T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TALAŞLI ŞEKİL VERME İŞLEMLERİNDE KULLANILAN AlTiN KAPLAMALI VE KAPLAMASIZ KADEMELİ MATKAPLARIN DELİK DELME PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

SELÇUK SELVİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mümin ŞAHİN

EDİRNE-2016

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Prof. Dr. Murat YURTCAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

Prof. Dr. Yılmaz ÇAN
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tez tarafımca okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mümin ŞAHİN
Tez Danışmanı

Bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında bir Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	İmza
Prof. Dr. Mümin ŞAHİN	
Yrd. Doç. Dr. Cenk MISIRLI	
Yrd. Doç. Dr. Sencer Süreyya KARABEYOĞLU	

Tarih: 03/08/2016

T.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

İlgili tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını beyan ederim.

03/08/2016

Selçuk SELVİ



Yüksek Lisans Tezi
SELÇUK SELVİ
T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Kesici takımların kesme performanslarını artırmak ve kesme ömrünü uzatmak talaşlı imalat sektöründe maliyet, zaman ve kalite açısından oldukça önemlidir. Bu amaçla kesici takımlara kaplama yöntemleri ile kaplanmış bir yüzey oluşturup mekanik özelliklerini iyileştirmek, uygulanan başlıca yöntemlerden biridir. Kaplama malzemesinin türü ve kaplama yönteminde elde edilen verim kaplama performansını etkileyen en önemli faktörlerdir. Kaplama yapılan malzemenin sahip olduğu aşınma direnci, aynı malzemeden yapılmış olan bir takım ile aynı performansa sahip olduğu için kaplama yaparak yüksek takım maliyetinden de kazanç sağlamış olunur.

Bu tez çalışmasında da kaplama malzemeleri arasında sıkça kullanılan AlTiN kaplamaların aşınma ve kesme performanslarının kaplamalı ve kaplamasız olan takımlarla karşılaştırıldığında maliyet ve performans açısından verdiği sonuçlar incelenecektir.

Yıl : 2016
Sayfa Sayısı : 73
Anahtar Kelimeler : AlTiN, Yüzey Kaplama, Takım Aşınması, Delme, PVD

Master's Thesis
SELÇUK SELVİ
Trakya University Institute of Natural Sciences
Department of Mechanical Engineering

ABSTRACT

Increasing the cutting performance and tool life of cutting tools is priority for machining in terms of time, quality and tooling cost. For this purpose, coating a layer on substrate surface is a major method for increasing the mechanical properties of cutting tools. The type of coating material and the coating efficiency are important factors for coating performance.The wear resistance of substrate has the same wear resistance with the coating material if it is made of the same material. Coating process needs less material than producing the tool from the same material. Therefore coating process has lower cost.

In this thesis, the most preferred coating material AlTiN is investigated in terms of wear properties and cutting performances. AlTiN coated and uncoated drill bits are experimentally compared with each other.

Year : 2016
Number of Pages : 73
Keywords : AlTiN, surface coating, tool wear, drilling, PVD

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının ortaya çıkmasında bana destek veren Hema Endüstri A.Ş. ve tecrübeleriyle bana yardımcı olan Sayın Metod ve Proses Geliştirme Yöneticisi Ercan ÖKMENER'e ve benden bilgi ve emeklerini esirgemeyip konu seçiminde beni yönlendiren değerli hocam ve tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Mümin ŞAHİN'e katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos – 2016 Selçuk SELVİ

İÇİNDEKİLER

ÖZET i

ABSTRACT ii

TEŞEKKÜR iii

İÇİNDEKİLER iv

TABLOLAR VE ŞEKİLLER LİSTESİ vii

SİMGELER VE KISALTMALAR xi

BÖLÜM 1: GİRİŞ 1

1.1. Tezin Konusu ve Önemi 1

BÖLÜM 2: LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 3

2.1. Literatürdeki Çalışmalar 3

BÖLÜM 3: YÜZEY KAPLAMA YÖNTEMLERİ 18

3.1. Yüzey Kaplamada PVD Yöntemi 18

3.1.1 Buharlaştırma 20

3.1.1.1 Buharlaştırma Kaynakları 21

3.1.2 Sıçratma Tekniği 21

3.1.3 Plazmayla Parçalama Tekniği 22

3.2. Yüzey Kaplamada CVD Yöntemi 22

3.2.1. CVD Kaplama Yöntemleri 22

3.2.1.1 CVD Kaplama Reaktörleri 24

3.2.1.1.1 Sıcak Çeperli Reaktörler 24

3.2.1.1.2 Soğuk Çeperli Reaktörler 25

BÖLÜM 4: HASAR MEKANİZMALARI 27

4.1. Kesme Takımlarında meydana Gelen Aşınma Mekanizmaları 28

4.1.1 Krater Aşınması 28

4.1.2 Serbest Yüzey Aşınması 29

4.1.3 Isıl ve Mekanik Çatlaklar 29

4.1.4 Ağız Birikimi Oluşumu 30

4.1.5 Çentik Aşınması 30

4.1.6 Talaş Vurması 31

4.1.7 Kenar Çentik Oluşumu 31

BÖLÜM 5: TALAŞ KALDIRMA TEKNİKLERİ 33

5.1. Talaşlı Üretim 33

5.2. Talaşlı İmalatta Delik Delme 35

5.2.1 Delik Delmede Takım Geometrisi 36

5.2.2 Delik Delme İşleminde Talaş Kaldırma Esasları 36

5.2.2.1 Kesme Hızı (v_c) 37

5.2.2.2 İlerleme Hızı (f) 37

5.2.2.3 Talaş Boyutları ve Paso Kalınlığı 37

BÖLÜM 6: MATERYAL VE METOD 39

6.1. Deneyde Kullanılan Materyaller ve Özellikleri 39

6.1.1 Deneyde Kullanılan Matkap Uçları ve Özellikleri 43

6.1.2 Gövde Parçası ve Özellikleri 45

BÖLÜM 7: DENEY SONUÇLARI 48

7.1. HEM-670 Takımına Ait Performans ve Maliyet Değerlendirmesi 48

7.2. HEM-671 Takımına Ait Performans ve Maliyet Değerlendirmesi 51

7.3. HEM-672 Takımına Ait Performans ve Maliyet Değerlendirmesi 53

BÖLÜM 8: SONUÇLAR 56

KAYNAKLAR 57

ÖZGEÇMİŞ 60

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 6.1 Matkap uçlarına ait malzeme özellikleri 43

Tablo 6.2 Çalışmanın yapıldığı gövde malzemesinin kimyasal ve fiziksel özellikleri 47

Tablo 7.1 HEM-670 takımına ait şarj maliyeti tablosu 49

Tablo 7.2 HEM-670 takımına ait performans ve maliyet tablosu 49

Tablo 7.3 HEM-670 takımına ait zaman kazancı tablosu 50

Tablo 7.4 HEM-671 takımına ait şarj maliyeti tablosu 51

Tablo 7.5 HEM-671 takımına ait performans ve maliyet tablosu 51

Tablo 7.6 HEM-671 takımına ait zaman kazancı tablosu 52

Tablo 7.7 HEM-672 takımına ait şarj maliyeti tablosu 53

Tablo 7.8 HEM-672 takımına ait performans ve maliyet tablosu 53

Tablo 7.9 HEM-672 takımına ait zaman kazancı tablosu 54

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Liu Aihua ve arkadaşlarının çalışmasında kesme sayısına göre kaplamalı takımların sürtünme katsayısında meydana gelen değişim 4

Şekil 2.2 Q. Yang ve R. McKellar'ın çalışmasına ait nano katmanlı CrAlTiN ve çok katmanlı CrAlTiN–AlTiN kaplamaların kütlesel aşınma oranları 5

Şekil 2.3 Mirjam Arndt ve Thorsten Kacsich'in çalışmasına ait AlTiN-Saturn kaplama ile diğer kaplamalı ve kaplamasız takımların kesme performansları karşılaştırması 6

Şekil 2.4 G.S. Fox-Rabinovich ve arkadaşlarının çalışmasına ait AlTiN ve TiAlCrN kaplamaların farklı işleme koşulları altındaki takım ömürleri 7

Şekil 2.5 Shihong Zhang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmaya göre kaplamalı HSS takımların sürtünme katsayıları ve takım ömrü tabloları 8

Şekil 2.6 Qinglong An ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada yan kesme yüzeylerinde görülen aşınma miktarları 9

Şekil 2.7 J.L. Endrino ve arkadaşlarının çalışmasında kaplamalı takımlara ait ortaya koydukları kesme testi sonuçları 10

Şekil 2.8 B.D. Beake ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmaya ait kaplamalı yüzeylerin aşınma miktarları 11

Şekil 2.9 Jaume Pujante ve arkadaşlarının çalışmasına ait farklı yüklerle farklı sıcaklıklarda yapılan çizilme deneyleri a) Oda sıcaklığı (8.8 N) ve b) 500 °C (4 N) 12

Şekil 2.10 D. Kottfer ve arkadaşlarının çalışmasına ait matkap uçlarının açtığı delik sayısına göre aşınma miktarlarını gösteren grafik 13

Şekil 2.11 Deng Jianxin ve arkadaşlarının çalışmasına ait kaplamanın türüne göre aşınma oranını gösteren grafik 13

Şekil 2.12 K. Lukaszkowicz va arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada kaplamaların çizilme testi sonrası Lc1 ve Lc2 değerleri sonrası optik mikroskop altındaki görüntüleri 14

Şekil 2.13 C. Ducros ve arkadaşlarının çalışmasına ait iki pasoda gerçekleşen 4 dakikalık işleme zamanı sonrası oluşan yüzey aşınmaları Kaplamasız takıma ait yan yüzey görüntüsü (a) ve kenar görüntüsü (d), CrN/TiN nano kaplamalı takıma ait yan yüzey görüntüsü (b) ve kenar görüntüsü (e), TiN/AlTiN nano kaplamalı takıma ait yan yüzey görüntüsü (c) ve kenar görüntüsü (f). Yüzeyde görülen hataların isimleri: (1) abraziv burun aşınması, (2) kesici kenar aşınması, (3) kesici uç kopması, (4) yapışma aşınması 15
Şekil 2.14 Muammer Nalbant ve arkadaşlarına ait çalışmada ANN mimarisine ait dokuz gizli nöronun tek bir tabakaya gizlenmiş yapısı 16
Şekil 2.15 W. Kalss ve arkadaşlarının çalışmasına ait AISI 1045 çeliği ile yapılan işleme testlerinde (Vc = 400 m/min, ae = 10 mm, ap = 0.5 mm, fz = 0.1 mm) kaplama türü ve takım ömrü arasındaki ilişkiyi gösteren grafik 17
Şekil 3.1 PVD kaplama ünitesi şeması 20
Şekil 3.2 Buharlaştırma sistemi şeması 21
Şekil 3.3 Sıcak çeperli CVD reaktörü 24
Şekil 3.4 Çok kapsüllü LPCVD fırını 25
Şekil 3.5 Soğuk çeperli CVD reaktörü 26
Şekil 4.1 Krater aşınması 28
Şekil 4.2 Serbest yüzey aşınması 29
Şekil 4.3 Isıl ve mekanik çatlaklar 30
Şekil 4.4 Ağız birikimi oluşumu 30
Şekil 4.5 Çentik aşınması 31
Şekil 4.6 Talaş vurması 31
Şekil 4.7 Kenar çentik oluşumu 32
Şekil 5.1 Tornalamada talaş kaldırma işlemi 34
Şekil 5.2 Ortogonal kesmede etki eden kuvvetler 35
Şekil 5.3 Standart bir matkap ucunun yapısı 36
Şekil 6.1 CEMECON PVD kaplama makinesi 39
Şekil 6.2 CEMECON kaplama ünitesinin önden görünüşü 40

Şekil 6.3 PVD kaplama için temizleme işlemleri bitmiş ve kaplama için hazırlanmış takımlar 40
Şekil 6.4 Kaplamada kullanılan kaplama ünitesi 41
Şekil 6.5 Kaplama sonrası kaplama ünitesinin görüntüsü 41
Şekil 6.6 CEMECON makinesi kaplama tablasına yerleştirilmiş takımlar 42
Şekil 6.7 Kaplama işlemi sırasında cihaz tablasının kendi ekseni etrafındaki dönüşü 42
Şekil 6.8 HEM-670 matkap ucuna ait görsel 43
Şekil 6.9 HEM-670 matkap ucuna ait teknik çizimi 43
Şekil 6.10 HEM-671 matkap ucu 44
Şekil 6.11 HEM-671 matkap ucunun teknik çizimi 44
Şekil 6.12 HEM-672 matkap ucu 44
Şekil 6.13 HEM-672 matkap ucunun teknik çizimi 44
Şekil 6.14 Delik delme işlemlerinin yapıldığı direksiyon gövdesi 45
Şekil 6.15 Pompa gövdesine ait sfero dökme demir mikroyapısı 45
Şekil 6.16 Gövde malzemesinin mikroyapısındaki ferrit ve perlit oluşumları 46
Şekil 6.17 Gövde malzemesinin mikroyapısındaki grafit alanları 46
Şekil 7.1 HEM-670 takımına ait ortalama delme sayıları 49
Şekil 7.2 HEM-670 matkap ucunun kaplamalı ve kaplamasız olarak işleme yapabildiği adetlerin karşılaştırılması 50
Şekil 7.3 HEM-670 matkap ucunun kaplamalı ve kaplamasız olarak delme işlemi sırasında çalıştığı süreler 50
Şekil 7.4 HEM-671 takımına ait ortalama delme sayıları 51
Şekil 7.5 HEM-671 matkap ucunun kaplamalı ve kaplamasız olarak işleme yapabildiği adetlerin karşılaştırılması 52
Şekil 7.6 HEM-671 matkap ucunun kaplamalı ve kaplamasız olarak delme işlemi sırasında çalıştığı süreler 53
Şekil 7.7 HEM-670 takımına ait ortalama delme sayıları 54
Şekil 7.8 HEM-672 matkap ucunun kaplamalı ve kaplamasız olarak işleme yapabildiği adetlerin karşılaştırılması 55
Şekil 7.9 HEM-672 matkap ucunun kaplamalı ve kaplamasız olarak delme işlemi sırasında çalıştığı süreler 55

SİMGELER VE KISALTMALAR

PVD	: Physical Vapor Deposition - Fiziksel Buhar Biriktirme
CVD	: Chemical Vapor Deposition - Kimyasal Buhar Biriktirme
HV	: Vickers sertlik değeri
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
HRTEM	: Yüksek çözünürlüklü transmisyon elektron mikroskubu
HSS	: Yüksek hız çeliği
EDX	: Enerji dağılımlı X ışınları analizi
µm	: Mikrometre
ANN	: Yapay sinir ağları metodu
V_c	: Kesme hızı
f_z	: İlerleme sayısı
N	: Newton
V_c	: Kesme hızı
n	: Devir sayısı
D	: Çap
f	: İlerleme miktarı
z	: Ağız sayısı
a	: Paso kalınlığı
ψ	: Uç açısı
θ	: Helis açısı
φ	: Radyal kesme açısı
Pa	: Pascal
p	: Basınç
LPCVD	: Düşük basınçlı kimyasal depolama ünitesi
F	: Kuvvet
As	: Kayma düzlemi alanı
t_0	: Talaş kalınlığı
β	: Sürtünme açısı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1.Tezin Konusu ve Önemi

Tarih boyunca insanların günlük yaşantısını kolaylaştıracak gereçler her zaman önemli bir yer tutmuştur. Bu nedenle insanlar her zaman daha iyisine ulaşmaya çalışmış ve daha fazla beklentiye kapılmışlardır. Endüstri ürünlerinin neredeyse tamamı doğrudan veya dolaylı olarak insanların ihtiyaçları için üretilmektedir. Artan nüfus, piyasadaki rekabet ve tüketim miktarları düşünüldüğünde üretim planlamasının büyük önem taşıdığı görülmektedir. Bu yüzden üretim sırasında üretici ve tüketici yararına olan her etmen göz önünde bulundurulmalıdır.

Türkiye'de sanayi üretiminde talaşlı imalat sektörü önemli bir konumdadır. Talaşlı imalatla üretim yapan işletmeler için de üretimi etkileyen olumlu ve olumsuz her koşulun göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Talaşlı imalat sektöründe üretim kalitesini, üretilen parça adedini, parça başına birim maliyeti etkileyen en büyük unsurlardan bir tanesi kesici takımlardır. Genel olarak kesici takımlar:

- Yüksek aşınma direncine sahip,
- Ekonomik ve uzun ömürlü,
- İşleme sonrası parçanın istenen yüzey kalitesini sağlayabilecek özellikte,
- İşlenen malzemeden daha yüksek sertlikte,
- Kesme sırasında oluşabilecek yüksek ısıya dayanıklı,
- Kesilen malzeme ile kimyasal reaksiyona girmeyecek nitelikte

olmalıdırlar.

Kesici takımların yukarıdaki özellikleri sağlayabilmesine yardımcı olacak tekniklerden bir tanesi kesici takımları mekanik özelliklerini iyileştirici kaplama malzemesi ile kaplama yöntemidir. Kullanılan başlıca kaplama malzemeleri TiN, AlTiN, CrN, AlN, ZrN, TiCN, TiC'dür. Kullanılan kaplama yöntemlerinin en yaygın olanları ise PVD (Physical Vapor Deposition - Fiziksel Buhar Biriktirme) ve CVD (Chemical Vapor Deposition - Kimyasal Buhar Biriktirme) yöntemleridir.

Bu çalışmada HEMA Endüstri A.Ş.'de talaşlı imalat öncesi PVD (Physical Vapor Deposition - Fiziksel Buhar Biriktirme) yöntemi ile AlTiN kaplanmış olan kademeli matkaplar ile kaplamasız olan kademeli matkaplar arasındaki farklar incelenecek olup; matkapların üretim sırasındaki kesme ve dayanım açısından performansları karşılaştırılacaktır.

BÖLÜM 2

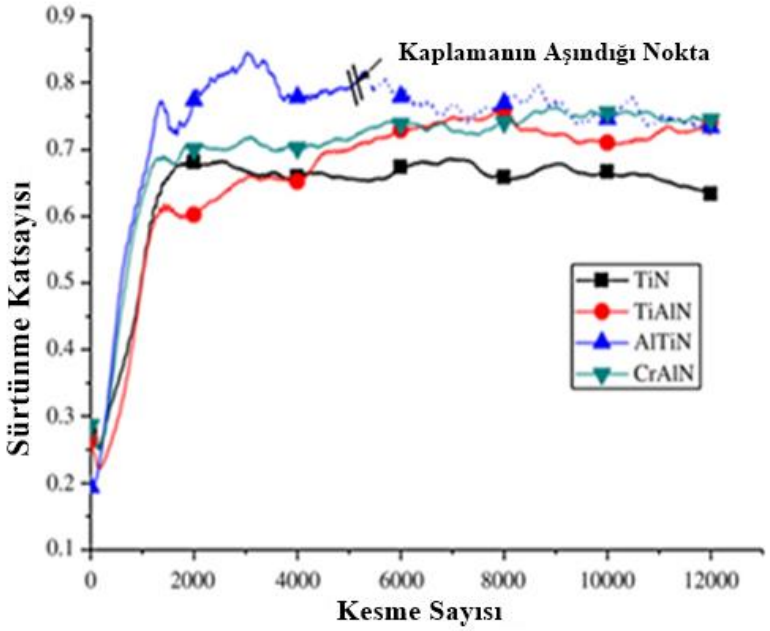
KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Literatürdeki Çalışmalar

Talaşlı imalat yöntemi ile üretim yapan işletmeler için, takım ömrü ve takım ömrüne bağlı olarak takım maliyeti göz önünde bulundurulması gereken en önemli konulardan biridir. Daha az sürede, daha az takım maliyeti ile en çok parçayı üretmek imalatın önceliğidir. Talaşlı imalat sektörü açısından düşünüldüğünde ise takım maliyetini azaltıp, kesme ömrünü artırmak üretim maliyetini azaltmış olacaktır. Bu amaçla yapılan çalışmalar arasında takımların kesme işlevini üstlenen yüzeylerini kaplama yoluna gitmek daha ucuz bir çözüm yolu olmuştur. Kaplama teknikleri, uygulanma yöntemlerine ve kaplama malzemelerine göre kendi aralarında farklılıklar göstermektedirler. Kaplama tekniğine ve kaplama malzemesine göre kaplamalı takımların performans değerlendirmeleri literatürde birçok çalışmada ele alınmıştır.

Liu Aihua ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada TiN, TiAlN, AlTiN ve CrAlN kaplayıcıları ile YG6 (WC+6 wt% Co) semente karbürü katadoik ark buharlaştırma tekniği ile kaplayıp sürtünme ve aşınma özelliklerini incelemişlerdir. Testlerde taramalı elektron mikroskobu, EDAX, mikro sertlik cihazı ve optik profilometre kullanmışlardır. Sonuçlara göre TiN ve TiAlN kaplamalı olanlarda daha az miktarda aşınma gözlemlenmiştir. Bununla birlikte yüksek miktarda Al içeren AlTiN ve CrAlN kaplamalar test sonuçlarında daha düşük aşınma kabiliyeti sergilemiştir. Oksidasyon ve abrazyon aşınması TiN kaplamalar için öncelikli aşınma mekanizması olmuştur. Mikro oluklar ve kısmi kırıkların görülmesine rağmen TiAlN kaplamalar diğerlerine göre daha üstün tribolojik özellikler sergilemişlerdir. Yüksek Al içeriği

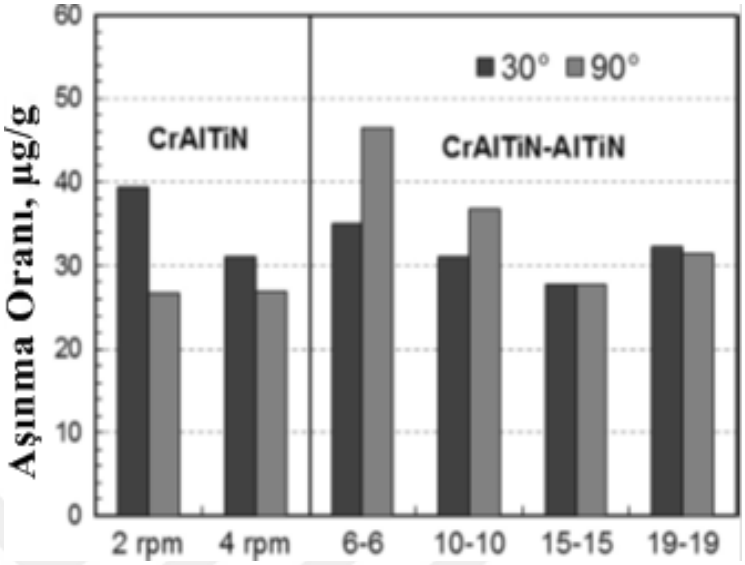
kimyasal reaksiyona girme eğilimini artırıp adezif aşınmaya neden olmuştur. CrAlN kaplamalı olanlar kırık oluşumuna ve adezyona karşı dayanıklı olmalarına rağmen ufalanma şeklinde aşınma göstermişlerdir(Şekil 2.1)[1].



Şekil 2.1 Liu Aihua ve arkadaşlarının çalışmasında kesme sayısına göre kaplamalı takımların sürtünme katsayısında meydana gelen değişim[1]

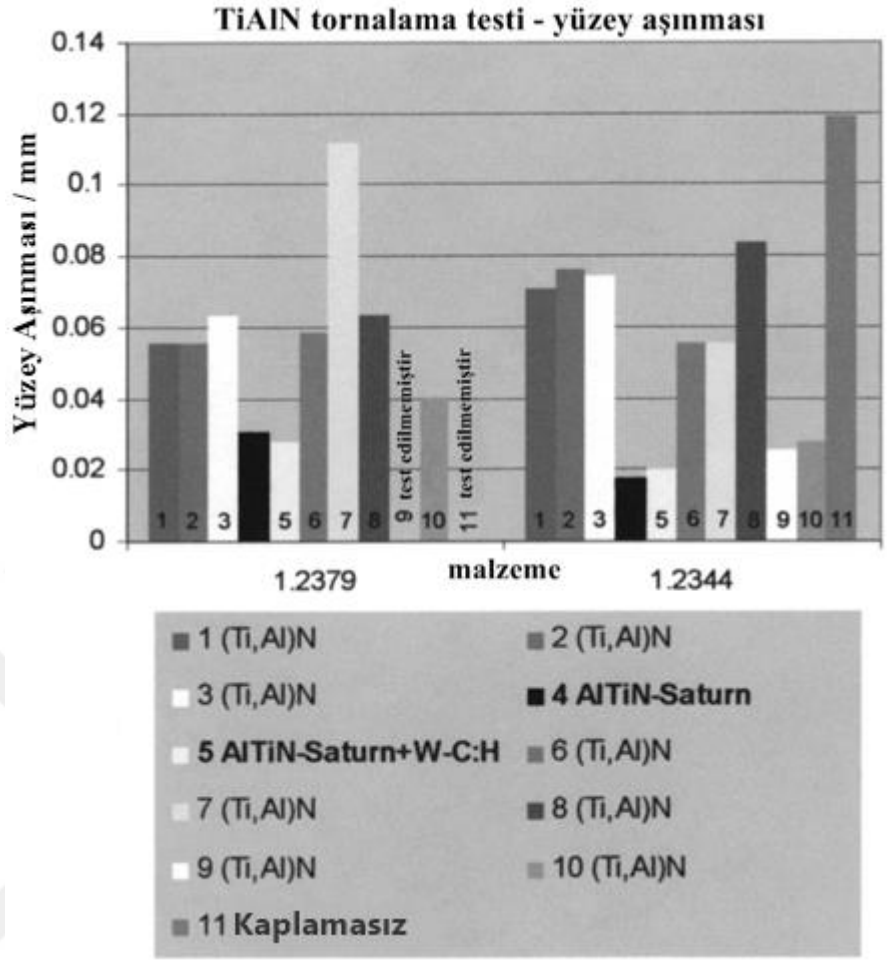
Q. Yang ve R. McKellar yapmış oldukları çalışmada, değişken periyotlarla kaplanmış olan CrAlTiN ve değişik sayıda alternatif çok katmanlı CrTiAlN-AlTiN kaplamalarla nano katmanlı kaplama yapmışlardır. İki tipteki nano kaplama arasında kristalografik olarak herhangi bir farklılık olmadığı görülmüştür. Kaplamaların aşınma performansları mikroyapılarına göre değişkenlik göstermiştir. Her iki kaplama da monolitik CrN kaplamasından önemli ölçüde daha düşük bir aşınma performansı sergilemiştir. Nanokatmanlı CrAlTiN kaplamalar erozyon aşınmasını mikro-kesme sırasında göstermiştir. 30°'lik açı değerinde 35 nm'lik periyotlarla kaplanmış ve HV2385 sertliğe sahip çift katmanlı CrAlTiN kaplama, daha geniş kaplama periyoduna ve 74 nm'lik periyotla HV2128 sertliğine sahip kaplama ile karşılaştırıldığında daha iyi bir aşınma direnci sergilemiştir. Sonuç olarak CrAlTiN-AlTiN kaplamaların aşınma dirençleri, kaplama katmanlarının sayısına göre değişiklik göstermekle birlikte optimum

performanslarını 30° ve 90°'lik açılarda da CrAlTiN-AlTiN (15-15) durumunda göstermişlerdir(Şekil 2.2)[2].



Şekil 2.2 Q. Yang ve R. McKellar'ın çalışmasına ait nano katmanlı CrAlTiN ve çok katmanlı CrAlTiN–AlTiN kaplamaların kütlesel aşınma oranları[2]

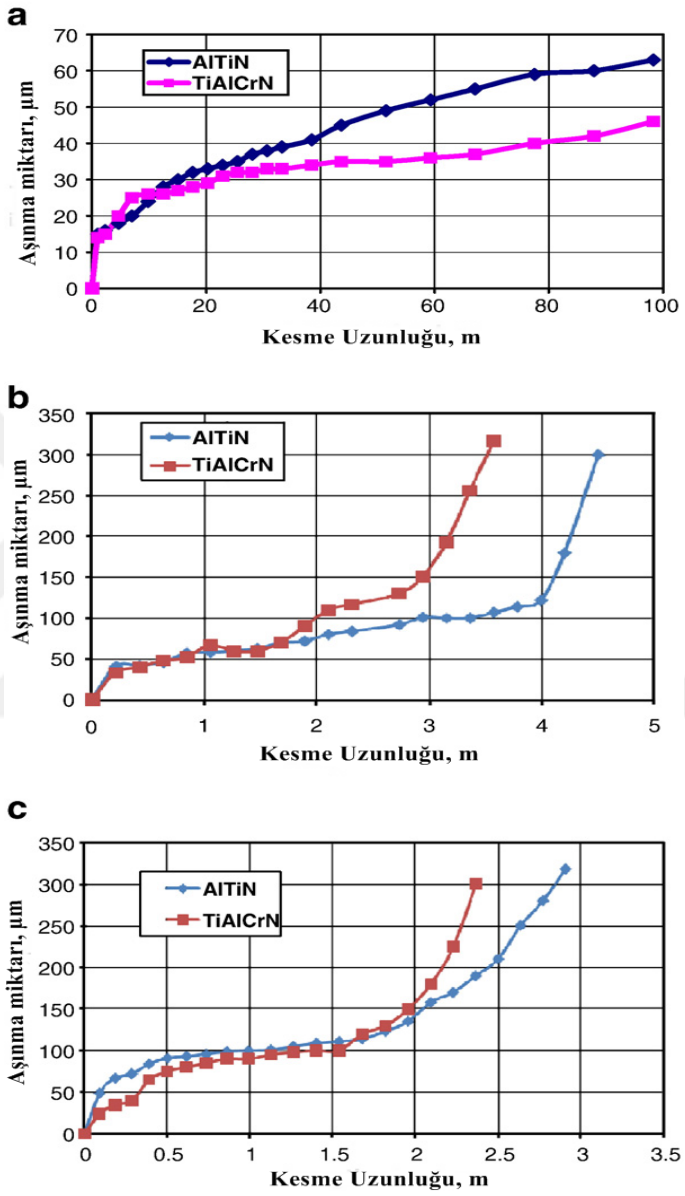
Mirjam Arndt ve Thorsten Kacsich yapmış oldukları çalışmada, AlTiN-Saturn kaplamaların kesme performansına etkisi üzerinde çalışarak bu kaplama türünün sertleştirilmiş ve östenitik paslanmaz çeliklerin kesme performansını iyileştirdiğini saptamışlardır. Kaplamanın avantajları tornalama, frezeleme ve delik delme operasyonları gibi değişik talaşlı imalat işlemleri ile deneysel olarak test edilmiştir. Operasyonları olumlu yönde etkileyen bu avantajlar, katodik ark biriktirme sürecindeki düşük damlacık yoğunluğu, yumuşak yüzey, yüksek sertlik, adezyon yapışmasının başarısı, granül yapısının uygunluğu ve diğer parametreler sayesinde mümkün olmuştur. AlTiN-Saturn kaplamalar, sertleştirilmiş takım çeliğinde yüksek hızlı kesme işlemleri sırasında üstün performans sergilemişlerdir. Bu performans artışının, temel olarak yüksek adezyon kuvveti ve çok iyi kristal yapı sayesinde olduğu görülmüştür(Şekil 2.3) [3].



Şekil 2.3 Mirjam Arndt ve Thorsten Kacsich'in çalışmasına ait AlTiN-Saturn kaplama ile diğer kaplamalı ve kaplamasız takımların kesme performansları karşılaştırması[3].

G.S. Fox-Rabinovich ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, alüminyum bakımından zengin nano-kristal PVD kaplamalı $(Al_{0.67}Ti_{0.33})N$ ve $(Al_{0.7}Cr_{0.2}Ti_{0.1})N$ tipi kaplamaların yapısal karakteristiklerini(kristal yapı, elektronik yapı) ile mekanik özelliklerini(sertlik, yüksek sıcaklıklardaki oksidasyon dayanımı ve plastiklik dayanımı) karşılaştırmışlardır. Çalışma ile bazı karakteristiklerin aşınma direncini etkilediğini; sert kaplamalar için metalürjik özelliklerin özel bazı uygulamalarda gerekli olduğu görülmüştür. Sertleştirilmiş takım çelikleri için, yüksek sıcaklık ve yüksek kuvvetlere maruz kalma durumunda, kaplamanın da bu koşullara dayanıklı olması gerekmektedir. Hava araçlarına ait parçaların üretimi sırasında işlenen parçaya ait malzeme cinsi ile kaplamanın değişik yapısal özelliklerde olması gerekmektedir. Çalışmada ortaya konulan karakteristiklerde, AlTiN kaplamaların stabil olmayan etkiler altında bile

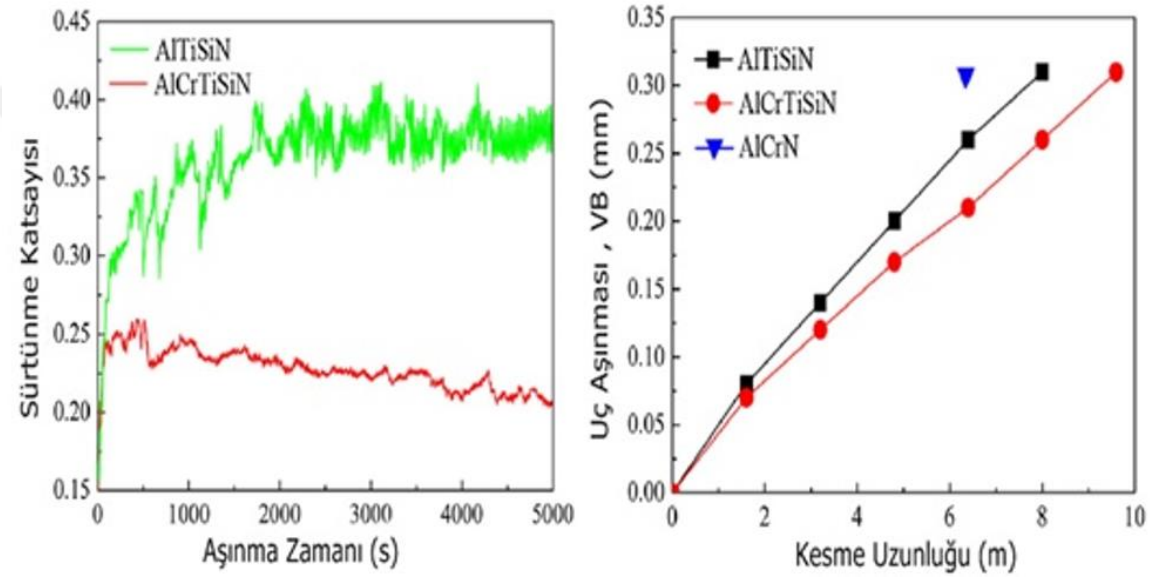
triboloijik etkilere karşı yüksek koruma özelliği gösterdiği görülmüştür. Bu özelliklerin, hava araçlarında kullanılacak olan parçaların üretimi için son derece önemli olduğu vurgulanmıştır(Şekil 2.4)[4].



Şekil 2.4 G.S. Fox-Rabinovich ve arkadaşlarının çalışmasına ait AlTiN ve TiAlCrN kaplamaların farklı işleme koşulları altındaki takım ömürleri[4]

Shihong Zhang ve arkadaşlarına ait çalışmada AlCrN, AlTiSiN, AlCrTiSiN çok katmanlı ve kompozit olmayan kaplamalar yüksek hız çeliklerinin(HSS) üzerine katodik ark prosesi ile kaplanmıştır. Kaplamaların mikroyapıları GIXRD X-ray difraksiyonu,

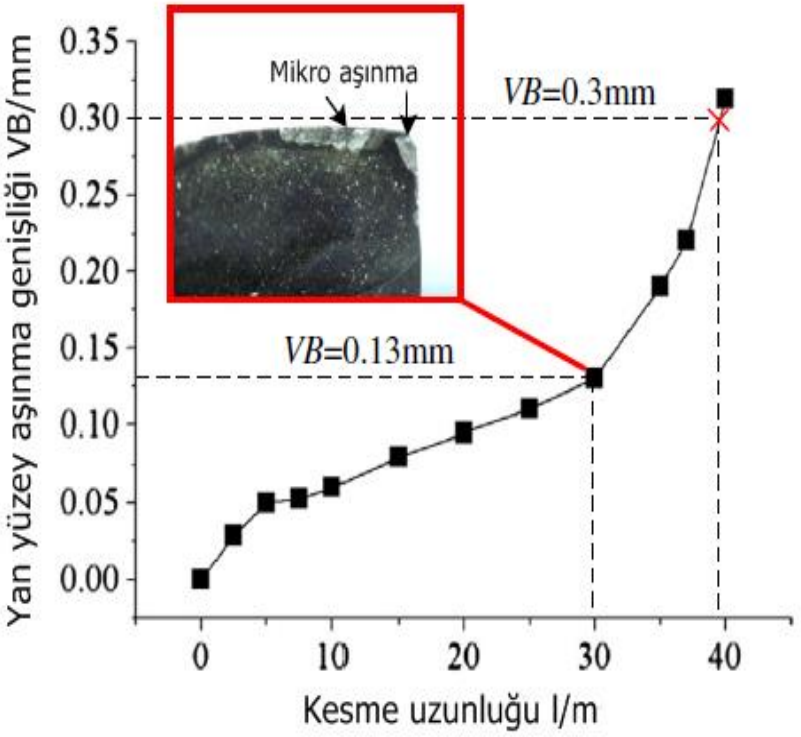
XPS X-ray spektroskopi, SEM taramalı ekektron mikroskobu ve HRTEM yüksek çözünürlüklü transmisyon elektron mikroskubu yöntemleriyle mekanik özellikleri ve kesme ömürleri bakımından incelenmişlerdir. Sonuçlara göre AlTiSiN kaplama, TiN ve hcp-AlN nanokritstallerinden oluşmuştur. AlCrTiSiN çok katmanlı ve kompozit olmayan kaplamanın (111), (200) ve (220) düzlemlerinde yüzey merkezli kübik yapıda TiN, CrN ve nanokristal yapıda (Cr,Al)N fazları içerdiği görülmüştür. Bu çalışma ile HSS takımlarda çok katmanlı, süperlatis ve silikon içeren kaplamaların yapımı için gerekli fizibilite verileri elde edilmiştir(Şekil 2.5)[5].



Şekil 2.5 Shihong Zhang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmaya göre kaplamalı HSS takımların sürtünme katsayıları ve takım ömrü tabloları[5]

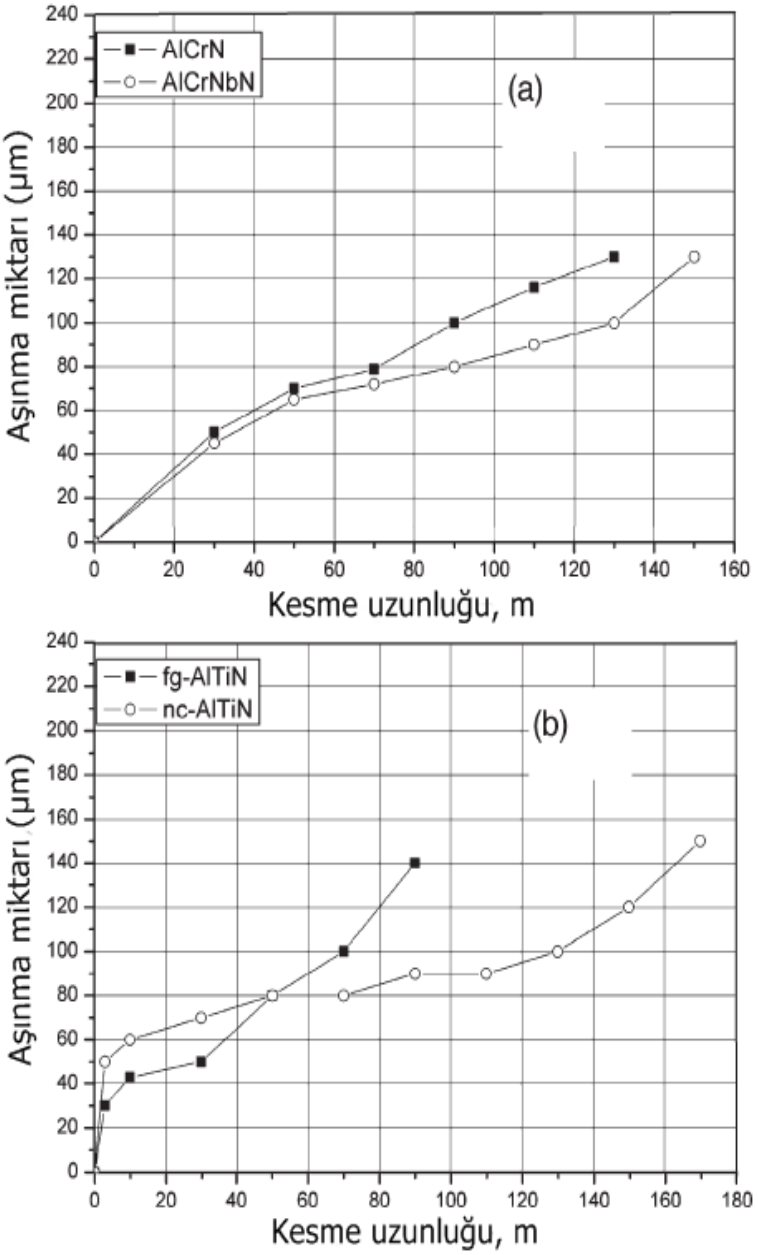
Qinglong An ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada mekanik özellikleri sayesinde havacılık endüstrisi parçalarının üretiminde sıkça kullanılan 30Cr3SiNiMoVA (30Cr3) çeliğininin kaplama sonrası performansını incelemişlerdir. Sert tornalama yüksek hız çeliklerinin işlenmesi için oldukça yaygın kullanılan bir yöntemdir. Bu çalışmada 30Cr3 malzemesinin PVD-AlTiN kaplamalı seente karbit takımın aşınma mekanizmaları incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre kesme hızının 70m/dk ‘dan 110m/dk’ya çıkarılması kesme kuvvetlerinde büyük azalmaya ve yüzey kalitesinde ise artışa neden olmuştur. Bunun yanında kesme derinliğinin ve ilerleme hızının ise yüzey kalitesini azaltıcı rol oynadığı görülmüştür. PVD kaplamanın

karşılaştığı en büyük sorunların mikro aşınmalar ve kaplama soyulması olduğu görülmüştür. Krater aşınması ve mikro aşınmalar yan yüzeylerde görülmüştür(Şekil 2.6)[6].



Şekil 2.6 Qinglong An ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada yan kesme yüzeylerinde görülen aşınma miktarları[6].

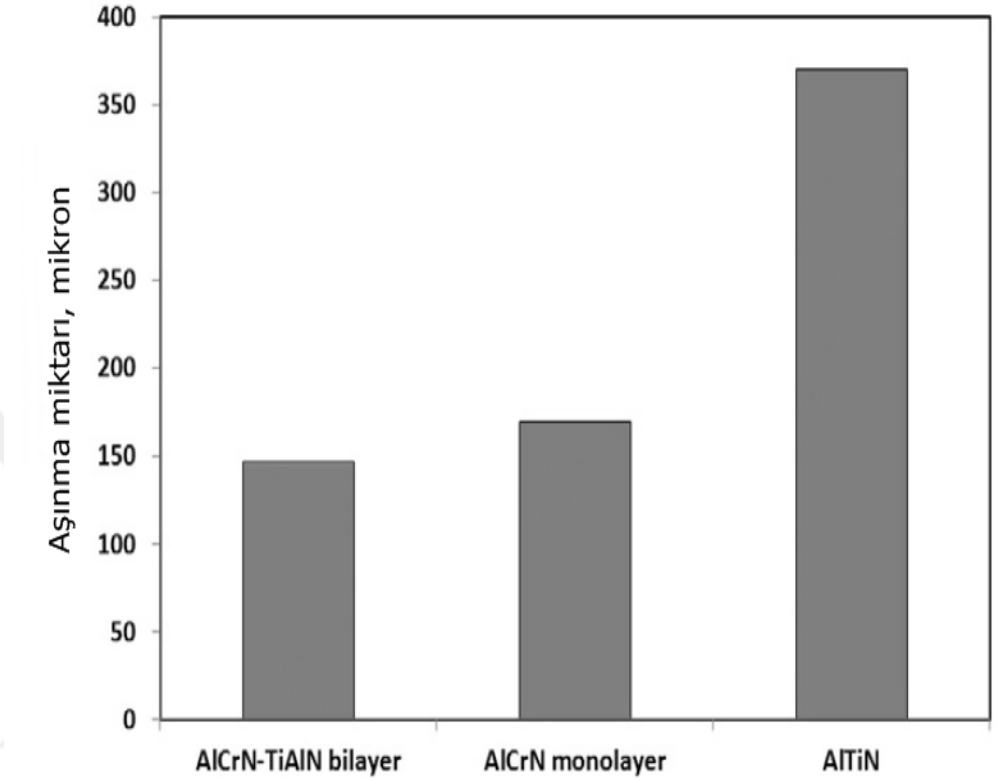
J.L. Endrino ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada işlenmesi zor olarak nitelendirilen östenitik paslanmaz çeliğin kaplamalı takımlarla işlenebilirliği hakkında çalışma yapmışlardır. Bunun için düşük termal iletim katsayısına sahip sert kaplama kullanmışlardır. Çalışma sırasında AlCrN, AlCrNbN, (fg) AlTiN ve nano-kristal AlTiN olmak üzere dört farklı kaplama malzemesi kullanmışlardır. AlTiN ve AlCrN tabanlı kaplamaların alüminyum oksit yüzeyleri sayesinde yüksek oksidasyon direncine sahip oldukları görülmüştür. Nano-kristal AlTiN kaplama, ince taneli AlTiN kaplamaya göre kesme ömrü bakımından iki kat üstün performans göstermiştir. Bununla birlikte AlCrN tabanlı AlCrNbN kaplama, AlCrN kaplamadan daha üstün bir performans sergilemiştir(Şekil 2.7)[7].



Şekil 2.7 J.L. Endrino ve arkadaşlarının çalışmasında kaplamalı takımlara ait ortaya koydukları kesme testi sonuçları[7].

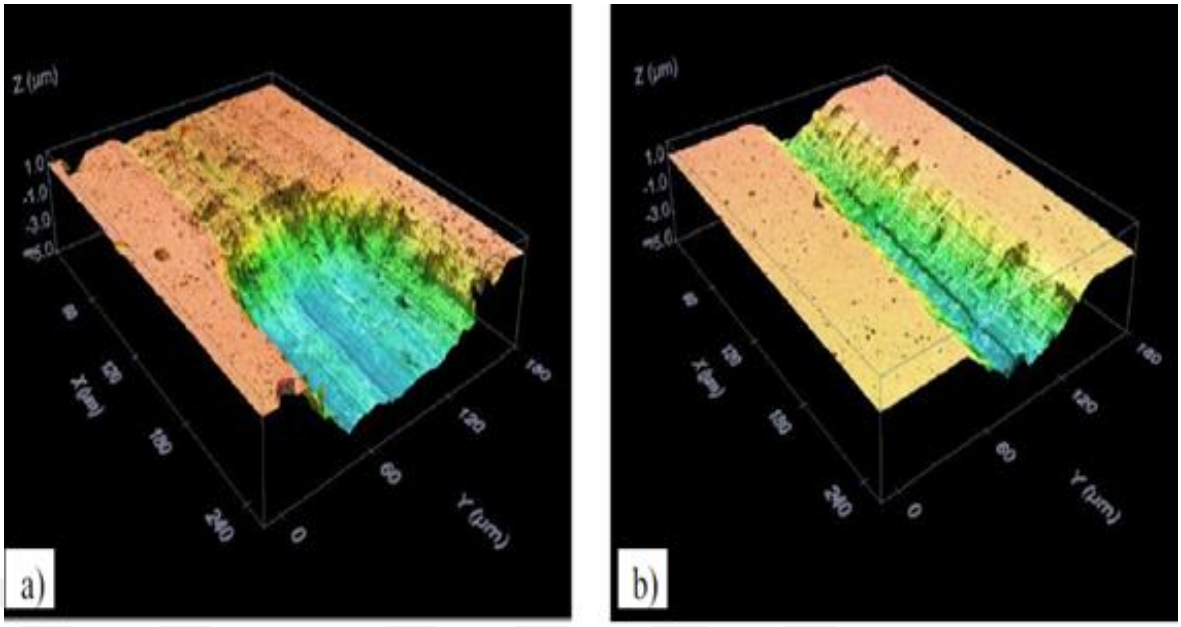
B.D. Beake ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada H13 takım çeliğinin tek katmanlı AlTiN kaplamalı deney örneğine göre, çift katmanlı AlCrN-TiAlN kaplamalı deney örneğinin iki kat daha fazla takım ömrüne sahip olduğu görülmüştür. Aşınmalar SEM ile değerlendirilmiştir. Kaplamalı takımların mikro-mekanik özellikleri incelenmiştir. AlCrN tabanlı kaplamaların AlTiN kaplamalara göre tornalamada yüksek sıcaklıklarda yüksek sertlik ve düşük ısıl iletkenlik gibi birçok avantajı olduğu

görülmüştür. Tüm bu faydalarla birlikte tribolojik film oluşumunun da takım ömründe öenmli bir etkisi olduğu görülmüştür(Şekil 2.8)[8].



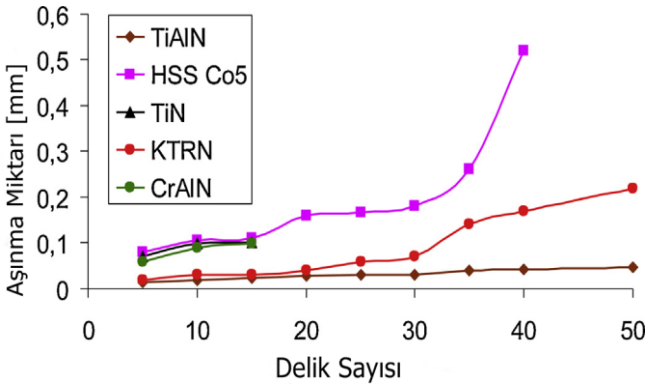
Şekil 2.8 B.D. Beake ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmaya ait kaplamalı yüzeylerin aşınma miktarları[8].

Jaume Pujante ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada oda sıcaklığından başlayarak 500°C'ye kadar olan sıcaklıklarda sert kaplamaların çizilme dirençlerini karşılaştırmışlardır. Çizilmeye karşı olan eğilimin sıcaklıkla ters orantılı olarak değiştiğini gözlemlemişlerdir. Yüzey nitritlemesi sayesinde yük taşıma kapasitesinde artış gözlemlenmiştir. 500°C'de kaplamanın alt tabaka performansının düştüğü görülmüştür. Yüzey nitritlemesi ve artan sıcaklığın yanında, yük taşıma miktarındaki artış daha sert altlık malzemesi ile sağlanabilmiştir(Şekil 2.9)[9].



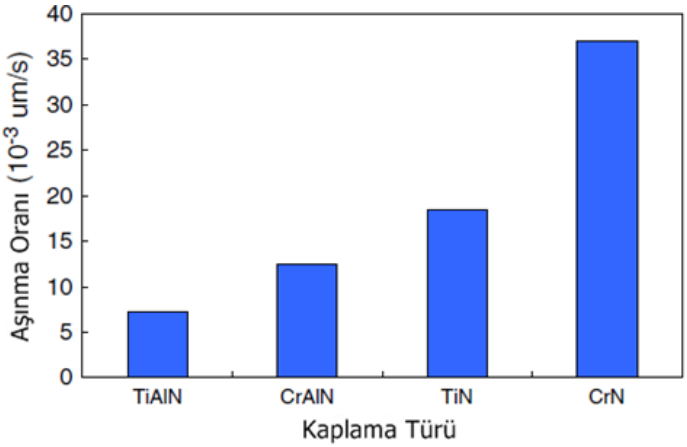
Şekil 2.9 Jaume Pujante ve arkadaşlarının çalışmasına ait farklı yüklerle farklı sıcaklıklarda yapılan çizilme deneyleri a) Oda sıcaklığı (8.8 N) ve b) 500 °C (4 N) [9].

D. Kottfer ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada PVD yöntemi ile kaplanan ince TiN, TiAlN, CrAlN ve KTRN film kaplamaların kesme performanslarını ve özelliklerini incelemişlerdir. Toz metalürjisi ile üretilmiş olan matkapların üzerlerine ARC ve SARC teknikleri ile kaplama yapılmıştır. Geleneksel kaplama tipleri olan tek katmanlı TiN, TiAlN, CrAlN ve gelişmiş kaplama tipi olan KTRN kaplamalı yüzeyler incelenmiştir. Örneklere EDX analizi, adezyon, sertlik, pürüzlülük testleri yapılıp, oda sıcaklığında tribolojik özellikleri incelenmiştir. Tek katmanlı CrAlN ve TiAlN kaplamaların, TiN ve gelişmiş bir tip olan tek katmanlı KTRN ile karşılaştırıldığında daha düşük bir yüzey pürüzlülük değerine sahip oldukları görülmüştür. TiAlN ve KTRN kaplamalar ise yüksek sertlik ve daha iyi bir yüzey kalitesi sergilemişlerdir. Mikrosertli sonuçlarına göre yaklaşık olarak 35 Gpa değeri elde edilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde TiAlN ve KTRN kaplamaların, kaplamasız takımlara kıyasla 2-4 kat arasında daha düşük bir uç aşınma değerine sahip olduğu anlaşılmıştır. Çalışmayla birlikte kaplamalı TiAlN ve KTRN kaplamaların dayanıklılığı artırdığı sonucu ortaya çıkmıştır(Şekil 2.10)[10].



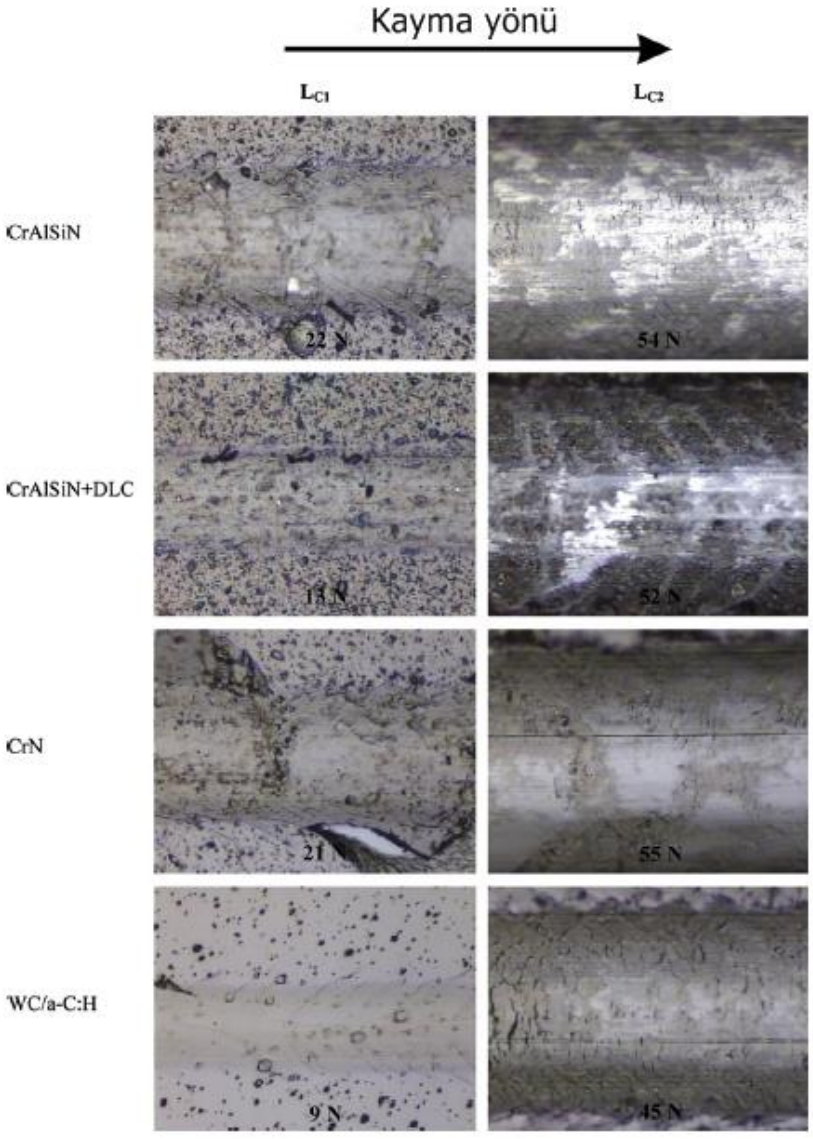
Şekil 2.10 D. Kottfer ve arkadaşlarının çalışmasına ait matkap uçlarının açtığı delik sayısına göre aşınma miktarlarını gösteren grafik[10]

Deng Jianxin ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada dört farklı nitrür kaplama malzemesini (CrN, ZrN, CrAlN ve TiAlN) YT15 semente karbüre katodik ark buharlaştırması tekniği ile kaplayıp sonrasında bu kaplamalara ait mikroyapı ve temel özellikleri incelenmiştir. Erozyon aşınma testleri ve abraziv parçacık etkisi ile oluşan erozyon aşınmaları, aşınma derinliği ve erozyon oranları dikkate alınarak karşılaştırılmalı olarak hesaplanmıştır. Aşınma yüzeyine ait özellikler elektron mikroskobu ile değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre Al (CrAlN ve TiAlN) kaplamalar, Al içermeyen (CrN ve TiN) kaplamalara göre daha yüksek erozyon aşınma direnci sergilemiştirler. Aşınmış yüzeylerin analizlerine göre TiN ve CrN kaplamalar tipik olarak kırılgan ve sert bir yapı sergilerken, AlTiN ve CrAlN kaplamların mikro kırılma ve yorulma kırılması gösterdiği görülmüştür(Şekil 2.11)[11].



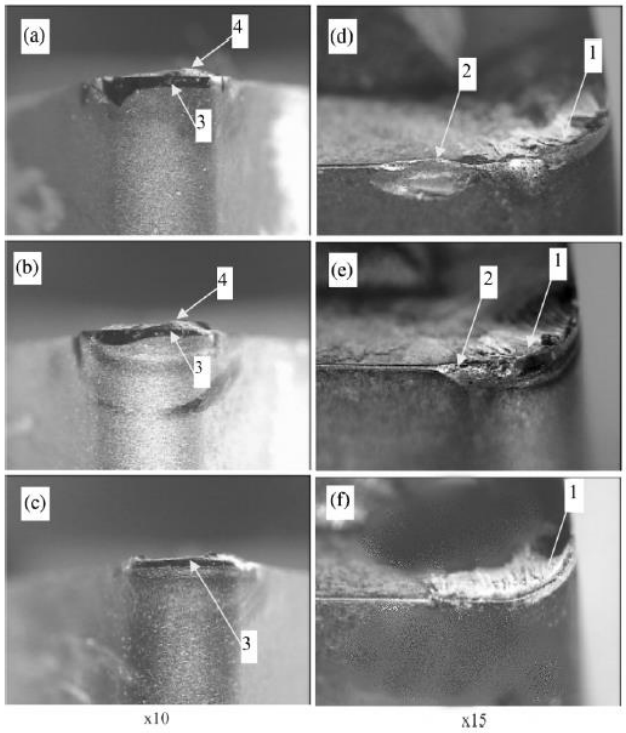
Şekil 2.11 Deng Jianxin ve arkadaşlarının çalışmasına ait kaplamanın türüne göre aşınma oranını gösteren grafik[11]

Kaplamalar yüzeye iyi yapışan yoğun bir kesitsel morfoloji sergilemişlerdir. Bu sonuç sadece atomlar ve moleküller arası etkileşimden değil, ayrıca yüzey ve kaplama arasındaki geçiş bölgesi ile elementlerin arayüz bölgesindeki karışımından meydana gelen sıkıştırma basıncı ve gerilme değerleri sayesinde meydana gelmiştir. Kaplamalar 4000HV civarında yüksek sertlik değerleri göstermişlerdir. Ayrıca kritik L_{c2} yükü kaplama cinsine göre 45-55 N arasında değişmiştir(Şekil 2.12)[12].



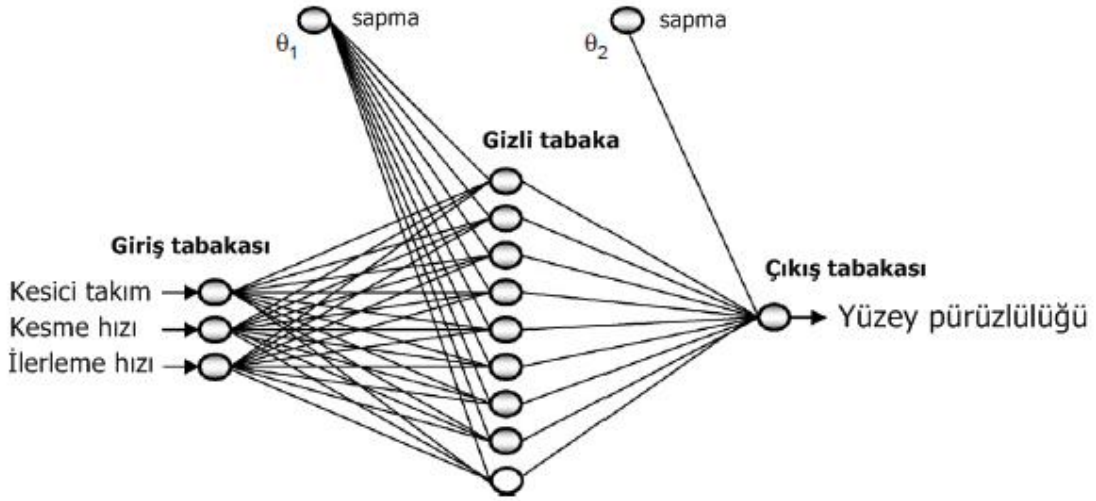
Şekil 2.12 K. Lukaszkowicz va arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada kaplamaların çizilme testi sonrası L_{c1} ve L_{c2} değerleri sonrası optik mikroskop altındaki görüntüleri[12]

C. Ducros ve arkadaşları CrN/TiN ve TiN/AlTiN çok katmanlı kaplamaları değişik periyotlarla semente karbür kesme takımının üzerine katodik ark buharlaştırma yöntemi ile kaplamışlardır. Mekanik özellikler, ilk olarak çok katmanlı ve nano katmanlı kaplamaların kaplama periyotları ile ilişkilendirilmiştir. Kaplamalı takımların işleme performansları Inconel 718 süper alaşımı tornalanmak sureti ile test edilmiştir. Kaplama sayısının düşük olması herbir kompozisyonun mikrosertlik değerini azalttığı görülmüştür. Adezyon ve yüzey karakteristiği analizleri CrN/TiN kaplamaların TiN/AlTiN kaplamalara göre daha iyi adezyon ve daha düşük pürüzlülük değeri gösterdiğini ortaya koymuştur. Tüm bu kaplamarın, özellikle TiN/AlTiN nano kaplamaların Inconel 718 malzemesini işlediği sırada işleme zamanına ve yüzey aşınmasına olumlu etki ettikleri görülmüştür(Şekil 2.13)[13].



Şekil 2.13 C. Ducros ve arkadaşlarının çalışmasına ait iki pasoda gerçekleşen 4 dakikalık işleme zamanı sonrası oluşan yüzey aşınmaları Kaplamasız takıma ait yan yüzey görüntüsü (a) ve kenar görüntüsü (d), CrN/TiN nano kaplamalı takıma ait yan yüzey görüntüsü (b) ve kenar görüntüsü (e), TiN/AlTiN nano kaplamalı takıma ait yan yüzey görüntüsü (c) ve kenar görüntüsü (f). Yüzeyde görülen hataların isimleri: (1) abraziv burun aşınması, (2) kesici kenar aşınması, (3) kesici uç kopması, (4) yapışma aşınması [13]

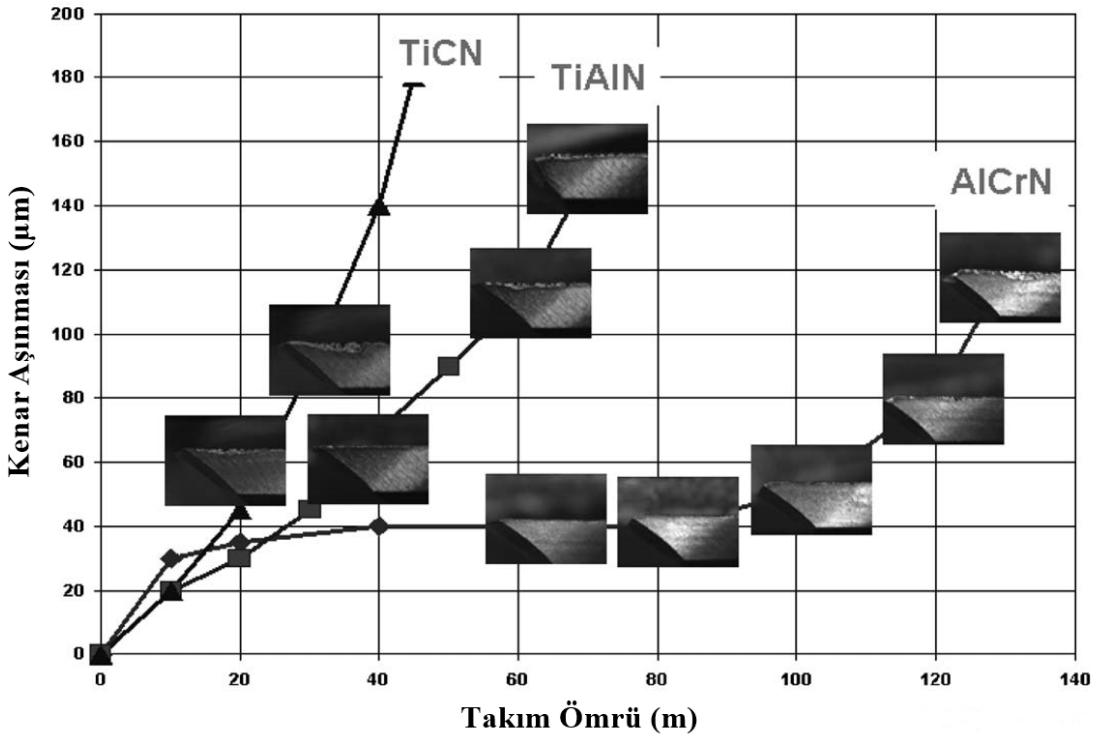
Muammer Nalbant ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada AISI 1030 çeliğinin işlenmesi sırasında PVD ve CVD kaplama teknikleri ile kaplanmış semente karbür takımlar üzerinde 0.25, 0.30, 0.35, 0.40 ve 0.45 mm/dev değişik ilerleme hızlarında ve 100, 200 ve 300 m/dak kesme hızlarında kesme derinliği değişmeyecek şekilde kesme sıvısı kullanmadan çeşitli testler uygulamışlardır. Kaplama yöntemlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri, kaplama malzemesi, kaplamaya göre değişen kesme ve ilerleme hızları test edilmiştir. Kesme takımları arasında 200mm/dak kesme hızı ve 0.25mm/dev ilerleme hızı ile TiN kaplamalı takım 2.16 µm yüzey pürüzlülük değeri, TiAlN kaplamalı takım 2.3 µm, AlTiN kaplamalı takım ise 2.46 µm yüzey pürüzlülük değeri göstermiştir. Kaplamasız olan takıma ait yüzey pürüzlülük değerinin ise 100m/dak kesme ve 0.25mm/dev ilerleme hızı ile 2.45 µm pürüzlülük değerine sahip olduğu anlaşılmıştır. Daha sonra çalışmaya ait veriler yapay sinir ağları metodu (ANN) ile değerlendirilmiştir. Giriş verileri olarak kesici takım türü, ilerleme hızı, kesme hızı olarak belirlenmiş; çıkış verileri ise yüzey pürüzlülüğü olarak alınmıştır(Şekil 2.14)[14].



Şekil 2.14 Muammer Nalbant ve arkadaşlarına ait çalışmada ANN mimarisine ait dokuz gizli nöronun tek bir tabakaya gizlenmiş yapısı[14].

W. Kalss ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada Ti tabanlı sert PVD kaplamaları ve Ti bileşensiz AlCrN kaplamaların işleme performanslarını farklı işleme yöntemlerini kullanarak karşılaştırmışlardır. Yüksek oranda alüminyum içeren AlCrN kaplamaların üstün oksidasyon ve aşınma dirençleri sayesinde işleme uygulamalarında

rahatlıkla kullanılabileceği anlaşılmıştır. Özellikle orta karbonlu çelikler ve ısıya dayanıklı çeliklerin işlenmesinde uzun işleme ömrü ve yüksek kesme hızları elde edilmiştir(Şekil 2.15)[15].



Şekil 2.15 W. Kalss ve arkadaşlarının çalışmasına ait AISI 1045 çeliği ile yapılan işleme testlerinde (Vc = 400 m/min, a_e = 10 mm, a_p = 0.5 mm, f_z = 0.1 mm) kaplama türü ve takım ömrü arasındaki ilişkiyi gösteren grafik[15].

BÖLÜM 3

YÜZEY KAPLAMA YÖNTEMLERİ

3.1. Yüzey Kaplamada PVD Yöntemi

İmalat sektöründe birim zamanda ortaya çıkarılan parça sayısı, imalatın başarısını olumlu yönde etkieyen en önemli faktörlerden biridir. Bu açıdan bakıldığında en kısa sürede en fazla parçayı beklenen özelliklerde imal etmek geremektedir.

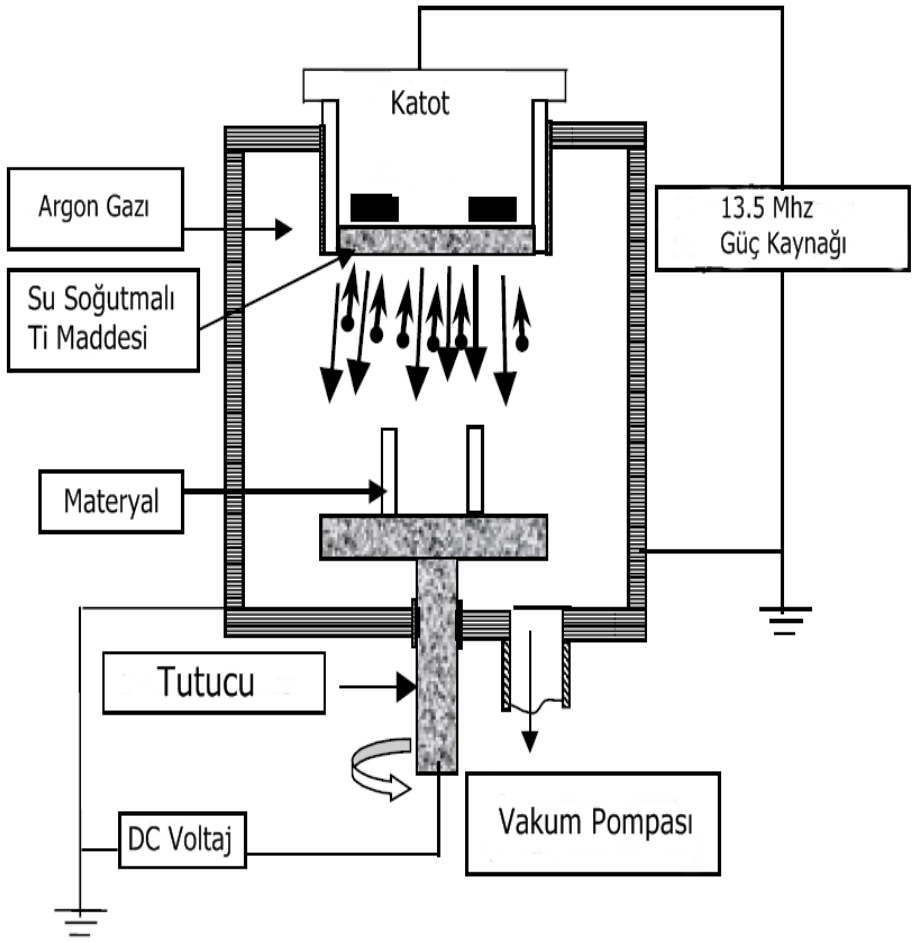
Talaşlı imalat sektöründe üretim hızını etkileyen en büyük faktörlerden bir tanesi kesici takımların kesme performanslarıdır. Kesici takımların performansı, takımın yüzey özellikleri ile ilgilidir. Yüzey özellikleri bakımından bir takımdan öncelikle yüksek aşınma direnci ve takımın işlenen malzemeden daha yüksek sertlikte olması beklenir. Takıma ait malzemenin tamamının aşınmaya karşı dirençli malzeme olmasının yanında, yüzey kaplama teknikleri ile sadece takımın kesmeye maruz kalan yüzeyinin kaplama yöntemleri ile aşınmaya karşı dirençli malzeme ile kaplanması da mümkündür.

Temel fiziksel buhar biriktirme yöntemleri sıçratma ve buharlaştırma olmak üzere iki aşamaya ayrılmaktadır. Fiziksel buhar biriktirme yöntemi uygulamalarının çok geniş bir kullanım alanı mevcuttur. Bu yöntem ile yapılan kaplamalar angströmden başlayıp, milimetreye kadar değişen ölçüler cinsinden ifade edilen kalınlıklara sahiptirler. 25μm/s'ye ulaşan biriktirme hızları elektron demeti yayınımlı ısıtma kaynakları sayesinde elde edilebilmektedir. Birçok sayıda inorganik madde, alaşımlar ve bazı organik maddeler fiziksel buhar biriktirme yöntemi ile kaplanabilirler. Günümüzde genelde yüksek sertlik ve malzemenin tribolojik özelliklerini iyileştirici etkileri nedeniyle tercih edilen kaplamalar, modern teknolojinin gelişmesi ile optik, optoelektronik ve savunma sanayisindeki kullanım alanları arttıkça kullanım alanlarını ve önemlerini artıracaklardır. Son yıllarda özellikle takımların kesme performanslarına

yönelik modern biriktirme tekniklerinin etkileri, hem endüstriyel çalışmaları hem de bilimsel araştırmaları kapsamaktadır. Kaplama işlemi, özellikle fiziksel buhar biriktirme yöntemiyle sunduğu kaplama özelliklerinin kontrol edilebilirliği sayesinde dünya çapında kesici takım üretiminde geniş bir yer tutmaktadır. Kesici takımların geliştirilmiş yüzey özellikleri kaplama sonrasında yüksek sıcaklıklarda ayrıca oksidasyon direncine de sahiptir [17]. Uzun yıllar boyunca takım ömürleri, TiN, AlTiN, TiC gibi sert nitrit kaplamalar sayesinde giderek artış göstermiştir.

Fiziksel buhar biriktirme yöntemi, vakum altında buharlaştırılan kaplayıcı malzemenin kaplanacak olan malzeme üzerine buhar fazında biriktirilmesi işlemidir. Sert kaplamalar için uygulanabilecek birkaç fiziksel buhar biriktirme tekniği mevcuttur. Bunlar arasında katodik ark (plazma ya da iyon kaplama) biriktirme, magnetron sıçratma (iyon sıçratma) ve her iki yöntemin birlikte uygulandığı teknikler yaygın olarak kullanılmaktadır [16]. Bu fiziksel buhar biriktirme yöntemleri kendi aralarında, metalik malzemelere uygulanan buharlaştırma yöntemine ve biriktirme işlemi sırasındaki plazma koşullarına göre değişkenlik gösterirler. Katıdan buhar fazına geçirilerek depolanacak olan bileşenin taşınması işlemi, buharlaştırma kaynağının ısıtılması veya direkt olarak hedef kaplama malzemesine sıçratma yapılarak sağlanabilir. Katodoik ark biriktirme veya sıçratma teknikleri metallerin değişken erime noktalarında buharlaşmalarını sağlayarak hedef bileşene yapışmasını sağlarlar. Fiziksel buhar biriktirme ark buharlaştırma işlemi, sıçratma işlemine göre çok daha fazla enerjiye ihtiyaç duyar.

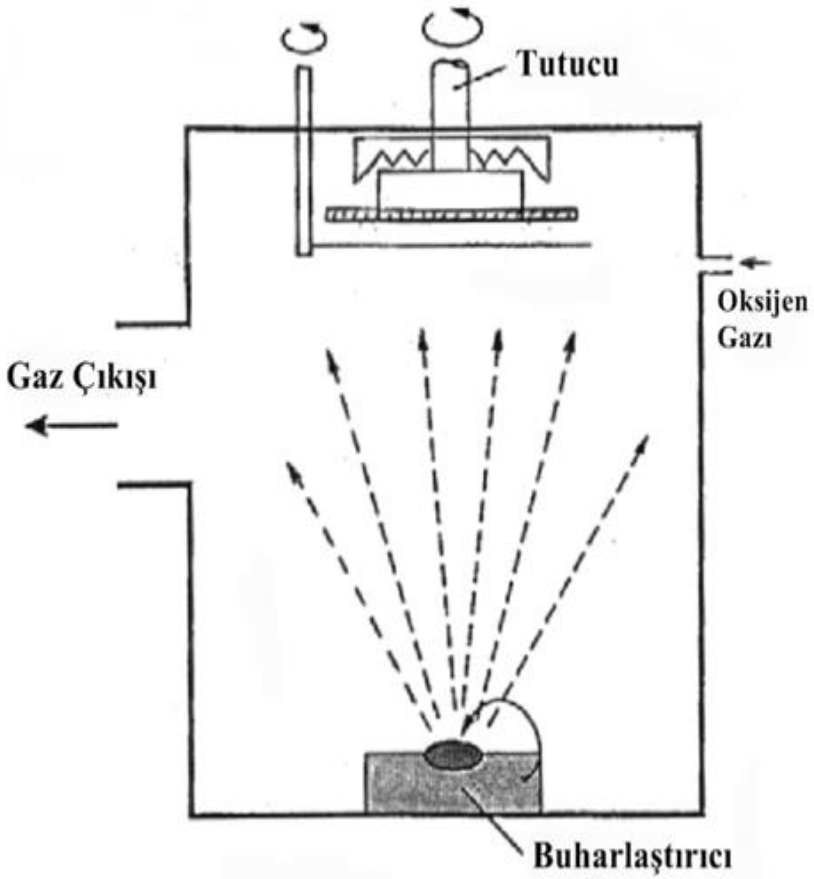
Ark buharlaştırmasında, kısıtlı bir katodik alan yüksek enerjili bir ark sayesinde biriktirme yapılacak olan alana doğru hızla harekete geçer. Plazma, yüksek miktarda iyonize olmuş metal buharından oluşur. Sıçratma işleminde ise atomlar mekanik olarak iyonların veya yüksek enerjili atomların sayesinde kaplama materyalinden uzaklaştırılırlar [16].



Şekil 3.1 PVD kaplama ünitesi şeması [18]

3.1. Buharlaştırma

Buharlaştırma işleminde buharlaştırılacak olan malzeme, bir kap içerisinde gereken sıcaklığa kadar ısıtılır. Termal olarak ısıtılan malzemenin yüzeyinden ayrılan moleküller veya atomlar kaplanacak olan malzemenin üzerine yapışırlar. Bu işlemler genellikle Yüksek Vakum ($p<10\text{-}5$ mbar = 10-3 Pa) altında gerçekleştirilir. Kaplama partikülleri buharlaşan kaynaktan çıkıp düz bir istikamette hedef yüzeye doğru ilerlerler. Yüzeyde istenilen özellikte bir film tabakası oluşması için kaplanacak yüzeyin sıcaklığının yüksek olması istenir. Bunun için de ısıtıcı çubuklar ve quartz lambalardan yararlanılır. Kızdırma elektrotları, daha iyi bir yapışma olması için iyon veya elektron bombardımanı ile kaplanacak yüzeyin temizlenmesini sağlar. Ayrıca buharlaştırmanın gerçekleşmesi için iyi bir vakum sistemi olması gerekmektedir [19].



Şekil 3.2 Buharlaştırma sistemi şeması [19]

3.1.1. Buharlaştırma Kaynakları

Buharlaştırma kaynakları, enerjilerinin elde edildiği yerlere göre sınıflandırılabilirler. Her bir maddeyi elde etmek için uygun bir buharlaştırıcı kaynak kullanılması gerekir. Buharlaşan madde ile buharlaştırıcı kaynak arasında meydana gelebilecek olan kimysal reaksiyonlar film tabakasında safsızlıklara neden olabilirler. Bunun yanında kaynalar arasındaki güç yoğunluğu farkı da değişkenlik görülmesine neden olur [19].

3.2. Sıçratma Tekniği

Sıçratma tekniği asıl olarak yüksek enerji seviyesindeki asal gaz iyonlarının kaplama malzemesi üzerine yüksek hızlarda sıçratılarak katı veya sıvı fazındaki yüzeyden malzemenin buhar fazına getirilerek sıçratılması tekniği olarak tanımlanabilir. Kaplamada kullanılacak olan kaynak malzeme vakum ortamına yerleştirildikten sonra

negatif yüklü olan hedef malzeme ile bombardıman edilecek olan pozitif yüklü asal gaz iyonları birbirlerine çarpıştırılırlar. Burada asıl amaç plazma elde etmek olduğundan dolayı yüksek gerilim altında uygulanan işlem sonrası hedefe hızla çarpan iyonlar hedef malzemenin sıçratılmasına neden olurlar. Sıçratılmış olan malzemeye ait parçacıklar kaplanacak olan malzemeye yönlendirildikten sonra kaplama işlemi gerçekleştirilmiş olur. Bu yöntemde kimyasal bir bozunma gerçekleşmediğinden yöntemin birçok malzemeye uygulanabilirliği vardır[19].

3.3. Plazmayla Parçalama Yöntemi

Bu yöntemin diğer yöntemlere göre farkı, buharlaştırma kaynağı olarak katı fazda bir maddeye ihtiyaç duymamasıdır. Yöntem, yoğun gaz ortamından plazma elde edilerek plazmanın bileşenlerine ayrıldıktan sonra kaplanacak olan mazlemeye yoğuşturulması olarak tanımlanabilir. İyonlaşmış haldeki hidrokarbon moleküllerinin yüksek potansiyel enerji ile yüklenen kaplanacak malzemelere doğru çekilmesi sonucu kaplama işlemi gerçekleştirilir. Kaplama malzemesine uygulanan gerilim miktarı büyük öneme sahiptir. Kaplama malzemesine çok yüksek gerilim uygulandığında yüzeye yüksek enerji seviyelerinde çarpan iyonlar aynı zamanda kaplanacak olan yüzeyin sıcaklığını da artırarak istenmeyen gerilmelere sebep olur. Bunun için bu kaplama sistemlerinde sıcaklık, basınç, gerilim gibi faktörlerin kritik seviyelerin altında tutulması gerekmektedir[19].

3.2. Yüzey Kaplamada CVD Yöntemi

Yüzey kaplama teknikleri içinde önemli bir yere sahip olan CVD tekniği, kimyasal reaksiyonlar sonucu farklı fazda bir mazemenin kaplanacak yüzeye çöktürülmesi esasına dayanır. CVD kaplama tekniği bulunduğu tarihten sonra kesici takımlarda aşınmayı azaltmak amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. CVD yönteminde kullanılacak olan kaplama bileşenleri, gaz fazından kimyasal yöntemlerle malzeme üzerine katı fazda çöktürülürler[20].

3.2.1. CVD Kaplama Yöntemleri

Kimyasal buhar biriktirme yönteminde öne çıkan ve kontrol altında tutulması gereken en önemli parametreler kaplanacak olan altlık ve kaplama fazının sıcaklığı,

kaplanacak gaz fazın bileşimi ve karakteristikleri, kaplama ünitesinin sahip olduğu basınç olarak sıralanır. CVD yönteminin yükskek sıcaklıklarda uygulanması gerektiğinden kaplanacak olan malzemenin yada malzeme ile birlikte ortamın da ısıtılması gerekmektedir. Dolayısıyla CVD yönteminde esas olarak gaz fazındaki bileşenlerin uygun sıcaklıktaki bir ortamda kaplanması esası vardır. Uygun sıcaklıkta meydana gelen reaksionlar sonucu ince film tabakaları kaplanacak yüzey üzerine yapışırlar. Bu kaplama yöntemi ile birçok kaplama malzemesinin farklı cinsteki malzemelere kaplanması mümnkündür. CVD yöntemi sıcak çeperli reaktör ve soğuk çeperli reaktör olmak üzere genel olarak iki farklı kaplama ünitesinde 200-1600°C'de gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte plazma, iyon,foton, lazer ve yanma reaksiyonundan oluşan farklı türlerde CVD kaplama yöntemleri de mevcuttur. CVD yönteminin film kaplamada birçok avantajı bulunmaktadır. En önemli avantajlarından biri kaplama sırasında kaplanan malzemenin üzerinde oluşan film tabakasının kalınlığı ile yan çeperlerde oluşan kalınlık birbirlerine yakınlık göstermektedir. Bu sayede CVD yöntemini kolaylıkla karmaşık şekle sahip parçalar ve derin delikler içeren parçalara uygulamak mümkündür. Bunun tersine PVD kaplamada, sıçratma veya buharlaştırma gibi yöntemler genel olarak kaplanacak malzeme ile kaynak malzeme arasında çizgisel bir görüş olmasını gerektirir. CVD yönteminin bir diğer avantajı, kaplama malzemesi seçiminde geniş bir malzeme çeşitliliğine olanak sağlamasıdır. Ayrıca bu yöntemin uygulanmasında, PVD yönteminde olduğu gibi yüksek vakum ortamlarına da ihtiyaç duyulmamaktadır [20].

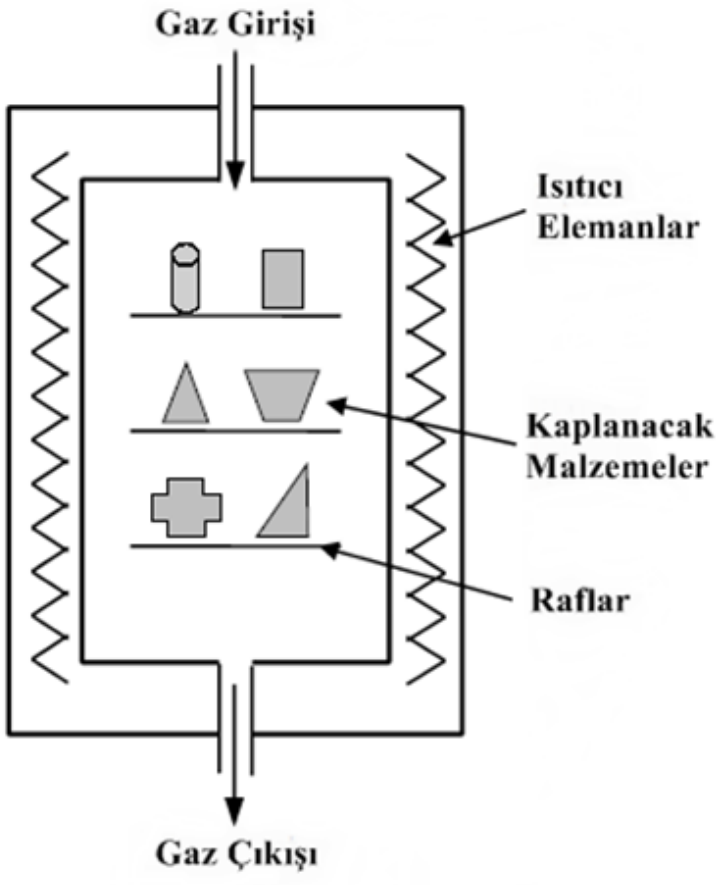
Bunun yanında CVD yönteminin dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar daha çok reaksiyonun başlaması için gerekli olan reaksiyon başlatıcı elementlerin oda sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta uçucu olmasının gerekliliğidir. Metal-organik malzemelerin kullanımı artış gösterse de periyodik tabloda uçuculuk göstermeyen birçok element bulunmaktadır. Ayrıca bu elementler toksik özellik, patlayıcılık ve koroziflik gibi olumsuzluklara sahiptirler. Yöntemin diğer bir dezavantajı ise yüzey kaplama sırasında yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyulmasıdır. Yüksek sıcaklık nedeniyle farklı ısıl genleşme katsayılarına sahip malzemelerce yüzey filminde istenmeyen gerilmelerin ortaya çıkması gibi kısıtlamalara sebep olmaktadır. CVD yönteminin üç esası vardır. Bunlar sırasıyla yöntemin uygulanması, kullanılan reaktör, kimyasal reaksiyonun oluşturulması ve reaksiyona katkıda bulunan bileşenlerdir.

3.2.1.1. CVD Kaplama Reaktörleri

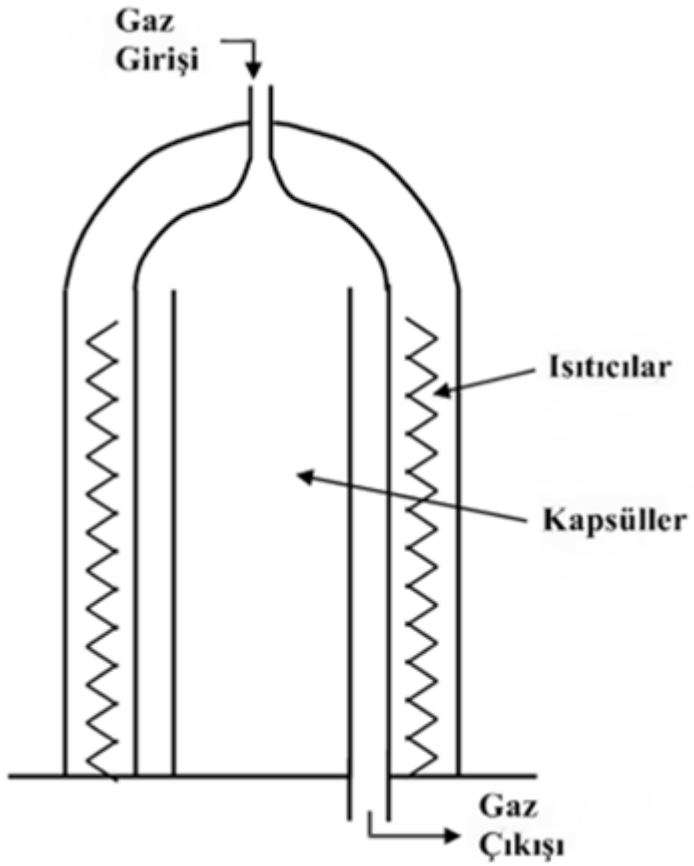
CVD kaplama yönetemi kendi içerisinde birçok farklı uygulanma ve reaktör tipi barındırmaktadır. Bu yöntemlerin seçiminde öncelikli olarak kaplama malzemesi, film kalınlığı, reaksiyon için gerekli olan kimyasalların temin edilebilirliği ve maliyet göz önünde bulundurulur.

3.2.1.1.1. Sıcak Çeperli Reaktörler

CVD reaktörlerinden biri olan sıcak çeperli reaktörler sistemi çevreleyip ısı veren bir ısıtma sistemine sahiptirler. Sisteme kaplanmak üzere yerleştirilen parçalar istenilen sıcaklığa çıkartıldıktan sonra reaksiyonu başlatıcı gazlar sisteme verilmektedir. Sistemde, birden fazla parçanın kaplama işlemine alınabilmesi için raflar veya askı düzenekeri bulunur. Bu tip sistemler genellikle çok yüksek sıcaklıklarda çalıştırılırlar [20].



Şekil 3.3 Sıcak çeperli CVD reaktörü [20]



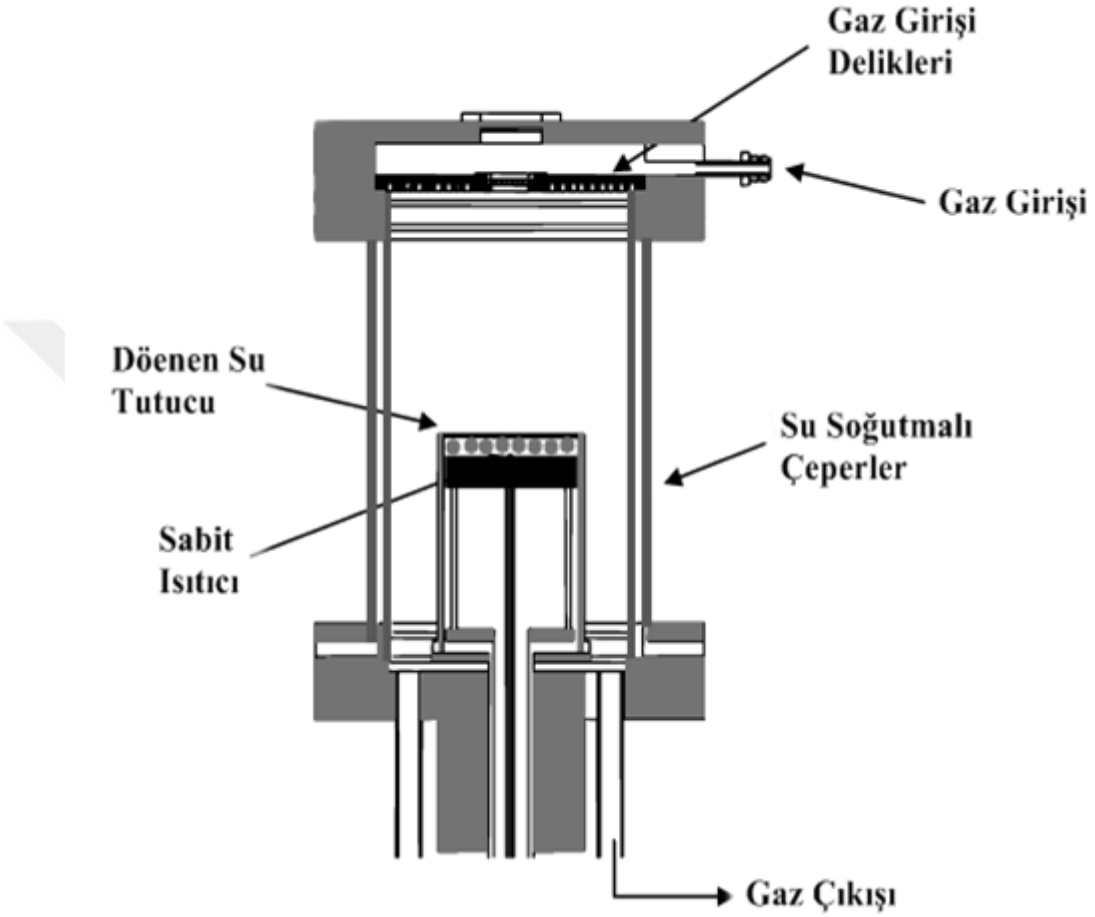
Şekil 3.4 Çok kapsüllü LPCVD fırını [20]

Şekil 3.4'te sıcak çeperli LPCVD fırınına ait şema gösterilmiştir. Bu tip düşük basınçlı kaplama üniteleri daha çok mikroelektronik endüstrisinde kullanılmaktadır. Ünitelerin iç kısımlarında çok sayıda silikon kapsül bulunmaktadır. Bu ünitelerin en büyük avantajı kaplanacak yüzeyde eş dağılımlı bir yüzey sıcaklığı ve yüzey kaplama kalınlığında homojen yapıya sahip olmasıdır.

3.2.1.1.2. Soğuk Çeperli Reaktörler

Soğuk çeperli reaktörler CVD reaktör tiplerinin bir diğer önemli kısmını oluştururlar. Bu tip sistemlerde kaplanacak olan materyaller ısıtılırken reaktör çeperlerinin ısıtılmasına gerek duyulmaz. Soğuk çeperli reaktör tipleri nispeten daha yüksek basınçlarda çalıştırılırlar. Soğuk çeperli reaktörlerin en önemli avantajlarından biri de reaktör çeperlerine daha az miktarda kaplayıcı malzemenin yapışması nedeni ile temizlenmeleri de daha kolaydır. Ayrıca daha az enerji sarfiyatı ve vakum ekipmanı

ihtiyacının ortadan kaldırılması da avantajları arasındadır. Fakat bunların yanında film yüzeyinde istenen homjenliğin yakalanamaması, büyük parçaların kaplanabilmesine olanak vermemesi ve kaplanacak olan malzemenin hzılı ısıtılıp soğutulması sonrası oluşabilecek termal gerilmeler de deazavantajları arasındadır [20].



Şekil 3.5 Soğuk çeperli reaktör [20]

BÖLÜM 4

HASAR MEKANİZMALARI

4.1. Kesme Takımlarında Meydana Gelen Aşınma Mekanizmaları

Talaşlı işleme operasyonları sırasında takımların ömrünü doğrudan etkileyen ve takımın kesme performansı hakkında bilgi veren en belirleyici faktör takımın aşınmaya karşı gösterdiği davranıştır. Aşınma takımların çalışma koşullarına göre değişiklik gösteren farklı mekanizmalara sahiptir. Takımlarda oluşan hasarlar sadece aşınma mekanizmaları ile değil, aynı zamanda takımın çalışması sırasında meydana gelebilecek plastik bozukluklar ve kırılmalar şeklinde de olabilir. Aşınma tipleri kendi aralarında 4 gruba ayrılmaktadır:

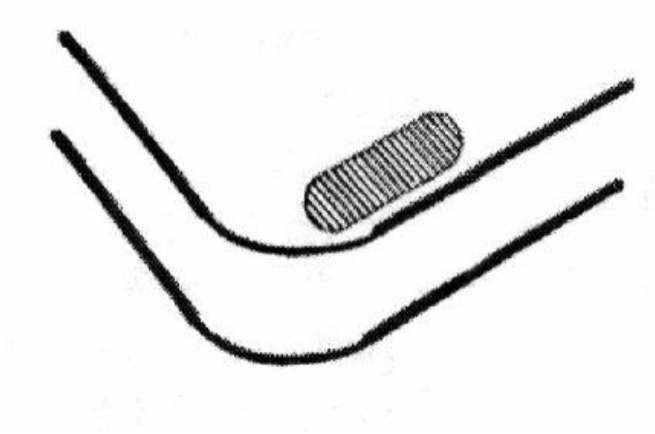
- **Abrazif Aşınma:** Birbirlerine temas halinde olan iki cisimden sert olan cismin diğerinin üzerinden aşındırma yoluyla talaş kaldırmasına abrazif aşındırma denir. Ayrıca sert cisimlerin yumuşak cisimlere batması şeklinde de meydana gelebilmektedir. Aşınma hızına ve aşınma miktarını etkileyen faktörlerden en önemlisi sürtünen cisimlerin birbirlerine uyguladıkları kuvvetlerdir. Sürtünme kuvveti azaltılarak ve aşınmayı azaltıcı malzeme ile yüzeyi kaplayarak bu aşınma türünün önüne geçmek mümkündür. Aşınma şekline göre bu aşınma tipi iki elemanlı ve üç elemenlı abrazif aşınma olarak iki gruba ayrılmaktadır. İki cismin birbirine sürtünmesi şeklinde olan aşınmaya iki elemanlı abrazif aşınma; sürtünen iki cismin arasında partikül bulunan aşınma türüne ise üç elemanlı abrazif aşınma denir.
- **Adhesif Aşınma:** Yıpranma aşınması olarak da bilinen bu aşınma, iki metal yüzeyin birbirleri üzerindeki hareketleri sırasında yumuşak yüzeydeki parçacık ya da pürüzlerin sert olan yüzeye yapışması şeklinde gerçekeşir. Eğer

malzemeler birbirleri ile aynı sertliğe sahipseler aşınma her iki yüzeyde de meydana gelir.

- **Yorulma Aşınması:** Abrazif ve adhesif aşınma şekilleri ile oluşmayan sürütünme kaynaklı aşınmalar, makine elemanlarının birbirlerine sürekli veya belirli bir frekansta temasları ile meydana gelebilirler. Bu şekildeki tekrarlı sürtünmeler sonucu oluşan aşınma tipine yorulma aşınması denmektedir.
- **Korozif Aşınma:** Çeliklerin yüzeylerinin çevresel etmenler dolayısı ile zamanla oksitlenmesi veya kimyasal olarak zarar görmesi sonucu meydana gelen aşınma tipidir. Korozyon aşınması nedeni ile malzemelerin yüzeylerinde kütle kaybı yaşanmaktadır. Korozif aşınmanın zararlarından kurtulmak için malzemenin kulllanılacağı ortama göre önceden korozyon direncinin ölçülmesi gerekmektedir.

4.1. Krater Aşınması

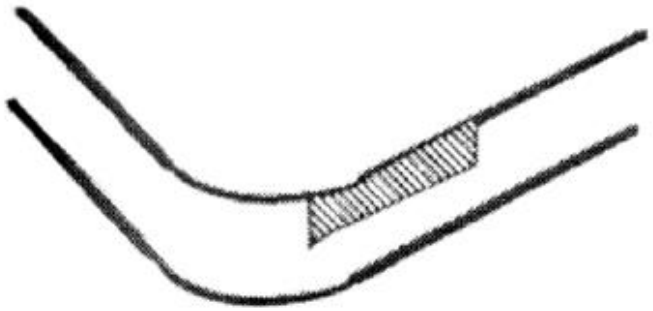
Takımın çalıştığı esnada kesilmeye maruz kalan parça ile kesici takım arasında kalan yüzeyde meydana gelen krater şeklindeki boşluklara krater aşınması denir. Krater aşınmasında, aşınmış bölgenin deformasyonunun devamında takımın kesici kenarlarında ufak kırılmalar başlar ve sonrasında oluşan deformasyonun artması takımın kırılmasına neden olur. Krater aşınmasından korunmak için takımların kimyasal özelliklerinde iyileştirmeler yapılması uygulanacak en etkili yöntemlerdendir. Ayrıca krater aşınmasını engellemenin diğer yöntemleri arasında daha iyi bir soğutucu kullanmak, kesme hızını azaltmak veya takım ya da kaplama malzemesini değiştirmek sıralanabilir[22].



Şekil 4.1 Krater aşınması [21]

4.2. Serbest Yüzey Aşınması

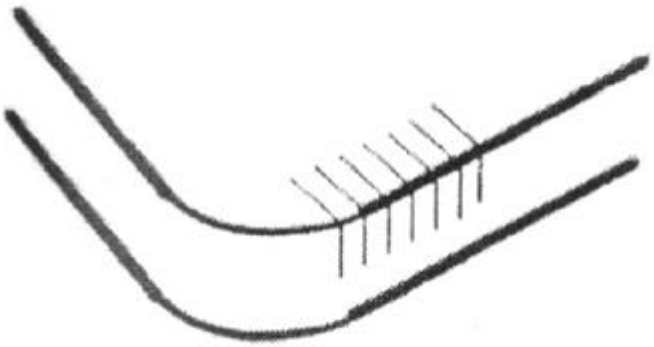
Takımla işlenen parça arasında kalan yüzeye serbest yüzey denir. Serbest yüzeyde talaşlı işleme operasyonu sırasında gelen aşınmaya serbest yüzey aşınması adı verilir. Sürtünme etkisi ile işlem süresince meydana gelen aşınmalar zamanla serbest yüzeyde aşınma oluşturur. Aşınmanın meydana geldiği bölge kenarlara yakın olmakla birlikte büyüklüğü takımın ucuna olan mesafe ile ifade edilir. Serbest yüzey aşınmasını engelleme yöntemleri arasında kaplamalı takımlar kullanmak, daha sert takımlar kullanmak ve soğutma sıvısını filtre etmek gibi yöntemler sayılabilir[22].



Şekil 4.2 Serbest yüzey aşınması [21]

4.3. Isıl ve Mekanik Çatlaklar

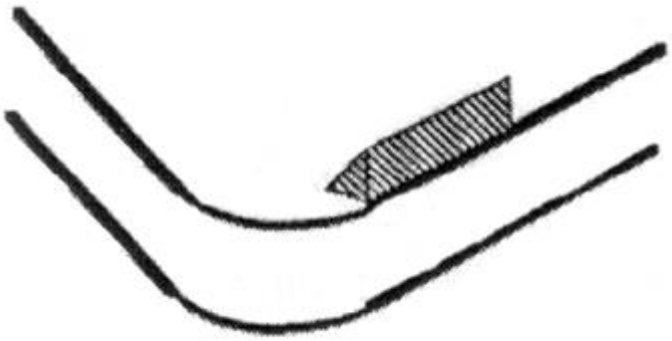
Isıl açıdan oluşan çatlaklar, talaş kaldırma sırasında yüksek sıcaklıklara çıkıldığı için takımda meydana gelen ısıl gerilmeler ve çarpılmalar sırasında oluşur. Mekanik çatlaklar ise talaş kaldırma sırasında takıma etki eden ani ve değişken kuvvetler sonucu takımda oluşan çatlaklardır. Çatlak oluşumu sonrası takımda ani kırılmalar ve hasarlar meydana gelebilir. Çatlaklar kesme kenarlarına uzanış yönlerine göre dik veya paralel olabilirler. Yüksek ısı ve darbe sonucu oluşabilecek çatlakları önlemek için kesme hızını azaltıp daha tok takımlar kullanmak gerekmektedir[22].



Şekil 4.3 Isıl ve mekanik çatlaklar [21]

4.4. Ağız Birikimi Oluşumu

İşlenen malzemenin sertliği ile yakından ilgili olan bu aşınma türü daha çok yumuşak malzemelerin işlenmesi sırasında meydana gelen bir aşınma mekanizması türüdür. İşleme sırasında işlenen malzeme kesici kenarlara yapışıp birikmeye başlar ve sonrasında işleme kalitesini ve ölçü hassasiyetini bozacak seviyeye ulaşır. Ağız birikiminden kaçınmak için sürtünme katsayısı azaltılmış takımlar ve yağlayıcılığı iyileştirilmiş soğutma sıvıları kullanılması etkili yöntemlerdir[22].



Şekil 4.4 Ağız birikimi oluşumu [21]

4.5. Çentik Aşınması

Takım ile talaş yüzeyi arasında kalan bölgede oluşan abraziv aşındırma sonucu oluşan çentiğin etkisiyle takımda meydana gelen hasara çentik aşınması denir. Meydana gelen çentiğin derinliği işlenen malzeme ve takım malzemesine göre değişkenlik gösterebilir. Çentik etkisinden kaçınmak için dalma açısının artırılması, takımın

deformasyon direncinin artırılması ve uygun kesme derinliğinin ayarlanması ile sağlanabilir[22].



Şekil 4.5 Çentik aşınması [21]

4.6. Talaş Vurması

Daha çok tok malzemelerin işlenmesi sırasında oluşan bir aşınma mekanizması şeklidir. Kesme kenarından daha uzak bir noktada talaşın kesici takıma vurması sonucu meydana gelir. Talaş vurmasının meydana gelme sebebi talaşın kontrolünün yanlış yapılmasından dolayıdır. Talaşın birikmesini engelleyecek şekilde kesme hızı, ilerleme hızı ve takımın burun yarıçapı değiştirilmelidir[22].

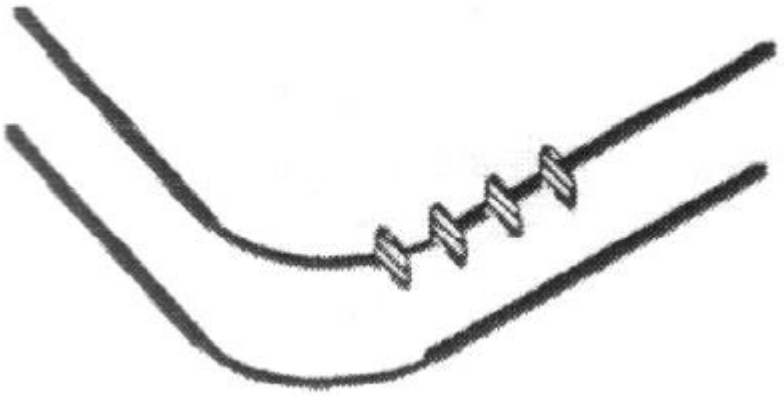


Şekil 4.6 Talaş vurması [21]

4.7. Kenar Çentik Oluşumu

Daha çok sert malzemelerin işlenmesi sırasında oluşur.Kesme anında yüksek kesme kuvvetlerinin takıma etkidiği sırada aynı zamanda titreşim de mevcutsa kesici takım

kenarlarında meydana gelen aşınma tipidir. İşleme kalitesi üzerinde olumsuz etkileri vardır ve kenar çentiklerinin artması durumunda takım kırılmasına kadar varan sonuçlar meydana gelebilir[22].



Şekil 4.7 Kenar çentik oluşumu [21]

BÖLÜM 5

TALAŞ KALDIRMA TEKNİKLERİ

5.1. Talaşlı Üretim

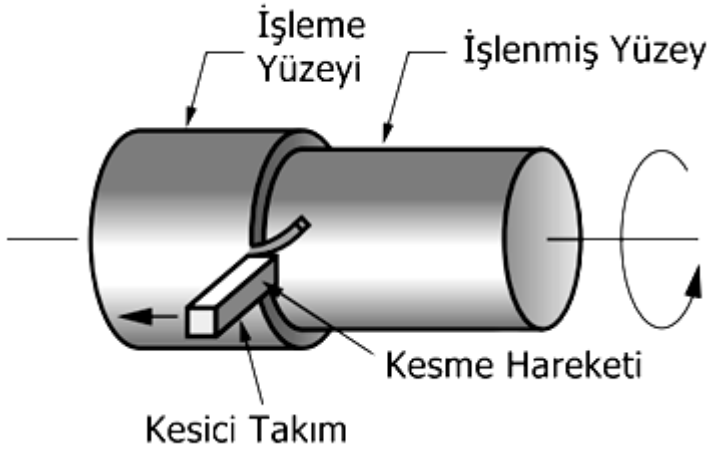
İmalatın amacı, hammadde veya yarı mamül halindeki bir maddeyi kendine benzer veya farklı özellilerdeki bir ürüne dönüştürme işlemidir. İmalatın çeşitli yöntemleri mevcut olup genel anlamda talaşlı ve talaşsız olmak üzere iki tip imalat yöntemi mevcuttur. Talaşsız imalat yöntemlerinde madde üzerinden talaş kaldırma işlemi yapılmadan ısıl işlem, döküm v.b. yardımı ile imalat gerçekleştirilmektedir. Talaşlı imalat yönteminde, kesici bir takım yardımı ile işlenecek malzeme üzerinden talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilir. Talaşlı üretim yönteminde, kesici takım ile işlenen malzeme arasında gerçekleşen talaş kaldırma işlemi sırasında kesici takımda aşınma meydana gelir. Aşınma, zamanla kesici takımın geometrisini ve yüzey özelliklerini olumsuz yönde etkileyerek işlenen malzemenin yüzey hassasiyetini ve boyut toleranslarını bozar. Bu yüzden takım aşınmasının kritik sınırlar içinde tutulması ve aşınmayı artıran etkilerin azaltılması üretim açısından oldukça öenmlidir. Aşınan takımın takım ömrü azalacağından imalat sırasında daha sık değiştirilmesi gerekecektir.

Takım maliyeti, talaşlı imalat yapan firmaların üretim maliyeti açısından oldukça büyük önem arz eder. Yüksek takım maliyeti, sürekli artan rekabet koşullarında imalat yapan firmalar açısından rekabet güçlerini azaltacağından dolayı istenmeyen birim durumdur. Bu nedenle takım malzemeleri ve hasar mekanizmalarının bilinmesi büyük önem arz eder. Sürekli talaş kaldırma işlemi için önemli olan başlıca faktörler aşağıdaki gibidir:

- Kesme kuvveti
- Kesme hızı

- Takım ömrü
- Yüzey kalitesi
- İlerleme miktarı
- Kesme yüzeyi aşınma direnci

Yukarıda belirtilenler talaşlı imalat için göz önünde bulundurulması gereken en önemli unsurlardır.



Şekil 5.1 Klasik tornalama işlemi [23]

Kesme işlemine ait bazı kesme kuvvetleri ortogonal kesme kuvveti ile açıklanabilir. Bu kuvvetler takım tarafından talaşa doğru birbirine dik iki kuvvet tarafından uygulanırlar. Bunlar sürtünme kuvveti ve normal kuvvettir. Sürtünme kuveti F ile, normal kuvvet ise N ile gösterilir. Bu iki bileşen takım ile talaş arasındaki sürtünme ilişkisini açıklamak için kullanılırlar.

$$\mu = \frac{F}{N} \tag{5.1}$$

Sürtünme kuvveti ve normal kuvvet bileşke R kuvvetini oluşturmak için β açısı ile vektörel olarak gösterilir ve buna sürtünme açısı denir. Sürtünme açısı ile sürtünme kuvveti arasındaki bağıntı aşağıdaki gibidir:

$$\mu = \tan\beta \tag{5.2}$$

Bunun yanında talaş üzerine etki eden takım kuvvetlerine bakıldığı zaman iki kuvetin daha etki ettiği görülür. Bunlar kesme kuvveti ve kesme kuvvetine etki eden normal kuvvettir. Kesme kuvveti olan F_s, kesme yüzeyine etki eden kesme kuvveti

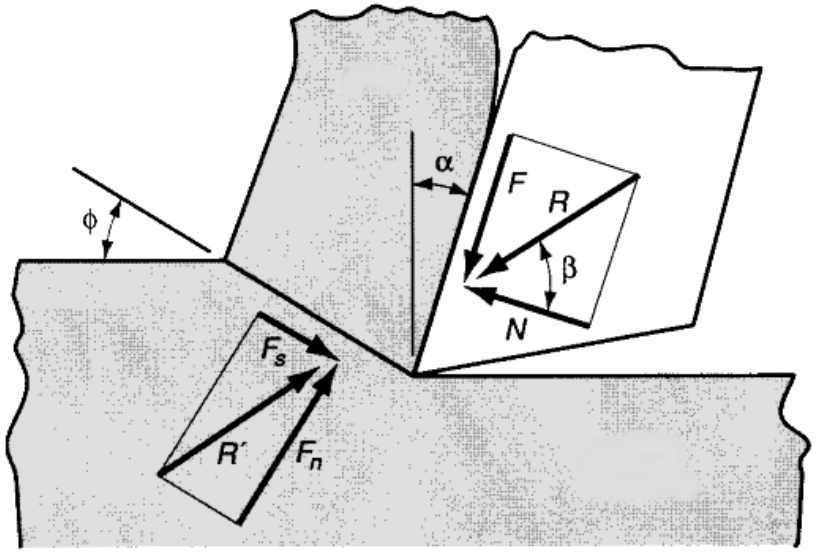
olup, normal kuvvet ise kseme kuvveti F_s'ye dik olan kuvvet F_n'dir. Kesme kuvvetinden yola çıkarak kayma gerilmesini bulmak mümkündür.

$$\tau = \frac{F_s}{A_s} \tag{5.3}$$

A_s, kayma düzleminin alanını ifade eder. Bu alan aşağıdaki gibi bulunur:

$$A_s = \frac{t_0 w}{\sin\theta} \tag{5.4}$$

Eşitlikteki kayma gerilmesi, talaşlı işleme yapılabilmesi için gerekli olan minimum gerilme miktarını göstermektedir. F_s ve $F_n$vektörlerinin bileşkesi, R bileşke kuvvetine karşı bir kuvvet oluştururlar[23].



Şekil 5.2 Ortogonal kesmede etki eden kuvvetler[23]

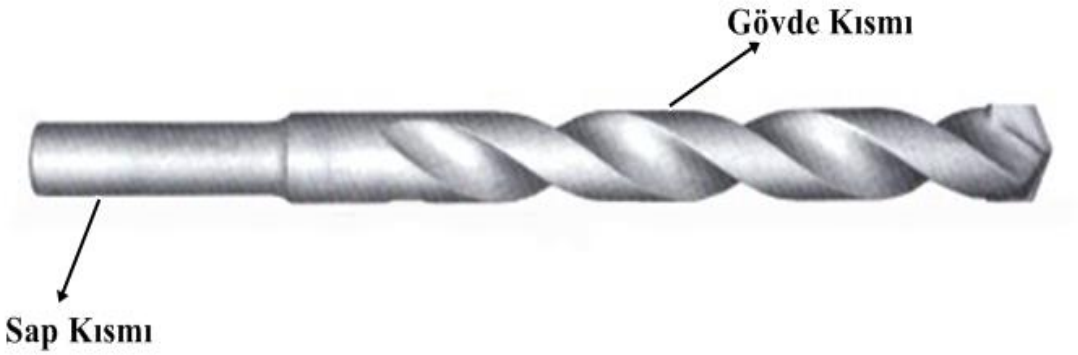
5.2. Talaşlı İmalatta Delik Delme

Talaşlı imalat operasyonlarının sık kullanılan yöntemlerinin başında delik delme operasyonu gelmektedir. Delik delme operasyonunda amaç, silindirik veya konik deliklerin açılabilmesi amacıyla parça üzerinden talaş kaldırmaktır. Delme operasyonu sırasında matkap ucu dönme hareketi ile birlikte aynı zamanda parçanın yüzeyine doğru ilerleme hareketi de yapar. Frezeleme ve tornalama işlemlerinde olduğu gibi delik delme operasyonlarında da takım aşınması imalatı etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Delik delme operasyonunu diğer talaş kaldırma yöntemlerinden ayıran en

önemli özelliği kaldırılan talaşın dışarıya atılmasıdır. Açılacak deliğin derinliği arttıkça artık talaşın dışarıya atılması da benzer şekilde artarak daha zor bir hale gelir[24].

5.2.1. Delik Delmede Takım Geometrisi

Delik delme işleminin genel olarak iki amacı vardır. Bunlardan ilki var olan bir deliğin derinliğini artırmak veya çapını genişletmek; ikincisi ise olmayan bir deliği malzemeden talaş kaldırarak ortaya çıkarmaktır. Delik delme işlemlerinde spiral matkap denilen iki ağıza sahip olan kesici takımlar kullanılırlar. Spiral matkaplar yapısal olarak incelendiklerinde iki kısımdan oluşurlar. Takımın delme tezgahına bağlanabilmesi için var olan taraf sap kısmını, talaş kaldıran kısım ise gövde kısmını oluşturur.



Şekil 5.3 Standart bir matkap ucunun yapısı

Matkap uçlarında iki adet kesme ağzı vardır. Bu ağızların birbirlerine olan konumlarına uç açısı (ψ), kesici kanlların şekilleri helis açısı (θ) ve radyal kesme ağzının konumu ise radyal kesme açısına (φ) göre belirlenir[24].

5.2.2. Delik Delme İşleminde Talaş Kaldırma Esasları

Delik delmede operasyonundaki talaş kaldırma işleminin klasik tornalama işlemine göre esas farkı delik delme uçlarının birden fazla ağıza sahip olmasıdır. Bundan dolayı tek ağızlı işlemelere göre biraz daha karmaşıktırlar. Esas olarak tüm talaşlı imalat operasyonlarında olduğu gibi delik delme operasyonu için de talaş kaldırma faktörleri aynıdır. Bu faktörler kesme hızı $\mathbf{v_c}$, ilerleme hızı **f** ve paso kalınlığı olarak ifade edilen **a**'dır[24].

5.2.2.1. Kesme Hızı (v_c)

Delik delmede talaş kaldırma işlemi sırasında iki temel hareketten bir tanesi kesme hareketi diğeri ise takımın ilerleme hareketidir. Kesme operasyonu matkap ucunun dönme hareketi ile geçekleşir ve kesme hızının çevresel olarak yaptığı bu dönme hareketinin birimi (m/dak) olarak hesaplanır[24].

Kesme hızı:

$$V_c = \pi . D . \frac{n}{1000} \tag{5.5}$$

Dönme hızı:

$$n = 1000 . \frac{V_c}{\pi} . D \tag{5.6}$$

formülleri ile gösterilirler.

Bu formüllerdeki D matkabın çapını göstermektedir.

5.2.2.2. İlerleme Hızı (f)

Ağız sayısı birden fazla olan matkaplarda devir sayısına karşılık gelen ilerleme f ile gösterilir ve birimi (mm/dev) ile gösterilir. İlerleme hızına karşılık gelen v_f ise takımın dakikada aldığı yolu gösterir ve (mm/dak) cinsinden ifade edilir. Herbir ağız için olan ilerleme sayısı ise f_z ile gösterilir ve (mm/diş) şeklinde ifade edilir[24].

$$V_f = f . n = z . f_z . n = 2 . f_z . n \tag{5.7}$$

5.2.2.3 Talaş Boyutları ve Paso Kalınlığı

Delik delme işleminde genellikle talaş kalılığı h ve talaş genişliği ise b ile ifade edilir. Bununla birlikte paso kalınlığı a, paso genişliği b, talaş kalınlığı h ve ilerlemenin f_z ile gösterilirse aşağıdaki formüller elde edilir[24]:

$$b = \frac{a}{\sin\left(\frac{\psi}{2}\right)} = \frac{D}{2 \sin\left(\frac{\psi}{2}\right)} \tag{5.8}$$

$$h = fz \sin\left(\frac{\psi}{2}\right) = \frac{f}{z} \sin\left(\frac{\psi}{2}\right) = \frac{f}{2} \sin\left(\frac{\psi}{2}\right) \tag{5.9}$$

Yukarıdaki denklemlere göre ağıza ait talaş kesiti ve takıma ait talaş kesiti sırasıyla aşağıda gibi hesaplanabilir:

$$A_{sz} = h.b = a.f_z = \frac{a}{\sin\left(\frac{\psi}{2}\right)} f_z \sin\left(\frac{\psi}{2}\right) = f_z.a = \frac{f_z.D}{2} = \frac{f.D}{4} \quad (5.10)$$

$$A_s = 2A_{sz} = 2f_z.a = f.a = \frac{f.D}{2} \quad (5.11)$$

BÖLÜM 6

MATERYAL VE METOD

6.1. Deneyde Kullanılan Materyaller ve Özellikleri

Hema Endüstri A,Ş. , bünyesinde bulundurduğu talaşlı işleme ile üretim yapan tezgahlarda kullanılan takımların aşınma ömürlerini artırmak için kendi bünyesinde takım kaplama atölyesi oluşturmuştur. Oluşturulan bu atölyede PVD yöntemi ile takımlara AlTiN kaplama işlemi yapılmaktadır. Kaplama işlemi, atölyede bulunan CEMECON cihazı ile yapılmaktadır. Kaplama uygulaması sayesinde takımların kesme performanslarının iyileştirilmesi ve işleme ömrünün uzatılması amaçlanmaktadır.



Şekil 6.1 CEMECON PVD kaplama makinesi



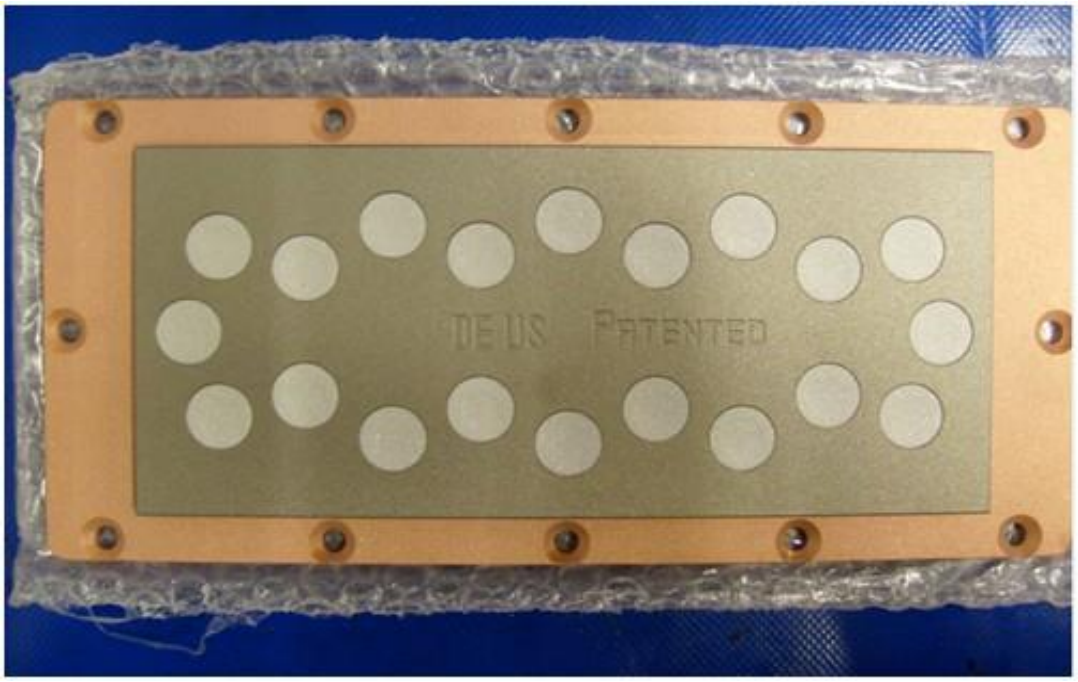
Şekil 6.2 CEMECON kaplama ünitesinin önden görünüşü

Kaplama öncesi takımlarda iyi bir yüzey yapışması elde edilebilmesi için takımlar öncelikle temizleme ve yıkama işlemlerinden geçirilmektedirler. Daha sonra temizlenme işlemleri biten takımlar kaplama işlemi için raflarda bekletilmektedir.



Şekil 6.3 PVD kaplama için temizleme işlemleri bitmiş ve kaplama için hazırlanmış takımlar

Kaplama makinesinin ünitesine yerleştirilen takımlar 7,5 saat süresince 650°C sıcaklıkta ve 6 milipascal basınç altında AlTiN kaplama işlemine tabi tutulmaktadırlar. Kaplama üniteleri tek bir şarj işlemi için kullanılmaktadır. Şekil 6.4'te kaplama işlemi öncesi kaplama malzemesinin durumu görünmektedir. Şekil 6.5'te ise kaplama işleminden çıkmış olan kaplama ünitesinin görüntüsü vardır.



Şekil 6.4 Kaplama öncesi kaplama ünitesinin görüntüsü



Şekil 6.5 Kaplama sonrası kaplama ünitesinin görüntüsü

Kaplanacak takımlar CEMECON cihazına girdikten sonra operatör gözetiminde 7,5 saat süresince AlTiN kaplama malzemesi ile PVD kaplama yöntemiyle kaplanmaktadırlar.



Şekil 6.6 CEMECON makinesi kaplama tablasına yerleştirilmiş takımlar

Dört adet kaplama askısı olan cihazda PVD kaplma işleminin matkap uçlarının her tarafına yapışma sağlayabilmesi için cihaz tablası hem kendi ekseni etrafında hem de cihazın merkez tablasının ekseni etrafında dairesel dönme hareketi yapmaktadır.



Şekil 6.7. Kaplama işlemi sırasında cihaz tablasının kendi ekseni etrafındaki dönüşü

6.1.1. Deneyde Kullanılan Matkap Uçları ve Özellikleri

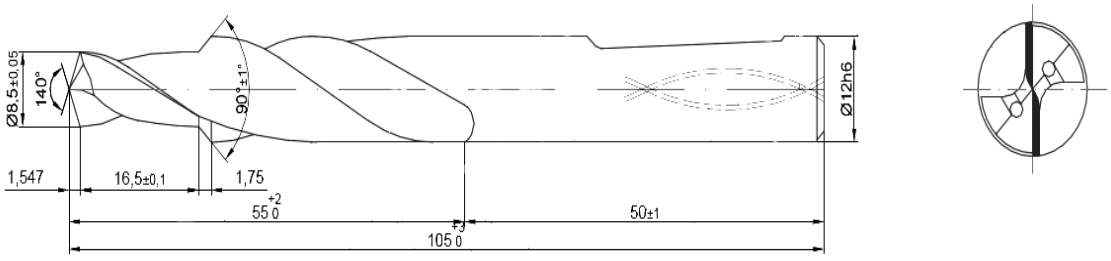
Gövdede açılan delikler için kullanılan matkaplar karbür matkap olup kaplamasız durumlarına ait malzeme özellikleri aşağıda sunulmuştur:

Tablo 6.1 Matkap uçlarına ait malzeme özellikleri

ISO Aralığı	K20 - K50
WC+ diğer karbürler	90%
Co	10%
WC tane boyutu	Mikron altı
Yoğunluk	14,45 g/cm^3
Sertlik	
Hv30	1600
HRa	92
Young Modülü	80000kpsi
Basma Dayanımı	870kpsi



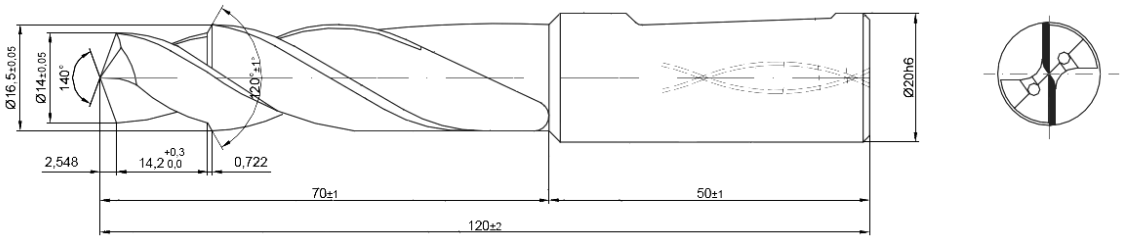
Şekil 6.8 HEM-670 matkap ucuna ait görsel



Şekil 6.9 HEM-670 matkap ucunun teknik çizimi



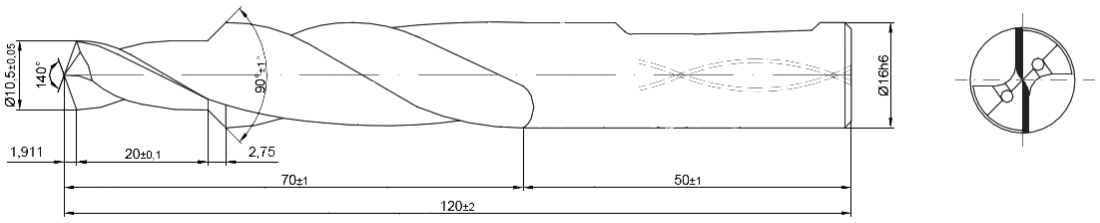
Şekil 6.10 HEM-671 matkap ucu



Şekil 6.11 HEM-671 matkap ucunun teknik çizimi

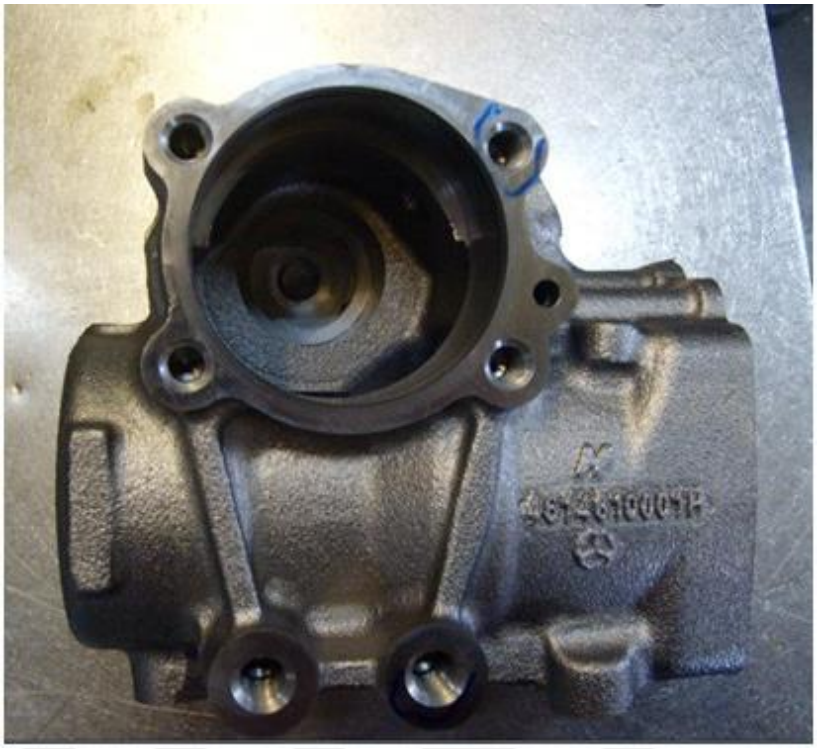


Şekil 6.12 HEM-672 matkap ucu

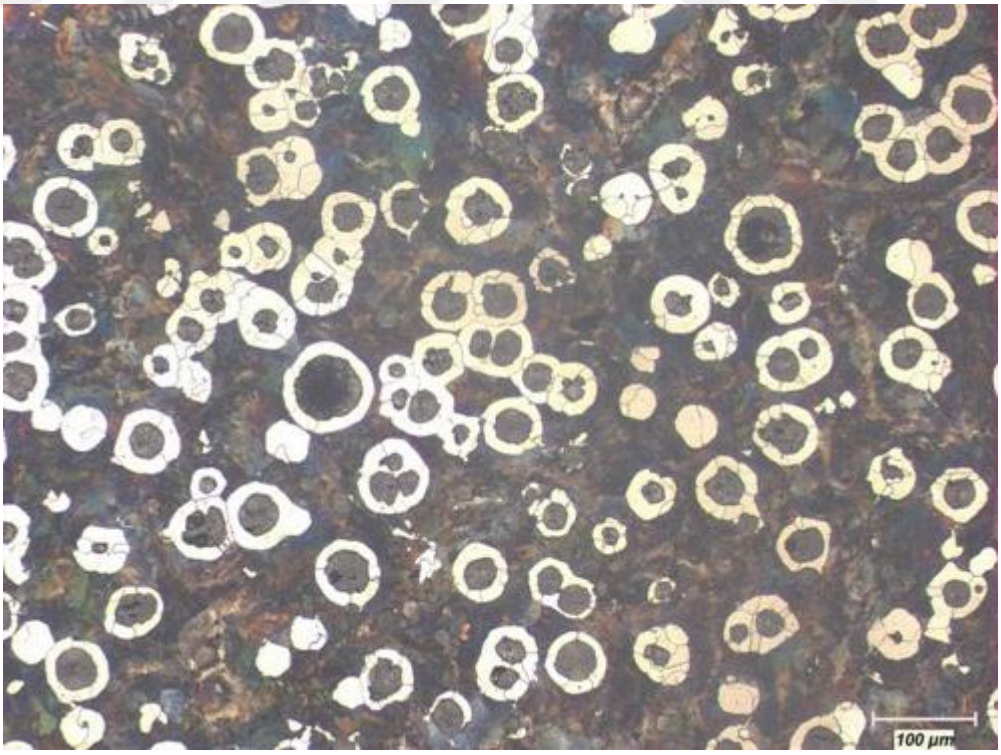


Şekil 6.13 HEM-672 matkap ucunun teknik çizimi

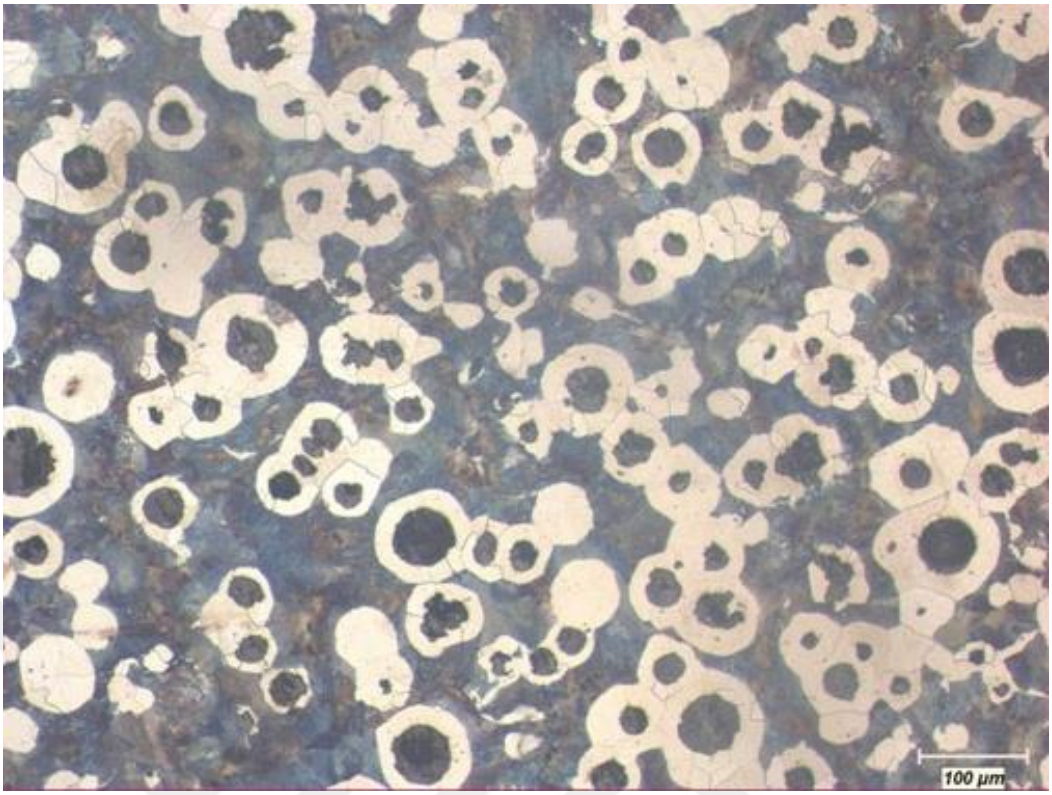
6.1.2. Gövde Parçası ve Özellikleri



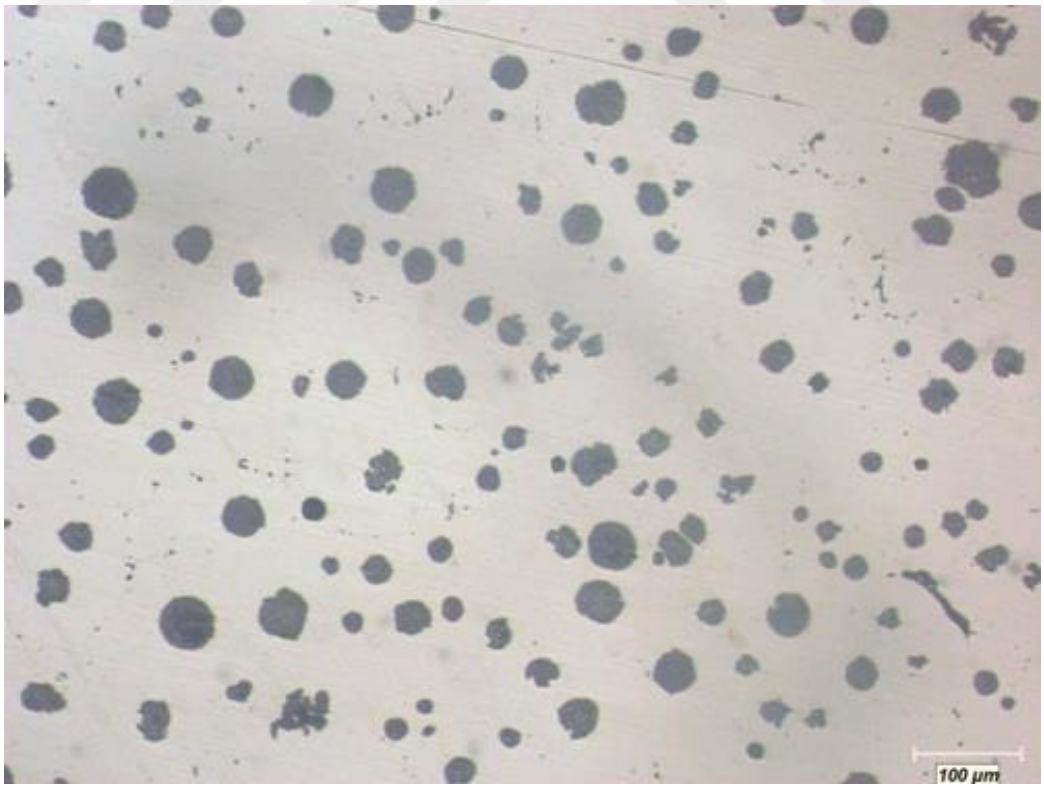
Şekil 6.14 Delik delme işlemlerinin yapıldığı direksiyon gövdesi



Şekil 6.15 Pompa gövdesine ait sfero dökme demir mikroyapısı



Şekil 6.16 Gövde malzemesinin mikroyapısındaki ferrit ve perlit oluşumları



Şekil 6.17 Gövde malzemesinin mikroyapısındaki grafit alanları

Tablo 6.2 Çalışmanın yapıldığı gövde malzemesinin kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Bileşim (Ağırlıkça Oranı)

Karbon	%2,90 -%3,80
Silikon	%1,50 - %2,80
Manganez	%0,10 - %0,80
Fosfor	%0,08 maks.
Sülfür	%0,015 maks.
Magnezyum	%0,025 - %0,07

Fiziksel Özellikler

Çekme Dayanımı min. N/mm^2	500
Akma Dayanımı (%0.2) min. N/mm^2	320
A5 Oranına Göre Uzama Miktarı	% 7
Sertlik Brinell HB	170 - 210
Mikroyapı	Ferrit / Perlit

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

PVD kaplama ünitesinin tek bir kaplama şarjı sırasında CEMECON kaplama cihazına yüklenen takım kapasitesi değerlendirmeye alınmıştır. Kaplama malzemesinin maliyeti ve kaplamalı takımların işleme adetleri göz önüne alındığında kaplama işleminin sonuçları ortaya çıkmıştır. Kaplamasız takımların maliyetleri ve bu takımların üretim adetleri ile kaplamalı takımların maliyetleri ve üretim adetleri karşılaştırılmıştır.

Kaplama işlemi için maliyet hesaplaması Hema Endüstri A.Ş. tarafından gelen verilere göre yapılmıştır. Kaplama plakası birim fiyatı 323 € olup, kaplama ünitesinde kaplama plakalarından şarj sırasında 4 adet bulunmaktadır. Kaplama plakalarının üniteye takıldıktan sonra ortalama 20 defa kaplama yapabilme kapasiteleri vardır. Buradan hesapla, kaplama malzemesinin ortalama kaplama maliyetine etkisi 64,6 € olarak hesaplanmıştır. Ayrıca kaplama işlemi için şarj başına işçilik maliyeti 45 € ve bakım maliyeti 30 € olarak Hema Endüstri A.Ş. tarafından belirlenmiştir. Birim kaplama maliyeti yapılan ortalama değerlendirmeler ile 140 € olarak hesaplanmıştır.

Kaplama maliyetinin ortalama 140 € olduğu ortaya konduktan sonra her takım için işleme performansı ve maliyet durumu ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Şarj ünitesine yerleştirilen takım sayısı ortalama 185 adet olarak belirlenmiştir.

Delme işlemlerinin tamamı için konsantrasyon oranı %4,5 - %5 aralığında olan Belgin GENERAX URS boryağı kullanılmıştır.

7.1. HEM-670 Takımına Ait Performans ve Maliyet Değerlendirmesi

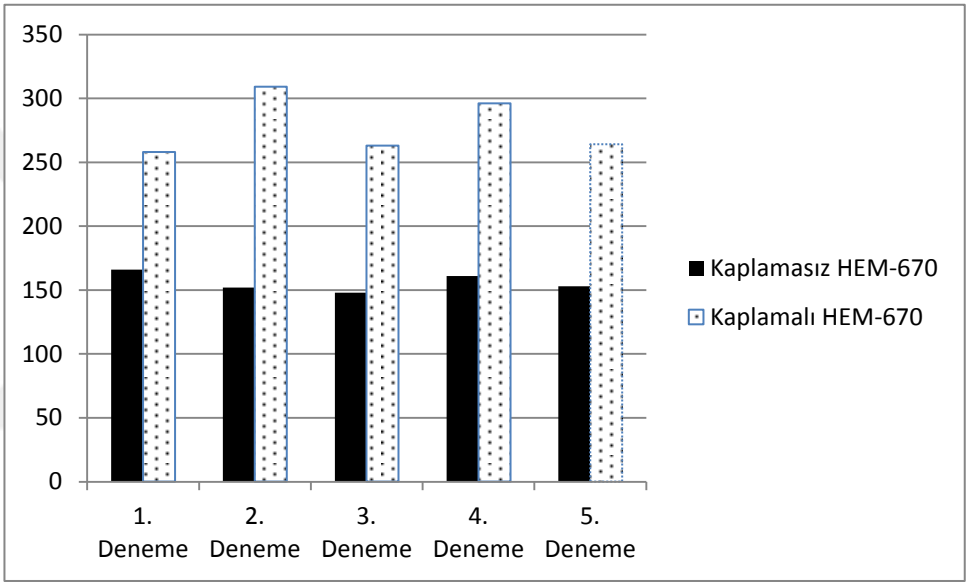
HEM-670 kademeli matkap takımı, direksiyon gövdesinde EBV valf deliğinin işlenmesinde kullanılmaktadır. Matkap ucunun kaplamalı ve kaplamasız olarak işlemiş olduğu sayılar ve takım maliyetlerinin karşılaştırmalı tablosu aşağıda sunulmuştur.

Tablo 7.1 HEM-670 takımına ait şarj maliyeti tablosu

Kaplamaya Giren Parça Adedi	Şarj Maliyeti	Birim Kaplama Maliyeti
185	140 €	0,757 €

Tablo 7.2 HEM-670 takımına ait performans ve maliyet tablosu

Takım Adı	Ortalama Parça Adedi	Takım Maliyeti	Kaplama Maliyeti
HEM-670 (Kaplamasız)	156	192,43 €	-
HEM-670 (Kaplamalı)	278	193,187 €	0,757 €



Şekil 7.1 HEM-670 takımına ait ortalama delme sayıları

HEM-670 referans kodlu matkap ucuna ait ortalama işleme sayısı yukarıdaki gibi bulunmuştur. 5 adet takımın toleranslar içinde işledikleri sayılara göre ortalama işleme sayıları ortaya çıkmıştır.

HEM-670 referans kodlu takımın maliyeti 192,43 € ve takım başına hesaplanan ortalama kaplama maliyeti ise 0,757 €'dur. Bu durumda kaplamalı takımın maliyeti 193,187 €'dur. Kaplamalı takımın işlediği ortalama parça sayısı 278 olarak elde edilmiştir. Bu durumda birim parça işleme maliyeti 0,694 € olarak hesaplanmıştır.

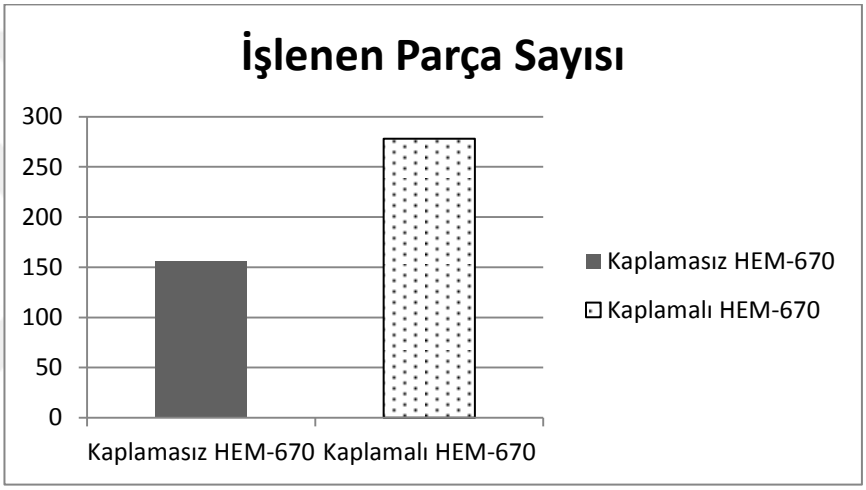
Kaplama öncesi HEM-670 referans kodlu matkap ucu n=2500 dev/dak devir ve f=450 mm/dak ilerleme hızı ile çalıştırılmıştır. Kaplama işlemi sonrası ise zaman

kazancı açısından delme parametreleri n=2500 dev/dak devir ve f=500 mm/dak olarak değiştirilmiştir.

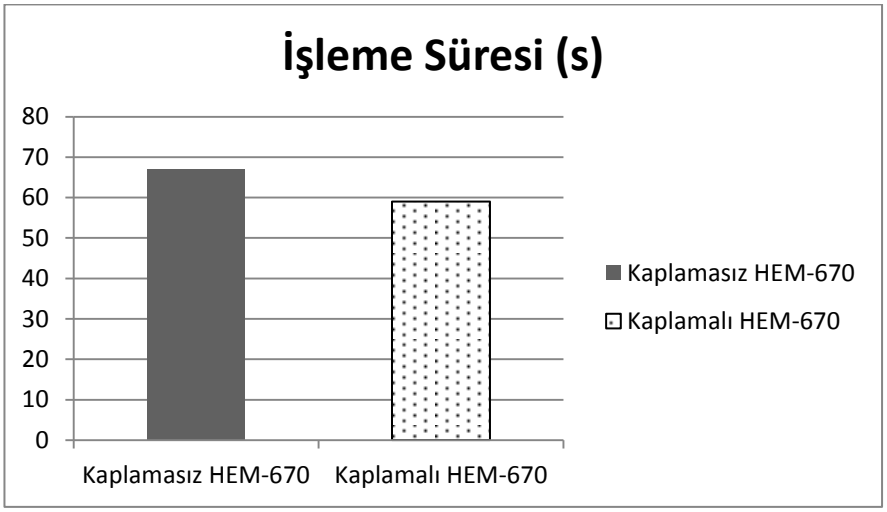
Kaplamasız takımın çalışma süresinin 67s ve kaplamalı takımın 59s çalıştığı göz önünde bulundurulursa işleme zamanı açısından %12 oranında bir zaman kazancı hesaplanmıştır.

Tablo 7.3 HEM-670 takımına ait zaman kazancı tablosu

Takım Adı	Parça Başına Çalışma Süresi(s)	Zaman Kazancı
HEM-670(Kaplamasız)	67	%12
HEM-670 (Kaplamalı)	59	



Şekil 7.2 HEM-670 matkap ucunun kaplamalı ve kaplamasız olarak işleme yapabildiği adetlerin karşılaştırılması



Şekil 7.3 HEM-670 matkap ucunun kaplamalı ve kaplamasız olarak delme işlemi sırasında çalıştığı süreler

7.2. HEM-671 Takımına Ait Performans ve Maliyet Değerlendirmesi

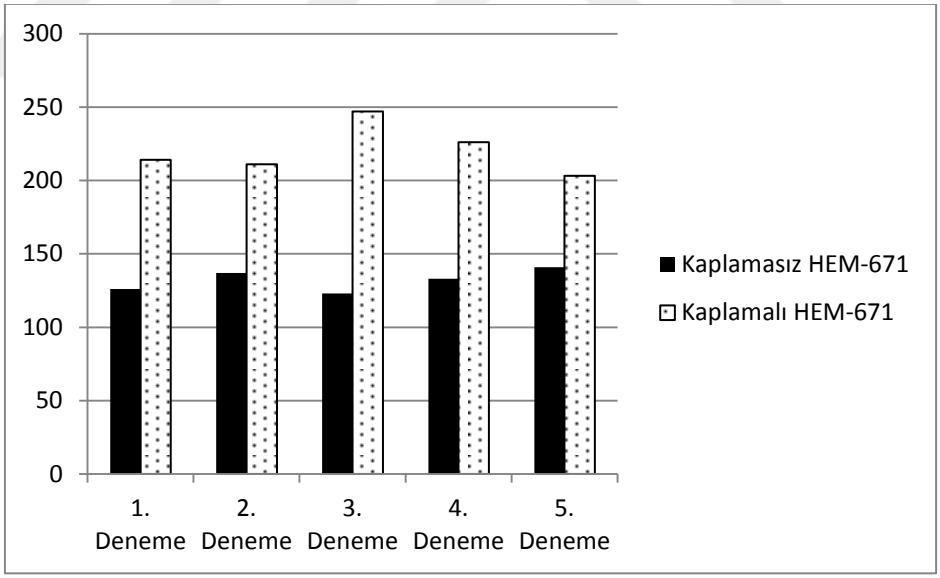
HEM-671 kademeli matkap takımı, direksiyon gövdesinde M12x1,5 giriş portunun işlenmesinde kullanılmaktadır. Matkap ucunun kaplamalı ve kaplamasız olarak işlemiş olduğu sayılar ve takım maliyetlerinin karşılaştırmalı tablosu aşağıda sunulmuştur.

Tablo 7.4 HEM-671 takımına ait şarj maliyeti tablosu

Kaplamaya Giren Parça Adedi	Şarj Maliyeti	Birim Kaplama Maliyeti
185	140 €	0,757 €

Tablo 7.5 HEM-671 takımına ait performans ve maliyet tablosu

Takım Adı	Ortalama Parça Adedi	Takım Maliyeti	Kaplama Maliyeti
HEM-671(Kaplamasız)	132	124,72 €	-
HEM-671 (Kaplamalı)	220,2	125,477 €	0,757 €



Şekil 7.4 HEM-671 takımına ait ortalama delme sayıları

HEM-671 referans kodlu matkap ucuna ait ortalama işleme sayısı yukarıdaki gibi bulunmuştur. 5 adet takımın toleranslar içinde işledikleri sayılara göre ortalama işleme sayıları ortaya çıkmıştır.

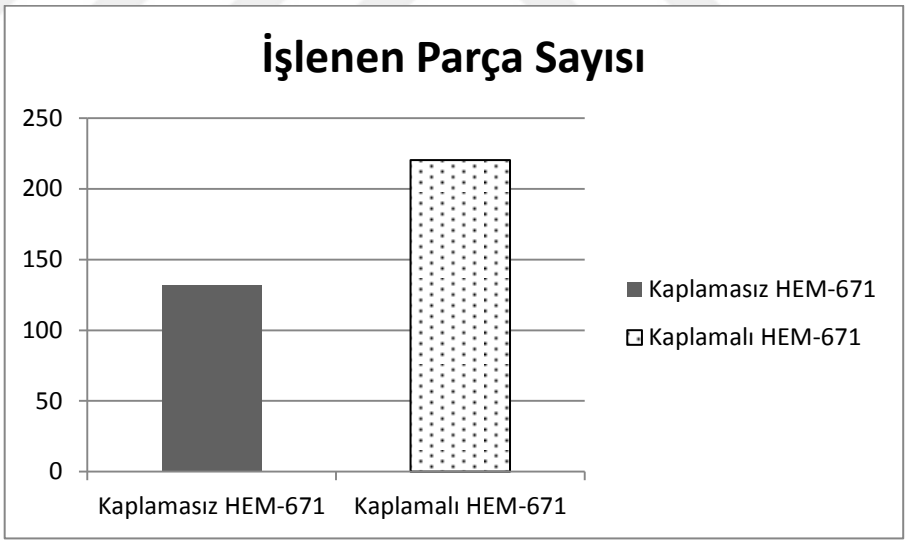
HEM-671 referans kodlu takımın maliyeti 124,72 € ve takım başına hesaplanan ortalama kaplama maliyeti ise 0,757 €'dur. Bu durumda kaplamalı takımın maliyeti 125,477 €'dur. Kaplamalı takımın işlediği ortalama parça sayısı 220,2 olarak elde edilmiştir. Bu durumda birim parça işleme maliyeti 0,569 € olarak hesaplanmıştır.

Kaplama öncesi HEM-671 referans kodlu matkap ucu n=1600 dev/dak devir ve f=250 mm/dak ilerleme hızı ile çalıştırılmıştır. Kaplama işlemi sonrası ise zaman kazancı açısından delme parametreleri n=1600 dev/dak devir ve f=300 mm/dak olarak değiştirilmiştir.

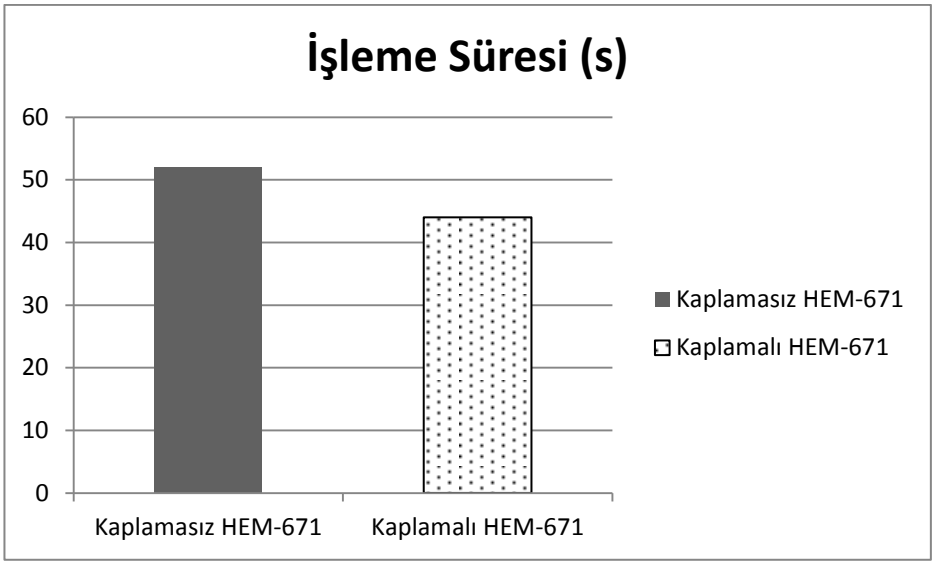
Kaplamasız takımın çalışma süresinin 52s ve kaplamalı takımın 44s çalıştığı göz önünde bulundurulursa işleme zamanı açısından %15 oranında bir zaman kazancı hesaplanmıştır.

Tablo 7.6 HEM-671 takımına ait zaman kazancı tablosu

Takım Adı	Parça Başına Çalışma Süresi(s)	Zaman Kazancı
HEM-671(Kaplamasız)	52	%15
HEM-671 (Kaplamalı)	44	



Şekil 7.5 HEM-671 matkap ucunun kaplamalı ve kaplamasız olarak işleme yapabildiği adetlerin karşılaştırılması



Şekil 7.6 HEM-671 matkap ucunun kaplamalı ve kaplamasız olarak delme işlemi sırasında çalıştığı süreler

7.3. HEM-672 Takımına Ait Performans ve Maliyet Değerlendirmesi

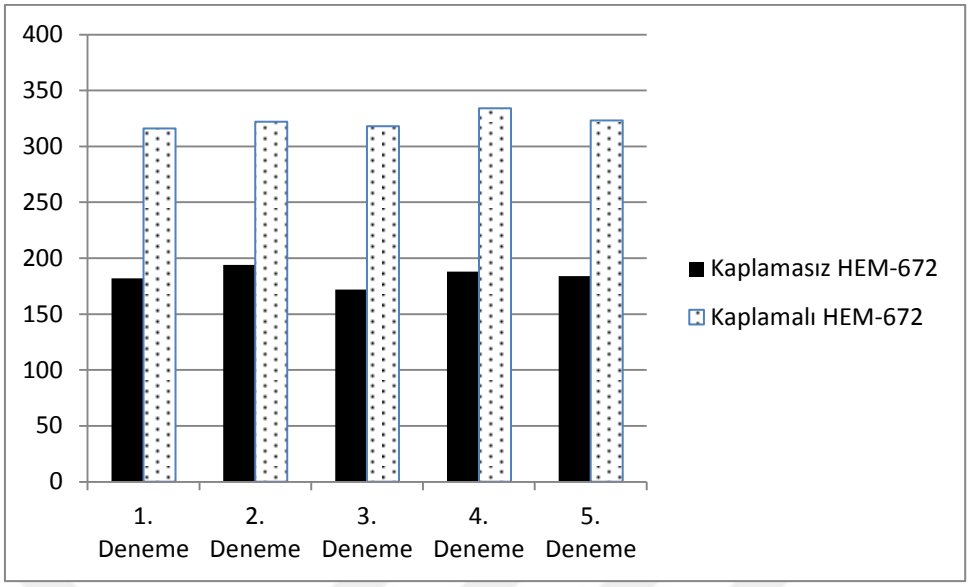
HEM-672 kademeli matkap takımı, direksiyon gövdesinde M10x1,5 çıkış portu deliğinin işlenmesinde kullanılmaktadır. Matkap ucunun kaplamalı ve kaplamasız olarak işlemiş olduğu sayılar ve takım maliyetlerinin karşılaştırmalı tablosu aşağıda sunulmuştur.

Tablo 7.7 HEM-672 takımına ait şarj maliyeti tablosu

Kaplamaya Giren Parça Adedi	Şarj Maliyeti	Birim Kaplama Maliyeti
185	140 €	0,757 €

Tablo 7.8 HEM-672 takımına ait performans ve maliyet tablosu

Takım Adı	Ortalama Parça Adedi	Takım Maliyeti	Kaplama Maliyeti
HEM-672(Kaplamasız)	184	71,88 €	-
HEM-672 (Kaplamalı)	322,6	72,637 €	0,757 €



Şekil 7.7 HEM-672 takımına ait ortalama delme sayıları

HEM-672 referans kodlu matkap ucuna ait ortalama işleme sayısı yukarıdaki gibi bulunmuştur. 5 adet takımın toleranslar içinde işledikleri sayılara göre ortalama işleme sayıları ortaya çıkmıştır.

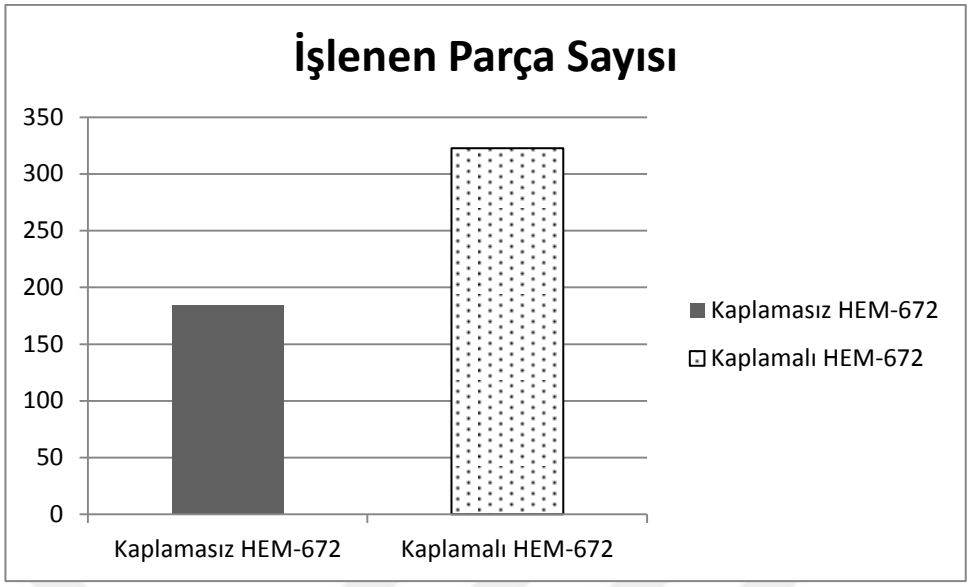
HEM-672 referans kodlu takımın maliyeti 71,88 € ve takım başına hesaplanan ortalama kaplama maliyeti ise 0,757 €'dur. Bu durumda kaplamalı takımın maliyeti 72,637 €'dur. Kaplamalı takımın işlediği ortalama parça sayısı 322,6 olarak elde edilmiştir. Bu durumda birim parça işleme maliyeti 0,225 € olarak hesaplanmıştır.

Kaplama öncesi HEM-672 referans kodlu matkap ucu n=2200 dev/dak devir ve f=220 mm/dak ilerleme hızı ile çalıştırılmıştır. Kaplama işlemi sonrası ise zaman kazancı açısından delme parametreleri n=2200 dev/dak devir ve f=250 mm/dak olarak değiştirilmiştir.

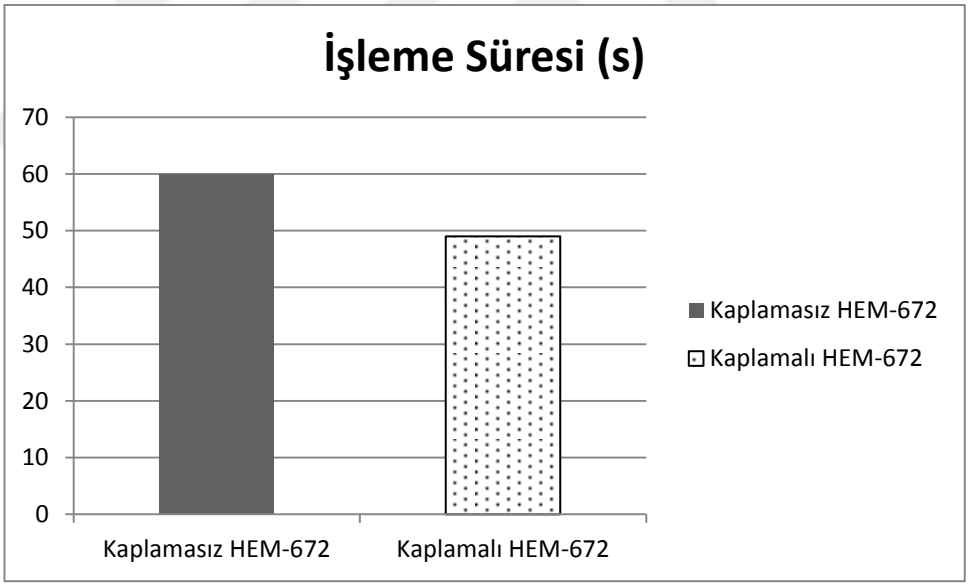
Kaplamasız takımın çalışma süresinin 60s ve kaplamalı takımın 49s çalıştığı göz önünde bulundurulursa işleme zamanı açısından %18 oranında bir zaman kazancı hesaplanmıştır.

Tablo 7.9 HEM-672 takımına ait zaman kazancı tablosu

Takım Adı	Parça Başına Çalışma Süresi(s)	Zaman Kazancı
HEM-672(Kaplamasız)	60	%18
HEM-672 (Kaplamalı)	49	



Şekil 7.8 HEM-672 matkap ucunun kaplamalı ve kaplamasız olarak işleme yapabildiği adetlerin karşılaştırılması



Şekil 7.9 HEM-672 matkap ucunun kaplamalı ve kaplamasız olarak delme işlemi sırasında çalıştığı süreler

SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında kademeli matkaplarda kaplama öncesi ve AlTiN yüzey kaplaması sonrası işleme performansları değerlendirilmiş olup, aynı zamanda takımların kaplama sonrası işleme sürelerindeki değişim ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi olmuştur:

1. Matkapların ortalama delme performanslarının ortaya çıkması için üç tip matkap ucundan 5'er adet uçla denemeler yapılıp ortalama delme sayıları bulunmuştur. Matkapların işleme süreleri hesaplanırken takım değiştirme süreleri ve tezgah duruşları ihmal edilmiştir.
2. Matkap uçlarına yüzey kaplaması yapılmadan önce delmiş oldukları ortalama sayılar ile kaplama sonrası elde edilen ortalama sayılar karşılaştırıldığında üç tip kademeli matkap ucu için delme sayılarının %66 - %78 arasında artış gösterdiği görülmüştür. Delme sayıları aynı zamanda matkapların işleme ömrü olarak değerlendirileceğinden dolayı kaplamanın işleme ömrüne olan etkisi gözlemlenmiştir. Kaplama sonrası matkapların işleme ömürlerinin artış gösterdiği görülmüştür.
3. Kaplama işleminden geçirilen takımlar, aşınma özellikleri iyileştirildiğinden dolayı daha yüksek ilerleme hızlarında çalıştırılmışlar ve bu sayede çalışma sürelerinde azalma meydana gelmiştir. Çalışma sürelerinde meydana gelen azalmadan dolayı %12 - %18 arasında zaman kazancı sağlandığı belirlenmiştir. Dolayısı ile birim parça başına harcanması gereken sürenin azaldığı görülmüştür.
4. Kaplama ünitesine yerleştirilen matkap ucu sayısı her kaplama işlemine göre değişkenlik göstermektedir. Bu değişkenlikten dolayı kaplama maliyeti hesabı sırasında üniteye yerleştirilen sayı, fabrika kaplama ortalaması olan 185 adet olarak alınmıştır.

5. Kaplamada kullanılan kaplama plakaları, işçilik maliyetleri ve bakım maliyetleri hesap edilerek tek bir kaplama için ortaya çıkan maliyet hesaplanmıştır. Bunun sonucunda tek bir kaplama işleminin maliyeti yaklaşık olarak 140 € olarak bulunmuştur.
6. Her matkap ucu için ortalama kaplama maliyeti hesabı yapılarak uçların birim fiyatlarına bu maliyetler eklenmiştir. Kaplama birim maliyeti 0,757 € olarak hesaplanmıştır.
7. Matkaplarda AlTiN yüzey kaplaması uygulamasının işleme performansını artırıp birim maliyeti azalttığı bu tez çalışmasında sayısal sonuçları ile birlikte sunulmuştur.

KAYNAKLAR

[1] Liu Aihua, Deng Jianxin, Cui Haibing, Chen Yangyang, Zhao Jun, **"*Friction and wear properties of TiN, TiAlN, AlTiN and CrAlN PVD nitride coatings",*** Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 31, 82–88, (2012)

[2] Q. Yang, R.McKellar, **"*Nanolayered CrAlTiN and multilayered CrAlTiN–AlTiN coatings for solid particle erosion protection*",** TribologyInternational 83, 12–20, (2015)

[3] Mirjam Arndt, Thorsten Kacsich, ***"Performance of new AlTiN coatings in dry and high speed cutting",*** Surface and Coatings Technology 163 –164, 674–680, (2003)

[4] G.S. Fox-Rabinovich, A.I. Kovalev, M.H. Aguirre, B.D. Beake, K. Yamamoto, S.C. Veldhuis, J.L. Endrino, D.L. Wainstein, A.Y. Rashkovskiy, ***"Design and performance of AlTiN and TiAlCrN PVD coatings for machining of hard to cut materials*",** Surface & Coatings Technology 204, 489–496, (2009)

[5] Shihong Zhang, Weiwei Wua, Wanglin Chen, Shubao Yang, ***"Structural optimisation and synthesis of multilayers and nanocomposite AlCrTiSiN coatings for excellent machinability",*** Surface & Coatings Technology 277, 23–29, (2015)

[6] Qinglong An, ChangyingWang, Jinyang Xua, Pulin Liu, Ming Chen, ***"Experimental investigation on hard milling of high strength steel using PVD-AlTiN coated cemented carbide tool*",** Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials 43 94–101, (2014)

[7] J.L. Endrino, G.S. Fox-Rabinovich, C. Gey, ***"Hard AlTiN, AlCrN PVD coatings for machining of austenitic stainless steel",*** Surface & Coatings Technology 200, 6840–6845, (2006)

[8] B.D. Beake, Li Ningb, Ch. Gey b, S.C. Veldhuis, A. Komarov, A. Weaver, M. Khanna, G.S. Fox-Rabinovich, ***"Wear performance of different PVD coatings during hardwet endmilling of H13 tool steel",*** Surface & Coatings Technology 279, 118–125, (2015)

[9] Jaume Pujante, Montserrat Vilaseca, Daniel Casellas, Maria Dolors Riera, ***"High temperature scratch testing of hard PVD coatings deposited on surface treated tool steel",*** Surface & Coatings Technology 254, 352–357, (2014)

[10] D. Kottfera, M. Ferdinandyb, L. Kaczmarekc, I. Mankovaa, J. Benoa, ***"Investigation of Ti and Cr based PVD coatings deposited onto HSS Co 5 twist drills",*** Applied Surface Science 282, 770– 776, (2013)

[11] Deng Jianxin, Wu Fengfang, Lian Yunsong, Xing Youqiang, Li Shipeng, ***"Erosion wear of CrN, TiN, CrAlN, and TiAlN PVD nitride coatings",*** Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials 35, 10–16, (2012)

[12] K. Lukaszkowicz, A. Czyzniewski, W. Kwasny, M. Pancielejko, ***"Structure and mechanical properties of PVD coatings deposited onto the X40CrMoV5-1 hot work tool steel substrate",*** Vacuum 86, 1186-1194, (2012)

[13] C. Ducros, V. Benevent, F. Sanchette, ***"Deposition, characterization and machining performance of multilayer PVD coatings on cemented carbide cutting tools",*** Surface and Coatings Technology 163 –164, 681–688, (2003)

[14] Muammer Nalbant, Hasan Gokkaya, Ihsan Toktas, Gokhan Sur, ***"The experimental investigation of the effects of uncoated, PVD- and CVD-coated cemented carbide inserts and cutting parameters on surface roughness in CNC turning and its prediction using artificial neural networks",*** Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 25, 211–223, (2009)

[15] W. Kalss, A. Reiter, V. Derflinger, C. Gey, J.L. Endrino, ***"Modern coatings in high performance cutting applications",*** International Journal of Refractory Metals & Hard Materials 24, 399–404, (2006)

[16] E. Hamzah, A. Mubarak, M. R. M. Toff, ***"Review of physical vapour deposition (pvd) techniques for hard coating"*** Jurnal Mekanikal No. 20, (2005) 42 - 51

[17] Tonshoff, K., Mohlfeld, A., Leyendecker, T., Fuß, H.G., Erkens, G., Wenke, R., Cselle, T. and Schwenck, M., ***"Wear mechanisms of (Ti1 − xAlx)N coatings in dry drilling"***, Surf. Coat. Technol., 94/95, pp. 603-609, (1997)

[18] Suffian Saad, Abdul Hakim Hashim, Mansor Abdul Hamid, M. Zakuan Abdullah and Talib Ria Jaafar***, "Effect of radio-frequency sputtering power on the composition of Ti-6Al-4V thin film and its growth morphology"*** Advanced Technology Congress, May 20-21, Putrajaya, (2003)

[19] R. Haug, ***"Advances in Solid State Physics 48"*** Springer Berlin Heidelberg, (2009)

[20] Creighton JR. Ho P ***"Introduction to chemical vapor deposition (CVD)"*** , Chapter 1 chemical vapor deposition (#06682G) ASM International. pp 1-10 (2001)

[21] Trent, E.M., Wright, P.K., ***"Metal Cutting",***Butterworth Heinemann, New Delhi, (1999).

[22] U. Özdemir, M. Erten, ***"Talaşlı İmalat Sırasında Kesici Takımda Meydana Gelen Hasar Mekanizmaları ve Takım Hasarını Azaltma Yöntemleri"*** Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, Cilt 1 Sayı 1 37-50, (2003)

[23] Mikell P. Groover, ***"Fundamentals of Modern Manufacturing"***, John Wiley & Sons**,** United States of America, (2010)

[24] M. Akkurt, "***Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları***", Birsen Yayınevi, Türkiye, (1998)

ÖZGEÇMİŞ

Selçuk SELVİ 1987 yılında Kırklareli'de dünyaya geldi. İlkokulu Nadırlı Mehmet Fevzi Özdemir İlkokulu'nda, ortaokulu Babaeski İlköğretim Okulu'nda ve liseyi Babaeski Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır. 2007 yılında girdiği üniversite sınavlarında Mustafa Kemal Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü kazanarak, lisans öğrenimini 2011 yılında tamamlamıştır. Aynı yılın Ağustos ayında askerliğini Ankara Anıtkabir Komutanlığı'nda kısa dönem er olarak başarı ile yerine getirmiştir. 2013 yılında Trakya Döküm'de Talaşlı İmalat Kalite Mühendisi olarak iş hayatına başlamış 2014 Eylül ayında çalıştığı şirketten ayrılarak Trakya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışma hayatına devam etmiştir. Ayrıca aynı bölümde yüksek lisans öğrenimini sürdürmektedir.