve 25, 50, 75, 100 m/dak kesme hızı ile 0.08-0.14 mm/diş ilerleme kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonucuna göre 25 m/dak hızda PVD-TiN kaplamalı karbür takımın, kaplamasının talaş-takım temas bölgesinde erken kalkması takımın performansını baştan engellemiştir [7].

Ezugwu ve arkadaşlarının yaptıkları deneylerde CVD-TiCN+ Al₂O₃ kaplamalı takım ile Inconel 718'in işlenmesi deneyinde kesme hızı ve ilerleme arttıkça abrasyon, adhezyon ve difüzyon mekanizmalarının da hızla gelişerek aşınmanın arttığını ve takım ömrünün düştüğünü belirtmişlerdir [12].

Choudhury ve arkadaşları; Nikel esaslı alaşımların işlenmesinde, kaplamalı takımlarda kesme hızının aşınmaya etkisinin, ilerlemeye oranla daha fazla olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Deneylerde 20 m/dak kesme hızında hızlı takım aşınması görülmüştür. Ayrıca CVD kaplamalı takımların yüksek kesme hızlarında yüksek aşınma dayanımına sahip olduğunu belirtmişlerdir [20].

Javaid ve arkadaşlarının gerçekleştirmiş olduğu başka bir çalışmada, titanyum alaşımının yüzey frezelemesi yapılarak kaplamalı karbür takımların aşınma mekanizması ve performansı incelenmiştir. Deneylerde PVD-TiN ve CVD-TiCN +Al₂O₃ kaplı iki takım kullanılmıştır. Değişik kesme koşulları için takım ömrü, takım aşınma türlerini ve aşınma mekanizmaları incelenmiştir. Her iki takım da

uzun takım ömrü 55 mm/dak kesme hızı ve 0.1 mm/diş ilerlemede görülmüştür. Malzeme kaldırmanın hacmi ve takım ömrü dikkate alındığında CVD kaplamalı takımlar PVD kaplamalı takımlara göre daha iyi performans sergilemişlerdir. SEM 'de yapılan incelemeler abrasyon, adhezyon, difüzyon aşınma mekanizmalarının etkisiyle plastik deformasyonun ve termal çatlakların gerçekleştirdiğini göstermiştir [21].

Altın'ın CVD - TiCN+Al₂O₃+TiN kaplamalı takımla 0.20 mm/diş sabit ilerleme ve 15, 30, 45, 60, 75 m/dak kesme hızlarında yaptığı Inconel 718'i işleme deneyinde 60 m/dak kesme hızına kadar uygun olduğu, ancak daha yüksek kesme hızlarında hızlı takım aşınması bildirilmiştir. CVD-TiCN+TiC+Al₂O₃ takımla 30-45 m/dak kesme hızlarında VB değerinde değişiklik gözlenmediğini, 30 m/dak altındaki, 60 m/dak üstündeki kesme hızlarında VB değerinin artarak takım ömrünün hızla düştüğünü, Inconel 718 işlenmesinde takımın yetersiz kaldığını belirtmiştir [22].

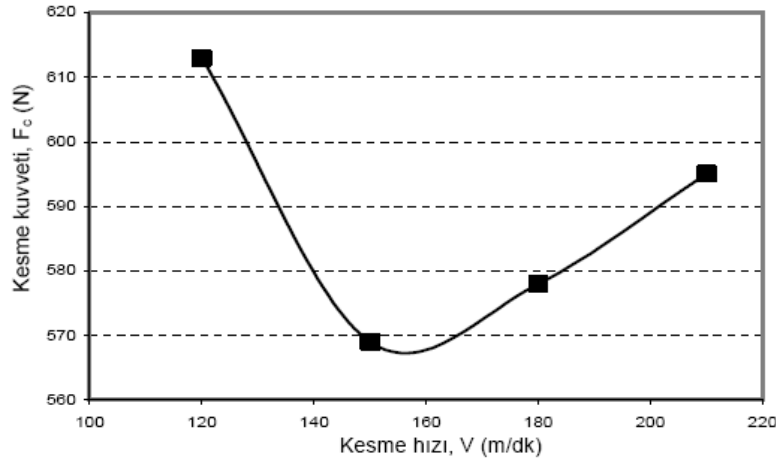
Kesici takım geometrisi de başka bir çalışma alanını oluşturmuştur. Takım geometrisi kesme kuvvetlerini, sürtünmeyi, buna bağlı olarak sıcaklık oluşumunu ve uzaklaştırılmasını etkilemektedir. Rahman ve arkadaşları tarafından yapılan çalışma ile farklı takım geometrisi ve farklı değerlerdeki kesme parametreleri (30, 40 ve 50 m/dak kesme hızları, 0.2, 0.3 ve 0.4 mm/dev ilerleme ve 2 mm sabit talaş derinliği) kullanılarak PVD-TiN kaplama ile çok katmanlı CVD- TiCN+ Al₂O₃ kaplamalı karbür ile Inconel 718 soğutmasız ortamda tornada işlenmiştir. Yan kenar kesme açısının etkileri çalışılmıştır. Her iki kesici takım için yan kenar kesme açısının -5⁰'den 45⁰'ye yükseltilmesi ile takım ömrünün arttığı görülmüştür. Oluşan ısının ve kesme kuvvetlerinin daha geniş alana yayılmasına olanak sağlanmıştır. Ancak aynı şartlarda CVD- TiCN+ Al₂O₃ kaplamalı karbürde şiddetli çentik aşınması görülmüş ve Inconel 718 için uygun olmadığı görülmüştür [13]. Ayrıca Altın'ın [22] yaptığı çalışmada yuvarlak uçlu, Sharman ve arkadaşlarının [23] yaptıkları çalışmalarda küresel uçlu takımla Inconel 718'in işlenmesinde iyi performans verdiğini bildirmişlerdir.

Sharman ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmalarda çok katmanlı PVD- TiAlN küresel uçlu takımla Inconel 718'in işlenmesinde, yüksek kesme hızlarında yapılan

deneyleerde en uzun takım ömrünün 90 m/dak kesme hızında oluştuğu belirtilmiştir [23].

Jindal ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, PVD- TiN, TiCN ve TiAlN kaplamalı karbür takımların, Inconel 718'in 46 ve 76 m/dak kesme hızlarında, ilerleme hızı ve talaş derinliği sabit tutularak soğutma sıvısı ortamında işlenmesi ile olan etkileri incelenmiştir. Her iki kesme hızında TiAlN ve TiCN kaplamalı karbür takımlar, TiN kaplamalı karbür takımlara nazaran daha iyi bir performans gösterdikleri görülmüştür [24].

Çiftçi çalışmasında iki farklı kalite östenitik paslanmaz çeliğin (AISI 304 ve AISI 316) işlenmesinde, kesici takım kaplamasının, kesme hızının ve iş parçası malzemesinin, kesme hızı ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini incelemiştir. [18]. 140-160 m/dak kesme hızında en az aşınma ve kesme kuvveti belirtilmiştir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. TiCN/TiC/Al₂O₃ kaplanmış kesici takımlarla AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin 0.16 mm/dev ilerleme hızı ve 1.6 mm talaş derinliğinde işlenmesi sonucu elde edilen kesme kuvvetlerinin kesme hızına göre değişimleri [18]

Altınkaya da AISI 316 östenitik çeliğinin kaplamalı takımlarla işlenmesi deneylerinde en iyi takım performansının PVD- TiAlN kaplamalı takım olduğunu bulmuştur [11].

Korkut ve arkadaşlarının AISI 304 paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında optimum kesme parametrelerinin belirlenmesine yönelik, sementit karbür kesici takım kullanarak bir çalışma yapmışlardır. Kesme hızının takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini araştırmışlardır [25].

Hossein ve Yahya yaptıkları deneysel çalışmada; TiN/TiCN/TiN olarak üç katmanlı kaplanmış karbür takımın AISI 304 tipi paslanmaz çeliğin işlenmesindeki davranışlarını incelemişlerdir [26].

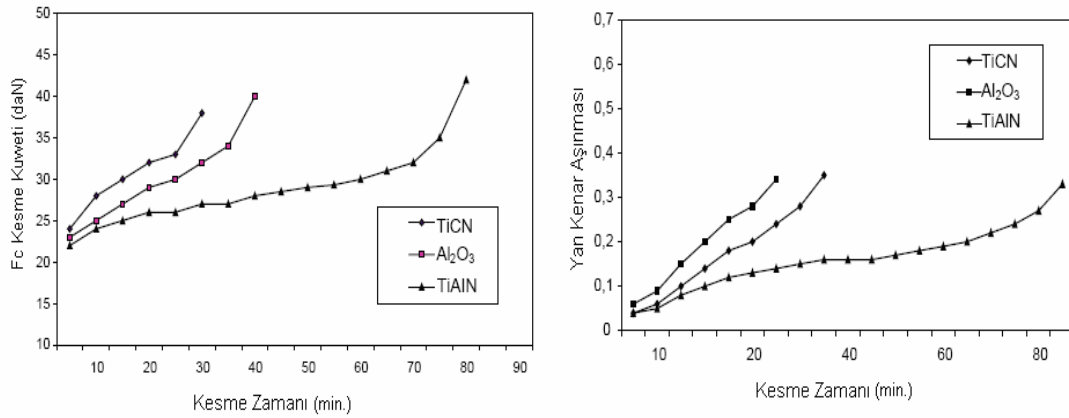
Shao ve arkadaşlarının yaptıkları deneysel çalışmada %3Co-%12Cr alaşımlı paslanmaz çeliğin TiCN/TiN çok katmanlı iki farklı geometrili takım kullanılarak işlenebilirliğini araştırmışlardır [27].

Paro ve arkadaşları çalışmalarında X5 CrMnN 18 18 paslanmaz çeliğin işlenebilirliğini ve takım aşınmasını araştırmışlar, kesme hızının artması ile takım ömrünün daha da düştüğünü bulmuşlardır [28].

Tekiner ve arkadaşları, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğini tornalama esnasındaki ses oluşumuna bağlı olarak kesme parametrelerini araştırmışlar, en iyi sonuçların 165 m/dak kesme hızında ve 0.25 mm/dev ilerleme hızında elde edildiğini belirtmişlerdir [29].

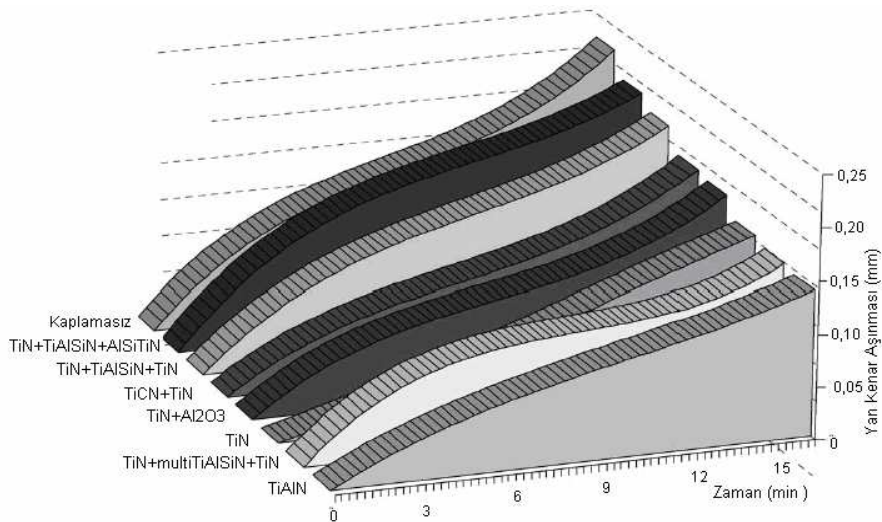
Selinder ve arkadaşları paslanmaz çeliklerin işlenmesinde PVD yöntemiyle karbürü kesici takımların tek ve çok katmanlı TiN/TaN ve TiN/NbN ile kaplama performansları araştırmışlardır [30].

Çakır ve Işık AISI 1050 çeliğinin işlenmesinde kullanılan kaplamalı ve kaplamasız kesici takım kırılmaları araştırmışlar, değişik kaplamalı takımlar kullanarak takıma gelen kuvvetleri ölçmüşlerdir. Sonuç olarak TiAlN kaplamalı takımın, Al₂O₃ ve TiCN kaplamalı takımlara göre daha az kesme kuvvetine maruz kaldığı saptanmıştır (Şekil 1.2) [31].



Şekil 1.2. 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 [31]

Dobrzanski ve Mikula'nın yaptığı çalışmada, PVD ve CVD yöntemiyle değişik kaplama malzemeleri kullanarak seramik kesici takımları kaplamışlar, yüksek kesme hızlarında kaplamaların özelliklerini ve yapılarını incelemiştir. Sonuç olarak, aşınma testlerinde en iyi takımın PVD-TiAlN kaplamalı kesici takım olduğunu bildirmişlerdir (Şekil 1.3) [32].



Şekil 1.3. Değişik kaplamalı takımların aşınma zaman grafiği [32]

BÖLÜM 2. SÜPER ALAŞIMLAR

2.1. Süper Alaşımın Genel Özellikleri

Süper alaşım; ana yapısı Demir, Nikel ya da Kobalt olan, nispeten yüksek miktarlarda Krom ve az miktarda da yüksek sıcaklıkta ergiyen Molibden ve Volfram ve ayrıca Alüminyum ve Titanyum içeren alaşımlardır [22].

Süper alaşımlar genellikle Nikel, Kobalt ve Demir bazlı olarak gruplara ayrılmakta ve yüksek sıcaklık uygulamalarında diğer malzemelere göre daha çok tercih edilmektedir. Bu malzemeler, yüksek sıcaklıkta uzun süreli başarılı uygulamaları nedeni ile “süper alaşımlar” terimi ile ifade edilmektedir. Süper alaşımlar genellikle talaşlı imalat yöntemiyle şekillendirilmektedir [33].

Süper alaşımların en önemli özellikleri 700°C'nin üstündeki sıcaklıklara uzun süre dayanmaları ve sıcaklığa bağlı korozyon ve aşınmaya dirençlerinin yüksekliğidir. Bu nedenle, daha uzun ömür ve aynı zamanda yüksek mekanik ve ısıl zorlamalarda Nikel ve Kobalt esaslı alaşımlar tercih edilir. Uçak tahrik sistemlerinde, bu alaşımların tercih oranı %50'ye kadar ulaşmaktadır. Enerji üretiminde kullanılan türbinlerde ve dizel motorlarında artan işletme sıcaklıklarında bu malzemeler artarak kullanılmaktadır. Süper alaşım malzemelerin özellikle havacılık, uzay sanayi ve nükleer teknolojileri, enerji sistemleri, gaz türbin motorlarında, cam sanayisi, sıcak takımlar ve kalıpların yapımında kullanım imkânlarının doğması ile bu malzemelere büyük ilgi giderek yoğunlaşmıştır. Bu malzemelerin yerlerine kullanıldıkları metal ve alaşımlarına göre en önemli üstünlükleri; yüksek sıcaklıkta oksitlenme, sülfürlenme, karbürizasyon ve sürünme dayanımının yanı sıra yüksek özellikli mukavemet, yüksek özellikli elastik modülü, yüksek aşınma dayanımı ve bu özelliklerin yüksek sıcaklıkta bile muhafaza edilmesidir [33].

2.2. Süper Alaşımların Gelişimi

İlk olarak elektrikte direnç teli olarak kullanılan malzemeden esinlenerek, yüksek sıcaklıklarda yüksek performans gerektiren uçak türbin motorlarında ve turbo şarjlarda kullanım için geliştirilmiş ve yine II. Dünya savaşından kısa bir süre sonra 1940'larda kullanılmıştır. İlk üretilen süper alaşım Nimonic 80' dir. Kısa bir süre sonra bu alaşım geliştirilerek Nimonic 80 A üretildi. Daha sonra bu da geliştirilerek % 20 Kobalt ilavesi ile 50 °C'lik bir avantaj sağlayan yüksek sıcaklıklarda hizmet verecek Nimonic 90 üretildi. Taleplerin artmasıyla Titanyum ve Alüminyuma ilaveten Molibden katılarak Nimonic 105 ve 115' in geliştirilmesiyle katı solüsyon gerilimine sahip alaşımlar elde edildi Pratt and Whitney Aircraft ve General Electric Company şirketleri tarafından, Waspalloy ve M 252 adında 2 önemli dövme süper alaşım geliştirildi. Nikel esaslı ve Demir kapsamlı Inconel 718 süper alaşımı, yüksek ısıl gerilim sağlamakta ve kaynak işlemlerinde çatlamalara iyi dayanım göstermektedir. Incoloy 901 ise bir başka dayanıklı ve rağbet gören süper alaşımdır. Waspalloy ve Astroloy gibi talep edilen bu alaşımların en büyük uygulama alanları türbin diskleridir (Şekil 2.1) [22].

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

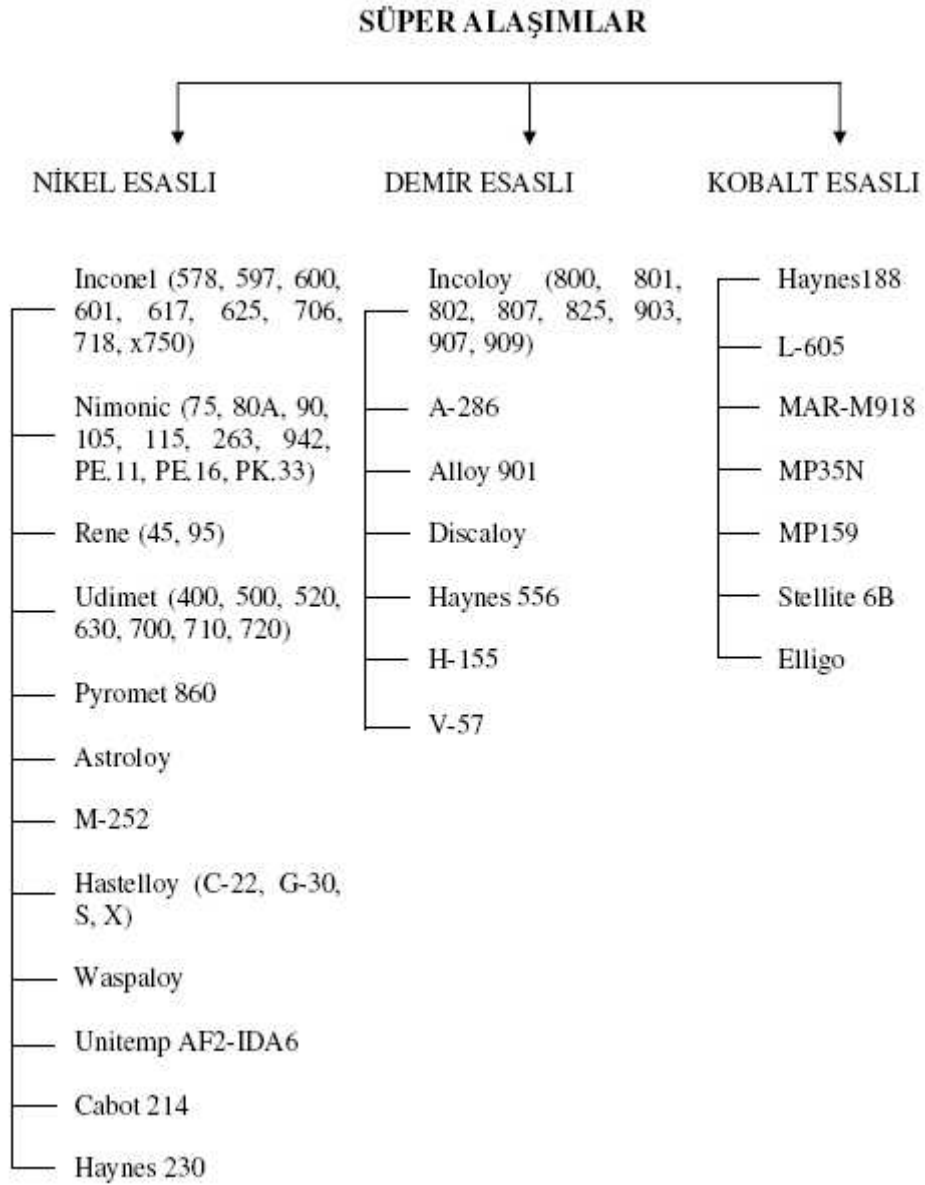
YAKLAŞIK YILLAR 1940 42 44 46 48 50 52 54 56 58 56 58 60 62 64 66 68 1970

Şekil 2.1. Süper alaşımların gelişimi ve sıcaklık dayanımları [34]

2.3. Süper Alaşımların Sınıflandırılması

Süper alaşımlar içinde bulunan elementlere göre isimlendirilir. Bu sınıflandırma Tablo 2.1’de gösterilmiştir [35].

Tablo 2.1. Süper alaşımların sınıflandırılması [35]



2.3.1. Demir esaslı alaşımlar

Demir esaslı, Demir-Nikel-Krom-Kobalt bileşikleri ve Nikel esaslı katı eriyik takviyeli alaşımların yüksek sıcaklığa dayanımları, 650 °C' nin üstünde Nikel esaslı çökeltme takviyeli ve Kobalt esaslı karbür safhası takviyeli alaşımlarınkinden daha düşüktür. İlk Demir esaslı süper alaşımlar %16 Cr, %25 Ni, %6 Mo ve denge Demiri içeren 16-25-6 alaşımı ve % 40 Fe, %20 Ni, %20 Cr, %20 Co ve küçük miktarda Tungsten ve Molibden içeren Multimet gibi Demir-Nikel-Krom Kobalt alaşımlar aslında katı eriyik takviyelidir. Katı bir eriyik, iki veya daha fazla metal veya ara metallere, tamamen ve homojen katı olarak birbirleriyle birleştiğinde ortaya çıkar. Katı bir eriyik kahvedeki şeker gibi, sıvı bir eriyik olarak aynı homojen kombinasyondur. Eriyikler, her bir parçanın kendi özelliklerini taşıdığı bir kuru un ve şeker karışımı gibi mekanik karışımlardan farklılaşır. Kuvvetlenme, bir metalin diğer bir metal içerisinde çözülerek yeni bir metal oluşturmasıyla meydana gelir [34].

Nikel, Krom ve küçük miktarlarda Alüminyum ve Titanyum içeren Demir esaslı alaşımların bir Nikel-Alüminyum-Titanyum mukavemet kazandırma aşamasının çökeltmesiyle yüksek sıcaklığa karşı dayanımları artmıştır. Yapıda ikinci bir aşamanın varlığı katı solüsyonun kuvvetlenmesinden daha etkindir. İkinci safhanın oluşumu önemlidir, ince ve daha yaygınlaşmış, daha etkin dayanıma sahiptir. Aslında, yüksek sıcaklığa maruz kalma, dayanımın azalmasına neden olur. 540 °C' nin üstündeki uygulama sıcaklıkları için en büyük öneme sahip olan Demir esaslı alaşımlar f_{cc} (yüzey merkezli kübik kafes) matrise sahiptir. Çünkü kapalı bir kafes, zamana bağlı deformasyon süreçlerine daha dayanıklıdır. İntermetalik bileşik çökeltmesi ile kuvvetlendirilmiş demir esaslı süper alaşımlar gaz türbinli motorlarda kullanım alanı bulmuştur. Örneğin, bazı gaz türbinli motorlar da, türbin disk ve mafsalları ile türbin yuvaları için A-286 kullanılmaktadır. Demir esaslı süper alaşım kategorisine girmeyen birçok süper alaşım, içerisinde önemli miktarlarda Demir bulundurur. Çünkü bileşikleri Demir, Nikel, Krom ve muhtemelen Kobalt ile daha düşük miktarlarda Molibden, Tungsten veya duruma göre Niyobyum bileşiklerinin karmaşık kombinasyonlarıdır. Bu alaşımlar katı solüsyon veya intermetalik çökeltme ile kuvvetlendirilmiştir [22].

2.3.2. Kobalt esaslı alaşımlar

Kobalt bazlı süper alaşımlar temel bileşken olarak Kobalt ve önemli miktarlarda Krom, Tungsten ve daha az miktarlarda Molibden, Niyobyum, Tantalyum, Titanyum ve duruma göre Demir içeren alaşımlar olarak tanımlanmışlardır. Katı solüsyon ve karbür safhaları ile kuvvetlendirilmişlerdir [34].

Kobalt katı eriyik alaşımlar, kullanım alanına göre üç alt gruba ayrılırlar [34]:

- a) Haynes 25, Haynes 188, UMCo-50 ve S-816 dahil olmak üzere 650 ile 1150°C arasında kullanılan alaşımlar
- b) 650°C civarında kullanılan MP-35N ve MP-259 bağlayıcı alaşımları
- c) Aşınma dirençli Stellite 6B alaşımlar

Sıcak işlenmiş bütün alaşımlar f_{cc} kristal yapısına sahiptir Ancak MP-35N ve MP 159 alaşımlar servis uygulamalarından önce tavsiye edilen termomekanik işleme süresince, kapalı hekzagonal yapılar geliştirirler. Kobalt esaslı süper alaşımların hiçbiri tam bir katı solüsyon alaşımı değildir. Çünkü hepsi ikinci karbür safhası veya intermetalik bileşikler içerirler. Haynes 25, yaygın olarak gaz türbin motorlarının sıcaklığa maruz kalan kısımlarında, nükleer reaktör araçlarında ve soğuk çalışma şartlarında kullanılan iyi bilinen bir işlenmiş Kobalt bazlı alaşımdır. Haynes 188 özellikle gaz türbinlerindeki yaprak tabaka halindeki parçalar için tasarlanmıştır. Lantan, Silikon, Alüminyum ve Manganez içeriklerini kontrol eden basit oluşum 1100°C'ye kadar olan sıcaklıklarda oksidasyon dayanımı olarak mükemmel kalite sunar. Yaklaşık olarak %21 Fe içeren UMCo-50, Haynes 25 veya Haynes 188 kadar güçlü değildir. Avrupa'da fırın parçalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [22, 34].

Yüksek sıcaklığa ait son grup olan, katı solüsyon takviyeli kobalt alaşımlar Stellite 6B denilen tek bir element içerir. Bu alaşım yüksek sıcaklık sertliği ve oksidasyona nispeten iyi dayanım gösterir. Sıcaklık sertliği, karmaşık karbür oluşumların sayesinde, yüksek krom içeriğinden türetilmiştir. Stellite 6B buhar türbinlerinde aşınma kalkanı olarak, gaz türbinlerinde aşınma pedleri olarak ve yüksek sıcaklık ve

yüksek hızlarda partikül taşıyan tüp sistemlerinde bağlantı parçası şeklinde yaygın olarak kullanılmıştır [34].

X-40, WI-52, MAR-M 302 ve MAR-M 509 gibi karbür safha takviyeli süper alaşımlar öncelikle statik pervane uygulamaları olmak üzere baskın olarak türbin motor hava folyolarında kullanılmıştır. Bu alaşımlar yeterli derecede yüksek sıcaklık mukavemetine, oksidasyon mukavemetine ve kaynakla tamir edilebilme yeteneğine sahiptir [22, 34].

2.3.3. Nikel esaslı alaşımlar

Nikel esaslı alaşımlar, başta nikel olmak üzere, önemli miktarlarda Krom içeren alaşımlardır. Temel elementleri olan Kobalt, Demir, Molibden, Tungsten ve Tantalyum içerebilirler. Katı solüsyon ve ikinci aşama intermetalik çökeltme ile kuvvetlendirilmişlerdir. Alüminyum, Titanyum ve Niyobyum intermetalik oluşum elementleridir. Nikel esaslı süper alaşımlar % 30 ila % 75 Ni ve % 30' a kadar Cr içerirler. Birçok Inconel, Nimonics ve Hastelloy gibi alaşımlarda demir içeriği, küçük miktarlardan yaklaşık % 35' e kadar değişen oranlarda bulunur. Birçok Nikel esaslı alaşım, dayanım veya korozyon direncini arttırmak için küçük miktarlarda Alüminyum, Titanyum, Niyobyum, Molibden ve Tungsten içerir. Nikel ve Krom kombinasyonu, bu alaşımlara önemli derecede oksidasyon dayanımı verir. Nikel esaslı süper alaşımlar özellikle 700⁰C' yi geçen sıcaklıklarda mekanik dayanım olarak paslanmaz çeliği geçerler. Nikel esaslı alaşımlar; oksidasyon ve korozyona, yüksek dayanım ve direnç gerektiren alanlarında yaygın olarak kullanılırlar [36].

Inconel 600, Inconel 625 ve RA 333 gibi katı solüsyon alaşımları, fırın parçalarında ve diğer sıcaklıkla ilgili uygulamalarda kullanılırlar. Bu alaşımlar aynı zamanda, hidrokarbon düzenleyicisi gibi yüksek sıcaklık gerektiren kimyasal işleme donanımlarında kullanılmaktadır. Enerji üretimi Nikel esaslı süper alaşımların yaygın olarak kullanıldığı diğer bir alandır. Ayrıca nükleer santrallerde, buhar jeneratörü tesisatı ve reaktör yapısal parçalarında kullanılırlar. Bu alaşımlar fosil yakıtlı tesislerde, süper ısıtıcı tesisatında, atık sistemlerinde, gaz depolama ünitelerinde, sıcaklığa veya korozyona dayanım gerektiren parçalarda kullanılmaktadır [34].

2.3.3.1. Nikel esaslı alaşımların sınıflandırılması

Ticari olarak mevcut Nikel esaslı alaşımlar şunlardır. Inconel, Rene, Udimet ve Pyromet. Bunların ayrıntılı listesi Tablo 2.2’de verilmektedir. Bunların içerisinde Inconel 718 en çok kullanılan Nikel esaslı alaşımdır [20].

Tablo 2.2. Ticari olarak mevcut Nikel esaslı alaşımlar [20]

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

2.3.3.2. Nikel esaslı alaşımların bileşimi

Genellikle Nikel esaslı alaşımlar, %38 den %76 oranında Nikel (Ni), %27 Krom (Cr) ve %20 oranında Kobalt (Co) dan oluşmaktadır [27]. Ayrıca Tungsten (W), Tantalyum (Ta), Molibden (Mo) gibi elementler kontrollü oranlarda katılarak dayanım ve oksidasyon özelliği güçlendirilir.

Tablo 2.3’te Nikel esaslı alaşımların kimyasal kompozisyon (ağırlık %) ve yoğunlukları, Tablo 2.4’te Nikel esaslı ve Nikel-Demir esaslı alaşımların kimyasal kompozisyon (ağırlık %) ve yoğunlukları görülmektedir [36].

Tablo 2.3. Nikel esaslı alaşımların kimyasal kompozisyon (ağırlık %) ve yoğunlukları [36]

ALAŞIM ADLARI	Ni	Cr	Co	Mo	W	Ta	Cb	Al	Ti	Fe	Mn	Si	C	B	Zr	Diğer	Yoğunluk (g cm ⁻³)
Astroloy	55.1	15.0	17.0	5.25	—	—	—	4.0	3.5	—	—	—	0.06	0.030	—	—	7.91
D-979	45.0	15.0	—	4.0	4.0	—	—	1.0	3.0	27.0	—	—	0.05	0.010	—	—	8.19
Hastelloy alloy X	47.3	22.0	1.5	9.0	0.6	—	—	—	—	18.0	0.50	0.50	0.10	—	—	—	8.22
Inconel alloy 600	76.6	15.8	—	—	—	—	—	—	—	7.2	0.20	0.20	0.04	—	—	—	8.33
Inconel alloy 601	60.7	23.0	—	—	—	—	—	1.35	—	14.1	0.50	0.25	0.05	—	—	—	8.04
Inconel alloy 625	61.6	22.0	—	9.0	—	—	4.0	0.2	0.2	3.0	0.15	0.30	0.05	—	—	—	8.44
Inconel alloy 706	41.5	16.0	0.5	0.5	—	—	2.9	0.2	1.75	40.0	0.18	0.18	0.03	—	—	—	8.08
Inconel alloy 718	53.0	18.6	—	3.1	—	—	5.0	0.4	0.9	18.5	0.20	0.30	0.04	—	—	—	8.19
Inconel alloy X-750	73.0	15.0	—	—	—	—	0.9	0.8	2.5	6.8	0.70	0.30	0.04	—	—	—	8.30
IN-102	67.9	15.0	—	3.0	3.0	—	3.0	0.4	0.6	7.0	—	—	0.06	0.005	0.03	0.02 Mg	8.55
IN-587	47.2	28.5	20.0	—	—	—	0.7	1.2	2.3	—	—	—	0.05	0.003	0.05	—	8.08
IN-597	48.4	24.5	20.0	1.5	—	—	1.0	1.5	3.0	—	—	—	0.05	0.012	0.05	0.02 Mg	8.04
IN-853	74.6	20.0	—	—	—	—	—	1.5	2.5	—	—	—	0.05	0.007	0.07	1.3 Y ₂ O ₃	8.09
M-252	55.2	20.0	10.0	10.0	—	—	—	1.0	2.6	—	0.50	0.50	0.15	0.005	—	—	8.25
Nimonic alloy 75	78.8	20.0	—	—	—	—	—	—	0.4	—	0.10	0.70	0.01	—	—	—	8.37
Nimonic alloy 80A	74.7	19.5	1.1	—	—	—	—	1.3	2.5	—	0.10	0.70	0.06	—	—	—	8.22
Nimonic alloy 90	57.4	19.5	18.0	—	—	—	—	1.4	2.4	—	0.50	0.70	0.07	—	—	—	8.18
Nimonic alloy 105	53.5	14.5	20.0	5.0	—	—	—	1.2	4.5	—	0.50	0.70	0.20	—	—	—	7.99
Nimonic alloy115	57.3	15.0	15.0	3.5	—	—	—	5.0	4.0	—	—	—	0.15	—	—	—	7.85
Nimonic alloy PE.11	39.0	18.0	1.0	5.25	—	—	—	0.85	2.35	33.5	—	—	0.05	—	—	—	8.02
Nimonic alloy PE.16	43.5	16.5	1.0	3.3	—	—	—	1.2	1.2	33.0	0.10	0.15	0.05	0.020	—	—	8.02
Nimonic alloy PK.33	55.9	18.5	14.0	7.0	—	—	—	2.0	2.0	0.25	0.10	0.15	0.05	0.030	—	—	8.21
Nimonic alloy 120	63.8	12.5	10.0	5.7	—	—	—	4.5	3.5	—	—	—	0.04	—	—	—	7.95
Nimonic alloy 942	49.5	12.5	1.0	6.0	—	—	—	0.6	3.9	27.5	—	—	0.03	—	—	—	8.12
Pyromet 860	43.0	12.6	4.0	6.0	—	—	—	1.25	3.0	30.0	0.05	0.05	0.05	0.010	—	—	8.23
RA-333	45.0	25.5	3.0	3.0	3.0	—	—	—	—	18.0	1.50	1.20	0.05	—	—	—	8.25
Rene' 41	55.3	19.0	11.0	10.0	—	—	—	1.5	3.1	—	—	—	0.09	0.005	—	—	8.25
Rene' 95	61.3	14.0	8.0	3.5	3.5	3.5	—	3.5	2.5	—	—	—	0.15	0.010	0.05	—	8.23
TD nickel	98.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.0 ThO ₂	8.90
TD nic	78.0	20.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.0 ThO ₂	8.41
Unimet 500	53.6	18.0	18.5	4.0	—	—	—	2.9	5.9	—	—	—	0.08	0.006	0.05	—	8.02
Unimet 520	56.9	19.0	12.0	6.0	1.0	—	—	2.0	3.0	—	—	—	0.05	0.005	—	—	8.22
Unimet 700	53.4	15.0	18.5	5.2	—	—	—	4.3	3.5	—	—	—	0.08	0.030	—	—	7.91
Unimet 710	54.9	18.0	15.0	3.0	1.5	—	—	2.5	5.0	—	—	—	0.07	0.020	—	—	8.08
Unitemp AF2-1DA	59.5	12.0	10.0	3.0	6.0	1.5	—	4.6	3.0	—	—	—	0.32	0.015	0.10	—	7.99
Waspaloy	58.3	19.5	13.5	4.3	—	—	—	1.3	3.0	—	—	—	0.08	0.006	0.06	—	8.19

Tablo 2.4. Nikel esaslı ve Nikel-Demir esaslı alaşımların kimyasal kompozisyon (ağırlık %) ve yoğunlukları [36]

ALAŞIM ADLARI	Ni	Cr	Co	Mo	W	Ta	Cb	Al	Ti	Fe	Mn	Si	C	B	Zr	Diğer	Yoğunluk (g cm ⁻³)
NİKEL ESASLI																	
Alloy 713C	74	12.5	—	4.2	—	—	2.0	6.1	0.8	—	—	—	0.12	0.012	0.10	—	7.91
Alloy 713LC	75	12.0	—	4.5	—	—	2.0	5.9	0.6	—	—	—	0.05	0.010	0.10	—	8.00
B-1900	64	8.0	10.0	6.0	—	4.0	—	6.0	1.0	—	—	—	0.10	0.015	0.10	—	8.22
FORD 406	60	6.0	10.0	1.0	8.5	6.0	2.0	4.5	2.0	—	—	—	0.13	0.018	0.06	—	—
IN-100	60	10	15.0	3.0	—	—	—	5.5	4.7	—	—	—	0.18	0.014	0.06	1.0 V	7.75
IN-162	73	10.0	—	4.0	2.0	2.0	1.0	6.5	1.0	—	—	—	0.12	0.020	0.10	—	8.08
IN-731	67	9.5	10.0	2.5	—	—	—	5.5	4.6	—	—	—	0.18	0.015	0.06	1.0 V	7.75
IN-738	61	16.0	8.5	1.7	2.6	1.7	0.9	3.4	3.4	—	—	—	0.17	0.010	0.10	—	8.10
IN-792	61	12.4	9.0	1.9	3.8	3.9	—	3.1	4.5	—	—	—	0.12	0.020	0.10	—	8.25
M22	71	5.7	—	2.0	11.0	3.0	—	6.3	—	—	—	—	0.13	—	0.60	—	8.63
MAR-M 200	60	9.0	10.0	—	12.0	—	1.0	5.0	2.0	—	—	—	0.15	0.015	0.05	—	8.53
MAR-M 200(DS)	60	9.0	10.0	—	12.0	—	1.0	5.0	2.0	—	—	—	0.13	0.015	0.05	—	8.53
MAR-M 246	60	9.0	10.0	2.5	10.0	1.5	—	5.5	1.5	—	—	—	0.15	0.015	0.05	—	8.44
MAR-M 421	61	15.8	9.5	2.0	3.8	—	2.0	4.3	1.8	—	—	—	0.15	0.015	0.05	—	8.08
MAR-M 432	50	15.5	20.0	—	3.0	2.0	2.0	2.8	4.3	—	—	—	0.15	0.015	0.05	—	8.16
NX188(DS)	74	—	—	18.0	—	—	—	8.0	—	—	—	—	0.04	—	—	—	8.19
Rene' 77	58	14.6	15.0	4.2	—	—	—	4.3	3.3	—	—	—	0.07	0.016	0.04	—	7.91
Rene' 80	60	14.0	9.5	4.0	4.0	—	—	3.0	5.0	—	—	—	0.17	0.015	0.03	—	8.16
Rene' 100	60	9.5	15.0	3.0	—	—	—	5.5	4.2	—	—	—	0.18	0.014	0.06	1.0 V	7.75
SEL	51	15.0	22.0	4.5	—	—	—	4.4	2.4	—	—	—	0.08	0.015	—	—	8.02
SEL-15	58	11.0	14.5	6.5	1.5	—	0.5	5.4	2.5	—	—	—	0.07	0.015	—	—	8.00
TAZ-8A	68	6.0	—	4.0	4.0	8.0	2.5	6.0	—	—	—	—	0.12	0.004	1.00	—	8.63
TRW-NASA VIA	61	6.1	7.5	2.0	5.8	9.0	0.5	5.4	1.0	—	—	—	0.13	0.020	0.13	0.5 Re, 0.4 Hf	8.66
UDIMET 500	52	18.0	19.0	4.2	—	—	—	3.0	3.0	—	—	—	0.07	0.007	0.05	—	8.02
WAZ-20(DS)	72	—	—	—	20.0	—	—	6.5	—	—	—	—	0.20	—	1.50	—	9.02
NİKEL - DEMİR ESASLI																	
Incoloy alloy 901	42.5	12.5	—	5.7	—	—	—	0.2	2.8	36.0	0.10	0.10	0.05	0.015	—	—	8.22
A-286	26.0	15.0	—	1.3	—	—	—	0.2	2.0	53.6	1.35	0.50	0.05	0.015	—	—	7.91
Discaloy	26.0	13.5	—	2.7	—	—	—	0.1	1.7	54.3	0.90	0.80	0.04	0.005	—	—	7.97
N-155	20.0	21.0	20.0	3.0	2.5	—	1.0	—	—	30.3	1.50	0.50	0.15	—	—	—	8.19
V-57	27.0	14.8	—	1.25	—	—	—	0.25	3.0	52.0	0.35	0.75	0.08	0.010	—	0.5 V	7.94

Nikel esaslı alaşımlarda en çok kullanılan elementlerin alaşıma sağladıkları özellikler şunlardır [37]:

1. Nikel (Ni) : Nikel genellikle bir alaşım elementi olarak kullanılmasının yanı sıra yüksek mukavemetli, yüksek korozyon direncine ve ısı dirence sahip nikel alaşımları için ana malzemeyi oluşturur. Saf halde dayanıklıdır, soğuk ve sıcak işlem görebilir ve orta seviyede işleme özelliklerine sahiptir.
2. Krom (Cr) : Çeliğin sertleştirilmesinde kullanılır. Kromun varlığı işlenebilirliği azaltır. Genellikle mukavemeti arttırmak için ilave edilir. Sertliği artırması ve aşınma direncini iyileştirmesi de söz konusudur.
3. Demir (Fe) : Alaşım içerisinde denge elemanı olarak kullanılır.
4. Kobalt (Co) : Dayanım ve oksitlenmeye karşı direnç sağlar. Yüksek sıcaklıklarda sert karbürler oluşturur, bu nedenle işleme esnasında alaşım sertliğini korur.
5. Alüminyum (Al) : Hafifliğin yanı sıra dayanım sağlar.
6. Niyobyum (Nb) : Güçlü paslanmaz çeliklerin yapımında ve bazı paslanmaz çelik türlerinin kaynak çubuklarında, ayrıca demir dışı alaşımlarda da kullanılır.
7. Tantal (Ta) : Yüksek ısı ve oksidasyona karşı dayanım sağlar.
8. Titanyum (Ti): Hafiflik, sağlamlık ve ısıya dayanıklılığın önem taşıdığı endüstrilerde kullanılır. Titanyum, çelik kadar dayanıklı, ancak ondan %45 daha hafiftir. Dayanıklılığı ve asitlere karşı dirençli oluşu nedeniyle, çeşitli alaşımların yapısına katılır.
9. Molibden (Mo) : Isıya ve aşınmaya karşı dirençli olan belli Nikel esaslı alaşımların yapımında kullanılır. Molibden çeliklerin sertliğini artırır, korozyon ve sürtünme direncini iyileştirir. Nükleer enerji uygulamalarında, elektrikli ısıtıcıların ince tellerinde, füze ve hava taşıtlarının parçalarının yapımında da yer alır. Ultra-yüksek güçteki çeliklerin hemen hepsi %8–25 arası oranda molibden içerir.
10. Tungsten (W) : X-ışını hedeflerinde, hava taşıtlarında ve metal buharlaştırma işlemleri gibi yüksek sıcaklık gerektiren uygulamalarda kullanılır.
11. Mangan (Mn) : Mangan manyetik özelliği yok eder ve sertleştirilebilirliği iyileştirir.

2.3.3.3. Nikel esaslı süper alaşımların özellikleri

Endüstride geniş bir kullanım alanına sahip olan bu alaşımlar aşağıdaki özelliklere sahiptir [38];

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

İşlenebilirlik:

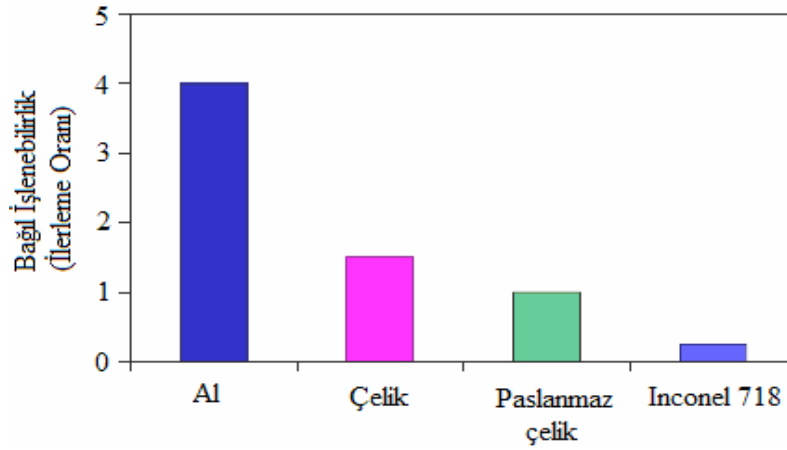
Yukarıda sayılan bütün bu özellikler, işleme esnasında kesici takımların üzerinde yüksek aşınma oranı ve yüksek kesme sıcaklığına sebebiyet vererek, süper alaşımların işlenmesini aşırı derecede zorlaştırmaktadırlar.

İşlenebilirliğini zayıflatan sebepler şunlardır [39-41];

1. Yüksek sıcaklık dayanımı, özelliğinden dolayı işlenmeleri zorlaşmaktadır.
2. İşleme esnasında is sertliğinin oluşması, talaş derinliğinde çentiğe neden olmakta ve takım aşınmasına sebep olmaktadır.
3. Süper alaşımlardaki sert aşındırıcı karbürler, kesilme esnasında kesici takımı önemli derecede etkilemekte ve aşınmayı hızlandırmaktadır.
4. Yüksek sıcaklıklarda oluşan kimyasal reaksiyonlar, takım talaş arasında difüzyon aşınmasına neden olmaktadır.
5. İşleme esnasında talaş ile kesici takım arasında adhezyon ya da kaynama oluşmakta, kesici takım yüzeyinde bozulmalar ve malzeme kaybına sebep olmaktadır.
6. İşleme esnasında çıkan sürekli ve sert talaşların varlığı, kontrolü sağlamayı güçleştirmekte talaşların takım yüzeyinde krater oluşturmasına sebebiyet vermektedir.

7. Zayıf termal iletkenliğinden dolayı, Nikel esaslı süper alaşımlar, takımın yüzeyinde sık sık yüksek sıcaklıklar oluşturmaktadır.

Şekil 2.2’de farklı malzemelerin işlenebilirliklerinin birbirleri ile mukayesesi verilmiş olup, bunlar arasında Inconel 718 alaşımının işlenebilirliğinin en zor olduğu görülmektedir.



Şekil 2.2. Çeşitli alaşımların bağıl işlenebilirliğinin mukayesesi [44]

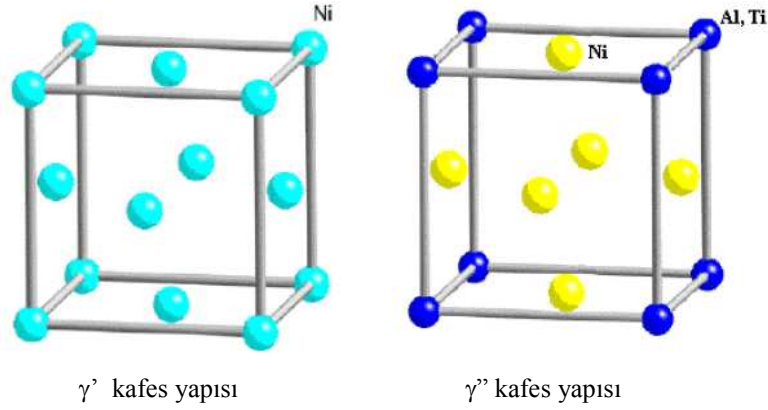
Nikel esaslı süper alaşımların kuvvetlendirilmesi:

Nikel esaslı süper alaşımların mukavemet kazandırma mekanizmaları, katı eriyik ile mukavemet kazandırma, çökeltme ile mukavemet kazandırma ve dağılım ile mukavemet kazandırmadır. Tane sınırlarının özellikleri büyük oranda bu işlemler tarafından kontrol edilir. Karbürlerin şekli, miktarı ve faz yapıları mukavemet kazandırmada önemli rol oynarlar [36].

Nikel esaslı süper alaşımların mikro yapısı:

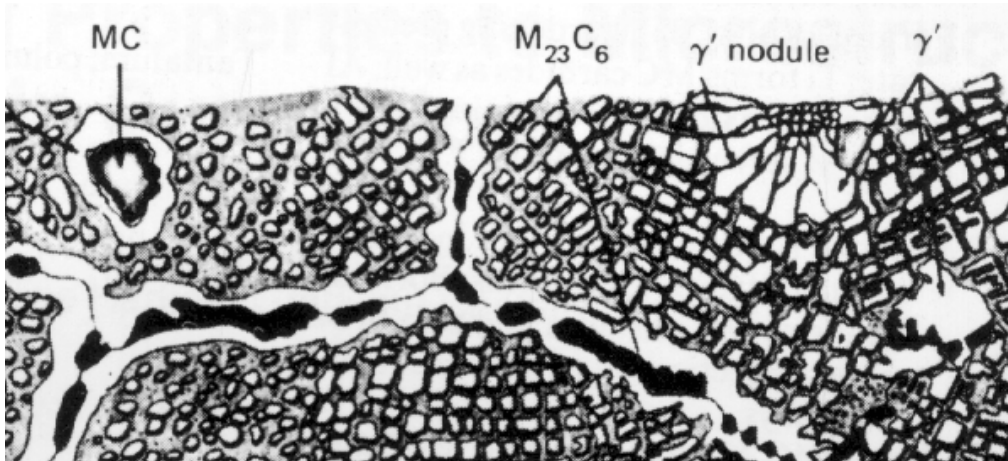
Bu tür süper alaşımlar, içerisinde önemli miktarda Fe ve Ni ihtiva eder. Östenitik matris %25-60 Fe içerir ve (gama üssü) γ' , $Ni_3(Al,Ti)$ veya (gama iki üssü) γ'' , Ni_3Nb çökeltleri bulundurur. γ' ve γ'' fazlarının her ikisi de yüzey merkezli kübik (YMK) kristal kafese sahip katı çözeltilerdir [8]. Aralarındaki tek fark (γ'') fazında yüzey merkezli kübik kafesin köşegenlerinde Alüminyum veya Titanyum

atomlarının bulunmasıdır. Kafes parametreleri birbirlerine çok yakın olduğu için aynı matris içinde oluşurlar (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Nikel ve Nikel bazlı bir süper alaşımın kristal kafes yapısı [42]

γ'' 'bu alaşıma has bir çökeltidir ve yavaş büyüme kinetiği ile bazı problemleri önler. C, Mo, W, Ti, Al ve katı ergiyük malzemenin güçlenmesine yardımcı olur. MC karbürleri hem büyük, düzensiz hem de küresel olarak oluşur. $M_{23}C_6$ karbürler ise ısıtılardan sonra küresel veya blok halinde oluşurlar [34].

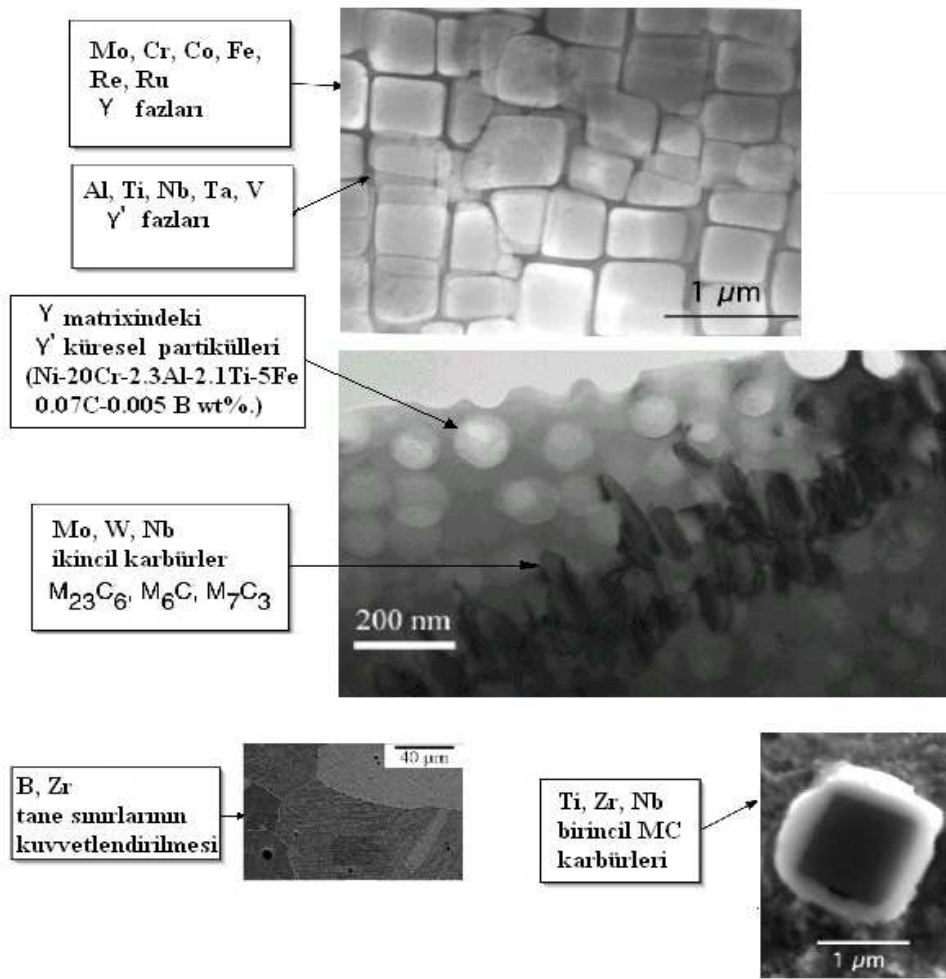


Şekil 2.4. γ' , γ fazlarını ve çeşitli karbürleri gösteren tipik bir süper alaşım mikro yapısı [34]

Formülde alaşım elementinin simgesi yerine M harfinin kullanılması, bu karbürün Volfram ve Molibden haricinde diğer alaşım elementlerinin bazılarını da bünyesinde çözünmüş olarak içermesi nedeniyledir (Şekil 2.4).

$M_{23}C_6$: Krom yönünden zengin karbürdür. Yapısında Demir, Volfram, Molibden ve Vanadyum çözünmüş halde bulunabilir. Yüzey merkezli kübik, yoğunluğu 7.6 - 8.0 gr/cm³, sertliği 1400 - 1800 HV' dir.

MC: Vanadyum yönünden zengin karbürdür. Kimyasal bileşimi VC ile V_4C_3 arasında olabilmektedir. Yapısında çözünmüş olarak Volfram, Molibden, Krom ve Demir bulunabilir. Kristal yapısı yüzey merkezli kübik, yoğunluğu 5.4 - 7.0 gr/cm³, sertliği 2700 - 2900 HV' dir [43].



Şekil 2.5. TEM'de alaşım elementlerinin Nikel esaslı süper alaşıma etkilerinin gösterilmesi [42]

Mikro yapıdaki farklılıklar açısından bakıldığında, Nikel esaslı süper alaşımlarda yüksek sıcaklıklarda birinci derecede malzeme dayanımını sağlayan etken γ' , $Ni_3(Al,Ti)$ ve/veya γ'' , Ni_3Nb çökelme fazlarıdır (Şekil 2.5). Bu fazların çözülme

veya başka bir faza dönüşüm sıcaklığı Demir ihtiva eden süper alaşımlarda diğerlerine nazaran daha düşüktür. Inconel 718 %18.5 oranında Fe ihtiva etmesi bu malzemenin Waspaloy'a nazaran daha düşük sıcaklıklarda yumuşamaya maruz kalmasını netice vermiştir. Bu iki alaşımın potansiyel üst çalışma sıcaklıkları Inconel 718 için 815 °C ve Waspaloy için 1150 °C olarak belirlenmiş olup, Inconel 718'in erken yumuşama eğilimine işaret etmektedir. Waspaloy'un demir içermemesi, %13,5 Kobalt ve %4,3 Molibden ihtiva etmesi sertliği sağlayan γ' fazının çözülme sıcaklığının yükselmesine neden olduğu belirtilmiştir. γ' fazının mikro yapıdaki oranının kompozisyondaki Al ve Ti miktarlarıyla doğru orantılı olarak artacağı bilinmektedir. Yapılan çalışmalarda γ' fazının malzeme yapısındaki hacimsel oranının artması takım ömrünü kısaltan önemli bir etken olduğu ispat edilmiştir. Waspaloy'da bulunan Al ve Ti miktarları Inconel 718'e kıyasla yaklaşık 3 kat daha fazladır. Bu durum Waspaloy'un daha yüksek sıcaklıklarda dayanımını korumasını temin etmekte ve kesici ömrünün kısılmasına neden olmaktadır [8].

2.4. Süper Alaşımların Yüksek Sıcaklıklardaki Davranışları

Metalik elementlerin yüksek sıcaklık dayanım davranışları ergime özelliklerini izler. Örneğin, ergime noktası yükseldikçe metalin yüksek sıcaklık dayanımı artar. Bu yüzden elementlerin ergime noktaları önemli rol oynar. Titanyum başta olmak üzere bazı elementler farklı bir eğri çizer [34]. Ancak bu ilişkinin yakından incelenmesi gerekir. Malzemedeki sürünme /gerilme-kopma ve metalürjik kararsızlık, süper alaşımların yüksek sıcaklıklardaki davranışlarını belirler [22].

2.4.1. Sürünme/gerilme-kopma

Yüksek sıcaklıklarda statik veya dinamik yüklemeye maruz kalan bir metal bileşiğin ömrü sınırlıdır. Aksine, düşük sıcaklıklarda ve aşındırıcı bir ortamın olmaması durumunda bir parçanın ömrü, çalışma yüklerinin, metalin dayanımını aşmaması durumunda statik şartlar altında sınırsızdır. Tanımlamak gerekirse, sürünme (creep), zamana bağlı gerilmedir veya yüksek sıcaklık altında oluşan deformasyondur. Bir süre sonra, "gerilme-kopma" denilen kırılma ile yok olur. Sonuç olarak, yüksek

sıcaklığa bağlı hatalar, geniş bir sıcaklık alanında ortaya çıkar. Sürünme, genellikle atomsal yapının zamana bağlı olarak tekrar düzelmesine olanak verir [34].

2.4.2. Metalürjik kararsızlık

Yüksek sıcaklıkta çalışmanın diğer bir özelliği metalürjik kararsızlık içermesidir. Gerginlik, süre, sıcaklık ve çevre kullanım süresince metalürjik yapıyı değiştirir. Bazı durumlarda dayanımın arttırılabileceğine dikkat edilmelidir. Bu yapısal değişiklikler veya metalürjik kararsızlıklar, gerilme-kopma özelliklerindeki etkileriyle en iyi şekilde açıklanır.

Sıcaklık ve gerilme, hem tanecikler içindeki karbürleri hem de tanecik sınırlarındaki karbürleri etkiler, tanecik sınırlarındaki karbürlere olan etkiler sıklıkla sürünme ve kopma davranışının değişimi de çok daha önemli bir faktördür. Tanecik sınırı morfolojisi aslında yüksek sıcaklık özelliklerine bağlı olarak çok önemlidir. Kuvvetlendirici olan karbürlerin tanecik sınırında var olması optimum sürünme ve kopma ömrü için gereklidir. Fakat biçim ve kırılmada diğer karbür formlarına olan değişimler kademeleşmeye neden olabilir. Optimum dayanım için tanecik sınırlarında en iyi karbür oluşumu tipi, ayrı blok halindeki partiküllerdir. Tanecik sınırlarındaki sürekli karbür tabakaları gerilme-kopma ömrünü azaltır.

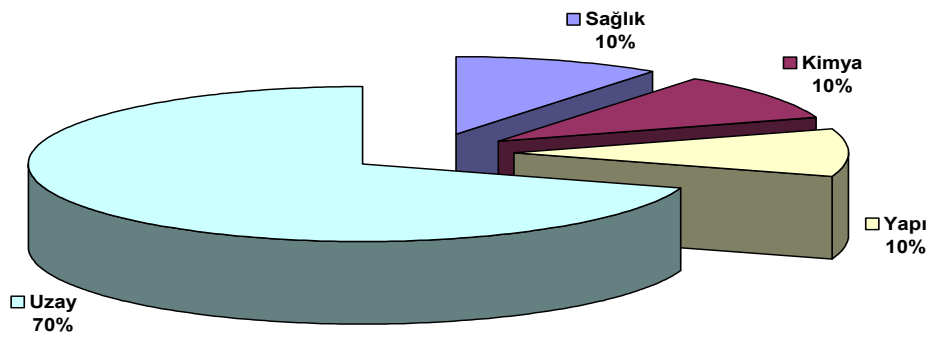
Süper alaşımlardaki karbür oluşumları MC , $M_{23}C_6$, M_6C ve Cr_7C_3 olarak sınıflandırılabilir. Bu karbürlerdeki M içeriği genelde Titanyum'dur. Fakat Molibden, Niyobyum, Vanadyum, Zirkonyum ve Tantalum gibi elementler, dahil edilmiş olabilir. Alaşımı uygun gerilme-kopma özelliklerinde elde etmek için karbürlerin uygun işleme, sıcaklık ve tanecik sınırlarında elde edilmesi gereklidir. Optimum nitelikler için sürekli tabaka ve ince hücreli karbürlerden kaçınılmalıdır. Nikel esaslı süper alaşımların, tanecik sınırlarını kuvvetlendirerek sürünme kopma özelliklerini arttırmak için, küçük miktarda Bor ve Zirkonyum katılması gerekir. Nikel esaslı süper alaşımlarda serbest elementlerin varlığının anlaşılması, süper alaşımların özelliklerinde bileşiğin özelliğini tam olarak yansıtması için gereklidir. Bir kararsızlık durumunda bazı elementlerin varlığı özelliklerde önemli azalmalara neden olabilir [22, 34].

2.5. Süper Alaşımların Toz Metalürjisinde Kullanımı

Kritik uçak motoru parçalarında kullanılmak üzere, kimyasal ve metalürjik olarak tek tip yapılar elde edilmesi için metal tozlarının kullanımı, yüksek saflık, ön-alaşım süper alaşım tozları ile ve izotermal dövme ve sıcak izostatik presleme ile artmaktadır. Toz temizliğine ilişkin olarak diğer önemli gelişme ise toz üretiminin, toplanmasının ve yoğunlaşmasının etkisiz bir ortamda gerçekleştiği etkisiz işlemdir. Yüksek dayanımlı Nikel bazlı süper alaşımlar bir külçe halinde kırılmayı sağlayan şiddetli makro ayrılmalara eğilimlidir. Kavramsal olarak, toz metalürjisi bu problemin üstesinden gelmek için bir yöntem sunar. Çünkü malzeme homojen bir sıvı olarak küçük damlacıklara bölünmüştür. Maksimum ayrılma mesafesi katılaştırılmış damlacıkların büyüklüğü ile sınırlıdır. Ani katılaştırma teknolojileri kullanılarak süper alaşım tozlarının üretimi temel bir araştırma konusu olmuştur [22, 34].

2.6. Süper Alaşımların Kullanım Yerlerine Göre Seçimi

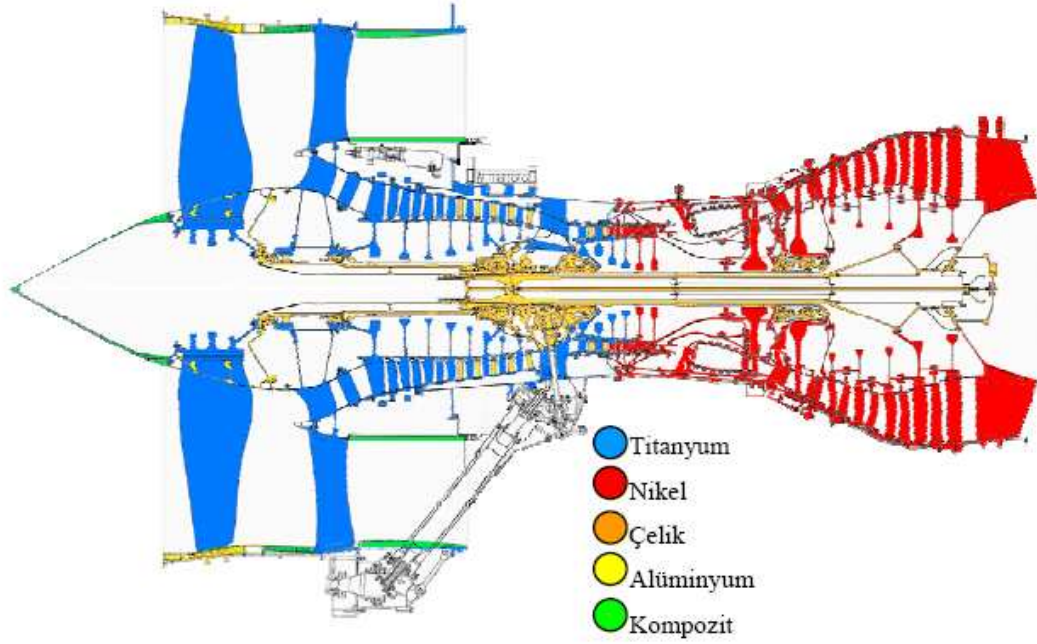
Süper alaşımlar endüstride yaygın kullanım alanına sahiptir [44]. Mevcut uygulamalar içinde en yaygın uygulama alanı uzay endüstrisidir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Süper alaşımların kullanım alanları [44]

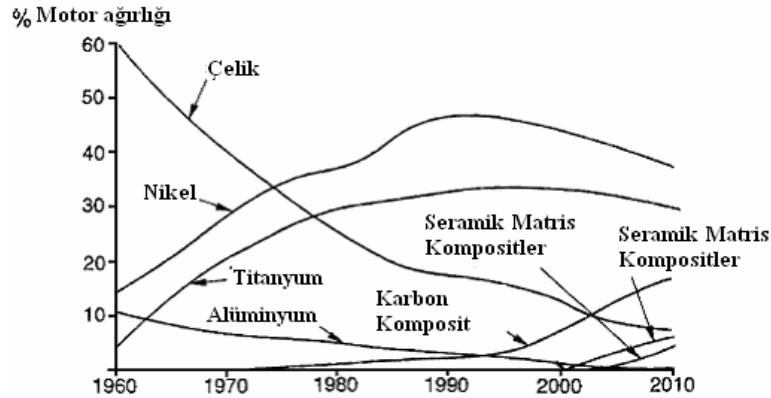
Fakat uçak motorları bu tip uygulamalar için süper alaşımların kullanımında en önemli pazar olmaya devam etmektedir. Çünkü motorun sıcak bölge parçalarının imalinde kullanılmaktadır. Ti-alaşımları için çok sıcak bölgeler olan yüksek basınç

kompresörünün arka kademelerinde kullanılır. Uçak motorlarında kullanılan bölümler Şekil 2.7’de gösterilmiştir. Yanma odasında kullanılan özel alaşım saclar (Hastelloy X - C263), düşük mukavemet, oksidasyona dayanım, şekillendirilebilirlik ve kaynak edilebilme özellikleri olan malzemelerdir. Türbin uygulamaları için ise dövme veya döküm süper alaşımlar kullanılır [42, 45].



Şekil 2.7. Nikel alaşımlarının uçak motorunda kullanıldığı bölümler [42]

Süper alaşımların kullanımı, Şekil 2.8’de görüldüğü gibi 1990’lı yıllarda toplam motor ağırlığının %60’larına ulaşmıştır.



Şekil 2.8. Uzay araçlarının türbinlerinde kullanılan malzemelerin ağırlığı [46]

Nikel bazlı γ' takviyeli süper alaşımlar özellikle uçak motorlarında kullanılır. Ancak, γ' intermetalik çökeltme ile kuvvetlendirilmiş Inconel 718 alaşımı uçak motorlarında temel çalışma malzemesi olmaya devam edecektir [22].

Kobalt bazlı süper alaşımların kullanımı azdır. MAR-M 509 gibi kobalt alaşımlar uçak türbini, motor hava folyolarında, özellikle statik pervanelerde kullanılır. Kobalt alaşımlar aynı zamanda medikal uygulamalarda da kullanılır.

Oksit dağılım takviyesini içeren INCO'nun mekanik alaşımlı ürünleri, General Electric'in askeri motor türbin pervaneleri için MA 754 alaşımını kullanmasıyla biraz önem kazanmıştır. Pratt&Whitney, Karbon, Bor, Zirkonyum ve Hafniyum içermeyen ve %12 Tantal içeren yeni bir tek-kristalli alaşım geliştirmiştir. Süper alaşımların yüksek sıcaklık uygulamaları; uçak parçaları, kimyasal fabrika donanımı ve petrokimyasal donanımları gibi çok çeşitli yerlerde görülmektedir [34].

Bu alaşımların genel kullanım alanları aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [34]:

- a) Gaz türbinleri, örneğin diskler, yanma odaları, civatalar, dökümler, şaft egzoz sistemleri, kesici aletler, pervane kanatları
- b) Buharlı güç türbinleri, örneğin, toplu gaz ısıtıcıları
- c) Pistonlu motorlar, örneğin taşıt araçlarında, egzoz gazı ile döndürülen bir türbinle çalıştırılan ve hava yakıt karışımını motora daha yüksek basınçla göndererek onun daha da güçlü çalışmasını sağlayan aygıt, egzoz, valfler
- d) Metal işleme malzemesi, sıcak iş malzemesi ve kalıplar
- e) Tıbbi uygulamalar, örneğin diş protez araçları
- f) Uzay araçları
- g) Isı uygulama malzemesi
- h) Nükleer güç sistemleri
- i) Kimyasal ve petro-kimyasal endüstriler
- j) Kirlilik kontrol malzemeleri
- k) Kömür gazlaştırma ve sıvılaştırma sistemleri

BÖLÜM 3. PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çelik, çeşitli kimyasal etkilere karşı dayanıklı olan ve bileşiminde ağırlıklı olarak %11.5'den daha çok Krom bulunan çeliktir. Mekanik özellikler açısından diğer ticari çeliklerden pek farklılık göstermeyen paslanmaz çeliklerin yüksek maliyetlerine karşın, pratikte çok yaygın olarak kullanılmalarının ana nedeni yüksek korozyon direncine sahip olmalarıdır.

Normal alaşımsız ve az alaşımlı çelikler korozyif etkilere dayanıklı değildir. Bileşimlerinde en az %12 Krom bulunanlar ise yüzeylerine kuvvetle bağlanan yoğun, tok ve çok ince bir oksit tabakasından dolayı pasifleşir; yani indirgeyici olmayan ortamlarda korozyona karşı direnç kazanırlar. Ancak bu çeliklerde Krom karbür olursa, α veya δ kafesi içinde çözülmüş olan Krom miktarı %12'lik sınırın altına düşebilir. Böylece korozyona dayanıklılık özelliği kaybolur. Dolayısıyla çelik bileşimindeki karbon oranı yükseltildikçe, Krom miktarı artırılmalı veya karbür yapma eğilimi Kromdan fazla olan belirli elementler katılarak Krom karbürün meydana gelmesi engellenmelidir [47, 48].

Paslanmaz çeliklerdeki başlıca alaşım elementleri önem sırasına göre Krom, Nikel, Molibden ve Mangandır. Bunlardan öncelikle Krom ve Nikel iç yapının ferritik veya östenik olmasını belirler [49].

Metalurji, kimya, makine, gıda ve tıp gibi birçok sektörde kullanılır [48]. Ancak kimyasal, fiziksel yapı hataları veya ortamın etkisiyle korozyona uğrayabilmektedir.

3.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Karbon içerikleri %0.12'den az olan bu alaşımlar normal olarak %11-30 Cr içerirler. Diğer alaşım elementleri, korozyon dirençlerini veya işlenebilirlik gibi özellikleri

iyileştirmek için küçük miktarlarda katılmaktadır. Ferritik paslanmaz çelikler düşük karbon içeriklerinden dolayı, normal olarak östenit yapıdan ferrit yapıya dönüşüme uğramamakta ve bu nedenle ısıtma işlemi uygulanabilir malzemeler olarak düşünülmemektedir. Buna karşın pek çok ferritik paslanmaz çeliklerde, bu çelikler yüksek sıcaklıklardan hızla soğutulursa küçük karbon miktarları biraz sertleşme sağlamaktadır. Kaynaklanabilirlik iyileştirilmiş süneklik ve iyi korozyon direnci için bu alaşımlarda, Karbon ve Azot seviyeleri oldukça az tutulmak zorundadır [47, 48].

3.2. Martensitik Paslanmaz Çelikler

Bu alaşımlar %0,1-1 C ve %12-17 Cr içermekte ve martensit oluşturmak için sade karbonlu çeliklerdeki gibi sertleştirilebilirler. Karbon içeriği %1 ise ve uygun bir ısıtma işlemi uygulanırsa çok yüksek sertlikler elde edilmektedir. Diğer alaşım elementleri korozyon direnci, dayanım ve tokluğu iyileştirmek için küçük miktarda ilave edilmektedir [48, 50].

3.3. Çökelti Sertleştirilmiş Paslanmaz Çelikler

Bu alaşımlar değişen miktarlarda nikel ve molibdenin yanı sıra genellikle % 10-%30 Cr içerirler. Çökelti sertleştirilmiş fazlar Cu, Al, Ti ve Nb ilaveleriyle oluşturulur. Bu alaşımlar, pek çok uygulamalar için, korozyon direncinde önemli bir kayıp olmaksızın yüksek mekanik dayanımlara sahiptirler. Bu alaşımların çoğu yüksek sıcaklıklarda bile dayanım özelliklerini korurlar [47, 50].

3.4. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler esas olarak %16-25 Cr ve %7-20 Ni içeren 3'lü Demir-Krom-Nikel alaşımlarıdır. Bu alaşımların yapıları bütün ısıtma işlemlerinde östenitik YMK yapıda kaldığı için östenitik olarak adlandırılır. Bazı alaşımlarda bir miktar Nikel Manganla yer değiştirir ve yapıları halen östenitik olarak kalır. Östenitik paslanmaz çelikler ABD'deki paslanmaz çelik üretiminin %70'ini oluşturur. Bu alaşımlar esas olarak yüksek korozyon dirençlerinden ve şekillendirilebilirliklerinden dolayı üstün bir pozisyona ve bu nedenle pek çok mühendislik uygulamaları için çok

arzu edilen özelliklere sahiptir. Tip 302 ve 304 en yaygın olarak kullanılan paslanmaz çeliklerdir. Tip 304 dünyadaki tüm paslanmaz çelik üretiminin %50 'sini ve paslanmaz tüketiminin yaklaşık yarısını oluşturarak, hemen hemen tüm endüstriyel uygulamalarda kullanılır.

Bu çelikler hem yüksek sıcaklıklarda hem de ortam sıcaklığında uygulama alanı bulur. Tip 304 ile aynı esasa sahip olan ve %2 Mo içeren 316 tipi yüksek korozyon direncine ve iyileştirilmiş yüksek sıcaklık dayanımına sahiptir. Krom seviyesi %23'den 25'e artırılmış 309 ve 310 tipleri gibi alaşımlar, öncelikle yüksek sıcaklık uygulamaları için kullanılır [47, 48].

3.4.1. Mikroyapıları

Östenitik paslanmaz çelikler, prensip olarak yüksek Nikel içermeleri nedeniyle yüksek sıcaklık tavlamalarından sonra Demir-Krom alaşımlarına Nikelin ilavesi östenitin dengede olduğu bölgeyi genişletmekte ve martensitik dönüşüm sıcaklığını düşürmektedir. %18 Cr - %8 Ni ihtiva eden bir paslanmaz çelikte, tavlama sıcaklığından soğutulmasından sonra östenitik bir yapı kalır. Buna karşın bazı Fe-C-Ni paslanmaz çelikleri de (örneğin tip 301) düşük Cr ve Ni içeriklerinden dolayı, östenit termodinamik olarak dengede değildir. Bu tip alaşımlar oda sıcaklığının hemen altında deforme edilirse östenitik biraz martensite dönüşebilir. Yaygın olarak kullanılan östenitik paslanmaz çelikler etkili miktarda Karbon içermektedir. Örneğin 302 tip alaşımda genellikle yaklaşık %0,1 C ve 304 tip alaşımda ise %0,06 C bulunur. Östenitik paslanmaz çeliklerde Karbon eriyebilirliği, sıcaklık düştükçe hızla düştüğü için bu alaşımlar yavaş soğutulursa yapıda Krom karbür çökeltilelerle karşılaşmaktadır. Örneğin 304 tip alaşımda, yapı yaklaşık 1050 °C'den oda sıcaklığına yavaş soğutulursa, 850- 400 °C arasında Krom karbürler tane sınırlarına çökeltmektedir. Kritik sıcaklık aralığı 850°C'den 400°C'ye yavaş soğutma uygulamalarında, yetersiz sayıda krom atomu, tane sınırından matristeki tane sınırları bölgesine doğru Krom karbür çökeltmesi ile difüze olur. Bu nedenle tane sınırlarına yakın bölgeler korozyon direnci için gerekli olan %12'den daha aşağı çekilmiş krom içeriğine sahiptir ve bu yüzden taneler arası korozyona karşı hassas hale gelmektedir. Bu şartlardaki östenitik paslanmaz çelikler taneler arası korozyona karşı hassas

oldukları için harici korozyona karşı da hassas olarak bilinmektedir. Bu nedenle östenitik paslanmaz çelikler, Krom karbürü katı eriyik içine yerleştirmek için yeterince yüksek ancak tane büyümesini önlemek için de uygun sıcaklıklarda tavlmalıdır. Krom karbürlerin çökmesini önlemek için hızlı soğutulmalıdır.

Yüksek sıcaklıklardan sonra tip 304 gibi paslanmaz çeliklerin her zaman hızlı soğutulmaları mümkün değildir ve bu korozyon problemlerine neden olabilir. Örneğin kaynaklandığı yerde yavaş soğumak zorunda olan paslanmaz çelikte Krom karbürlerin yeniden çözünmesi için müteakip tavlama mümkün olmayacaktır.

Yavaş soğumanın neden olduğu taneler arası korozyonu önlemek için Karbonla birleşen elementlerin katılmasıyla kimyasal kompozisyonda değişimler sağlanmıştır. Tip 321 alaşımında, Karbon miktarının 5 katı kadar Titanyum, alaşıma ilave edilmektedir. Bu alaşım, 870 °C’de yeterli bir süre ısıtıldığında Titanyum, Titanyum karbür (TiC) oluşturmak üzere karbonla birleşmektedir. Müteakip bir ısıtım işlemi, kritik sıcaklık aralığına doğru olursa, bu işlem krom karbürlerin çökmesini önlediği için dengeleme (kararlı hale getirme) ısıtım işlemi olarak adlandırılır [47].

3.4.2. Mekanik özellikler

Östenitik paslanmaz çelikler, oda sıcaklığında östenitik bir yapıya sahip oldukları için ısıtım işlemi önemli ölçüde sertleştirilmemektedir. Buna karşın bu alaşımların soğuk deformasyonla dayanımı oldukça iyileştirilmektedir. Örneğin 301 tipi alaşımın akma dayanımı soğuk deformasyonla 40 ksi’den 200 ksi’ye yükseltilebilir.

Östenitik paslanmaz çelikler mikro yapıdaki östenitin kararlı hale gelebilirliğine göre kararlı ve yarı kararlı östenitik çelikler olmak üzere iki grupta sınıflandırılabilir. Kararlı östenitik çeliklerin mikroyapıları soğuk deformasyondan sonra östenitik olarak kalmaktadır. Yarı kararlı östenitik paslanmaz çelikler, soğuk deformasyonla belli bir düzeyde martensite dönüşerek östenit –martensit karışımından oluşan yapıyı ortaya çıkarırlar.

Oda sıcaklığında yarı kararlı (tip 301) ve kararlı (tip 304) östenitik paslanmaz çeliklerin pekleşme davranışları arasındaki fark mühendislik gerilim–gerinim eğrisiyle gösterilir. Tip 304 normal pekleşme davranışı sergilemekte ve gerilimin uygulandığı süreçte normal pekleşmeye işaret eden parabolik bir eğri sergilemektedir. Buna karşın tip 301 yaklaşık %10-15 deformasyondan sonra hızlandırılmış bir pekleşme davranışı göstermektedir. Bu hızlandırılmış pekleşme kararsız östenit yapıdan martensit yapıya oluşmasından kaynaklanmaktadır.

Karbon içeriğindeki küçük bir değişikliğin akma dayanımı üzerine etkisi 304 ve 304 L alaşımlarının akma dayanımları birbirleri ile karşılaştırılarak görülebilir. Yaklaşık %0.08 C içerikli tip 304, 42 ksi akma dayanımına sahip iken, daha düşük %0.03 C içerikli 304 L alaşımının akma dayanımı 39 ksi’de kararlı ve yarı kararlı östenitik paslanmaz çelikler arasındaki fark, tavlanmış malzemelerin çekme dayanımındaki farklı ortaya konmaktadır (Tablo 3.1) [47, 51].

Tablo 3.1. Tavlanmış östenitik paslanmaz çeliklerin tipik oda sıcaklığı özellikleri [51]

AISİ TİP	Akma Dayanımı(% 0.2 deneme)		Çekme Dayanımı		2 inçte uzama %
	Ksi	MN/m ²	Ksi	MN/m ²	
201	55	379.2	115	792.9	55
202	55	379.2	105	724	55
301	40	275.8	110	758.5	60
302	40	275.8	90	620.6	50
302B	40	275.8	95	655	55
303	35	241.3	90	620.6	50
303Se	35	241.3	90	620.6	50
304	42	389.5	84	579.2	55
304L	39	268.9	81	558.5	55
305	38	262	85	586.1	50
308	35	241.3	85	586.1	50
309	45	310.3	90	620.6	45
309S	45	310.3	90	620.6	45
310	45	310.3	95	655	45
310S	45	310.3	95	655	45
314	50	344.8	100	689.5	40
316	42	289.6	84	679.2	50
316L	42	289.6+	81	558.2	50
317	40	275.8	90	620.6	45
321	35	241.3	90	620.6	45
347	40	275.8	95	655	45
348	40	275.8	95	655	45
384	35	241.3	75	527.1	55
385	30	206.9	72	496.4	55

BÖLÜM 4. TALAŞ KALDIRMA VE İŞLENEBİLİRLİK

4.1. Talaşlı İşlem

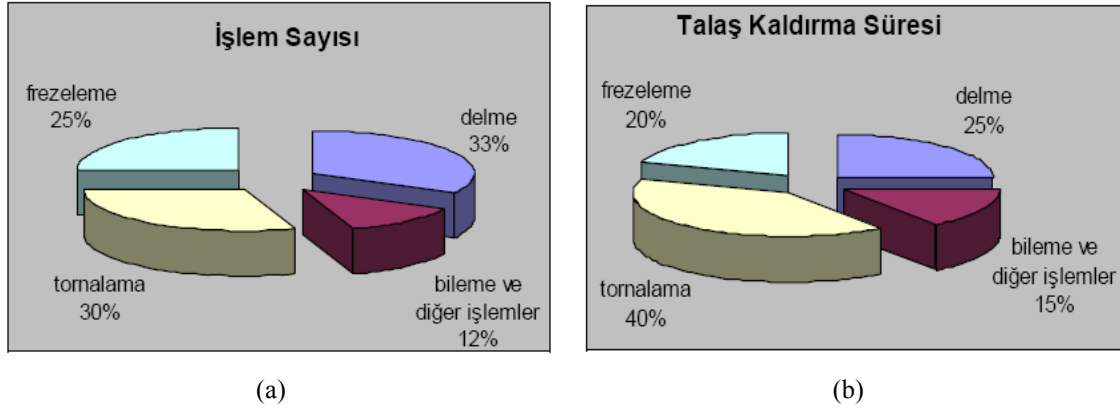
Talaş kaldırma; belirli şekil, boyut ve yüzey kalitesine sahip bir parçayı meydana getirmek için ucu keskin bir takım ile ve güç kullanarak iş parçası üzerinden malzeme kaldırma işlemidir. Kesici takımın talaş kaldırma esnasında iş parçasından elastik ve plastik deformasyon sonucu ayırmış olduğu malzemeye talaş denir [1, 2].

Talaşlı işlemin temel şartları aşağıdaki gibi özetlenebilir [1, 48]:

- a) Takım işlenecek malzemeye nüfuz etmelidir.
- b) Takım iş parçasından daha sert ve aşınmaya karşı dirençli olmalıdır.
- c) Kesici uç geometrisi kesmeyi kolaylaştıracak şekilde olmalıdır.
- d) Takımın malzeme direncini yenmesi için uygulanan kuvvetlerin yeterli olması.

Talaşlı imalatta; yeni takım malzemelerinin geliştirilmesi, kesici takımların kesme performanslarının yükseltilmesi, kesme işlemi koşullarının iyileştirilmesi, iş parçası malzemelerinin işlenebilirliği çok sayıda bilimsel araştırmanın konusu olmuştur [48].

Talaşlı işlemlerde birçok işleme metodu vardır. Tüm talaşlı işlemler içinde frezeleme, tüm işlem sayısının %25'ine sahiptir. Kesici takımlarla yapılan talaş kaldırma işlemlerinde harcanan zamanın %20'si frezeleme işlemi olarak tezgahta geçirilmektedir (Şekil 4.1) [17, 52].



Şekil 4.1. İşlem sayısına göre frezeleme işleminin diğer talaşlı işlemlerle karşılaştırılması (a), talaş kaldırma süresine göre frezeleme işleminin diğer talaş kaldırma işlemleriyle karşılaştırılması [52]

Yapılan literatür araştırmasına göre; Nikel esaslı alaşımların ve paslanmaz çeliklerin işlenmesi deneylerinde tornalama çok fazla araştırılmıştır. Ancak delme ve frezeleme araştırmaları ile ilgili az sayıda veri bulunmaktadır. Giriş bölümünde açıklanan nedenlerle frezeleme proses dinamiği daha kompleksdir. Bunun için; bu çalışmadaki talaşlı işlemlerde frezeleme deneyi seçilerek, takım aşınmaları incelenmiştir.

4.2. Talaş Oluşumu

Talaş kaldırma, fiziksel bakımdan kesici takım ile iş parçası arasındaki kesme ve ilerleme hareketi sonucunda elastik ve plastik şekil değiştirmeye dayanan sürtünme, ısı oluşumu, talaşın kırılması ve büzülmesi, işlenen parçanın yüzeyinin sertleşmesi, takım ucunun aşınması gibi olaylar meydana gelen karmaşık bir olaydır.

Takımın iş parçası üzerine belirli bir kuvvetle bastırıldığı ve kuvvet yönüne doğru hareket ettirildiği düşünülürse, takımın temas ettiği metal tabakasından önce elastik sonra plastik deformasyonlar meydana gelerek akma başlar ve gerilmeler malzemenin kopma sınırını aştığı anda tabaka, talaş şeklinde belirli bir yüzey boyunca malzemeden ayrılır [1, 2, 48].

Metal kesmede enerji tüketiminin çoğu talaş oluşumu için harcanır. Bu nedenle talaş kaldırma ekonomisi ve takım performansı ile ilgili problemler, işlenen malzemenin talaşa dönüşmesi ve takım yüzeyinden akma davranışını incelenmesiyle anlaşılabilir.

Kesme testleri yapılarak işleme anında kesme hareketi aniden durdurulup, elde edilen numuneler incelenerek talaş oluşum mekanizması anlaşılmaya çalışılır [53].

4.2.1. Talaş takım ara yüzeyi

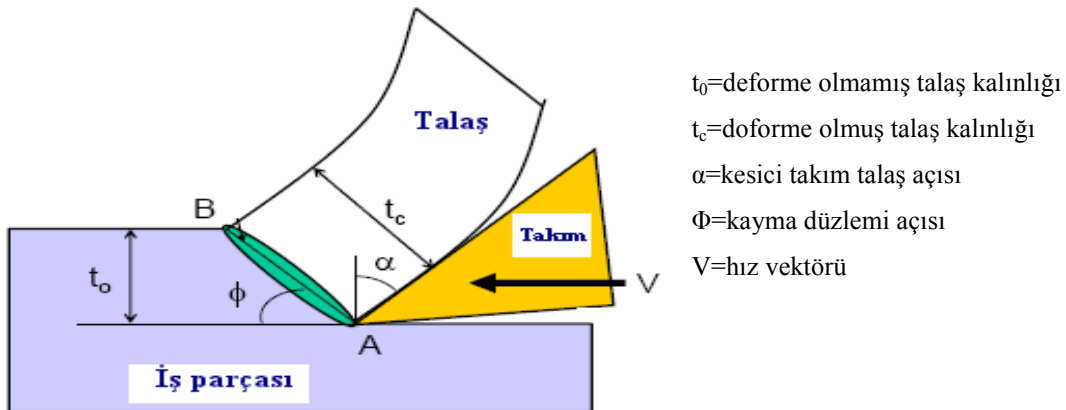
Talaş ile takım ara yüzeyinde oluşan sürtünme klasik mühendislik sürtünmesi

$$(\mu=F/N) \text{ değildir.} \quad (4.1)$$

Buradaki sürtünme (μ) ile temas yüzeyi arasında bir ilişki yoktur. Ancak gerçek temas alanı, görünür temas alanının %1 altındadır. N'deki artış gerçek temas alanını artıracığından, yüzeydeki gerilim sabit kalacaktır. Yani μ değişmez. Metal kesmede takım talaş ara yüzeyinde tam bir örtüşme gerçekleşir. Yani, gerçek temas alanı /görünür temas alanı= 1 olur. Zayıf olan malzemenin kaymasına neden olur. Bu durumda kayma gerilmesi (veya F) basma gerilmesinden (veya N) hemen hemen bağımsız hale gelir. Kayma kuvveti de görünür yüzey alanıyla doğru orantılı hale gelir. Bu durum (μ) sürtünmenin tam tersidir [53].

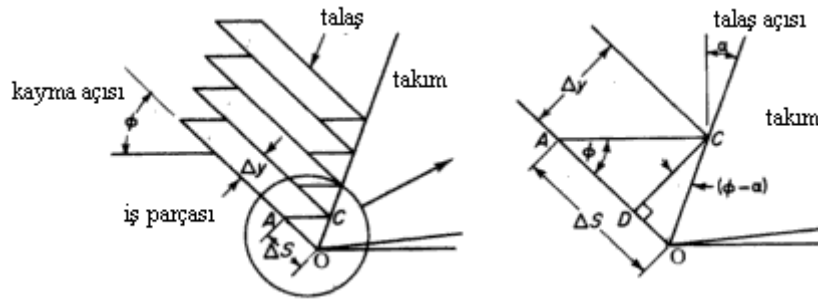
4.2.2. Deformasyon Bölgeleri

Talaş kaldırma olayı incelenirken, üç boyutlu deformasyon olayının basitleştirilmesi ve açıklanması için iki boyutlu modelleme kullanılır (Şekil 4.2).



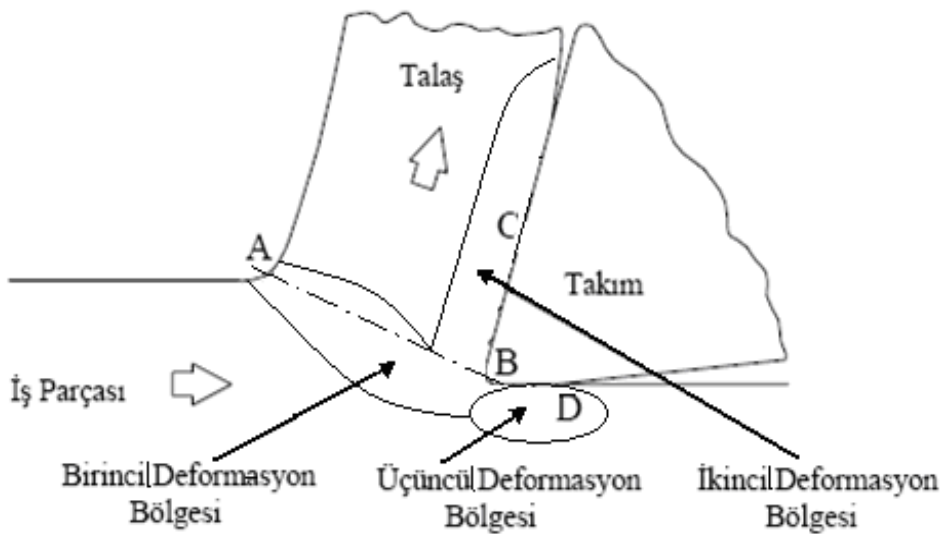
Şekil 4.2. İki boyutlu ortogonal model [17]

Metal işlemede talaş oluşumu farklılıklar göstermektedir. Plastik şekil verme işlemlerinde, plastik basma bölgesinde malzemede aşırı dislokasyon çoğalması meydana gelir. Şekil değiştirme sertleşmesi oranı bir limit değere ulaştığı anda malzemenin kesilme veya makaslanması dışında bir şansı kalmamaktadır. İdealde kayma zonu kayma sistemlerinden meydana gelmektedir ve akma tipi talaş meydana gelmektedir. Bu durum değişik proses koşulları için genelleştirilmiştir. Teorik olarak Şekil 4.3'te gösterilmiştir [1].

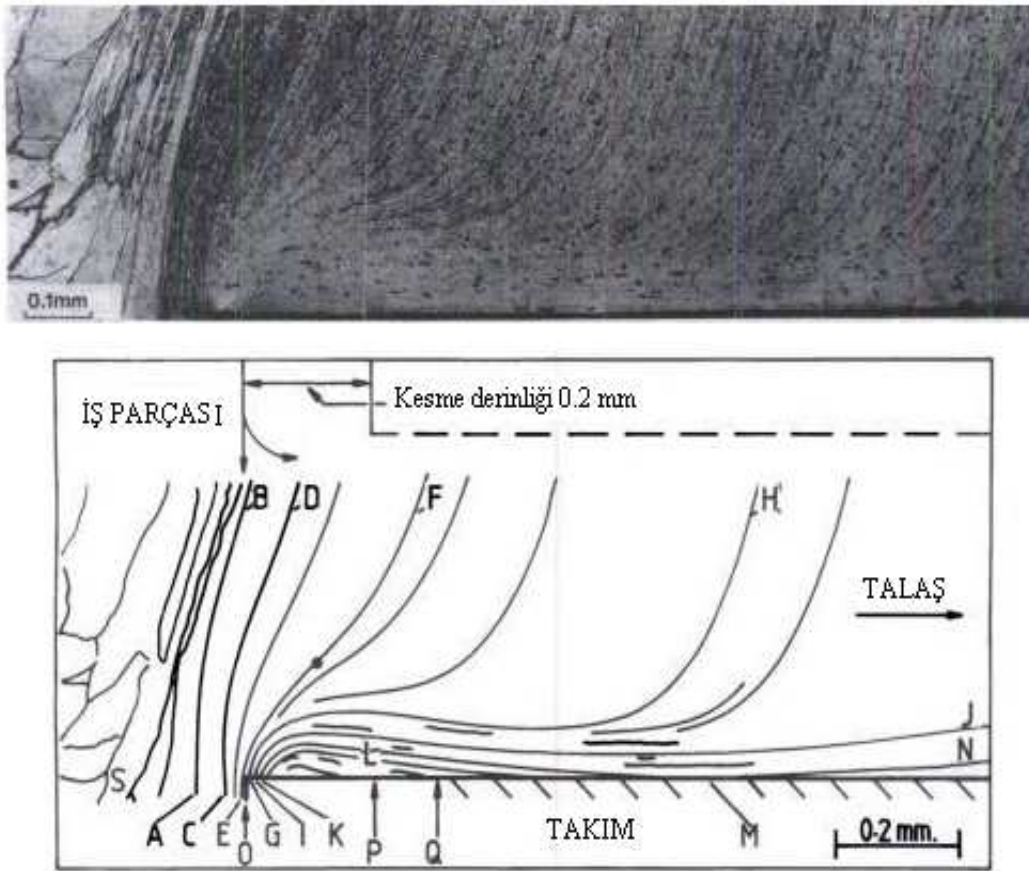


Şekil 4.3. Talaş oluşumu sırasında kayma-gerinme modeli [54]

Talaş son derece dar bir zonda gerçekleşen bölgesel kayma işlemi tarafından oluşturulmaktadır. Şekil 4.4'te görüldüğü gibi talaş oluşumu sırasında üç deformasyon bölgesinden bahsedilebilir. Şekil 4.5'te ise birincil ve ikincil deformasyon bölgelerinde görülen kayma zonları görülmektedir.



Şekil 4.4. Talaş oluşumunda deformasyon bölgeleri [2]

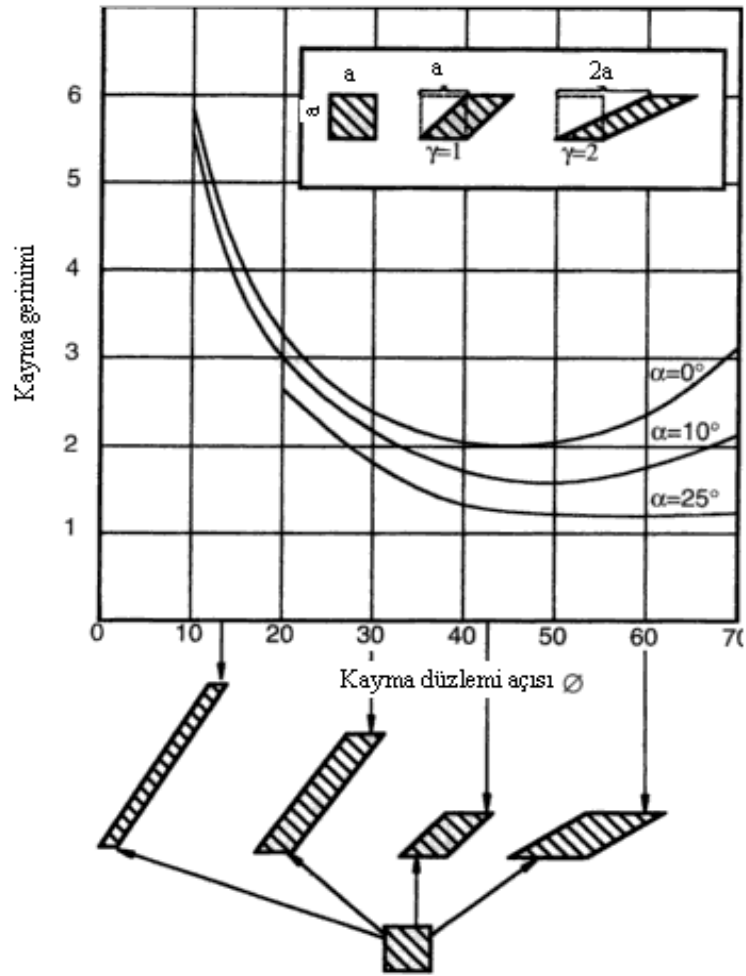


Şekil 4.5. Birincil ve ikincil kayma zonları [54]

Birincil deformasyon bölgesi:

Şekil 4.4'teki AB bölgesinde, talaş şekil değiştirme sırasında aşırı derecede gerilmeye maruz kalır. Gerinim (strain) için harcanan enerji, elastik gerinim için harcanan enerjiden yüksektir. Kayma gerinimi nedeniyle talaş kesitinde değişim olur. Kayma düzlemi genişleyerek uzar ve enerji gereksinimi artar. Birinci kayma zonu oluşur.

Şekil 4.6'da görüldüğü gibi talaş açısı arttırıldığında gerinim ve buna bağlı olarak da uygulanabilecek kuvvette azalır. Kayma düzlemi açısı 45° olduğunda kayma talaş üzerinde min. gerilme olur. Talaş ısının etkisiyle sertleşir. Önce elastik sonra plastik deformasyon gerçekleşir [53].



Şekil 4.6. Ortogonal kesmede, kayma uzaması ve farklı talaş açısı değerleri için kayma düzlemi açıları arasındaki ilişki [54]

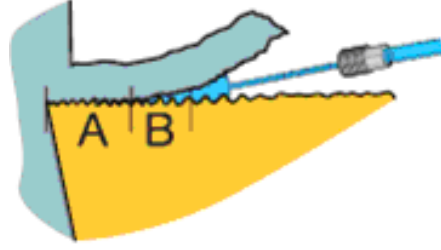
İkincil deformasyon bölgesi:

Şekil 4.4'teki BC bölgesinde, takım-talaş arasındaki yüzey basıncı yüksektir.

Ara yüzey basıncı \times sürtünme katsayısı $>$

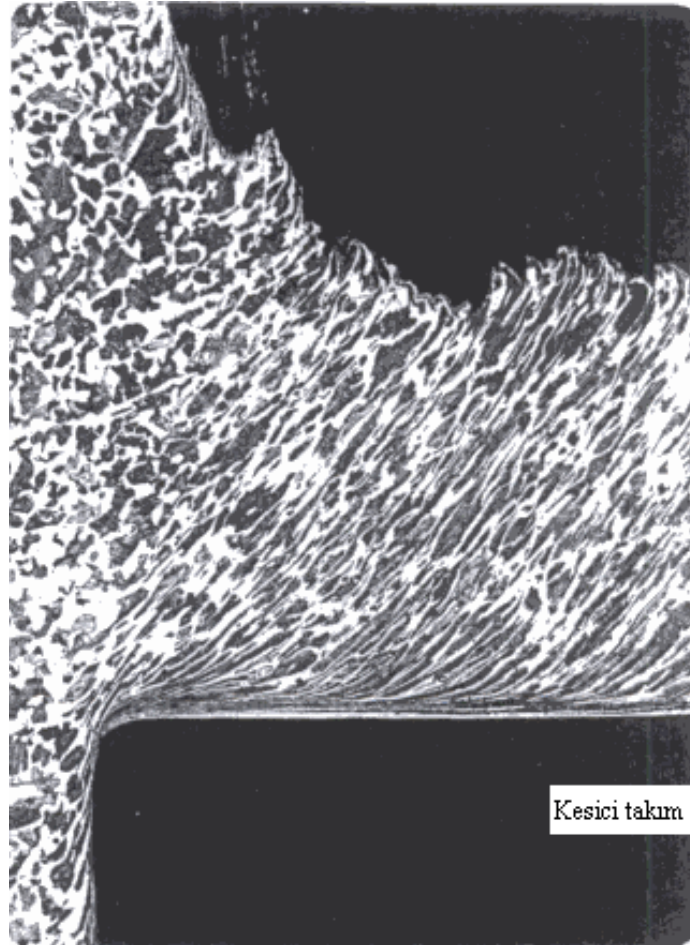
malzemede şekil değişimini sağlayan kayma kuvveti (4.2)

olduğunda iş parçasının takım üzerinde kayması önlenir. Yapışma meydana gelir. Takım yüzeyinde hareket olmadığından talaş kendi yapısı içinde akarak ikinci kez plastik deformasyona uğrar [53]. Şekil 4.7'de görüldüğü gibi, bu bölgede (A) soğutma sıvısı etkili değildir. Ancak (B) sınır bölgelerinde (kısmi yapışma bölgelerinde) etkili olabilir.



Şekil 4.7. İkincil deformasyon bölgesinde soğutma [55]

Ani durdurma sonucu, gerinmenin başladığı ikinci zondaki, malzeme içinde akmalar, kristal uzamalar (mikro yapıda perlit gri ve geniş, ferrit beyaz ve dar) Şekil 4.8’de mikro ölçekte görülmektedir [54].



Şekil 4.8. İkincil deformasyon bölgesinde talaştaki mikroyapısal değişiklikler [54]

Üçüncül deformasyon bölgesi:

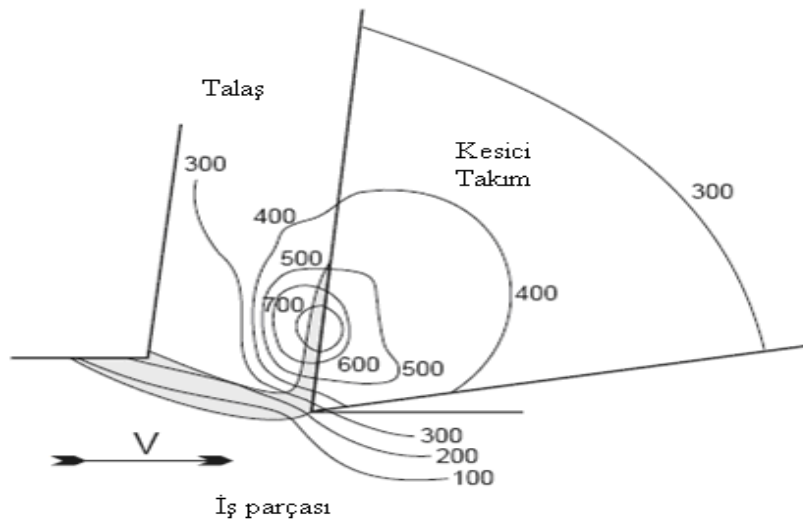
Takımın tabanındaki koşullar daha karmaşıktır. Şekil 4.4'teki D bölgesi deformasyona ve ezilmeye maruz kaldığından ısı üreten bir bölgedir. Ayrıca birinci deformasyon bölgesindeki ısı bu bölgeye yayılmış ve deformasyon sertleşmesi oluşmuştur. Literatürde az yer almasına rağmen bu bölge üçüncü deformasyon bölgesi olarak kabul edilir [1, 53].

4.2.3. Talaş oluşumunda sıcaklık faktörü

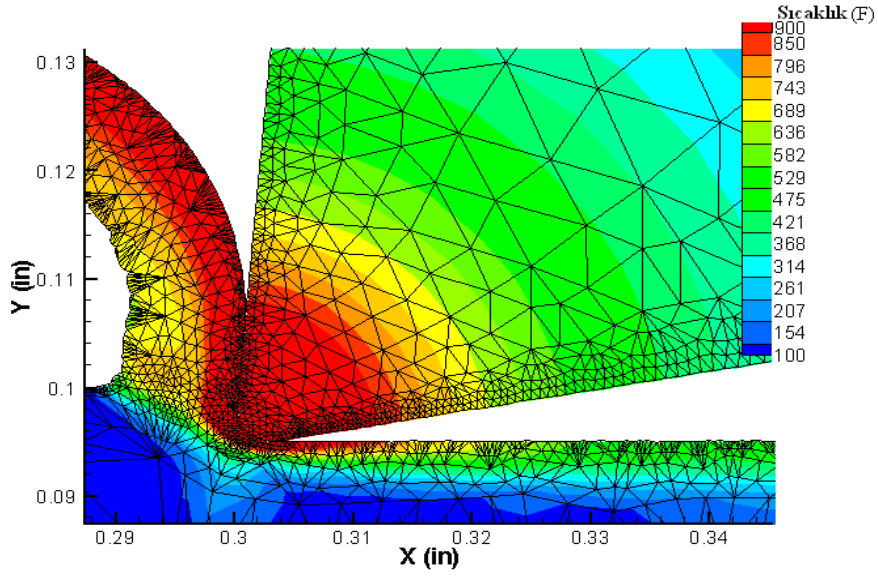
Talaşlı işlemlerde harcanan mekanik enerji küçük bir zonda toplanır. Bu enerjinin çok küçük bir oranı iş parçasında ve talaşta deformasyon enerjisi olarak depolanır. Enerjinin büyük kısmı ise ısıya dönüşür.

Isının %80'inden fazlası talaşla birlikte ortamdan atılır. Ancak talaş ile takım sürekli temas halindedir. Yapılan deneyler max. sıcaklığın talaşın ayrılmadan önce, takımın talaş yüzeyinde, burundan bir miktar uzakta temas bölgesinde meydana geldiği görülmektedir (Şekil 4.9). Sıcaklık değeri 1000°C 'nin üstüne çıkabilmektedir [53].

Şekil 4.10'da paslanmaz çeliğin işlenmesinde meydana gelen sıcaklıklar ve ısı dağılımı görülmektedir [56].

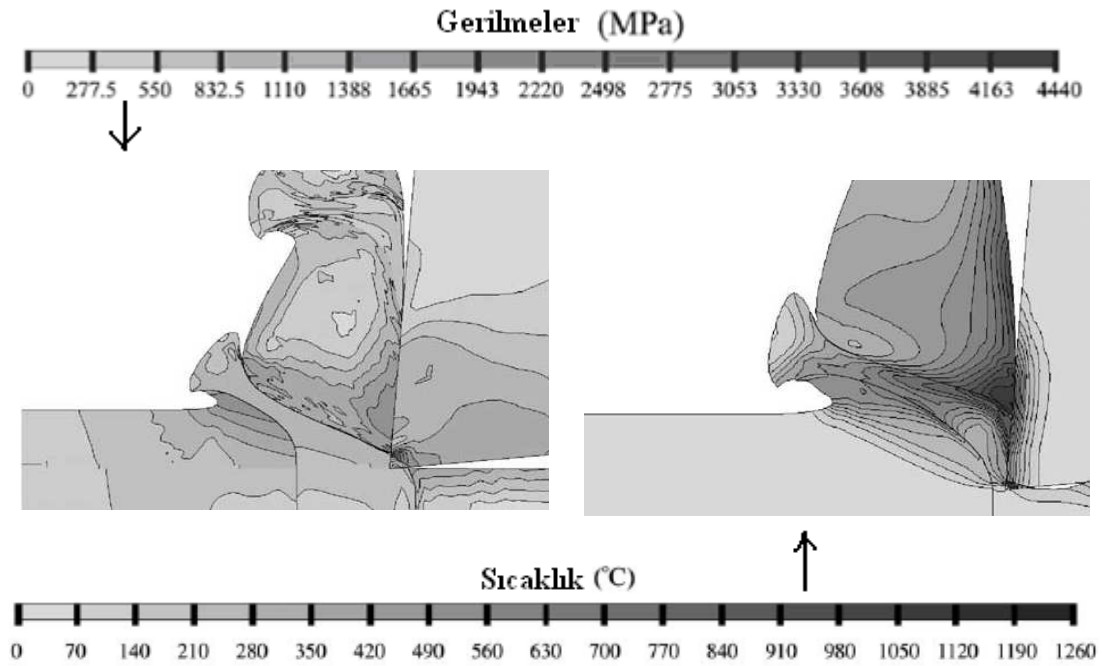


Şekil 4.9. Kesme sırasında talaş, takım ve iş parçası arasındaki sıcaklık ve ısı dağılımı [57]



Şekil 4.10. Paslanmaz çeliğin işlenmesinde meydana gelen sıcaklık simülasyonu [56]

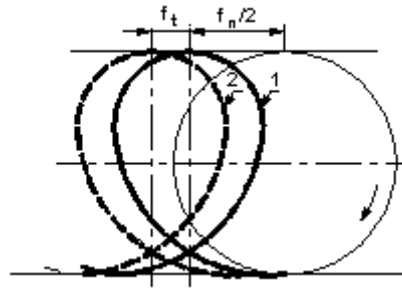
Talaşa etkiyen kuvvet ve oluşan gerilmeler ile sıcaklık doğrudan etkilidir. AISI 1045 çeliğinin, TiN kaplamalı kesici takımla, 70 m/dak kesme hızı, 2 mm/rev, ortogonal mikro frezeleme testinde mikro ölçekte oluşan gerilmeler, sıcaklık ve ısı dağılımları FE modellemesi (A Finite Element Model-Sonlu Elemanlar) kullanılarak Şekil 4.11’de gösterilmiştir [58].



Şekil 4.11. AISI 1045 çeliğinin işlenmesinde oluşan gerilmeler ve ısı dağılımı [58]

4.3. Frezelemede Kesme

Frezelemede kesme, takımın kendi eksenini etrafında dairesel hareketi ve iş parçasının doğrusal ilerleme hareketi ile gerçekleşen temel bir kesme operasyonudur. Frezelemede her kesici ağız kısa bir süre parçayı keser. Kesici ağızlar parça ile sürekli olmadığından frezeleme bir kesintili kesme işlemidir ve talaş kesiti ve dolayısıyla talaş yükü de her an değişir. Kesme esnasında kesici ağızların her noktası parçaya göre izafi hareket ederek birer sikloit eğrisi çizerler (Şekil 4.12). Müteakip iki dişe ait yörüngeler arasında kalan “virgül” şeklindeki kısım talaş şeklini meydana getirir. Frezelemede maksimum verim için tezgâh teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak, takım ve talaş geometrisi üzerinde de çalışmalar yapılmaktadır [59].



Şekil 4.12. Frezelemede ardışık iki diş tarafından çizilen sikloit eğrisi [59]

4.4. Kesme Kuvvetleri

Kesme kuvvetleri, işleme esnasında oluşan herhangi bir değişken tarafından, doğrudan etkilenen en önemli çıkış değişkenlerinden biridir. Kesme kuvvetleri üzerinde etkili olan bu değişkenler; ilerleme hızı, talaş derinliği (radyal ve aksiyal) kesme hızı, takım ve talaş geometrisi, iş malzemesi, takım-tezgâh çiftinin dinamik karakteristikleri, bağlama sistemi, takım kesme yüzeylerindeki aşınmanın gelişimi, sıcaklık ve titreşim gibi faktörlerdir. Takıma etki eden kesme kuvvetleri takım durumu hakkında önemli bilgi kaynağıdır. Bu bilgi işlenebilirliği, takım kırılmasını, takım aşınmasını, tırlamayı ve yüzey tamlığını anlamada kullanılabilir [1, 59].

F_r = Radyal kuvvet, F_s = Kesme kuvveti (frezelemede teğetsel kuvvet F_t)

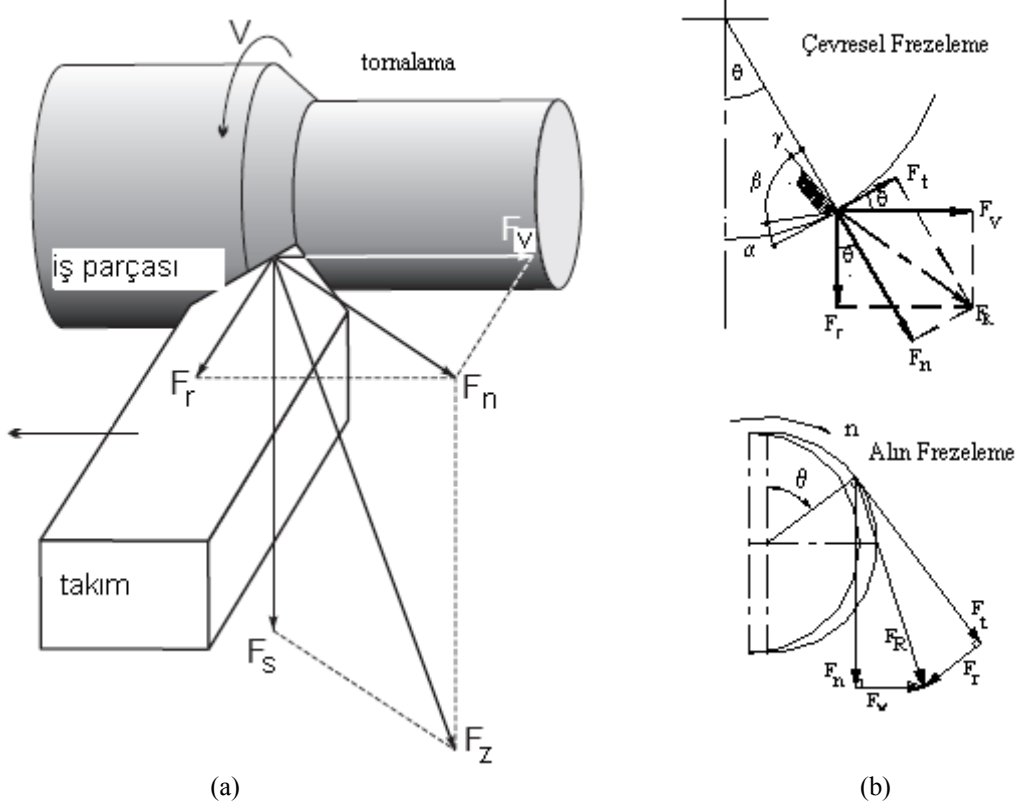
F_v = İlerleme kuvveti, F_z = Talaş kaldırma kuvveti (bileşke kuvvet)

olarak tanımlanır (Şekil 4.13).

Buradan;

$$F_n = F_r + F_v \text{ ve} \quad (4.3)$$

$$F_z = F_n + F_s \text{ olarak bulunur [1].} \quad (4.4)$$



Şekil 4.13. Tornalama (a), frezeleme (b) işlemlerinde kesme kuvvetleri [57, 59]

4.5. Talaş Tipleri ve Özellikleri

Talaş tipleri genellikle üçe ayrılır [2]:

Kesintili talaş:

Düşük kesme hızlarında işlenen sünek malzemelerde, gevrek malzemelerde meydana gelir (Şekil 4.14a). Sert malzemelerde çok iyi bir yüzey meydana getirirken, sünek malzemelerde elde edilen yüzey kalitesi kötüdür ve takım ömrünü kısaltır.

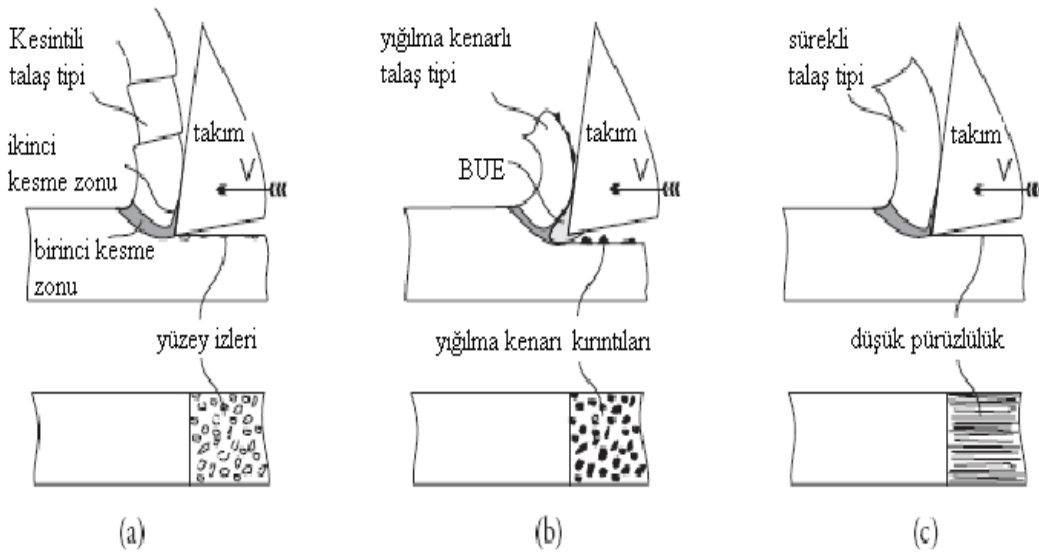
Bazı alaşımlarda inklüzyonlarla (kalıntılarla) bilinçli olarak gerçekleştirilir. Böylece 1. ve 2. kayma zonlarında kayma mukavemeti azalır. Kesme kuvveti düşüktür. Yüzey bitirme iyileşir. Titreşim oluşturma eğilimi azalır.

Yığılma kenarlı (yapışık) sürekli talaş:

Orta kesme hızı ile işlenen sünek malzemelerde meydana gelir. Takıma talaş sıvanması takımda yığılma kenarı oluşturur, bu işlem sırasında kopar (Şekil 4.14b). Takımın kısa zamanda bozulmasına neden olur.

Sürekli (akma) talaş: Yüksek kesme hızlarında işlenen sünek malzemelerde bant veya sarılmış şeklinde meydana gelir (Şekil 4.14c). Sünek malzemelerde sürekli talaş tipinin oluşması, kesme koşullarının iyi, işlene yüzey kalitesinin iyi olduğunu gösterir. Ancak sürekli olduğu için tezgâha, takıma, işçiye zarar verebilir. Bu gibi hallerde talaşın kırılması için çeşitli yöntemler kullanılır [53].

Şekil 4.14'te talaşlı işlemden 2 m/dak, 7 m/dak, 20 m/dak kesme hızlarında oluşan talaş tipleri görülmektedir [57].



Şekil 4.14. Talaş oluşma işleminin kesme hızı ile birlikte değişimi [57]

4.6. İşlenebilirliği Etkileyen Faktörler

Mikroyapının etkisi: Mikroyapıda sert parçacıkların olması, kesici takım ömrünü düşürürken, yapıdaki kristaller irileştikçe takım ömrü artmaktadır.

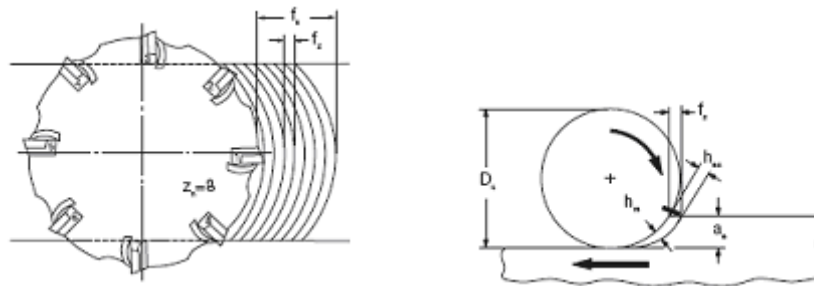
Isıl-işlem: Metal veya alaşım, tavlınırsa mikroyapı değişecektir. Metalin kayma dayanımı; tavlama, normalleştirme gibi işlemlerle oldukça değişebilir.

Alaşım elementlerinin etkisi: Alaşım elementlerinin takım ömrüne etkisi vardır. Örneğin, karbon miktarı azaldıkça işlenebilme özelliği düşer. Çünkü süneklik arttığında, sünek malzeme kesici takıma yapışır ve körlenmeyi hızlandırır. Karbon oranı arttırıldıkça malzemenin sertliği artar, artan sertlik takım aşınmasını artırır.

Malzemenin işlenebilirliğini iyileştirmede amaç; takım ömrünün arttırılması, daha iyi yüzey kalitesi elde edilmesi, talaş kaldırma işlemi için daha düşük güç sarfiyatının elde edilmesidir.

Malzemelerin mekanik özelliklerinin etkisi: Genelde malzemelerde sertlik ve kopma dayanımı arasında ilişki mevcuttur. Bir malzemenin sertliği ve kopma dayanımı arttıkça o malzemenin işlenebilme özelliği o derece azalmaktadır. Örneğin; yüksek alaşımli ve paslanmaz çeliklerin işlenebilme özelliği çok düşüktür. Bu durum malzemenin bünyesinde mevcut bulunan Ni, W ve Mn gibi alaşım elementlerinin etkisinden ileri gelmektedir [22].

4.7. Frezelemede Kullanılan Genel Formüller



Şekil 4.15. Formüllerle hesaplanan bazı değerlerin şematik gösterimi [55]

Şekil 4.15'te şematik resmi görülen frezeleme işleminde kullanılması gereken bazı formüller aşağıda verilmiştir [55, 60].

Kesme hızı
(m/dak)

$$v_c = \frac{\pi \times D_c \times n}{1000} \quad (4.5)$$

Fener mili hızı (devir sayısı)
(dev/dak)

$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times D_c} \quad (4.6)$$

Tabla ilerlemesi (ilerleme hızı)(mm/dak)

$$v_f = f_z \times n \times z_n \quad (4.7)$$

Diş başına ilerleme(mm)

$$f_z = \frac{v_f}{n \times z_n} \quad (4.8)$$

Devir başına ilerleme (mm/dev)

$$f_n = \frac{v_f}{n} \quad (4.9)$$

Talaş hacmi (cm³/dak)

$$Q = \frac{a_p \times a_e \times v_f}{1000} \quad (4.10)$$

Özgül kesme kuvveti (k_s) (N/mm²)

$$k_c = k_{c1} \times h_m^{-m_c} \quad (4.11)$$

Ortalama talaş kalınlığı (mm)
 $a_e/D_c \leq 0.1$ iken (Kenar ve alın frezeleme)

$$h_m \approx f_z \sqrt{\frac{a_e}{D_c}} \quad (4.12)$$

Ortalama talaş kalınlığı (mm)
 $a_e/D_c \geq 0.1$ iken

$$h_m = \frac{\sin \kappa_r \times 180 \times a_e \times f_z}{\pi \times D_c \times \arcsin\left(\frac{a_e}{D_c}\right)} \quad (4.13)$$

İşleme zamanı (dak)

$$T_c = \frac{l_m}{v_f} \quad (4.14)$$

Net güç (kW)

$$P_c = \frac{a_p \times a_e \times v_f \times k_c}{60 \times 10^6 \times \eta} \quad (4.15)$$

Burada;

D_c = Freze çapı (mm)	T_c = İşleme zamanı (dak)
I_m = Talaş genişliği (mm)	V_f = Tabla ilerlemesi (mm/dak)
a_p = Kesme derinliği (mm)	h_m = Ort. talaş kalınlığı (mm)
a_e = Diş başına talaş ilerlemesi (mm)	k_c = Özgül kesme kuvveti
V_c = Kesme hızı (m/dak)	η = Verim
Q = Talaş hacmi (cm^3/dak)	P_c = Kesme gücü
f_z = Diş başına ilerleme (mm/diş)	Z_n = Toplam kesici sayısı (adet)
f_n = Diş başına devir	n = Devir sayısı (dev/dak) olmaktadır.

4.8. Talaş Kaldırma Parametrelerinin İşlenebilirliğe Etkileri

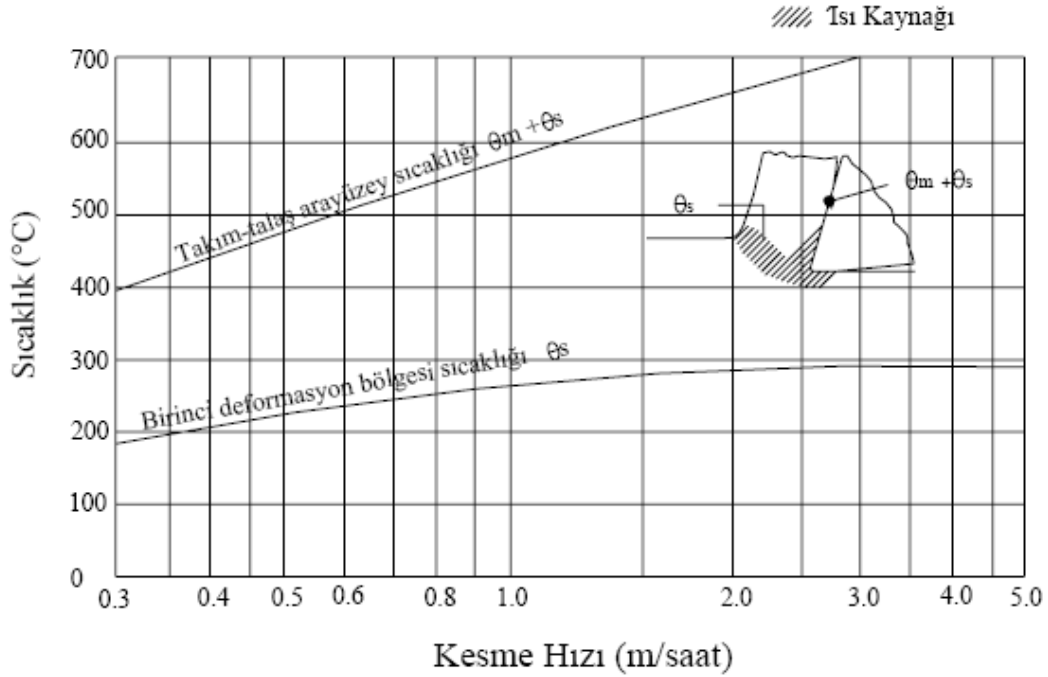
Kesme hızı:

Kesme hızı iş parçasının sertliğine ve kesici takım kalitesine bağlı olarak seçilmelidir. Sert malzemelerde düşük kesme hızı, yumuşak malzemelerde yüksek kesme hızı uygulanmalıdır [2]. Su ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada yüksek kesme hızlarında açığa çıkan yüksek sıcaklığın takım ömrü üzerinde etkisi büyüktür [61]. Rahman ve arkadaşlarının yaptığı araştırmaya göre kesme hızı arttığı zaman takım ömrü de azalmaya başlamaktadır [62]. Şekil 4.16'da görüldüğü gibi en büyük sıcaklık yükselişi kesme hızının artmasıyla gerçekleşmektedir. Bu olumsuz etkiyi telafi etmek için yüksek hızda işlemede uygun kesme takımları kullanılmalıdır [63]. Ghani ve arkadaşlarına göre kesme hızının takım ömrü üzerindeki etkisi ilerleme ve kesme derinliğiyle kıyaslandığı zaman azdır. Çünkü yüksek kesme derinliği ve ilerleme değerlerinde, düşük kesme hızı kullanıldığı halde takım ömrü kısa çıkmaktadır [64]. Sağlam'ın yaptığı deneye göre yüksek kesme hızlarında daha fazla serbest yüzey aşınması meydana gelmektedir [59].

İlerleme:

İlerleme hızı frezelemede dişin giriş çıkışı ve talaş alanından dolayı talaş kalınlığını önemli derecede etkilemektedir. İlerlemenin artışı ile yüksek kesme kuvvetleri açığa

çıkar. Çünkü malzemeyi kaldırabilmek için yüksek güç tüketimi gereklidir. Sonuç olarak kesme bölgesindeki sıcaklık yükselir. Buda takım aşınması açısından istenmeyen bir durumdur [17, 64].



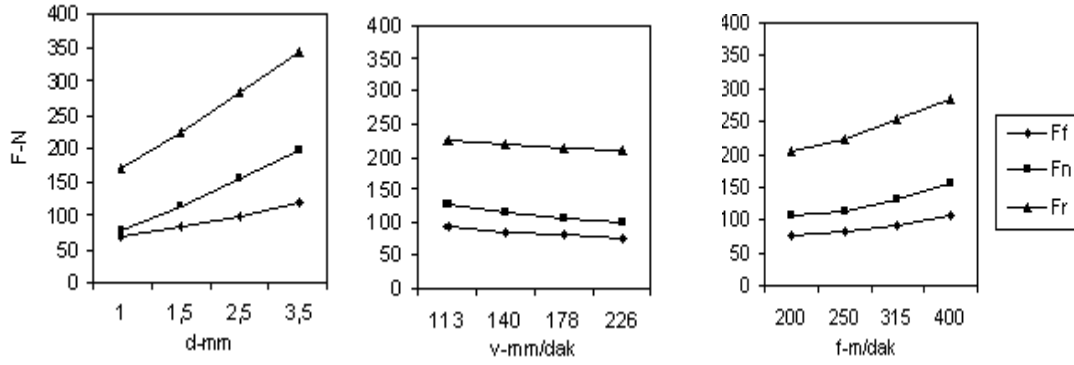
Şekil 4.16. Talaş kaldırmada kesme hızının oluşan sıcaklık üzerine etkisi [63]

Kesme derinliği:

Toh'un yaptığı çalışmalara göre, yüksek kesme derinlikleri kullanıldığı zaman oluşan mekanik yüklemeler sonucunda takım aşınmasını daha da arttırmaktadır. Çünkü kesme derinliğinden dolayı kesme bölgesindeki sıcaklık artacaktır. Özellikle frezelemede aralıklı kesmelerde nedeniyle ısıl şoktan dolayı takım aşınması hızla artacaktır. Ayrıca yüksek mekanik yüklemeler titreşim meydana getirecek, titreşimden dolayı da takım iş parçasıyla vuruntulu olarak çalışacak, bundan dolayı aşınma artacaktır. Vuruntular nedeniyle iş parçası yüzey kalitesi de olumsuz etkilenecek, ölçülerde sapmalar meydana gelecektir [65].

Kesme kuvvetleri üzerinde talaş derinliği daha etkilidir. Şekil 4.17'deki grafikler incelendiğinde, kesme kuvvetlerinin ortalama değerlerinin daha çok talaş derinliği ve ilerleme hızına bağlı olarak değiştiği (talaş kesiti talaş derinliği ve ilerlemenin bir

fonksiyonudur) ve kesme hızının kuvvet elemanları üzerinde önemli bir etkisi olmadığı çizilen grafiklerde görülmektedir. Normal kuvvet (F_n) takım aşınmasına ve ilerlemeye karşı daha yüksek duyarlılık göstermektedir [59].



a) $v=140$ m/dak; $f=250$ mm/dak

b) $dc=1.5$ mm; $f=250$ mm/dak

c) $dc=1.5$ mm; $v=140$ m/dak

Şekil 4.17. Kesme parametreleri ile kesme kuvvetlerinin değişimi [59]

Kesme derinliği düşük değerlerde tutulduğu zaman yapılan çalışmalarda, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerleri düşük sonuçlar vermiştir. Yüksek kesme derinlikleri takım ömrünü kısaltmaktadır. Frezelemede bitiş işlemlerinin bir çoğunda kuvvetleri, sapmaları ve bunlardan dolayı meydana gelen biçim hatalarını azaltmak için kesme derinliği çok küçük olmaktadır [17, 64].

Kesme koşulu:

Takım talaş ara yüzeyinde oluşan ısının uzaklaştırılması açısından kesme koşullarının işlenebilirliğe etkisi önemlidir. Değişik çalışmalarda takım ömrünü arttıracak ve yüzey pürüzlülüğünü azaltacak deneyler, en iyi kesme koşulunu bulmak ve işlenebilirliği artırmak için gerçekleştirilmektedir [62]. Yapılan çalışmalarda çevreye ve insan sağlığına zararlı etkileri olan ayrıca imalatı bitmiş parçanın yüzey temizliği açısından kullanımda olan, soğutma sıvılarına alternatif soğutma teknikleri üzerinde de çalışılmaktadır. Bu soğutma tekniklerine örnek olarak basınçlı soğuk nitrojen gazı, soğutulmuş hava ve basınçlı soğuk nitrojen gaz-yağ dumanı verilebilir [17].

Kesme yöntemi:

Toh yaptığı deneyde iş parçasının yan yüzeylerinin frezelenmesinde, zıt yönlü frezeleme yöntemi ile aynı yönlü frezeleme yönteminin kullanımı karşılaştırıldığı zaman, zıt yönlü frezeleme yönteminin işlemede kullanılmasının yüzey kalitesi açısından daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Çünkü zıt yönlü frezeleme yönteminde iş parçası üzerine gelen F_y kuvvet bileşeni F_x kuvvet bileşeninden % 23 daha düşüktür [65].

BÖLÜM 5. KESİCİ TAKIMLAR VE TAKIM AŞINMASI

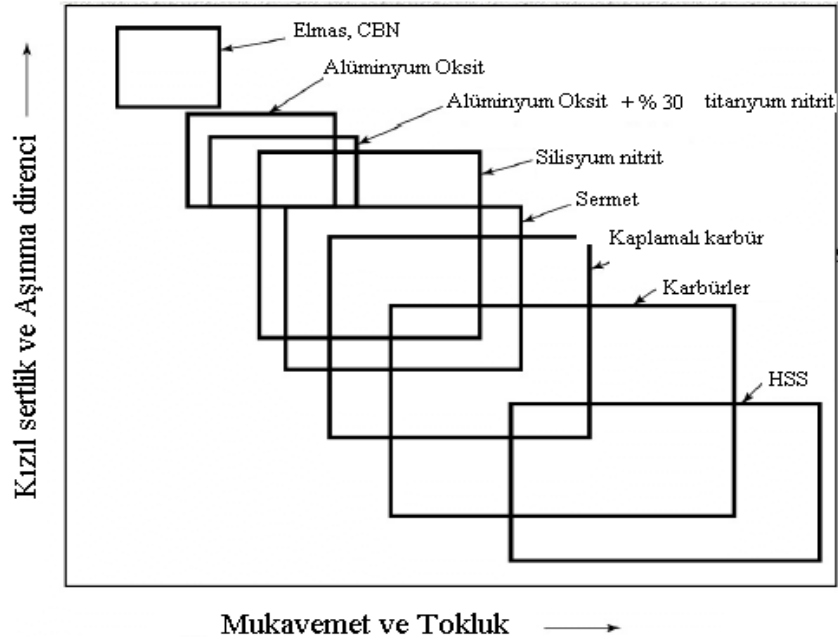
Kesici takımlar, iş parçalarının şekillendirilmesinde kullanılan yüksek kaliteli, yüksek boyut hassasiyetli ve çoğu ileri teknoloji ürünü olan malzemelerden üretilirler. İşlenecek parçanın özellikleri, kullanılacak kesici takım malzemelerine sınırlandırmalar getirdiği gibi, takımın kullanım şartları da takım malzemesi seçimini büyük oranda etkiler [66].

5.1. Kesici Takımlarda Aranılan Özellikler

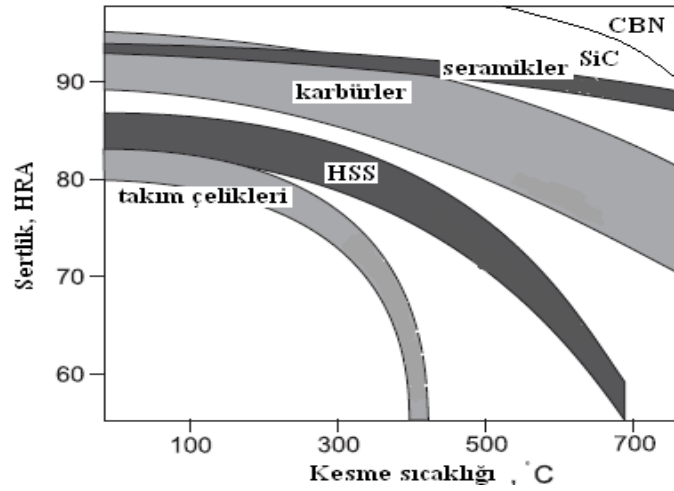
Kesici takım malzemelerinden istenen ortak özellikler [53]:

1. Yüksek sertlik,
2. Aşınma direnci,
3. Yüksek sıcak sertlik,
4. Yüksek tokluk,
5. Deformasyon direnci,
6. Kimyasal kararlılık,
7. Yüksek elastiklik modülü,
8. İyi takım ömrü,
9. İyi yüzey kalitesi,
10. Uygun ısı özellikleri,
11. Ucuz olmasıdır.

Takım malzemelerinin Şekil 5.1'de özellik karşılaştırmaları, Şekil 5.2'de yüksek sıcak sertlikleri, Tablo 5.1'deki mekanik özellikler karşılaştırıldığında bu özelliklere sahip bir kesici olmadığı görülür. Çünkü bu özellikler birbirleriyle ters düşebilmektedir. Teknolojinin gelişmesi, kesici takımların da geliştirilmesine olanak sağlamıştır [2].



Şekil 5.1. Takım malzemelerinin çeşitli grupları için özellik aralıkları [67]



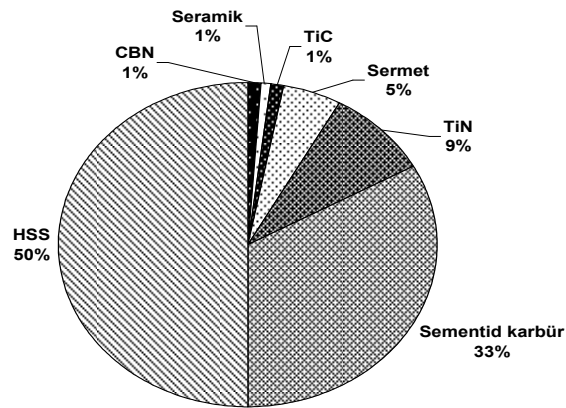
Şekil 5.2. Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak çeşitli takım malzemelerinin sertliği [57, 67]

Kesici takım malzemeleri; iç yapıları, ömürleri, imalat şekilleri, mekanik ve fiziksel özelliklerine göre aşağıdaki gibi sıralanabilirler [2]:

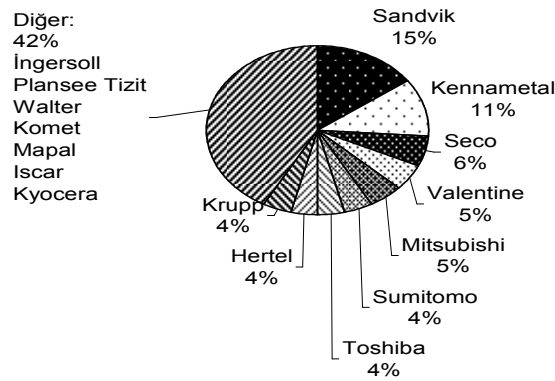
- Takım çelikleri,
- Yüksek hız çelikleri,
- Seramikler,
- Elmaslar,

- e. Kübik bor nitrürleri (CBN),
- f. Sert maden uçlu kesiciler,
- g. Kaplamalı sementit karbür kesici takımlar,
- h. Silikon nitrit esaslı seramik uçlu takımlar (Sialon),
- i. Whisker Takviyeli Alüminyum Oksit Seramik Uçlu Takımlar ($Al_2O_3+SiC_w$)

Kesici takım malzemelerinin (%) kullanım oranı Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Şekil 5.4'te de dünyadaki kesici takım üreticileri ve ürettikleri (%) görülmektedir [68].



Şekil 5.3. Kesici takım malzemeleri (%) [68]



Şekil 5.4. Kesici takım reticileri (%) [68]

5.2. Takım elikleri

Talaş kaldırma işlemlerinde kullanılan en eski tip çeliklerdir. Yaklaşık % 0.9-1.3 karbon içeren Demir alaŐımından oluşmakta ve elik yapmayı kolaylaŐtırmak için

Manganez, Silis, Sülfür ve Fosfor gibi diğer alaşım elementleri katılmaktadır. Karbonlu takım çeliği 835°C ile 850°C arasında kızıl sıcaklıkta sertleştirilmekte ve bunu oda sıcaklığına kadar çok hızlı suda soğutma takip etmektedir. Bu ani soğuma neticesinde sertleştirme esnasında malzemenin iç ve dış kısımlarında çatlama eğilimi meydana gelebilmektedir. En önemli avantajı kolay işlenmesi ve ucuz olmasıdır. Diğer alaşımlı çeliklere göre aşınmaya karşı dayanımları daha düşüktür [2]. Tablo 5.1’de takım malzemelerinin mekanik özellikleri görülmektedir.

Alaşımlı takım çeliklerinde; karbonlu takım çeliklerinin kesme özelliklerini iyileştirmek amacıyla az miktarda Tungsten, Krom, Vanadyum, Kobalt, Nikel, Molibden ve Manganez alaşım elementleri ilave edilerek mukavemet artırılabilir ve yüksek sıcaklıklarda sertliğini muhafaza edebilir [1].

Tablo 5.1. Takım malzemelerinin mekanik özellikleri [66]

Özellik	Yüksek Hız Çeliği	Döküm Alaşımı	WC	TiC	Al ve Si Esaslı Seramik	CBN	Elmas
Sertlik (Gpa)	8.5	8.0	14-24	18-32	20-30	40-50	70-80
Basma mukavemeti (MPa)	4100-4500	1500-2300	4100-5850	3100-3850	2750-4500	6900	6900
Darbe mukavemeti (J)	1.35-8	0.34-1.25	0.34-1.35	0.79-1.24	<0.1	-	-
Elastisite Modülü (Gpa)	200	200	520-600	310-450	310-410	850	820-1050
Yoğunluk (g/cm ³)	8.6	8-8.7	10-15	5.5-5.8	4-4.5	3.48	3.5
Ergime/Bozunma Sic. (°C)	1300	-	1400	1400	2000	1300	700
Isıl iletkenlik (W/m°C)	-	-	42-125	17	17-29	13	70
Isıl Genleşme Katsayısı (x10 ⁻⁶ /°C)	12	-	4-6.5	7.5-9	3.2-8.5	4.8	1.2

5.3. Yüksek Hız Çelikleri (Hava Çeliği) HSS

20. yüzyılın başından beri bilinen ve sürekli geliştirilen kesici takım grubudur. Diğer takım malzemelerine göre düşük maliyeti ve işlenebilme özelliği nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır [66]. Yüksek hız çelikleri, yerini birçok uygulamada toz metalürjisi tekniği ile üretilen, daha yüksek hızlarda kesme işlemi yapabilen ve aşınma dirençleri daha yüksek olan sert metallere bırakmıştır. Fakat yüksek hız

çelikleri tokluk değerlerinin yüksek olması sebebiyle bazı talaşlı imalat yöntemlerinde önemini yitirmemiştir. Yüksek hız çelikleri, genelde helisel matkap, azdırma çakıları, kılavuzlar, parmak freze gibi kesici takım malzemelerinde kullanılırlar [2, 54].

Hız çelikleri, yüksek alaşımlı çeliklerdir. 600°C sıcaklığa kadar sertliklerini muhafaza ederler. Yüksek kesme hızlarında (30/50 m/dak) talaşlı imalatta kullanılan kesici takımlardır.

Yüksek hız takım çelikleri T ve M olmak üzere iki gruptan oluşmaktadır. Bunlar ilk alaşım olan Tungsten ve Molibden yüzdesine göre belirlenir. T serisi %12-20 tungsten ve diğer alaşım elementi olarak Vanadyum ve Kromla birlikte kobalttan oluşurken M serisi yaklaşık %3.5-10 Molibden ile diğer alaşım elementleri olarak Kobalt, Krom ve Vanadyum içerir [1, 2].

Genel özellikleri [1, 2]:

1. Hepsi yüksek alaşım içeriğine sahiptirler.
2. Genellikle 64 Rc sertliğine müsaade etmesi için yeterli oranda C içermektedir.
3. Merkezden yüzeye üniform sertliğe sahiptir.
4. Hepsi yüksek sıcaklıklarda sertleştirilebilir
5. M serisi, T serisinden daha yüksek abrasyon aşınma direncine sahiptir. Ancak daha ucuzdur ve ısıtılarda daha az bozulma göstermektedir.

5.4. Seramik Esaslı Takımlar

Seramik malzemeler yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklı olan inorganik, metal olmayan malzemelerdir. Seramik kesicilerin dar olan kullanım alanları katkılı seramiklerin, seramik matrisli kompozitlerin ortaya çıkarılmasıyla artmaya başlamıştır [2].

Seramik malzemeler, tokluk dezavantajlarına karşılık yüksek sıcaklıklardaki mekanik ve kimyasal kararlılıkları ile kullanım alanı bulmaktadırlar [54].

Seramiklerin özelliklerinde çeliklere göre bazı temel farklılıklar mevcuttur:

- a. Yoğunlukları çeliğin üçte biridir.
- b. Çok yüksek basma mukavemetine sahiptirler.
- c. Çeliklerde söz konusu olan plastik uzama seramiklerde söz konusu değildir.
- d. Çok daha kırılğıandırılar.
- e. Saf seramiğin elastikiyet modülü çeliğin yaklaşık iki katıdır.
- f. Çeliğin ısı iletim katsayısının yüksek olmasına karşın seramikler çok düşük ısı iletim katsayısına sahiptirler [2].

Bu amaçla kullanılan seramik malzemeler alumina, sialon, kübik bor nitrürdür [66].

5.4.1. Alüminyum oksit esaslı seramikler (Al_2O_3)

Seramik takımlar, tane boyutu ortalaması birkaç mikron mertebesinde polikristalin, yoğun ve korundum kristal yapılı alumina (Al_2O_3) esaslı malzemelerdir. Seramik takım insertleri sıcak veya soğuk presleme ile üretilir. Soğuk preslemede seramik istenilen şekilde şekillendirilir ve $1600-1700^{\circ}C$ 'de sinterlenir. Sıcak preslemede, presleme ve sinterleme birlikte yapılır. Bazı tür seramiklere, sinterlemeye yardımcı olmak ve tane büyümesini geciktirmek için, az miktarda Titanyum oksit ve Magnezyum oksit ilave edilir. Şekillendirildikten sonra takım, elmaslı disklerle perdahlanır.

Aluminaya %10 ZrO_2 ilavesi ile kırılma tokluğunu önemli ölçüde (~%25) iyileştirmekte, dökme demir ve nikel esaslı alaşımların işleme kapasitesini artırmaktadır. Titanyum karbür (TiC) ilavesi Al_2O_3 'un ısı iletkenliğini, dolayısıyla ısı sok direncini artırmakta fakat ancak sıcak presleme ile üretilebildiği için şekil sınırlandırmasını da beraberinde getirmektedir.

Al_2O_3 takımların SiC wiskerlerle takviye edilmesi kırılma tokluğu, mukavemet ve ısıl şok direncini artırmaktadır. Yaklaşık 1 mm çapında ve 20 mm boyutunda olan bu wiskerler, yapının sertliğini ve aşınma direncini yükseltirler. Sıcak presleme ile üretilen bu kesici takımlar, üstün özellikleri nedeniyle sertleştirilmiş çelik, Nikel esaslı alaşımlar ve dökme demirin aralıklı talaş kaldırma işlemlerinde kullanılabilir [54, 66].

5.4.2. Sialon

Sialon (Si-Al-O-N) bir silisyum-alüminyum oksit - nitrür tipi seramik malzeme olup, sinterlenebilen Silisyum nitrürün (Si_3N_4) bir türevidir. Silisyum nitrürün kırılma tokluğu Alüminanın yaklaşık iki katıdır ve daha yüksek bağ mukavemetine sahiptir. Termal genleşme katsayısı düşük olması nedeni ile iyi termal şok direnci verir. Alüminanın kırıldığı, hızlı ve aralıklı talaş kaldırma işlemlerinde kullanılabilir. Yüksek yoğunluklarda sıcak presleme ile üretilir ve takımın şekillendirme maliyeti yüksektir.

Sialon silisyum nitrür, Alüminyum nitrür ve Alüminyum oksite, Yttriyum oksit (Y_2O_3) katkısıyla 1800°C'de sinterlenmesi ile elde edilir. Yttriyum oksit sinterlemede silikat oluşturarak sıvı faz sinterlemesine ve böylece porozite oranını düşürerek yaklaşık tam yoğunlukta (%98) malzeme elde edilmesini sağlar. Sialonun kırılma tokluğu ve enine kopma mukavemeti Alüminadan daha yüksek, fakat Al_2O_3 /SiC wisker seramiklerden daha düşüktür. Sialon kesici takımlar özellikle dökme demir ve Nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde kullanılır [54, 66].

5.4.3. Kübik bor nitrürler (CBN)

Yüksek sıcaklık ve aşırı yüksek basınç altında sinterlenerek, hekzagonal-kübik kafes dönüşümü ile elde edilen bu malzemeler, elmasın sonra en yüksek sertlik değerine sahiptir (Tablo 5.1.). 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 (PCBN) Kübik bor nitrür endüstriyel alanda son yıllarda 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 kullanılmadığı yüksek hızlarda sert dökme demir ve sertleştirilmiş çeliğin kesimi için kullanılmaktadır. Ayrıca, süper alaşımlar (Nikel ve Kobalt esaslı), Kübik bor nitrür kompozit kesici takımlarla, sementit karbürlerden çok daha yüksek hızlarda işlenebilmektedir [2, 54].

5.5. Sermetler (Seramik-Metaller)

Sermetler, metalik bir fazla bağlanmış seramikler olup esasen semente karbürler sermetlerin bir alt sınıfıdır. Çelik kesimi için, Nikel ve Molibdenle bağlanmış TiC tercih edilmektedir.

Tipik bileşimi %8-25 Ni, %15-8 Mo₂C ve %60-80 TiC şeklindedir. Ayrıca küçük miktarlarda WC, Co, TiN içerebilir. Sermetlerin mikroyapısı geleneksel semente karbürlerden farklıdır. Çünkü sinterleme sıcaklığında karbürün, bağlayıcı Nikel içindeki çözünürlüğü kobaltinkinden daha fazladır. Bu nedenle sermetler, semente karbürlerden daha gevrek karakterdedir. Bu malzemeler yüksek krater ve oksidasyon direnci, düşük sürtünme katsayısı ve termal iletkenlik ile nispeten düşük yoğunluğa sahiptir.

Kesici takım olarak sermetler %20'den daha az bağlayıcı içermektedirler. Bu malzemeler çelik ve dökme demirler için özellikle orta ve hafif yükler altında yüksek hızda yüzey operasyonlarında kullanılmaktadır. Buna karşın, kaba ve darbeli işlemlerde, boşluklu ve porozlu yüzeylerde, sert dökümlerde, grafit ve sıcak iş takım çeliklerinde, demir dışı malzemelerde (Al, Cu vb.) ve yüksek oranda Nikel içeren malzemelerde (malzemelerdeki nikel ile sermetteki Nikel birleşme eğilimi göstermektedir) kullanılması halinde iyi sonuçlar vermemektedir [2, 54].

5.6. Elmas

Elmas, karbonun tetrahedral formudur ve en sert ve en yüksek çizme dirençli malzeme olarak bilinir. Mohs ölçeğinde sertlik numarası 10'dur. 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 gevrek ve belirli kristalografik düzlemler boyunca kolayca ayrılır. Elmas 650⁰C'de hızla okside olmaya başlar ve atmosferik basınçta 1500⁰C'nin üzerindeki (alt değer 248⁰C) sıcaklıklarda tekrar grafitte dönüşür.

Elmas kesici takımlar, yüksek sıcaklıklarda elmas grafit formuna dönüşür ve demir içine difüze olabilir. Bu yüzden çeliklerin işlenmesinde uygun değildir [1, 2].

Bununla birlikte, elmas takımlar yüksek silisyumlu dökme alüminyum alaşımları, bakır ve alaşımları, sinterlenmiş semente tungsten karbürler, silika cam ile doyurulmuş kauçuk, camfiber/plastik ve karbon/plastik kompozitler ve yüksek Alüminalı seramiklerin işlenmesinde kullanılmaktadır [54].

Doğal elmasın tahmin edilemeyen erken hasara uğramasına karşılık, üretilmiş tek kristaller daha güvenilir performansı 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. Elmas, abrasif iş parçalarının işlenmesinde diğer takım malzemelere oranla yüksek performans göstermektedir [1].

5.7. Sert Maden Uçlar (Sinterlenmiş Karbürler)

Toz metalürjisi teknikleri ile üretilmektedir. Proses esasen Tungsten, Titanyum veya Tantalum karbür tozlarının hazırlanmasını kapsar. Bu tozlardan biri veya birkaçı bağlayıcı ile karıştırılır. Bağlayıcı metal olarak genellikle Kobalt, nadiren de Nikel ve Demir kullanılmaktadır. Bu karışım istenilen şekilde kompakt kitle halinde soğuk preslenir ve akabinde sinterlenir (1370-1480⁰C) veya sıcak presleme ile şekillendirilir.

Kobalt miktarının artmasıyla tokluğun artmasına karşılık sertlik, basma mukavemeti, elastik modül ve abrasif direnç azalır. Bu tür kesici takımlarda abrasif eleman olarak Tungsten karbür (WC) ile beraber Titanyum karbür (TiC), Tantalyum karbür (TaC) ve Niyobyum karbür (NbC) de mikroyapıda yer alabilir. Bu tür ilave karbürlerin, difüzyona direnç gösteren bir ara tabaka meydana getirmelerinden dolayı kesici takımlarda karşılaşılan önemli hasar türlerinden biri olan kraterleşme engellenmektedir [54].

Sinterlenmiş karbürlerin iki çeşidi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar:

Tungsten karbür + Kobalt alaşımlı düz karbür uçlar (WC+Co),
Tungsten karbür + Kobalt + Titanyum karbür + Tantalyum karbürü uçlardır.
(WC+Co+TiC+TaC)

Sinterlenmiş karbürlerin çok iyi takım performansı, çok yüksek kızıl sertlikle birlikte yüksek sertlik ve yüksek basma mukavemetinden ileri gelir.

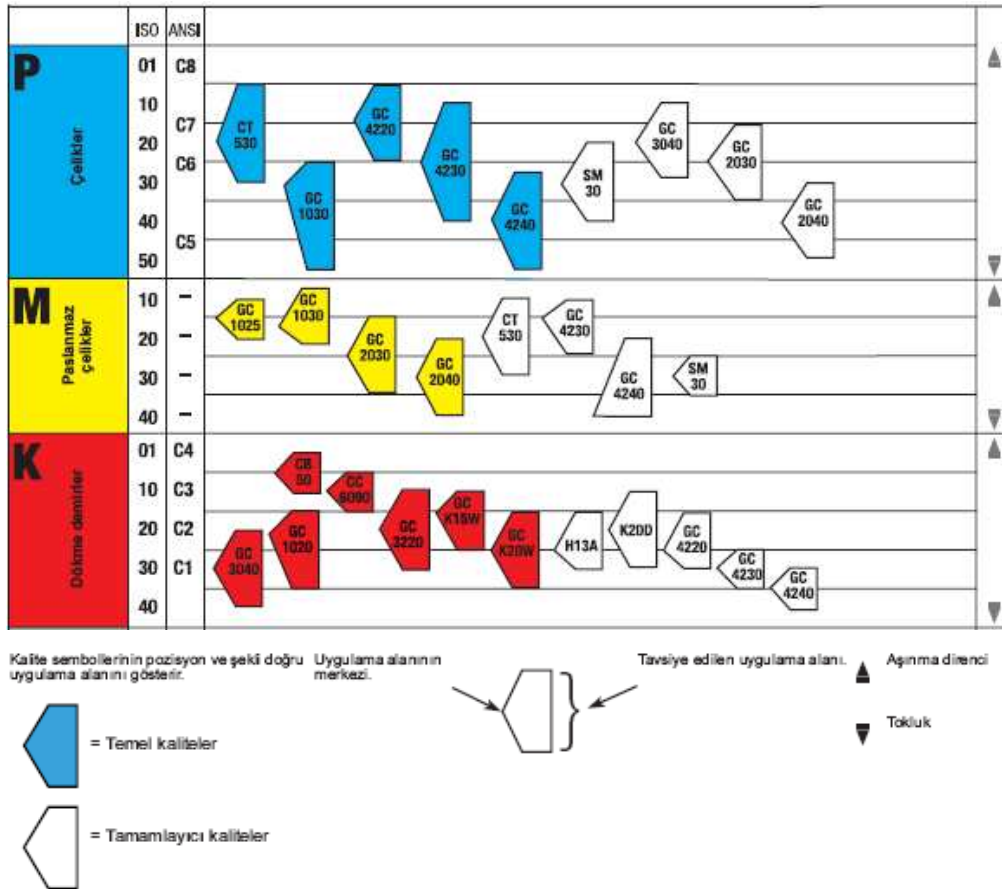
5.7.1. Sinterlenmiş karbürlerin sınıflandırılması

Kaplamalı ve kaplamasız sinterlenmiş karbürler birçok talaşlı imalat işleminde, çok geniş uygulama alanları ve iş parçası malzemeleri için kullanılan takım malzemeleridir. Birçok farklı kalite üretilmiştir. Bu kalitelerin işlem, koşul ve malzemeler ile ilişkilendirilmesi için sınıflandırmaya gereksinim vardır. Uygulama alanları grafik olarak sivri ucun en uygun kaliteyi gösterdiği dikdörtgen kutular ile temsil edilir [48, 55].

01'den 40 veya 50'ye doğru değişen sayılar ince işlemlerden kaba işlemlere değişen işlem koşullarını temsil ederler. 01 grubu ince tornalama, ince delik işleme, yüksek kesme hızları, düşük ilerleme ve küçük talaş derinliği değerlerinde kullanılır. 25 grubu orta kaba ile orta ince işlemlerde genel amaçlı olarak, 50 grubu ise düşük kesme hızı büyük talaş derinliklerinde, kaba işlemler için kullanılır. Aşınma direnci yukarıya, tokluk aşağıya doğru artar. Sandvik Coromant Malzeme Sınıflama Sistemine göre uygulama alanları ve kaliteler Şekil 5.5'te görülmektedir [48, 55].

ISO sınıflandırma sistemine göre malzemeler üç gruba ayrılır. Bunlar, P, M, K harfleri ve bu harflerin sonuna gelen rakamlardır.

1. P serisi (mavi) : Yüksek alaşımlı, Tungsten karbürü takım olup; çelik, çelik döküm, paslanmaz çelik ve dövme demir gibi uzun talaş çıkaran malzemelerin işlenmesinde kullanılır.
2. M serisi (sarı) : Alaşımlı Tungsten karbürü takım olup Titanyum oranı P serisinden azdır. Östentetik paslanmaz çelikler, ısıl dirençli malzemeler, Mangan çeliği, alaşımlı dökme demir gibi işlenmesi zor malzemelerde kullanılır.
3. K serisi (kırmızı): Düz Tungsten karbür kobalt alaşımlı takım olup, dökme demir, sertleştirilmiş çelik gibi kısa talaş oluşturan malzemelerde ve bronz, plastik gibi demir olmayan metaller veya metal olmayan malzemelerin işlenmesinde kullanılır [2, 48].



Şekil 5.5. Kesici takım uygulama alanları ve kaliteleri [55]

5.8. Kaplamalı Sinterlenmiş Karbürler

Takım malzemelerindeki en önemli gelişme sayılan kaplamalı sinterlenmiş karbürler ilk defa 1960'lı yıllarda ortaya çıkmıştır. Kaplamalı kesici ucun kaplamasız bir kesici ucu yerini almasıyla kesme hızları ve takım ömrü önemli ölçüde arttırılmış, takım kısmen aşındığı halde kaplamanın etkisi devam ettiğinden özellikle çeliklerle ilgili işlemlerde krater aşınmasının önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Yüksek sıcaklıklarda, yüksek kesme hızı ve ilerlemelerde çalışmak mümkün olmuştur. Bugün tornalama işlemlerinin % 75'i, frezeleme işlemlerinin % 40'tan fazlası kaplamalı karbür takımlar ile yapılmaktadır [2, 55].

Kesme sırasında, talaşın kesme yüzeyinde sıkışması, şekil değiştirme ve ayırma işi nedeniyle iç sürtünmeler, talaşın takım yüzeyinden akması ile talaşın takım yüzeyine teması sonucu dış sürtünmeler meydana gelir. Tüm bu sürtünmeler, kesici takımın ısınmasına neden olmaktadır. Kesme kuvvetlerinin meydana getirdiği sürtünme ile kesici takımda oluşan ısı, takım sertliğini etkiler. Takım sertliğinin azalması kesici takımlarda bazı aşınma mekanizmalarını doğurur. Takım ve iş-parçası arasındaki sürtünmelerin azaltılması, oluşan kesme ısısını ve aşınmayı azaltacaktır. Sürtünmelerin azaltılması için, kesici takımın yüzey pürüzlülüğünün iyileştirilmesi ve adhezif, abrazif, difüzyon, oksidasyon ve yorulma aşınma mekanizmalarına karşı koruyucu sert seramik esaslı elementlerle kaplanması önerilmiştir [69]. Diğer bir araştırmada, çelik tornalamada kesici takıma etkiyen kesme kuvvetleri, sert seramik kaplanmış ve kaplanmamış takımlarda ölçülmüştür. Kaplanan kesici takımlarda sürtünmenin azaltılmasıyla kesme kuvvetleri daha az ölçülmüştür. Bunun ise, takım tezgahı işleme verimini arttırdığı ileri sürülmektedir [70].

Belli başlı kaplama malzemeleri Titanyum karbür (TiC), Titanyum nitrür (TiN), Titanyum karbonitrür (TiCN), Alüminyum oksit (Al_2O_3)'tir [2].

Tablo 5.2'de belli başlı CVD kaplamalar, Tablo 5.3'te belli başlı PVD kaplamalar, Tablo 5.4'te yeni PVD çok katmanlı kaplama malzemelerinin karakteristik özellikleri, Tablo 5.5'te kaplama malzemelerinin karşılaştırılması görülmektedir.

Tablo 5.2. Belli başlı CVD sert kaplama malzemelerinin karakteristik özellikleri [55]

	TiC	TiN	TiCN	Al ₂ O ₃	Elmas
Mikrosertlik (kg/mm ²) 20 °C [HV]	3000-3500	2200-2400	-	2300	8000-10000
Kaplama sıcaklığı [°C]	900-1000	900-1000	-	-	800-1000
Sürtünme katsayısı (en düşük değer=1)	1	1	2	2	-
Isı direnci (en iyi değer=1)	2	1	2	1	-
Tokluk (en iyi değer=1)	1	1	1	2	-
Kaplama yapışması (en iyi değer=1)	1	1	1	2	-
Renk	gri	altın sarı	mavi-gri	siyah	-

























Tablo 5.3. Belli başlı PVD sert kaplama malzemelerinin karakteristik özellikleri [71, 72]

	TiN	TiCN	TiAlN	CrN	WC/C	DLC
Mikrosertlik (kg/mm ²) 20 °C [HV] 800 °C [HV]	2200-2400 -	3000 1100	2700-3300 1400	1750-2000 -	1000	6000-10000
Kaplama sıcaklığı [°C]	500	500	350	500	250	20
Tokluk (en iyi değer=1)	2	1	2	3	-	-
Isı iletkenliği [W/mK]	0,07	0,10	0,05	-	-	-
Kaplama kalınlığı [µm]	1-4	1-4	1-4	1-10	1-5	0,2-2
Sürtünme katsayısı (çeliğe karşı)	0,4-0,65	0,25-0,45	0,3-0,7	0,5	0,2	0,1
Max. çalışma sıcaklığı [°C]	600	450	800	700	300	300
Önerilen iş parçası malz. ve kesme türü	Üniversal sürekli kesme	Çelik Süreksiz kesme	Dök. demir sürekli kesme	Bakır alaşımları		
Avantajları	En ucuz	Darbe direnci iyi, frezeleme işlemleri için uygun	Zor kesme şartlarında başarılı	Şekil verme kalıplarında yüksek perf., sert krom kapl. alternatif		
Renk	altın sarı	mavi-gri	gri kahve	gümüş-gri	siyah-gri	gri

Tablo 5.4. Bazı yeni PVD çok katmanlı kaplama malzemelerinin karakteristik özellikleri [72, 73]

Kaplama yapısı	Çok katmanlı	Tek katmanlı	Çok katmanlı (nano ölçekte)	Çok katmanlı
Kaplama çeşidi	TiAlN	TiAlN	TiAlN-TiAlN/Al ₂ O ₃	TiN- TiAlN
Mikrosertlik (kg/mm ²) 20 °C [HV]	3000	3500	3500	2800-3600
Kaplama kalınlığı [µm]	1-5	1-3	3-4	1-5
Katman sayısı	15	1	~400	Çok sayıda
Kaplama sıcaklığı [°C]	-	-	450	470
Sürtünme katsayısı (çeliğe karşı)	0,4	0,4	-	0,25
Isıl iletkenlik [W/mK]			-	0,05
Max. çalışma sıcaklığı [°C]	800	800	-	-
Renk	Menekşe-gri	Menekşe-gri	Antrasit-gri	Menekşe

Tablo 5.5. Kaplama malzemelerinin karşılaştırılması [48]

	Vickers sertliği ort. (Hv)	Isıl ve kimyasal reaksiyona karşı kalkan etkisi	Yapışma kabiliyeti	Sürtünme katsayısı	Serbest yüzey aşınma direnci	Krater aşınma direnci	Tokluk
TiC	3000						
Al ₂ O ₃	2300						
TiN	2200						
TiCN	3000						

TiN (Titanyum nitrür) kaplama:

Dünyada aşınmaya karşı yapılan kaplamaların başında TiN (Titanyum nitrür) gelmektedir. Yüksek sertlik (2200-3000 Hv) ve ısıl iletkenliği (30 W/mK) düşük olması nedeniyle talaşın takıma ısı transferini engeller. Krater aşınmasını minimuma indirirler.%2 Ti içerir. Takıma yapışma kabiliyeti ve tokluğu yüksektir. Altın sarısı renginde olduğundan aşınma görülebilir. TiN kaplamaların kalınlığı 5 µm üstüne

çıktığı zaman gerilimler artmaktadır. Bu nedenle kalınlıkları 5-7 µm kalınlığa kadar yapılabilmektedir. En ucuz kaplamadır. Ünlversal sürekli kesme türünde kullanımı yaygındır (Tablo 5.2) (Tablo 5.3) [74, 75].

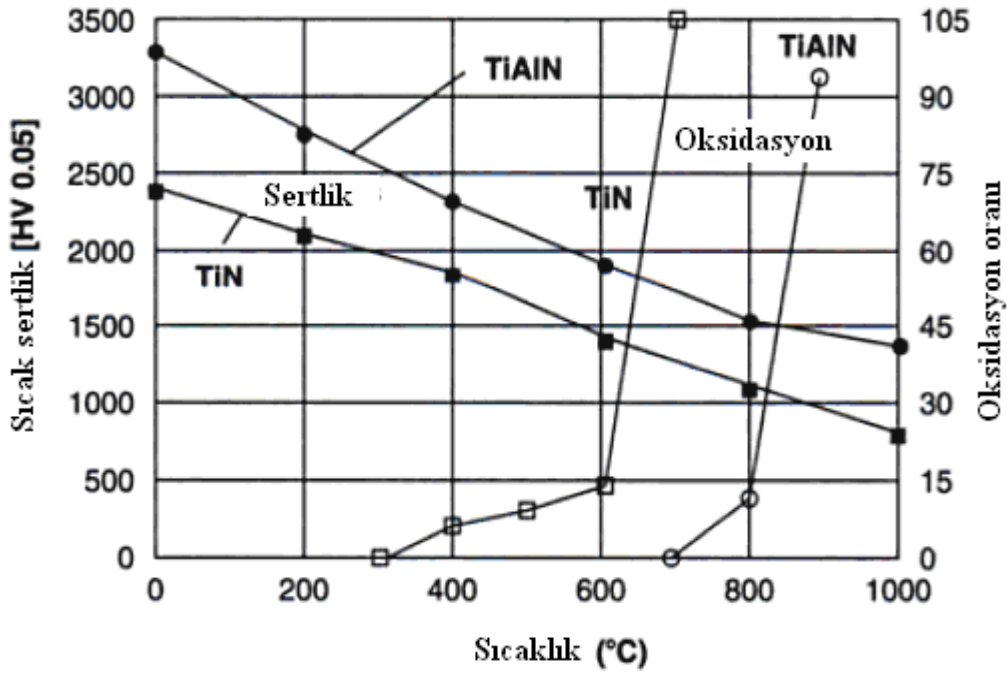
TiCN (Titanyum karbonitrür) kaplama:

Karbon eklendiğinden sertlik (3000-3500 HV) oldukça yüksektir. Bu nedenle ultra seramik filmlerde başarı ile kullanılırlar. Yüksek hızlarda çalışılan frezelerde TiCN kaplama, TiN'e göre daha yüksek performans gösterir. Takım ömrü artar, pürüzlülük azalır. Çeliğe karşı sürtünme katsayısı (0.1) düşüktür, kaplama yapışma kuvveti daha iyidir. Ancak ısıl iletkenliği (43 W/mK) yüksektir (Tablo 5.3) [75].

TiAlN (Titanyum Alüminyum nitrür) kaplama:

Bu kaplama ile kesici takımlarda yüksek kesme hızlarında TiN'e oranla daha iyi verim elde edilmektedir. Katmana Al ilavesiyle sertliğin daha da artmasının (3000-3500 HV) yanı sıra oksitlenmeye karşı mukavemeti de arttırır. Al oranı yükseldikçe kaplamanın sertliğı artmakla birlikte yüzey pürüzlülüğü de artmaktadır. Sürekli kesme işlemlerinde kaplama yüzeyinde oluşan Al₂O₃ tabakası nedeniyle düşük ısı iletkenliğı özelliğini almakta ve kesici takımın daha az ısınmasına neden olmaktadır. Bu nedenle kesici takım üzerine transfer olan ısı miktarı azalmaktadır. Bu da kesici takımın daha yüksek kesme hızlarında çalıştırılmasını sağlayacaktır. TiN kaplama alüminyum işleyen takımlarda çözülme nedeniyle performans vermemektedir. TiAlN ve CrN kaplama alüminyum işleyen takımlarda iyi bir performans sağlamaktadır. TiAlN tabakaları belli bir maksimum iyon içeriğine kadar aşınmayı koruyucu tabaka olarak kullanılabilir (Tablo 5.3) [2, 74, 75].

Şekil 5.6'da TiN ve TiAlN kaplamaların sıcak sertlik ve oksidasyon oranlarının karşılaştırılması görülmektedir [71].



Şekil 5.6. TiN ve TiAlN kaplamaların sıcak sertlik ve oksidasyon oranlarının karşılaştırılması [71]

TiC (Titanyum karbür) kaplama:

Yüksek aşınma direnci sağlar. Kimyasal reaksiyona girmez. Takım ile talaş arasında ısıl kalkan oluşturur. Çok sert malzemelerdir. Takıma yapışma kabiliyeti yüksektir. Yüksek tokluğa sahiptir. Sürtünme katsayısı düşüktür (Tablo 5.5.) [59].

CrN (Krom nitrür) kaplama:

İç gerilmelerin düşük olması nedeniyle 10 µm kalınlığa kadar kaplama kalınlığı çıkabilir. Yüzey pürüzlülüğü ve kimyasal stabilitesi TiN'den daha yüksektir. Bunun yanında aşınmaya karşı yüksek mukavemet gösterdiklerinden ve kalın kaplanabildiklerinden TiN'e göre daha iyi korozyon mukavemeti gösterirler. Sert Kromdan iki kat daha (2000-2500 HV) serttir. Bu yüzden sert Krom kaplamaya alternatiftir. Ancak kaplamayı gevrekletmektedir (Tablo 5.3) [8, 13].

Seramikler:

Takım ve iş parçası arasında oluşan kimyasal etkileşimleri elimine etmek için, seramik kesici ana malzemesi üzerine 2-5 µm kalınlığında ince bir tabaka kaplanır. Örneğin Si_3N_4 (Silisyum nitrür esaslı) kaplamalar dökme demirlerin yüksek hızlarda işlenmesinde başarılı olarak kullanılmaktadır. Ancak bu takımlar çeliklerle çabuk kimyasal reaksiyona girdiklerinden dolayı yüksek hızlarda çeliklerin işlenmesinde kullanılmazlar. Kimyasal reaksiyon yüksek sıcaklığa bağlı olarak talaş malzemesi ile takım malzemesinin reaksiyona girmesiyle oluşan aşınma tipidir. Oluşan reaksiyonu engellemek ve yüksek hızlarda çeliklerin işlenmesini sağlamak amacıyla Si_3N_4 ana kesici malzeme üzerine Al_2O_3-TiC (Alüminyum oksit esaslı) veya $TiC-TiN$ gibi çok katmanlı kaplamalar sinterlenmiş karbürlü kesicilere benzer şekilde uygulanmaktadır. Bu tür kaplamalar Si_3N_4-TiC kompozit takım üzerine TiN ve bunun üzerine de TiC kaplama yapılarak gerçekleştirilmektedir [2, 75].

Geliştirilen kaplamalar:

Bu kaplamalardan başka yeni geliştirilen kaplamalar olan $TiZrN$ (Titan Zirkonyum nitrür), $TiCrN$, ZrN , $TiBN$ (Titan Bor nitrür) yüksek aşınma dayanımı göstermektedir. Bor kaplanmış kesici takımlarda özellikle adheziv ve abraziv aşınmalar azalarak ekonomik yararlar sağlamaktadır [74].

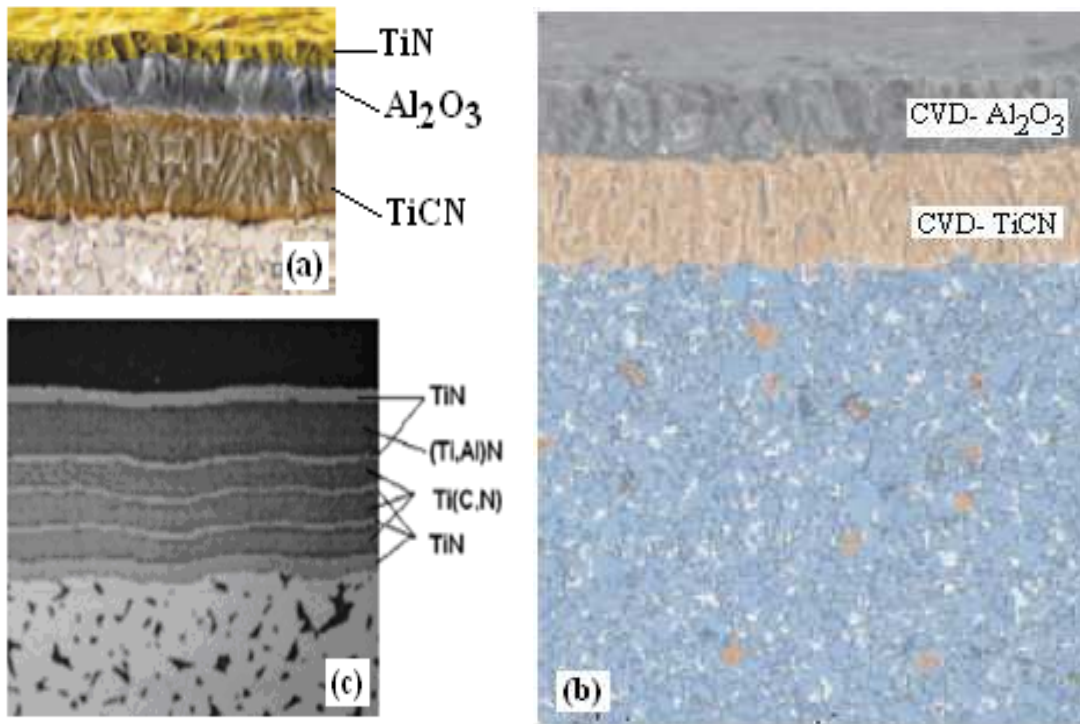
TiN , daha düşük sürtünme katsayısı verdiği ve BUE'yi azalttığı için daha ince olduğundan dış tabakada, Al_2O_3 ise yüksek sıcaklıklarda kimyasal kararlılığı ve abrasiv aşınma direnci sağladığından dolayı ikinci katman olarak kullanılmaktadır. TiC ' de ana malzeme üzerine, dayanım ve aşınma direnci daha iyi olduğu için, ilk katmanı oluşturmaktadır [2].

Araştırmalara göre TiC , TiN ve Al_2O_3 kaplamaların aşınmaya dirençli olmasının ana sebebi, kesici yüzeyinde yapışmanın olduğu yerde difüzyon aşınmasına karşı direnç göstermesinden kaynaklanmaktadır. Ancak yüksek hızda çelik kesilirken kaplamalar yüzeydeki yapışıklığı önleyememekte, fakat düşük hızda talaş yığılmasını yok edebilmektedir [2].

Çok katmanlı kaplamalar:

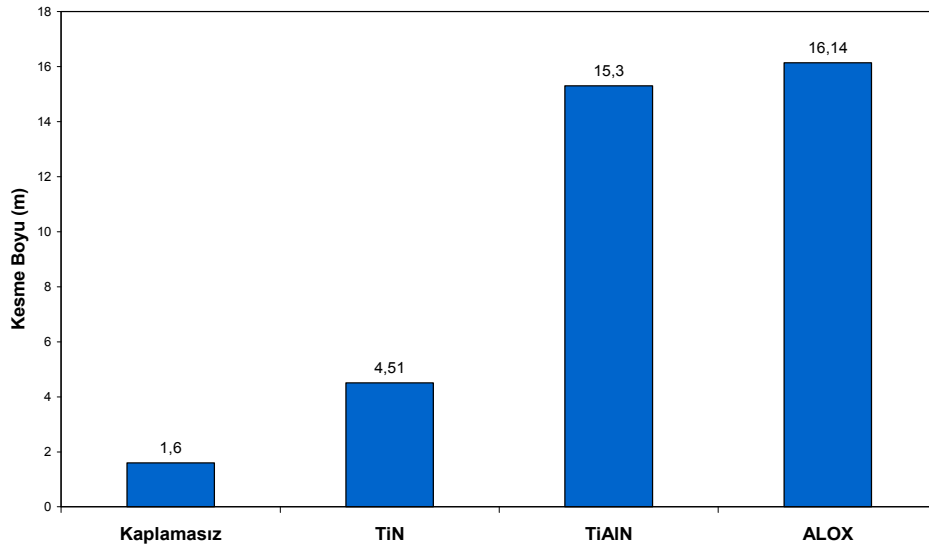
Günümüzdeki kesici ucun en yüksek performansla çalışmasını sağlamak amacıyla çok katmanlı ve nano çok katmanlı kaplamaların geliştirilmesi üzerinde çalışılmaktadır [24].

Şekil 5.7’de karbürlü takım ana malzemesi üzerine yapılan kaplama çeşitleri ile çok katmanlı kaplama kesitleri görülmektedir.



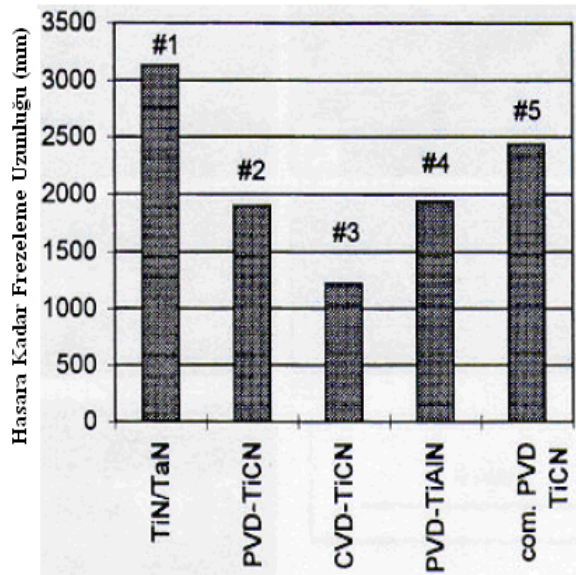
Şekil 5.7. Karbürlü kesici takım üzerine kaplama çeşitlerinin mikroyapısı; (a) CVD ile TiCN / Al₂O₃ / TiN(10µm) [76], (b) CVD ile TiCN/ Al₂O₃ [76], (c) PVD ile TiN/TiCN/TiAlN çok katmanlı kaplamalar [77]

Leyendecker ve arkadaşlarının [73] yaptığı deneylere göre çok katmanlı kaplamalı takımlarla yapılan işlemlerde, yüksek hızda aşınma direncinin yükselttiği ve takım ömrünün 2-3 kat arttırdığı görülmektedir (Şekil 5.8). Bir çok kullanıcının takım ömrünü azaltmadan kesme hızını %25-50 arttırarak ekonomik açıdan büyük avantaj sağladığı görülmektedir [2].



Şekil 5.8. Bir kaplamasız ve üç çeşit kaplamalı (ALOX= TiAlN-Al₂O₃) çok katmanlı kaplama ile takım ömrü deneyi [73]

Selinder ve arkadaşları [30] paslanmaz çeliklerin işlenmesinde PVD yöntemiyle karbürü kesici takımların tek ve çok katmanlı TiN/TaN ve TiN/NbN ile kaplama performansları araştırmışlardır (Şekil 5.9).



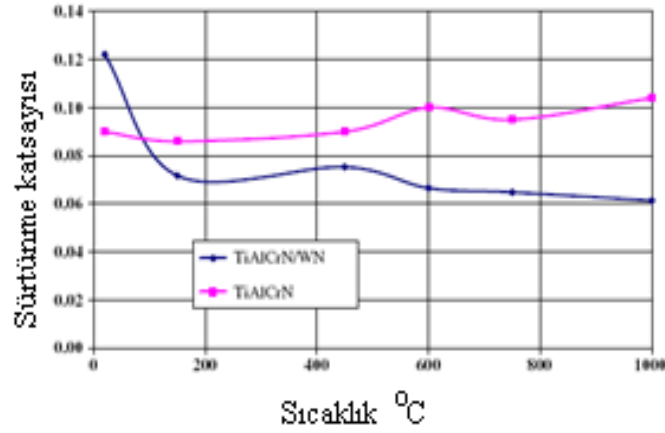
Test için 4 takım ayrı özelliklerle kaplanmıştır:

- (#1) PVD TiN/TaN lamelli kaplama (3 µm)
- (#2) PVD TiCN tek katman (4.8µm)
- (#3) CVD üçlü katman çelik frezeleme sınıfı (5.0µm)
- (#4) PVD TiAlN tek katman (4.0µm)
- (#5) Ticari WC/Co+PVD TiCN olarak hazır alınmıştır.

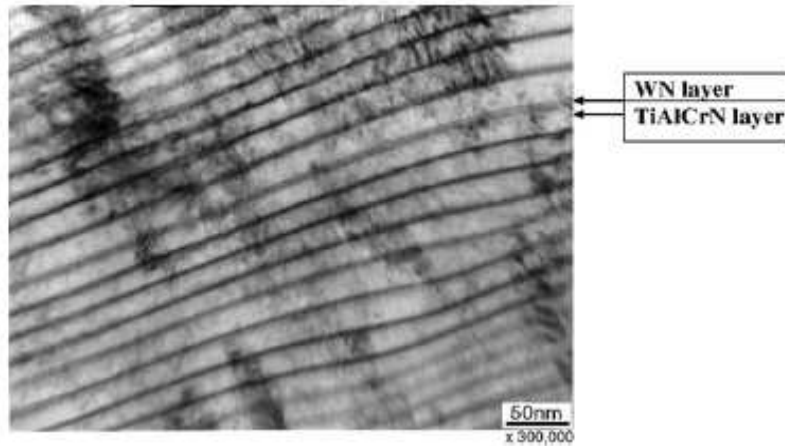
Şekil 5.9. Paslanmaz çelik frezeleme deneyi testi sonuçları [30]

Fox ve arkadaşlarını yaptığı çalışmalarda ise CVD ve PVD yöntemiyle kaplanan TiCrAlN ve WN nano-çok katmanlı kaplamaları ile H13 sert çelik kuru olarak, yüksek hızda talaş kaldırma durumundaki etkileri araştırmışlardır [78].

Nano-çok katmanlı TiCrAlN ve WN kaplamaların sürtünme katsayılarının tek katmanlı TiCrAlN'a göre düşük olduğu görülmektedir (Şekil 5.10). TiCrAlN ve WN kaplamaları katmanları TEM'de (taramalı elektron mikroskopunda) görülmektedir (Şekil 5.11) [78].

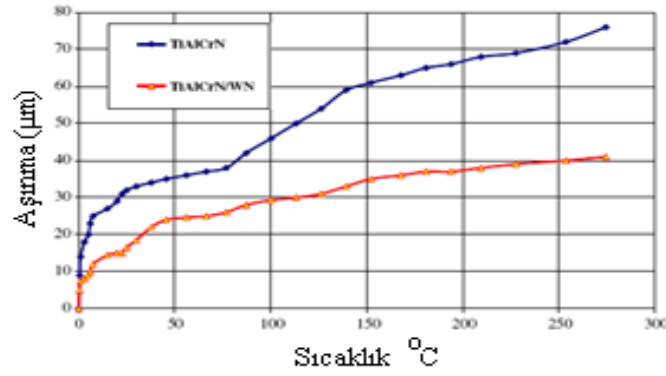


Şekil 5.10. Tek katman TiCrAlN ve Nano-çok katmanlı TiCrAlN ve WN kaplamaların H13 çeliğini işleme durumunda sıcaklık ve sürtünme katsayıları [78]



Şekil 5.11. TEM'de nano-çok katmanlı TiCrAlN ve WN bölümleri [78]

Takım ömrü kriterlerinden aşınmanın Şekil 5.12'de görüldüğü gibi nano-çok katmanlı TiCrAlN / WN'ın, tek katmanlı TiCrAlN'ya göre daha düşük olduğu, Tablo 5.6'da görüldüğü gibi kesme sırasında nano-çok katmanlı TiCrAlN / WN'ta yine daha düşük kesme kuvveti oluştuğu anlaşılmıştır [78].



Şekil 5.12. Kuru işleme şartları altında PVD ile kaplanmış nano çok katmanlı TiCrAlN/WN ile tek katmanlı TiCrAlN arasındaki takım ömrü karşılaştırması [78]

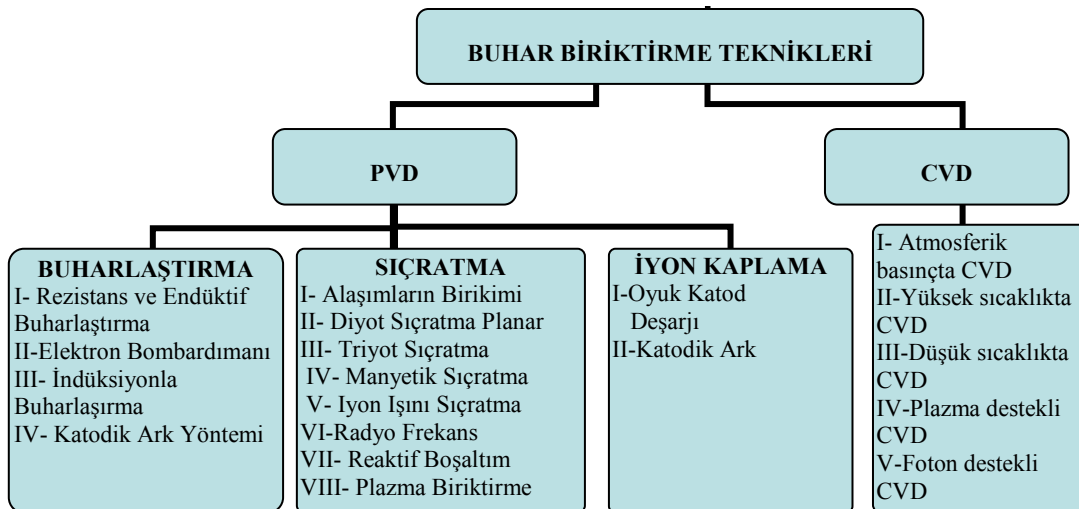
Tablo 5.6. H13 çeliğinin frezelenmesi süresince oluşan kesme kuvvetleri [78]

Kaplama	Kesme Kuvveti (N)
TiCrAlN Tek katmanlı	428,4
TiCrAlN/WN Nano-çok katmanlı	380,1

5.9. Kaplama Yöntemleri

Buhar fazında kaplama yöntemleri, fiziksel buhar biriktirme (PVD) ve kimyasal buhar biriktirme (CVD) olarak ikiye ayrılır. Buhar biriktirme teknikleri Tablo 5.7’de detaylı olarak verilmiştir.

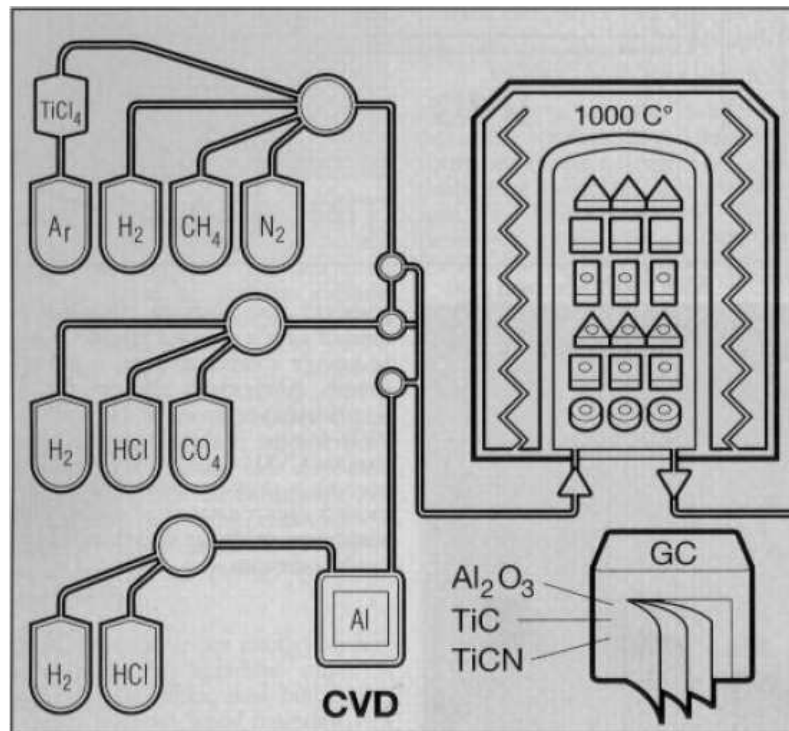
Tablo 5.7. Buhar fazında kaplama (PVD ve CVD) yöntemleri [79, 80]



5.9.1. CVD (Kimyasal buhar biriktirme) yöntemi

Temel prensibi kaplanmak istenen metale, buharlaşabilen bir bileşiğin vakum altındaki bir hazne içerisine taşıyıcı bir asal veya reaktif gaz aracılığıyla gönderilmesi ve önceden ısıtılan ana malzeme yüzeyinde kimyasal reaksiyonlar sonucu metalik veya bileşik olarak kaplanmasıdır. Titanyum karbürün kaplaması işleminde bu gazlar Hidrojen, Nitrojen, Titanyum klorür ve Metandır. Al_2O_3 kaplamada Titanyum nitrür kullanır. CVD kaplama işlemlerinde genellikle 600-1100⁰C aralığındaki sıcaklıklara çıkılmaktadır. Tarihi en eski olan tekniktir ve sert metal kesici takımlar üzerine aşınmayı azaltmak için (TiN, TiC, Al_2O_3) uygulanmaktadır. CVD işlemi çeşitli gazlarla ilgili ayarların kolaylıkla yapıldığı bir işlem olması nedeniyle çok katmanlı kaplamalar için başarıyla kullanılabilir. CVD işleminin daha düşük sıcaklıklarda yapılabilmesine olanak sağlamak amacıyla plazma destekli türleri gelişmiştir.

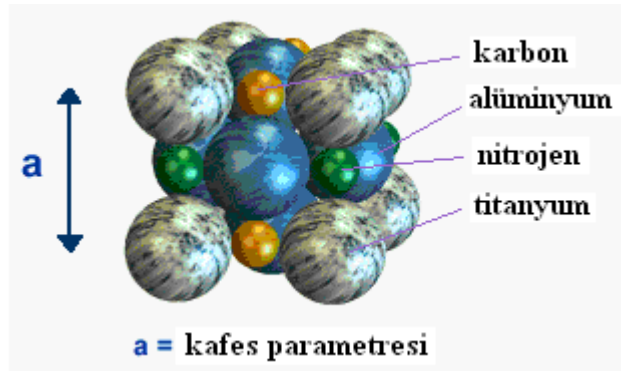
CVD kaplama bugün tüm kesici uç için yaygın olarak kullanılabilen bir yöntemdir. Kaplama tabakası üniform ve homojen olup, kaplama tabakaları ile ana malzeme arasındaki yapışma mükemmeldir (Şekil 5.13) [2, 76].



Şekil 5.13. Kimyasal buhar biriktirme metodu (CVD) [55]

5.9.2. PVD (Fiziksel buhar biriktirme) yöntemi

Bu yöntemde katı haldeki kaplama malzemesi termal bir ısı kaynağı ile vakum altında buharlaştırılmakta veya atomal hale dönüştürülerek altlık malzemesinin üzerinde biriktirilmektedir. Bu nedenle çok keskin profile sahip takımlar da dahil olmak üzere her türlü katı malzeme üzerine hemen hemen her malzemeyi kaplamaya olanak sağlamaktadır. Makinacılıkta yaygın olarak hız çeliklerinin kaplanmasında kullanılır. PVD tekniği patentinin 50 yıl önce alınmasına karşın, tribolojik amaçlı seramik kaplamaların bu teknik ile üretilmesi son yıllarda yaygınlaşmıştır. Özellikle plazma destekli PVD türlerinin gelişmesiyle yüzeye çok iyi yapışan, yüksek sertlikte ve yoğun seramik kaplamalar üretilmiştir. Bugün ticari olarak TiCN, CrN, WC-C, ZrN sert kaplamalar ile elmas benzeri karbon kaplamalar bu teknikle üretilmektedir. Bu kaplamaların geliştirilmesine yönelik olarak yeni tür sert seramik kaplamalar (AlN, TiNbN, TiCrN, TiAlCN, Al₂O₃ ve elmas) ile çok katmanlı kaplamalar (TiN-TiAlN, TiAlN-AlN, süperkafes kaplamalar) üretilmiştir [75, 81].



Şekil 5.14. TiAlCN kafes yapısı [81]

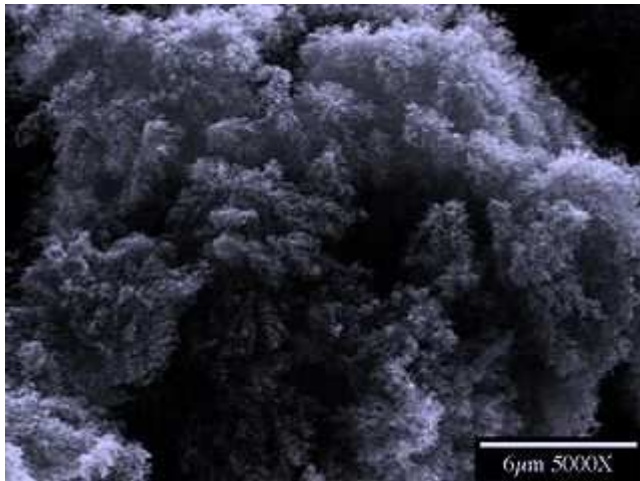
Sıçratma yöntemi:

Yöntem, inert (reaksiyona girmeyen) gaz iyonlarının hedef malzeme yüzeyine çarparak yüzeyden atom sıçratması esasına dayanır. Hedeften kopan atom, kaplanacak parça üzerinde birikerek kaplamayı oluşturur [81, 82]. Özellikle çok ince

(< 100 nm), kaplama kalitesi ve uniformluğu (kalınlık değişimi < \pm %5) yüksek kaplamalarda manyetik sıçratma PVD tekniği tercih edilmektedir. Bu teknikte amaç plazma kullanılarak mıknatıs veya elektromıknatıslar yardımıyla iyonizasyonu sağlamaktır [79].

Buharlaştırma yöntemi:

Bu yöntemde sıvı veya katı fazdaki kaplanacak malzeme, ışımada, Eddy akımları, elektron bombardımanı, lazer veya elektrik arkı yolu ile buharlaştırılır. Sistem vakum altında olduğundan buharlaşan atomlar kaplanacak parçaya doğru enerjilerini kaybetmeden ilerleyebilirler ve parça üzerinde önce çekirdek oluşumu daha sonra çekirdeğin gelişimi şeklinde birikirler [81, 83].



şekil 5.15. Buharlaştırılmış tungsten [84]

İyon kaplama yöntemi:

Bu teknik buharlaştırma yöntemine benzetilebilir. Kaplanacak malzeme buharlaştırmaya benzer bir yöntemle buharlaştırılır, oluşan buhar, gaz akış (glow) deşarjı (akış deşarjı kaplanacak parçaya negatif potansiyelle bias uygulayarak üretilir) boyunca taban malzemeye ulaşırken buhar fazındaki atomların enerjileri yükseltilir ve iyonizasyon sağlanır. Böylece kaplanacak parçaya uygulanan negatif potansiyel (BIAS) sayesinde ortamdaki iyonlar parçaya doğru yönlendirilir ve

hızlandırılır. Kaplama öncesi uygulanan yüksek BIAS voltajı ile hem kaplanacak parçanın yüzeyi temizlenir hem de parça ısıtılmış olur [85].

5.9.3. CVD ve PVD yöntemlerinin karşılaştırılması

1. PVD'nin (200-500⁰C) CVD'ye (850-1000⁰C) göre en büyük avantajı sert metal ve yüksek hız çeliklerinin özelliklerini etkilemeden düşük sıcaklıklarda kaplanabilmesidir.
2. PVD'nin HSS'ye uygulanması sonrası, mikroyapı, sertlik ve geometrisi bozulmaz.
3. PVD kaplamada kimyasal özellik bozulmaz.
4. PVD teknolojisiyle tüm metal alaşım, seramik ve polimer kaplama malzemesi, her ana malzeme üzerine biriktirilebilir.
5. PVD mikroyapısı çatlaksız ve daha küçük tane yapılıdır.
6. CVD işlemi gazlarla ilgili ayarlar kolaylıkla yapılabilmesi nedeniyle çok katmanlı kaplamalar için başarıyla kullanılabilir.
7. CVD kaplama tabakaları ile ana malzeme arasındaki yapışma mükemmeldir.
8. CVD'de kaplama ile altlık arasındaki bağ daha kuvvetlidir.
9. CVD'de PVD kaplamaya göre daha fazla kırılma fazı vardır.
10. PVD keskin bitirme takımlarına daha uygundur.
11. PVD'de çatlak yayılmasına karşı basma kalıcı gerilmeler oluşturarak dayanımı arttırmaktadır.
12. PVD düşük kesme hızlarında kırılma direnci CVD'ye göre daha iyidir.
13. PVD kaplama BUE etkisini azaltır, daha iyi kuru yağlama sağlar.(Tablo 5.8)
14. CVD kaplama aşınması PVD'ye göre daha azdır. (Tablo 5.8)
15. Biriktirme hız aralığı oldukça geniştir. Bu nedenle yüksek hızda üretim yapılabilir.
16. PVD kaplama sonrası yüzey pürüzlülüğü, ana malzemenin yüzey pürüzlülüğü ile aynı olduğundan, kaplama sonrası taşlama, zımparalama gibi yüzey işlemlerine ihtiyaç duyulmaz.
17. PVD işlemlerinde çevre problemlerine yol açan atıklar oluşmaz [53, 71].

Tablo 5.8. Farklı kaplama tip ve yöntemlerinin etkileri [71, 76]
(Açıklama: “+” Pozitif (dirençli) etki, “-“ negatif (dirençsiz) etki, “O” etkisizi ifade eder.)

Kaplama	Abrasyon Aşınması	Adhezyon aşınması	Yorulma aşınması	Plastik deformasyon	Çentiklenme/ Kırılma	Bir kesici kenar için çalışma
PVD	-	+	+	-	+	+
CVD	+	O	O	+	O	-
TiAlN	+	+	O	+	-	O
TiCN	+	O	O	O	O	O
TiN	O	+	O	O	O	O
Al ₂ O ₃	++	+	-	+	-	-

5.10. Nikel Esaslı Alaşımlarda Kullanılan Kesici Takımlar

İşlenebilirlikte işleme operasyonlarını etkileyen pek çok değişken vardır. Bunların arasında kullanılacak kesici takımın küçük boyutlu ve nispeten pahalı olmaması en önemli kriterlerdendir. Nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde kullanılacak kesici takım malzemelerinde genelde şu özellikler aranır [22]:

- İyi aşınma dayanımı
- Yüksek dayanım ve sertlik
- Yüksek ısı sertlik
- İyi termal şok özellikleri
- Yüksek sıcaklıklara uygun kimyasal kararlılık

Sementit karbür takımlar ile yüksek hız çelikleri (HSS), nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek hız çelikleri, genelde aralıklı talaş kaldırma işlemlerine uygunken (frezeleme, delik büyütme gibi), sementit karbür takımlar ise sürekli talaş kaldırma işlemlerinde daha çok kullanılmaktadırlar.

Günümüzde ise, bazı seramik takım malzemeleri (Al₂O₃ –TiC), Si₃N₄ silikon nitrit esaslı seramikler ve en son geliştirilen Whisker takviyeli Alüminyum oksit seramikler (%25 SiC_w Whisker kapsarlar), Nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde gittikçe artan bir şekilde kullanılmaktadırlar [9].

Ezugwu ve ark. yaptığı çalışmalarda PVD ya da CVD kaplama metodu ile kaplanan, çok katmanlı kaplamalı karbür takımlar (TiN+TiCN ve TiN)' da Nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde dikkate değer bir gelişme göstermişlerdir [86].

Shintani ve ark. yaptıkları çalışmada kübik bor nitrür (CBN) takımlar ise bütün kesici takımlar içerisinde, Nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde en iyi performansı göstermişlerdir [87]. Esas kullanım alanları Demir cinsi metallere olmasına rağmen Kübik bor nitrürler, Nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde üstün performansa sahiptirler. Ancak yüksek bir maliyete sahip olmaları bu takımların kullanımlarını sınırlandırmaktadır [22].

5.11. Takım Aşınması

İşleme sırasında tüm takımlar aşınır ve bu aşınma takımlar ömürlerini tamamlayıncaya kadar devam eder. Bugün takım ömürleri genellikle 15 dakikadan kısadır. Aşınma takım ömrü parametrelerinden biridir. İnce talaş kaldırma 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 [48].

Takım aşınması kendisini;

1. Kesme kuvvetlerinin yükselmesi,
2. Kesme sıcaklığının yükselmesi,
3. Talaş şeklinin değişmesi,
4. İş parçasının yüzey pürüzlülüğünün artması şeklinde gösterir [88].

5.11.1. Takım aşınma mekanizmaları

Takım aşınması kesici kenar üzerine etkiyen çeşitli yük faktörleri nedeniyle oluşur.

Temel yük faktörleri şunlardır:

- a. Mekanik
- b. Kimyasal
- c. Isıl (termal)
- d. Aşındırıcı (abrasif)

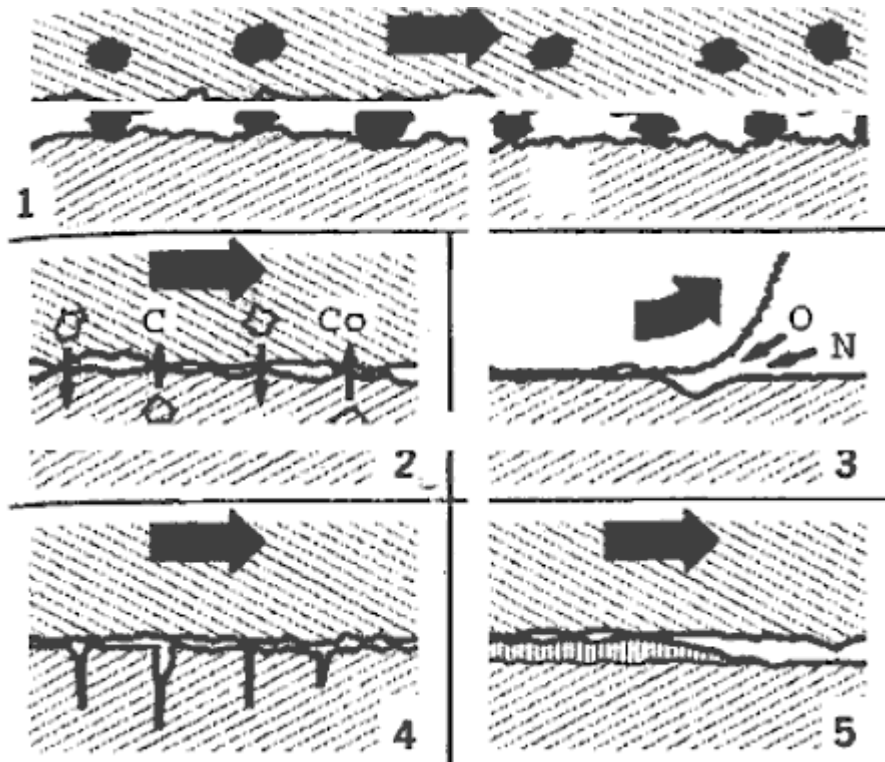
Temel aşınma mekanizmaları şunlardır:

5.11.1.1. Abrasyon aşınması

En yaygın aşınma mekanizmalarından biridir. Genellikle iş malzemesine ait oksit, nitrür ve karbür gibi sert parçacıkların takım boşluk yüzeyi ile iş parçası arasında takım yan yüzeyini zımpara tanecikleri gibi aşındırması şeklinde ortaya çıkar. Taşlama işlemine benzer olduğu için sürtünme aşınması da denilir (Şekil 5.16.-1). Abrasif aşınma, çoğu zaman takım ömrünü kriteri olarak kullanılan serbest yüzey aşınmasının, krater aşınmasının, çentik aşınmasının ve burun yarıçapı aşınmasının kaynağıdır. Kesici kenarın abrasif aşınmaya karşı direnç kabiliyeti, önemli ölçüde sertliğine bağlıdır [17, 48].

5.11.1.2. Difüzyon aşınması

Kesme işlemi sırasında daha çok kimyasal yükten etkilenir. Takım malzemesinin kimyasal özellikleri ile takım-iş parçası malzemesi arasındaki afinite, difüzyon aşınmasının ortaya çıkmasına neden olur. Yüksek sıcaklığa ve basınca bağlı olarak talaş malzemesine atomik göç başlar (Şekil 5.16.-2). Takım malzemesi sertliğinin bu tip aşınma üzerinde etkisi yoktur [48, 53]. Bu işlem, iki malzeme arasında ara yüzeyde ya iş parçasının atomlarının difüzyona uğraması ya da takımın yüzey katmanıyla reaksiyon bölgesinde meydana gelerek takım yüzeyini zayıflatır ve takımın talaş yüzeyi üzerinde bir krater aşınması oluşturur [2]. Difüzyon aşınma hızı, takım malzemesinin iş parçası içinde çözülme kabiliyetine ve yüksek sıcaklıkta takım ile talaş arasındaki temas süresine bağlıdır. Difüzyon aşınma hızı, kesme hızına bağlı olarak artan kesme sıcaklığının, üssü olarak artar [17].



Şekil 5.16. Kesme süresince 5 temel takım aşınma mekanizmasının şematik gösterimi 1-abrasyon, 2-difüzyon, 3-oksidasyon, 4-yorulma, 5-adhezyon [89]

5.11.1.3. Kimyasal reaksiyon

Difüzyonun bir adım ötesidir. Bu tip aşınma takım yüzeyinde kimyasal reaksiyonun bir türü olarak, sertlikten ziyade yüzey üzerinde akan metalde takım ve malzemesinin farklı fazlarının çözünebilirliğine bağlıdır. Bu aşınma mekanizması, krater aşınmasının temel nedenidir [53].

5.11.1.4. Oksidasyon aşınması

Takım bileşiklerinin atmosferdeki oksijenle reaksiyona girmesi ile takım yüzeyinde oksit tabakası oluşur. Oluşan oksit tabakası, kesme işlemi esnasında kopar ve takımda aşınmalara sebep olur. Takım bozukluk durumunun oluşmasına neden olan bu oksitlenme olayına oksidasyon aşınması denir (Şekil 5.16.-3). Özellikle kesici kenarın talaş ile temasta olan kısmında, talaş genişliğinin sona erdiği noktada (talaş derinliğinde) kesici ile atmosfer ortamının etkileşimi sonucu oksidasyon oluşur. İş parçasının oksidasyonla aşınması nedeniyle oluşan sert oksit parçacıkları, abrasyon

aşınmasını tetikler. Alüminyum oksit (Al_2O_3), Titanyum karbür (TiC) bazlı seramik takımlarda malzeme özelliklerinden dolayı oksidasyon aşınması oluşmaz. Kesici takım üzerinde çentik aşınması olarak görülmektedir [48, 53].

5.11.1.5. Yorulma aşınması

Termo-mekanik bir kombinasyonun sonucudur. Sıcaklıktaki dalgalanmalar ve takıma etkiyen kesme kuvvetlerinin sıfır ile maksimum bir değer arasında değişmesi, kesici kenarın çatlamasına ve kırılmasına yol açar. Aralıklı kesme işlemi (frezeleme, vargelleme vs) ucun sürekli olarak ısınıp soğumasına ve talaş ile temasta olan kesici kenarda şok etkisine neden olur. (Örneğin porozite içeren toz metal numunelerin işlenmesi). Sert ve dayanıklı iş parçası malzemelerinin çok yüksek ilerleme hızlarında işlendiği veya takım malzemesinin yeterince sert olmadığı durumlarda söz konusudur (Şekil 5.16-4). Yorulma aşınma mekanizması; plastik deformasyon, termal çatlaklar, dökülme aşınma tiplerine sebep olur [48, 90].

5.11.1.6. Adhezyon (yapışma) aşınması

Genellikle takımın talaş yüzeyindeki düşük işleme sıcaklıklarından dolayı ortaya çıkar. Çelik, alüminyum ve dökme demir gibi uzun ve kısa talaş oluşumunun söz konusu olduğu iş malzemelerinin işlenmesinde görülür. Bu aşınma mekanizması genellikle kenar ile talaş arasında yığılma kenar oluşmasına neden olur. Yığılma kenar, talaş tabakalarının sürekli olarak kesici kenar üzerine kaynak olup kenarın bir parçası haline gelmeleri şeklinde oluşur (Şekil 5.16.-5). Bu kenarın çok fazla büyümesi ve bir noktada kopması, kesici kenar üzerinden bir kısım malzemenin de yığılma kenar ile uzaklaşmasına neden olur. Belirli bir sıcaklık aralığında, takım ve iş parçası malzemeleri arasındaki afinite ile kesme kuvvetlerinden dolayı ortaya çıkan yük adheziv aşınmayı oluşturan nedenlerdir. Bu aşınma mekanizması çentik aşınma tipini oluşmasına da katkıda bulunur [48, 90].

5.11.2. Aşınma tipleri

Belli başlı aşınma tipleri şunlardır:

1. Serbest yüzey aşınması
2. Krater aşınması
3. Çentik oluşumu
4. Dökülme (attrition) aşınması
5. Plastik deformasyon
6. Termal çatlaklar
7. Mekanik yorulma çatlakları
8. Kırılma
9. BUE etkisi

5.11.2.1. Serbest yüzey aşınması

Takımın işlenmiş iş parçası yüzeyi ile temas halinde olan yan kenar yüzeyinin sürtünmesinden dolayı oluşan aşınma, serbest yüzey aşınması olarak adlandırılır. Sürtünmeden dolayı takım yan kenarında oluşan aşınma bölgesinin genişliği, serbest yüzey aşınmasının miktarı olarak alınır. Serbest yüzey aşınması belirli bir değere ulaştığında, takım kesme işlemini yerine getiremez ve titreşimlere neden olur. Oluşan titreşimler iş parçasının yüzey kalitesini olumsuz etkiler. Ayrıca aşınmadan dolayı meydana gelen sürtünmeden dolayı yüksek ısı açığa çıkar. Kesme kenarında, sıcaklığın yükselmesinden dolayı takımda meydana gelen deformasyon hızlanacaktır. Serbest yüzey aşınmasının oluşma nedeni abrasyon aşınmasıdır. Serbest yüzey aşınma bölgesi Şekil 5.17-a'daki gibi genellikle üniform genişliktedir ve kenara yakın bölgede oluşur [1, 2, 17].

Aşınmaya dayanımlı, daha sert veya köşe radyüsü ve serbest açısı daha fazla bir sert metal uç kullanılması, ya da kesme hızının azaltılması ve kesme sıvısı kullanılması, çelik işleme için Al_2O_3 kaplamalı kaliteler seçilmesi aşınma oluşumunu geciktirebilmektedir [91].

5.11.2.2. Krater aşınması

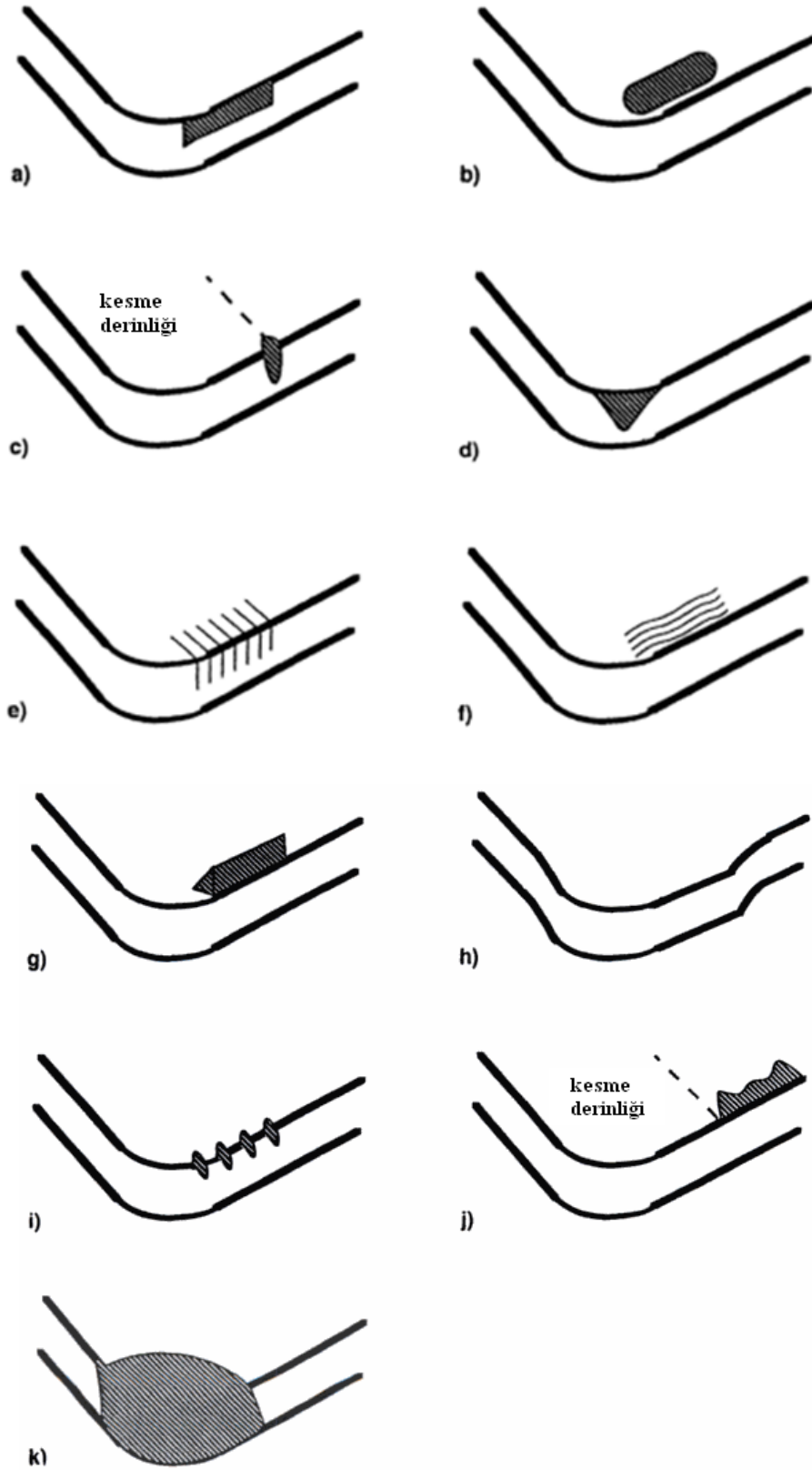
Krater aşınması, takım – talaş ara yüzeyinde, talaşın takım ile temasta olduğu alanda ortaya çıkan talaş yüzeyi aşınmasıdır. Krater aşınması, iş parçasından kaldırılan

talaşın takım üzerinden kayarken temasta bulunduğu alanda oluşturduğu baskıyla ve/veya talaş altındaki aşırı kazıma ile oluşmaktadır. Talaş yüzeyinde aşınma sonucunda oluşan krater Şekil 5.17-b'de görüldüğü gibi takımın kesici kenarının bir miktar gerisinde oluşmaktadır. Krater aşınmasının küçük değerleri takım ömrünü sınırlamaz. Fakat krater aşınmasının ilerlemesi ile aşınma bölgesi, takım kesme kenarına yaklaşacağı için kesme kenarlarında zayıflama görülmesine, talaş oluşumunun biçimlenmesinin bozulmasına, kesici kenar geometrisinin bozulmasına, kesme kuvvetleri doğrultularının değişmesine ve takımda hızlı bir şekilde kırılma olayı gerçekleşmesine sebep olur. Krater aşınması takım bozukluk durumunun oluşma nedeni abrasyon, difüzyon veya kimyasal aşınmalardır [64]. Bu aşınmaların oluşmasında; takım – talaş ara yüzeyindeki yüksek sıcaklıklar önemli rol oynamaktadır [2, 17].

Krater aşınması kesme hızının çok yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Önlenebilmesi için, kesme hızı ve ilerleme azaltılmalıdır, aşınmaya karşı daha dayanıklı bir kesici uç cinsi (Al_2O_3 kaplamalı) seçilmelidir ve pozitif bir uç geometrisi seçilmelidir [91].

5.11.2.3. Çentik oluşumu

Yardımcı kesici kenarda oluşan çentik aşınması tipik bir adhezyon (yapışma) aşınması olmakla beraber oksidasyon aşınma mekanizması ile birlikte büyüyebilir. Çentik, talaş derinliğinin bittiği noktada oluşur (Şekil 5.17-d). Aşırı çentik aşınması, yüzey pürüzlülüğünü etkiler ve özellikle kesici kenarın dayanımını zayıflatır. Çentikler genellikle yüksek ısıya dayanımlı 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 [91].



Şekil 5. 17. Aşınma tiplerinin sınıflandırılması a- serbest yüzey aşınması, b- krater aşınması, c- çentik oluşumu, d- burun radyüsü aşınması, e- termal çatlak, f-mekanik yorulma çatlağı, g- BUE etkisi, h- plastik deformasyon, i- dökülme (attrition), j- talaş derinliğinde çentiklenme, k- kırılma [71]

5.11.2.4. Dökülme (attrition) aşınması

Kesici kenardaki mekanik gerilmeler aşırı ise ve uç aşırı bir şekilde sıcaklık değişimlerine maruz kalıyorsa, ucun kesici kenarında küçük parçalar halinde kopmalar, dökülmeler olacaktır. (Şekil 5.17-i) Bu talaşın takım malzemesine yapışarak dökülmesi ile de olabilir. Adhezyon (yapışma) aşınmasından farklı pul pul dökülmesidir [53].

5.11.2.5. Plastik deformasyon

Plastik deformasyon, kesici kenar üzerindeki yüksek basınç ve yüksek sıcaklık birleşiminin bir sonucu olarak ortaya çıkar. Yüksek kesme hızı, yüksek ilerleme değerleri ve sert iş parçası malzemeleri ısı ve basınç demektir. Takım malzemelerinin bu etkiler etkilere dayanabilmesi için yüksek kıvılcık sertliğe sahip olması gerekir. Kesici kenarın bu şekilde deformasyona uğraması daha yüksek sıcaklıkların oluşumuna, geometrinin bozulmasına ve talaş akışının değişimine neden olacaktır (Şekil 5.17-h). Kenarın yuvarlatılması ve uygun kesici geometrisi seçilmesi bu tip aşınmayı önlemede yardımcı olur [48].

5.11.2.6. Termal çatlaklar

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 (Şekil 5.17-e) ve bu aradaki takım malzemesi kesici kenardan koparak ayrılabilir. Bu da takımın kırılma ihtimalini artırır ve kesici kenar bozulmasına sebep olur. Kesme sırasında değişen talaş kalınlıkları da sıcaklık oluşumunu etkiler [48]. Yüksek kesme hızında, büyük hacimde talaş kaldırılması da bu aşınma tipinin oluşmasında rol oynar. 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 [91].

5.11.2.7. Mekanik yorulma çatlakları

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 (Şekil 5.17-f). Uçlardaki kırılmalar çoğu zaman mekanik çatlakların çok kere tekrarlanmasıyla meydana gelebilir. Kesme sırasında kalın talaş çıkması, mekanik kırılmaların bir göstergesidir [48].

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 [91].

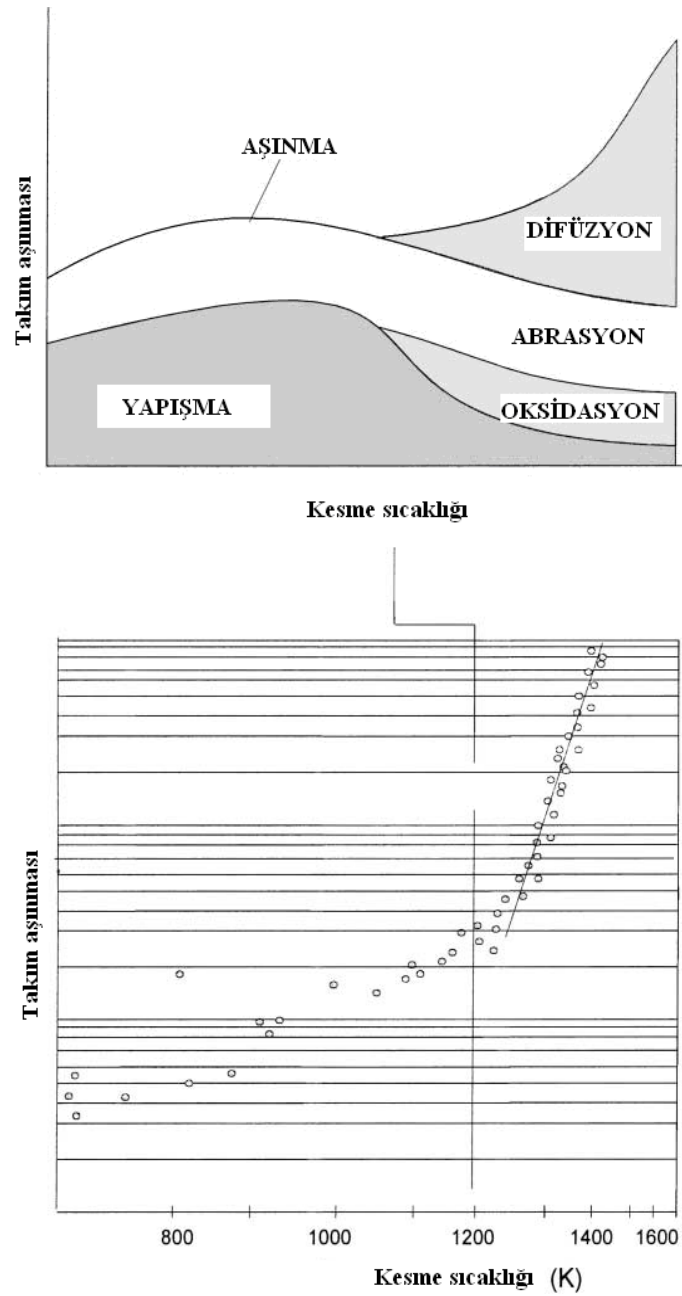
5.11.2.8. Kırılma

Kırılma kesici kenar görevinin tamamen sona ermesidir. Kenar kırılması genellikle diğer aşınma tiplerinin en son noktasıdır (Şekil 5.17-k). 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 bir uç seçmek, daha kalın ve daha geniş uç seçmek ve rijitliği arttırmak etkili olmaktadır [48, 91].

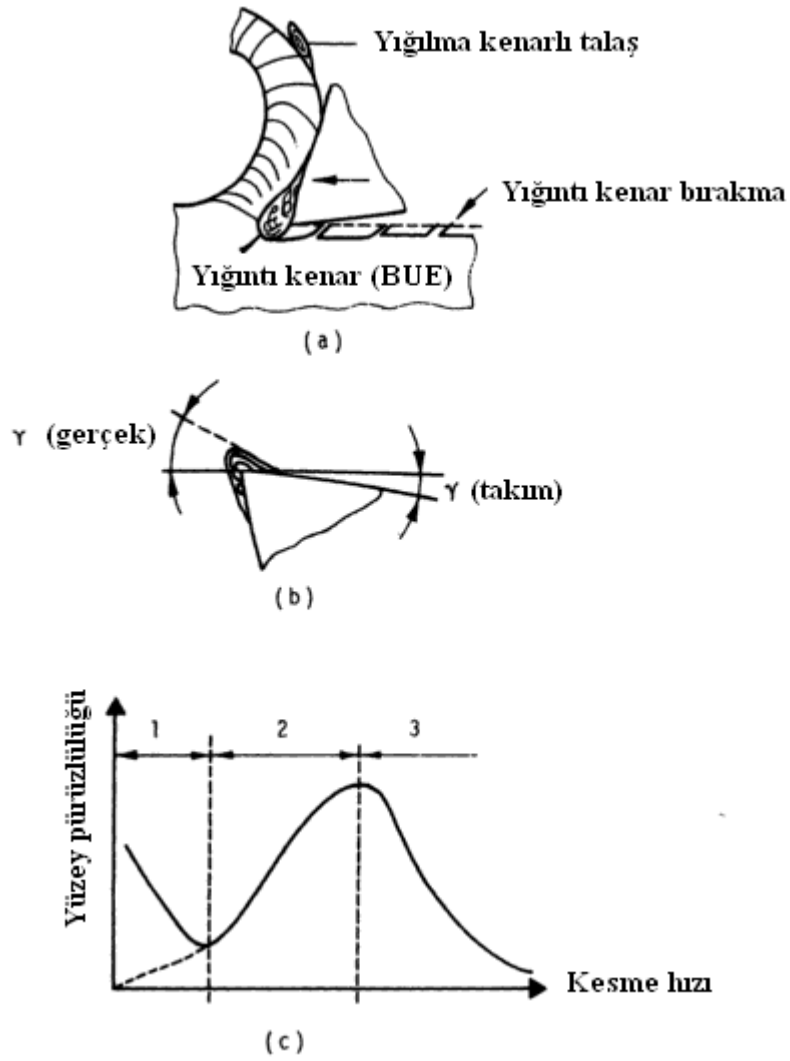
5.11.2.9. BUE (yığılma- sıvanma) etkisi

Önemli ölçüde sıcaklığa ve sıcaklıkla ilişkili bir durum olan kesme hızının etkisiyle meydana gelir [48]. YHÇ (HSS) ve karbürlü takımlarda perlit çok küçük parçacıklara ayrılarak yüksek gerinim ile 600-700 Hv'ye kadar sertleşir ve takım yüzeyine kaynak olur.(Şekil 5.20.) BUE bu nedenle basma ve kayma gerilimlerini taşıyabilir. Kesme hızı yükseltildiğinde perlitteki sıcaklıklar sıvanmayı geliştiremez. Gerilimleri taşıyamadığından BUE kopar ve yüzey kalitesi bozulur. Belirli koşullar altında takımı koruyacağından tercih edilebilir [53]. (Şekil 5.17-g) Şekil 5.18'e bakıldığında kesme sıcaklıklarının en geniş aralığında oluşan aşınma mekanizmasının yapışma

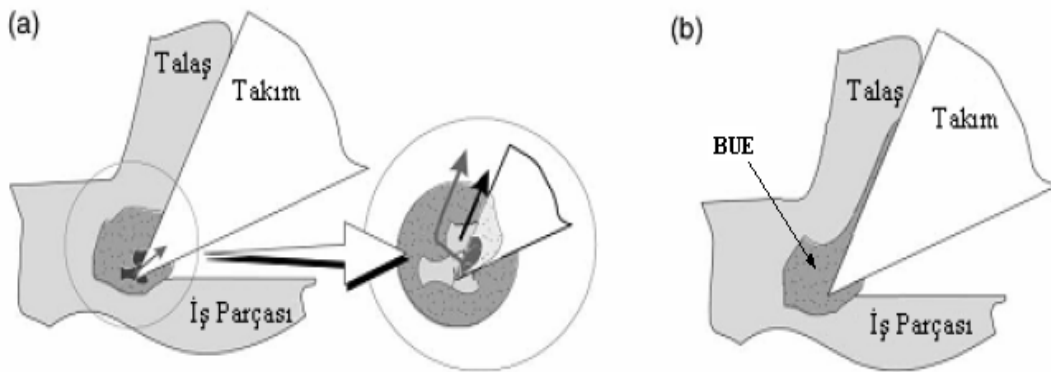
olduğu görülmektedir. Yığıma kenar oluşumuna sebebiyet verebilecek sıcaklık ve kesme hızları bilindiğinden bu tip aşınmanın kolaylıkla önüne geçilebilir. Modern talaş kaldırma işlemlerinde kesme hızları yığıma kenar oluşum alanının çok üzerindedir [48]. Ayrıca CVD yöntemiyle kaplanmış seramik esaslı kesicilerle BUE oluşumu elimine edilir [53]. Şekil 5.19'da görüldüğü üzere yığıma kenar oluşumuna izin verildiğinde takım geometrisi ve yüzey kalitesi bozulur. Oluşumun devam etmesi durumunda kenar kırılarak takım ömrünü tamamlar [48].



Şekil 5.18. Sıcaklığın fonksiyonu olarak oluşan aşınma mekanizmaları [92]



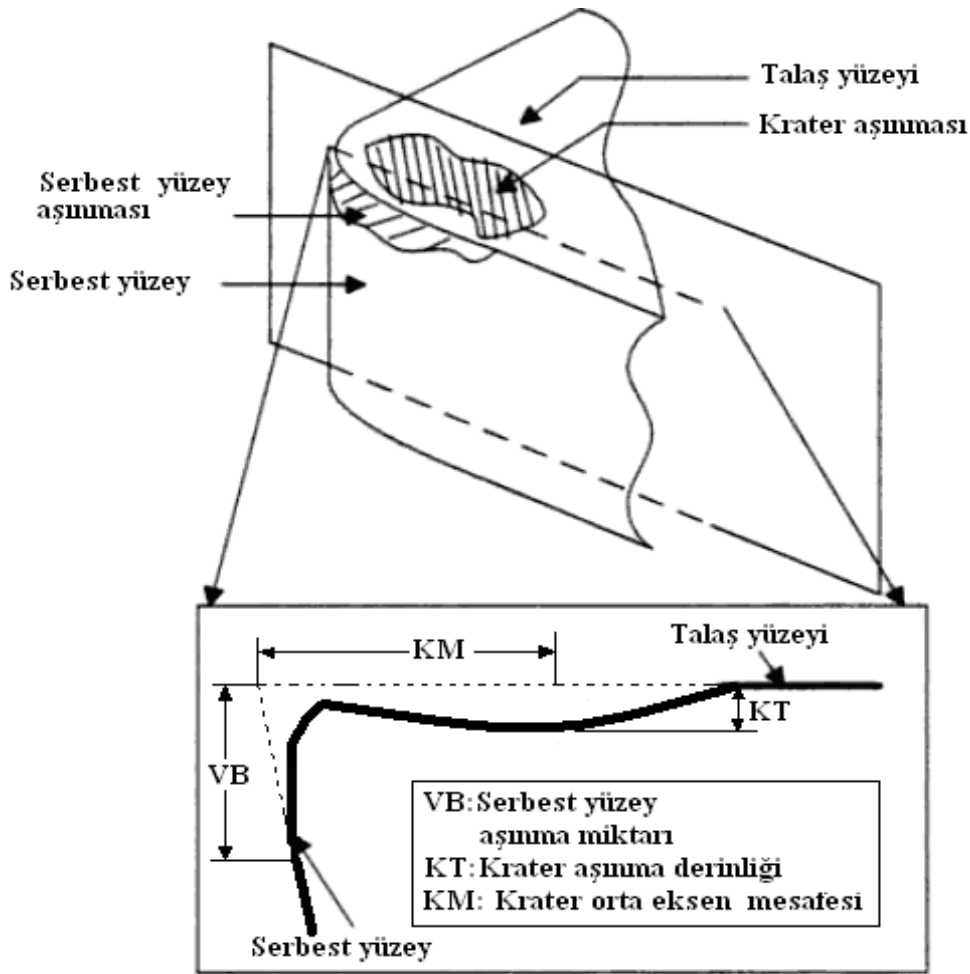
Şekil 5.19. Yığıntı kenar (BUE) etkisi (a) malzeme üzerinde kesme, (b) takım geometrisi, (c) BUE sonucunda kesme hızı yüzey pürüzlülüğü ilişkisi [93]



Şekil 5.20. (a) BUE oluşumu ve yapışma aşınması kesiti (b) BUE'li takım kesiti görüntüsü [94]

5.11.3. Takım aşınması kontrolü

Kesici takım aşınması; iş parçasının bozulması, takım tezgâhının hasarı, aşınmış takımın değiştirilmesi için durma zamanı gibi ilave maliyetlere neden olduğundan, tüm talaş kaldırma işlemleri için oldukça önemli bir faktördür. Bu nedenle kesici takımın kesme işlemi boyunca sürekli denetlenmesi ve değişme zamanının mümkün olduğunca önceden bilinerek programlı bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bunun için de kesme işlemi esnasında zamansız takım bozulması ile karşılaşmamak için aşınma kriterleri belirlenmiştir. Uygulamada standart olarak takım ömrü veya aşınma sınır kriteri değerleri, TSE 1992'ye ve DIN standartlarına göre, kesici takımın serbest yüzeylerindeki yan yüzey aşınma şerit genişliği (VB) veya krater aşınma derinliği (KT) ve/veya genişliğinin (KB) ölçümü ile belirlenmektedir (Şekil 5.21).



Şekil 5.21. Krater ve serbest yüzey aşınması [54, 95]

Birden fazla aşınma tipinin ölçülebildiği yerde her tip için aşınma değeri belirlenir ve bunlardan herhangi birisi, o aşınma tipi için belirlenen aşınma kriteri sınırına ulaştığı zaman takım ömrüne ulaşılmış kabul edilir Buna rağmen, takım ömrünü tayin etmede farklı kriterlerde kullanılmıştır. Kesici takımın durumu hakkında doğrudan bilgi veren ölçme yöntemlerinin yanı sıra, işleme performansı, talaşlı işlenebilirlik gibi farklı amaçlarla birlikte dolaylı olarak kesicinin durumunu gösteren yöntemler de kullanılmaktadır. Bugün ileri talaşlı imalât işlemlerinde, Tablo 5.9'daki kriterlerden bir veya birkaçına göre takımın işleme esnasındaki aşınma ve bozulma durumunu tespit edebilen sistemler kullanılmaktadır [90].

Tablo 5.9. Doğrudan ve dolaylı takım aşınması ölçme yöntemleri [96]

ÖLÇÜLEN AŞINMA VEYA PROSES PARAMETRELERİ		KULLANILAN ÖLÇÜM TEKNİĞİ
Doğrudan Ölçüm Yöntemleri	Kesici kenarın pozisyonu, şekli veya aşınma alanı	Optik metotlar (CCD kamera, fiber optik sensör) veya elektron mikroskopları ile
	Takımın hacimsel kaybı	Soğutucu içerisindeki aşınmış partiküllerin konsantrasyonunun ve boyutunun ölçümü (Elektro-kimyasal analiz) veya radyoaktivite ölçümü
	Takım ve iş-parçasının temas noktasında elektrik direncinin değişimi	Özel iletken bir takım kaplama ile Voltaj ölçümü
	İş-parçası boyutlarının değişimi	Mikrometre veya optik, pnomatik, ultrasonik ve elektro manyetik transducerlerle boyut ölçümü
	Takım (veya takım tutucu) ile işparçası arasındaki mesafenin değişimi	Mikrometre, pnömatik gage, deplasman transduceri (indüktif veya kapasitive) veya ultrasonik sensörlerle mesafenin ölçümü
Dolaylı Ölçüm Yöntemleri	Kesme kuvvetleri	Kesme kuvvetlerinin, takım veya takım tutucuya yerleştirilen gerilim ölçer veya piezo-elektrik sensörlerle ölçümü, kuvvet ölçme yatakları, fener milinde tork ölçümü
	Takım veya takım tutucunun titreşimi	Hız ölçer ile titreşimin ölçümü
	Ortamdaki veya parça bünyesindeki ses dalgaları	Mikrofon veya transducerlerle akustik emisyon ölçümü
	Elektrik akımı, güç veya enerji	Elektrik akımındaki değişimin ölçümü, belseme motoru veya fener milinin güç sarfiyatının ampermetre veya dinamometre ile ölçümü
	Kesme sıcaklığı	Termokupul veya pirometre vasıtasıyla, talaş yüzeyinin yansıma özelliği, talaşın rengi sıcaklık ölçümü,
	İşlenmiş yüzeyin pürüzlülüğü	Mekanik iğne ile veya optik (CCD camera, fiber optik sensör v.b.) yöntemlerle ölçme

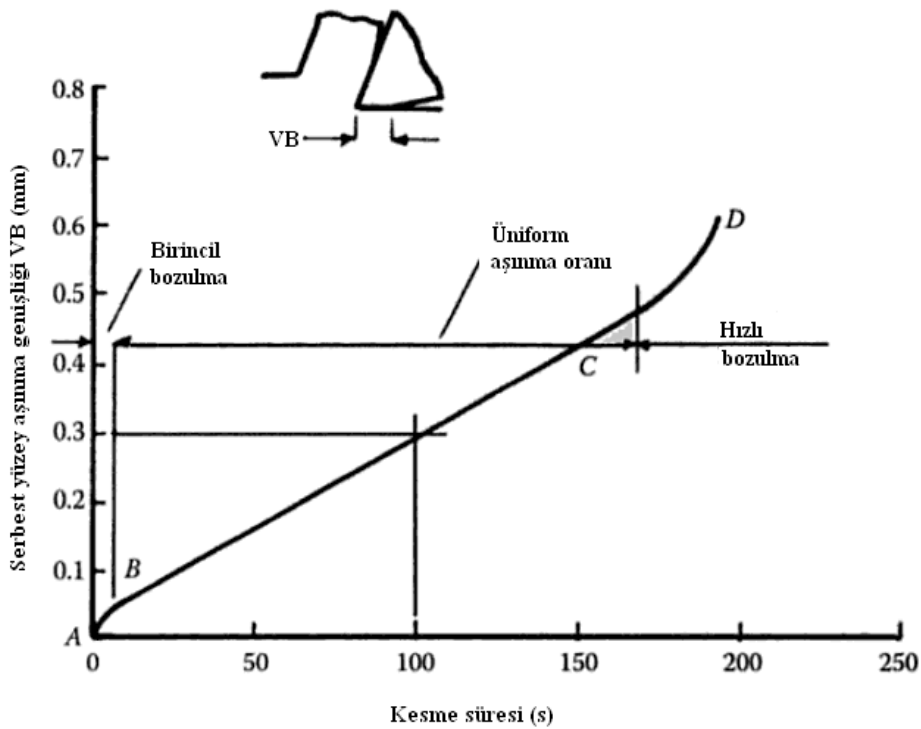
Kesin olmamakla birlikte müsaade edilen serbest yüzey için VB değerleri Tablo 5.10'da verilmektedir [1]. Talaş yüzeyi için müsaade edilen değer ise;

$$\frac{KT}{KM} \approx 0,9...0,3 \text{ arasındadır [1].} \quad (5.1)$$

Tablo 5.10. Müsaade edilen VB değerleri [1]

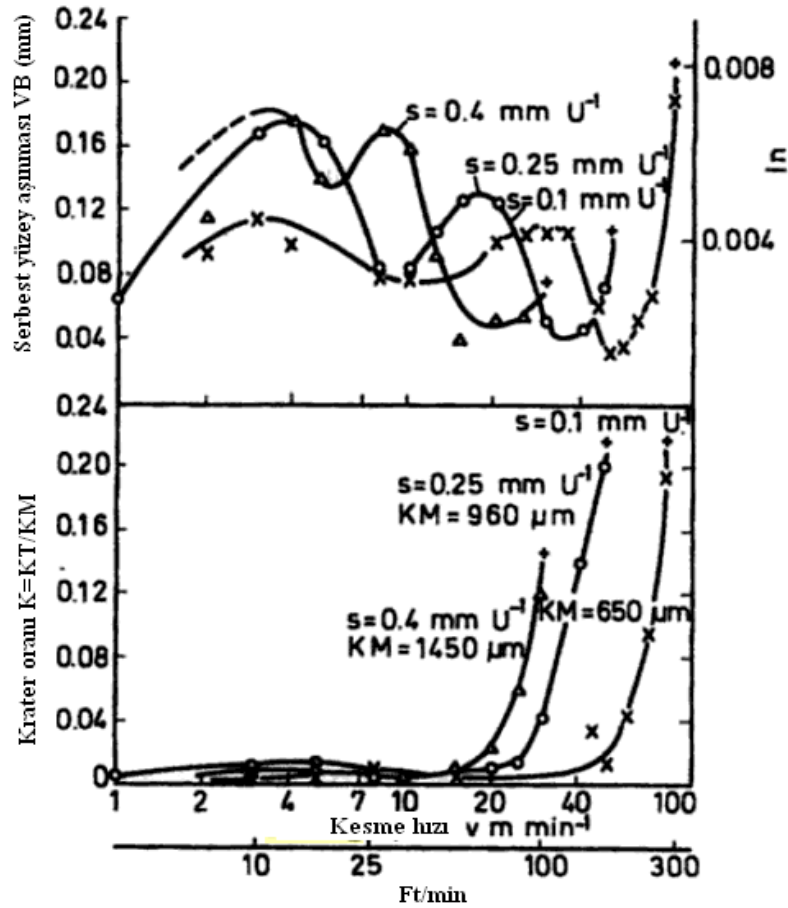
İŞLEM	VB (mm)
Çok ince tornalama	0,2
İnce tornalama	0,3...0,4
Kaba tornalama	
-Talaş kesiti orta	0,6... 0,8
-Talaş kesiti büyük	1,0... 1,5
İnce vargelleme	0,3...0,4
Kaba vargelleme	0,6... 0,8
İnce frezeleme	0,3...0,4
Kaba frezeleme	0,6... 0,8

Serbest ve talaş yüzeylerindeki aşınma, yaklaşık olarak aynı zamanda başlar. Ancak başlangıçta (birincil bozulma) hızlı olan serbest yüzeyin aşınmasında (VB), belirli bir zamandan sonra hafif yavaşlama görülürken talaş yüzeyinin aşınması (K) hemen hemen sabit hızla devam eder. İki eğrinin çakıştığı nokta, zamana göre aşınma kriterini belirler. Ancak çakışma noktasından sonra (VB)'de hızlı bir aşınma oluşur (Şekil 5.22) [1].



Şekil 5.22. Karbür takımın, 1 m/s kesme hızı için serbest yüzey (VB) aşınmasının zamanla gelişim eğrisi [97]

Şekil 5.23'te yapılan bir deneysel çalışmada krater aşınmasının kritik kesme hızına kadar düşük seyrettiği, bu hızdan sonra hızlı bir kraterleşme başladığı görülmektedir. Serbest yüzey aşınmasının ise krater aşınması gibi olmadığı birden arttığı, yine kesme hızının kritik noktasından sonra hızlı bir artış görülmektedir.

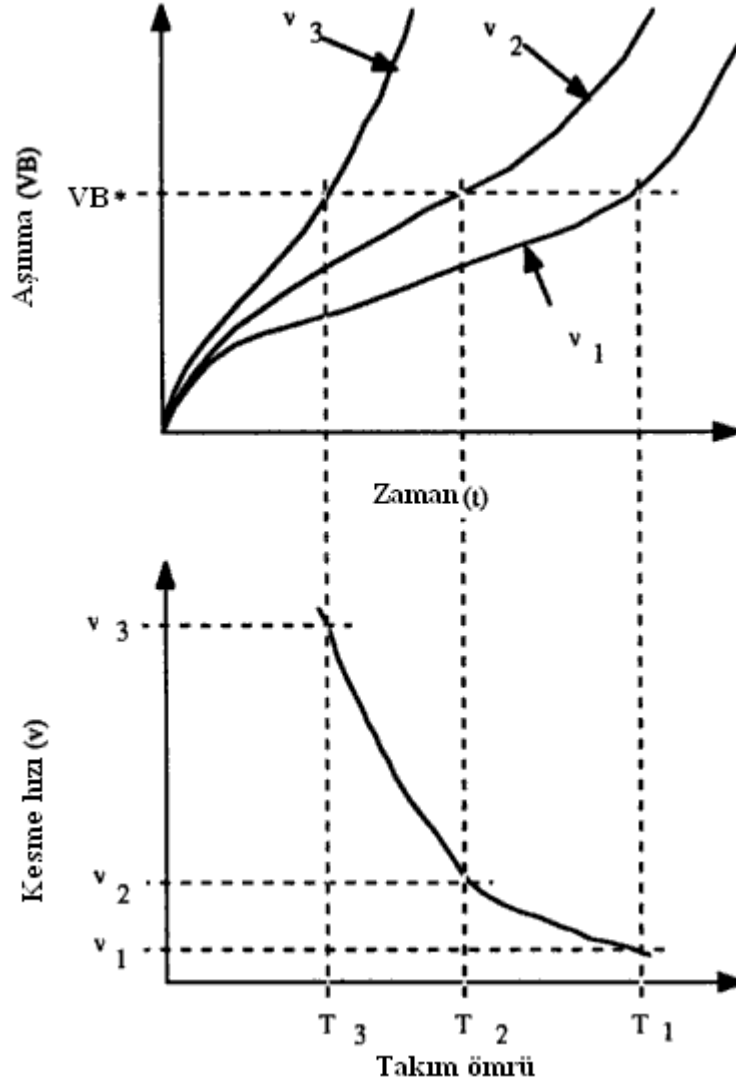


Şekil 5.23. Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak, krater ve serbest yüzey aşınması [54]
(İş parçası AISI C 1055; takım malzemesi HSS; kesme derinliği $a=2 \text{ mm}$; takım geometrisi $\alpha=8^\circ$,
 $\gamma=10^\circ$, $\lambda=4^\circ$, $\chi=90^\circ$, $\varepsilon=60^\circ$, $r=1 \text{ mm}$)

5.11.4. Takım ömrü

Takım ömrü, takımın iki bileme arasındaki çalışma zamanıdır [2]. Başka bir deyişle, takımın belirlenen parametrelere içinde kalmak koşuluyla talaş kaldırma zamanıdır [48]. Şekil 5.24'te görüldüğü gibi takım ömrü aşınma olayına bağlı olduğundan müsaade edilen VB değerine bağlıdır. Takım ömrünü etkileyen faktörler, parça ve

takım malzemesi, takım ve talaş geometrisi, kesme hızı, kesme sıvısı, ilerleme hızı, kesme (talaş) derinliğidir. Ancak bunların en önemlisi kesme hızıdır [1].



Şekil 5.24. Takım ömrünün VB aşınması ile grafiksel gelişimi [98]

Şekil 5.24'ten anlaşılacağı gibi kesme hızı arttıkça takım ömrü azalmaktadır.

Taylor tarafından yapılan deneylere göre, takım ömrü (T) ile kesme hızı (V) arasında Taylor bağıntısı (Şekil 5.25) olarak bilinen;

$$VT^n = C = \text{sabit} \quad (5.2)$$

ifadesi vardır.

Burada;

V =Kesme hızı (m/dak)

T = Ömür (dak)

n =Parça ve takım malzemesine bağlı sabite (takım malzemesi, işleme şartları, ilerleme miktarı veya talaş derinliği gibi faktörlere bağlı)

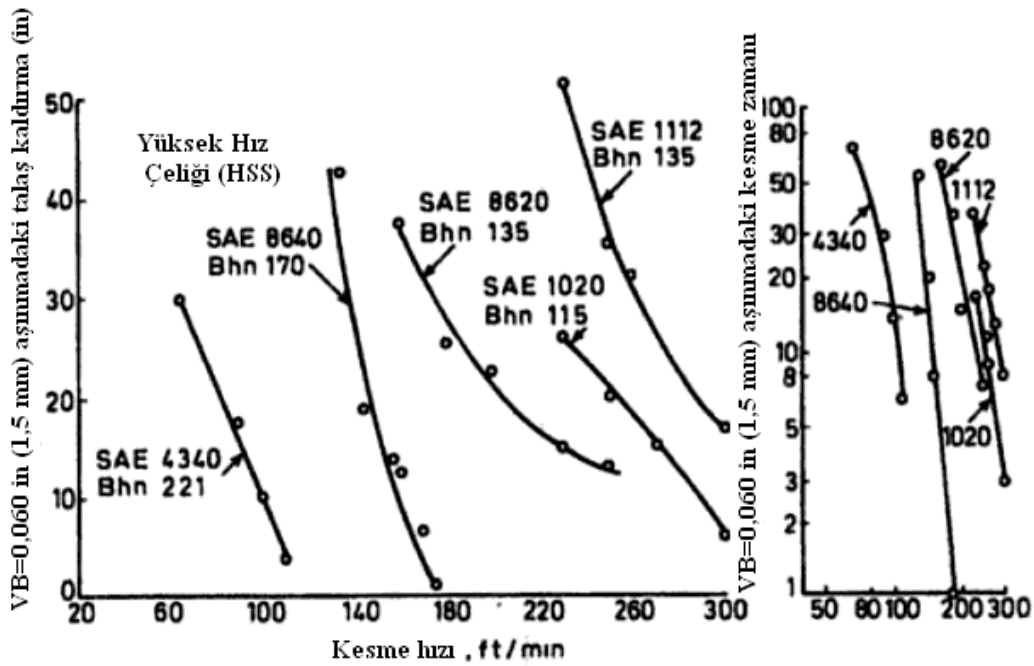
C = Taylor sabitidir.

$n=1/k$ değerine eşit alındığında,

$$TV^k = C = \text{sabit yazılabilir.} \quad (5.3)$$

Daha pratik çözüm bulmak için logaritmik ölçekteki denklem kullanılır:

$$\log T = \log C - k \log V \text{ ifadesi kullanılır.} \quad (5.4)$$



Şekil 5.25. Taylor takım ömrü eğrisi [54]

BÖLÜM 6. MALZEME VE METOT

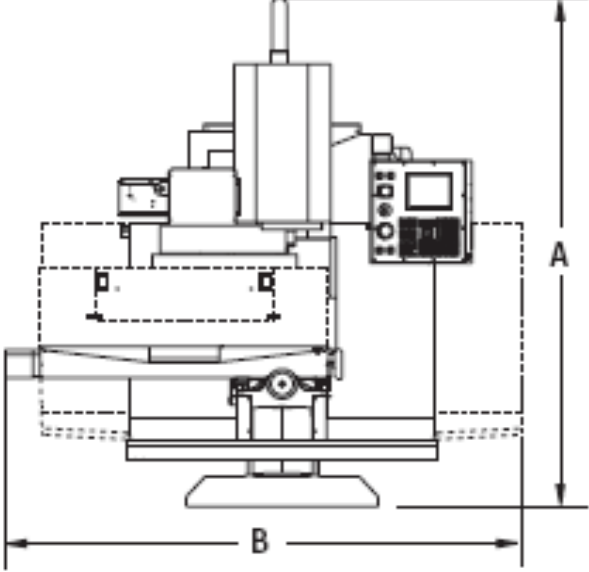
6.1. DeneYlerde Kullanılan Takım Tezgâhı

Kesme deneyleri Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Temel İşlemler Laboratuvarında bulunan HAAS TM-1 Serisi, CNC dikey işleme freze tezgahında, 1/10 oranında bor yağı-su konsantrasyonlu, 12 litre/dak debideki soğutma sıvısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tezgâha ait teknik özellikler Tablo 6.1’de, tezgâhın resmi ise Şekil 6.1’de gösterilmiştir.

Tablo 6.1. HAAS TM-1, CNC tezgahının teknik özellikleri [99, 100]

Eksen hareketleri	
X ekseni	762 mm
Y ekseni	305 mm
Z ekseni	406 mm
Tabla üstü – iş mili mesafesi (min-max)	102 - 508 mm
İş tablası	
Uzunluk	1 213 mm
Genişlik	267 mm
İş tablasının azami yük kapasitesi	454 kg, yükün dengeli bir şekilde dağıtılması şartıyla
T kanalı	
T kanalının genişliği	14 mm
T kanal sayısı	3
Merkez mesafesi	102 mm
İş mili	
Konik boyutu	40-konik
Devir sayısı	4 000 dev/dak
Tahrik sistemi	Doğrudan kayışlı tahrik
Azami tork	Dakikada 1 200 devirde 45Nm
İş milinin azami motor gücü	5.6 kW
Fırçasız eksen motorları	
Azami itme gücü	8 896 N

Tablo 6.1. (Devam) HAAS TM-1, CNC tezgahının teknik özellikleri [99, 100]

Eksen hızları (Azami boştaki hız)	
X eksen	5.1 m/min
Y eksen	5.1 m/min
Z eksen	5.1 m/min
Azami kesme ilerleme hızı	5.1 m/min
Takım değiştirici	
Takım tipi/Koniği	CT veya BT 40
Azami takım çapı	89 mm
Azami takım ağırlığı	5.4 kg
Hassasiyetler	
Pozisyonlama	±0.01 mm
Tekrarlama doğruluğu	±0.005 mm
Genel	
Üretim Yeri	USA
Makinenin ağırlığı	1 315 kg
Hava ihtiyacı	6.9 bar'da 113 litre/dak
Bağlantı gücü (asgari)	380 VAC 3 Faz
CNC kumanda	
THE HAAS CNC CONTROL	
Tezgah boyutları	
	
A. Azami çalışma yüksekliği	2 692 mm
B. Azami çalışma genişliği	2 184 mm
Max derinlik**	1 727 mm
**Kontrol ünitesi önde iken, arka servis kapağının açılabilmesi için ek olarak 914 mm boşluk gereklidir.	



Şekil 6.1. Deneysel çalışmada kullanılan takım tezgahı [100]

6.2. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

6.2.1. Deney numuneleri

Yapılan deneysel çalışmalarda iki farklı malzeme kullanılmıştır. Birincisi Nikel esaslı süper alaşımlardan çökelme sertleştirmesine tabi tutulmuş Inconel 625'tir. Inconel 625 karıncalanma korozyonuna, çatlaklara, yorulmaya karşı dirençli, yüksek sıcaklıklarda çalışmaya dayanımlı olması nedeniyle; başta havacılık ve uzay sanayisinde olmak üzere nükleer reaktörlerde, deniz endüstrisinde kullanılmaktadır [101]. Inconel 625 malzeme blok şeklinde olup boyutları uzunluk, yükseklik, genişlik olmak üzere sırasıyla 95x27x40 mm'dir. Diğeri ise tavlanmış AISI 304 paslanmaz çeliktir. Yine blok şeklinde olup boyutları 200x23x40 mm'dir.

Her iki malzemeye ait sertlik ölçümleri Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Laboratuvarlarında yapılmıştır. 500 g yük altında 4 Vickers sertlik değeri ortalaması alınarak, Inconel 625 için 312 HV, AISI 304 için 296 HV olarak

belirlenmiştir. Malzemelerin ölçülen bu sertlik değerleri ile diğer mekanik ve fiziksel özellikleri Tablo 6.2’de gösterilmektedir.

Tablo 6.2. Inconel 625 ve AISI 304’ün mekanik ve fiziksel özellikleri [101-103]

Özellikler	Inconel 625		AISI 304
	20 °C	800 °C	20°C
Sertlik (HV)	312	-	296
Çekme dayanımı (MPa)	957	843	515
Akma gerilmesi (MPa)	496	408	205
Elastiklik modülü (GPa)	207	139	193
Uzama (%)	38	45	40
Yoğunluk (g/cm ³)	8.44	-	7.93
Isıl genleşme (10 ⁻⁶ /°C)	13.5 (20 °C)	15.7 (760 °C)	17.2 (100 ⁰ C) 18.4 (500 ⁰ C)
Isıl iletkenlik (W/m °C)	9.8 (23 °C)	21.3 (600 °C)	16.2 (100 ⁰ C) 21.5 (500 ⁰ C)

Yapılan deneysel çalışmada her iki malzemenin de spektral element analizleri ticari bir firmada yaptırılmıştır. Ancak Inconel 625 malzemesinin içeriğindeki yüksek Nikel oranından dolayı, bileşiminden kesin sonuç alabilmek için ikinci olarak yaş element analizine tabi tutulmuştur. Bu elemental analiz Eskişehir 1’nci Hava İkmal Bakım Merkezi Komutanlığı, kimya laboratuvarında, Plazma Optik Emisyon Spektrometre (Inductively Coupled Plasma-Optical Emmision Spectrometry = ICP-OES) cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Inconel 625 ve AISI 304 malzemesinden alınan spektral analiz sonuçları Tablo 6.3 ve Tablo 6.4’te verilmiştir.

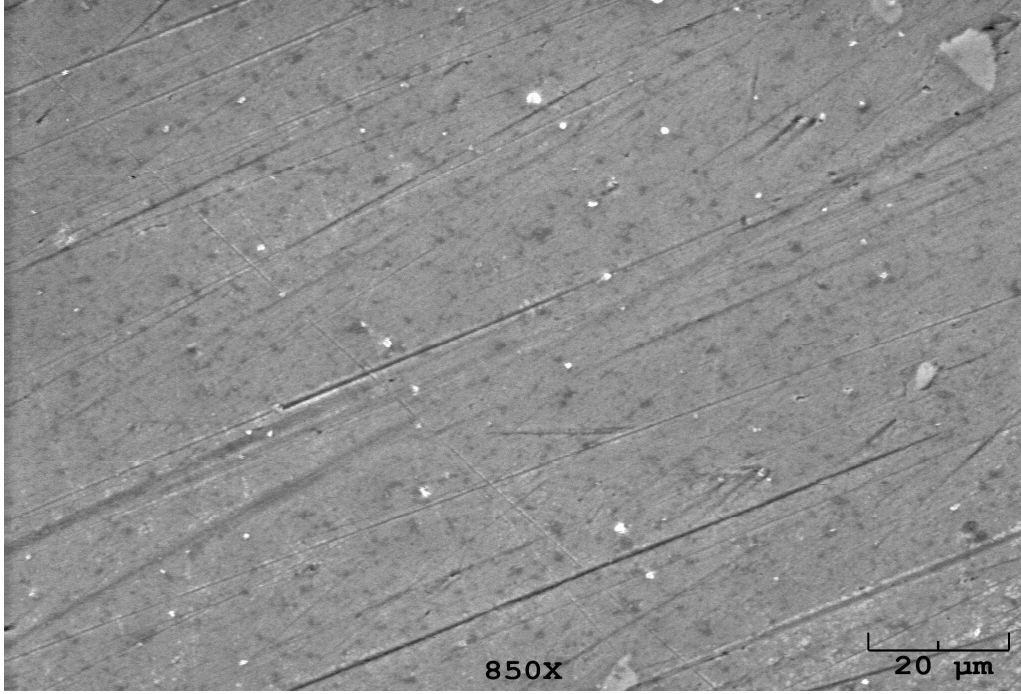
Tablo 6.3. Inconel 625’in kimyasal kompozisyonu

Inconel 625 (Ağırlık %)										
Ni	Cr	Mo	Nb	Fe	Si	Ti	Al	C	Co	Mn
>58	22.5	10.0	3.7	3.0	0.41	0.2	0.2	0.10	0.07	0.05

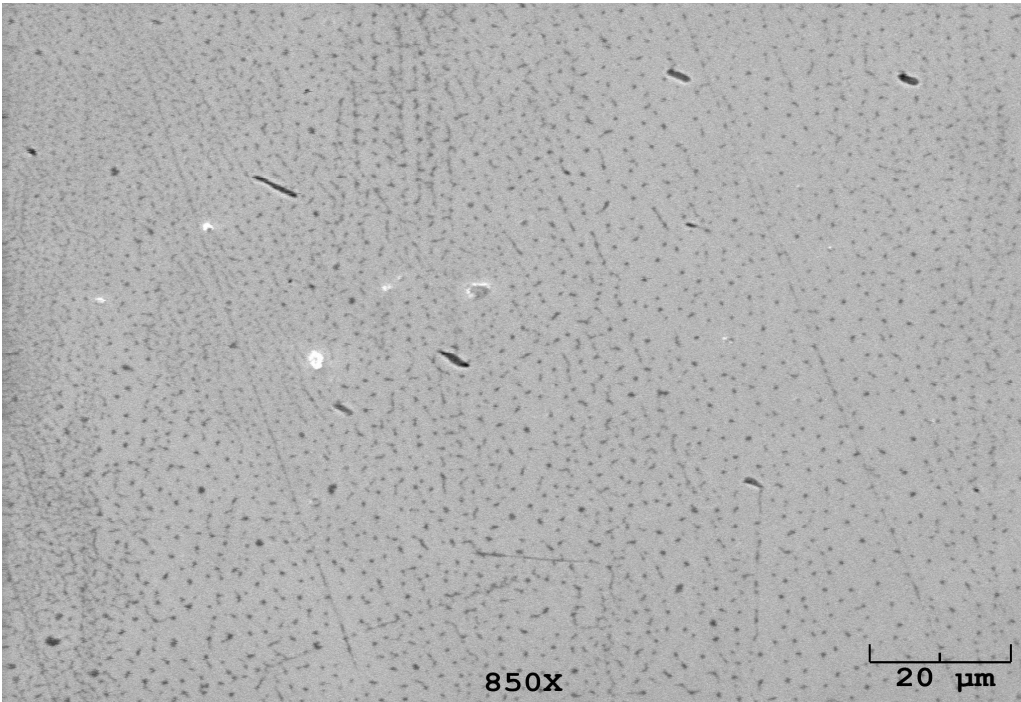
Tablo 6.4. AISI 304’ün kimyasal kompozisyonu

AISI 304 (Ağırlık %)							
Ni	Cr	Mn	Cu	Si	Mo	Co	W
8.02	18.6	1.49	0.454	0.449	0.302	0.192	0.095
C	P	Sn	S	Al	Ti	V	Fe
0.073	0.037	0.032	0.020	.0051	.0021	<.0005	< 70.2

Inconel 625 malzemenin mikro yapısına ait SEM görüntüsü Şekil 6.2’de, AISI 304 malzemenin mikro yapısına ait SEM görüntüsü ise Şekil 6.3’te görülmektedir.

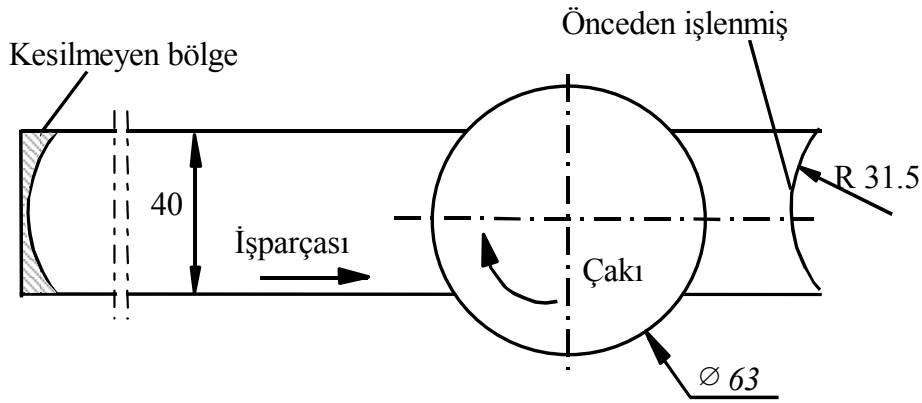


Şekil 6.2. Inconel 625’in SEM’de çekilmiş metalürjik yapısı (850X)



Şekil 6.3. AISI 304’ün SEM’de çekilmiş metalürjik yapısı (850X)

Test öncesi her iki malzeme yüzeyinden yaklaşık 3 mm derinliğinde talaş kaldırılmıştır. Kesme başlangıç ve bitiş bölgelerinde çakı giriş ve çıkış açılarını sabit tutmak amacıyla, malzemenin giriş kısmı önceden çakı yarıçapına uygun olarak işlenmiştir. Şekil 6.4'te görüldüğü üzere, yine bu amaçla malzemenin bitiş kısmı da kademeli olarak bırakılarak, sonuna kadar işlenmemiştir. İş parçası mekanik olarak tezgâha bağlanmıştır.



Şekil 6.4. Freze çakısı ile iş parçasının konumu ve iş parçası uç kısımlarının geometrisi

6.2.2. Kullanılan kesici takımlar ve özellikleri

Bu çalışmada Nikel esaslı alaşımları kesebilen, kesici takım firmalarının tavsiye ettiği kesici takımlar tercih edilmiştir. Tamamı SANDVİK firmasından alınmıştır. Aynı kesici takımlar AISI 304 paslanmaz çeliğin kesilmesi testinde de kullanılmıştır. Kesici uçların hepsi aynı geometrik özelliklere sahip olup ISO kodu SEKN 1204 olarak belirtilmiştir (Şekil 6.5). Tablo 6.5'te görüldüğü gibi 2 PVD, 3 CVD kaplamalı olmak üzere 5 farklı kaplamalı sementit karbür takım kullanılmıştır. Kesici takımların yaklaşma açısı 45° , aksenal talaş açısı 20° ve radyal talaş açısı ise -8° dir. Şekil 6.6'da Coromill (Sandvik Coromant) için genel kod anahtarı, Tablo 6.6'da kesici takım geometrisi ve ölçüleri gösterilmektedir.



Şekil 6.5. Kaplamalı sementit karbür kesici takımlar [76]

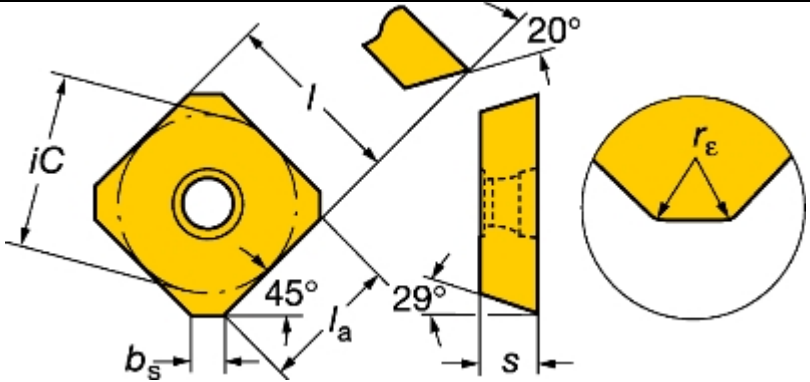
Tablo 6.5. Kullanılan kesici takımlar ve kaplama malzemeleri [76]

SANDVİK KODU	KAPLAMA YÖNTEMİ	KAPLAMA MALZEMESİ
R245-12 T3 M-PM 1030	PVD	TiAlN
R245-12 T3 K-MM 2030	PVD	TiAlN+TiN
R245-12 T3 K-MM 2040	CVD	TiCN+Al ₂ O ₃ +TiN
R245-12 T3 M-KM 3040	CVD	TiCN+Al ₂ O ₃
R245-12 T3 M-PM 4240	CVD	TiCN+Al ₂ O ₃ + serbest yüzeyde ayrıca TiN

R	390	-	11	T3	12	M	-	P	L	W
1	2		3	4	5	6		7	8	9
1 Kesici uç kesme yönü R = Sağ kesme yönü L = Sol kesme yönü		2 Ana kod Örn.: 39 CoroMill® 390			3 Kesici uç genişliği Örn.: 11=11 mm (.669 inç)					
4 Kesici uç kalınlığı, s Örn.: T3 s = 3.97 04 s = 4.76 06 s = 6.33		5 Köşe radyüsü Örn.: 12 = 1.2 mm			6 Kenar performansı M = Maksimum kenar emniyeti E = Yüksek keskinlik ve hassasiyet H = Yüksek kenar keskinliği ve yüksek hassasiyet					
7 Ana ISO uygulama alanı P M K N S H				8 Operasyon L = Hafif M = Orta talaş işlemleri H = Kaba T = Torna-frezelama			9 Wiper (silici) W = Wiper (silici)			

Şekil 6.6. Coromill kesici uçları için genel kod anahtarı [76]

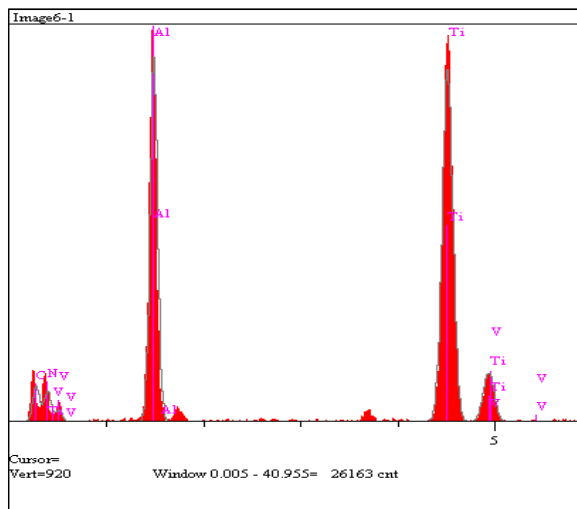
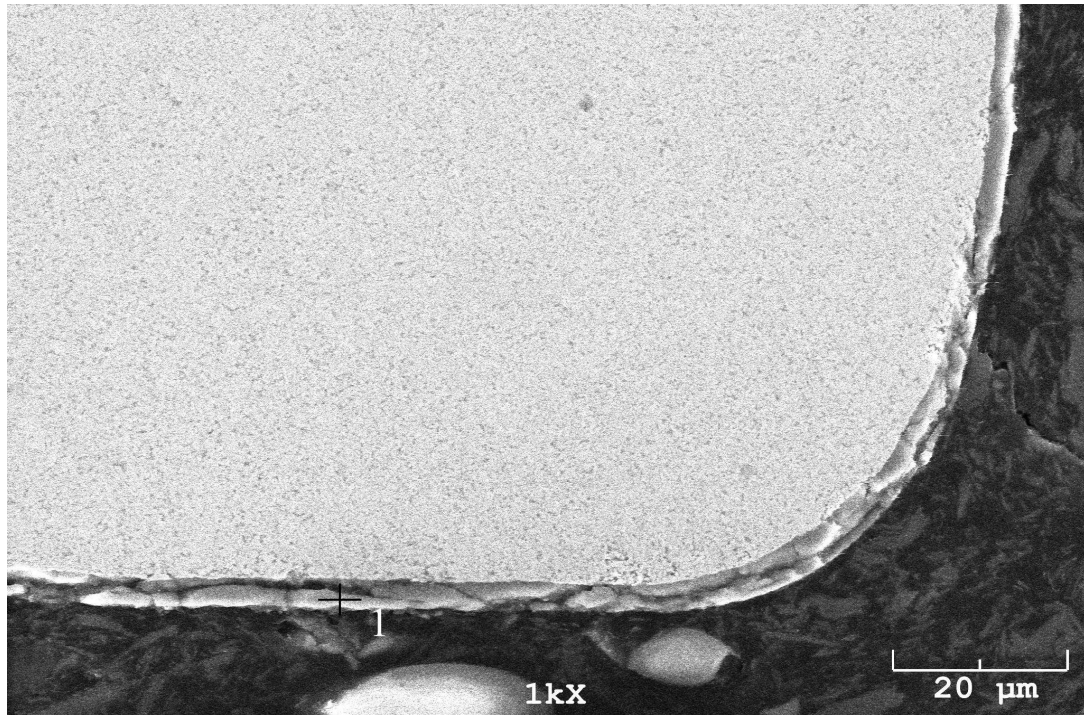
Tablo 6.6. Kullanılan kesici takımların ölçüleri [76]



	PVD-TiAlN	PVD-TiAlN+TiN	CVD-TiCN+Al ₂ O ₃ +TiN	CVD-TiCN+Al ₂ O ₃	CVD-TiCN+Al ₂ O ₃ +(TiN)
Parametre	Değer (mm)	Değer (mm)	Değer (mm)	Değer (mm)	Değer (mm)
Takım genişliği	12	12	12	12	12
iC	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4
s	3.96875	3.96875	3.96875	3.96875	3.96875
bs	2	2	2	1.47	2
la	10	10	10	10	10
re	1.5	1.5	1.5	1.7	1.5

6.2.2.1. PVD-TiAlN kaplamalı takım

PVD kaplamalı, P sınıfı bronz renkli olan bu takım Nikel esaslı süper alaşımların ve paslanmaz çelik malzemelerin işlenmesine uygundur. Takım, aşınmaya karşı dirençli ve tok bir altlık malzeme üzerine, çok katmanlı olarak kaplanmıştır [55]. Kaplama düzeni; alt katman WC, üst tabaka TiAlN'dir. Kaplama toplam kalınlığı 3 μm 'dir. Bu kesici takıma ait SEM görüntüsü ve EDS analizi Şekil 6.7'de gösterilmiştir.

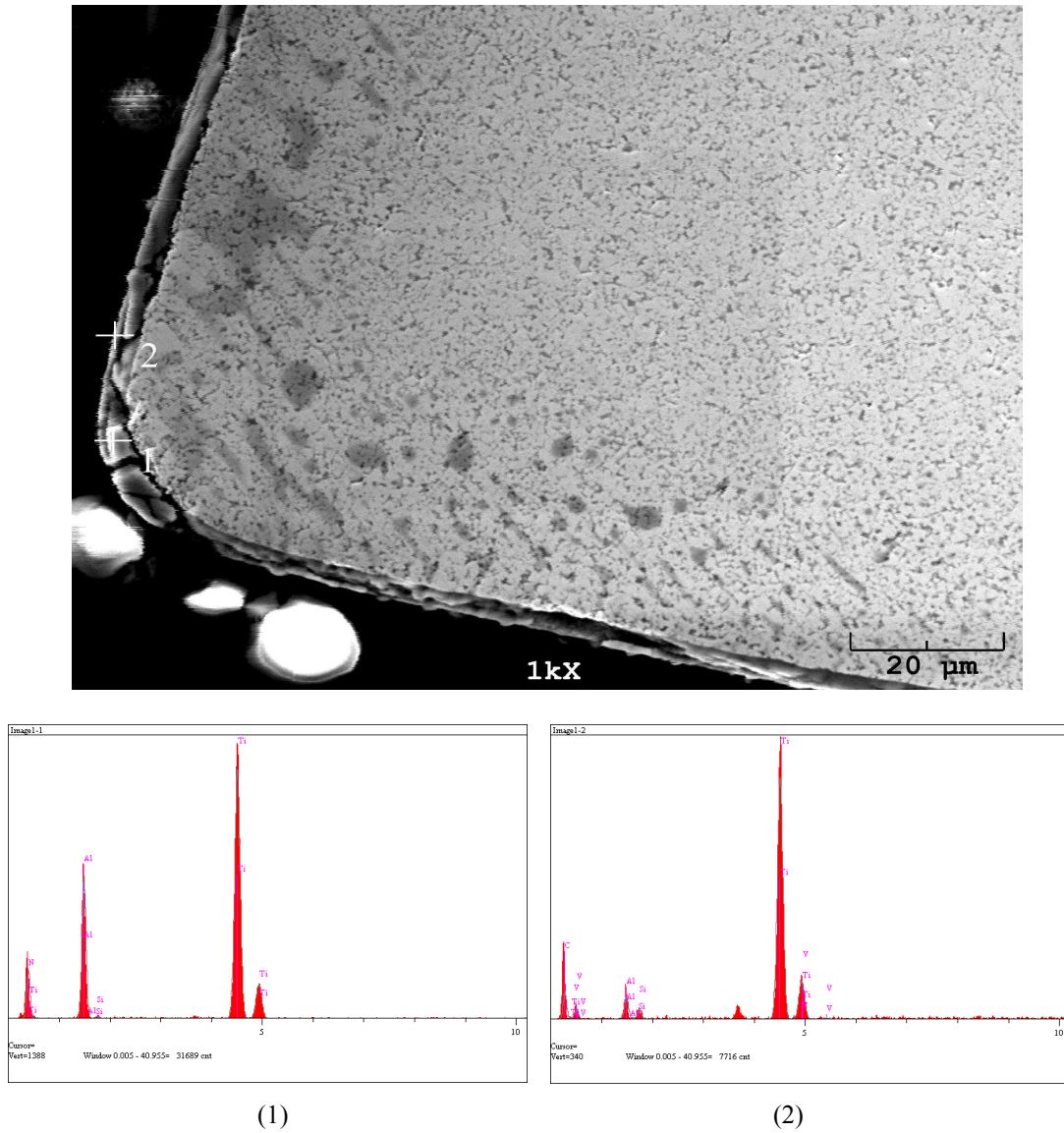


Elm.	L.	Şiddet (c/s)	Hata 2-sig	Komp.	Birim
C	Ka	74.95	5.475	15.694	ağr.%
N	Ka	59.32	4.871	16.160	ağr.%
Al	Ka	833.02	18.253	25.186	ağr.%
Ti	Ka	1,117.04	21.137	42.853	ağr.%
V	Ka	2.52	1.004	0.107	ağr.%
				100.00	ağr.%

Şekil 6.7. PVD-TiAlN kaplamalı kesici takımın SEM görüntüsü (1000X) ve EDS analizi

6.2.2.2. PVD-TiAlN + TiN kaplamalı takım

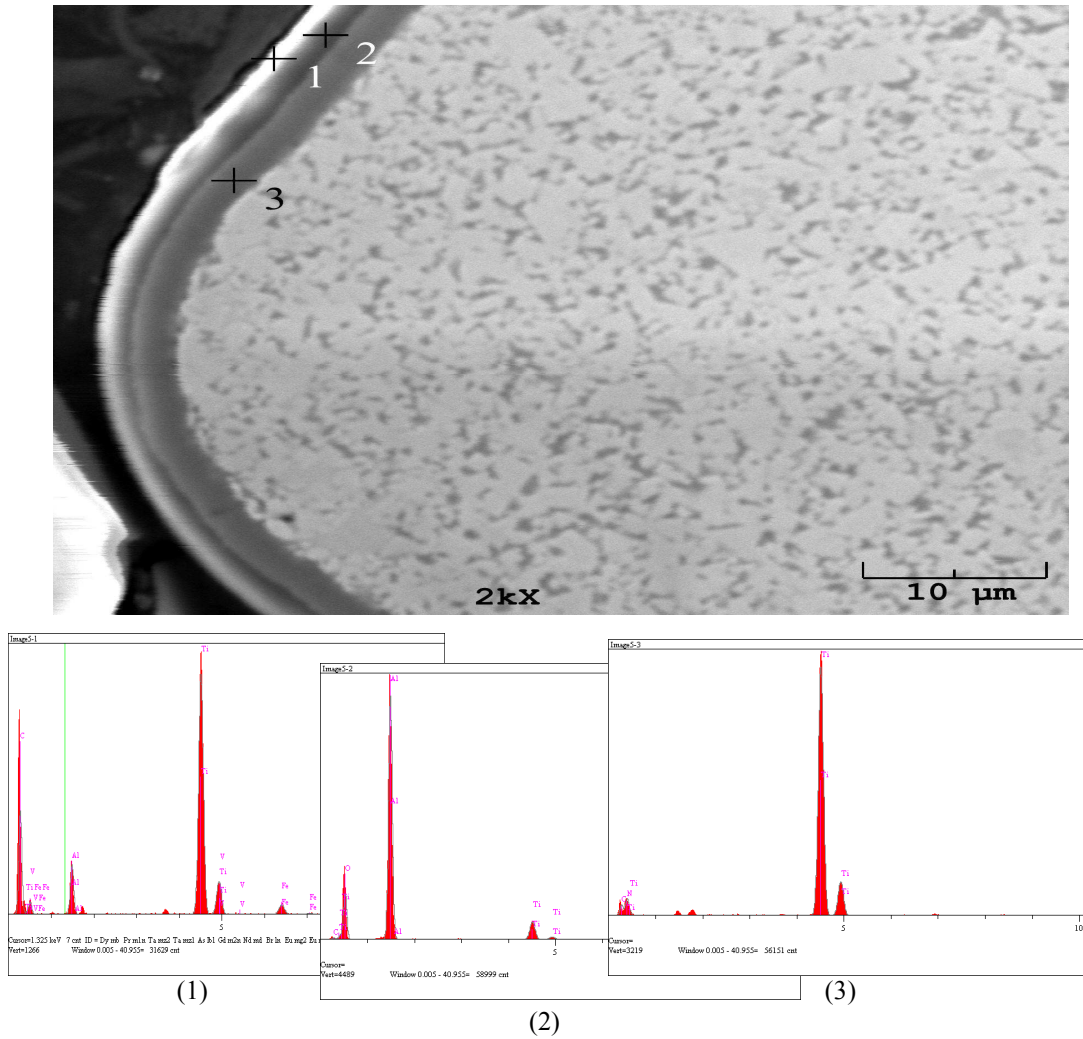
PVD kaplamalı, M sınıfı bu takım orta-yüksek kesme hızlarında östenitik paslanmaz çeliklerin frezelenmesi için üretilmiştir. Pozitif geometri seçildiğinde ısıl dirençli malzemeler ve süper alaşımlar için de uygundur. İşleme şartlarının zor olduğu sert malzemelerin işlenmesinde, sertlik ve tokluğun dengelendiği bir kombinasyona sahiptir. Talaş yığılmasına meyilli düşük karbonlu çeliklerin frezeleme işlemleri için de uygundur [55]. Kaplama düzeni; altlık olarak WC, üstüne TiAlN 3 μm , en üst tabakada ise TiN 1 μm olmak üzere toplam kaplama kalınlığı 4 μm 'dur. Bu kesici takıma ait SEM görüntüsü ve EDS analizleri Şekil 6.8'de gösterilmiştir.



Şekil 6.8. PVD- TiAlN + TiN kaplamalı kesici takımın SEM görüntüsü (1000X) ve EDS analizleri

6.2.2.3. CVD-TiCN+Al₂O₃+TiN kaplamalı takım

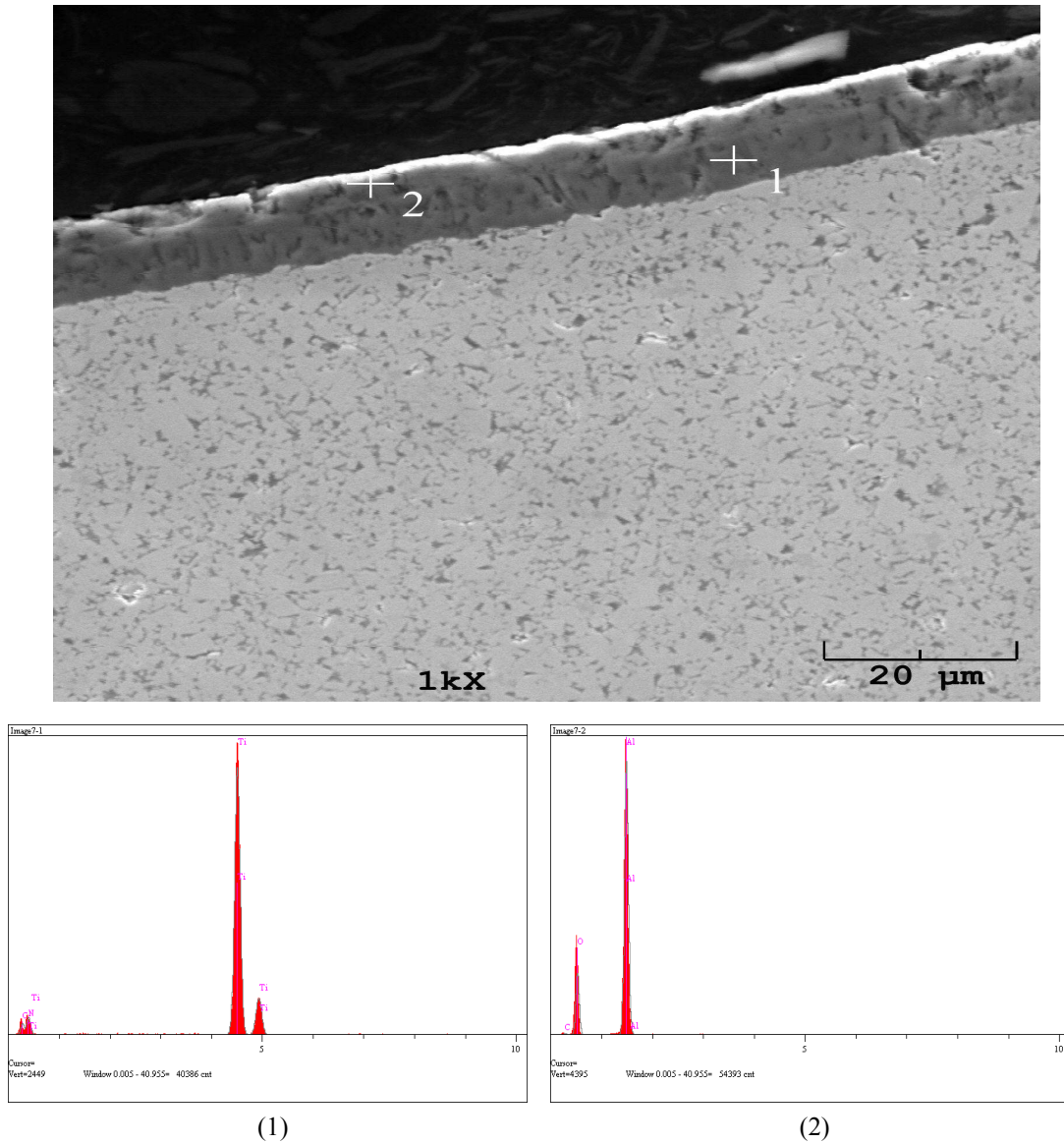
Paslanmaz çeliklerin orta kesme hızlarında frezelenmesinde, dökme ısıl dirençli alaşımların frezelenmesi işlemlerinde kullanılan CVD kaplamalı, M sınıfı takımıdır. Düşük hızlarda keskin kesme kenarları ve tok bir kalitenin birleşiminin gerekli olduğu zamanlarda çeliklerin frezelenmesinde, karma alaşımlı malzemelerin küçük parti üretimlerinde de yararlı bir takımıdır [55]. Altlık olan WC üzerine ilk olarak abrasiv aşınmaya dirençli TiCN katmanı kaplanmıştır. Yüksek sıcaklıklara karşı takımın korunması için geliştirilen Al₂O₃ katmanı takip eder. En üst katman olarak yine TiN kaplanmıştır. Kaplama toplam kalınlığı 4 µm'dir. Bu kesici takıma ait SEM görüntüsü ve EDS element analizleri Şekil 6.9'da gösterilmiştir.



Şekil 6.9. CVD-TiCN+Al₂O₃+TiN kaplamalı kesici takımın SEM görüntüsü (2000X) ve EDS analizleri

6.2.2.4. CVD-TiCN+Al₂O₃ kaplamalı takım

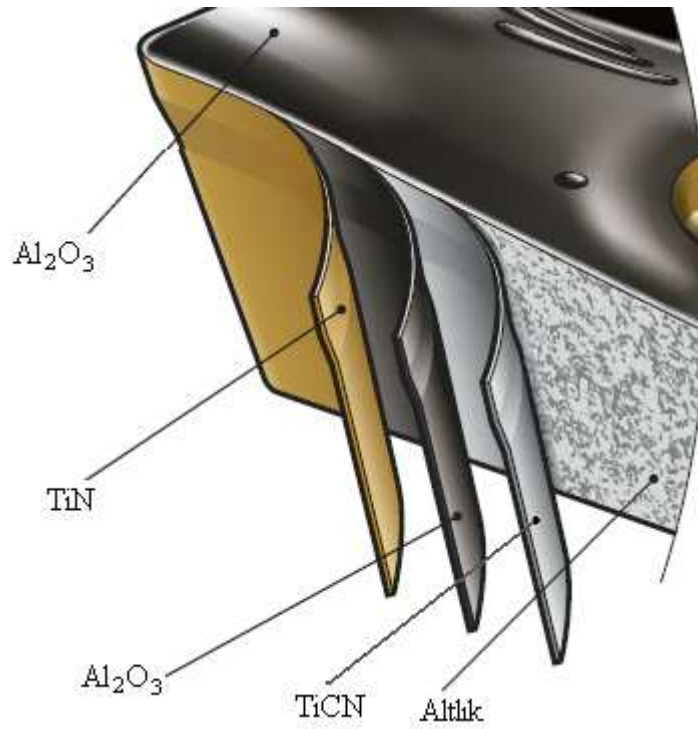
Tokluk gerektiren dökme demirlerin frezeleme işlemlerinde veya sulu işleme koşullarında tercih edilebilen, CVD kaplamalı, K sınıfı karbür kalitedir. Aynı zamanda düşük-orta kesme hızlarında çeliklerin işlenmesinde kullanılabilir. Sertlik ile tokluğun dengelendiği bir kombinasyona sahiptir [55]. Altlık olan WC üzerine ilk olarak abrasiv aşınmaya dirençli TiCN katmanı kaplanmıştır. Yüksek sıcaklıklara karşı takımı koruması için geliştirilen Al₂O₃ katmanı takip eder. Toplam kaplama kalınlığı 9 µm'dir. Bu kesici takıma ait SEM görüntüsü ve EDS element analizleri Şekil 6.10'da gösterilmiştir.



Şekil 6.10. CVD- TiCN + Al₂O₃ kaplamalı kesici takımın SEM görüntüsü (1000X) ve EDS analizleri

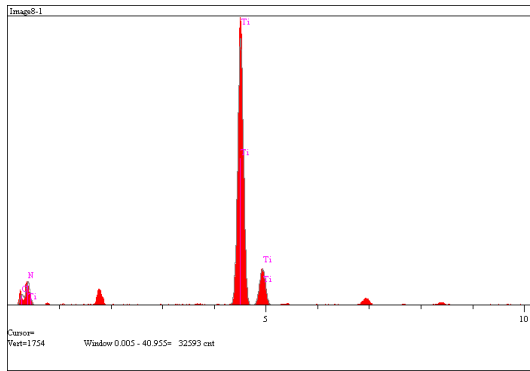
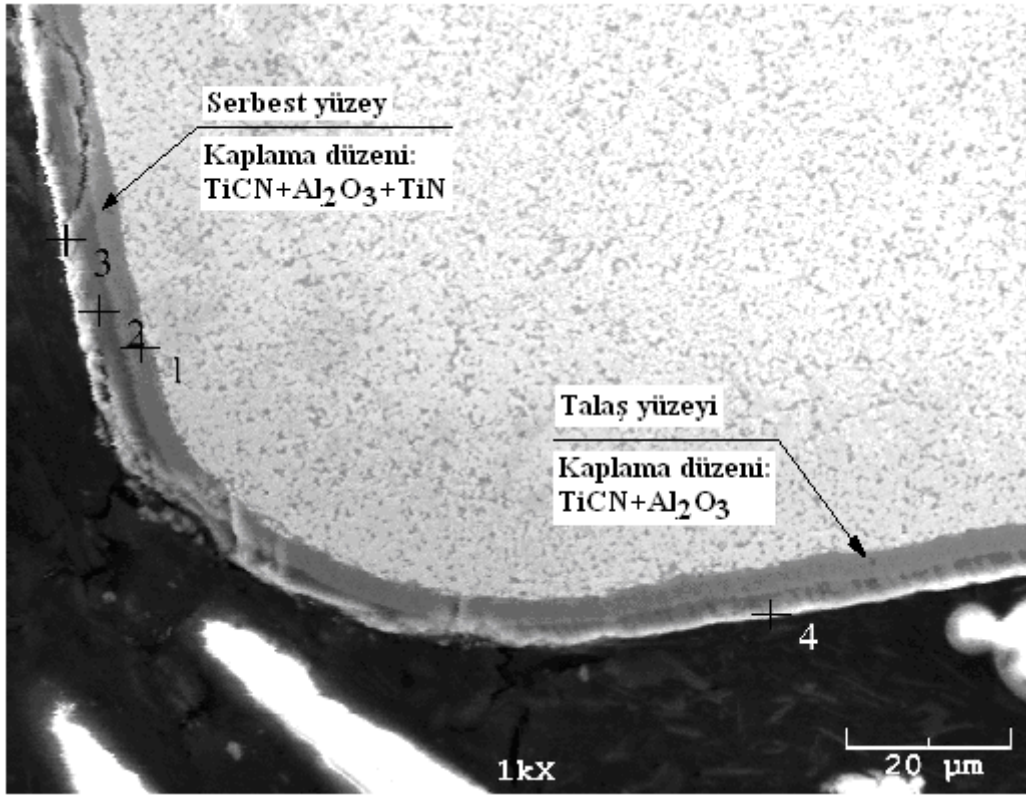
6.2.2.5. CVD-TiCN+Al₂O₃+ (TiN) kaplamalı takım

Bu takım, PVD kenar dayanımına yaklaşan, yeni geliştirilen CVD kaplama yöntemiyle orta sıcaklıkta (880-1000 °C) kaplanmış, P sınıfı karbür takımdır. Küçük-büyük taneli, kobalt bakımından zengin, kırılmaya karşı dayanıklı altlık malzemeye sahiptir. Bu katman difüzyonu engelleyen bir perde görevi görür, kimyasal aşınmayı minimuma indirir. Al₂O₃ aynı zamanda, malzeme yapışma riskinin çok olduğu talaş yüzeyindeki yapışmayı önler [55, 76]. Serbest yüzeye en üst katman olarak TiN kaplanarak, alttaki Al₂O₃ de etkisiyle serbest yüzeydeki aşınma kontrolü kolaylaşır. Yüksek kesme hızı, büyük ilerleme oranı ve uzun takım ömrü sağlar (Şekil 6.11).

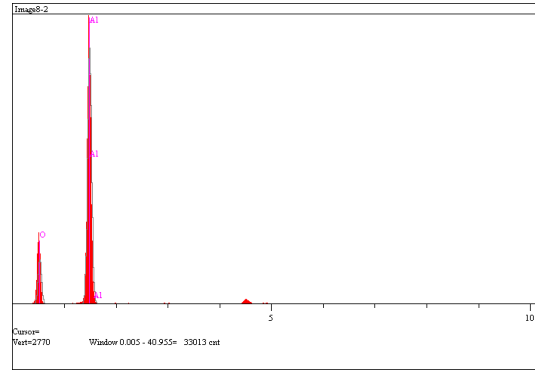


Şekil 6.11. CVD- TiCN + Al₂O₃ + (TiN) kaplamalı kesici takım [76]

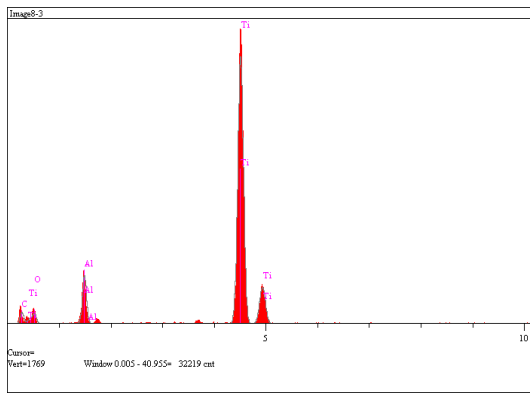
WC altlık malzeme üzerine 3 µm kalınlığında TiCN, onun üzerine 3 µm kalınlığında Al₂O₃ ve sadece serbest yüzeye en üstte 1 µm kalınlığında TiN katmanı kaplanmıştır. Talaş yüzeyinde toplam kaplama kalınlığı 6 µm, serbest yüzeyde ise 7 µm olmaktadır. Kaplama düzeni ve katmanlarının SEM görüntüsü ve EDS element analizleri Şekil 6.12’de gösterilmiştir.



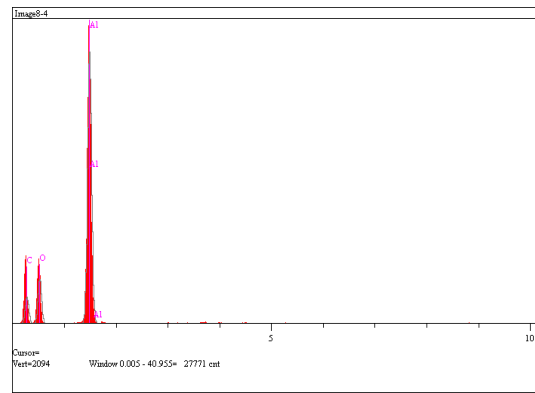
(1)



(2)



(3)



(4)

Şekil 6.12. CVD-TiCN+Al₂O₃+serbest yüzeyde TiN kaplamalı kesici takımın SEM görüntüsü (1000X) ve EDS analizleri

6.2.3. Deneylerde kullanılan kesici takım tutucu

Sementit karbür takımlar için aşağıda resmi ve özellikleri verilen R245-063Q22-12H kodlu SANDVIK kesici takım tutucu (Şekil 6.13), (Tablo 6.7) kullanılmıştır. Çakı, ISO 8688-1 standardına [104] uygun olarak iş parçası üzerinde aksel olarak ortalanmış, her yeni test öncesinde uygunluğu kontrol edilmiştir (Bkz. Şekil 6.2). Kesici takım çakıya bağlanırken; bağlantı vidasına özel sıvısı (Molykote 1000) sürülerek, kesici uç bağlamak için gerekli torku sağlayacak şekilde kalibre edilen özel tork tornavidası [55] kullanılarak rijit olarak bağlanmıştır.



Şekil 6.13. Deneylerde kullanılan freze takım tutucusu [76]

Tablo 6.7. Kullanılan kesici takım tutucusu ölçüleri ve özellikleri [76]

Parametre	Değer	Parametre	Değer	Parametre	Değer
Ağırlık	0.8487 g	Dc	63 mm	Eksenel talaş açısı	20°
Zn	6 ağız	Dc ₂	75.5 mm	Radyal talaş açısı	-8°
Max rpm	14400	dm _m	22 mm	Yaklaşma açısı	45°
l ₁	40 mm	Takım geniş.	12 mm		

6.3. Kesme Parametrelerinin Tayini

Kesme parametreleri kesici takım üreticisi kataloğundaki [55] değer aralıkları ve bugüne kadar yapılan ulusal ve uluslararası yayınlar [7-13, 17, 18, 25] referans alınarak, TSE-ISO 8688-1 frezeleme testine [104] ve ömür deneylerine [5, 69] uygun olarak belirlenmiştir. Her iki malzemede, tüm kesici uçlar için, talaş derinliği $a=1$ mm, kesme uzunluğu $x=2$ mm olarak seçilmiştir. Kesme hızları ve ilerleme hızları değişken olarak seçilmiştir. Kesme hızları; Inconel 625 Nikel esaslı süper alaşım için 25, 40 ve 60 m/ dak, AISI 304 paslanmaz çelik için ise 130, 190 ve 260 m/dak olarak belirlenmiştir. Deneylerde her iki malzeme için 0.08, 0.12 ve 0.16 mm/diş olmak üzere 3 farklı ilerleme ortak kullanılmıştır. Seçilen bu kesme parametreleri Tablo 6.8'de verilmiştir.

Tablo 6.8. İşleme deneylerinde kullanılan kesme parametreleri

Inconel 625 malzemesi için					AISI 304 malzemesi için				
Deney No	V_c (m/dak)	f_z (mm/diş)	a (mm)	x (mm)	Deney No	V_c (m/dak)	f_z (mm/diş)	a (mm)	x (mm)
1	25	0.08	1	2	1	130	0.08	1	2
2		0.12			2		0.12		
3		0.16			3		0.16		
4	40	0.08	1	2	4	190	0.08	1	2
5		0.12			5		0.12		
6		0.16			6		0.16		
7	60	0.08	1	2	7	260	0.08	1	2
8		0.12			8		0.12		
9		0.16			9		0.16		

6.4. Deney Yöntemi

Kesme parametreleri Tablo 6.8'de gösterildiği gibi 5 ayrı takım malzemesi için kullanılmış; böylece 45 adet Inconel 625 için, 45 adet AISI 304 için olmak üzere toplam 90 ayrı test tasarımı yapılarak uygulanmıştır.

CNC tezgâh için gerekli olan;

$$\text{Devir sayısı (n)} \left[n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_c} \right] \text{ formülünden,} \quad (6.1)$$

$$\text{Tabla ilerlemesi (ilerleme hızı) (F) ise } [F(V_f) = F_z \cdot Z_n \cdot n] \text{ formülünden} \quad (6.2)$$

kesme parametrelerine göre hesaplanmıştır. Burada;

V_c = Kesme hızı (m/dak)

n = Devir sayısı (dev/dak)

D_c = Freze çapı (mm)

$F(V_f)$ = Tabla ilerlemesi (mm/dak)

f_z = Diş başına ilerleme (mm/diş)

Z_n = Toplam kesici sayısı (adet)

olmaktadır.

Tablo 6.9.'daki hesaplamalara uygun olarak CNC parça programı yapılarak tezgah her yeni test öncesi hazırlanmıştır.

$$\text{Tablo 6.9.'da } \left[t = \frac{60}{n} \cdot \frac{x}{f_z} \right] \quad (6.3)$$

formülünden hesaplanan işleme zamanları (t) görülmektedir. Buna göre;

Inconel 625'te t_{\max} = 11.75 s ve t_{\min} = 2.47 s olurken,

AISI 304'te t_{\max} = 2.25 s, t_{\min} = 0.57 s olarak hesaplanan kısa süreli işlemler yapılmıştır.

Her test sonrasında kullanılan kesici uç kesme hızı ve ilerleme değerlerine göre sistemli bir şekilde numaralandırılarak kutusuna konulmuştur. Ayrıca çıkan talaşlar bir kaba toplanmış ve küçük poşetlere konularak numaralandırılmıştır.

İş parçası malzemeleri ve kesici takım numuneleri incelenmek amacıyla Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metalürji Laboratuvarında hazırlanmıştır.

Optik mikroskop çalışmaları Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Mikroyapı İnceleme Laboratuvarında NİKON Eclipse L150A ile yapılmıştır. Optik mikroskopta tüm kesme parametrelerine ait görüntüler 50 kez büyütülerek alınmış, ön analizler yapılmıştır.

Tablo 6.9. Kesme parametrelerine göre hesaplanan devir sayısı (n), ilerleme hızı (F), işleme zamanı (t)

Inconel 625 malzemesi için					
Deneysel No	V_c (m/dak)	f_z (mm/diş)	n (dev/dak)	F (mm/dak)	t (s)
1	25	0.08	126	10.08	11.75
2		0.12	126	15.12	7.83
3		0.16	126	20.16	5.87
4	40	0.08	202	16.16	7.43
5		0.12	202	24.24	4.99
6		0.16	202	32.32	3.75
7	60	0.08	303	24.24	4.95
8		0.12	303	36.36	3.33
9		0.16	303	48.48	2.47
AISI 304 malzemesi için					
Deneysel No	V_c (m/dak)	f_z (mm/diş)	n (dev/dak)	F (mm/dak)	t (s)
1	130	0.08	657	52.56	2.25
2		0.12	657	78.84	1.49
3		0.16	657	105.12	1.12
4	190	0.08	960	76.8	1.56
5		0.12	960	115.2	1.04
6		0.16	960	153.6	0.78
7	260	0.08	1314	105.12	1.15
8		0.12	1314	157.68	0.76
9		0.16	1314	210.24	0.57

Excel programında işleme malzemesi, takım kaplama malzemesi, kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak aşınma grafikleri oluşturulmuştur. Serbest yüzeydeki (flank) aşınma bandı esas alınmıştır.

Kesici takım ve iş parçası malzemelerinin SEM (Scanning Electron Microscope) görüntüleri ile EDS (Electron Dispersion Spectrometry) element analiz grafikleri Sakarya Üniversitesi, Malzeme Mühendisliği Laboratuvarında JSM-6060LU taramalı elektron mikroskobu ile alınmıştır.

SEM görüntüleri ve EDS analizleri için, Inconel 625 malzemesinde en tipik aşınma örneklerinin görülebileceği düşük ve yüksek kesme parametreleri olarak tespit edilen;

$V=25$ m/dak $fz=0.08$ mm/diş,

$V=25$ m/dak $fz=0.16$ mm/diş,

$V=60$ m/dak $fz=0.08$ mm/diş,

AISI 304 malzemesinde en tipik aşınma örneklerinin görülebileceği düşük ve yüksek kesme parametreleri olarak tespit edilen;

$V=130$ m/dak $fz=0.08$ mm/diş,

$V=130$ m/dak $fz=0.16$ mm/diş,

$V=260$ m/dak $fz=0.08$ mm/diş seçilmiştir.

Ayrıca talaş kaldırma işlemi sırasında belirlenen talaşların, SEM görüntüleri alınmış, EDS analizleri yapılmıştır.

Optik mikroskop ve SEM görüntüleri ve EDS analizlerinden yararlanılarak takımların erken aşınma davranışları belirlenmeye çalışılmış, literatürde yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmış ve değerlendirme yapılmıştır. Farklı takımların kullanımı ile aşınma verileri karşılaştırılarak en uygun kesme parametreleri tespit edilmiş ve bunlar “Deneysel Sonuçlar ve Değerlendirme” bölümünde ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

BÖLÜM 7. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

7.1. Nikel Esaslı Alaşımın İşlenmesinden Elde Edilen Deney Sonuçları ve Değerlendirmesi

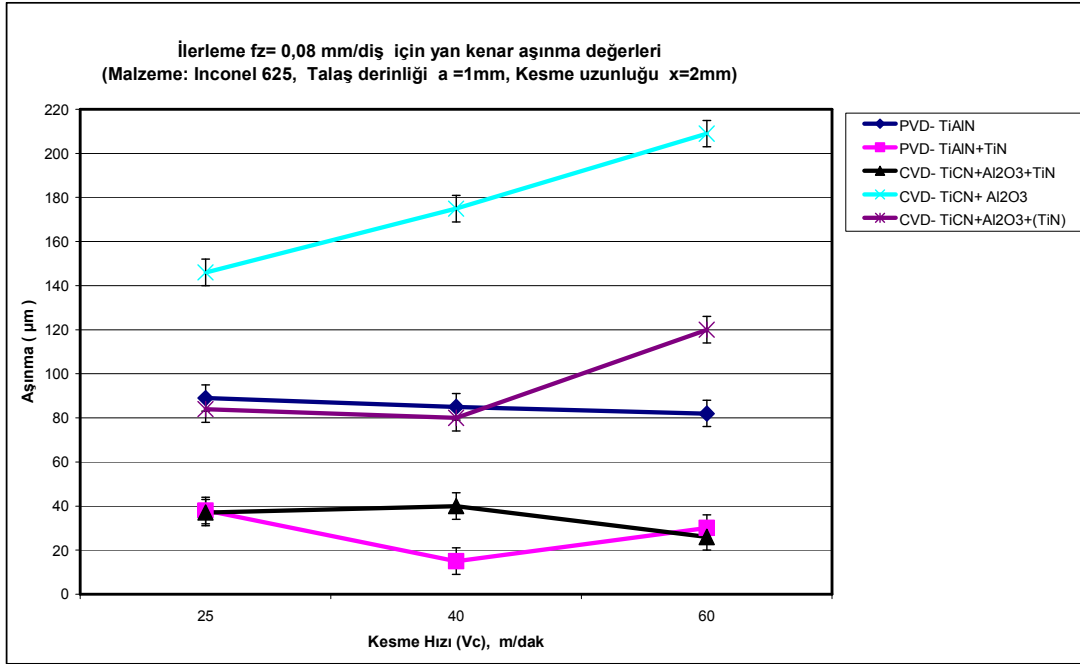
Inconel 625 malzemesi, erken aşınma davranışlarının tespiti için 5 farklı kalitede kaplamalı kesici uç kullanılarak frezede işlenmiştir. Deney sonrasında optik mikroskopta ve SEM’de görüntüleri alınmış, EDS analizleri yapılmıştır. Yan serbest yüzeydeki, VB aşınma miktarı “aşınma ölçütü” (kriter) olarak kabul edilmiştir. Literatürde takım ömrü deneylerinde aşınma kriteri olarak $VB_{max} = 0.20$ ile 0.50 mm kabul edilir. Bu değere ulaşan takımların aşınmaları hızla artmaktadır [20, 23]. Ancak yapılan deneysel çalışmadaki işleme süreleri çok kısa tutulup, erken aşınma davranışları tespit edildiğinden bu değere ulaşılmamıştır. Ölçüm sonuçları tablolar halinde düzenlenerek grafiklere dönüştürülmüştür.

7.1.1. Kesme ve ilerleme hızlarının erken takım aşınmasına etkileri

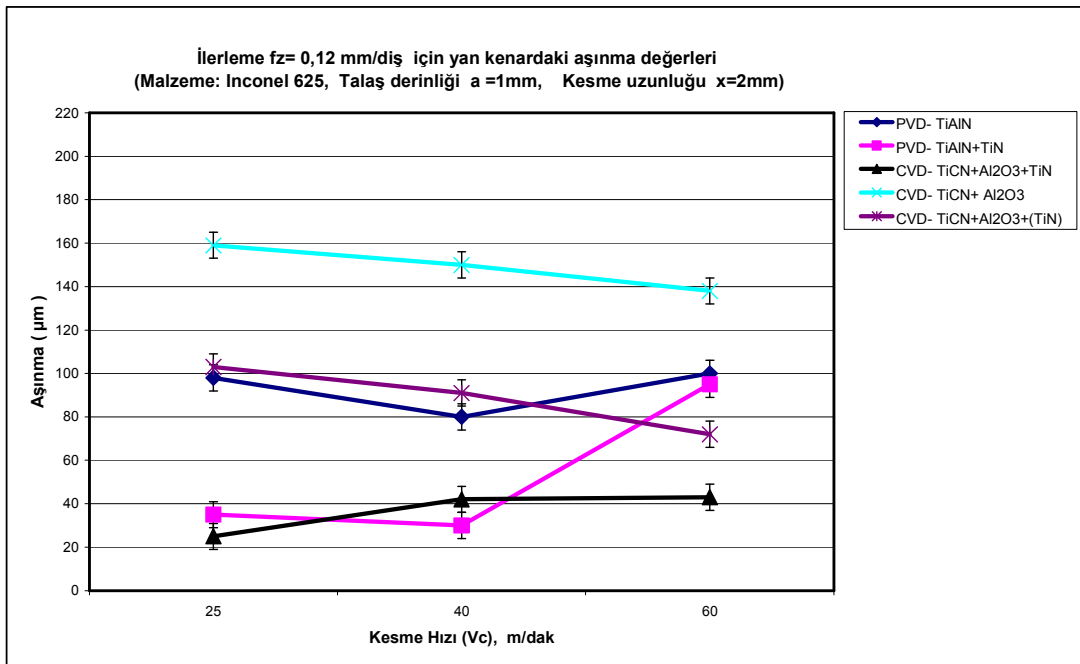
7.1.1.1. Kesme hızının erken takım aşınmasına etkisi

Tüm işleme şartlarında kesme uzunluğu $x=2$ mm, talaş derinliği $a=1$ mm olarak sabit tutulmuştur. İlerleme (fz) sabit tutulup (0.08, 0.12, 0.16 mm/diş), kesme hızlarına göre (25, 40, 60 m/dak) göre aşınma değerleri grafiklerde görülmektedir (Şekil 7.1).

Grafiklere göre CVD-TiCN+Al₂O₃ kaplamalı (3040) takımındaki kesici uç yan serbest yüzey aşınmasının tüm kesme şartlarında en fazla olduğu görülmektedir. Çünkü üst katman olarak adhezyonu azaltıcı etkili TiN katmanı yoktur. Bu nedenle adhezyondan dolayı TiCN ve Al₂O₃ katmanı kolayca kalkmaktadır.

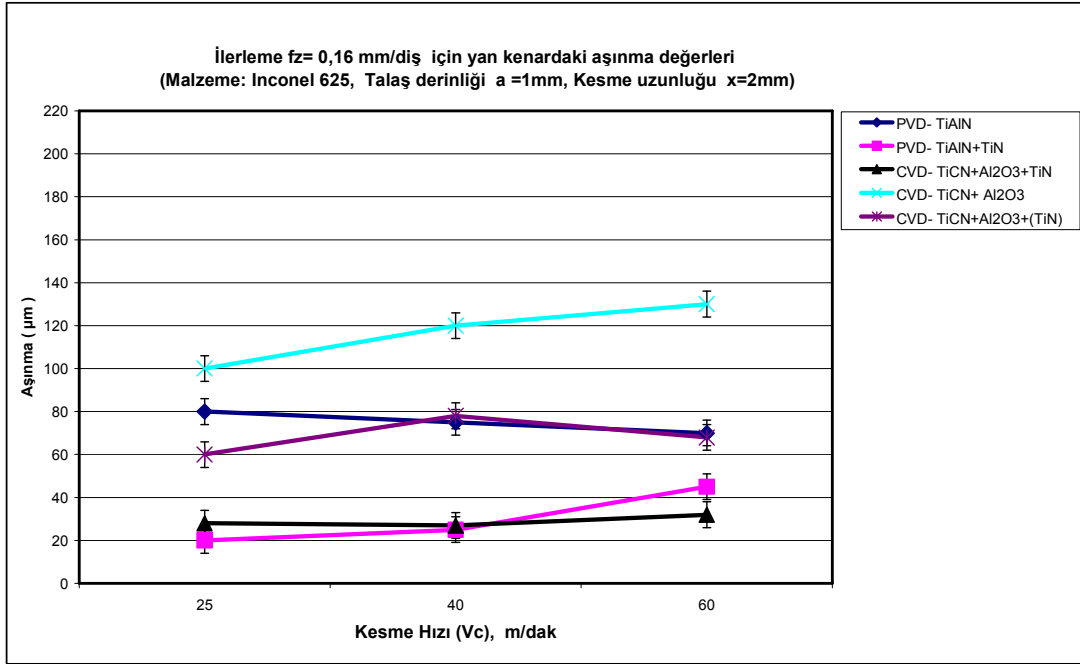


(a)



(b)

Şekil 7.1. Beş farklı kaplamalı takım ile sabit ilerlemelerde (a- $f_z=0.08$ mm/diş, b- $f_z=0.12$ mm/diş, c- $f_z=0.16$ mm/diş) Inconel 625'in işlenmesinde, kesme hızı (V_c) ile yan kenar aşınması (VB) arasındaki ilişki (Açıklama: PVD-TiAlN+TiN kaplamalı takımında $V_c=60$ m/dak, $f_z=0.12$ mm/diş parametresinde aşınma miktarındaki aşırı artışın nedeni bu kesme şartındaki yan kenar kırılmasıdır.)



(c)

Şekil 7.1. (Devam) Beş farklı kaplamalı takım ile sabit ilerlemelerde (a-fz=0.08 mm/diş, b-fz=0.12 mm/diş, c-fz=0.16 mm/diş) Inconel 625'in işlenmesinde, kesme hızı (Vc) ile yan kenar aşınması (VB) arasındaki ilişki

Ancak süper alaşımların işlenmesi için yeni geliştirilen, P sınıfı, en iyi performans beklenen CVD-TiCN+Al₂O₃+yan kenarda TiN kaplamalı (4240) takım daha düşük yan serbest yüzey aşınması görülmüştür.

Süper alaşımlar için geliştirilen PVD-TiAlN+TiN kaplamalı (2030) takım ile CVD-TiCN+Al₂O₃+TiN kaplamalı (2040) takım tüm kesme şartlarında birbirine yakın performans göstermişlerdir. Ancak PVD-TiAlN+TiN kaplamalı (2030) takımın Vc=60m/dak, fz=0.12 mm/diş işleme şartındaki yüksek aşınma değeri, bu şartta ortaya çıkan kesici kenarda serbest yüzeyde oluşan lokal takım kırılmalarıdır.

Kataloglarda Nikel esaslı alaşımların ve paslanmaz çeliklerin işlenmesi için üretildiği belirtilen, P sınıfı, çok katmanlı PVD-TiAlN kaplamalı (1030) takım düşük aşınma görülmüştür. Ancak PVD-TiAlN+TiN kaplamalı (2030) ve CVD-TiCN+Al₂O₃+TiN kaplamalı (2040) takımlar kadar performans sergileyemediği grafiklerden görülmektedir.

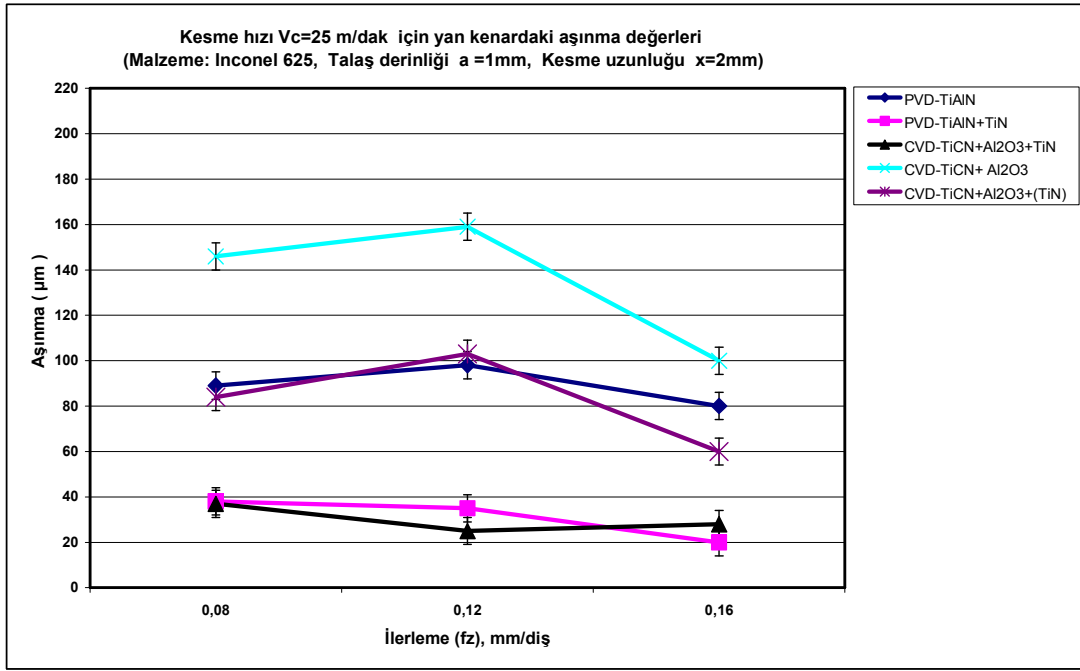
Kaplamalı takımlarda kesme hızının aşınmaya etkisinin, ilerlemeye oranla daha fazla olduğu görülmüştür. CVD kaplamalı takımlarda özellikle 25 m/dak kesme hızında daha fazla takım aşınması olduğu görülmektedir. Bu sonuç Choudhury ve arkadaşlarının [20] yaptıkları çalışmaları ile benzerlikler göstermektedir.

Ayrıntılı açıklamalar, analizler ve değerlendirmeler kesici takım alt başlıklarında verilecektir.

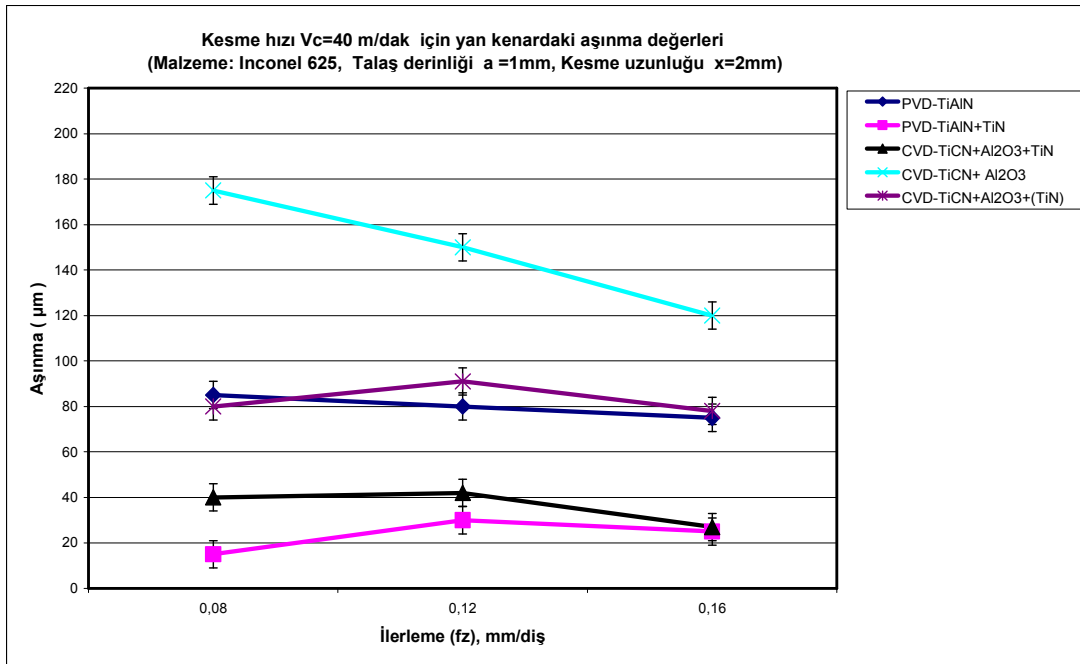
7.1.1.2. İlerleme hızlarının erken takım aşınmasına etkisi

$V_c=25$ m/dak, $f_z=0.08$ ve 0.12 mm/diş ve $V_c=40$ m/dak, $f_z=0.08$ ve 0.12 mm/diş işleme şartlarında fazla fark görülmemektedir (Şekil 7.2). Choudhury ve arkadaşlarının [20] yaptıkları deneylerde de 26-48 m/dak kesme hızlarında takım aşınmasında fazla fark görülmemiştir. Ancak 20 m/dak'nın altında aşınma artmaktadır. Bu sonuç yapılan deneyle paralellik göstermektedir.

Inconel 625 malzemesinin işlenmesinde en iyi takım performansları, takıma göre değişmekle birlikte genel olarak $V_c=40-60$ m/dak ve $f_z=0.16$ mm/diş işleme şartlarında alınmıştır. Çünkü $f_z=0.12$ mm/diş ilerlemeden $f_z=0.16$ mm/diş ilerlemeye geçildiğinde aşınma değerinin bir miktar düştüğü görülmektedir. Ancak Choudhury ve arkadaşları yaptıkları takım ömrü [20] deney sonuçlarına göre; Nikel esaslı alaşımların $V_c=20-25$ m/dak, $f_z=0.15-0.20$ mm/diş işleme şartlarında işlenmesinde en iyi performansın sergilendiğini belirtmiştir. Buna göre kesme hızı bakımından benzer sonuçlara ulaşılmadığı görülmektedir.

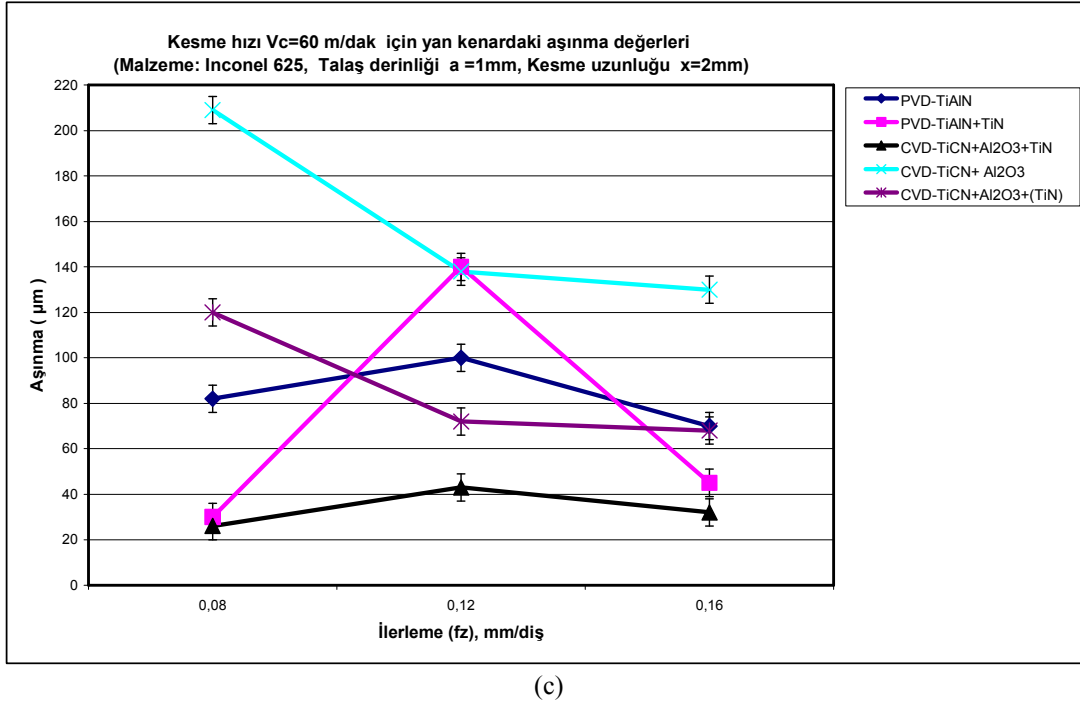


(a)



(b)

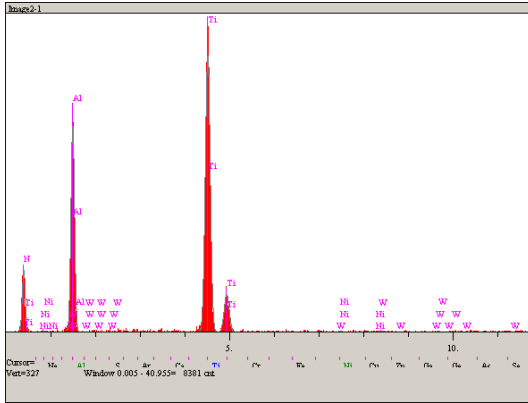
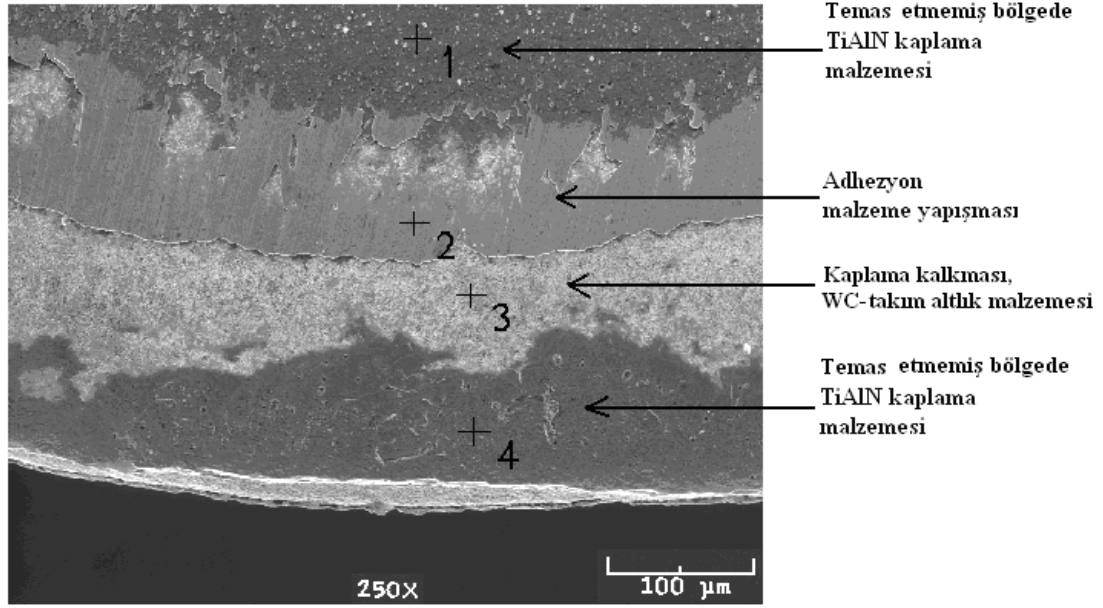
Şekil 7.2. Beş farklı kaplamalı takımıla sabit kesme hızlarında (a- $V_c=25$ m/dak, b- $V_c=40$ m/dak, c- $V_c=60$ m/dak) Inconel 625'in işlenmesinde, ilerleme (fz) ile yan kenar aşınması (VB) arasındaki ilişki



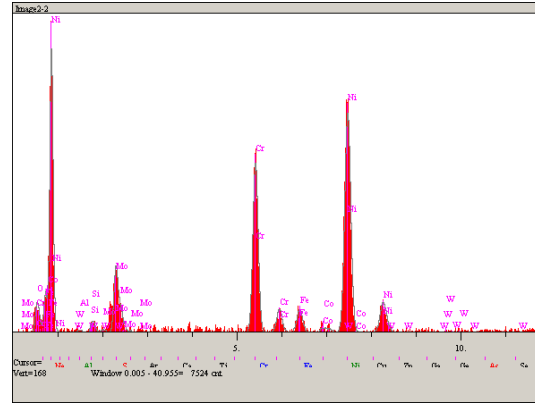
Şekil 7.2. (Devam) Beş farklı kaplamalı takım ile sabit kesme hızlarında (a- $V_c=25$ m/dak, b- $V_c=40$ m/dak, c- $V_c=60$ m/dak) Inconel 625'in işlenmesinde, ilerleme (fz) ile yan kenar aşınması (VB) arasındaki ilişki (Açıklama: PVD-TiAlN+TiN kaplamalı takımda $V_c=60$ m/dak, $f_z=0.12$ mm/diş parametresinde aşınma miktarındaki aşırı artışın nedeni bu kesme şartındaki yan kenar kırılmasıdır.)

7.1.2. PVD-TiAlN kaplamalı takımın (1030) aşınma davranışlarının değerlendirilmesi

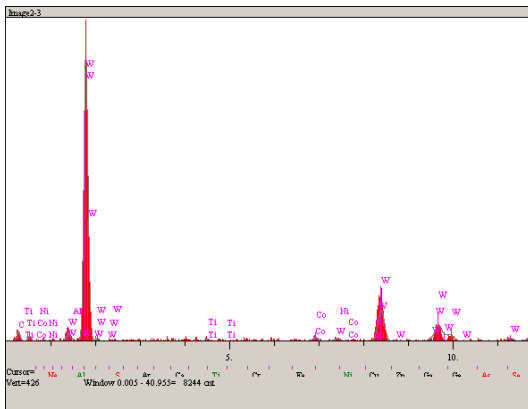
$V_c=25$ m/dak ve $f_z=0.08$ mm/diş kesme parametrelerinde; adhezyon nedeniyle serbest yüzey aşınması görülmüştür. Talaş yüzeyinde abrasyon nedeniyle ve takım talaş ara yüzündeki sıcaklığın en fazla olduğu, kesme kenarının biraz ilerisinden (3 numara ile gösterilen) kalkmıştır. Şekil 7.3'te altlık malzeme olan WC görülmektedir. Bu görüş Ezugwu ve arkadaşları tarafından da desteklenmektedir [36, 69, 86]. İşlemin devamında ise abrasyonun ve adhezyonun devam ederek küçük çentiklenmeler ile kırılmalar meydana gelebileceği değerlendirilmektedir. Talaş akma yüzeyinde adhezyon nedeniyle malzeme sıvanması da dikkati çeken başka bir unsurdur.



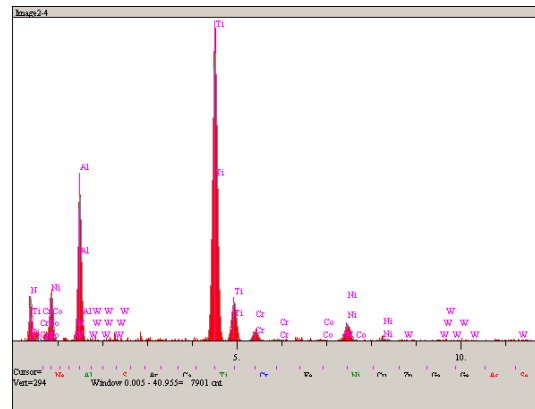
(1)



(2)

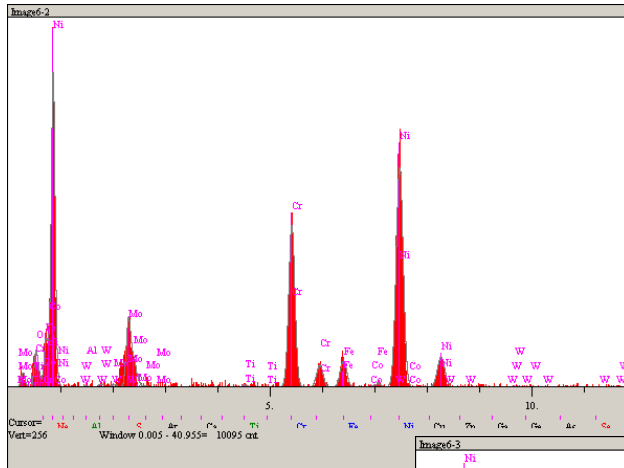
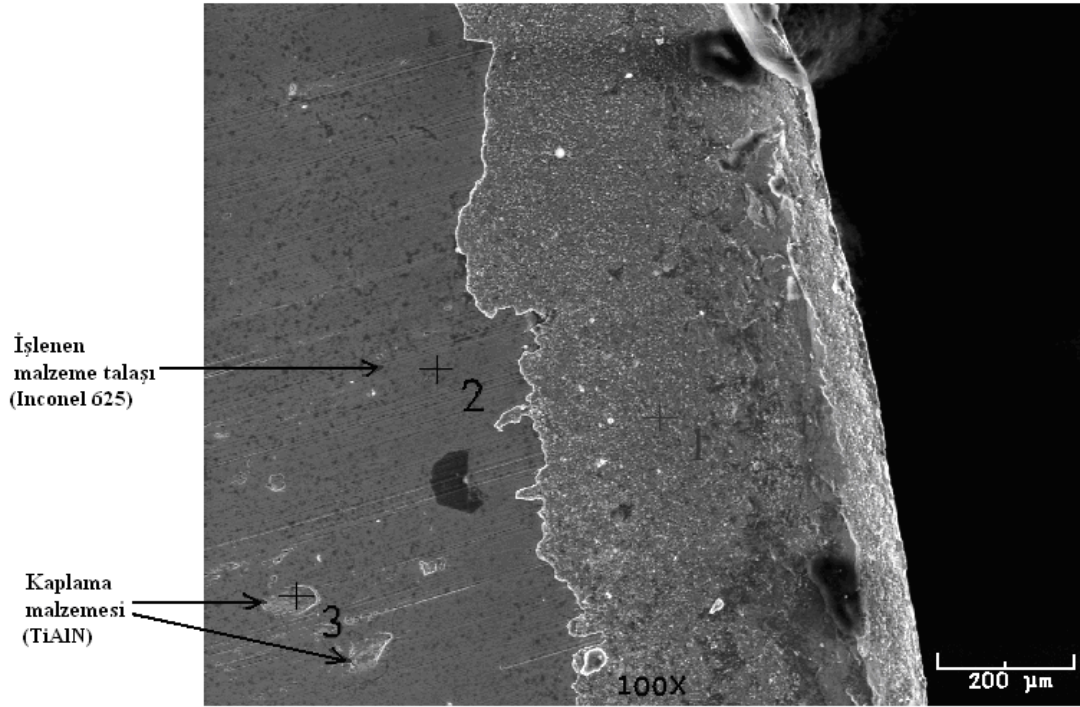


(3)



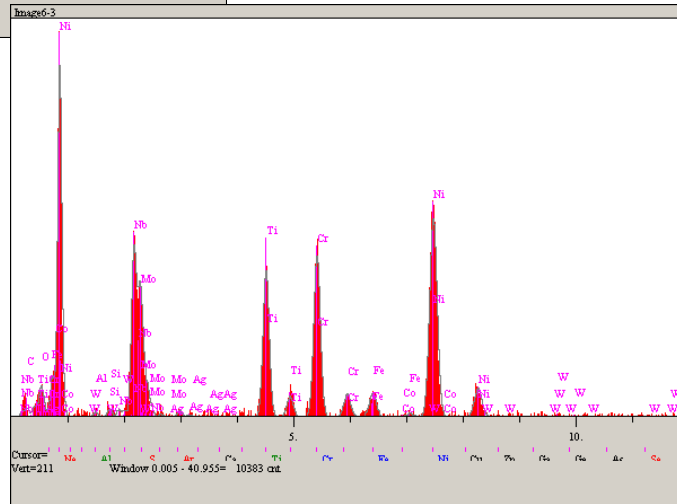
(4)

Şekil 7.3. PVD-TiAlN kaplamalı takımın, $V_c=25$ m/dak ve $f_z=0.08$ mm/diş kesme parametrelerindeki SEM görüntüsü (250X) ve EDS element analizleri



(2 numaralı bölge)

(3 numaralı bölge)

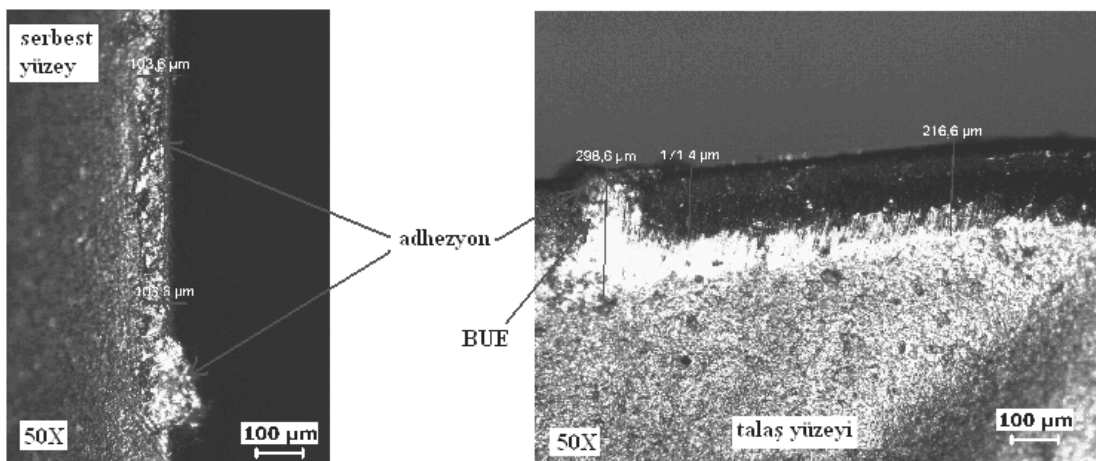


Şekil 7.4. Inconel 625'in, PVD - TiAlN kaplamalı takım ile $V_c=40$ m/dak ve $f_z=0.08$ mm/diş kesme parametrelerinden elde edilen talaşın SEM görüntüsü (100X) ve EDS element analizleri

$V_c=25$ m/dak ve $f_z=0.12$ mm/diş ile $V_c=25$ m/dak ve $f_z=0.16$ mm/diş kesme parametrelerinde benzer sonuçlar elde edilmiştir. VB aşınma değeri $f_z=0.12$ mm/diş parametresinde biraz artarak $98 \mu\text{m}$ 'a ulaşmıştır. $f_z=0.16$ mm/diş ilerlemesinde ise tekrar düşerek aynı seviyelere ($80 \mu\text{m}$) indiği görülmüştür. Beklenildiği gibi malzeme özelliğinden dolayı, düşük kesme hızlarında 3 ilerlemede de serbest yüzeyde ve talaş akma yüzeyinde adhezyon görülmüştür.

Kesme hızı 40 m/dak'ya çıkarıldığında, 3 farklı ilerlemede birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Ancak bu kesme şartlarında adhezyon daha da artmıştır. $V_c=40$ m/dak ve $f_z=0.08$ mm/diş kesme parametresinde elde edilen talaş SEM'de incelenip, EDS analizleri yapıldığında kaplama malzemesinin takımdan ayrılarak talaşla birlikte aktığı Şekil 7.4'te görülmektedir. Optik mikroskop görüntüleri de incelendiğinde, burada BUE'nin az da olsa oluştuğu, bu nedenle kaplama malzemesinin parça halinde talaşa yapışıp, talaşla birlikte ayrıldığı düşünülmektedir.

Kesme hızında 60 m/dak'ya çıkıldığında, $f_z=0.08$ mm/diş ilerlemesinde önceki şartlardakine göre fazla bir değişiklik gözlenmemiştir. $f_z=0.12$ mm/diş ilerlemesinde Şekil 7.5'te görüldüğü gibi BUE'nin etkisiyle talaş ve serbest yüzeydeki aşınmalar bu takım için en yüksek değerlere ulaşmıştır. $f_z=0.16$ mm/diş ilerlemede, bu takım için en az aşınma miktarı ($70 \mu\text{m}$) ölçülmüştür.

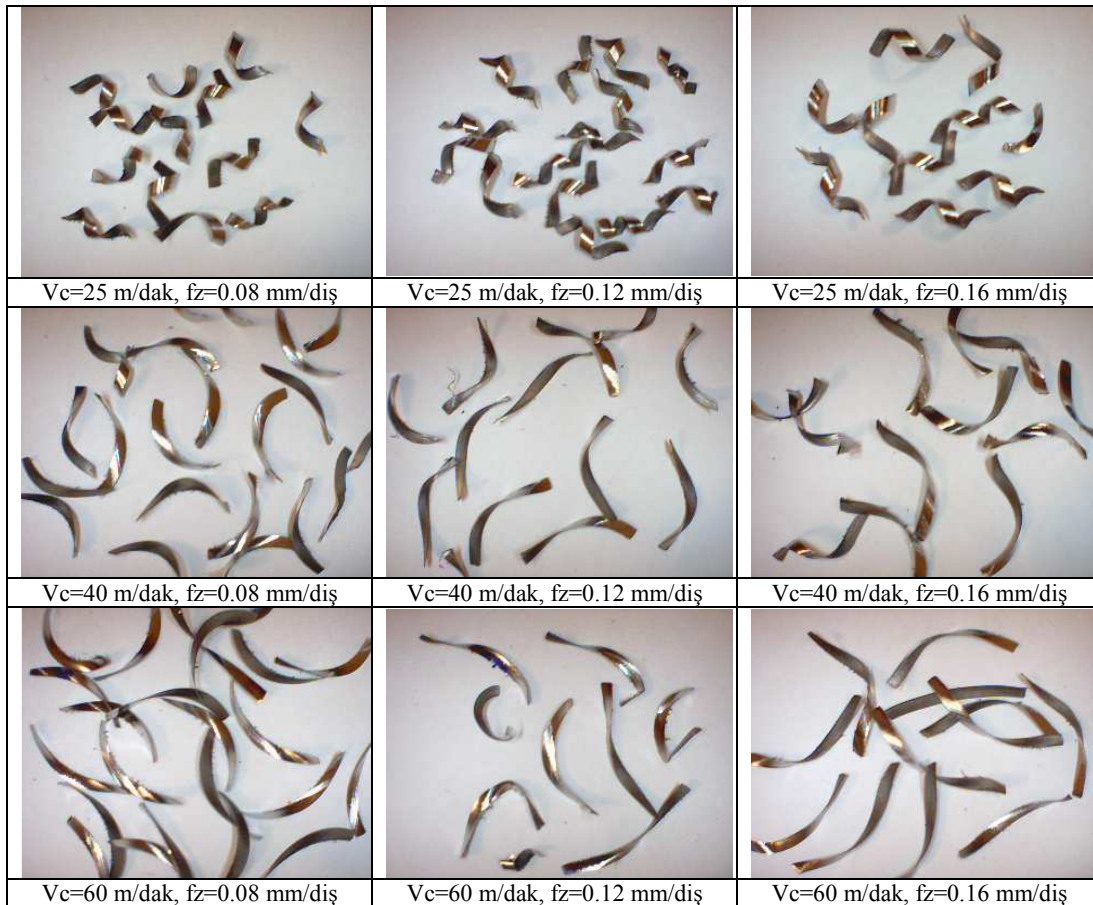


Şekil 7.5. PVD-TiAlN kaplamalı takımın, $V_c=60$ m/dak ve $f_z=0.12$ mm/diş kesme parametrelerindeki optik mikroskop görüntüsü (50X)

Bu takımıla, 25 m/dak kesme hızlarında ise dar adımlı helisel talaşlar, 40 ve 60 m/dak kesme hızlarındaki talaş kaldırma işlemlerinde lama tipi düz ve büyük adımlı, bir kenarında çok ince testere dişler bulunan talaşlar oluşmuştur. Talaşların genellikle fazla zorlanmadan ve düzgün kesildiği görülmüştür (Şekil 7.6).

Kesme hızının takım aşınmasındaki etkisi yönünden incelendiğinde, TiAlN takımıla yapılan literatürdeki deney sonuçlarıyla [23, 24] benzeştiği görülmektedir.

Sonuç olarak; bu takımında düşük ve yüksek kesme parametrelerinde çok belirgin bir fark gözlenmemiştir. Abrasyon ve işlenen malzemenin özelliğinden dolayı adhezyon aşınma mekanizmaları belirleyici olmuştur. PVD yönteminin etkisiyle düşük kesme hızlarında, kaplama malzemesi olan TiAlN'nin ve çok katmanlı olmasının etkisiyle de yüksek kesme hızlarında, Nikel esaslı süper alaşımda beklendiği gibi iyi bir performans göstermiştir.

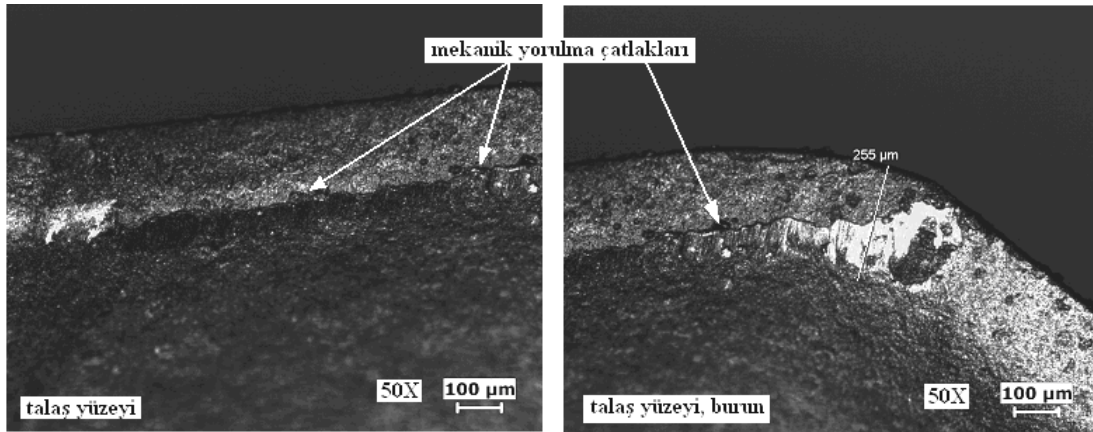


Şekil 7.6. PVD-TiAlN kaplamalı takımıla, Inconel 625'in işlenmesinde çeşitli kesme değerlerine göre oluşan talaş şekilleri

7.1.3. PVD-TiAlN+TiN kaplamalı takımın (2030) aşınma davranışlarının değerlendirilmesi

Bu takımında bir önceki takım kaplamasına ek olarak en üst kaplama malzemesi olarak TiN kullanılması performansını daha da arttırmıştır.

$V_c=25$ m/dak ve $f_z=0.08$ mm/diş kesme parametresinde Şekil 7.3'tekine benzer aşınma mekanizmaları olan abrasyona bağlı olarak, talaş yüzeyinde kesme kenarının biraz ilerisinde ve takım talaş ve serbest yüzey kesişme kenarında kaplama kayıpları, ayrıca talaş yüzeyinde ve serbest yüzeyde adhezyona bağlı malzeme sıvanmaları SEM görüntüleri ve EDS analizleri ile belirlenmiştir. 0.12 mm/diş ilerlemede artan VB değeri ve mekanik yorulma çatlakları (Şekil 7.7) dikkati çekmiştir. 0.16 mm/diş ilerlemede $20 \mu\text{m}$ 'a gerilediği ancak talaş yüzeyinde abrasyon ve mekanik yorulma çatlakları gözlemlenmiştir.

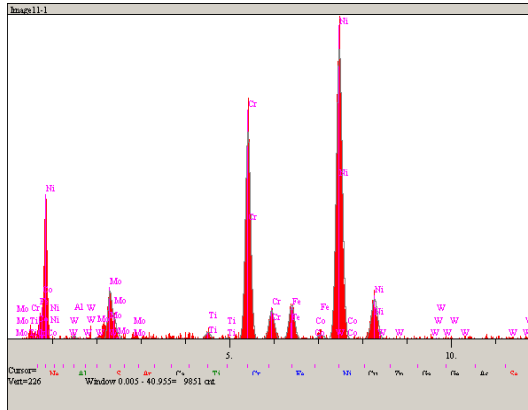
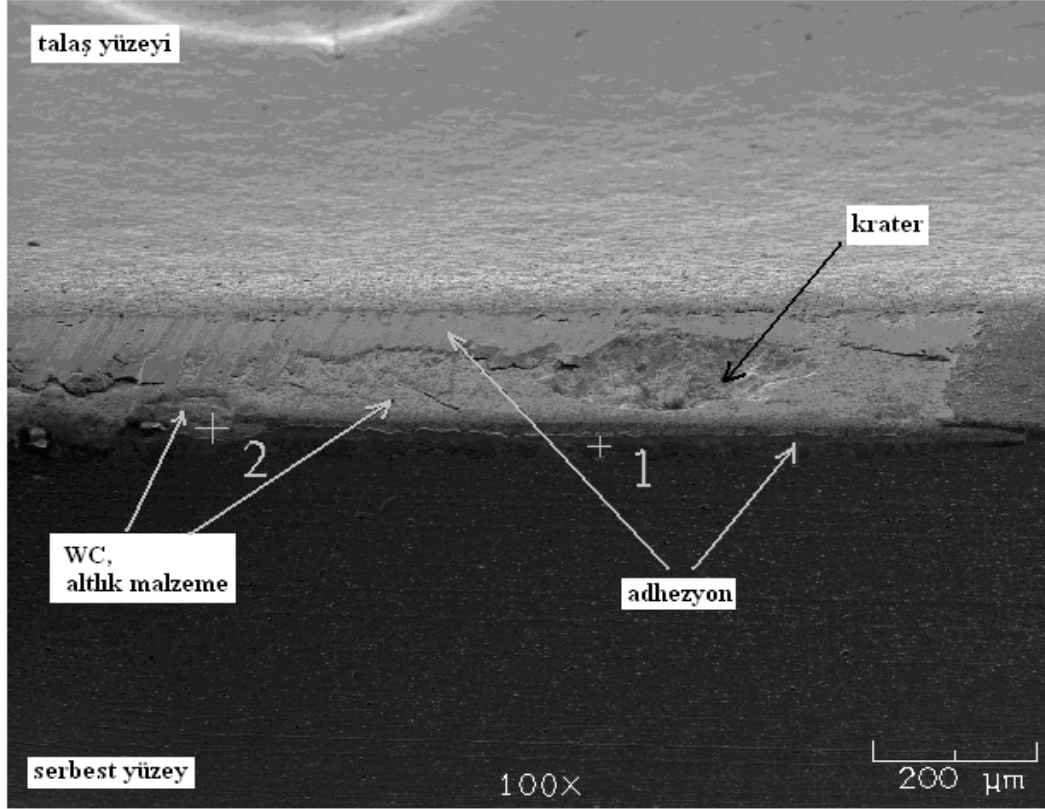


Şekil 7.7. PVD-TiAlN+TiN kaplamalı takımın, $V_c=25$ m/dak ve $f_z=0.12$ mm/diş kesme parametrelerindeki optik mikroskop görüntüsü (50X), mekanik yorulma çatlakları

Kesme hızı 40 m/dak'ya çıkarıldığında fazla bir değişiklik olmamış, hatta 0.08 mm/diş ilerlemede bu takım için en düşük VB değeri $15 \mu\text{m}$ ölçülmüştür. Yine abrasyon ve adhezyon mekanizmalarına bağlı aşınmalar görülmektedir. İlerleme 0.12 ve 0.16 mm/diş parametrelerindeki değişim 25 m/dak kesme hızındakine paraleldir.

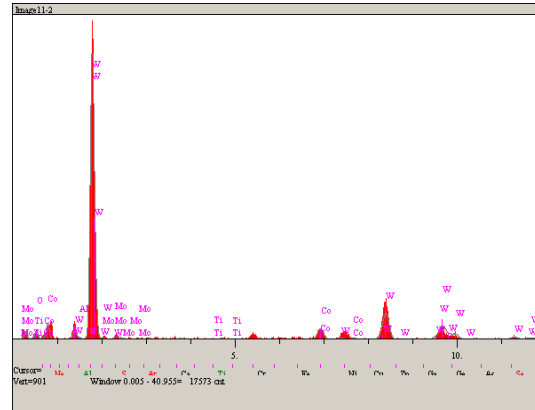
$V_c=60$ m/dak kesme hızında, $f_z=0.08$ mm/diş ilerlemede serbest yüzey aşınması adhezyon şeklinde çok az olarak ($30 \mu\text{m}$) görülmektedir. Ancak talaş yüzeyinde abrasyon ve adhezyon mekanizmalarıyla aşınma aşırı bir şekilde artarak krater

oluşturmuştur. Şekil 7.8’te krater oluşumu ve adhezyona bağlı kaplama ve altlık malzemesi kayıplarıyla ilgili EDS analizleri görülmektedir.



(1 numaralı bölge)

Elm.	L.	Şiddet (c/s)	Hata 2-sig	Komp.	Birim
Al	Ka	2.33	0.966	0.284	ağr. %
Ti	Ka	6.83	1.653	0.557	ağr. %
Cr	Ka	212.17	9.211	21.175	ağr. %
Fe	Ka	36.98	3.845	4.755	ağr. %
Ni	Ka	337.18	11.611	67.304	ağr. %
Mo	La	36.19	3.804	5.925	ağr. %
				100.000	ağr. %

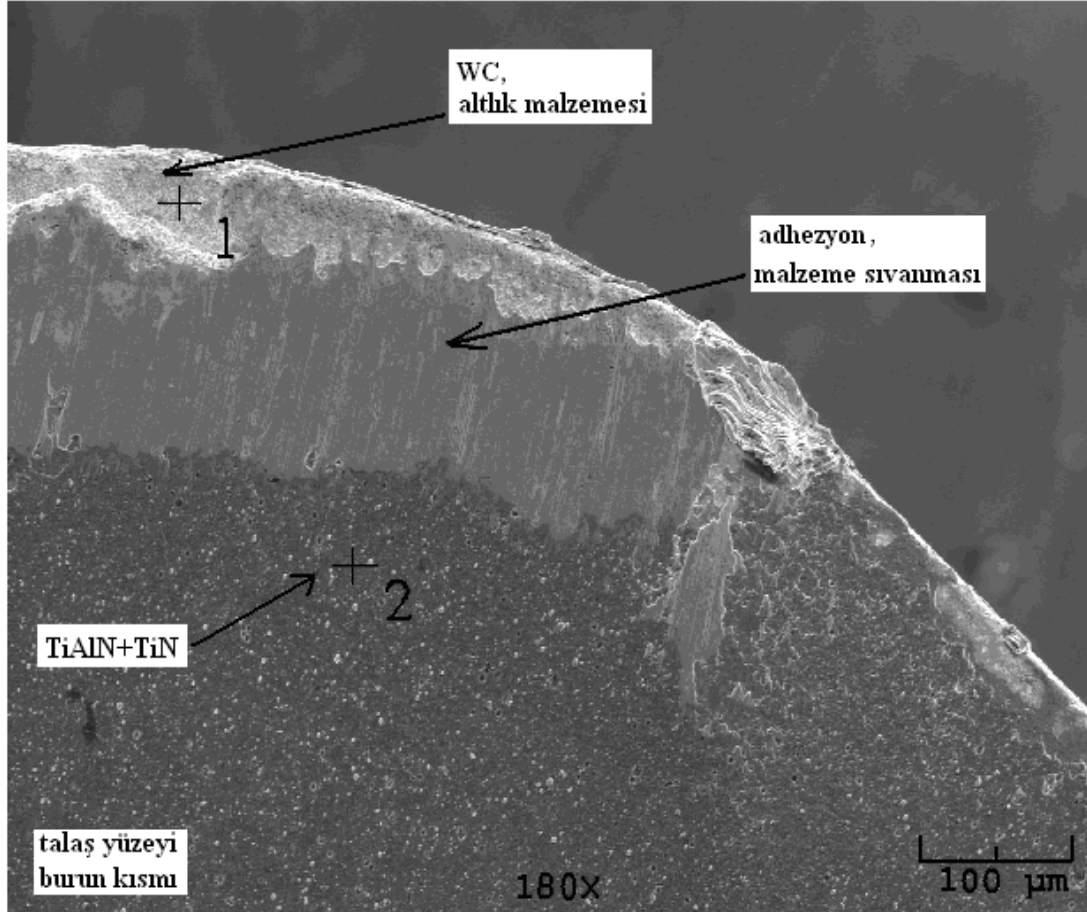


(2 numaralı bölge)

Elm.	L.	Şiddet (c/s)	Hata 2-sig	Komp.	Birim
C	Ka	19.56	2.797	16.096	ağr. %
O	Ka	20.75	2.881	6.910	ağr. %
Al	Ka	5.78	1.520	0.241	ağr. %
Ti	Ka	1.47	0.766	0.096	ağr. %
Co	Ka	48.75	4.415	5.373	ağr. %
Mo	La	5.95	1.543	0.849	ağr. %
W	La	128.85	7.179	70.435	ağr. %
				100.00	ağr. %

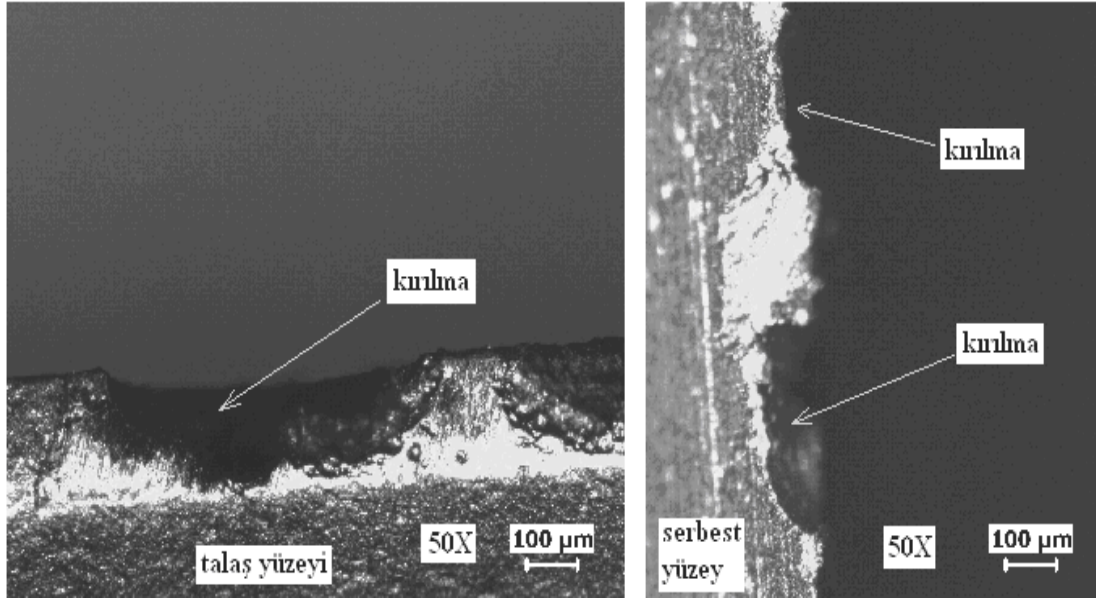
Şekil 7.8. PVD-TiAlN+TiN kaplamalı takımın, $V_c=60$ m/dak ve $f_z=0.08$ mm/diş kesme parametrelerindeki SEM görüntüsü (100X) ve EDS element analizleri

Ayrıca burunda ve talaş yüzeyinin birçok bölümünde kaplama tamamen kaybolarak altlık malzemesi bile aşınmaya başlamıştır (Şekil 7.9).



Şekil 7.9. PVD–TiAlN+TiN kaplamalı takımın burun kısmının, $V_c=60$ m/dak ve $f_z=0.08$ mm/diş kesme parametrelerindeki SEM görüntüsü (180X)

$V_c=60$ m/dak kesme hızında, $f_z=0.12$ mm/diş ilerlemede iki yüzeyde de kırılmalar olduğu Şekil 7.10’da optik mikroskop görüntülerinden anlaşılmaktadır. Bu kesme parametresinde, VB değeri aşırı bir şekilde artarak takımdaki en fazla aşınmayı ($VB=95$ µm) meydana getirmiştir. 0,16 ilerlemede aşınma daha az oluşarak ($VB=45$ µm), 25 ve 40 m/dak kesme hızlarındaki aşınmalarla paralellik göstermektedir.



Şekil 7.10. PVD-TiAlN+TiN kaplamalı takımın, $V_c=60$ m/dak ve $f_z=0.12$ mm/diş parametrelerindeki optik mikroskop görüntüsü (50X)

Talaşlar 25 m/dak kesme hızı, 0.08 ilerleme hızı kesme parametresi haricindeki tüm şartlarda düz ve büyük adımlıdır. Şekil 7.11’de ilerleme hızı arttıkça talaşın düz bir form kazandığı görülmektedir. 25-40 m/dak kesme hızı parametrelerinde talaşların daha rahat kesildiği görülmüştür. Ancak 60 m/dak kesme hızında, özellikle kraterlerin, kırılmaların oluştuğu ve aşınmanın arttığı 0.08-0.12 mm/diş ilerlemelerde oluşan talaşlar çok kalın testere dişlere sahip olup yüksek ısıya maruz kalarak deforme olduğu, zorlanarak koptuğu görülmektedir.

Özetle; bu takım TiAlN takıma göre genel olarak daha iyi performans göstermiştir. Ancak 60 m/dak kesme hızı bu takım için uygun değildir. PVD yönteminin özelliği ile düşük-orta kesme hızlarında en iyi performansı vermektedir. PVD yöntemiyle kaplanmış kullanılan takımlar içinde 25-40 m/dak kesme hızında en iyi performansı vermiştir.



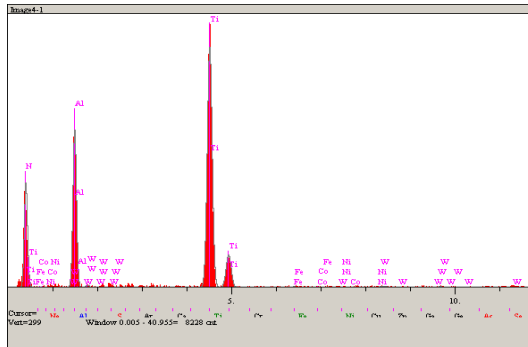
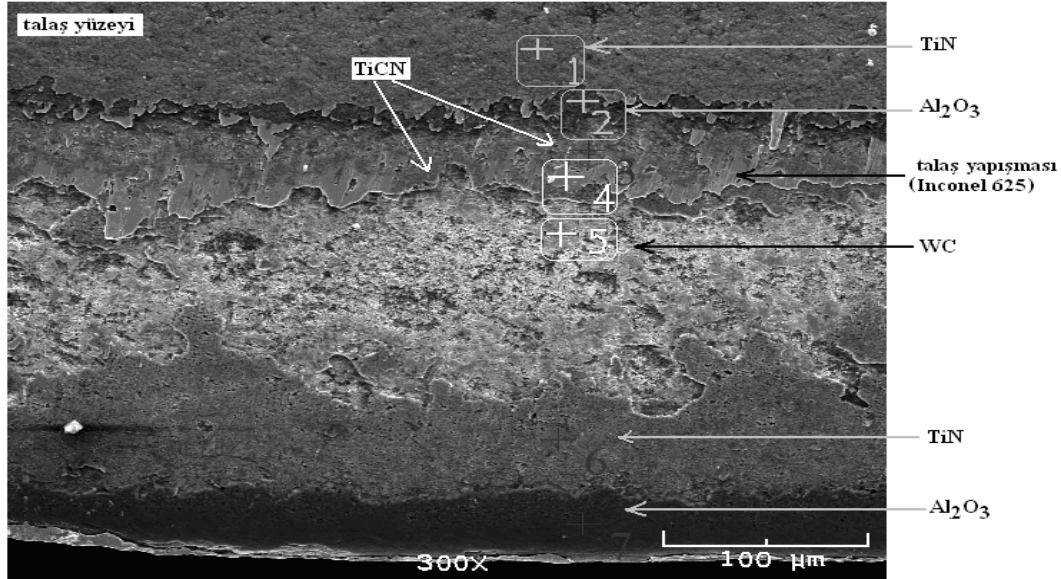
Şekil 7.11. PVD-TiAlN+TiN kaplamalı takımla, Inconel 625'in işlenmesinde çeşitli kesme değerlerine göre oluşan talaş şekilleri

7.1.4. CVD-TiCN+Al₂O₃+TiN kaplamalı (2040) takımın aşınma davranışlarının değerlendirilmesi

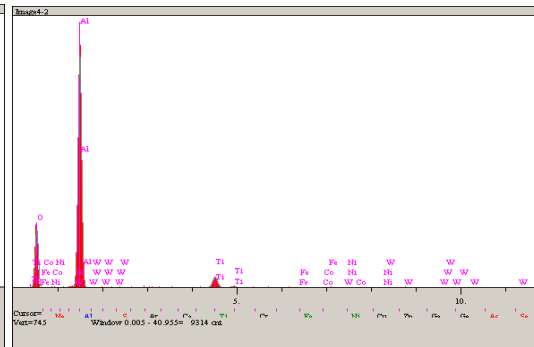
Altlık malzeme olan WC üzerine; abrazyon aşınmaya dirençli TiCN tabakası kaplanmıştır. Üstüne yüksek sıcaklıklara karşı, difüzyona, abrazyon aşınmaya ve adhezyona karşı dirençli Al₂O₃, en üste de TiN kaplanmıştır.

25 m/dak kesme hızı ve 0.08 mm/diş ilerlemede, serbest yüzeyde adhezyon aşınma mekanizmasına bağlı 37 µm'luk aşınma ölçülmüştür. Şekil 7.12'de görüldüğü gibi talaş yüzeyinde geniş bir aşınma bandı görülmüştür. Al₂O₃ Inconel 625'in işlenmesi sırasında ortaya çıkan yüksek sıcaklığa fazla direnç gösterememiştir. Abrasyon ve Nikel esaslı alaşımların özelliği adhezyon mekanizmaları ile TiN ve Al₂O₃ kaplama tabakaları kalkmıştır. Al₂O₃ katmanının kalkmasıyla, kesintili bir işlem olan frezelemede termal şokların da etkisiyle abrazyona karşı dirençli TiCN kaplama

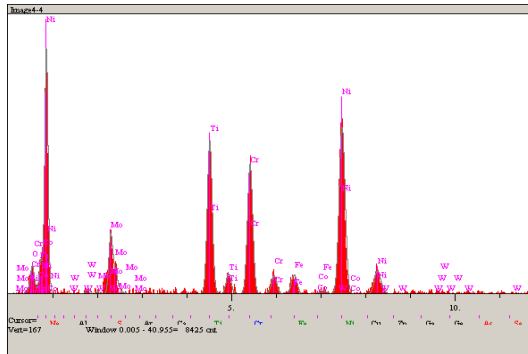
katmanı adhezyona karşı etkisiz kalmış, böylece de altlık malzeme ortaya çıkmıştır. Kaplama kayıpları yine sıcaklığın en fazla olduğu kesme kenarının biraz ilerisinde oluşmuştur. Talaş kaldırma işleminin devam etmesi halinde bu aşınma bandında çentik veya krater oluşması beklenebilir.



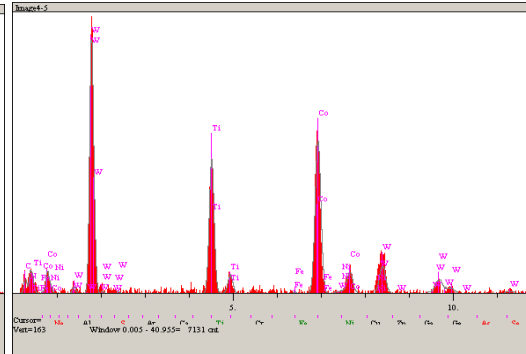
(1 numaralı bölge)



(2 numaralı bölge)



(4 numaralı bölge)



(5 numaralı bölge)

Şekil 7.12. CVD-TiCN+Al₂O₃+TiN kaplamalı takımın, Vc=25 m/dak ve fz=0.08 mm/diş kesme parametrelerindeki SEM görüntüsü (300X) ve EDS element analizleri

25-40 m/dak kesme hızlarında 0.08- 0.12 mm/diş ilerlemelerde aşınma artmış, 0.16 mm/diş ilerlemelerde azalmıştır. Düşük kesme hızlarında kesme hızından çok ilerlemenin takım ömrünü etkilediği görülmüştür. Ancak 60 m/dak kesme hızında 0.08-0.16 mm/diş ilerlemelerde en az aşınma görülmüştür. Burada yüksek sıcaklıklara karşı geliştirilen Al_2O_3 katmanının ve CVD kaplama yönteminin yüksek kesme hızlarında daha iyi performans vermesinin etkili olduğu değerlendirilmektedir.

Chouldhury ve El-Baradie'ye göre CVD kaplamalı takımlar, daha yüksek kesme hızlarında daha yüksek aşınma dayanımına sahiptirler [20]. Altın'ın CVD- $TiCN+Al_2O_3+TiN$ kaplamalı takımla yaptığı deneylerde 60 m/dak kesme hızına kadar uygun olduğu bildirilmiştir [22]. Bu sonuçlarla, bu takımla yapılan deney sonuçları benzeşmektedir.

Şekil 7.13'te görüldüğü üzere; bu takımla, tüm kesme parametrelerinde lama tipi düz talaş oluşmuştur. Talaşların fazla zorlanmadan ve düzgün kesildiği görülmüştür.



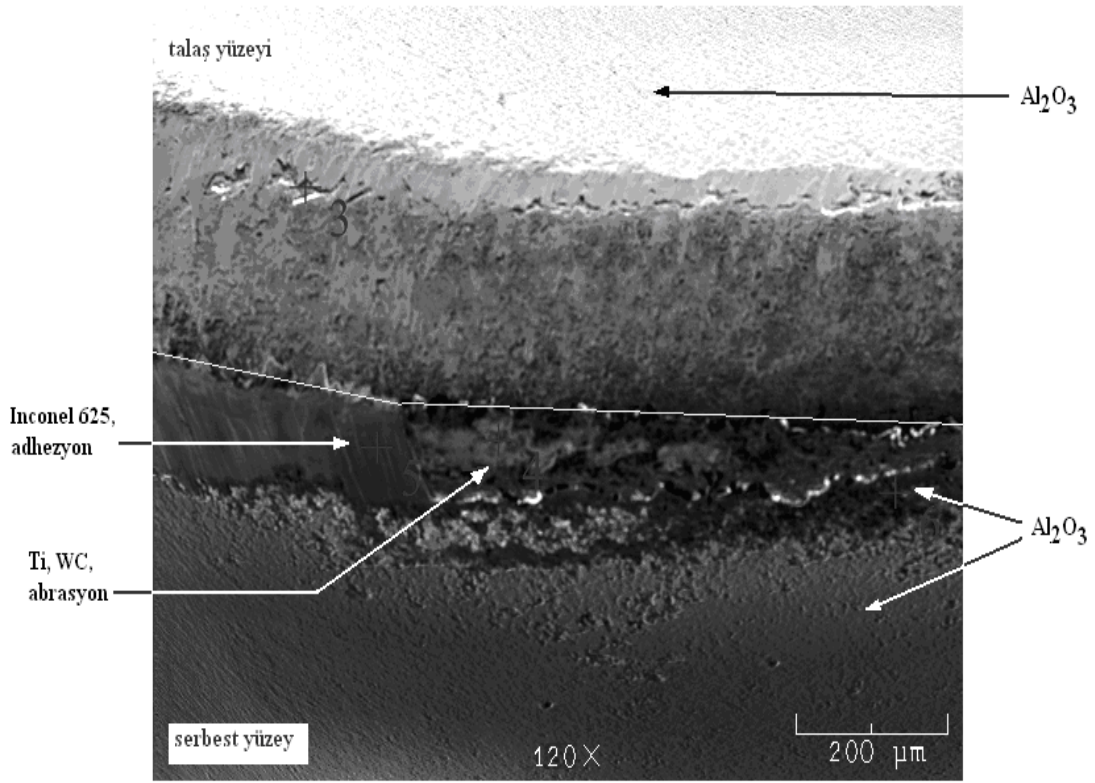
Şekil 7.13. CVD- $TiCN+Al_2O_3+TiN$ kaplamalı takımla, Inconel 625'in işlenmesinde çeşitli kesme değerlerine göre oluşan talaş şekilleri

Özet olarak; serbest yüzeyde, tüm kesme şartlarında, adhezyon mekanizmasına bağlı olarak çok az malzeme yapışmaları oluşmuştur. VB değerleri 26-43 μm arasında değişim göstermiş olup, aşınma yok denebilecek kadar azdır. Bunun için Inconel 625'i işlemede kullanılan CVD kaplamalı kesici takımlar içinde, VB aşınma değerine göre, en üstteki TiN katmanının da hızlı aşınmayı önleyici etkisi ile tüm kesme şartlarında en iyi performansı gösteren takımıdır. Talaş yüzeyinde ise durum farklıdır. Serbest yüzeye göre aşınma daha fazladır. Yüksek kesme hızlarında Nikel esaslı alaşımları işlemeye uygundur.

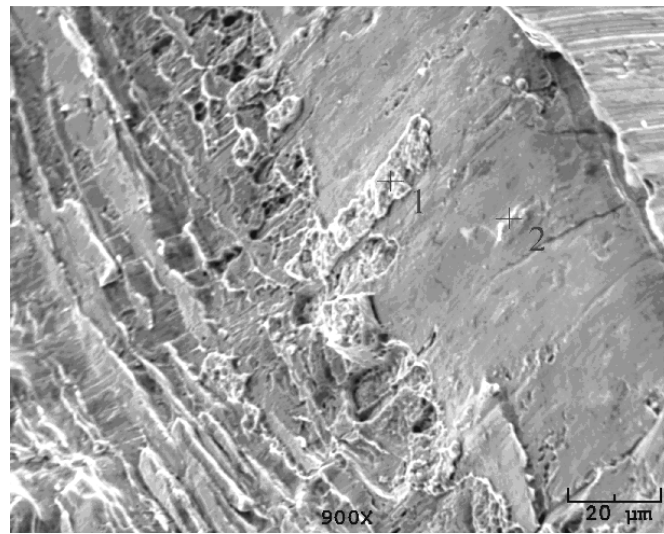
7.1.5. CVD-TiCN+Al₂O₃ kaplamalı (3040) takımın aşınma davranışlarının değerlendirilmesi

25 m/dak kesme hızında, 0.08 mm/diş talaş ve serbest yüzeyde abrasyon, adhezyon ile talaş burun kısmında da abrasyon ve adhezyon aşınma mekanizmalarına rastlanmıştır. Ölçülen VB değeri (146 μm) diğer takımların aynı kesme parametresine göre çok fazladır. 0.12-0.16 mm/diş ilerlemelerde hemen hemen aynı aşınma mekanizmaları görülmüştür. 0.12 mm/diş ilerlemede aşınma biraz artarken, 0.16 mm/diş ilerlemede VB aşınma değeri bu takım için en düşük değer olarak (100 μm) ölçülmüştür. Ancak bu değer bile erken aşınma değeri olarak çok fazla olarak değerlendirilmektedir. Burada adhezyona bağlı olarak Al₂O₃ katmanı yer yer kalkmış, hatta aşınmaya dirençli alt katman TiCN ve altlık WC ortaya çıkmıştır. Buna bağlı olarak talaş düzgün kesilmemiş, koparak, parçalı halde oluşmuştur. Şekil 7.14'te bu kesme parametresine ait takımın ve aynı parametrede oluşan talaşın SEM görüntüleri görülmektedir.

40 m/dak kesme hızına çıkıldığında, ilerlemeler arttıkça VB aşınma değerleri de doğrusal olarak artmıştır. Burada yine abrasyon, adhezyon mekanizmalarından doğan aşınmalar optik mikroskop görüntülerinden izlenmiştir.

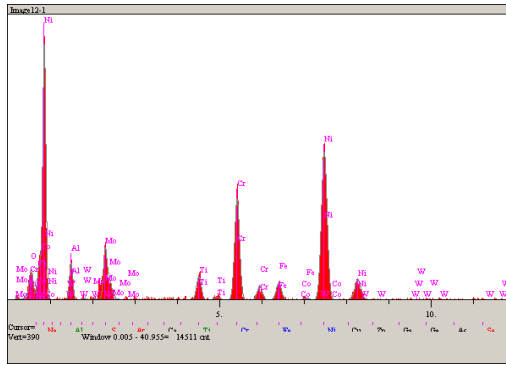
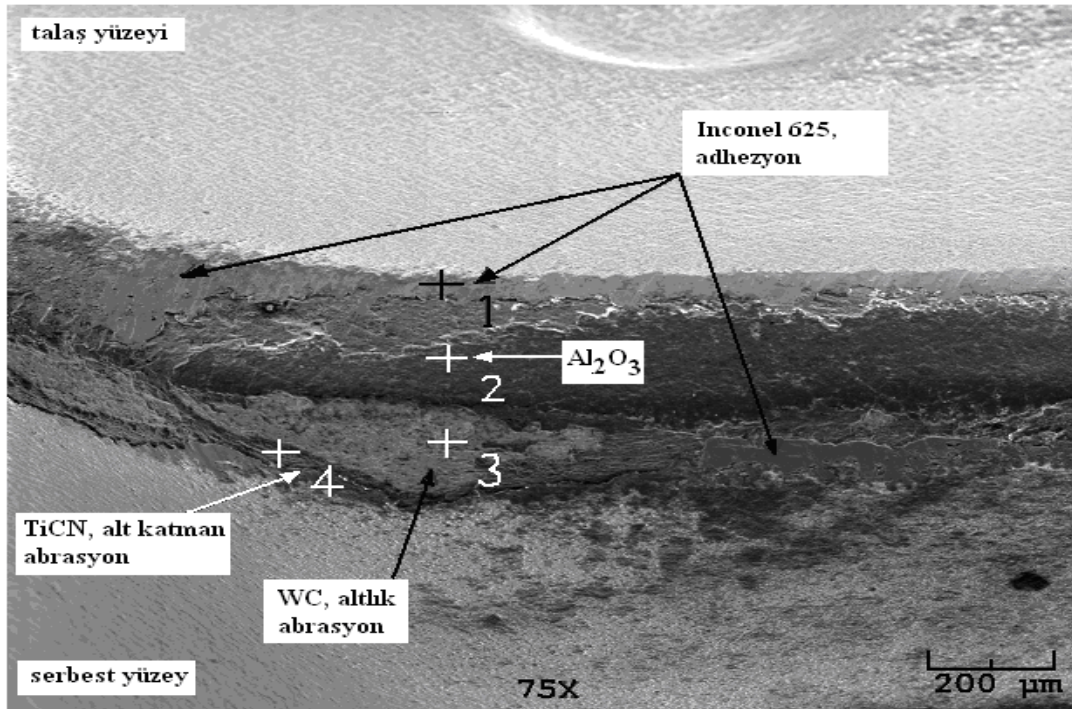


(a)

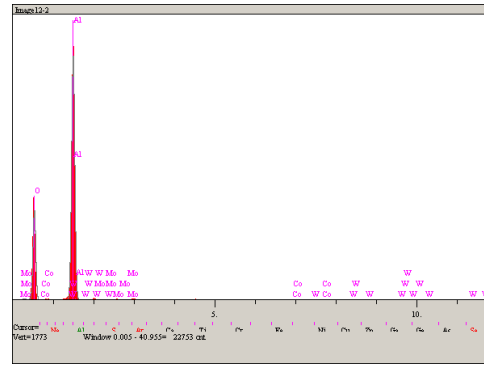


(b)

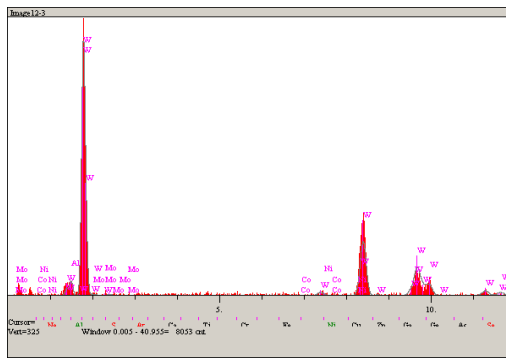
Şekil 7.14. CVD-TiCN+ Al_2O_3 kaplamalı takımın, $V_c=25$ m/dak ve $f_z=0.16$ mm/diş kesme parametrelerindeki (a) takım SEM görüntüsü (120X), (b) elde edilen talaş görüntüsü (900X)



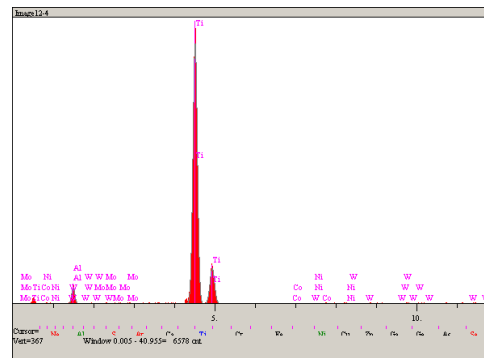
(1 numaralı bölge)



(2 numaralı bölge)



(3 numaralı bölge)



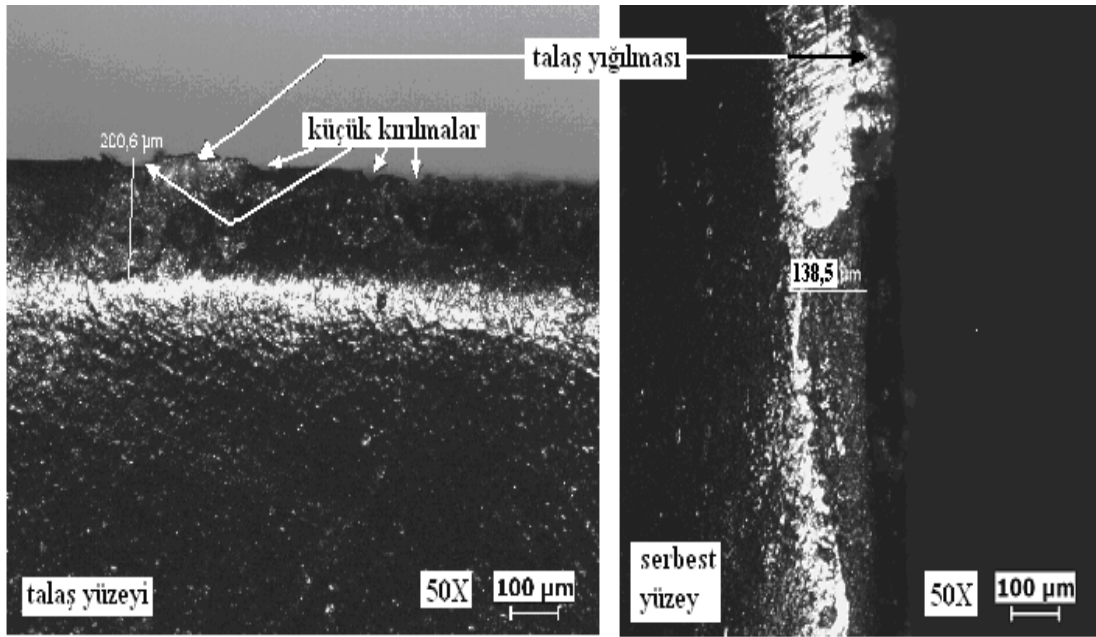
(4 numaralı bölge)

Şekil 7.15. CVD-TiCN+Al₂O₃ kaplamalı takımın, Vc=60 m/dak ve fz=0.08 mm/diş kesme parametrelerindeki SEM görüntüsü (75X) ve EDS element analizleri

60 m/dak kesme hızı ve 0.08 mm/diş ilerlemede aşınma bandı genişleyerek 209 μm' a ulaşarak bu takımda görülen en yüksek seviyeye ulaşmıştır (Şekil 7.15).

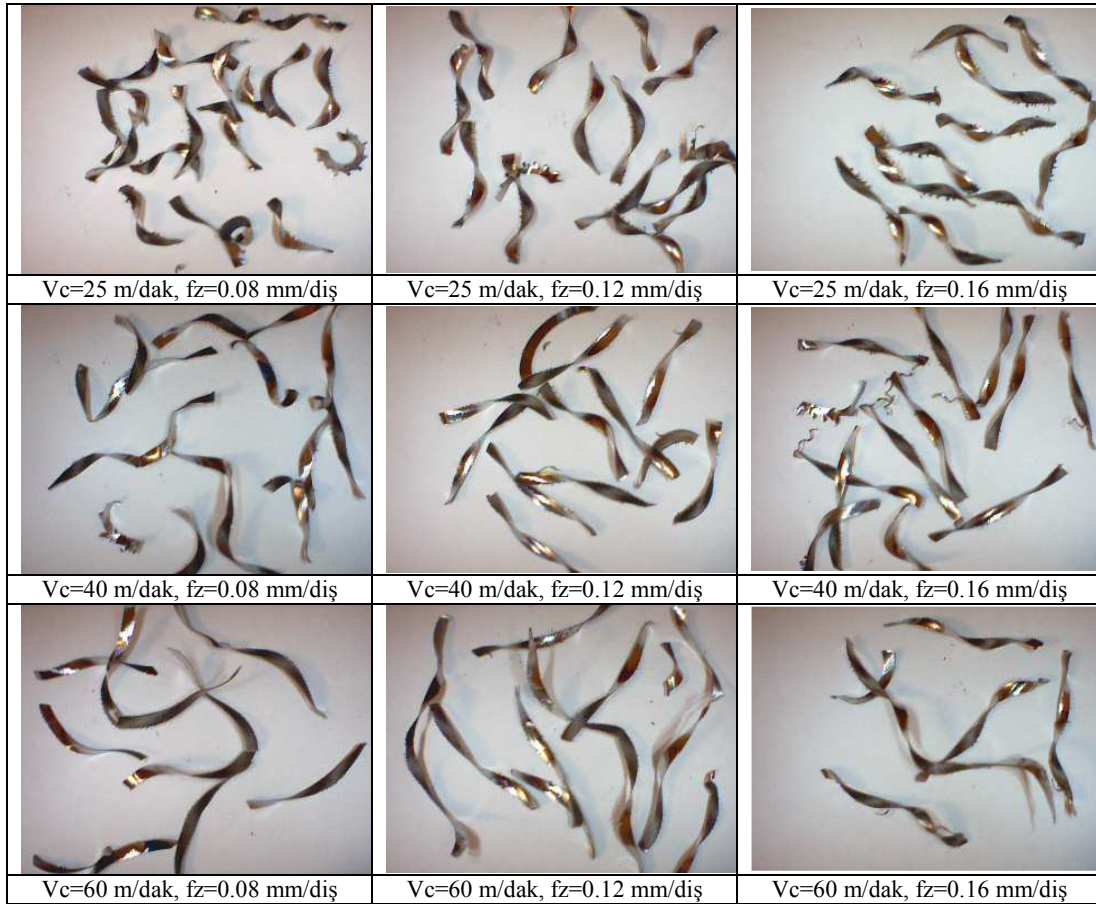
Adhezyona ve abrazyona bağılı olarak her iki yüzeyde de Al_2O_3 katmanı, hatta aşınmaya dirençli alt katman TiCN kalkmış ve altlık WC ortaya çıkmıştır. Şekil 7.15'te bu kesme parametresine ait takımdaki aşınma mekanizmaları SEM görüntüsü ve EDS analizleri ile görülmektedir.

0.12 mm/diş ilerlemede VB aşınma değeri $138 \mu m$ 'a kadar düşmüştür. Ancak adhezyona bağılı olarak talaş yüzeyinde, talaşın bittiği noktada talaş yığılması oluşmuştur (Şekil 7.16). İşlemin devam ettirilmesi halinde özellikle talaşın bittiği noktada BUE oluşumu hız kazanacak, BUE koparak çentik oluşturacak, takım aşınmasını arttıracaktır. Ayrıca talaş yüzeyi kesme kenarında küçük kırılmalar dikkati çekmektedir.



Şekil 7.16. CVD-TiCN+ Al_2O_3 kaplamalı takımın, $V_c=60$ m/dak ve $f_z=0.12$ mm/diş parametrelerindeki optik mikroskop görüntüleri (50X)

Elde edilen talaşlar özellikle yüksek ilerlemelerde süreksiz, kırılğan, parçalı karakterdedir. Bu takımın talaş kaldırma işleminde zorlandığını, kolay ve düzgün kesme yapamadığını, kesme kuvvetlerinin yüksek olduğunu göstermektedir (Şekil 7.17).



Şekil 7.17. CVD-TiCN+Al₂O₃ kaplamalı takımın, Inconel 625'in işlenmesinde çeşitli kesme değerlerine göre oluşan talaş şekilleri

Sonuç olarak; yapılan deneyde CVD-TiCN+Al₂O₃ kaplamalı takım Nikel esaslı alaşımların düşük-orta-yüksek kesme hızlarında işlenmesinde uygun olmadığı görülmüştür. Bu sonuç literatürdeki [3, 12, 22] numaralı kaynaklardaki sonuçlarla benzerlikler taşımaktadır. Bu takımın en üst katmanında adhezyona dirençli TiN katmanı olmaması bu takım için dezavantaj olmaktadır. Adhezyona ve işlemden kaynaklanan periyodik termal ve mekanik yüklem-boşalma döngüsüne bağlı olarak Al₂O₃ katmanı yer yer kalkmış ve alt katman TiCN ve altlık malzeme WC'nin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Yapılan analizler erken takım aşamasında adhezyon mekanizmasının daha etkin olduğunu göstermektedir. Böylece Inconel 625'in işlenmesinde, tüm kesme parametrelerinde en kötü performansı göstermiştir. Kesme hızı ve ilerleme arttıkça aşınma da artmaktadır. Ayrıca yüksek kesme hızlarında talaş yığılması da dikkat çekmektedir. Abrasyon, adhezyon bu takımın temel aşınma mekanizmalarını oluşturmaktadır.

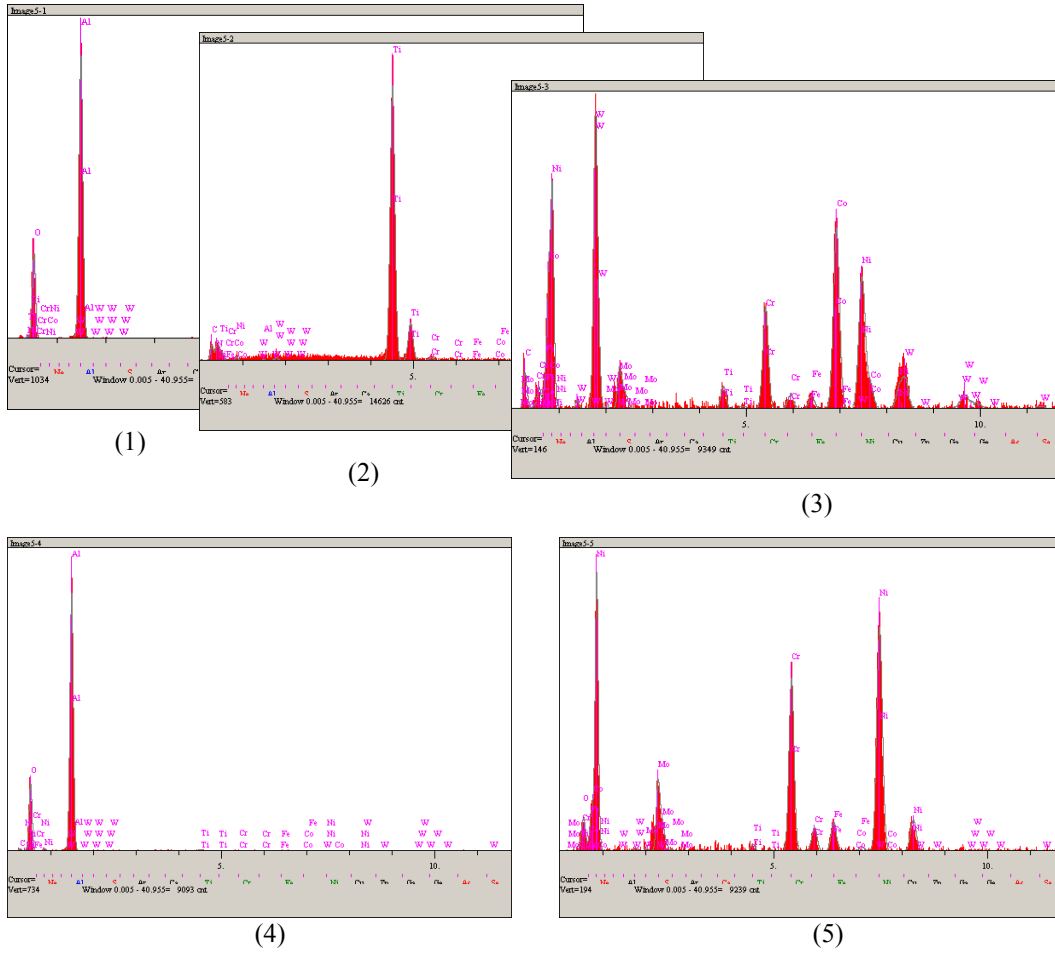
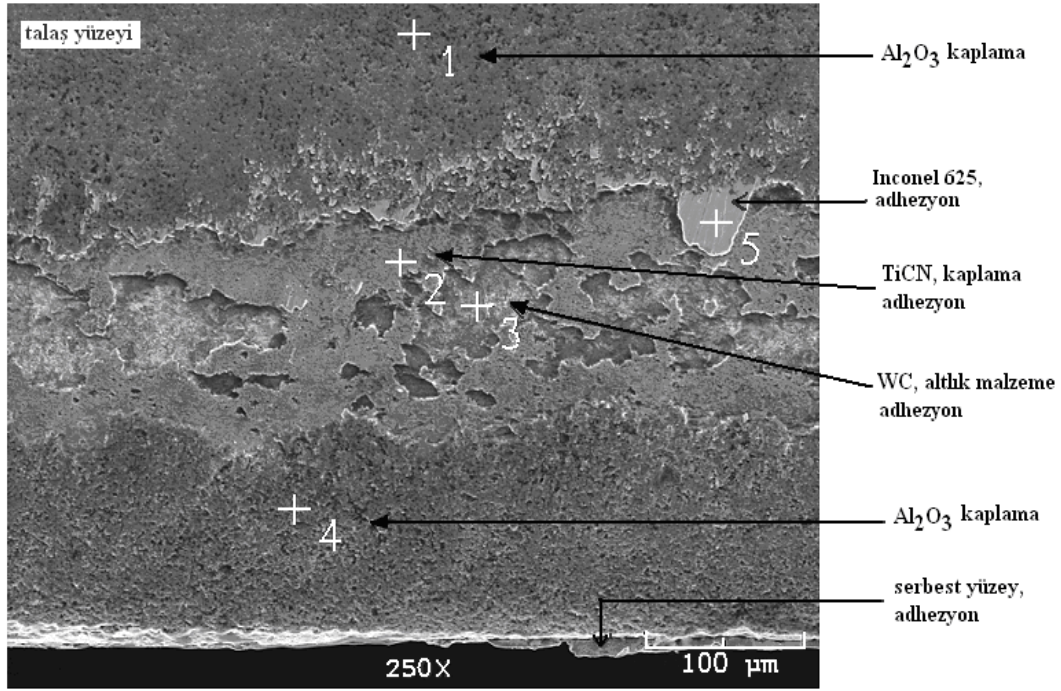
7.1.6. CVD-TiCN+Al₂O₃+(TiN) kaplamalı (4240) takımın aşınma davranışlarının değerlendirilmesi

Bu takım bir önceki CVD-TiCN+Al₂O₃ takıma ek olarak serbest yüzeyine aşınma direncini artırılması için TiN ile kaplanarak süper alaşımların işlenmesinde kullanılması tavsiye edilen, yeni geliştirilmiş bir takımdır.

Şekil 7.18’de 25 m/dak kesme hızında 0.08 mm/diş ilerlemede talaş yüzeyindeki SEM görüntüleri ve EDS analizleri görülmektedir. Bu kesme parametresinde adhezyona bağlı olarak Inconel 625 malzemesi takımın talaş yüzeyine yapışmıştır. Talaşla birlikte difüzyona karşı perde görevi görmesi beklenen Al₂O₃ katmanı orta bölgede kalmıştır Bu nedenle aynı bölgedeki adhezyon sonucu TiCN katmanı da kalkarak altlık malzeme WC ortaya çıkmıştır. İşleme devam edilirse, diğer kesici takımlardaki anlatıldığı gibi talaş yüzeyinde çentik, krater oluşması düşünülmektedir.

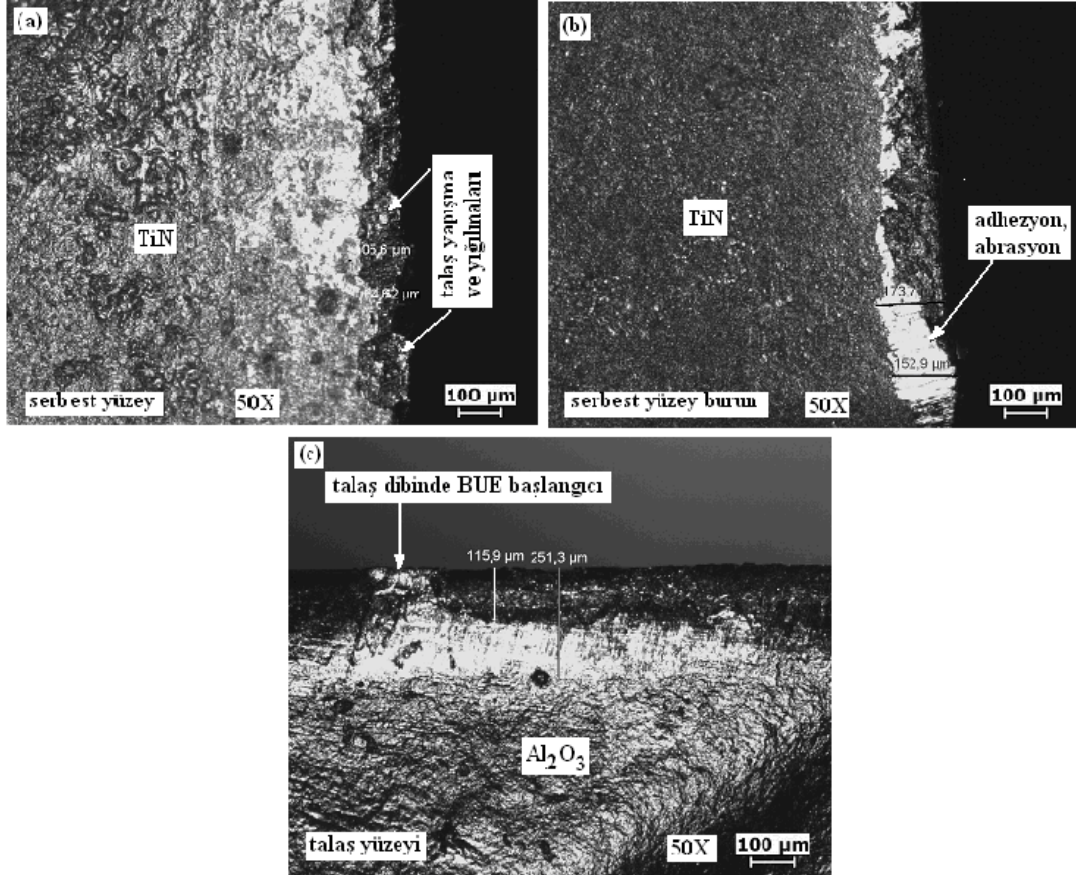
Serbest yüzeyde ise adhezyona karşı direnç göstermesi beklenen TiN katmanına rağmen, talaş yapışması gerçekleşmiştir. Bu Nikel esaslı alaşımlar için normal kabul edilebilir. Yine de VB değeri 84 µm’da kalmıştır.

25 m/dak kesme hızında ilerleme 0.12 mm/diş’e çıkarıldığında VB değeri 103 µm’a ilerlemiş, 0.16 mm/diş ilerlemede aşınma 60 µm’a inmiştir. Burada diğer kesici takımlardaki gibi ilerlemenin artırılması ile performansın da yükseldiği görülmüştür.



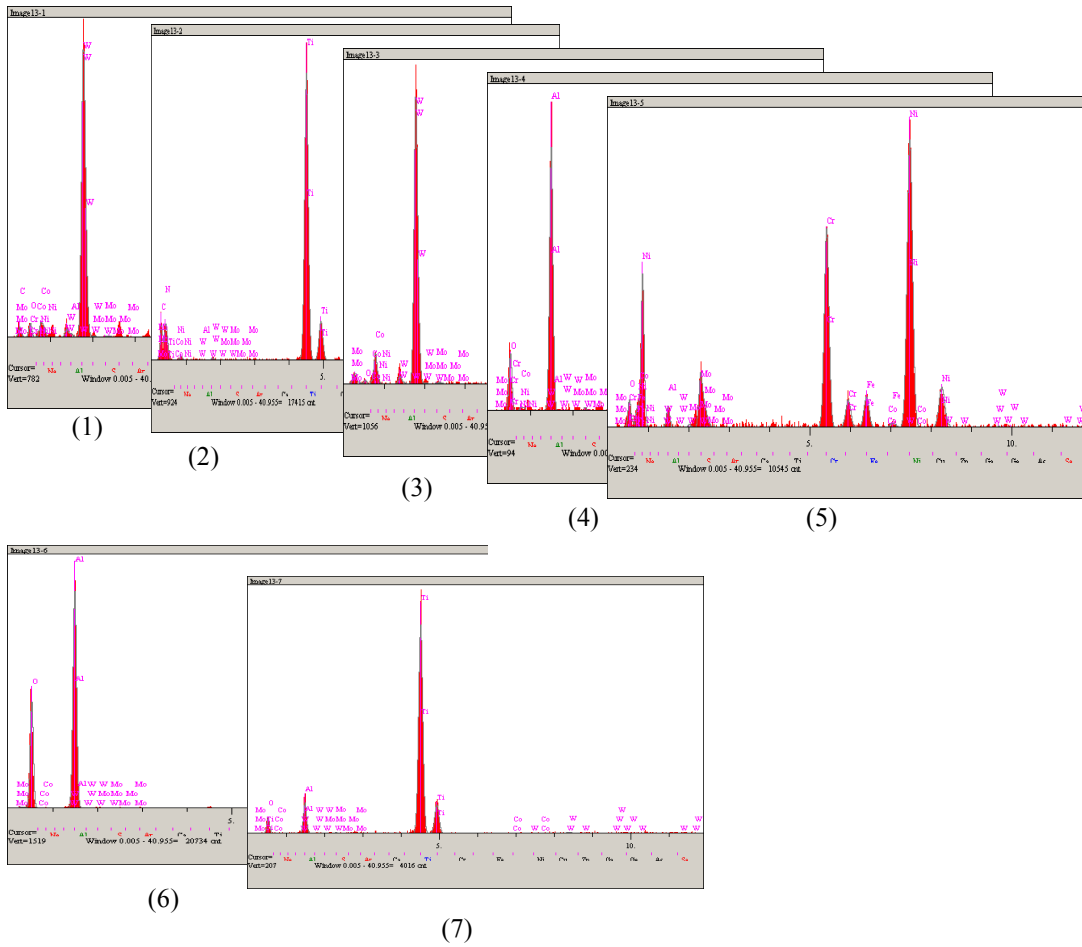
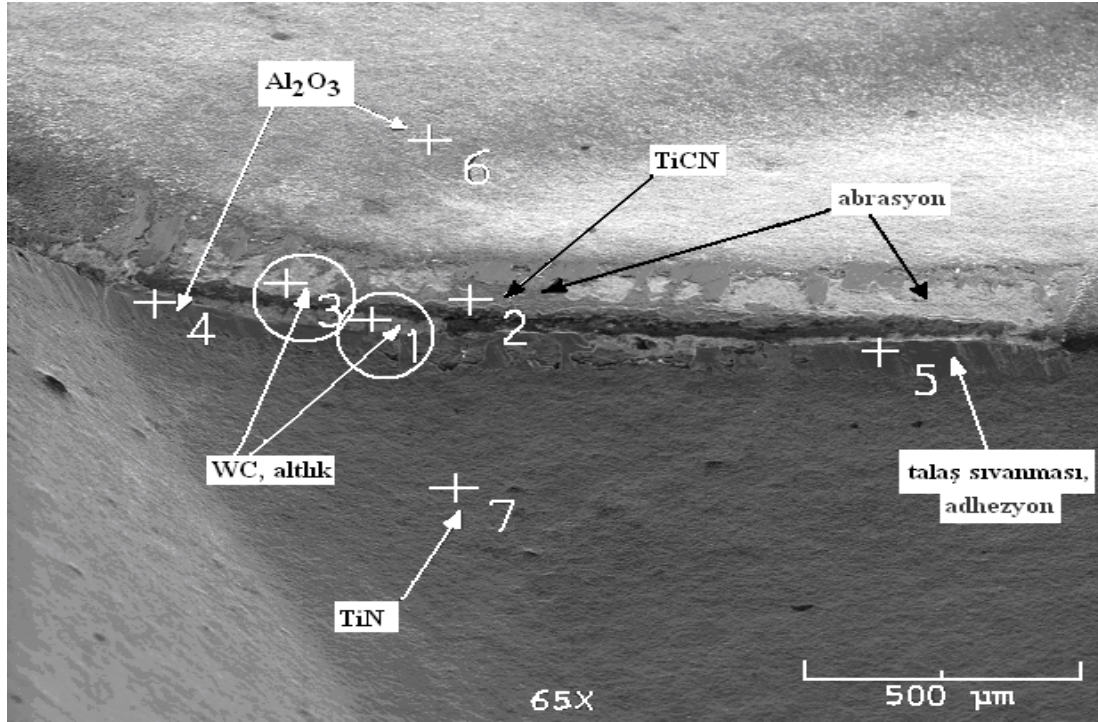
Şekil 7.18. CVD-TiCN+Al₂O₃+(TiN)kaplamalı takımın, Vc=25 m/dak ve fz=0.08 mm/diş kesme parametrelerindeki SEM görüntüsü (250X) ve EDS element analizleri

40 m/dak kesme hızında 0.08 mm/diş ilerlemede aynı aşınma mekanizmaları görülmüş, ancak talaş yüzeyinde adhezyona bağlı olarak BUE oluşma eğilimi dikkat çekmiştir (Şekil 7.19). 0.12 mm/diş ilerlemede aşınma artarken, 0.16 mm/diş ilerlemede aşınma değeri $78 \mu\text{m}$ 'a düşmüştür.



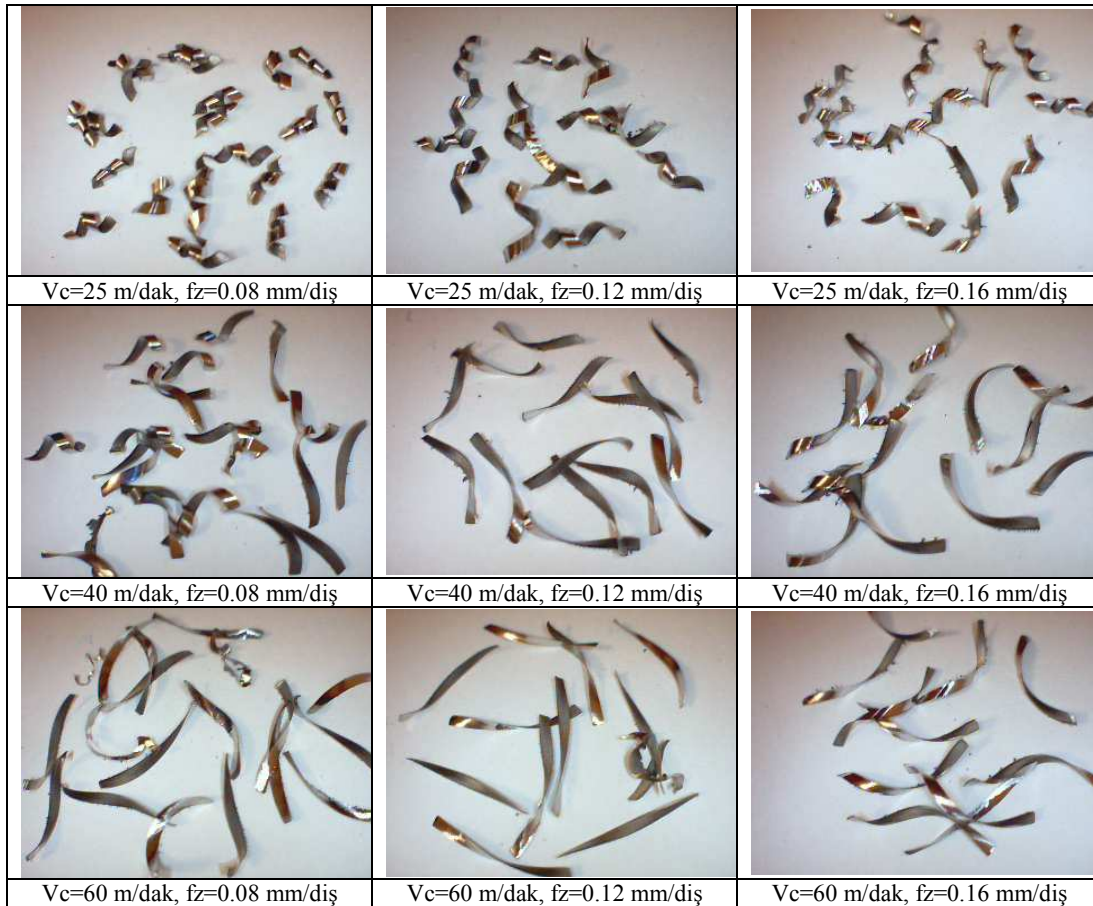
Şekil 7.19. CVD-TiCN+Al₂O₃+(TiN)kaplamalı takımın, $V_c=40$ m/dak ve $f_z=0.08$ mm/diş kesme parametrelerindeki optik mikroskop görüntüleri (50X) a-serbest yüzey, b-serbest yüzey burun, c-talaş yüzeyi

Şekil 7.20'de 60 m/dak kesme hızında, 0.08 mm/diş ilerlemede serbest yüzeyde geniş bir aşınma bandı görülmektedir. Serbest yüzeyde TiN abrazyonu ve adhezyonu engelleyememiş, önce TiN, sonra da Al₂O₃ katmanı ve TiCN katmanı da kalkarak, aşınma altlık malzemesine kadar inmiştir. Bu kesme parametresinde VB değeri ($120 \mu\text{m}$) bu takım için en yüksek seviyededir. Talaş yüzeyinde ise aynı mekanizmalar göze çarpmakta olup, işlemin devam etmesi halinde kraterleşme, talaş derinliğinde çentik, termal çatlak, mekanik yorulma çatlaklarının oluşabileceği düşünülmektedir. 0.12-0.16 mm/diş ilerlemelerde aşınma değeri kademeli olarak düşerek, 0.16 mm/diş ilerlemede en düşük seviyeye gerilemiştir.



Şekil 7.20. CVD-TiCN+ Al_2O_3 +(TiN)kaplamalı takımın, $V_c=60$ m/dak ve $f_z=0.08$ mm/diş kesme parametrelerindeki SEM görüntüsü (65X) ve EDS element analizleri

Talaşlar düşük kesme hızlarında dar adımlı talaş oluşmuştur. Aşınmanın en çok olduğu 60 m/dak kesme hızı, 0.08 mm/diş ilerlemede talaşlarda yüksek ısıdan dolayı renk değişimleri meydana geldiği, ayrıca talaş yüzeyi ince paralel çizgilerden oluştuğu gözlemlenmiştir (Şekil 7.21). Yüksek kesme hızı ve yüksek ilerlemelerde düz ve büyük adımlı, bir kenarında çok ince testere dişler bulunan talaşlar oluşmuştur. Bu parametrelerde talaşın fazla zorlanmadan ve düzgün kesildiği görülmüştür.



Şekil 7.21. CVD-TiCN+Al₂O₃+(TiN) kaplamalı takımla, Inconel 625'in işlenmesinde çeşitli kesme değerlerine göre oluşan talaş şekilleri

Sonuç olarak; literatürde aynı takımla, aynı kesme parametrelerinde Nikel esaslı alaşım işleme deneylerine rastlanılmadığından kıyaslama yapılamamıştır. Ancak diğer takımlarla mukayesesi yapılmıştır. Buna göre; düşük kesme hızlarında ve düşük ilerlemelerde aşınma artmıştır. İlerleme arttıkça aşınma değeri düşmüştür. Al₂O₃ katmanını koruması, adhezyonu ve buna bağlı olarak BUE etkisini azaltması beklenen, serbest yüzeye kaplanan TiN tabakası malzeme yapışmasının çok olduğu

Nikel esaslı alaşımda düşük kesme hızı ve düşük ilerlemelerde başarı gösterememiştir. Kimyasal kararlılık sağlaması beklenen Al_2O_3 katmanı ve abrasyona dirençli TiCN katmanı da aynı mekanizmayla kalkarak altlık olan WC ortaya çıkmıştır. Ancak 60 m/dak kesme hızı, 0.16 mm/diş ilerlemelerde başarılı olmuştur. Inconel 625 malzemesinde yüksek kesme hızı ve büyük ilerlemelerde performansı yeterlidir. Ancak PVD - TiAlN + TiN kaplamalı (2030) takım ve CVD-TiCN+ Al_2O_3 +TiN kaplamalı (2040) takımların 2 kat VB aşınma değerine ulaşmıştır.

7.1.7. Nikel esaslı alaşımın, farklı kesici takımlar ile işlenmesinden elde edilen optimum kesme parametreleri ve analizler

Talaş kaldırma deneyleri ile Inconel 625'in işlenmesinde elde edilen veriler değerlendirilmiş ve her takım için kesme parametrelerine göre serbest yüzey aşınma değeri (VB) ve oluşan aşınma şekilleri Tablo 7.1'de gösterilmiştir.

Inconel 625 malzemesinin işlenmesinde CVD-TiCN+ Al_2O_3 kaplamalı (3040) takım hariç, en iyi takım performansları $V_c=40-60$ m/dak ve $f_z=0.16$ mm/diş işleme şartlarında alınmıştır. Malzemenin özelliğinden dolayı düşük kesme hızlarında anlık talaş yapışması (adhezyon) ile birlikte takım hızla aşınmıştır. Yani yüksek kesme hızı ve yüksek ilerleme ile yapılan talaş kaldırma idealdir.

CVD-TiCN+ Al_2O_3 kaplamalı (3040) takım Nikel esaslı alaşım işlemede başarı gösteremediği görülmüş, kesme hızı arttıkça aşınmanın da arttığı ve bu tür alaşımlar için uygun olmadığı yorumu yapılmıştır. Diğer 4 takımın da performansı yeterli görülmüştür. CVD-TiCN+ Al_2O_3 +TiN kaplamalı (2040) takım en ideal takımdır. PVD-TiAlN+TiN kaplamalı (2030) takım da bu takıma yakın bir performans göstererek Nikel esaslı alaşım işlemede en iyi performansı vermiştir. CVD-TiCN+ Al_2O_3 +serbest yüzeyde TiN kaplamalı (4240) takımın performansı PVD-TiAlN kaplamalı (1030) takıma göre biraz daha iyi olmakla beraber her iki takım da başarılı sonuçlar vermiştir. Ancak diğer iki takıma göre 2 kat fazla yan kenar (VB) aşınması görülmüştür.

Tablo 7.1. Kaplamalı karbür takımlarla Inconel 625'in işlenmesi sonucunda oluşan serbest yüzey aşınma (VB) değerleri ve aşınma şekilleri (Talaş derinliği a=1mm, Kesme boyu x=2 mm)

Kesici Adı		PVD - TiAlN kaplamalı (1030) karbür takım	
Kesme parametreleri			Oluşan aşınma şekilleri
Kesme hızı V, (m/dak)	İlerleme f, (mm/diş)	Serbest yüzey aşınması VB, (µm)	
25	0.08	89	Abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması
25	0.12	98	Abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması
25	0.16	80	Abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması
40	0.08	85	Abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması, BUE eğilimi
40	0.12	80	Abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması
40	0.16	75	Abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması
60	0.08	82	Abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması
60	0.12	100	Şiddetli abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması, BUE
60	0.16	70	Abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması

Kesici Adı		PVD - TiAlN + TiN kaplamalı (2030) karbür takım	
Kesme parametreleri			Oluşan aşınma şekilleri
Kesme hızı V, (m/dak)	İlerleme f, (mm/diş)	Serbest yüzey aşınması VB, (µm)	
25	0.08	38	Abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması
25	0.12	35	Abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması, mekanik yorulma çatlakları
25	0.16	20	Az abrasyon, serbest yüzey aşınması, mekanik yorulma çatlakları
40	0.08	15	Çok az abrasyon, adhezyon, çok az serbest yüzey aşınması
40	0.12	30	Abrasyon, adhezyon, az serbest yüzey aşınması
40	0.16	25	Az abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması
60	0.08	30	Yoğun abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması, krater
60	0.12	95	Abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması, kırılma
60	0.16	45	Abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması

Kesici Adı		CVD - TiCN+Al ₂ O ₃ +TiN kaplamalı (2040) karbür takım	
Kesme parametreleri			Oluşan aşınma şekilleri
Kesme hızı V, (m/dak)	İlerleme f, (mm/diş)	Serbest yüzey aşınması VB, (µm)	
25	0.08	37	Abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması
25	0.12	25	Çok az abrasyon, adhezyon, çok az serbest yüzey aşınması
25	0.16	28	Az abrasyon, adhezyon, çok az serbest yüzey aşınması
40	0.08	40	Abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması
40	0.12	42	Abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması
40	0.16	27	Abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması
60	0.08	26	Abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması
60	0.12	43	Abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması
60	0.16	32	Abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması

Tablo 7.1. (Devam) Kaplamalı karbür takımlarla Inconel 625'in işlenmesi sonucunda oluşan serbest yüzey aşınma (VB) değerleri ve aşınma şekilleri (Talaş derinliği a=1mm, Kesme boyu x=2 mm)

Kesici Adı		CVD - TiCN+Al ₂ O ₃ kaplamalı (3040) karbür takım	
Kesme parametreleri			Oluşan aşınma şekilleri
Kesme hızı V, (m/dak)	İlerleme f, (mm/diş)	Serbest yüzey aşınması VB, (µm)	
25	0.08	146	Şiddetli abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması
25	0.12	159	Şiddetli abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması
25	0.16	100	Abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması
40	0.08	175	Şiddetli abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması
40	0.12	150	Şiddetli abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması
40	0.16	120	Çok şiddetli abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması
60	0.08	209	Çok şiddetli abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması
60	0.12	138	Abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması, lokal kırılmalar
60	0.16	130	Abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması, BUE eğilimi

Kesici Adı		CVD - TiCN+Al ₂ O ₃ +(TiN) kaplamalı (4240) karbür takım	
Kesme parametreleri			Oluşan aşınma şekilleri
Kesme hızı V, (m/dak)	İlerleme f, (mm/diş)	Serbest yüzey aşınması VB, (µm)	
25	0.08	84	Abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması
25	0.12	103	Yoğun abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması
25	0.16	60	Abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması
40	0.08	80	Abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması, BUE oluşma eğilimi
40	0.12	91	Abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması
40	0.16	78	Abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması
60	0.08	120	Şiddetli abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması
60	0.12	72	Abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması
60	0.16	68	Abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması

PVD ile CVD takım kaplama yöntemlerine karşılaştırıldığında, genel olarak CVD'nin PVD'ye göre daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Ancak düşük kesme hızlarında PVD'nin CVD'ye göre daha iyi performans gösterdiğine ulaşılmıştır. PVD'nin ve CVD'ye göre üstünlükleri, CVD'nin PVD'ye göre üstünlükleri bu deneyde de görülmüştür.

Üst katman olarak TiN kaplanması tüm takımlarda performansı arttırmıştır. TiN katmanının sadece yan kenara kaplandığı (4240) takımında performans düşüklüğüne neden olmuştur. TiN talaş sıvanmasını azaltarak BUE oluşumunu yavaşlatmıştır.

Al₂O₃ katmanı üstte abrasyona ve adhezyona dirençli TiN katmanı ile birlikte kullanıldığında başarı göstermiştir. Al₂O₃'ün böyle kullanıldığı takımlarda kimyasal

kararlılık göstererek aşınmalara karşı direnç sağlamıştır. Üstte tek olarak kullanıldığında (3240) performans düşüklüğüne neden olmuştur.

TiAlN katmanının abrasyona ve adhezyona karşı dirençli olduğu görülmüş, işleme sırasında yüzeyde oluşan Al_2O_3 etkisiyle düşük ısı iletkenliği özelliği alıp takımın daha az ısınmasına, böylece yüksek kesme hızlarında da iyi bir performans göstermesini sağlamıştır. TiAlN+TiN kullanıldığında (2030) performansını arttırdığı görülmüştür. Ancak (2030) TiAlN'nin yorulmaya karşı etkisiz özelliğinden dolayı, mekanik yorulma çatlaklarına engel olamamıştır.

Altlık malzeme WC'nin hemen üstüne kaplanan TiCN abrasyona karşı direnç göstermiş, ancak talaşın yapışarak kaplamanın kalkmasına böylece altlık katmana kadar aşınmanın gerçekleşmesine engel olamamıştır.

Serbest yüzey (VB) aşınması, talaş yüzeyi aşınmaları bütün halinde ele alınarak yapılan analizlere göre her takım için ayrı ayrı olmak üzere optimum kesme parametreleri bulunmuştur. Elde edilen optimum kesme parametreleri Tablo 7.2'de gösterilmiştir.

Tablo 7.2. Aşınma değerlerine göre, talaş derinliği (1 mm), kesme boyu (2 mm) sabitken farklı takımlarla Inconel 625'in işlenmesinden elde edilen optimum kesme parametreleri

Kesici Adı	Nikel esaslı alaşımın, farklı kesici takımlar ile işlenmesinden elde edilen optimum kesme parametreleri	
	Kesme hızı V_c , (m/dak)	İlerleme f_z , (mm/diş)
PVD-TiAlN kaplamalı (1030) takım	60	0.16
PVD-TiAlN+TiN kaplamalı (2030) takım	40	0.16
CVD-TiCN+ Al_2O_3 +TiN kaplamalı (2040) takım	40	0.16
CVD-TiCN+ Al_2O_3 kaplamalı (3040) takım	25	0.16
CVD-TiCN+ Al_2O_3 +(TiN) kaplamalı (4240) takım	60	0.16

7.2. Paslanmaz Çeliğin İşlenmesinden Elde Edilen Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi

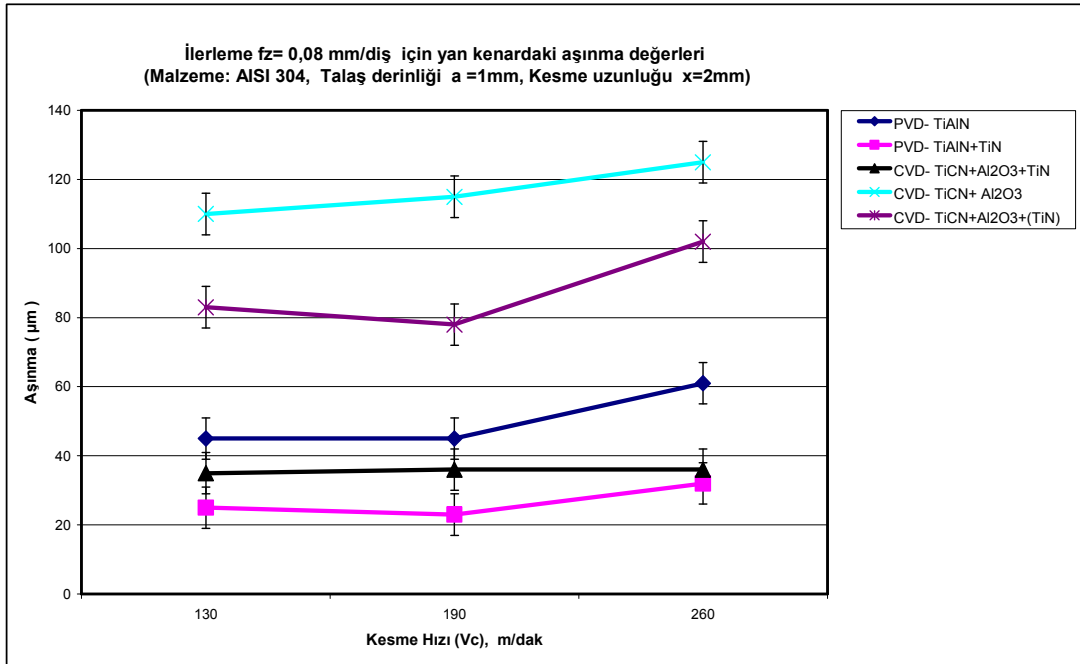
AISI 304 paslanmaz çelik malzemesi, erken aşınma davranışlarının tespiti için 5 farklı kalitede kaplamalı kesici uç kullanılarak frezede işlenmiştir. Deney sonrasında optik mikroskopta ve SEM’de görüntüleri alınmış, EDS analizleri yapılmıştır. Aşınmanın belirleyicisi olan serbest yüzeydeki, yan kenar (flank-yanak) VB aşınma değeri ölçüt alınıp ölçümler yapılarak aşınma miktarları belirlenmiştir. Ölçüm sonuçları tablolar halinde düzenlenerek grafiklere dönüştürülmüştür.

7.2.1. Kesme ve ilerleme hızlarının erken takım aşınmasına etkileri

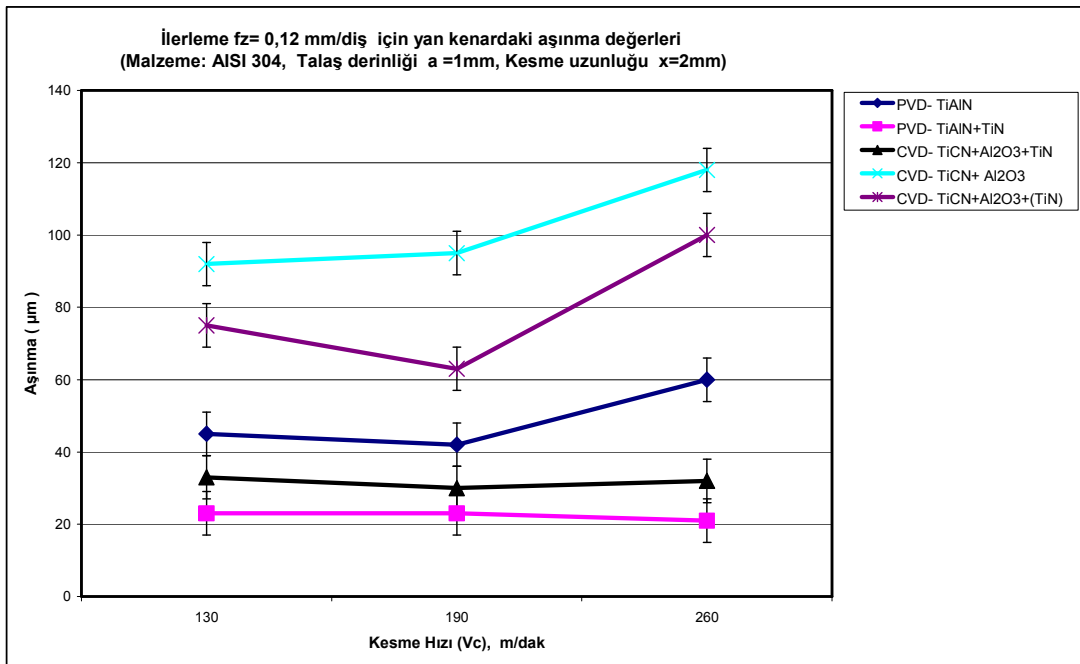
7.2.1.1. Kesme hızının erken takım aşınmasına etkisi

Deneylerde kullanılan kesme parametreleri TSE-ISO 8688-1 frezeleme testine ve ömür deneylerine, kesici takım üretici katalogları referans alınarak ve bugüne kadar yapılan ulusal ve uluslararası yayınlara uygun olarak seçilerek talaş kaldırma işlemi yapılmıştır. Tüm işleme şartlarında kesme uzunluğu $x=2$ mm, talaş derinliği $a=1$ mm olarak sabit tutulmuştur. İlerleme (fz) sabit tutulup (0.08, 0.12, 0.16 mm/diş), kesme hızlarına göre (130, 190, 260 m/dak) göre aşınma ölçümleri grafiklerde görülmektedir (Şekil 7.22).

Östenitik paslanmaz çelikler, yüksek Krom ve Nikel muhtevsından dolayı diğer karbonlu ve alaşımli çeliklerden daha yüksek sünekliğe ve daha düşük ısıl iletkenliğe sahiptir. Bu nedenle talaş kaldırmak için gerekli olan yüksek enerji, talaşla birlikte iş parçasından uzaklaşmak yerine kesme bölgesinde hapsolür. Kesme bölgesinde oluşan ısı arttıkça iş parçası ve kesici üzerindeki aşınma mekanizmalarını da hızlandırır. Sıcak talaşlar kesiciyi aşındırarak kendisiyle birlikte parçacıkları koparır. Buda takımın kısa sürede aşınmasına sebep olur. Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesi esnasında iş parçası malzemesi ile kesici takım arasında çok güçlü bir birleşme olduğu Trent [54] tarafından belirtilmektedir. Yapılan deneyde de yapışma/kaynama çok görülmüştür.

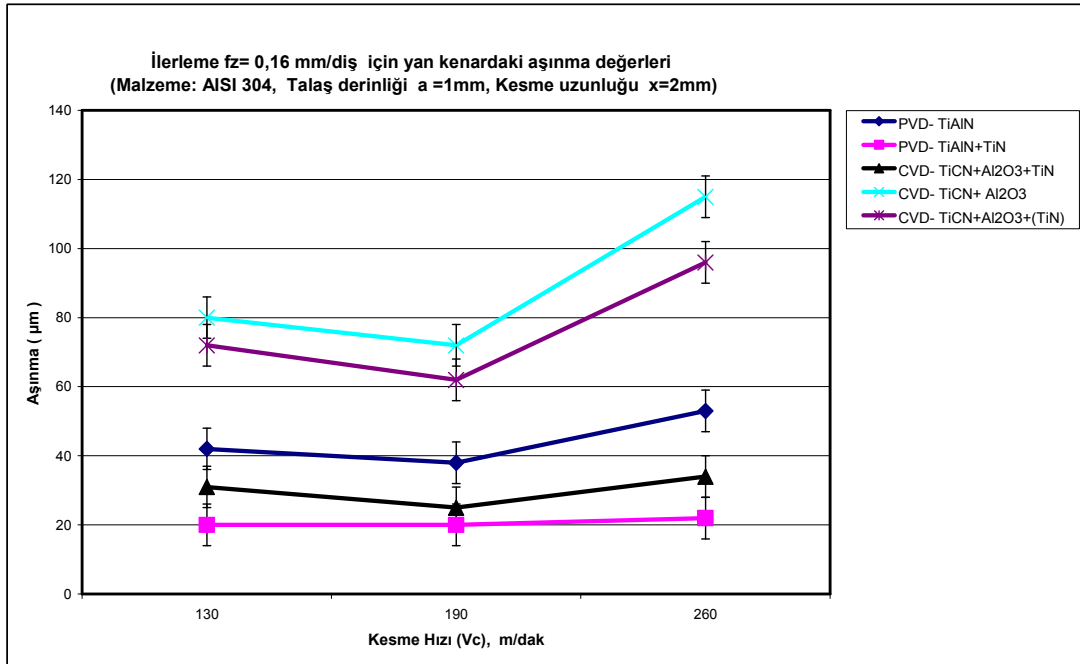


(a)



(b)

Şekil 7.22. Beş farklı kaplamalı takımla sabit ilerlemelerde (a- $f_z=0.08$ mm/diş, b- $f_z=0.12$ mm/diş, c- $f_z=0.16$ mm/diş) AISI 304'ün işlenmesinde, kesme hızı (Vc) ile yan kenar aşınması (VB) arasındaki ilişki



(c)

Şekil 7.22. (Devam) Beş farklı kaplamalı takım ile sabit ilerlemelerde (a - $f_z=0,08$ mm/diş, b - $f_z=0,12$ mm/diş, c - $f_z=0,16$ mm/diş) AISI 304'ün işlenmesinde, kesme hızı (V_c) ile yan kenar aşınması (VB) arasındaki ilişki

Yapılan deneyde kesme hızı 130 m/dak'dan, 190 m/dak'ya doğru arttıkça aşınma azalmıştır. Kesme hızının artması, kesme bölgesindeki sıcaklığın artmasına sebep olarak kesici kenarda katmanlar halinde oluşan talaşları yumuşatır ve onların bir akma bölgesine dönüşmesine neden olur. BUE oluşmadan engellenmiş olur. Aynı zamanda sıcaklığın artması BUE'nin dayanımını da azaltır. Artan kesme hızıyla kesici takım aşınmasının azalması, yüksek kesme hızlarında artan sıcaklık nedeniyle daha az BUE oluşma eğilimi ve kesici takıma daha az adhesiv kuvvet iletilmesi ile olduğu rapor edilmiştir [18]. Bundan dolayıdır ki, sünek ve sıvanmaya eğilimli olan östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde yüksek kesme hızı seçilmelidir. Ancak üretici takım referans aralığının üstüne çıkıldığında, 260 m/dak kesme hızında en fazla aşınma görülmüştür.

Grafiklere göre Inconel 625 testindeki gibi CVD-TiCN+Al₂O₃ kaplamalı (3040) takımındaki kesici uç yan kenar aşınmasının tüm kesme şartlarında en fazla olduğu görülmektedir. Düşük kesme hızlarında yüksek kesme hızlarına göre oranla daha az aşınma görülmemesine rağmen yine de beklenen performans gerçekleşmemiştir.

Süper alaşımların işlenmesi için yeni geliştirilen, P sınıfı, en yüksek performans beklenen CVD-TiCN+Al₂O₃+ yan kenarda TiN kaplamalı (4240) takımındaki yan kenar aşınması Inconel 625'teki gibi beklentinin altında kalmıştır.

PVD - TiAlN + TiN kaplamalı (2030) takım ile CVD - TiCN+Al₂O₃+TiN kaplamalı (2040) takım tüm kesme şartlarında birbirine yakın performans göstermişlerdir. Ancak PVD - TiAlN + TiN kaplamalı (2030) takım en iyi performansı göstermiştir.

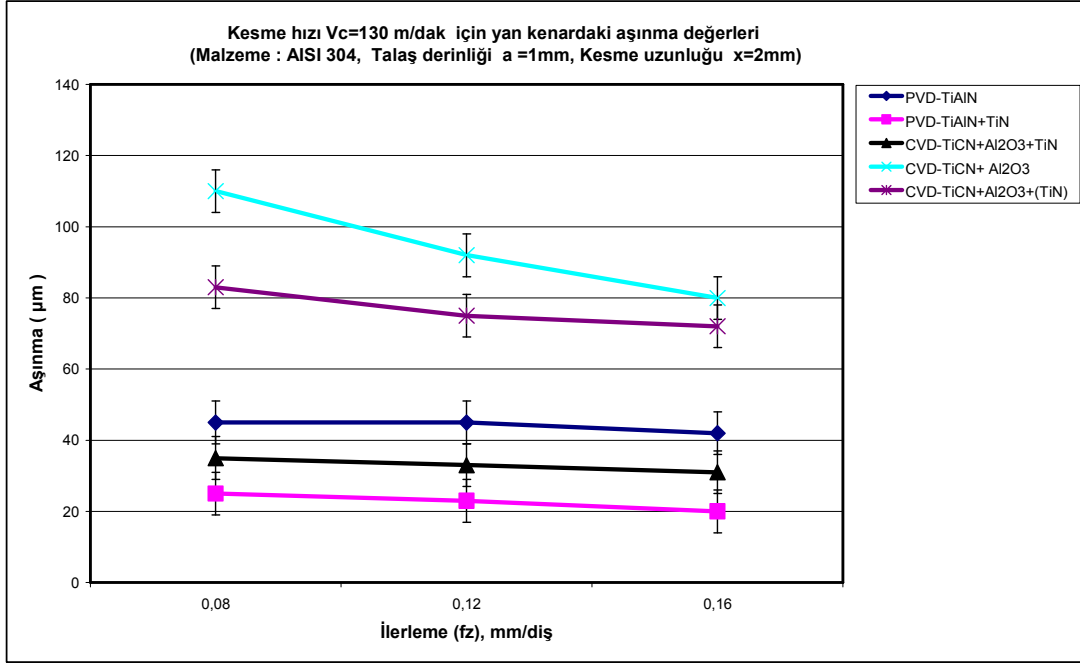
Kataloglarda nikel esaslı alaşımların ve paslanmaz çeliklerin işlenmesi için üretildiği belirtilen, P sınıfı, PVD - TiAlN kaplamalı (1030) takım da beklenen performansın biraz altında kalarak, aradaki aşınma değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

Yapılan deneyde özellikle düşük kesme hızlarında ve yüksek ilerlemelerde yığıntı talaş dikkat çekmektedir, bu Hossein ve Yahya'nın yaptığı deney sonuçlarıyla [26] örtüşmektedir. Deneyde en çok görülen aşınma mekanizmaları adhezyon, abrasyondur. Bu durum Shao ve arkadaşlarının yaptıkları deneysel çalışmanın sonucu, yapılan deneyle paralellik görülmektedir [27]. PVD takımların CVD'ye göre daha başarılı olduğu yapılan testte görülmüştür. Ayrıca PVD-TiAlN takım iyi bir performans göstermiştir. Bu sonuçlar Altinkaya ve Selinder'in yaptıkları çalışma [11, 30] ile benzerlik göstermektedir. Ancak Altinkaya'nın [11] sonucuna göre kesme hızı arttıkça aşınmanın arttığı, ilerleme artırıldığında aşınmanın azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuç ise yapılan deneyle tamamen ters düşmektedir. Bu deneyde TiAlN+TiN katmanlı takımın en iyi performansı, son katmanı Al₂O₃ olan takım en düşük performansı göstermesi Çakır ve Işık'ın [31] ile Dobrzanski [32] yaptıkları deney sonuçlarıyla paralellik göstermektedir.

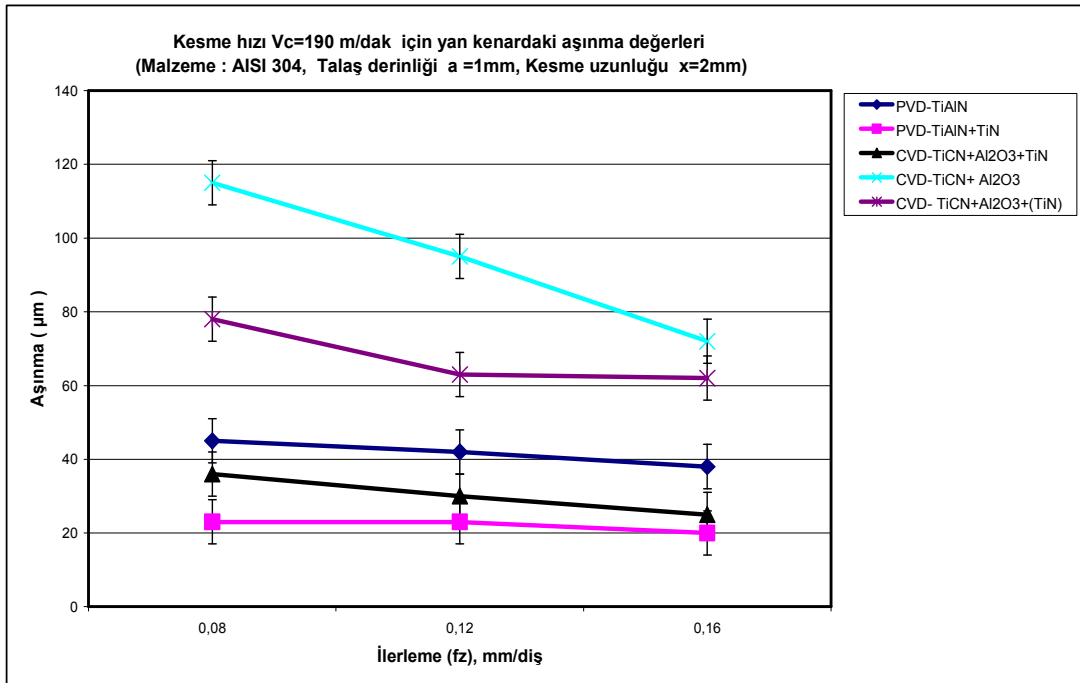
7.2.1.2. İlerleme hızlarının erken takım aşınmasına etkisi

İlerleme arttıkça aşınma miktarı da doğrusal olarak azalmaktadır. Ancak aradaki farklar çok azdır. Dolayısıyla erken aşınma değerlerine göre, AISI 304 işlemede 190 m/dak kesme hızında ve ilerlemenin en yüksek parametre olan 0.16 mm/diş alınması, optimum parametreler olarak belirlenmiştir. Konuyla ilgili bazı kaynaklarda da

benzer sonuçlar alınmış ve 0.2 mm/diş ilerlemeden sonra aşınmanın tekrar artacağı belirtilmiştir [18, 25, 26, 29].

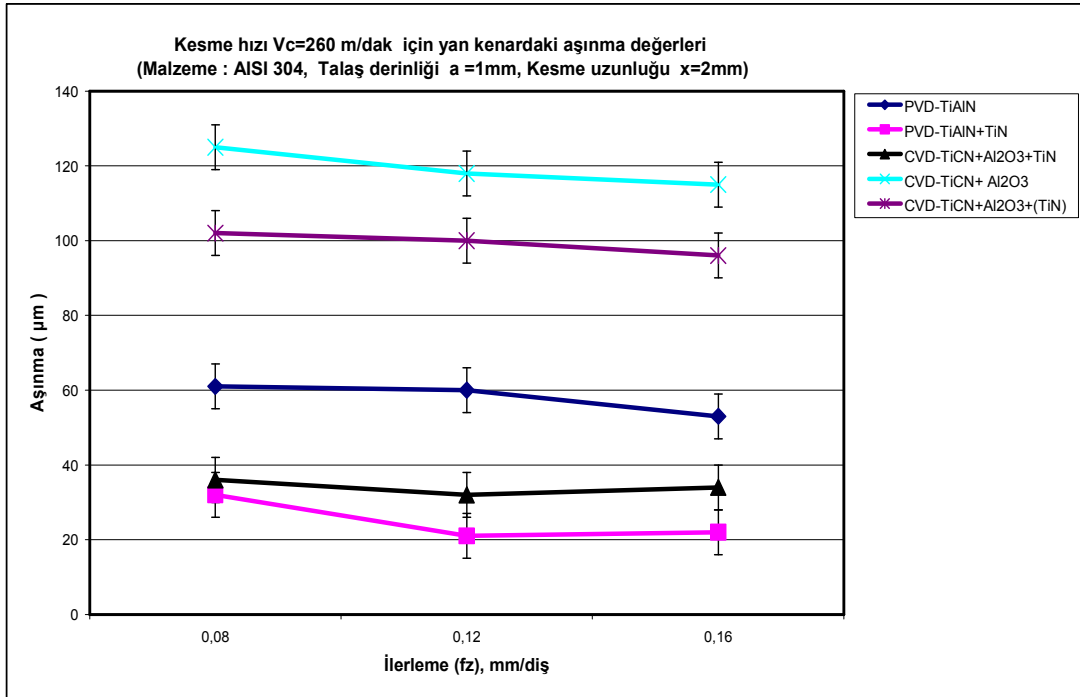


(a)



(b)

Şekil 7.23. Beş farklı kaplamalı takım ile sabit kesme hızlarında (a- $V_c=130$ m/dak, b- $V_c=190$ m/dak, c- $V_c=260$ m/dak) AISI 304'ün işlenmesinde, ilerleme (fz) ile yan kenar aşınması (VB) arasındaki ilişki



(c)

Şekil 7.23. (Devam) Beş farklı kaplamalı takım ile sabit kesme hızlarında (a- $V_c=130$ m/dak, b- $V_c=190$ m/dak, c- $V_c=260$ m/dak) AISI 304'ün işlenmesinde, ilerleme (fz) ile yan kenar aşınması (VB) arasındaki ilişki

Grafiklerden en iyi performansa sahip PVD-TiAlN+TiN kaplamalı (2030) takım ile CVD-TiCN+Al₂O₃+TiN kaplamalı (2040) takım için optimum kesme parametrelerinin $V_c=190$ m/dak, ilerlemenin $f_z=0.16$ mm/diş olduğu, ancak diğer takımlarda farklılıklar olduğu Şekil 7.23'te görülmektedir.

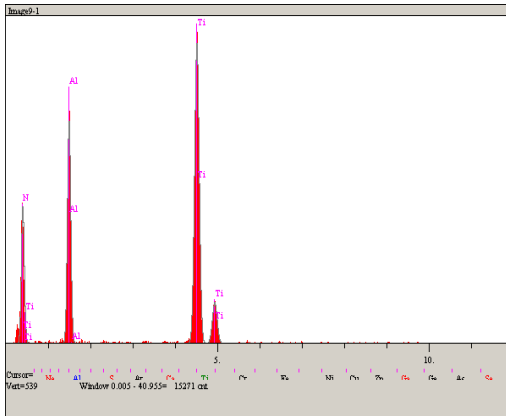
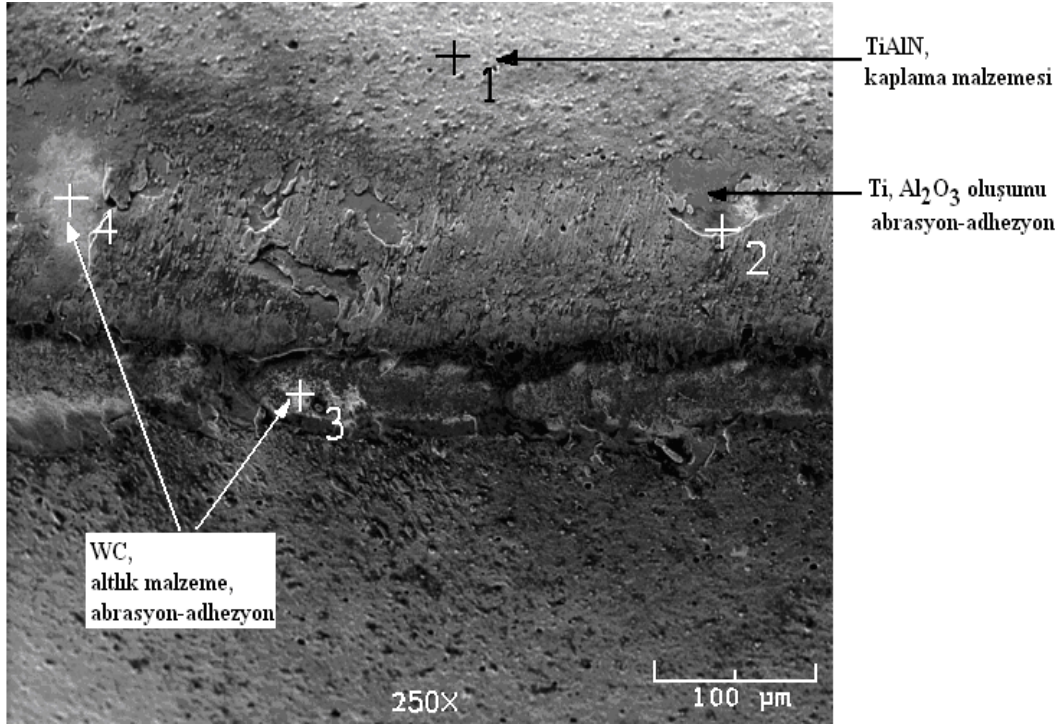
Ayrıntılı açıklamalar, analizler ve değerlendirmeler kesici takım alt başlıklarında verilecektir.

7.2.2. PVD-TiAlN kaplamalı (1030) takımın aşınma davranışlarının değerlendirilmesi

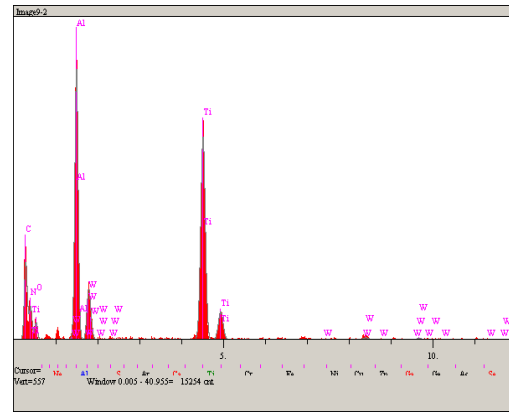
130 m/dak kesme hızı 0.08 mm/diş ilerlemede talaşın bittiği noktada ve burunda her iki yüzeyde adhezyon, diğer bölümlerde az abrasyon görülmüştür. 0.12, 0.16 mm/dak ilerlemelerde adhezyon tüm kesici kenara yayılmış, ancak VB aşınma değerlerinde hemen hemen bir değişiklik olmamıştır.

190-260 m/dak kesme hızlarında ilerleme arttıkça aşınma değeri de azalmaktadır. 190 m/dak kesme hızında bu takımdaki en düşük VB aşınma değerleri ölçülmüştür. 260 m/dak kesme hızlarında ise en yüksek aşınma değeri görülmüştür. Meydana gelen aşınma mekanizmaları talaş yüzeyinde, yan kenarda ve burunda abrasyon, adhezyondur. Talaş yüzeyinde çentik oluşumu ve kraterleşme eğilimi beklenmemektedir.

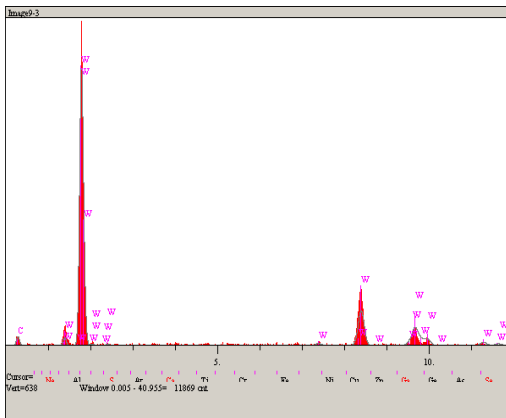
260 m/dak kesme hızı, 0.08 mm/diş ilerlemede takım adhezyona bağlı olarak talaş yapışması (BUE) ile kaplama malzemesi ve altlık malzeme kaybı meydana gelmiştir. Bu durum takıma (Şekil 7.24) ve talaşa ait (Şekil 7.25) SEM görüntüleri ve EDS analizleri ile ispatlanmıştır. 260 m/dak kesme hızlarında kesici kenarda küçük kırılmalar görülmüştür.



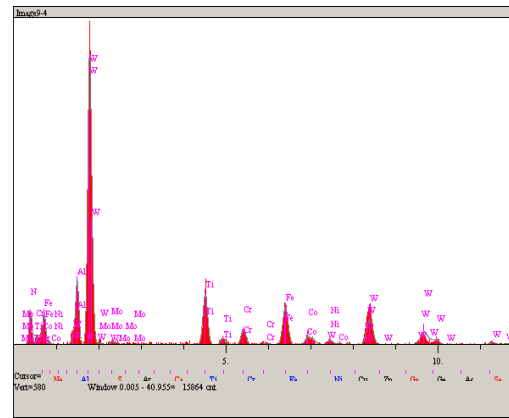
(1)



(2)

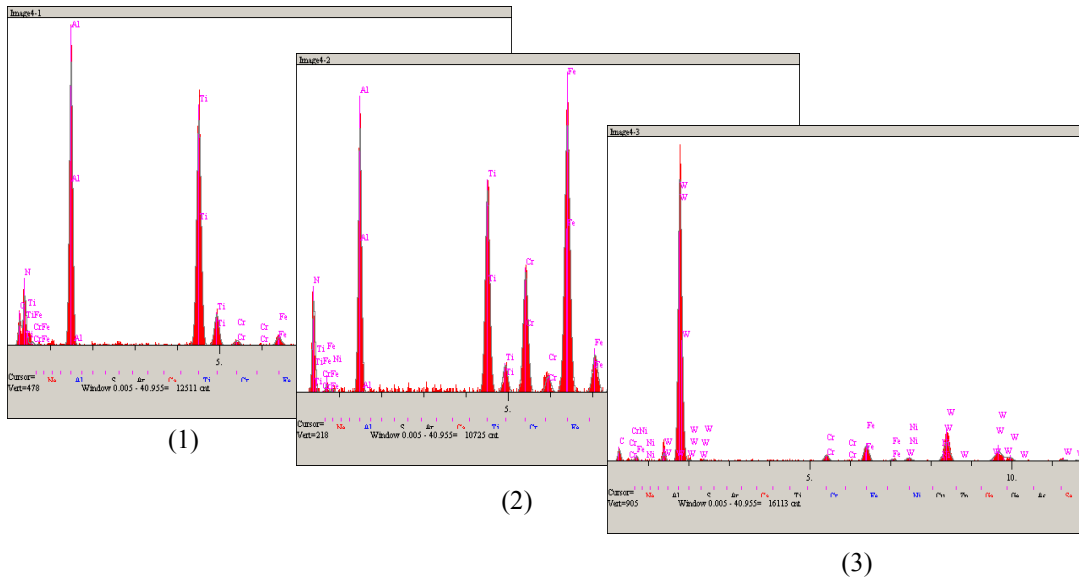
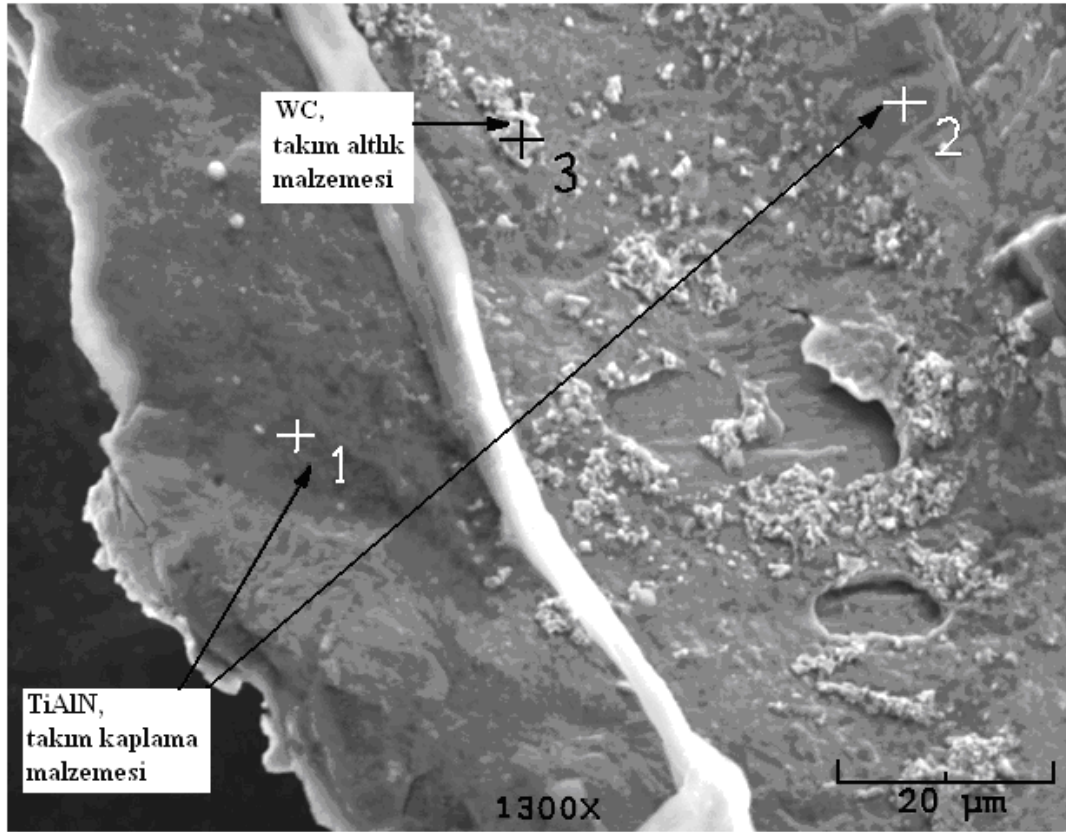


(3)



(4)

Şekil 7.24. PVD-TiAlN kaplamalı takımın, $V_c=260$ m/dak ve $f_z=0.08$ mm/diş kesme parametrelerindeki SEM görüntüsü (250X) ve EDS element analizleri



Şekil 7.25. AISI 304'ün, PVD-TiAlN kaplamalı takım ile $V_c=260$ m/dak ve $f_z=0.08$ mm/diş kesme parametrelerinde işlenmesinden elde edilen talaşın SEM görüntüsü (1300X) ve EDS element analizleri

Düşük kesme hızlarında (130-190 m/dak) ve düşük ilerlemelerde (0.08 mm/diş, kısmen de 0.12 mm/diş) lama tipi düz, yüksek kesme hızı (260 m/dak) ve 0.16

mm/diş ilerlemelerde küçük adımlı spiral talaşlar elde edildiği Şekil 7.26'da görülmektedir.



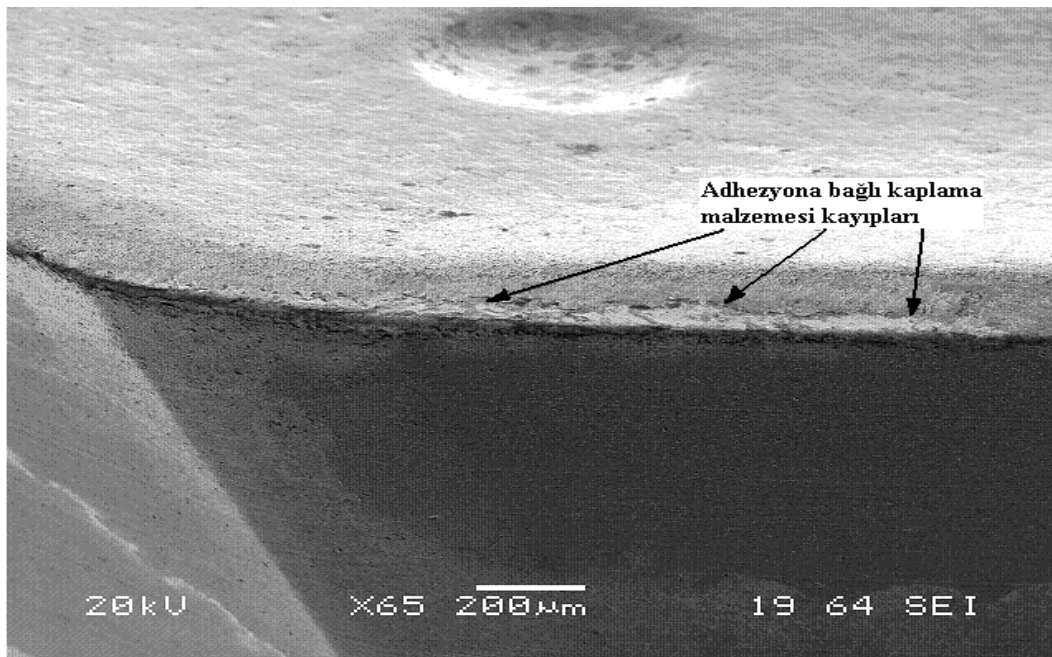
Şekil 7.26. PVD-TiAlN kaplamalı takımla, AISI 304'ün işlenmesinde çeşitli kesme değerlerine göre oluşan talaş şekilleri

Özetle; PVD-TiAlN kaplama en iyi performansı göstermemesine rağmen, AISI 304 işlemedeki performansı yeterli görülmüştür. Bu sonuç literatürdeki [11, 30, 31, 32] kaynaklarla benzeşmektedir. Abrasyon ve işlenen malzemenin özelliğinden dolayı adhezyon aşınma mekanizmaları belirleyici olmuştur. PVD yönteminin etkisiyle düşük kesme hızlarında iyi bir performans göstermiştir. Kaplama malzemesi TiAlN'nin çok katmanlı olmasının da etkisiyle de yüksek kesme hızlarında (190 m/dak'ya kadar), AISI 304 paslanmaz çelik işlemede beklendiği gibi iyi bir performans göstermiştir.

7.2.3. PVD-TiAlN+TiN kaplamalı (2030) takımın aşınma davranışlarının değerlendirilmesi

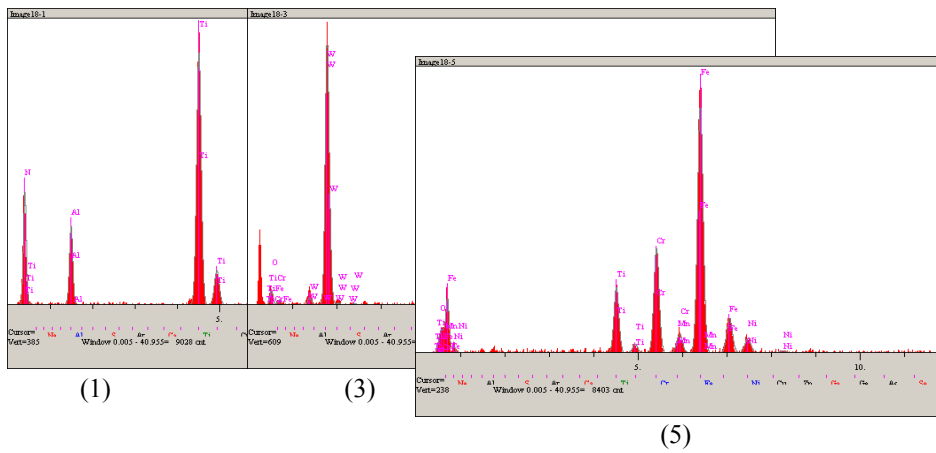
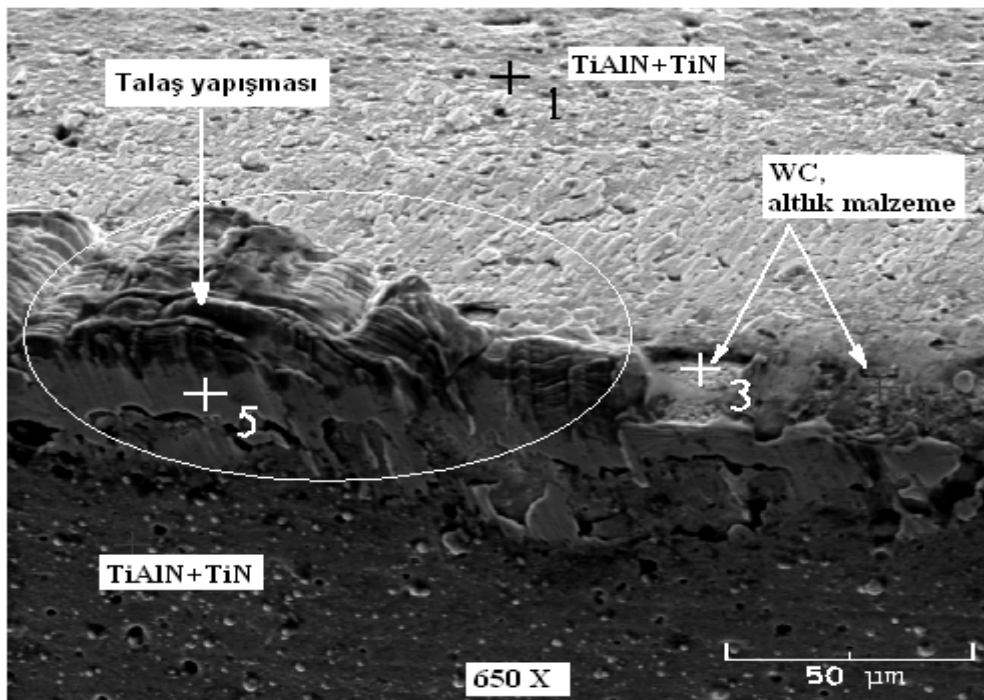
Bu takımın bir önceki takım kaplamasına ek olarak en üst kaplama malzemesi olarak TiN kullanılması performansını daha da arttırmıştır. Şekil 7.22 ve Şekil 7.23'teki grafikler incelendiğinde bu takımın tüm takımlar içinde en iyi performansa sahip olduğu dikkat çekmektedir.

130 m/dak kesme hızı, 0.08 mm/diş ilerlemede çok düşük değerlerde olsa abrasyon, adhezyon kesici kenar boyunca görülmüştür. Talaş yüzeyi ile serbest yüzeyin birleştiği kenarda kaplama ince bir şerit halinde adhezyona bağlı olarak kalkarak altlık malzemesi WC ortaya çıktığı SEM, EDS analizlerinden anlaşılmaktadır. 0.12 ve 0.16 mm/diş ilerlemelerde serbest yüzeydeki VB aşınma değeri (sırasıyla 25, 23, 20 μm) biraz azalmıştır. Ancak talaş yüzeyindeki adhezyon artarak, talaş akma yüzeyi boyunca TiN ve TiAlN kaplama kaybına (Şekil 7.27) neden olmuştur. İşleme bu kesme parametrelerine devam edildiğinde talaş yüzeyinde adhezyon da artacağından çentiklenme, kraterleşme ve mekanik yorulma çatlakları ile kesici kenarda küçük kırılmalar beklenmektedir.



Şekil 7.27. PVD-TiAlN+TiN kaplamalı takımın, $V_c=130$ m/dak ve $f_z=0.16$ mm/diş kesme parametrelerindeki SEM görüntüsü (65X)

Şekil 7.28’de, 260 m/dak kesme hızı ve 0.08 mm/diş ilerlemede, her iki yüzeyde burundan talaşın bittiği noktaya kadar ama özellikle burna yakın bölgelerde şiddetli adhezyona bağlı olarak talaş yapışması olduğu görülmektedir. Burada abrasyon ve östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde ortaya çıkan adhezyon mekanizmaları ile TiN ve TiAlN katmanları kopan talaşla birlikte kalkarak aşınma altlık malzeme olan WC’nin erken aşamada aşınmaya maruz kalmasına neden olmuştur. Talaş kaldırma işleminin devam etmesi halinde bu aşınma bandında çentik veya krater oluşması beklenebilir.



Şekil 7.28. PVD-TiAlN+TiN kaplamalı takımın, $V_c=260$ m/dak ve $f_z=0.08$ mm/diş kesme parametrelerindeki SEM görüntüsü (650X) ve EDS element analizleri

Talaşlar; 130 m/dak kesme hızı, 0.08, 0.12 mm/diş ilerlemelerde düz ve uzun, 130 m/dak kesme hızı, 0.16 mm/diş, 190 m/dak kesme hızı 0.08, 0.12, 0.16 mm/diş ilerleme parametrelerinde büyük adımlı helisel, 260 m/dak kesme hızı 0.08, 0.12, 0.16 mm/diş ilerleme parametrelerinde küçük adımlı spiraldir. Talaşların fazla zorlanmadan kolay kesildiği görülmüştür (Şekil 7.29).



Şekil 7.29. PVD-TiAlN+TiN kaplamalı takım ile, AISI 304'ün işlenmesinde çeşitli kesme değerlerine göre oluşan talaş şekilleri

Kısaca; PVD-TiAlN+TiN takım yüksek performans göstermiştir. Ancak 190 m/dak kesme hızı, 0.16 mm/diş ilerlemede aşınma dayanımının daha da arttığı gözlenmiştir. Konuyla ilgili kaynaklarda [18, 27, 30, 31, 32] belirtilen analizlerde benzer kesme parametrelerinde TiAlN+TiN kaplamanın iyi sonuçlar verdiği bildirilmiştir. Bu sonuçlarla yapılan deney sonuçları benzerlik taşımaktadır.

7.2.4. CVD-TiCN+Al₂O₃+TiN kaplamalı (2040) takımın aşınma davranışlarının değerlendirilmesi

Altlık malzeme olan WC üzerine; abrasif aşınmaya dirençli TiCN tabakası kaplanmıştır. Üstüne yüksek sıcaklıklara karşı, difüzyona, abrasif aşınmaya ve adhezyona karşı dirençli, takım korumayan Al₂O₃, en üste de TiN kaplanmıştır.

130 m/dak kesme hızı ve 0.08 mm/diş ilerlemede, serbest yüzeyde abrasyon, talaş yüzeyinde ise talaş akma yüzeyi boyunca abrasyon ve dökülme mekanizmalarına bağlı aşınmalar görülmüştür. 0.12 ve 0.16 mm/diş ilerlemelerde VB aşınma değeri hemen hemen aynı kalmıştır. Ancak ilerleme arttıkça talaş yüzeyinde abrasyon artmış, adhezyonlar başlayarak BUE oluşumları eğilimleri artmıştır. 0.16 mm/diş ilerlemede krater oluşturma, talaş derinliğinde çentik eğilimi vardır.

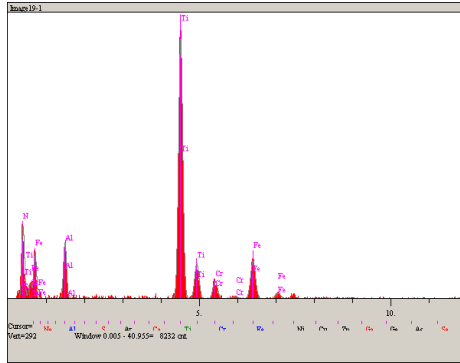
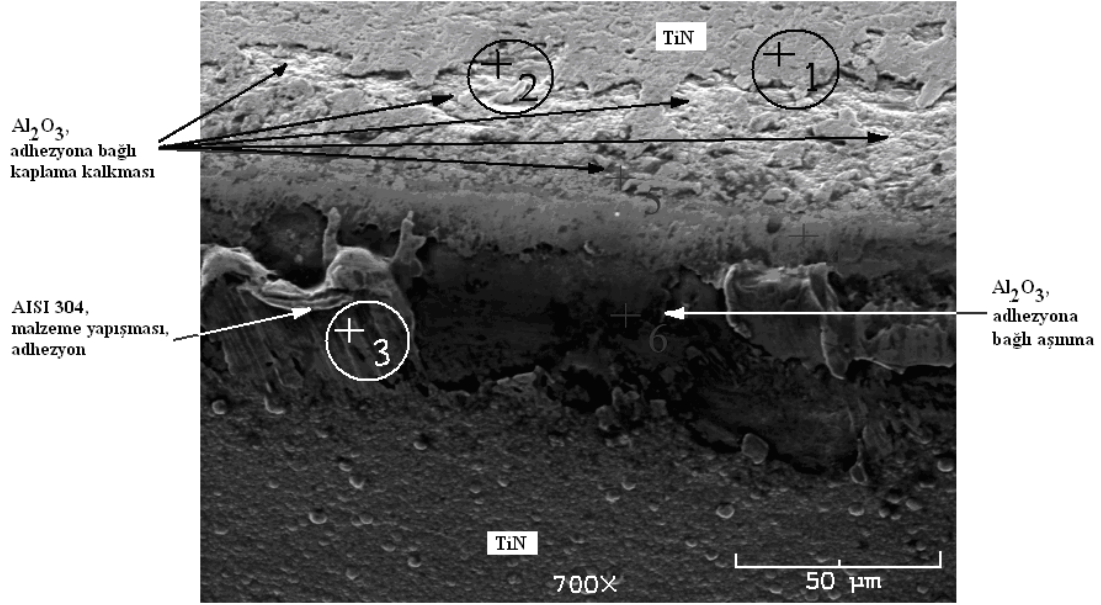
190 m/dak kesme hızlarında abrasyon, adhezyon çok dar bir aşınma bandı (VB=25-36 µm) oluşmuştur. Bu takım için en az aşınma değerine sahip 190 m/dak kesme hızı ve 0.08 mm/diş ilerleme en uygun kesme parametresi olarak belirlenmiştir.

260 m/dak kesme hızı ve tüm ilerlemelerde fazla aşınma görülmemektedir. Özellikle serbest yüzey aşınma bandında fazla bir değişiklik yoktur. (VB=34-36 µm) Meydana gelen aşınma mekanizmaları abrasyon, (3 nolu bölge) adhezyondur. Ayrıca özellikle burna yakın talaş yüzeyinde TiN katmanı kalkarak altta Al₂O₃ katmanı (2 nolu bölgeler) ortaya çıkmıştır. Al₂O₃ katmanı burada difüzyona karşı perde oluşturarak takımı koruduğu, aşınmanın TiCN katmanına ve altlık malzemeye kadar inemediği görülmektedir (Şekil 7.30).

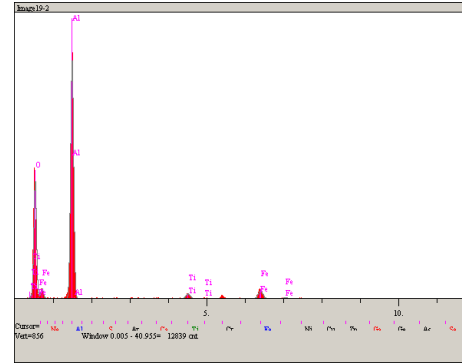
Elde edilen talaşlar tüm kesme parametrelerinde dar adımlı, helisel tiptedir. Düzgün talaşlardan ve talaş yapısından malzemenin iyi kesildiği anlaşılmaktadır (Şekil 7.31).

Sonuç olarak; CVD kaplamalı takımlar içinde en üst katmanına TiN kaplanmasından dolayı en iyi performans gösteren takım olarak belirlenmiştir. 190 m/dak kesme hızı, 0.16 mm/diş ilerleme ideal olarak belirlenmesine rağmen 260 m/dak kesme hızı, 0.16

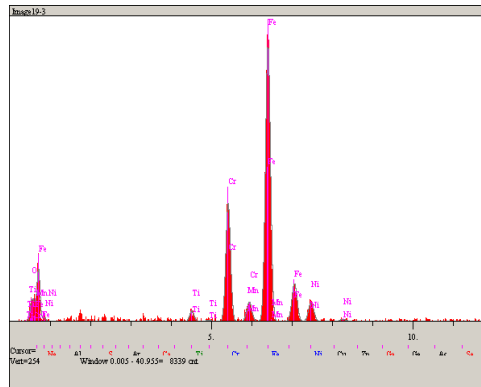
mm/diş ilerlemede de çok fazla aşınma meydana gelmeyeceği için yüksek hızlarda kullanılması tavsiye edilebilir.



(1)

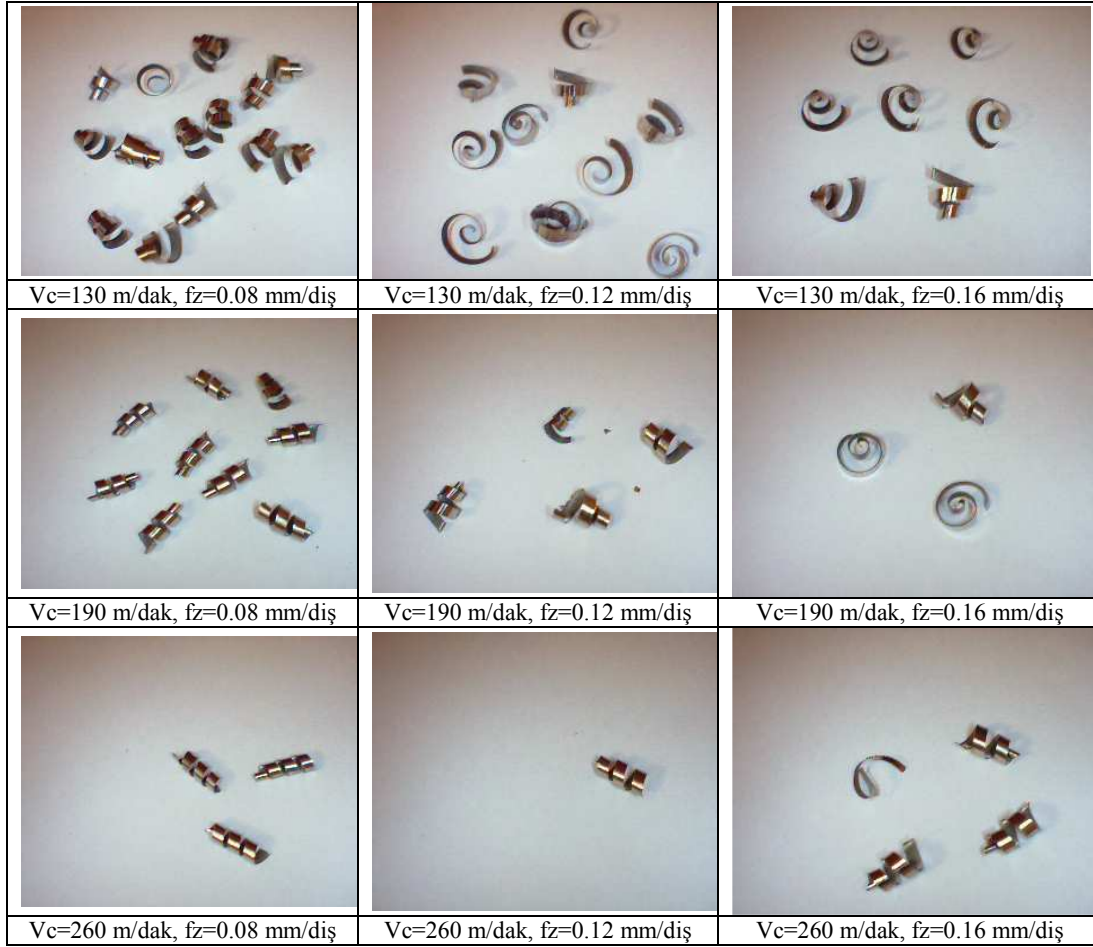


(2)



(3)

Şekil 7.30. CVD-TiCN+Al₂O₃+TiN kaplamalı takımın, Vc=260 m/dak ve fz=0.08 mm/diş kesme parametrelerindeki SEM görüntüsü (700X) ve EDS element analizleri

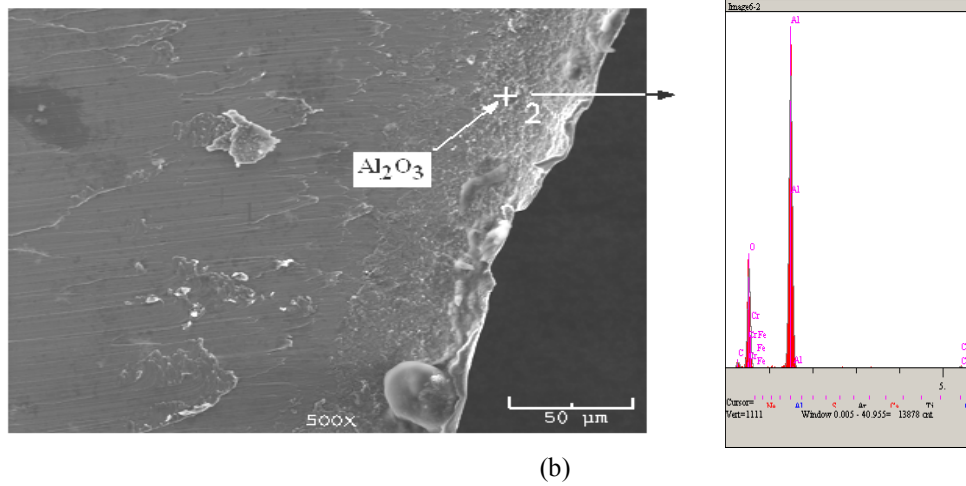
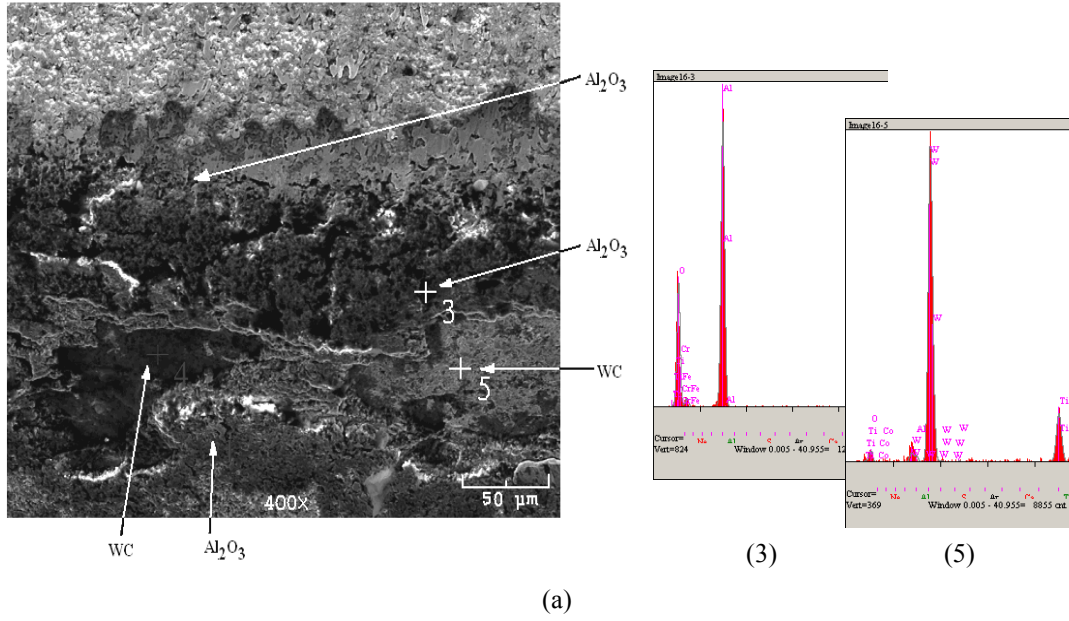


Şekil 7.31. CVD-TiCN+Al₂O₃+TiN kaplamalı takımla, AISI 304'ün işlenmesinde çeşitli kesme değerlerine göre oluşan talaş şekilleri

7.2.5. CVD-TiCN+Al₂O₃ kaplamalı (3040) takımın aşınma davranışlarının değerlendirilmesi

Bir önceki takımdan farklı olarak en üstte TiN katmanının bulunmaması, takım performansını olumsuz yönde etkileyerek, aşınma direnci en az olan takım olarak belirlenmiştir.

130 m/dak kesme hızında, 0.08 mm/diş ilerlemede talaş yüzeyinde ve serbest yüzeyde, adhezyona bağlı kaplama kalkmalarına rastlanmıştır (Şekil 7.32.a). Bu şartlarda meydana gelen VB aşınması 110 µm olmuştur. İlerlemedeki artış, aşınma miktarının azalmasına neden olmuştur. 130 ve 190 m/dak kesme hızlarında 0.08 ve 0.12 mm/diş ilerlemelerde aşınma değerleri arasında fazla fark görülmemiştir.



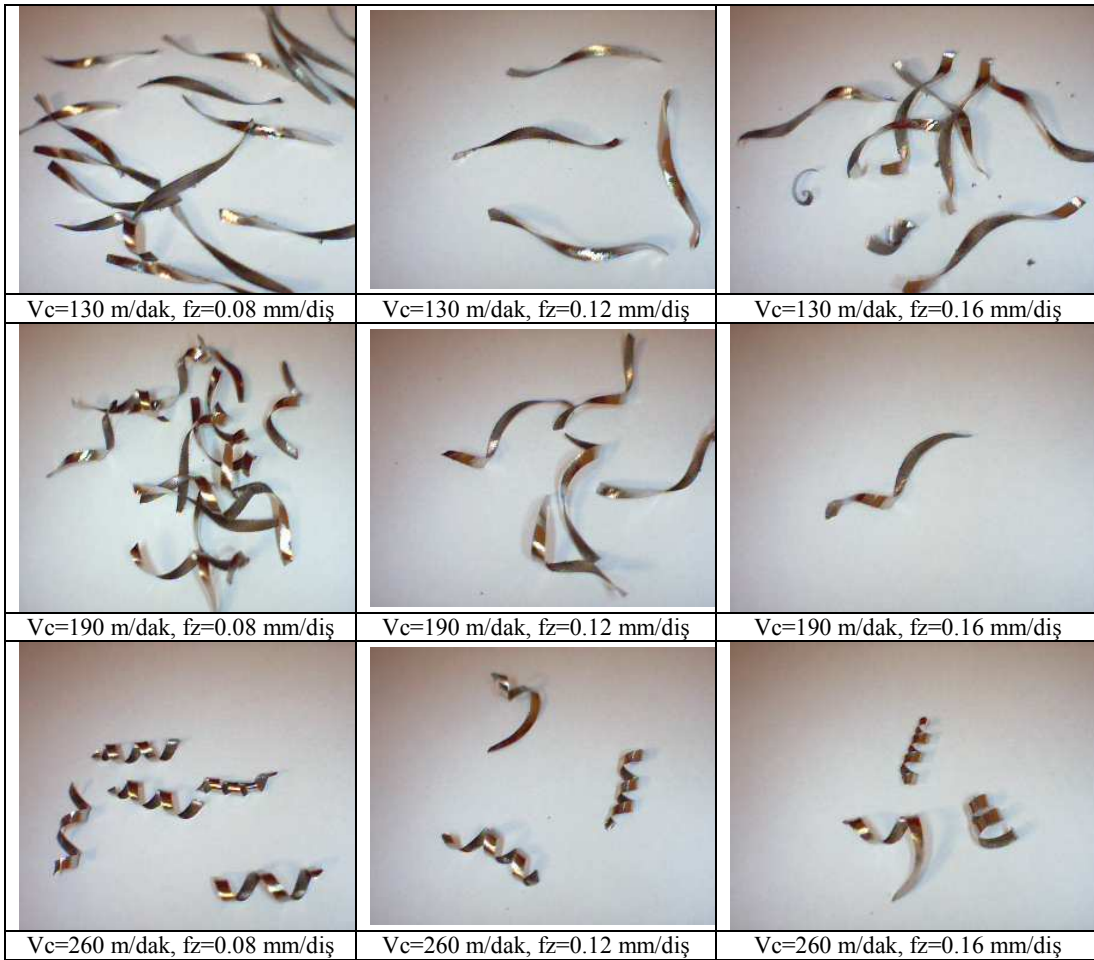
Şekil 7.32. CVD-TiCN+Al₂O₃ kaplamalı takımın Vc=130 m/dak ve fz=0.08 mm/diş kesme parametrelerindeki, takım (a) SEM görüntüsü (400X); elde edilen talaşın (b) SEM görüntüsü (500X) ve EDS element analizleri

130-190 m/dak kesme hızlarında 0.16 mm/diş ilerlemede VB aşınma değerleri 80 ve 72 µm olarak ölçülmüştür. Ancak bu değerler bile erken aşamada çok fazla olarak değerlendirilmektedir. Burada adhezyona ve işlemden kaynaklanan periyodik termal ve mekanik yüklenme-boşalma döngüsüne bağlı olarak Al₂O₃ katmanı yer yer kalkmış ve alt katman TiCN ve altlık malzeme WC'nin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Şekil 7.32.b'de çıkan talaşın SEM fotoğrafı ve EDS analizi görülmektedir. Burada yapışan talaşın ayrılması neticesinde beraberinde kaldırdığı kaplama malzemesi EDS

analiziyle tespit edilmiştir. Bu durum erken takım aşamasında adhezyon mekanizmasının etkin olduğunu göstermektedir.

260 m/dak kesme hızında, 0.08 mm/diş ilerlemede özellikle serbest yüzeyde adhezyona ilaveten abrasyon mekanizmasının da kısmen belirleyici etkisi olduğu düşünülmektedir. Bu kesme hızında ilerleme arttırıldıkça VB aşınma değerlerinde az da olsa bir azalma izlenmiştir.

Elde edilen talaşlar düşük kesme hızlarında (130-190 m/dak) lama tipi düz süreksiz, kırılkan, parçalı, 260 m/dak kesme hızlarında dar adımlı karakterdedir (Şekil 7.33).



Şekil 7.33. CVD-TiCN+Al₂O₃ kaplamalı takım, AISI 304'ün işlenmesinde çeşitli kesme değerlerine göre oluşan talaş şekilleri

Sonuç olarak; yapılan deneyde CVD-TiCN+Al₂O₃ kaplamalı takım AISI 304 paslanmaz çeliğin düşük-orta-yüksek kesme hızlarında işlenmesinde uygun olmadığı

görülmüştür. Bu durum kaynaklarda [18, 31, 32] verilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir. Tüm kesme parametrelerinde en kötü performansı göstermiştir. Kesme hızı arttıkça ve ilerleme azaldıkça aşınma da artmaktadır. Ayrıca yüksek kesme hızlarında talaş yığılması da dikkat çekmektedir. Abrasyon ile adhezyon bu takımın temel aşınma mekanizmalarını oluşturmaktadır.

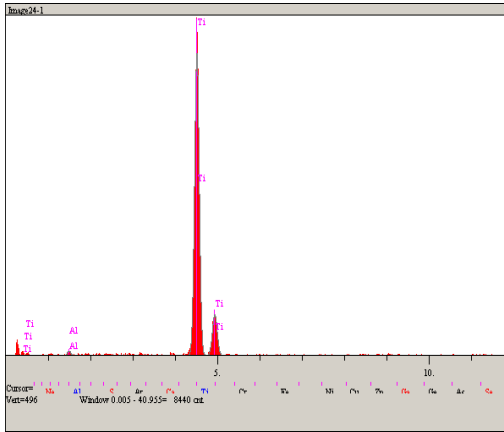
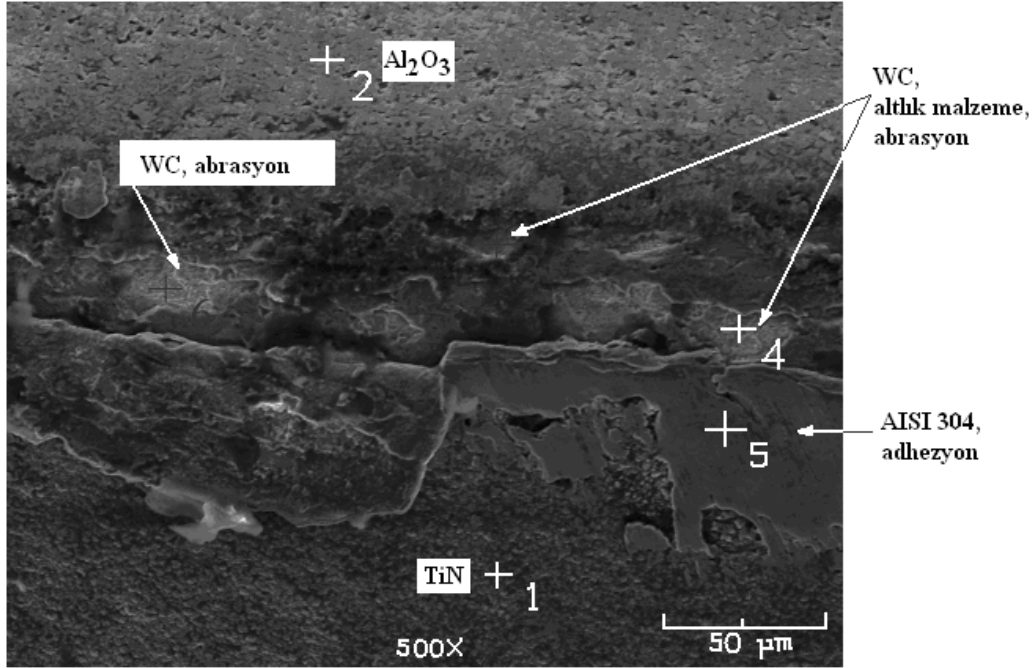
7.2.6. CVD-TiCN+Al₂O₃+(TiN) kaplamalı (4240) takımın aşınma davranışlarının değerlendirilmesi

Bu takım bir önceki CVD – TiCN + Al₂O₃ takıma ek olarak serbest yüzeyine aşınma direncini artırılması için TiN ile kaplanmış yeni bir takımdır.

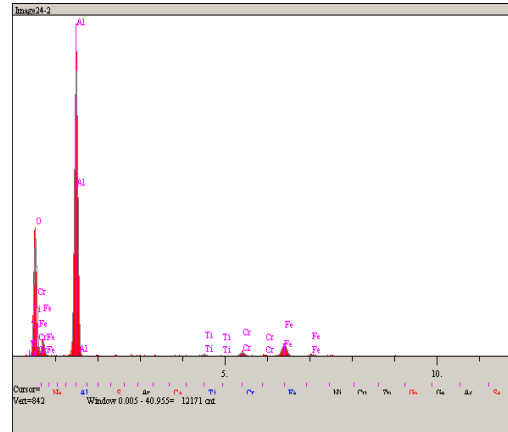
130 m/dak kesme hızında, 0.08 mm/diş ilerlemede serbest yüzeyde yoğun olarak abrasyon görülmüştür. 0.12-0.16 mm/diş ilerlemelerde VB değerinde küçük azalmalar meydana gelmiştir. Ancak bunlara ek olarak özellikle burna yakın bölgelerde adhezyonlar artmıştır. Bu kaplamalı takımda $V_c=130$ m/dak, $f_z=0.16$ mm/diş parametresinde aşınma miktarındaki aşırı artışın nedeni, bu kesme şartındaki yoğun adhezyon sebebiyle yan kenardaki küçük kırılmalardır.

190 m/dak kesme hızında, 130 m/dak kesme hızı parametrelerindeki benzer durumlar ortaya çıkmıştır. Ancak serbest yüzey aşınma değerlerinde azalmalar görülmüştür. 190 m/dak kesme hızı, 0.16 mm/diş ilerleme şartı en uygun kesme değeri olarak belirlenmiştir.

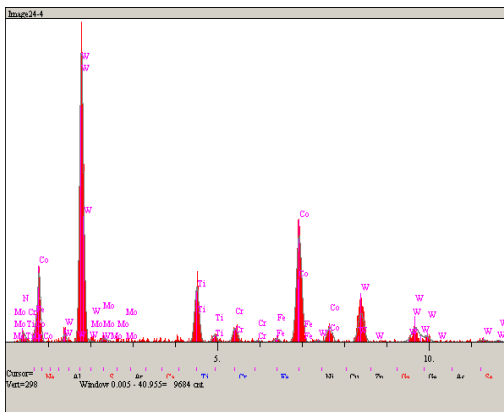
260 m/dak kesme hızında serbest yüzeyde adhezyonlar artarak sıvanmalar meydana gelmiştir. Talaş yüzeyinde ise Al₂O₃ ve TiCN katmanları aşınmaya dayanamayarak kalkıp altlık olan WC ortaya çıkarmışlardır (Şekil 7.34). İlerleme değeri arttıkça VB değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir.



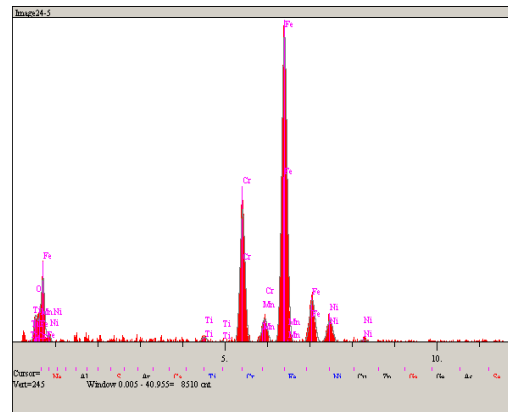
(1)



(2)



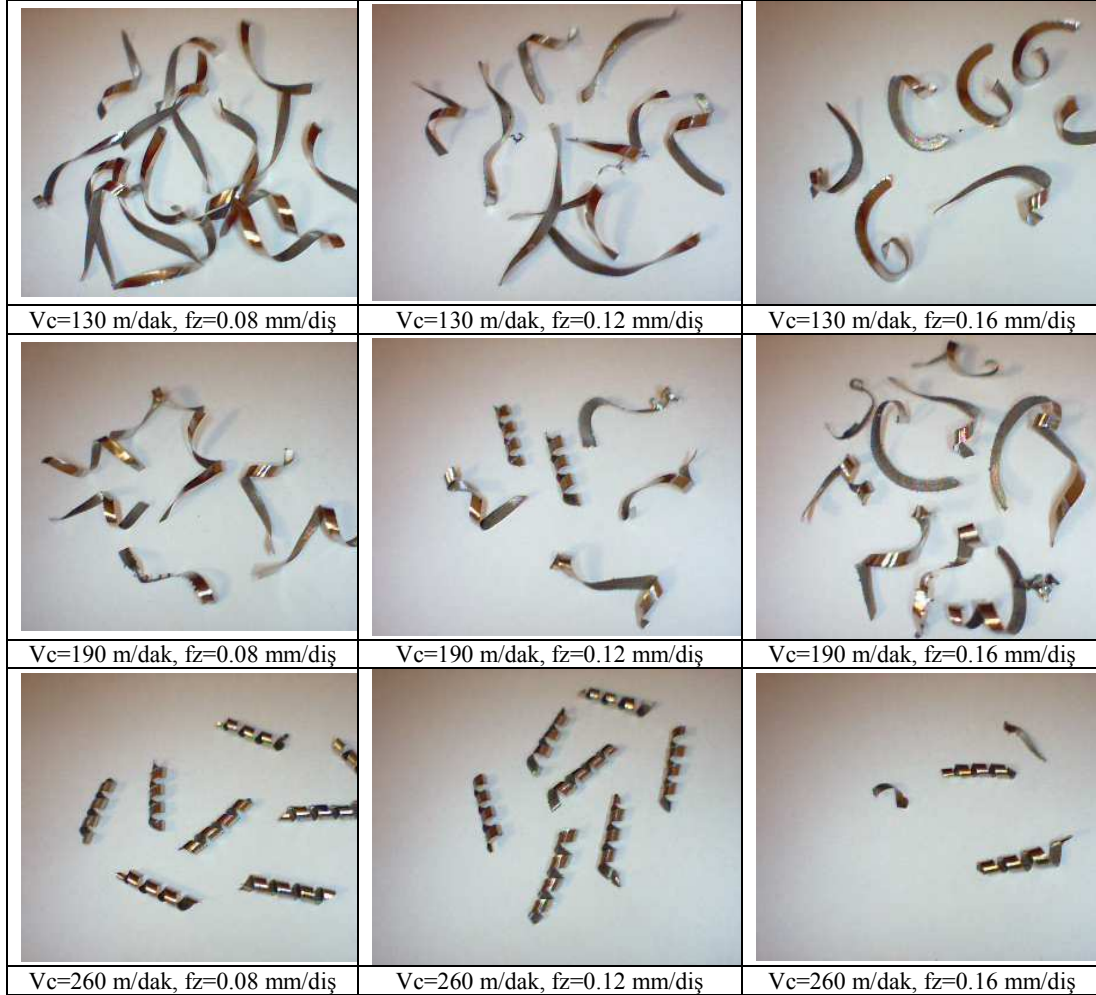
(4)



(5)

Şekil 7.34. CVD-TiCN+Al₂O₃+(TiN) kaplamalı takımın, Vc=260 m/dak ve fz=0.08 mm/diş kesme parametrelerindeki SEM görüntüsü (500X) ve EDS element analizleri

Şekil 7.35'te görüldüğü gibi 130 m/dak kesme hızlarında düz, 190 m/dak büyük adımlı, 260 m/dak kesme hızlarında küçük adımlı talaşlar elde edilmiştir.



Şekil 7.35. CVD-TiCN+Al₂O₃ kaplamalı takım, AISI 304'ün işlenmesinde çeşitli kesme değerlerine göre oluşan talaş şekilleri

Sonuç olarak; yeni geliştirilmiş bir takım olduğu için literatürde aynı takım, aynı kesme parametrelerinde paslanmaz çelik işleme deneylerine rastlanılmadığından kıyaslama yapılamamıştır. Ancak diğer takımlarla mukayesesi yapılmıştır. Buna göre; 130 ve 260 m/dak kesme hızlarında ve düşük ilerlemelerde aşınma artmıştır. İlerleme arttıkça aşınma değeri düşmüştür. Al₂O₃ katmanını koruması, adhezyonu ve buna bağlı olarak BUE etkisini azaltması beklenen, serbest yüzeye kaplanan TiN tabakası malzeme yapışmasının çok olduğu paslanmaz çeliklerde çok düşük ve çok yüksek kesme hızları ve düşük ilerlemelerde başarı gösterememiştir. Kimyasal kararlılık sağlaması beklenen Al₂O₃ katmanı ve abrazyona dirençli TiCN katmanı da

adhezif etkiyle kalkarak altlık olan WC ortaya çıkmıştır. Ancak 190 m/dak kesme hızı, 0.16 mm/diş ilerlemede kısmen başarılı olmuştur. AISI 304 malzemesinde 130-190 m/dak ve küçük ilerlemelerde performansı yeterlidir. Ancak PVD - TiAlN + TiN kaplamalı (2030) karbür takımının 3 kat, CVD-TiCN+Al₂O₃+TiN kaplamalı (2040) karbür takımının 2.5 kat VB aşınma değerine ulaşmıştır.

7.2.7. Paslanmaz çeliğin, farklı kesici takımlar ile işlenmesinden elde edilen optimum kesme parametreleri ve analizler

Talaş kaldırma deneyleri ile AISI 304'ün işlenmesinde elde edilen veriler değerlendirilmiş ve her takım için kesme parametrelerine göre serbest yüzey aşınma değeri (VB) ve oluşan aşınma şekilleri Tablo 7.3'te gösterilmiştir.

AISI 304 malzemesinin işlenmesinde CVD-TiCN+Al₂O₃ kaplamalı (3040) takım hariç, en iyi takım performansları Vc=130 m/dak ve fz=0.16 mm/diş işleme şartlarında alınmıştır. CVD-TiCN+Al₂O₃ kaplamalı (3040) takım paslanmaz çelik işlemede başarı gösteremediği görülmüş, kesme hızı arttıkça aşınmanın da arttığı ve bu tür alaşımlar için uygun olmadığı yorumu yapılmıştır. Diğer 4 takımın da performansı yeterli görülmüştür. PVD-TiAlN + TiN kaplamalı (2030) takım en ideal takımdır. CVD-TiCN+Al₂O₃+TiN kaplamalı (2040) takım da bu takıma yakın bir performans göstererek paslanmaz çelik işlemede en iyi performansı vermiştir. CVD-TiCN+Al₂O₃+serbest yüzeyde TiN kaplamalı (4240) takımın performansı PVD-TiAlN kaplamalı (1030) takıma göre biraz daha iyi olmakla beraber her iki takım da başarılı sonuçlar vermiştir. Ancak diğer iki takıma göre 2.5-3 kat fazla yan kenar (VB) aşınması görülmüştür.

PVD ile CVD takım kaplama yöntemlerine karşılaştırıldığında PVD'nin CVD'ye göre daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir.

Üst katman olarak TiN kaplanması tüm takımlarda performansı arttırmıştır. TiN katmanının sadece yan kenara kaplandığı (4240) takımda performans düşüklüğüne neden olmuştur. TiN talaş sıvanmasını azaltarak BUE oluşumunu yavaşlatmıştır.

Tablo 7.3. Kaplamalı karbür takımlarla AISI 304'ün işlenmesi sonucunda oluşan serbest yüzey aşınma (VB) değerleri ve aşınma şekilleri (Talaş derinliği a=1mm, Kesme boyu x=2 mm)

Kesici Adı		PVD - TiAlN kaplamalı (1030) karbür takım	
Kesme parametreleri			Oluşan aşınma şekilleri
Kesme hızı V, (m/dak)	İlerleme f, (mm/diş)	Serbest yüzey aşınması VB, (µm)	
130	0.08	45	Abrasyon, adhezyon
130	0.12	45	Abrasyon, adhezyon
130	0.16	42	Abrasyon, adhezyon
190	0.08	45	Abrasyon, adhezyon, BUE oluşma eğilimi
190	0.12	42	Abrasyon, adhezyon, BUE oluşma eğilimi
190	0.16	38	Abrasyon, adhezyon
260	0.08	61	Abrasyon, adhezyon
260	0.12	60	Yan kenarda şiddetli abrasyon, adhezyon, lokal kırılmalar
260	0.16	53	Abrasyon, adhezyon, küçük kırılmalar

Kesici Adı		PVD - TiAlN + TiN kaplamalı (2030) karbür takım	
Kesme parametreleri			Oluşan aşınma şekilleri
Kesme hızı V, (m/dak)	İlerleme f, (mm/diş)	Serbest yüzey aşınması VB, (µm)	
130	0.08	25	Abrasyon, adhezyon
130	0.12	23	Abrasyon, adhezyon
130	0.16	20	Talaş yüzeyinde şiddetli abrasyon, adhezyon, krater oluşma eğilimi
190	0.08	23	Abrasyon, kısmen adhezyon
190	0.12	23	Çok az abrasyon, kısmen adhezyon
190	0.16	20	Çok az abrasyon, kısmen adhezyon
260	0.08	32	Abrasyon, şiddetli adhezyon
260	0.12	21	Az abrasyon, kısmen adhezyon
260	0.16	22	Çok az abrasyon, kısmen adhezyon

Kesici Adı		CVD - TiCN+Al ₂ O ₃ +TiN kaplamalı (2040) karbür takım	
Kesme parametreleri			Oluşan aşınma şekilleri
Kesme hızı V, (m/dak)	İlerleme f, (mm/diş)	Serbest yüzey aşınması VB, (µm)	
130	0.08	35	Abrasyon
130	0.12	33	Az abrasyon
130	0.16	31	Az abrasyon, adhezyon, talaş derinliğinde çentik oluşma eğilimi
190	0.08	36	Abrasyon, adhezyon
190	0.12	30	Az abrasyon, adhezyon
190	0.16	25	Abrasyon, adhezyon
260	0.08	36	Az abrasyon, kısmen adhezyon,
260	0.12	32	Abrasyon, az adhezyon
260	0.16	34	Abrasyon, kısmen adhezyon

Tablo 7.3. (Devam) Kaplamalı karbür takımlarla AISI 304'ün işlenmesi sonucunda oluşan serbest yüzey aşınma (VB) değerleri ve aşınma şekilleri (Talaş derinliği a=1mm, Kesme boyu x=2 mm)

Kesici Adı		CVD - TiCN+Al ₂ O ₃ kaplamalı (3040) karbür takım	
Kesme parametreleri			Oluşan aşınma şekilleri
Kesme hızı V, (m/dak)	İlerleme f, (mm/diş)	Serbest yüzey aşınması VB, (µm)	
130	0.08	110	Yoğun abrasyon, adhezyon
130	0.12	92	Abrasyon, adhezyon
130	0.16	80	Abrasyon, adhezyon
190	0.08	115	Abrasyon, adhezyon
190	0.12	95	Yoğun abrasyon, adhezyon
190	0.16	72	Abrasyon, yoğun adhezyon
260	0.08	125	Abrasyon, burunda adhezyon
260	0.12	118	Abrasyon, yoğun adhezyon
260	0.16	115	Abrasyon, yoğun adhezyon

Kesici Adı		CVD - TiCN+Al ₂ O ₃ +(TiN) kaplamalı (4240) karbür takım	
Kesme parametreleri			Oluşan aşınma şekilleri
Kesme hızı V, (m/dak)	İlerleme f, (mm/diş)	Serbest yüzey aşınması VB, (µm)	
130	0.08	83	Yoğun abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması,
130	0.12	75	Abrasyon, adhezyon, serbest yüzey aşınması,
130	0.16	72	Abrasyon, adhezyon
190	0.08	78	Yoğun abrasyon, yoğun adhezyon, serbest yüzey aşınması,
190	0.12	63	Abrasyon, yoğun adhezyon, serbest yüzey aşınması
190	0.16	62	Abrasyon, adhezyon
260	0.08	102	Yoğun abrasyon, yoğun adhezyon
260	0.12	100	Yoğun abrasyon, yoğun adhezyon
260	0.16	96	Yoğun abrasyon, yoğun adhezyon

Al₂O₃ katmanı üstte abrasyona ve adhezyona dirençli TiN katmanı ile birlikte kullanıldığında başarı göstermiştir. Al₂O₃'ün böyle kullanıldığı takımlarda adhezyonu kısmen önlemiş, kimyasal kararlılık göstererek aşınmalara karşı direnç sağlamıştır. Üstte tek olarak kullanıldığında (3240) performans düşüklüğüne neden olmuştur.

TiAlN katmanının abrasyona ve adhezyona karşı dirençli olduğu görülmüş, işleme sırasında yüzeyde oluşan Al₂O₃ etkisiyle düşük ısı iletkenliği özelliği alıp takımın daha az ısınmasına, böylece yüksek kesme hızlarında da iyi bir performans göstermesini sağlamıştır. TiAlN+TiN kullanıldığında (2030) performansını arttırdığı görülmüştür.

Altlık malzeme WC'nin hemen üstüne kaplanan TiCN abrasyona karşı direnç göstermiş, ancak talaşın yapışarak kaplamanın kalkmasına böylece altlık katmana kadar aşınmanın gerçekleşmesine engel olamamıştır.

Serbest yüzey (VB) aşınması, talaş yüzeyi aşınmaları bütün halinde ele alınarak yapılan analizlere göre her takım için ayrı olmak üzere optimum kesme parametreleri bulunmuştur. Elde edilen optimum kesme parametreleri Tablo 7. 4'te gösterilmiştir.

Tablo 7.4. Aşınma değerlerine göre, talaş derinliği (1 mm), kesme boyu (2 mm) sabitken farklı takımlarla AISI 304'ün işlenmesinde elde edilen optimum kesme parametreleri

Kesici Adı	Paslanmaz çeliğin, farklı kesici takımlar ile işlenmesinde elde edilen optimum kesme parametreleri	
	Kesme hızı V_c , (m/dak)	İlerleme f_z , (mm/diş)
PVD-TiAlN kaplamalı (1030) takım	190	0.16
PVD-TiAlN+TiN kaplamalı (2030) takım	190	0.16
CVD-TiCN+Al ₂ O ₃ +TiN kaplamalı (2040) takım	190	0.16
CVD-TiCN+Al ₂ O ₃ kaplamalı (3040) takım	130	0.16
CVD-TiCN+Al ₂ O ₃ +(TiN) kaplamalı (4240) takım	190	0.16

BÖLÜM 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. Sonuçlar

Bu araştırmadan elde edilen önemli bulgular Nikel esaslı alaşımlar ve paslanmaz çelikler olarak iki bölüme ayrılarak özetlenmiştir.

8.1.1. Nikel esaslı alaşımın işlenmesinde erken takım aşınması sonuçları

Nikel esaslı alaşım için, yapılan 45 adet talaş kaldırma deneyi talaş derinliği $a=1$ mm, kesme uzunluğu $x=2$ mm sabit tutulup, 5 farklı PVD ve CVD kaplamalı, kare geometrili takımlar kullanılarak yapılmıştır. Kesme parametreleri olarak kesme hızları $V_c=25, 40, 60$ m/dak, ilerleme miktarları her kesme hızı için $f_z=0.08, 0.12, 0.16$ mm/diş esas alınmıştır. Erken takım aşınmaları değerlendirilerek aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Serbest yüzey aşınma değerlerine (VB) göre analiz edildiğinde, beş farklı kaplamalı kesici takım içerisinde CVD-TiCN+Al₂O₃+TiN kaplamalı (2040) takım ile PVD-TiAlN+TiN kaplamalı (2030) takımların diğer takımlardan daha iyi sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır. Bu takımları sırasıyla CVD-TiCN+Al₂O₃+yan kenarda TiN kaplamalı (4240) takım, PVD-TiAlN kaplamalı (1030) takım, CVD-TiCN+Al₂O₃ kaplamalı (3040) takımların kaplamalı takımlar takip etmiştir. Ortalama serbest yüzey aşınma değerlerine göre, 1. ve 2. sıradaki takımlara göre 3. ve 4. sıradaki takımlarda yaklaşık 2 kat, 5. sıradaki takımında 4 kat fazla yan kenar (VB) aşınması görülmüştür.

2. CVD-TiCN+Al₂O₃ kaplamalı (3040) takım Nikel esaslı alaşım işlemede başarı gösteremediği görülmüş, kesme hızı arttıkça aşınmanın da arttığı ve bu tür alaşımlar için uygun olmadığı anlaşılmıştır.

3. Nikel esaslı alaşımları işlemede, serbest yüzey aşınma değerleri (VB) ile talaş yüzeyi aşınmaları birlikte ele alınarak incelendiğinde, optimum kesme parametreleri; CVD-TiCN+Al₂O₃+TiN kaplamalı (2040) takım ile PVD-TiAlN+TiN kaplamalı (2030) takım için V_c=40 m/dak, f_z=0.16 mm/diş; PVD-TiAlN kaplamalı (1030) takım ile CVD-TiCN+Al₂O₃+(TiN) kaplamalı (4240) takımında V_c=60 m/dak, f_z=0.16 mm/diş; CVD-TiCN+Al₂O₃ kaplamalı (3240) takım için V_c=25 m/dak, f_z=0.16 mm/diş olarak bulunmuştur. Ancak PVD-TiAlN+TiN kaplamalı (2030) takım 60 m/dak kesme hızlarında başarı gösterememiştir. CVD-TiCN+Al₂O₃+TiN kaplamalı (2040) takım ise yüksek kesme hızlarında da başarılı sonuçlar vermiştir.

4. Malzemenin özelliğinden dolayı düşük kesme hızlarında adhezyon ile birlikte takım hızla aşınmıştır. Yani yüksek kesme hızı ve yüksek ilerleme ile yapılan talaş kaldırma idealdir. Nikel esaslı alaşımları işlemede 40-60 m/dak kesme hızı, 0.16 mm/diş ilerleme uygun görülmüştür.

5. Erken takım aşınmasında en önemli faktörün takım kaplama malzemeleri, sonra kesme hızı, sonra ilerleme ve daha sonra da kaplama yöntemi olarak belirlenmiştir.

6. PVD ile CVD takım kaplama yöntemlerine karşılaştırıldığında, CVD'nin PVD'ye göre daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Ancak düşük kesme hızlarında PVD'nin CVD'ye göre daha iyi performans gösterdiğine ulaşılmıştır.

7. Üst katman olarak TiN kaplanması tüm takımlarda performansı arttırmıştır. TiN katmanının sadece yan kenara kaplandığı (4240) takımında performans düşüklüğüne neden olmuştur. TiN talaş sıvanmasını azaltarak BUE oluşumunu yavaşlatmıştır.

8. Al₂O₃ katmanı üstte abrasyona ve adhezyona dirençli TiN katmanı ile birlikte kullanıldığında başarı göstermiştir. Al₂O₃'ün böyle kullanıldığı takımlarda difüzyonu önlemiş, kimyasal kararlılık göstererek aşınmalara karşı direnç sağlamıştır. Üstte tek olarak kullanıldığında (3240) performans düşüklüğüne neden olmuştur.

9. TiAlN katmanının abrasyona ve adhezyona karşı dirençli olduğu görülmüş, işleme sırasında yüzeyde oluşan Al_2O_3 etkisiyle düşük ısı iletkenliği özelliği alıp takımın daha az ısınmasına, böylece yüksek kesme hızlarında da iyi bir performans göstermesini sağlamıştır. TiAlN+TiN kullanıldığında (2030) performansını arttırdığı görülmüştür.

10. Altlık malzeme WC'nin hemen üstüne kaplanan TiCN abrasyona karşı direnç göstermiş, ancak talaşın yapışarak kaplamanın kalkmasına böylece altlık katmana kadar aşınmanın gerçekleşmesine engel olamamıştır.

11. En çok rastlanan takım aşınma mekanizmaları malzeme içindeki sert parçacıklardan dolayı abrasyon, yine malzeme yüksek yapışma özelliğinden dolayı adhezyondur. Serbest yüzey aşınmaları da oldukça fazla görülmüştür. Aşınmaların çok olduğu bazı işlemlerin devam ettirilmesi halinde plastik deformasyon, mekanik yorulma çatlak, krater, talaş derinliğinde çentik, serbest yüzey aşınması, termal çatlak ve BUE oluşumundan bazılarının meydana gelebileceği şeklinde yorumlar yapılmıştır.

8.1.2. Paslanmaz çelik işlenmesinde erken takım aşınması sonuçları

Paslanmaz çelik için, yapılan 45 adet talaş kaldırma deneyi talaş derinliği $a=1$ mm, kesme uzunluğu $x=2$ mm sabit tutulup, 5 farklı PVD ve CVD kaplamalı kare geometrili takımlar kullanılarak yapılmıştır. Kesme parametreleri olarak kesme hızları $V_c=130, 190, 260$ m/dak, ilerleme miktarları her kesme hızı için $f_z=0.08, 0.12, 0.16$ mm/diş esas alınmıştır. Erken takım aşınmaları değerlendirilerek aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Takım ve kaplama bazında Nikel esaslı alaşımlarda bulunan sonuçlara yakın sonuçlara ulaşılmıştır.

2. Serbest yüzey aşınma değerlerine (VB) göre analiz edildiğinde, beş farklı kaplamalı kesici takım içerisinde performansları sırasıyla PVD-TiAlN+TiN kaplamalı (2030) takım, CVD-TiCN+ Al_2O_3 +TiN kaplamalı (2040) takım, PVD-

TiAlN kaplamalı (1030) takım, CVD-TiCN+Al₂O₃+yan kenarda TiN kaplamalı (4240) takım, CVD-TiCN+Al₂O₃ kaplamalı (3040) takımlardır. Ortalama yan kenar aşınma değerlerine göre, 1. ve 2. sıradaki takımlara göre yaklaşık olarak 3. sıradaki takımında 2 kat, 4. sıradaki takımında 3 kat, 5. sıradaki takımında 4 kat fazla yan kenar (VB) aşınması görülmüştür.

3. CVD - TiCN+Al₂O₃ kaplamalı (3040) takımın paslanmaz çelik işlemede de başarı gösteremediği görülmüş, kesme hızı arttıkça aşınmanın da arttığı ve bu tür alaşımlar için uygun olmadığı anlaşılmıştır.

4. Paslanmaz çelikleri işlemede, serbest yüzey aşınma değerleri (VB) ile talaş yüzeyi aşınmaları birlikte ele alınarak incelendiğinde, optimum kesme parametreleri; CVD-TiCN+Al₂O₃ kaplamalı (4240) takım için Vc=130 m/dak, fz=0.16 mm/diş; diğer 4 takım için Vc=190 m/dak, fz=0.16 mm/diş olarak bulunmuştur. Ancak CVD-TiCN+Al₂O₃+TiN kaplamalı (2040) takım ile PVD-TiAlN+TiN kaplamalı (2030) takımın yüksek kesme hızlarındaki performanslarında fazla bir değişiklik olmamıştır.

5. Malzemenin özelliğinden dolayı düşük kesme hızlarında (130 m/dak) ani talaş yapışması (adhezyon) ile birlikte takım hızla aşınmıştır. Yani orta kesme hızı ve yüksek ilerleme ile yapılan talaş kaldırma idealdir. Artan kesme hızıyla kesici takım aşınmasının azalması, yüksek kesme hızlarında artan sıcaklık nedeniyle daha az BUE oluşma eğilimi ve kesici takıma daha az adhesiv kuvvet iletilmesi ile açıklanmıştır. Paslanmaz çelikleri işlemede 190 m/dak kesme hızı, 0.16 mm/diş ilerleme uygun görülmüştür. 260 m/dak kesme hızında yapılan testler ise en büyük aşınma değeri sergilemişlerdir.

6. Takım aşınmasında en önemli faktörün takım kaplama malzemeleri, sonra kesme hızı, sonra ilerleme ve daha sonra da kaplama yöntemi olarak belirlenmiştir.

7. PVD ile CVD takım kaplama yöntemlerine karşılaştırıldığında PVD'nin CVD'ye göre daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir.

8. En üst katman olarak TiN kaplanması tüm takımlarda performansı arttırmıştır. TiN katmanının sadece yan kenara kaplandığı (4240) takımında performans düşüklüğüne neden olmuştur. TiN talaş sıvanmasını azaltarak BUE oluşumunu yavaşlatmıştır.

9. Al₂O₃ katmanı üstte abrasyona ve adhezyona dirençli TiN katmanı ile birlikte kullanıldığında başarı göstermiştir. Al₂O₃ kimyasal kararlılık göstererek aşınmalara karşı direnç sağlamıştır. Üstte tek olarak kullanıldığında (3040) performans düşüklüğüne neden olmuştur.

10. TiAlN katmanının abrasyona ve adhezyona karşı dirençli olduğu görülmüş, işleme sırasında yüzeyde oluşan Al₂O₃ etkisiyle düşük ısı iletkenliği özelliği alıp takımın daha az ısınmasına, böylece yüksek kesme hızlarında da iyi bir performans göstermesini sağlamıştır. TiAlN+TiN kullanıldığında (2030) performansını arttırdığı görülmüştür.

11. Altlık malzeme WC'nin hemen üstüne kaplanan TiCN abrasyona karşı direnç göstermiş, ancak talaşın yapışarak kaplamanın kalkmasına böylece altlık katmana kadar aşınmanın gerçekleşmesine engel olamamıştır.

12. En sık görülen takım aşınma mekanizmaları malzeme içindeki sert parçacıklardan dolayı abrasyon, yine malzemenin sünekliğinden ve düşük ısı iletkenliğe sahip olduğundan dolayı adhezyondur. Aşınmaların çok olduğu bazı işlemlerin devam ettirilmesi halinde plastik deformasyon, mekanik yorulma çatlakları, krater, talaş derinliğinde çentik, serbest yüzey aşınması, termal çatlak ve BUE oluşumundan bazılarının meydana gelebileceği beklenmektedir.

8.2. Öneriler

1. Paslanmaz çelik için belirlenen Vc=190-260 m/dak kesme hızı aralığındaki yapılacak deneylerde, takımlarda meydana gelebilecek aşınmalardaki dalgalanmalar daha net görülebilecektir.

2. Paslanmaz çelik için $f_z=0.12-0.30$ mm/diş ilerleme aralığında yapılacak deneylerde ilerlemenin etkisi daha farklı şekilde olabilecektir.
3. Nikel esaslı alaşım ve paslanmaz çelik için kare geometrili ancak uç radyüsü farklı takımlar ile yuvarlak geometrili takımların kesme performansları araştırılabilir.
4. Farklı takım yaklaşma açıları kullanılarak kesme performansları araştırılabilir.
5. Nikel esaslı alaşımların işlenmesinde yüksek basınçlı soğutma ile oluşan kesme performansları, literatürde geçen ancak bu çalışmada ele alınmayan paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kuru işleme şartlarının kesme performansına etkileri incelenebilir.
6. Nikel esaslı alaşımların işlenmesinde farklı türde kaplama malzemeleri ile nano çok katmanlı takımların performansları araştırılabilir.
7. Deneylerde altı adet kesici uç bağlanabilen katere tek uç bağlanmıştır. Takım tutucuya bağlanan kesici takım sayıları değiştirilerek etkileri araştırılabilir.
8. Bu çalışmada sabit talaş derinliği ve kesme uzunluğu kullanılmıştır. Talaş derinliği ve kesme uzunluğu değiştirilerek erken takım aşınmasına ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenebilir.
9. CNC frezede erken takım aşınma mekanizmalarının ve tiplerinin incelenebilmesi için sabit kesme uzunluğu yerine kesici takımın malzemeye çarpma sayısı esas alınarak araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] AKKURT, M., Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları, Birsen Yay., sf. 1-3, 27-37, 44-45, 61-70, 89, 99, 207-244, 329-331, İstanbul, 2000.
- [2] ŞAHİN, Y., Talaş Kaldırma Prensipleri 1, Nobel Yayın Dağıtım, sf. 1-5, 77-82, 146-171, 190-233, 249-287, 300-312, 335-420, 469 Ankara, 2001.
- [3] ASLAN, E., Experimental investigation of cutting tool performance in high speed cutting of hardened X210 Cr12 cold-work tool steel, 62 HRC. Materials and Design 26, pp. 21–27, 2005.
- [4] JAWAID, A., KOKSAL S., SHARIF S., Cutting performance and wear characteristics of PVD coated and uncoated carbide tools in face milling Inconel 718 aerospace alloy, Journal of Materials Processing Technology Volume 116, Issue 1, pp. 1-9, 2001.
- [5] BALAZINSKI, M. AND SONGMENE, V., Improvement of tool life through variable feed milling of Inconel 600. Ann. CIRP 44, 1, pp. 55–58, 1995.
- [6] NATURAL, N. AND YAMAHA, Y., High speed machining of Inconel 718 with ceramic tools. Ann. CIRP 42 1, pp. 103–106, 1993.
- [7] ALAUDDIN M., EL-BARADIE M.A. AND HASHMI, M.S.J., End milling machinability of Inconel 718. J. Eng. Manf. 210, pp. 11–23, 1996.
- [8] KOKSAL, S., Face Milling of Nickel Based Superalloys with Carbide Tools, Doktora Tezi, School of Engineering Coventry University, England, 2000.
- [9] RICHARD, N. AND ASPINWALL, D., Use of ceramic tools for machining nickel-based alloy. Int. J. Mach. Tools Manuf. 29, 4, pp. 575–588, 1989.
- [10] TAŞDEMİR, V., AISI 304'ün İşlenebilirliğinin Araştırılması, Fırat Ün. , Fen Bil. Enst., Yük. Lis. Tezi, sf. 1-38, Ankara, 2005.
- [11] ALTINKAYA, E., AISI 316 Östenitik Çeliğin İşlenmesinde Kesme Değerlerinin ve Takım Kaplamasının Yüzey Pürüzlülüğüne, Takım Aşınmasına Etkilerinin İncelenmesi, Gazi Ün., Fen Bil. Enst., Yük. Lis. Tezi, sf. 1-52, Ankara, 2006.

- [12] EZUGWU, E.O., JAWAID, A., The effect of coatings on the performance of carbide cutting tools when machining a nickel base, Inconel 718, superalloy, in: Proceedings of the Fifth International Manufacturing Conference with China (IMCC'91), pp A286–A296, 1991.
- [13] RAHMAN, M., SEAH, W.K.H. AND TEO, T.T., The machinability of Inconel 718. *J. Mater. Process. Technol.* 63, pp. 199–204, 1997.
- [14] EZUGWU, E.O., MACHADO, A.R., Face milling of aerospace materials, in: First International Conference on the Behavior of Materials in Machining, Stratford-Upon-Avon, UK, pp. 3–11. November 8–10, 1988.
- [15] EL-BESTAWI, M., EL-WARDANY, T.I., Dİ, Y., MIN, T, Performance of whisker-reinforced ceramic tools in milling nickel-based superalloy, *Ann. CIRP* 42,1, pp. 99–102, 1993.
- [16] TONSHOFF, H.K., WOBKER, H.G., CASSEL, C., Wear characteristics of cermet cutting tools. *Ann. CIRP* 1, pp. 89–92, 1994.
- [17] DURSUN, M. Titanyum ve Inconel 718 Malzemelerinin Frezelenmesinde Takım Aşınması ve Yüzey Pürüzlülüğünün Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, sf. 1-4,15-30, 2007.
- [18] ÇİFTÇİ, İ., Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme hızının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi, *Gazi Ün., Müh. Mim. Fak. Dergisi* 20,2, sf. 205-209, 2005.
- [19] DUDZINSKI, D., DEVILLEZ A., MOUFKI A., LARROUQUE'RE D., ZERROUKI V., VIGNEAU J. A review of developments towards dry and high speed machining of Inconel 718 alloy, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 44, pp. 439–456, 2004.
- [20] CHOUDHURY, I.A, EL-BARADIE, M.A., Machinability of nickel base superalloys: a general review, *Journal of material Processing Technology*, 77, 1-3, pp. 278-284, 1998.
- [21] JAWAID, A., KOKSAL, S., SHARIF, S., Evaluation of wear mechanisms of coated carbide tools when face milling titanium alloy, *Journal of Materials Processing Technology* 99, pp. 266-274, 2000.
- [22] ALTIN, A., Nikel Esaslı Inconel 718 Süper Alaşımının İşlenebilirliğinin İncelenmesi, *Gazi Ün., Fen Bil. Enst., Doktora Tezi*, sf. 3-44, Ankara, 2005.
- [23] SHARMAN, A., DEWES, R.C., ASPINWALL, D.K., Tool life when high speed ball nose end miiling Inconel 718, *Journal of Materials Processing Technology* 118, pp. 29-35, 2001.
- [24] JINDAL, P. C., SANTHANAM, A. T., SCHLEINKOFER, U.,

- SHUSTER, A. F., Performance of PVD TiN, TiCN and TiAlN coated cemented carbide tools in turning, *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, 17, pp. 163-170, 1999.
- [25] KORKUT, I., KASAP, M., CIFTCI I., SEKER, U., Determination of optimum cutting parameters during machining of AISI 304 austenitic stainless steel, *Materials and Design* 25, pp. 303–305, 2004.
- [26] ABOU-EL-HOSSEIN, K.A., YAHYA, Z., High-speed end-milling of AISI 304 stainless steels using new geometrically developed carbide inserts, *Journal of Materials Processing Technology* 162–163, pp. 596–602, 2005.
- [27] SHAO, H., LIU, L. QU, H.L., Machinability study on 3%Co–12%Cr stainless steel in milling, *Wear* 263, pp. 736–744, 2007.
- [28] PARO, J., HÄNNINEN, H., KAUPPINEN, V., Tool Wear and Machinability of X5 CrMnN 18 18, Stainless Steels, *Journal of Materials Processing Technology* 119, pp. 14-20. 2001.
- [29] TEKİNER, Z., YESİLYURT, S., Investigation of Cutting Parameters Depending on Process Sound during Turning of AISI 304 Austenitic Stainless Steel, *Materials and Design* 25, pp. 507-513, 2004.
- [30] SELINDER, T. I., SJOSTRAND, M.E., NORDIN, M., LARSSON, M., O.STLUND, A, HOGMARK, S., Performance of PVD TiN/TaN and TiN/NbN superlattice coated cemented carbide tools in stainless steel machining, *Surface and Coatings Technology*, 105, pp.51 -55, 1998.
- [31] ÇAKIR, M.C., and İSİK, Y., Detecting tool breakage in turning AISI 1050 steel using coated and uncoated cutting tools, *Journal of Materials Processing Technology*, 159, pp. 191-198, 2005.
- [32] 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, pp. 822-832, 2005.
- [33] ÖZDEMİR, A., TÜRKER, M., KARATAŞ Ç., GÜLLÜ A.K., MA 956 Süperalaşım Malzemesi İçin Tel Erozyonda İşleme Parametrelerinin Ön Tayini, *Journal of Polytechnic*, Vol: 4 Special Issue, pp. 7-14, 2002.
- [34] BRADLEY, E., *Superalloys A Technical Guide*, ASM, USA, pp.1-29, 1988.
- [35] ASM International, *Metals Handbook*, Tenth Edt, pp. 950, USA, 1990.
- [36] EZUGWU, E. O., WANG, Z. M., MACHADOP A. R., The machinability of nickelbased alloys: a review, *Journal of materials Processing Technology*,

Volume 86, Issues 1-3, pp. 1-16, 1999.

- [37] KARABULUT, Ş., İncel 718 Süper Alaşımın İşlenmesinde Talaş Kırılma Problemleri ve Talaş Kırıcı Tasarımı, Gazi Ün., Fen Bil. Enst., Yük. Lis. Tezi, sf. 3-48, Ankara, 2006.
- [38] CHOULDHURY, I.A., Machinability studies of high strength materials and the development of a data base system, PhD thesis, Dublin City University, pp. 1-140, 1995.
- [39] SIMS, C.T., Hagel, W.C., The Superalloys Wiley, New York, pp. 25, 1972.
- [40] WHITE, C. H., Nickel Base Alloys, Wiggins Alloy, pp. 12, 1986.
- [41] RICHARDS, N., ASPINWALL, D., Use of ceramic tools for machining nickel-based alloys”, Int. J. Mach. tools Manuf., 29, pp. 575-588, 1989.
- [42] BHADSHIA, H. K. D. H., Nickel Based Superalloy: Dislocation Structure, University of Cambridge, 2002, <http://www.msm.cam.ac.uk/>, Erişim tarihi: 09.02.2009
- [43] AVNER, S.H., Introduction to Physical Metallurgy, Sf. 400-405, 1985.
- [44] EZUGWU, E.O., Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace superalloys, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 45, pp.1353-136, 2005.
- [45] ERDEM, M.S., AKMANDOR, İ.S., Uçak Motoru ve Elektrojen Gruplarındaki Gaz Türbini Teknolojisindeki İlerlemeler, Malzeme, Yüzey Teknolojileri ve İmalat Süreçlerindeki Gelişmeler, Mühendis ve Makine, 528, sf. 9-15, Ocak, 2004.
- [46] BOYER, R. R., An overview on the use of titanium in aerospace industry, Journal of Material Science and Engineering, Part A213, pp. 103-114 1996.
- [47] TEKİN, C., Plazma İyon Nitrülenmiş 304 ve 410 Paslanmaz Çeliklerin Aşınması, Sakarya Ün., Fen Bil. Ens., Yük. Lis. Tezi, sf. 11-19, 1999.
- [48] ÇAKIR, M.C., Modern Talaşlı İmalatın Esasları, Nobel Yayın, 2. Baskı, sf. 25-47, 67-79, 131-196, 229-235, Ankara, 2006.
- [49] SCHEER, L., SAĞIŞMAN M., Çelik Nedir, İnkılap Yayınevi, sf. 16-63, İstanbul, 1971.
- [50] BUNSHAH, R.F., Deposition techniques, Materials Science and Engineering, 16, sf. 18-20, 1982.

- [51] ERDOĞAN, M., Mühendislik Alaşımalarının Yapı ve Özellikleri, 2. baskı, Nobel Yayın, Ankara, 2000.
- [52] ASIF, I., HE, N., LI, L., ULLAH D., A Fuzzy Expert System For Optimizing Parameters And Predicting Performance Measures In Hard-Milling Process. Expert Systems with Applications, 2006.
- [53] KÖKSAL, S., Talaş Kaldırma Prensipleri ve Kesici Takımlar, Yüksek Lisans Ders Notları, 2007.
- [54] TRENT, E.M., WRİGHTE, P.K., Metal Cutting, sf. 27-30, 44,1 64-165, 3 48 Butterworth-Heinmann Ltd, 4rd ed., 2000.
- [55] SANDVIK, Metalcutting Techcinal Guide (D) Milling, pp. 5-65, 154-178, Sweden, 2008.
- [56] SAE, The Impact of New Aerospace Materials, Manufacturing Strategies and Production Schedules on Machining Techniques and Control, USA, 2008.
- [57] MARİNOV, V., Manufacturing Technology, sf. 69-86, 2008.
- [58] SIMONEAU, A., NG, E., ELBESTAWI, M.A., Chip Formation During Microscale Cutting Of A Medium Carbon Steel, International Journal of Machine Tools & Manufacture 46, sf. 467–481, 2006.
- [59] SAĞLAM, H., Frezelemede kesme parametreleri ile kesme kuvvetlerinin değişimi ve bunların takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin deneysel incelenmesi, Selçuk-teknik online dergisi / Issn 1302-6178, v. 1, n. 3, Konya, 2001.
- [60] AKKURT, M., Talaş Kaldırma ve Takım Tezgahları Problemleri, sf. 158-188, İstanbul, 1998.
- [61] SU, Y., HE, N., LI, L., LI, X.L., An experimental investigation of effects of cooling/lubrication conditions on tool wear in high-speed end milling of Ti-6Al-4V, Wear, 2006.
- [62] RAHMAN M., KUMAR, A., SENTHIL, MANZOOR-UL-S., LING M., Effect of chilled air on machining performance in end milling. Int J Adv Manuf Technol, 21, pp. 787–795, 2003.
- [63] GÖKKAYA, H., NALBANT, M., Talaş kaldırma sırasında ısı oluşumu ve dağılımı, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, sf. 33-43, 2006.
- [64] GHANI, J. A., CHOUDHURY, A., MASJUKI H. H., Performance of P10 TiN coated carbide tools when end milling AISI H13 tool steel at high cutting speed, Journal of Materials Processing Technology, pp. 153–154 1062–1066, 2004.

- [65] TOH, C.K., Static and dynamic cutting force analysis when high speed rough milling hardened steel, *Materials and Design* 25, pp. 41–50, 2004.
- [66] ÖZDEMİR, Ö., İPEK, M., ZEYTİN, S., Kesici takım malzemeleri, *Mühendis ve Makina*, Sayı 487, 2000.
- [67] ASM Specialty Handbook, Tool Materials, pp. 6, 7, 32, 45, USA, 1995.
- [68] KOPAC, J., Influence of cutting material and coating on tool quality and tool life, *Journal of Materials Processing Tech.* 78, pp. 95–103, 1998.
- [69] EZUGWU, E., OKEKE, C.I., Tool life and wear mechanism of TiN coated tools in an intermittent cutting operation. *Journal Materials Processing Technology*, 116, pp. 10-15, 2001.
- [70] WANG, J., The effect of the multi-layer surface coating of carbide insert on the cutting forces in turning operation, *Journal of Material Processing Technology*, 97, pp. 114-119, 2000.
- [71] STEPHENSON, D.A., AGAPIOU, J.S, *Metal Cutting Theory and Practice*, s.157-159, 579-580, 1996.
- [72] GÜHRING, F-Werkzeuge mit FIRE-Schicht, die Allroundschicht mit megastarker Leistung, *Gührings brochure 107064/9739-VIII-15*, 1998.
- [73] LEYENDECKER, T., RASS, I., ERKENS, G., FELDHEGE, M., TiAlN - Al₂O₃ PVD multilayer for metal cutting operation, *Surface and Coatings Technology*, 97, pp. 790 – 793, 1997.
- [74] İPEK, M., *Seramiklerin Karakterizasyonu*, Yük. Lis. Ders Notları, 2007.
- [75] YİĞİT, R., HTCVD Yöntemiyle Kaplanmış Kesici Takımlarda Takım Ömrünün Araştırılması, *Doktora Tezi, SAÜ.Tek. Eğt. Fak.*, 2004.
- [76] <http://www.coromant.sandvik.com>, Erişim Tarihi:08.03.2009
- [77] AYKUT, S., BAGCI, E., KENTLI, A., YAZICIOGLU, O., Experimental observation of tool wear, cutting forces and chip morphology in face milling of cobalt based super-alloy with physical vapour deposition coated and uncoated tool, *Mat. and Desg.*, 28, pp. 1880–1888, 2007.
- [78] FOX, G.S., RABINOVICH, K., YAMAMOTO, VELDHUIS, S.C, KOVALEV, A.I., SHUSTER, L.S., NING, L., Self-adaptive wear behavior of nano-multilayered TiAlCrN/WN coatings under severe machining conditions, *Surf. Coat. Technol*, 2006.
- [79] REINHOLD, E., RICHTER, J., SEJFERT, STEUR, C., Large area metal strip coating by EB PVD-Current Aims and Physical Limits, *46th Annual Technical Conf. of Vacuum Coaters 2003*, San Francisco, California,

USA, May 4-8, 2003.

- [80] REICHEL, K., AND JIANG, X., The preparation of TiN films by physical vapour deposition methods, *Thin Solid Films*, s. 91-92, 1990.
- [81] <http://www.pvd-coatings.co.uk>, Erişim Tarihi:23.03.2009
- [82] JOHNSON, P.C., *Physical Vapour Deposition of Thin Films, Plating and Surface Finishing*, sf. 30-33, 1989.
- [83] BUNSHATTA R.F., *High Rate Physical Vapour Deposition Processes, Agard Lecture Series No: 106, Material Coating Techniques, Hardford House, London*, sf. 21-26, 1980.
- [84] MATTOX, DONALD M., *Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing: Film Formation, Adhesion, Surface Preparation and Contamination Control.*, Westwood, N.J., Noyes Publications, sf. 4, 1998.
- [85] SMITH D.L., *Thin-Film Deposition - Principles & Practice*, McGraw-Hill Inc, New York, 1995.
- [86] EZUGWU, E. O., WANG, Z. M., Performance of PVD and CVD coated tools when nickel-based machining Inconel 718 alloy. IN: N.Narutaki et al. *Progress of Cutting and Grinding 111*, pp. 102-107, 1996.
- [87] SHINTANI, K., KATO, H., MAEDA, T., FUJIMERA, Y., YAMAMOTO, A., Cutting performance of CBN tools in machining of nickel-based superalloy, *J. Precis, Eng.* 58 10, pp. 63-68, 1992.
- [88] YİĞİT, O., OFLUOĞLU, O., Seramik takımlarla alın frezelemede takım aşınması, *Politeknik dergisi*, cilt: 4 sayı: 3 s. 63-68, 2001.
- [89] SELECKA, H, SALAK, A., *Machinability of Powder Metallurgy Steels*, International Science Publishing sf. 119, Cambridge, 2005.
- [90] YILMAZ, N., YALÇIN, B., ÖZSOY, A., Kesici takımlarda aşınma ve takım performansının iyileştirilmesi, *Metal-Makine Dergisi*, sayı:150, Kasım-Aralık sayısı, İstanbul, 2004.
- [91] BÖHLER, Sert Maden ve Takım Sanayi ve Ticaret A.Ş., *Talaş kaldırma Bilgileri*, Yeni Karar Yayıncılık, İstanbul, sf. 31-42, 1990.
- [92] KOPAC, J., SOKOVIC, M., DOLINSEK, S., Tribology of cated tools in conventional and HSC machining, *Journal of Materials Processing Technology* 118, pp 377-384, 2001.
- [93] ALTING, L., *Manufacturing Engineering Processes, Revised and Expanded, Second Edition*, sf. 193, 1994.

- [94] GÖKKAYA, H., NALBANT, M., Kesme hızının yığıntı katmanı ve yığıntı talaş oluşumu üzerindeki etkilerinin SEM ile incelenmesi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 22, No 3, sf. 481-488, 2007.
- [95] LEONDES, C. T., Computer Aided and Integrated Manufacturing Systems: Intelligent systems , vol. 2, sf. 161, 2003.
- [96] SICK, B., On-Line And Indirect Tool Wear Monitoring In Turning With Artificial Neural Network: A Review Of More Than A Decade Of Research, Mechanical Systems And Signal Processing, 16(4), pp. 487-546, 2002.
- [97] BOOTHROYD, G., KNIGHT, W.A., Fundamentals of Machining and Machine Tools, Third Edition, sf. 145, 2006.
- [98] DEVRIES, W. R., Analysis of Material Removal Processes, sf. 94,1991.
- [99] <http://www.borokav.com/define/documents/borokav.com/pdf/TM-1-2-3-1P.pdf>, Erişim tarihi:06.04.2009
- [100] <http://www.haascnc.com>, Erişim tarihi:06.04.2009
- [101] <http://www.espimetals.com/tech/Inconel625.pdf>, Erişim tarihi:06.04.2009
- [102] <http://www.turk-cad.com>, Erişim tarihi:06.04.2009
- [103] <http://www.hightempmetals.com/techdata/hitempInconel625data.php>, Erişim tarihi:06.04.2009
- [104] TSE, TS ISO 8688-1, Tool Life Testing in Milling-Part 1: Face Milling, First Edition, Nisan, 2006.

ÖZGEÇMİŞ

Nurettin ATEŞ, 31.03.1974'te Eskişehir'de doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini Eskişehir'de tamamlamıştır. 1995 yılında Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makina Eğitimi Bölümü, Talaşlı Üretim Anabilim dalından mezun olmuştur. Askerlik görevini 1997-1998 yıllarında Hakkari'de tamamlamıştır. Hatay ve Sakarya illerinde öğretmenlik yapmıştır. 2006 yılında Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nde lisansüstü eğitime başlamıştır. Halen Eskişehir'de öğretmen olarak görev yapmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.