

# AISI 304 Paslanmaz Çeliğinin Frezelenmesinde Farklı Kaplama Malzemelerinin Takım Aşınmasına, Kesme Kuvvetlerine ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri

Emel KURAM\*

Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 41400, Gebze, Kocaeli  
(Geliş / Received : 24.01.2016 ; Kabul / Accepted : 15.06.2016 )

## ÖZ

Bu çalışmada, AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin frezelenmesinde farklı kaplanmış kesici takımların performansı deneysel araştırılmıştır. Testlerde tek katlı TiCN, AlTiN, TiAlN ve iki katlı TiCN + TiN ve AlTiN + TiN olmak üzere 5 farklı kaplamaya sahip sementit karbür takma uçlar seçilmiş ve bu takımlar takım aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü baz alınarak değerlendirilmiştir. TiCN + TiN kaplanmış kesici uçlar en düşük serbest yüzey aşınması ve yüzey pürüzlülüğü değerlerini vermiştir. En yüksek takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü değerleri ise AlTiN kaplamalı kesici uçlar ile elde edilmiştir. En düşük Fx ve Fy kuvvetleri TiAlN kaplamalı kesici uçlar ile ölçülmüştür. EDX analizi sonucunda kesici uçlarda yapışma olduğu ve kaplamanın kalktığı gözlenmiştir. AISI 304 paslanmaz çeliğinin frezelenmesinde en kötü performansı AlTiN kaplanmış uçlar göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** AISI 304, frezeleme, takım kaplaması, takım aşınması, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü

## Effects of Different Coating Materials on Tool Wear, Cutting Forces and Surface Roughness in Milling of

### ABSTRACT

In this study, the performance of various coated cutting tools were investigated experimentally in milling of AISI 304 stainless steel. Five cementit carbide inserts with various coating such as monolayer TiCN, AlTiN, TiAlN and two layers TiCN + TiN and AlTiN + TiN were selected in the tests and these tools were evaluated by tool wear, cutting forces and surface roughness. TiCN + TiN coated cutting inserts gave the lowest flank wear and surface roughness values. The highest tool wear and surface roughness values were obtained with AlTiN coated cutting inserts. The lowest Fx and Fy forces were measured with TiAlN coated cutting inserts. Adhesion and coating delamination on the cutting inserts were observed with EDX analysis. AlTiN coated inserts showed the worst performance during milling of AISI 304 stainless steel.

**Keywords:** AISI 304, milling, tool coating, tool wear, cutting forces, surface roughness

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

AISI 304 paslanmaz çeliği yüksek deformasyon sertleşmesi, düşük ısı iletkenliği ve yüksek korozyon direnci gibi özellikleri nedeniyle uzay ve havacılık alanında yaygın olarak tercih edilmektedir. Fakat bu malzemenin talaşlı imalatı esnasında takım-iş parçası ara yüzeyinde oluşan yüksek sıcaklık nedeniyle operatörler takımında ani kırılmalar ve düşük yüzey kalitesi ile karşılaşmaktadır [1]. Kesici takım kaplamaları, takım-talaş ara yüzeyinde meydana gelen sürtünmeyi azaltarak takım ömrünü artırabilir ve işleme performansını iyileştirebilir. Bu nedenle, farklı kesici takım kaplama uygulamaları talaşlı imalat alanında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Farklı kaplama uygulamalarının paslanmaz çelik malzemesinin talaş kaldırılarak işlenmesinde performansları literatürde araştırılmıştır. Biermann vd. X5CrNi18-10 östenitik paslanmaz çeliğinin mikro frezelenmesinde CrN, TiN, AlCrN, AlTiN ve TiAlN takım kaplamalarının

takım aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini incelemiştir [2]. Ciftci AISI 304 ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerinin tornalanmasında TiC/TiCN/TiN ve TiCN/ TiC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplanmış sementit karbür kesici takım kullanmıştır [3]. Selinder vd. AISI 303/304 paslanmaz çeliklerinin frezelenmesinde fiziksel buhar biriktirme (PVD) ve kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemleri ile kaplanmış farklı kaplamaların takım aşınması üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Kaplamalar olarak PVD TiN/TaN, PVD TiCN, CVD TiCN, PVD TiAlN seçilmiştir [4]. Fernan-dez-Abia vd. AISI 304L paslanmaz çeliğinin tornalanmasında AlTiN, AlTiSiN, AlCrSiN ve TiAlCrN kaplamalı takımların takım aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini incelemişlerdir [5]. Özer ve Bahçeci TiC+TiN, TiC kaplı sementit karbür, kaplamasız sementit karbür ve kübik bor nitrür (CBN) kesici takımların AISI 410 paslanmaz çeliğinin kuru tornalanmasındaki işlenebilirlik özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü bakımından TiC kaplı sementit karbür takım en düşük değerleri vermiştir [6]. Endrino vd. AISI 316 paslanmaz çelik malzemesinin frezelenmesinde PVD metodu ile

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: kuram@gtu.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.4 433-443

AlCrN, AlCrNbN ve AlTiN kaplanmış kesici takımların takım aşınması üzerindeki etkisini çalışmışlardır [7]. Grzesik AISI 304 paslanmaz çeliğinin tornalanmasında TiC, TiC/TiN ve TiC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiN kaplamalarının kesme sıcaklığına etkisini araştırmıştır [8]. Diğer çalışmasında Grzesik AISI 304 paslanmaz çeliğinin tornalanmasında TiC, TiC/TiN ve TiC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiN kaplamalarının spesifik kesme basıncına ve kesme sıcaklığına etkisini incelemiştir [9]. Altınkaya ve Güllü AISI 316 paslanmaz çeliğinin frezelenmesinde TiAlN, TiN/TiCN/TiN ve TiN/TiCN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplanmış takımların aşınma üzerindeki etkisini incelemiştir [10].

Talaşlı imalatla işleme performansı kesme parametreleri, iş parçası malzemesi ve kesici takım kaplaması gibi koşullara bağlı olarak değişik şekillerde meydana gelen karmaşık bir olaydır. Bu çalışmanın amacı frezelemede farklı kaplama uygulamalarının işleme performansını nasıl etkilediğini deneysel olarak araştırmaktır. Bu nedenle bu çalışmada AISI 304 paslanmaz çeliğinin frezelenmesinde tek katlı TiCN, AlTiN, TiAlN ve iki katlı TiCN + TiN ve AlTiN + TiN kaplanmış takma uçların performansı; takım aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü dikkate alınarak tespit edilmiştir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

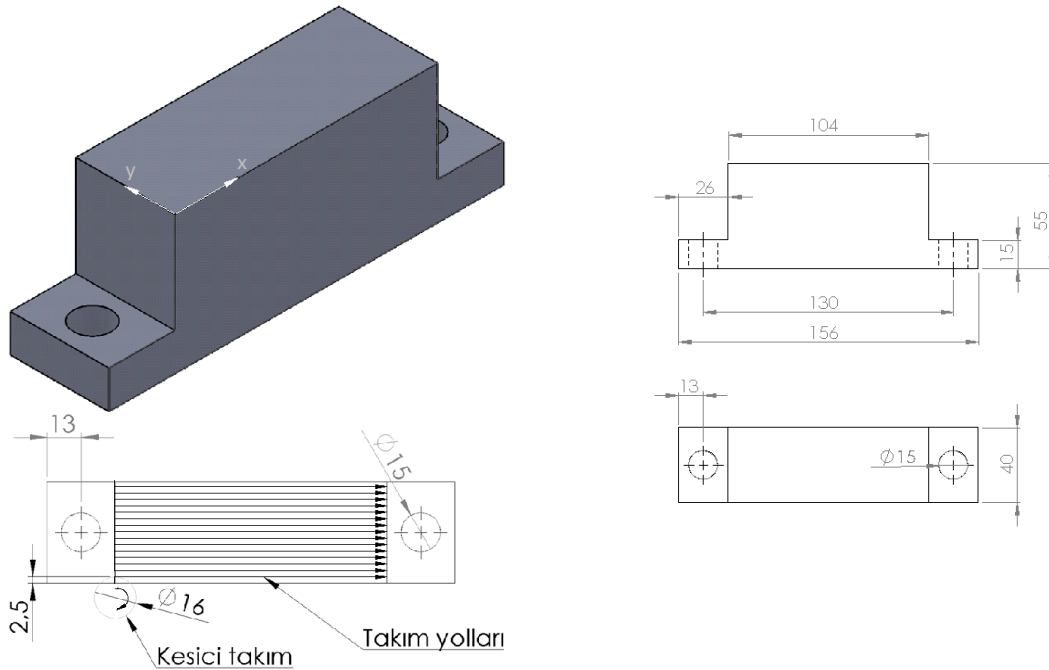
Frezeleme deneyleri DECKEL MAHO DMU 60 P CNC tezgahında yapılmıştır. İş parçası malzemesi olarak AISI 304 östenitik paslanmaz çelik tercih edilmiştir.

Malzemenin kimyasal bileşimi spektrometre cihazı ile tespit edilmiştir ve kimyasal bileşim değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. İş parçasının boyutları Şekil 1'de verildiği gibi belirlenmiştir. Her bir kesici takım için 104 mm × 40 mm'lik yüzey aynı yönlü işleme metodu ile iki defa işlenmiştir. Kesici takım olarak farklı kaplama malzemesine sahip takma uçlar seçilmiştir. Kesici takımlar olarak tek katlı TiCN, TiAlN, AlTiN ve iki katlı TiCN + TiN ve AlTiN + TiN ile kaplanmış ticari uçlar tercih edilmiştir. Kaplamaların özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir. Bütün takma uçlar benzer geometriye ve ölçülere sahiptir (APKT 1003PDR), sadece kaplama malzemesi farklıdır. Takma uçlar eşkenar üçgen şeklindedir ve 0,8 mm uç radyüsüne sahiptir. Takma uçlar 16 mm çapında üzerinde iki uç taşıyan bir takım tutucuya bağlanmıştır (Şekil 2). Deneyler sabit şartlar ve kuru kesme altında yapılmıştır (Çizelge 3). İşleme şartları takım üreticisinin tavsiyesi dikkate alınarak seçilmiştir.

Deneyler sonucunda kesici takımlarda meydana gelen aşınmalar taramalı elektron mikroskobu (SEM, Philips XL30) ile ölçülmüştür. Aşınma değeri olarak her iki ucun serbest yüzeyi üzerindeki en büyük aşınma değerleri tespit edilmiş ve analizlerde aşınma değerlerinin ortalaması alınmıştır. Ayrıca aşınmış kesici takımlardaki elementel analiz enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDX) ile yapılmıştır. Frezeleme esnasında meydana gelen kuvvetler 3-bileşenli bir tabla tipi dinamometre (Kistler, 9257B) ile ölçülmüştür. İşlenen yüzeylerin pürüzlülüğü Mitutoyo Surf Test 301 profilometre ile değerlendirilmiş ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra)

Çizelge1. İş parçası malzemesinin kimyasal içeriği (The chemical composition of workpiece material)

AISI 304 (% ağırlık)						
Cr	Ni	Mn	Cu	Si	Mo	Fe
18,75	8,23	1,89	0,69	0,64	0,40	69,10



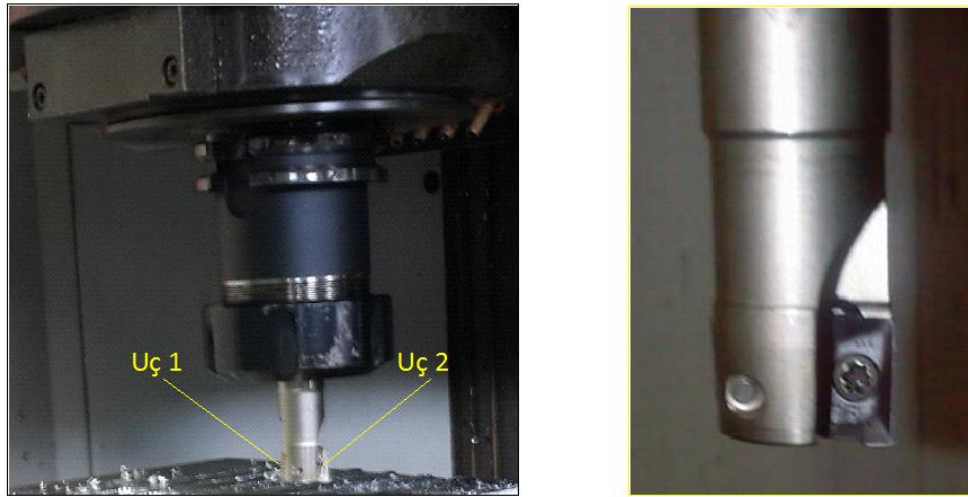
Şekil 1. Deneylerde kullanılan iş parçasının boyutları, tüm ölçüler mm dir (Dimensions of workpiece used at experiments, all dimensions are in mm)

dikkate alınmıştır. Ölçümlerde örnekleme uzunluğu 0,8 mm, örnekleme sayısı 5 olarak seçilmiştir. İş parçası yüzeyi üzerinde 4 farklı yerden Ra ölçümü yapılmış ve analizlerde bu değerlerin ortalaması alınmıştır.

fazla aşınmasını sağlamaktadır. Kaplama malzemelerinin tümünde yapışma mekanizması nedeniyle AISI 304 malzeme kalıntıları uçlar üzerinde görülmüştür. Yapışma, özellikle AlTiN kaplanmış kesici uçta diğer uçlardakine nazaran daha fazla gerçekleşmiştir. Bunun

**Çizelge 2** Kaplama özellikleri (Coating properties)

Kaplama Malzemeleri	Kaplama Metodu	Sürtünme Katsayısı	Sertlik (HV)
TiCN		0,50-0,55	3100
TiCN + TiN		0,40-0,45	3300
AlTiN + TiN	PVD	0,50-0,60	2900
AlTiN		0,60-0,70	2800
TiAlN		0,45-0,50	3000



**Şekil 2.** Takım tutucu ve kesici uçlar (Tool holder and cutting inserts)

**Çizelge 3** Deney şartları (Experimental conditions)

Kaplama Malzemeleri	Yanal İlerleme (mm)	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Talaş Derinliği (mm)	Talaş Hacmi (cm <sup>3</sup> /dak)
TiCN					
TiCN + TiN					
AlTiN + TiN	2,5	200	0,3	0,8	2,388
AlTiN					
TiAlN					

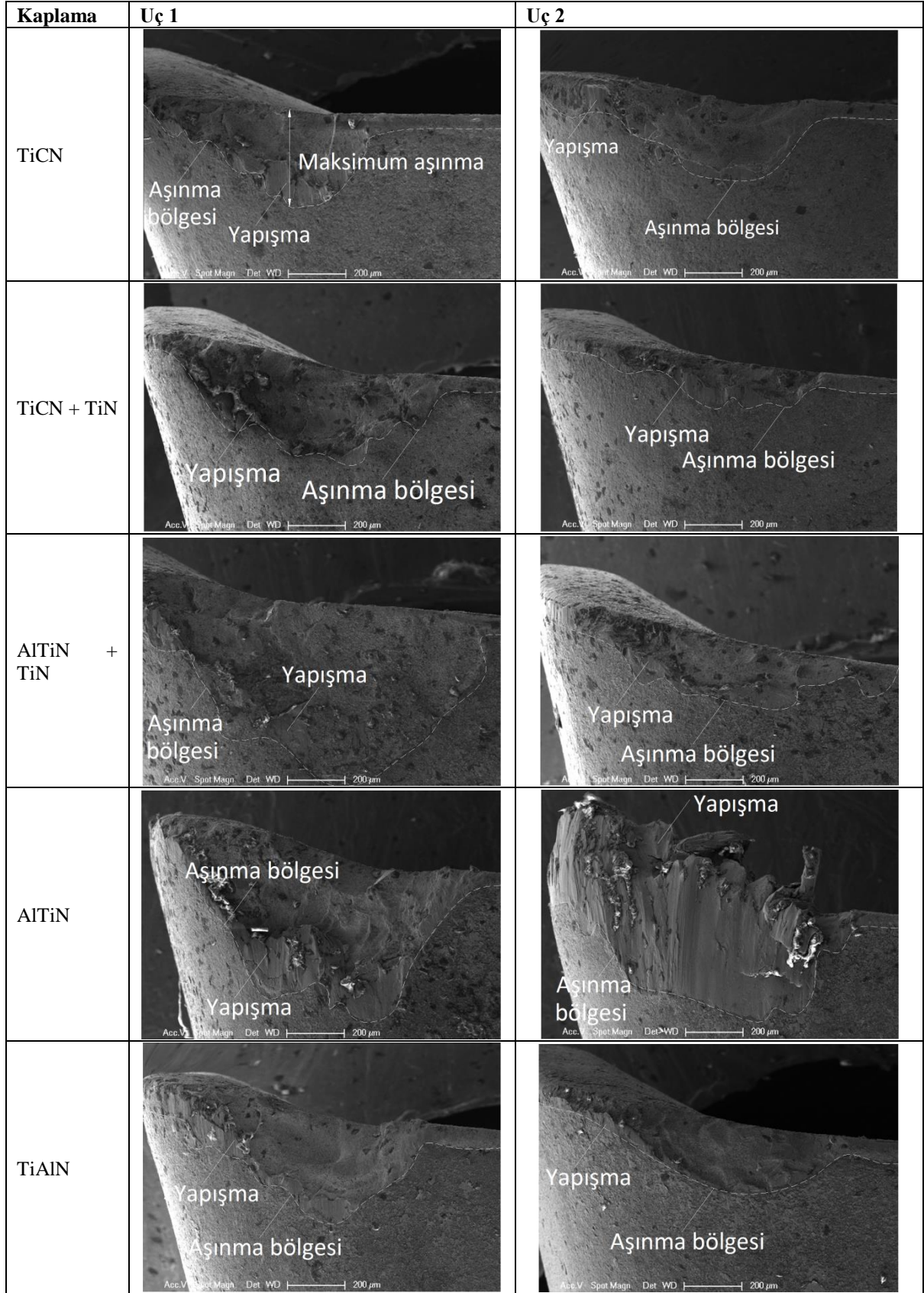
### 3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

#### (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

##### 3.1. Takım Aşınması (Tool Wear)

Farklı kaplamalı kesici takımlar ile frezeleme işlemi sonucunda (2. pasonun sonunda) kesici uçların serbest yüzeyinin SEM görüntüleri Şekil 3'te verilmiştir. SEM görüntülerinden, Uç 1'in ve Uç 2'nin farklı aşınma değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Frezeleme işleminde bu durum takım salgısı nedeniyle beklenen bir sonuçtur [11]. Takım salgısı, kesici uçlardan birinin diğerine göre daha fazla talaş yüküne maruz kalmasına neden olmakta ve uçlardan birinin diğerine göre daha

nedeni AlTiN kaplamalı ucun Çizelge 2'de verildiği gibi en büyük sürtünme katsayısına sahip olmasıdır. Yüksek sürtünme katsayısı frezeleme esnasında sıcaklığın artmasına neden olmaktadır. Artan sıcaklığın yapışma eğilimini arttırdığı da bilinmektedir. Tüm bu etkiler AlTiN kaplamalı ucun aşırı yapışmaya maruz kalmasını açıklamaktadır. En düşük serbest yüzey aşınması TiCN + TiN kaplanmış, en yüksek serbest yüzey aşınması ise AlTiN kaplanmış kesici uçlar ile gözlenmiştir. Kaplamalı uçlarda meydana gelen aşınma kaplama sertliği ile ilişkilidir. AlTiN kaplamalı takımın en yüksek aşınma değeri vermesinin nedeni düşük sertliğe sahip olmasıdır.

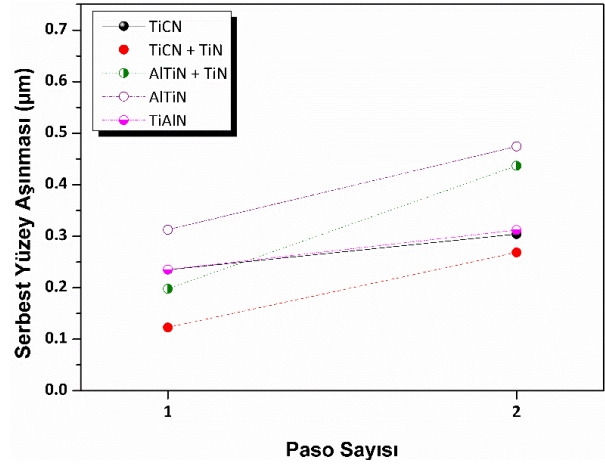


**Şekil 3.** Farklı kaplamalar için 2. paso sonunda serbest yüzeylerin SEM görüntüleri, büyüme 100× (SEM views of flank surfaces for different coatings at the end of 2<sup>nd</sup> pass, magnification 100×)

Bütün kaplama malzemeleri için serbest yüzey üzerinde oluşan en büyük aşınma değerleri ölçülmüştür ve sonuçlar Şekil 4'te sunulmuştur. En düşük serbest yüzey aşınması TiCN + TiN kaplanmış uç ile 0,12 mm olarak,

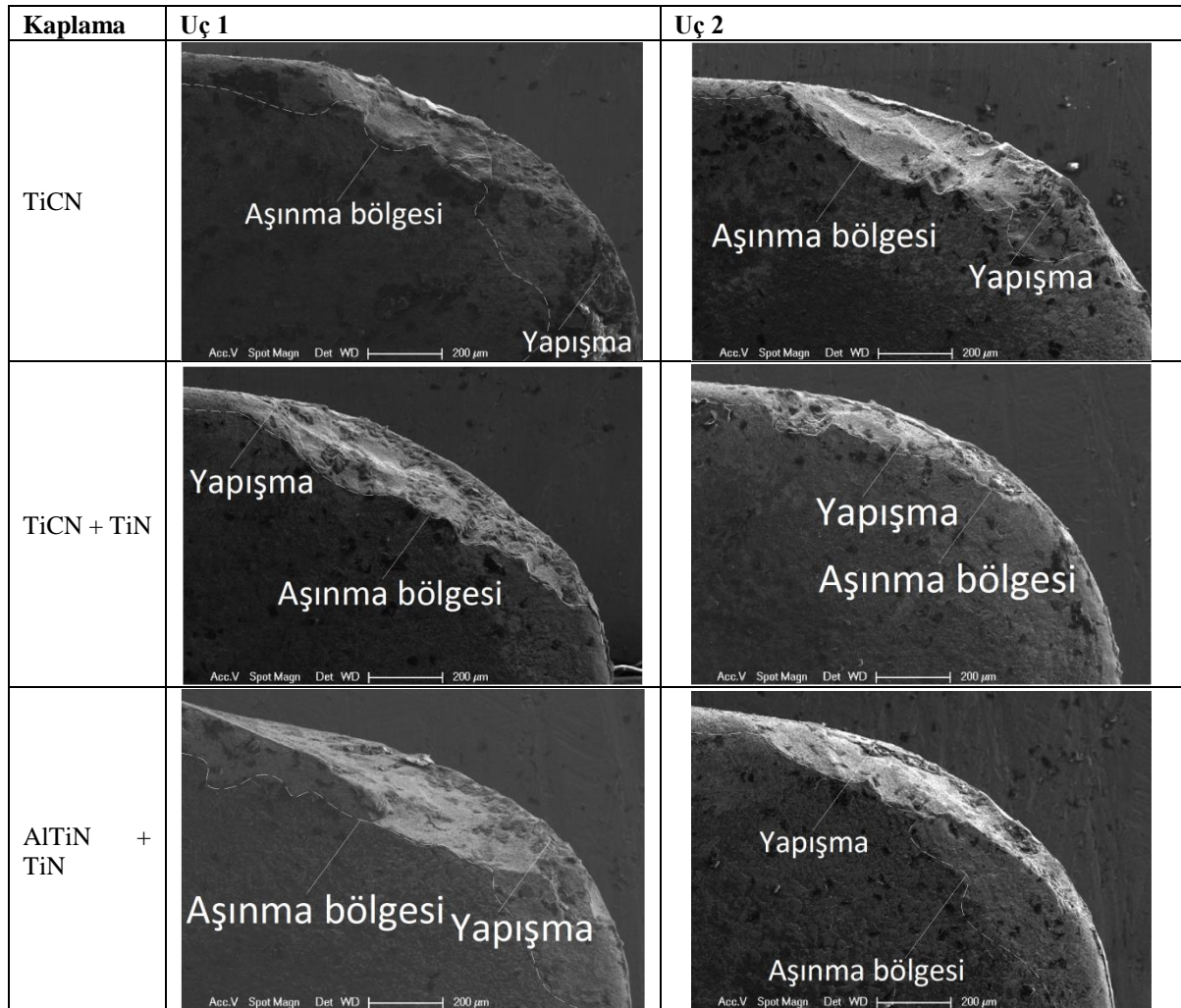


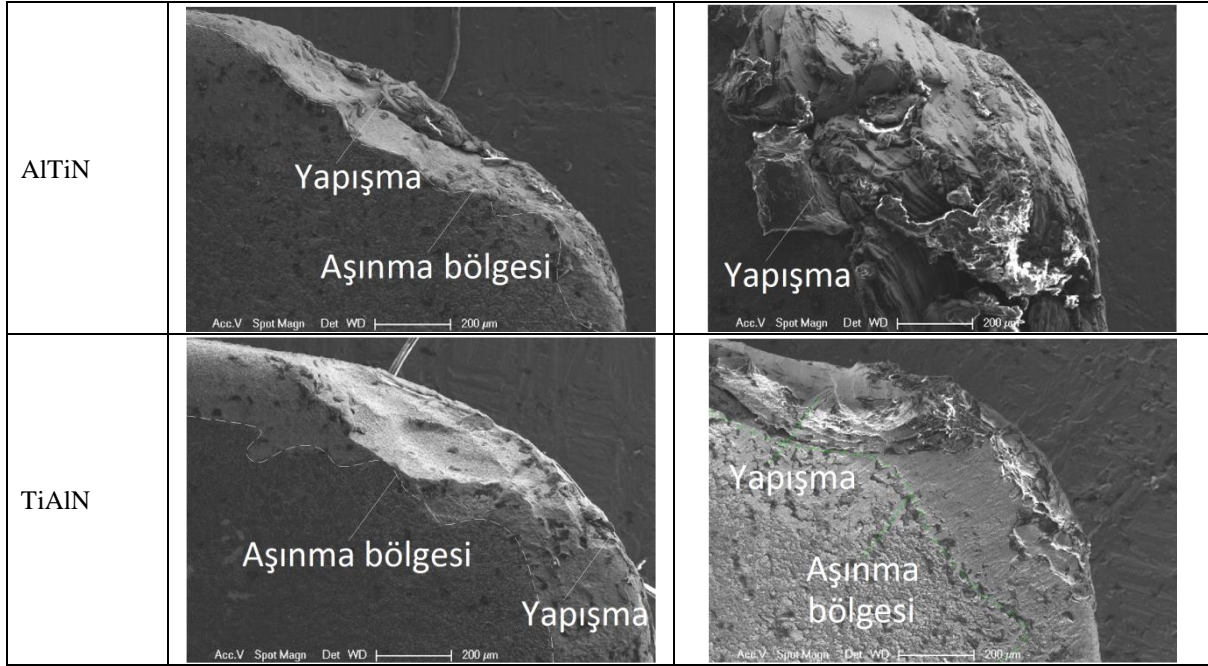
en yüksek aşınma ise AlTiN kaplanmış uç ile 0,47 mm olarak elde edilmiştir. 2. paso sonunda kesici uçlardaki serbest yüzey aşınması değerleri dikkate alındığında, kesici uç kaplamalarının performansının iyiden kötüye (en düşük aşınma değerinden en yüksek değere) TiCN + TiN, TiCN, TiAlN, AlTiN + TiN ve AlTiN şeklinde sıralandığı görülmüştür. TiCN + TiN kaplanmış kesici uçlar en yüksek aşınma değerini veren AlTiN kaplamaya göre aşınmayı %43,4 azaltmıştır. AlTiN kaplanmış kesici takımındaki aşınma değerinin TiAlN kaplanmış kesici takımındaki aşınma değerinden daha yüksek olduğu AISI 304 paslanmaz çeliğinin mikro frezelenmesinde de görülmüştür. Bu araştırmacılar bunun nedenini TiAlN kaplamanın AlTiN kaplamaya göre sertliğinin daha yüksek olmasına ve kaplama ile iş parçası malzemesi arasındaki düşük kimyasal tepkinin varlığına atfetmişlerdir [2]. Bu çalışmada kullanılan kesici uçların imalatçısına göre TiAlN kaplamanın sertliği çok yüksektir ve yaklaşık 3000 HV sertliğindedir. Yüksek sertlik aşınma direncini arttırmaktadır. Kaplama performansını etkileyen bir diğer faktör de sürtünme katsayısıdır. Yine takım imalatçısına göre TiCN ve TiAlN kaplamalı uçlar düşük sürtünme katsayısına sahiptir. Düşük sürtünme katsayısı sürtünme kuvvetlerinin azalmasına neden olmaktadır [12].



Şekil 4. Farklı kaplamalar için serbest yüzey aşınması sonuçları (Flank wear results for different coatings)

Farklı kaplamalı kesici takımlar ile frezeleme işlemi sonucunda (2. pasonun sonunda) kesici uçların talaş yüzeyinin SEM görüntüleri Şekil 5'de verilmiştir. En fazla aşınmayı AlTiN kaplanmış kesici uç göstermiştir. Bu kaplamalı uçlarda, diğer uçlardakine nazaran aşırı yapışma ve kırılma gözlenmiştir.

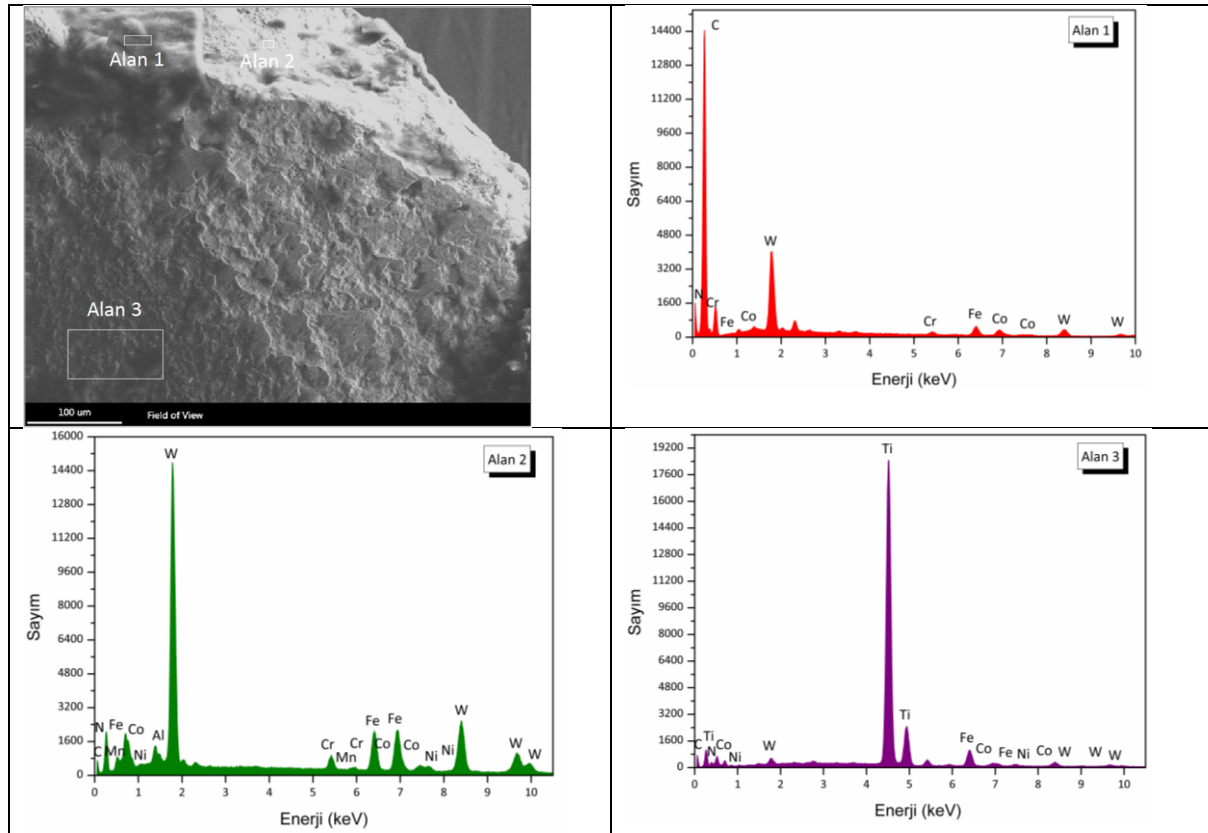




Şekil 5. Farklı kaplamalar için 2. paso sonunda talaş yüzeylerinin SEM görüntüleri, büyütme 100× (SEM views of rake surfaces for different coatings at the end of 2<sup>nd</sup> pass, magnification 100×)

Aşınmış takımların EDX analizi uçların talaş yüzeyi üzerinde yapılmıştır. TiCN kaplanmış uç 1'in talaş yüzeyinin EDX analizi Şekil 6'da verilmiştir. Alan 1'de

kalktığına kanıtıdır. Alan 3 ise aşınma tarafından etkilenmeyen bölgeden alınmıştır ve bu bölgede kaplama malzemesinin ana elementleri (Ti, C ve N) bulunmak-

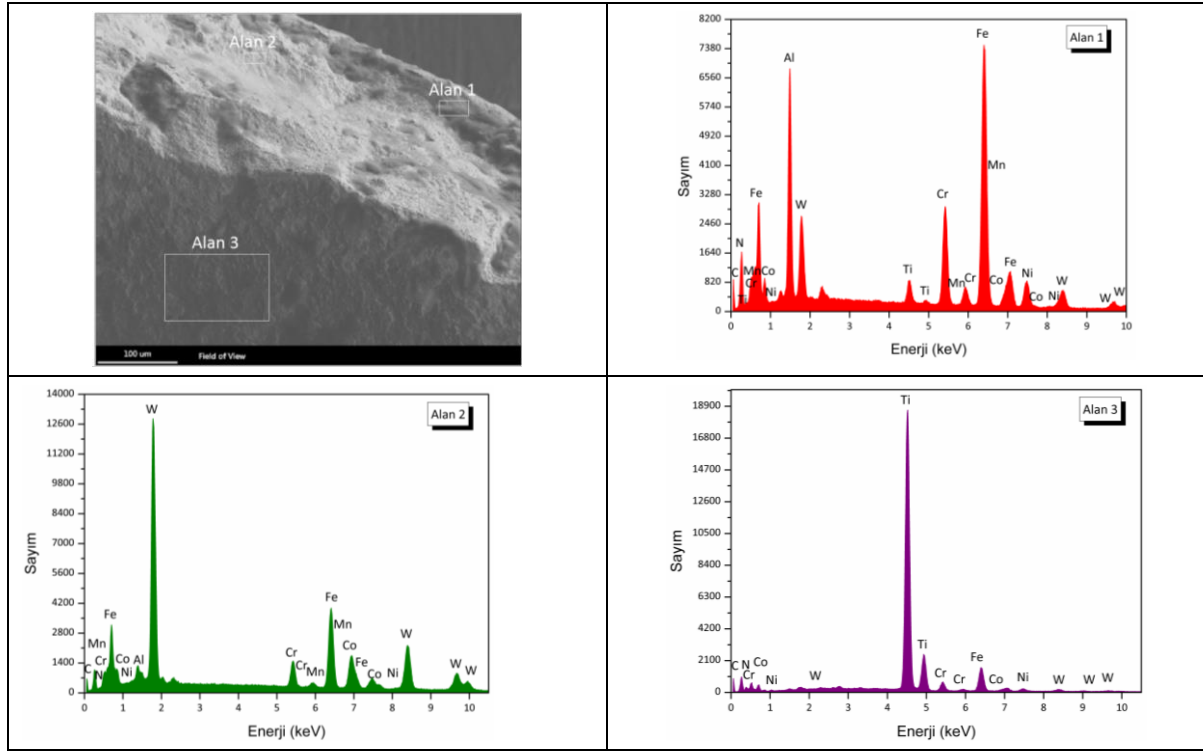


Şekil 6. TiCN kaplanmış uç 1'in talaş yüzeyinin EDX analizi (EDX analysis of rake face for TiCN coated insert 1)

C, Fe, Cr gibi elementlerin olması yapışmanın olduğunu göstermektedir. Bu elementler AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin ana bileşenlerindedir. Alan 2'de W elementinin varlığı bu bölgede TiCN kaplamanın

tadır.

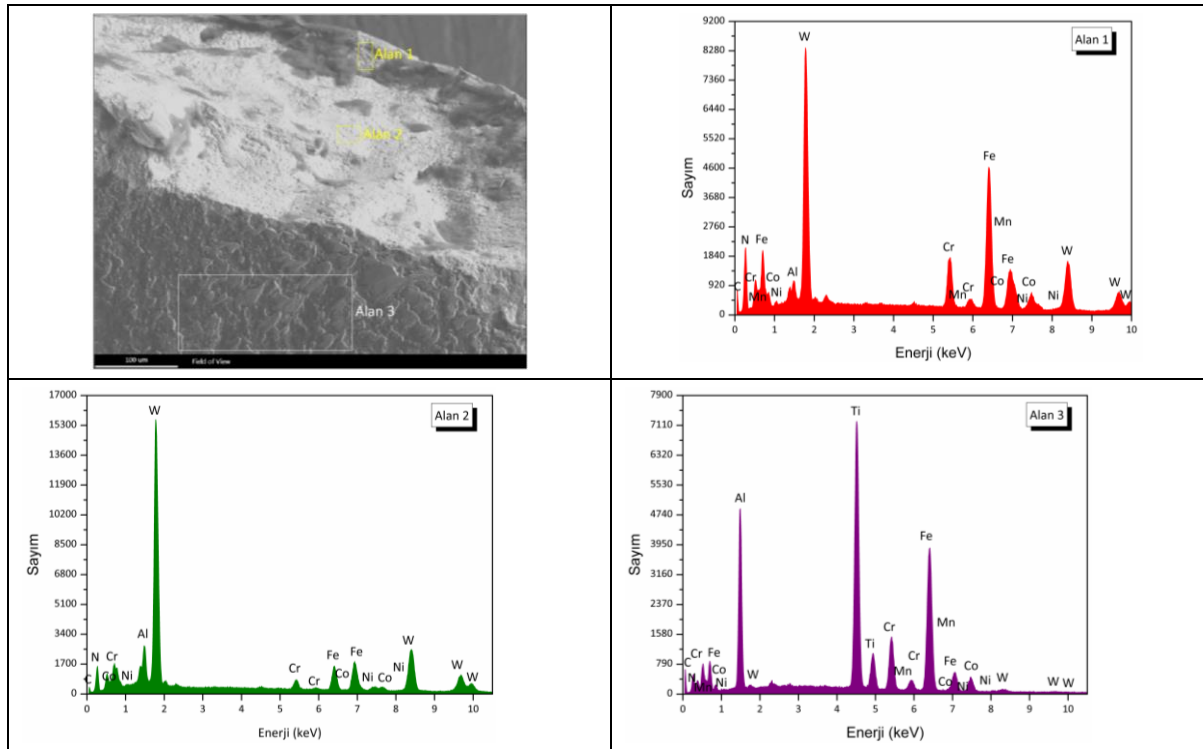
TiCN + TiN kaplanmış uç 1'in talaş yüzeyinin EDX analizi Şekil 7'de sunulmuştur. Alan 1'de iş parçasından



Şekil 7. TiCN+TiN kaplanmış uç 1'in talaş yüzeyinin EDX analizi (EDX analysis of rake face for TiCN+TiN coated insert 1)

gelen elementler bu bölgede yapışmanın olduğunu göstermektedir. Alan 2'de W elementinin olması bu

AlTiN + TiN kaplanmış uç 1'in talaş yüzeyinin EDX analizi Şekil 8'de gösterilmiştir. Alan 1'de iş parçasından

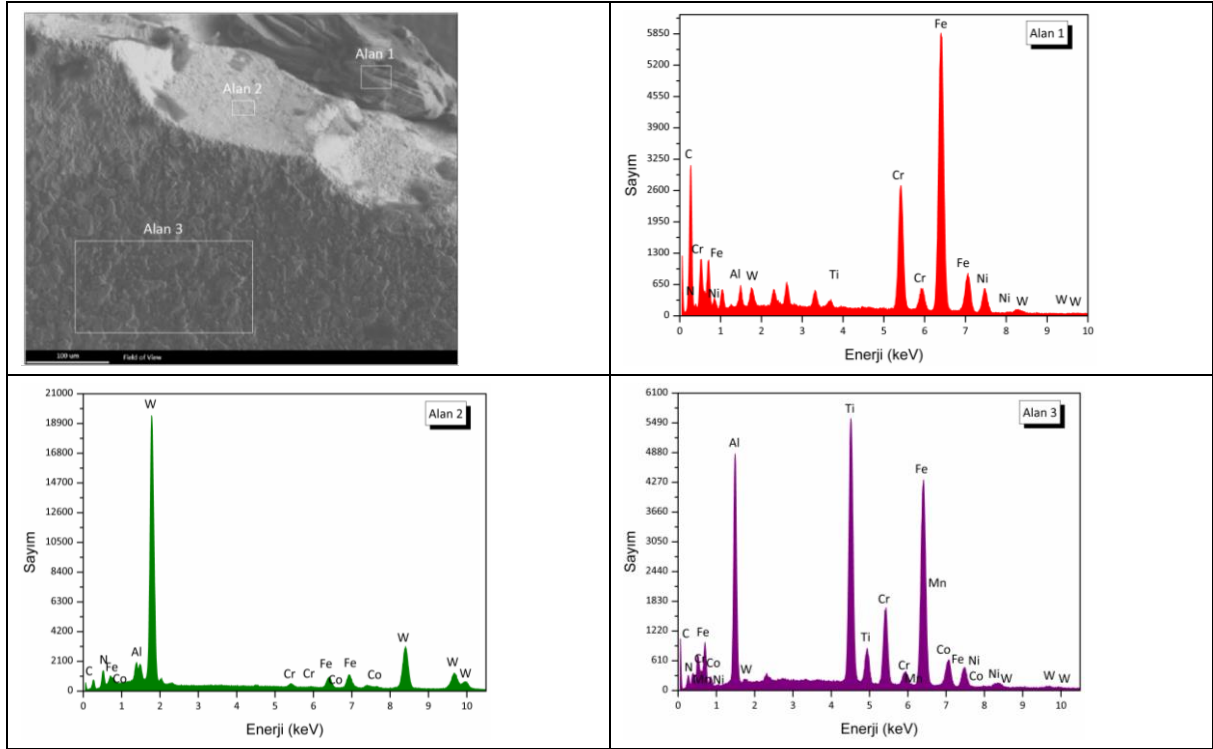


Şekil 8. AlTiN + TiN kaplanmış uç 1'in talaş yüzeyinin EDX analizi (EDX analysis of rake face for AlTiN + TiN coated insert 1)

bölgede kaplamanın kalktığının kanıtıdır. Alan 3'te kaplama malzemesinin ana elementleri (Ti, C ve N) bulunmaktadır.

gelen elementler bu bölgede yapışmanın olduğunu, W elementi ise kaplamanın kalktığının göstergesidir. Alan 2'de W elementinin olması bu bölgede kaplamanın kalktığının kanıtıdır. Alan 3 'te kaplama malzemesinin



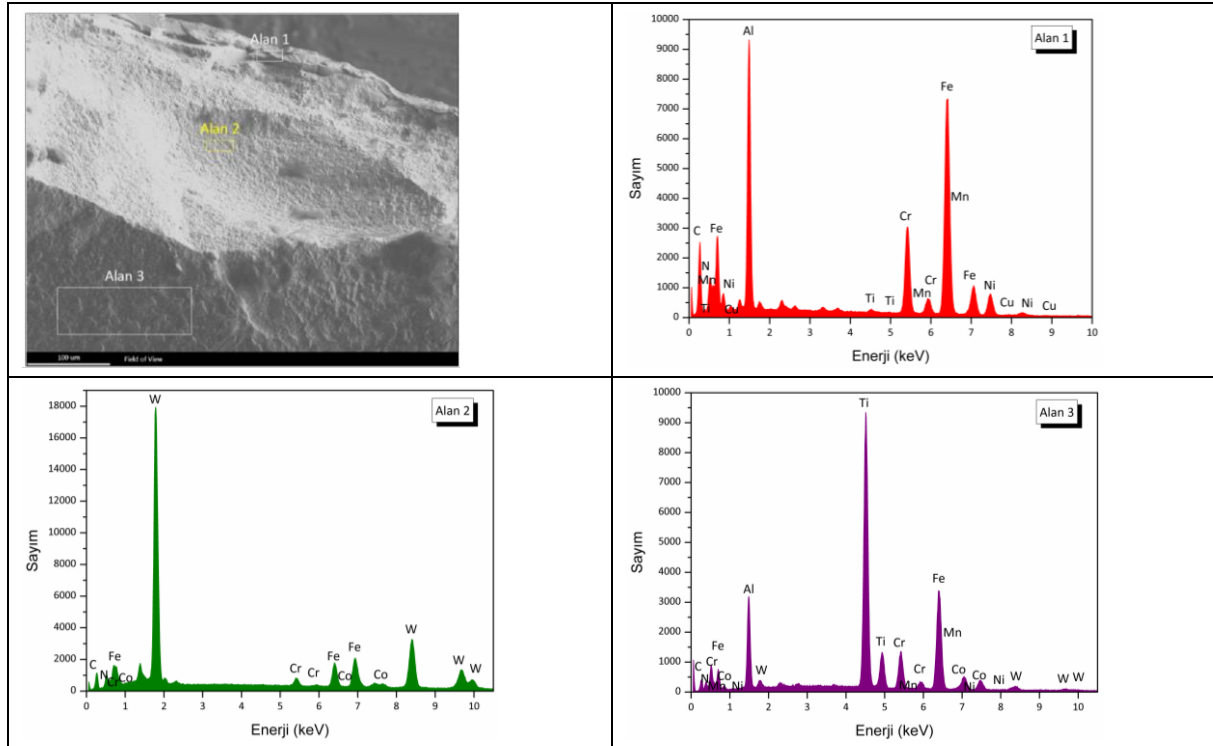


Şekil 9. AlTiN kaplanmış uç 1'in talaş yüzeyinin EDX analizi (EDX analysis of rake face for AlTiN coated insert 1)

ana elementleri (Al, Ti ve N) bulunmaktadır. Ayrıca alan 3'te yapışmanın göstergesi olan Fe, Cr, Ni gibi elementler de bulunmaktadır.

AlTiN kaplanmış uç 1'in talaş yüzeyinin EDX analizi Şekil 9'da gösterilmiştir. Alan 1'de iş parçasından gelen elementler bu bölgede yapışmanın olduğunu kanıtlar.

Alan 2'de W elementinin olması bu bölgede kaplamanın kalktığının göstergesidir. Alan 3'te kaplama malzemesinin ana elementleri (Al, Ti ve N) bulunmaktadır. Ayrıca alan 3'te yapışmanın göstergesi olan Fe, Cr, Ni gibi elementler de bulunmaktadır.



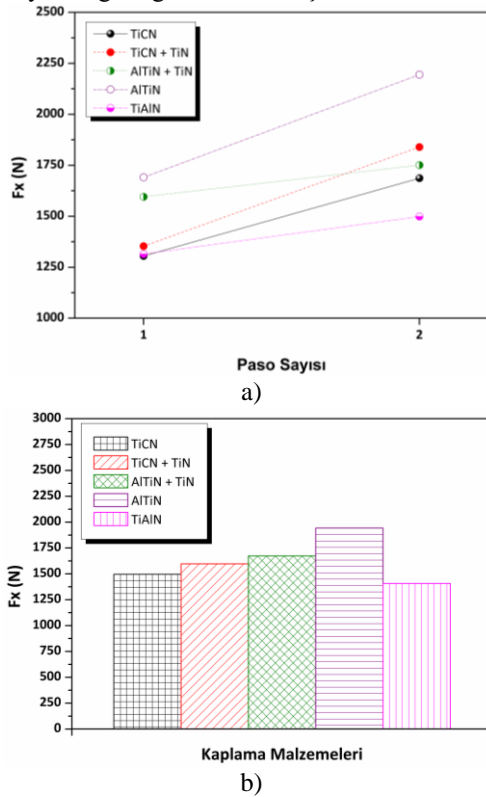
Şekil 10. TiAlN kaplanmış uç 1'in talaş yüzeyinin EDX analizi (EDX analysis of rake face for TiAlN coated insert 1)



TiAlN kaplanmış uç 1'in talaş yüzeyinin EDX analizi Şekil 10'da gösterilmiştir. Alan 1' de iş parçasından gelen elementler bu bölgede yapışmanın olduğunu kanıtlar. Alan 2'de W elementinin olması bu bölgede kaplamanın kalktığına göstergesidir. Alan 3'te kaplama malzemesinin ana elementleri (Ti, Al ve N) bulunmaktadır. Ayrıca alan 3'te yapışmanın göstergesi olan Fe, Cr, Ni gibi elementler de bulunmaktadır.

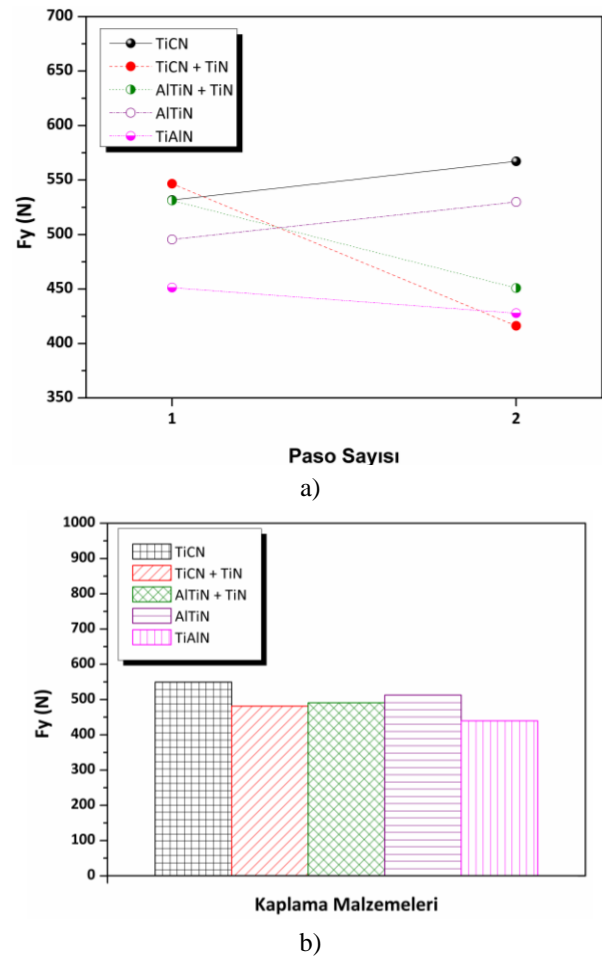
### 3.2. Kesme Kuvvetleri (Cutting Forces)

Farklı kaplama malzemeleri için Fx değerleri paso sayısına bağlı olarak Şekil 11a'da, iki pasonun ortalama Fx değerleri ise Şekil 11b'de verilmiştir. Şekil 11a'da görüldüğü gibi, ikinci pasoda daha yüksek Fx değeri elde edilmiştir. Paso sayısındaki artış ile Fx kuvvetindeki en büyük değişim, diğer uçlara nazaran AlTiN kaplanmış uç ile meydana gelmiştir. Ortalama Fx değerleri (Şekil 11b) dikkate alındığında, kesici uç kaplamalarının performansı iyiden kötüye (en düşük Fx değerinden en yüksek değere) TiAlN, TiCN, TiCN + TiN, AlTiN + TiN ve AlTiN şeklinde sıralanmıştır. TiAlN kaplanmış kesici uçlar en yüksek Fx değerinin ölçüldüğü AlTiN kaplamaya göre Fx kuvvetini %27,6 azaltmıştır. TiCN kaplamanın TiAlN kaplamadan daha yüksek kuvvet değeri verdiği AISI 304 çeliğinin frezelenmesi üzerine Hosokawa vd. tarafından yapılan çalışmada da belirtilmiştir [13]. Ayrıca literatürde AlTiN kaplı takımların en yüksek kuvvet ve aşınma değerleri verdiği bulunmuştur [14]. Bu sonucun AlTiN kaplamanın yüksek sürtünme katsayısına sahip olduğu için meydana geldiği ifade edilmiştir.



Şekil 11. Farklı kaplamalar için a) Fx sonuçlarının paso sayısı ile değişimi, b) ortalama Fx sonuçları (a) Change of Fx results with pass number, b) average Fx results for different coatings)

Farklı kaplama malzemeleri için Fy değerleri paso sayısına bağlı olarak Şekil 12a'da, iki pasonun ortalama Fy değerleri ise Şekil 12b'de verilmiştir. Paso sayısındaki artış ile Fy kuvvetindeki en büyük değişim, diğer uçlara nazaran TiCN+TiN kaplanmış uç ile elde edilmiştir. Ortalama Fy değerleri (Şekil 12b) dikkate alındığında, kesici uç kaplamalarının performansı iyiden kötüye (en düşük Fy değerinden en yüksek değere) TiAlN, TiCN + TiN, AlTiN + TiN, AlTiN, ve TiCN şeklinde sıralanmıştır. TiAlN kaplanmış kesici uçların en yüksek Fy değerinin ölçüldüğü TiCN kaplamaya göre Fy kuvvetinde %20 azalmaya neden olduğu bulunmuştur.

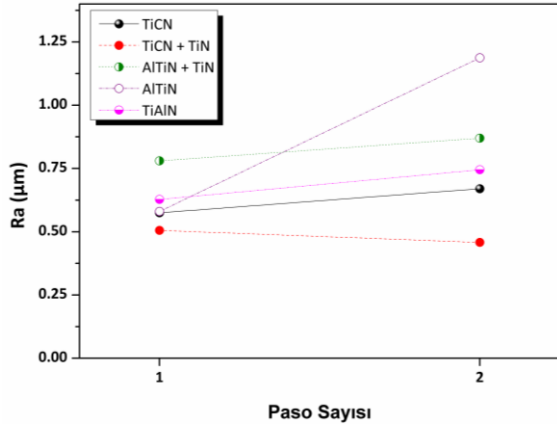


Şekil 12. Farklı kaplamalar için a) Fy sonuçlarının paso sayısı ile değişimi, b) ortalama Fy sonuçları (a) Change of Fy results with pass number, b) average Fy results for different coatings)

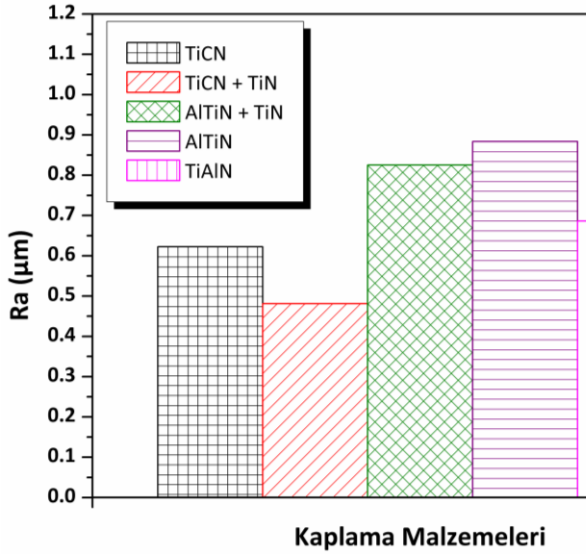
### 3.3. Yüzey Pürüzlülüğü (Surface Roughness)

Farklı kaplama malzemeleri için Ra değerleri paso sayısına bağlı olarak Şekil 13a'da, iki pasonun ortalama Ra değerleri ise Şekil 13b'de verilmiştir. Her iki pasoda da TiCN + TiN kaplanmış kesici uçlar ile işlenen yüzey en düşük Ra değerini vermiştir. Paso sayısındaki artış ile Ra değerindeki en büyük değişim, diğer uçlara nazaran AlTiN kaplanmış uç ile elde edilmiştir. Ortalama Ra

değerleri (Şekil 13b) dikkate alındığında, kesici uç kaplamalarının performansı iyiden kötüye (en düşük Ra değerinden en yüksek değere) TiCN + TiN, TiCN, TiAlN, AlTiN + TiN ve AlTiN şeklinde sıralanmıştır. TiCN + TiN kaplanmış kesici uçlar en yüksek Ra değerinin ölçüldüğü AlTiN kaplamaya göre Ra değerini %45,5 azaltmıştır. İki katmanlı kaplamaların (TiCN + TiN ve AlTiN + TiN) tek katmanlı kaplamalara (TiCN ve AlTiN) göre daha düşük Ra değeri verdiği bulunmuştur.



a)



b)

Şekil 13. Farklı kaplamalar için a) Ra sonuçlarının paso sayısı ile değişimi, b) ortalama Ra sonuçları (a) Change of Ra results with pass number, b) average Ra results for different coatings)

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu deneysel çalışmada, tek katlı TiCN, AlTiN, TiAlN ve iki katlı TiCN + TiN ve AlTiN + TiN gibi 5 çeşit kaplamalı karbür takma uçların AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin frezelemedeki performansı takım aşınması, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü ile değerlendirilmiştir. Bu çalışmada literatürden farklı olarak AISI 304 malzemesinin frezelemede çeşitli

tek ve iki katlı kaplamalı karbür takma uçların performansı karşılaştırılmıştır. En düşük serbest yüzey aşınması ve yüzey pürüzlülüğü TiCN + TiN kaplanmış kesici uçlar ile en yüksek aşınma ve yüzey pürüzlülüğü değerleri ise AlTiN kaplamalı kesici uçlar ile elde edilmiştir. En düşük serbest yüzey aşınması TiCN + TiN kaplanmış uç ile 0,12 mm olarak, en yüksek aşınma ise AlTiN kaplanmış uç ile 0,47 mm olarak ölçülmüştür ve TiCN + TiN kaplanmış kesici uçlar AlTiN kaplamaya göre aşınmayı %43,4 azaltmıştır. TiCN + TiN kaplanmış kesici uçlar, en yüksek Ra değerini veren AlTiN kaplamaya göre Ra değerinde %45,5 azalmaya neden olmuştur. En düşük Fx ve Fy kuvvetleri TiAlN kaplamalı kesici uçlar ile ölçülmüştür. TiAlN kaplanmış kesici uçlar en yüksek Fx değerinin ölçüldüğü AlTiN kaplamaya göre Fx kuvvetini %27,6; en yüksek Fy değerinin ölçüldüğü TiCN kaplamaya göre Fy değerini %20 azaltmıştır. EDX analizi sonucunda kesici uçlarda yapışmanın ve kaplama kalkmasının meydana geldiği ve literatürdeki sonuçlarla uyum içinde olduğu görülmüştür. AISI 304 paslanmaz çeliğinin frezelemede diğer kaplamalı uçlara nazaran en olumsuz performansı AlTiN kaplamalı kesici uçlar göstermiştir. Özellikle bu kaplama malzemesinde aşırı kırılma ve yapışma gözlemlenmiştir.

#### 5. TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazar, bu çalışmanın yürütüldüğü Bilgisayar Destekli İmalat laboratuvarının tüm imkanlarını sunan Prof. Dr. Babür Özçelik'e, frezeleme işlemi esnasındaki yardımlarından dolayı Tekniker Önder Gedik'e ve SEM görüntülerinin alınmasındaki yardımlarından dolayı Uzman Ahmet Nazım'a teşekkür eder.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kuram E., Ozcelik B., Demirbas E., Şık E. and Tansel I. N., "Evaluation of new vegetable-based cutting fluids on thrust force and surface roughness in drilling of AISI 304 using Taguchi method", *Materials and Manufacturing Processes*, 26: 1136-1146, (2011).
2. Biermann D., Steiner M. and Krebs E., "Investigation of different hard coatings for micromilling of austenitic stainless steel", *Procedia CIRP*, 7: 246-251, (2013).
3. Ciftci I., "Machining of austenitic stainless steels using CVD multi-layer coated cemented carbide tools", *Tribology International*, 39: 565-569, (2006).
4. Selinder T. I., Sjöstrand M. E., Nordin M., Larsson M., Östlund A. and Hogmark S., "Performance of PVD TiN/TaN and TiN/NbN superlattice coated cemented carbide tools in stainless steel machining", *Surface and Coatings Technology*, 105: 51-55, (1998).
5. Fernandez-Abia A. I., Barreiro J., Fernandez-Larrinoa J., Lopez de Lacalle L. N., Fernandez-Valdivielso A. and Pereira O. M., "Behaviour of PVD coatings in the turning of austenitic stainless steels", *Procedia Engineering*, 63: 133-141, (2013).
6. Özer A. ve Bahçeci E., "AISI 410 martensitik paslanmaz çeliklerin kesici takım ve kaplamasına bağlı işlenebilirliği", *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24: 693-698, (2009).
7. Endrino J. L., Fox-Rabinovich G. S., Gey C., "Hard AlTiN, AlCrN PVD coatings for machining of austenitic

- stainless steel”, *Surface and Coatings Technology*, 200: 6840-6845, (2006).
8. Grzesik W., “Experimental investigation of the cutting temperature when turning with coated indexable inserts”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 39: 355-369, (1999).
  9. Grzesik W., “The role of coatings in controlling the cutting process when turning with coated indexable inserts”, *Journal of Materials Processing Technology*, 79: 133-143, (1998).
  10. Altinkaya E., Güllü A., “AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesinde kesme hızının ve takım kaplamasının takım aşınmasına etkileri”, *Politeknik Dergisi*, 11: 243-247, (2008).
  11. Li P., “Micromilling of hardened tool steels”, Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, (2009).
  12. Wertheim R., Layous A., Harpaz J., “Development and application of new cutting tool materials”, *Fourth International Conference on Industrial Tooling*, Southampton, 1-13, (2001).
  13. Hosokawa A., Shimamura K., Ueda T., “Cutting characteristics of PVD-coated tools deposited by unbalanced magnetron sputtering method”, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 61: 95-98, (2012).
  14. Kulkarni A. P., Sargade V. G., “Characterization and performance of AlTiN, AlTiCrN, TiN/TiAlN PVD coated carbide tools while turning SS 304”, *Materials and Manufacturing Processes*, 30: 748-755, (2015).