T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KALIP ÇELİKLERİNİN NİTRÜR KAPLAMALAR İLE YÜZEY ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Muhammed Cemil ENSAROĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmal Usulleri Programı

Danışman

Doç. Dr. Bedri Onur KÜÇÜKYILDIRIM

Şubat, 2022

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KALIP ÇELİKLERİNİN NİTRÜR KAPLAMALAR İLE YÜZEY ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Muhammed Cemil ENSAROĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması 02.02.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Bedri Onur
KÜÇÜKYILDIRIM
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Bedri Onur KÜÇÜKYILDIRIM, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Ayşegül Akdoğan EKER, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üye. Nilhan Ürkmez TAŞKIN, Üye
Trakya Üniversitesi _____

Danışmanım Doç. Dr. Bedri Onur KÜÇÜKYILDIRIM sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Kalıp Çeliklerinin Nitrür Kaplamalar ile Yüzey Özelliklerinin İyileştirilmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Muhammed Cemil ENSAROĞLU

İmza

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım esnasında; ihtiyaç duyduğum her konuda sabırla desteğini esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Bedri Onur KÜÇÜKYILDIRIM' a danışmanlığından dolayı teşekkürlerimi sunarım. Araştırmalarım ve deneysel çalışmalarımda sağladığı teknik yardımlar için Metehan DEMİRKOL ve İleri Malzeme Araştırma Grubuna (AMRG) teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca; numunelerimi hazırlamamda yardımcı olan, tez çalışmam sırasında maddi ve manevi desteğini esirgemeyen Konveyör A.Ş firmasına ve desteklerini her zaman hissettiğim firma yöneticilerine, kaplama işlemlerini gerçekleştirdiğim Kapco Kaplama firmasına teşekkürü bir borç bilirim.

Muhammed Cemil ENSAROĞLU

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ vi

KISALTMA LİSTESİ vii

ŞEKİL LİSTESİ ix

TABLO LİSTESİ xi

ÖZET xii

ABSTRACT xiv

1 GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti ... 2
1.2 Tezin Amacı ... 4
1.3 Hipotez ... 5

2 AŞINMA MEKANİZMALARI 6

2.1 Adhezif Aşınma ... 7
2.2 Abrasif Aşınma ... 9
2.3 Korozyon Aşınması ... 10
2.4 Yorulma Aşınması ... 11

3 SERT KAPLAMALAR 12

3.1 Karbürler ... 13
3.2 Nitrürler ... 13
3.3 Oksitler ... 21
3.4 Elmas ve DLC ... 21

4 KIRILMA DAVRANIŞLARI 22

4.1 Gevrek Kırılma ... 23
4.2 Sünek Kırılma ... 25

5 DENEYSEL ÇALIŞMALAR 27

5.1 Dönel Boru Kesim Bıçaklarının İmalatı ... 27
5.2 Kaplama İşlemleri ... 29
5.3 Kullanım Ömrü Belirleme Testleri ... 33
5.4 Kırılma Görüntüleri ... 35

6 TARTIŞMA **40**

6.1 Kaplama Kalınlık Değerleri 40
6.2 Kaplama Sertlik Değerleri 41
6.3 Kullanım Ömrü Değerleri 42

7 SONUÇ VE ÖNERİLER **44**

KAYNAKÇA **45**

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **48**

SİMGE LİSTESİ

Al	Alüminyum
Ra	Aritmetik Ortalama Pürüzlülük
dk	Dakika
r	Devir
GPa	Gigapaskal
g	Gram
f	İlerleme Hızı
d	Kesme Derinliği
v	Kesme Hızı
Kgf	Kilogram-Kuvvet
Cr	Krom
m	Metre
µm	Mikrometre
mm	Milimetre
N	Nitrür

KISALTMA LİSTESİ

Al_2O_3	Alümina
AlCrN	Alüminyum Krom Nitrür
AlTiN	Alüminyum Titanyum Nitrür
AISI	Amerikan Demir Çelik Endüstrisi
ASTM	Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
COF	Sürtünme Katsayısı
CVD	Kimyasal Buhar Biriktirme
CrCN	Krom Karbo Nitrür
DLC	Elmas Benzeri Karbon
DIN	Alman Endüstri Standardı
FCVAD	Filtreli Katodik Vakum Ark Biriktirme
HB	Brinell Sertlik Değeri
HRC	Rockwell C Sertlik Değeri
HSS	Yüksek Hız Çeliği
HV	Vickers Sertlik Değeri
IR	İnfrared Işıma
PVD	Fiziksel Buhar Biriktirme
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TiO_2	Titanyumdioksit
TiAlN	Titanyum Alüminyum Nitrür
TiN	Titanyum Nitrür
TiCN	Titanyum Karbo Nitrür
TiZrN	Titanyum Zirkonyum Nitrür

TiCrN	Titanyum Krom Nitrür
TiC	Titanyum Karbür
TEM	Transmisyon Elektron Mikroskobu
ZrN	Zirkonyum Nitrür

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Aşınma safhaları 7

Şekil 2.2 Adezyon sırasındaki metal transferi 8

Şekil 2.3 Malzeme yüzeyindeki adezyon çizikleri 8

Şekil 2.4 Abrasiv aşınma mekanizması 9

Şekil 2.5 Korozyon aşınma süreci şeması 10

Şekil 2.6 Yorulmalı aşınma 11

Şekil 3.1 Titanyum nitrür kaplama örnekleri 15

Şekil 3.2 Titanyum karbonitrür kaplama örnekler 16

Şekil 3.3 Krom nitrür kaplama örnekler 17

Şekil 3.4 Zirkonyum nitrür kaplama örnekler 19

Şekil 4.1 Kırılma örnekleri 22

Şekil 4.2 Gevrek kırılma 23

Şekil 4.3 Tane içerisinde bir düzlemde meydana gelen kristalin kırılma örneği 24

Şekil 4.4 Düşük karbonlu bir çelikte gevrek kırılma görüntüsü 24

Şekil 4.5 Mikro yapının çekirdeklenme, büyüme ve birleşme sürecinin temsili 25

Şekil 4.6 Boşluğun başlama, büyüme ve birleşme diyagramı 26

Şekil 5.1 CNC torna tezgahı 28

Şekil 5.2 Katodik ark PVD kaplama makinesi 30

Şekil 5.3 Kaplama kalınlık ölçüm cihazı 30

Şekil 5.4 Kaplama sertlik ölçüm cihazı 31

Şekil 5.5 Vickers izi ve kaplamaların vickers izlerinden görüntüler 32

Şekil 5.6 Boru kesim işlemleri için kullanılan boru kesme kafası 33

Şekil 5.7 Altın kaplama sırasında alınan görüntü 35

Şekil 5.8 Altın kaplama cihazı 35

Şekil 5.9 Kaplamasız dönel boru kesim bıçağı kırılma görüntüleri 36

Şekil 5.10 TiN kaplı dönel boru kesim bıçağı kırılma görüntüleri..... 37

Şekil 5.11 AlTiN kaplı dönel boru kesim bıçağı kırılma görüntüleri..... 38

Şekil 5.12 TiCN kaplı dönel boru kesim bıçağı kırılma görüntüleri 39

Şekil 6.1 Ortalama kaplama kalınlık değerleri 40

Şekil 6.2 Ortalama kaplama sertlik değerleri 41

Şekil 6.3 Ortalama kullanım ömrü değerleri 42

Şekil 6.4 Uç radius projeksiyon görüntüler..... 43

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 Sert malzemelerin gruplandırılması 13

Tablo 3.2 Krom nitrür kaplamanın özellikleri 17

Tablo 3.3 Krom nitrür kaplamaların kullanım alanları ve performansları 18

Tablo 3.4 Zirkonyum nitrür kaplamanın özellikleri 19

Tablo 3.5 Alüminyum titanyum nitrür kaplamanın özellikleri 20

Tablo 5.1 AISI T15 Malzemesinin kimyasal kompozisyonu 27

Tablo 5.2 Kaplama parametreleri 29

Tablo 5.3 Kaplama kalınlık değerleri 31

Tablo 5.4 Kaplama sertlik değerleri 32

Tablo 5.5 Kullanım ömrü testleri parametreleri 34

Tablo 5.6 Boru kesim adetleri 34

ÖZET

Kalıp Çeliklerinin Nitrür Kaplamalar ile Yüzey Özelliklerinin İyileştirilmesi

Muhammed Cemil ENSAROĞLU

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Bedri Onur KÜÇÜKYILDIRIM

Bakır ısıtma, soğutma, havalandırma bileşenleri, otomotiv alüminyum klima hatları, beyaz eşya bakır ve alüminyum komponentleri alanında dönel boru kesme, sahip olduğu verimlilikten dolayı boru kesim prosesi için ana uygulama olarak tercih edilir. Dönel boru kesme prosesinde kesici takım olarak kullanılan dönel boru kesim bıçağının ömrü, proses verimliliğini etkileyen en önemli faktördür.

Dönel boru kesim bıçaklarının ömrünü arttırmak amacıyla, imalatı yapılan dönel boru kesim bıçaklarından karşılaştırmak üzere fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemi ile TiN, TiCN, AlTiN tek katman kaplamalı ve kaplamasız numuneler hazırlanmıştır. Dönel boru kesim bıçağı numunelerinin, deneysel olarak kullanım ömür tespiti için OAK STCOS M5-695 marka ve modele sahip boru kesim makinesinde kaplamalı ve kaplamasız dönel boru kesim bıçak numuneleri kırılana kadar bakır boru kesim işlemleri yapılmıştır. Kesim adetleri kayıt altına alınmış ve dönel boru kesim bıçak numunelerinin kırılma yüzeylerinden görüntüler alınarak, kırılma mekanizmaları tespit edilmiştir. Elde edilen veriler yardımıyla kaplamalı ve kaplamasız bıçakların kırılma yüzey görüntüleri karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir.

Sonuç olarak, TiN kaplaması diğer kaplamalara göre; boru kesim adetleri ve aşınma direnci açısından daha iyi sonuç verdiğinden, dönel boru kesim bıçakları üzerine kaplanmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nitrür kaplamalar, bakır boru kesim, dönel boru kesim bıçak ömrü, kırılma davranışı

ABSTRACT

Improvement of Surface Properties of Mold Steels with Nitride Coatings

Muhammed Cemil ENSAROĞLU

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Bedri Onur KÜÇÜKYILDIRIM

In the field of copper heating, cooling, ventilation components, automotive aluminum air conditioning lines, white goods copper and aluminum components, orbital tube cutting is preferred as the main application for the tube cutting process due to its efficiency. The life of the orbital tube cutting blade, which is used as a cutting tool in the orbital tube cutting process, is the most important factor affecting the process efficiency.

In order to increase the life of the orbital tube cutting blades, TiN, TiCN, AlTiN single-layer coated and uncoated samples were prepared by the physical vapor deposition (PVD) method in order to compare the manufactured orbital tube cutting blades. Coated and uncoated orbital tube cutting blade samples were cut on the OAK STCOS M5-695 brand and model tube cutting machine for the experimental life determination of the orbital tube cutting blade samples. The number of cuts were recorded and the fracture mechanisms were determined by taking images from the fracture surfaces of the orbital tube cutting blade samples. With the help of the data obtained, the surface images of coated and uncoated blades were compared comparatively.

As a result, TiN coating compared to other coatings; Since it gives better results in terms of tube cutting numbers and wear resistance, it was evaluated that it would be appropriate to cover it on orbital tube cutting blades.

Keywords: Nitrür coatings, copper tube cutting, orbital tube cutting blade life, fracture behaviours

1
GİRİŞ

Boru imalatçıları, son imalatta kullanılmak üzere boruları daha kısa parçalara kesmek için testere kesme, torna kesme, dönel kesme, destekli makasla kesme, çift bıçaklı makasla kesme ve lazer kesme gibi çeşitli yöntemleri kullanır [1]. Tek bir yöntem farklı şekillerdeki ve farklı hammaddeli boruları kesmek için optimal değildir. Bir işlem için hangi boru kesim yönteminin kullanılacağı boru gereksinimlerine bağlıdır; gerekli üretim miktarı, borunun kesilen kısmından beklenen şartlar, stok malzemesi düz boru veya kangal olarak temin edilmesi, boru kesimden sonra farklı bir prosesin olma veya olmama durumu bu gereksinimlerdir.

Artan rekabetin teşvik ettiği ekonomik düşünceler, şirketlerin daha düşük işletme maliyetleriyle üretilebilecek alternatif ürünleri değerlendirmelerine neden olmuştur [2]. Bu kapsamda birçok şirket zamanla ekonomik katkısı kanıtlanmış olan dönel boru kesim yöntemini tercih eder.

Dönel boru kesme, yuvarlak borunun dış çapı üzerinde dönen bir kesme bıçağı ile ayrılmasıdır. Dönel kesimin temel özelliği talaş üretmeden kesim yapması ve malzeme israfını azaltmasıdır. İkinci bir özellik, çapakların temizlenmesi çok az veya tamamen ortadan kaldırılmış olur.

Kesme işlemi; boru boyutuna, et kalınlığına ve özellikle kesilecek malzemeye bağlı olarak önemli ölçüde değişir. Tamamen tavlanmış yumuşak alüminyumdan, bakır, pirinç, çelik, paslanmaz çelik ve titanyuma kadar her türlü malzemeyi kesmek için 12 ila 40 derece arasında kapsayıcı açılarda kesme bıçakları mevcuttur.

Kesme bıçakları yüksek-etkili takım çeliklerinden yapılır. Bu çeliklerin metal işlenmesinde ve şekillendirilmesinde kullanıldığından yüksek yüklere dayanımı ve malzeme ile temas halindeyken hızla değişen sıcaklıklarda çalışması beklenir. Genellikle şoka maruz kalırlar ve çeşitli olumsuz koşullarda performans göstermeleri gerekebilir. Bununla birlikte normal koşullarda yapılacak kesimlerde kesici kenarların körelmesine neden olan aşınmalara ve metalürjik değişikliklere duyarlı olmalıdır.

Kullanılan dönel boru kesim bıçaklarının aşınma dayanımı ve kullanım ömür performansı üretim verimliliğini, üretim hat akışını doğrudan etkilemektedir. Kesici takımlar için aşınma dayanımı, verimlilik ve kullanım ömrü artışını sağlamak için günümüzde kullanılan en etkin yöntem kaplamalardır. Kesme bıçaklarında, endüstride kesici takımlar üzerinde kullanım ömrü ve aşınma dayanımı artışı sağlayan kaplamaların iyileştirici etki yapacağı düşünülmektedir.

1.1 Literatür Özeti

Kumar vd. [3] kuru çevre koşullarında CVD yöntemiyle (TiN/TiCN/ Al_2O_3) kaplanmış karbür kesici takımlar ve kaplamasız karbür kesici takımlar ile AISI D2 ((55±1) HRC) çeliğinin son sert tornalama işleminin matematiksel modellemesi, çoklu yanıt optimizasyon, takım ömür ve ekonomik analizine odaklanmışlardır. Al_2O_3 kaplı karbür için optimum parametrik kombinasyonlar kesme derinliği:0,1mm, ilerleme = 0,04 mm/r ve kesme hızı = 108 m/dk. ve kaplamasız karbür için parametrik kombinasyonlar kesme derinliği: 0,1mm, ilerleme = 0,04 mm/r ve kesme hızı = 63 m/dk. ile yapılan tornalama sonucu 0,3mm'lik serbest yüzey aşınma kriterini dikkate alarak kaplanmış karbür takım için gözlenen takım ömrünün kaplamasız karbür kesici takımdan 15 kat daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır ve kaplanmış karbür kesici takım için işlemeden sonra talaş hacminin kaplamasız karbür kesici takımdan 26,14 kat daha yüksek olduğunu ve daha yüksek talaş kaldırma oranı için daha iyi olduğunu gözlemlemişlerdir.

Ayrıca Outeiro vd. [4] analitik bir öngörücü model, X ışını kırınımı ve IR termal görüntülemeyi içeren deneysel teknikleri kullanarak sonlu kenar yarıçaplarına sahip CVD yöntemi ile TiC/TiCN/TiN kaplanmış ve kaplamasız kesici takımlarla, AISI 316L ve AISI 1045 çeliklerinin tornalanmasındaki artık gerilmelerin analizini yapmışlardır. Düşük ilerleme hızlarında büyük kesme kenarı yarıçapına sahip kaplamalı kesici takımlar kullandıklarında daha yüksek yüzeysel artık gerilmeler, daha büyük çekme tabakası kalınlığı ve işlenmiş yüzeyin altından daha yüksek artık gerilmeler ürettiğini gözlemlemişlerdir.

Bunlara ek olarak, Gökkaya vd. [5] AISI 1040 çeliğini; PVD yöntemiyle Al_2O_3 kaplanmış, CVD yöntemiyle üç katlı kaplama uygulanmış (en üstte TiN kaplı) iki farklı sementit karbür takımla torna tezgahında, soğutma sıvısı kullanılmadan işlemişlerdir. Kesme parametrelerinden kesme derinliği sabit tutularak (2.5 mm) beş farklı kesme hızı

(58, 83, 116, 163, 225 m/dk.) ve iki farklı ilerleme (0.24, 0.32 mm/r değerlerinde talaş kaldırma işlemleri gerçekleştirerek bu parametrelerin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Kaplama malzemesi çeşidine göre en iyi yüzey pürüzlülüğü CVD yöntemiyle TiN kaplanmış kesici takımla elde etmişlerdir.

Kumar T. vd. [6] inconel 825 alaşımını işlemek için kullanılan nano yapılı Titanyum Alüminyum Nitrür (TiAlN), Alüminyum Krom Nitrür (AlCrN) ve TiAlN / AlCrN çift katmanlı kaplamalı ve kaplamasız karbür takımların işleme performansını değerlendirmişlerdir. Torna işleminde Taguchi'nin L9 ortogonal deneysel tasarımını, farklı seviyelerde kesme hızı (v), ilerleme hızı (f) ve kesme derinliği (d) gibi işleme parametreleri sabitlemiş. İşleme parametrelerinin etkilerini ve kesme kuvvetine, takım aşınmasına ve yüzey pürüzlülüğüne katkılarını incelemek için Taguchi'nin Yanıt Grafiği, Varyans Analizi ve Gri İlişkisel Analiz kullanmışlardır. Genel olarak, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü analizinde, TiAlN / AlCrN çift tabakalı kaplamalı takımın Inconel 825 alaşımını işlemek için TiAlN, AlCrN kaplamalı ve kaplamasız karbür takımdan daha iyi performans gösterdiğini belirlemişlerdir.

Puneeth vd. [7] kuru işleme koşullarında EN8 malzemesini kaplamasız, TiN kaplı ve TiAlN kaplı hss helisel matkap uçları ile işleyerek gerekli olan takım ömrü ve kesme kuvvetlerini belirlemişlerdir. Takım ömrünü Taylor'un takım ömrü denklemi kullanılarak teorik olarak hesaplamış ve deneysel çalışma ile karşılaştırmışlardır. Deneysel olarak, TiAlN kaplı HSS helisel matkabın (110 delik) TiN kaplamalı HSS helisel matkaba (80 delik) ve kaplamasız HSS helisel matkaba (20 delik) kıyasla daha uzun takım ömrüne sahip olduğu bulmuşlardır. Matkap aleti dinamometresi kullanılarak itme ve tork gibi kesme kuvvetleri bulmuşlardır. 47 kgf'lik ve 90 kgf'lik TiN kaplamalı ve kaplamasız HSS'e kıyasla TiAlN kaplı HSS'de, 126 kgf'lik maksimum itme kuvvetinin geliştiğini belirlemişlerdir.

Ayrıca Vereschaka vd. [8] filtreli katodik vakum ark biriktirme (FCVAD) teknoloji kullanarak kesici takım üzerine çok katmanlı Zr-ZrN-(Zr0.50, Cr0.30, Al0.20)N kaplama yaparak, kaplamalı kesici takımın özelliklerini aratırmışlardır. Kaplama hatası modelini incelemek için çizik testi yöntemini kullanmış, numunelerin mikro ve nano yapılarını incelemek için transmisyon elektron mikroskobu (TEM) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanmışlardır. Özel bir deneysel yöntem ile 450-950 derecede sürtünme katsayısının (COF) moleküler bileşenini belirlemişlerdir. AISI 1045 çeliğinin

tornalayarak kaplamalı kesici takımın ömür parametresinin yaklaşık 2 kat daha yüksek olduğunu gözlemişlerdir (Referans kaplama ZrN). Aynı zamanda incelenen kaplamanın yüksek sertlik ve aşınma direnci ile iyi plastiklik ve gevrek kırılmaya karşı direnç kombinasyonu ile karakterize edildiğini belirlemişlerdir.

Bunların dışında M.Narasimha vd. [9] AISI 1018 çeliğini TiN, TiN/ Al_2O_3, TiC/ Al_2O_3/TiN ve nanokompozit kaplı karbür kesici takımlarla ve kaplamasız karbür kesici takımla aynı şartlar altında işleyip performanslarını karşılaştırmışlardır. Kaplanmış karbür kesici takımların daha üstün aşınma direnci sergilediğini ve daha düşük yüzey pürüzlülüğüne sahip olduğunu belirlemişlerdir. TiC/ Al_2O_3/TiN kaplı kesici takımın en düşük serbest yüzey aşınmasına, TiN kaplı kesici takımın diğer kaplamalı kesici takımlara göre en düşük aşınma direncine sahip olduğunu gözlemlemişlerdir.

C.H.Che Haron vd. [10] ilerleme ve kesme derinliğinin sabit tutarak farklı kesme hızlarında 23 HRC sertliğindeki çelik çubuğu alt katmanı TiCN orta katmanı Al_2O_3 ve üst katmanı TiN olan kaplamalı ve kaplamasız 35'li elmas kesici takımlar ile tornalayarak, kesici takımların aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Kaplamalı kesici takımların, kaplamasız kesici takımlardan üstün olduğunu belirlemişlerdir.

Ayrıca, literatürde bir çok çalışmada kaplamalı kesici takımların kaplamasız kesici takımlarla karşılaştırıldığında daha üstün özelliklere sahip olduğu gözlemlenmiştir [11] [12] [13].

1.2 Tezin Amacı

Boru kesim prosesinde dönel boru kesim bıçağının maruz kaldığı etkiler incelendiğinde aşınma ve kırılma mekanizmaları en fazla ön plana çıkan olumsuz parametrelerdir. Her kesim işleminde bakıra temas eden dönel boru kesim bıçağı aşınmaya maruz kalmaktadır. Aşınmanın dönel boru kesim bıçağının uç radius kısmında oluşturduğu körelme, boru üzerinde çapak oluşumuna ve borunun uç kısımlarında çap küçülmesine (boru ağzının kapanmasına) sebep olmaktadır. Boru kesim prosesi sırasında önemli miktarda oluşan enerji absorbsiyonu ve her kesim başlangıcında kesimi yapılacak olan bakır boruya doğru gerçekleşen dikey bıçak hareketi ile oluşan darbe etkisi, çatlaklarla beraber kırılma mekanizmalarının oluşumuna sebep olmaktadır.

Bu çalışmada, PVD kaplama yöntemi ile uygulanan nitrür kaplamalarla sahip oldukları yüksek aşınma dayanımı ve düşük sürtünme katsayısı özellikleri ile dönel boru kesim

bıçaklarının kullanım ömrünü arttırmak amaçlanmıştır. Dönel boru kesim bıçakları; kaplamasız ve TiN, TiCN, AlTiN kaplanarak deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Hazırlanan kaplamalı ve kaplamasız dönel boru kesim bıçakları ile aynı koşullar altında kesim işlemleri yapılmış, kesim adetleri karşılaştırmalı olarak kayıt altına alınmıştır.

1.3 Hipotez

Yapılan literatür araştırmasında PVD yöntemiyle gerçekleştirilmiş TiN, TiCN, AlTiN kaplamalarının uygulandıkları malzemelerin aşınma dayanımlarını arttırdığı görülmüştür. Bu kapsamda, dönel boru kesim bıçaklarından PVD yöntemiyle TiN, TiCN, AlTiN kaplanarak kaplamalı ve kaplamasız numuneler hazırlanacaktır. Dönel boru kesim bıçağı numuneleri ile deneysel çalışmalarla numuneler kırılana kadar bakır boru kesim işlemi yapılarak, boru kesim adetleri kayıt altına alınacak ve kırılan bıçakların kırılma davranışları tespit edilip, incelenecektir. Kaplamasız ve PVD yöntemi ile kaplanmış numunelerle elde edilen sonuçlar karşılaştırılacaktır.

PVD yöntemiyle uygulanan kaplama malzemelerinden biri veya birkaçının, kaplamasız malzemelere göre aşınma direncinin daha iyi olacağı ve buna bağlı olarak dönel boru kesim bıçağının kullanım ömrünün artacağı düşünülmektedir.

2
AŞINMA MEKANİZMALARI

Aşınma çok farklı şekilde tanımlanabilir. Aşınma, farklı malzemelerin birbirleriyle temas etmesiyle oluşan, mekanik etkileşimler sonucu malzeme yüzeyinden farklı boyutlarda parçaların ayrılmasına sebep olan, malzeme yüzeyinde oluşan bozulmalar olarak adlandırılır. [14]. Başka bir tanımlama olarak, birbirleri ile etkileşimde olan ve aralarında bağıl hareket yapan sürtünme durumundaki malzemelerin yüzeylerinden sürtünme ile oluşan ve istenilmeyen malzeme kayıplarıdır. Bu durum makine elemanlarının aşınmasına ve giderek fonksiyonlarının etkisinin kaybolmasına hatta yerine getiremez duruma getirir. DIN 50320 ve ASTM G40 93 standartlarında aşınma; " Malzemelerin başka malzemelerle temas etmesi sonucunda mekanik etkileşimlerle beraber yüzeyden parçacıkların ayrılması ile oluşan ve istenmeyen yüzey bozulması" şeklinde tanımlanır. Aşınma iki şekilde incelenebilir, oluşum hızına göre zamanla gelişim gösteren ve oluşum hızına göre aniden oluşan aşınma olarak.

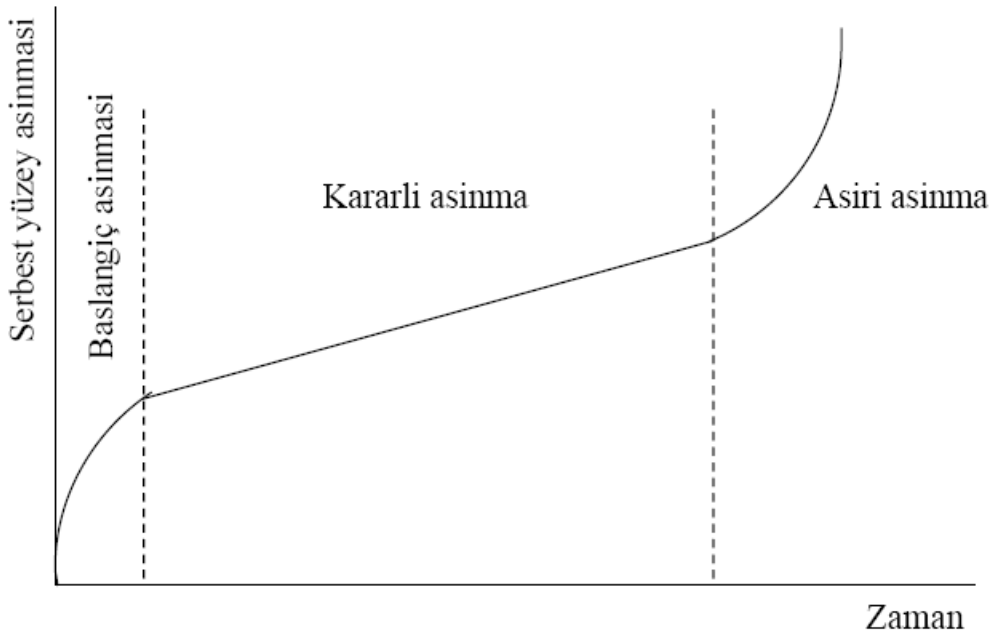
Zamana bağlı olarak oluşan aşınmada makine elemanın aşınması üç aşamada gerçekleşir ve normal çalışma ömrünü tamamlar. Zamana bağlı oluşan aşınmanın kademeleri şu şekildedir:

Başlangıç (rodaj) aşınması: zamana bağlı oluşan aşınmanın ilk safhası makine elemanlarının alışma safhasıdır. Bu aşamada aşınma şiddetli ve hızlı bir şekilde oluşur. Oluşan bu ilk aşınmaya rodaj aşınması denir. Makine elemanlarının ömürlerinin uzun olması için rodaj aşınmasının en az yükle, en kısa zamanda ve normal hızdan daha düşük hızlarla tamamlanması gerekir. Rodaj için özel olarak üretilmiş katkılı yağlayıcılar bu amaçla kullanılabilir.

Asıl aşınma safhası: Makine elamanlarının ömrünün belirlenmesini sağlayan asıl aşınma safhasıdır. Rodajdan sonraki aşınmadır. Bu aşamada aşınma hızı çok azdır. Makine elemanlarının ömür uzunluğunu belirleyen aşınma safhasıdır.

Aşırı aşınma safhası: makine elemanı önceden belirlenen bir aşınma sınırına kadar aşındığı zaman normal çalışma ömrünü tamamlamış demektir. Bu aşınma safhasında aşınma hızı oldukça artmıştır ve makine elemanı değiştirilmelidir.

Aniden meydana gelen aşınma, parçalar üzerinde olaydan önce herhangi bir aşınma yokken; yanlış malzeme seçimi, yağlamanın uygun yapılamaması, sürtünme dolayısıyla meydana çıkan ısıl enerjinin dış ortama aktarılamaması gibi sebeplerden dolayı aşınmanın aniden ortaya çıkmasıdır. Birbiriyle eş çalışan makine elemanları bu durumda kilitlenebilirler ve çalışamaz duruma gelirler. Yatak sarması bu olaya örnek gösterilebilir.

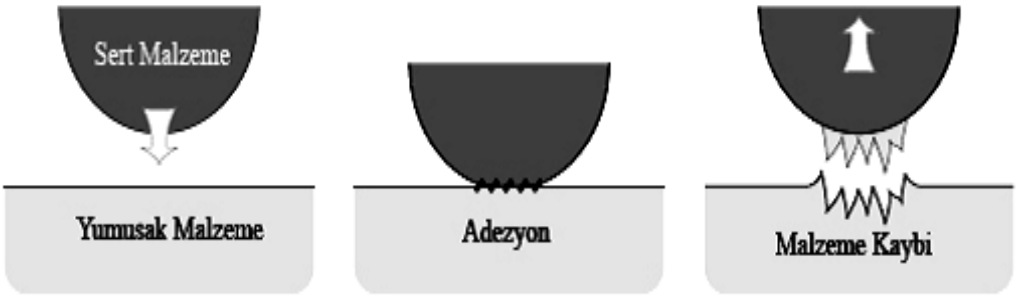


Şekil 2.1 Aşınma safhaları [14]

2.1 Adhezif Aşınma

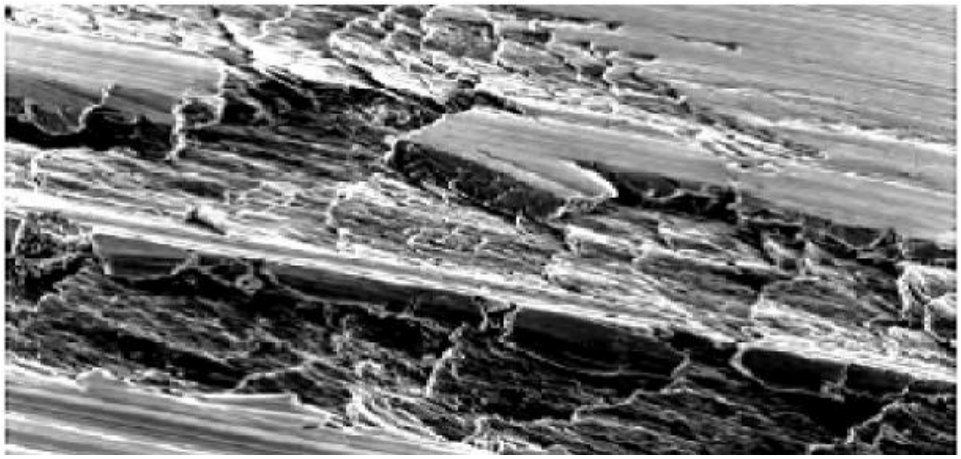
Adhezif aşınma, yüksek aşınma oranlarına sahiptir ve bu durum sürtünme katsayısında kararsızlıklar oluşturur [15]. Kayan mekanizmalarda adezyon aşınması çok hızlı bir şekilde meydana gelir. Birbirine temas eden yüzeylerdeki temas alanları çok küçük olduğundan bu noktalarda çok yüksek basınçlar oluşmaktadır. Bu yüksek basınç nedeniyle temas noktalarında malzemeler akma sınırına ulaşır ve bölgesel mikro kaynaklar oluşur. Bu sırada iki cisim arasında devam eden bağıl hareket sonucu kaynak bağı kopar ve sonuçta cismin birinden malzeme eksilmesi oluşur. Bu malzeme kaybı adezyon aşınmasını oluşturur. Malzeme çiftleri arasında özellikle metalik malzemelerde büyük adezyon aşınmaları meydana gelir. Yapılan bazı aşınma testleri sonucu, çeşitli metal kombinasyonlarında adhezif aşınmanın malzeme çiftinde akış olarak yumuşak malzemeden sert malzemeye doğru olduğunu göstermektedir. Bu akış yönü sonucunda

yumuşak malzeme yüzeyinden kopan parçaların bir kısmı sert malzemeye transfer olurken, bir kısmı sürtünme yüzeyinde kalarak yüzeyleri aşındırır.



Şekil 2.2 Adezyon sırasındaki metal transferi [15]

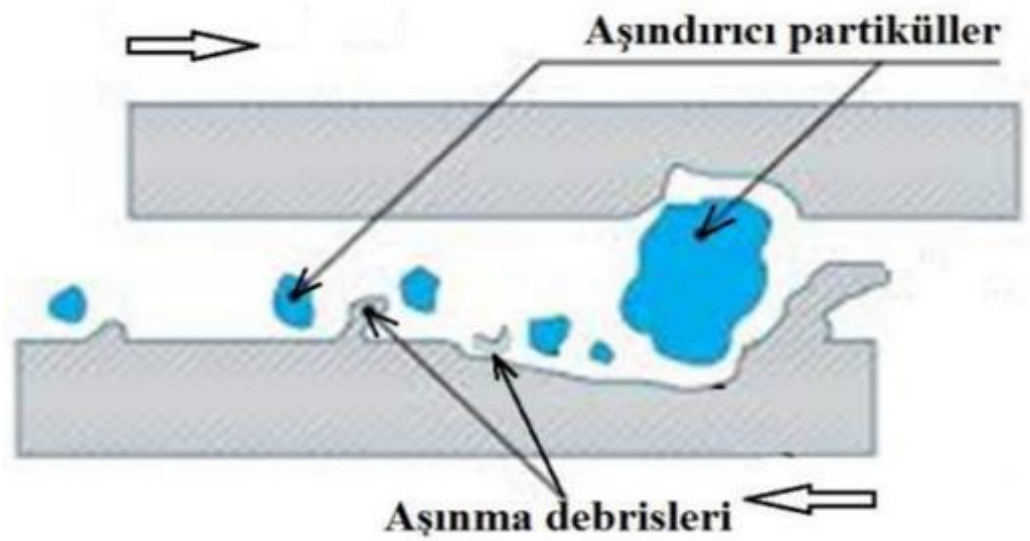
Adezyon aşınmasının önüne geçmek için malzeme diğer mühendislik özelliklerinden taviz verilmeyecek şekilde mümkün olduğunca sert olması gerekir. Sert metallerin genelde çok zor plastik davranış göstermesi ve düşük sürtünme katsayısına sahiptir. Adezyon aşınması benzer veya kolay alaşım yapabilen malzemeler arasında meydana gelmektedir. Bu sebeple malzeme çiftlerinden birisi sert ise, diğeri yumuşak olacak şekilde seçilmelidir. Yüzey topografyasının iyileştirilmesi, temas yüzeyinin arttırılarak yüzey basınçlarının düşürülmesi ve yüzeyin güçlendirilmesi adezyon aşınmasını azaltmaktadır. Ayrıca yüzeyler üzerinde bulunan yağ tabakasıda adezyonu büyük ölçüde önlemektedir. Adezyon aşınmasını yüzeylerdeki görünümü, çizikler şeklinde veya yüzeylerde parlatma yapılmış şekilde görünmektedir.



Şekil 2.3 Malzeme yüzeyindeki adezyon çizikleri [15]

2.2 Abrasif Aşınma

Abrasif aşınma, çizilme ve yırtılma aşınması olarak da adlandırılır. Etkileşim içerisinde olan malzeme çiftlerinde yüksek oranda hızlı bir şekilde hasar oluşturma durumu olan önemli aşınma türlerindendir [16]. Abrasif aşınma, iki malzemelerin sürtünmesi sırasında sertliği yüksek olan malzemenin diğer malzemenin yüzeyini çizerek, temas sırasında kaymaya sebep olur (Şekil 2.4). Başka bir ifade ile sertliği yüksek olan malzemenin diğer malzemenin üzerinden sürtünme esnasında oluşturduğu kuvvetle, daha az sert olan malzemenin yüzeyini çizip, bu malzemenin üzerinden talaş kaldırma durumu olarak tanımlanır. Olumsuz çalışma koşullarından kaynaklı, yatak malzemelerinin içine giren talaş parçacıklarının sebep olduğu aşınma örnek olarak gösterilebilir. Yırtılma veya çizilme aşınması olarak da adlandırılan abrasif aşınma, hızlı şekilde gelişir, aşınma hızı yüksektir, etkisini anında gösterdiği için sistem hasarına sebep olma ihtimali yüksek bir aşınma türüdür. İki veya üç elemanlı olacak şekilde meydana gelebilir. Abrasif aşınma, iki malzemenin direk birbirine sürtünmesiyle meydana geliyor ise iki elemanlı olarak, iki cismin sürtünmesi esnasında, ara yüzeylerinde sert taneciklerin (malzemeleri sürtünme sırasında çizip tahrip edecek) bulunması ile oluşuyor ise üç elemanlı olarak meydana gelir. Dışarıdan sürtünme alanına girebilecek veya aşınma sonucu malzemelerden kopan parçacıklar üçüncü elaman olarak adlandırılabilir.



Şekil 2.4 Abrasiv aşınma mekanizması [16]

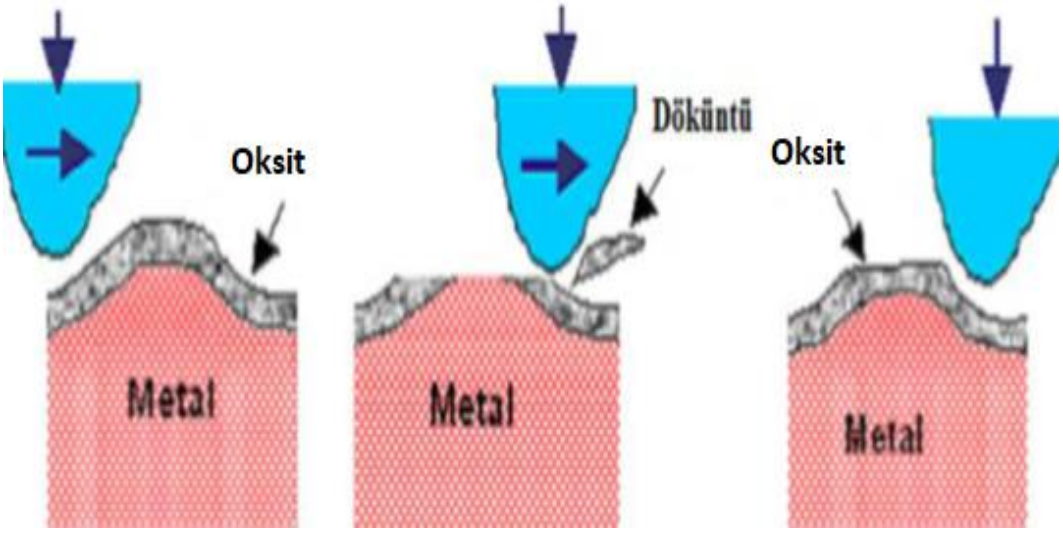
2.3 Korozyon Aşınması

Bu aşınma çeşidi kaymanın korozif bir ortam içinde olması durumunda gerçekleşir [17]. Korozif ortam malzeme yüzeyinde bir film tabakası oluşturur. Bu film genellikle ana malzemeye göre daha gevrek olduğundan kırılma olasılığı yüksektir. Kayma etkisi ile gevrek olan korozyon ürünü kırılıp, malzeme yüzeyinden uzaklaştırılmış ve yeni malzeme yüzeyi ortamdaki korozif etkiye maruz bırakılmış olur. Böylece devamlı bir şekilde malzeme kaybı gerçekleşir.

Korozyon aşınması, mekanik etkenler ile çevrenin kimyasal etkileri ile ortaya çıkar. Sert parçacıklar halinde malzemeden kopan korozyon ürünlerinden kaynaklı şiddetli aşınma meydana gelir.

Korozyon aşınmasının gerçekleşmesinde en etkili faktör paslanmadır [18]. Oksit oluşumundan malzemeleri korumak amacıyla sülfit ve fosfat kaplama veya oksit oluşumu engelleyen özel yağlar kullanılmalıdır. Bunlarla beraber reaksiyona girmeyecek alasım malzeme seçimi de yapılabilir.

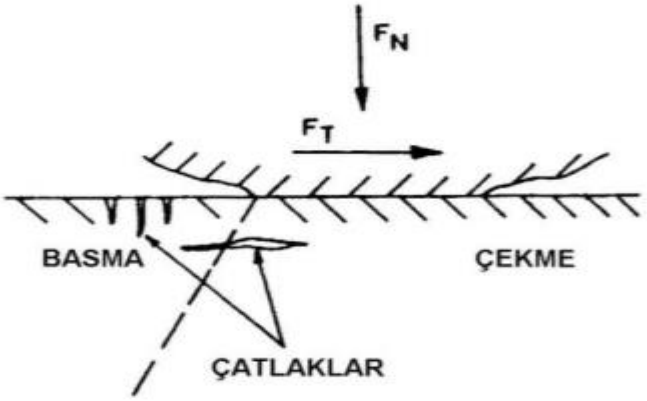
Korozyon aşınma sürecinin şeması Şekil 2.5'te gösterilmektedir [16]. Aşınmanın ilk aşamasında, metal yüzeyler üzerinde bulunan oksit tabakası ile yüksek sertliğe sahip pürüzlü yüzeyin sürtünmesi ile bu oksit tabakası aşınarak yok olur. Bunun sonucunda altta bulunan metal ortaya çıkar. Ortaya çıkan bu metal oksijenle hızlı bir şekilde reaksiyona girer ve yeni bir oksit tabakası oluşturur.



Şekil 2.5 Korozyon aşınma süreci şeması [16]

2.4 Yorulma Aşınması

Tekrarlı yüklemeler ile yüzeyde veya yüzeyin altında oluşan çatlakların belirli devir sayısından sonra büyük parçalar halinde kopması neticesinde oluşan aşınma türü yorulma aşınması olarak adlandırılır [19]. Devir sayısının kritik noktasına kadar, abrasif ve adhezif aşınmaların aksine önemli oranda aşınma gözlenmez. Bu nedenle yüzeyden kaldırılan malzeme miktarı değil, aşınmanın oluşmaya başladığı zamana kadar geçen devir ve süre yorulma aşınması için kritik olan parametrelerdir. Şekil 2.6'da yüzey altında başlayan ve gerçekleşen çatlaklar sonucu oluşan yorulmalı aşınma mekanizması şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Yorulmalı aşınma [19]

Mikro çatlak oluşum hızının düşürülmesi veya durdurulması yorulma aşınmasını engelleyebilir. Çatlak oluşumunun azaltılması için malzeme sertliğinin arttılması düşünülebilir. Bunlarla beraber tokluğun artırılması da çatlak büyüme hızını azaltan faktörler arasında gösterilebilir. Fakat malzemenin hem tokluğunun hem de sertliğini arttırmak tek bir mikro yapıda malzemeler için pek mümkün değildir. Sertlik artışı için ikinci bir fazın eklenmesi çatlak oluşumunu daha kolay gerçekleşebilecek duruma getirir. Bu nedenle ikinci fazı çok küçük yaparak onun çatlak oluşum bölgeleri meydana getirmeyeceği şekilde sertlik arttırılmalıdır.

Aşınma direncini artırmanın diğer bir yolu ise yüzeyi çok sert kaplamalar ile kaplamak veya malzemeyi, yüzeyinde plastik deformasyon gerçekleşmeyecek bir yüzey işleminden geçirmektir.

3
SERT KAPLAMALAR

Malzemenin kendi dışındaki bölgelerle temasta olan bölümü veya çevresiyle olan sınırı olarak tanımlanan kısmına yüzey denir [20]. Başka bir ifade ile yüzey, maddenin geometrisini oluşturan, maddeyi çevreleyen bir tabaka olarak tanımlanabilir. Malzemelerin tüm etkileşimi yüzey üzerinden meydana gelir. Yüzey tarafından belirlenen birçok özellik bu etkileşimden dolayı malzemenin tümüne mâl olur. Aşağıda listelenmiş özellikler malzeme yüzeyinin değiştirilmesi ile belirlenebilecek malzeme özelliklerine örnektir.

- Malzemenin aşınma ve sürtünme özelliği
- Korozyon davranışları
- Yorulma özelliği
- Malzeme rengi ve dış görünümü
- Yansıtma katsayısı gibi optik özellikleri
- Fotoelektrik özellikleri (ışığa reaksiyonları)
- Farklı bir madde ile difüzyon özellikleri
- Yapışma özelliği
- Elektrik kontak özelliği
- Isıl elektron emisyonu özelliği

Sert kaplamalar hem CVD hem de PVD teknikleri yardımıyla gerek laboratuvar ölçekli gerek endüstriyel ölçekli olarak yaygın bir şekilde üretilmektedir. İşlem sıcaklığı açısından, PVD ile oda sıcaklığı ile 500 ℃ arasındaki sıcaklıklarda gerçekleştirilebilen kaplama işlemi, CVD işlemlerinde gerekli reaksiyon oluşumları için 1000 ℃ gibi yüksek çalışma sıcaklıklarında yapılma zorunluluğu görülmektedir. PVD tekniğinin avantajı sayesinde, yüksek sıcaklığa karşı hassas malzemeler kolaylıkla kaplanabilmektedir. Geçiş metallerinin nitrür, borür ve karbürlerinden elde edilen en yaygın kaplama malzemeleri olarak TiN, TiC, CrN vb. (Ti, Al)N, (Ti,Zr)N, (Ti,Al)(N,C) sayılabilir. Karbon esaslı, elmas, elmas benzeri karbon ve metal-karbon türü kaplamalar içinde sert malzeme gurubu olarak söz edilebilir.

Tablo 3.1 Sert malzemelerin gruplandırılması [20]

Bağ Çeşidi	Malzeme Grubu	Sertlik
Sert Metalik Malzemeler	Nitrürler, Karbürler ve Borürler (Geçiş Metalleri)	Ortadan ↓ Yükseğe
Sert İyonik Malzemeler	Zr, Al, Ti Oksitleri	
Sert Kovalent Malzemeler	Si, B Nitrür, Karbür ve Borürleri	

Sert kaplamalar tribolojik uygulamalarda sürtünme ve aşınmayı azaltma amaçlı yapılan çalışmalarda günümüzde yaygın olarak kullanılır. Aşınmaya karşı sahip oldukları direncin yanında çekici görüntüleri nedeniyle dekoratif amaçlıda kullanılmaktadırlar.

3.1 Karbürler

Karbürler, karbonun bazı geçiş metalleri ile kovelent ve iyonik bağ yapması sonucunda oluşur. Sertlik değerleri (10-25GPa) çok yüksek olan seramik bileşiklerdir [21]. Aşınma ömürlerinde artışı sağlamak amacıyla uygulanır. Üretim yöntemlerine, iyon kaplama CVD yöntemi ve sıçratma yöntemi örnek verilebilir. En yaygın kullanılan seramik karbür kaplamaya TiC örnek olarak verilebilir. Aşınma dayanımları dolayısıyla ömür artışı sağladığından rulmanlar üzerine, çelikler üzerine ve rulman yatakları üzerine uygulanırlar. Kullanım yeri olarak nükleer füzyon reaktörlerinde kullanılan cidar malzemesi örnek verilebilir.

3.2 Nitrürler

Çok geniş bir birleşik ailesine sahip olan nitrürler, sert kaplama olarak adlandırılırken, aşınmaya dirençli, yüksek sıcaklığa dayanıklı azot bileşikleri olarak akla gelirler. Periyodik tabloda demirin sol yanında bulunan geçiş metalleri ile azotun kovalent ve

iyonik bağlanması sonucunda oluşan CrN, TiCN, TiAlN, TiN, ZrN, TiZrN ve TiCrN gibi seramik birleşikler olarak görülür. Genellikle PVD yöntemiyle üretilen TiN, parlak altın rengindedir. Düşük sürtünme ve aşınma davranışı sergiler ve kimyasal olarak son derece kararlıdırlar. Korozyon dirençleri oldukça yüksek olan kaplamalardır. Kullanım yerlerine kesme takımları, yatak ve kayma elemanları örnek verilebilir. TiCN, TiN'e göre yüksek hız gerektiren uygulamalarda abrazyon aşınmasına daha çok dayanıklıdır. TiAlN, TiCN ile benzer özellikler göstermesinin yanında yüksek sıcaklığa (800°C) daha dayanıklı olması ile bilinir. CrN, tok ve korozyona direnci yüksek olan kaplamadır. Biyo alanda kullanımı açısından ZrN daha etkilidir, tıbbi aletlerde kullanılır. TiCrN, TiAlN ile benzer özelliklere sahiptir. Aynı çalışma şartlarında daha iyi etkinliği vardır.

3.2.1 Titanyum Nitrür (TiN) Kaplama

Dünyada aşınmaya karşı yapılan kaplamaların başında TiN gelmektedir. TiN, mükemmel tribolojik özellikleri nedeniyle, araştırmacıların büyük ölçüde ilgisini çekmiş ve tribolojik açıdan üzerinde en fazla araştırma yapılan ince ve sert kaplama olmuştur [15]. Son 10 yıldır TiN kaplamaların tribolojisi üzerinde detaylı ve sistematik analizler yapılabilmiş, ilk kez CVD metodu ile üretilmiş ve günümüzde ise PVD metodu ile üretimi hız kazanmıştır. Yüksek sertlik, düşük sürtünme katsayısı ve yüksek korozyon direncine sahip olan TiN kaplamlara genellikle 1 – 5 μm kalınlık aralığında, kesici takımlardan dekoratif uygulamalara kadar pek çok alanda rastlamak mümkündür. TiN kaplamların tribolojik açıdan uygunluğu; taban malzemesine yapışması ve aşınma direnci ile belirtilir. TiN kaplama bilinen en eski ve kullanımı yaygın olan kaplama türüdür. Metaller, metal işleme, kesme kalıplarında, çeliklerde, aşınmaya maruz parçalarda, tıbbi ve dekoratif parçalarda uygulanan kaplama türüdür. Kaplanan parçaların ömründe 3 ila 30 kata kadar iyileşme sağlayan TiN kaplaması; frezerlerde, matkap uçlarında, kesici bıçaklarda, kesme kalıplarında, bükme kalıplarında, zımbalarda ve birçok takım ve kalıpta kullanılmaktadır

TiN kaplamaların avantajları şu şekilde özetlenebilir:

- Sahip olduğu yüksek sertlik özelliği ve ısıl geçirgenlik seviyesinin düşük olması sayesinde; talaştan takıma doğru olan ısı transferini engeller. Bu sayede takımın ısınarak, yumuşamasını önlemiş olur. Krater oluşumunu ve serbest yüzey aşınmasını minimuma indirir. Bu özellikleri sebebi ile ilerleme ve kesme hızlarında %20'ye kadar artış yapılabilir.

- Kayganlık özelliği ve sahip olduğu kimyasal stabilite sayesinde iş parçasına yapışmaz. Talaş kaldırma sırasında uç birikintilerinin çoğalmasını engelleyerek iş parçası yüzeyinin temiz olmasını sağlar.
- Sahip olduğu düşük sürtünme katsayısı ile kesme ve sürtünme kuvvetlerini azaltır. Bu sayede takımın ısınmasını önler ve plastik deformasyonu geciktirmiş olur.
- İş parçası ile kimyasal reaksiyonlara girmemesi iş parça çalışma yüzeylerinin daha fazla aktif kalmasını sağlar.



Şekil 3.1 Titanyum nitrür kaplama örnekleri [22]

3.2.2 Titanyum Karbonitrür (TiCN) Kaplama

Metal nitrür yapıya karbon eklendiğinde sertliği yükselir [23]. Bu nedenle değişik uygulamalarda karbonitrür sert seramik filmler bağları ile kullanılırlar. Bunların başında TiCN sert seramik filmler gelmektedir. Bu tabakalar karbon içeren gazların kaplama sırasında azot gazı ile vakum ortamına gönderilmesi ile elde edilirler. C/N oranı tabakanın özelliğini belirler. TiCN sert seramik filmlerin sertlikleri 3500 HV değerine kadar çıkar. Yüzey pürüzlülükleri ve sürtünme katsayıları TiN'e göre daha düşüktür. Bu avantajlarına karşın, ısıl iletkenliklerinin TiN'e ve (TiAl)N'e göre daha yüksek olması dezavantajdır. Yüksek sertlik [15] ve düşük sürtünme katsayısına sahip olan TiCN kaplamalar mavi – gri renkte bir kaplamadır. Kılavuzlar, zımbalar ve freze bıçakları gibi orta seviyede kesme sıcaklıklarında yapılan talaş kaldırmada tercih edilir. Kısa talaş veren sert malzemelerin talaşlı imalatında iyi sonuç verir. TiCN kaplamalar ek katlı veya çok katlı olarak uygulanabilir. Özellikle çok katlı TiCN kaplama uygulamaları hem yüksek sertlik hem de yüksek tokluk özelliğini bir arada taşıdığından daha yüksek darbe ve aşınma dayanımına sahiptir.



Şekil 3.2 Titanyum karbonitrür kaplama örnekler [24]

3.2.3 Krom Nitrür (CrN) Kaplama

Çalışma ortamında abrasif etkiler yüksek derecede etkili ise kaplama kalınlığı daha fazla önem kazanır. Metal enjeksiyon, plastik, tekstil gibi endüstrilerde abrasif aşınma etkisi yüksektir [25]. TiN kaplamada iç gerilmeler 5mm kalınlıktan sonra artar. Bu yüzden TiN kaplama kalınlıkları maksimum 5-7 mm kalınlık değerine kadar yapılır. Bu durum CrN kaplamalarda farklıdır. CrN kaplamada iç gerilmeler düşüktür ve kaplama kalınlığı 10 mm kalınlığa kadar yapılabilmektedir. CrN kaplamasının yüzey kalitesi ve yüzey pürüzlülüğü TiN kaplamaya göre daha iyidir. Çalışma stabilizesini 700 °C kadar olan sıcaklıklarında dahi korur. TiN kaplamaya göre daha yüksek kimyasal stabilize sergiler. Asidik ve bazik çalışma ortamlarında çözülme durumu oluşmaz. Tutunma mukavemetleri düşük sıcaklıklarda TiN kaplamasına göre daha düşüktür. Korozyon direnci anlamında TiN kaplamaya göre daha iyi performans sergilerler. Tablo 3.2.' de CrN kaplamanın özelliklerini ve Tablo 3.3. de CrN kaplamanın performans ve kullanım yerleri gösterilmektedir.

Tablo 3.2 Krom nitrür kaplamanın özellikleri [25]

Sertlik	2800±200HV
Kalınlık	4±0.5µm
Kaplama Sıcaklığı	200-500℃
Oksidasyon Sıcaklığı	700℃
Renk	Gümüş



Şekil 3.3 Krom nitrür kaplama örnekler [26]

Tablo 3.3 Krom nitrür kaplamaların kullanım alanları ve performansları [25]

Takım veya Kalıp	**Takım veya Kalıp Çeliği**	**İş Parçası**	**Kaplamasız Sonuç**	**Kaplamalı Sonuç**
Metal Enjeksiyon kalıbı	DIN 1.2365	Alüminyum	800 baskı	2700 baskı
Metal Enjeksiyon kalıbı	DIN 1.2365	Alüminyum	Kaplama ile yapışma önlendi	
Kalibrasyon Zımbası	DIN 1.2080	Döküm	20 Civarında	2500 Civarında
Kâğıt Kesme Bıçağı	DIN 1.2080	PVC	15 Kat ömür artışı	
Kâğıt Kesme Bıçağı	DIN 1.2080	Karton	4 Kat ömür artışı	
Planya Bıçağı	DIN 1.2080	Ağaç	4 kat ömür artışı	
Derin Sıvama Kalıbı	DIN 1.2080	DKP Sac	20 kat ömür artışı	
Sıvama Kalıbı	DIN 1.2080	DKP Sac	15 kat ömür artışı	
Sıvama ve Form Kalıbı	DIN 1.770	Boru	Kaplama ile sarma ve çizik önlendi, kalıp ömrü 20 kat arttı	

3.2.4 Zirkonyum Nitrür (ZrN) Kaplama

Diğer PVD kaplamalar ile karılaştırıldığında sahip olduğu düşük sürtünme katsayı değeri ve yüksek sertliğe rağmen kötü bir adhezyon mukavemeti özelliği nedeniyle, ZrN kaplamalar endüstriyel alanda yaygın bir uygulama alanına sahip olamamıştır [25]. Kullanım alanlarına baktığımızda, alüminyum, bakır, bronz, pirinç vb. gibi demir dışı yumuşak metallerin kesilmesi ve talaşlı şekillendirilmesi ile sınırlıdır.



Şekil 3.4 Zirkonyum nitrür kaplama örnekler [15]

Özellik olarak TiN kaplama ile benzer özelliklere sahiptir [15]. Rengi TiN kaplamaya göre daha açık olduğundan dekoratif amaçlı olarak tercih edilir. Cerrahi alanda, tıbbi implantlarda özellikle tercih edilirler. Bunun nedeni, insan vücud yapışa biyolojik olarak en uygun kaplama olmasıdır.

Tablo 3.4 Zirkonyum nitrür kaplamanın özellikleri [15]

Kimyasal Bileşimi	ZrN
Sertlik	2800±200HV
Oksidasyon Sıcaklığı	600°C
Sürtünme Katsayısı	0,61
Yüzey Pürüzlülüğü (Ra, µm)	0,2µm
Kalınlık (µm)	2-3
Renk	Açık Sarı

3.2.5 Alüminyum Titanyum Nitrür (AlTiN) Kaplama

Özellikle yüksek sıcaklıkta çalışan takım ve kalıplar için AlTiN kaplama önerilir [27]. Sahip olduğu yüksek ısıl iletkenliği ve kimyasal kararlılığı sayesinde, kesici takım ucunda oluşan ısıyı talaşlara aktarır. Bu özelliği ile daha yüksek hızlarda çalışma durumu sağlar. Hızlı üretim, daha az bakım, bileme ve ayar süresinde azalma sağlayarak üretimin daha verimli olmasını sağlar. Ayrıca parça kullanım ömrü uzamış olur.

Özellikler

- Oksitlenme direnci yüksek (800°C)
- Sıcaklık sertliği yükseltilmiş
- Kimyasal etkilere karşı dirençli
- İletkenlik katsayısı düşük

Faydaları

- Kesme hızı yüksek
- Takım ömrü uzun
- Yüzey Kalitesi iyi
- Soğutma gerektirmez

Tablo 3.5 Alüminyum titanyum nitrür kaplamanın özellikleri [27]

Sertlik	3300±300 HV
En Yüksek Çalışma Sıcaklığı	800 ℃
Sürtünme Katsayısı	0.7
Kaplama Kalınlığı	1-3 µm
Renk	Siyahımsı gri

3.3 Oksitler

Alüminyumun, silisyumun ve bazı geçiş metallerinin oksijen ile yaptığı kovalent ve iyonik bağlar sonucu oluşur. Yüksek korozyon ve abrazyon aşınma direncine sahiplerdir. Yüksek sertliğe (750-2100 HV) sahip Al_2O_3 ve TiO_2 bu seramik malzemelere örnek olarak gösterilebilir [21]. PVD, CVD, kimyasal ve elektrokimyasal gibi birçok farklı şekilde üretilebilmektedirler. Metaller, sermetler ve seramikler üzerine uygulanırlar. Alümina kaplamasının uygulama teknikleri; plazma püskürtme, sıçratma, buharlaştırma,ve CVD yöntemidir. Titanya kaplaması, yarıiletken bir malzeme olup, sahip olduğu hidrofobik, antibakteriyal ve kendi kendini temizleme özellikleri nedeniyle son zamanlarda ilgi odağı halin gelmiştir. Oda sıcaklığı ve yüksek sıcaklıklarda meydana gelen aşınma uygulamalarında, plazmayla püskürtme yöntemi kullanılarak üretilen alümina ve alümina-titanya kaplamalar kullanılır. Kaplamalar sıçratma yöntemi ile üretilmiş ise aşınmaya direnç yüksek ve yalıtkan malzeme olarak kullanılır. Kaplamalar CVD yöntemi ile kaplanmışlarsa üzerlerine TiN ve TiC kaplamak suretiyle çok tabakalı kaplamalar olarak kullanılır.

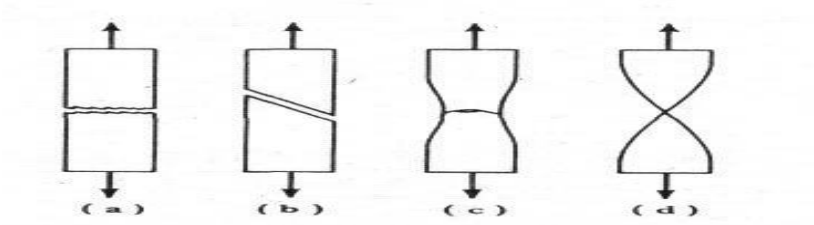
3.4 Elmas ve DLC

Elmas, karbonun bir allotropudur ve her karbon atomu kendisini çevreleyen dört karbon atomuyla kovalent olarak bağlıdır [21]. Dörtyüzlü olan bu karbon-karbon bağları, çok yüksek sertlik (70-100GPa), inertlik özelliği, geniş bant genişliği olan yarı iletken, yüksek dielektrik sabiti, yüksek ısıl iletkenlik, yüksek yoğunluk ve optik saydamlık özellikleri sağlar. Elmas doğada bulunan en sert malzeme olarak bilinir. Elmas benzeri (DLC) kaplamalar ise, elmas ile grafitik fazlarının birlikte oluşturduğu amorf bir yapıyı temsil eder. Bu yapının içinde elmas miktarı arttıkça yapının sertliği artar. Yapının içerisindeki grafit miktarı arttıkça da katı yağlama özelliği iyileşmektedir. Kaplama parametreleri ve uygulanan kaplama işleminin türüne göre DLC kaplamaların özellikleri ve yapısı değişkenlik gösterir. DLC kaplamanın özelliklerini iyileştirmek amacıyla son yıllarda DLC kaplamanın içine silisyum hidrojen, azot ve titanyum gibi farklı element atomları ilave edilmektedir.

4
KIRILMA DAVRANIŞLARI

Kırılma, malzeme içerisindeki mevcut veya sonradan oluşan çatlakların malzemeye uygulanan gerilmeler ile ilerleyerek bu malzemenin iki veya daha fazla parçaya ayrılma durumudur [28]. Çatlamanın başlaması ve oluşan çatlağın ilerlemesi olarak iki aşamada incelenebilir. Çatlak ilerlemesi kararsız veya kararlı bir şekilde olabilir. Kararlı çatlak oluşumlarında, çatlak boyunu belirli bir miktar arttırmak istenirse, uygulanan yükünde belirli bir oranda arttırılması gerekir. Kararsız çatlak oluşumunda yükleme sistemi durumundan dolayı çatlak yükün arttırılmasına gerek kalmadan hızla ilerleyebilir. Kararlı bir şekilde gelişen çatlak belirli bir uzunluğa ulaştıktan sonra kararsız hale gelebilir.

Katı bir cismin gerilmeler altında iki veya daha çok parçaya ayrılması olayı kırılma olarak adlandırılır ve genellikle gevrek ve sünek olarak ikiye ayrılır [29]. Sünek kırılma, çatlağın oluşması ve büyümesinde önemli ölçüde kalıcı şekil değiştirmenin görüldüğü kırılma türüdür. Çatlak, boşlukların oluşması ve birleşmesiyle meydana gelir ve yavaş yavaş ilerler. Kırılma yüzeyi mat ve lifli bir görünümdedir. Gevrek kırılmada ise çatlak büyük bir hızla ilerler ve kalıcı şekil değişimi önemsiz düzeyde olur. Ayrılmalar çok taneli bir yapıda her tanenin en düşük kohezyon dayanımlı kristallografik düzleminde oluşur ve kırılma yüzeyi parlak ve taneli bir görünümdedir. Gevrek kırılmanın diğer bir türü de taneler arası kırılmadır ve tane sınırlarının kırılgan bir yapıda olması halinde görülür. Şekil 4.1'de verilen şekilde (a) şekli çok kristalli metallerde gevrek kırılmaya, (b) şekli sünek tek kristallerde kayma kırılmasına, (c) şekli çok kristalli metallerde sünek çanak-koni tipi kırılma tipine, (d) şekli ise çok kristalli metallerde tam sünek kırılma (kesit daralması %100) tipine örnektir.

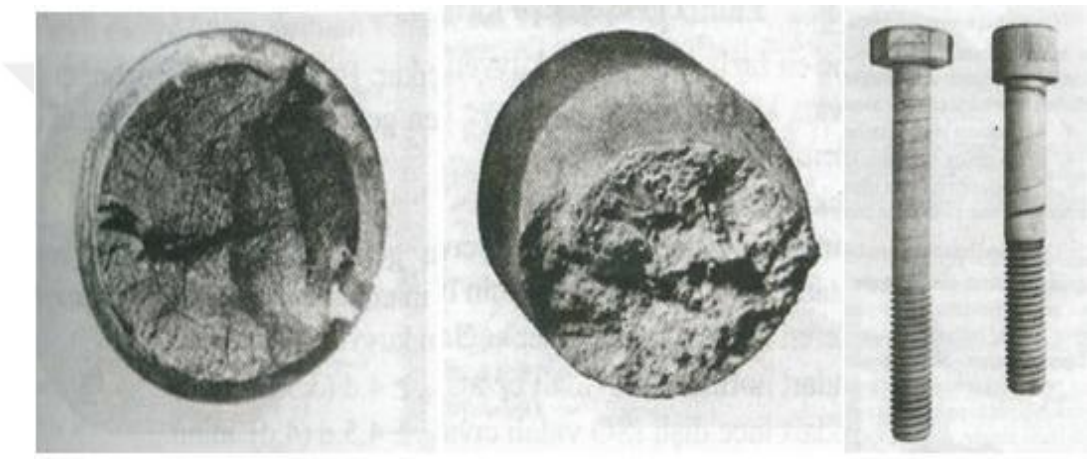


Şekil 4.1 Kırılma örnekleri [28]

4.1 Gevrek Kırılma

Malzemenin hiç veya çok az plastik şekil değiştirdikten sonra kırılıp iki veya daha çok parçaya ayrılmasına gevrek kırılma denir [28]. Bu ayrılma türü çekme deneyinde daha çok ayrılma düzlemleri boyunca oluşur. Normal gerilmenin maksimum seviyesinde kristal düzlemler boyunca oluşur.

Çekmeye maruz bırakılan bir gevrek kırılma, çekme gerilmesine diktir. Çatlağın ilerlemesi sırasında ayrılma düzlemlerinin doğrultusu farklı olduğundan kırılma yüzeyi parlak bir görünüme sahiptir. Gevrek kırılmayı tetikleyen ve hızlandıran faktörler arasında düşük sıcaklık ve yüksek şekil değiştirme hızı gösterilebilir.

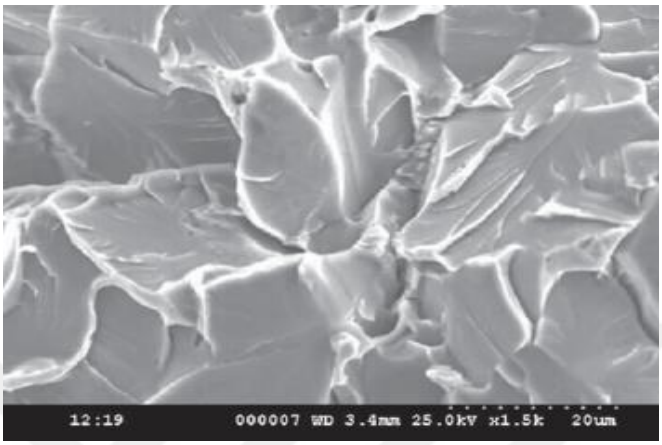


Şekil 4.2 Gevrek kırılma [28]

Nispeten küçük veya ihmal edilebilir miktarda plastik gerinim ile kırılan metaller, gevrek kırılma sergiler. Gevrek kırılmada, çatlaklar hızla yayılır [30]. Gevrek kırılma, bölünme (belirli düzlemler boyunca ayrılma) sonucunda oluşur. Sünek kırılma, gevrek kırılmadan daha iyidir, çünkü sünek kırılma belirli bir süre boyunca meydana gelirken, gevrek kırılma hızlıdır ve sünek bir kırılmadan daha düşük stres seviyelerinde (kusurlarla) meydana gelebilir. Gevrek yarılma kırığı, bu modülde en çok endişe duyulan şeydir. Gevrek yarılma kırılması, yüksek gerinim-sertleşme oranı ve nispeten düşük yarılma mukavemeti veya çok eksenli gerilime karşı büyük duyarlılığı olan malzemelerde meydana gelir.

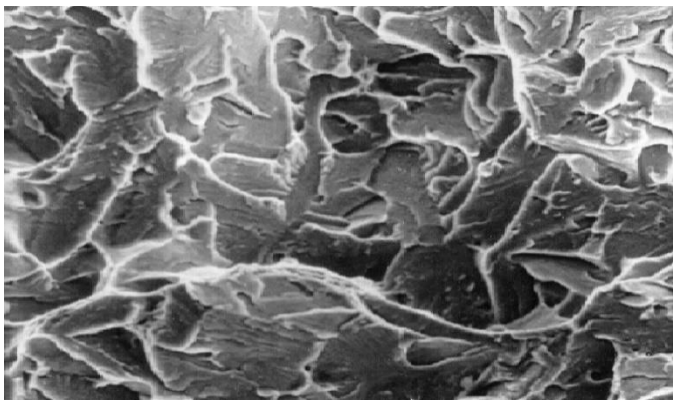
Bazı koşullar altında sünek olan birçok metal, koşullar değiştirilirse kırılgan hale gelir. Sıcaklığın kırılmanın doğası üzerindeki etkisi oldukça önemlidir. Birçok çelik, yüksek sıcaklıklarda sünek kırılma ve düşük sıcaklıklarda gevrek kırılma sergiler. Bir

malzemenin belirli bir sıcaklık üzerinde sünek kırılma ve altında gevrek kırılma sergilediği sıcaklık, Sıfır Süneklik Geçişi sıcaklığı olarak bilinir. Bu sıcaklık kesin değildir, ancak önceki mekanik ve ısıl işleme ve safsızlık elementlerinin doğasına ve miktarlarına göre değişir. Bu değer ağırlık düşürme testi ile belirlenir (Örneğin, Izod veya Charpy testleri).



Şekil 4.3 Tane içerisinde bir düzlemde meydana gelen kristalin kırılma örneği [31]

Çeliklerde gevrek kırılmaya katkıda bulunan üç temel faktör vardır: üç eksenli bir stres durumu, düşük sıcaklık ve yüksek bir gerinim oranı veya hızlı yükleme hızı bu faktörlerdir [32]. Yarılma tipi kırılmanın meydana gelmesi için bu üç faktörün mevcut olması gerekmez. Çoğu gevrek-yarılma tipi kırılma, üç eksenli bir stres durumu ve düşük sıcaklık olduğunda meydana gelir. Bu durum, yüksek bir yükleme hızı ile harekete geçirilir.

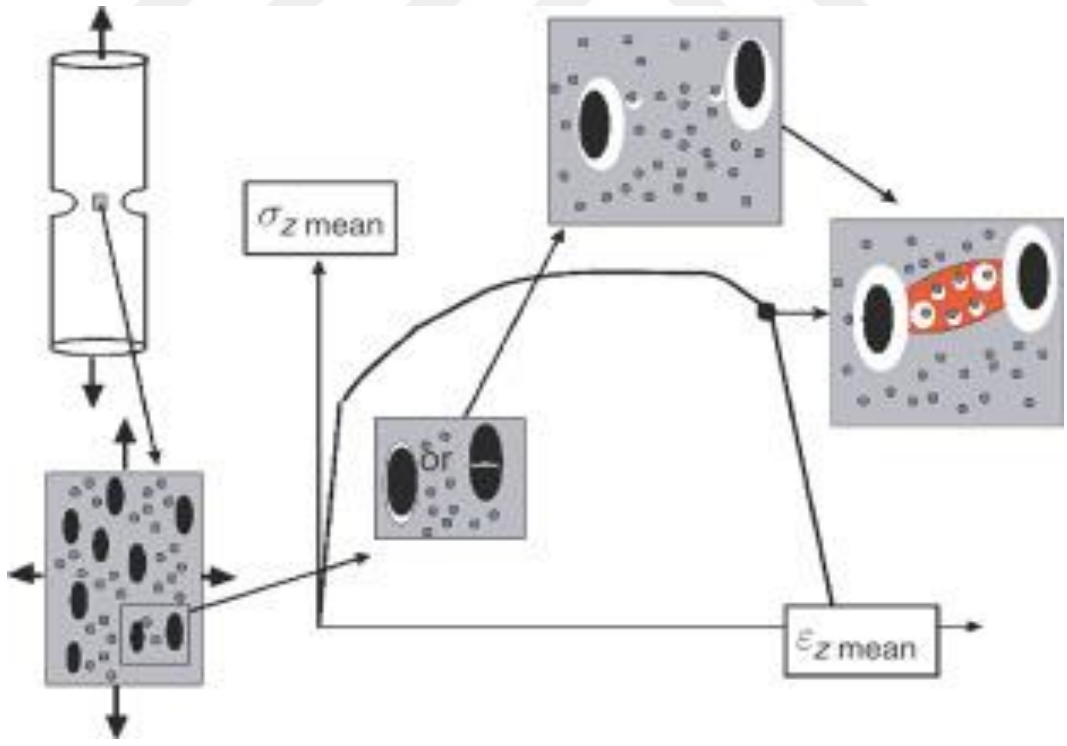


Şekil 4.4 Düşük karbonlu bir çelikte gevrek kırılma görüntüsü [32]

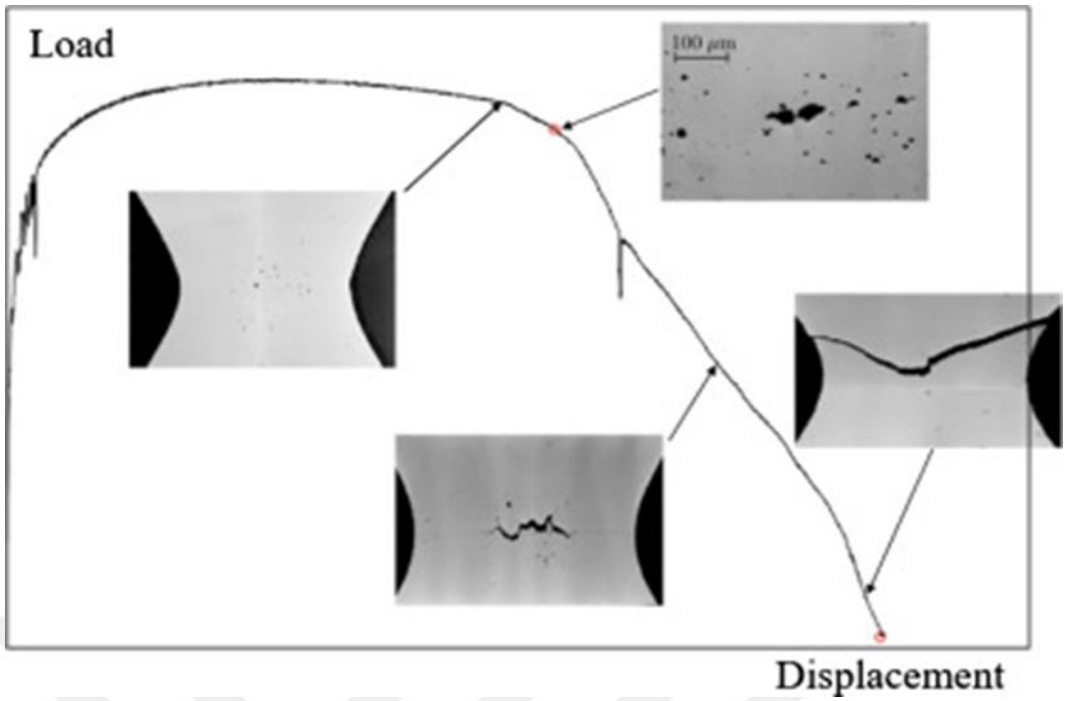
4.2 Sünek Kırılma

Sünek kırılma, oda sıcaklığında metallerde görünen en yaygın hasar mekanizmasıdır [33]. Sünek kırılma terimi, plastik deformasyon tarafından yönlendirilen bir hasar büyümesi ve hasar çekirdeklenme süreci olarak açıklanabilir. Sünek kırılmanın iyi anlaşılabilmesi için öncelikle; plastisite mekanizmalarının yani diskolasyon fiziğinin, sertleşme mekanizmalarının, kristal plastisitenin ve plastik anizotropi kavramlarının iyi şekilde değerlendirilmesine dayanır.

Sünek kırılma, plastisite kontrollü boşluk çekirdeklenmesi, büyümesi ve birleşmesi ile oluşan bir hasar süreci olarak tanımlansa bile, iki sünek kırılma modunu ayırt etmek önemlidir. İlk modda hasar, son kırılma noktasına kadar homojen olarak deforme olmuş bölgelerde az ya da çok homojen şekilde meydana gelir. Sadece sürecin en sonunda, boşlukta birleşme meydana geldiğinde hasar oldukça heterojen hale gelebilir. İkinci modda, plastik lokalizasyon hasar verme sürecinden daha önce sadece sınırlı bir bağlantı ile lokalize boyunlar ve kesme bantlarının geliştirilmesi yoluyla meydana gelir.



Şekil 4.5 Mikro yapının çekirdeklenme, büyüme ve birleşme sürecinin temsili [33]



Şekil 4.6 Boşluğun başlama, büyüme ve birleşme diyagramı

Malzemenin küçük bir bölgesinde nispeten büyük miktarlarda gerinim lokalizasyonunun görüldüğü bir çekme deformasyonu modu olan boyunlanma, sünek kırılmadan önce meydana gelir [34]. Genel olarak boyunlaşma, yaygın boyunlaşma ve lokalize boyunlaşma olarak sınıflandırılabilir. Birincisi, nispeten geniş bir aralıkta tek tip kalınlık azalmasının meydana geldiği durumdur, ikincisi ise malzemenin incelmesinin lokalize bir bölgede yoğunlaştığı durumdur. Deformasyona dayalı malzeme işleme sırasında boyunlaşmanın neden olduğu kırılma, geri dönüşü olmayan bir hasardır. Yaygın boyunlanmadan ziyade lokalize boyunlanma, faydalı deformasyon miktarını belirleyen önemli bir faktördür, bu nedenle lokalize boyunlanmanın ilk meydana geldiği nokta ideal bir kritik nokta olarak kabul edilir.

Düşük plastisiteye sahip malzemeler için belirgin boyunlanma olmadan kırılmanın meydana gelebileceğine dikkat edilmelidir. Bu fenomen için, hasar oluşumu ve sünek kırılma mekanizması, fraktografi analizine dayalı olarak belirlenir. Farklı malzemeler için mekanizmalar farklıdır. Örneğin, Al alaşımı, çeşitli intermetalik parçacıkların büyük hacimli bir kısmını içerir. Mikro yapısında, Al matrisinde iki tür inklüzyon ve kırılgan fazdaki parçacık dağılmıştır.

5
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yapılan çalışmada; dönel boru kesim bıçaklarında kullanım ömrü artışına etkilerinin karşılaştırması amacıyla imalatı yapılan dönel boru kesim bıçakları, PVD yöntemiyle TiN, TiCN, AlTiN tek katmanlı olarak kaplama işlemleri yapılmıştır. Tüm numuneler, aynı kaplama şartlarında homojen bir kaplama sağlanabilmesi için, kaplama öncesi pürüzlülük değerleri 0,020 mikrometrenin altında olacak şekilde hazırlanmıştır.

Kullanım ömürlerinin karşılaştırılması amacı ile kaplamalı ve kaplamasız dönel boru kesim bıçakları ile oda sıcaklığında, aynı boru kesim parametreleri ve aynı koşullarda otomatik boru kesim makinesi kullanılarak, dönel boru kesim bıçakları kırılana kadar boru kesim işlemleri yapılmıştır. Kesim adet sonuçları kaydedilerek karşılaştırılmalı olarak irdelenmiştir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak, kaplama kalınlık ve sertlik değerleri ölçülmüş; kırılma bölgelerinden görüntüler alınarak, kırılma davranışları incelenmiştir.

5.1 Dönel Boru Kesim Bıçaklarının İmalatı

Deneylerde kullanılmak üzere imalatı yapılan dönel boru kesim imalatında Tablo 5.1 de kimyasal kompozisyonu verilen olan AISI T15 yüksek hız çeliği kullanılmıştır. Malzeme sertlik değeri ısıl işlem öncesi 275 HB dir. Malzeme dış çapı işleme öncesi 28 mm olarak seçilmiştir.

Tablo 5.1 AISI T15 Malzemesinin kimyasal kompozisyonu

Karbon (C)	**Krom (Cr)**	**Vanadyum (V)**	**Wolfram (W)**	**Kobalt (Co)**	**Mangan (Mn)**	**Silisyum (Si)**
1,62	3,98	4,93	12,05	5,02	0,29	0,28

Malzemeler, Şekil 5.2 de görülen JCL-42 model First Lathes Industrial Co., Ltd firması tarafından üretilmiş CNC torna tezgahında işlenmiş ve yüzey kaplamaya hazır hale getirilmiştir.



Şekil 5.1 CNC torna tezgahı

Dönel boru kesim bıçakları dizayn olarak, S. Dejesus'un [35] makalesinde belirttiği kesilecek ürüne özel önerilen açılar ve şekiller referans alınarak imal edilmiştir. Kaplama öncesi numunelere polisaj uygulaması yapılmış ve pürüzlülük değerleri (Ra) 0,02 mikrometrenin altına düşürülmüştür.

5.2 Kaplama İşlemleri

Kaplama malzemesi olarak; yüksek sertlik, yüksek sıcaklık dayanımları ve yüksek aşınma dirençleri göz önüne alınarak aşağıda verilen 3 farklı kaplama çeşidi seçilmiştir:

- TiN
- TiCN
- AlTiN

Kaplama tekniği olarak; kaplama malzemesinin yüksek oranda iyonize edilebilmesi, farklı geometrik şekillere sahip parçaların yeterli homojenlikte kaplanabilmesi, metal ve alaşımlarının yüksek kaplama hızlarında biriktirilebilmesi, altlığın yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılmasının zorunlu olmaması gibi avantajlarından dolayı katodik ark PVD yöntemi seçilmiştir. Tablo 5.1'de kaplama parametreleri belirtilmiştir.

Tablo 5.2 Kaplama parametreleri

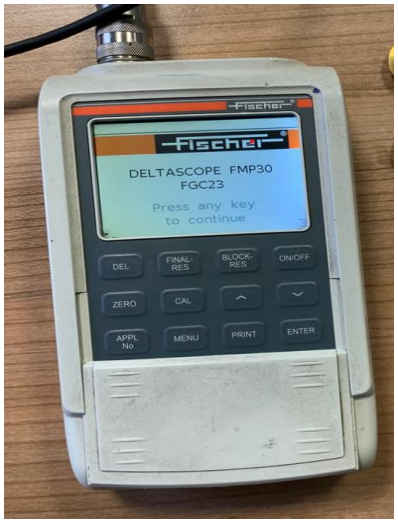
Kaplama Parametreleri	**Kaplama Malzemesi**		
	TiN	**TiCN**	**AlTiN**
Reaktif Gaz	Nitrojen	Nitrojen	Nitrojen
Bias Voltajı (V)	150	150	150
Altlık Sıcaklığı (°C)	450	450	450
Katot Akımı (A)	60	60	60
Kaplama Süresi (dakika)	90	80	80

Hazırlanmış dönel boru kesim bıçakların seçilen malzemeler ile kaplanması Kapco Kaplama San. ve Tic. Ltd Şti. firmasında, Şekil 5.2'te görülen Vacotec Alpha400P119 katodik ark PVD kaplama makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir



Şekil 5.2 Katodik ark PVD kaplama makinesi [36]

Kaplama kalınlıklarını belirlemek için hem manyetik indiksiyon hem de girdap akımı yöntemleriyle çalışan Fischer dualscope FMP30 model kaplama kalınlık ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 5.3).



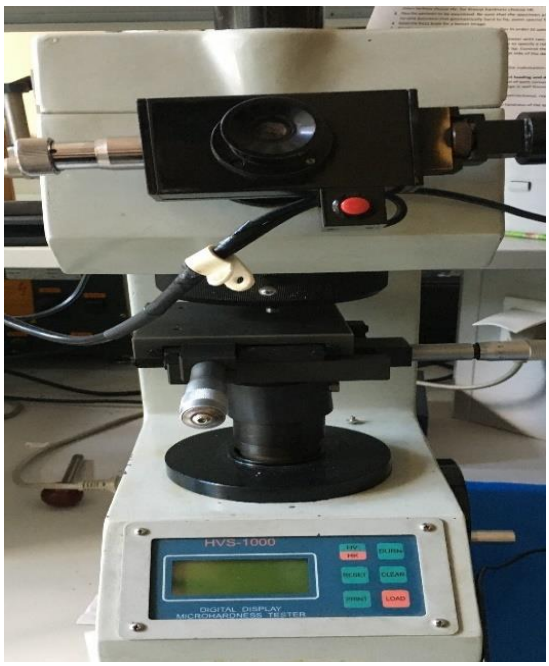
Şekil 5.3 Kaplama kalınlık ölçüm cihazı

Ölçüm yapılmadan önce numuneler temizlenmiştir, kaplamasız kalibrasyon bloğu ve kaplama gibi algılanan kalibrasyon kağıtları ile cihaz kalibre edilmiş ve her numune için 5'er ölçüm alınmıştır (Tablo 5.3).

Tablo 5.3 Kaplama kalınlık değerleri

Kaplama Malzemesi	**Kaplama Kalınlık Değerleri (µm)**						
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**Ortalama**	**Std Sapma**
TiN	3,7 µm	3,5 µm	3,3 µm	3,4 µm	3,6 µm	3,5 µm	0,16
TiCN	3,4 µm	3,3 µm	3,2 µm	3,3 µm	3,3 µm	3,3 µm	0,07
AlTiN	3,3 µm	3,4 µm	3,4 µm	3,3 µm	3,1 µm	3,3 µm	0,12

Kaplamaların sertlik ölçümleri, mikro vickers sertlik ölçme metoduyla yapılmıştır. HVS-1000 model dijital ekranlı mikro sertlik test cihazı kullanılmıştır (Şekil 5.4).



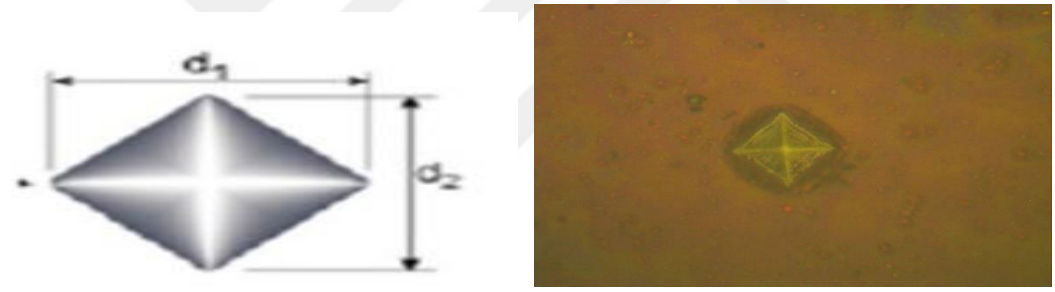
Şekil 5.4 Kaplama sertlik ölçüm cihazı

Mikro sertlik ölçümleri için kaplamalardan 3'er adet ölçüm alınmıştır. TiN, TiCN ve AlTiN kaplamaları için 5 saniye boyunca 25g yük uygulanmıştır (Tablo 5.4).

Tablo 5.4 Kaplama sertlik değerleri

Kaplama Malzemesi	Sertlik Sembolü	Kaplama Sertlik Değerleri			Ortalama	Std Sapma
		1	2	3		
TiN	HV/0,025/5	1701	1704	1785	1730	47
AlTiN		1934	1821	1598	1784	170
TiCN		1907	1803	1672	1794	117

Sertlik ölçümleri sırasında alınan vickers izlerinden görüntüler Şekil 5.5'te verilmiştir.

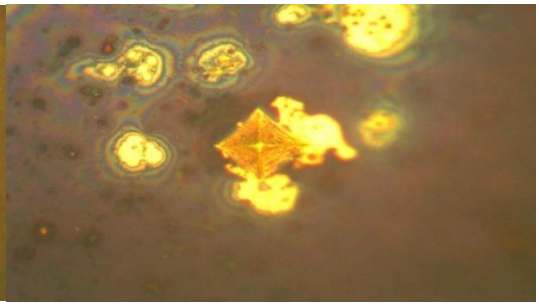


a) Vickers izi

b) TiCN Vickers izi



c) TiN Vickers izi



d) AlTiN Vickers izi

Şekil 5.5 Vickers izi ve kaplamaların vickers izlerinden görüntüler

5.3 Kullanım Ömrü Belirleme Testleri

Dönel boru kesim bıçaklarının kullanım ömrü belirleme testleri Oak-Stcos M5-695 marka model otomatik dönel boru kesim makinesinde yapılmıştır. Testler için kesilecek ürün özellikleri tüm testler için aynı olup; malzemesi bakır, dış çap 20 mm et kalınlığı 1 mm olarak kangal halinde makineye beslemesi yapılan ürün seçilmiştir. Test için kullanılan makine Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.6 Boru kesim işlemleri için kullanılan boru kesme kafası

Testlerde 4' er adet kaplamasız, TiN kaplamalı, TiCN kaplamalı ve AlTiN kaplamalı dönel boru kesim bıçağı kullanılmıştır. Testler, dönel boru kesim bıçağı kırılana kadar devam etmiştir. Kırılma, göz kontrolleri ile belirlenmiş, sonrasında adet bilgisi kaydedilerek, test işlemi için bir sonraki bıçak montajı yapılmıştır. Test parametreleri ve kesimi yapılan malzeme özellikleri Tablo 5.3'te belirtilmiştir. Testler sonucunda elde edilen kesim adetleri Tablo 5.4'te gösterilmiştir.

Tablo 5.5 Kullanım ömrü testleri parametreleri

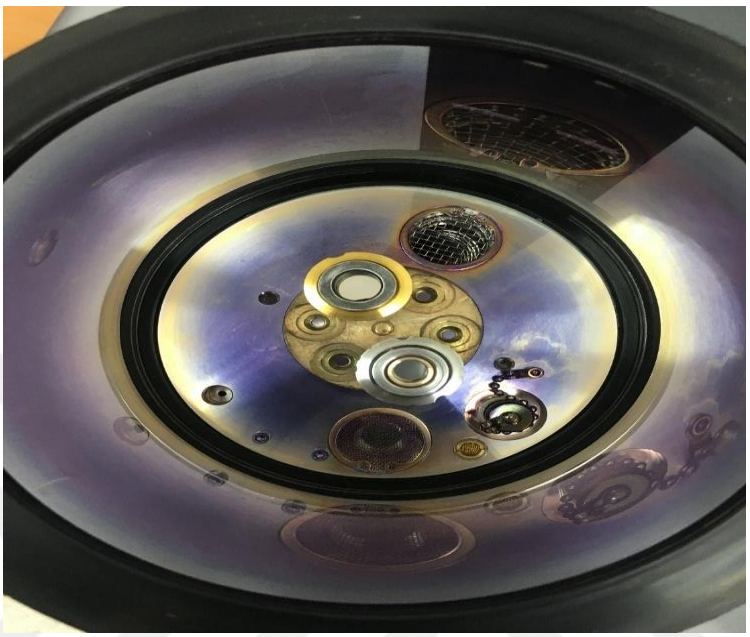
Boru Besleme Tipi	Kangal Halinde
Boru Dış Çapı (mm)	22
Boru İç Çapı (mm)	20
Boru Et Kalınlığı (mm)	1
Boru Malzemesi (mm)	Bakır
Kesme Hızı (rpm)	1800
Kesme Derinliği (mm)	0,95
İlerleme (mm/dk)	0
Test Süresi	Bıçak Kırılana Kadar

Tablo 5.6 Boru kesim adetleri

	Test 1	**Test 2**	**Test 3**	**Test 4**	**Ortalama**
Kaplamasız	13700 adet	8000 adet	7500 adet	8100 adet	**9325 adet**
TiN	25200 adet	18950 adet	17500 adet	18200 adet	**19963 adet**
TiCN	13250 adet	11258 adet	13120 adet	11080 adet	**12177 adet**
AlTiN	14200 adet	16520 adet	15300 adet	14800 adet	**15205 adet**

5.4 Kırılma Görüntüleri

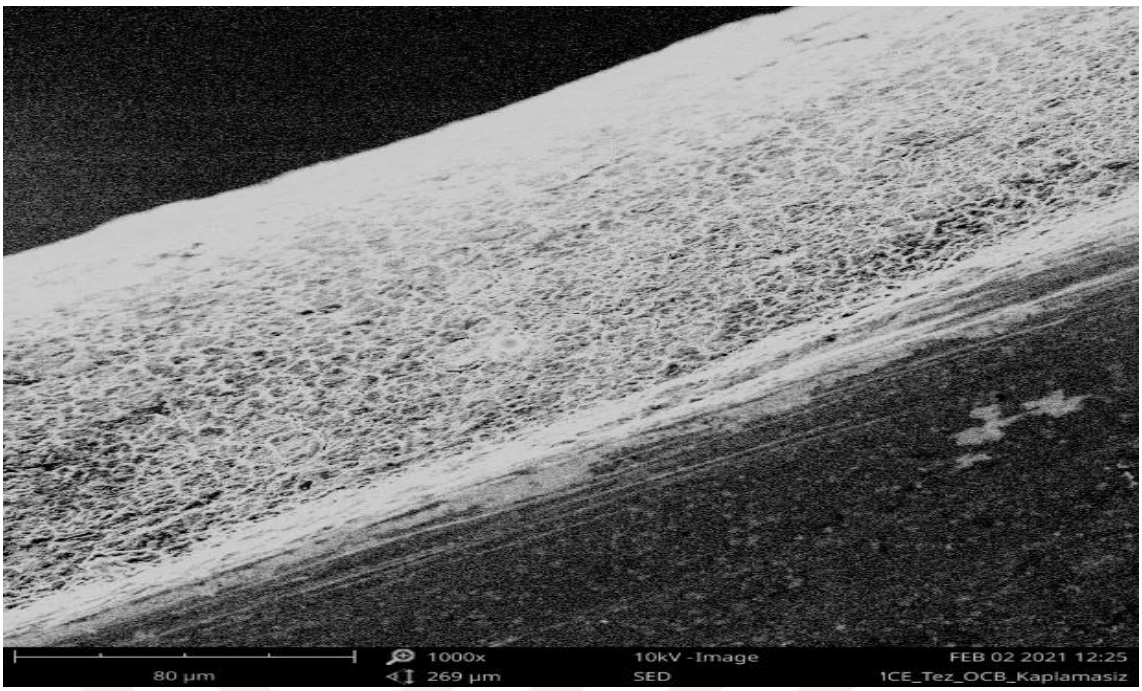
Yapılan kullanım ömrü testleri sonucunda kırılan dönel boru kesim bıçaklarının kırılma bölgelerinden, kırılma davranışlarının incelenmesi için taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile görüntüler alınmıştır.



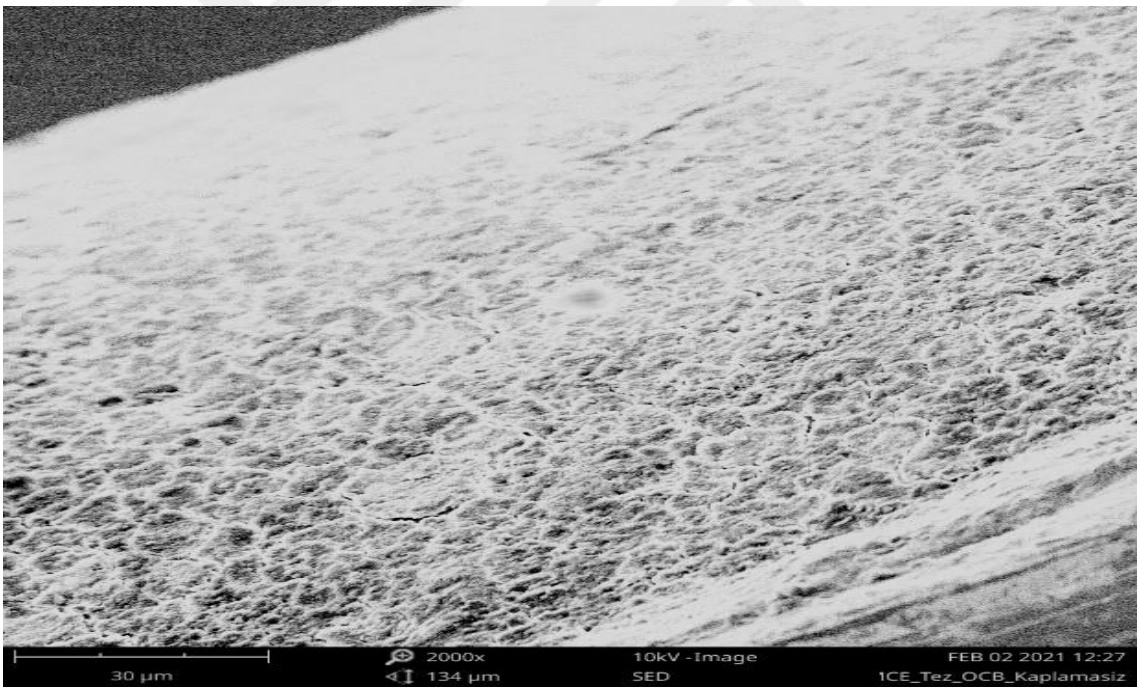
Şekil 5.7 Altın kaplama sırasında alınan görüntü



Şekil 5.8 Altın kaplama cihazı

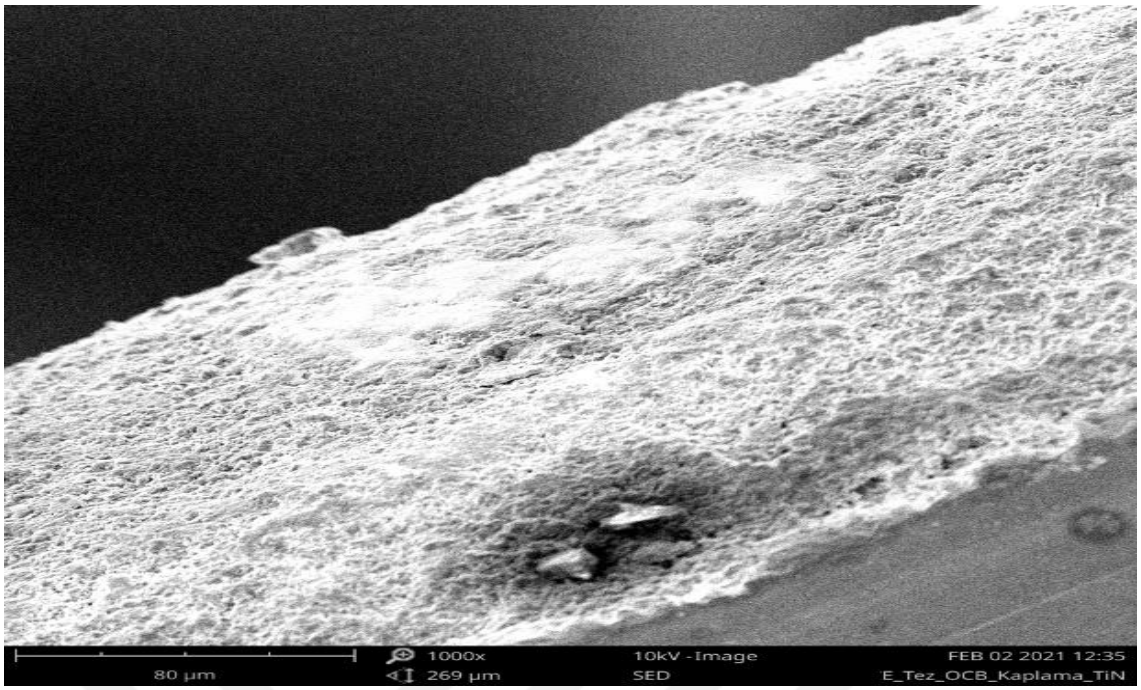


(a) Kırılma bölgesi 1000x

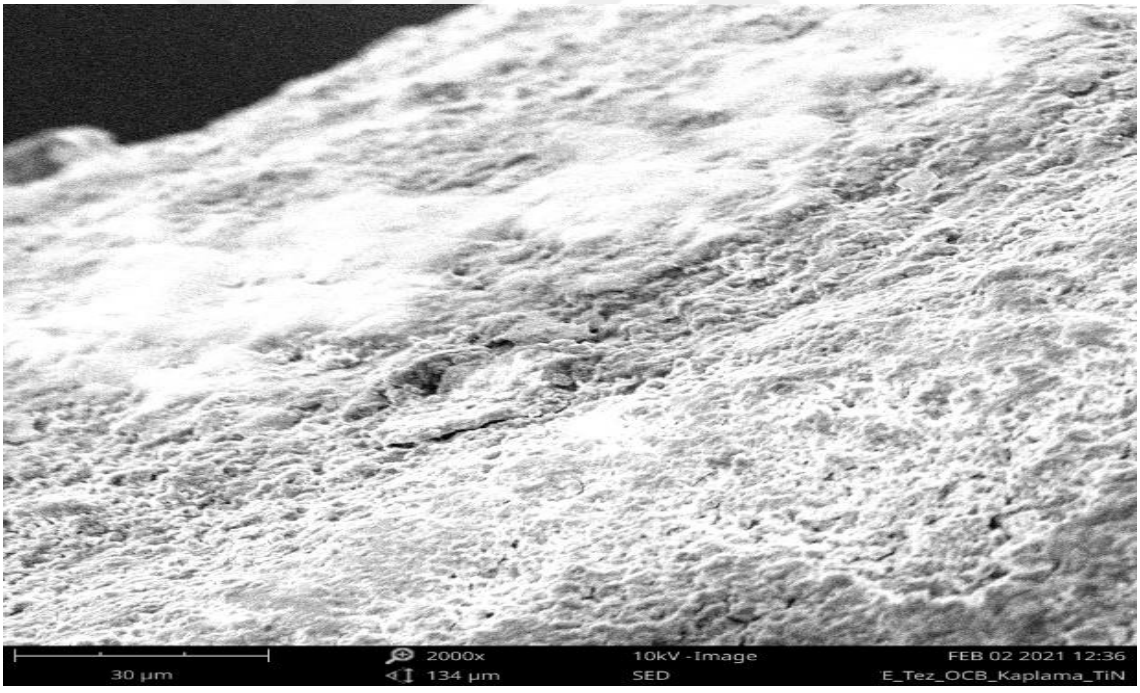


(b) Kırılma bölgesi 2000x

Şekil 5.9 Kaplamasız dönel boru kesim bıçağı kırılma görüntüleri

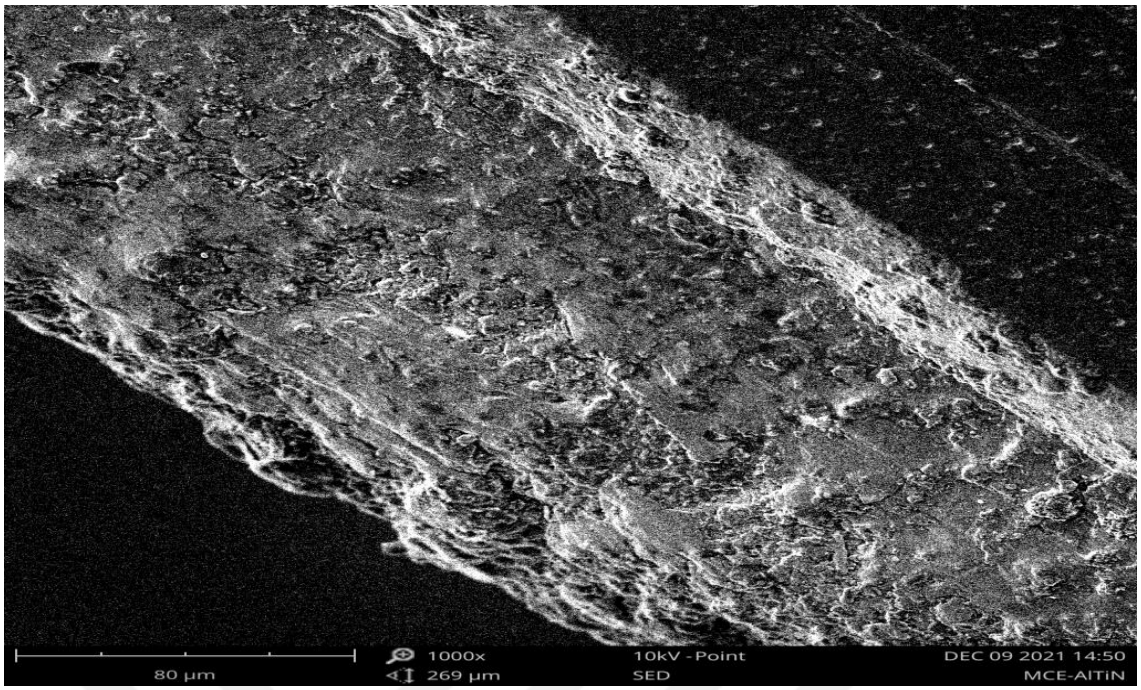


(a) Kırılma bölgesi 1000x

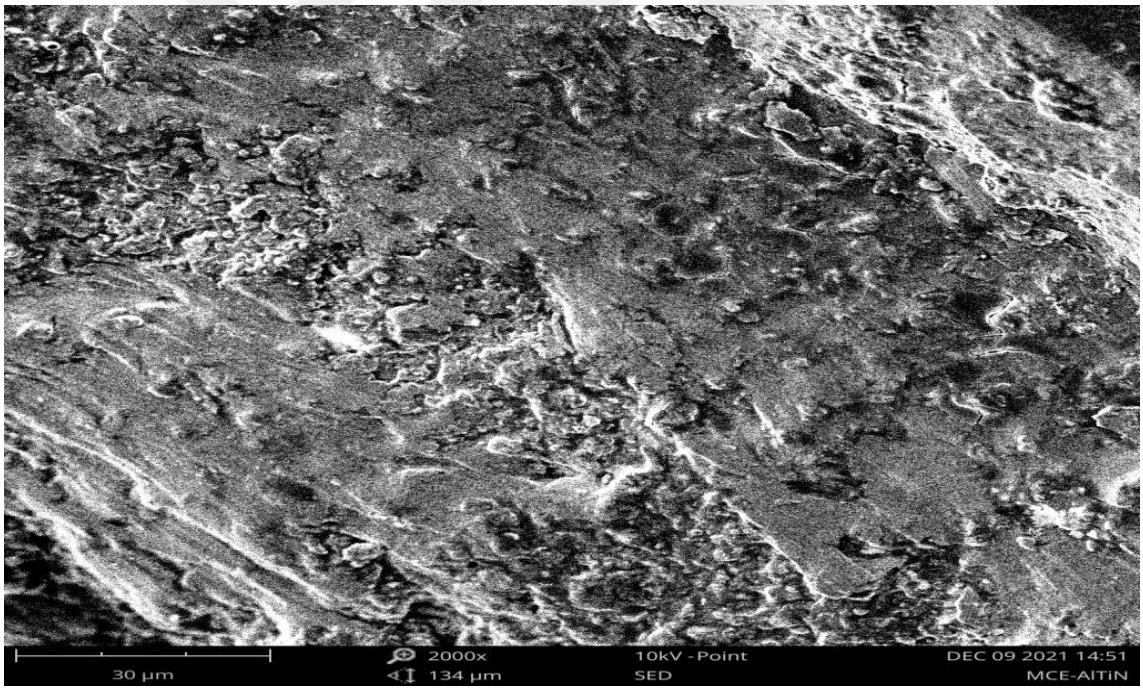


(b) Kırılma bölgesi 2000x

Şekil 5.10 TiN kaplı dönel boru kesim bıçağı kırılma görüntüleri

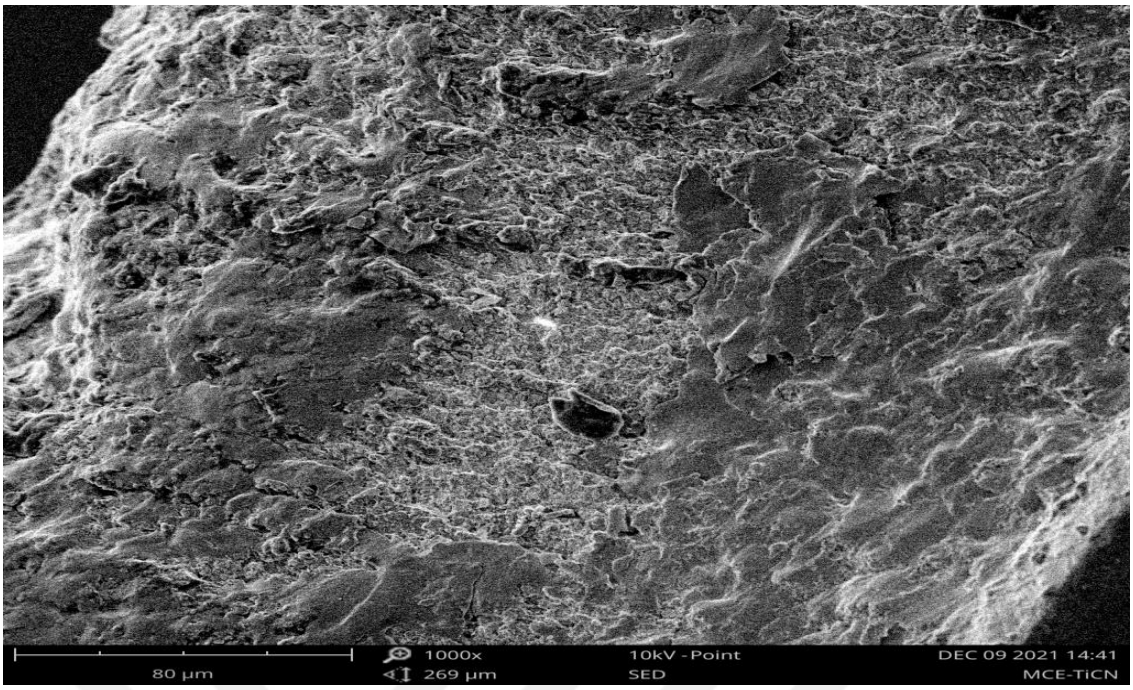


(a) Kırılma bölgesi 1000x

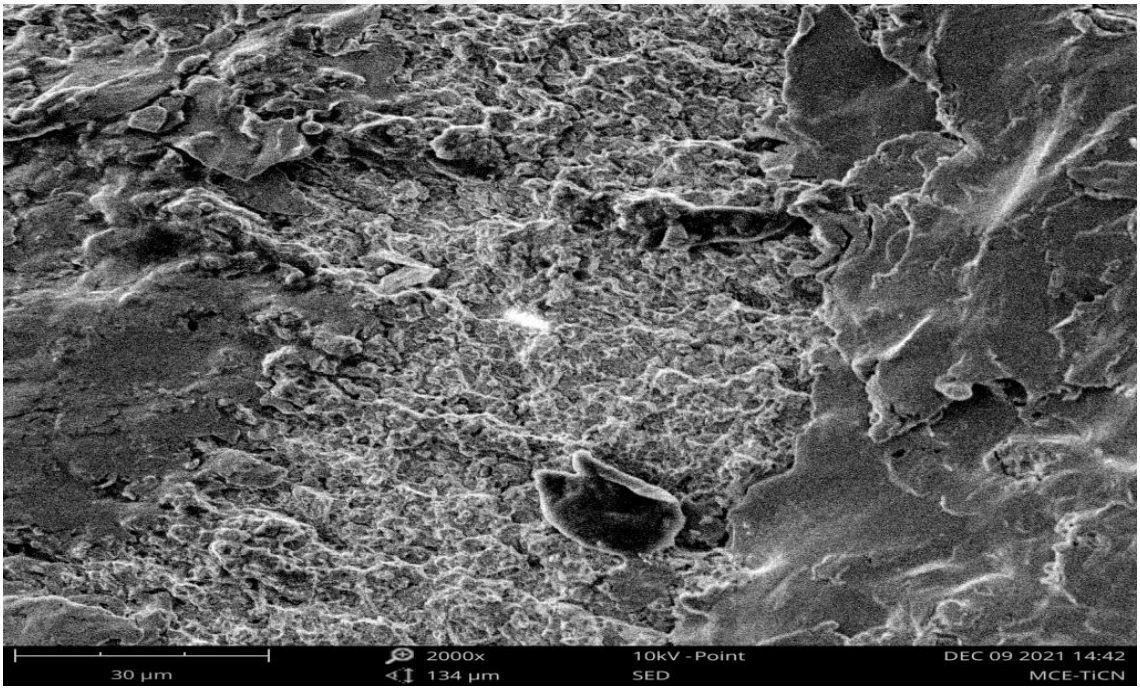


(b) Kırılma bölgesi 2000x

Şekil 5.11 AlTiN kaplı dönel boru kesim bıçağı kırılma görüntüleri



(a) Kırılma bölgesi 1000x



(b) Kırılma bölgesi 2000x

Şekil 5.12 TiCN kaplı dönel boru kesim bıçağı kırılma görüntüleri

6
TARTIŞMA

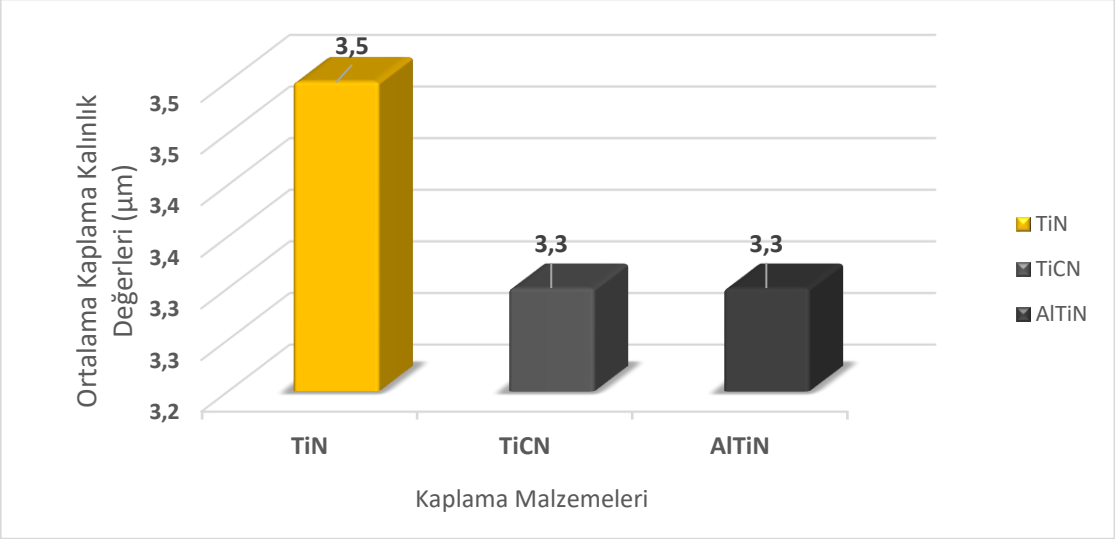
AISI T15 yüksek hız çeliği ile imal edilen dönel boru kesim bıçaklarına PVD yöntemiyle uygulanan farklı kaplamaların kalınlık ve sertlik değerlerini ölçmek amacıyla uygulanan deneylerin, dönel boru kesim bıçaklarının kullanım ömrü tespiti için gerçekleştirilen deneysel çalışmaların ve kırılma yüzey görüntülerinin sonuçları, karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır.

6.1 Kaplama Kalınlık Değerleri

Kaplanmış numunelere ait ortalama kaplama kalınlık değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 6.1'de verilmiştir. Beşer adet ölçüm ile belirlenen ortalama kaplama kalınlık değerlerinin; TiN kaplamasında 3,5 µm, TiCN kaplamasında 3,3 µm ve AlTiN kaplamasında 3,2 olduğu görülmüştür.

Elde edilen değerler incelendiğinde; en yüksek ortalama kaplama kalınlık değerine TiN kaplı numunelerin sahip olduğu belirlenmiştir.

Farklı kaplama kalınlık değerlerinin belirlenmesi; vakum, sıcaklık, iyon demeti yoğunluğu ve süresi gibi spesifik proses parametreleri ile açıklanabilir [37].



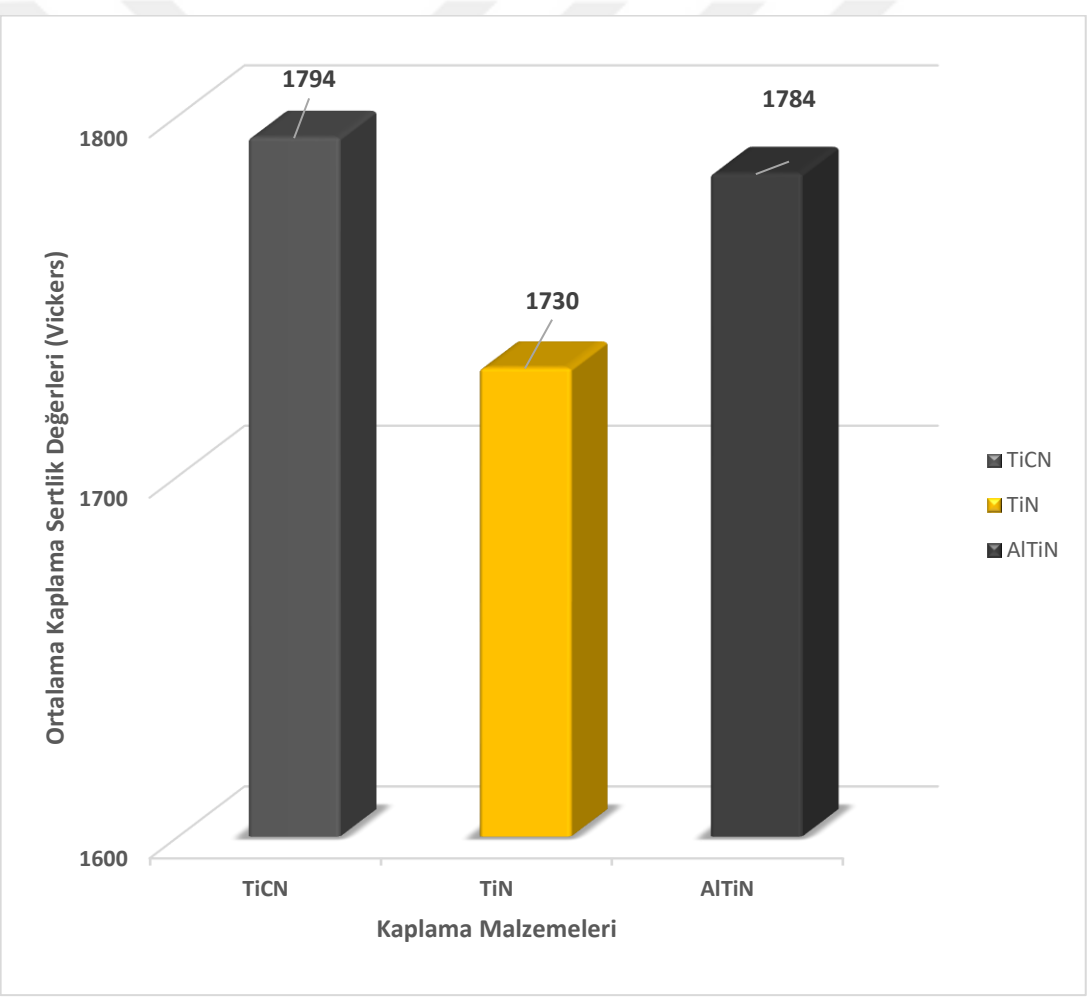
Şekil 6.1 Ortalama kaplama kalınlık değerleri

6.2 Kaplama Sertlik Değerleri

Kaplanmış numunelere ait ortalama kaplama sertlik değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 6.2'de verilmiştir. Üçer adet ölçüm ile belirlenen ortalama kaplama sertlik değerlerinin; TiN kaplamasında 1730 vickers, AlTiN kaplamasında 1784 vickers ve TiCN kaplamasında 1794 vickers olduğu görülmüştür.

Elde edilen değerler incelendiğinde; en yüksek ortalama kaplama sertlik değerine TiCN kaplı numunelerin sahip olduğu belirlenmiştir.

Farklı kaplama sertlik değerlerinin belirlenmesi; sahip oldukları kimyasal bileşim, oransal kimyasal bileşim, safsızlık, mikroyapı, kusurlar ve kristalografik olarak tercihli yönlendirme parametreleri ile açıklanabilir [21].

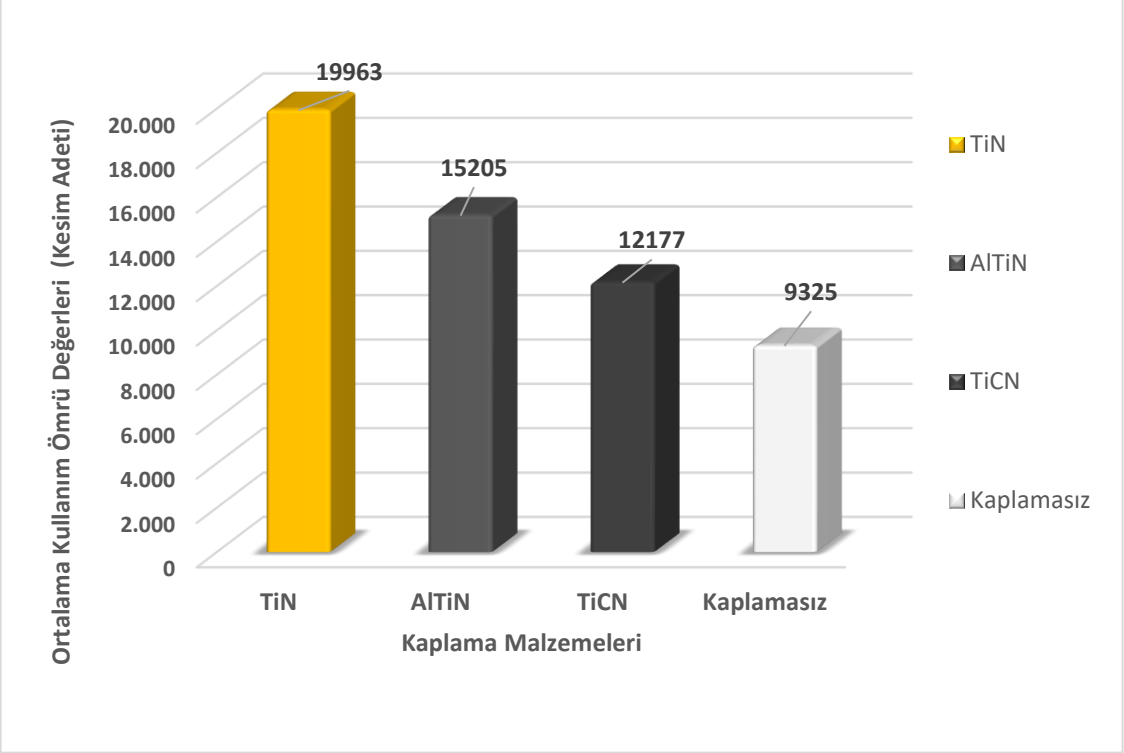


Şekil 6.2 Ortalama kaplama sertlik değerleri

6.3 Kullanım Ömrü Değerleri

Dönel boru kesim bıçakları ortalama kullanım ömrü değerlerinin tespiti için yapılan deneysel çalışmanın sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 6.3'te verilmiştir. Ortalama kullanım ömrü değerleri; TiN kaplamada 19.963 adet, AlTiN kaplamada 15.205 adet, TiCN kaplamada 12.177 adet ve kaplamasızda 9.325 adet olarak ölçülmüştür. Kaplamalı bıçakların birim maliyeti, kaplamasız bıçakların birim maliyetine göre %20-%25 daha fazla olmasına karşın, kaplamalı bıçakların sağladığı ömür artışı; TiN'de %214, AlTiN'de %163 ve TiCN'de %130 olarak belirlenmiştir. Bunların yanı sıra bıçak değişimi nedeni ile oluşan üretim duruş sürelerinde azalma olacaktır.

Elde edilen değerler incelendiğinde, ortalama kullanım ömrü sıralaması büyükten küçüğe; TiN >AlTiN > TiCN > Kaplamasız olarak belirlenmiştir.



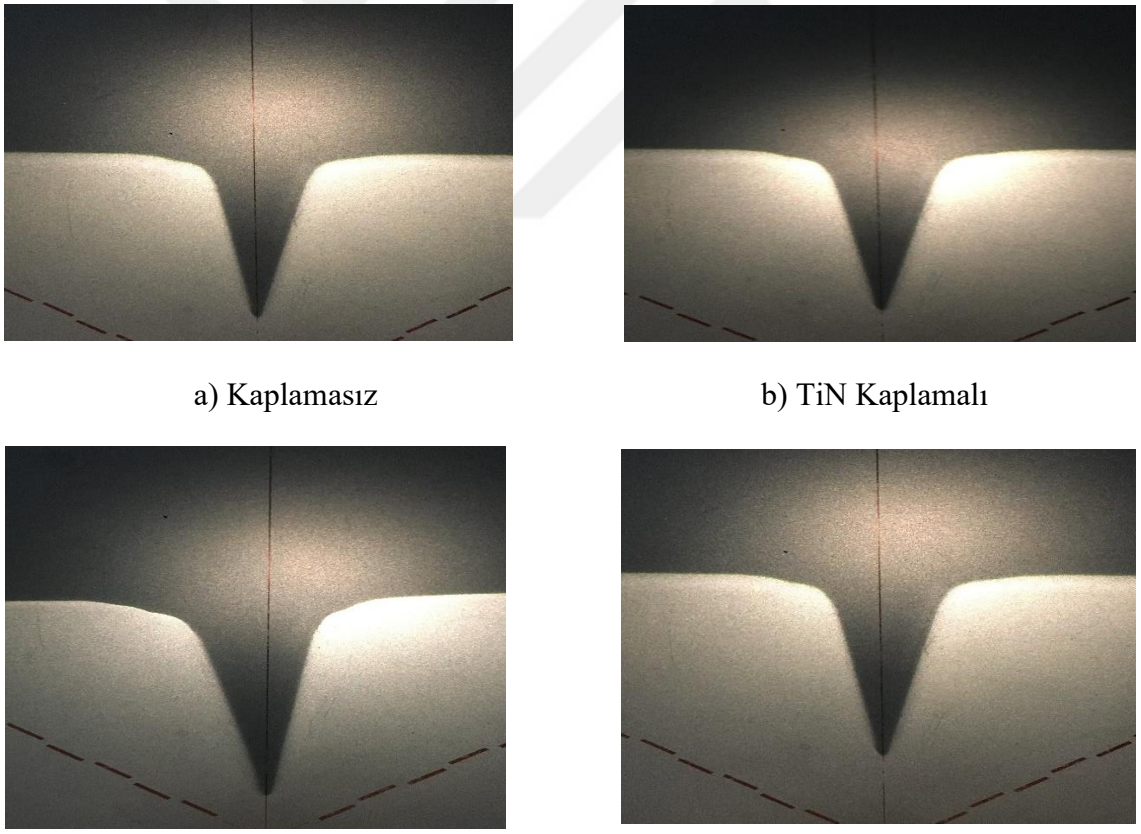
Şekil 6.3 Ortalama kullanım ömrü değerleri

Kaplamasız dönel boru kesim bıçaklarının ortalama kullanım ömrü ile kaplamalı dönel boru kesim bıçaklarının ortalama kullanım ömrü karşılaştırıldığında; TiN, AlTiN ve TiCN'ün daha yüksek ortalama kullanım ömrüne sahip olduğu görülmüştür. W.Schintlmeister vd. [38] kaplamaların etkisini; sürtünmede, ısı üretiminde, kesme kuvvetinde azalma ve özellikle yüksek hızlarda talaş ile takım yüzeyi arasındaki

difüzyonun azalması olarak belirtmişlerdir. Kaplamalı dönel boru kesim bıçaklarının kaplamasız dönel boru kesim bıçaklarına göre sergilediği daha yüksek kullanım ömrü, kaplamaların sürtünme ve kesme kuvvetinde sağladığı azalma ile açıklanabilir.

Kaplamasız ve kaplamalı dönel boru kesim bıçaklarının kırılma davranışları, SEM görüntüleri dikkate alınarak incelendiğinde, sünek-gevrek karışık kırılma tipinin meydana geldiği belirlenmiştir. Sünek kırılmanın kanıtı olarak, kırılma yüzeylerinde görülen ve sünek kırılmanın karakteristik imzası olan çukurlu kırılma gösterilebilir. Aynı zamanda, malzemenin kullanıldığı yere göre maruz kaldığı yüksek yükleme, gevrek kırılmanın meydana gelmesinde önemli bir faktör olmuştur.

Kullanım ömrüne etkisi olan dönel boru kesim bıçaklarının uç radius değerleri, Mitutoyo PJ-3000 marka model projeksiyon ile incelenmiştir. Şekil 6.4'te verilen görüntüler incelendiğinde, uç radius değerlerinin birbirine yakın değerler olduğu ve kullanım ömrü açısından tüm dönel boru kesim bıçakları için aynı etkiyi oluşturduğu düşünülmektedir.



a) Kaplamasız b) TiN Kaplamalı

c) AlTiN Kaplamalı d) TiCN Kaplamalı

Şekil 6.4 Uç radius projeksiyon görüntüler

7
SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada, AISI T15 yüksek hız çeliğinden imal edilen dönel boru kesim bıçaklarının kullanım ömrünü arttırmak amacıyla, PVD yöntemiyle üzerlerine TiN, AlTiN ve TiCN kaplanan numunelere kullanım ömrü belirleme testleri gerçekleştirilmiştir. Tüm bu testlerden elde edilen değerler kaplamasız dönel boru kesim bıçaklarına uygulanan kullanım ömrü testleri ile karşılaştırılarak varılan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Sonuçlar:

1) Dönel boru kesim bıçakları üzerine TiN, AlTiN ve TiCN kaplamaları PVD yöntemiyle başarılı bir şekilde uygulanmıştır.
2) Ortalama kaplama kalınlık değerleri kıyaslandığında; tüm kaplamaların birbirine yakın ve 3,3-3,5 mikron kaplama kalınlık değerlerine sahip oldukları görülmüştür.
3) Kaplama sertlik değerleri kıyaslandığında; TiCN kaplamasının en yüksek sertlik değerine sahip olduğu görülmüş, en düşük kaplama sertlik değerine ise TiN kaplamasının sahip olduğu görülmüştür.
4) Kaplamasız ve kaplamalı dönel boru kesim bıçaklarının kırılma davranışları irdelendiğinde; sünek-gevrek karışık kırılma tipinin meydana geldiği belirlenmiştir.
5) Ortalama kullanım ömrü değerlerinde; kaplamalı bıçakların kaplamasız bıçaklara göre daha yüksek kullanım ömür performansı sağladığı görülmüş, en yüksek ortalama kullanım ömür değerine TiN kaplamalı dönel boru kesim bıçağının sahip olduğu saptanmıştır.

Öneriler:

1) TiN kaplama, kaplamasız ve kaplamalı diğer dönel boru kesim bıçaklarına göre, ortalama kullanım ömür deneylerinde daha iyi sonuç verdiğinden, TiN kaplama kullanımı dönel boru kesim bıçakları için önerilmektedir.

2) TiN kaplamanın, dönel boru kesim bıçaklarının kullanım ömründe sergilediği %214'lük artış ve üretim ayar sürelerinde sağladığı iyileştirmeler ile birim maliyete etkisi (%20-%25 artış) karşılaştırıldığında; dönel boru kesim bıçakları üzerine TiN kaplama uygulaması, dönel boru kesim bıçakları kullanımı olan firmalara önerilmektedir.

KAYNAKÇA

[1] A. Banish, “Selecting a tube cutting process Methods and applications , pros and cons,” *Tube Pipe Fabr.,* 2004.

[2] S. Dejesus, “Making the cut - Understanding rotary cutoff blades and extending blade life Cutoff Blade Selecti on and Maintenance,” *Tube Pipe Fabr.,* 2019.

[3] R. Kumar, A. K. Sahoo, P. C. Mishra, and R. K. Das, “Comparative study on machinability improvement in hard turning using coated and uncoated carbide inserts: part II modeling, multi-response optimization, tool life, and economic aspects,” *Adv. Manuf.,* 2018.

[4] J. C. Outeiro, A. M. Dias, and I. S. Jawahir, “On the effects of residual stresses induced by coated and uncoated cutting tools with finite edge radii in turning operations,” *CIRP Ann. - Manuf. Technol.,* 2006.

[5] H. Gökkaya and H. Sert, “Kesici Takım Kaplama Malzemesi ve Kesme Parametrelerinin AISI 1040 Çeliğinin İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi,” *Politek. Derg.,* 2006.

[6] S. K. T. *et al.*, “Comparative evaluation of performances of TiAlN, AlCrN, TiAlN/AlCrN coated carbide cutting tools and uncoated carbide cutting tools on turning Inconel 825 alloy using Grey Relational Analysis,” *Sensors Actuators, A Phys.,* 2018.

[7] H. V Puneeth and B. S. Smitha, “Studies on Tool Life and Cutting forces for drilling operation using Uncoated and coated HSS tool,” *Int. Res. J. Eng. Technol.,* 2017.

[8] A. Vereschaka, S. Grigoriev, N. Sitnikov, F. Milovich, A. Aksenenko, and N. Andreev, “Investigation of performance and cutting properties of carbide tool with nanostructured multilayer Zr-ZrN-(Zr0.5,Cr0.3,Al0.2)N coating,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.,* 2019.

[9] A. K. M. Narasimha, R. Reiji Kumar, “Performance of Coated Carbide Tools.,” *Int. J. Eng. Sci.,* 2013.

[10] C. H. Che Haron, A. Ginting, and J. H. Goh, “Wear of coated and uncoated carbides in turning tool steel,” *J. Mater. Process. Technol.,* 2001.

[11] A. Gilewicz and B. Warcholinski, “Tribological properties of CrCN/CrN multilayer coatings,” *Tribol. Int.,* 2014.

[12] M. Arndt and T. Kacsich, “Performance of new AlTiN coatings in dry and high speed cutting,” *Surf. Coatings Technol.,* 2003.

[13] W. Kalss, A. Reiter, V. Derflinger, C. Gey, and J. L. Endrino, “Modern coatings in high performance cutting applications,” *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.,* 2006.

[14] H. E. Şafak, “Yüzeyi PVD Yöntemiyle Kaplanmış Metallerde Tribolojik Özelliklerin Belirlenmesi,” *Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü,* 2008.

[15] M. Teber, “Yüzey kaplama ile Ti6Al4V Alaşımının Aşınma ve Korozyon Direncinin Artırılması,” *Proje No FBY-09-852,Sonuç Raporu,Erciyes Üniversitesi Bilim. Araştırma Projeleri Koord. Birimi*, 2015.

[16] A. A. ILKHCHI, “ASTM F75 Co-Cr-Mo Alaşım Çeliğinin Abrasiv Aşınma Davranışlarının İncelenmesi,” *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniveristesi Fen Bilim. Enstitüsü*, 2019.

[17] M. S. IŞIK, “Fırtına Obüsünün Silah Sistemi Üzerinde Bulunan Gaz Paftasının Kullanım Ömrünün Arttırılması,” *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Tek. Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü*, 2016.

[18] E. ŞENOL and S. ÖLÜÇ, “Şeffaf Camların Erozyon Karakteristiğinin Deneysel Olarak İncelenmesi,” *Bitirme Çalışması, Karadeniz Tek. Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, 2018.

[19] M. ERGÜLER, “Buzdolabı Kompresörlerinin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi,” *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Tek. Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü*, 2005.

[20] Keleşoğlu, E., “Sert Kaplamalar Üretim Teknikleri ve Özellikleri,” *Yıldız Tek. Üniversitesi Elektron. Kitabı*, 2011.

[21] F. Bülbül, “Sert ve Yumuşak Kaplamalar,” *J. Sci. Tech.*, 2014.

[22] “Kapco Kaplama,” 2014. http://www.kapco.com.tr/tr/content/tin-kaplama.

[23] M. C. TÜRKÜZ, “Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi ile Yapılan Zirkonyum Nitrür İnce Film Kaplamanın Kaplama Parametrelerinin İncelenmesi ve Optimizasyonu,” *Doktora Tezi,İstanbul Tek. Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü*, 2006.

[24] “Argen Kaplama,” 2001. http://www.argenkaplama.com/ticn-kaplama/.

[25] N. Kalkan, “PVD Yöntemi ile TiN, CrN ve TiN/CrN Kaplanmış Soğuk İş Takım Çeliğinin Aşınma Performanslarının Deneysel İncelenmesi.,” *Yüksek Lisans Tezi,Selçuk Üniversitesi*, 2008.

[26] “Kapco Kaplama,” 2014. http://www.kapco.com.tr/tr/content/crn-kaplama.

[27] “Kapco Kaplama,” 2014. http://www.kapco.com.tr/tr/content/ext-p-kaplama.

[28] A. Bircan, “Makina Parçalarının Hasar Analizi,” *Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demiren Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü*, 2011.

[29] İ. E. BİCAN, “Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Tabakalı Kompozitlerde Arayüzey Kırılma Tokluğunun Analizi,” *Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü*, 2016.

[30] U.S. Department of Energy, *DOE Fundamentals Handbook Material Science*, vol. 1, no. January. 1993.

[31] K. D. Notları, “Kırılma,” 2019. https://web.itu.edu.tr/gulmezt/MekanikD/KIRILMA.pdf.

[32] D. Scott MacKenzie, “Four Basic Types of Fracture Mechanisms,” *GearSolutions*, 2020.

[33] A. Pineau and T. Pardoen, “Failure of Metals,” in *Comprehensive Structural*

Integrity, 2007.

[34] H. Li and M. Fu, “Damage Evolution and Ductile Fracture,” in *Deformation-Based Processing of Materials,* 2019.

[35] S. Dejesus, “4 Troubleshooting tips for rotary cutting made easy installation , air pressure , blades , and material,” *TPJ-The Tube Pipe J.,* 2007.

[36] “Eifeler,” 2018. https://www.eifeler.com/northamerica/en/pvd-coating-systems/arc-systems/alpha-400p/.

[37] “Fischer,” 2015. https://www.helmut-fischer.com/tr/pvd-kaplamali-takimlarda-kaplama-kalinligi.

[38] W. Schintlmeister, W. Wallgram, J. Kanz, and K. Gigl, “Cutting tool materials coated by chemical vapour deposition,” *Wear,* 1984.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Improvement of Orbital Cutting Blade Life with TiN Coating