

DIN 115CrV3 ÇELİĞİNDEN; ISIL İŞLEMLİ, TiN VE CrN İLE KAPLAMALI ÜRETİLEN
KESİCİ UÇLARIN, MİKROYAPI VE KESME PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Mustafa Özgür ÖTEYAKA

Doktora Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Mart - 2013

DIN 115CrV3 ÇELİĞİNDEN; ISIL İŞLEMLİ, TiN VE CrN İLE KAPLAMALI ÜRETİLEN
KESİCİ UÇLARIN, MİKROYAPI VE KESME PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Mustafa Özgür ÖTEYAKA

Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Prof. Dr. M. Mustafa YILDIRIM

Mart – 2013

KABUL ve ONAY SAYFASI

Mustafa Özgür ÖTEYAKA' nın doktora tezi olarak hazırladığı “DIN 115CrV3 çeliğinden; ısıtılmış, TiN ve CrN ile kaplamalı üretilen kesici uçların, mikroyapı ve kesme performansının incelenmesi” başlıklı bu çalışma, jürimizce Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

...../...../2013

(Sınav tarihi)

Üye : Prof. Dr. M. Mustafa YILDIRIM

Üye :

Üye :

Üye :

Üye :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun / / gün
ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hasan GÖÇMEZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DIN 115CrV3 ÇELİĞİNDEN; ISIL İŞLEMLİ, TiN VE CrN İLE KAPLAMALI ÜRETİLEN KESİCİ UÇLARIN, MİKROYAPI VE KESME PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Mustafa Özgür ÖTEYAKA

Makine Mühendisliği, Doktora Tezi, 2013

Tez Danışmanı: Prof.Dr. M. Mustafa YILDIRIM

ÖZET

Bir soğuk iş takımı çeliği olan DIN 115CrV3 çeliği; yeterli mukavemet ve sünekliğe sahip ve sanayide matkap ucu, rayba, havşa, pim ve zımba yapımında kullanılan bir malzemedir. Maliyeti düşük olan bu çelikten, ısıl işlem uygulanarak ve seramik kaplamalar yapılarak çok değerli kesici uçlar üretmek mümkündür. Ancak ısıl işlem görmeyen ve kaplanmayan DIN 115CrV3 çeliğinden yapılan kalemlerin talaş kaldırma işlemlerinde aşınma ve kesme performansı oldukça düşük ve yetersiz kalmaktadır. Bu özellikleri artırabilmek, kesme performansı ve aşınma dayanımını yükseltebilmek amacı ile böyle çeliklere, ısıl işlem ve ardında da seramik kaplama işlemleri uygulamak gerektiği düşünülmüştür.

Yapılan bu deneysel çalışmada; DIN 115CrV3 çelik malzemeden hazırlanmış kesici uçlar sertleştirilip, gerginlik giderme tavı uygulandıktan sonra fiziksel buhar biriktirme yöntemi kullanılarak, yüzey kaplama işlemi yapılmıştır. Daha sonra üretilen kesici uçların üzerinde abrasiv ve adhesiv aşınma ve kesme performansı testleri gerçekleştirilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM), atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ve enerji dağılımı spektroskopisi (EDS), X-ışını difraksiyon spektroskopisi (XRD) analiz teknikleriyle, malzemelerin mikroyapıları, yüzey pürüzlülükleri; ayrıca bu yapılara bağlı olarak; sertlik ve aşınma özelliklerinin değişimi deneysel olarak incelenmiştir.

Deneysel çalışmalarda, piyasadan alınan DIN 115CrV3 çeliğinin küreselleştirme ısıl işlemi gördüğü ve hazır durumda sertliğinin 372 HV olduğu tespit edilmiştir. Sertleştirme işlemlerinde en yüksek sertlik değeri 780 °C'de 820 HV olarak bulunmuştur. TiN ve CrN kaplamaların malzeme yüzeyine üniform bir şekilde kaplandığı ve TiN kaplamanın yüzey pürüzlüğünün CrN'e göre yaklaşık 10 nm daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Artan ve sabit yük altında yapılan adhesiv aşınma deneylerinde, kaplamalı ve kaplamasız kesici takımların aşınma dirençleri farklı çıkmıştır; artan yük ile yapılan çalışmada TiN ve CrN kaplı kesici takımların sürtünme katsayıları sertleştirilmiş martenzitik çelik kesici takıma göre daha yüksek elde edilmiştir. Buna karşılık sabit yük altında yapılan deneyde ise kaplamasız takımın sürtünme

katsayısı diğerlerine göre yüksek çıkmıştır. Ayrıca, CrN kaplamalı kesici takımlar, TiN kaplı kesici takımlara göre daha yüksek yüklerde adhezyon bozukluğu ve kaplama kalkmasına (delaminasyona) maruz kaldığı gözlenmiştir. Akustik emisyon deneylerinde en yüksek iç gerilme, sertleştirilmiş kesici takım, ardından CrN'de ve en düşük iç gerilme de TiN kaplı kesici takımlarda tespit edilmiştir. Sabit yük altında yapılan adhesiv aşınma deneyinde, sertleştirilmiş martenzitik çelik ve CrN kaplı kesici takımında aşındırıcı küreden kopan W elementinin varlığına EDS analizlerinde rastlanılmış, fakat TiN kaplı kesici takımında W kalıntısı bulunamamıştır. Abrasiv aşınmada, yük oranı arttıkça ağırlık kaybının da arttığı gözlemlenmiştir. Sertleştirilmiş martenzitik çelik kesici takım, diğer iki kesici takıma göre en fazla aşınan kesici takım olmuştur. Bunun yanında, her üç takımın mikroyapı ve EDS analizlerinde, yüksek miktarda Mn elementinin izine rastlanılmıştır. Bunun anlamı da yüzeyde abrasiv aşınmanın yanında adhesiv aşınmanın da gerçekleştiği bulgularına ulaşılmıştır. On-line izleme metodu, talaş kaldırma esnasında, iş parçasının yüzeyinden aldığı boyutsal değişimden yola çıkarak kesici takımların performansı hakkında bilgi vermektedir. Buna göre düşük devirde yapılan talaş kaldırmada en az aşınan kesici uç TiN olmuştur. Yüksek devirlerde CrN kaplı kesici ucun TiN'e göre hafif üstünlük sağladığı görülmektedir. Yapılan mikroyapı analizlerinde her üç kesici takımında da kırılma ve sıvanmaların olduğu görülmüştür.

Bu tez çalışmasında; DIN 115CrV3 çeliğinden hazırlanan kaplamasız ve kaplamalı kesici takımlardan öncelikle TiN kaplamalı ucun, sonra CrN kaplamalı ucun ve en az da sadece sertleştirilip temperlenen ucun endüstriyel anlamda kullanıma elverişli oldukları sonuçlarına ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: DIN 115CrV3 Çeliği, Abrasiv Aşınma, Adhesiv Aşınma, Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD) Yöntemi.

**INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURAL CHARACTERISTICS AND CUTTING
PERFORMANCE OF HARDENED CUTTING TOOLS FROM DIN 115CrV3 STEEL
COATED WITH TiN AND CrN**

Mustafa Özgür ÖTEYAKA

Mechanical Engineering, Ph.D. Thesis, 2013

Thesis Supervisor: Prof. Dr. M. Mustafa YILDIRIM

SUMMARY

DIN 115CrV3 steel is a low alloyed cold working tool steel which has sufficient strength and ductility. It uses to produce machine tools such as spiral and tap drills, broaching tools, metal saws. It is possible that from these low-alloyed and cheaper cost steel, after an appropriate heat treatment process and then ceramic coatings to produce very valuable cutting tools. Normally, the wear and cutting performances of a DIN 115CrV3 steel in thermal processless and uncoated condition is very low and insufficient. To improve cutting performance and wear resistance, these steels need a thermal processes such as hardening and stress relieving tempering, and also coating with a thin seramic layer respectively.

In this work, cutting tools made of DIN 115CrV3 steel have been as first hardened, stress free tempered and then surface coated by using a physical vapor deposition method. As a last step the abrasive and adhesive wear behavior, and cutting performance tests were performed. Scanning electron microscopy (SEM), atomic force microscopy (AFM) and energy dispersive spectroscopy (EDS) analysis techniques have been used to analyse microstructures of produced cutting tools and to determine the surface roughness. In addition, the alteration of hardness and wear characteristics have been investigated.

In experimental studies it was identified that DIN 115CrV3 steel which has been obtained from market had a hardness of 372 HV was already heat treated and its microstructure consists of nodular annealed pearlite. In hardening process, the highest hardness value have been obtained as 820 HV after annealing at 780 °C temperature and quenching into the cold water. TiN and CrN coating layers cover the surface of substrate uniformly and the surface roughness of TiN layer in comparison with CrN layer has been found thinner and less than 10 nm. Experiment results under a constant or an increasing load the adhesive wear behaviors of coated or uncoated cutting tools were found differently. Under an increasing load TiN and CrN coated cutting tools have been given a higher friction coefficient than the hardened and stress free tempered martensitic steel. However, the tests carried out that the friction coefficient of the

hardened martensitic steel under constant load was higher than the other coated tools. In addition, the CrN coated cutting tools under high loading has been shown an adhesion disorder and delamination in comparison with TiN coated cutting tools. Accoustic emission experiments shows that there is internal stress in hardened martensitic steel tool than the others. The lowest internal stress has been found in TiN coated cutting tools. After adhesive wear test under a constant load, trace of W metal abrasive particles was identified on the surface of hardened martensitic steel tool and CrN coated cutting tools, but it wasn't found any W metal traces on the surface of TiN coated cutting tools. At abrasive wear, weight loss was observed when the load increased. According to the abrasive wear results, the hardened martensitic steel cutting tools had a higher weight loss in comparison with other coated cutting tools. In addition, the microstructure and EDS analysis of each three cutting tools has been shown that there are high amounts of the Mn element contents on the surface of cutting tools which came from work pieces. It means that abrasive and adhesive wear occurs on the surface. On-line monitoring method gives an information about the performance of cutting tools based on the dimensional change during machining of the work piece surface. Accordingly, at the low-speed machining, TiN coated tools have been shown lower abrasion. Likewise, according to high speeds machining results, CrN coated cutting tools have been shown a slightly superiority in comparison with TiN coated cutting tools. The microstructural analysis of each three cutting tools after abrasion tests had been shown fracture and galling.

According to results of this experimental thesis it has been found that the best cutting performance has been attained by TiN coated tools which made from DIN 115CrV3 cold work steel, and can be used for industrial purposes. As well CrN coated tools had been shown enough good performance, so that its performance was better than hardened and stress free tempered uncoated tools which can't be used so good for industrial purposes.

Keywords: DIN 115CrV3 Steel, Abrasion Wear, Adhesion Wear, Plasma Vapor Deposition Method (PVD).

TEŞEKKÜR

Doktora tez çalışmamda, tezimin başından sonuna kadar yardımcı olan başta çok değerli danışman hocam, Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr. M. Mustafa YILDIRIM'a; verdikleri yakın destekten ve bilimsel katkılarından dolayı Makine Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof.Dr. Ramazan KÖSE'ye ve değerli öğretim üyesi Sayın Doç. Dr. Rahmi ÜNAL'a; deneylerin yapılmasında bana her türlü imkanı sağlayan ve deney sonuçlarının yorumlanmasında yardımcı olan kıymetli hocalarım, Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Ahmet ÇAKAN'a; Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Öğretim Üyeleri Sayın Yrd. Doç. Dr. Osman Nuri ÇELİK ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa ULUTAN'a ve çalışmada emeği geçen herkese ayrı ayrı teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Kaplama konusunda, kesici uçların PVD kaplamasını gerçekleştiren İstanbul Ionbond-Tinkap Firması yetkililerine ve çalışanlarına; laboratuvar çalışmalarında cihaz, bilgi ve maddi destek sağlayan Dumlupınar Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Proje (BAP) Birimi Başkanlığı'na ve Mühendis Sayın Kemal GÜNDÜZ'e çok teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde en büyük emeği olan ve bu emeğin karşılığını asla ödeyemeyeceğim babam Bahri ÖTEYAKA ve annem Hava ÖTEYAKA'ya en içten duygularıyla teşekkür ediyorum. Ayrıca benden hiçbir zaman desteğini ve sevgisini, büyük bir özveri ve sabırla eksik etmeyen sevgili eşim Işıl ÖTEYAKA'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| ÖZET..... | iv |
| SUMMARY..... | vi |
| TEŞEKKÜR | viii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | xii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xvii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | xviii |
| | |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. ÇELİK MALZEMELERİN ISIL İŞLEMİ..... | 4 |
| 2.1 Isıl İşlemlerin Yapılış Nedenleri | 6 |
| 2.2 Tavlama ve Tavlama Çeşitleri..... | 7 |
| 2.2.1 Yumuşatma tavlama ve ötektoid üstü çeliklerde küreleştirme..... | 8 |
| 2.3 Çeliklerin Sertleştirilmesi..... | 9 |
| 2.3.1 Temperleme (Menevişleme)..... | 9 |
| 2.4 Yüzey Sertleştirme ve Yüzey Sertleştirme Yöntemleri | 11 |
| 2.4.1 Yüzeyin kimyasal bileşimini değiştirmeden yapılan işlemler | 11 |
| 2.4.1.1 Fırında (Ocakta) yüzey sertleştirme | 12 |
| 2.4.1.2 Alevle yüzey sertleşme | 12 |
| 2.4.1.3 İndüksiyonla sertleşme..... | 13 |
| 2.4.1.4 Lazer ile yüzey sertleştirme | 14 |
| 2.4.2 Yüzeyin kimyasal bileşimini değiştirerek yapılan yüzey sertleştirme yöntemleri... 14 | |
| 2.4.2.1 Karbürleme (Sementasyon)..... | 15 |
| 2.4.2.2 Nitrasyon..... | 16 |
| 2.4.2.3 Karbonitrürasyon..... | 16 |
| 2.4.2.4 Borlama..... | 16 |

İÇİNDEKİLER (Devamı)

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 3. YÜZEY KAPLAMA YÖNTEMLERİ | 18 |
| 3.1 CVD Yöntemi | 18 |
| 3.2 PVD Yöntemi | 19 |
| 3.3 Torna Kalemlerinde PVD/CVD Kaplamaları | 20 |
| 3.3.1 TiN kaplama | 21 |
| 3.3.2 CrN kaplama | 22 |
| 3.3.3 Çok katmanlı kaplama | 23 |
| 4. KESİCİ TAKIMLAR VE TALAŞ KALDIRMA YÖNTEMLERİNİN ESASLARI | 25 |
| 4.1 Talaş Kaldırma Süreci | 28 |
| 4.2 Talaş Kaldırma Faktörleri | 29 |
| 4.2.1 Takım geometrisi | 29 |
| 4.2.2 Talaş tipi | 29 |
| 4.2.3 Kesme koşulları | 29 |
| 4.2.4 Kesme işleminde oluşan ısı | 30 |
| 4.2.5 Kesici takım ömrü | 30 |
| 5. KESİCİ TAKIMLARDA AŞINMA | 32 |
| 5.1 Abrasiv Aşınma | 34 |
| 5.2 Adhesiv Aşınma | 34 |
| 5.3 Aşınma Direncine Karbürlerin Etkisi | 35 |
| 5.4 Aşınma Deneyleri ve Ölçüm Yöntemleri | 36 |
| 5.4.1 Ağırlık farkı yöntemi | 36 |
| 5.4.2 On-line izleme yöntemi | 36 |
| 6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI | 37 |
| 7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR | 45 |
| 7.1 Numunelerin hazırlanması işlemleri | 45 |
| 7.2 Kaplama İşlemi | 46 |
| 7.3 Kimyasal Analiz, Mikroyapı ve Sertlik İncelemeleri | 47 |
| 7.4 Aşınma Deneyleri | 49 |
| 7.4.1 Abrasiv aşınma deneyleri | 49 |
| 7.4.2 Adhesiv aşınma deneyleri | 50 |
| 8. DENEY SONUÇLARI VE İRDELEME | 54 |

İÇİNDEKİLER (Devamı)

| | <u>Sayfa</u> |
|---|---------------------|
| 8.1 Spektral Analiz Sonuçlar..... | 54 |
| 8.3 Metalografik İnceleme Sonuçları ve İrdelenmesi | 56 |
| 8.3.1 Isıl işlem sonrası mikroyapı ve EDS analizi | 56 |
| 8.3.2 PVD kaplama sonrası mikroyapı ve EDS analizi | 61 |
| 8.4 Aşınma Deney Sonuçlarının İncelenmesi | 72 |
| 8.4.1 Adhesiv aşınma..... | 72 |
| 8.4.1.1 Artan yük karşısında adhesiv aşınma sonuçları | 72 |
| 8.4.1.2 Sabit yük altında adhesiv aşınma sonuçları..... | 78 |
| 8.4.2 Abrasiv aşınma deney sonuçları | 86 |
| 8.4.3. On-line izleme aşınma deney sonuçlarının incelenmesi | 94 |
| 8.4.4 Takım ömrü hesabı | 101 |
| 9. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 104 |
| 9.1 SONUÇLAR | 104 |
| 9.2 ÖNERİLER..... | 107 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 2.1. Soğutma ortamına göre değişen ön ısıtma, bekleme ve soğutma periyotları..... | 5 |
| 2.2. Çeşitli ısıtma işlem metodları için tav bölgeleri ve sıcaklıkları..... | 8 |
| 2.3. Alev ile yüzey sertleştirme yöntemi..... | 13 |
| 3.1. Yüzey kaplama yöntemlerinin sınıflandırılması..... | 18 |
| 3.2. Bernex™ BPXpro CVD kaplama cihazı..... | 19 |
| 3.3. Roadrunner, PVD kaplama cihazı..... | 20 |
| 3.4. $Ti_{1-x}Al_x$ kaplamasının mikrosertlik değişimi..... | 22 |
| 3.5. Farklı kaplama işlemlerinde yanal aşınmanın kesme uzunluğuna bağlı değişimi..... | 24 |
| 4.1. Kesici takımından bazı örnekler..... | 25 |
| 4.2. Takım malzemelerinde sertlik ve tokluk..... | 26 |
| 4.3. Hız çeliklerinde, sertliğin sıcaklığa bağlı değişimi..... | 27 |
| 4.4. Ortogonal ve eğik kesme modeli..... | 28 |
| 4.5. Ortogonal kesmede talaş oluşumu..... | 28 |
| 4.6. Kesme ve ilerleme hızları..... | 30 |
| 4.7. Isı oluşumu ve sıcaklığın dağılımı..... | 30 |
| 4.8. Takım aşınmasının gelişmesi..... | 31 |
| 5.1. HSS torna kaleminde meydana gelen plastik deformasyon: a) kesitten görünüş b) üstten görünüş..... | 33 |
| 5.2. Hız çeliğiyle alaşımıyla kesme esnasında meydana gelen sıcaklık değişimi..... | 33 |
| 5.3. Kesme kuvvetinin, a) kesme hızı ve b) ilerleme hızına göre değişimi..... | 33 |
| 6.1. İş parçanın maliyeti..... | 37 |
| 6.2. Kesme hızı; 100 m/dak., ilerleme; 0,15 mm/diş, eksen derinliği; - 1 mm ve 742 mm ilerlemeden sonra KC915M CVD TiN/TiCN/Al ₂ O ₃ kesici ucun çentik ve aşınan kısımların SEM resmi..... | 41 |
| 6.3. Farklı kesme hızlarında aşınma özelliklerinin karşılaştırılması a) TiN ve b) CrN..... | 43 |
| 6.4. Sol resim: TiN ve sağ resim: TiAlN/AlCrN kaplı aşınmış K10 kesici takımın SEM resmi | 43 |
| 7.1. Deneysel çalışmalarda uygulanan işlem basamakları..... | 45 |
| 7.2. DIN 115CrV3 çeliğinin ısıtma işlem şeması..... | 46 |
| 7.3. Deneysel çalışmada kullanılan cihazlar: a) Görüntü analiz sistemi, b) Hassas terazi, c) Struers Discotom-5 kesme cihazı, d) Sertlik ölçüm cihazı, e) Struers Tegrapol-21 zımpara ve parlatma cihazı, f) Struers bakalite alma cihazı..... | 48 |
| 7.4. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)..... | 49 |
| 7.5. Abrasiv aşınma testinde kullanılan düzener..... | 50 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devamı)

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 7.6. Adhesiv aşınma deney cihazı CSM Tribometer (numune yerleştirilmiş ve çalışır halde)... | 51 |
| 7.7. Revetest scratch tester cihazı. | 52 |
| 7.8. Lazer on-line izleme metodu..... | 53 |
| 7.9. On-line izleme cihazı için kullanılan tezgah ve deney düzeneği. | 53 |
| 8.1. DIN 115CrV3 çeliğin 760 °C, 780 °C ve 800 °C’de su verme sonucu oluşan sertlik değerleri..... | 55 |
| 8.2. Seramik kaplı kesici takımların sertlik değerleri..... | 56 |
| 8.3. Isıl işlem öncesi ve sonrası DIN 115CrV3 kesici takımların optik mikroskopta alınmış resimleri; a) Isıl işlem görmemiş (orijinal numune), b) 760 °C’de sertleştirilmiş numune, c) 780 °C’de sertleştirilmiş d) 800 °C’de sertleştirilmiş numune (X500)..... | 57 |
| 8.4. Isıl işlem öncesi ve sonrası DIN 115CrV3 kesici takımların SEM resimleri X1500; a) Isıl işlem görmemiş (orijinal numune), b) 780 °C’de sertleştirilmiş numune, c) 800 °C’de sertleştirilmiş numune (X1500)..... | 58 |
| 8.5. 800 °C’de sertleştirilmiş DIN 115CrV3 kesici takımın ısıl işlem sonrası yüzeyinde çatlak oluşumu (X500)..... | 59 |
| 8.6. DIN 115CrV3 kesici takımın SEM resminden alınan EDS analiz sonuçları (X1500)..... | 60 |
| 8.7. 780 °C’de sertleştirilmiş DIN 115CrV3 kesici takımın SEM resminden alınan EDS analiz sonuçları (X1500)..... | 60 |
| 8.8. 780 °C sertleştirilmiş çelik kesici takımın X ışını difraksiyonu analizi (XRD). | 61 |
| 8.9. TiN kaplama kalınlığı ve EDS analizinin alındığı noktayı gösteren SEM resmi..... | 62 |
| 8.10. TiN kaplamanın EDS analiz sonucu (Şekil 8.9’da 1 nolu noktadan EDS analizi yapılmıştır). | 62 |
| 8.11. TiN kaplamanın EDS analiz sonucu (Şekil 8.9’da 2 nolu noktadan EDS analizi yapılmıştır). | 63 |
| 8.12. TiN kaplamanın EDS analiz sonucu (Şekil 8.9’da 3 nolu noktadan EDS analizi yapılmıştır). | 63 |
| 8.13. TiN kaplamanın EDS analiz sonucu (Şekil 8.9’da 4 nolu noktadan EDS analizi yapılmıştır). | 64 |
| 8.14. TiN kaplamanın EDS analiz sonucu (Şekil 8.9’da 5 nolu noktadan EDS analizi yapılmıştır). | 64 |
| 8.15. TiN kaplı numunenin çizgisel analiz sonuçları. | 65 |
| 8.16. TiN kaplı kesici takımın X ışını difraksiyonu analizi (XRD). | 65 |
| 8.17. TiN kaplı kesici yüzeyin a) 2 boyutlu (2D) ve b) 3 boyutlu (3D) (20 µm X 20 µm) AFM resmi. | 66 |
| 8.18. TiN kaplı kesici yüzeyin yüzey pürüzlük analiz sonucu..... | 66 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devamı)

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 8.19. CrN kaplama kalınlığı ve EDS analizinin alındığı noktayı gösteren SEM resmi. | 67 |
| 8.20. CrN kaplamanın EDS analiz sonucu (Şekil 8.19'da 1 nolu olan noktadan EDS analizi yapılmıştır). | 68 |
| 8.21. CrN kaplamanın EDS analiz sonucu (Şekil 19'da 2 nolu olan noktadan EDS analizi yapılmıştır). | 68 |
| 8.22. CrN kaplamanın EDS analiz sonucu (Şekil 8.19'da 3 nolu olan noktadan EDS analizi yapılmıştır). | 69 |
| 8.23. CrN kaplamanın EDS analiz sonucu (Şekil 8.19'da 4 nolu olan noktadan EDS analizi yapılmıştır). | 69 |
| 8.24. CrN kaplamanın EDS analiz sonucu (Şekil 8.19'da 5 nolu olan noktadan EDS analizi yapılmıştır). | 70 |
| 8.25. CrN kaplı numunenin çizgisel analiz sonuçları..... | 70 |
| 8.26. CrN kaplı kesici takımın X ışını difraksiyonu (XRD). | 71 |
| 8.27. CrN kaplı kesici yüzeyin a) 2 boyutlu (2D) ve b) 3 boyutlu (3D) (20 µm X 20 µm) AFM resmi. | 71 |
| 8.28. CrN kaplı kesici yüzeyin yüzey pürüzlük analiz sonucu. | 72 |
| 8.29. Sertleştirilmiş DIN115CrV3 kesici takımın, artan yük karşısında; sürtünme kuvveti, akustik emisyon ve sürtünme katsayısının analizi..... | 74 |
| 8.30. TiN kaplı DIN115CrV3 kesici takımın, artan yük karşısında; sürtünme kuvveti, akustik emisyon ve sürtünme katsayısının analizi. | 74 |
| 8.31. CrN kaplı DIN115CrV3 kesici takımın, artan yük karşısında; sürtünme kuvveti, akustik emisyon ve sürtünme katsayısının analizi. | 75 |
| 8.32. Farklı malzemelerle kaplı ve kaplanmamış kesici takımların artan yük karşısında sürtünme katsayılarının karşılaştırılması..... | 75 |
| 8.33. a) TiN kaplı kesici takımında, b) CrN kaplı kesici takımında, c) Sertleştirilmiş kesici takımında artan yük sonucu oluşan yüzeydeki bozulmalar..... | 77 |
| 8.34. TiN kaplı kesici takımında; a) yüzeyde oluşan ilk çatlaklar veya kaplamanın koptuğu nokta (beyaz ok), b) yüzeyde meydana gelen ilk delaminasyon (beyaz ok) noktası..... | 77 |
| 8.35. CrN kaplı kesici takımın a) yüzeyde oluşan ilk çatlaklar veya kaplamanın koptuğu nokta (beyaz ok), b) yüzeyde meydana gelen ilk delaminasyon (beyaz ok) noktası..... | 77 |
| 8.36. Kaplama yapılmış numunelerin, WC küre ile yapılan adhesiv aşınma deneylerinde sürtünme katsayısı değerinin sabit yükle zamana bağlı değişimi..... | 79 |
| 8.37. Sertleştirilmiş çelik kesici takımın sabit yük altında adhesiv aşınma sonrası SEM görüntüsü (X500). | 80 |
| 8.38. Sertleştirilmiş çelik kesici takımın aşınmamış bölgesinden (Şekil 8.37, 1 nolu nokta) alınan EDS analiz sonucu..... | 81 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devamı)

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 8.39. Sertleştirilmiş çelik kesici takımın aşınmış bölgesinden (Şekil 8.37, 2 nolu nokta) alınan EDS analiz sonucu..... | 81 |
| 8.40. TiN kaplı kesici takımın sabit yük altında adhesiv aşınma sonrası SEM görüntüsü (X500). | 82 |
| 8.41. TiN kesici takımın aşınmamış bölgesinden (Şekil 8.40, 1 nolu nokta) alınan EDS analiz sonucu..... | 83 |
| 8.42. TiN kesici takımın aşınmış bölgesinden (Şekil 8.40, 2 nolu nokta) alınan EDS analiz sonucu..... | 83 |
| 8.43. CrN kaplı kesici takımın sabit yük altında adhesiv aşınma sonrası SEM görüntüsü (X500). | 84 |
| 8.44. CrN kesici takımın aşınmamış bölgesinden (Şekil 8.43, 1 nolu nokta) alınan EDS analiz sonucu..... | 85 |
| 8.45. CrN kesici takımın aşınmış bölgesinden (Şekil 8.43, 2 nolu nokta) alınan EDS analiz sonucu..... | 85 |
| 8.46. Uygulanan 10 N yük altında mesafeye bağlı ağırlık kaybı. | 87 |
| 8.47. Uygulanan 20 N yük altında mesafeye bağlı ağırlık kaybı. | 87 |
| 8.48. Uygulanan 30 N yük altında mesafeye bağlı ağırlık kaybı. | 87 |
| 8.49. Uygulanan 40 N yük altında mesafeye bağlı ağırlık kaybı. | 88 |
| 8.50. Sertleştirilmiş çelik kesici takımın 20 N sabit yük altında abrasiv aşınma sonrası SEM görüntüsü (X50). | 89 |
| 8.51. Sertleştirilmiş çelik kesici takımın aşınmamış bölgesinden (Şekil 8.50, 1 nolu nokta) alınan EDS analiz sonucu..... | 89 |
| 8.52. Sertleştirilmiş çelik kesici takımın aşınmış bölgesinden (Şekil 8.50, 2 nolu nokta) alınan EDS analizi sonucu. | 90 |
| 8.53. TiN kesici takımın 20 N sabit yük altında abrasiv aşınma sonrası SEM görüntüsü (X50).91 | 91 |
| 8.54. TiN kaplı kesici takımın aşınmamış bölgesinden (Şekil 8.53, 1 nolu nokta) alınan EDS analiz sonucu. | 91 |
| 8.55. TiN kaplı kesici takımın aşınmış bölgesinden (Şekil 8.53, 2 nolu nokta) alınan EDS analiz sonucu..... | 92 |
| 8.56. CrN kesici takımın 20 N sabit yük altında abrasiv aşınma sonrası SEM görüntüsü (X50). | 93 |
| 8.57. CrN kaplı kesici takımın aşınmamış bölgesinden (Şekil 8.56, 1 nolu nokta) alınan EDS analiz sonucu. | 93 |
| 8.58. CrN kaplı kesici takımın aşınmış bölgesinden (Şekil 8.56, 2 nolu nokta) alınan EDS analiz sonucu..... | 94 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devamı)

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|---------------------|
| 8.59. Sabit 18 m/dak kesme hızında farklı malzemelerle kaplı kesici takımlarda voltaj değişimlerinin karşılaştırılması. | 95 |
| 8.60. Kesici kalemlerin 18 m/dak. kesme hızı sonunda uçlarında oluşan aşınma bölgeleri. | 96 |
| 8.61. Sabit 25 m/dak.'lık kesme hızında farklı malzemelerle kaplı kesici takımlarda voltaj değişimlerinin karşılaştırılması. | 97 |
| 8.62. Kesici kalemlerin 25 m/dak. kesme hızı sonunda uçlarında oluşan aşınma bölgeleri. | 98 |
| 8.63. Sabit 35 m/dak. kesme hızında farklı malzemelerle kaplı kesici takımlarda voltaj değişimlerinin karşılaştırılması. | 99 |
| 8.64. Kesici kalemlerin 35 m/dak. kesme hızı sonunda uçlarında oluşan aşınma bölgeleri. | 100 |
| 8.65. Her üç kesici takım için Log (V)- Log (T) grafiği. | 102 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| <u>Cizelge</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 2.1. Çelik ve demir dışı metal alaşımlarında hedef yapılar ve bu yapıların getirdiği fiziksel özellikler..... | 5 |
| 2.2. Fazların dönüşümü..... | 10 |
| 3.1. TiN kaplamalarının temel özellikleri | 22 |
| 3.2. CrN kaplamalarının temel özellikleri..... | 23 |
| 4.1. İş parçaları ve kesme işleminde aşınma özellikleri..... | 26 |
| 4.2. Farklı kesici takımların “n” faktörü değerleri | 31 |
| 6.1. Kaplama tabakalarının mikrosertlikleri ve ısıl genleşme katsayıları. | 39 |
| 7.1. Kaplama parametreleri..... | 46 |
| 7.2. Pim disk deney parametreleri..... | 51 |
| 7.3. Revetest scratch tester deney parametreleri. | 52 |
| 8.1. DIN115CrV3 malzemesinin kimyasal analizi..... | 54 |
| 8.2. Aşınma deneyinde kullanılan otomat çeliğinin kimyasal özellikleri | 54 |
| 8.3. TiN ve CrN kaplı kesici takımların Şekil 8.34 ve Şekil 8.35’de oklarla gösterilen kritik yük (N) değerlerini göstermektedir. | 78 |
| 8.4. Malzemelerin sabit yük altında adhesiv aşınma sonucu aşınma oranları..... | 79 |
| 8.5. Her üç kesici takım için deney ve Log (V)-Log (T) verileri..... | 102 |
| 8.6. Her üç kesici takımın Log (V)-Log (T) grafiğinden elde edilen değerler..... | 103 |

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ**Simgeler**

PVD

HV

N

Ra

Rz

nm

 μ μm

gr

Açıklama

Fizisel buhar biriktirme

Vickers sertlik değeri

Newton

Ortalama pürüz yüksekliği (μm)Maksimum pürüz yüksekliği (μm)

Nano metre

Sürtünme katsayısı

Mikrometre

Gram

Kısaltmalar

AISI

SEM

EDS

AFM

XRD

Açıklama

Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü

Taramalı elektron mikroskobu

Enerji dağılım spektroskopisi

Atomik kuvvet mikroskopisi,

X-ışını difraktometresi

1. GİRİŞ

Günümüzde modern makine işleme teknolojisi içerisinde kullanılan kesici takımlar yüksek mekanik gerilmeler altında çalışmaktadır. Kesme işlemlerinde önem taşıyan teknolojiler; sırasıyla kuru kesme, yüksek hızda kesme veya yüksek performanslı kesme şeklinde gruplanmaktadır. Talaş kaldırmada kullanılan kesici takımlarda takımın şekli ve boyutu dışında, mekanik özellikleri de büyük önem arz etmektedir. Örneğin kesici takımlardan yüksek sıcaklıklarda yeterli sertlik, mukavemet ve tokluk özellikleri istenirken; ayrıca bunlarda iyi bir termal şok direncinin varlığı da aranan ve istenen önemli özellikler arasında yer almaktadır.

Kesici takımlarda kullanılan malzemeler sırasıyla; volfram, krom, karbon esaslı, bazen ayrıca vanadyum, molibden ve kobalt katkılı hız çelikleri; sinterlenmiş karbür bileşikler (Örneğin toz metal teknikleriyle üretilen WC-Co uçlar), sermetler (Novak and Komac, 1997; Novak et al., 1997), seramik kesiciler (Bitterlich et al., 2008; Kumar et al., 2003), kübik bor nitürler (CBN) ve elmas malzemelerdir. Kullanılan malzemeler, aşınma direnci ve tokluk özelliklerine göre ayrılmaktadır. Bunun yanında, kesme hızı ve ilerleme hızı da malzeme seçiminde önemli değişkenlerdendir. Örneğin, yüksek hız çelikleri tok malzemedir. Fakat sahip oldukları düşük aşınma direnci, onların belli hızlardaki işlemlerde kullanılmasını zorunlu kılar. Diğer taraftan, CBN ve elmas kesici takımlar ise çok sert malzemelerdir ve daha yüksek hızlarda kesme işlemlerinde kullanılabilirler.

Takım çeliği kalemler ucuz olduklarından, sanayide en çok kullanılan malzemelerdir. Karbon oranına göre, % 0,7-1,35 C arasında karbon içeren alaşımsız ya da az alaşımlı çelik kalemlerdir. Bunlar; düşük kaliteli ve dayanımları az, kolay temin edilebilen ve ucuz olan kesici takımlardır. Bu çeliklerden yapılan kesici uçlar, yaklaşık 250 °C çalışma sıcaklıklarına kadar dayanabilirler ve genellikle sert olmayan malzemelerin işlenmesinde kullanılırlar. Bu nedenle kullanım alanları oldukça sınırlıdır. Bu bileşimdeki çeliklerin, uygun ısıl işlemlerle kesme performansları artırılabilir. % 0,7-1,35 C içeren sade karbonlu alaşımsız takım çeliklerine uygun yumuşatma tavı yapıldıktan sonra sertleşme işlemi uygulanırsa, mikroyapı martenzitik olur. Bu yapı çeliğin bilinen en sert yapısıdır ve işlem sonrasında sertliği 62-65 HRC arasında bulunur. Fakat bu çelikle, ancak 15 m/dak. kesme hızına kadar dökme demirler, bazı çelikler ve demir dışı metal alaşımları işlenebilir (Çakan, 2006).

İdeal bir kesiciden yüksek sertlik, iyi tokluk ve uygun yapı oluşumu istenmektedir. Özellikle sertlik ve tokluğu aynı anda elde etmek zor olduğu için hiçbir kesici takımda yukarıda belirtilen üç özellik aynı anda elde edilemez. Bahsedilen özelliklere aynı anda ulaşabilmek amacıyla takım çeliklerine son yıllarda yüzey mühendisliği teknikleri de uygulanmaktadır. Bu

yöntemde amaç; su verilmiş çeliğin yüzeyine TiN, TiC, CrN, vb. veya kombinasyonları şeklinde seramik kaplamalar yapılarak, kesme hızının bu tür takım çeliklerinde 30 m/dak değerine kadar yükseltilebilmesidir (Çakan, 2006). Bunun yanı sıra kaplama yolu ile takım çeliklerinin aşınma direnci ve kullanım ömrü de artırılmış olur (Byrne et al., 2003).

TiN, çelik işleme endüstrisinde kullanılan ilk kaplama türü olup, oluşan kaplama katları altın sarısı rengi ile dikkat çekmektedir. İlk uygulandığında kimyasal buhar biriktirme yöntemi ile 500 °C civarındaki sıcaklıklara kadar ısıtılan hız çeliklerinin yüzeylerini kaplamada etkin bir bileşik olduğunu ispatlayan TiN; 80'li yıllardan itibaren birçok işleme ve kesme takımları ile kalıp endüstrisinde kullanım alanı bulmuştur. Aşınma direnci yüksek bir kaplama olarak birçok malzeme çeşidine uygulanabilen TiN; takım ömrünü artıran, malzeme işleme ve beslemede yüksek hızlarda kullanıma olanağı sunan bir yapıda bulunmaktadır.

CrN'ün ise, diğer fiziksel buhar biriktirme (PVD) yolu ile yapılan kaplamalara göre sertliği daha düşüktür. Ancak yüksek kimyasal dirence sahiptir. Çalıştığı malzemelere kısmen yapışır ve antikorozyiftir. Bakır ve alüminyum alaşımları gibi malzemelerin işlenmesinde, kullanımı son derece uygundur. CrN ayrıca; sıvama kalıpları, alüminyum enjeksiyon kalıpları ve plastik enjeksiyon uygulamalarında yüksek performansı ile dikkat çeker. Bu tür kaplamalar daha düşük takım aşınmaları ve azalan kesme kuvvetleri nedeniyle, işleme ekonomisine ve kesici takım performansına önemli katkıda bulunmaktadır.

Kesici takım seçiminde; maliyet, mekanik özellikler (iyi bir sertlik ve yeterli süneklik) ve temin edilebilirlik gibi etkenler göz önünde bulundurulduğunda; piyasada 'Civa Çeliği' olarak tanınan soğuk iş takım çeliği DIN 115CrV3, yüzey mühendisliği alanında iyi bir kesici takım adayı olabilir. DIN 115CrV3 çeliği; matkap ucu, rayba, havşa, pim ve zımba vb. takımların yapımında kullanılmaktadır. Isıl işleme sertliği 64-66 HRC'ye kadar çıkabilir. Yapısında; % 1,15 C-% 0,70 Cr-% 0,10 V-% 0,25 Si-% 0,30 Mn bulunmaktadır (Yıldırım and Öteyaka, 2012).

Sunulan tez çalışmasında, DIN 115CrV3 soğuk iş takım çeliğinin torna kalemi olarak sanayiye kazandırılması hedeflenmiştir. Bu amaç çerçevesinde, DIN 115CrV3 çeliği torna kalemi şeklinde hazırlanıp üretilen kesici uçların uç bölgelerine sertleştirme ve gerginlik giderme temperlenmesi yapıldıktan, yüzey bölgesine TiN ve CrN ile kaplama işlemi tamamlandıktan sonra, üretilen kesici uçların mikroyapısının SEM ve EDS teknikleriyle, aşınma ömrü ve kesme performansının da on-line izleme tekniğiyle ile incelenmesi amaçlanmıştır.

Bu doktora tezinin literatür araştırması sonucunda; diğer araştırmalara göre konunun güncel bir konu olduğu, seçilen çelik alaşımının bugüne kadar literatürde kesici takım olarak

araştırılmadığı, aynı zamanda söz konusu elik alaşımının fiyata ucuz olduğu, oluşturulacak kaplamalarla en iyi kesme performansının nasıl sağlanabileceği, kaplama katının takım yüzeyine ne ölçüde sıkı tutunup bağlanabildiği, kesme ömrü ve oluşan mikroyapıların neler olduğunun belirlenmesi araştırmaya değer bir konu olarak görülmüştür.

2. ÇELİK MALZEMELERİN ISIL İŞLEMİ

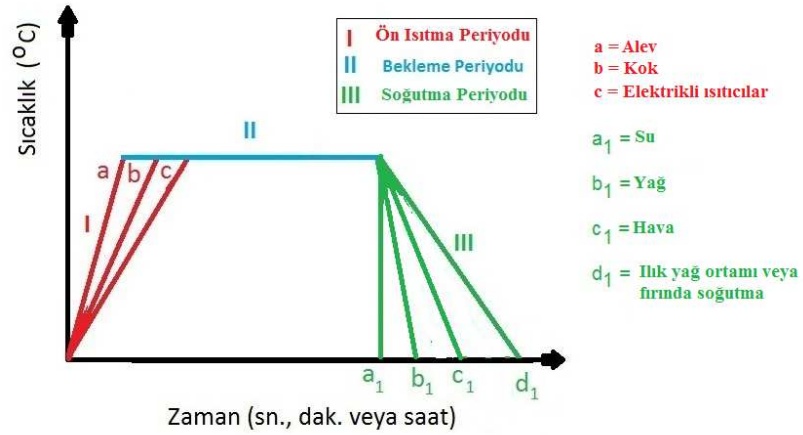
Isıl İşlemler genel olarak, malzemelerin bozulmuş iç yapılarını düzeltmeyi, üretim sonrası istenmeyen bazı yapı ve özelliklerin giderilmesini hedefleyen veya ulaşılmaması istenen yapı ve özelliklerin sağlanmasını olası kılan uygulama tekniklerinin tamamını kapsar. Isıl işlem, malzemelerin belli özelliklere kavuşturulabilmeleri için, belli sıcaklıklara kadar ısıtılmaları, belli süreler beklendikten sonra belli ortam ve hızlarda soğutulma işlemlerine denir (Yıldırım and Çakan, 2011). Bir ısıl işlem uygulamasında üç aşamadan oluşan bir çalışma süreci söz konusudur;

-Isıtma periyodu: Isıtma fırınla birlikte ya da fırın, önceden arzulan sıcaklığa çıktıktan sonra yapılabilir. Bunlardan ilk yol malzemenin ısıl şoklara karşı korunması açısından daha iyi bir uygulama şekli olarak gözükmekle beraber, sürekli üretim açısından ekonomik olan bir yol değildir. İkinci yolda parça üzerinde aşırı termik gerilmeler ve buna bağlı termal şok etkisi nedeniyle; yırtılma, çatlama ve çarpılmalar ortaya çıkabilir. Bunun için endüstri bazındaki çalışmalar için önerilebilecek en uygun yöntem, yüksek tav sıcaklıklarında parçayı fırına almadan kademeli olarak sıcaklığını artırıcı önlemlerin alınması olabilir.

-Bekleme periyodu: Bekleme süresi genellikle parça içi atom difüzyonu (katı fazda atom hareketlerinin) istenen hızda ve tam olarak sağlanacak şekilde ayarlanır. Bu nedenle parça kalınlığı ve sıcaklık en önemli faktörlerdir (ilke olarak kalın malzeme daha çok beklenir).

-Soğutma periyodu: Seçilecek ortam, duruma göre hızlı veya yavaş soğutma ortamı olabilir. Burada, hedeflenen yapı dönüşümleri soğutma hızının ve ortamının ne olacağını belirleyen temel faktörlerdir. Örneğin soğutma ortamı olarak 20 °C'deki içme suyu olabilir (Şekil 2.1).

Alaşımli çeliklerde çalışma sıcaklığının seçimi için alaşımın faz diyagramından hareket etmek en uygun yoldur. Nitekim çalışılacak en yüksek sıcaklık katılaşma çizgisinin (solidüsün) hemen altında bulunan uygun bir sıcaklık değeri iken, en düşük çalışma sıcaklığını atom hareketlerinin ve aktivitesinin yeterli hızda sağlanabildiği minimum bir sıcaklık değeri oluşturur. Örneğin; çelik için bu sıcaklık değerleri en çok 1200-1300 °C olurken, en düşük sıcaklık değerleri de 150-180 °C olarak verilebilir (Yıldırım and Çakan, 2011).



Şekil 2.1 Soğutma ortamına göre değişen ön ısıtma, bekleme ve soğutma periyotları

(Yıldırım and Çakan, 2011).

Isıl işlemlerde fiziksel açıdan hedeflenen değişik özellikleri; ulaşılan yapılar, yapıların tane iriliği ve tanelerin oluşum biçimleri belirler. Dolayısı ile, ulaşılabilecek yapı da bir anlamda ısıl işlemin amacını belirler ve yönlendirir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 Çelik ve demir dışı metal alaşımlarında hedef yapılar ve bu yapıların getirdiği fiziksel özellikler (Yıldırım and Çakan, 2011).

| Malzeme cinsi | Hedef yapılar | Fiziksel özellikler |
|----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Çelik | Ferrit | Yumuşak ve sünek |
| | Ferrit+Perlit | Az sert ve iri taneli |
| | Perlit | Sert ve az sünek |
| | Sorbit (İnce Perlit) | İnce taneli, sert ve sünek |
| | Bainit | Sert ve az sünek |
| | Troostit (yumru) | Sert ve çok az sünek |
| | İğneli Martenzit | Çok sert ve kırılgan |
| | Masif Martenzit | Sert |
| Demir dışı metal alaşımlar | α ya da β | Homojen ve sünek |
| | $\alpha+\beta$ | Honojen ve az sünek |
| | $\gamma, \beta, \epsilon, \eta$ | Sert, bileşik karakterli fazlar |

Isıl işlemlerin uygulanmasında; ısıl işlemin uygulanacağı fırın ya da ocağın seçimi, malzeme karakteristikleri, ısıl işlemin yapılacağı sıcaklığın seçimi, bekleme süresinin yeterli olması, soğutmanın yapılacağı ortam, seçilecek soğutma hızı, parça içi ısı dağılımındaki dengesizlikler, ısıl işlem ortamında uğrayabileceği korozif etkiler açısından çeşitli problemlerle karşılaşılabilir.

2.1 Isıl İşlemlerin Yapılış Nedenleri

Teknikte ısıl işlemlerin yapılmasını gerektiren bir çok neden vardır. Bu nedenlerden en önemlileri aşağıda sıralanmıştır (Yıldırım, 1983).

-Sıcak ve soğuk biçimlendirme gerginliklerini gidermek: Malzemelerde ve özellikle sertleştirilmiş takım çeliklerinde soğuk ve sıcak biçimlendirmelerden ileri gelebilecek iç gerginliklerin giderilmesi gerekir.

-Talaş çıkarma işçiliğini kolaylaştırmak: Sert, iç gerginliği fazla ve segregasyona uğramış olan parçaların genellikle talaş kaldırma işlemleri güçtür. Böyle parçalarda talaş kaldırmayı sağlamak için ya pahalı uçlar kullanmak, ya da parçayı yumuşatma ve homojenleştirme yoluna gitmek gerekir.

-Darbelere karşı dayanımı artırmak: Malzemelerde darbe dayanımını artırmak demek; onlara süneklik, ya da darbe tokluğu özelliği kazandırmak demektir. Sünekliği artırmak amacıyla yapılan en önemli ısıl işlem türü temperleme (menevişleme)'dir. Derinliğine sertleştirilen parçaların 450-650 °C sıcaklıklarda tavlama suretiyle (ıslah tavlama uygulanarak), sertlik ve mukavemet değerlerinde fazla bir azalma olmadan, malzemenin sünekliği hissedilir ölçülerde artırılabilir.

-Kesici takımları sertleştirmek: % 0,85-1,35 C'lu; çoğu kez düşük oranda, krom, volfram, vanadyum ve molibden içeren adi takım çeliklerinin sertleştirilmesinde ve yine % 14-20 volfram, % 1,5-4,5 krom ve % 0,6-1,3 karbonlu; bazı kaliteli türlerinde belli oranlarda molibden, vanadyum ve kobalt bulunduran hız çeliklerinin sertleştirilmesi ve ıslahında da ısıl işlem teknikleri kullanmak gerekir.

Takım çeliklerine uygulanan ısıl işlemler kesici ucun uzun süre keskinliğinin korunmasını sağlanması kadar, onların iç gerginliklerini atmalarının sağlanmasını da amaçlar.

Ötektoid üstü yüksek karbonlu alaşımsız takım çelikleri uygun sıcaklıklarda (önce 730 °C ısıtılır, sonra 2-4 saat süreyle 730-755 °C arasında sürekli ısıtılıp soğutma yapılır) normalize edildikten sonra sadece sertleşmesi istenen kısım (kesici uç kısmı) suya daldırılır. Kısa bir süre sonra parçanın tamamına su verilerek işlem tamamlanır. Böylece kesici ucun sertleşmesi ve diğer noktalarının ise sünek kalması sağlanır.

-Segregasyondan ileri gelen yapı bozukluğunu gidermek: Malzeme tekniğinde; katılaştıran parçalarda yeni fazların oluşumundan sonra görülen yerel konsantrasyon farklılıklarına segregasyon denir. Çelikte S ve P elementleri segregasyona neden olmaktadır. S ve P segregasyonunu gidermek için böyle çeliklere difüzyon tavlama uygulamak gerekir. Segregasyon,

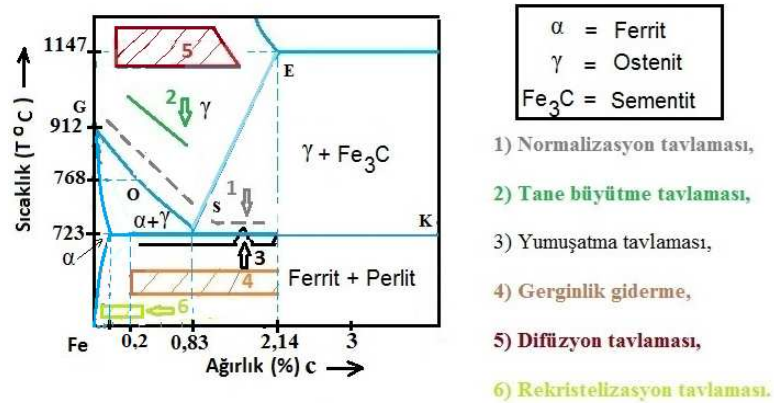
geniş katılma aralığının varlığında ve varsa katılmanın peritektik olması durumunda, fazla olur. Kristal segregasyonları uzun süreli tavlama işlemleriyle büyük ölçülerde giderilebilirken, blok segregasyonlarının ve diğer segregasyon oluşumlarının ısı işlemlerle giderilmesi mümkün olmamaktadır.

-Aşınma özelliğini iyileştirmek: Genellikle sertliği yüksek malzemelerin aşınma özellikleri iyidir. Ancak aşınma özelliklerinin iyi olması sadece sertlikle ilişkili değildir. Yüzeyin düzgünlüğü, aşınmayı azaltıcı ara madde etkinliği, aşınan tanelerin sünek bir yapı içerisinde gömülerek kalması gibi hususlar malzemelerde aşınmayı yavaşlatıcı etkilere sahiptir.

Çelik malzemelerde yüzeyin sertleştirilmesi, onların aşınma etkilerine karşı dayanıklı olmalarını da sağlar. Dişlilerde, yatak muylularında, kavrama tırnaklarında, krank ve eksantrik millerinde yüzeyin aşınmasını önleyebilmek için yüzeyin sertleştirilmesi gerekir. Böylece yüzey aşınma etkilerine dayanıklı olurken, malzemenin iç kısmı da sünek kalarak darbe etkilerine karşı direnç gösterir (Yıldırım and Çakan, 2011; Yıldırım et al., 2001).

2.2 Tavlama ve Tavlama Çeşitleri

Tavlama, bir malzemenin belli amaçlara ulaşması için; solidüs (katılma) çizgisi altında belirli ve uygun bir sıcaklığa kadar ısıtılması, bu sıcaklıkta belli bir süre bekletilmesi ve daha sonra belli ortam ve hızlarda soğutulması işlemine denir. Sıcak ve soğuk işlem gören veya görececek metal parçalar normal olarak bu işlemde önce veya sonra bir tavlama işlemi gerektirirler. Bunlardan en önemlileri; normalizasyon tavlaması, tane büyüten tavlama (tam tav), yumuşatma ve küreselleştirme tavlaması, gerilme giderme tavlaması, difüzyon tavlaması ve yeniden kristalleşme tavlamasıdır (Şekil 2.2). Bu çalışmada yumuşatma ve küreselleştirme tavlaması kullanıldığı için aşağıdaki bölümde bu tavlama çeşidine yer verilmiştir (Çakır, 1999; Schumann, 1964; Töre, 2007; Yıldırım, 1983).



Şekil 2.2 Çeşitli ısıtım işlemleri için tavlama bölgeleri ve sıcaklıkları.

2.2.1 Yumuşatma tavlaması ve ötektoid üstü çeliklerde küreleştirme

Çeliklerde çalışma sıcaklığı ötektoid altı (ÖA) çeliklerde; % 0,2-0,83 C'lu, A_{c1} sıcaklığının hemen altında (670-710 °C) ve ötektoid üstü (ÖÜ) çeliklerde; 0,83-1,7 % C'lu, A_{c1} sıcaklığında ve zaman zaman bu sıcaklığın üzerine çıkılıp inilerek uygulanır. Ötektoid altı çeliklerde tavlama sonrası yumuşama, lamelli perlitin taneli perlite dönüşümü ile sağlanmaktadır. Tav sıcaklıkları 670–710 °C arasında bulunmalı ve parçalar bu sıcaklıklarda 2-4 saat kadar tutulmalıdır (Yıldırım and Çakan, 2011).

% 0,85-1,35 C'lu ötektoid üstü takım çelikleri yumuşatmak amacı ile 730 °C'ye ısıtılır. Bu sıcaklıkta tavllanır. Zaman zaman kısa süreli 745-755 °C'ye kadar ısıtılıp sonra derhal 730 °C'ye soğutma yapılır. Bu ısıtım işleminde de 2 ile 4 saat süreyle işlem uygulanır. Yumuşatma tavlama amaç, çeliği ulaşabileceği en yüksek süneklik değerine ulaştırmaktır. Ancak bu arada malzemenin mukavemet değerleri olan çekme ve akma dayanımları bir miktar düşer. Çeliğin yumuşatılarak kolaylıkla talaş kaldırmanın ve ötektoid üstü çeliklerden yapılan kesici uçların en mükemmel şekilde sertleştirilmesinin sağlanması amaçlarıyla yapılır. Soğutma ortamı 600 °C'ye kadar yavaş yavaş ve kontrollü gerçekleşir ve daha sonra malzeme açık havada soğutmaya terk edilir. Isıtım işleminin sonrası malzeme fiziksel açıdan yumuşar, süneklik kazanır ve ulaşabileceği en iyi süneklik ve tokluk özelliğine erişir. Korozyon açısından malzeme yüzeyinde çok büyük bir değişiklik olmaz. Ancak çevredeki atmosfer oksijeninin (O₂) etkisiyle yüzeyde hafif bir tufallaşma gözlenir. Isıtım işleminde meydana gelebilecek sorunlar; ötektoid altı % 0,3-0,85 C'lu çeliklerde ısıtım işlemi hassas ayarlanamayan fırında uygulanırsa A_{c1} sıcaklığının aşılma tehlikesi ya da 650 °C'nin altında yapılan ısıtım işleminde sıcaklığın yetersiz kalma riski vardır. Ötektoid üstü çeliklerde 730 °C civarında, zaman zaman 740-750 °C ısıtılan parçaların bu sıcaklıklarda uzun süre tutulmaması gerekir. Süre uzun tutulduğunda malzemede ostenit (γ)'e dönüşüm gerçekleşir. Bu

da istenmeyen bir durumdur. Sonuç itibariyle ısı işlem amacına ulaşamaz. Bu işlem % 0,3-1,7 C içeren tüm çeliklere ve özellikle % 0,85-1,35 C içeren sade C'lu az alaşım katkılı çeliklere başarıyla uygulanır (Çakır, 1999; Töre, 2007; Yıldırım and Çakan, 2011).

Ötektoid üstü çeliklerde yumuşama ve süneklik kazandırma, talaşlı üretim yolu ile işlenebilirlik; ancak perlitin küreselleştirilmesiyle sağlanabilir. İşlem sonunda sementit ağı parçalanır ve perlit küreselleştirilerek çeliğin ağ oluşturan sementitten kaynaklanan mukavemeti kırılır. A_{c1} sıcaklığında (730 °C'de) tavlanan çelikler, yapılarındaki karbon içeriğine göre; 2-4 saat süre zarfında, zaman zaman 740-755 °C'de ve hatta bazı durumlarda 780 °C'ye kadar ısıtılıp soğutularak küreselleşme sağlanır. Sementit ağı ne kadar fazla ise dönüşüm için gerekli, kısa süreli ısıtma-soğutma periyodu o kadar uzun olur. Tavlama işlemi sonrası soğutma 600 °C'ye kadar yavaş olmalı ve malzeme daha sonra açık havada soğumaya terkedilmelidir (Çakır, 1999; Töre, 2007).

2.3 Çeliklerin Sertleştirilmesi

Bu işlem çeliklere ostenitik yapıdan martenzitik yapıya, yüksek bir soğutma hızında su verme sonucunda yüksek bir sertlik kazandırmak amacıyla yapılır. Çeliğin sertleşme yeteneği ostenit fazında eriyen karbonun miktarına ve oluşan martenzitin yapıdaki oranına bağlıdır. Çeliğin derinliğine sertleştirilmesi için tüm parçanın kesit boyunca üniform olarak ısıtılması gerekir. Parça kalınlaştıkça daha fazla ısı girdisi gerekir (Çakır, 1999). Kesici takım çeliklerinin sertlik ve aşınma direncinin yüksek olması istenir. Bu da sertleştirme işlemi yapılarak mümkün olur. Kısaca sertleştirme işlemi denildiğinde, parçaların demir-sementit faz diyagramındaki GOSK A_3 ve A_1 sıcaklık çizgilerinin 30-50 °C üzerine ısıtılarak, burada parçanın yeterince (her yanı aynı sıcaklığa ulaşınca dek) bekletildikten sonra çok hızlı soğutulması işlemi anlaşılır. Burada amaç sert martenzitik yapıya ulaşmaktır. Sertleştirilen çelikler, Rockwell-C (Rc) sertliği cinsinden 65-67 Rc sertliklere kadar ulaşırlar (Çakır, 1999).

2.3.1 Temperleme (Menevişleme)

Su verilmiş, yani sertleştirilmiş çelikler cam gibi kırılığandır. Örneğin, kesici takımların su verme sonrasında kullanılabilmesi için iç gerginliğinin giderilmesine gereksinim duyulur. Bu sünekliğe ulaşabilmek için kesici takımın temperlenmesi gerekir. Temperlemedeki temel amaç az da olsa çeliğin tokluğunu arttırmak ve sertleştirme sonucunda oluşan iç gerginlikleri gidermektir. Fakat tokluktaki artış sertlikteki azalmaya neden olacağından, temperleme işlemi bu iki özelliğin optimum kombinasyonunu sağlamayı amaçlamaktadır. Temperlemede çalışma sıcaklığı üç farklı sıcaklık aralığında olabilir. Bunlar; a) 150 °C-240 °C, b) 240 °C-450 °C ve c) 450 °C-650 °C'dir. Temperleme derinliğine sertleştirilmiş çeliklere bu

aralıkta, hedeflenen amaca göre uygulanır. Söz konusu sıcaklıklara çıkıldıktan sonra 30 - 45 dak. bir süre beklemek yeterlidir. İşlem sonrası oluşan yapı ve sertlikler aşağıdaki tabloda özetlenmiştir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2 Fazların dönüşümü.

| SICAKLIK | ÖNCE | SONRA | SERTLİK (HRC) |
|------------|----------------------|-------------------------------------|---------------|
| 150-240 °C | Tetregonal Martenzit | İç gerginliği giderilmiş martenzit | 50-65 |
| 240-450 °C | Tetregonal Martenzit | Troostit (çok ince yumru perlit) | 45-50 |
| 450-650 °C | Tetregonal Martenzit | Sorbit (çok ince lamelli perlit) | 40-45 |

Eğer parça 150-240 °C arasında ortalama 200 °C’de tavlınırsa, bekleme süresine göre sertliği 50-65 Rc arasında değişen iç gerginliği az martenzit oluşur. Diğer yandan % 0,6 C’nin üstünde karbon içeren çeliklerde, su ile soğutulan malzemede kalıntı ostenit (γ) de bulunabilir. Bu durumda yapılacak tavlama sonunda kalıntı ostenit (γ) kübik martenzite dönüştürülür. Kübik martenzit tetragonal, martenzite göre daha çok karbon eritebilir. Martenzitin temperlenmesinde kalın iğneli martenzitin oluşmaması gerekir. Bunun yerine sertleştirilmiş masif martenzit oluşmalıdır. Eğer sertleştirilmiş masif martenzit yapıya sahip çelikler 240 °C-450 °C arasında tavlınırsa, sertlik ve mukavemeti az oranda düşer, ama parçaların iç gerginlikleri yok olur. 320 °C civarında rozete benzeyen yumru şeklinde bir perlit yapısı meydana gelir. Bu yapı “Troostit” olup, içten dışa ışınlar şeklinde α -fazı ve perlit lamellerinden oluşur. 450 °C-650 °C arasında yapılacak tavlamalara “İslah tava” denmektedir. Burada ulaşılan yapı ince lamelli perlit, yani “Sorbit” tir. Bu tava ıslah tav denmesinin nedeni; işlem gören parçaların sertlik ve mukavemetleri az oranda düşerken, 450 °C-650 °C arasında yapılacak tavlama malzemede uzama, incelme ve darbe tokluğunun (süneklik özelliklerinin) en üst seviyeye çıkmasından dolayıdır. Artan tav sıcaklığı ile 250 °C’ye kadar çekme dayanımı hızla düşer. Derinliğine sertleşmiş malzeme gevrek ve kırılğan olduklarından, bu tav sıcaklığında akmadan koparlar. Artan tav sıcaklığı ile mukavemet düşmeye devam eder 450 °C’den sonra yatay konum alır. Uzama ve çentik darbe özellikleri 250 °C’ye kadar ihmal edilecek derecede azdır. 450 °C’den sonra yükselir. 550 °C-600 °C arasında her ikisi de en uygun değerleri alır. 700 °C’den sonra uzama fazla değişmeden çekme dayanımı yeniden düşer. 450 °C-650 °C’ler arasında ulaşılan bu mükemmel özellikleri oluşan “Sorbit” yapısı verir, sorbitin sertliği 40 - 45 Rc dolayındadır. Bu ısı işlemde ortaya çıkan sorunlardan birisi ve en önemlisi temper gevrekliğidir. Cr’lu, Cr-Mn ve Cr-Ni bileşimlerinde % 1-2 Cr bulunduran çelikler 550 °C ‘de tavlandıklarında yumuşayacakları

yerde sertleşirler. Temper gevrekliğini giderebilmek için Cr esaslı çeliklerin tavlama sırasında derhal su ortamına çekilip ani soğutulması ya da çeliğin bileşimine önceden % 0,3-0,5 Mo katılması gerekir. Diğer bir sorun da parçanın durumu ile ilişkisidir. Özellikle sertleştirme esnasında kalın kesitli, keskin kenarlı ve köşeli, ayrıca delikli malzemelerin sertleştirilmesinden kaçınılması gerekir. Çünkü delik kenarlarındaki gerilmeler diğer kısımlara göre 5 - 10 misli daha büyük olabilmektedir. Kalın parçalarda tav sıcaklığı biraz düşük seçilip, örneğin Ac₃ sıcaklığında çalışılabilir. Delikli parçalarda; delik kenarlarının ve köşelerinin yuvarlatılması, yani radius oluşturulması gerekir. Özetle, temperleme derinliğine sertleştirilmiş çelik malzemelere uygulanır ve sertleştirilmiş malzemenin kırılma dayanımını artırır (Çakır, 1999; ASM Handbook, 1991; Töre, 2007; Yıldırım and Çakan, 2011).

2.4 Yüzey Sertleştirme ve Yüzey Sertleştirme Yöntemleri

Makine elemanlarının iç kısımlarının yeterli mukavemette ve sünek, dış yüzeylerinin ise sert ve aşınmaya dayanıklı olması istenir. Yüzey sertleştirme işlemleri, iş parçalarına ve makine elemanlarına aşınma direnci kazandırmak amacıyla yapılır. Özellikle dişli çarklar, eksantrik milleri, dişliler, krank milleri, kavrama tırnakları; ilk harekette darbe tokluğu gerektirdiğinden, yüzeylerinin sertleştirilmesi gereklidir. Yüzeyin sertleşmesinde esas olan öncelikle malzemenin sertleşebilir özellikte olmasıdır. Bu nedenle yüzey sertleştirme işlemi seçilen malzemenin kimyasal bileşimlerine göre, iki ana grupta toplanır;

- a) Sertleşebilir özellikli malzeme olanlar; yüzeyin kimyasal bileşimini değiştirmeden,
- b) Sertleşemeyen malzemeler ise; yüzeyin kimyasal bileşimini değiştirici işlemler yapılarak yüzey sertleştirme işlemi gerçekleştirilir.

2.4.1 Yüzeyin kimyasal bileşimini değiştirmeden yapılan işlemler

Yüzeyin bileşimini değiştirmeden yapılacak yüzey sertleştirme işlemlerinde, malzeme yüzeyindeki karbon oranının sertleştirilebilme için yeterli olması gerekir. Böyle malzemeler, % 0,3-0,6 C'lu; örneğin AISI 1030, AISI 1040, AISI 1050 ve AISI 1060 yüzeyin kimyasal bileşimi değiştirilmeden kullanılacak alaşımsız çeliklerdir. Bu çelikler endüstriyel kullanım için yeterli mukavemet ve sünekliğe sahiptir. Bu işlem hangi yöntem olursa olsun ostentleme sıcaklığına çıkılarak, T = 850-900 °C sıcaklıklarda yeterince tutulup parça yüzeyi hızlı soğutan bir ortamda soğutularak uygulanır. Burada amaç, yüzeyi sert martenzitik yapıya dönüştürmek ve iç kısmının özelliğini, değişmeden kalmasını sağlamaktır. Çıkarılan sıcaklığa ve yüzeyde hedeflenen sertlik değerine göre soğutma ortamı değişik seçilebilir. Örneğin parça 850 °C'den suya veya 900 °C'den yağa çekilerek yüzeyin sertleşmesi sağlanabilir.

Bu işlem sonunda, malzemenin sadece dış yüzeyi sertleştirilir. Yüzeyin sertlik ve mukavemeti artarken, yorulma ömrü % 30 - 35 oranında yükselir. Yüzey pürüzsüzdür. Aşınma ve korozyon dayanımı yüksektir. İç yapıda kimyasal açıdan herhangi bir değişim söz konusu olmaz. Yüzeyde küçük çapta önemsiz bir tufallaşma gözlenebilir (Yıldırım and Çakan, 2011).

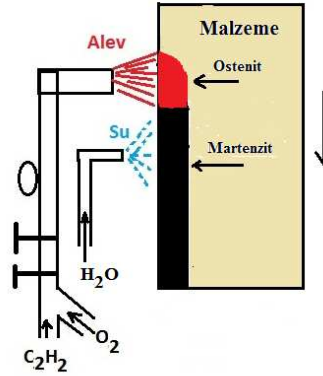
2.4.1.1 Fırında (Ocakta) yüzey sertleştirme

Karbonlu çeliklerden imal edilen makine parçaları, hızlı ısıtan bir fırında ya da tav ocağında kısa sürede yüzeyi A_{c1} sıcaklığına çıkacak şekilde ısıtılır. Daha sonra parçaya su verilerek yüzeyin sertleşmesi sağlanır. Yöntemin sorunu, parçaların derinliğine sertleşme tehlikesinin bulunmasıdır. Ayrıca, kabuk sertleşmesi de söz konusu da olabilir. Fırında yüzey sertleşmesi yapmak oldukça zordur. Yavaş ısıtan fırında bu işlem gerçekleştirilemez.

Bu durumda en iyi çözüm, bileşiminde karbon oranı % 0,30 C olan AISI 1030 sade C'lu yapı çeliklerini kullanmaktır. Parça yüzeylerinde sıcaklık 830 - 850 °C'ye ulaştığında yüzeye su püskürtülerek veya parça su ortamına çekilip soğutularak yüzey sertleştirilir. Sertleşme derinliği 1 – 2 mm ve yüzeyde ulaşılan sertlik de 55-60 Rc olur (Çakan, 2006; Çakır, 1999; Yıldırım and Çakan, 2011).

2.4.1.2 Alevle yüzey sertleşme

Bu yöntemde parçaların yüzeyi oksii-asetilen aleviyle bızlı bir şekilde ostenitlenme sıcaklığı olan 830-850 °C dolaylarına kadar ısıtılıp, sonra o bölgeye hızla su püskürtülerek martenzitik yapı elde edilir. Alevle yüzey sertleştirme yöntemi, en çok dişli sertleştirilmesinde kullanılır. Oksii-asetilen aleviyle çalışmak, dişliler için en iyi yöntemlerden biridir. Alev sıcaklığı 2000 °C'yi aştığı için oksii-asetilen aleviyle parça yüzeyi kısa sürede tav sıcaklığına ulaşır. Otomatik uygulamalarda; alevin şiddeti, parçanın alevde tavlama süresi ve hareket mekanizmasının hızı, yüzeyde ulaşılmak istenilen sertlik derecesine göre çok iyi ayarlanmalıdır (Şekil 2.3). Çapları büyük olan dişlilerde, her diş ayrı ayrı tav sıcaklığına kadar ısıtılıp yüzeyine su püskürtülerek soğuma yapılır. Alev etkime derinliği 4-6 mm ve sertleşme derinliği de 1-2 mm kadar olur. Yüzey sertliği ise 55-60 Rc civarındadır. Alevle yüzey sertleştirme sürekli üretim amaçlı otomasyona elverişlidir (Çakan, 2006; Yıldırım and Çakan, 2011).



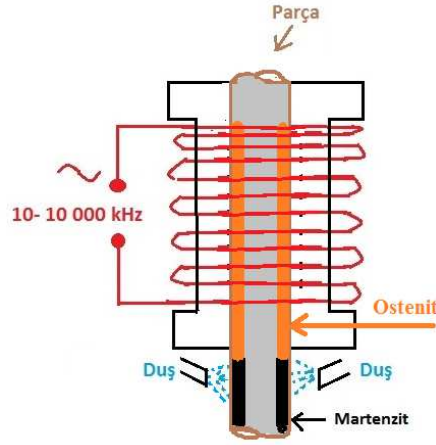
Şekil 2.3 Alev ile yüzey sertleştirme yöntemi.

2.4.1.3 İndüksiyonla sertleşme

Yöntemde, frekansları 10-10000 kHz arasında değişen alternatif indüksiyon akımı bir bobine verilir. Parçalar, bobinin çekirdeğine yerleştirilir. 1-3 sn gibi kısa bir süre içerisinde yüzeyde sıcaklık 900 °C'ye ulaşılır ve ostenitlenme sağlanır. Daha sonra parçalar bir yağ banyosunda soğutulur ve yüzeyde sertleşme sağlanır. Isıtılan kısım, 1-2 mm ile sınırlı olduğundan; parçada iç gerilmeler görülmez. Yöntemin kuruluş masrafları pahalıdır, ancak yöntem otomasyona uygundur. Bu yöntemle bol miktarda üretilecek ve yüzeyi sertleştirilecek mil, eksantrik mili vb. düzgün şekilli parçaların, uygun boyutlu bobinler içerisinde kısa sürede yüzeyleri sertleştirilebilir (Şekil 2.4).

Yöntemin dezavantajlarından en önemlisi, düzgün şekilli olmayan farklı kalınlıklardaki her malzeme için ayrı bir bobin kullanılma zorunluluğudur. Bobin içerisinde ostenit yapıya ulaşan ve daha sonra suda yüzeyi sertleştirilen parçalarda yüzey sertliği 55-65 Rc ve otomasyonla bobin içerisinden itilerek düzeneğin alt bölgelerinde konulmuş olan duşlar yardımıyla sürekli olarak soğutulan millerin sertliği de 50-60 Rc civarındadır. Sertleşme derinliği 1 mm'den daha azdır. Derinliğine sertleşme tehlikesi yoktur, ama uzun süre beklenirse hemen ergime başlar. İndüksiyon akımı ile yüzey sertleşmesinin esasını dönel akımlardan ileri gelen kılıf etkisi "Skin effect" oluşturur. Bu etki sanki bir transformatörün ikincil devresi kısa devre yapılmış gibi çalışır. Bu akımlar iç kısımda seyrek, yüzeyde ise sık olarak meydana gelir. Bu nedenle parçanın sadece yüzeyinde ince bir kılıfın sıcaklığı 900 °C'ye kadar çıkar. İç kısımlar daha düşük sıcaklıklara sahiptir. Bunun için parça derinliğine sertleşmez. Artan frekans değeri ile sertleşen kılıfın derinliği azalır. Dışiler indüksiyonla sertleştirmeye uygun değildir. Çünkü dış dipleri sertleşmeden kalır. Ancak düzgün bobin çekirdeğine yerleştirilebilen parçalar

indüksiyon akımı ile yüzey sertleştirilebilir (Çakan, 2006; Çakır, 1999; Töre, 2007; Yıldırım and Çakan, 2011).



Şekil 2.4 İndüksiyonla yüzey sertleştirme yönteminin şematik gösterimi.

2.4.1.4 Lazer ile yüzey sertleştirme

Lazer ışını tek dalga boylu bir ışındır. Yüzey sertleştirme işlemlerinde CO₂ lazeri kullanılır. Burada lazer ışını bir ayna ile çeliğin yüzeyine düşürülür ve hareket ettirilir. Işın yerine parça da hareket ettirilebilir. Işının geçtiği noktada derhal yüzey sertleşir. Çünkü kısa süre içinde 2500 °C sıcaklıktaki lazer ışınının etkisiyle yüzeyde sıcaklık çeliğin ergime sıcaklığının üzerine 1600 °C'ye kadar çıkar. Malzeme soğuk olduğundan ışının geçtiği her nokta derhal martenzitik yapıya dönüşür. Yöntem pahalıdır. Sertleşme derinliği uygun hızda geçilerek iyi ayarlanmalıdır. Geniş yüzeyler bir defada sertleştirilemezler. Bölgesel sertleşme sağlanabilir. Ancak sertleşmesi istenmeyen bölgelerin ayrıca kille sıvanması gerekir. Yetişmiş uzman elemana ihtiyaç duyulur (Yıldırım and Çakan, 2011).

2.4.2 Yüzeyin kimyasal bileşimini değiştirerek yapılan yüzey sertleştirme yöntemleri

Karbon miktarı sertleşme sınırının altında bulunan % 0,2–0,3 C'lu çelikler yüzeyinde sert bir tabaka elde edebilmek için yüzeyin kimyasal bileşimi değiştirilir. Malzemenin yüzeyindeki kimyasal bileşimin değiştirilmesi; malzeme yüzeyine karbon, azot ya da karbon ve azot birlikte emdirilerek karbür, nitrür ve karbonitrür bileşikleri oluşturulur. Yapılan işleme ve ulaşılan bileşiklere göre; a) Karbürizasyon (Sementasyon), b) Nitrasyon, c) Karbonitrasyon, d) Borlama işlemlerinden söz edilir (Buytoz, 2004; Çakan, 2006; ASM Handbook, 1991; Töre, 2007; Yıldırım and Çakan, 2011).

2.4.2.1 Karbürleme (Sementasyon)

Karbürleme ya da sementasyon tozla, tuzla ve gazla olmak üzere üç farklı şekilde uygulanabilir.

Tozla Karbürleme; karbon oranları % 0,2-0,3 arasında olan yapı çeliklerinin derinliğine sertleştirilmeleri olanaksızdır. Bu çeliklerin yüzeyine C emdirilerek yüzeyin kimyasal bileşimi % 0,2-0,3'ten, % 0,7-0,8 oranlarına kadar yükseltilir. Bu işlem için; odun, kömür tozu, kireç taşı tozu, kemik tozu, BaCO₃, KCl, NaCl 4-6 mm iriliklerinde kırılır. Toz karışımı sementasyon kutusunun içerisine, kutu atmosferinde az bir hava hapsolüp kalacak, gaz sızdırmayacak şekilde doldurulur ve kutu kapağı kapatılır. Kapatmadan önce yüzeyi sertleştirilecek malzeme toz karışımına gömülür. Daha sonra kutu ters çevrilir, açılmaması için kutu ağzı çepeçevre kil ile sıvanır. Bu hali ile kutu 900 °C sıcaklıkta 4,5 saat süre ile fırında tutulur. Bu sıcaklıkta ostenit, bünyesinde % 1 dolaylarına kadar karbon çözüdürebilir. Kutu içerisine hapsolan O₂ ile C (kömür tozu) yanar. Önce CO₂ oluşur. Ancak yüksek sıcaklıklarda atmosfer CO'e dönüşüm eğilimi gösterir. İşlem bittikten sonra yüzeye yapışan kömür taneleri temizlenir, daha sonra 730 °C sıcaklıktan su verilerek yüzey sertleştirme tamamlanır. İşlemin amacı; yeterli mukavemette ve sünek, piyasada bol bulunan ucuz olan ve kolayca işlenip talaş kaldırılabilen % 0,2-0,3 C'lu AISI 1020-1030 çeliklerinden yararlanarak aşınma ömürleri uzun makine elemanları üretmektir. İşlem laboratuvar ortamında kolay yapılabilir türdendir. İşlem sonrası ulaşılan yüzey sertliği 55-65 Rc arasında değişir. Derinliğine sertleşme tehlikesi yoktur. Sadece parçalar gereğinden fazla 900 °C tutulmamalıdır. Çünkü yüzeydeki "C" oranı % 0,9 C sınırına ulaşabilir. Sertleşme derinliği 1 mm kadardır. Bu yöntem ile en iyi dişliler, merdaneler, kalıplar vs sertleşebilir. Kuruluş masrafları yüksek değildir.

Tuzla karbürleme: Siyanür tuzları (NaCN, KCN) ve katkı olarak Na₂CO₃, NaF, AlF₃, NaCl, KCl karıştırılarak elde edilen tuz karışımı üstü açık ocaklarda bir kafes içerisinde veya telle asılarak 900 °C'de yeteri kadar tutulur. Daha sonra bu malzeme doğrudan su veya yağ ortamına çekilerek yüzeyi sertleşir.

Gazla karbürleme: CO ortamlı kapalı tav ocaklarında; sertleştirilecek dişli, eksantrik mili, pim vb. parçalar birbirleri ile temas etmeyecek şekilde ocağın içine dizilir. Üretilen CO fırın içine gönderilir ve 900 °C'de en az 10-12 saat kadar tutulur. Daha sonra parçalar fırından alınıp yağ ortamına çekilir. Özellikle cıvata üretiminde bu yöntemden yararlanılmaktadır. Kuruluş masrafları yüksek olmakla beraber sanayide kullanımı kolay ve problemsiz bir yöntem

olarak kabul edilir. Kullanılan CO gazının oksitleyici H_2O , SO_2 ve O_2 gazlarını içermemesi istenir.

2.4.2.2 Nitrasyon

Bu yöntemde çelik yüzeyine azot (N) emdirilir ve yüzeyde nitrür tabakası meydana getirilir. Nitrüleme süresi sementasyona göre daha uzundur ve sertleşen tabaka kalınlığı daha düşüktür. Tuzla yapılan nitrasyonda, azotla birleşip sert nitrür tabakası oluşturabilen elementler bulunur. Bunlar daha çok krom, vanadyum, molibden ve alüminyum içeren krom ıslah çelikleridir. Bu çeliklerin bileşimlerinde Al veya Ti vardır. Bunlardan en önemlisi Al elementidir. Al dışında Ti kullanılabilir. Herhangi bir soğutma ortamına gerek yoktur. İşlem bittikten sonra 0,7-0,9 mm kalınlığında çok sert ve gevrek alüminyum nitrür (AlN) tabakası meydana gelir. Yöntem toleranslı parçaların yüzey sertleştirmesinde büyük önem taşır. Çünkü işlem sonrası ölçü değişimi olmaz. İşlem süresi oldukça uzundur. Tuzda nitrasyon için 50 saat, gazda nitrasyon için 96 saat gerekir. Tuz ortamı olarak siyanür tuzları, gaz ortamı olarak da amonyak gazı kullanılır.

2.4.2.3 Karbonitrürasyon

Karbürleme ve nitrasyon işlemlerinin aynı anda gerçekleştirildiği işlem olup, tuz ergiyikler içerisinde uygulanır. Yüzey sertleştirme işlemi, siyanür banyolarında 1,5-2,5 saat zaman içerisinde, 700-800 °C sıcaklık aralığında gerçekleştirilir. Böylece çeliğin yüzeyinde hem AlN bileşiği ve hem de Fe_3C (sementit) oluşur. Parçalar işlem sonrasında, 730-750 °C'den su ortamına çekilir. Bu yolla birçok malzeme yüzey sertleştirilebilir. Ancak gerginliği gidermek için ayrıca yüzey sertleştirilen parçalara 180 °C'de 30 - 45 dakika süreyle gerginlik giderme tavı da uygulanması gerekir. Parça yüzeyinde oldukça sert ve gevrek ($R_c = 69$ olan) ince bir sertleşmiş tabaka oluşur.

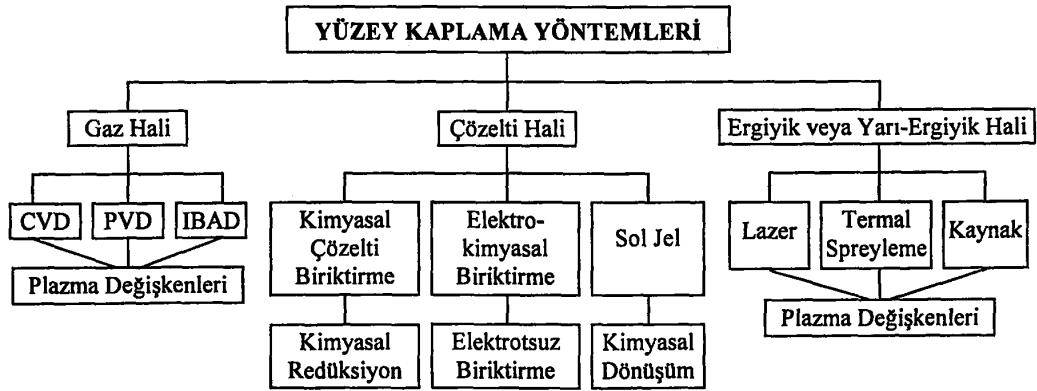
2.4.2.4 Borlama

Borlama işlemleri katı ortamda kutu borlaması şeklinde yapılır. Tuzla veya gazla borlama pratik olmadıklarından, fazla kullanım alanı bulamamıştır. Tozla borlama için hazır "ecabor" tozu kullanılır. Bunun için kutu paketleme işlemi yapılır. Parçalar sementasyon kutularında ecabor tozuna gömülüp; 950 - 1100 °C sıcaklıklarda, 1-1,5 saat süre ile tutulur. Bor elementi demirle birleşerek, parça yüzeyinde Fe_2B ve FeB bileşiklerini meydana getirir. Sertleşmenin esasını bu bileşikler oluşturur. Demir-bor bileşikleri çok serttir, parça yüzeyi sertliği 1800-2200 HV dolaylarındadır. Yöntemde aşınmaya dayanıklı, sürtünme katsayısı çok düşük olan gevrek bir yüzey katına ulaşılır. Bunlardan FeB bileşiğinin oluşması istenmez. Çünkü yüzeyi aşırı gevrekleştirir. Ayrıca uzama katsayısına bağlı olarak yüzeyde çatlamlar

görülebilmektedir. Fe_2B bileşiği, FeB 'ye göre az da olsa sünektir. Borlama işlemleri, yüksek sıcaklıklarla yapıldığında (1000 °C ve üstünde), malzemede tane irileşmesine yol açabilmektedir. Her türlü çeliğe uygulanabilecek bir yöntemdir (Yıldırım and Çakan, 2011).

3. YÜZEY KAPLAMA YÖNTEMLERİ

Sanayide kullanılan yüzey kaplama yöntemlerinin amacı, malzemelerin tribolojik özellikleri iyileştirmek ve korozyon kayıplarını azaltmaktır. Yüzey kaplama yöntemlerindeki teknolojik ilerlemeler; kaplamaların yapı, bileşim ve özelliklerinin istenen şekilde değiştirilebilmesine ve yüksek kaliteli kaplamaların üretilmesine imkan sağlamıştır. Yüzey kaplama yöntemlerinin sınıflandırılması Şekil 3.1’de verilmiştir. Bu yöntemlerden buhar biriktirme yöntemleri aşınma etkilerine karşı uygulamalarda önemli bir yere sahiptir. Buhar biriktirme işlemleri arasında, özellikle kesici takımların kaplanmasında en çok kullanılan yöntemler fiziksel buhar biriktirme (PVD) ve kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemidir.



Şekil 3.1 Yüzey kaplama yöntemlerinin sınıflandırılması (Savaş, 2004).

3.1 CVD Yöntemi

CVD yöntemi kimyasal reaksiyonlar vasıtasıyla düşük gerilmeli kaplamalar üretmek için iyi bir yöntemdir. Bu yöntemde kaplama malzemesi, kaplanacak bölgeye buhar şeklinde gönderilir. Buhar malzeme yüzeyinde parçalanır veya diğer öncü maddelerle reaksiyona girer. Süreç devam ettikçe kaplama bölgesi kaplama noktasına ulaşan öncü maddelerle beslenir. CVD yöntemi, vakum ya da atmosfer basıncı altında gerçekleştirilebilir. CVD, farklı gazların kimyasal reaksiyonu yardımıyla gerçekleştirilir. Örneğin, titanyum karbürün kaplanması işleminde çalışılan gazlar; hidrojen, titanyum klorür ve metandır. Bu işlem, kullanılan gazlarla ilgili çeşitli ayarların kolaylıkla yapıldığı bir işlem olması nedeniyle, tek veya çok katlı kaplamalar için başarıyla kullanılabilir (Şekil 3.2).

CVD işleminde, 5 - 12 μm veya özel durumlarda 20 μm 'ye kadar kalınlıklarda kaplama katı elde etmek mümkündür. Bu yöntemde kullanılan başlıca malzemeler TiC, TiCN, TiN and α

veya κ alüminyum oksit (Al_2O_3)'tir. Çalışma sıcaklığı $700\text{ }^{\circ}C$ – $1050\text{ }^{\circ}C$ arasında alınır. Bu yöntem, aynı zamanda hemen hemen tüm kesici uç ana malzemeleri kaplamak için yaygın olarak kullanılabilen, otomotize edilmiş bir yöntemdir. Yöntemin avantajı, kaplama tabakasının düzgün ve homojen olması, kaplama tabakasının ana malzemeye mükemmel bağlanabilmesi ve aynı zamanda karmaşık geometrili parçalarında sorunsuz kaplanabilmesidir.



Şekil 3.2 Bernex™ BPXpro CVD kaplama cihazı (Ionbond, 2012).

3.2 PVD Yöntemi

Fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemi; kısmen iyonize metal buharı ile bir gazın tepkimeye girerek, malzeme yüzeyinde belirli bir bileşimde ince bir film oluşturularak metal bazlı sert kaplamalar üretmek için kullanılan bir yöntemdir. En çok tercih edilen yöntemler, iyon püskürtme ve katodik ark yöntemleridir. İyon püskürtme yönteminde buhar, gaz halindeki enerji yüklü iyonların metal hedefe doğru bombardmanı ile oluşturulur. Katodik ark yönteminde ise, kaplama metal hedefe doğru tekrarlanan ark boşalmaları ve malzemenin buharlaşmasıyla sağlanır. Bütün PVD işlemleri yüksek vakum koşulları altında gerçekleştirilmektedir. PVD kaplama yöntemi ile geniş bir ürün yelpazesi nitrürler, karbürler ve Ti, Cr, Zr ve alaşımlarının karbonitrürleri, örneğin AlCr, AlTi, TiSi şeklinde malzeme yüzeyine kaplanabilir. Uygulamalar; kesme ve şekillendirme takımları, mekanik araç-gereçler, tıbbi cihazlar, sert ve dekoratif özelliklerin istendiği alanlarda önem taşır. Bu yöntem genellikle yaygın olarak hız çeliklerinin kaplanmasında tercih edilir. İşlem sıcaklıkları CVD işleminde kullanılan sıcaklıkların hemen hemen yarısı kadar ve $500\text{ }^{\circ}C$ 'den daha azdır. PVD kaplama için tipik işlem sıcaklığı $250\text{ }^{\circ}C$ ve $450\text{ }^{\circ}C$ arasında bulunur. PVD kaplamalarda, kaplanan malzemenin sıcaklığı bazen $70\text{ }^{\circ}C$ 'yi, aşabilir. Bazen de bu sıcaklık kısa süreli $600\text{ }^{\circ}C$ 'nin

üzerine çıkabilir. PVD kaplama filminin kalınlığı, çoğu kez CVD tabakasından daha incedir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Roadrunner, PVD kaplama cihazı (Ionbond, 2012).

PVD yönteminde kaplamalar, tek veya çok katmanlı olarak birikebilir. Son nesil kaplamalar, çok katmanlı nano yapılandırılmış özellikte üretilmektedir. Kaplama yapısı istenilen bileşim ve özellikte; sert, iyi bağlanmış ve aşınma direnci yüksek olarak elde edilir. Bu yöntemle kaplama kalınlıkları 2-5 μm aralığında veya isteğe bağlı olarak yüz nanometreye kadar ince ya da 15 μm ve daha fazla kalınlıkta olabilmektedir. PVD ile kaplanan malzemeler arasında; çelikler, demir dışı metaller, tungsten karbürler bulunmaktadır. PVD kaplama için alt-tabaka malzemesinin uygunluğu elektrik iletkenliği ve kaplama yapılacak sıcaklıktaki malzemenin kararlılığı ile sınırlıdır.

3.3 Torna Kalemlerinde PVD/CVD Kaplamaları

Yüksek performanslı ve maliyeti düşük torna kalemi üretimi amacıyla son yıllarda PVD, PACVD, CVD ve PLD yöntemleriyle film biriktirme şeklinde yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları ivme kazanmıştır. Özellikle torna kalem uçlarının nitrür ve karbür içerikli TiN, TiCN (Canteli et al., 2010), TiC, TiAlN, CrN, AlCrN vb. sert kaplamalar (Cairney et al., 2003; Dörfel et al., 1999a; Dörfel et al., 1999b; Fox-Rabinovitcha et al., 2004a; Fox-Rabinovitcha et al., 2004b; Leyendecker et al., 1991; Mayrhofer et al., 2006; Selinder et al., 1998; Steyer et al., 2008; Tjong and Chen, 2004; Ulrich et al., 2005) sonrası kesme performanslarının incelenmesi son yıllarda önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Kaplama filmlerinin aşınma direnci ve yüzey işlem özellikleri, yüzey modifikasyon tekniğine bağlıdır (Bull, 1999; Santos et al., 2004;

Voevodin et al., 2005). Yeni oluşan sert tabaka ve mikroyapı, torna kaleminin aşınma direnci ve kullanım ömrünü artırmaktadır (Moreno et al., 2010). Fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemlerinin çeşitlendirilmesiyle, endüstriye çok büyük yenilikler kazandırılmıştır (Mattox, 1998). PVD ile kaplama yönteminin diğer yöntemlere göre avantajları; ince taneli bir mikroyapı, düşük yüzey sertliği ve gözenekli bir tabaka elde edilmesidir (Batista et al., 2001; Bouzakis et al., 2001; Bouzakis et al., 2009; Dubar et al., 2005; Tarrés et al., 2009). PVD kaplama tekniği; katı haldeki hammaddenin yüksek enerji ile plazma haline getirilerek, kontrollü şekilde, kaplanacak malzemenin üzerine biriktirilmesi işlemi şeklinde özetlenebilir.

Kaplama teknolojisinde yeni eğilim, çoklu bileşenlerin sentezlenmesi ve çoklu fazların (Ti/TiN, TiCN/TiNbCN, BCN,/BCN,/BN) teker teker özel uygulamalar için geliştirilmesidir. Çoklu nitrür tabaka kaplamaların mekanik özellikler açısından performansları, tekli nitrür tabaka kaplamaya göre daha yüksektir (Ducros et al., 2003; Imbeni et al., 2001). Bunun nedeniyse, daha kalın bir tabaka oluşması ve ulaşılan tabakanın sahip olduğu mikroyapısal özelliklerdir (Korkut et al., 2004; Major et al., 2008; Moreno et al., 2010).

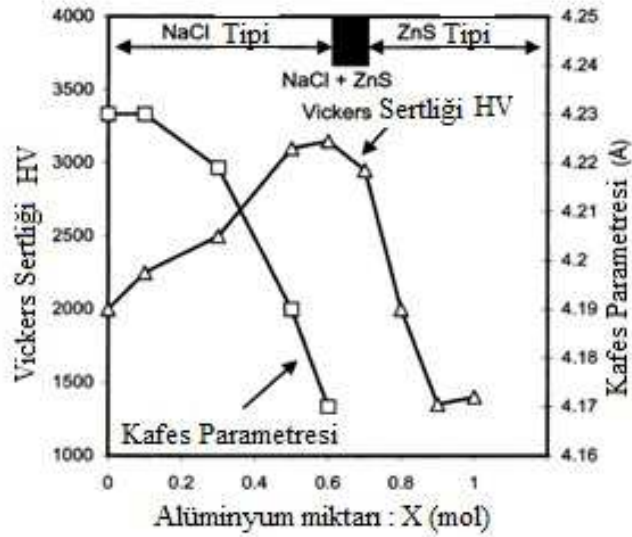
3.3.1 TiN kaplama

TiN kaplamalar, aşınma direnci yüksek bir kaplama olarak birçok malzeme çeşidine uygulanabilmektedir (Korkut et al., 2004; Lin, 2002; Nordin et al., 2000). Bu kaplama; takım ömrünü artıran, malzeme işleme ve beslemede yüksek hızda kullanıma olanağı sunan bir yapıdadır. TiN kaplama hem sürtünme katsayısını azaltır ve hem de takıma malzeme transferinin önüne geçer. TiN kaplamanın temel özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Örneğin, TiN kaplamasının aşınma ve erozyon direncini artırmak için C elementinin eklenmesi sonucunda dengeli katı Ti(C,N) fazının oluşturulması çok yararlı olur. Bunun yanında oksidasyon direncini artırmak için Al elementinin eklenmesi de, TiN’e katkı sağlar ve 1300-1500 °C’ye kadar sertliğin korumasında yardımcı olur. Alüminyum, yüzeyde alüminyum nitrür ve alüminyum oksit tabakası oluşturur (Mayrhofer et al., 2006; Torres et al., 2010). Bu nedenle, Al esaslı seramik kaplamalar endüstride daha çok tercih edilirler (Paldey and Deevi, 2003; Rech et al., 2004). $Ti_{1-x}Al_x$ kaplamasının mikrosertlik değişimi Şekil 3.4’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.1 TiN kaplamalarının temel özellikleri (İnçal, 2007).

| | |
|-----------------------------|---|
| Renk | Altın Sarısı |
| Sertlik | 2000-2300 HV |
| Kalınlık | 2-5 μm |
| Kaplama Sıcaklığı | 200-500 $^{\circ}\text{C}$ |
| Sürtünme Katsayısı μ | 0,6 |
| Termal Oksidasyon Sıcaklığı | 500-600 $^{\circ}\text{C}$ |
| Yüzey pürüzlülüğü (Ra) | 0,2 μm |
| Uygulama Alanları | Matkaplar, frezeler, broşlama, soğuk ekstrüzyon uygulamaları. |

**Şekil 3.4.** $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x$ kaplamasının mikrosertlik değişimi (Kimura et al., 2000).

3.3.2 CrN kaplama

CrN kaplamaları; yüksek süneklik ve kırılma tokluğu, düşük sürtünme katsayısı, mükemmel oksidasyon ve iyi korozyon direnci özellikleri ile tanınmaktadır (Cai et al., 2010a; Cai et al., 2010b; Goulart-Santos et al., 2008; Navinšek et al., 1997; Warcholinski and Gilewicz, 2009; Yao and Su, 1997). Bu nitrür bileşiğinin tok olması, eroziv uygulamalarda çatlak başlangıcı oluşumunu ve ilerlemesini önlemektedir. CrN kaplamanın bazı özellikleri aşağıda verilmiştir (Çizelge 3.2).

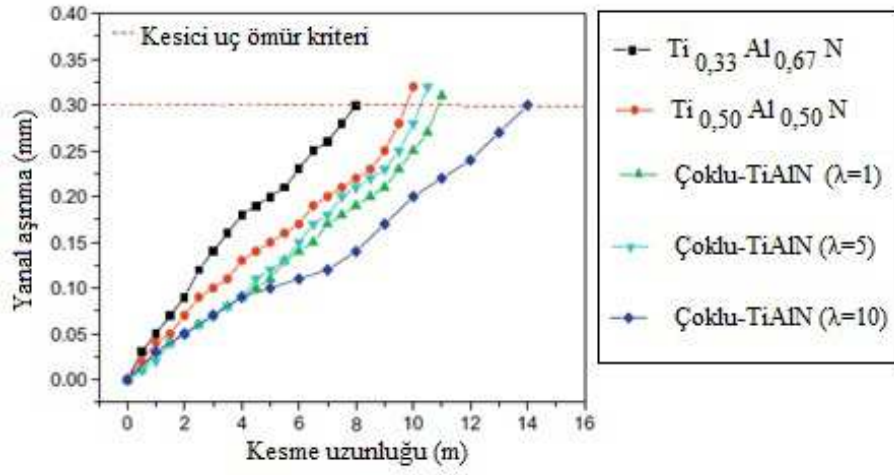
Çizelge 3.2 CrN kaplamalarının temel özellikleri (İnçal, 2007).

| | |
|-----------------------------|--|
| Renk | Gümüş Beyazı |
| Sertlik | 2000-2200 HV |
| Kalınlık | 3-10 μ |
| Kaplama Sıcaklığı | 500-700 °C |
| Sürtünme Katsayısı | 0,45 |
| Termal Oksidasyon Sıcaklığı | 700-500 °C |
| Yüzey pürüzlülüğü R_a | 0,2 μ m |
| Uygulama Alanları | Tornalama, freze, delme, broşlama, zımba, sıvama kalıpları, alüminyum enjeksiyon kalıpları, plastik enjeksiyon kalıpları vb. |

CrN kaplama katlarının, kuru kayma koşullarında TiN'e göre, aşınma direnci daha yüksektir. Fakat sertliği düşüktür. CrN kaplamaların sertliğini artırmak amacıyla çeşitli elementler veya mikroyapı modifikasyonu denenmektedir. Örneğin, CrCN veya CrN'e, Si eklenmesi sonucunda sertlikte ve oksidasyon direncinde artış gözlemlenmiştir (Merçs et al., 2007). CrN (Yüzey merkezli kübik sıkı paket "ccp" de, oluşacak tercihli kayma düzlemi sayısı: 12) ve Cr₂N (Hekzagonal sıkı paket "hcp", oluşacak tercihli kayma sistemi sayısı: 1) 'den oluşan CrN_{0,6} kaplaması, 39 GPa mukavemete sahiptir (Mayrhofer et al., 2006).

3.3.3 Çok katmanlı kaplama

Jeong ve arkadaşları (2009) tarafından, WC-Co takımına farklı kalınlıklarda birden fazla (multiple) tabakalı (Ti₅₀Al₅₀N ve Ti₃₃Al₆₇N) filmler kaplanılıp AISI D2 kalıp çeliği üzerinde kesme performansları incelenmiştir. En kalın 10 μ m kaplama tabakası, en yüksek mukavemet (40 GPa) değeri verirken; aynı zamanda takım ömrünü tek (mono) tabakalı kaplamaya göre % 75 oranında artırmıştır (Şekil 3.5) (Jeong et al., 2009). Multi tabaka çalışmalarına örnek olarak (Holleck, 1995; Shinn, 1992; Sproul, 1994)'nın yaptıkları çalışmalar gösterilebilir. Multi tabakanın olumsuz yönü, 3 boyutlu parçalarda ve pürüzlü sert yüzeylerde düzenli bir tabaka elde edilememesidir. Oluşan tabaka süper-lattice denilen, periyodik oluşumlu tabaka yapısı özelliğini yitirmektedir (Voevodin et al., 2005). Bunun yanında 3-10 nm kalınlıklardaki nanokompozit kaplamalar, kesici uçlara 100 GPa'a kadar mukavemet kazandırabilmektedirler (Kustasz et al., 1997; Veprék and Argon, 2001).



Şekil 3.5 Farklı kaplama işlemlerinde yanıl aşınmanın kesme uzunluğuna bağlı değişimi (Jeong et al., 2009).

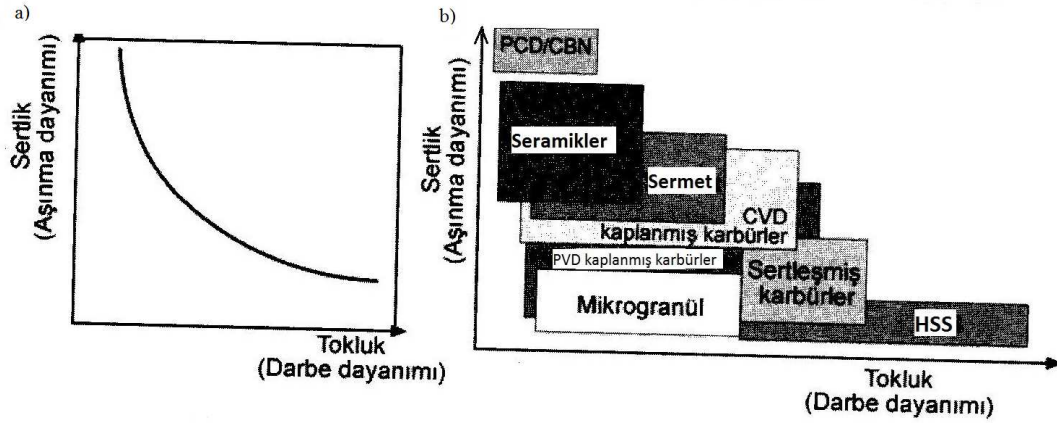
4. KESİCİ TAKIMLAR ve TALAŞ KALDIRMA YÖNTEMLERİNİN ESASLARI

Talaşlı imalat 18. ve 19. yüzyıllardaki sanayi devrimi ile gelişimine başlamış ve 20. yüzyılda büyük bir ivme ile gelişimini sürdürmüştür. 1875 yılında, Frederick Winslow Taylor tarafından ilk kez hız çeliği keşfedilmiştir. 1930'lu yıllarda WC veya sert metal olarak da bilinen sinterlenmiş karbürler geliştirilmiştir. 1970'lerin başında talaşlı imalatta Sandvik Coromat tarafından sinterlenmiş karbür takım üzerine çok ince bir TiC tabakası kaplanmış ve böylece kesici uca yüksek aşınma direnci kazandırılmıştır. Ayrıca zamanla kaplama teknikleri kullanılarak kesme hızları 200 m/dak.'ya ve ilerlemeleri de 700 mm/dak.'ya kadar ulaşabilen kesici uçlar yapılmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Kesici takımdan bazı örnekler (Ionbond, 2012).

Malzemelerin sertlik ve tokluk özellikleri genelde birbirine zıt özelliklerdir. Örneğin, çoğu kez sert bir malzemenin tokluğu düşüktür. Takım malzemeleri alanında yapılan araştırmalar, her iki özelliği aynı anda elde etmeye yöneliktir. Bunlar, metalik ve metalik olmayan olmak üzere ikiye ayrılır. Metalik olanlar; karbon çelikleri, hız çelikleri, stellite ve sert malzemelerdir. Metalik olmayanlar ise; seramikler, elmaslar ve abrasiv aşındırıcı soketlerdir. Şekil 4.2'de takım malzemelerinin sertlik ve toklukları arasındaki ilişki verilmiştir.

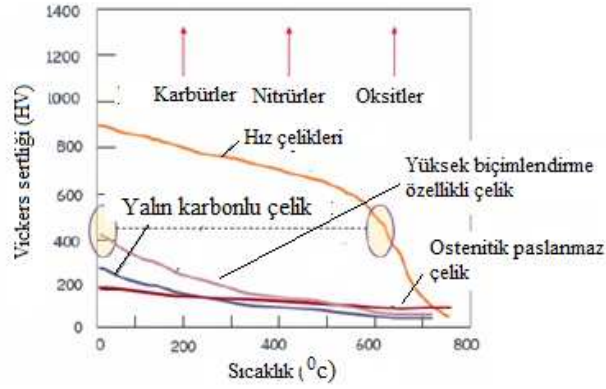


Şekil 4.2 Takım malzemelerinde sertlik ve tokluk (Akkurt, 2011).

Genelde iş parçaları, kesici takımlara göre yumuşak malzemelerdir (Çizelge 4.1). Kesici uç seçiminde uygun malzeme seçimi önemlidir (Yuefeng et al., 2010). Buna karşılık pek çok iş parçası karbür, nitrür veya oksit içerdiğinden sert ve sıcaklığa dayanıklıdır (Şekil 4.3). Bu durum da kesme esnasında kesici takımların aşınmasına neden olmaktadır.

Çizelge 4.1 İş parçaları ve kesme işleminde aşınma özellikleri (Hogmark, 2011).

| İş Parçası | Sertlik (HV) | Sert yapılar | Süneklik |
|-----------------|--------------|--------------------|----------|
| Çelik | 200-250 | Sementit | Evet |
| Dökme Demir | 200-250 | Sementit | - |
| Ostenitik çelik | 180-250 | - | Evet |
| Al-Alaşımları | 100-150 | Oksit, AlFeSi | Evet |
| Ti-Alaşımları | 200-350 | - | Evet |
| Ni-Alaşımları | 200-350 | Fe ₃ Ni | Evet |



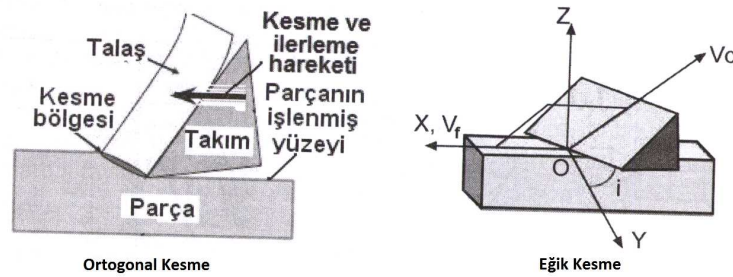
Şekil 4.3 Hız çeliklerinde, sertliğin sıcaklığa bağlı değişimi (Hogmark, 2011).

Çelik malzemeden üretilmiş torna kalemlerinin kesme performanslarının detaylı incelenmesi gerekir. Çeliğin yüzeyinin ya da bunlardan imal edilecek torna kalemlerinin kesici uçlarının sertleştirilmesi ve kalemin iç kısımlarının yeterince mukavemetli, sünek ve tok olması; buna karşılık kesen kısmının sert ve aşınmaya dayanıklı olması kalem ömrü açısından çok önemlidir. % 0,3-0,6 C içeren orta karbonlu çelikler yüzey sertleştirildikten ve uç kısmının sertliği 60 Rc'yi geçecek bir sertliğe ulaştırıldıktan sonra kesici uç olarak kullanılabilirler de, sertleşen tabakanın kalınlığı az olacağından üretilen kesici uçların ömürleri oldukça kısa olur. % 0,7–1,35 C'lu, yaklaşık ötektoidik bileşime sahip yalın karbonlu (alaşimsız) çeliklerden üretilen kesici uçların, sertleştirilmeden ve kaplanmadan önce yumuşatma tavı uygulanarak, bunlara süneklik ve tokluk özelliği kazandırılması gerekir. Yumuşatma tavı sonrası bu çelikler bileşimlerindeki karbon oranlarına göre 730-750 °C sıcaklıklarda ostenitlenerek kesici ucun uç kısmı martenzit sertliğine ulaştırılır (Buytoz, 2004; Buytoz and Yıldırım, 2010; Yıldırım and Çakan, 2011; Yıldırım, 1991).

Talaş kaldırma işlemi, ucu keskin bir takım ve takım tezgahlarında gerçekleştirilir. Talaş kaldırmada hareketler kesme, ilerleme veya yardımcı hareketler olmak üzere üç çeşittir. Burada kesme hareketi esasen talaş kaldıran harekettir. İlerleme hareketi, parçanın uzunluğu veya genişliği boyunca işleyen hareketlerdir. Son hareket ise yardımcı hareket olan, takımın parçaya göre ayarlanmasını sağlayan, örneğin parçaya yaklaşma ve uzaklaşma gibi hareketlerdir. Beş talaş kaldırma yöntemi vardır; bunlar tornalama, frezeleme, delme, planyalama-vargelleme ve taşlamadır. Talaş kaldırmada işlemler iki kademe yapılır. Yüzey kalitesi önemli olmayan, ham parça üzerinden kısa zamanda malzeme kaldırmaya yönelik işleme, kaba talaş kaldırma denir. Kaba işlem bir veya birkaç pasoda gerçekleştirilebilir. Eğer amaç, parçaya tam öngörülen şekli vermek ise, o zaman ince talaş kaldırma kullanılır. Bu kademeye ayrıca nihai talaş kaldırma da denir. Yüzey kalitesi önemli bir kriterdir.

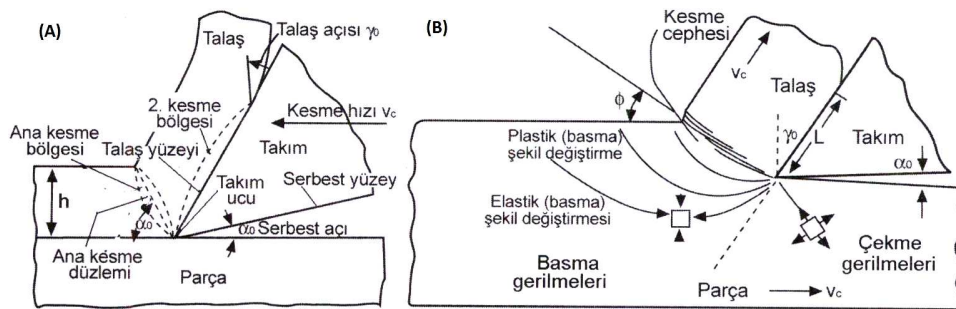
4.1 Talaş Kaldırma Süreci

Talaş kaldırma sürecini bilimsel olarak incelemek için tüm takımları temsil eden bir takım modeli oluşturulmuştur. Şekil 4.4’de gösterilen ve yalnızca kesme ucundan oluşan bu takım ve talaş kaldırma modeline ortogonal kesme denilir. Bununla beraber ayrıca eğik kesme denilen 3 boyutlu bir kesme modeli daha vardır. Her iki modelde de dönme hareketi olmadığı için kesme ve ilerleme yönleri aynıdır.



Şekil 4.4 Ortogonal ve eğik kesme modeli (Akkurt, 2011).

Talaşın oluşumu elastik ve plastik şekil değiştirmeleri kapsayan karmaşık bir işlemdir. Talaşın oluşumuna sürtünmeler, takımın aşınması, ısı oluşumu ve takım ucu ağız birikintisi gibi olaylar eşlik eder. Kesici uç belli bir kuvvetle bastırılıp hareket ettirildiğinde, takım ucunun temas ettiği iş parçasında önce elastik sonra plastik şekil değişimleri meydana gelir. İş parçasından akmalar başlar ve gerilemeler malzemenin kopma sınırını aştığı anda parçadan talaş kalkar. Ortogonal kesmede talaşın oluşumu Şekil 4.5’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi talaş parçadan kesme bölgesi içinde kesme düzlemi denilen düzlemlerle ayrılır. Bu düzlemin parçanın işlenmiş yüzeyinin uzantısı ile yaptığı açıya kesme açısı (Φ) denir.



Şekil 4.5 Ortogonal kesmede talaş oluşumu (Akkurt, 2011).

4.2 Talaş Kaldırma Faktörleri

Talaş kaldırma işlemine etki eden faktörler sırasıyla takım geometrisi, talaş geometrisi, kesme koşulları, kesme kuvvetleri ve kesme gücü, ısı oluşumu, aşınma ve takım ömrü, takım malzemesi, parça malzemesi, ve kesme sıvısıdır.

4.2.1 Takım geometrisi

Takımın kesme kısmının geometrisi özellikle talaş kaldırmada son derece önemlidir. Takımın kesme kısmının geometrisi ortogonal kesmede; talaş açısı (γ_o), takımın kama açısı (β_o), serbest açısı (α_o) ve takım radyüsü (r) aşağı büyüklükleri tarafından tayin edilir. Talaş açısı, kama açısı ve serbest açısı arasında aşağıdaki bağıntı vardır.

$$\gamma_o + \beta_o + \alpha_o = 90^\circ \quad (1)$$

Talaş açısı, talaşın parçadan uzaklaşmasını; kama açısı, kesici ucun parçaya nüfuz etmesini ve serbest açısı da takımın işlenen yüzeye sürtünmemesini sağlar. Genelde, kaba talaş kaldırmada, γ_o açısı küçük ve β_o açısı büyük; ince talaş kaldırmada ise bunun tam tersi alınır.

4.2.2 Talaş tipi

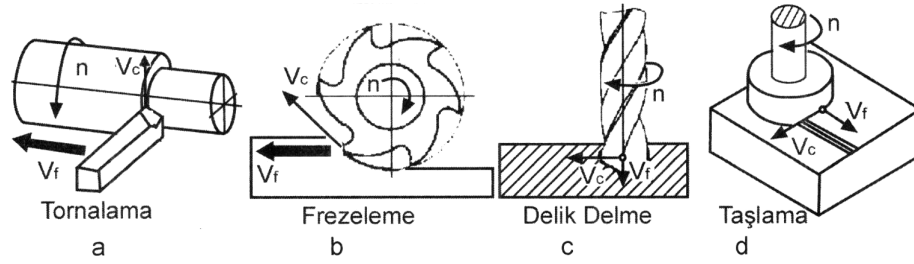
Sürekli, kesintili, yapışık olmak üzere üç tip talaş vardır. Kesme koşulları iyi seçildiği takdirde, sürekli talaş tipi sünek malzemelerde, kesintili talaş tipi gevrek malzemelerde oluşur. Yapışık talaş kaldırma ise, kesme koşullarının iyi seçilemediği durumlarda, sünek malzemelerde meydana gelir.

4.2.3 Kesme koşulları

Kesme hızı, kesici ucun parça üzerinden talaş kaldırma hızıdır. Tornalama, frezeleme ve delmede m/dak., taşlamada m/s birimiyle ölçülür. Çevresel ve dönme hızları arasında aşağıdaki bağlantı vardır.

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} \quad (\text{m/s}) \quad n = \frac{60 \cdot V_c}{\pi \cdot D} \quad (\text{dev/dak}) \quad (2)$$

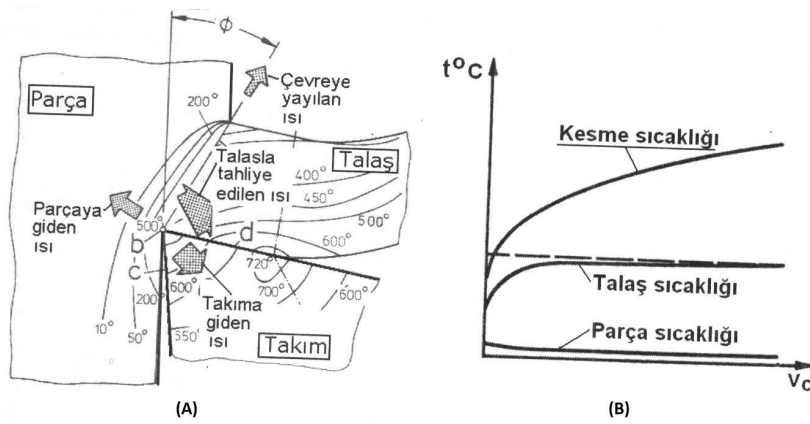
Tornalamada kullanılan takımlar, tek ağızlı takımlardır. Bu çeşit takımlarda kesme ağızları tüm ilerleme boyunca parça ile temasta bulunur ve talaş kaldırır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Kesme ve ilerleme hızları (Akkurt, 2011).

4.2.4 Kesme işleminde oluşan ısı

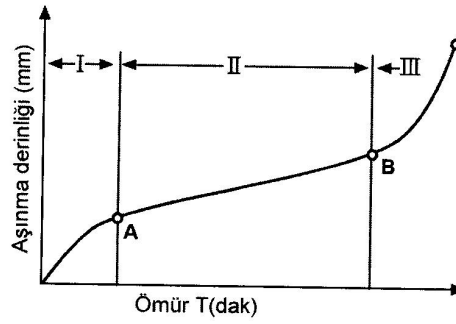
Talaşın malzemeden ayrılması için gereken enerji ve takım ile talaş ve takım ile işlenmiş yüzey arasındaki sürtünmelerden ısı meydana gelir. Oluşan ısı iki şekilde tahliye olur. Isının % 50-80'i talaşa, % 3-10'luk kısmı iş parçasına ve % 10-40'lık kısmı da kesici takıma geçer. Kesme yerindeki sıcaklık ve buna bağlı olarak takımın sıcaklığı sürekli artar. İş parçasında ise talaş kaldırmanın başında sıcaklık bir miktar artar ve sonra sabit kalır (Şekil 4.7). Takım üzerindeki sıcaklık en yüksek sıcaklıktır. Yine talaşla uzaklaşan ısı da en büyük ısıdır.



Şekil 4.7 Isı oluşumu ve sıcaklığın dağılımı (Akkurt, 2011).

4.2.5 Kesici takım ömrü

Günümüzde takım ömürleri genellikle 15 dakikadan kısadır. Kesici uç talaş kaldırma sırasında zamanla aşınır veya körlenir. Kesici uç çalışmaya başladıktan hemen sonra takımın aşınma hızı artar ve zamanla yavaşlar. Daha sonra aşınma hızı yavaşlar, belli bir değerden sonra aşınma yine hızlanmaya başlar. Bu noktadan sonra iş parçasının yüzey kalitesi bozulur ve titreşimler meydana gelir (Şekil 4.8). Bundan sonra "Takım körleşmiş" denir. Takım ömrü, izin verilen aşınma değerine erişinceye kadar geçen çalışma zamanına verilen addır.



Şekil 4.8 Takım aşınmasının gelişmesi (Akkurt, 2011).

Taylor tarafından, takım ömrü (T) ve kesme hızı (V_c) arasında, deneylerle bulunmuş bir bağlantı vardır. Burada n, parça ve kesici takım malzemesine bağlı bir sabittir. Çizelge 4.6'da farklı iş parçası ve buna bağlı kullanılan kesici takımlarda elde edilen n değerleri verilmiştir. C ise, deney koşullarına bağlı diğer bir sabit olup 1 dakikalık takım ömrüne karşılık gelen kesme hızını verir.

$$V_c \cdot T^n = C \quad (3)$$

Çizelge 4.2 Farklı kesici takımların “n” faktörü değerleri (Akkurt, 2011).

| Parça malzemesi | Sinterlenmiş karbür takımlar | Hız çeliği takımlar |
|-----------------|------------------------------|---------------------|
| Çelik | 0,25-0,35 | 0,10-0,20 |
| Dökme demir | 0,20-0,30 | 0,25-0,30 |
| Hafif metaller | 0,41-0,50 | 0,40-0,50 |
| Pirinç | | 0,25-0,35 |
| Bakır | | 0,13-0,16 |

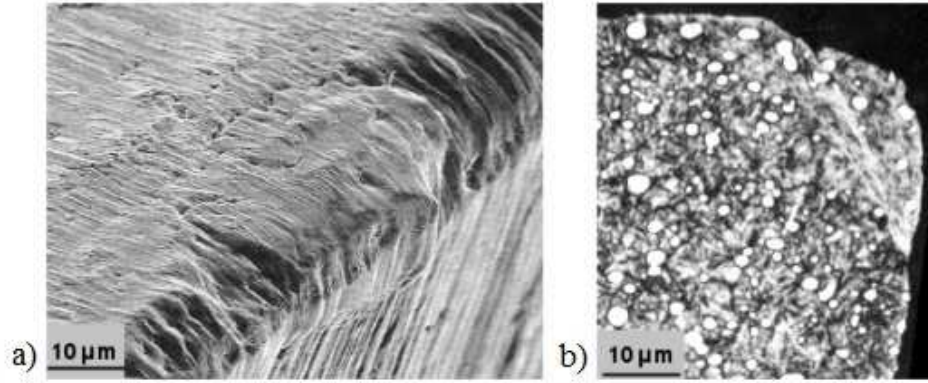
5. KESİCİ TAKIMLARDA AŞINMA

Kaplanmış kesici takımlar günümüz metal işleme endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Talaş kaldırmada, uygun kesici takım seçimi büyük avantajlar sağlar. Bu üstünlükler imalatta kalitenin iyileştirilmesine, maliyetin azaltılmasına ve üretimin artmasına yardımcı olur. Tornada yapılacak işe göre her yönüyle uygun bir kalem seçimi, tornalama işleminin kusursuz yapılabilmesi bakımında çok önemlidir. İş parçasının sertliği ve durumu, istenen hassasiyet ve bitiş ölçüleri, çeşitli işlem parametreleri vb. faktörler kesici takım seçiminde önemli rol oynamaktadır. Bunların yanında kesici takım tasarımında; tokluk, plastik deformasyon ve aşınma direnci faktörleri önceliklidir (Byrne et al., 2003; Mukherjee and Ray, 2006; Tonshoff et al., 2000).

DIN 50320 ve ASTM G4093 standartlarına göre aşınma, “kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (katı, sıvı veya gaz) teması sonucu mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılmasıyla meydana gelen ve istenmeyen yüzey bozulması” şeklinde tanımlanmaktadır (Bach and Duda, 2000).

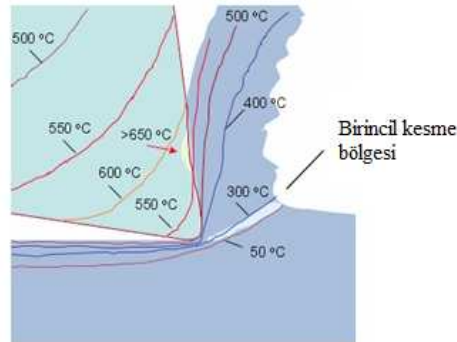
Torna kaleminde parça işlenmesi sırasında meydana gelen aşınmanın mekanizması yıllarca araştırma konusu olmuştur. Torna kalemleri parça işlenmesi sırasında, aşınma mekanizmaları olan abrasyon, adhezyon, difüzyon, plastik deformasyon (Şekil 5.1) ve kırılma etkilerine maruz kalmaktadır (Davis, 1995; Hogmark, 2011; Klocke and Krieg, 1999; Yallese et al., 2009). Torna kalemlerinin ömürlerinin kısa ve işlenen parçanın yüzey kalitesinin düzgün olmaması; kesme bölgesinde meydana gelen yüksek sürtünme katsayısı (aşınma) ve yüksek sıcaklıklarda eğim açısı yüzeyindeki talaş oluşumuna bağlı kalır (Birmingham, 2001; Davis, 1995; Stackowiak et al., 1994; Stackowiak et al., 2006).

Talaşlı imalatta aşınma mekanizmasını iyi anlayabilmek için torna kalemi ile iş parçası arasındaki kuvvet ve sıcaklık dağılımını incelemek gerekir. Şekil 5.2’de kesme esnasında hız çeliği (HSS) alaşımı ile iş parçası arasındaki sıcaklık değişimi verilmiştir. Burada talaş oluşumunda sıcaklığın birincil kayma bölgesinde düşük ve diğer noktalardan daha az olduğu, ikinci sırada talaş ile torna kalemi arasındaki sürtünmeden ileri gelen sıcaklık değerlerinin ondan biraz daha yüksek olduğu ve ilk bölgeye göre dikkate değer ölçülerde arttığı ve en yüksek sıcaklığın ise eğim açısı yüzeyindeki sürtünmeyle üçüncül bölgede olduğu görülmektedir (Hogmark, 2011).

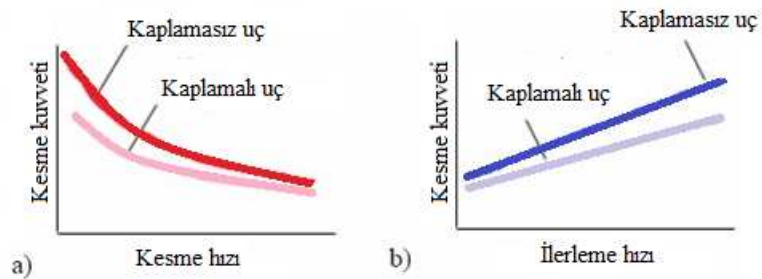


Şekil 5.1 HSS torna kaleminde meydana gelen plastik deformasyon: a) kesitten görünüş b) üstten görünüş (Hogmark, 2011).

Torna kaleminde oluşan mekanik gerilmeler ve kuvvetler, kesme işlemi süresince sürekli değiştiğinden, bunları göstermek zordur. Bunun için, tüm kesme kuvveti (F), kesme hızı ve ilerleme hızı ile ilişkilendirilmiştir (Şekil 5.3). Şekilde görüldüğü gibi, kesme verimini artırmak için az sürtünmeli kaplama kullanılmalıdır. Bu da düşük kesme kuvvetleri ve kenarlarda düşük sıcaklığa neden olmaktadır (Hogmark, 2011).



Şekil 5.2 Hız çeliğiyle alaşımıyla kesme esnasında meydana gelen sıcaklık değişimi (Hogmark, 2011).



Şekil 5.3 Kesme kuvvetinin, a) kesme hızı ve b) ilerleme hızına göre değişimi (Hogmark, 2011).

Aşınmanın etkin bir şekilde izlenmesi için sistemler geliştirilmektedir. Günümüzde; aşınma parametreleri, iş parçası boyutundaki değişimin izlenmesi, akustik emisyon, motorun çektiği akımın büyüklüğü, kesme momenti (tork) ve kesme kuvveti gibi kesme parametrelerinin izlenmesi ile takım aşınmaları belirlenmeye ve açıklanmaya çalışılmaktadır (Chouldhury et al., 1999; Dimla, 2000; Li and Li, 2002; Li and Guan, 2004).

5.1 Abrasiv Aşınma

En yaygın aşınma tiplerinden biridir. Takım aşınması kesici kenar üzerine etkiyen yük faktörlerinin bir sonucudur. Temel yük faktörleri mekanik, ısıl, kimyasal ve abrasiv yükleri temsil etmektedir. Abrasiv aşınma, tüm aşınma türleri içerisinde maliyetin yaklaşık % 63'ünü oluşturur. Abrasiv aşınma, sert partiküllerinin veya sert çıkıntılarının katı bir yüzey boyunca hareket etmesi ve karşı koymasından dolayı oluşur (Akbayır, 2005; Akkurt, 2011; Bach and Duda, 2000; Çakan, 2006; Çakır, 1999).

Aşındırıcı sert partiküller ya abrasiv aşınmaya ya da eroziv aşınmaya neden olurlar. Bu durum iş parçası yüzeyi ile takım arasına giren sert parçacıkların neden olduğu taşlama işlemine benzer bir durumdur (Çakır, 1999). Endüstriyel uygulamalarda en sık karşılaşılan mekanik hasarlara genelde abrasiv aşınmalar sebep olmaktadır. Bu tip aşınma; toprak kazıma aletlerinde, madencilik uygulamalarında, minerallerin işlenmesinde, tarım aletlerinde ve diğer pek çok uygulamalarda oluşmaktadır (Akbayır, 2005).

Genel olarak bir metal yüzeyinin abrasiv aşınması o yüzeyin aşındırıcı sert partiküllerle veya kendisinden daha sert pürüzlü bir karşı metal yüzeyiyle bir yük etkisi altında ve birbirlerine göre zıt yönlerde yüzey boyunca kayma temasında bulunmaları halinde yüzeyden malzeme parçacıklarının kaldırılması veya yer değiştirmesi şeklinde tanımlanır. Kesici kenarın abrasiv aşınmaya dayanma kabiliyeti önemli ölçüde ucun sertliğine bağlıdır (Akbayır, 2005; Akkurt, 2011; Bach and Duda, 2000; Çakan, 2006; Çakır, 1999).

5.2 Adhesiv Aşınma

Genellikle takımın talaş yüzeyindeki düşük işleme sıcaklıklarından dolayı ortaya çıkar. Çelik ve alüminyum gibi uzun ve dökme demir gibi kısa talaş oluşumunun söz konusu olduğu malzemelerde görülür. Adhesiv aşınma, moleküler kuvvetlerin etkisi altındaki temas yüzeylerinde oluşan bölgesel kaynak bağlarının kırılması sonucuyla oluşan bir malzeme kaybıdır (Akbayır, 2005; Akkurt, 2011; Çakır, 1999).

Bu aşınma mekanizması genellikle kenar ile talaş arasında yığılma kenar oluşumuna yol açar. Metalik malzemenin kendi ağırlığından veya herhangi bir dış kuvvet etkisiyle çok küçük

olan pürüz tepeliklerine gelecek olan basınç veya gerçek gerilme, geometrik temas yüzeyine göre hesaplanan ortalama gerilmelere göre çok daha büyük olacaktır. Bunun sonucunda temas noktalarında malzemenin akma sınırı aşılabacak, yani bu kuvveti taşıyamayan pürüzler plastik deformasyona uğrayacaklardır. Yüzeyde emilmiş (absorbe edilmiş) olan sıvı veya gaz molekülleri ile oksit tabakaları bu basınç altında parçalanır ve malzemelerin moleküllerinin direkt temas haline geçmelerine imkân verilmiş olunur. Böylelikle soğuk kaynama denilen bölgesel kaynak bağları oluşur. Bu sırada eğer izafi hareket de varsa yüzeydeki sıcaklık yükselir, hatta ergime noktasına kadar çıkabilir ve böylece kaynak yerinden veya metal yüzeyinden bir miktar parçacık kopar. Bu metalik parçacıklar, ara yüzeyde serbest halde kalabilecekleri gibi metallere birisine de bağlanabilirler. Her iki durumda da malzeme kaybı yani aşınma meydana gelmekte, ikinci durumda malzemelerin birinden diğerine malzeme transferi söz konusu olabilmektedir (Akbayır, 2005; Çakır, 1999).

Özellikle birbiriyle kayma sürtünmesi yapan, metal-metal aşınma çiftinde meydana gelen kaynaklaşma olayının bir sonucudur. Birbiriyle temasta bulunan benzer kafes yapılı iki metalik yüzey arasında adhezyon denilen bir çekim kuvveti söz konusudur. Bu kuvvetin oluşabilmesi için malzemelerin moleküllerinin birbirine çok yaklaşması gerekir. Temas halindeki iki metal, zaten birbiriyle yüzeylerindeki pürüzler vasıtasıyla etkileşirler. Malzeme ağırlığından veya bir dış kuvvet etkisiyle, çok küçük olan pürüz tepelerine gelecek olan basınç veya gerilme çok büyük olur. Bu kuvveti taşıyamayan pürüzler plastik deformasyona uğrarlar. Eğer malzemenin deforme olma kabiliyeti yüksekse, mikro adhezyon alanları şiddetle temas yüzeyine tamamen yayılır. Böylece yüzeyde emilmiş bulunan sıvı veya gaz molekülleri ve oksit tabakaları parçalanır (Akbayır, 2005; Buytoz, 2004; Çakan, 2006; Çakır, 1999).

5.3 Aşınma Direncine Karbürlerin Etkisi

Alaşımın mikroyapılarında bulunan karbürler alaşımın aşınma direncinin yükselmesinde önemli bir rol oynamaktadırlar. Mikro yapıda bulunan karbür miktarının artması ve karbürlerin incilmesi abrasiv aşınma direncini artırmaktadır. Matris/karbür ara yüzeyinin mukavemeti, karbürler arası mesafe ve abrasiv aşındırıcı ile farklı sertlikteki karbürlerin varlığı da alaşımların abrasiv aşınma direncini etkilemektedir. Karbürlerin çok küçük ve sık dağılımı, malzemenin sertliğini artırarak aşınma hızını azaltabilir. Aşındırıcı parçacıkların karbürlerden daha sert olması, aşınma esnasında karbürlerin kesilmesine ve çatlamasına neden olabilir. Bu durumda aşınma direncinde bir azalma görülür (Yıldırım et al., 2007).

5.4 Aşınma Deneyleri ve Ölçüm Yöntemleri

Aşınma deneylerinde; ağırlık farkı metodu, kalınlık farkı metodu, bilgisayar destekli aşınma metodu, radyonüklid metodu (RN), akustik emisyon metodu (AE) ve on-line izleme metodu bulunmaktadır.

5.4.1 Ağırlık farkı yöntemi

Bu yöntemde ölçümler, 10^{-4} ile 10^{-5} duyarlılıkta bir hassas terazi yardımı ile yapılır. Bu teknikte her aşınmadan sonra numune hassas terazi ile tartılır. Ekonomik olmasından dolayı en çok tercih edilen tekniktir. Fakat deney numunesinin her defasında yerinden çıkarılıp tartım yapılması bu yöntemin dezavantajıdır. Elde edilen veriler ile aşınma oranı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır. Burada W_a aşınma oranını (mm^3/Nm), ΔG ağırlık kaybını (mg), M yükleme ağırlığını (N), S aşınma yolunu (m) ve d cismin yoğunluğunu (gr/cm^3) göstermektedir.

$$W_a = \frac{\Delta G}{d.M.S} \quad (\text{mm}^3/\text{Nm}) \quad (4)$$

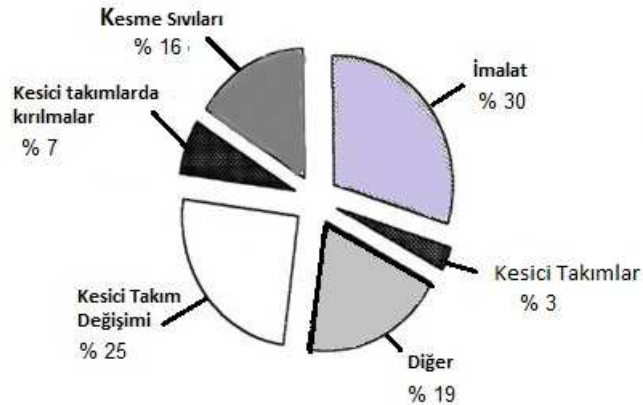
5.4.2 On-line izleme yöntemi

Bu yöntemde talaş kaldırma esnasında, iş parçasına fiber optik vasıtasıyla gönderilen lazer-diyotun ve iş parçası üzerinden yansıyan ışığın foto-diyot ile toplanması ve voltaj değerlerine dönüştürmesi sonucu, kesici takımın kesme performansı ölçülür. Yöntemde dikkat edilmesi gereken önemli noktalar vardır. Lazer ışınının iş parçasına dik ve sabit bir uzaklıkta olması gerekir. Ayrıca fiber optiğin iş parçasına paralel hareket etmesi icap eder. Bilgisayarda toplanan verilerden, kesici takımdaki aşınmaya bağlı olarak, iş parçası yüzeyinde oluşan boyutsal değişim (örneğin, yüzey pürüzlüğü) hakkında bilgi verir. Choudhury ve arkadaşları (1999), kesici takımda meydana gelen aşınmanın ışık şiddeti ile orantılı olduğunu belirtmişlerdir (Chouldhury et al., 1999).

6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bir iş parçasının maliyet hesabında kesici takımlar önemli yer tutmaktadır (Şekil 6.1). Bu alanda kesme performanslarını iyileştirmek amacıyla literatürde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Abrasiv ve adhesiv aşınma, seramik kaplı kesici takımlarda yoğun araştırma konusudur. Polcar ve arkadaşları (2005); TiN, TiCN ve CrN kaplamaların, pin-on-disc metodu ile yüksek sıcaklıkta (500 °C'ye kadar) 100Cr6 ve Si₃N₄ kürelerine karşı sabit yük (5 N) altında sürtünme katsayılarını ölçmüşlerdir (Polcar et al., 2005). 100Cr6 küreye karşı yapılan deneyde; TiN ve TiCN kaplamaların sürtünme katsayılarının sıcaklıkla hafifçe artma gösterdiklerini; CrN kaplamanın ise, 100–300 °C arasında en yüksek, 300-500 °C arası ise en düşük sürtünme katsayısına sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Aynı çalışmada, Si₃N₄ küresine karşı yapılan aşınma deneyinde; TiN kaplamada kırılıp kalkma (delaminasyon) görülmemiştir. Diğer yandan araştırmacılar, CrN kaplamalarda sürtünme katsayısı sıcaklıkla arttığını belirlemişlerdir.

Chung-Woo Cho ve arkadaşları (2000), yüzeyi CrN kaplı % 0,2 C'lu çeliğe adhesiv ve abrasiv aşınma deneyleri gerçekleştirmiştir (Cho and Lee, 2000). Elmas küreye karşı yapılan deneyde; adhesiv aşınmada kaplama kalınlığı arttıkça kritik yükün arttığı ve abrasiv aşınma sonucunda sürtünme katsayılarını, 1,0 µm ve 4,0 µm kalınlıktaki CrN kaplamalar için, 0,06 ve 0,04 olarak bulmuşlardır. Navinsek ve arkadaşları (1997), CrN kaplamaların TiN kaplamalara göre yüksek sıcaklıklarda (< 700 °C) korozyona karşı daha dayanıklı olduklarını tespit etmişlerdir (Navinšek et al., 1997).



Şekil 6.1 İş parçasının maliyeti (Kopac, 1998).

Aihua ve arkadaşları (2012), değişik kaplamalardaki aşınmaları incelemiştir (Aihua et al., 2012). Sürtünme katsayılarını sırasıyla AlTiN > CrAlN > TiAlN > TiN olarak elde etmişlerdir. Araştırmacılar tarafından, kaplamalarda alüminyum (Al) elementinin bulunmasının

sürtünme katsayısını artırdığı tespit edilmiştir. Aşınma hızı en düşük, TiN ve TiAlN kaplamalarda bulunmuştur. Kataria ve arkadaşları (2010), TiN (2,4 µm) kaplamalar üzerinde sabit yük (4,5 N, 6 N, 7,5 N) ve değişken yükler (1-300 N) uygulayarak adhesiv aşınmayı ölçmüşlerdir (Kataria et al., 2010). Değişken yükler altında aşınmanın sabit yükteki aşınmaya göre daha kompleks olduğunu, sabit yük altında yapılan aşınmada kaplamaya verilen zararın, değişken yük altındakine göre daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Lee ve Jeong (1998), adhesiv aşınma testi sonucu, kaplamamın kalkmasına yol açan kritik yükteki artışın; kaplamamın kalınlığındaki artış ile doğru orantılı, fakat yüzey pürüzlüğü ile ters orantılı olduğunu tespit etmiştir (Lee and Jeong, 1998).

Stallard (2006), sabit ve artan yükler karşısında Ti ve çelik üzerindeki TiN kaplamaların adhesiv aşınmalarını incelemiştir (Stallard et al., 2006). 15 N ve 40 N sabit yük altında yapılan adhesiv aşınmada, Ti üzerindeki TiN kaplamamın daha çok kırılma mekanizması ve çelik üzerindeki TiN kaplamamın ise kohesiv mekanizma ile aşındığı sonucuna varmıştır. Artan yük karşısında da titanyumun çeliğe göre daha düşük kritik yüklerde adhesiv aşınmaya uğradığını gözlemlemiştir. Dyrda ve Sayer (1999), endüstride sağlam ve hızlı ölçüm yapan adhesiv aşınma test cihazı geliştirmişlerdir (Dyrda and Sayer, 1999). Deformasyon mekanizmasının belirlenmesinde yalnız sürtünme kuvvetinin bilinmesinin yeterli olmadığını ve yapılan testlerde kritik yükü belirlemede sürtünme kuvveti grafiklerinin yanında optik resimlerin kombinasyonun da önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Wilson ve Alpas (1998), AISI M2 çeliği üzerine farklı kalınlıklarda (2,5 ve 3 µm) TiN kaplamıştır. Çalışmacılar, pin-on-disc metodu kullanarak 20-250 N arasında artan yük uygulamıştır (Wilson and Alpas, 1998). Uygulanan yük 20 N'a ulaştığında, TiN yüzeyinde oksit parçacıkları tespit edilmiştir. Yükün şiddeti arttırıldığında, 50-100 N arasında kaplamada kırılmalar ve 100 N'dan sonra plastik deformasyon tespit etmişlerdir. Badisch ve arkadaşları (2003), PACVD yöntemi kullanarak AISI M2 çeliği üzerine 3 µm kalınlığında TiN kaplamıştır (Badisch et al., 2003). Bu malzeme, 10 N sabit yük altında, 100Cr6 küreye karşı aşındırılarak sürtünme katsayısı ölçülmüşlerdir. İlk 200 metrede sürtünme katsayıları 0,6-0,8 ve son 100 metrede de 0,17 olarak ölçülmüştür. Williams (2005), aşınma ve aşınma partiküllerini incelemiştir. Araştırmacı; aşınma esansında kopan partiküllerin yoğunluğu, boyutu ve geometrik şeklinin malzeme yüzeyinin durumu hakkında önemli bilgiler verdiğini belirtmiştir (Williams, 2005). Petrov ve çalışma arkadaşları (2003), çelik üzerine PVD yöntemiyle TiN kaplandıktan sonra mikroyapı analizi sonucunda, oluşan filmin sütun (kolonlu) şeklinde ve bunun yanında uzamış tanelerden oluştuğunu gözlemlemişlerdir (Petrov et al., 2003). Guu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, titanyum nitrür kaplamaların aşınma davranışlarını incelemiştir (Guu et

al., 1996a; Guu et al., 1996b). Çizelge 6.1'de bazı kaplamaların mikrosertlik ve ısıl genleşme değerleri verilmiştir (Wang et al., 1999).

Titanyum nitrür kaplamalar; yüksek sertlik, düşük sürtünme ve 500 °C nin altındaki sıcaklıklarda iyi oksidasyon dirençleri nedeniyle; kesici takım endüstrisinde başarıyla kullanılmaktadır (Bull, 1999). Sertleştirilmiş AISI H13 takım çeliği; nitrürlü ve nitrürsüz yüzey olarak PVD yöntemiyle Torres ve arkadaşları (2010) tarafından, TiN ve ardından da TiAlN ile kaplanmıştır. Kalemlerde 3,0 ve 8,0 µm olmak üzere iki tip kaplama kalınlığı seçilmiştir. Malzemeler, CSM (Mechanical Surface Characterisation) tribometre ile 6 mm çaplı WC kürelerin kaydırılması suretiyle aşındırılmıştır. Nitrür yüzeyli ve ince kaplamalı (3,0 µm) takımlarla, nitrürsüz ve kalın kaplamalı takımlara göre daha sert yüzey elde edilmiştir. Kalın kaplı ve nitrürlü yüzeydeki aşınma, yüzeyde ulaşılan tüm sertliğe bağlı kalırken; ince kaplamalı ve nitrürlü yüzeyde aşınma, sertliğin yanında kalınlığa da bağlı olmaktadır (Torres et al., 2010).

Çizelge 6.1 Kaplama tabakalarının mikrosertlikleri ve ısıl genleşme katsayıları (Wang et al., 1999).

| Malzeme | Mikrosertlik (HV _{25 µ}) | Isıl genleşme katsayısı (X 10 ⁻⁶ K ⁻¹) |
|---------------|---------------------------------------|---|
| TiAlN | 3450 | 7,5 |
| TiN | 2950 | 9,4 |
| WC/Co | 1600 | 5,0 |
| M2 hız çeliği | 800 | 11,7 |

Başka bir çalışmada Bozakis ve arkadaşları (2010); TiAlN ile PVD kaplama yapmadan önce takımın yüzeyine yüksek güç darbeleri magnetron sıçratma ve kaplama (HPPMS) yöntemiyle; Cr, W ve Ti elementleri katkısıyla ön işlem uygulamışlar ve üretilen kesici ucun kesme performansının arttığı gözlemlenmiştir (Bouzakis et al., 2010). Özellikle Cr'lu ara yüzeyin, W ve Ti'lu diğer ara yüzeylere göre üstün bir kesme performansı sergilediğini göstermiştir (Bouzakis et al., 2010). AISI M41 yüksek hızlı kesme çeliğine PVD yöntemiyle; TiN, TiAlN, CrN, AlTiN ve TiCN filmleriyle 1,9 ile 2,5 µm kalınlığında kaplama yapıp; mikro-sertlik (Fischer HP 100), aşınma ve sürtünme analizleri (Plint TE53 slim multi-purpose) uygulanmıştır. Aşındırıcı disk malzemesi olarak, DIN X153CrMoV12 soğuk iş çeliği kullanılmıştır. Mikro-sertlik deneyi ölçümlerinde; AlTiN (3800 HV), ardından da sırasıyla TiCN (3300 HV), TiAlN (3300 HV), TiN (3100 HV), CrN (2400 HV) ve kaplanmamış M41 (850 HV) sonuçları elde edilmiştir. Aşınma testinde en az ağırlık kaybına uğrayan AlTiN kaplama katı ve en çok ağırlık kaybına uğrayan da CrN kaplama katı olmuştur (Özgür et al., 2009). Endrino ve arkadaşları tarafından; AlTiN, AlCrNbN, ince taneli AlTiN ve nano kristal yapıda AlTiN kaplama tabakalarının performansları karşılaştırılmış ve incelenmiştir (Endrino et

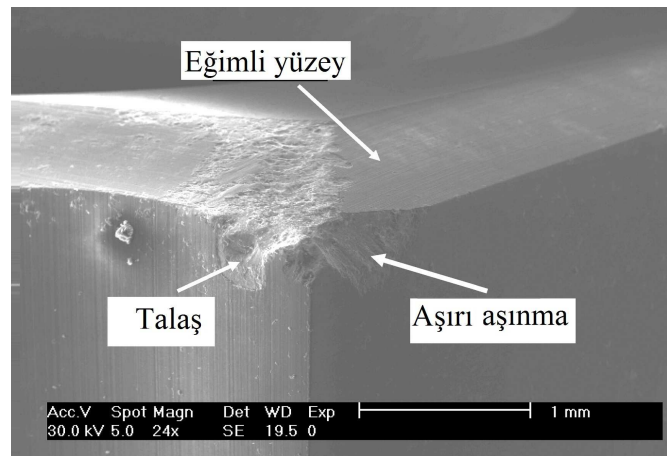
al., 2006). Buna benzer Arndt ve Kocsich (2003) ve Bressan ve arkadaşları (2001), ayrı ayrı sırasıyla TiAlN ve TiCN ile kaplı M2 hız çeliği, WC sert metali üzerinde aşınma davranışlarını araştırmışlardır (Arndt and Kacsich, 2003; Bressan et al., 2001). Bu araştırmacılar çalışmalarında; TiAlN kaplamasının, TiCN kaplamasına göre aşınma direncinin daha yüksek olduğunu göstermişlerdir. Fox-Rabinovicha ve arkadaşları (Fox-Rabinovicha et al., 2004b); katodik ark filtreleme yöntemiyle, nano boyutta (60-80 nm) kalınlığında TiAlN-PVD kaplamanın avantajlarını incelemişler ve bu kaplama katının kesme esnasında oksidasyon aşınmasını iyileştirdiğini gözlemlemişlerdir.

Bir diğer çalışmada Mo ve Zhu (2009), PVD yöntemi ile kaplanan CrN ve AlCrN'lü kaplanan volframkarbür-kobaltlı (% 90 WC ve % 10 Co) kesici uç malzemesinin, 50 g yükte 1350 HV mikrosertlik ve 600 GPa elastiklik modülü değerinde; Si₃N₄ ve saf titanyumdan (TA2) aşındırma kürelerine karşı tribolojik davranışlarını araştırmışlardır (Mo and Zhu, 2009). Si₃N₄ küreleri üzerinde kayma esnasında CrN filminin aşınma direncinin yüksek ve anti-sürtünme özellikleri ile iyi performans sergilemesine karşın, F_n > 10 N olan yüksek yüklerde aşınma esnasında tabaka kalkması, aşınma ve oksidasyon gözlemlenmiştir. AlCrN'ün ise, yüksek yüklemelerde daha iyi aşınma direnci performansı sergilediği belirlenmiştir. Titanyum küre ile yapılan testte CrN kaplama orta abrasiv aşınma ile karakterize edilirken, rakip kaplama olan AlCrN kaplama katında Ti taşınımı (difüzyonu), aşınma çizikleri ve Ti adhezyonu tespit edilmiştir.

Ostenitik paslanmaz çelik (316L) malzemelerin genelde işlenmesi zordur. Bu iş parçasının, TiN kaplı sinterlenmiş karbürlü (WC + % 10 Co) takım ucu ile kesilmesi sırasında oluşan malzeme transferi Wiklund ve çalışma arkadaşları (Wiklund et al., 2011) tarafından araştırılmıştır. Bu araştırmacılar, kesici uca yapışan ilk tabakanın kesme parametrelerini kontrol ettiği gözlemlenmiştir. Diğer bir Kadirgama ve arkadaşları (2011) tarafından yapılan çalışmada, Kennametal tarafından üretilen kesici uçlar, Hastelloy C-22HS; yüzey merkezli kübik, nikel temel alaşımlı ve korozyon direnci yüksek super alaşım iş parçası üzerinde test edilmiştir (Kadirgama et al., 2011). PVD kaplı kesici takımlar, CVD kaplı kesici takımlara göre Hastelloy C-22HS işlenmesinde takım ömrü bakımından üstünlük göstermiştir. PVD yöntemiyle sade TiAlN kaplı, ardından da üç katlı TiN/TiCN/TiN kaplı kesici takımlar ve yine CVD yöntemiyle kaplı kesici takımlar Hastelloy C-22HS işlenmesinde yüksek performans sergilemiştir. Şekil 6.2'de KC915M CVD TiN/TiCN/Al₂O₃ (kalınlık 3 µm) kesici ucun üzerindeki çentik ve yıkıcı kusurlar görülmektedir. Kharis ve Lin (2007), TiAlN ile kaplı kesici takımın kuru ve ıslak aşınma ve kesme performansını AISI 4140 iş parçası üzerinde araştırmışlardır (Khrais and Lin, 2007). 200 ile 400 m/dak. hız aralığında kuru kesmenin ıslak ortama göre daha iyi olduğunu

gözlemlenmişlerdir. Sert iş parçalarını; i) sertleştirilmiş çelik kalıpları ve ii) hava-uzay sanayisinde kullanılan Ni'li süper alaşımlar ile Ti alaşımları gibi malzemeleri kesmek son derece zahmetli ve güçtür. Bu malzemelerin kesiminde $(Al_{0.67}Ti_{0.33})N$ ve $(Al_{0.7}Cr_{0.2}Ti_{0.1})N$ olmak üzere iki tip kaplama kullanılmıştır. Kovalev ve arkadaşları (2010), PVD yöntemiyle sinterlenmiş karbür (WC-Co) takım malzemesini bu iki kaplama ile kaplayarak, sertleştirilmiş H13 çeliğinin (Rc 50-52) işlenmesinde denemişlerdir (Kovalev et al., 2009). TiAlCrN kaplamanın çelik malzemelerin işlenmesinde kaplama olarak seçilebileceğine, diğer taraftan AlTiN kaplamanın hava-uzay malzemelerin işlenmesinde daha iyi olduğu sonucuna varmışlardır. PVD yöntemiyle karbürürlü takımların üç tabaka halinde TiN/TiCN/TiN ile kaplanması, nikel esaslı alaşımların işlenmesini kolaylaştırmış ve yüksek hızda (> 50 m/dak.) kesme kabiliyetini yükseltmiştir (Devillez et al., 2007).

Bhatt ve çalışma arkadaşları da WC-% 6 Co'lu kesme takımı üzerine tek katlı kaplama (TiN)-PVD (3 μ m) ile birden fazla (multiple) üçlü kat kaplama (TiCN/Al₂O₃/TiN)-CVD (14.5 μ m) kesme performanslarını INCONEL 718 iş paçası üzerinde test etmişlerdir (Bhatt et al., 2010). CVD kaplı kesici takımın yüksek kesme hızlarında ve düşük ilerleme hızlarında buna karşılık orta kesme hızlarında PVD ile kaplı olan takım yüksek aşınma direnci göstermiştir. Niobiyum karbür (NbC) kaplamasının aşınma direnci bor, sertleştirilmiş ve nitrülenmiş çelikten yüksek ve VC, TiN, TiC ve TiCN kaplamalarına eşit olduğunu çalışmalarında göstermişlerdir (Şen and Şen, 2008). Alüminyum alaşımlı iş parçasının TiB₂ filmi ile kaplı uç diğer PVD TiAlN ve PVD TiN ile kaplı uçlara göre üstün performans sergilemiştir (Prengela et al., 2001).

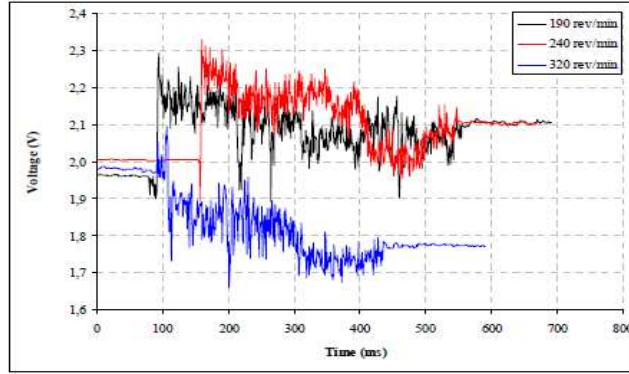


Şekil 6.2 Kesme hızı; 100 m/dak., ilerleme; 0,15 mm/diş, eksen derinliği; - 1 mm ve 742 mm ilerlemeden sonra KC915M CVD TiN/TiCN/Al₂O₃ kesici ucun çentik ve aşınan kısımların SEM resmi (Kadirgama et al., 2011).

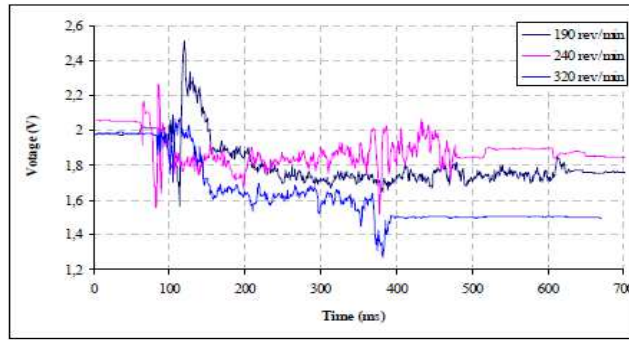
TiCN kaplı kesici takımlar imalat sanayisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çakan ve arkadaşları (Çakan et al., 2008a); AISI 1070 çeliğinden üretilmiş, 760 °C’de sertleştirilmiş torna kalemini PVD yöntemiyle TiCN kaplayarak DIN9SMnPb36 otomat çeliği üzerinde aşınma deneylerine tabi tutmuşlardır. Deneylerde; 190 dev/dak., 240 dev/dak. ve 320 dev/dak. devir sayıları; 0,105 mm/devir ilerleme hızı ve 0,8 kesme derinliğinde yapılan tornalama işlemleri sonucunda; ilerleme, radyal ve kesme kuvvetleri, voltaj değişimi karşılığı gösterilmiştir. Şekil 6.3’de TiN ve CrN kaplı malzemelerin 190 dev/dak., 240 dev/dak. ve 320 dev/dak. aşınma özellikleri voltaj ölçümü ile gösterilmiştir. Burada TiN kaplama katının aşınma direncinin, CrN’e göre yüksek olduğu gözlemlenmiştir. 190 dev/dak. ile 240 dev/dak. devir sayılarında ilerleme kuvvetinde oluşan değişimler birbirine yakın olmuş ve daha yüksek devirlerde ise büyük değişimler gerçekleşmiştir. Aşınmayla ilgili değişimler on-line olarak monitörde takip edilmiştir (Çakan et al., 2007). Buna benzer on-line monitörle ilgili yapılan diğer çalışmalar; Li (Li and Li, 2002), Cakır ve arkadaşları (2005) (Çakır and Isık, 2005), Oraby ve Hayhurst (2204) (Oraby and Hayhurst, 2004) ve Kurada ve Bradley (1997) (Kurada and Bradley, 1997) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Okada ve arkadaşları (2011) iki tip karbo bor nitrür (CBN) (CBN-1: % 80-90 ve CBN-2: % 50-60) ve farklı tip kaplamalı (TiN, TiCN, TiAlN, TiAlN/AlCrN) K10 ile P30 karbürli kesici uçların iş çeliği (JIS S55C: 20, 40, 50, 60 Rc) frezelemede gösterdikleri kesme performanslarını incelemişlerdir (Şekil 6.4). Takım kaleminin dış yan analizinde CBN kesici takımların frezelemede mükemmel aşınma direnci gösterdikleri gözlemlenmiştir (Okada et al., 2011). Ayrıca, CBN kesici uçları kaplanmış karbürlere göre frezelemesi sonucunda mükemmel bir yüzey pürüzlüğü elde etmişlerdir. Bunun yanında, CBN-1 kesici ucun takım kalemin kesici yanal yüz sıcaklığı, CBN-2’ye göre düşük bulmuşlardır. Sonuç olarak, CBN ve kaplamalı karbürler, özellikle TiAlN ve TiAlN/AlCrN kaplamaları, hızlı ve düşük sert frezelemede kullanılabilir olduğunu göstermişlerdir. Başka bir çalışmada ise kesici takıma kaplanan TiAlN/AlCrN filmi, TiAlN filmine göre üstün aşınma direnci göstermiştir (Liew, 2010). Bunun yanında Ti-B-C-N sistemleri ile ilgili kaplama çalışmaları literatürde bulunmaktadır, bunlara örnek olarak (Camuscu and Aslan, 2005; Chou and Evans, 1997; Huang and Liang, 2005; Rebholz et al., 1999; Steinebrunner et al., 1996) gösterilebilir.

Sertleştirilmiş AISI 4340 (53 Rc) ve AISI 52100 (56 Rc) çeliği Sandvik Coromat firmasından temin edilen TiN kaplı ve Al esaslı seramik kesme takımının 142 m/dak., 181 m/dak., 264 m/dak. yanal yüz aşınma performansı on-line incelenmiştir. Bu çalışmada en yüksek aşınmanın AISI 52100 çeliğinde 181 m/dak. ile yapılan test de kaydedilmiştir. Bunun yanında istatistiksel çalışma sonucu aşınmanın mesafe (mm) ve voltaj (V) arasında korelasyon olduğu saptanmıştır (Çakan, 2011).

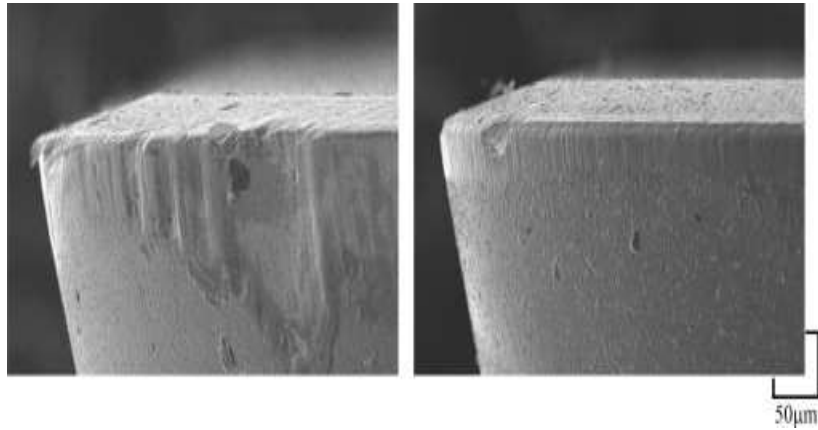


(a)



(b)

Şekil 6.3 Farklı kesme hızlarında aşınma özelliklerinin karşılaştırılması a) TiN ve b) CrN (Çakan et al., 2008).

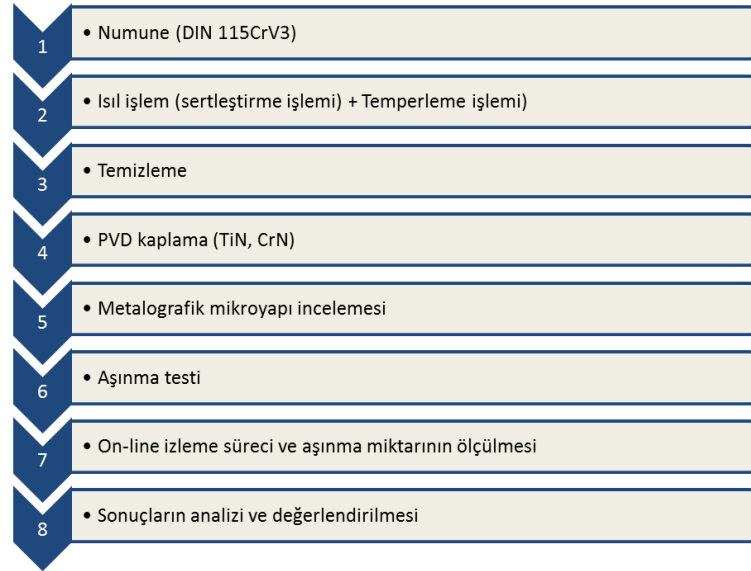


Şekil 6.4 Sol resim: TiN ve sağ resim: TiAlN/AlCrN kaplı aşınmış K10 kesici takımın SEM resmi (Okada et al., 2011).

Çakan ve arkadaşları (2008), Chakraborty ve arkadaşları (2008), Fua ve arkadaşları (2007), Ghasemipoor ve arkadaşları (1999), Kuljanic and Sortino (2005), Lüthje ve arkadaşları (2004), Rivero ve arkadaşları (2008) on-line izleme cihazları ile benzer çalışmalar yapmışlardır (Chakraborty et al., 2008; Çakan et al., 2008a; Fua et al., 2007; Ghasemipoor et al., 1999; Kuljanic and Sortino, 2005; Lüthje et al., 2004; Rivero et al., 2008). Lin ve arkadaşları, kaplamasız ve AlCrN (PVD yöntemi) ile kaplı sinterlenmiş karbür çeliğini KC313, iş parçası SAE 4140 çeliği üzerinde aşınma ve parça ömrünü analiz etmişlerdir (Lin et al., 2008). 260 m/dak. kesme hızında AlCrN ile kaplı kesici takımı, TiAlN ile kaplı kesici takıma göre % 95 daha verimli bulmuşlardır. AlCrN film kaplaması ile ilgili başka çalışmalar da yapılmıştır (Biol and İşler, 2011).

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çubuk şeklinde (*Çapı: 40 mm, boyu: 300 mm*) piyasadan satın alınan DIN 115CrV3 cıva çeliğinden talaşlı imalat teknikleri kullanılarak kesici torna kalemi üretmek için sırasıyla, sertleştirme ve temperleme ısıl işlemleri yapılmış; ardından kesici takım numuneleri, yüzeyde gerekli temizlik işlemleri tamamlandı, fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemlerinden “*katodik ark buhar biriktirme yöntemi*” kullanılıp, yüzeylerine TiN ve CrN kaplanarak, bunlardan iki grup kesici takım numunesi üretilmiştir. Çalışmada daha sonra üretilen kesici uçların aşınma ve kesme performansları farklı yöntemlerle test edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmaların aşamaları ve çalışma planı (Şekil 7.1)’de özetlenmiştir.

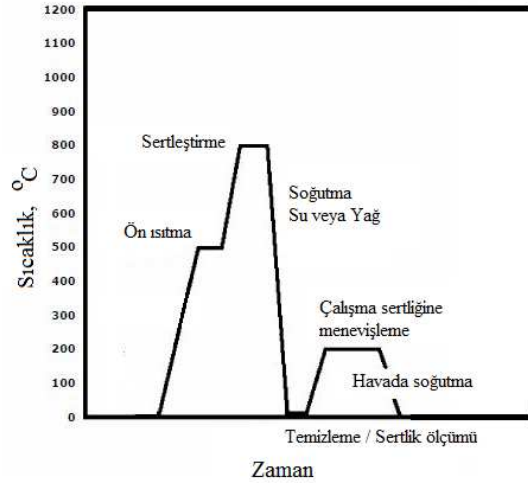


Şekil 7.1 Deneysel çalışmalarda uygulanan işlem basamakları.

7.1 Numunelerin hazırlanması işlemleri

Piyasadan temin edilen DIN 115CrV3 düşük alaşımlı cıva çeliğinden deney parçalarına, 10x10x100 mm boyutlarında kare prizma şeklinde şekil verilmiştir. Hazırlanan numuneler daha sonra tav fırını kullanılarak uygun sertleştirme sıcaklıkları (750 °C, 760 °C, 780 °C ve 850 °C) saptandıktan sonra, bu sıcaklıklarda yaklaşık 20 dakika bekletilip, uç kısımlarına 1 s kadar bir süre içerisinde su verilip sertleştirilmiştir (Şekil 7.2) (ASM Handbook, 1991; Özçelik, 2013). Kesici uçların gerilme giderme tavı, hazırlanan kesici uç numuneleri fırın içerisinde 175 °C sıcaklıkta 45 dakika bekletilerek yapılmıştır. Isıl işlemler tamamlandıktan sonra, numuneler taşlama tezgahı kullanılarak ve her birine ayrı ayrı uygun uç formu verilerek biçimlendirme

işlemi tamamlanmıştır. Böylece numuneler bir sonraki adım olan kaplama işlemine hazır hale getirilmiştir.



Şekil 7.2 DIN 115CrV3 çeliğinin ısıtma işlem şeması (Özçelik, 2013).

7.2 Kaplama İşlemi

TiN ve CrN seramik kaplamalar TİNKAP Ltd. Şirketi tarafından PVD yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Bu amaçla Novatec31 ark PVD cihazı kullanılmıştır. Kaplama işlemlerinden önce yüzey bazik (alkali) temizleyicilerle ultrasonik temizleme teknikleriyle yüzey temizleme işlemine tabi tutulmuş; biriktirme odası yüksek saflıkta azot gazıyla temizlendikten sonra ana malzemenin yüzeyi, ana malzeme ile % 99,9 saflıktaki titanyum arasında oluşturulan ark iyon bombardımanı ile kaplanmıştır. PVD kaplama teknikleri ile ilgili detaylı çalışmalar literatürde (Çakan, 2006; İnçal, 2007) belirtilmiştir. Çizelge 7.8'de numuneler kaplamada kullanılan parametreler verilmiştir.

Çizelge 7.1 Kaplama parametreleri.

| Kaplama Türü | Sıcaklık (°C) | Basınç (Pa) | Süre (dak.) |
|--------------|---------------|-------------|-------------|
| TiN | 250 | 0,40 | 60 |
| CrN | 250 | 0,66 | 70 |

7.3 Kimyasal Analiz, Mikroyapı ve Sertlik İncelemeleri

Piyasadan çubuk şeklinde satın alınan numunelerin kimyasal analizi, ARL 3460 spektrometresi kullanarak belirlenmiştir. Ardından numune yüzeyleri, MD Piano 220 Struers marka 400-1200 gritlik zımparalar kullanılarak temizlenip, yaklaşık 10 dak. Struers Tegrapol-21 marka cihazla (Şekil 7.3) zımparalanarak parlatılmıştır. Sonrasında MD DAC çuha ile 6 mikron ve 3 mikronluk elmas pasta kullanılarak kesit yüzeyleri hassas parlatılmıştır.

Mekanik parlatma işlemi sonrasında numuneler % 5'lik nital çözeltisi (% 5 HNO₃ + % 95 etil alkol) dağlayıcılar kullanılarak 3-5 s kadar dağlanmışır. Dağlama işleminden önce ve sonra numuneler saf alkolle silinerek temizlenmişlerdir. Numunelerden yeterli ve uygun mikroyapı görüntüleri elde edilinceye dek parlatma ve dağlama işlemleri tekrar edilmiştir.

Numuneler Nikon-Eclipse L150 marka görüntü alma sisteminde (Şekil 7.3) optik mikroskopla incelenmiştir. Isıl işlem görmüş ve PVD kaplı numunelerin mikroyapı ve element analizleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM-LEO 1430 VP) (Şekil 7.4), elektron dağılımlı spektroskopi (EDS) analizleriyle gerçekleştirilmiştir. Atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ile malzeme yüzeylerinin üç boyutlu topografik görüntüleri ve yüzey pürüzlüğü ölçümü yapılmıştır. Bu amaçla, non-contact mod da, intermediate uç MSC-16, frekans 1 Hz ve resim çözünürlüğü 300 dpi parametreleri seçilmiştir. Malzemedeki faz yapıları X-ray diffractometer (XRD, Rigaku-miniflex) cihazı ile tespit edilmiştir. Numune yüzeyi 10–70° arasında Ni filtre kullanılarak Cu K(α) radyasyonu uygulanarak taranmıştır. Tarama hızı 2 °C/dak. ve adım 0,01 ° seçilmiştir.

Mikrosertlik ölçümleri SHIMADZU marka cihaz ile yapılmıştır. Sertlik ölçümü esnasında uygulanan yükler sırasıyla 10 ve 100 gr olup, yükün uygulama süresi 15 saniyedir (Şekil 7.3).



Şekil 7.3 Deneysel çalışmada kullanılan cihazlar: a) Görüntü analiz sistemi, b) Hassas terazi, c) Struers Discotom-5 kesme cihazı, d) Sertlik ölçüm cihazı, e) Struers Tegrapol-21 zımpara ve parlatma cihazı, f) Struers bakalite alma cihazı (Karakaplan, 2011).



Şekil 7.4 Taramalı elektron mikroskobu (SEM) (Karakaplan, 2011).

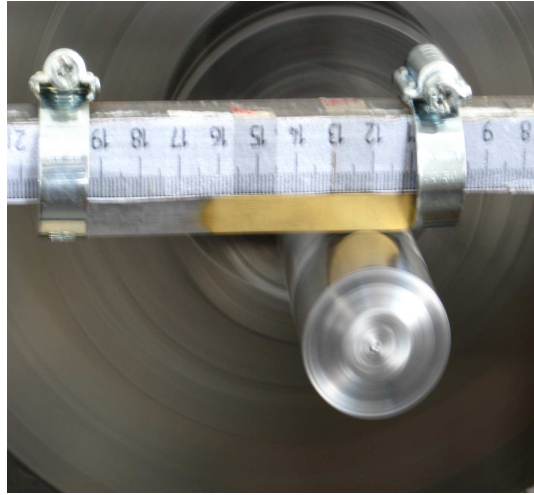
7.4 Aşınma Deneyleri

7.4.1 Abrasiv aşınma deneyleri

Numunelerin abrasiv aşınma deneyleri Şekil 7.5’de gösterilen mil çapı 105 mm ve uzunluğu 1400 mm olan AT 280 tipi torna tezgahı kullanılarak hazırlanan bir deney düzeneği ile gerçekleştirilmiştir. Tüm numuneler aşınma deneyi öncesi yüzeyinde herhangi bir kalıntı olmaması ve yüzeyin karşı malzemeye temasının tam olarak gerçekleştirilmesi için 1200 gritlik zımparaya tutularak parlatılmış ve sonra yüzeyleri alkolle silinmiştir. Aşındırıcı karşı cisim olarak otomat çeliği kullanılmıştır. Aşındırma işleminden önce ve sonra numunelerin ilk ve son ağırlıklarının ölçümü 10^{-4} g duyarlılıktaki hassas terazi ile yapılmıştır (Şekil 7.3). Aşındırma işlemi sonrası numunelerin ağırlıklarında meydana gelen değişimler de yine aynı terazi ile ölçülmüştür.

Numuneler abrasiv aşındırıcı cihazın alt tarafındaki bölmeye Şekil 7.5’de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir. Yan tarafındaki vidalar ile sıkıştırılarak numunenin hareket etmesi önlenmiştir. Aşınma deneylerinde aşındırıcı otomat çeliği ile numune yüzeyi arasındaki temas 10 N, 20 N, 30 N ve 40 N sabit yüklerle sağlanmıştır. Tüm aşınma deneylerinde otomat çeliğinin dönme hızı 25 m/dak. ve aşınma hızı da $V = 0,628$ m/s olarak seçilmiştir. Deneyler sırasında her 100 m’de bir tezgah durdurularak tartım işlemi yapılmıştır, bu işlem deney sonu olan 1000 m’lik kesme yolu sağlanıncaya kadar sürmüştür. Aşınma deneyleri aynı numunelerin farklı yüzeyleri üzerinde üçer kez tekrarlanmış ve aritmetik ortalamaları alınarak değerlendirilmiştir. Toplam ağırlık kayıpları, deney başlangıcındaki ilk ağırlıktan son ağırlığın çıkarılması sureti ile elde edilmiştir.

Tüm aşınma testleri sonrasında elde edilen ağırlık kayıpları tartılıp tespit edilerek numunelerin aşınma oranları hesaplanmıştır. Elde edilen bu değerler yardımıyla ağırlık kayıplarının aşınma mesafesine bağlı grafikleri çizilmiştir. Deney parçalarının aşınma sonrası taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile aşınma yüzeylerinin fotoğrafları alınmış ve elementel analizleri (EDS) yapılmıştır.



Şekil 7.5 Abrasiv aşınma testinde kullanılan düzenek.

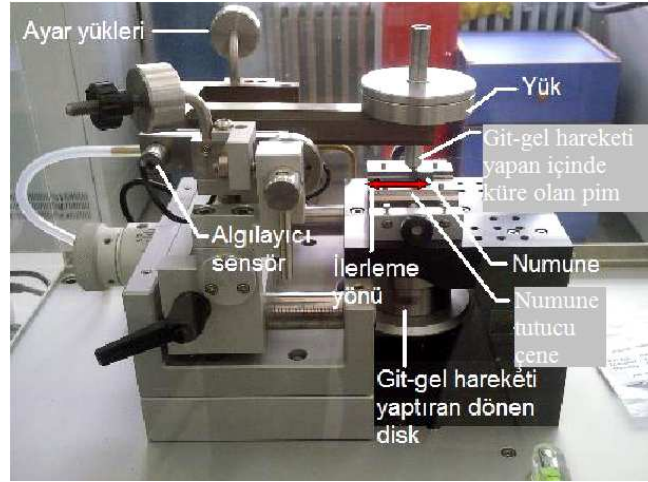
7.4.2 Adhesiv aşınma deneyleri

Adhesiv aşınma deneyi sabit ve artan yük olmak üzere CSM Tribometer pim-disk (pin-on-disc) ve CSM (Revetest scratch tester) marka aşınma cihazları ile yapılmıştır (Şekil 7.6 ve Şekil 7.7).

Pim-disk deneyinde karşı malzeme olarak Redhill marka \varnothing 3 mm çaplı WC küreler kullanılmıştır. Küreler numunenin üzerine tek noktadan temas uygulayan bir pimin içine yerleştirilmiştir. Cihazın kolu teraziye alınarak numunenin üzerine ek kuvvet binmesi önlenmiştir. Pim üzerine sabit 5 N yük uygulanmıştır. Cihaz numune üzerinde 4 mm toplam gidiş geliş hareketi yaparak 40 m yol alacak şekilde ayarlanmıştır. Deneyler 20 °C oda sıcaklığında ve izafi nem % 30-35 değerlerinde iken yapılmıştır. Tüm deneyler de aynı şartlar kullanılmıştır (Şekil 7.6 ve Çizelge 7.2).

Her iki farklı cisimle yapılan deneylerde kaplamanın farklı yüzeyleri kullanılmıştır. Aşınma deneyleri aynı numunelerin farklı yüzeyleri üzerinde üçer kez tekrarlanmış ve aritmetik ortalamaları alınarak değerlendirilmiştir. CSM tribometer cihazına bağlı olan bilgisayar aracılığıyla yüzeyden alınan değerler anında kaydedilmiş ve grafik haline dönüştürülmüştür. Her adhesiv aşınma deneyi için ayrı bir küre kullanılmıştır. Numunelerin yüzey pürüzlülüğü

deney öncesinde ve sonrasında ölçülerek not edilmiştir. Numunelerin aşınma sonrası taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile aşınma yüzeylerinin fotoğrafları alınmış ve element analizleri (EDS) yapılmıştır.



Şekil 7.6 Adhesiv aşınma deney cihazı CSM Tribometer (numune yerleştirilmiş ve çalışır halde) (Karakaplan, 2011).

Çizelge 7.2 Pim disk deney parametreleri.

| | |
|-------------------------|---------------------|
| Yükleme Tipi | Artan |
| Başlangıç Yüğü | 5 N |
| Kullanılan Bilya | WC (volfram karbür) |
| Bilya Çapı | 3 mm |
| Çizme uzunluğu | 40 mm |
| Hız | 5 cm/s |

Şekil 7.7'de görülen CSM tribometer (Revetest scratch tester) cihazı ile artan yük karşısında numunelerin adhesiv aşınma performansları incelenmiştir. Numuneler tutucu çenelerin arasına yerleştirilerek sabitlenmiştir. Başlangıç yükü 5 N, bitiş ise 30 N seçilmiştir. Yükleme hızı 59 N/dak. ve numune ilerleme hızı 4 mm/dak. olarak seçilmiştir (Çizelge 7.3). CSM tribometer cihazına bağlı olan bilgisayar aracılığıyla yüzeyden alınan değerler anında kaydedilmiş ve grafik-görüntü haline dönüştürülmüştür. Numunelerin aşınma sonrası taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile aşınma yüzeylerinin fotoğrafları alınmış ve element analizleri (EDS) yapılmıştır.



Şekil 7.7 Revetest scratch tester cihazı.

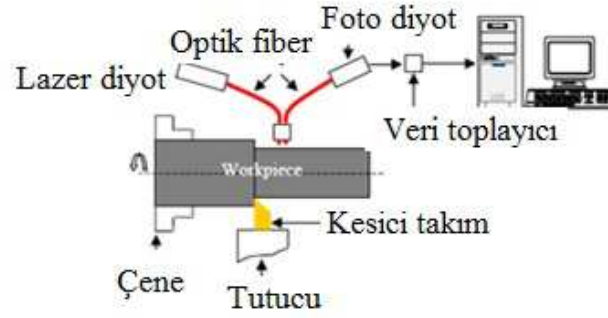
Çizelge 7.3 Revetest scratch tester deney parametreleri.

| | |
|-----------------------|-----------|
| Yükleme Tipi | Artan |
| Başlangıç Yüğü | 5 N |
| Bitiş Yüğü | 30 N |
| Yükleme Hızı | 59 N/dak. |
| Çizme uzunluğu | 2 mm |
| Hız | 4 mm/dak. |

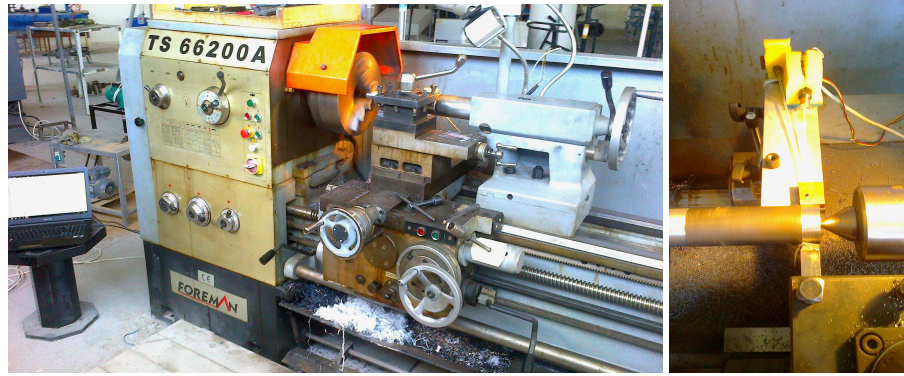
7.4.3 On-line izleme yöntemi ve takım ömrü

Üretilen kesici uçların, kesme performanslarını incelemek amacıyla on-line izleme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, Çakan (2006)'ın bir çalışmasında detaylı olarak anlatılmıştır. Özetle; sistem bir adet lazer diyot, foto diyot ve bilgisayardan oluşmaktadır (Şekil 7.8). Kesici uç ile paralel hareket eden cihaz, kesme esnasında lazer diyot tarafından iş parçasına, fiber optik aracılığıyla ışık gönderir ve iş parçası üzerinden yansıyan ışık başka bir fiber optik tarafından algılanarak foto diyot üzerine düşürülür (Çakan, 2006).

Üretilen üç farklı; sertleştirilmiş çelik, TiN ve CrN kaplı kesici uçlar üzerinde, hassas torna tezgahı Foreman TS 66200A'da on-line kesme performans testleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 7.9). Kesme performans testleri, 18 m/dak., 25 m/dak. ve 35 m/dak. kesme hızlarında; sabit ilerleme hızı 0,06 mm/dev ve 0,8 mm kesme derinliğinde çalışılarak tornalama işlemleri yapılmıştır. Araştırmalar; Özçelik firması tarafından temin edilen, 40 mm çap ve 200 mm uzunluğa sahip DIN 11SMn30 otomat çelik malzemeler üzerinde kesme performans testleri şeklinde uygulanmıştır (Özçelik, 2013).



Şekil 7.8 Lazer on-line izleme metodu (Çakan et al., 2008b).



Şekil 7.9 On-line izleme cihazı için kullanılan tezgah ve deney düzeneği.

Takım ömrü, işlenen parçanın maliyetini ve kalitesini doğrudan etkileyen bir faktördür. Takım ömrünün belirlenmesinde, Taylor takım ömrü modelindeki “n” üstel değeri, araştırılmıştır. Taylor takım ömrü modeline göre “n” üstel değerinin hesaplanması için Excel ofis programı yardımıyla bir tablo oluşturulmuştur. Grafik yöntemi ile kesme hızı - takım ömrü (Log V - Log T) grafiği çizilerek ve bu grafiğe bağlı olarak doğrusal bir formül elde edilmiştir. Grafikten elde edilen formülde Log V (x)’ e karşılık gelen iki ayrı değer alınmış ile Log T (y) değeri elde edilmiş ve bu değerler denklem 5’deki Taylor teoreminde yerlerine yazılarak “n” üstel değeri hesaplanmıştır. Deneylerde, TS 10329 referans alınmıştır.

$$n = \frac{\text{Log}(V_2) - \text{Log}(V_1)}{\text{Log}(T_1) - \text{Log}(T_2)} \quad (5)$$

8. DENEY SONUÇLARI VE İRDELEME

8.1 Spektral Analiz Sonuçlar

Kesici uçların en uygun koşullarda çalışabilmesi için yapısında belirli oranlarda alaşım elementlerini bulundurması gerekmektedir. Özellikle Cr, V, W, Mo ve Co gibi elementlerin alaşımında bulunması takım ömrü açısından önemlidir. DIN 115CrV3 düşük alaşımlı takım çeliği; aşınma dayanımı oldukça yüksek ve piyasada cıva çeliği olarak tanımlanan bir çeliktir. İyi mekanik özellikler ve karbür yapıcı elementler içerdiğinden dolayı, bu çalışmada ana malzeme olarak kullanılmıştır. Kullanılan malzemenin kimyasal analiz değerleri Çizelge 8.1’de verilmiştir. Numunelerden alınan kimyasal analiz sonuçları, ASTM standartlarında verilen değerler arasında bulunmaktadır (Bingas, 2004). DIN 155CrV3 çeliği kimyasal bileşiminde ağırlıkça en fazla % 1,14 C, % 0,70 Cr, % 0,37 Mn ve % 0,09 V bulundurmaktadır. Bileşimde bulunan bu elementler çeliğe farklı özellikler kazandırır. Örneğin; Cr elementinin eklenmesi, çelikte sertlik özelliği ve aşınma direncini artırırken, V kesici ucun hem aşınma direncini artırır ve hem de ondan üretilen takımların uzun süre keskin kalmasını sağlar (Yıldırım vd., 2001).

Çizelge 8.1 DIN115CrV3 malzemesinin kimyasal analizi.

| Alaşım Elementleri (Ağırlıkça %) | | | | | | | |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|-------|-------------------|
| C | Mn | Si | P | Cr | V | Fe | Diğer Elementler* |
| 1,14 | 0,37 | 0,21 | 0,01 | 0,70 | 0,09 | 97,25 | < 0,01 |

* **Note:** S, Al, Ti, As, Sn, Pb, Sb, B, Ni, Mo, Cu, Co

Abrasiv aşınma deneyinde, aşındırıcı ve karşı malzeme olarak DIN 11SMn30 otomat çeliği kullanılmıştır. Çeliğin yapılan spektral analiz sonuçları Çizelge 8.12’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar ASTM standart değer sınırları içindedir (Bingas, 2004, Yıldırım, 2001a). Bu çelikte başlıca yoğun olan alaşım elementleri % 0,9 Mn ve % 0,27 S ve % 0,11 P’dur. Bu elementlerin çeliğin bileşiminde bulunması malzemenin işlenmesini kolaylaştırmaktadır.

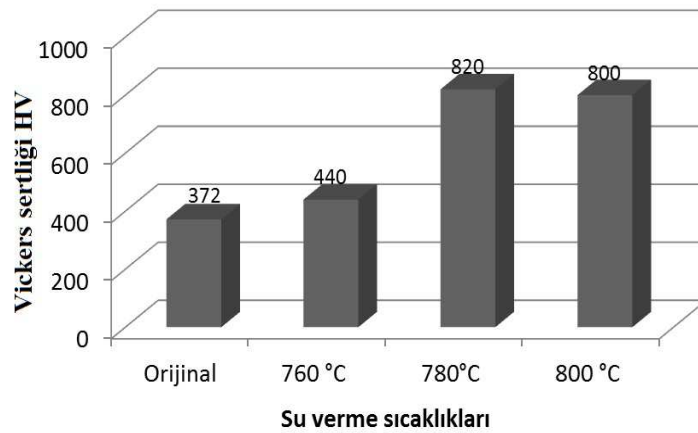
Çizelge 8.2 Aşınma deneyinde kullanılan otomat çeliğinin kimyasal özellikleri.

| Alaşım Elementleri (Ağırlıkça %) | | | | | |
|----------------------------------|-----|------|------|-------|-------------------|
| C | Mn | P | S | Fe | Diğer Elementler* |
| 0,04 | 0,9 | 0,11 | 0,27 | 98,31 | < 0,01 |

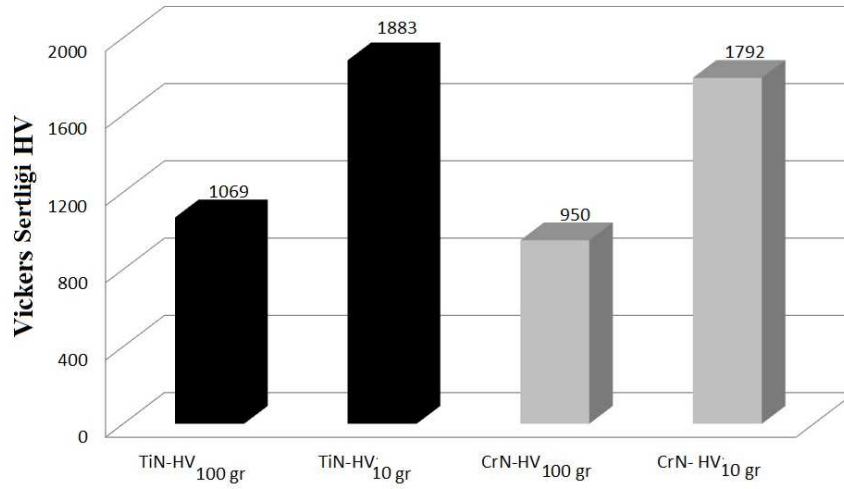
***Note:** Si, Al, Co, Cu, Nb, Ti, V, W, Mg

8.2 Sertlik Deney Sonuçları İnceleme

Yüzey kaplamasız ve ısıl işlem ile sertleştirilmiş DIN 115CrV3 kesici takım numunelerinde ölçülen sertlik değerleri Şekil 8.1’de verilmiştir. Yapılan ölçümlerden, hiç işlem görmemiş numunenin oldukça yumuşak olduğu ve sertlik değerinin 372 HV dolaylarında bulunduğu tespit edilmiştir. Farklı sıcaklıklarda (760 °C, 780 °C ve 800 °C) su verme sonrası, beklenildiği gibi çelikte sertliğin dikkate değer ölçüde arttığı gözlemlenmiştir. 800 °C’nin üzerinde yapılan ısıl işlemlerde, temperlemeden sonra numune yüzeyinde çatlaklar meydana gelmiştir. En yüksek sertlik değeri 820 HV olarak, 780 °C’de su verilen ve temperlenen numunelerde elde edilmiştir. İşlem sonrasında elde edilen sertlik değerleri ilk sertlik değerleri dikkate alındığında, yaklaşık olarak 2,2 kata kadar artışlar göstermiştir. Termokimyasal kaplama yapılmadan önce, kesici takımlar 780 °C sıcaklıkta su verilerek sertleştirilmişlerdir. Ayrıca PVD yöntemiyle kaplanan kesici takımların mikrosertlik değerleri ölçülmüştür. Şekil 8.2’de görüldüğü üzere, numune üzerine uygulanan yük düştükçe sertlik değeri artmaktadır. Buna göre TiN için en yüksek sertlik değeri 1883 HV_{10 gr} ve CrN için de 1792 HV_{10 gr} elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürdeki sonuçlarla uyumlu bulunmuştur (Davis, 1995; Özçelik, 2013).



Şekil 8.1 DIN 115CrV3 çeliğin 760 °C, 780 °C ve 800 °C’de su verme sonucu oluşan sertlik değerleri.



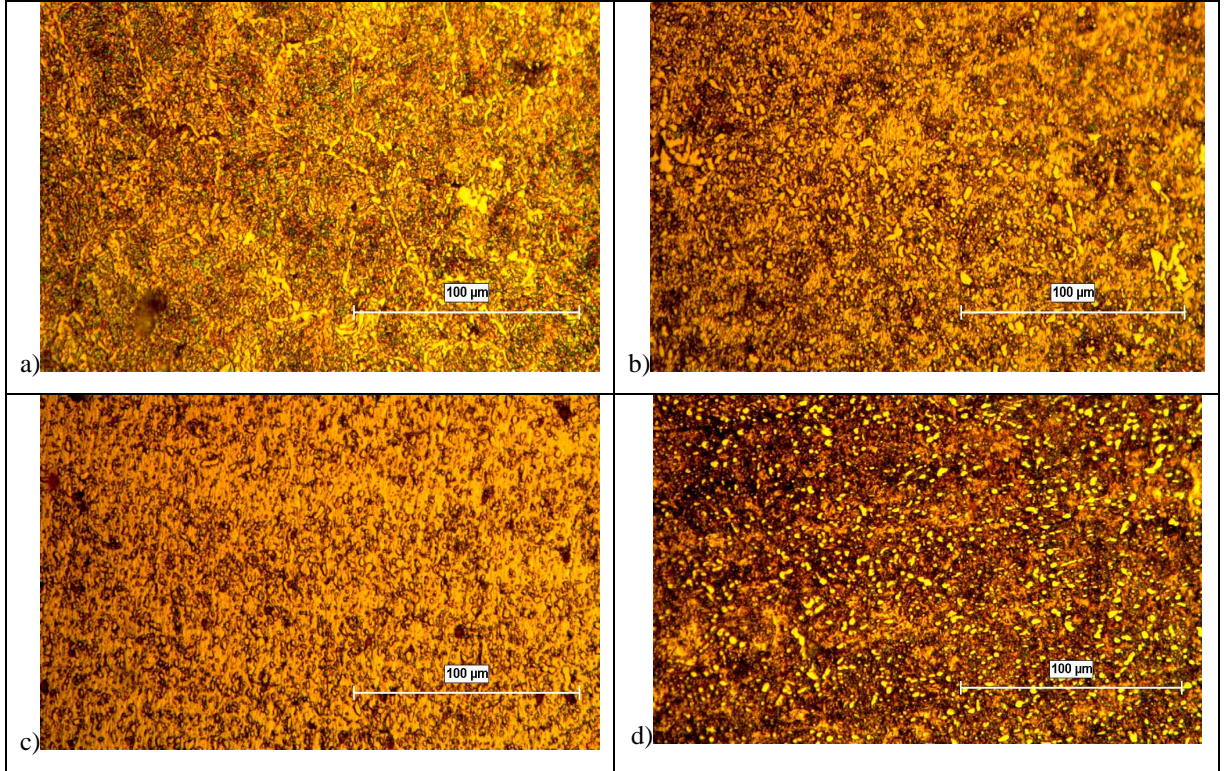
Şekil 8.2 Seramik kaplı kesici takımların sertlik değerleri.

8.3 Metalografik İnceleme Sonuçları ve İrdelenmesi

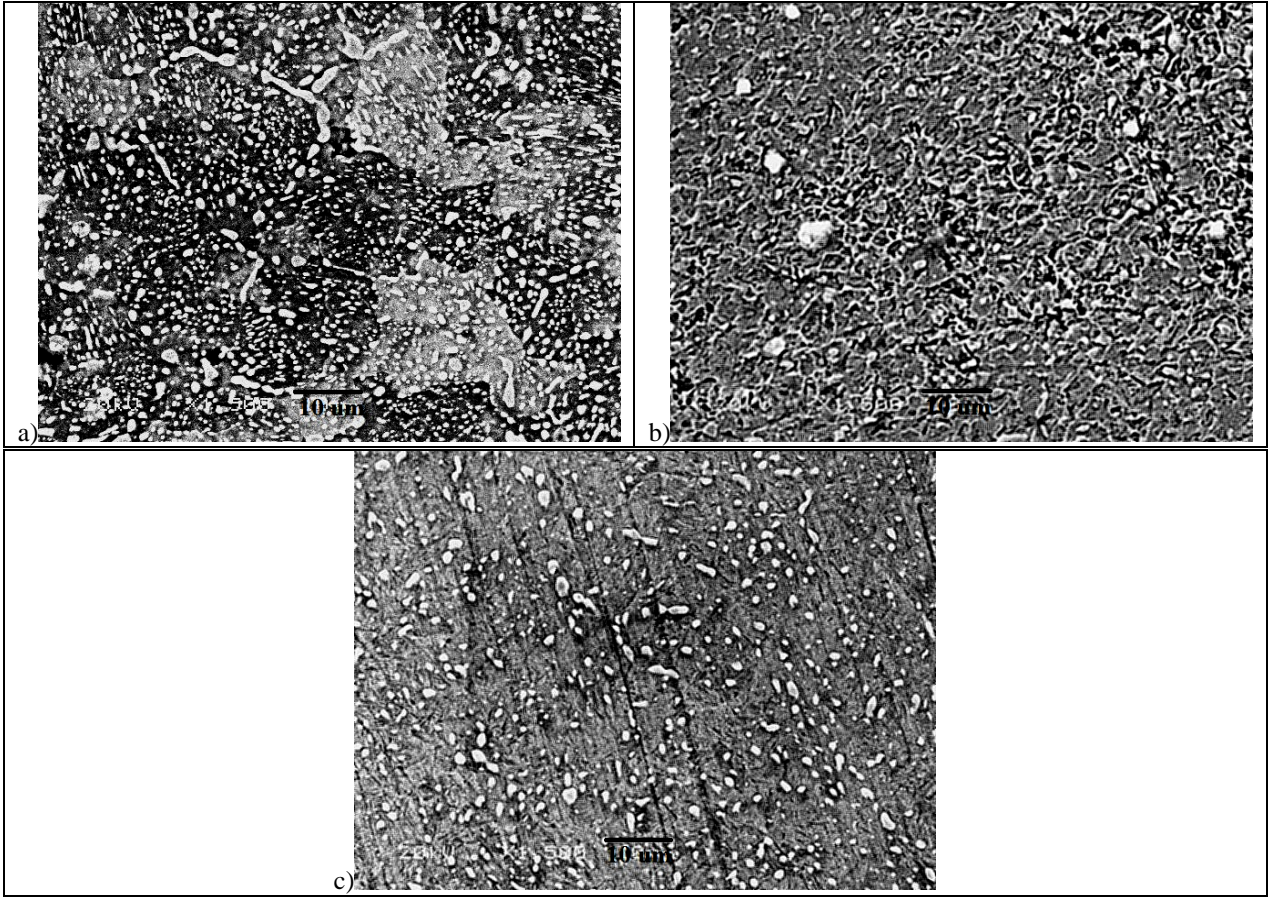
8.3.1 Isıl işlem sonrası mikroyapı ve EDS analizi

Şekil 8.3-8.5 ısıtım işlem öncesi ve sonrası elde edilen mikroyapılardan alınan optik mikroskop ve SEM resimleri farklı büyütme oranlarında görüntülenmiştir. Isıtım işlem görmemiş DIN 115CrV3 çeliği ferrit (gri ve siyah) ve ikincil sementit (beyaz ve açık renk) ile beraber hiper ötektoidik perlit oluşturmaktadır (Şekil 8.3a ve 8.4a). Tane sınırları beyaz ve açık renktedir. Şekil 8.3a ve 8.4a'ya bakıldığında ferrit, iki farklı koyulukta seçilebilmektedir (siyah ve gri). Perlit, ferrit matris içerisinde yuvarlak (nodüler) olarak bulunmakta ve yapıdaki sementit (beyaz renkte). Kolaylıkla ayırt edilebilmektedir. Sonuç olarak, sünek bir yapı elde etmek için çelik satılmadan önce muhtemelen yumuşatma tavı şeklinde işlem görmüştür. Bu tip ısıtım işleme küreselleştirme ısıtım işlemi de denmektedir. Küreselleştirme, hiper ötektoidik çeliklerde talaş kaldırma özelliklerini iyileştirmek amacıyla yapılır. Sementitin tane içinde ve tane sınırlarında yayıldığı Şekil 8.4a'da kolaylıkla görülebilmektedir. 760 °C'de tavlama ve su verme işleminden sonra sementitler birleşik, ada şeklindedir ve daha çok tane içinde görülmektedir (Şekil 8.3b). 780 °C'de tavlama ve su verilince mikroyapı ısıtım işlem görmemiş yapıya göre tamamen değişmektedir (Şekil 8.3c). SEM fotoğrafları incelendiğinde, bazı bölgelerde derin çukurcukların varlığı dikkat çekmektedir (Şekil 8.4b). Martenzit yapı değişiminin başarıyla gerçekleştiği görülmekte, fakat matriste sementit ve bazı karbürlerin çözülmediği anlaşılmaktadır. Tavlama sıcaklığı 800 °C'ye yükseltildiğinde ve su verildiğinde, yüzeyde daha çok sementit ve karbürler görülmektedir (Şekil 8.3d). Aynı zamanda, derin çukurcuklar kaybolmaktadır (Şekil 8.4c). Fakat, 800 °C ve üstünde tavlama ve su vermeden

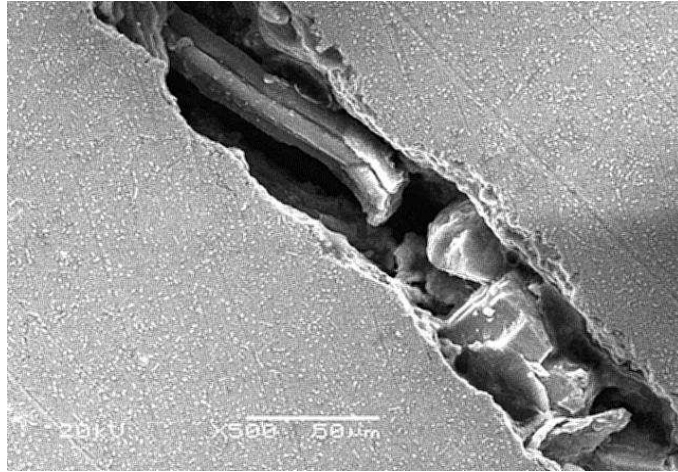
sonra yapı sert, kırılğan olmakta ve kalıcı gerilmeler ortaya çıkmaktadır. Bunun sonucunda yüzeyde istenmeyen çatlamaş bölgeler oluşmaktadır (Şekil 8.5).



Şekil 8.3 Isıl işlem öncesi ve sonrası DIN 115CrV3 kesici takımların optik mikroskopta alınmış resimleri; a) Isıl işlem görmemiş (orijinal numune), b) 760 °C’de sertleştirilmiş numune, c) 780 °C’de sertleştirilmiş d) 800 °C’de sertleştirilmiş numune (X500).



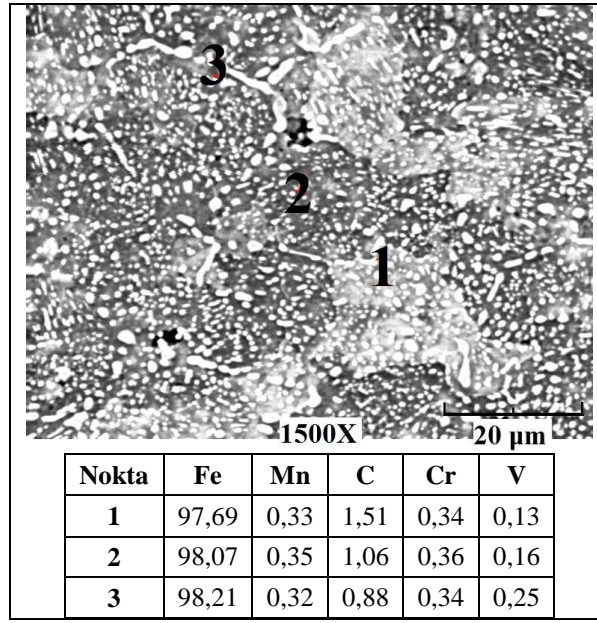
Şekil 8.4 Isıl işlem öncesi ve sonrası DIN 115CrV3 kesici takımların SEM resimleri X1500; a) Isıl işlem görmemiş (orijinal numune), b) 780 °C’de sertleştirilmiş numune, c) 800 °C’de sertleştirilmiş numune (X1500).



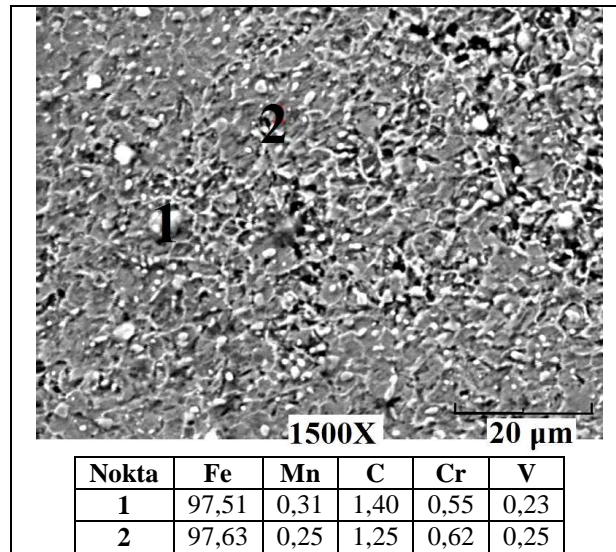
Şekil 8.5 800 °C’de sertleştirilmiş DIN 115CrV3 kesici takımın ısıt işlem sonrası yüzeyinde çatlak oluşumu (X500).

Şekil 8.6’da ısıt işlem görmemiş numunenin yüzeyi SEM fotoğrafı ve fotoğraf yüzeyinde seçilen üç ayrı nokta için genel EDS analiz değerleri verilmiştir. Birinci nokta ferrit fazını (gri renk) göstermektedir. Bu fazda küreselleşmiş demir karbürler içeren perlit yapısı mevcuttur. Ferrit fazında % 97,69 Fe ve % 1,51 C bulunmaktadır. Siyah bölgede ise (2’inci bölge), yine aynı kimyasal bileşim mevcuttur. Fakat C miktarı düşük, buna karşılık Cr, Mn ve V miktarının 1’inci noktaya göre arttığı gözlemlenmiştir. 3’üncü nokta ise beyaz faz (tane sınırı), metal karbürlerin oluştuğu bölgeyi göstermektedir.

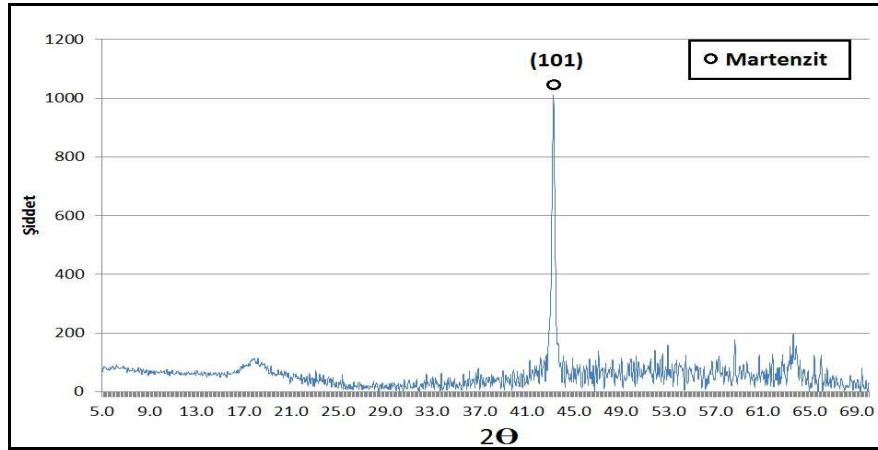
780 °C’de su verilmiş yapı önemli ölçüde değişmektedir (Şekil 8.7). EDS yöntemi ile 2 önemli nokta incelenmiştir. Birinci nokta beyaz küresel taneleri göstermektedir. Bu bölgeden alınan analiz sonuçları; C ve Mn elementlerinin yüksek, Cr ve V’un düşük olduğunu ve metal karbürlerin daha çok burada toplandıklarını göstermektedir. Diğer analiz siyah bölgenin kimyasal bileşimini vermektedir. Bu noktada % 97,63 Fe bulunmakta ve daha az metal karbür içermektedir. Ayrıca XRD analizi sonucunda ferrit-sementit fazın su verme sonucunda başarılı bir şekilde (101) düzlemi ve yönünde martenzit fazına dönüştüğü görülmektedir (Şekil 8.8).



Şekil 8.6 DIN 115CrV3 kesici takımın SEM resminden alınan EDS analiz sonuçları (X1500).



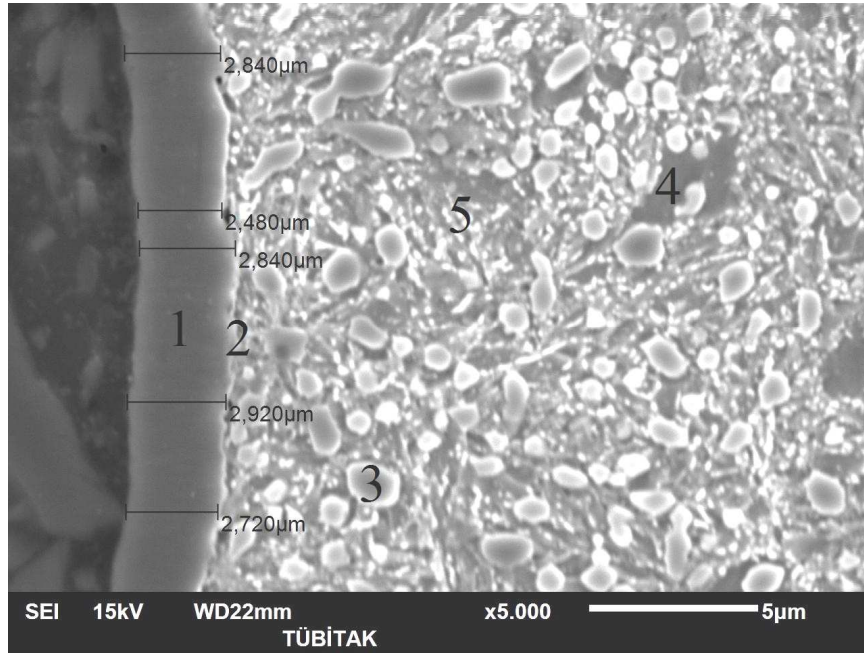
Şekil 8.7 780 °C'de sertleştirilmiş DIN 115CrV3 kesici takımın SEM resminden alınan EDS analiz sonuçları (X1500).



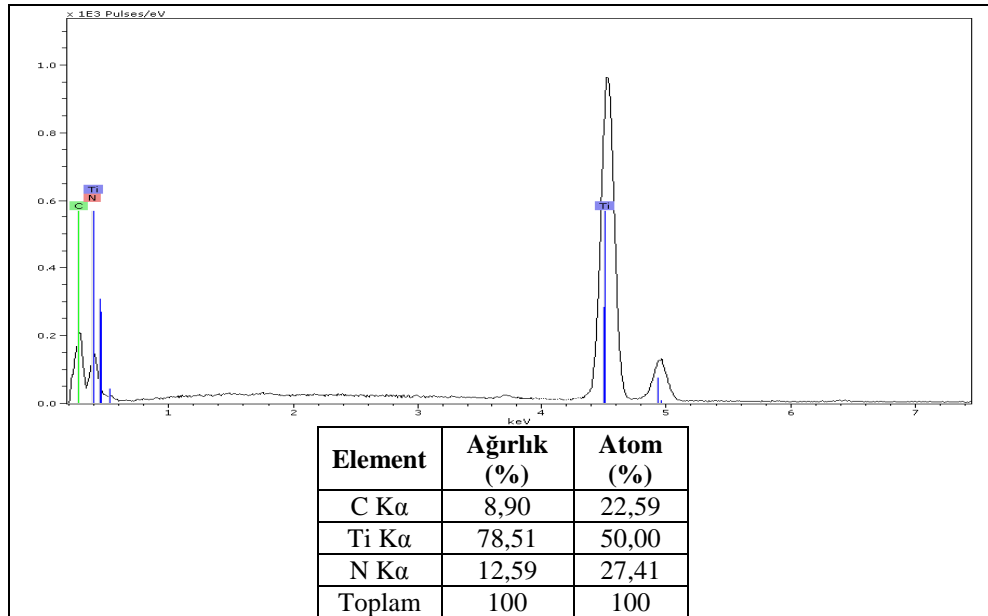
Şekil 8.8 780 °C sertleştirilmiş çelik kesici takımın X ışını difraksiyonu analizi (XRD).

8.3.2 PVD kaplama sonrası mikroyapı ve EDS analizi

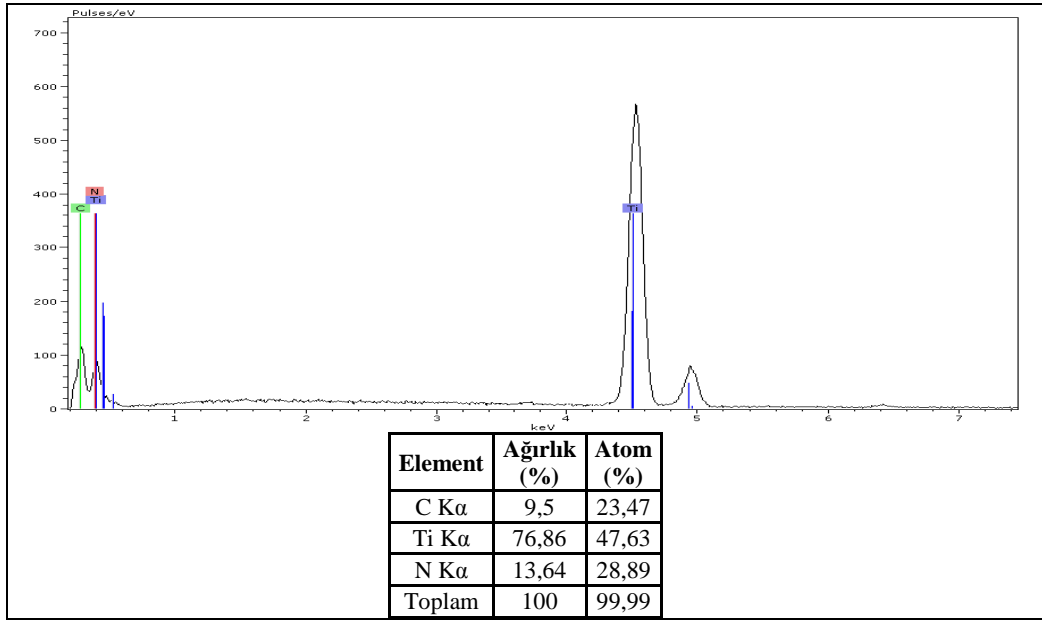
Şekil 8.9’da TiN kaplı kesici kalemden alınan kesit görüntüsü verilmektedir. Genel olarak incelendiğinde kaplama bölgesinin ana malzemeye kimyasal açıdan sıkı bir şekilde bağlandığı ve kaplamanın, kaplanan yüzeyde düzenli bir şekilde dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır. Ayrıca, işlem sonrasında kaplama yapılan bölgede herhangi bir çatlak oluşmazken, TiN kaplamanın ortalama kalınlığı 2,76 μm olarak elde edilmiştir. Bu kalınlık literatürde başka araştırmacılar tarafından elde edilen sonuçlarla büyük ölçüde örtüşmektedir (Çakan et al., 2008a). Genellikle TiN kaplamalar, bilindiği gibi, 1-5 μm kalınlık aralığında, kesici takımlardan dekoratif uygulamalara kadar pek çok alanda başarı ile kullanılırlar (Savaş, 2004). Aynı resimden alınan EDS analiz sonuçları Şekil 8.10-8.14’de verilmiştir. Bu analizler incelendiğinde; kaplamanın iç yapısında sırasıyla, en çoktan aza doğru Ti, N ve C elementlerinin bulunduğu görülmektedir (Şekil 8.10). Kaplama ile ana malzeme arasında yapılan EDS analiz sonucunda da yine Ti, N ve C elementlerine rastlanılmıştır (Şekil 8.11). Şekil 8.12’de, 3 nolu noktadan alınan EDS analiz sonucunda Fe ve C elementinin yanında Cr elementi de tespit edilmiştir. 4 ve 5 nolu noktalarda ise yine Fe, C ve Cr elementlerinin bulunduğu belirlenmiştir (Şekil 8.13 ve Şekil 8.14). Fakat Cr elementinin en düşük oranda bulunduğu nokta, 5 nolu noktadır (Şekil 8.14). Çizgisel analiz metodu ile malzemenin iç kısmından kaplamanın bitişine kadar analiz yapıldığında; Fe oranının iç kısımlarda yüksek olduğu ve kaplamanın başlangıcından itibaren gittikçe azaldığı görülmektedir. Ti ve N elementlerininse, tam tersine beklenildiği gibi kaplama başlangıcından itibaren sürekli arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 8.15). XRD analizi sonucunda kaplama yüzeyinde titanyum elementinin azotla oluşturduğu TiN ve Ti₂N bileşik fazlarının varlığı tespit edilmiştir (Şekil 8.16).



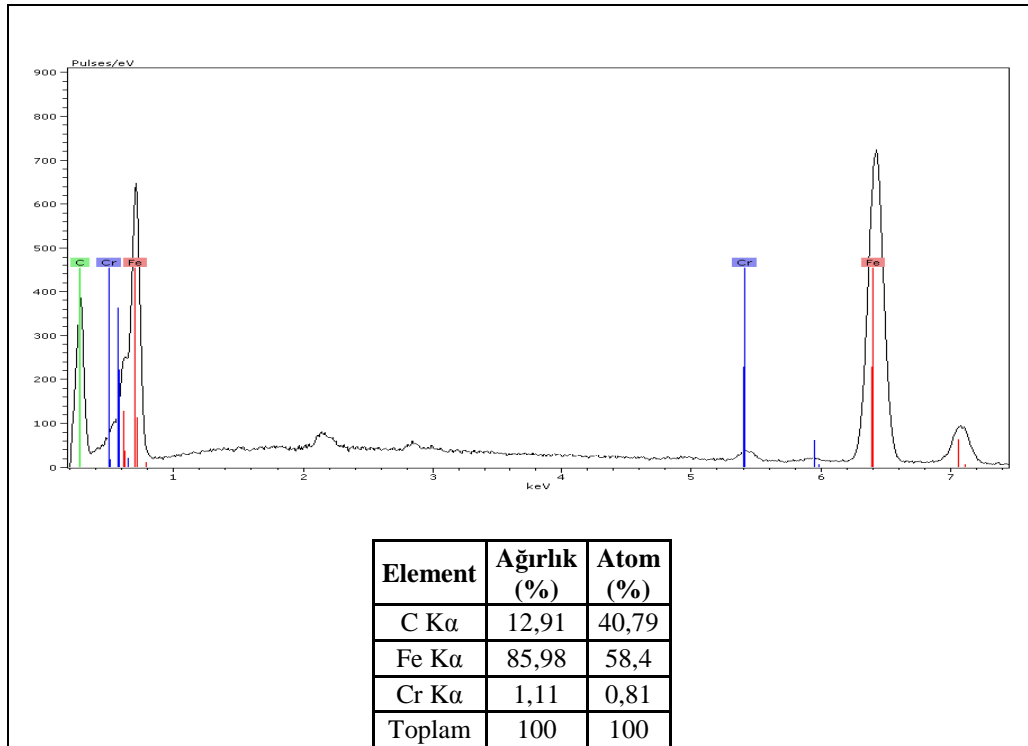
Şekil 8.9 TiN kaplama kalınlığı ve EDS analizinin alındığı noktayı gösteren SEM resmi.



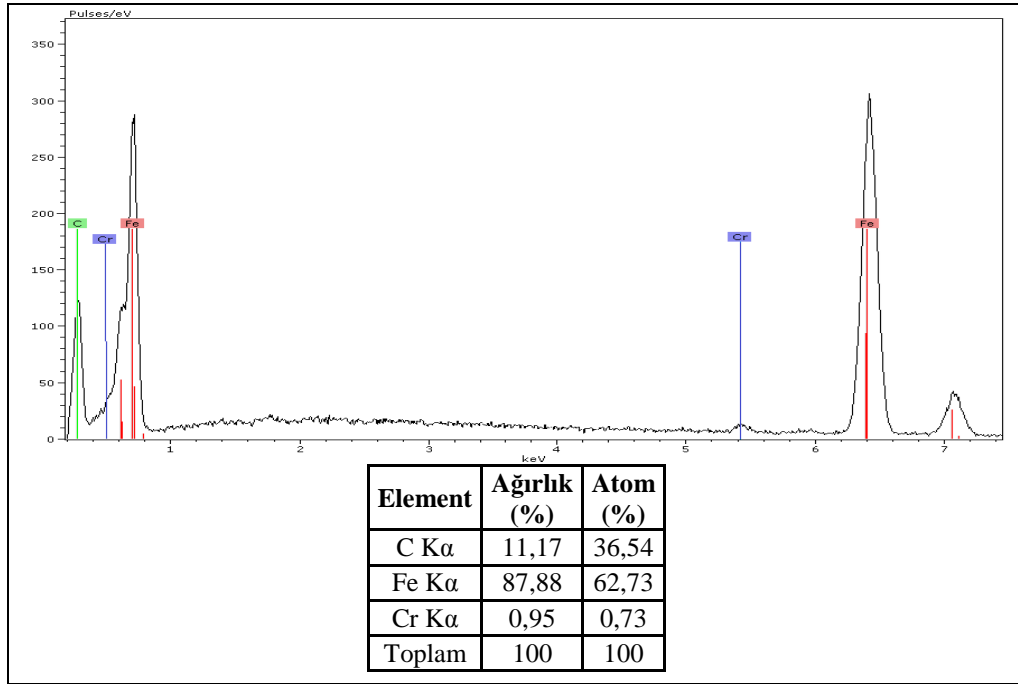
Şekil 8.10 TiN kaplamının EDS analiz sonucu (Şekil 8.9'da 1 nolu noktadan EDS analizi yapılmıştır).



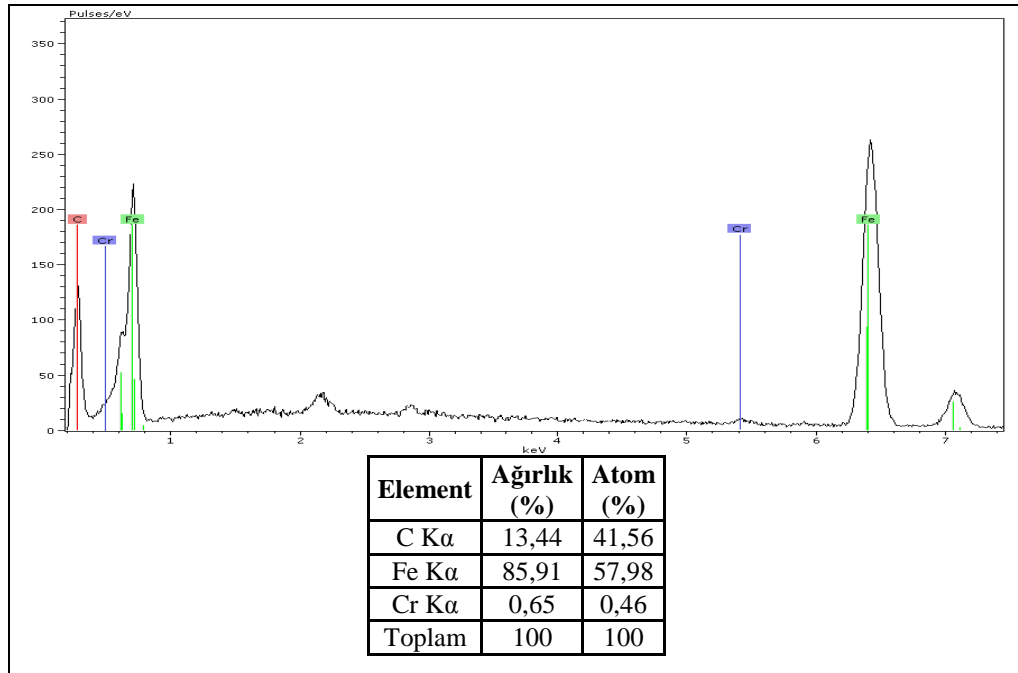
Şekil 8.11 TiN kaplamamın EDS analiz sonucu (Şekil 8.9’da 2 nolu noktadan EDS analizi yapılmıştır).



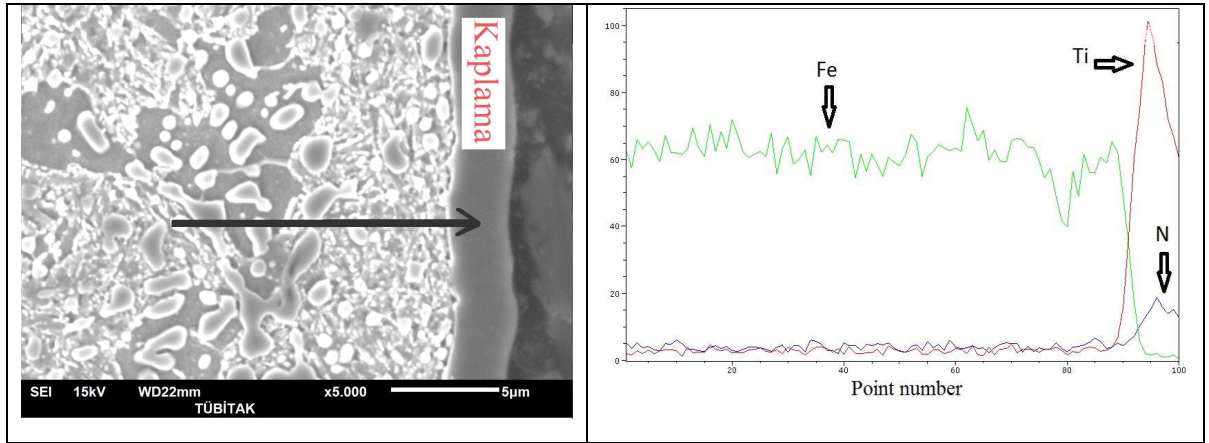
Şekil 8.12 TiN kaplamamın EDS analiz sonucu (Şekil 8.9’da 3 nolu noktadan EDS analizi yapılmıştır).



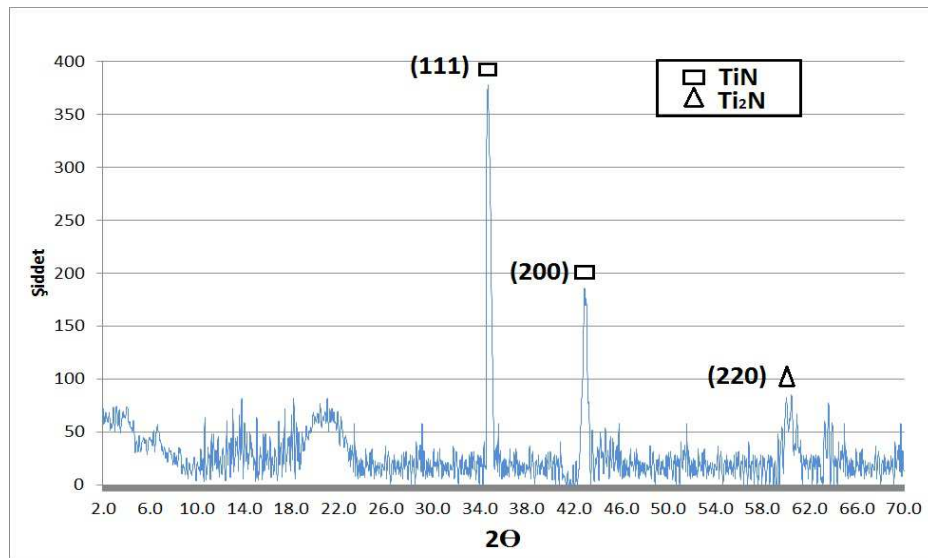
Şekil 8.13 TiN kaplamamın EDS analiz sonucu (Şekil 8.9’da 4 nolu noktadan EDS analizi yapılmıştır).



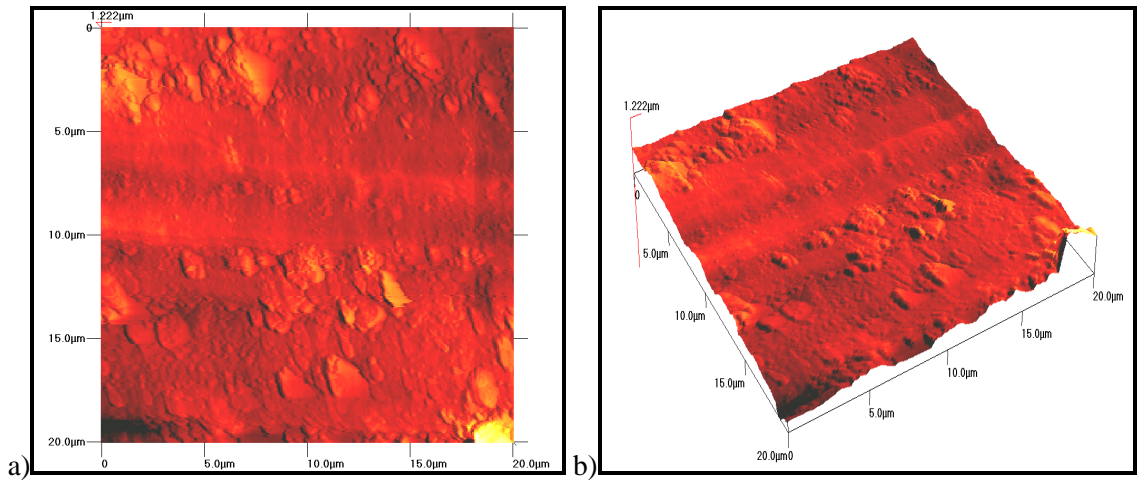
Şekil 8.14 TiN kaplamamın EDS analiz sonucu (Şekil 8.9’da 5 nolu noktadan EDS analizi yapılmıştır).



Şekil 8.15 TiN kaplı numunenin çizgisel analiz sonuçları.

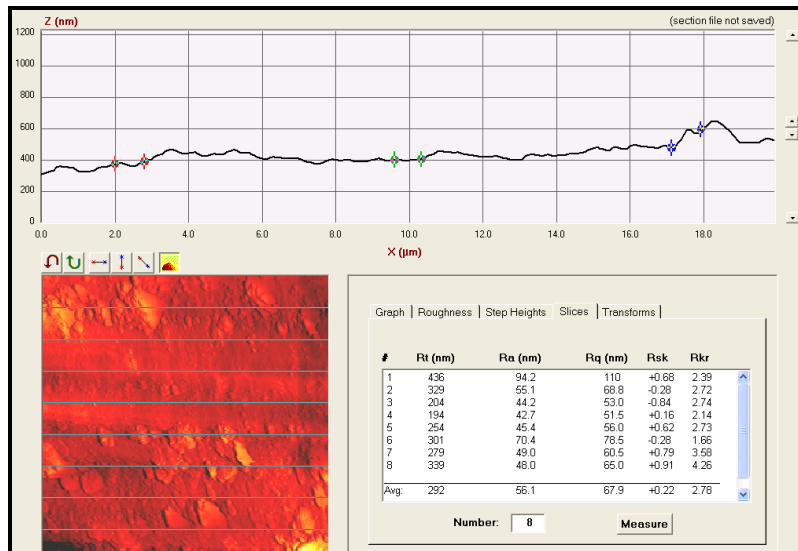


Şekil 8.16 TiN kaplı kesici takımın X ışını difraksiyonu analizi (XRD).



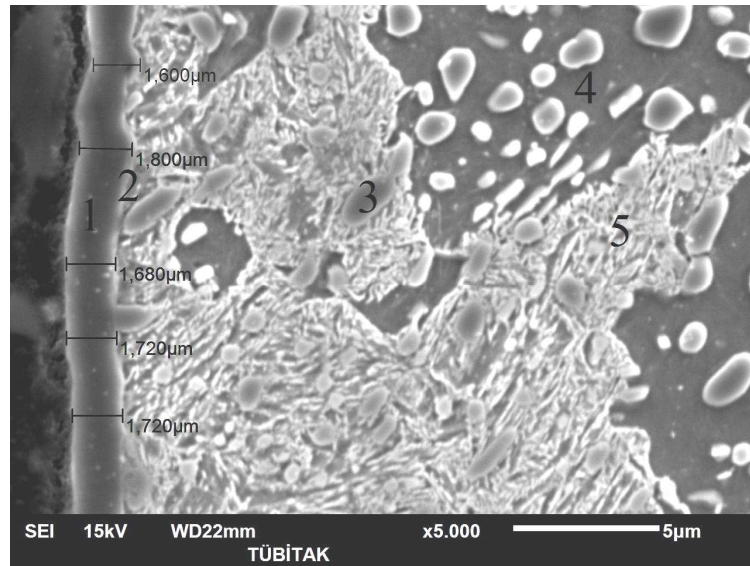
Şekil 8.17 TiN kaplı kesici yüzeyin a) 2 boyutlu (2D) ve b) 3 boyutlu (3D) (20 μm X 20 μm) AFM resmi.

Şekil 8.17’de 20 μm X 20 μm taranmış TiN kaplı yüzeyin 2 boyutlu (2D) ve 3 boyutlu (3D) resmi verilmiştir. Resme dikkatlice bakıldığında, belirli bölgelerde düz yatay adacıkların bulunduğu fark edilmektedir. Yapılan analizde, yüzey pürüzlüğü ortalama $R_a = 56,1$ nm olarak elde edilmiştir (Şekil 8.18).

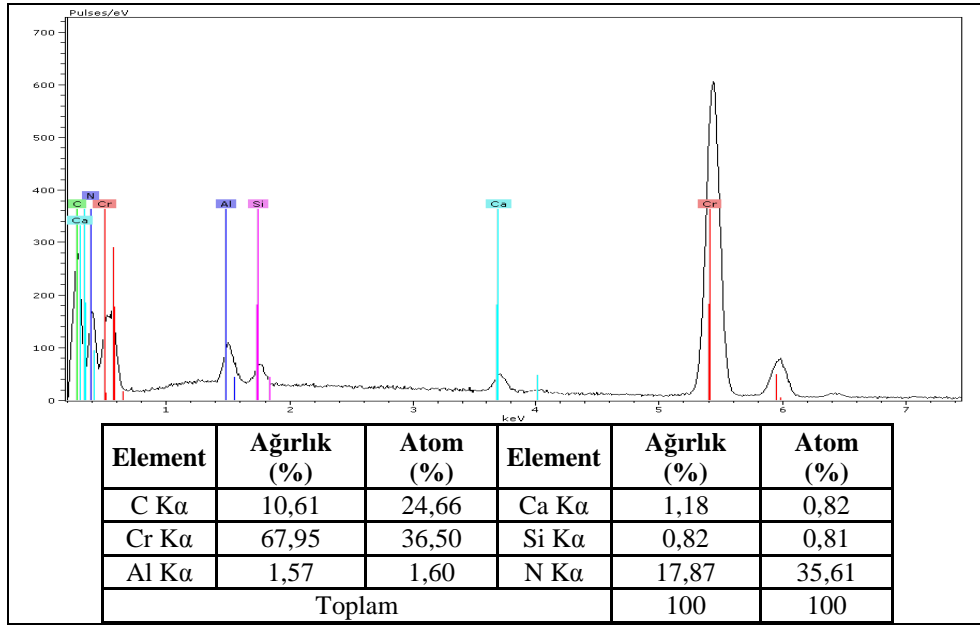


Şekil 8.18 TiN kaplı kesici yüzeyin yüzey pürüzlük analiz sonucu.

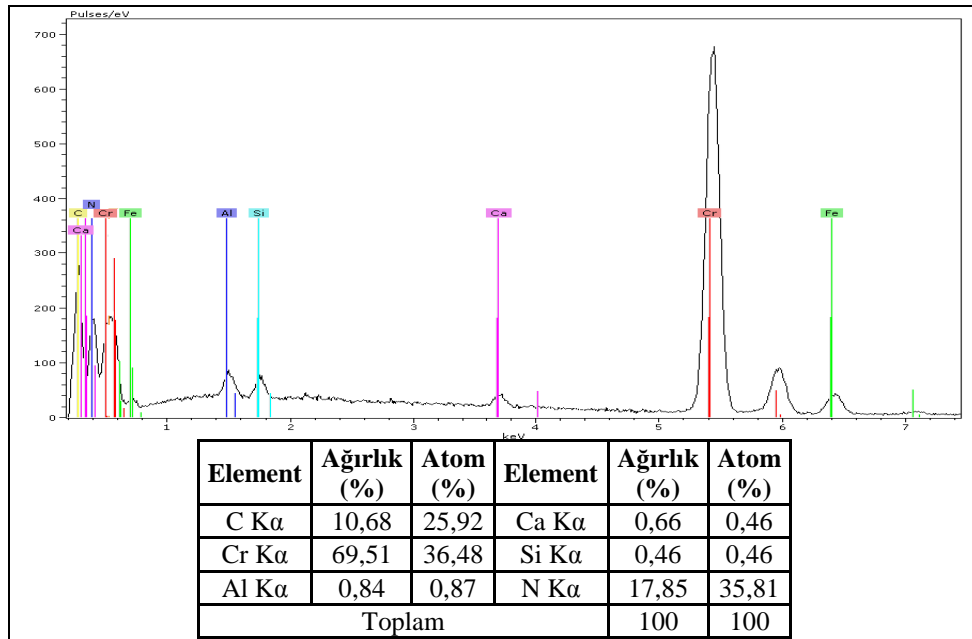
CrN kaplamaların malzemeye tutunma özelliği iyi; sertlik, yüksek sıcaklık direnci ve aşınma direnci ise düşüktür (Savaş, 2004; Türküz, 1997). CrN kaplı bir kesici kalemden alınan kesitin görüntüsü Şekil 8.19'da verilmiştir. TiN kaplamalarda olduğu gibi, CrN'le yapılan kaplamalarda da kaplama katı taban malzemesine düzenli ve dengeli bir şekilde bağlanmıştır. CrN kaplamanın ortalama kalınlığı 1,70 μm olarak tespit edilmiştir. CrN kaplamanın kalınlığı ise TiN kaplamaya göre 1,06 μm daha düşüktür. Şekil 8.20'de kaplamanın EDS analizi verilmektedir. Bu analizler incelendiğinde; kaplamanın iç yapısında en fazla Cr, C ve N elementlerinin ve en düşük oranda ise Al, Si ve Ca elementlerinin bulunduğu görülmektedir. Şekil 8.21, kaplama ile ana malzeme ara yüzeyinden alınan EDS sonuçlarını vermektedir. Kaplamada olduğu gibi ara yüzeyde de aynı elementler tespit edilmiştir, fakat karbon ve azotun ara yüzeyde hafif yükseldiği ve kromun da kısmen azaldığı görülmektedir. Şekil 8.19'daki 3, 4 ve 5 nolu noktalar ana malzemeden alınan EDS analizinin yapıldığı noktaları vermektedir. Elde edilen analiz değerleri Şekil 8.22-Şekil 8.24'de sunulmuştur. Bu noktalardan alınan analiz değerleri incelendiğinde, yapıda özellikle Fe ve C elementlerinin bulunduğu tespit edilmiştir. Şekil 8.25'de verilen çizgisel analiz sonucunda, kaplama bölgesinde Cr ve N elementinin yüksek oranda buldukları, diğer bölgelerde ise bulunmadıkları belirlenmiştir. Bu da krom ve azot elementlerinin, kaplama süresinin çok kısa olması nedeniyle kaplamanın içine doğru nüfuz edemediklerini göstermektedir.



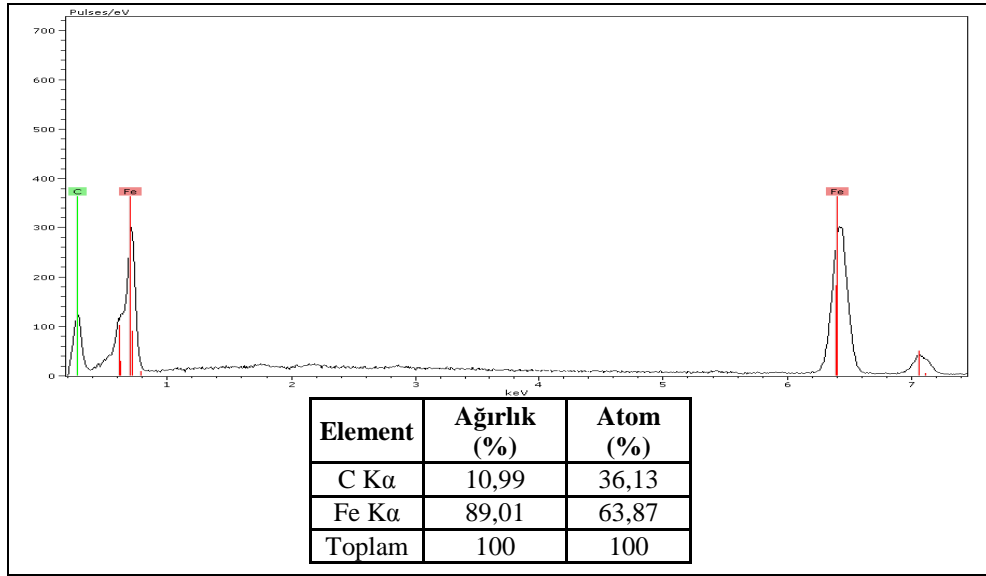
Şekil 8.19 CrN kaplama kalınlığı ve EDS analizinin alındığı noktayı gösteren SEM resmi.



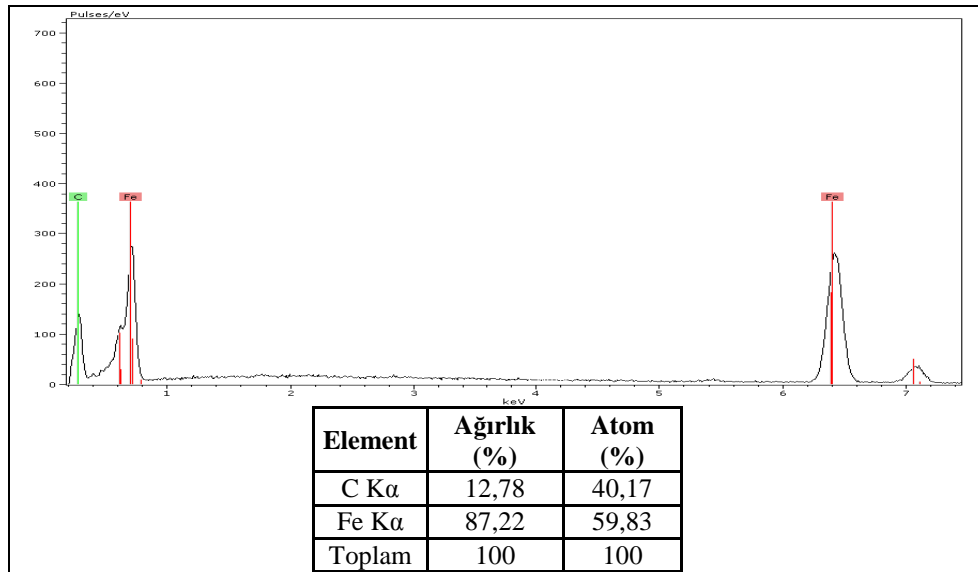
Şekil 8.20 CrN kaplamanın EDS analiz sonucu (Şekil 8.19’da 1 nolu olan noktadan EDS analizi yapılmıştır).



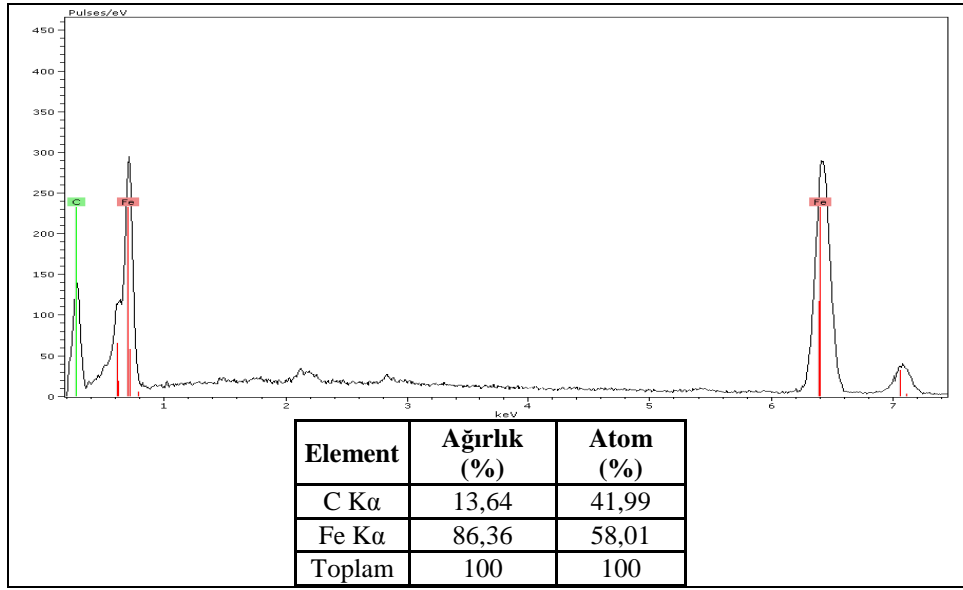
Şekil 8.21 CrN kaplamanın EDS analiz sonucu (Şekil 8.19’da 2 nolu olan noktadan EDS analizi yapılmıştır).



Şekil 8.22 CrN kaplamanın EDS analiz sonucu (Şekil 8.19’da 3 nolu olan noktadan EDS analizi yapılmıştır).

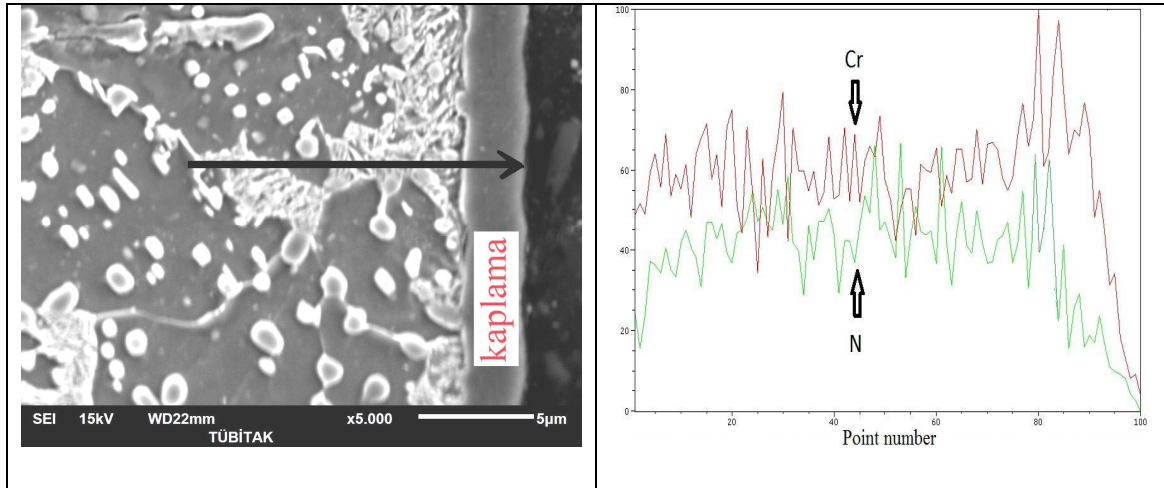


Şekil 8.23 CrN kaplamanın EDS analiz sonucu (Şekil 8.19’da 4 nolu olan noktadan EDS analizi yapılmıştır).



Şekil 8.24 CrN kaplamanın EDS analiz sonucu (Şekil 8.19’da 5 nolu olan noktadan EDS analizi yapılmıştır).

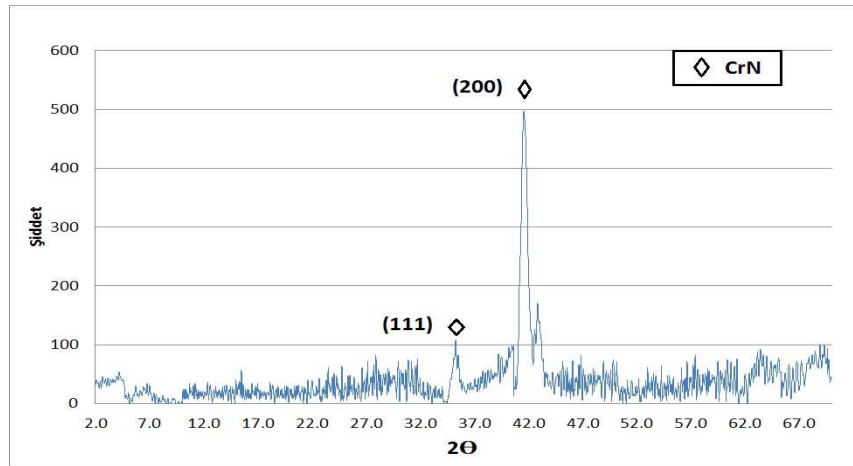
Şekil 8.20’deki EDS analizinden de görüleceği gibi, bu kaplamada kaplama katı hem CrN ve hem de az da olsa krom karbürleri (Cr_7C_3 ve Cr_{23}C_6) içermektedir. Yani krom fazlası burada kısmen karbür olarak da bağlanmış bulunmaktadır.



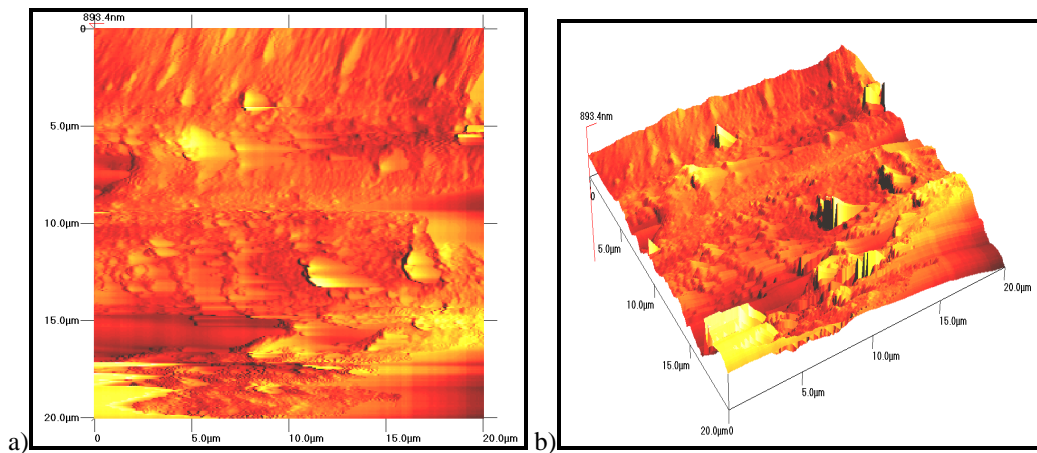
Şekil 8.25 CrN kaplı numunenin çizgisel analiz sonuçları.

Şekil 8.25’de verilen çizgisel analiz sonuçlarından; krom içeriğinin kaplama tabakasının iç kısımlarından yüzeye doğru gidildikçe, yüzeye yakın kısımlarda büyük artış gösterdiği; buna karşılık azot içeriğinin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca XRD analizi sonucunda; yüzeyde kaplama tabakasında CrN fazının varlığı belirlenmiştir (Şekil 8.26). X-ışınları difraksiyon analizleri krom nitrür bileşiğinin (111) ve (200) yüzey ve yönlerinde oluştuğunu göstermektedir.

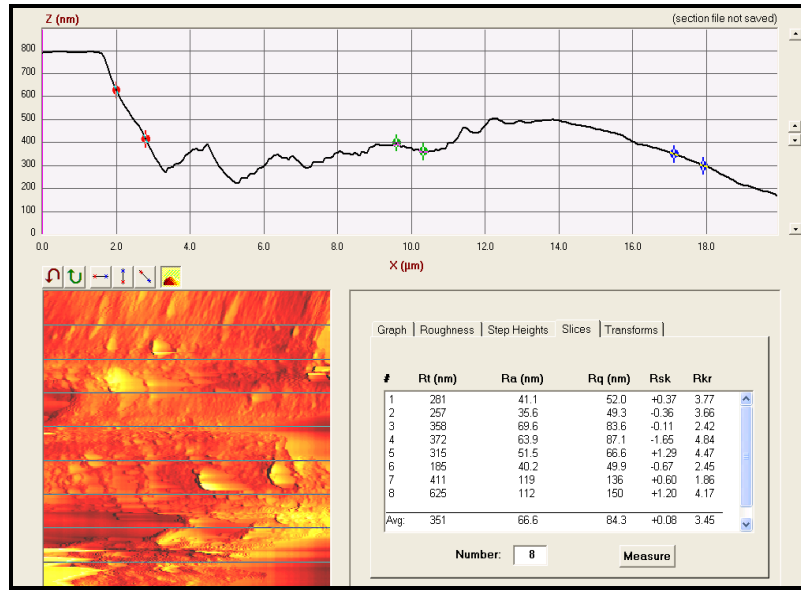
Şekil 8.27’de CrN kaplı yüzeyin 20 µm X 20 µm taranmış 2 boyutlu (2D) ve 3 boyutlu (3D) resmi verilmiştir. Resimler dikkatlice incelendiğinde, kaplamanın yüzeyinde sivri tepeliklerin bulunduğu görülmektedir. Yapılan ölçümlerde yüzey pürüzlüğü ortalama Ra = 66,6 nm elde edilmiştir (Şekil 8.28). Bu değer TiN kaplamadan daha yüksektir, bunun büyük çıkmasının başlıca nedeni yüzeyde bulunan sivri tepeliklerin varlığıdır. Bu sonuç aynı zamanda kesici ucun aşınma ve kesme performansını da etkilemektedir.



Şekil 8.26 CrN kaplı kesici takımın X ışını difraksiyonu (XRD).



Şekil 8.27 CrN kaplı kesici yüzeyin a) 2 boyutlu (2D) ve b) 3 boyutlu (3D) (20 µm X 20 µm) AFM resmi.



Şekil 8.28 CrN kaplı kesici yüzeyin yüzey pürüzlük analiz sonucu.

Elde edilen bu sonuçlar, mevcut bilimsel araştırmalarda verilen kaplama kalınlıkları ve pürüzlük sonuçları ile iyi bir uyum göstermektedir (Akkaş, 1998; Cho and Lee, 2000; Çakan et al., 2008b; Kataria et al., 2010; Rodriguez et al., 2002; Savaş, 2004).

8.4 Aşınma Deney Sonuçlarının İncelenmesi

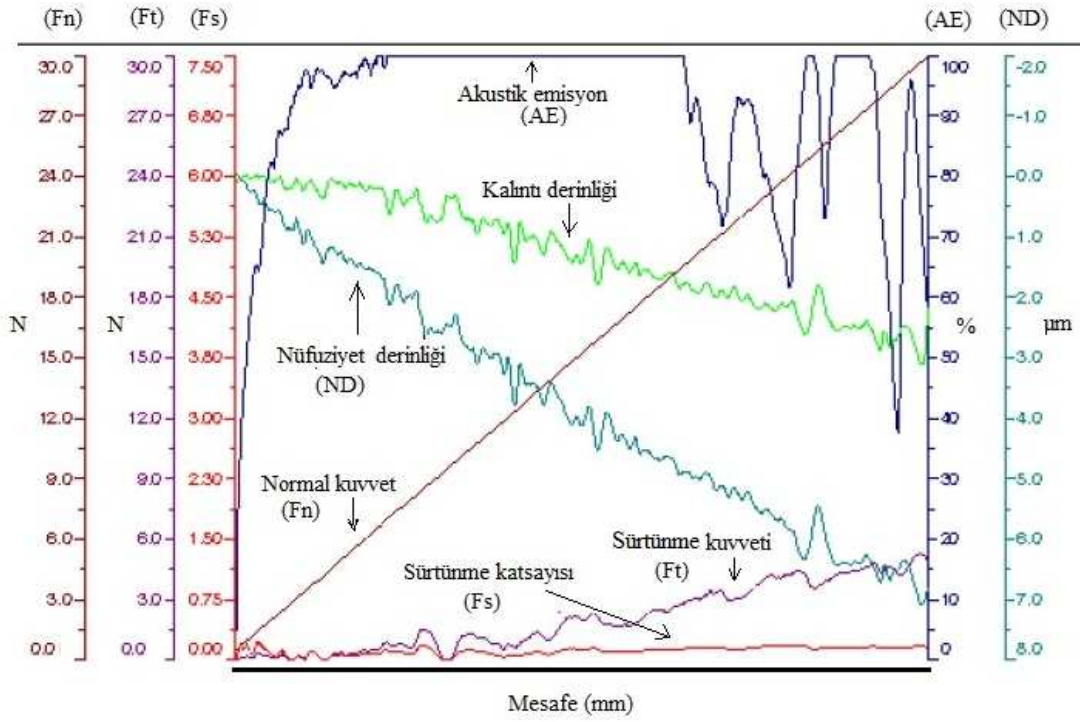
8.4.1 Adhesiv aşınma

Kesici takımlarda ortaya çıkacak adhesiv aşınma etkilerini detaylı incelemek amacıyla bu çalışmada numuneler; artan yük ve sabit yük olmak üzere iki farklı tarzda adhesiv aşınma deneylerine tabi tutulmuştur.

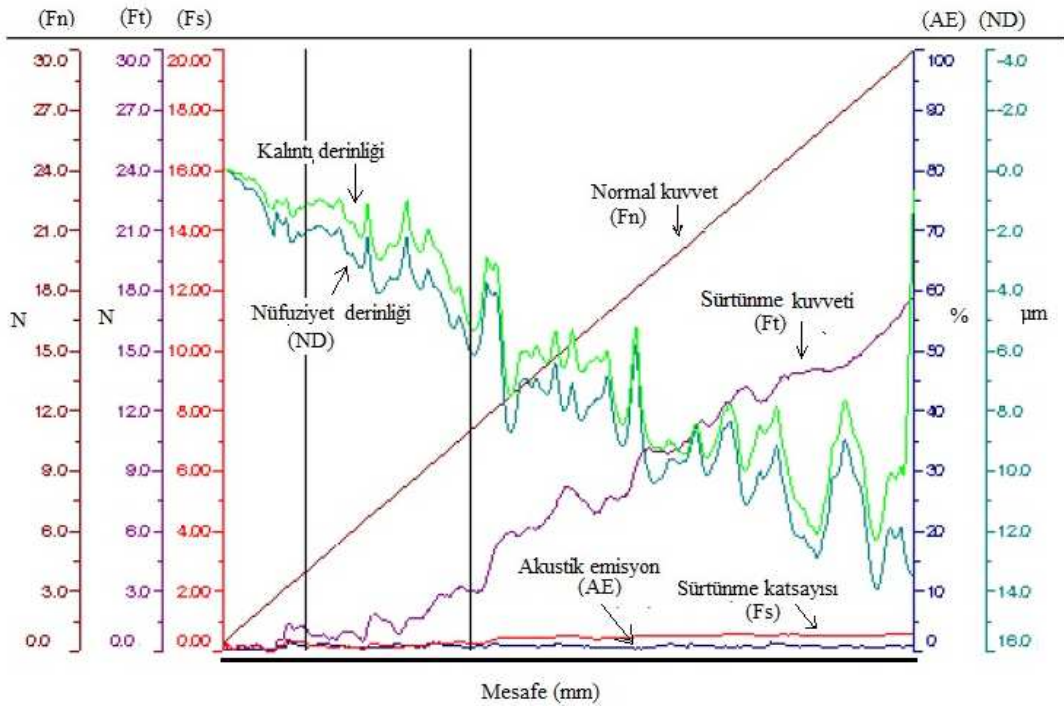
8.4.1.1 Artan yük karşısında adhesiv aşınma sonuçları

Şekil 8.29-8.32'de sertleştirilmiş ve PVD kaplamalı malzemelerin, artan yük karşısında, adhesiv aşınma sonuçları gösterilmiştir. Grafiklerde, sürtünme kuvveti, akustik emisyon ve sürtünme katsayısının alınan mesafeye bağlı değişimi görülmektedir. Sadece sertleştirilmiş, TiN kaplanmış ve CrN kaplanmış üç malzemeye de bakıldığında; her üç numunede de sürtünme kuvvetinin artan yüklerle arttığı görülmektedir. Sürtünme kuvveti deney sonunda sertleştirilmiş numunede en çok 5 N (Şekil 8.29), TiN kaplanmış numunede en çok 17 N (Şekil 8.30) ve CrN kaplanmış numunede de yine en çok 15 N (Şekil 8.31) olarak elde edilmiştir. Özetle, artan yük karşısında en düşük sürtünme kuvveti sertleştirilmiş martenzitik yapıda bulunan kesici takımlarında ortaya çıkmaktadır.

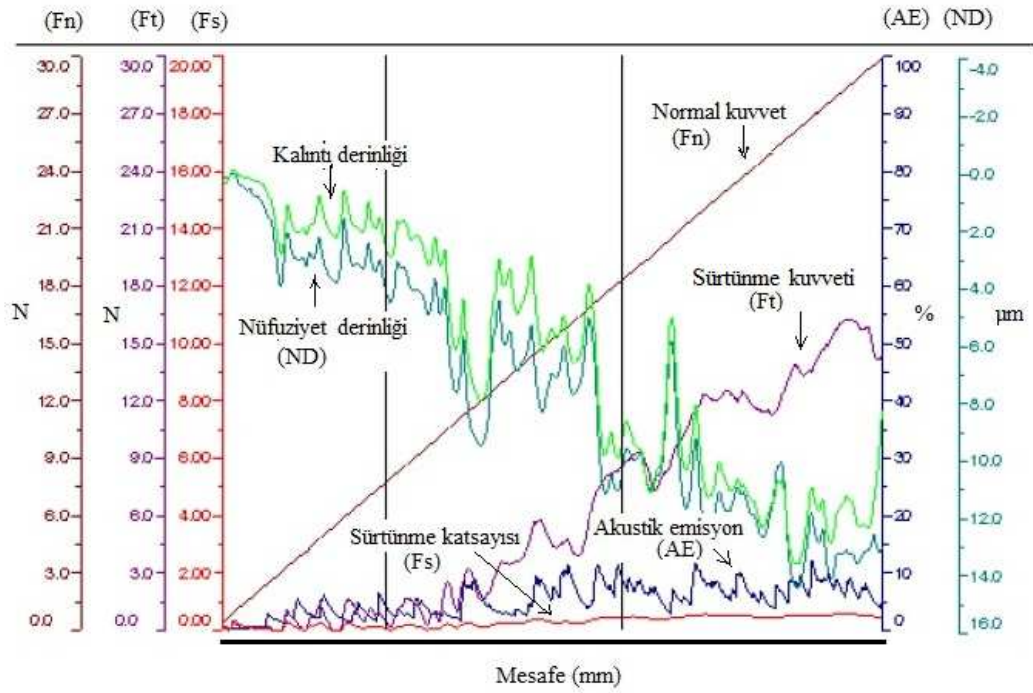
Akustik emisyon bir malzemeye dışarıdan uygulanan kuvvetler sonucu malzeme içinde oluşan gerilmelerin varlığıyla ortaya çıkan ses dalgalarıdır. Akustik emisyon değeri, sertleştirilmiş çelik numunelerde deneyin başında iç gerilme değerlerinde; sertleştirilmiş ucun mevcut iç gerilmelerine yüklemekten ileri gelen gerilmelerin eklenmesi sonucunda iç gerginlik hızla artmış, deneyin yarısına yakın kısmı kadar yol alındığında yüklemelerdeki artışa bağlı olarak en üst değere kadar ulaşmış, deneyin son bölümünde ise sürtünme kuvvetinin artmasında ileri gelen ısınma sonucu yüzeyde sıcaklık yükselmiş ve buna bağlı olarak ortaya çıkan temperleme etkisiyle gerilmeler yeniden bir miktar düşüş göstermiştir (Şekil 8.29). TiN kaplı kesici takımlarda da deneyin başlangıcından sonuna kadar % 1'i geçmeyen (Şekil 8.30), CrN kaplı numunelerde ise deney sonuna kadar sürekli artan ve azalan; ancak % 10'u geçmeyen iç gerilmelerin varlığı tespit edilmiştir (Şekil 8.31). Bu değerler, kaplı numunelerde kaplanmayan numunelere göre iç gerginliğin önemsenmeyecek derece az olduğunu ve çatlama tehlikesinin en aza indiğini göstermektedir. İç gerilme yoğunluğu bakımından en azdan en yoğunu göre, $TiN > CrN > Martenzit$ şeklinde sıralama yapmak mümkündür. Şekil 8.32'de her üç malzeme için artan yük karşısında sürtünme katsayısının değişimi detaylı olarak verilmektedir. Aşınma yolu boyunca, her üç malzeme için de sürtünme katsayısı artma göstermiştir. TiN ve CrN'ün sürtünme katsayısının deney boyunca birbirine yakın olduğu izlenmiştir. Artan sürtünme yükü ve buna bağlı olarak sürtünme kuvveti etkisiyle TiN ve CrN kaplama katlarında az da olsa ortaya çıkan plastik deformasyon dolayısı ile sürtünme katsayısı gittikçe artma göstermiştir. Sertleştirilmiş çelikte ise, artan yük etkisiyle martenzitin yüzeyinde ortaya çıkan kayma etkileriyle sürtünme katsayısı diğer iki kaplamaya göre daha düşük ve 1 mm mesafeden sonra yaklaşık 3 kat daha azalma göstermiş ve yüke olan bağımlılığını kaybetmiştir. Diğer yandan, 2 mm sonunda en yüksek sürtünme katsayısının TiN ve CrN kaplı kesici uçlarda ortaya çıktığı tespit edilmiştir.



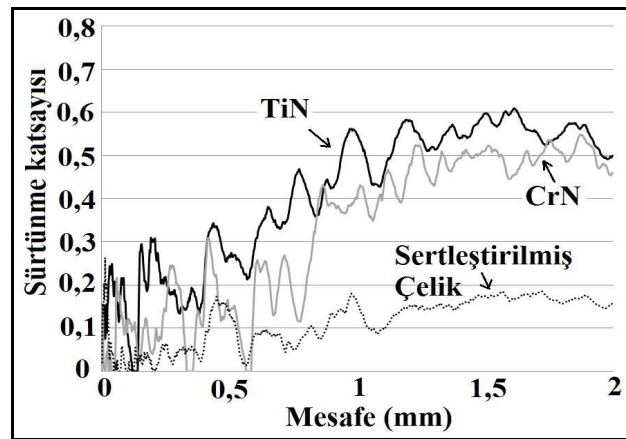
Şekil 8.29 Sertleştirilmiş DIN115CrV3 kesici takımının, artan yük karşısında; sürtünme kuvveti, akustik emisyon ve sürtünme katsayısının analizi.



Şekil 8.30 TiN kaplı DIN115CrV3 kesici takımının, artan yük karşısında; sürtünme kuvveti, akustik emisyon ve sürtünme katsayısının analizi.



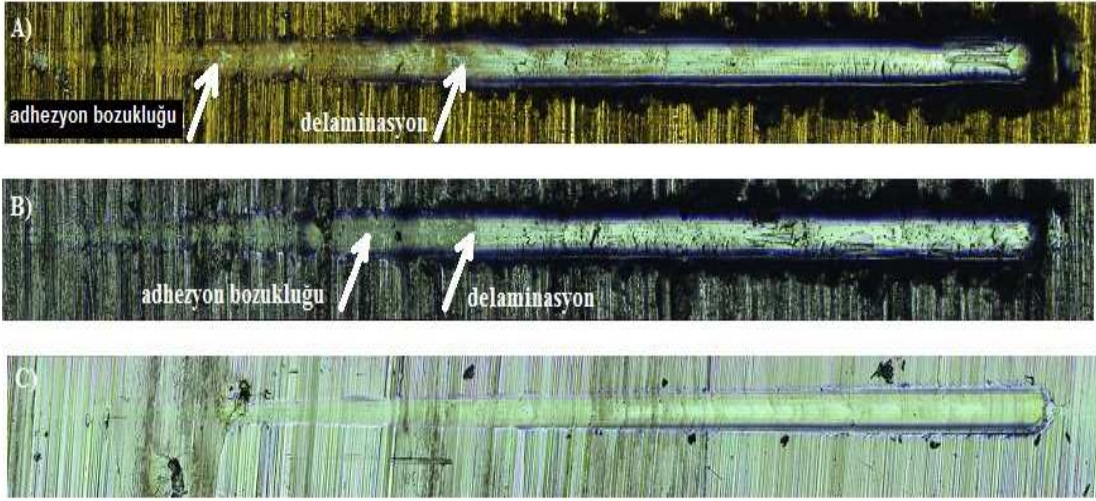
Şekil 8.31 CrN kaplı DIN115CrV3 kesici takımın, artan yük karşısında; sürtünme kuvveti, akustik emisyon ve sürtünme katsayısının analizi.



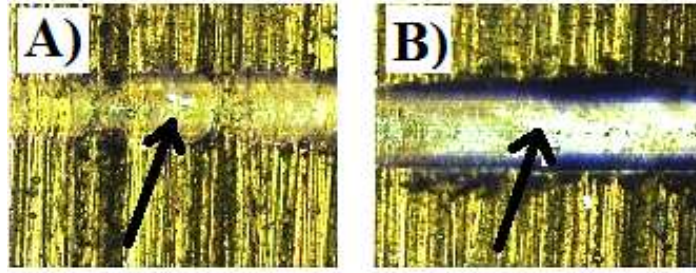
Şekil 8.32 Farklı malzemelerle kaplı ve kaplanmamış kesici takımların artan yük karşısında sürtünme katsayılarının karşılaştırılması.

Şekil 8.33-8.35'de; sertleştirilmiş, TiN ve CrN kaplı kesici takımların artan yük karşısında adhezyon sonucu yüzeyde oluşan bozulmaları gösteren resimler verilmiştir. Şekil 8.33'de kesici takımlarda yük artışına bağlı adhesiv aşınmanın meydana getirdiği iz görülmektedir. TiN ve CrN kaplamaların yük artışına bağlı olarak zamanla yüzeyden kalktığı ve kaybolduğu tespit edilmiştir (Şekil 8.33a ve 8.33b). Halbuki sertleştirilmiş çelikte kaplı

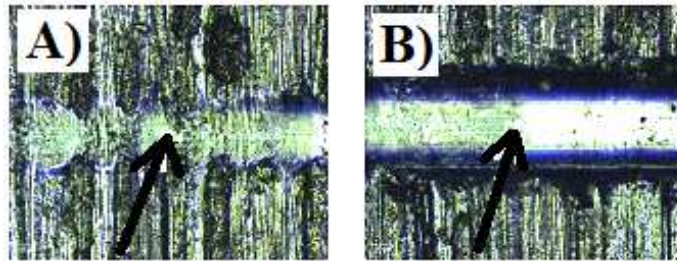
olmadığı için bu durum söz konusu değildir (Şekil 8.33c). TiN kaplama için ilk adhezyonun bozulduğu an (kaplanan ana malzemenin ilk görüldüğü bölge) Şekil 8.34a'da ve ilk delaminasyonu (kaplamanın kalmadığı bölge) Şekil 8.34b'de verilen resimlerde görülmektedir. CrN için Şekil 8.35a ve Şekil 8.35b'de adhezyon bozukluğu ve delaminasyon görüntüleri gösterilmektedir. Her iki kaplamanın kritik adhezyon bozukluğu yükü ve kritik ilk delaminasyon yükü karşılaştırıldığında; CrN'ün TiN'e göre, adhezyon bozukluğu yükünün ve delaminasyon yükünün TiN'den daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir (Çizelge 8.3). Bu da CrN kaplamaların artan yük altında adhezyon aşınma direncinin TiN'e göre yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Ayrıca CrN kaplamalar, TiN'e göre daha çok sünek ve ondan daha az gevreklik özelliğine sahiptir, ayrıca ana malzemeye TiN'den daha iyi bağlanabilmektedir. Bundan dolayı delaminasyon yükü daha yüksek çıkmıştır. Sertleştirilmiş kesici takımında ise, malzeme hiçbir süneklik özelliği göstermediği için kritik yük söz konusu olmamıştır. Bulunan sonuçlar literatürde mevcut çalışmalarla karşılaştırıldığında; Wilson ve Alpas (1998)'in TiN kaplanmış kesici kalem ile elde ettikleri sonuçların, bu çalışmada bulunan sonuçlara göre biraz farklılık gösterdiği; söz konusu çalışmada incelenen kesici ucun daha düşük yüklerde delaminasyona uğradığı ve 5 N'luk yük altında yüzeyde oksit oluşumuna rastlanıldığı görülmektedir. Bu da araştırmacıların söz konusu çalışmada kullandıkları ana malzeme olan hız çeliği AISI M2'nin, soğuk iş takım çeliği 115CrV3'e göre yüzey pürüzlüğünün daha az olmasından ve TiN kaplamanın hız çeliği takım yüzeyine iyi bağlanamamasından kaynaklanmaktadır. CrN kaplanmış kesici kalemler ile elde edilen kritik yük değerleriyle ilgili sonuçlar, Cho ve Lee (2000)'nin çalışmalarında elde ettikleri kritik yük değerlerine yakın sonuçlar vermiştir (Cho and Lee, 2000).



Şekil 8.33 a) TiN kaplı kesici takımda, b) CrN kaplı kesici takımda, c) Sertleştirilmiş kesici takımda artan yük sonucu oluşan yüzeydeki bozulmalar.



Şekil 8.34 TiN kaplı kesici takımında; a) yüzeyde oluşan ilk çatlaklar veya kaplamanın koptuğu nokta (beyaz ok), b) yüzeyde meydana gelen ilk delaminasyon (beyaz ok) noktası.



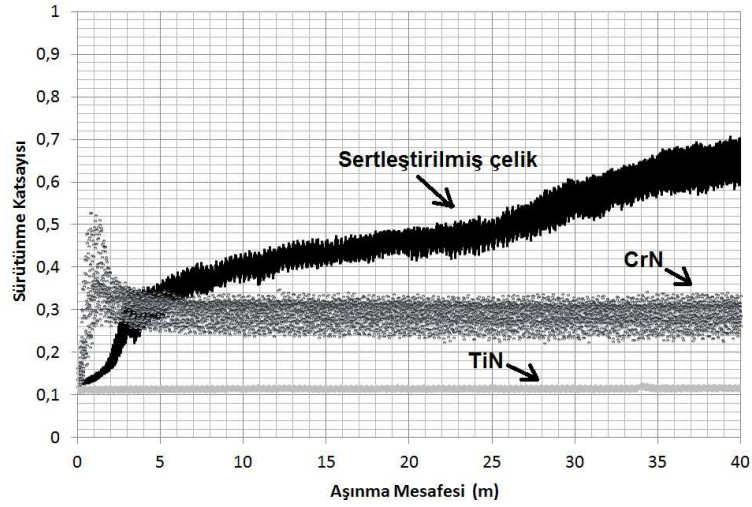
Şekil 8.35 CrN kaplı kesici takımının a) yüzeyde oluşan ilk çatlaklar veya kaplamanın koptuğu nokta (beyaz ok), b) yüzeyde meydana gelen ilk delaminasyon (beyaz ok) noktası.

Çizelge 8.3 TiN ve CrN kaplı kesici takımların Şekil 8.34 ve Şekil 8.35’de oklarla gösterilen kritik yük (N) değerlerini göstermektedir.

| Kaplama | Adhezyon Bozukluğu (N) | Delaminasyon Yüğü (N) |
|---------|------------------------|-----------------------|
| TiN | 5,32 | 11,83 |
| CrN | 10,36 | 15,2 |

8.4.1.2 Sabit yük altında adhesiv aşınma sonuçları

Sabit yük altında (5 N) yapılan adhesiv aşınma çalışma sonuçları (Şekil 8.36)’da verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere; WC küreye karşı yapılan adhesiv aşınma deneyinde sertleştirilmiş çeliğin sürtünme katsayısının kademeli olarak arttığı; ancak TiN ve CrN kaplı kesici uçlarla (3 m’ lik aşınma mesafesinden sonra) deney boyunca sürtünme katsayısının değişmeyerek oldukça kararlı değerler alıp sabit kaldığı belirlenmiştir. Bu değerlerin oluşumunda, iki malzemenin birbirine yüksek basınçta temasına bağlı sürtünme ve sıcaklık artışı sonucunda, temas yüzeyinde oksitlenmenin olması, sert ve gevrek oksit tanelerinin daha sonra abrasiv etki göstererek sürtünme ve aşınmayı artırması etkili olmuştur. Sertleştirilmiş çelikte ise deneyin ilerleyen safhalarında kopan ve oksitlenen tanelerde kırılmalar olmuş ve kırılan tanelerin kırıntıları kısmen sünek olan ana kütleyle gömülmüşlerdir. Bunun sonucunda sürtünme katsayısı sürekli artma eğilimi göstermiştir. Genel olarak incelendiğinde numunelerin WC küreye karşı sürtünme katsayıları sırasıyla sertleştirilmiş çelikte ~ 0,6, TiN’de ~ 0,1 ve CrN’de de ~ 0,3 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlardan TiN kaplı kesici ucun, diğer kesici uçlara göre en düşük sürtünme katsayısına sahip olduğu görülmektedir. Artan yük karşısında elde edilen adhesiv aşınma sonuçlarında; sertleştirilmiş çeliğin sürtünme katsayısı düşük, diğer numunelerde ise yüksek çıkmıştır. Fakat sabit yük altında kaplamaların sertleştirilmiş çeliğe göre adhesiv aşınma direncinin yüksek olduğu görülmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarla tarafımızdan elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında; CrN için elde edilen sürtünme katsayısı değerinin, literatürde verilen, bazı çalışmacıların elde ettikleri bulgularla büyük bir uyum gösterdiği tespit edilmiştir (Cai et al., 2010a; Cho and Lee, 2000; Kataria et al., 2010; Polcar et al., 2005; Rodriguez et al., 2002; Wilson and Alpas, 1998). Diğer yandan, TiN ve CrN kaplamalar için elde edilen bu sonuçlar, Aihau (2010) tarafından elde edilen sonuçlara göre, daha düşük olmuştur (Aihua et al., 2012). Bunun da, Aihau (2010)’nun çalışmasında kullandığı ana malzemenin özelliklerinin, bizim seçilen malzemeye göre çok farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 8.36 Kaplama yapılmış numunelerin, WC küre ile yapılan adhesiv aşınma deneylerinde sürtünme katsayısı değerinin sabit yükte zamana bağlı değişimi.

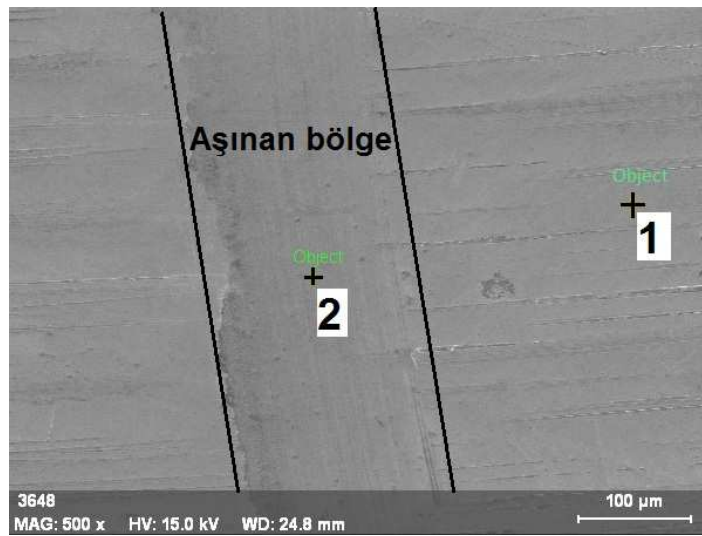
Çizelge 8.4’de malzemelerin aşınma oranları verilmiştir. En yüksek aşınma oranı sertleştirilmiş çelikte olmuş, ardından TiN ve en düşük aşınma da CrN’de elde edilmiştir. Sertleştirilmiş marteziğin oldukça gevrek olması nedeniyle, aşınma esnasında kopan taneler TiN ve CrN’e göre miktar ve ağırlıkça daha fazla olmuştur. Aşınmanın CrN’de en az olmasının nedeniyse, bu bileşiğin TiN bileşiği ve martenzitik yapıya oranla daha sünek olmasından kaynaklanmaktadır. Elde edilen bu aşınma değerleri, Rodriguez ve arkadaşları (2002) (Rodriguez et al., 2002) ve Aihua (2012)’nın (Aihua et al., 2012) yaptığı çalışmalarla karşılaştırıldığında, onlara göre daha yüksek çıkmıştır. Bu farklılığın; kullanılan bilya tipi, kaplanan malzeme özellikleri ve uygulanan yükün farklı oluşundan ileri geldiği düşünülmektedir.

Çizelge 8.4. Malzemelerin sabit yük altında adhesiv aşınma sonucu aşınma oranları.

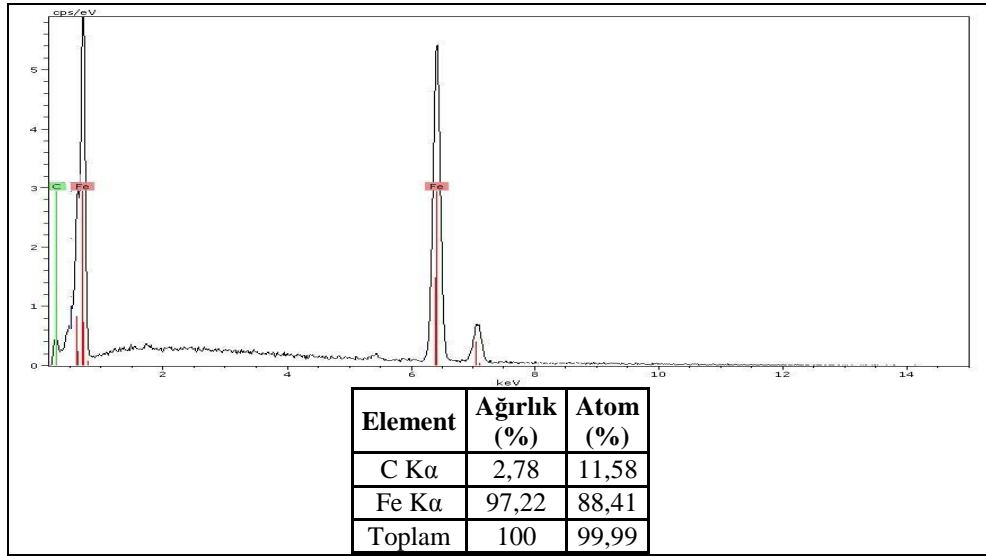
| Kesici takım | Aşınma hızı (mm^3/Nm) |
|-----------------------|--|
| Sertleştirilmiş Çelik | $2,37 \times 10^{-02}$ |
| TiN | $8,87 \times 10^{-03}$ |
| CrN | $1,84 \times 10^{-03}$ |

Şekil 8.37 ve Şekil 8.38’de aşınmamış bölgenin SEM resmi ve EDS analiz sonuçları gösterilmiştir. Yüzeyde sadece Fe ve C elementinin bulunduğu görülmektedir. Sertleştirilmiş çelik kesici takımda aşınmış bölge incelendiğinde (Şekil 8.37 ve Şekil 8.39); DIN 115CrV3

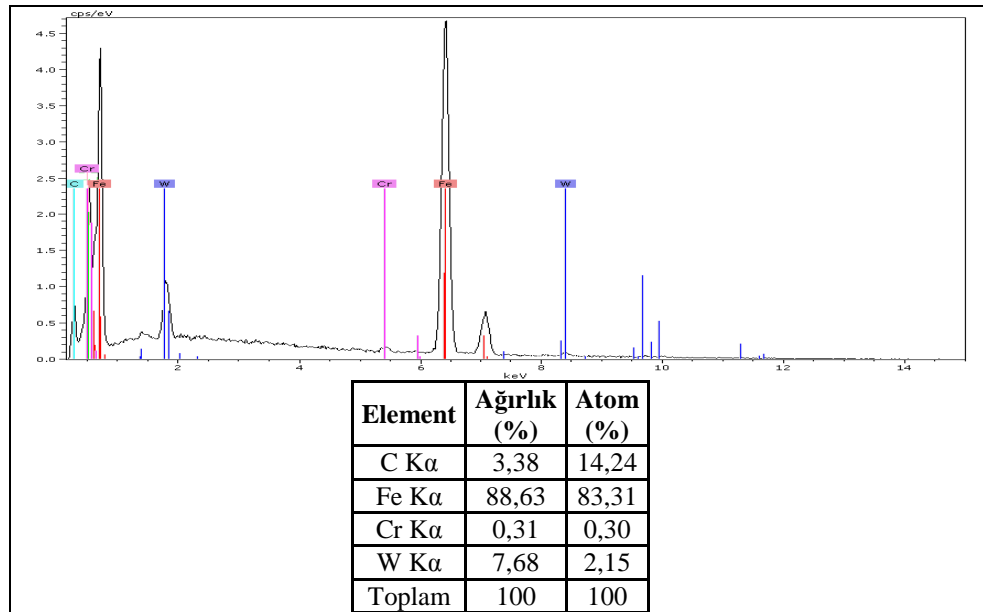
çeliğinin bileşiminden hariç, W elementinin de yoğun olarak bulunduğu belirlenmiştir (Şekil 8.39). W elementinin kaynağı, aşınma deneyinde kullanılan WC küresidir. WC'ün sertliği 2240 HV (firmadan alınan değer) olup, sertliği 820 HV olan sertleştirilmiş çeliğe göre ~ 3 kat daha fazla sertliğe sahiptir. Diğer yandan, aşınan yüzeyde aşındırıcı küreden kaynaklanan, W elementine de rastlanılmıştır. Ayrıca aşınan yüzeyde düşük miktarda oksijen elementinin varlığı, burada ayrıca metal oksitlerin de mevcut olduğunu kanıtlamaktadır. Şeklin incelenmesinde; kuru metal-metal sürtünmesi sonucu oluşan aşınma oluklarının geniş ve derin olduğu, malzemeden sürtünme esnasında kopan parçacıkların sayıca fazla olmadığı, dolayısı ile kopup oksitlendikten sonra yüzeyde tekrar kazıma etkisi gösteren partiküllerin oldukça az olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır. Oluşan oksitlerin abrasiv etkisi, numunenin sertliğine rağmen etkili olmuştur. Bunun da gevrek partiküllerin iri tanecikler halinde koparak ayrılmalarından ileri geldiği düşünülmektedir.



Şekil 8.37 Sertleştirilmiş çelik kesici takımın sabit yük altında adhesiv aşınma sonrası SEM görüntüsü (X500).



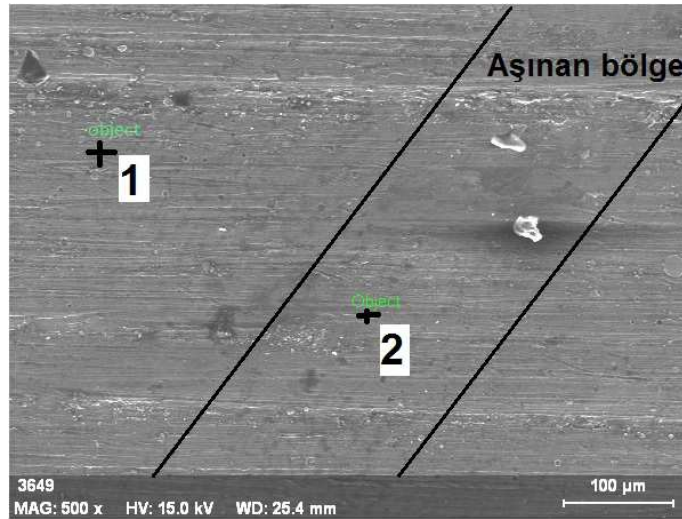
Şekil 8.38 Sertleştirilmiş çelik kesici takımın aşınmamış bölgesinden (Şekil 8.37, 1 nolu nokta) alınan EDS analiz sonucu.



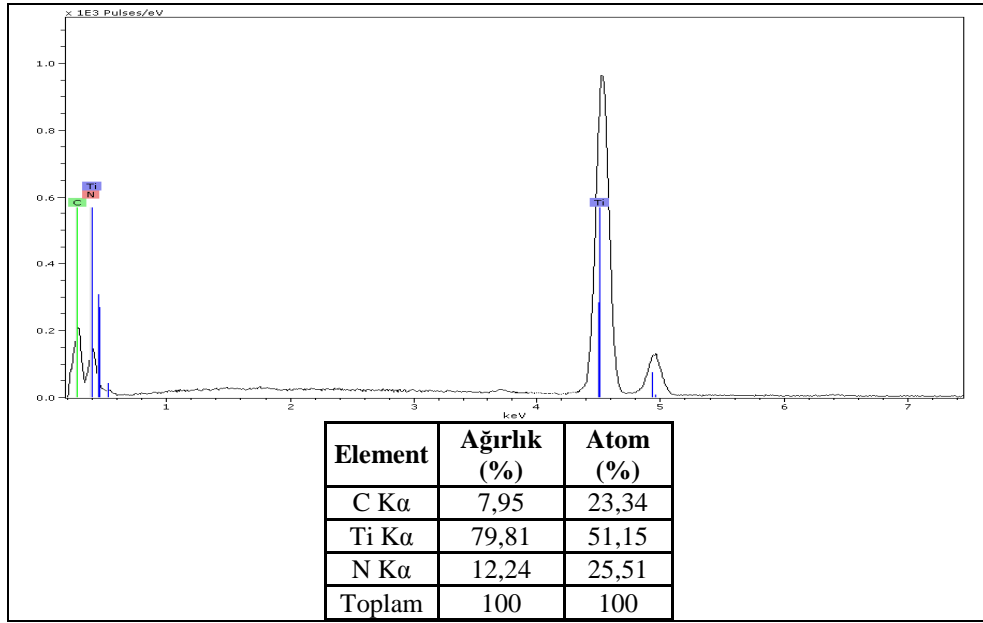
Şekil 8.39 Sertleştirilmiş çelik kesici takımın aşınmış bölgesinden (Şekil 8.37, 2 nolu nokta) alınan EDS analiz sonucu.

TiN kaplı kesici kalemin aşınmaya uğramamış bölgeden alınan SEM resmi ve EDS analiz sonuçları Şekil 8.40 ve Şekil 8.41’de verilmiştir. EDS pikleri incelendiğinde, yüzeyde kaplama katının başlıca ana elementleri olan Ti ve N bulunmuştur. TiN kaplı kesici takımın aşınmış bölgesi incelendiğinde (Şekil 8.40 ve Şekil 8.42), burada ana metalden gelen V elementinin ana metale göre biraz daha fazla oranda bulunduğu gözlemlenmiştir. V elementi DIN 115CrV3 çeliğinin alaşım elemanlarından biri olduğundan, muhtemelen bu metal o

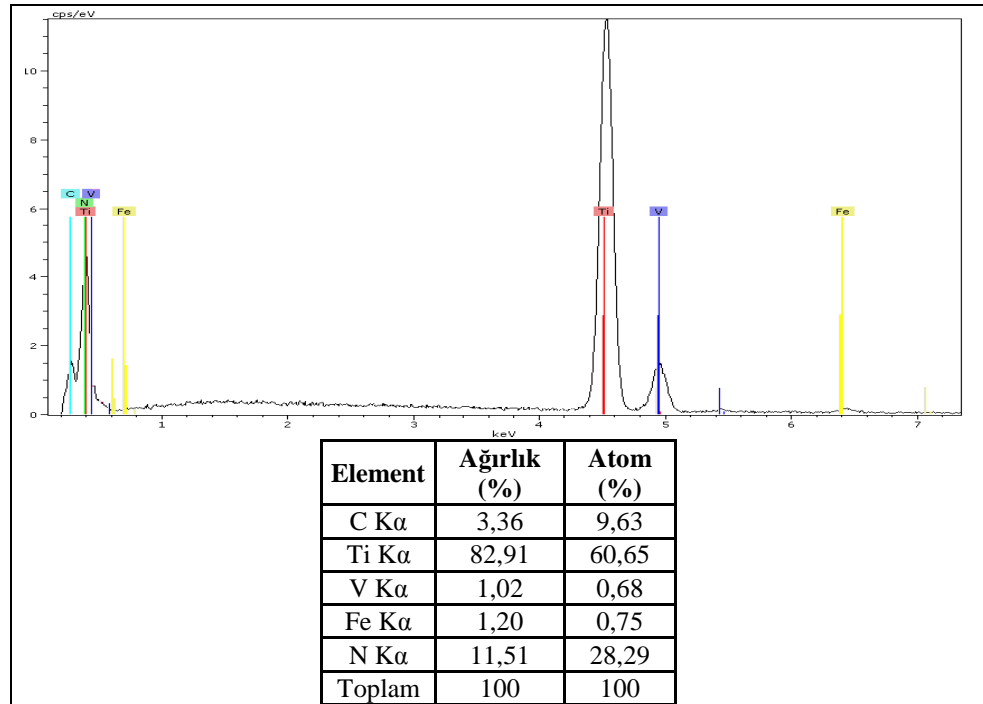
bölgede vanadyum karbür ve vanadyum nitrür bileşikleri oluşturmuştur. Aşınma sonrası, aşınan noktalarda titanyum ve azot elementlerinin bulunmaması, aşınan bölgede kaplamanın tamamen yüzeyden kalktığı anlamına gelmektedir. Kürenin aşındırdığı izlere bakıldığında, kuru metal-metal sürtünmesi sonucu oluşan aşınma oluklarının fazla belirgin olmadığı, adhesiv aşınmanın sınırlı ölçülerde gerçekleştiği, malzemedeki sürtünme esnasında kopan parçacıkların ve yüzeyde tekrar kazıma etkisi gösteren partiküllerin sayıca az olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır. Tüm bu bulgular TiN kaplamanın sert olmasının yanı sıra, çok az ama yeterli bir tokluk ve sünekliğe de sahip olduğunu göstermektedir. Ana malzemenin önceden sertleştirilmiş olması nedeniyle, meydana gelen miktarca az oksitlerin abrasiv aşındırıcı etkisi fazla olmamıştır. Sonuç olarak, kaplamanın ve aşınmış partiküllerin plastik deformasyonunun süreklilik gösterdiği ve tekrarlandığı sonucuna varılmıştır. Aihua (2012) da yaptığı çalışmada aynı tespitte bulunmuştur (Aihua et al., 2012). Bunun yanında, sabit yük ve sürekli değişen yükler altında TiN kaplamanın sürtünme katsayıları birbiriyle karşılaştırıldığında, sabit yükte yapılan aşınmada kaplama katı üzerindeki tahribatın değişen yük altındaki aşınmaya göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun da, sabit yük altında gevrek kaplama tabakasının basınç etkisiyle dayanamayarak kırılmasından ileri geldiği düşünülmektedir. Kataria (2010) da, yaptığı çalışmada bu konuda aynı bulgulara ulaşmıştır (Kataria et al., 2010).



Şekil 8.40 TiN kaplı kesici takımın sabit yük altında adhesiv aşınma sonrası SEM görüntüsü (X500).

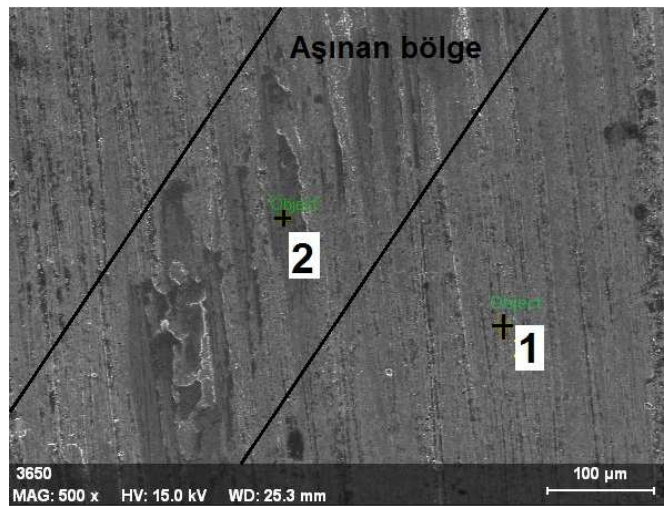


Şekil 8.41 TiN kesici takımın aşınmamış bölgesinden (Şekil 8.40, 1 nolu nokta) alınan EDS analiz sonucu.

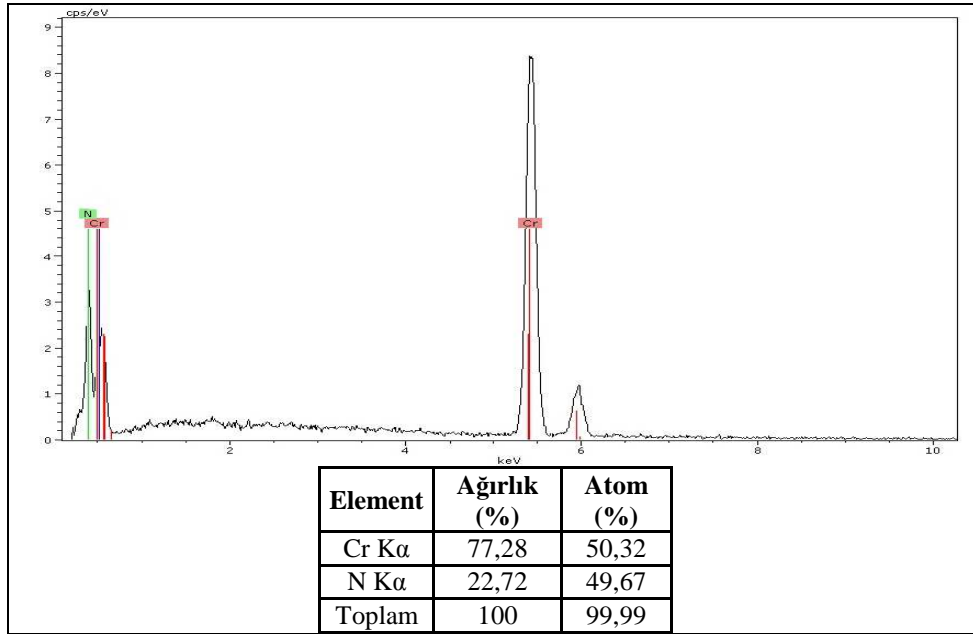


Şekil 8.42 TiN kesici takımın aşınmış bölgesinden (Şekil 8.40, 2 nolu nokta) alınan EDS analiz sonucu.

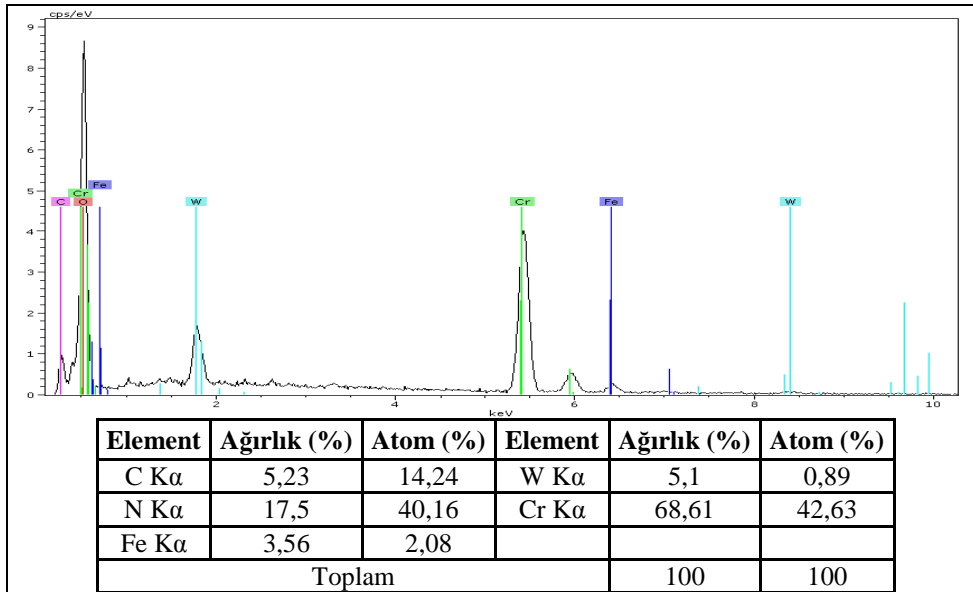
CrN kaplı kesici kalemin aşınmış ve aşınmamış bölgelerinin SEM fotoğrafı ve EDS analizi Şekil 8.43, Şekil 8.44 ve Şekil 8.45’de verilmiştir. Aşınmaya uğramamış bölgenin (Şekil 8.43’de 1 numaralı nokta) analiz sonuçları Şekil 8.44’de verilmiştir. EDS pikleri incelendiğinde, yüzeyde beklenildiği gibi CrN kaplamanın ana elementleri olan Cr ve N elementleri tespit edilmiştir. Aşınmış bölgede (Şekil 8.43 ve Şekil 8.45, resimde 2 numaralı nokta); W, Fe, Cr’un bulunduğu ve çok düşük oranda da oksitlenmenin meydana geldiği görülmektedir. Deneyin hemen başında oluşan yüksek sürtünme ısısının tamamı, WC (tungsten karbür) kürenin ısı iletkenliğinin çok düşük olmasından dolayı, ortama ve ana malzemeye geçmiştir. Bu nedenle yüzeyde oksitler oluşmuştur. W elementinin aşınan bölgede izine rastlanması, WC küreden kopan W elementinin ana malzemeye geçtiği anlamına gelmektedir. Ayrıca analizde (Şekil 8.45), aşınan bölgede Fe elementinin de bulunması, CrN tabakanın az da olsa delaminasyona uğradığını göstermektedir. Resme detaylı olarak bakıldığında (Şekil 8.43) aşınan bölgede veya kürenin geçtiği yerlerde, belirli aralıklarda olukların oluştuğu, adhesiv aşınmanın sınırlı ölçülerde gerçekleştiği ve oksitlendikten sonra yüzeyde tekrar kazıma etkisi gösteren taneciklerin sayıca fazla olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır. Diğer yandan kırılıp koparak ayrılan sert oksit ve karbür taneleri, aşınma oluşunun üzerinde toplanmış ve kısmen ana malzemeye gömülmüşlerdir. Tüm bu bulgular CrN kaplamanın sert olmasının yanı sıra, çok az da olsa sünek olması nedeniyle, aşınmış belli bölgeler aşındırıcı küreye karşı kısmen adhesiv aşınma direnci göstermektedir.



Şekil 8.43 CrN kaplı kesici takımın sabit yük altında adhesiv aşınma sonrası SEM görüntüsü (X500).



Şekil 8.44 CrN kesici takımın aşınmamış bölgesinden (Şekil 8.43, 1 nolu nokta) alınan EDS analiz sonucu.



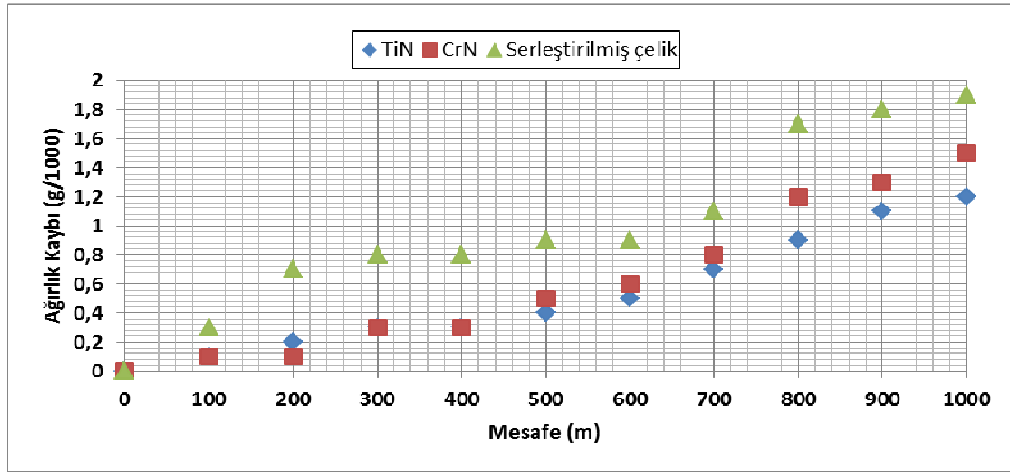
Şekil 8.45 CrN kesici takımın aşınmış bölgesinden (Şekil 8.43, 2 nolu nokta) alınan EDS analiz sonucu.

Sabit yük altında her üç kesici takımın adhesiv aşınma izleri karşılaştırıldığında, en çok aşınan sertleştirilmiş kesici takım, ardından CrN ve en az aşınan TiN kaplamalı kesici uç olarak tespit edilmiştir (Şekil 8.37, Şekil 8.40 ve Şekil 8.43). Sertleştirilmiş, martenzitik yapıda olan çelik uç, sert ve gevrek olduğundan sabit yük altında yapılan adhesiv aşınmada miktarca fazla iri taneciklerin kopması nedeniyle en fazla aşınmayı göstermiştir. Diğer yandan CrN'ün yüzey

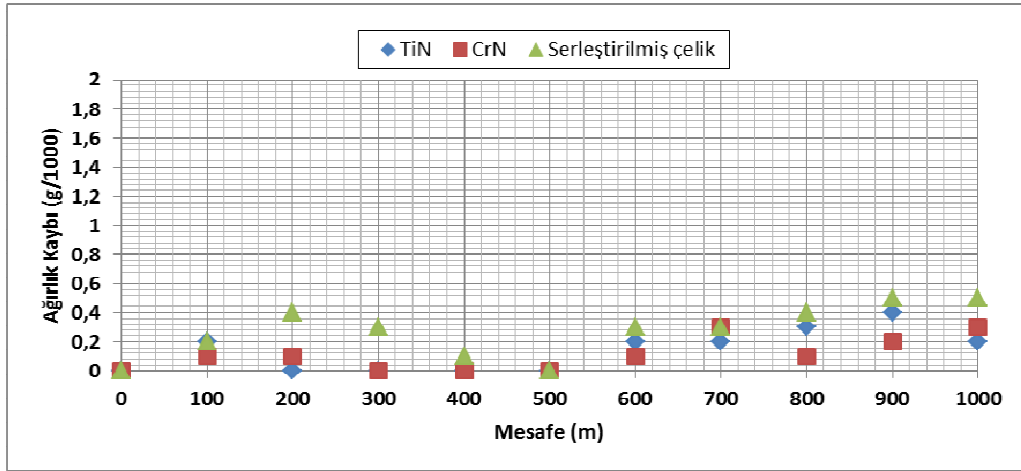
pürüzlülüğünün TiN'den daha fazla olması nedeniyle, sabit yük altında krom nitrür yüzeyinden daha fazla tanecik kopmuş ve bu nedenle CrN, TiN'e göre daha sünek olmasına karşın, daha fazla aşınmıştır. Bu sonuçları aynı zamanda Şekil 8.36'da sürtünme katsayıları arasındaki fark da onaylamaktadır. Diğer taraftan, artan yük karşısında sertleştirilmiş çelik kesici takımların, kaplamalı kesici takımlara göre daha dirençli olduğu sonucuna varılmıştır. Her iki deney karşılaştırıldığında kaplamalı ve kaplamasız kesici uçlar mekanik özellikler bakımından birbirlerini tamamlamaktadır. Bir yandan artan yük deneyinde mukavemetin yüksek olması istenirken, diğer taraftan sabit yükte yüksek sertlik ve kaplama tabakasının gevreklik nedeniyle kırılmaması için az bir süneklik özelliğinin varlığı da aranmaktadır.

8.4.2 Abrasiv aşınma deney sonuçları

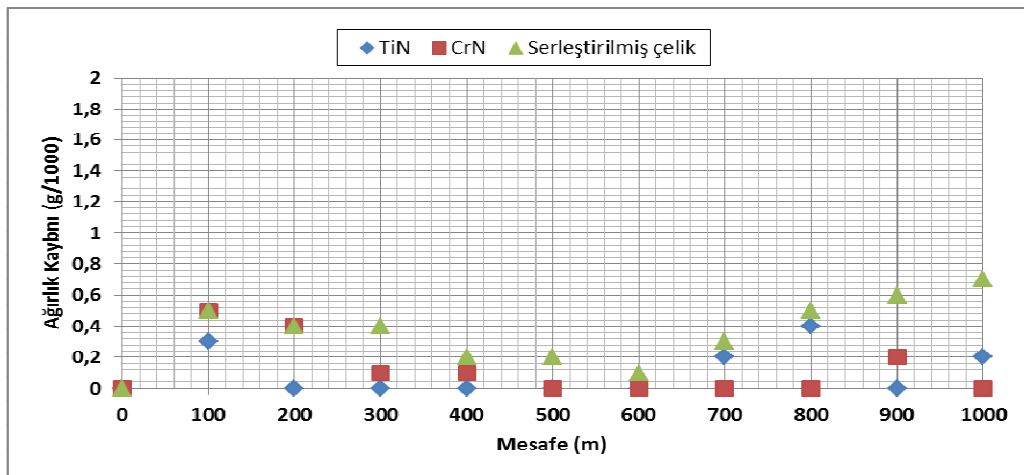
Isıl işlem ile sertleştirilmiş ve PVD yöntemi ile yapılan kaplama sonucunda elde edilen numunelerin abrasiv aşınma direncinin tespiti için deney tasarlanmıştır. Bu deneyde otomat çeliği karşı aşındırıcı olarak kullanılmıştır. Uygulanan yükler 10 N, 20 N, 30 N ve 40 N'dur. Şekil 8.46 - Şekil 8.49 sırasıyla 10 N, 20 N, 30 N ve 40 N yükler altında mesafeye bağlı olarak sertleştirilmiş çelik, TiN, CrN kaplı kalemlerin abrasiv aşınması sonucu ağırlık kayıplarını göstermektedir. Genel olarak, her bir kesici uç için yük oranı arttıkça ağırlık kaybının arttığı gözlemlenmiştir. Sertleştirilmiş çelik; TiN ve CrN ile kaplı kesici kalemlere göre en çok aşınan malzemedir. Çünkü gevrek martenzitik yapıdaki bu uçtan kesme esnasında sürekli olarak iri parçacıklı taneler koparak ayrılmaktadır. Şekil 8.46'da 10 N yük altında yapılan deney sonucunda her üç malzemede elde edilen ağırlık kayıpları görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere en yüksek kütle kaybı yine sertleştirilmiş kesici uça meydana gelmiştir. Beklenildiği gibi; yine otomat çeliğine karşı TiN ve CrN kaplamalı uçların aşınma deneyinde, oldukça düşük değerler elde edilmiştir. Bu deneyler, adhesiv etki altında TiN kaplamalı uçlarda en düşük ağırlık kayıplarının ortaya çıktığını göstermiştir. Bu kayıplar yaklaşık olarak 0,0012 gr (CrN) ve 0,0015 gr (TiN) değerlerine kadar ulaşmıştır. 20 N ve 30 N yüklerde yapılan deneylerde, deney başlangıcında aşınmanın çok hızlı gerçekleştiği, şiddetin daha sonra giderek düştüğü ve daha sonra da tekrar hızlandığı görülmektedir (Şekil 8.47 - Şekil 8.48). Her üç malzeme için özellikle 300 m'den sonra yüzeyde sıvanmalar olduğundan dolayı, ağırlık kaybında artışlar gözlemlenmiştir. Şekil 8.49'da görüleceği üzere otomat çeliğine karşı yapılan deneyde en büyük olan 40 N'da aşınmanın diğer yüklere göre daha şiddetli olduğu görülmektedir. Sonuç olarak en düşük aşınan kesici ucun TiN kaplı, ardından CrN kaplı ve en çok aşınan ucun da sertleştirilmiş çelik uç olduğu görülmüştür.



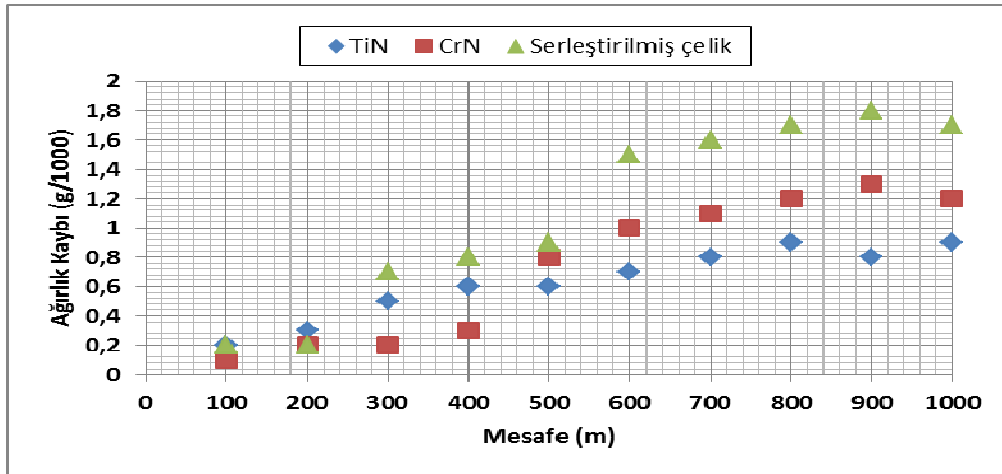
Şekil 8.46 Uygulanan 10 N yük altında mesafeye bağlı ağırlık kaybı.



Şekil 8.47 Uygulanan 20 N yük altında mesafeye bağlı ağırlık kaybı.

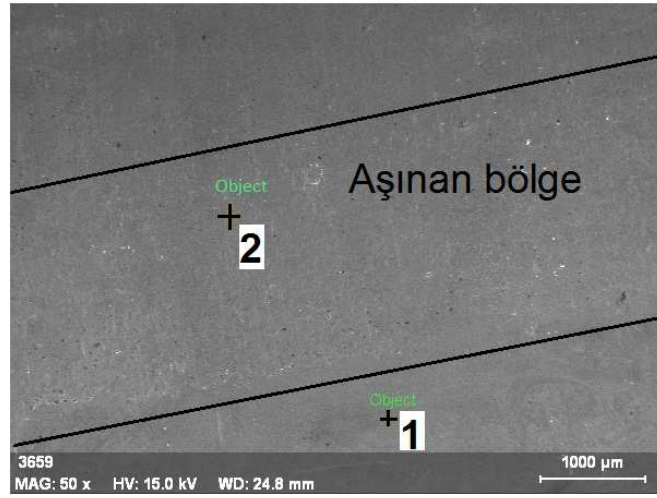


Şekil 8.48 Uygulanan 30 N yük altında mesafeye bağlı ağırlık kaybı.

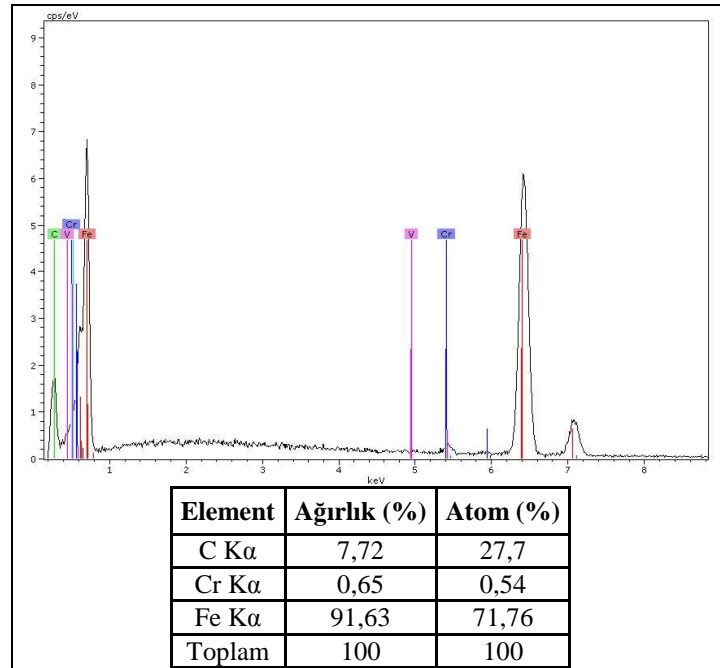


Şekil 8.49 Uygulanan 40 N yük altında mesafeye bağlı ağırlık kaybı.

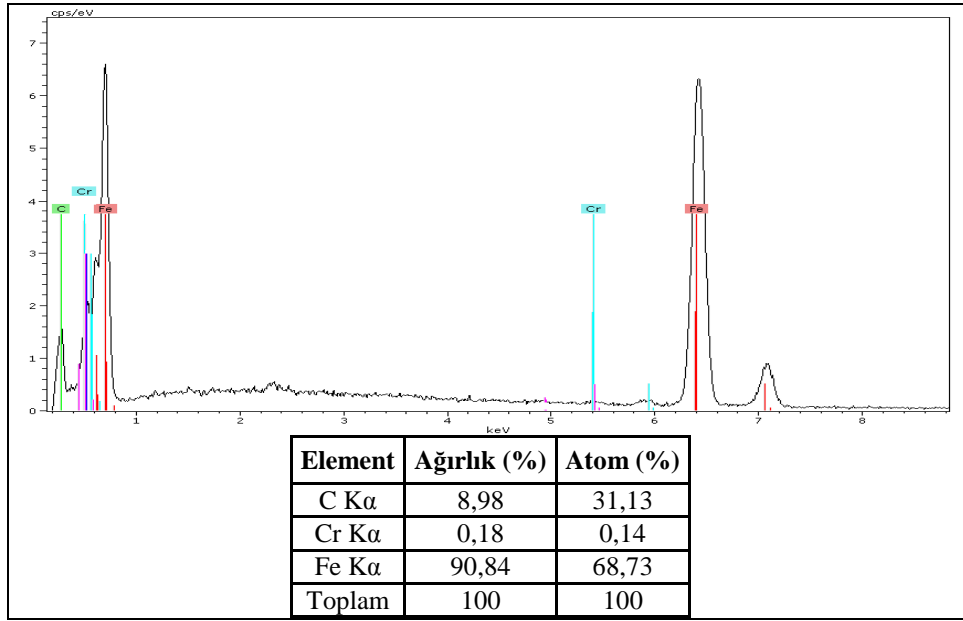
Şekil 8.50, Şekil 8.51 ve Şekil 8.52’de sertleştirilmiş çeliğin iş parçası otomat çeliğine karşı abrasiv aşınma sonrası SEM fotoğrafı ve EDS analizleri görülmektedir. Aşınmamış bölgenin EDS analizine bakıldığında (Şekil 8.51); burada Fe, C ve Cr elementlerine rastlanılmaktadır. Abrasiv aşınma sonrası, genel olarak beklenildiği gibi düzgün bir abrasiv aşınma yüzeyi elde edilmiştir (Şekil 8.50). Aşınmış bölgenin EDS analiz sonuçlarına bakıldığında ise; bu bölgede Fe, C, Cr ve Mn elementleri tespit edilmiştir (Şekil 8.52). Aşınan yüzeyde Mn elementinin bulunması, otomat çeliğinden kopan taneciklerin az da kısmen kesici uca yapıştığını (sıvandığını) göstermektedir. Martenzitik yapıya sahip ana malzemeden hazırlanan sert uç kesiciler, yumuşak otomat çeliğine karşı yeterli düzeyde bir aşınma direnci göstermiştir. Dolayısıyla böyle kesici uçları otomat çeliklerinin işlenmesinde sınırlı olarak kullanmak mümkündür. Çıplak gözle incelendiğinde kesici uç üzerinde, kesici ucun yüzeyine yapışmış partiküllere rastlanmıştır. Otomat çeliğinin sertleştirilmiş ve gerginliği giderilmiş kesici uçla kolay işlenebilir olmasının nedeni, kesilen çeliğin yapısında S dışında işlenebilirliği kolaylaştıran talaşın küçük ve kırılmanlı çıkmasını sağlayan Mn ile talaş kırılmanlılığını sağlayıp kesme yüzeyi kalitesini iyileştiren P elementlerinin bulunmasıdır. Aynı nedenlerle sertleştirilmiş çeliğin abrasiv aşınma dayanımı oldukça yüksektir. İşlem sonrasında aşınmış yüzeylerin incelenmesinde, otomat çeliğinin yüzeyinden kopan ve oksitlenen aşınmış partiküllerin yüzeye yapışık olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 8.50 Sertleştirilmiş çelik kesici takımın 20 N sabit yük altında abrasiv aşınma sonrası SEM görüntüsü (X50).

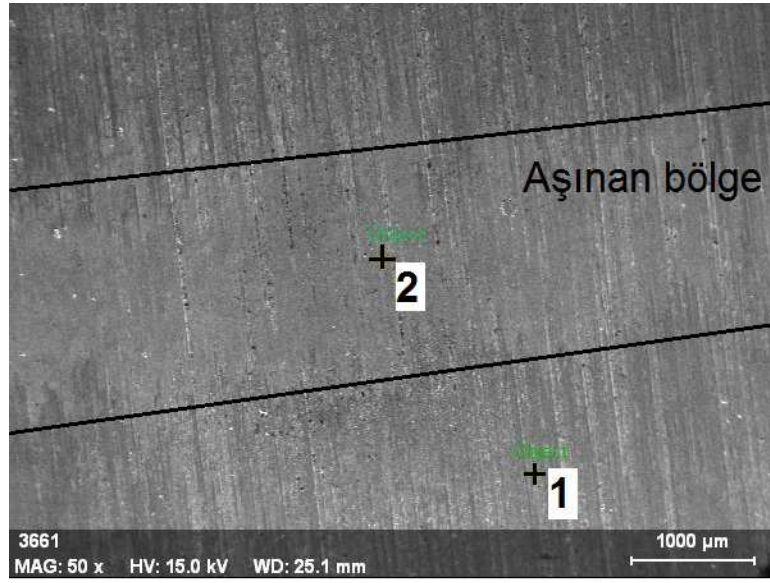


Şekil 8.51 Sertleştirilmiş çelik kesici takımın aşınmamış bölgesinden (Şekil 8.50, 1 nolu nokta) alınan EDS analiz sonucu.

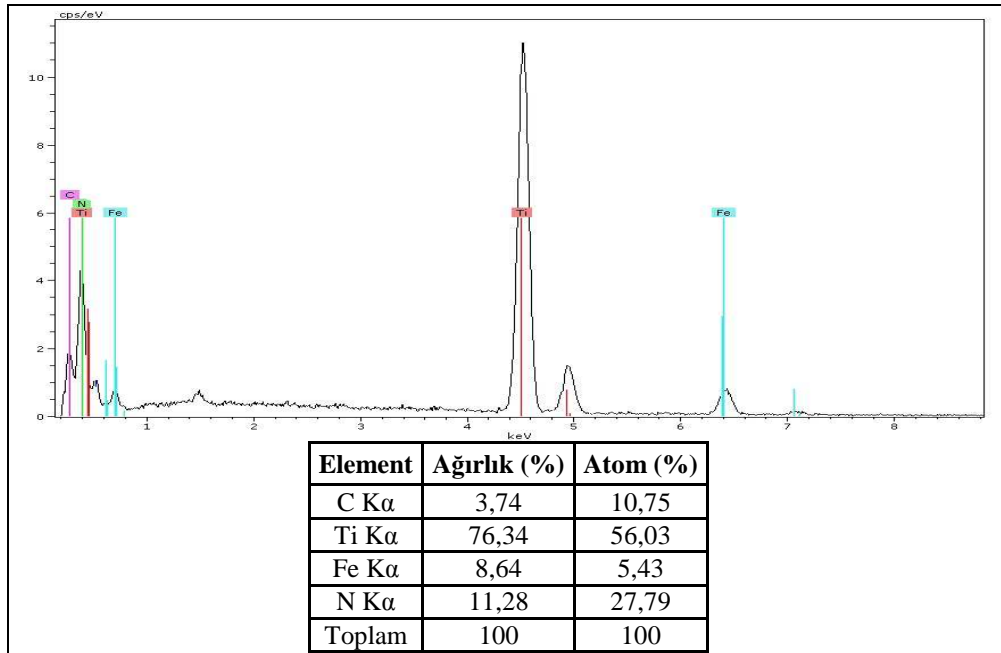


Şekil 8.52 Sertleştirilmiş çelik kesici takımın aşınmış bölgesinden (Şekil 8.50, 2 nolu nokta) alınan EDS analizi sonucu.

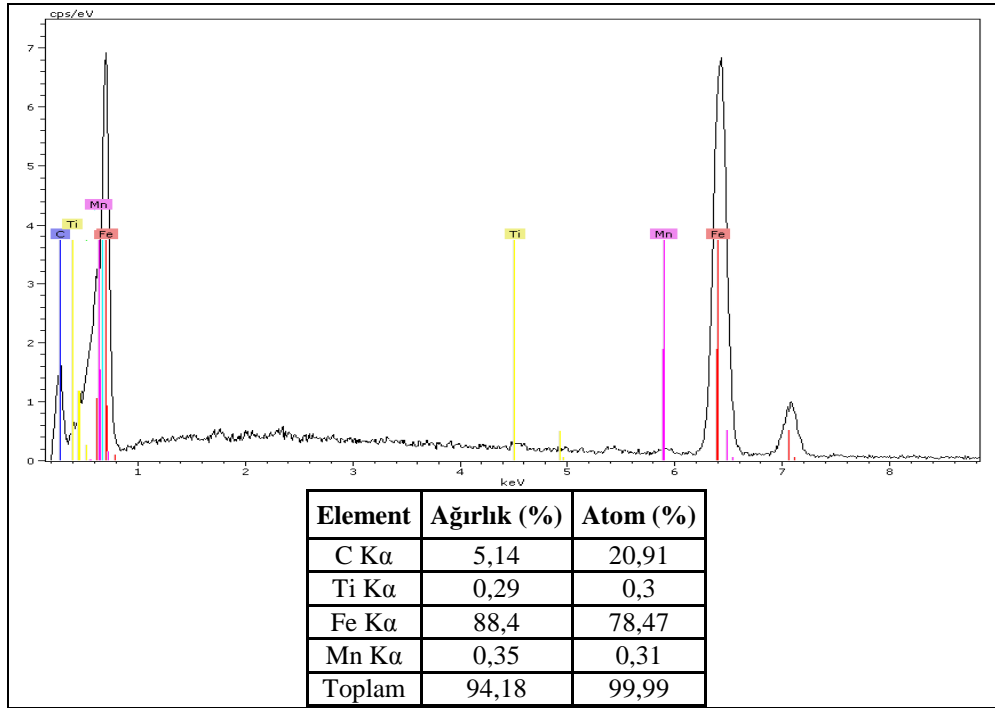
Şekil 8.53, Şekil 8.54 ve Şekil 8.55 incelendiğinde, TiN kaplı kesici ucun otomat çeliği ile yapılan abrasiv aşınma deneyi sonrası SEM fotoğrafı ve EDS analizleri görülmektedir. Genel olarak aşınma yönü belli olan, aşınma yönünde birikmiş metalik kalıntıların varlığı ve ince abrasiv aşınma izleri görülmektedir (Şekil 8.53). Aşınmamış bölgenin EDS analiz sonuçları incelendiğinde, beklenildiği gibi, yapıda Ti ve N elementlerinin yoğun olarak bulunduğu tespit edilmiştir (Şekil 8.54). Diğer taraftan, aşınmış bölgenin EDS analizi sonucunda, kaplamanın ana malzemesi olan Ti elementinin bu bölgede çok düşük oranlarda bulunduğu görülmüştür. Aynı zamanda, otomat çeliğinde ve ana malzemede olan Mn, Fe ve C elementlerin izlerine de rastlanmıştır. Bu da kaplamanın abrasiv aşınma sonrasında kaplamanın tamamen kalktığını gösteren bir işarettir (Şekil 8.55). Düzgün olarak aşınan kısımların (örneğin nokta 2) düşük Ti içerikli nitrürlerin bulunduğu noktalara denk geldiği söylenebilir. Daha düşük sertlikte olan bölgeden kopan bazı partiküller abrasiv aşınmayı oldukça artırmıştır. Yapılan incelemelerde yüzeyde otomat çeliğinden kopan bazı partiküllerin TiN'li yüzeye sıvandığı görülmektedir. EDS sonuçlarından, otomat çeliğinden kopan partiküllerin daha çok yüzeye yapıştığı ve aşınmamış bölgeye göre metal karbür ve oksitlerin bulunduğu dikkat çekmektedir.



Şekil 8.53 TiN kesici takımın 20 N sabit yük altında abrasiv aşınma sonrası SEM görüntüsü (X50).

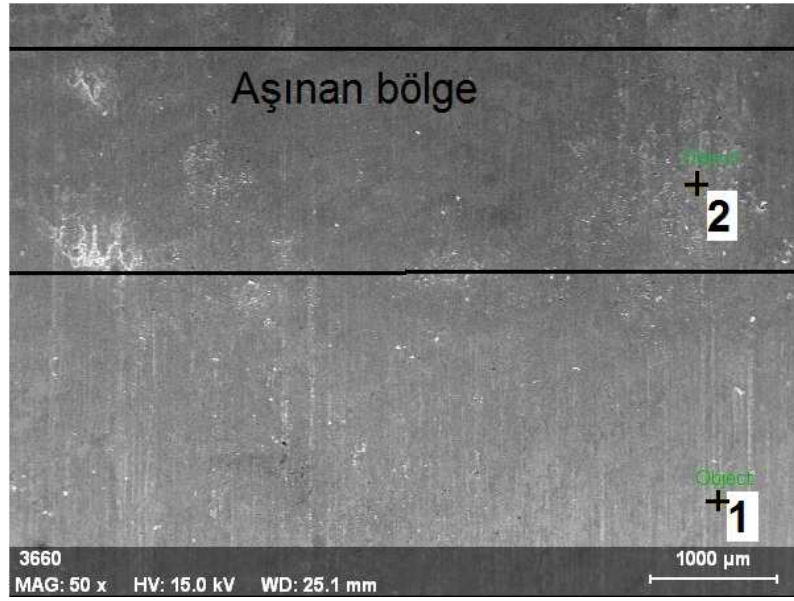


Şekil 8.54 TiN kaplı kesici takımın aşınmamış bölgesinden (Şekil 8.53, 1 nolu nokta) alınan EDS analiz sonucu.

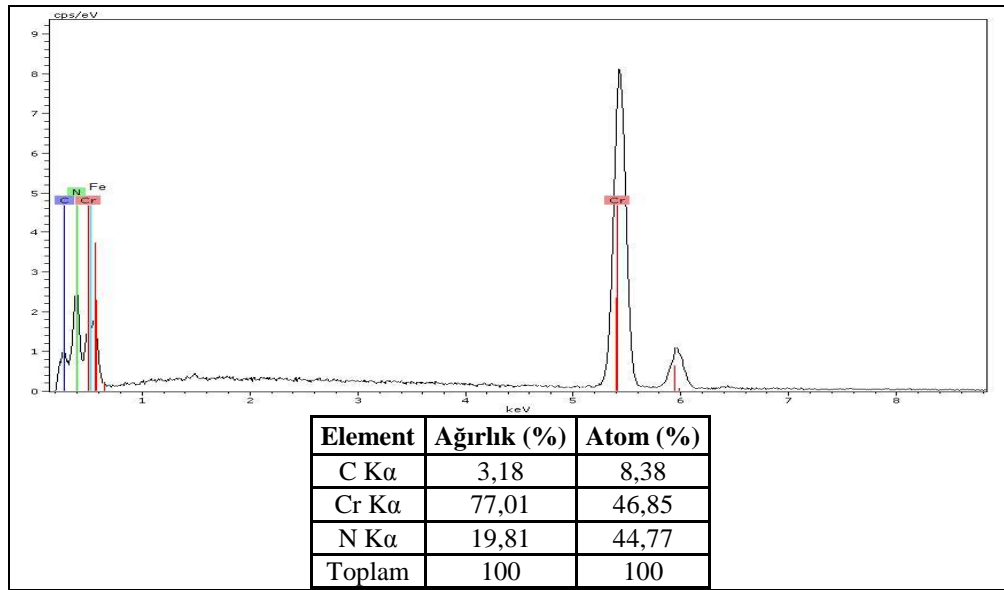


Şekil 8.55 TiN kaplı kesici takımın aşınmış bölgesinden (Şekil 8.53, 2 nolu nokta) alınan EDS analiz sonucu.

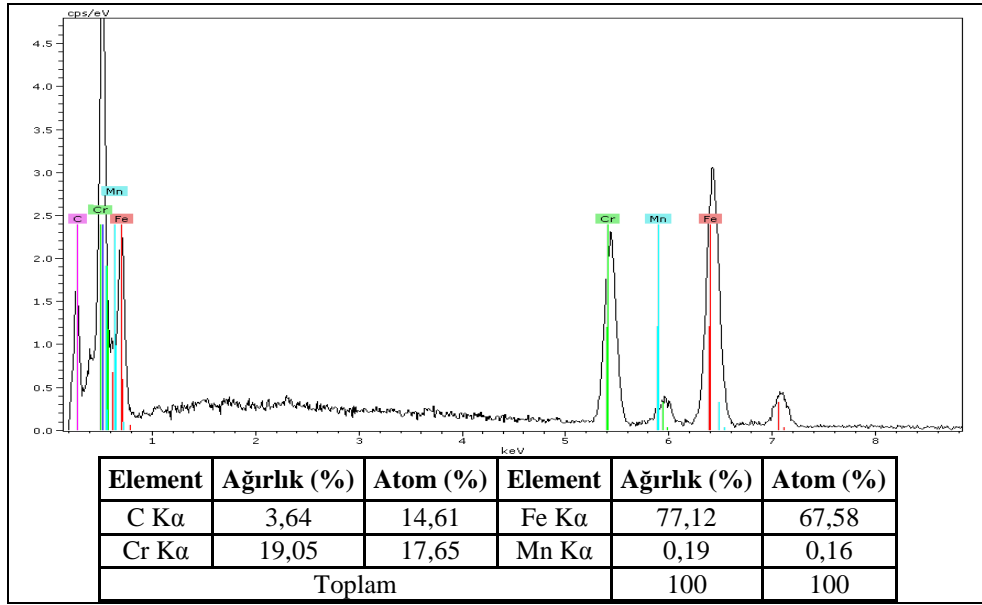
Şekil 8.56'da CrN kaplama yapılan malzemenin otomat çeliği ile yapılan abrasiv aşınma deneyi sonrası SEM fotoğrafı gösterilmektedir. Şekil 8.57 ve Şekil 8.58'de aşınmayan ve aşınan bölgeye ait EDS analizleri verilmiştir. Şekil 8.57'de aşınmamış bölgeden (Şekil 8.56'da nokta 1) alınan EDS analiz sonuçları görülmektedir. Görüldüğü üzere, Cr ve N elementleri bu kaplamada yüzeyde en yüksek yoğunluğa sahiptir. Aşınmış bölgenin EDS analiz sonuçları incelendiğinde (Şekil 8.58); Fe ve C elementlerinin arttığı, aynı zamanda yüzeyde az miktarda Mn elementinin izlerine rastlandığı kolaylıkla söylenebilir. Genel olarak aşınma yönü tam belli olmayan, belirli bölgelerde birikmiş metal kalıntıları ve ince abrasiv aşınma izleri dikkat çekmektedir. Bu düzgün olmayan aşınan kısımların (Şekil 8.56'da nokta 2) düşük krom içerikli nitrürlerin bulunduğu yapılara denk geldiği söylenebilir. Daha düşük sertlikte olan bölgeden kopan ve kısmen oksitlenen partiküller, abrasiv aşınmayı oldukça artırmıştır. Nokta 2'de görülen düşük krom içerikli topaklanmalar, abrasiv aşınma sonrası kaplama katmanının azaldığına işaret etmektedir. Aynı noktada karbon ve oksijen elementlerinin varlığı, metal karbür ve oksitlerinin oluştuğunu göstermektedir. Aşınan yüzey incelendiğinde yüzeyde topaklanma ve çizilmeler görülmektedir.



Şekil 8.56 CrN kesici takımın 20 N sabit yük altında abrasiv aşınma sonrası SEM görüntüsü (X50).



Şekil 8.57 CrN kaplı kesici takımın aşınmamış bölgesinden (Şekil 8.56, 1 nolu nokta) alınan EDS analiz sonucu.

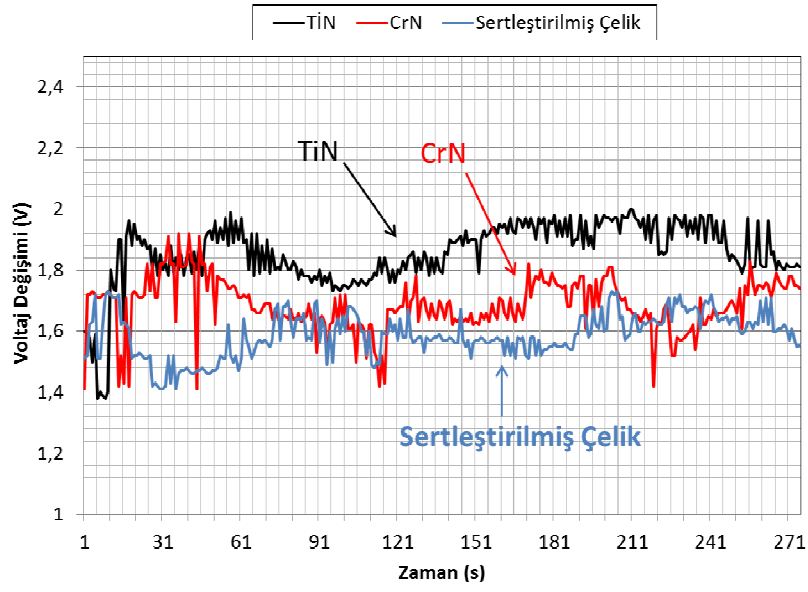


Şekil 8.58 CrN kaplı kesici takımın aşınmış bölgesinden (Şekil 8.56, 2 nolu nokta) alınan EDS analiz sonucu.

Serbest yüzey aşınması, takımın serbest yüzeyinde meydana gelen aşınma serbest yüzey aşınması olarak adlandırılabilir ve bir aşınma bölgesi oluşur. Serbest yüzey aşınması genellikle kesme kenarlarının abrazyonu sonucu meydana gelir. Serbest yüzey aşınmasının zamana göre değişimi; başlangıç aşınması, kararlı aşınma ve aşırı aşınma bölgelerinden oluşmaktadır (Özdemir ve Erten, 2003). Buna göre Şekil 8.78 ve 8.81’de 10 N ve 40 N yükteki ağırlık kaybı serbest yüzey aşınmasına benzemektedir. Sonuçlar literatürde yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında elde edilen bulgular; Özgür ve arkadaşlarının (2009) bulduğu sonuçlarla uyumludur (Özgür et al., 2009). Buna karşılık, Ünlü ve arkadaşları (2005), bulunan sonuçların tam tersini elde etmişlerdir (Ünlü et al., 2005); en fazla ağırlık kaybını sertleştirilmiş çelikte bulmuşlardır. Bu da Ünlü ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada sertleşen çeliğe sertleştirme sonrası yeterli gerginlik giderme tavı uygulamadıklarını göstermektedir. Diğer yandan bu çalışmacılar yaptıkları kesme işlemlerinde, zor işlenen bir karşı aşındırıcı kullanmışlardır.

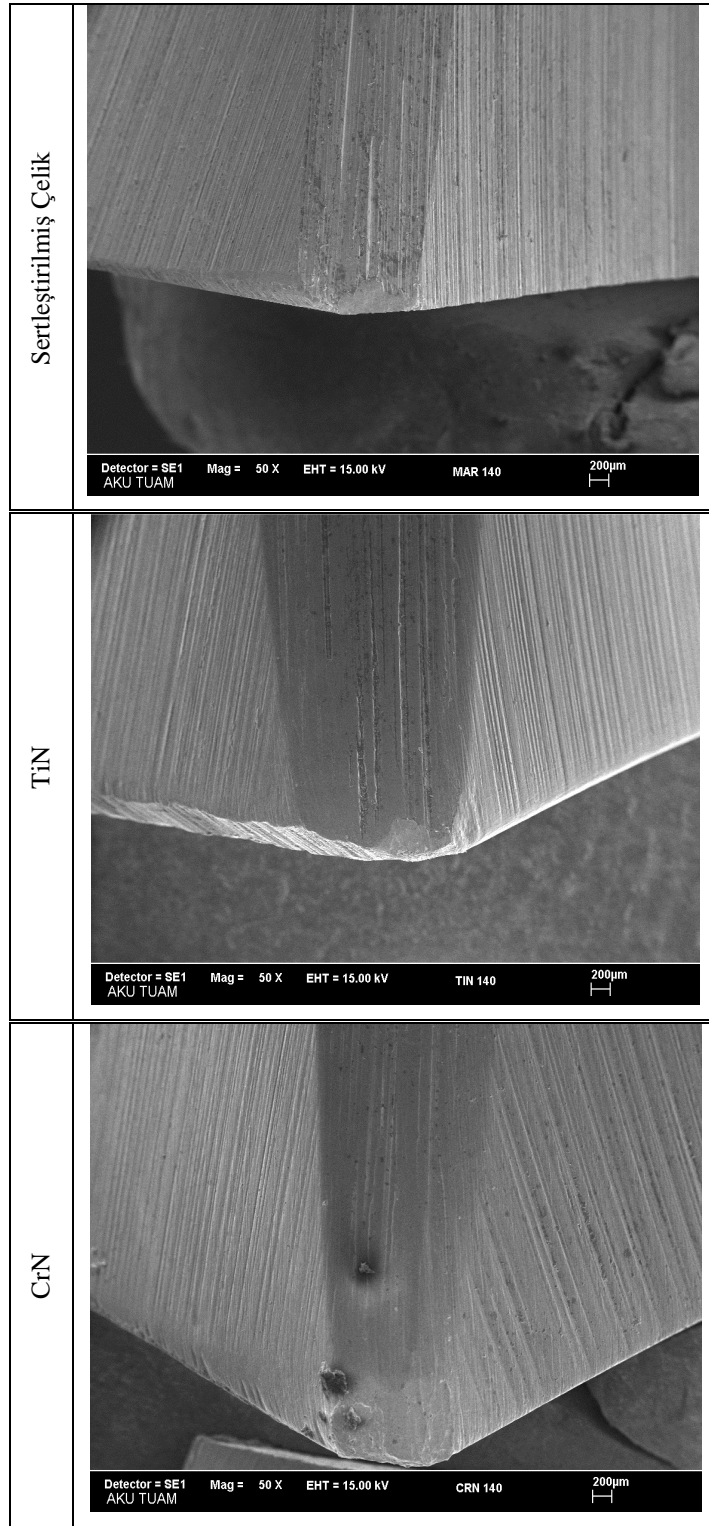
8.4.3. On-line izleme aşınma deney sonuçlarının incelenmesi

Sertleştirilmiş çelik, TiN ve CrN kaplı kesici uçların otomat çeliği üzerinde uygulanan tornalama testlerinde, kesici takımlarda elde edilen on-line aşınma deney sonuçları Şekil 8.59-Şekil 8.64’de verilmiştir. Şekil 8.59’da 18 m/dak.’lık sabit devirde ve 0,062 mm/dev ilerleme hızında üç farklı kesici uçlarla yapılan kesme deneyleriyle elde edilen kesici uç aşınmalarında en iyi sonuç, TiN kaplı kesici uçta elde edilmiştir.



Şekil 8.59 Sabit 18 m/dak kesme hızında farklı malzemelerle kaplı kesici takımlarda voltaj değişimlerinin karşılaştırılması.

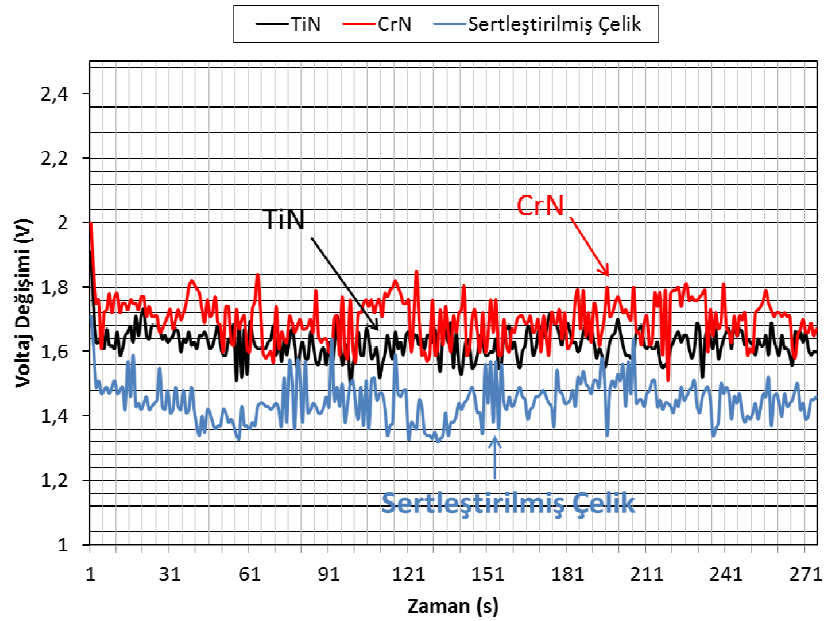
Deney başında her üç malzemede de ani bir voltaj artışı (başlangıçta görülen pikler) ardından sürekli, dengeli ve kararlı bir şekilde belli aralıklarda voltaj değişimi elde edilmiştir. Ayrıca bu numunelerin deney sonunda çekilen SEM fotoğraflarında (Şekil 8.60), TiN kaplı kesici uçta kopma ve kırılmaların, yani aşınmanın az olduğu görülmektedir. Diğer yandan CrN kaplı kesici ucun deney sonunda kopma ve kırılmanın yanı sıra uç kısmında sıvanmalar da gözlemlenmiştir.



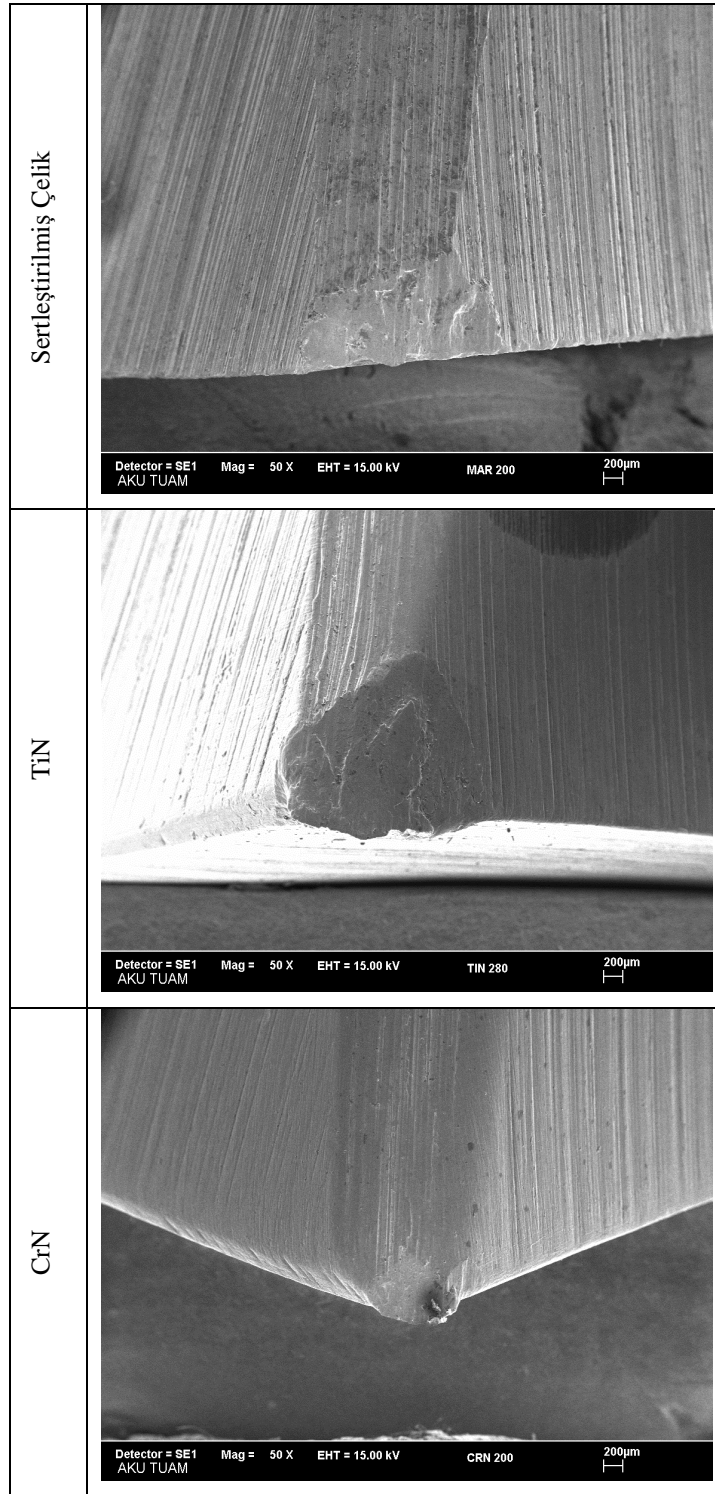
Şekil 8.60 Kesici kalemlerin 18 m/dak. kesme hızı sonunda uçlarında oluşan aşınma bölgeleri.

Şekil 8.61’de görüldüğü gibi; her üç kesici takımında da devir sayısının 25 m/dak.’ya yükselmesi ile, sertleştirilmiş çelikte deney başında hafif voltaj düşüşünden sonra aşınmanın kararlı, fakat bazı noktalarda piklerin şiddetli olduğu görülmüştür. Bu pikler, kesici uçta mikro

kırık ve kopmaların meydana geldiği noktaları işaret etmektedir. CrN kaplı kesici uçla yapılan aşınma deneyinde; deneyin başlangıcından kısa bir süre sonra, voltaj-zaman eğrisinde ani voltaj düşümü gözlemlenmekte, daha sonra voltaj miktarında hafif bir artma ve en sonunda tamamen kararlı duruma geçme şeklinde bir davranış gözlenmektedir. TiN ile yapılan aşınma deneyinde, CrN kaplı kesici ucun da TiN'le kaplı uçta olduğu gibi zamanla kararlı bir aşınmaya geçtiği tespit edilmiştir. Şekil 8.62'de söz konu devirde aşınan uçların yüzeylerinin SEM resimleri gösterilmektedir. CrN kaplamalı uç en az aşınan uç olurken, TiN ve sertleştirilmiş kesici uçlarda büyük oranlarda mikro kırılma, kopma ve sıvanmalar gözlenmiş ve daha gevrek olan bu kesici uçlarda daha büyük aşınma değerleri elde edilmiştir.

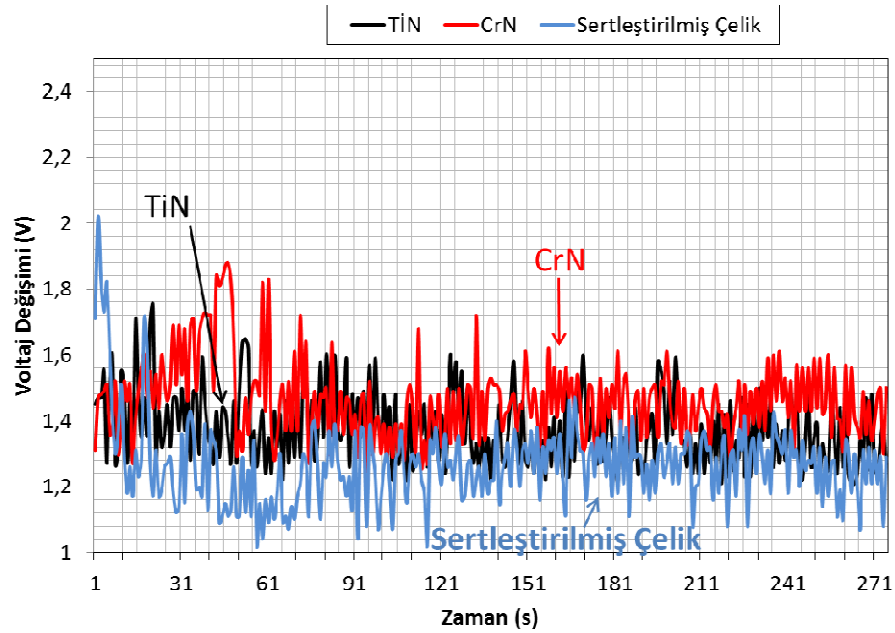


Şekil 8.61 Sabit 25 m/dak.'lık kesme hızında farklı malzemelerle kaplı kesici takımlarda voltaj değişimlerinin karşılaştırılması.

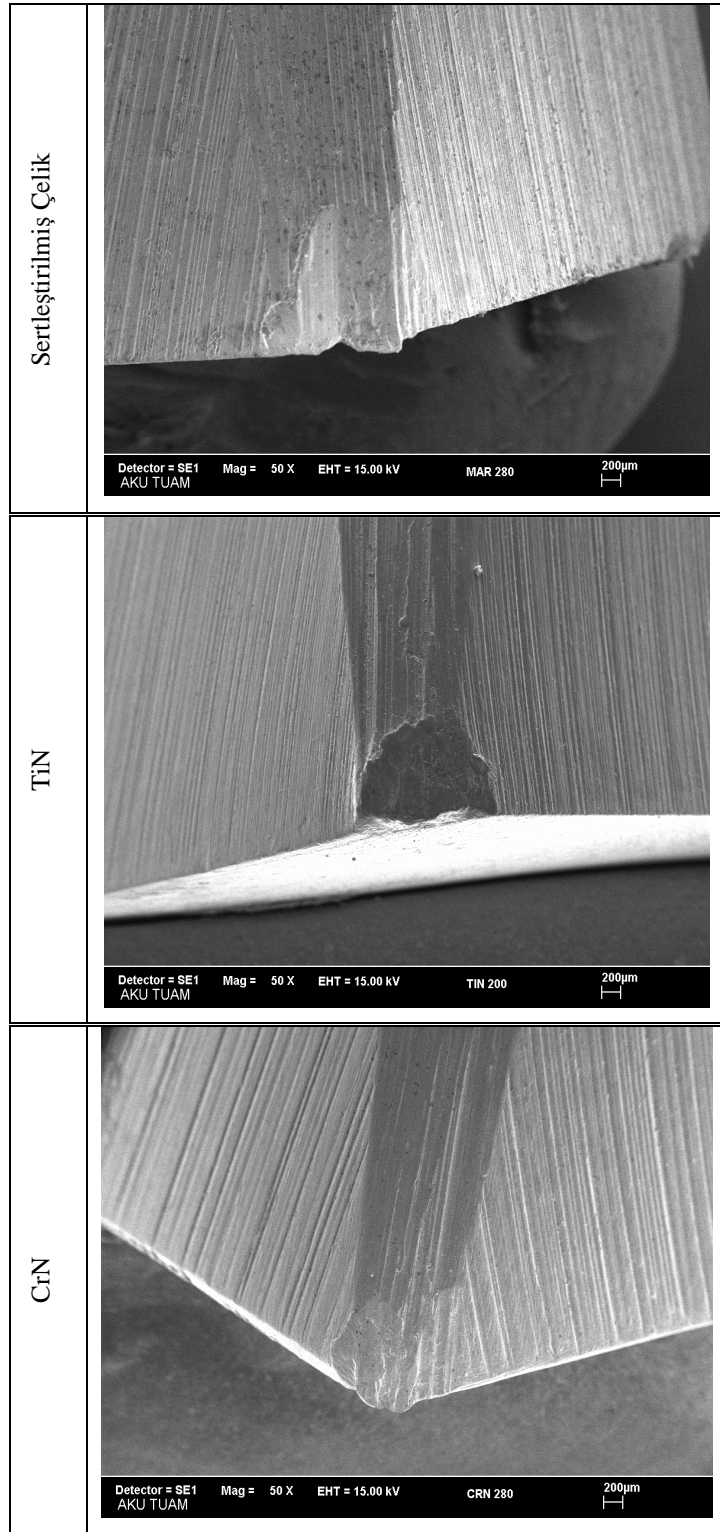


Şekil 8.62 Kesici kalemlerin 25 m/dak. kesme hızı sonunda uçlarında oluşan aşınma bölgeleri.

Şekil 8.63’de sertleştirilmiş, TiN ve CrN kaplı kesici uçlarla en yüksek devir olarak seçilen 35 m/dak. kesme ve 0,062 mm/dev ilerleme hızında yapılan aşındırma ve kesme işlemlerinde; voltaj değişim şiddetinin yüksek olduğu, bunun da talaş kaldırılan otomat çelik yüzeyinin diğer düşük devirlere göre pürüzlülüğünü artırdığı varsayılabilir. Her üç kesici uçta başlangıçtaki voltaj pikinin hemen ardından takım ucunda oluşan mikro düzeydeki kırılmalar nedeniyle voltaj aniden düşmekte ve aşınma en üst düzeye ulaşmaktadır. Aşınan uçların SEM ile alınan yüzey resimleri karşılaştırıldığında, farklı kaplamalara sahip kesici uçların gösterdikleri süneklik ve gevreklik özelliğine bağlı olarak; CrN kaplı yüzeyde mikro kırılmalar ve sıvanmalar, TiN kaplı yüzeyde krater tipi kırılma ve sertleştirilmiş çelikte ise mikro kopmaların meydana geldiği gözlemlenmiştir (Şekil 8.64). Bu bulgu Çakan (2006)’ın yaptığı çalışmada elde edilen bulgularla iyi bir uyum göstermektedir (Çakan, 2006).



Şekil 8.63 Sabit 35 m/dak. kesme hızında farklı malzemelerle kaplı kesici takımlarda voltaj değişimlerinin karşılaştırılması.



Şekil 8.64 Kesici kalemlerin 35 m/dak. kesme hızı sonunda uçlarında oluşan aşınma bölgeleri.

Parça işleme, sert olan kesici takımın daha az sert olan iş parçasını aşındırması olduğundan, kesici takım zamanla takım özelliğini kaybedecektir. Takım hasarı; aşınma, plastik deformasyon ve kırılma nedenleriyle meydana gelir. SEM analizlerinde, kalem ucu aşınmasının daha çok meydana geldiği görülmektedir (Şekil 8.60 - Şekil 8.62 - Şekil 8.64). Bu aşınma serbest yüzey ile çentik aşınmasının kombinasyonuna benzer ve öncelikle abrazyon ile korozyon ya da oksidasyon nedeniyle oluşur. Aşırı uç aşınması, literatürde de belirtildiği gibi, işlenmiş yüzeyin kalitesini azaltır (Özdemir and Erten, 2003). Bunun yanında takım kırılması, krater aşınması ve yüksek hızlarda plastik deformasyon (Şekil 8.64) görülmüştür. Bulunan sonuçlar, Çakan ve arkadaşlarının (2008)'nin yaptığı çalışmalarla karşılaştırıldığında; yüksek kesme hızında CrN kaplı kesici uç, TiN kaplı kesici uca göre aşınma direnci hafif üstün çıkmıştır (Çakan et al., 2008a, Çakan et al., 2008b). Yine aynı çalışma ile karşılaştırıldığında, CrN kaplı kesici uçlarda da en çok kuru sürtünmeye bağlı adhezyon gözlemlenmiştir.

8.4.4 Takım ömrü hesabı

Takım ömrü, sanayide üretim maliyetini, iş emniyetini ve hassasiyetini önemli derecede etkilemektedir. Pek çok faktöre bağlılık gösterdiğinden, sadece kesme şartlarına bağlı olarak takım ömrünü belirlemek oldukça zordur. Talaş kaldırmayla ilgili çalışmalarda temel amaç, takım hasar mekanizmasından yola çıkarak takım ömrünü tespit edecek yöntemler geliştirmektir. Maalesef, herhangi bir durum için takım ömrü doğrulukla tespit edilemez. Çünkü takım ömrü kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, takım ve iş parçası malzemesi, talaş kaldırma yöntemi gibi pek çok faktörlere bağımlılık gösterir (Özdemir and Erten, 2003). Bu çalışmada, on-line aşınma grafiklerinden yola çıkarak (Şekil 8.59, Şekil 8.61 ve Şekil 8.63) ve mikroskopla yapılan yüzey inceleme işlemleri sonrası, kesici ucun aşınmaya uğradığı süre tespit edilmiş ve aşınma süreleri bulunmuştur (Çizelge 8.5). V takımın kesme hızını ve T de işlem süresini göstermek kaydı ile, elde edilen veriler Log (V) ve Log (T) değerlerine dönüştürülmüştür.

Microsoft excel programında elde edilen ve Şekil 8.65'de gösterilen grafiğin eğim çizgisi ve bu eğim çizgisine göre, doğrusal denklem ile matematiksel bir model oluşturulmuştur. Sertleştirilmiş çelik kesici uç için elde edilen denklem, Denklem 6'da, TiN kaplı kesici uç için elde edilen denklem, Denklem 7'de ve CrN kaplı kesici uç için elde edilen denklem de, Denklem 8'de verilmiştir.

Çizelge 8.5 Her üç kesici takım için deney ve Log (V)-Log (T) verileri.

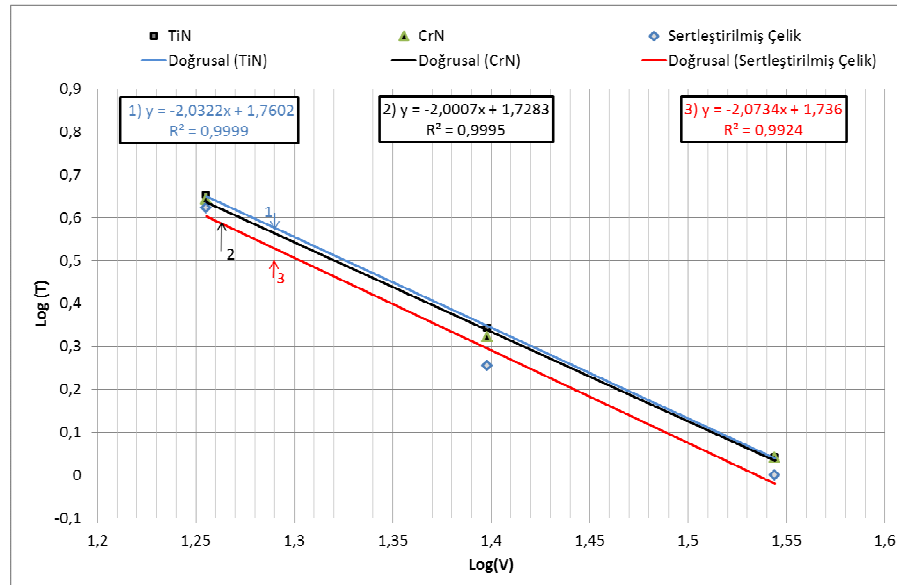
| Kesme Hızı V (m/dak) | Log (V) | Sertleştirilmiş çeliğin aşınma süresi T (dak) | Sertleştirilmiş Çelik Log (T) | TiN, aşınma süresi T (dak) | TiN Log (T) | CrN aşınma süresi T (dak) | CrN Log (T) |
|----------------------|---------|---|-------------------------------|----------------------------|-------------|---------------------------|-------------|
| 18 | 1,26 | 4,2 | 0,623 | 4,5 | 0,653 | 4,4 | 0,643 |
| 25 | 1,40 | 1,8 | 0,255 | 2,2 | 0,342 | 2,1 | 0,322 |
| 35 | 1,54 | 1 | 0 | 1,1 | 0,041 | 1,1 | 0,041 |

$$y = -2,0734x + 1,736 \quad (6)$$

$$y = -2,0322x + 1,7602 \quad (7)$$

$$y = -2,0007x + 1,7283 \quad (8)$$

Aynı zamanda elde edilen bu grafiğin R^2 (korelasyon katsayısı) değerleri sırasıyla sertleştirilmiş çelik, TiN kaplama ve CrN kaplama için 0,99, 0,99 ve 0,99 çıkmıştır. R^2 değeri sonuçların güvenilirliğini ifade etmektedir.



Şekil 8.65 Her üç kesici takım için Log (V)- Log (T) grafiği.

“n” katsayısını hesaplayabilmek için denklem 5’deki eşitlik kullanılmıştır. Bu formülde $\text{Log } V_2$, $\text{Log } V_1$, $\text{Log } T_2$, $\text{Log } T_1$ değerlerini hesaplamak için denklem 2, 3 ve 4’den yararlanılmıştır. Bunun için, belirlenen x değerleri için y değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 8.6).

Çizelge 8.6 Her üç kesici takımın Log (V)-Log (T) grafiğinden elde edilen değerler.

| Log(Vx) | Sertleştirilmiş çelik Log (Ty) | TiN Log (Ty) | CrN Log (Ty) |
|----------------|---|-------------------------|-------------------------|
| 1,255 | -0,866 | -0,790 | -0,783 |
| 1,267 | -0,891 | -0,814 | -0,806 |
| 1,278 | -0,915 | -0,838 | -0,830 |
| 1,290 | -0,938 | -0,861 | -0,852 |
| 1,301 | -0,961 | -0,883 | -0,874 |
| 1,311 | -0,983 | -0,905 | -0,896 |
| 1,322 | -1,005 | -0,926 | -0,917 |
| 1,332 | -1,026 | -0,947 | -0,937 |
| 1,342 | -1,047 | -0,967 | -0,957 |

Çizelge 8.6’da rastgele alınan 2 Log V değeri ve bu değerlere karşılık gelen Log T değerleri denklem 5’de yerine konulduğunda n üstel değerleri her bir kesici uç için ayrı ayrı hesaplanmıştır:

Sertleştirilmiş çeliğin takım ömrü;

$$n = \frac{1,332 - 1,278}{-0,915 - (-1,026)} = 0,48 \quad (9)$$

TiN kaplamanın takım ömrü;

$$n = \frac{1,332 - 1,278}{-0,838 - (-0,947)} = 0,50 \quad (10)$$

CrN kaplamanın takım ömrü;

$$n = \frac{1,332 - 1,278}{-0,830 - (-0,937)} = 0,50 \quad (11)$$

Literatürde, metal karbürlü (sert metal) uçlar için “n” değeri 0,20 - 0,50, seramik uçlar için 0,50 - 0,70 arası değerlerle verilmektedir (Uluğ and Dilipak, 2012). Deneyler sonunda, sertleştirilmiş çelik için “n” değeri 0,48 ve seramik kaplı TiN ve CrN kesici takımlar için de “n” değerleri 0,50 ve 0,50 olarak bulunmuştur. Bu değerler, yaklaşık olarak seramik uçlar için verilen minimum “n” değerine eşdeğerdir.

9. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

9.1 Sonuçlar

DIN115CrV3 soğuk iş takım çeliği, bileşiminde % 1,14 C, % 0,37 Mn, % 0,21 Si, % 0,70 Cr ve % 0,09 V alaşım elementleri bulunduran az alaşımli bir soğuk iş takım çeliğidir. Bu çalışmada söz konusu çelikten hazırlanan kesici takımlar; 780 °C'den suya çekilip, gerginlik giderme tavı uygulandıktan sonra PVD yöntemi kullanılarak, yüzeyleri TiN ve CrN seramik kaplamalar ile kaplanmıştır. Sertleştirilmiş çelik uç, TiN kaplı ve CrN kaplı kesici uçlar; sabit yük veya artan yük altında adhesiv aşınma ve sonra otomat çeliğine karşı abrasiv aşınma deneylerine tabi tutulmuş; son olarak da on-line izleme metodu ile aşınma ve takım ömürleri karşılaştırılmıştır. Yapılan deneylerden aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Isıl işlem görmemiş DIN 115CrV3 çeliğinin işlemsiz orijinal durumundaki sertlik değeri 372 HV'dir. En yüksek sertlik değeri, 780 °C'den su verilerek soğutulduğunda 820 HV olarak elde edilmiştir. Bu durumda sertlik orijinal numuneye göre yaklaşık 2 kat daha artmıştır. Bu sıcaklığın altında yapılan su verme işlemlerinde düşük sertlik değerleri elde edilmiş, üstünde ise takım yüzeyinde çatlamlar meydana gelmiştir.
- Isıl işlem öncesi ve sonrası mikroyapı analizinde; orijinal numunenin satışa sunulmadan önce küreselleştirme tavı görerek yumuşatıldığı, 780 °C'de suya çekilen numunede ise yapının tamamen martenzite dönüştüğü tespit edilmiştir.
- PVD yöntemi kullanılarak, kesici takımların yüzeyleri TiN ve CrN'le kaplanmıştır. Kaplanmış numunelerden alınan SEM resimlerinde, kaplamaların ana malzemeye sıkı ve düzgün bir şekilde bağlandığı; kaplama yapılan bölgede herhangi bir çatlak veya gözenegin oluşmadığı belirlenmiştir.
- TiN kaplamanın, CrN kaplamaya göre daha kalın olduğu ve yüzey pürüzlülüğünün ondan daha az olduğu tespit edilmiştir. TiN'ün ortalama kaplama kalınlığı 2,76 µm ve yüzey pürüzlülüğü 56,1 nm iken, CrN'ün ortalama kaplama kalınlığı 1,70 µm ve yüzey pürüzlülüğü 66,6 olarak ölçülmüştür.
- Adhesiv aşınmada artan yük altında;
 - a) Her üç kesici uçta da artan yük ile sürtünme kuvveti artma göstermiştir. Sertleştirilmiş çeliğin sürtünme kuvveti, diğer kesici uçlara göre, pürüzlülük değeri kaplanmış uçlara göre daha az olduğu için daha düşük değer almıştır. En yüksek sürtünme kuvveti TiN kaplı kesici uçlarda elde edilmiştir.

- b) Akustik emisyon, bir malzemeye dışarıdan uygulanan kuvvetler sonucu malzeme içinde oluşan gerilmelerin çıkardığı ses dalgalarıdır. Buna göre en yüksek iç gerilme sertleştirilmiş, tetragonal martenzitik yapıya sahip çelikte, sonra CrN'de ve en düşük gerilme değeri de TiN'lü kaplamada elde edilmiştir.
- c) Aşınma yolu boyunca, her üç malzemenin de sürtünme katsayısı artma göstermiştir. Sürtünme katsayısının TiN ve CrN kaplı kesici uçlarda birbirine yakın, fakat sertleştirilmiş çelikten yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- d) Sertleştirilmiş çelik kritik adhezyon yükü göstermemiştir. CrN kaplama, TiN kaplamaya göre daha yüksek yüklerde adhezyon bozukluğu ve delaminasyona uğramaktadır.
- Sabit yük altında alınan adhesiv aşınma sonuçları;
 - a) 40 m aşınma yolu sonunda, en yüksek sürtünme katsayısı sertleştirilmiş çelikte, ardından CrN kaplamalı uçta ve en düşük sürtünme katsayısı TiN kaplanan uçta elde edilmiştir. Sertleştirilmiş çeliğin sabit yük altında sürtünme katsayısının sürekli yüke göre arttığı; CrN kaplamanın ilk 2 m'de pik oluşturup sonra sabit kaldığı; TiN kaplamada ise deney boyunca sürtünme katsayısının değişmediği gözlemlenmiştir.
 - b) Sertleştirilmiş çelikte kuru metal-metal sürtünmesi sonucu oluşan aşınma oluklarının geniş olduğu, malzemedan sürtünme esnasında kopan parçacıkların sayıca az olduğu; dolayısı ile kopup oksitlendikten sonra yüzeyde tekrar kazıma etkisi gösteren partiküllerin sayıca az olduğu tespit edilmiştir.
 - c) TiN kaplı kesici uçta kuru metal-metal sürtünmesi sonucu oluşan aşınma oluklarının belirgin olmadığı, adhesiv aşınmanın sınırlı ölçülerde gerçekleştiği, malzemedan sürtünme esnasında kopan parçacıkların ve oksitlendikten sonra yüzeyde tekrar kazıma etkisi gösteren partiküllerin sayıca az olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.
 - d) CrN kaplı kesici takımında ise belirli aralıklarda olukların oluştuğu, adhesiv aşınmanın sınırlı ölçülerde gerçekleştiği ve oksitlendikten sonra yüzeyde tekrar kazıma etkisi gösteren partiküllerin sayıca fazla olduğu sonuçlarına varılmıştır.
 - e) Aşınan bölgelerin EDS analizlerinde; sertleştirilmiş çelik ve CrN kaplı kesici uçta aşındırıcı kürenin ana elementi olan W metalinin izlerine rastlanılmıştır.

- f) Sertleştirilmiş çelik uçlar en hızlı aşınan uçlar olurken, en düşük aşınma değeri CrN kaplı kesici uçlarda elde edilmiştir.
- Abrasiv aşınma deneyinde uygulanan 10 N, 20 N, 30 N ve 40 N yükler altında oluşan ağırlık kayıplarının incelenmesinde; genel olarak, her bir kesici uç için yük oranı arttıkça ağırlık kaybının arttığı gözlemlenmiştir.
 - a) 10 N yükte; sertleştirilmiş çelik, TiN ve CrN kaplı kesici kalemlere göre en çok aşınandır.
 - b) 20 N - 30 N yükte; her üç kesici kalemde, başlangıçta aşınmanın çok hızlı gerçekleştiği bu şiddetin daha sonra giderek düştüğü ve deneyin daha sonraki bölümünde tekrar hızlandığı gözlemlenmiştir.
 - c) 40 N yükte, otomat çeliğine karşı yapılan deneyde, aşınmanın sürekli arttığı ve şiddetinin 500 m'den sonra özellikle sertleştirilmiş çelik ve CrN için daha belirgin derecede artma gösterdiği tespit edilmiştir.
 - d) Aşınmış bölgenin mikroyapı analizinde; sertleştirilmiş çelik, TiN ve CrN'lü kaplı kesici kalemlerde, otomat çeliğinin kimyasal bileşiminde bulunan Mn elementinin izlerine rastlanmıştır.
 - On-line izleme aşınmada amaç talaş kaldırılan yüzeyden elde edilen verilerle, kesici uçlarda oluşan aşınmayı ölçmektir. Farklı devirlerde yapılan aşınma deneyleri sonucunda;
 - a) Düşük devirde (18 m/dak.) en az aşınan TiN kaplı kesici uç olmuştur. Diğer yandan CrN kaplı kesici uçla yapılan deney sonunda kopma ve kırılmanın yanında, uç kısmında sıvanmalar gözlemlenmiştir.
 - b) Devrin 25 m/dak.'ya yükselmesi ile, piklerdeki şiddetin hafif arttığı görülmüştür. Bu da kesici uçta mikro kırık ve kopmaların meydana geldiği noktaları işaret etmektedir. CrN kaplamalı uçta en az aşınma, TiN ve sertleştirilmiş kesici uçta ise büyük oranlarda mikro kırılma, kopma ve sıvanmaların bulunduğu tespit edilmiştir.
 - c) En yüksek devirde voltaj değişim şiddeti yüksek olurken, bu da talaş kaldırılan otomat çelik yüzeyinde, diğer düşük devirlere göre pürüzlülüğü artırmaktadır. CrN'lü kesici kalemde yüzeyde mikro kırılmalar ve sıvanmalar, TiN'de krater tipi kırılmalar, sertleştirilmiş çelikte ise mikro kopmalar gözlemlenmiştir.

- Takım ömrü, geleneksel olarak iki bileme arasında ya da iki uç değiştirme arasında geçen zaman olarak tanımlanır. Sertleştirilmiş martenzitik elik kesici uç için 0,49, TiN ile CrN kesici uçların takım ömrü “n”, 0,50 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar seramik kaplama için Taylor üssü “n” alt değerleri düzeyinde bulunmaktadır. Elde edilen bu sonuç, daha önce gerçekleştirilen ve yayımlanan birçok bilimsel araştırmalarda ulaşılan sonuçlarla iyi bir uyum göstermektedir.

9.2 Öneriler

1. Bu çalışmada kullanılan ve ana malzeme olan DIN115CrV3 soğuk iş takım çeliği üzerine birden fazla (ok katmanlı) veya nano ölçekte TiN, CrN ya da başka kaplamalar yapılarak, mikroyapı ve aşınma özellikleri incelenebilir ve daha sonra bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılabilir.

2. Farklı malzemelere seramik kaplamalar (örneğin TiCN) yapılarak, mikroyapı ve aşınma özellikleri incelenebilir ve yine bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Aihua, L., Jianxina, D., Haibinga, C., Juna, Z. and Yangyanga, C., 2012, Friction and wear properties of TiN, TiAlN, AlTiN and CrAlN PVD nitride coatings, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 31, 82-88.
- [2] Akbayır, Ö., 2005, Katı ortamda borlanmış AISI 1030 çeliğinde işlem parametrelerinin yüzey ve aşınma özelliklerine etkisi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
- [3] Akkaş, O., 1998, TiN kaplama parametrelerinin, aşınma davranışı üzerindeki etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [4] Akkurt, M., 2011, Talaş Kaldırma Bilimi ve Teknolojisi CNC Takım Tezgahları ve Üretim Otomasyonu, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [5] Arndt, M. and Kacsich, T., 2003, Performance of new AlTiN coatings in dry and high speed cutting, *Surface and Coatings Technology*, 163-164, (1), 674–680.
- [6] ASM Handbook, 1991, Heat Treating, 4, 10. ed., USA, 2173.
- [7] Bach, F.-W. and Duda, T., 2000, *Moderne Beschichtungsverfahren*, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 85-95.
- [8] Badisch, E., Fontalvo, G.A., Stoiber, M. and Mitterer, C., 2003, Tribological behavior of PACVD TiN coatings in the temperature range up to 500°C, *Surface and Coatings Technology*, 163–164, 585–590.
- [9] Batista, J.C.A., Joseph, M.C. and Godoy, C., 2001, Micro-abrasion wear testing of PVD TiN coatings on untreated and plasma nitrided AISI H13 steel, *Wear*, 249, (10-11), 971-979.
- [10] Bermingham, M.K., 2001, New observations on tool life, cutting force sand chip morphology, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 51, 500-511.
- [11] Bhatt, A., Attia, M.H., Vargas, R. and Thomson, V., 2010, Wear mechanisms of WC coated and uncoated tools in finish turning of Inconel 718, *Tribology International*, 43, 1113-1121.
- [12] Bingas, J.E., 2004, *Handbook Comparative World Steel Standards*, 4.ed., USA, 663.
- [13] Birol, Y. and İşler, D., 2011, Abrasive wear performance of AlCrN-coated hot work tool steel at elevated temperatures under three-body regime, *Wear*, 270, (3-4), 281-286.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- [14] Bitterlich, B., Bitsch, S. and Friederich, K., 2008, SiAlON based ceramic cutting tools, *Journal of the European Ceramic Society*, 28, (5), 989-994.
- [15] Bouzakis, K.D., Michailidis, N., Hadjiyiannis, S., Efstathiou, K., Pavlidou, E., Erkens, G., Rambadt, S. and Wirth, I., 2001, Improvement of PVD coated inserts cutting performance, through appropriate mechanical treatments of substrate and coating surface, *Surface and Coatings Technology*, 146-147, 443-450.
- [16] Bouzakis, K.D., Skordaris, G., Gerardis, S., Katirtzoglou, G., Makrimallakis, S., Pappa, M., Lill, E. and Saoubi, R.M., 2009, Ambient and elevated temperature properties of TiN, TiAlN and TiSiN PVD films and their impact on the cutting performance of coated carbide tools, *Surface & Coatings Technology*, 204, (6-7), 1061-1065.
- [17] Bouzakis, K.D., Skordaris, G., Gerardis, S., Kattirtzoglou, G., Makrimallakis, S., Pappa, M., Bolz, S. and Koelker, W., 2010, The effect of substrate pretreatments and HPPMS-deposited adhesive interlayers' material on the cutting performance of coated cemented carbide inserts, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 59, (1), 73-76.
- [18] Bressan, J.D., Hesse, R. and Silva, E.M., 2001, Abrasive wear behavior of high speed steel and hard metal coated with TiAlN and TiCN, *Wear*, 250, (1-12), 561-568.
- [19] Bull, S.J., 1999, Can scratch testing be used as a model for the abrasive wear of hard coatings?, *Wear*, 12, 233-235, 421-423.
- [20] Buytoz, S., 2004, AISI 4340 çeliğinin nitrürasyon ve GTA kaynak yöntemi ile yüzey modifikasyonu işlemleri sonrası mekaniksel davranışlarının araştırılması, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Doktora Tezi*.
- [21] Buytoz, S. and Yıldırım, M.M., 2010, Microstructure and abrasive wear properties of $M(Cr,Fe)_7C_3$ carbides reinforced high-chromium carbon coating produced by gas tungsten arc welding (GTAW) process, *Archives of Foundry Engineering*, 54, (1), 279-286.
- [22] Byrne, G., Dornfeld, D. and Denkena, B., 2003, Advancing Cutting Technology, STC "C" Keynote, *CIRP Annals*, 52, 483-507.
- [23] Cai, F., Huang, X., Qi, Y., Wei, R. and Nagy, D., 2010a, Microstructure and tribological properties of CrN and CrSiCN coatings, *Surface and Coatings Technology*, 205, (1), 182-188.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- [24] Cai, F., Qi, Y., Huang, X. and Wei, R., 2010b, Microstructure and Corrosion Behavior of CrN and CrSiCN Coating, ASM International, 19, 721-727.
- [25] Cairney, J.M., Harris, S.G., Munroe, P.R. and Doyle, E.D., 2004, Transmission electron microscopy of TiN and TiAlN thin films using specimens prepared by focused ion beam milling, Surface and Coatings Technology, 183, (2-3), 239-246.
- [26] Camuscu, N. and Aslan, E., 2005, A comparative study on cutting tool performance in end milling of AISI D3 tool steel, Journal of Materials Processing Technology, 170, (1-2), 121-126.
- [27] Canteli, J.A., Cantero, J.L., Marin, N.C., Gomez, B., Gordo, E. and Miguelez, M.H., 2010, Cutting performance of TiCN–HSS cermet in dry machining, Journal of Materials Processing Technology, 210, (1), 122-128.
- [28] Chakraborty, P.A., Asfour, S., Cho, S., Onar, A. and Lynn, M., 2008, Modeling tool wear progression by using mixed effects modeling technique when end-milling AISI 4340 steel, Journal of Materials Processing Technology, 205, (1-3), 190-202.
- [29] Cho, C.-W. and Lee, Y.-Z., 2000, Wear-life evaluation of CrN-coated steels using acoustic emission signals, Surface and Coatings Technology, 127, 59-65.
- [30] Chou, Y.K. and Evans, C.J., 1997, Tool wear mechanism in continuous cutting of hardened tool steels, Wear, 212, 59-65.
- [31] Chouldhury, S.K., Jain, V.K. and Rao, V.V.R., 1999, On-line monitoring of tool wear in turning using a neural network, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 39, (3), 489-504.
- [32] Çakan, A., 2006, AISI 1070 Çeliğinden üretilen işlemsiz, yüzey işlemlili ve sert yüzey kaplamalı kesici takımların mekanik özelliklerinin, mikroyapı ve kesme performanslarının incelenmesi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ, 126.
- [33] Çakan, A., 2011 Real-Time monitoring of flank wear behavior of ceramic cutting tool in turning hardened steels, International Journal Advanced Manufacturing Technology, 52, (9-12), 897-903.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- [34] Çakan, A., Özkaner, V. and Yildirim, M.M., 2007, TiCN kaplamalı AISI 1070 çeliği kesici takımlarda farklı kesme koşullarında oluşan kuvvet değişimlerinin incelenmesi, Elazığ Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 5, (2), 61-66.
- [35] Çakan, A., Özkaner, V. and Yildirim, M.M., 2008a, Quantifying cutting and wearing behaviors of TiN-and CrN-coated AISI 1070 steel, Sensors, 8, (11), 6984-6998.
- [36] Çakan, A., Özkaner, V. and Yildirim, M.M., 2008b, Investigations into the cutting and wear characteristics of TiCN-CrN coated C80 Steels, Practical Metallography, 45, (6), 283-296.
- [37] Çakır, M.C., 1999, Modern Talaşlı İmalatın Esasları, Bursa, Birsen yayınevi, İstanbul, 323.
- [38] Çakır, M.C. and Isık, Y., 2005, Detecting tool breakage in turning AISI 1050 steel using coated and uncoated cutting tools, Journal of Materials Processing Technology, 159, (2), 191-198.
- [39] Davis, J.R., 1995, ASM Specialty Handbook: Tool Materials, ASM International, New York, 501.
- [40] Devillez, A., Schneider, F., Dominiak, S., Dudzinski, D. and Larrouquere, D., 2007, Cutting force and wear in dry machining of Inconel 718 with coated carbide tools, Wear, 262, 931-942.
- [41] Dimla, E., 2000, Sensor signals for tool-wear monitoring in metal cutting operations - a review of methods, International Journal of Machine, Tools and Manufacture, 40, (8), 1073-1098.
- [42] Dörfel, I., Österle, W., Urban, I., Bouzy, E. and Morlok, O., 1999a, Microstructural characterization of binary and ternary hard coating systems for wear protection, Part I: Ti(CN)PACVD coatings, Surface and Coatings Technology, 111, (2-3), 199-209.
- [43] Dörfel, I., Österle, W., Urban, I., Bouzy, E. and Morlok, O., 1999b, Microstructural characterization of binary and ternary hard coating systems for wear protection, Part II: Ti(CN)PACVD coatings, Surface and Coatings Technology, 116-119, (9), 898-905.
- [44] Dubar, M., Dubois, A. and Dunar, L., 2005, Wear analysis of tools in cold forging: PVD versus CVD TiN coatings, Wear, 259, (7-12), 1109-1116.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- [45] Ducros, C., Benevent, V. and Sanchette, F., 2003, Deposition, characterization and machining performance of multilayer PVD coatings on cemented carbide cutting tools, *Surface and Coatings Technology*, 163-164, (1), 681-688.
- [46] Dyrda, K. and Sayer, M., 1999, Critical loads and effective frictional force measurements in the industrial scratch testing of TiN on M2 tool steel, *Thin Solid Films*, 355-356, 277-283.
- [47] Endrino, J.L., Fox-Rabinovich, G.S. and Gey, C., 2006, Hard AlTiN, AlCrN PVD coatings for machining of austenitic stainless steel, *Surface and Coatings Technology*, 200, (24), 6840-6845.
- [48] Fox-Rabinovich, G.S., Weatherly, G.C., Dodonov, A.I., Kovalev, A.I., Shuster, L.S., Veldhuis, S.C., Dosbaeva, G.K., Wainstein, D.L. and Migranov, M.S., 2004a, Nano-crystalline filtered arc deposited (FAD) TiAlN PVD coatings for high-speed machining applications, *Surface and Coatings Technology*, 177-178, (1), 800-811.
- [49] Fox-Rabinovich, G.S., Weatherly, G.C., Wilkinson, D.S., Kovalev, A.I. and Wainstein, D.L., 2004b, The role of chromium in protective alumina scale formation during the oxidation of ternary TiAlCr alloys in air, *Intermetallics*, 12, (2), 165-180.
- [50] Fua, L., Ling, S.-F. and Tseng, C.-H., 2007, On-line breakage monitoring of small drills with input impedance of driving motor, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 21, (1), 457-465.
- [51] Ghasempoor, A., Jeswiet, J. and Moore, T.N., 1999, Real time implementation of on-line tool condition monitoring in turning, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 39, (12), 1883-1902.
- [52] Goulart-Santos, S., Godoy, C. and Castro, M.M.R., 2008, Topographical analysis by 3-D profilometry in the study of the oxidation of Cr-N coated hard metal tools, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 26, (6), 555-562.
- [53] Guu, Y.Y., Lin, J.F. and Ai, C.-F., 1996a, The tribological characteristics of titanium nitride coatings, Part I, Coating thickness effects, *Wear*, 194, (1-2), 12-21.
- [54] Guu, Y.Y., Lin, J.F. and Ai, C.-F., 1996b, The tribological characteristics of titanium nitride coatings, Part II, Coating thickness effects, *Wear*, 194, (1-2), 22-29.
- [55] Hogmark, S.O., HSS Forum, 2011, Web: www.hssforum.com

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- [56] Holleck, H.S., 1995, Multilayer PVD coatings for wear protection, *Surface and Coatings Technology*, 76-77, 328-336.
- [57] Huang, Y. and Liang, S.Y., 2005, Effect of cutting conditions on tool performance in CBN hard turning, *Journal of Manufacturing Processes*, 7, (1), 10-16.
- [58] Imbeni, V., Martini, C., Lanzoni, E., Poli, G. and Hutchings, I.M., 2001, Tribological behaviour of multi-layered PVD nitride coatings, *Wear*, 251, (1-12), 997-1002.
- [59] İnçal, E., 2007, PVD yöntemi ile kaplanan HSS takım çeliklerinin karakterizasyonu ve aşınma dayanımının incelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 82.
- [60] İonbond, Coating, 2012, Web: www.ionbond.com.
- [61] Jeong, Y.G., Kang, M.C., Kim, J.S., Kim, K.H., Kim, W.G., Park, I.D. and Jun, Y.H., 2009, Mechanical behavior and cutting performance of nano-multi-layer $Ti_xAl_{1-x}N$ coated tools for high-speed machining of AISI D2 die steel, *Current Applied Physics*, 9, (3), S272-S275.
- [62] Kadirgama, K., Abou-El-Hossein, K.A., Noor, M.M., Sharma, K.V. and Mohammad, B., 2011, Tool life and wear mechanism when machining Hastelloy C-22HS, *Wear*, 270, (3-4), 258-268.
- [63] Karakaplan, A., 2011, Orta karbonlu alaşımsız bir çeliğe yüksek krom içerikli bir elektrotla yapılacak kaplamanın mikroyapı karakteristiklerinin incelenmesi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kütahya, 62 s.
- [64] Kataria, S., Kumar, N., Dash, S., Ramaseshan, R. and Tyagi, A.K., 2010, Evolution of deformation and friction during multimode scratch test on TiN coated D9 steel, *Surface & Coatings Technology*, 205, 922-927.
- [65] Khrais, S. and Lin, Y.J., 2007, Wear performance and tool performance of TiAl PVD coated inserts during machining of AISI 4140 steel, *Wear*, 262, (1-2), 64-69.
- [66] Kimura, A., Hasegawa, H., Yamada, K. and Suzuki, T., 2000, Metastable $Ti_{1-x}Al_xN$ films with different Al content, *Journal of Materials Science Letters*, 19, 601-602.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- [67] Klocke, F. and Krieg, T., 1999, Coated tools for metal cutting-features and applications, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 48, (2), 515-525.
- [68] Kopac, J., 1998, Influence of cutting material and coating on tool quality and tool life, *Journal of Materials Processing Technology*, 78, (1-3), 95-103.
- [69] Korkut, I., Kasap, M., Ciftci, I. and Seker, U., 2004, Determination of optimum cutting parameters during machining of AISI 304 austenitic stainless steel, *Materials & Design*, 25, (4), 303-305.
- [70] Kovalev, A.I., Wainstein, D.L., Rashkovskiy, A.Y., Fox-Rabinovich, G.S., Yamamoto, K., Veldhuis, S., Aguirre, M. and Beake, B.D., 2009, Impact of Al and Cr alloying in TiN-based PVD coatings on cutting performance during machining of hard to cut materials, *Vacuum*, 84, (1), 184-187.
- [71] Kuljanic, E. and Sortino, M., 2005, TWEM, a method based on cutting forces-monitoring tool wear in face milling, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45, (1), 29-34.
- [72] Kumar, A.S., Durai, A.R. and Sornakumar, T., 2003, Machinability of hardened steel using alumina based ceramic cutting tools, *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, 21, (3-4), 109-117.
- [73] Kurada, S. and Bradley, C., 1997, A review of machine vision sensors for tool condition monitoring, *Computers in Industry*, 34, (1), 55-72.
- [74] Kustasz, F.M., Fehrenbacher, L.L. and Komanduri, R., 1997, Nanocoatings on cutting tools for dry machining, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 46, (1), 39-42.
- [75] Lee, Y.-Z. and Jeong, K.-H., 1998, Wear-life diagram of TiN-coated steels, *Wear*, 217, 175-181.
- [76] Leyendecker, T., Lemmer, O., Esser, S. and Ebberink, J., 1991, The development of the PVD coating TiAlN as a commercial coating for cutting tools, *Surface & Coatings Technology*, 48, (2), 175-178.
- [77] Li, H.Z. and Li, X.P., 2002, Milling force prediction using a dynamic shear length model, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42, (2), 277-286.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- [78] Li, X. and Guan, X.P., 2004, Time-frequency-analysis-based minor cutting edge fracture detection during end milling, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 1485-1496, (6), 1485-1496.
- [79] Liew, W.Y.H., 2010, Low-speed milling of stainless steel with TiAlN single-layer and TiAlN/AlCrN nano-multilayer coated carbide tools under different lubrication conditions, *Wear*, 269, (7-8), 617–631.
- [80] Lin, T.R., 2002, Cutting behavior of a TiN-coated carbide drill with curved cutting edges during the high-speed machining of stainless steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 127, (1), 8-16.
- [81] Lin, Y.J., Agrawal, A. and Fang, Y., 2008, Wear progressions and tool life enhancement with AlCrN coated inserts in high-speed dry and wet steel lathing, *Wear*, 264, (2-3), 226-234.
- [82] Lüthje, H., Bandorf, R., Biehl, S. and Stint, B., 2004, Thin film sensor for wear detection of cutting tools, *Sensors and Actuators A*, 116, 133-136.
- [83] Major, L., Tirry, W. and Tendeloo, G.V., 2008, Microstructure and defect characterization at interfaces in TiN/CrN multilayer coatings, *Surface & Coatings Technology*, 202, (24), 6075-6080.
- [84] Mattox, D.M., 1998, *Handbook of Physical Vapour Deposition (PVD) Processing*, Noyes publications, Westwood NJ.
- [85] Mayrhofer, P.H., Mitterer, C., Hultman, L. and Clemens, H., 2006, Microstructural design of hard coatings, *Progress in Materials Science*, 51, (8), 1032-1114.
- [86] Mercs, D., Briois, P., Demange, V., Lamy, S. and Coddet, C., 2007, Influence of the addition of silicon on the structure and properties of chromium nitride coatings deposited by reactive magnetron sputtering assisted by RF plasmas, *Surface & Coatings Technology*, 201, (16-17), 6970-6976.
- [87] Mo, J.L. and Zhu, M.H., 2009, Sliding tribological behaviors of PVD CrN and AlCrN coatings against Si₃N₄ ceramic and pure titanium, *Wear*, 267, (5-8), 874-881.
- [88] Moreno, H., J.C. Caicedo, Amaya, C., Munoz-Saldana, J., Yate, L., Esteve, J. and Prieto, P., 2010, Enhancement of surface mechanical properties by using TiN[BCN/BN]_n/c-BN multilayer system, *Applied Surface Science*, 257, (3), 1098-1104.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- [89] Mukherjee, I.R. and Ray, P.K., 2006, A review of optimization techniques in metal cutting processes, *Computers & Industrial Engineering*, 50, (1-2), 15-34.
- [90] Navinšek, B., Papjan, P. and Milošev, I., 1997, Industrial applications of CrN (PVD) coatings, deposited at high and low temperatures, *Surface & Coatings Technology*, 97, (1-3), 182–191.
- [91] Nordin, M., Sundström, R., Selinder, T.I. and Hogmark, S., 2000, Wear and failure mechanisms of multilayered PVD TiN/TaN coated tools when milling austenitic stainless steel, *Surface and Coatings Technology*, 133-134, (11), 240-246.
- [92] Novak, S. and Komac, M., 1997, Wear of cermet cutting tools coated with physically vapour deposited TiN, *Wear*, 205, (1-2), 160-168.
- [93] Novak, S., Soković, B., Navinšek, B., Komac, M. and Praček, B., 1997, On the wear of TiN (PVD) coated cermet cutting tools, *Vacuum*, 48, (2), 107-112.
- [94] Okada, M., Hosokawa, A., Tanaka, R. and Ueda, T., 2011, Cutting performance of PVD-coated carbide and CBN tools in hardmilling, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 51, (2), 127-132.
- [95] Oraby, S.E. and Hayhurst, D.R., 2004 Tool life determination based on the measurement of wear and tool force ratio variation, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 44, (12-13), 1261–1269.
- [96] Özçelik, Ticaret, 1.2210 DIN115CrV3, Soğuk İşTakım Çelikleri 2013, Web: <http://ozct.com.tr>.
- [97] Özdemir, U. ve Erten, M., 2003, Talaşlı imalat sırasında kesici takımında meydana gelen hasar mekanizmaları ve takım hasarını azaltma yöntemleri, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi* 1, (1), İstanbul, 37-50.
- [98] Özgür, A.E., Yalçın, B. and Kuru, M., 2009, Investigation of the wear performance and thermal diffusivity properties of M41 tools steel coated with various film coatings, *Materials & Design*, 30, (2), 414-417.
- [99] Paldey, S. and Deevi, S., 2003, Single layer and multilayer wear resistant coatings of (Ti,Al)N: a review, *Materials Science and Engineering A*, 342, (1-2), 58-79.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- [100] Petrov, I., Barna, P.B., Hultman, L. and Greene, J.E., 2003, Microstructural evolution during film growth, *Journal of Vacuum Science and Technology A*, 21, (5), 117-128.
- [101] Polcar, T., Kubart, T., Novák, R., Kopecký, L. and Široký, P., 2005, Comparison of tribological behaviour of TiN, TiCN and CrN at elevated temperatures, *Surface & Coatings Technology*, 193, (1-3), 192-199.
- [102] Prengela, H.J., Jindal, P.C., Wendt, K.H., Santhanam, A.T., Hegde, P.L. and Penich, R.M., 2001, A new class of high performance PVD coatings for carbide cutting tools, *Surface & Coatings Technology*, 139, (1), 25-34.
- [103] Rebholz, C., Leyland, A. and Matthews, A., 1999, Deposition and characterisation of TiAlBN coatings produced by direct electron-beam evaporation of Ti and Ti-Al-B-N material from a twin crucible source, *Thin solid films*, 343-344, (4), 242-245.
- [104] Rech, J., Kusiak, A. and Battaglia, J.L., 2004, Tribological and thermal functions of cutting tool coatings, *Surface & Coating Technology*, 186, (3), 364-371.
- [105] Rivero, A.L., Lacalle, L.N.L.d. and Penalva, M.L., 2008, Tool wear detection in dry high-speed milling based upon the analysis of machine internal signals, *Mechatronics*, 18, (10), 627-633.
- [106] Rodriguez, R.J., J.A.Garcia, Medrano, A., Rico, M., Sanchez, R., Martinez, R., Labrugere, C., Lahaye, M. and Guette, A., 2002, Tribological behaviour of hard coatings deposited by arc-evaporation PVD, *Vacuum*, 67, 559-566.
- [107] Santos, S.C., Sales, W.F., Silva, F.C.D., Franco, S.D. and Silva, M.B.D., 2004, Tribological characterisation of PVD coatings for cutting tools, *Surface & Coatings Technology*, 184, (2-3), 141-148.
- [108] Savaş, S., 2004, PVD metodu ile TiN kaplanmış S 6-5-2 yüksek hız çeliğinin aşınma davranışlarının incelenmesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Erciyes Üniversitesi, Yüksek Lisans, Erciyes.
- [109] Schumann, H., 1964, *Metallographie*, Leipzig, VEB Deutscher Verlag Für Grundstoffindustrie.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- [110] Selinder, T.I., Sjöstrand, M.E., Nordin, M.E., Larsson, M., Östlund, A. and Hogmark, S., 1998, Performance of PVD TiN/TaN and TiN/NbN superlattice coated cemented carbide tools in stainless steel machining, *Surface & Coatings Technology*, 105, (2), 51-55.
- [111] Shinn, M.H., 1992, Growth, structure, and microhardness of epitaxial TiN/NbN superlattices, *Journal of Materials Research*, 7, 901-911.
- [112] Sproul, W., 1994, Multilayer, multicomponent, and multiphase physical vapor deposition coatings for enhanced performance, *Journal of Vacuum Science & Technology A*, 12, 1595-1601.
- [113] Stackowiak, G.B., Stackowiak, G.W. and Brandt, J.M., 1994, Wear behaviour of ceramic cutting tools, *Key Engineering Materials*, 96, 137-164.
- [114] Stackowiak, G.B., Stackowiak, G.W. and Brandt, J.M., 2006, Ball-cratering abrasion tests with large abrasive particles, *Tribology International*, 39, (1), 1-11.
- [115] Stallard, J., Poulat, S. and Teer, D.G., 2006, The study of the adhesion of a TiN coating on steel and titanium alloy substrates using a multi-mode scratch tester, *Tribology International*, 39, 159-166.
- [116] Steinebrunner, J., Emmerich, T., Heck, S., Munder, I. and Steinbuch, R., 1996, A novel impact tester operating at elevated temperatures for characterising hard coatings, *Surface & Coatings Technology*, 86-87, (2), 748-752.
- [117] Steyer, P.H., Mege, A., Pech, D., Mendibide, C., Fontaine, J., Pierson, J.F., Esnouf, J.P. and Goudeau, J.P., 2008, Influence of the nanostructuring of PVD hard TiN-based films on the durability of coated steel, *Surface & Coatings Technology*, 202, (11), 2268-2277.
- [118] Şen, S. and Şen, U., 2008, Sliding wear behavior of niobium carbide coated AISI 1040 steel, *Wear*, 264, (3-4), 219-225.
- [119] Tarrés, E., Ramírez, G., Gaillard, Y., Jiménez-Piqué, E. and Llanes, L., 2009, Contact fatigue behavior of PVD-coated hardmetals, *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, 27, (2), 323-331.
- [120] Tjong, S.C. and Chen, H., 2004, Nanocrystalline materials and coatings, *Materials Science & Engineering*, 45, (1-2), 1-88.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- [121] Tonshoff, H.K., Arendt, C. and Amor, R.B., 2000, Cutting of hardened steel, CIRP Annals, 49, (2), 547-566.
- [122] Torres, R.D., Soares, P.C., Schmitz, C. and Siqueira, C.J.M., 2010, Influence of the nitriding and TiAlN/TiN coating thickness on the sliding wear behavior of duplex treated AISI H13 steel, Surface & Coatings Technology, 205, (5), 1381-1385.
- [123] Töre, C., 2007, Mekanik Tasarımda Çelik ve Özellikleri, Ankara, Türkiye Makina Mühendisleri Odası, 328.
- [124] Türküz, M.C., 1997, Ark PVD yöntemiyle TiN kaplanmış kesici takımların karakterizasyonu ve performanslarının incelenmesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [125] Ulrich, S., Holleck, H., Leiste, H., Niederberger, L., Nold, E., Sell, K., Stüber, M., Ye, J., Ziebert, C., Pesch, P., and Sattel, S., 2005, Nano-scale, multi-functional coatings in the material system B-C-N-H, Surface & Coatings Technology, 200, (10), 7-13.
- [126] Uluğ, D. and Dilipak, H., 2012, Kaplamalı ve kaplamasız sementit karbür takımlar için takım ömrü modeli'ndeki "N" üstel değerinin deneysel olarak araştırılması, 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, 04-05 Eylül 2012, Bildiri Kitabı, Ankara, 251-258.
- [127] Ünlü, B.S., Yılmaz, M. and Atik, E., 2005, Isıl işlem görmüş bazı pulluk uç demirlerinin aşınma dayanımlarının incelenmesi, Soma Teknik Bilimler Yayınları MYO, 3, 76-83.
- [128] Veprek, S. and Argon, A.S., 2001, Mechanical properties of superhard nanocomposites, Surface & Coatings Technology, 146-147, 175-182.
- [129] Voevodin, A.A., Zabinski, J.S. and Muratore, C., 2005, Recent advances in hard, tough, and low friction nanocomposite coatings, Tsinghua Science and Technology, 10, (6), 665-679.
- [130] Wang, D.Y., Chang, C.L., Wong, K.W., Li, Y.W. and Ho, W.Y., 1999, Improvement of the interfacial integrity of (Ti,Al)N hard coatings deposited on high speed steel cutting tools, Surface & Coatings Technology, 120-121, 388-394.
- [131] Warcholinski, B. and Gilewicz, A., 2009, Tribological properties of CrN_x coatings, JAMME, Journal of Achievements in Materials & Manufacturing Engineering, 37, (2), 498-504.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- [132] Wiklund, U.R., Rubino, S., Kádas, K., Skorodumova, N.V., Eriksson, O., Hedberg, S., Collin, M., Olsson, A. and Leifer, K., 2011, Experimental and theoretical studies on stainless steel transfer onto a TiN-coated cutting tool, *Acta Materialia*, 59, (1), 68-74.
- [133] Williams, J.A., 2005, Wear and wear particles-some fundamentals, *Tribology International*, 38, 863-870.
- [134] Wilson, S. and Alpas, A.T., 1998, TiN coating wear mechanisms in dry sliding contact against high speed steel, *Surface & Coatings Technology*, 108-109, 369-376.
- [135] Yaltese, M.A., Chaoui, K., Zeghib, N., Boulanouar, L. and Rigal, J.F., 2009, Hard machining of hardened bearing steel using cubic boron nitride tool, *Journal of Material Process Technology*, 209, (2), 1092-1104.
- [136] Yao, S.H. and Su, Y.L., 1997, The tribological potential of CrN and Cr(C,N) deposited by multi-arc PVD process, *Wear*, 212, (1), 85-94.
- [137] Yıldırım, M.M., 1983, Malzeme Bilgisi -I-, Temel Malzeme Bilgileri II. Baskı, Elazığ, Mühendislik Fakültesi Basımevi, 59-82.
- [138] Yıldırım, M.M., Buytoz, S. and Ulutan, M., 2007, Microstructural Changes an SiC Coated Metallic Surfaces Produced by the TIG Welding Process on a 45Mn5 Steel, *Practical Metallography*, 44, (2), 59-69.
- [139] Yıldırım, M.M. and Çakan, A., 2011, Mühendislik Malzemeleri I, düzeltilmiş 2. baskı, Kütahya, Kampus Yayıncılık, DPÜ Dumlupınar Üniversitesi, 93-132.
- [140] Yıldırım, M.M., Doğantan, Z.S., Pakdil, M. and Çakan, A., 2001, Mühendislik malzemeleri I, Mustafa Kemal Üniversitesi Yayınları, 9/3, İskenderun, 95-135.
- [141] Yıldırım, M.M., Doğantan, Z.S., Çakan, A. and Pakdil, M., 2001, Mühendislik malzemeleri II, Mustafa Kemal Üniversitesi Yayınları, 11/5, İskenderun, 21-28.
- [142] Yıldırım, M.M. and Öteyaka, M.Ö., 2012, Mechanical and metallographical characterisation of DIN 115CrV3 steel as a potential candidate for cutting tools, 14th International materials symposium, Proceeding, 10-12 October 2012, Pamukkale University, Denizli/Turkey, 753-759.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

[143] Yıldırım, M., 1991, C 40 çeliğinde alevle yüzey sertleştirme işlemi ve uygulamalarda karşılaşılan sorunlar, 4. Denizli Malzeme Sempozyumu, Bildiri Kitabı, Denizli, 539-551.

[144] Yuefeng, Y., Wuyi, C. and Liansheng, G., 2010, Tool materials rapid selection based on initial wear, Chinese Journal of Aeronautics, 23, (3), 386-392.

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Bilecik İli'nin Söğüt İlçesi'nde doğdu. Lise eğitimini Ankara Anadolu Lisesi'nde tamamladı. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programı'ndan 2000 yılında başarıyla mezun oldu. 2003 yılında, Laval Üniversitesi'nde Metalurji ve Malzeme Anabilim Dalı'nda yüksek lisansını tamamladı. 2003-2006 yılları arasında Rio-Tinto, QIT Iron and Titanium Firma'sında "Yüksek Mühendis" olarak çalıştı. 2009-2010 bahar döneminde, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü'nün açmış olduğu doktora programına başladı. Öteyaka halen Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü'nde 2006 yılından beri "Araştırma Görevlisi" olarak çalışmaktadır. Kendisi evli olup, yabancı dili Fransızca ve İngilizce'dir.