



**AlTiCN VE CrCN İNCE FİMLERİ İLE KAPLANMIŞ
TUNGSTEN KARBÜR KESİCİ TAKIM MALZEMESİNİN
TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN VE TALAŞLI İMALAT
PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ**

Fırat DURLU
Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Fatih YILDIZ
2021
Her hakkı saklıdır.



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**AlTiCN VE CrCN İNCE FİLMLERİ İLE KAPLANMIŞ TUNGSTEN
KARBÜR KESİCİ TAKIM MALZEMESİNİN TRİBOLOJİK
ÖZELLİKLERİNİN VE TALAŞLI İMALAT PERFORMANSLARININ
İNCELENMESİ**

Fırat DUMLU

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fatih YILDIZ

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

Erzurum

2021

Her hakkı saklıdır

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki tüm bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

27 / 07 / 2021

İmzası

Fırat DURLU

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AlTiCN VE CrCN İNCE FİLMLERİ İLE KAPLANMIŞ TUNGSTEN KARBÜR KESİCİ TAKIM MALZEMESİNİN TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN VE TALAŞLI İMALAT PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

Fırat DUMLU

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Fatih YILDIZ

Bu tez çalışmasında, AlTiCN ve CrCN seramik ince filmleri ile kaplanmış Tungsten Karbür (WC) kesici takımlarının tribolojik özellikleri ve CNC dik işleme merkezi ve torna tezgâhları kullanılarak talaşlı imalat performansları incelenmiştir. Kaplamalar; Tungsten Karbür malzemedan imal edilmiş olan parmak frezeler, torna takımları ve 12x12x5 mm ebatlarındaki deney numunelerine Katodik Ark Fiziksel Buhar Kaplama (KAFBK) yöntemi ile büyütülmüştür. Uygulanan kaplamaların yapısal, mekanik ve tribolojik özellikleri deney numuneleri üzerinde yapılan X-Işını Kırınım Ölçer (XRD), Mikrosertlik Cihazı, Tribometre Cihazı ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile belirlenmiştir. Ayrıca kaplanmış ve kaplanmamış takımların kesme ve aşınma performanslarının belirlenebilmesi için 1.2738 plastik enjeksiyon kalıp çeliği (IMPAX) iş parçası, CNC dik işleme merkezinde yüksek hızda kuru işleme ve CNC torna tezgâhında soğutucu sıvı kullanılarak işlenmiştir. İşlenen geometrilerin CAM kodları SolidCAM programı kullanılarak oluşturulmuştur. Frezeleme işlemi için iMachining operasyonu tercih edilmiş ve programda kesme hızı, ilerleme ve yana kayma değerleri; geometri, takım ve iş parçası malzemesine göre otomatik ve değişken olarak belirlenmiştir. Yapılan talaşlı işleme sonrası, takımların aşınma davranışları Taramalı Elektron Mikroskobu ve kütle kaybı yöntemi ile incelenmiştir. Kesme işlemi sonrasında iş parçası yüzey pürüzlülük değerleri optik profilometre cihazı belirlenmiştir. Yapılan bu testlerde elde edilen sonuçlara göre; AlTiCN'nin CrCN'ye kıyasla adezyon değerinin daha yüksek olduğu belirlenmiş olmakla beraber aşınma oranının da daha düşük olduğu gözlenmiştir. Talaşlı imalat işlemleri sonrası takımlardan AlTiCN kaplamalı takımın gerek kütle kaybı gerekse yan kenar aşınması bakımından daha üstün özelliklere sahip olduğu saptanmıştır.

2021, 60 sayfa

Anahtar Kelimeler: AlTiCN, CrCN, KAFBK, Takım, Aşınma, CNC, iMachining,

ABSTRACT

MS. Thesis

INVESTIGATION OF TRIBOLOGICAL PROPERTIES AND MECHANICAL PERFORMANCE OF TUNGSTEN CARBIDE CUTTING TOOL MATERIAL COATED WITH AlTiCN AND CrCN THIN FILMS

Fırat DUMLU

Erzurum Technical University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Fatih YILDIZ

In this thesis, the tribological properties of AlTiCN and CrCN coated Tungsten Carbide (WC) cutting tools and their machining performance in both CNC vertical machining center and CNC lathe were investigated. Coatings; were applied on end milling tools, lathe inserts and 12x12x5 mm sized test samples made of Tungsten Carbide material by Cathodic Arc Physical Vapor Deposition (CAPVD) method. The structural, mechanical and tribological properties of the applied coatings were determined by X-Ray Diffractometer (XRD), Microhardness Device, Tribometer Device and Scanning Electron Microscope (SEM) on the test specimens. In addition, in order to determine the cutting and wear performance of coated and uncoated tools, 1.2738 plastic injection mold steel (IMPAX) work piece was processed at high speed dry machining in a CNC vertical machining center and using coolant on a CNC lathe. CAM codes of the processed geometries were created by the SolidCAM program. The iMachining operation was preferred for the milling process and the cutting speed, feed rate and overlapping values in the program were determined automatically and variably according to the geometry, tool and work piece material. After machining, the wear behavior of the tools was investigated by SEM and mass loss method. After the cutting process, the surface roughness values of the work piece were determined by optic profilometer device. According to the results obtained in these tests; it was determined that AlTiCN has higher adhesion value compared to CrCN and the abrasion rate was also lower. It was determined that the tools with AlTiCN coating after machining processes have superior properties in terms of both mass loss and flank wear.

2021, 60 pages

Keywords: AlTiCN, CrCN, CAPVD, Tool, Wear, CNC, iMachining

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimi me baş lamama vesile olan ve çalışmalarım süresince engin tecrübesinden yararlanma fırsatı bulduğum saygıdeğer hocam Prof. Dr. Fatih YILDIZ'a minnet ve şükranlarımı sunarım.

Deneysel çalışmalarım sırasında yardım ve katkılarından ötürü Dr. Öğretim Üyesi İlyas HACISALİHOĞLU, Arş. Gör. Gürkan KAYA, Mak. Yük. Müh. Tefvik Oğuzhan ERGÜDER ve Öğr. Gör. Mustafa YAZICI'ya içtenlikle teşekkür ederim.

Deneylerde kullanılan takımların ve deney numunelerinin kaplamasını gerçekleştiren KAPCO Kaplama San. ve Tic. Ltd. Şti'ne desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Lisans ve Yüksek Lisans döneminde aldığım eğitimde katkıları bulunan Erzurum Teknik Üniversitesi Öğretim Üyelerine ve nihayetinde bu süreçte beni her zaman motive eden aileme teşekkür ederim.

Fırat DURLU

Temmuz 2021

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Aşınma	1
1.1.1. Aşınma mekanizmaları	3
1.1.1.1. Adesiv aşınma	3
1.1.1.2. Abraziv aşınma	4
1.1.1.3. Koroziv aşınma	5
1.1.1.4. Yorulma aşınması (Pitting)	5
1.1.1.5. Kazımalı aşınma (Fretting)	5
1.1.2. Yüzey işlemleri	5
1.1.2.1. Termal işlemler	6
1.1.2.2. Termokimyasal işlemler.....	6
1.1.2.3. Film kaplama işlemleri.....	7
1.1.2.3.1. Fiziksel buhar biriktirme yöntemi (PVD)	7
1.1.2.3.2. Kimyasal buhar biriktirme yöntemi (CVD).....	9
1.2. Talaşlı İmalat.....	9
1.2.1. Talaş oluşumu	10
1.2.2. Akıllı imalat işlemleri	11
1.2.2.1. iMachining operasyonu	12
1.3. Kesici Takımlar.....	13
1.3.1. Kesici takım ömrü.....	14
1.3.2. Kesici takım malzemeleri.....	15
1.4. Kesici takımlara uygulanan kaplamalar	16
2. KAYNAK ÖZETLERİ	19

3. MATERYAL ve YÖNTEM	27
3.1. Materyal	27
3.2. Yöntem.....	29
3.2.1. X ışını kırınım (XRD) analizleri	29
3.2.2 Kaplama kalınlığının belirlenmesi	29
3.2.3. Mikro sertlik ölçümleri	30
3.2.4. Çizik testi (Scratch Test)	31
3.2.5. Çok pasolu çizik testi (Multi-Pass Scratch Test)	31
3.2.6. Aşınma analizleri	32
3.2.7. Talaşlı imalat performans testleri.....	33
3.2.8. İş parçası yüzey pürüzlülük değerleri	37
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	38
4.1. X ışını kırınım (XRD) analizleri	38
4.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Kaplama Kalınlığı Ölçümü	39
4.3. Mikrosertlik Ölçümleri.....	39
4.4. Çizik Testi (Scratch Test).....	40
4.5. Çok Pasolu Çizik Testi (Multi-Pass Scratch Test).....	41
4.6. Aşınma Testi	44
4.7. Kesici Takımların Talaşlı İmalat Performansları	47
4.7.1. Freze takımlarının talaşlı imalat performansları	47
4.7.2. Torna takımlarının talaşlı imalat performansları.....	49
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	53
5.1. Sonuçlar	54
5.2. Öneriler	56
KAYNAKLAR	57
EKLER	60
EK 1.....	60

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
°	Derece
Å	Angström
λ	Dalga boyu
C	Malzeme sabiti
HV	Vickers sertlik değeri
m	Metre
μm	Mikron metre
n	Kesme parametresi
L_c	Kritik yük
s	Saniye
P	Basınç
T	Takım ömrü
V	Kesme hızı

Kısaltmalar

ASTM	Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım
CAM	Bilgisayar Destekli İmalat
CNC	Bilgisayar Sayısal Kontrol
COF	Sürtünme Katsayısı
CVD	Kimyasal Buhar Biriktirme
DIN	Alman Standartlar Enstitüsü
HSS	Yüksek Hız Çeliği
KAFBK	Katodik Ark Fiziksel Buhar Kaplama
PVD	Fiziksel Buhar Biriktirme
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	X Işını Difraktometresi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Kesici takımlar için ömür grafiği.....	2
Şekil 1.2. Başlıca üç tip aşınma eylemi.....	2
Şekil 1.3. Adeziv Aşınma.....	4
Şekil 1.4. Abraziv Aşınma	4
Şekil 1.5. Katodik ark fiziksel buhar kaplama yöntemi şematik gösterimi	8
Şekil 1.6. Ortogonal kesme modeli	11
Şekil 1.7. iMachining operasyonu ve klasik kesme simülasyonu	13
Şekil 3.1. Freze takımları	27
Şekil 3.2. Torna takımları.....	27
Şekil 3.3. X Işını kırınım (XRD) cihazı.....	29
Şekil 3.4. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	30
Şekil 3.5. Mikro sertlik ölçüm cihazı.....	30
Şekil 3.6. Tribometre test cihazı	31
Şekil 3.7. Profilometre cihazı	32
Şekil 3.8. CNC dik işleme merkezi.....	33
Şekil 3.9. CNC Torna tezgahı	34
Şekil 3.10. Dik işleme merkezinde kullanılan iş parçası	34
Şekil 3.11. iMachining operasyon parametreleri	35
Şekil 3.12. SolidCAM işleme adımları simülasyon görüntüleri	35
Şekil 3.13. CNC torna tezgâhında kullanılan iş parçası	36
Şekil 3.14. CNC torna tezgâhında talaş kaldırma sonrası iş parçasının görüntüsü	36
Şekil 3.15. Takımların yan kenar aşınma bölgeleri	37
Şekil 4.1. İşlemsiz, AlTiCN ve CrCN ile kaplanmış numunelerin XRD sonuçları.....	38
Şekil 4.2. Kaplama kalınlıkları	39
Şekil 4.3. Mikro sertlik değerleri	40
Şekil 4.4. AlTiCN kaplama için çizik testi sonuçları.....	40
Şekil 4.5. CrCN kaplama için çizik testi sonuçları	41
Şekil 4.6. Çok pasolu çizik testi sürtünme katsayıları grafikleri	42
Şekil 4.7. Çok pasolu çizik testi aşınma oranları	43
Şekil 4.8. Çok pasolu çizik testi izlerine ait SEM görüntüleri.....	44

Şekil 4.9. Aşınma testine ait sürtünme katsayısı-zaman grafiği	45
Şekil 4.10. Aşınma testine ait aşınma oranları grafiği	45
Şekil 4.11. Aşınma izlerine ait SEM görüntüleri	46
Şekil 4.12. Freze takımlarının işlem sonrası SEM görüntüleri	47
Şekil 4.13. Frezeleme işlemi sonrası iş parçası yüzey pürüzlülük değerleri	48
Şekil 4.14. Freze takımlarının talaş formu ve SEM görüntüleri	49
Şekil 4.15. Torna takımlarının işlem sonrası SEM görüntüleri	50
Şekil 4.16. Tornalama işlemi sonrası iş parçası yüzey pürüzlülük değerleri	51
Şekil 4.17. Torna takımlarının talaş formu ve SEM görüntüleri	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Başlıca Talaş Kaldırma Yöntemleri	11
Çizelge 3.1. Kaplama parametreleri	28
Çizelge 3.2. İş Parçası kimyasal bileşimi	28
Çizelge 3.3. Aşınma deneyi parametreleri	32
Çizelge 4.1. Çizik testi kritik yük değerleri	41
Çizelge 4.2. Freze takımların kütle kaybı sonuçları	48
Çizelge 4.3. Torna takımlarının kütle kaybı sonuçları	50

1. GİRİŞ

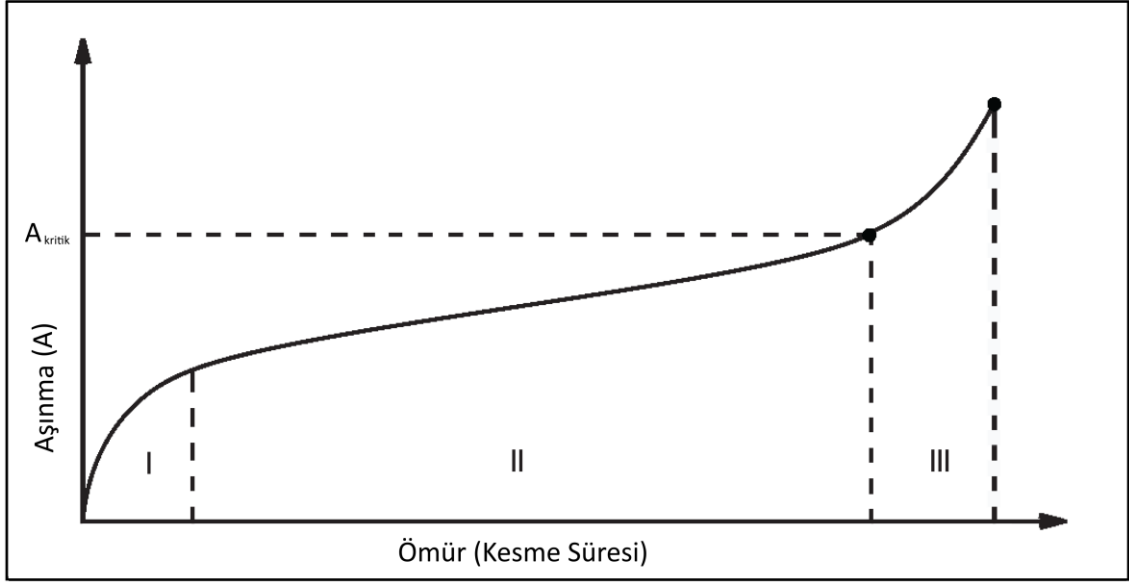
1.1. Aşınma

Geçmişten günümüze mühendislik uygulamalarında karşılaşılan en önemli sorunlardan birisi aşınma hasarıdır. Birbiri ile temas halinde çalışan malzemelerin arasında meydana gelen sürtünmelere bağlı olarak gelişen ve bir yüzeyden diğerine malzeme transferi ve/veya malzeme kaybı olarak adlandırılan aşınma, DIN 50320 standardında “kullanılan malzeme yüzeylerinden mekanik sebeplerle ufak parçaların ayrılması suretiyle meydana gelen değişiklik” diye tanımlanmıştır. Aşınmaya maruz kalmış olan malzemelerde geometrik anlamda hasarlar oluşmakta ve tasarım amaçlarını yerine getiremez hale gelmektedirler. Azalan çalışma ömrünün yanı sıra, üretimde verimin düşmesi ve iş güvenliği açısından risklerin yükselmesi de aşınmanın istenmeyen sonuçları arasında sayılabilir.

Makine elemanlarının çalışmaya başladığı andan itibaren işlevlerini yapamaz hale gelmelerine kadar geçen süre ömür olarak adlandırılmaktadır. Pratikte elemanların tamamen hasar oluşuncaya kadar kullanılmaları pek tercih edilmemektedir. Bu sebeple ömür sürelerini teorik olarak tahmin edebilmek için performans grafikleri geliştirilmiştir. Böylece malzemelerin aşınma sonucu ömürlerini pratik olarak tamamlamadan ne zaman müdahale edilebileceği yaklaşık olarak tahmin edilebilmektedir.

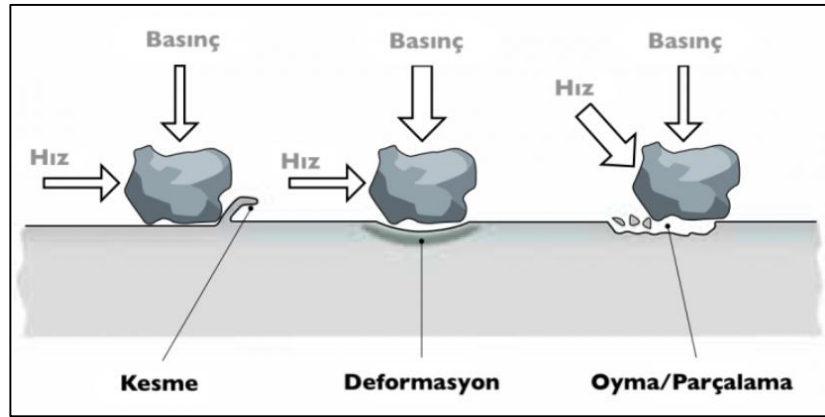
Şekil 1.1’de bir kesici takım için belirli bir ömür kriteri esas alınmak üzere takım ömrü grafiği şematik olarak verilmiştir. Grafikte “I” ile gösterilen bölüm karşıt malzemelerin temasa başladığı, aşınma diye adlandırılan ve aşınmanın yüksek olduğu ve çok kısa bir zaman dilimini temsil eden başlangıç periyodudur. “II” ile gösterilen bölüm denge durumunu temsil etmekte olup, sürekli düzgün aşınma bölgesi olarak adlandırılmaktadır. “III” ile gösterilen bölüm ise aşınmanın en üst seviyeye ulaştığı ivmelenen aşınma oranı periyodu olup, bu bölgenin sonunda takımda kırılma gözlenir. Belirlenen herhangi bir takım ömür kriterine göre (yan kenar aşınma genişliği gibi), sürekli düzgün aşınma bölgesinde kalmak kaydıyla kesici takım için kesme süresi tahmin edilebilir.

1. GİRİŞ



Şekil 1.1. Kesici takımlar için ömür grafiği

Aşınma, önceden tahmin edilebilen bir hasar türüdür. Aşınmaya maruz kalacak olan elemanlar için koruma yöntemleri uygulansa bile zamanla bu koruyucu tabakaların da bozulması ile yüzeylerin temas etme durumu gerçekleşmektedir. Bu temas ile oluşan sürtünmeler de tekrar aşınmaya sebep olabilmektedir. Şekil 1.2’de aşınmalarda genel olarak karşılaşılan kesme, deformasyon ve oyma/parçalama diye tanımlanan üç temel eylem görülmektedir.



Şekil 1.2. Başlıca üç tip aşınma eylemi (Anonymous,2021, n.d.)

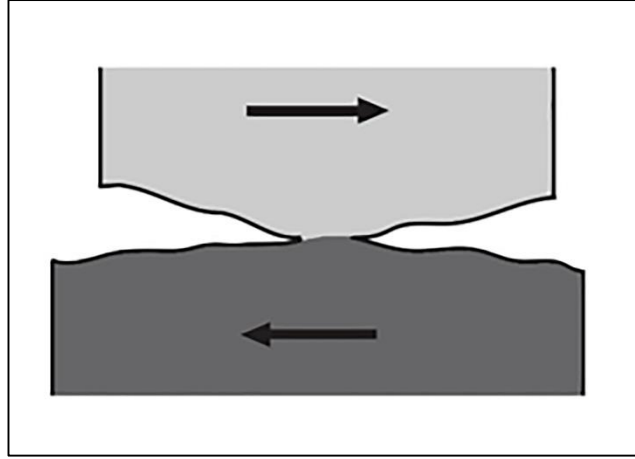
1.1.1. Aşınma mekanizmaları

Talaşlı imalatta aşınma; genellikle takım, iş parçası ve soğutucu akışkan arasındaki etkileşime katılan farklı etkenlerin bir sonucudur. Bu farklı etkenler arasındaki sinerji, verilen hizmet koşulları altında bir kesici takım malzemesinin aşınma türlerini belirler. Demir bazlı metal kesme işlemlerinde sementite karbür kesici takımların aşınması; abraziv ve adeziv aşınma, difüzyon ve oksidasyon olmak üzere dört farklı olaya bağlanabilir. En yaygın aşınma mekanizması olan abraziv aşınma, takım yüzeyinde hemen hemen her koşulda meydana gelir. Adezyon genellikle düşük kesme hızında gerçekleşirken difüzyon ve oksidasyon, yüksek kesme hızı ve sıcaklığında oluşmaktadır. Abraziv aşınma, bir yüzeye karşı zorlanan ve hareket eden sert parçacıklar veya pürüzler nedeniyle malzeme kaybı olarak tanımlanır (Fang et al., 2020)

Endüstride sıkça karşılaşılan aşınma mekanizmalarına örnek olarak adeziv aşınma, abraziv aşınma, korozif aşınma, yorulma aşınması (Pitting), kazımalı aşınma (Fretting) ve erozyon aşınması verilebilir.

1.1.1.1. Adeziv aşınma

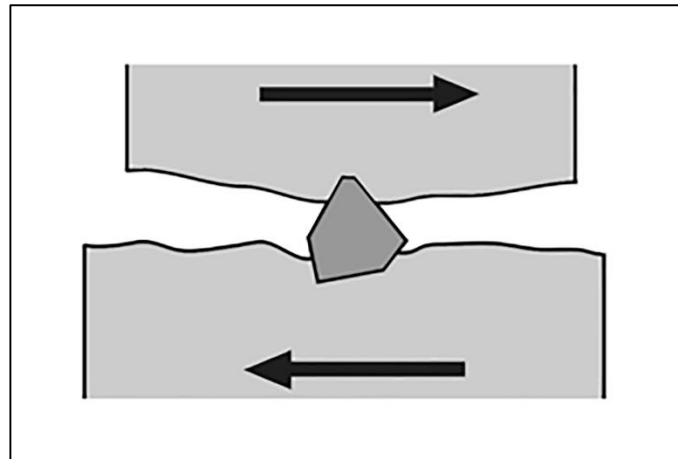
Adeziv aşınma veya diğer bir deyişle adezyon aşınması, benzer malzemeler veya birbirleriyle kimyasal ilgisi olan malzeme çiftleri arasında görülen ve çok yaygın olarak karşılaşılan bir aşınma türüdür. Şekil 1.3'te görüldüğü gibi kayan yüzeyler arasındaki gerilmelerin düşük yüklemelerde bile akma sınırlarına gelmesi veya aşması durumunda yüzeyler arasında yapışma kuvvetleri meydana gelir. Bu durumda aşınma, bir yüzeyden diğerine malzeme geçişi, soğuk kaynak ve ufak parçaların kopması şeklinde kendini gösterir. Yüzeyler aynı sertlikte ise her iki yüzeyde de meydana gelebilir. Yüzeyler arasında iyi bir koruyucu yağlama yapılması, yüzeye etkiyen kuvvetin azaltılması ve aşınmaya maruz kalacak malzemelerin sertliğinin artırılması adeziv aşınmayı azaltabilir (Hutchings, 1992).



Şekil 1.3. Adeziv aşınma

1.1.1.2. Abraziv aşınma

Sertlik değerleri birbirinden farklı olan malzemeler arasında meydana gelen ve hızlı bir şekilde hasara neden olan aşınma türüdür. Abraziv aşınma, genellikle parça yüzeylerindeki pürüzlerin plastik deformasyon sonucu kopması ile oluşur (Şekil 1.4). Yüzey sertleştirme, daha sert alaşımlar kullanmak, yüzeye gelen yükleri azaltmak ve yüzeylere sert kaplamalar uygulamak abraziv aşınmayı önlemede faydalı olabilecek yöntemlerdir.



Şekil 1.4. Abraziv aşınma

1.1.1.3. Koroziif aşınma

Aşınan yüzeylerden birinin veya tamamının ortamda korozyona uğraması ve bu korozyon tabakasının yüzeylerin bağıl hareketleri nedeniyle dökülmesi sonucu oluşan aşınma türüdür. Yüzeylerde kimyasal reaksiyonlarla meydana gelen filmler, aşınmayı önlemede yararlı olabilmektedir. Ancak oluşan film tabakası kırılğan ve yüzeye iyi bağlanmamışsa bu filmlerin normal çalışma durumunda kırılması ve kopmaları nedeniyle önce oksitlenme ve ardından abraziv ve adeziv aşınma meydana gelebilmesi muhtemeldir.

1.1.1.4. Yorulma aşınması (Pitting)

Yorulma aşınması kendini yüzeylerde çok küçük çukurcuklar halinde gösterir. Dişli çarklar, kam milleri ve rulmanlar gibi tam değişken yüklemelere maruz kalan makine elemanlarında, yüzeylerin hemen altında plastik deformasyona bağlı olarak küçük boşluklar meydana gelir ve boşluklar zamanla yüzeye doğru ilerleyerek büyürler ve yüzeyde çukurcuklar oluştururlar. Yumuşak malzemelerde görünmeyen bu aşınma türünü önlemek için yüzey sertleştirme işlemleri yapılabilmektedir.

1.1.1.5. Kazımalı aşınma (Fretting Aşınması)

Kazımalı (Fretting) aşınma, temas eden bileşenler arasındaki küçük genlikli salınım hareketleriyle malzemenin kaybının indüklendiği bir yüzey hasar türüdür. Bu aşınma türü; havacılık alanında, yüksek yüklü mekanik titreşime maruz kalan kompresör kanadı/disk temas alanında, perçinli bağlantılarda ve sıkı geçme ile bağlanmış elemanlarda görülebilmektedir (Niu et al., 2021).

1.1.2. Yüzey işlemleri

Endüstride kullanılan makine elemanları, çalışma sırasında üzerlerine gelen yüklerin ve çalıştıkları ortamın etkisiyle çeşitli aşınma mekanizmalarına maruz kalmakta ve bu aşınmaların artmasıyla birlikte hasara uğrayarak kendilerinden beklenen fonksiyonları yerine getirememeye karşı karşıya kalmaktadırlar. Bu hasarlar neticesinde

elemanlar, tasarım sırasında hesaplanan ömürlerinden çok daha kısa sürede kullanılamaz hale gelebilmektedirler. Mekanizmaların çalışmalarını devam ettirebilmeleri için bu hasara uğramış elemanların ya aşınma başlangıcı tespit edildiğinde onarılması ya da yenisi ile değiştirilmesi zorunluluğu ekonomik açıdan büyük kayıplara neden olmaktadır. İşte bu durumun önüne geçebilmek için mühendisler, kullanım sırasında aşınmaya maruz kalan elemanları belirleyerek o elemanlara yapılacak yüzey işlemleri ile aşınmanın önüne geçmeyi veya ömürlerini uzatmayı hedeflemektedirler. Yüzey iyileştirme işlemleri temel olarak termal işlemler, termokimyasal yüzey işlemleri ve çeşitli yöntemlerle üretilen yüzey kaplamaları olarak sınıflandırılabilir.

Örneğin termokimyasal bir yöntem olan plazma nitrürleme işleminde, malzeme yüzeylerinin kimyası değiştirilmekte ve böylece yüzey özellikleri geliştirilmektedir. Benzer şekilde yüzeylere uygulanacak film kaplama metotları ile aşınma, korozyon ve yorulma dirençleri de önemli ölçüde artırılmaktadır (Yıldız, 2009).

1.1.2.1. Termal işlemler

Termal işlemler, malzeme yüzeyinde kimyasal değişiklik yapılmadan sadece faz dönüşümleri ile yüzeylere sertlik kazandırma yöntemidir. Örneğin, çelik malzemelerin yüzeyi ostenit sıcaklığına kadar ısıtılır ve yüzeyde ostenit dönüşümü sağlandıktan sonra su verilerek yüzeyde aşınmaya dirençli bir martenzitik yapı elde edilir. İndüksiyonla, alevle, lazerle ve daldırma ile yüzey sertleştirme yöntemleri termal işlemlere örnek olarak verilebilir.

1.1.2.2. Termokimyasal işlemler

Termokimyasal yüzey işlemlerinde, hem malzemenin yüzeyi hem de yüzey altında belirli bir tabaka kalınlığına kadar bileşim değiştirilir. Bu durumda yüzeyi sert ve çekirdeği yüzeye göre daha sünek bir yapı elde edilir. En çok uygulanan termokimyasal işlemler; nitrürleme, karbürleme, borlama ve nitrokarbürlemedir. Bu yöntemlerden nitrürleme, genellikle azotun ferrit fazına geçişini kapsamakta ve soğuma sırasında herhangi bir faz dönüşümünün oluşması söz konusu olmamaktadır. Malzeme yüzeyine ferritik şartlarda (592°C sıcaklığın altı) azot girişi yapılarak uygulanır. İşlem sonucu

oluşacak yüzey sertliği ve sertleşen tabaka kalınlığı işlem zamanı, sıcaklık, gaz karışımı ve malzemenin alaşım içeriğine bağlı olarak değişmektedir. Karbürleme işlemi ise genellikle % 0.2'den az karbon içeren çeliklere uygulanan ve malzeme yüzeyine karbon atomu difüzyonunu esas alan bir yöntemdir. Bu işlem nitrürlemenin aksine ostenitik sıcaklıkta (825-925°C) gerçekleştirilir (Edenhofer, 1974; Yıldız Fatih, 2005).

1.1.2.3. Film Kaplama İşlemleri

Aşınmaya maruz kalan elemanların aşınmanın istenmeyen sonuçlarından korunması için uygulanan yöntemlerden birisi de ince film kaplama işlemleridir. Yapılan bu kaplamalar ile hem malzemenin yüzey sertliği artırılmakta hem de tribolojik özellikleri iyileştirilmektedir.

Günümüzde endüstride ince film kaplama yöntemlerinden en fazla kullanılan Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD) ve Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD) yöntemleridir. İnce seramik film kaplamalar sert ve tok yapılarıyla tribolojik özellikleri gelişmiş malzeme üretimine olanak sağlamaktadırlar. Her iki kaplama yöntemi de taban malzeme üzerine 0.01-10µm kalınlıklarında bir kaplama yapılmasına müsaade etmekle birlikte PVD yöntemi, CVD yönteminin işlem sıcaklığına bağlı olarak (850-1250 °C) taban malzemesinin mikroyapısında meydana getirdiği olumsuz etkileri ortadan kaldırmaktadır (Aytaç & Malayoğlu, 2018).

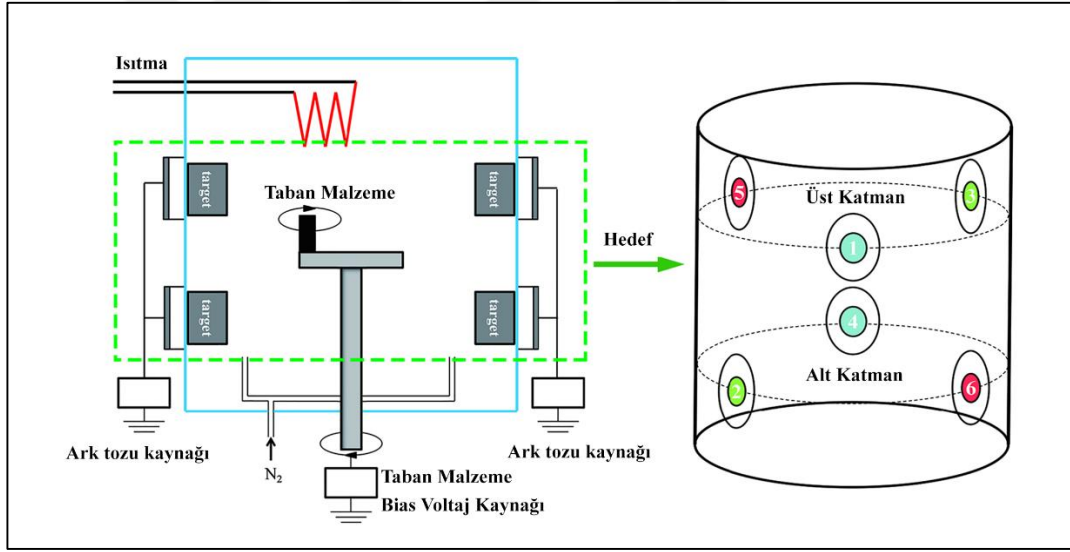
1.1.2.3.1. Fiziksel buhar biriktirme yöntemi (PVD)

Fiziksel buhar biriktirme (PVD), kaplama için kullanılan malzemenin buharlaşma veya püskürtme yoluyla bir kaynaktan fiziksel olarak çıkarıldığı ve daha sonra buhar partiküllerinin enerjisi ile taşınarak uygun şekilde yerleştirilmiş parçaların yüzeylerinde vakum altında bir film olarak yoğunlaştırıldığı işlemdir. Kimyasal bileşikler, ya benzer bir kaynak malzeme kullanılarak ya da istenen reaktanları içeren reaktif gazlar (nitrojen, oksijen ya da basit hidrokarbonlar) eklenerek PVD kaynağından metaller ile reaksiyona girerek biriktirilirler. PVD işlemleri; diyot veya triyot püskürtme, düzlemsel veya silindirik magnetron püskürtme, doğru akım (DC) veya radyo frekansı (RF) püskürtme, elektron ışını buharlaştırma, aktif reaktif buharlaştırma ve ARC buharlaştırma (DC) veya

1. GİRİŞ

alternatif akım (AC) gibi uygulandığı yönteme göre adlandırılmaktadır (Bouzakis et al., 2012).

Bir PVD yöntemi olan ve endüstride yaygın olarak kullanılan Katodik Ark Fiziksel Buhar Kaplama (KAFBK) yönteminde, elektrik arkı vasıtasıyla hedef malzeme buharlaştırılmakta ve iyonize edilmektedir. Şekil 1.5'te fiziksel buhar biriktirme yöntemi şematik olarak gösterilmiştir. 10-40 V arası uygulanan düşük voltaj ve 30-300 Amperlik yüksek akım ile katot üzerinde ark oluşturulmaktadır. Taban malzemesi üzerinde yüzeyinde ergime ve buharlaşmalara neden olmaktadır. KAFBK yönetiminin en önemli avantajı kaplama malzemesinin taban malzeme üzerine adezyonunun iyi olmasıdır. İstenilen saflıkta kaplamanın yapılabilmesi, taban malzeme üzerine kaplama hızının yüksek olması ve iyonlaştırma miktarının yüksek olması diğer avantajları arasında sayılabilmektedir (Durmaz, 2018).



Şekil 1.5. Katodik ark fiziksel buhar kaplama yönteminin şematik gösterimi

Katodik ark fiziksel buhar kaplama (KAFBK), düşük voltajlı yüksek yoğunluklu elektrik akımının iki farklı elektrottan geçmesini içeren bir işlemdir. Vakumda gerçekleştirilen bu işlem, katodik malzemenin aynı anda buharlaşması ve iyonlaşması nedeniyle plazma oluşumu ile sonuçlanmaktadır. Diğer PVD proseslerinin aksine, oluşturulan kaplamalar, yüksek kinetik enerjiye bağlı olarak geliştirilmiş yapışma özelliğine sahip birbirine karıştırılmış katmanlardır (Gupta et al., 2020).

1.1.2.3.2. Kimyasal buhar biriktirme yöntemi (CVD)

Kimyasal buhar biriktirme (CVD), fiziksel buhar biriktirme işlemlerinden farklı olarak, gaz halindeki kimyasal bileşiklerin uygun şekilde ısıtılmış ve hazırlanmış taban malzemeleriyle reaksiyonuna dayanan ısıyla etkinleştirilen bir işlemdir. Birincil reaktif buharlar, metal halojenler (klorür, bromür, iyodür veya florür) veya metal karboniller ve ayrıca hidritler ve organometalik bileşikler olabilir. Metal bileşiği ayrıştırmak veya azaltmak için, bir ısı enerjisi transferi söz konusudur ve taban malzemesi genellikle sistemin diğer herhangi bir kısmından önemli ölçüde daha yüksek bir sıcaklıkta tutulur. Bu nedenle, reaksiyon odası, sistemin diğer herhangi bir kısmından daha fazla bir yüksek sıcaklık problemi sunabilir. Çoğu reaksiyon ayrıca susuz ve anaerobik bir ortamda ve sıklıkla atmosfer altı basınçlarda gerçekleştirilir. Tipik biriktirme sıcaklıkları 800 ile 1200 °C arasındadır (Bouzakis et al., 2012).

1.2. Talaşlı İmalat

Talaşlı imalat en genel anlamıyla, uygun bir kesici takım vasıtasıyla malzemeler üzerinden parça koparmak suretiyle şekil vererek istenilen geometri ve boyutların kazandırılması işlemi olarak tanımlanır.

Bu üretim yöntemi, işlenecek parça ve geometrik şekil bakımından geniş bir alana sahip olmasıyla beraber yüksek boyutsal doğruluk ve iyi yüzey kalitesi sunması nedeniyle diğer imalat yöntemlerine göre daha avantajlıdır. Diğer taraftan atık malzeme oluşumu ve imalatın fazla zaman alması, özellikle döküm ve plastik şekil verme gibi imalat yöntemlerine göre zayıf taraflarıdır. Bu nedenle kaldırılacak talaş miktarı fazla ise, iş parçasının öncelikle döküm ve dövme gibi imalat yöntemleri ile belli bir seviyeye kadar şekillendirildikten sonra talaşlı imalat ile nihai şekil ve boyutunun verilmesi hem zaman hem de atık malzeme açısından üretimin daha ekonomik olmasını sağlayacaktır.

Malzeme kaldırma işlemleri temel olarak geleneksel talaşlı imalat, aşındırma ve geleneksel olmayan (alışılmamış) talaşlı imalat olarak sınıflandırılmaktadır. Çizelge 1.1'de başlıca talaş kaldırma yöntemleri verilmiştir.

1. GİRİŞ

Çizelge 1.1. Başlıca Talaş Kaldırma Yöntemleri

A. Geleneksel Talaş Kaldırma
a) Tortalama ile ilgili işlemler
b) Frezeleme ile ilgili işlemler
c) Delme ile ilgili işlemler
d) Diğer talaş kaldırma yöntemleri
B. Aşındırma Yöntemleri
a. Taşlama işlemleri
b. Lepleme işlemleri
c. Honlama işlemleri
d. Diğer aşındırma işlemleri
C. Geleneksel Olmayan Talaş Kaldırma Yöntemleri
a. Mekanik Enerji İşlemleri
b. Elektrokimyasal İşlemler
c. Isıl Enerji İşlemleri
d. Kimyasal İşlemler

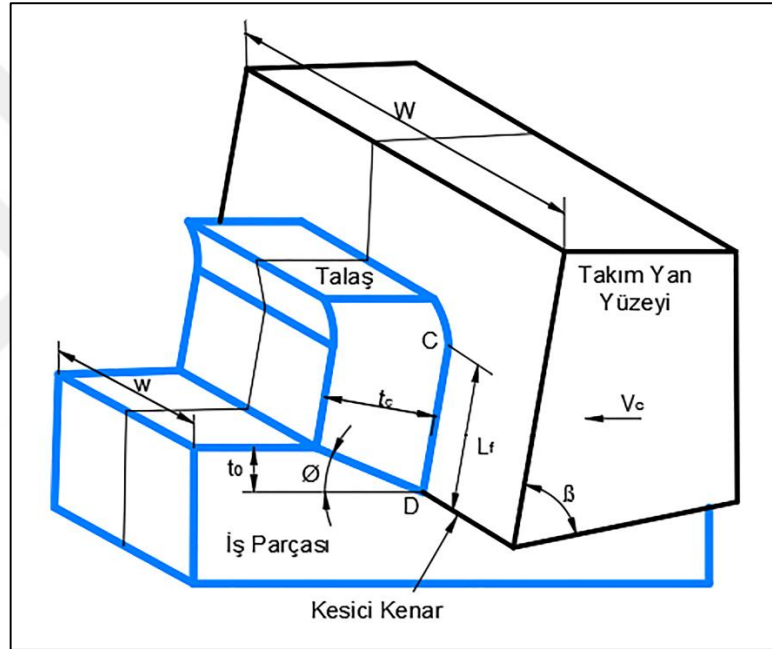
1.2.1. Talaş oluşumu

Talaşlı imalatta, uygun bir kesici takım iş parçasına belli bir kuvvet uygulayarak hareket ettirilmek suretiyle kayma düzleminde kayma gerilmelerinin etkisiyle plastik deformasyon meydana getirerek talaş oluşturulmaktadır. Bunun sonucu olarak malzeme üzerinde önce elastik şekil değişimi meydana gelecek ve daha sonra akma sınırını aşan gerilmelerden dolayı plastik şekil değişimine dönüşerek parçalar kopmaya başlayacaktır.

Kesme olayı birincil olarak iş parçası ile takım arasında meydana gelirken aynı zamanda talaş ile takım yan yüzeyinde meydana gelen sürtünmeden dolayı da ikincil

1. GİRİŞ

kesme durumu ortaya çıkmaktadır. Bu durum kesici takımlarda aşınma ve yıpranmanın ana nedenini oluşturduğundan talaşlı imalatta göz ardı edilemeyecek kadar büyük bir öneme sahiptir. Ortogonal kesme modeli (Şekil 1.6) olarak tanımlanan ve üç boyutlu talaşlı imalat geometrisini iki boyuta çeviren modelde imalat işleminin mekaniğinin anlaşılması daha da kolaylaşmıştır. Bu modelde kama şekilli takım kesme kenarı, kesme hızına dik kabul edilip uygulanan kuvvet ile kesme düzlemi denilen ve iş parçası yüzeyi ile ϕ açısı yapan düzlem boyunca iş parçasını plastik şekil değişikliğine uğratarak talaş kaldırılmasını sağlar. Bu sırada oluşan talaşlar, kesici takımın yan yüzeyinde sürtünmelerinden dolayı aşınmaya neden olurlar.



Şekil 1.6. Ortogonal kesme modeli

1.2.2. Akıllı imalat işlemleri

Günümüzde bilgisayar teknolojilerinin gelişmesi her alanda olduğu gibi imalat alanında da yenilikleri ve gelişmeleri beraberinde getirmiştir. Bu sayede ortaya çıkan nümerik kontrollü (NC) ve bilgisayar nümerik kontrollü (CNC) tezgâhlarla hem daha yüksek miktarlarda imalat kısa sürelerde yapılabilmekte hem de operatörlerden kaynaklanan birçok hata ortadan kaldırılmaktadır. CNC sistemlerinin pahalı bir yatırım gerektirmesine karşın işleme sürelerinin kısa olması, her türlü sarfiyatın (elektrik, malzeme, emek vb.) asgariye indirgenmiş olması, tezgâh operasyonlarının çok hassas

1. GİRİŞ

olması, insan hatalarının ortadan kalkması ve iş güvenliği açısından da güvenilir olması nedeniyle tercih edilmektedirler.

CNC programlama, tasarım verilerinin bilgisayarın anlayabileceği şekilde bilgilerle beslenmesidir. Diğer bir ifadeyle, bilgisayarın anlayabildiği bir dilde, bilgilerin uygun bir sırada listeler halinde girilmesidir. Genel olarak bir programda dört çeşit bilgi bulunur.

1. Geometrik Bilgiler
2. Hareket Bilgileri
3. Teknolojik Bilgiler
4. Yardımcı Bilgiler

CNC tezgâhlarında program oluşturmak için genellikle iki yöntem bulunmaktadır. Bunlar; ISO kod (G-M) sistemine dayanan direkt programlama ve grafik etkileşime dayanan bilgisayar destekli üretim (CAM) programlamadır.

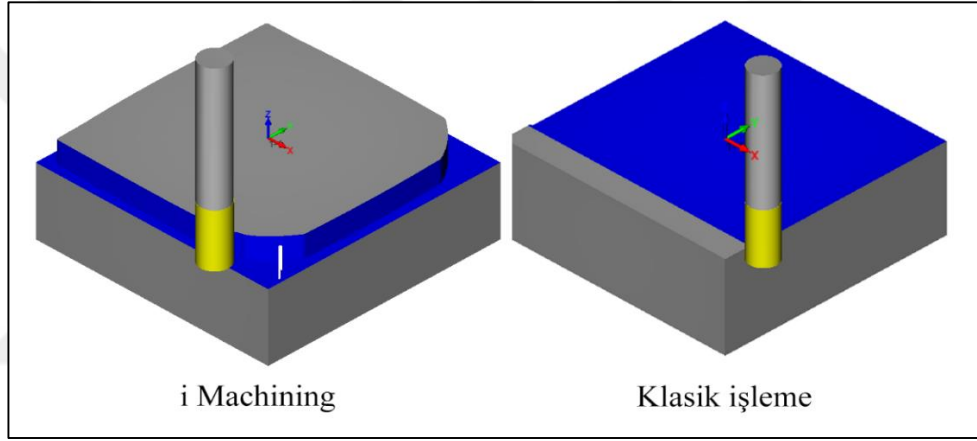
Bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve bilgisayar destekli üretim (CAM) programlarının gelişmesiyle birlikte CNC tezgâhlar daha etkin bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. CAD programları sayesinde, bir ürünün tasarımı daha hızlı ve kolay yapılarak üretim için veri tabanı oluşturulabilmektedir. Oluşturulan bu verilere göre ürünün işlenmesi için gerekli olan takım yollarının oluşturulması ve bunların kodlarının çıkarılarak programa dönüştürülmesi de CAM programları ile kısa sürede ve hatasız bir şekilde yapılabilmektedir.

1.2.2.1. iMachining operasyonu

CAM programları, her ne kadar imalat sürelerini kısaltmış olsalar da ilgili proses için belirlenen devir, ilerleme, paso miktarı ve yana kayma miktarı gibi kesme parametreleri işlem sonuna kadar belirlenen seviyede sabit kalmaktadır. iMachining diye adlandırılan CAM operasyonunda ise kesme parametreleri, süreç boyunca işlenen geometrinin durumuna, iş parçası malzemesine, kesici takımın türüne ve kullanılan

1. GİRİŞ

tezgâhın kapasitesine bağlı olarak değişken değerler olarak takım yolu oluşturulmasını optimize etmektedir. Bu durum aynı miktar talaş hacminin daha kısa sürede kaldırılmasına da olanak sağlamaktadır. Bu operasyonda herhangi bir özel ekipmana gerek kalmadan mevcut takım ve tezgâhı kullanarak daha hızlı ve daha verimli kesme işlemi yapılabilmektedir. iMachining operasyonunun önemli bir diğer özelliği ise otomatik ilerleme ve kesme hızı hesaplaması yaparak deneme yanılma maliyetlerini ortadan kaldırmasıdır. Klasik kesme işleminde takım uç bölgesi aşınmaya maruz kalırken iMachining operasyonunda takım kesici kenarları daha üniform bir aşınmaya maruz kalarak takım ömrünün de artması sağlanmış olur. Şekil 1.7’de iMachining ve klasik kesme operasyonunun simülasyonu görülmektedir.



Şekil 1.7. iMachining operasyonu ve klasik kesme simülasyonu

1.3. Kesici takımlar

Talaşlı imalat operasyonlarının önemli bir ayağını kesici takımlar oluşturmaktadır. Takımlar, kesme sırasında ortaya çıkan yüksek kuvvetler ve sıcaklıklarla birlikte sürtünmeler sonucu oluşan aşınmalara da dayanabilecek özelliklere sahip olmalıdırlar. Kesici takımların kesme işlevlerini yerine getirememeleri üç önemli nedene bağlıdır. Bunlar;

- a) Kırılma (Çatlama) Bozulması,
- b) Sıcaklık Bozulması
- c) Sürekli Aşınma

1. GİRİŞ

Takımların tribolojik özelliklerinin iyileştirilmesi çalışmalarında takım ile iş parçası arasındaki ilişki kadar takım ile kesme sonucu oluşan talaş arasındaki ilişki de büyük önem arz etmektedir. Zira adeziv aşınma, abraziv aşınma, difüzyon, kimyasal reaksiyonlar ve plastik deformasyon gibi aşınmalara neden olan mekanizmalar bu iki ara yüzey arasında meydana gelmektedir.

1.3.1. Kesici takım ömrü

Takım ömrü, takımın kesme işleminde kullanılabileceği azami süre olarak tanımlanmaktadır. Takımın kullanılamaz hale gelinceye kadar kullanılarak yapılan ömür tayini iş parçası yüzey kalitesini düşüreceği için istenmeyen bir yöntemdir. Takımdaki aşınmanın belirli bir seviyeye ulaşması takım ömrünü belirleyen bir ölçüt olarak kabul edilebilir. Kullanışlı bir takım ömür kriteri için belirli bir yan yüzey aşınma seviyesi seçilerek takım önceden belirlenen bu aşınma seviyesine ulaşıncaya kadar ömrünü tamamlamış kabul edilip değiştirilir. Takım ömrünü belirleyen önemli parametrelerden birisi kesme hızıdır. Kesme hızı ile takım ömrü arasında ters orantı bulunmaktadır. Takım ömrünün belirlenebilmesi için aşağıdaki Taylor takım ömrü denklemi kullanılmaktadır.

$$V.T^n = C \quad (1.1)$$

Bu bağıntıda; T takım ömrü (dak), V kesme hızı (m/dak), n ve C ise kesme parametreleri ve malzemeye bağlı sabitlerdir.

Üretimde takım ömrünü tayin etmek için bazı kriterler esas alınmaktadır (P.Groover, 2019). Bu kriterler;

- a) Kesme kenarının kırılma, sıcaklık bozulması ya da sürekli aşınma sonrası takımın kesme işlemini yapamaz hale gelerek tamamen bozulması.
- b) Operatör tarafından yan yüzey ve talaş yüzeyinin gözlenmesi
- c) Kesme işlemi esnasında meydana gelen ses değişimi
- d) Talaş şeklinin değişmesi
- e) İş parçası yüzey kalitesinin kötüleşmesi
- f) Kesme işleminde kullanılan gücün giderek artması

- g) İşlenen parça sayısı

1.3.2. Kesici takım malzemeleri

Kesici takımların ömürlerini tamamlayıp bozulmalarının nedeni olarak kabul edilen kırılma bozulması, sıcaklık bozulması ve sürekli aşınma takım malzemelerinde olması gereken üç temel özelliği tanımlamamızı sağlamaktadır. Bunlar:

- a) Tokluk
- b) Sıcak sertlik
- c) Aşınma direncidir.

Talaşlı imalatta kullanılan kesici takımlar, yukarıdaki özelliklerin tamamına sahip olmayabilirler. Bunun için birçok takım malzemesi geliştirilmiştir. Aşağıda imalatta kullanılan bazı takımlar verilmiştir.

- a) Az Karbonlu, Düşük Alaşım ve Yüksek Hız (HSS) Çelikleri
- b) Döküm Kobalt Alaşımları
- c) Sinterlenmiş Karbürler, Sermetler, Kaplanmış Karbürler
- d) Seramikler
- e) Sentetik Elmaslar ve Kübik Bor Nitrürler

Sade karbonlu çeliklerin günümüzde kullanımları yok denecek kadar azdır. Alaşım elementi içermeyen bu takımlar suda sertleştirilmelerini gerektirir ve artık gerilme ile çatlak oluşma ihtimali yüksektir. Yine alaşım elementi içermediklerinden yüksek hızlarda ve sıcaklıklarda kullanılamazlar.

Yüksek Hız Çelikleri (HSS) sade karbonlu ve az alaşım çeliklere nazaran çok daha yüksek hızlarda kullanılabilirler. Yine bu çeliklere göre kızıl sertliklerini daha yüksek sıcaklıklarda koruyabilmelerine rağmen, sertliklerini su verme ile kazanan malzemeler ancak temperlendikleri sıcaklığa kadar sertliğini muhafaza edebilir.

1. GİRİŞ

Döküm Kobalt alaşımları %40-50 Co, %25-35 Cr ve %15-20 W içerirler. Bu takımlar döküldükten sonra taşlama ile son şekline getirilirler. Sertlikleri HSS'den yüksek, karbür takımlardan daha düşüktür.

Sinterlenmiş Karbür, Sermet ve Kaplanmış Karbür Takımlar toz metalürjisi ile üretilen ve bağlayıcı olarak Kobalt (Co) elementinin kullanıldığı Tungsten karbür (WC) içeren sert takımlardır. Diğer karbür türleri içeren (TiC, TaC) sinterlenmiş karbür takımlar da vardır. Bu takımlar yüksek bası mukavemeti, yüksek sertlik, iyi kızıl sertlik, iyi aşınma direnci, yüksek ısı iletkenlik yüksek elastiklik modülü, HSS'den düşük tokluk gibi özellikleri nedeniyle tercih edilmektedirler.

Sermetler, (Seramik+Metal) kompozit takımlar olarak tanımlanırlar. Ni ve/veya Mo bağlayıcı, TiC, TiN ve TiCN ise takviye olarak kullanılır. Bu takımlar çelikler, paslanmaz çelikler ve dökme demirlerin yüksek hızlarda işlenmesinde tercih edilmektedirler. Kaplamalı Karbürler, sinterlenmiş karbür takımların TiC, TiN ve Al₂O₃ gibi bileşikler ile tek veya çok tabakalı olarak çeşitli yöntemlerle kaplanması ile elde edilirler. Seramik takımlar, ince taneli Al₂O₃'ün yüksek basınç ve sıcaklıklarda bağlayıcı kullanmadan sinterlenmesi ile üretilirler. Toklukları düşüktür. Seramik takımlar ile ince talaş kaldırıldığından işlem sonrası düzgün yüzeyler elde edilmektedir.

Sentetik elmas takımlar, doğada bilinen en sert malzeme olan elmasın çok ince taneli tozlarının yüksek sıcaklık ve basınçta sinterlenmesi sonucu elde edilirler. Elmasa yakın ve en sert malzemelerden biriside Kübik Bor Nitrürdür (cBN). Üretimi sentetik elmas üretimine benzemekte olup cBN, Fe ve Ni ile elmas kadar kimyasal ilgiye sahip olmadığından çelik ve Ni esaslı metallerin işlenmesinde kullanılabilirler. Hem elmas hem de cBN takımlar, fiyat açısından diğer takımlara göre daha yüksek maliyetli takımlardır (P.Groover, 2019).

1.4. Kesici Takımlara Uygulanan Kaplamalar

Aşınma, birbiri ile senkronize çalışan makine elemanları için önemli bir unsur olduğu gibi talaşlı imalat işlemlerinde de büyük önem arz etmektedir. Talaşlı imalat sürecinde iş parçası ile takımlar arasında meydana gelen zorlama, ısınma ve kimyasal

1. GİRİŞ

süreçler takımların aşınmasına neden olmakta ve bu durum iş parçasının yüzey pürüzlülüğünü artırmakla birlikte geometrik olarak verilen toleransların da dışına çıkmasına ve böylece hatalı üretim yapılmasına neden olabilmektedir. Diğer taraftan takım kesici kenarlarının aşınması, üzerlerine gelen yüklerin daha da artmasına ve nihayetinde takım ömürlerinin kısılmasına hatta takımların kırılarak hasara uğramasına da neden olmaktadır.

Endüstride yeni nesil talaşlı imalat teknolojileri ile kuru ve yüksek hızlı işleme tekniklerinin kullanımına yönelik eğilim, yüksek gerilmelere ve ağır çalışma koşullarına dayanabilen kesici takım ihtiyacını da beraberinde getirmiştir. Yüksek sertlik, tokluk ve kimyasal kararlılık gibi kesici takımlarda aranan özellikleri elde etmek için mühendisler çalışmalarını sürdürmektedirler. Özellikle sertlik ile tokluk gibi iki zıt özelliği takımlarda bir araya getirmek oldukça zordur. Bunun için tokluk değeri iyi olan bir taban malzemesini, yüksek sertlik değerine sahip malzemelerle kaplayarak hem tok hem de sert takımlar elde etmek mümkün hale gelmiştir.

Kesme işlemine genellikle yüksek gerilme ve belirgin bir kesme ısısı birikimi eşlik eder. Bu durum takım matrisinin hızlı aşınmasına yol açar ve iş parçasının yüksek performanslı kesilmesini engeller. Kaplama malzemesi, takım ve iş parçası arasındaki sürtünmeyi azalttığı gibi krater aşınmasını da azaltarak kaplanmış takımın ömrünü ve kesme verimliliğini iyileştirir. Kesilmesi zor malzemelerin ortaya çıkması ve üretim maliyeti kontrolü, PVD kaplamalı takımların geliştirilmesine katkıda bulunmuştur. Takım yüzeyinin kaplanması; yüksek sertlik, iyi kimyasal denge, yüksek sıcaklıkta oksidasyon direnci ve yüksek sıcaklık kararlılığını geliştirmektedir. Kimyasal bileşim, yapı, takım alt tabakasına yapışma mukavemeti ve daha pürüzsüz yüzey açısından kaplama malzemelerinin yüksek gereksinimleri, kaplamalı kesici takımlar için PVD teknolojisinin gelişmesini teşvik etmiştir. Şu anda, kaplamalı kesici takımlar için PVD teknikleri temel olarak katodik ark fiziksel buhar kaplama, magnetron sıçratma ve bunların hibrit işlemlerini içerir. Katodik ark, buharlaşan malzemeden yapılmış katot hedefi ile anot arasında vakumda hedef parçacıkları buharlaştırmak ve bunları taban malzeme yüzeyinde yoğunlaştırmak için başlatılan düşük voltajlı yüksek akımlı bir plazma deşarjıdır. Katoda uygulanan manyetik alanların yokluğunda, ark noktaları katot yüzeyi üzerinde rastgele hareket eder (Deng et al., 2020).

1. GİRİŞ

Kesici takımların ömrünü uzatmak için yüzey özelliklerini ve işlenebilirliği zenginleştiren birçok tek ve çok katmanlı nano kaplama kullanılmaktadır. Kaplamalar; geleneksel ve sert takımların avantajlarını bir araya getirmek için tercih edilen en iyi çözümlerden biridir. Son yıllarda mekanik sistemlerde sürtünmeyi azaltmak ve yüzey koruması için çeşitli kaplamalar ve kaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Seramik sert kaplamalar; daha iyi mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle imalat teknolojilerinde kendilerine yer edinmiştir (Moganapriya et al., 2021).

Günümüzde, işleme operasyonlarının yaklaşık %80'i kaplamalı takımlarla yapılmaktadır. En yaygın kullanılan kaplamalar; Titanyum Karbür (TiC), Titanyum Nitrür (TiN), Titanyum Karbon Nitrür (TiCN) ve Alüminyum Oksit (Al_2O_3) olup, özellikle PVD veya CVD yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Yapılan bu kaplamalar takım ömrünü uzatmakta oldukça etkili olmaktadır (Gürbüz et al., 2011).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Talaşlı imalat, daha rekabetçi bir endüstrinin geliştirilmesi için önemli rol oynayan üretim süreçlerinden birisidir. Özellikle gelişimi ve yeniliği; yüksek hassasiyetli işleme, mikro işleme ve ultra hassas işleme dâhil olmak üzere birçok yeni özel uygulamaya olanak tanımaktadır. Talaşlı imalat teknolojisinin gelişimi; takım tezgâhları, takım malzemeleri, kesici takım tasarımları ve bağlama sistemlerinin evrimsel ve etkileşimli gelişmelerinden kaynaklanmaktadır. Günümüzde tüm işleme süreçleri; üretkenlik, verimlilik ve yüzey kalitesi gibi ciddi üretim gereksinimlerini karşılamak üzere tasarlanmaktadır. Modern üretim; sürekli artan çeşitli süreçleri kapsar ve mühendisin görevi, doğru fiyata yüksek kaliteli bir ürün için en ekonomik süreç kombinasyonunu seçmektir. Kesme teknolojileri üretim ekonomisindeki rolü gittikçe artan çok disiplinli bir üretim sürecidir. (Grzesik, 2017)

Tungsten karbür; yüksek sertlik, yüksek aşınma direnci ve iyi tokluk gibi üstün özellikleri nedeniyle kesici takım endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tungsten karbür bileşenleri üretmenin yaygın yöntemi; kalıp ve kalıp yapımı, toz malzeme eldesi, toz presleme ve şekillendirme, ön sinterleme, sinterleme ve sinterleme sonrası şekillendirmeden oluşan toz metalürjisi teknolojisidir (Liu & Li, 2001).

Kaplamalı takımlar, talaş kaldırma işlemlerinde uygulanan takımların büyük bir kısmını oluşturarak kaplamasız takımların kullanımını önemli oranda azaltmaktadır. Büyüyen geniş bir kaplamalı kesici takım pazarı geliştirilmiştir. Dahası, çok sayıda malzeme ve imalat mühendisi, en zorlu kesme koşullarında kesilmesi en zor malzemelerin işlenmesi için gereksinimleri karşılayan kaplamalar geliştirmeyi amaçlayan uzmanlıklarını bir araya getirmiştir. Yeni iş parçası, alet ve film malzemelerinin ortaya çıkması, sofistike kaplamaların karakterizasyon yöntemlerinin evrimi ve daha yüksek verimlilik oranlarına duyulan sürekli ihtiyaç, bu alanı daha da ilerletmek için endüstriyel ve bilimsel ilgiyi canlı tutmaktadır (Bouzakis et al., 2012).

Aşınmaya dayanıklı kaplamaların geliştirilmesindeki önemli zorluk, son derece sert ve kırılğan bir kaplama ile nispeten yumuşak ve sünek bir taban malzemesi arasında yeterli adezyonu sağlamaktır. Bu zorluk; gradyan kaplamaların, özel adezyon katmanlarına sahip kaplamaların ve adezyon, geçiş (bariyer) ve aşınmaya dayanıklı

2. KAYNAK ÖZETLERİ

katmanlar dâhil üç katmanlı mimariye sahip kaplamaların uygulanması nedeniyle karşılanabilir (Volosova et al., 2021).

Metal şekillendirme takımları için, kullanım ömrünün sonu sıklıkla nihai ürünün pürüzlülüğünde bir artış ve takım yüzeyine malzeme transferi ile ilişkilendirilir. Metal şekillendirmede sürtünme ve aşınma, şekillendirme ilerledikçe, pürüzleri genellikle yüksek temas basınçları altında doğrudan temas halinde olan takım ve iş parçası arasındaki göreceli kaymadan kaynaklanır. Yüksek kesme kuvvetleri nedeniyle, akma meydana gelir, böylece yanal kuvvetin bir kısmı, sadece sürtünmenin üstesinden gelmek yerine malzemeyi deforme etmek için kullanılır. Aslında, şekillendirmenin gerçekleşmesi için sürtünme gereklidir, ancak şekillendirme sırasında kullanılan enerjiyi azaltmak için sürtünme değerlerinin düşük kalması önemlidir. Ayrıca, takım ve iş parçası arasındaki ara yüzde üniform koşulları sağlamak için sürtünmenin çok kararlı olması gerekir, böylece kontrollü deformasyona ve nihai ürünün yeterli yüzey kalitesine yol açar. Bu durumu sağlamak için genellikle takımların ince sert kaplamalarla kaplanması olağandır, bu da takımların aşınma direncini artırır ve şekillendirme sırasında sürtünmeyi kontrol eder. Metal şekillendirme takımlarında özellikle TiN, CrN, TiC, TiAlN, TiAlCN ve DLC (Elmas-benzeri Karbon) gibi çok çeşitli PVD kaplamalar kullanılmıştır (Tavares et al., 2021).

Ark buharı biriktirme, buharlaşmış malzeme kaynağı olarak ark koşulları altında bir elektrottan buharlaşmayı kullanan bir PVD tekniğidir. Ark koşulları, elektrot malzemesinin bir gazından veya buharından geçen yüksek akım, düşük voltajlı elektrik akımından oluşur. Ark voltajı sadece gaz veya buharın iyonlaşma potansiyeline yakın olmalıdır (>25 volt). Sıçratılan malzemenin çoğu termal olarak buharlaştırılmış atomlardır, ancak bazıları katottan erimiş damlacıklar veya katı parçacıklar olarak dışarı atılır. Yüksek basınçlı gazlı arklar PVD işlemede kullanılmaz, ancak plazma püskürtme, ark kaynağı ve elektro kıvılcım kaplama gibi işlemlerde kullanılır. PVD işleminde ark buharlaşması, termal buharlaştırma ve püskürtme ile birlikte benzersiz bir buharlaşma kaynağı olarak kabul edilebilir. (Mattox, 2009).

Sert kaplamalar, aşınmaları veya korozyonları azaltmak için çeşitli kesme ve şekillendirme takımları üzerine yaygın olarak uygulanmıştır. Takımların kullanım ömrü

böylelikle önemli ölçüde uzatılabilir. Fiziksel buhar biriktirme (PVD) veya kimyasal buhar biriktirme (CVD) ile hazırlanan TiN kaplama en yaygın kullanılan koruyucu kaplamalardan biridir. Yüksek aşınma direnci sergilemesine rağmen, TiN kaplama bazı durumlarda yeterli koruma sağlayamamaktadır. Örneğin, TiN kaplama yüksek hızda kesmeye tabi tutulduğunda sertlik ve oksidasyon direnci önemli ölçüde azalır. Bu arada, sürtünme katsayısı (COF) tatmin edici değildir ve tokluk nispeten düşüktür. Bu eksikliklerin üstesinden gelmek amacıyla, yeni sistemler oluşturmak için TiN kaplamalarına farklı eklemeler yapılmaktadır. Bunlar arasında, TiAlN kaplama yüksek korozyon direnci gösterir ve TiCN kaplama düşük COF sergiler. Buradan hareketle TiAlCN kaplamanın yüksek ısı kararlılık ve olağanüstü tribolojik özelliklerin benzersiz bir kombinasyonunu göstermesi beklenmektedir. Al içeriği, TiAlCN kaplamaların yapısında, mekanik ve tribolojik özelliklerinde önemli bir rol oynamaktadır. Az miktarda Al ilavesi bile, önemli ölçüde AlN çökmesine neden olur. Bununla birlikte, yalnızca uygun miktarda Al içeriği, TiN ve AlN kristallerinin yaklaşık 10-20 nm boyutunda olduğu kaplama yapısında önemli bir iyileştirme ile sonuçlanmaktadır. Böylesine optimize edilmiş bir nanokompozit yapısıyla TiAlCN kaplam, hem yüksek sertlik hem de düşük sürtünme katsayısı ve düşük aşınma oranına sahiptir (X. Zhang et al., 2014).

Yüksek hızda gerçekleştirilen talaş kaldırma işlemi sırasında kesici uçlar genellikle aşırı aşınma ve distorsiyonun neden olduğu yüksek kesme sıcaklıklarına ve kuvvetlerine maruz kalır. İmalat verimliliğinin iyileştirilmesi için, kesici ucun oldukça uzun ömürlü olması istenir. Bunun için çeşitli yöntemlerle kaplamalar yapılmaktadır. TiN, TiCN, TiAlN AlCrN gibi nitrür bazlı kaplamalar kesici takımlarda PVD ve CVD yöntemi ile büyütülebilmektedir. Seramik kaplamalı kesici uçların işlem verimliliği, dökme demir ve çeliğin işlenmesi sırasında kaplanmamış uçlara göre mükemmel performans göstermektedir. Çok tabakalı TiAlN karbür takımın ömrünü, tek tabakalı kaplamalı takımın aksine %75 artırmıştır. PVD yöntemiyle TiN kaplanmış sement karbür kesici uçlarla yapılan kesme işlemi sırasında kesme hızı ve ilerlemenin, takım ömrü üzerinde dikkate değer bir etkiye sahip olduğu gözlenmiştir (Bag et al., 2019).

Fiziksel buhar biriktirme (PVD) ve kimyasal buhar biriktirme (CVD) teknikleriyle hazırlanan nitrür esaslı kaplamalar, endüstriyel uygulamalarda yaygın kabul gören sert ve aşınma dirençli kaplamalardır. TiAlN'ye karbon eklenmesiyle oluşan TiAlCN kaplaması

da gelişmiş tribolojik ve korozyon performansı nedeniyle son dönemde kullanılmaya başlayan bir kaplamadır. Tribokorozif uygulamalar için kaplamalar; yüksek sertlik, yoğun yapı, yüksek aşınma direnci ve iyi korozyon direnci ile karakterize edilmektedir. Farklı karbon içerikli TiAlCN / TiAlN / TiAl kaplamalarının karbon içeriği arttıkça sürtünme katsayısı belirgin bir şekilde düşmektedir. Tribokorozyon şartları altında kaplamanın mekanik hasar görmesini önlemek için kaplamanın daha yüksek sertliğe sahip olması gereklidir (Chen et al., 2021).

TiN kaplamaların performansını, oksidasyon direncini ve sertliğini iyileştirmek için bileşime Al katkısı yapılmaya başlanmıştır. Bununla birlikte, Al'nin dâhil edilmesi, kaplama sisteminde daha yüksek bir sürtünme katsayısına ve daha düşük bir tokluğa yol açmıştır. Bu durumun giderilmesi için TiAlN kaplama sistemine C eklenmesi, gelişmiş aşınma direncinin gerekli olduğu uygulamalar için umut verici bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir. Literatürde TiAlCN kaplamaların, yüksek kesme hızı ve yağlayıcı içermeyen koşullar altında yüksek aşınma direnci sağladığı bildirilmektedir. TiAlCN kaplamaların sertliği öncelikle kaplamalarda karbon içeriği arttıkça artmaktadır. Ancak sürtünme katsayısının C ilavesiyle artmaya başladığı ve bir noktadan sonra azalmaya başladığı görülmüştür (X. Zhang et al., 2008).

Sertleştirilmiş çelik malzemenin frezelenmesinde Kübik Bor Nitrür (CBN) takımlarının ve PVD kaplamalı karbür takımların kesme performansının incelendiği bir çalışmada, yüksek hızlı frezelemede CBN takımlar, düşük hızlı frezeleme durumu için TiN, TiCN, TiAlN ve çok katmanlı TiAlN / AlCrN kaplamalı karbür takımlar seçilmiştir. Çalışmada kesme performansı; takım aşınması, kesme sıcaklığı, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü ile değerlendirilmiştir. CBN takımıyla sertleştirilmiş karbon çeliğin kuru şartlarda kesilmesinde, kesme hızındaki artışla birlikte kesici takım sıcaklığı hızla yükselmiş ve takım sıcaklığı 600 m/dak kesme hızında yaklaşık 850 °C'ye ulaşmıştır. Kaplamalı karbür takımlar da ise, TiN, TiCN ve TiAlN kaplamalı karbür takımların sıcaklıkları, takım aşınmasının ilerlemesi nedeniyle kesme işlemi ilerledikçe yükselmiş, ancak TiAlN / AlCrN kaplı karbür takımın sıcaklığı, düşük takım aşınması nedeniyle neredeyse hiç yükselmediği gözlenmiştir (Okada et al., 2011).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Kaplamalı takımlar kesme koşullarında, yani yüksek sıcaklıklarda (1000 °C - 1100 °C'ye kadar) çalıştırıldığından, daha yüksek sıcaklıklarda belirtilen özelliklerin belirlenmesi önemli bir sorundur. Kesme hızlarında artış eğilimi ve buna bağlı olarak kesme bölgesindeki sıcaklıklar göz önüne alındığında, kaplanmış takımların ısıl kararlılığı genellikle önemli faktör haline gelmektedir. Daha karmaşık bir bileşime sahip kaplamalar genellikle daha yüksek ısıl kararlılık sergilemektedirler. Özellikle, (Zr, Al)N kaplama 1100 °C'ye kadar stabil sertlik göstermiştir. (Ti, Al) N ve (Ti, Cr) N kaplamalar ısıl olarak yaklaşık 750 °C'ye, (Ti, Zr) N ve (Ti, Ta) N kaplamalar 850 °C'ye kadar kararlıdır. TiN, CrN, ZrN ve NbN gibi ikili nitrür sistemlerine dayalı kaplamalar, çok bileşenli nitrürlere kıyasla daha düşük termal kararlılığa ve termal oksidasyon direncine sahiptir (Vereschaka et al., 2018).

Katodik ark fiziksel buhar kaplama yöntemi ile Tungsten Karbür (WC) taban malzeme üzerine TiAlSiN, AlCrN ve TiAlN kaplanarak, karbür malzemenin aşınma özelliklerinin iyileştirilmesinin amaçlandığı bir çalışmada CNC dik işleme merkezinde impax çeliğinden imal edilmiş iş parçası, iMachining operasyonu ile yüksek hızlı frezeleme işlemine tabi tutulmuştur. Kaplanmamış ve kaplanmış karbür takımlar ile yapılan talaş kaldırma sonrası iş parçası yüzeyinden alınan yüzey pürüzlüğü sonuçlarına göre, en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri TiAlN seramik filmi ile kaplanmış karbür kesici takımla frezelenmiş iş parçası yüzeyinden elde edildiği sonucuna varılmıştır. Gerçek kesme koşullarında en düşük yan yüzey aşınmasının TiAlN ile kaplanmış kesici takım için elde edildiği, kuru şartlarda ve yüksek hızda gerçekleştirilen frezeleme işleminde oluşan sıcaklık sebebiyle işlemsiz karbür takım düşük aşınma performansı gösterdiği gözlenmiştir (Durmaz, 2018).

Mekanik ve tribolojik özellikleri, kesme performansı ve termal kararlılığı iyileştirmek için dörtlü veya hatta çok bileşenli kaplamalar oluşturmak için AlTiN bazlı kaplamalara alaşım elementleri ekleme yöntemi, kaplama modifikasyonu için umut verici bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Çok sayıda çalışma, AlTiN kaplamalara karbon veya bor eklenmesinin kaplamaların mekanik özelliklerini etkili bir şekilde iyileştirebileceğini göstermiştir. Yapılan çalışmalar AlTiCN kaplamaların sertliğinin ilk olarak karbon katkısı %26.69 olduğunda arttığı ve daha sonra yüksek karbon içeriğinin (~%54.7 at.) neden olduğu amorf-karbon (veya zengin karbon) fazının oluşumu nedeniyle

2. KAYNAK ÖZETLERİ

azaldığı göstermiştir. Bu çalışmaların hepsinin ortak noktası, karbonun sürtünme katsayısını düşürmesidir (Mei et al., 2021).

Farklı C içeriklerine sahip beş ALTiCN kaplamasının sertlik ve elastisite modülünün nano-indentasyon testi ile karakterize edildiği bir çalışmada, C içeriğinin artmasıyla, kaplamanın sertliği düşüş eğilimi göstermiştir. Daha yüksek karbon içeriği, kaplamanın aşınma sırasında yoğun bir oksit tabakası oluşturmasına neden olmuştur. C ilavesi, kaplamanın sürtünme katsayısını beklendiği gibi azaltmamış, ancak kaplamanın sürtünme katsayısını artırdığı tespit edilmiştir. Bu durum, kaplama yüzeyinin pürüzlülüğü, kaplamanın sertliği ve aşınma testi sırasında oluşan tribofilm / oksit türü gibi çeşitli faktörlerle ilişkilendirilmiştir. Sonuç olarak karbon içeriği arttıkça, kaplamanın sertliği azalmadığı, ancak kaplamanın aşınma direncinin önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir (Chen et al., 2020).

Son dönemde yapılan çalışmalarda ön plana çıkan diğer bir kaplama malzemesi de CrN/CrCN kaplamalarıdır. Termal kararlılıkları, tribolojik özelliklerinin ve korozyon direncinin iyi olması nedeniyle tercih edilen bu kaplamalar üzerine çalışmalar devam etmektedir.

Modern üretim teknolojilerindeki son gelişmeler, yüksek aşınma direncine, mekanik tokluğa ve düşük sürtünme katsayısına (COF) sahip kaplama çözümleri gerektirmektedir. Genel olarak bakılırsa, hassas üretim proseslerinin performansı üzerinde takım yüzeyi özelliklerinin rolü iyi bilinmektedir. Gerçekten de, yüzey işlemleri özellikle mikro şekillendirme işlemlerinde, uygun olmayan yağlama nedeniyle iş parçasının takım yüzeylerine yapışması gibi etkilerle birlikte hızlı bir takım aşınmasına neden olur. Yapılan çalışmalarda, PVD CrN ve daha özel olarak Cr₂N yapıları, iyi aşınma direnci özellikleri ve enjekte edilmiş plastik veya ekstrüde edilmiş metallere yapışma eğiliminin düşük olduğunu göstermiştir. Katodik ark PVD yöntemi ile biriktirilen Cr/CrN/CrCN/CrC çok katmanlı kaplama yığınları, düşük COF ve iyi yapışma mukavemeti sergilemiştir.(Fuentes et al., 2008)

CrCN kaplamaların tribolojik özelliklerinin incelendiği bir çalışmada yapılan aşınma testleri, CrCN'nin bazı açılardan CrN'den üstün olduğunu göstermiştir. Si₃N₄ ve

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Al_2O_3 pin malzemelerinin kullanıldığı aşınma testlerinde, CrCN kaplamaların sürtünme katsayısının nispeten düşük olduğu ve 500 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda stabil olduğunu görülmüştür (Polcar et al., 2005).

CrCN kaplamaların tribolojik özelliklerini incelendiği diğer bir çalışmada; CrN kaplamasının yoğun bir sütun yapısı sergilediğini görülmüştür. Kaplamalara karbon eklendiğinde, kaplamalar kristal halden amorf hale dönüşmekte ve karbon hedef akımının artmasıyla tane boyutu kademeli olarak azalmaktadır. Karbon elementinin esas olarak krom karbür, sp^2 ve sp^3 bağlarından oluşan saf karbon olarak bulunduğu görülmüştür. sp^2 karbon kaplamalardaki bağ, grafit bağına benzer şekilde, 100Cr6 çelik bilyeye karşı CrCN kaplamaların sürtünme katsayısını büyük ölçüde azaltabileceği vurgulanmıştır. Aşınma deneyleri sonrası, CrCN kaplamalarının daha düşük sürtünme katsayısına ve CrN kaplamadan daha üstün aşınma direncine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bunun ana nedeni, grafit fazlı ve çok katmanlı yapıya sahip CrCN kaplamaların, sürtünme katsayısını ve aşınma oranını azaltabilen sürtünme çiftlerinin yüzeyinde transfer filmi oluşturabilmesi ile ilişkilendirilmiştir (Pengfei & Bailing, 2011).

CrN kaplamasına karbon eklenmesi, kaplamaların özelliklerini önemli ölçüde değiştirmektedir. Cr-C-N'de karbon miktarı, iç gerilmeleri daha yüksek bir karbon içeriği için (yaklaşık %20'de) önce arttırmış ve sonra azaltmıştır. Karbon içeriğindeki artışın bir sonucu olarak, sertlik artmakta ve kaplamaların aşınma oranı azalmaktadır. CrCN'de karbon konsantrasyonundaki artışın neredeyse doğrusal olarak sertliği ve elastisite modülünü azalttığı belirtilmiştir. İç gerilmelerin azalmasının bir sonucu olarak, daha kalın ve aşınmaya daha dirençli kaplamalar büyütülmüştür. Düşük karbon içerikli CrCN kaplamaların 20 ve 400 °C'deki sürtünme katsayılarının kararlı ve benzer olduğuna dikkat çekilmiştir. %19 karbon içerikli CrCN kaplama, yüksek sıcaklıklarda neredeyse iki kat daha düşük bir aşınma oranı göstermektedir. CrCN kaplamaların yüksek sıcaklıktaki üstün tribolojik özellikleri endüstriyel uygulamalardaki önemini göstermektedir (Gilewicz & Warcholinski, 2014).

Orta frekanslı magnetron sıçratma ile hazırlanan çeşitli karbon içeriğine sahip CrCN kaplamalarının mikro yapısı, mekanik özellikleri, elektrokimyasal davranışları ve tribokorozyon performanslarının detaylı olarak incelendiği bir çalışmada; karbon içeriği,

2. KAYNAK ÖZETLERİ

kompozit kaplamanın mekanik özelliklerini, elektrokimyasal davranışlarını ve tribokorozyon performanslarını önemli ölçüde etkilemiştir. Ortaya çıkan kaplamanın sertliği ve elastisite modülü başlangıçta artmasına karşın kaplamadaki karbon içeriğinin yükselmesiyle kademeli olarak azalmıştır. CrCN kaplamaları, elektrolit saldırısını iyi bir şekilde engellemiş ve CrN kaplamaya kıyasla üstün elektrokimyasal performanslar sunmuştur. Yüksek sertlik ve aşınma yüzeyinde belirgin grafitleşmenin meydana gelmesinden dolayı, % 20.3'lük karbon içeriğine sahip CrCN kaplamanın, optimum aşınma direncine sahip olduğu tespit edilmiştir (Xu et al., 2021).

Literatürde yapılan nitrür esaslı seramik filmler ile kaplanmış malzemelerin aşınma performanslarının incelendiği çalışmalar dikkate alındığında, AlTiCN and CrCN kaplamaların yapısal ve tribolojik özelliklerinin karşılaştırmalı olarak incelendiği bir çalışmanın henüz gerçekleştirilmediği ve kaplamaların genel olarak standart deney numuneleri üzerinde karakterize edildiği görülmektedir. Ancak standart deney yöntemleri ile yapılan incelemeler, gerçek durumun tam olarak simüle edilememesi ve bazı etkenlerin (geometri etkisi, talaş kaldırma esnasında oluşan sıcaklık vb.) hesaba katılamaması sebebiyle hatalı sonuçlar verebilmektedir. Bu sebeple kesici takım malzemesi olarak kullanılacak bir malzemenin ve bu malzemeye uygulanacak yüzey işlemlerinin, kesme ve aşınma performansına etkisinin tam olarak belirlenebilmesi için gerçek kesme koşullarında test edilmesi, bu tez çalışmasının temel motivasyonu olmuştur.

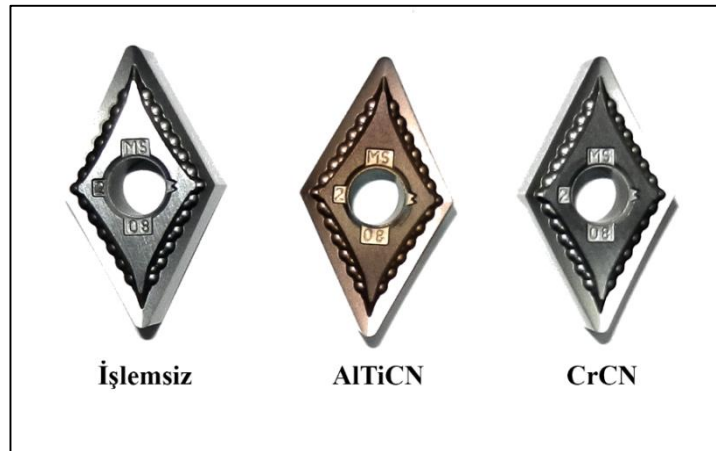
3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu tez çalışmasında; 12 mm çapında Tungsten Karbür (WC) parmak frezeler, DNMG-MS tipi torna takımları (insert uç) ve 12x12x5 mm ebatlarındaki deney numuneleri kullanılmıştır. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de bu takımlar görülmektedir.



Şekil 3.1. Freze takımları



Şekil 3.2. Torna takımları

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Takımlar ve deney numuneleri üzerine KAPCO Kaplama San. ve Tic. Ltd. Şti. tarafından Katodik Ark Fiziksel Buhar Kaplama (KAFBK) yöntemi ile AlTiCN ve CrCN kaplanmıştır. Kaplama parametreleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Uygulanan kaplamaların yapısal, mekanik ve tribolojik özellikleri deney numuneleri üzerinde yapılan testlerle belirlenmiştir.

Çizelge 3.1. Kaplama parametreleri

	AlTiCN	CrCN
Parametreler	Değerler	Değerler
Bias (V)	100	150
Katot Akımı (A)	60	55
Basınç (mbar)	1.2×10^{-2}	2×10^{-2}
Sıcaklık (°C)	450	450

Kaplanmış ve kaplanmamış takımlar ile ticari adı IMPAX çeliği olan, 1.2738 plastik enjeksiyon kalıp çeliğinden (40CrMnNiMo 8-6-4) iş parçası işlenerek takımların gerçek çalışma koşullarındaki aşınma performansları incelenmiştir. Dik işlem merkezi için 100x100x30 mm, torna tezgâhı için ise 20.8 mm çap ve 90 mm uzunlukta kütük parçalar hazırlanmıştır. Çizelge 3.2’de iş parçasının kimyasal bileşimi görülmektedir.

Çizelge 3.2. İş parçası kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşim	C	Mn	Cr	Ni	Mo	Fe
% Dağılım	0.40	1.45	1.90	1.0	0.20	Balans

3.2. Yöntem

3.2.1. X Işını Kırınım (XRD) Analizleri

AlTiCN ve CrCN kaplanmış olan numuneler ile işlemsiz numunenin XRD analizleri GNR-Explorer XRD cihazı ile $\lambda=1.5405$ Å dalga boyuna sahip Cu-K α radyasyonu kullanılarak Şekil 3.3'teki XRD cihazı ile yapılmıştır. XRD sonuçları, bilgisayar programı kullanılarak ve literatür taraması yapılarak karşılaştırmalı olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.3. X Işını kırınım (XRD) cihazı

3.2.2. Kaplama kalınlığının belirlenmesi

AlTiCN ve CrCN kaplanmış deney numuneleri dikey olarak bakalite alındıktan sonra SiC zımparalar ile 240 numaradan 1200 numaraya kadar zımparalanmış, ardından 6 µm'lik elmas süspansiyon ile parlatılmıştır. Parlatma işlemini takiben seyreltilmiş %35'lik Hidrojen peroksit (H₂O₂) ve Nitrik asit (HNO₃) çözeltisi ile 10 dakika

dağılandıktan sonra Şekil 3.4'teki FEI QUANTA-FEG 250 markalı taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile kesit görüntüleri alınarak kaplama kalınlıkları tespit edilmiştir.



Şekil 3.4. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

3.2.3. Mikro sertlik ölçümleri

Deney numunelerinin sertliklerini belirlemek için Şekil 3.5'teki SHIMADZU HMV-G20 mikro sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Vickers sertlik ölçme yöntemi ile yapılan ölçümlerde 50 g yük altında 10 s bekleme süresi ile numuneler üzerinde 10 farklı noktada ölçümler yapılmış ve bu ölçümler sonucunda numunelerin ortalama sertlik değerleri belirlenmiştir.



Şekil 3.5. Mikro sertlik ölçüm cihazı

3.2.4. Çizik Testi (Scratch Test)

Deney numuneleri üzerinde uygulanan çizik testi ile kaplamaların adezyon testleri gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde 0.2 mm yarıçaplı ve 120° konik açılı elmas Rockwell C batıcı uç, kaplama yüzeyinde 150 N/dakika yükleme ile 15 mm/dakika kayma hızında hareket ettirilmiştir. Çiziğe bağlı olarak oluşan hasar, optik mikroskopla incelenerek kaplamanın adezyon performansı incelenmiştir. Kaplamanın tamamen kalktığı ve taban malzemeye tamamen indiği yük değeri, kritik yük değeri (L_c) olarak alınmıştır. Testlerde kullanılan Bruker-UMT II (Bruker Universal Mechanical Tester) Tribometre cihazı Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Tribometre test cihazı

3.2.5. Çok Pasolu çizik testi (Multi-Pass Scratch Test)

Kaplamaların yorulma davranışlarını belirlemek için çok pasolu çizik testi yapılmıştır. Çok pasolu çizik testi, Şekil 3.6'daki Tribometre test cihazında, 150 saniye süreyle 15 N, 20 N ve 25 N yüklerde 4 mm strok boyunda uygulanmıştır. Bu test sonucu oluşan deformasyon izleri Şekil 3.7'deki Bruker Contour GT markalı 3D profilometre cihazında görüntülenmiş ve aşınma hacimleri belirlenmiştir.



Şekil 3.7. Profilometre cihazı

3.2.6. Aşınma analizleri

Aşınma analizleri kaplanmış ve kaplanmamış deney numuneleri üzerine uygulanmıştır. Aşınma deneyleri, Şekil 3.6’da verilen tribometre test cihazı ile Çizelge 3.3’teki parametreler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.3. Aşınma deneyi parametreleri

Parametreler	Değerler
Test Türü	İleri-Geri
Uygulanan Yük	30 N
Strok	4 mm
Aşındırma Hızı	8 mm/s
Süre	3600 s
Karşı Bilye Malzemesi	Al_2O_3
Ortam	Kuru şartlar
Sıcaklık	Oda Sıcaklığı 20 ± 2 °C

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Deney sonucu elde edilen verilerden aşınma oranlarının hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$\text{Aşınma Oranı } \left(\frac{\text{mm}^3}{\text{Nm}} \right) = \frac{\text{Aşındırılan Hacim } (\text{mm}^3)}{\text{Uygulanan Yük } (N) \cdot \text{Aşınma Mesafesi } (m)} \quad (3.1)$$

3.2.7. Talaşlı imalat performans testleri

İşlemsiz, AlTiCN ve CrCN kaplanmış takımların gerçek çalışma koşullarındaki performanslarının belirlenmesi için Şekil 3.8’deki HAAS-VF2 üç eksenli CNC dik işleme merkezi ve Şekil 3.9’deki HAAS-ST10 iki eksenli CNC torna tezgâhı kullanılmıştır.

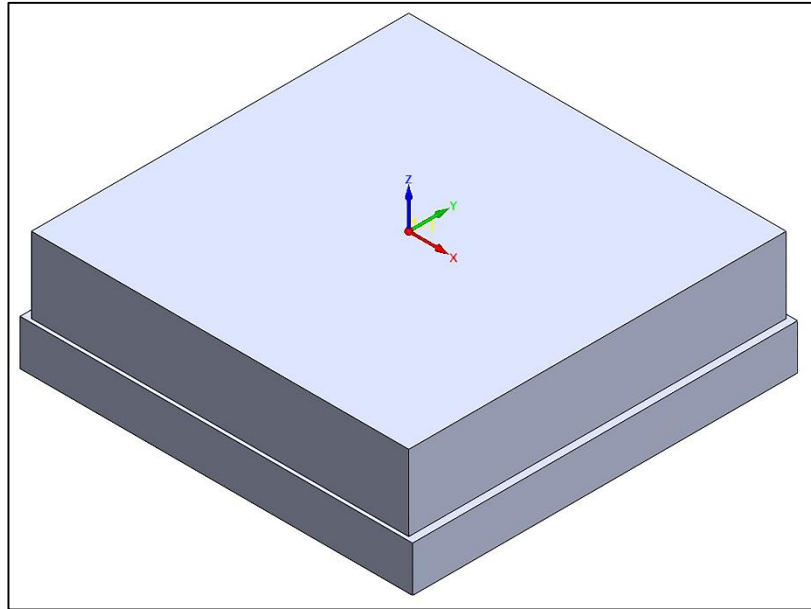


Şekil 3.8. CNC dik işleme merkezi



Şekil 3.9. CNC torna tezgâhı

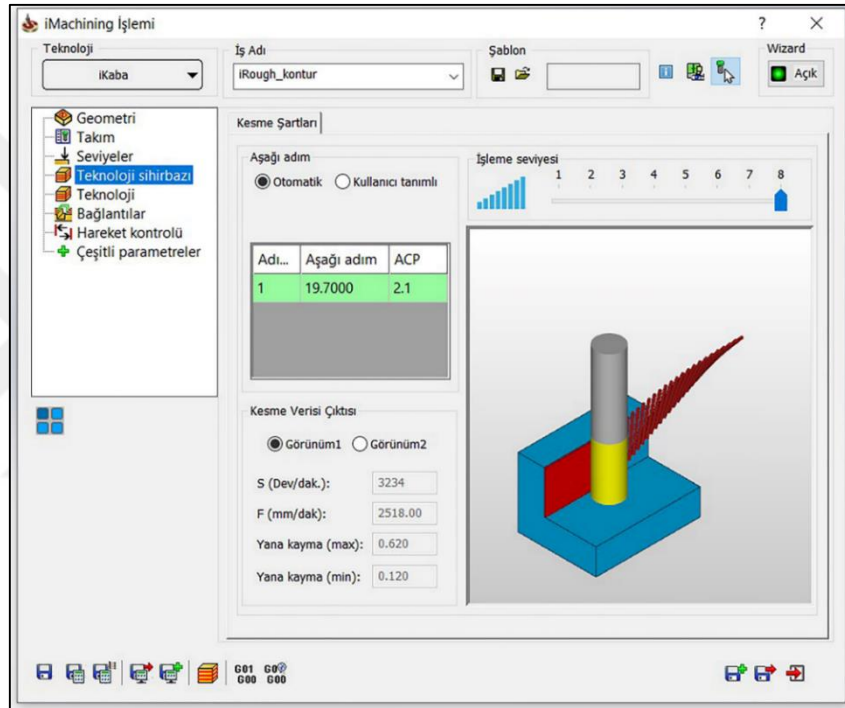
Hem CNC dik işleme merkezi hem de CNC torna tezgâhında gerçekleştirilen operasyonlar için, Impax çeliğinden iş parçaları hazırlanmıştır. CNC dik işlem merkezi için Şekil 3.10'da görülen ve 100x100x30 mm boyutlarında hazırlanan iş parçası üzerinden 200 cm³ talaş kaldırılmıştır. Bu işlem için iMachining operasyonu tercih edilmiştir.



Şekil 3.10. Dik işleme merkezinde kullanılan iş parçası

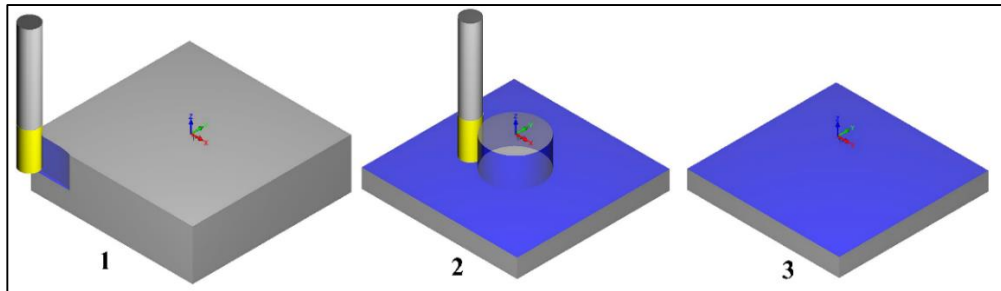
3. MATERYAL ve YÖNTEM

SolidCAM iMachining operasyonunda işlem seviyesi 8 olarak seçilmiştir. Bu değer, tezgâhın tam yük kapasitesinde ve duruma göre en yüksek devir ve ilerleme değerlerinde talaş kaldırması için tercih edilmiştir. İşleme parametrelerinden en yüksek devir sayısı 3234 dev/dak, ilerleme değeri 2518 mm/dak, yana kayma değerleri ise 0.120 ile 0.620 mm arasında program tarafından otomatik olarak hesaplanmış ve bu parametrelerle parça, kuru kesim şartlarında (hava soğutma) frezeleme operasyonuna tabi tutulmuştur. Şekil 3.11’de SolidCAM iMachining operasyon parametreleri ekran görüntüsü verilmiştir.



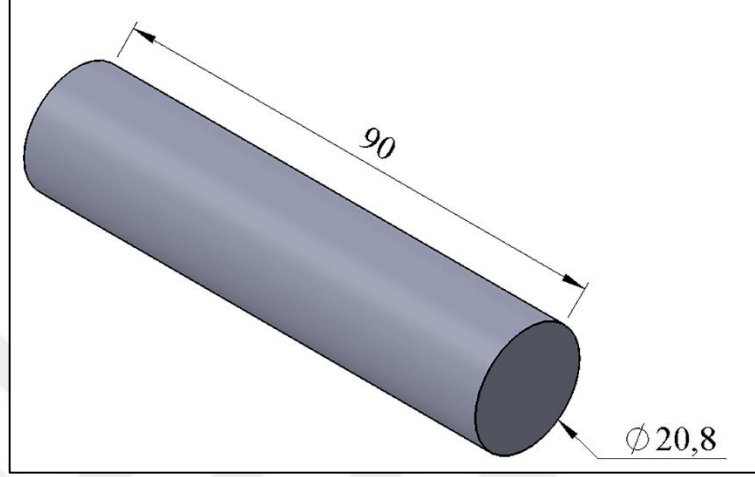
Şekil 3.11. iMachining operasyon parametreleri

CNC dik işleme merkezinde iMachining operasyonu ile yapılan talaşlı işleme ait simülasyon adımı görüntüleri Şekil 3.12’de sunulmuştur.



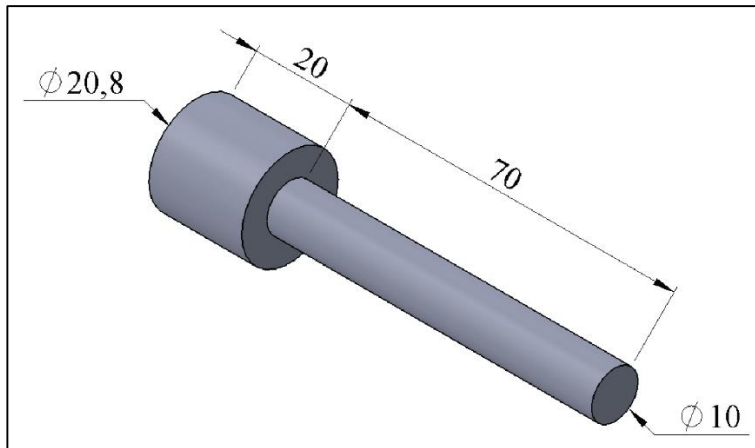
Şekil 3.12. SolidCAM işleme adımları simülasyon görüntüleri

CNC torna tezgâhı için 20.8 mm çapında ve 90 mm uzunluğunda Impax çeliğinden silindirik iş parçası hazırlanmış olup, iş parçası Şekil 3.13'te verilmiştir.



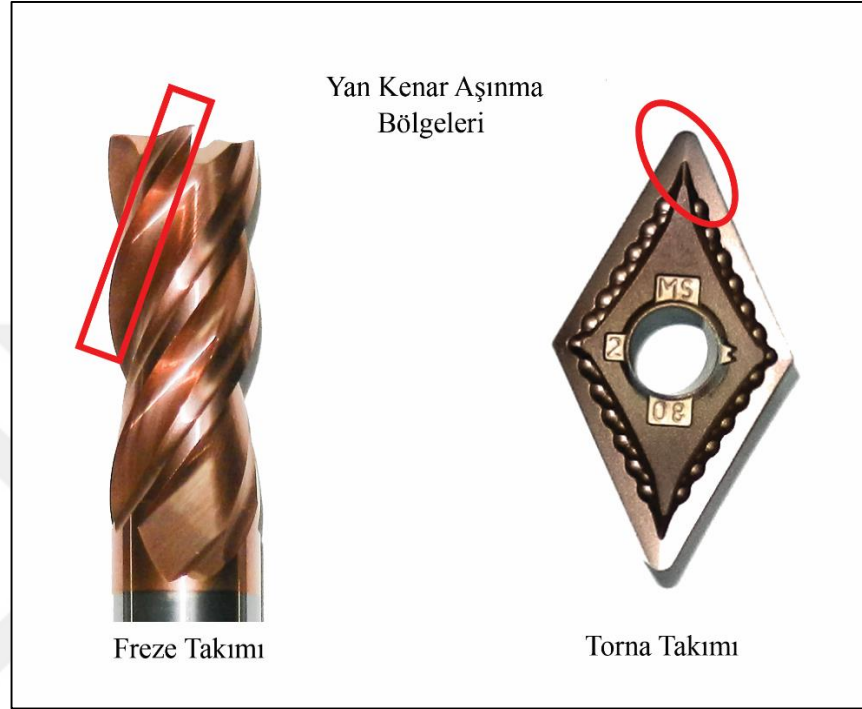
Şekil 3.13. CNC torna tezgâhında kullanılan iş parçası

Tornalama işlemleri için CAM kodları, SolidCAM programı tornalama modülünde hazırlanmış olup, tornalama işlemi için devir başına ilerleme miktarı 0.16 mm/dev, devir sayısı 1500 dev/dak olarak seçilmiştir. 0.5 mm aşağı adım miktarı verilerek yapılan talaşlı işleme ile iş parçası üzerinden yaklaşık 18 cm³ talaş kaldırılmıştır.



Şekil 3.14. CNC torna tezgâhında talaş kaldırma sonrası iş parçasının görüntüsü

Takımlardaki aşınma analizleri için Şekil 3.15'te gösterilen yan kenar aşınması (Flank Wear) araştırılmıştır. Talaşlı imalat sonrası, taramalı elektron mikroskobunda aşınmaya maruz kalan bölgeler görüntülenmiş ve yan kenar aşınması miktarları belirlenerek karşılaştırma yapılmıştır.



Şekil 3.15. Takımların yan kenar aşınma bölgeleri

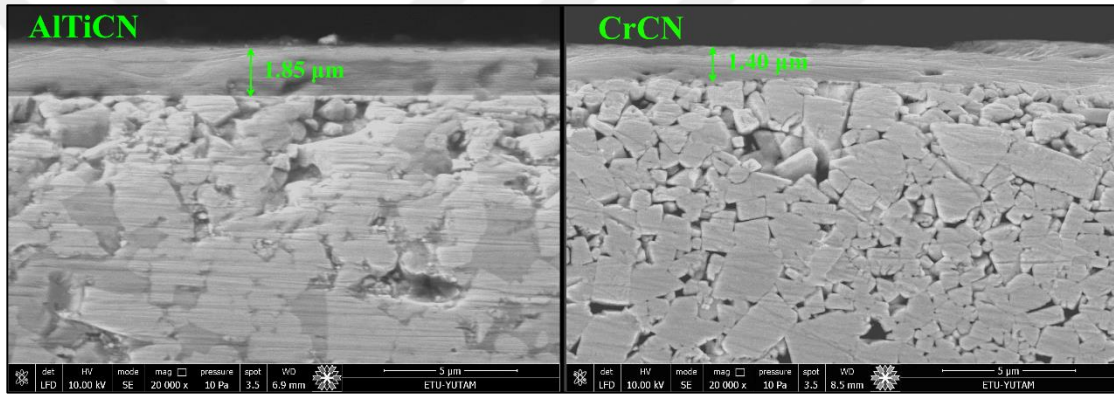
Talaşlı imalat operasyonları sonrası, takımların kütle kaybı miktarlarını belirlemek için bütün takımlar, hem imalat öncesi hem de sonrasında ultrasonik yıkama ile yıkanmış ve hassas terazi ile ağırlıkları ölçülmüştür. İşlem öncesi ve sonrası ölçülen değerler arasındaki fark ile takımların kütle kaybı miktarları belirlenmiştir.

3.2.8. İş Parçası yüzey pürüzlülük değerleri

Dik işleme merkezinde ve CNC torna tezgâhında işlemsiz, CrCN ve AlTiCN kaplanmış takımlar ile yapılan talaşlı işleme sonrası, hedef parça yüzeyinden 3D optik profilometre cihazı ile görüntüler alınarak, ortalama alan pürüzlülük (S_a) değerleri belirlenmiştir.

4.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Kaplama Kalınlığı Ölçümü

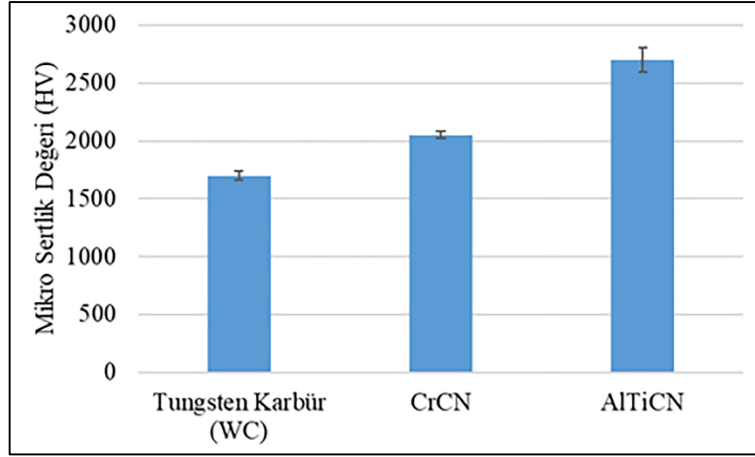
Kaplama kalınlıklarının belirlenmesi için deney numuneleri üzerinden alınan kesit SEM görüntüleri Şekil 4.2’de verilmiştir. SEM görüntülerinde gösterildiği gibi AlTiCN kaplama kalınlığının ortalama 1.85 μm , CrCN kaplama kalınlığının ise ortalama 1.40 μm olduğu belirlenmiştir. Kaplamalar taban malzeme yüzeyinde belirgin bir hatla görülmekte olup, kaplama kalınlığı değerlerinin kesitin her bölgesinde homojen olduğu ve kaplama işlemi sonrası elde edilen seramik ince filmlerin oldukça yoğun olduğu görülmektedir. Kaplama filmleri içerisinde yer alan bazı süreksizliklerin, kesit numunesi hazırlama sürecindeki mekanik parlatma işleminden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.2. Kaplama kalınlıkları

4.3. Mikrosertlik Ölçümleri

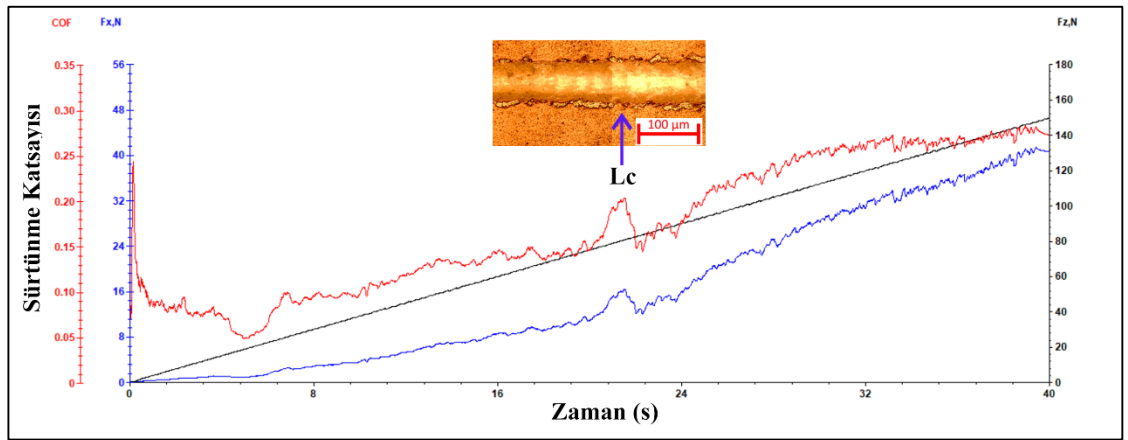
Tungsten Karbür taban malzemesi ve taban malzeme yüzeyine uygulanan AlTiCN ve CrCN kaplamalarının sertlik ölçüm sonuçları Şekil 4.3’te verilmiştir. Kaplama sertliğinin daha hassas olarak belirlenmesi için sertlik ölçümlerinin düşük yük altında gerçekleştirilmesi gerekliliğine karşın, düşük yük değerlerinde (10 ve 25 g) oluşan izlerin 40X büyütme ile okunabilmesi mümkün olmadığından, ölçümler 50 g yük kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Taban malzemesi olarak kullanılan Tungsten Karbürün sertlik değeri 1700 HV_{0.05} olarak ölçülürken, AlTiCN kaplanmış olan numunenin sertliği 2700 HV_{0.05} ve CrCN kaplanmış olan numunenin sertliği de 2050 HV_{0.05} olarak ölçülmüş olup en yüksek sertlik değeri AlTiCN ile kaplanmış numunede gözlenmiştir.



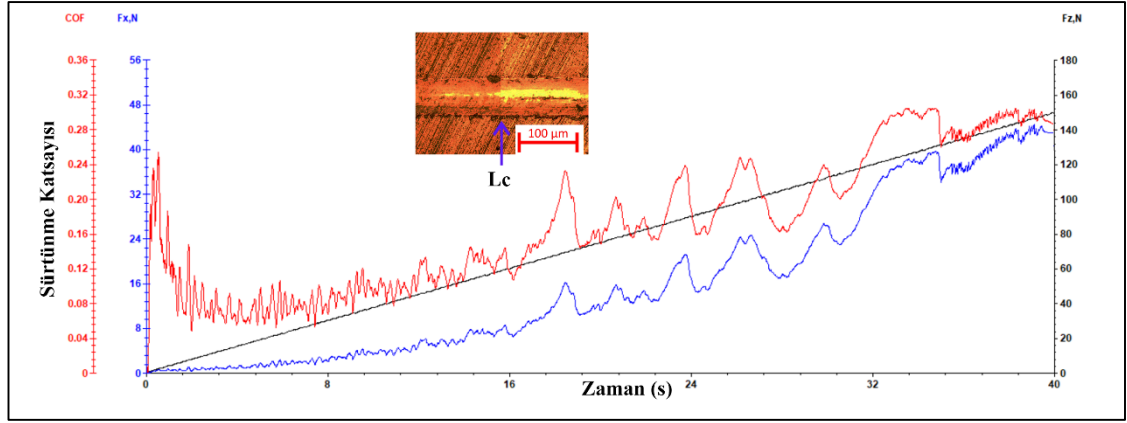
Şekil 4.3. Mikro sertlik değerleri

4.4. Çizik Testi (Scratch Test)

AlTiCN ve CrCN kaplamalarının tungsten karbür taban malzemesi üzerine adezyon performanslarının belirlenmesi için uygulanan çizik testi sonucu elde edilen veriler sırasıyla Şekil 4.4 ve 4.5'te sunulmuştur. İlgili grafiklerde çizik testi esnasında uygulanan kademeli yük değişimi ile sürtünme katsayısı ve sürtünme kuvveti arasındaki ilişki ile çizik izlerine belirli bir bölümüne ait optik mikroskop görüntüleri görülmektedir. Çizik testi ile oluşan izin tamamı bölümler halinde optik mikroskopta görüntülenmiş ve bu görüntüler birleştirilerek iz boyunca bir değerlendirme yapılmıştır. Kaplamanın, taban malzemesi üzerinden tamamen kalktığı ve batıcı ucun taban malzemesine ulaştığı yük değeri kritik yük (L_c) olarak alınmıştır.



Şekil 4.4. AlTiCN kaplama için çizik testi sonuçları



Şekil 4.5. CrCN kaplama için çizik testi sonuçları

Çizik testi esnasında artan yükün etkisiyle oluşan plastik şekil değişimi ile batıcı ucun taban malzemesine kadar ulaştığı görülmüştür. AlTiCN kaplamasının kritik yük değeri, CrCN'den önemli ölçüde yüksek olarak elde edilmiştir. Dolayısı ile AlTiCN kaplamasının taban malzeme adezyonunun, CrCN kaplamaya göre daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır. AlTiCN ve CrCN için kritik yük değerleri (L_c) Çizelge 4.1'de verilmiştir. AlTiCN ile kaplanmış tungsten karbür deney numunelerinin sertliğinin CrCN'ye göre daha yüksek olması, batıcı ucun yüzeyde oluşturacağı plastik deformasyona karşı direnci arttırmış ve sonuç olarak kritik yük değerinde 22 N'luk bir farklılık ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.1. Çizik testi kritik yük değerleri

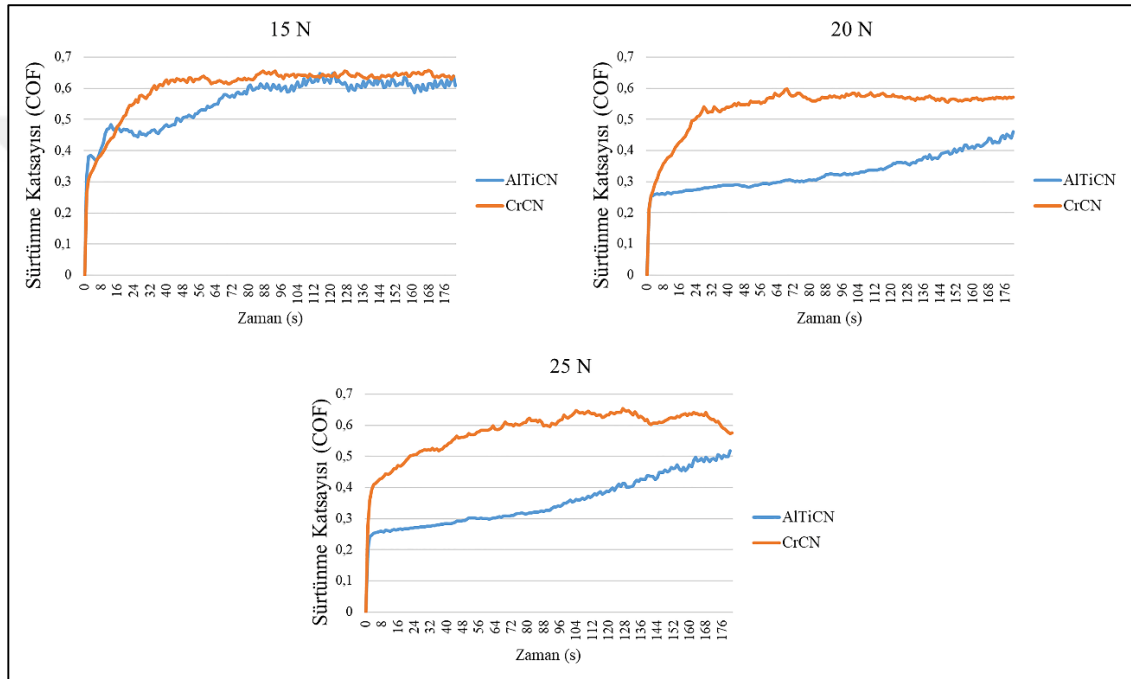
Kaplama Türü	Kritik Yük Değeri (L_c , N)
AlTiCN	83
CrCN	61

4.5. Çok pasolu çizik testi (Multi-Pass Scratch Test)

Şekil 4.6'da farklı normal yükler (15, 20 ve 25 N) altında gerçekleştirilen çok pasolu çizik testi sonrası elde edilen sürtünme katsayısı-zaman grafikleri verilmiştir. Tüm normal yük değerleri için AlTiCN ile kaplanmış numuneler, CrCN ile kaplanmış numunelere kıyasla daha düşük sürtünme katsayısı değerleri sergilemiştir. Artan normal yükün etkisi ile AlTiCN kaplama ile CrCN kaplamanın sürtünme katsayıları arasındaki

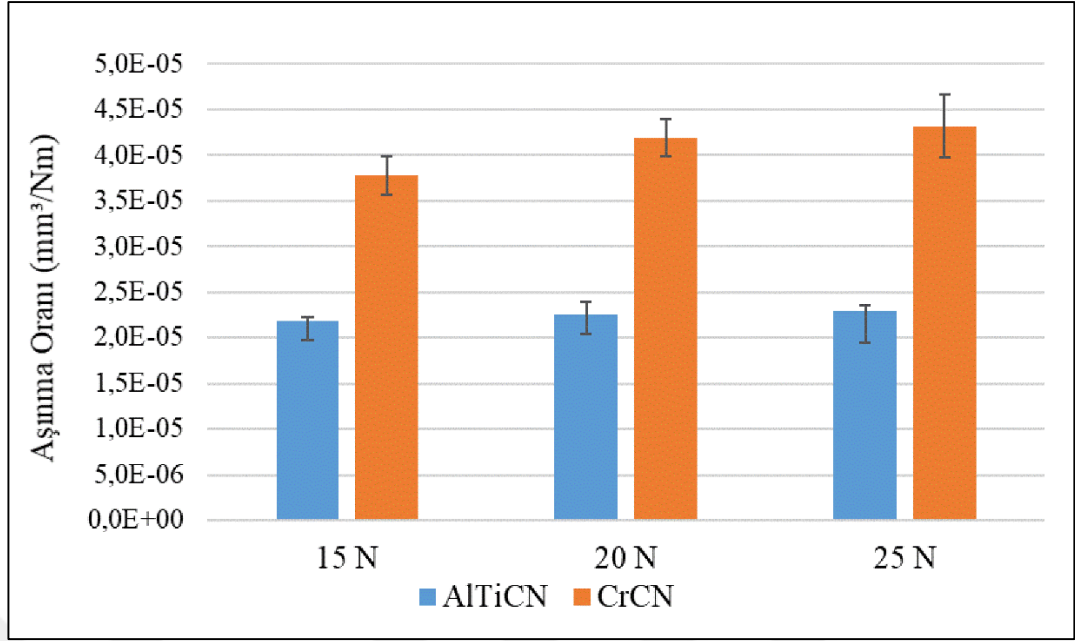
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

fark daha belirgin hale gelmiştir. CrCN kaplamaya ait sürtünme katsayısı değerleri nispeten düşük adezyonun bir sonucu olarak daha kararsız bir davranış göstermiştir. AlTiCN kaplamada ise sürtünme katsayısı değerleri başlangıçta düşük seviyede ve oldukça kararlı bir davranış seyrederken, seramik filmin belirli bir süre sonra yorulma hasarına maruz kalarak kırılması ile kararsız bir form sergilemeye başlamış ve yükselme eğilimine girmiştir. Çok pasolu çizik testi sonrası elde edilen sürtünme katsayısı sonuçlarının, çizik testinden elde edilen kritik yük değerleri ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.



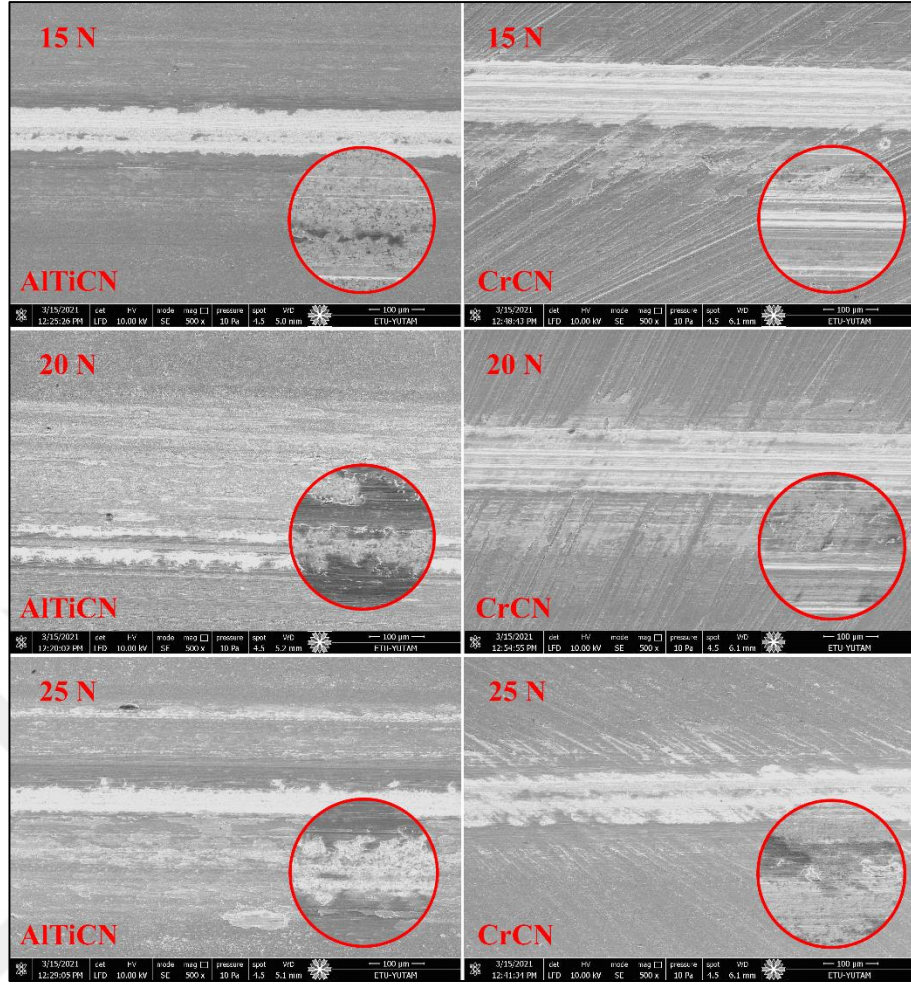
Şekil 4.6. Çok pasolu çizik testi sürtünme katsayıları grafikleri

Şekil 4.7'de çok pasolu çizik testi sonrası aşınma oranları, Şekil 4.8'de ise izlere ait SEM görüntüleri verilmiştir. Her iki kaplanmış numune için de normal yük artışıyla aşınma oranları artmıştır. AlTiCN ile kaplanmış numuneler sahip olduğu yüksek sertlik ve adezyon sebebiyle, CrCN ile kaplanmış numunelere nazaran %50 oranında daha düşük aşınma oranı değerleri sergilemiştir. CrCN ile kaplanmış numunelerde, çok pasolu çizik testinde uygulanan normal yükün artışı ile kademeli olarak artan aşınma oranı değerleri sunarken, AlTiCN ile kaplanmış numunelerdeki aşınma oranları artan normal yük değerlerinden daha az etkilenmiştir.



Şekil 4.7. Çok pasolu çizik testi aşınma oranları

Çok pasolu çizik testi sonucu oluşan izlere ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri Şekil 4.8’de verilmiştir. Testler esnasında uygulanan normal yükteki artışa bağlı olarak hem AlTiCN hem de CrCN ile kaplanmış numunelerde iz genişlikleri artmıştır. Çok pasolu çizik testi aşınma oranı sonuçları ile uyumlu olmak üzere, AlTiCN ile kaplanmış numunelerin iz genişlikleri, CrCN ile kaplanmış numunelerin iz genişliklerine göre daha düşük olarak elde edilmiştir. Bu görüntülerde artan yüke bağlı olarak kaplamalardaki hasar da artış göstermiştir. CrCN ile kaplanmış numunelerde daha düşük adezyon ve sertlik nedeniyle çok pasolu çizik testi esnasında filmin yorulma hasarı ile bozulduğu ve filmde kopan aşınma debriyelerinin aşınma izi içerisinde abrazyon çizgileri oluşturduğu görülmektedir. Çok pasolu çizik testi SEM görüntülerinin, sürtünme katsayısı sonuçları ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.



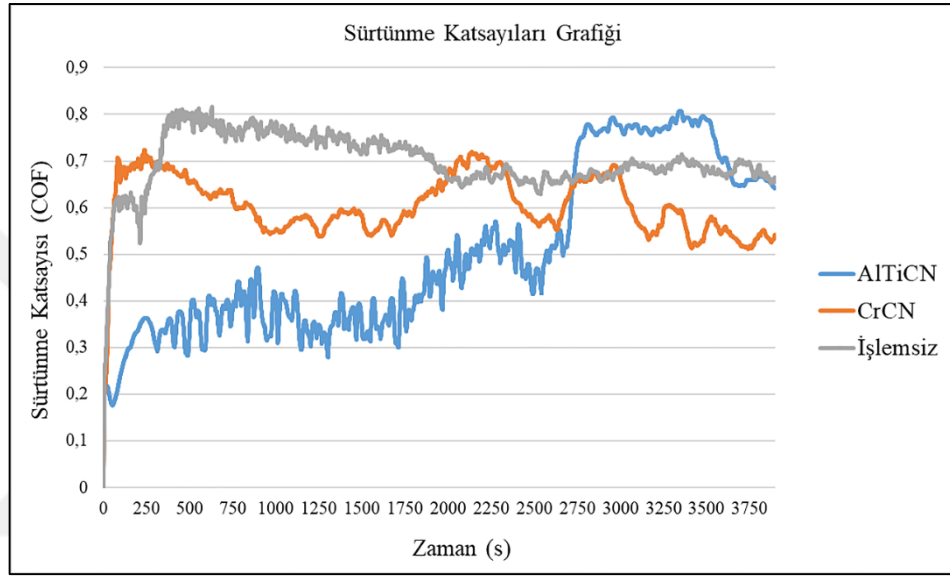
Şekil 4.8. Çok pasolu çizik testi izlerine ait SEM görüntüleri

4.6. Aşınma Testi

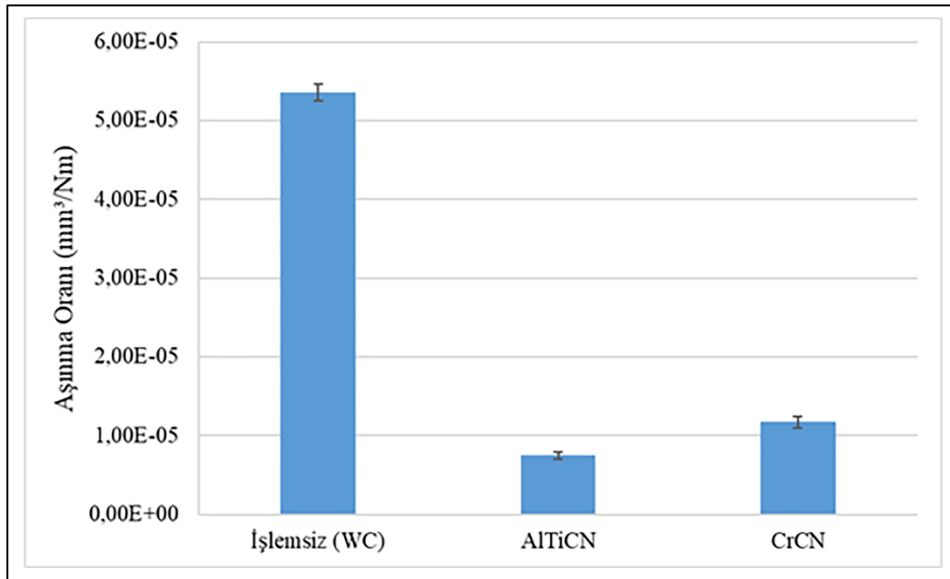
İşlemsiz, AlTiCN ve CrCN ile kaplanmış Tungsten Karbür numunelerin ileri-geri (reciprocating) aşınma testi sonrası elde edilen sürtünme katsayısı-zaman grafikleri Şekil 4.9'da sunulmuştur. Kaplanmış ve kaplanmamış numuneler için testin başlangıcında aşındırıcı pin malzemesinin numunelere ilk teması ile sürtünme katsayıları yükselmiş, daha sonra yüzeylerin birbirine alışması neticesinde kararlı forma dönüşmüştür. En yüksek sürtünme katsayısı kaplanmamış numune için elde edilirken, kaplanmış numunelerde sürtünme katsayısı düşmüştür. CrCN ile kaplanmış numunede sürtünme katsayısı değerleri kaplanmamış numuneye nazaran daha düşük olmasına rağmen test boyunca stabil bir durum görülmemiştir. En düşük sürtünme katsayısı AlTiCN ile kaplanmış numune için elde edilirken, aşınma testinin sonlarına doğru filmin hasara uğramasından dolayı sürtünme katsayısının yükseldiği tespit edilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

İşlemsiz, AlTiCN ve CrCN ile kaplanmış Tungsten Karbür numunelerin aşınma testi sonrası elde edilen aşınma oranları Şekil 4.10'da verilmiştir. Kaplama işlemleri sonrası tungsten karbür malzemenin aşınma direnci önemli oranda artırılmıştır. AlTiCN kaplama işlemi sonrası aşınma oranı yaklaşık olarak 7 kat azalmışken, CrCN kaplama işlemi sonrası 4.5 kat azalmıştır. Bu sonuçlara göre Tungsten Karbür taban malzemesi üzerine yapılan AlTiCN ve CrCN kaplamalarının aşınma davranışında olumlu katkıları olduğu sonucuna varılmıştır.



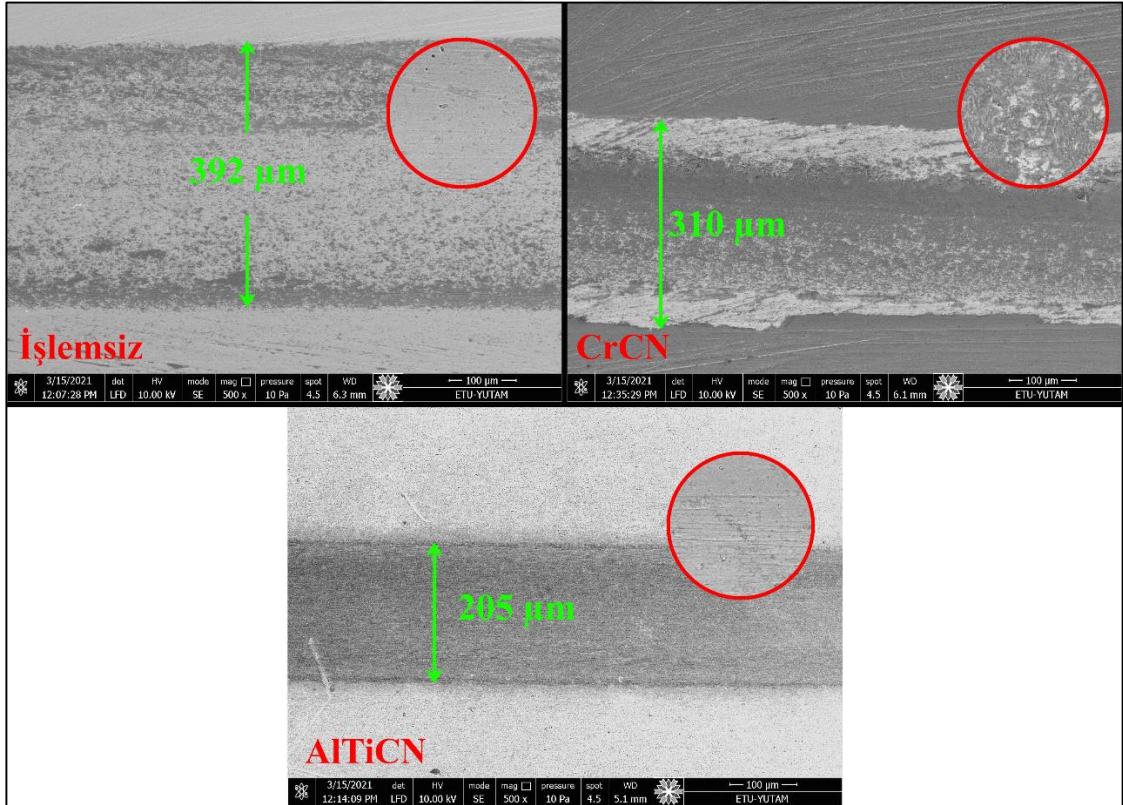
Şekil 4.9. Aşınma testine ait sürtünme katsayısı-zaman grafiği



Şekil 4.10. Aşınma testine ait aşınma oranları grafiği

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Kaplanmamış, AlTiCN ve CrCN ile kaplanmış numunelere ait aşınma izi SEM görüntüleri Şekil 4.11’de sunulmuştur. Aşınma izleri incelendiğinde kaplama işlemleri sonrası, işlemsiz numuneye göre iz genişliklerinde önemli ölçüde azalma olduğu görülmektedir. En düşük aşınma izi genişliğinin AlTiCN ile kaplanmış numune için elde edilmiştir. Bu sonuç, aşınma oranı ve yüzey sertliği grafiğindeki sonuçla desteklenmektedir. SEM görüntüleri incelendiğinde, işlemsiz tungsten karbür malzemenin aşınma sırasında yüksek plastik deformasyona uğradığı ve en yüksek iz genişliğine sahip olduğu görülmektedir. Seramik filmler ile kaplama işlemi sonrası artan yüzey sertliğine bağlı olarak aşındırıcı pin ile temas alanı azalmak suretiyle adeziv aşınma daha düşük seviyede kalmıştır. AlTiCN ile kaplanmış numunede taban malzeme ile kaplama arasındaki adezyonun daha yüksek olması sebebiyle kararlı bir aşınma izi profili elde edilmiştir. CrCN kaplamada iz genişliği işlemsiz numuneye kıyasla daha düşük olmasına rağmen, iz kenarlarında kaplamanın kabuklanma şeklinde taban malzemeden ayrıldığı görülmektedir.

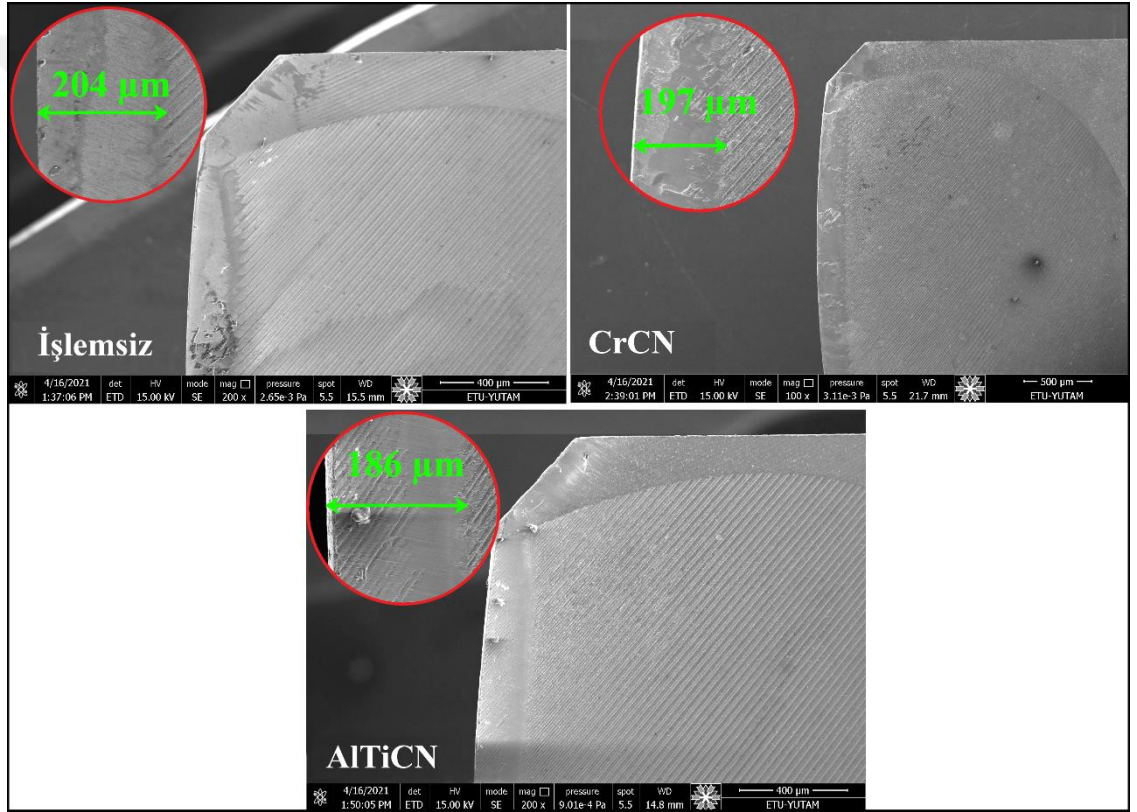


Şekil 4.11. Aşınma izlerine ait SEM görüntüleri

4.7. Kesici Takımların Talaşlı İmalat Performansları

4.7.1. Freze takımlarının talaşlı imalat performansları

Frezeleme işlemleri sonrası kaplanmamış, AlTiCN ve CrCN ile kaplanmış 12 mm çaplı tungsten karbür parmak frezelerden alınan yan kenar aşınma (flank wear) SEM görüntüleri Şekil 4.12’de verilmiştir. Kaplama işlemleri sonrası yan kenar aşınma genişlikleri kaplanmamış takımlara oranla daha düşük seviyede kalmıştır. En düşük yan kenar aşınma genişliği AlTiCN ile kaplanmış takımda elde edilmiştir.



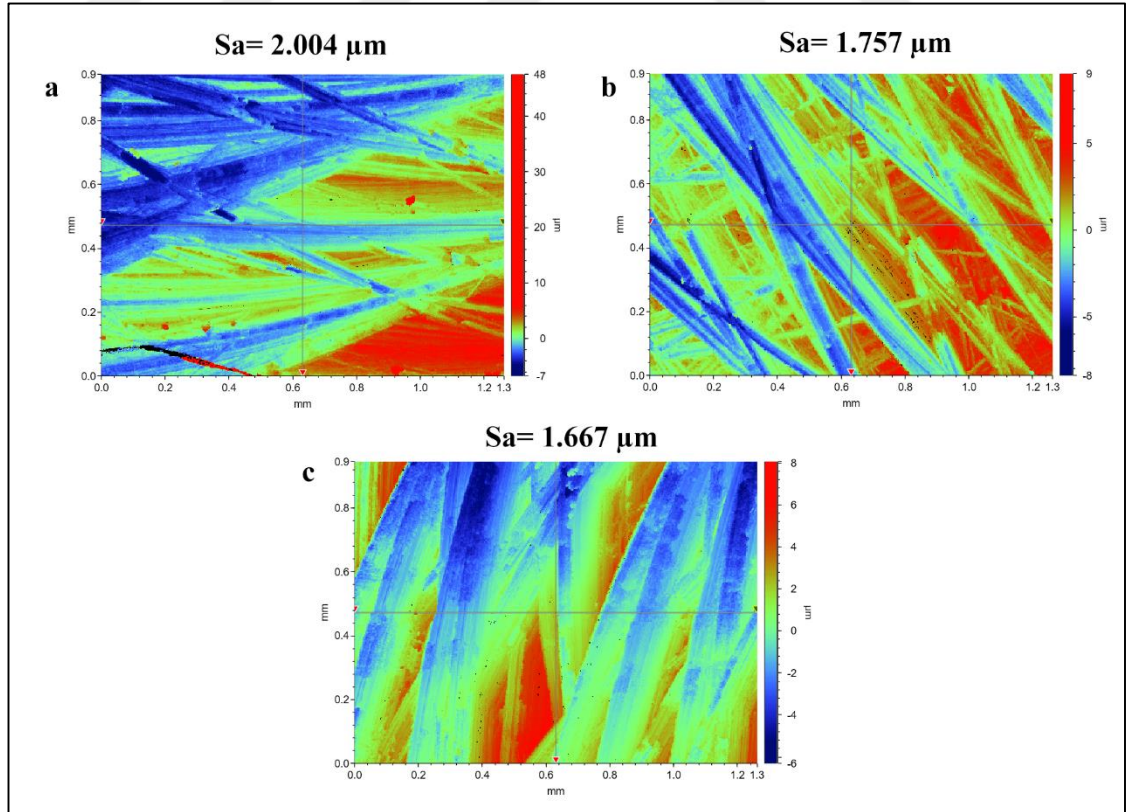
Şekil 4.12. Freze takımlarının işlem sonrası SEM görüntüleri

Freze takımlarının kütle kaybı analizi için, hem işlem öncesi hem de işlem sonrasında ultrasonik yıkama yapılarak takımlar hassas terazide tartılmıştır. Kütle kaybı değerleri Çizelge 4.2’de sunulmuştur. Yapılan ölçümlerde en az kütle kaybı AlTiCN kaplanmış takımda, en yüksek ise kaplanmamış takımda olduğu belirlenmiş olup, kütle kaybı sonuçları yan kenar aşınma genişlikleri ile uyumlu olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.2. Freze takımlarının kütle kaybı sonuçları

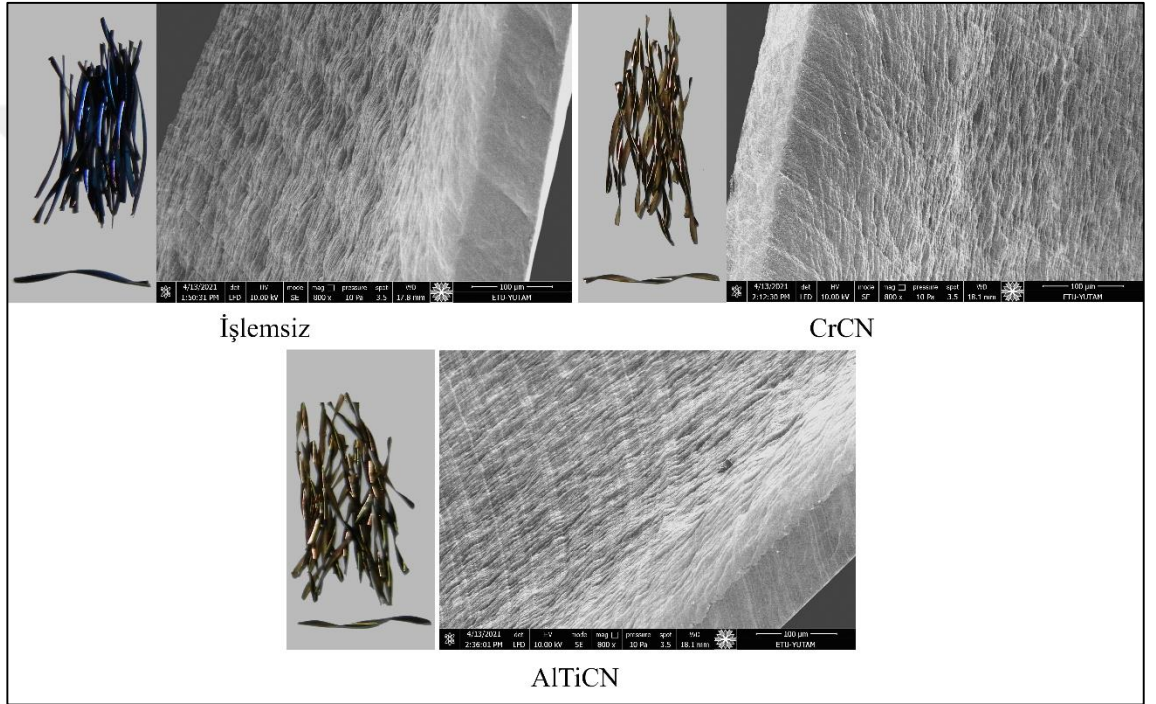
Takımlar	İşleme Öncesi (gr)	İşleme Sonrası (gr)	Fark (gr)
İşlemsiz	113.3927	113.3813	0.0114
CrCN	112.8537	112.8482	0.0055
AlTiCN	113.0365	113.0349	0.0016

Frezeleme işlemleri sonrası impax çeliği iş parçalarından alınan optik profilometre görüntüleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri Şekil 4.13'te verilmiştir. Yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde en düşük pürüzlülük değeri AlTiCN kaplanmış takımla işlenen iş parçasında, en yüksek değer ise kaplanmamış takımla işlenen iş parçasında olduğu belirlenmiştir. Elde edilen iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, aşınma testleri sonrası elde edilen sürtünme katsayısı sonuçları ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak iş parçası yüzey kalitesi açısından AlTiCN ile kaplanmış kesici takım daha üstün sonuç sergilemiştir.

**Şekil 4.13.** Frezeleme işlemi sonrası iş parçası yüzey pürüzlülük değerleri (a) İşlemsiz, (b) CrCN, (c) AlTiCN

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

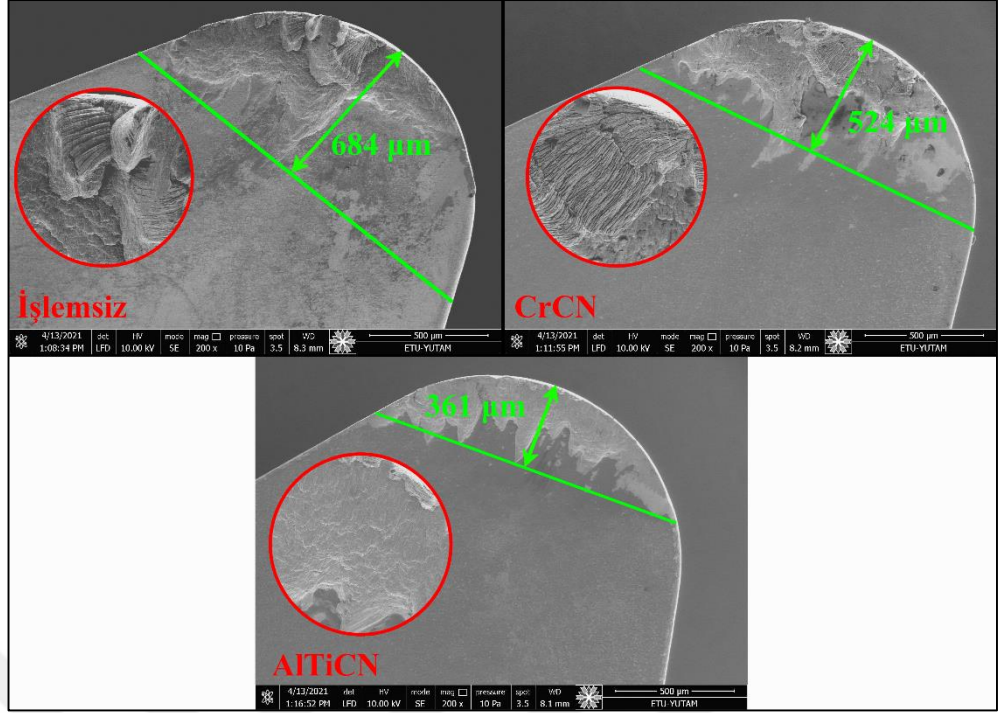
Frezeleme işlemi sırasında çıkan talaşlar ve bu talaşların taramalı elektron mikroskobu görüntüleri Şekil 4.14'te verilmiştir. Burada her üç takım ile işleme sırasında çıkan talaş formları birbirlerine çok yakın bir formda olmasına karşın işlemsiz takım ile işleme sırasında çıkan talaşın daha düz ve renginin kaplanmış takımlara göre mavi bir renk alması bu takımın ısınmanın daha fazla meydana geldiğini göstermektedir. Bunun nedeni, kaplanmış takımların tribolojik özelliklerinin daha iyi olması kesme kuvvetleri üzerine de olumlu etki etmekte ve takım ile iş parçası arasında oluşan sürtünmelere bağlı olarak ortaya çıkan sıcaklığın azalmasına neden olmaktadır.



Şekil 4.14. Freze takımlarının talaş formu ve SEM görüntüleri

4.7.2. Torna takımlarının talaşlı imalat performansları

Tornalama işlemleri sonrası kaplanmamış, AlTiCN ve CrCN ile kaplanmış tungsten karbür insert uçlardan alınan aşınma SEM görüntüleri Şekil 4.15'te verilmiştir. Kaplama işlemleri sonrası insert uçtaki aşınma miktarı kaplanmamış takıma oranla daha düşük seviyede kalmıştır. Torna takımlarındaki en düşük aşınma genişliği AlTiCN ile kaplanmış takım için elde edilmiştir.



Şekil 4.15. Torna takımlarının işlem sonrası SEM görüntüleri

Çizelge 4.3'te torna takımlarının kütle kaybı sonuçları verilmiştir. Torna takımlarının talaşlı imalat öncesi ve sonrasında hassas terazi ile yapılan ölçümlerinde kütle kaybı miktarları en fazla işlemsiz takımda en az ise AlTiCN kaplanmış takımda olduğu belirlenmiştir. Elde edilen kütle kaybı sonuçları takımların aşınma SEM görüntülerinden elde edilen sonuçları desteklemektedir.

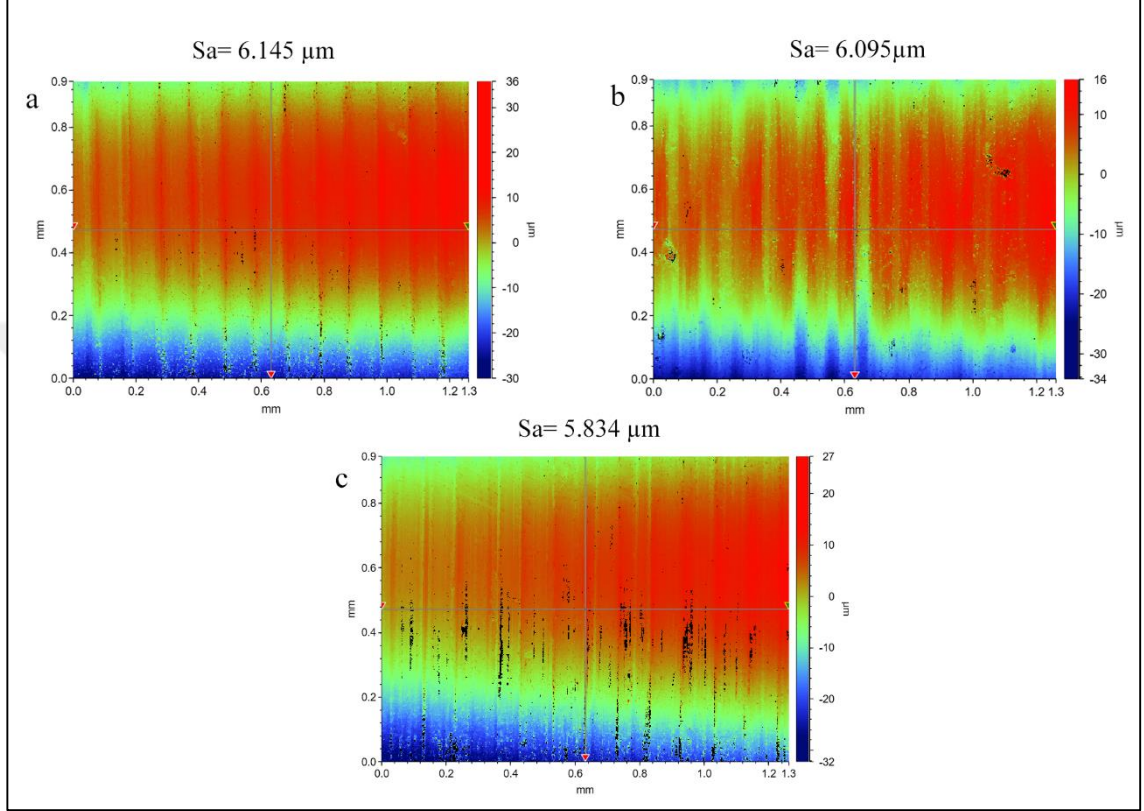
Çizelge 4.3. Torna takımlarının kütle kaybı sonuçları

Takımlar	İşleme Öncesi (gr)	İşleme Sonrası (gr)	Fark (gr)
İşlemsiz	14.858	14.857	0.0010
CrCN	14.806	14.880	0.0004
AlTiCN	14.831	14.883	0.0001

İşlemsiz, AlTiCN ve CrCN kaplanmış torna takımları ile yapılan talaşlı imalat sonrası silindirik iş parçalarından alınan optik profilometre görüntüleri ve yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 4.16'da sunulmuştur. Yüzey pürüzlülüğü değerleri incelendiğinde en düşük pürüzlülük değeri AlTiCN ile kaplanmış takım ile işlenen iş

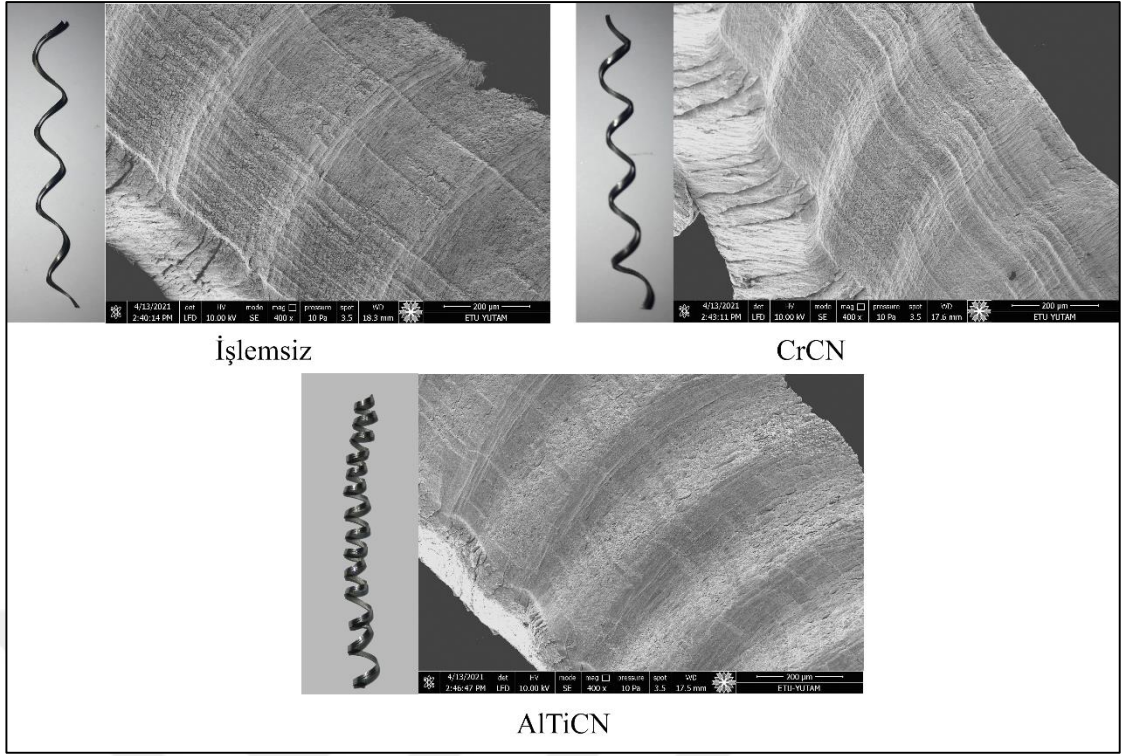
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

parçasında, en fazla ise kaplanmamış takım ile işlenen iş parçasında olduğu belirlenmiştir. Aşınma testlerinde en düşük sürtünme katsayısı değerlerini sergileyen AlTiCN ile kaplanmış tungsten karbür takım, frezeleme operasyonlarında olduğu gibi tornalama işlemlerinde de iş parçası yüzey kalitesi açısından başarılı sonuçlar vermiştir.



Şekil 4.16. Tornalama işlemi sonrası iş parçası yüzey pürüzlülük değerleri (a) İşlemsiz, (b) CrCN, (c) AlTiCN

Şekil 4.17’de tornalama işleminde kaplanmış ve kaplanmamış takımlar ile işleme sırasında oluşan talaş formları ve bu talaşların SEM görüntüleri verilmiştir. Tornalama işlemi sırasında oluşan talaşlar incelendiğinde aynı kesme parametrelerine göre kaplanmış takımlar talaş formunu önemli oranda etkilemiştir. Burada her üç takım ile işlemede çıkan talaş formu helisel formda olmasına karşın helis radyüsü en büyük işlemsiz takımında en düşük ise AlTiCN kaplanmış takımında olduğu görülmüştür. SEM görüntülerinde de talaş kenarlarının işlemsiz takım ile çıkan talaşta daha pürüzlü olduğu görülmektedir. Bunun nedeni kaplamaların tribolojik özellikleri nedeniyle kesme işlemi sırasında 1.deformasyon bölgesinde oluşan kuvvetlerin daha düşük olması ve buna bağlı olarak takımların daha az ısınması gösterilebilir.



Şekil 4.17. Torna takımlarının talaş formu ve SEM görüntüleri

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, tungsten karbür freze ve torna kesici takımlarının, KAFBK yöntemiyle AlTiCN ve CrCN ince filmleri ile kaplanması suretiyle tribolojik özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Kaplamaların mekanik, yapısal ve tribolojik özelliklerinin belirlenmesi için deney numuneleri, gerçek çalışma koşullarındaki performanslarının incelenmesi için de kaplanmamış ve kaplanmış takımlar CNC dik işleme merkezi ve CNC torna tezgâhı kullanılarak Impax çeliği iş parçaları üzerinde talaşlı işleme yapılmıştır. CNC dik işleme merkezinde kuru işleme ile iMachining operasyonu tercih edilirken, CNC torna tezgâhında soğutma sıvısı kullanılmış ve kesme hızı, devir ve ilerleme değerleri sabit tutulmuştur.

Yapılan çalışmalar sonrası kaplamaların performansları karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- XRD sonuçlarına göre, KAFBK yöntemiyle AlTiCN ve CrCN seramik ince filmleri, tungsten karbürden imal edilen deney numuneleri ve kesici takımlar üzerine başarılı bir şekilde büyütülmüştür.
- Kaplama kalınlıkları taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiş ve AlTiCN kaplamasının 1.85 μm , CrCN kaplamasının ise 1.40 μm olduğu belirlenmiştir. Kaplama kalınlıklarının birbirine çok yakın olması aşınma davranışlarının da doğru bir şekilde karşılaştırılmasını sağlamıştır.
- Taban malzemesi olarak kullanılan Tungsten Karbür malzememin sertlik değeri 1700 HV olarak ölçülürken, CrCN kaplanmış olan numunenin sertliği 2050 HV ve AlTiCN kaplanmış olan numunenin sertliği 2700 HV olarak ölçülmüştür.
- Kaplamaların adezyon performanslarını belirlemek için yapılan çizik testinde AlTiCN kaplamasının kritik yük değeri daha yüksek çıkmıştır. Bu sonuç AlTiCN'nin CrCN'ye göre taban malzemesine daha iyi bağlandığını göstermektedir.

- Yapılan aşınma testi sonuçlarına göre en düşük sürtünme katsayısı AlTiCN ile kaplanmış numunede, en yüksek değerler ise işlemsiz numunede gözlenmiştir. İşlemsiz numunenin ortalama sürtünme katsayısı 0.58 olarak ölçülürken, CrCN kaplamasının 0.51 ve AlTiCN kaplamasının 0.33 olarak ölçülmüştür.
- Aşınma testindeki en yüksek aşınma oranı işlemsiz numunede, en düşük ise AlTiCN kaplamasında olduğu belirlenmiştir. AlTiCN kaplama işlemi sonrası aşınma oranı işlemsiz numuneye oranla yaklaşık 7 kat azalmışken, CrCN kaplama işlemi sonrası 4.5 kat azalmıştır.
- İnce filmlerin yorulma davranışlarını belirlemek için yapılan çok pasolu çizik testi sonrası, her iki kaplanmış numune için de normal yük artışıyla aşınma oranları artmıştır. AlTiCN ile kaplanmış numuneler sahip olduğu yüksek sertlik ve adezyon sebebiyle, CrCN ile kaplanmış numunelere nazaran %50 oranında daha düşük aşınma oranı değerleri sergilemiştir. CrCN ile kaplanmış numunelerde, çok pasolu çizik testinde uygulanan normal yükün artışı ile kademeli olarak artan aşınma oranı değerleri sunarken, AlTiCN ile kaplanmış numunelerdeki aşınma oranları artan normal yük değerlerinden daha az etkilenmiştir.
- Kaplamaların gerçek çalışma koşullarındaki performanslarının belirlenmesi için gerçekleştirilen frezeleme işlemi sonrası, takım yan kenar aşınma genişliği ve kütle kaybı değerleri açısından yapılan değerlendirmede, AlTiCN ile kaplanmış kesici takım en üstün özellikleri sergilemiştir. Frezeleme sonrası iş parçası ortalama yüzey pürüzlülük değeri (S_a), işlemsiz takım ile işlenen iş parçasında en yüksek değere ulaşırken, en düşük yüzey pürüzlülük değeri AlTiCN kaplanmış takım ile işlenen iş parçasında oluşmuştur. Ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (S_a); işlemsiz freze takımı için 2.004 μm , CrCN için 1.757 μm ve AlTiCN için 1.667 μm olarak elde edilmiştir.
- Tornalama işlemleri sonrası insert uç aşınma genişliği ve kütle kaybı değerleri açısından yapılan değerlendirmede de frezeleme işlemindeki sonuçları destekleyen bulgular elde edilmiştir. En fazla aşınan takım işlemsiz iken, aşınma direnci en yüksek olan takım AlTiCN ile kaplanmış takım olarak belirlenmiştir. Tornalama sonrası iş parçası ortalama yüzey pürüzlülük değeri

(Sa), işlemsiz torna takımı için 6.145 μm , CrCN için 6.095 μm ve AlTiCN için 5.834 μm olarak elde edilmiştir.

5.2. Öneriler

Yapılan bu tez çalışmasında, talaşlı imalatta yaygın olarak kullanılan tungsten karbür kesici takımların AlTiCN ve CrCN seramik ince filmlerle kaplanması neticesinde, mekanik ve tribolojik özelliklerinin iyileştirilmesiyle takım ömürlerinin artırılmasında ve işlenen iş parçası yüzey pürüzlülüklerinin düşürülmesinde olumlu etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Yapılan kaplamalardan özellikle AlTiCN kaplamasının sahip olduğu üstün mekanik ve tribolojik özellikleri ile yeni nesil talaşlı imalat uygulamalarında tercih edilebilir bir kaplama malzemesi olduğu sonucuna varılmıştır.

Daha sonra yapılacak çalışmalarda farklı taban malzemeler üzerine farklı kalınlıklarda AlTiCN kaplaması yapılarak performansları incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Bag, R., Panda, A., Sahoo, A. K., & Kumar, R. (2019). Cutting tools characteristics and coating depositions for hard part turning of AISI 4340 martensitic steel: A review study. *Materials Today: Proceedings*, 26, 2073–2078. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.448>
- Bilgin, S., Güler, O., Alver, Ü., Erdemir, F., Aslan, M., & Çanakçı, A. (2021). Effect of TiN, TiAlCN, AlCrN, and AlTiN ceramic coatings on corrosion behavior of tungsten carbide tool. *Journal of the Australian Ceramic Society*, 57(1), 263–273. <https://doi.org/10.1007/s41779-020-00532-7>
- Bouzakis, K. D., Michailidis, N., Skordaris, G., Bouzakis, E., Biermann, D., & M'Saoubi, R. (2012). Cutting with coated tools: Coating technologies, characterization methods and performance optimization. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 61(2), 703–723. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2012.05.006>
- Chen, Y., Mei, F., Lin, X., Zhang, H., Gao, J., Yuan, T., Li, R., & Peng, T. (2020). The effect of carbon doping on microstructure, mechanical properties, wear resistance and cutting performance of AlTiCN coating. *Thin Solid Films*, 713(September), 138344. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2020.138344>
- Deng, Y., Chen, W., Li, B., Wang, C., Kuang, T., & Li, Y. (2020). Physical vapor deposition technology for coated cutting tools: A review. *Ceramics International*, 46(11), 18373–18390. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.04.168>
- Durmaz, Y. M. (2018). *TiAlSiN, AlCrN ve TiAlN Seramik Filmleri İle Kaplanmış Karbür Takımların Yüksek Hızlı Frezeleme İşleminde Aşınma Performansının İncelenmesi*. Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Fang, S., Klein, S., Bähre, D., & Llanes, L. (2020). Performance of laser surface textured cemented carbide tools during abrasive machining: Coating effects, surface integrity assessment and wear characterization. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 31, 130–139. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2020.10.006>
- Fuentes, G. G., Díaz de Cerio, M. J., García, J. A., Martínez, R., Bueno, R., Rodríguez, R. J., Rico, M., Montalá, F., & Qin, Y. (2008). Gradient CrCN cathodic arc PVD coatings. *Surface and Coatings Technology*, 203(5–7), 670–674. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2008.08.079>
- Grzesik, W. (2017). *Advanced Machining Processes of Metallic Materials*.
- Gupta, G., Tyagi, R. K., Rajput, S. K., Saxena, P., Vashisth, A., & Mehndiratta, S. (2020). PVD based thin film deposition methods and characterization / property of different compositional coatings - A critical analysis. *Materials Today: Proceedings*, 38, 259–264. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.132>
- Liu, K., & Li, X. P. (2001). Ductile cutting of tungsten carbide. *Journal of Materials*

Processing Technology, 113(1–3), 348–354. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(01\)00582-9](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(01)00582-9)

- Mattox, D. M. (2009). *Deposition (PVD) Processing Second edition Dedication To my wife Vivienne*.
http://www.elsevier.com/wps/find/bookdescription.cws_home/717814/description#description
- Mei, F., Chen, Y., Zhang, H., Lin, X., Gao, J., Yuan, T., & Cao, X. (2021). Greater improvement of carbon and boron co-doping on the mechanical properties, wear resistance and cutting performance of AlTiN coating than that of doping alone. *Surface and Coatings Technology*, 406(December 2020), 126738.
<https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126738>
- Moganapriya, C., Vigneshwaran, M., Abbas, G., Ragavendran, A., Harissh Ragavendra, V. C., & Rajasekar, R. (2021). Technical performance of nano-layered CNC cutting tool inserts – An extensive review. *Materials Today: Proceedings*, 45, 663–669. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.731>
- P.Groover, M. (2019). *Modern İmalatın Prensipleri*. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Pengfei, H., & Bailing, J. (2011). Study on tribological property of CrCN coating based on magnetron sputtering plating technique. *Vacuum*, 85(11), 994–998.
<https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2011.02.007>
- Polcar, T., Cvrček, L., Široký, P., & Novák, R. (2005). Tribological characteristics of CrCN coatings at elevated temperature. *Vacuum*, 80(1–3), 113–116.
<https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2005.07.033>
- Tavares, A. F., Lopes, A. P. O., Mesquita, E. A., Almeida, D. T., Souza, J. H. C., & Costa, H. L. (2021). Effect of transfer layers on friction and wear mechanisms in strip drawing tests of commercially coated forming tools. *Wear, February*, 203733.
<https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.203733>
- Vereschaka, A., Aksenenko, A., Sitnikov, N., Migranov, M., Shevchenko, S., Sotova, C., Batako, A., & Andreev, N. (2018). Effect of adhesion and tribological properties of modified composite nano-structured multi-layer nitride coatings on WC-Co tools life. *Tribology International*, 128(July), 313–327.
<https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.07.039>
- Volosova, M., Vereschaka, A., Andreev, N., Sotova, C., & Bublikov, J. (2021). Improvement of the performance properties of cutting tools using the multilayer composite wear-resistant coatings based on nitrides of Cr, Mo, Zr, Nb, and Al. *Materials Today: Proceedings*, 38(xxxx), 1421–1427.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.118>
- Xu, X., Sun, J., Xu, Z., Li, Z., & Su, F. (2021). Microstructure, electrochemical and tribocorrosion behaviors of CrCN nanocomposite coating with various carbon content. *Surface and Coatings Technology*, 411(January), 126997.
<https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2021.126997>

- Zhang, J., Su, X., Shan, L., Liu, Y., Zhang, P., & Jia, Y. (2019). Preparation and tribocorrosion performance of CrCN coatings in artificial seawater on different substrates with different bias voltages. *Ceramics International*, 45(8), 9901–9911. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.02.031>
- Zhang, X., Jiang, J., Yuqiao, Z., Lin, J., Wang, F., & Moore, J. J. (2008). Effect of carbon on TiAlCN coatings deposited by reactive magnetron sputtering. *Surface and Coatings Technology*, 203(5–7), 594–597. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2008.06.175>
- Zhang, X., Qiu, Y., Tan, Z., Lin, J., Xu, A., Zeng, Y., Moore, J. J., & Jiang, J. (2014). Effect of Al content on structure and properties of TiAlCN coatings prepared by magnetron sputtering. *Journal of Alloys and Compounds*, 617, 81–85. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.08.009>



EKLER

EK-1

