



**Makale  
(Article)**

## **AISI 4140 Çeliğin Tornalanmasında Kesme Parametrelerinin Kesici Uç Aşınmasına Etkisi**

**Ahmet Çakan<sup>1</sup>, Alper Özocakçioğlu<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Mersin/TÜRKİYE

[ahcakan@mersin.edu.tr](mailto:ahcakan@mersin.edu.tr)

<sup>2</sup>Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bolu/TÜRKİYE

[alper@hotmail.com](mailto:alper@hotmail.com)

Geliş Tarihi:29.10.2016

Kabul Tarihi:24.11.2016

Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Ahmet Çakan ([ahcakan@mersin.edu.tr](mailto:ahcakan@mersin.edu.tr))

### **Özet**

Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı AISI 4140 ( $52 \pm 1$  HRC) çeliğin, kuru ortamda, PVD-TiN kaplı seramik kesici takımlar kullanılarak tornalanmasında, kesici takımın aşınmaları, bazı talaşlı imalat koşulları ile ilgili sorunlardır. Bu çalışmada, işlenen yüzeyin izlenmesi ve kesici takımın aşınma mekanizması araştırılmıştır. Deneyler sabit kesme derinliği (0,2 mm), üç farklı ilerleme hızı (0,04, 0,08, 0,12 mm/dev) ile iki farklı kesme hızında (150 ve 180 m/dak) gerçekleştirilmiş ve Varyans Analiz yöntemi (ANOVA) kullanılarak, kesme ve ilerleme hızının takımın aşınması üzerine etkileri incelenmiştir. En iyi aşınma performansı, en düşük aşınma miktarı 0.07178 mm ile 150 m/dak. kesme hızı, 0.04 mm/dev. ilerleme hızından oluşan kesme parametrelerinde elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, ilerleme hız parametresinin kesici takımın aşınmasında en etkili parametre olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Seramik Kesici Takım; Tornalama; AISI 4140 Çeliği; On-line İzleme

## **The Effect of Cutting Parameters on the Tool Wear During Turning of AISI 4140 Steel**

### **Abstract**

The concerns with some machinability aspects on tool wear in hard turning of AISI 4140 ( $52 \pm 1$  HRC) high strength low-alloy steel using PVD-TiN coated ceramic inserts under dry environment. The machined surface monitoring and cutting tool wear mechanism are investigated in this work. The experiments were conducted at two different cutting speeds (150, 180 m/min) with three different feed rates (0.04, 0.08 and 0.12 mm/rev) and a constant depth of cut (0.2 mm). The effects of cutting speed and feed rate on tool wear were investigated using an Analysis of Variance (ANOVA). The best tool wear resistance performance was achieved at cutting speeds (150 m/min) and feed rate (0.04 mm/rev) with lowest wear (0.07178 mm). Our results revealed that the feed rate is the most significant parameter influencing the tool wear.

**Keywords :** Ceramic Cutting Tool; Hard Turning; AISI 4140 Steel; On-line Monitoring

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Çakan A., Özocakçioğlu A., "AISI 4140 Çeliğin Tornalanmasında Kesme Parametrelerinin Kesici Uç Aşınmasına Etkisi", Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2016, 13(4) 9-18

*How to cite this article*

Çakan A., Özocakçioğlu A., "The Effect of Cutting Parameters on the Tool Wear During Turning of AISI 4140 Steel", Electronic Journal of Machine Technologies, 2016, 13(4) 9-18

## 1. GİRİŞ

Talaşlı üretimde üretim maliyetinin azaltılması, verimliliğin ve kalitenin artırılması, kesici takım malzeme özellikleriyle doğrudan ilişkilidir. Endüstri; yüksek sertlik, düşük sürtünme katsayısı, yüksek aşınma direnci ve yüksek kesme hızlarında çalışabilen kesici takımları kullanmaya öncelik vermektedir. Seramik gibi yüksek aşınma direnci ve yüksek çalışma sıcaklık özelliklerine sahip yeni nesil kesici takım malzemelerinin üretilmesi ve takımda sağlanan rijitlik artışları, sertleştirilmiş çeliklerin talaş kaldırılarak işlenebilmesinin yolunu açmıştır. Seramik kesici takımlar ile 45HRC den başlayarak daha yüksek sertlik değerlerine sahip çelik malzemeler talaş kaldırmak suretiyle işlenebilmekte ve taşlama işleminde ulaşılan yüzey kalitesinde parçalar üretilebilmektedir [1-3].

Taşlama yönteminde, işleme zamanının uzunluğu, sınırlı geometriye sahip iş parçası gereksinimi ve kirlenici olan soğutma sıvısı kullanılması zorunluluğunun olması, sertleştirilmiş parçaların talaş kaldırılarak işlenmesi uygulamasının hızla yaygınlaşmasının da önünü açmaktadır. Belirlenen boyutsal değerlerde ve yüzey kalitesinde parçaların, sertleştirilmiş malzemelerden, yüksek kesme hızlarında tornalanarak üretilmesi maliyette düşüş, üretim hızında ise büyük artış sağlamaktadır [4]. Kompleks şekilli parçaların bile kolay işlenebilirliğinin sağlanmasının yanında, soğutma sıvısı kullanılmaksızın yâda çok az soğutma sıvısı kullanılmasına gereksinim olması, yöntemi, taşlama işlemini de kapsayan konvansiyonel yöntemlere üstün kılmaktadır [5-8].

Kesme bölgesinde yüksek ısı oluşumu ve buna bağlı olarak kesici takımda hızlı aşınma oluşması ve kesicide oluşan aşınmanın tespit ve kontrolünün güç olması ise yöntemin dezavantajlarını oluşturmaktadır. Yüksek çalışma sıcaklıklarında mekanik özelliklerini büyük ölçüde koruyabilen seramik kesici takımların uygun kesme koşullarında kullanılması, bu dezavantajı büyük ölçüde gidermektedir. Bu nedenle, kesici takımda oluşan aşınmayı belirleyebilecek sistemlerin kurulması, talaşlı imalat endüstrisinin ana hedeflerindedir. Bu amaçla, kesicide oluşan aşınmanın doğrudan ya da dolaylı olarak belirlendiği ölçme teknikleri geliştirilmiştir. Doğrudan ölçme tekniklerinde, kesicide oluşan aşınma, genellikle kesme işlemi aralıklarla durdurulup kesicide oluşan aşınmış bölgeler mikroskop yardımıyla ölçülerek belirlenmeye çalışılmaktadır [9,10]. Dolaylı ölçme teknikleri, kesme işleminde iş parçası boyutunda oluşacak değişimin izlenmesi [11,12], akustik emisyon [13], motorun çektiği akım, tork, kuvvet gibi parametrelerin izlenmesi ile takımda oluşan aşınmanın belirlenmesini amaçlamıştır [14,15].

Akustik emisyon yöntemi kullanılarak kesici takım aşınmasının belirlenmesi, ancak sınırlı ve özel koşullar altında başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir [16]. Kesici takımın tezgâha tespiti ile bağlantılı kesme koşullarında ve statik kuvvette oluşan küçük değişimler, kesme işlemlerinde işlenen parça boyutlarının değişmesine ve statik kuvvet bileşenlerinde dalgalanmalara neden olmaktadır [17]. Frekans ve onun karakteristik özelliğinin belirlenmesine bağlı olduğu için, titreşimin doğrudan ölçülmesi güçtür [18]. Sensörlerde sağlanan gelişmeler, kesme işlemlerinde yeteri kadar ölçme bilgisinin alınmasına imkan sağlamıştır. İşlenen yüzeyin boyutsal değişimini takip edebilen sensör sistemlerinin üretilmesi ile, kesme işlemi süresince takımda oluşan aşınma on-line izlenebilmiştir [19]. Programlanabilir aygıtlara bağlı sensörler kesicilerin kesici kenar aşınmasını on-line belirlemede kullanılmıştır [20,21]. Kesme işlemi süresince gerçekleşen titreşim ve salğıdan, on-line izleme sisteminin olumsuz etkilenmesi ise sistemin dezavantajlarını oluşturmaktadır. Ancak, kısa aralıklarla veri elde edilmesine imkan tanınması nedeniyle kesici takım aşınmasının belirlenmesinde on-line izleme sisteminin kullanılması artarak devam etmektedir. Bu çalışmada; TiN kaplı seramik kesici takımlar CNC torna tezgâhı kullanılarak, krank mili, aks, vidalı mil, civata, somun, saplama, dişli çark gibi çeşitli makine ve motor parçalarının imalatında olmak üzere geniş bir kullanım alanına sahip [22], AISI 4140 çelik numuneler üzerinde, farklı kesme koşullarında aşınma testlerine tabi tutulmuştur. Sertleştirilmiş çelik malzemenin tornalanarak

işlenmesi süresince kesici takımda oluşan aşınma, 0.1 saniye aralıkla veri kaydı yapabilen on-line izleme sistemi kullanılarak belirlenmiştir.

## 2. MATERYAL ve METOT

### 2.1. Test Numuneleri

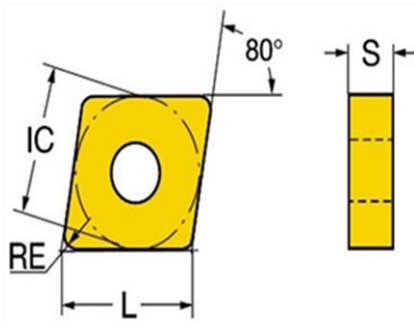
Bu çalışmada, 60 mm çapında 300 mm boyunda orta karbonlu düşük alaşımlı yüksek dayanımlı AISI 4140 (DIN 42CrMo4) eliği deney numunesi olarak kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan AISI 4140 elik malzemenin kimyasal içeriği Tablo 1’de verilmiştir. Isıl işlem sonrası iş parçasının sertliği  $52 \pm 1$  HRC olarak llmştir.

**Tablo 1** AISI 4140 eliğin kimyasal içeriği

%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Cr	%Mo
0.38-0.43	0.75-1.00	0.035 (max)	0.04 (max)	0.15-0.30	0.80-1.10	0.15-0.25

### 2.2. Kesici Takım

Deneylerde, Sandvik-Coromat firmasından temin edilen, sinterlenmiş alüminyum oksitlerden oluşan CNGA 120408T01020 650 kodlu uç geometrisi Şekil 1’de görülen seramik kesiciler, ISO DCLNR 2525M12 kodlu takım tutucu (kater) zerine bağlanarak kullanılmıştır.



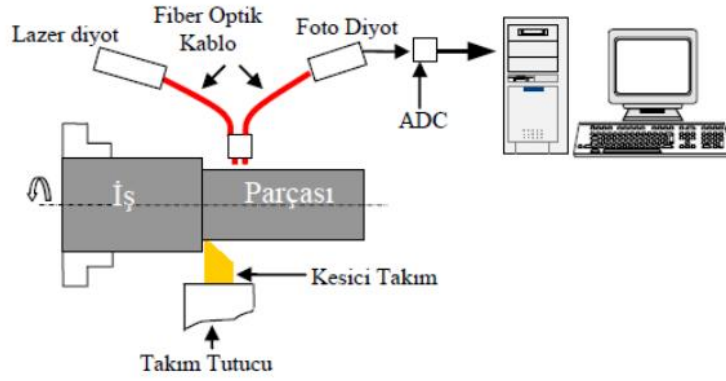
L	Kesme Kenar Uzunluğu	12,8959 mm
S	Kesici Uç Kalınlığı	4,7625 mm
IC	İ teğet daire çapı	12,7 mm
RE	Köşe radyus	0,8 mm
EPSR	U dahil aı	80°
	Kalite	650

**Şekil 1.** Kesici uç geometrisi.

### 2.3. On-line İzleme Prosesi

On-line izleme sisteminde; lazer diyot tarafından üretilen ışık fiber optik vasıtasıyla iş parçası üzerine gönderilmiş, iş parçası üzerinden yansayan ışık başka bir fiber optik vasıtasıyla alınarak foto diyot üzerine dşrlmştir. Bu iki fiber optik iş parçası eksenine sabit uzaklıkta paralel hareket ettirilmiştir. Kesici takımdaki aşınma yansayan ışık Őiddetiyle orantılıdır [11]. Fiber optik, algılayıcı-yükseltici (foto diyot) ve analog dijital dönüştürücü (A/D) optik algılama sisteminin temel elemanlarıdır. Bu iki fiberin görüş alanı, sistemin çalışma prensibini oluşturmaktadır. Fiber optiğin iş parçasına temas etmesi durumunda fiber boyunca gelen ışığın (lazer) tamamı iş parçası yüzeyine çarpar ve aynı fibere geri yansır. Algılayıcı fibere hiç ışık ulaşmaz bu yüzden foto diyot çıkışında herhangi bir voltaj değişimi elde edilemez. İş parçası ile fiber optik arasındaki boşluk artırıldıkça algılayıcı fiber optik üzerine düşen ışık miktarı da artmaktadır. Foto diyot çıkışından alınan voltaj

değerleri A/D dönüştürücü vasıtasıyla bilgisayarda depolanmaktadır. On-line izleme sisteminin şematik görünüşü Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. On-line izleme sisteminin şematik görünüşü [7].

## 2.4. Aşınma Ölçümleri

Torna tezgahında ayna-punta arasına bağlanan iş parçası üzerinde 15 mm’ lik uzunluk 0.2 mm kesme derinliğinde işlendikten sonra, kesme işlemi durdurulmuş ve işlenen yüzey ile fiber optikler arasındaki başlangıç boşluğu ~ 2.5 mm olacak şekilde ayarlanmıştır. TiN kaplı seramik kesici takım, takım tutucuya (katere) ve uç kısmı işlenen yüzeye temas edecek şekilde bağlanmış ve kesme işlemi başlatılmıştır. İş parçasının ternalama boyu 150 mm olarak alınmıştır. İşlem süresince foto diyot çıkışından alınan voltaj değerleri 0.1s aralıklarla sürekli olarak kaydedilmiştir.

Kesme performans testleri, iki farklı kesme hızı (150 m/dak ve 180 m/dak) ve üç farklı ilerleme hızlarında (0.04, 0.08 ve 0.12 mm/dev) olmak üzere toplam altı farklı deneyi içermektedir. TiN kaplı seramik kesici takımların, kesme hızı-aşınma, ilerleme hızı-aşınma ilişkisi bakımından ternalama testlerinde gösterdikleri performanslar, On-line izleme yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca aşınmış kesici uçlar metalografik analizlere tabi tutulmuştur.

## 2.5. Ternalama Testleri

Sandvik-Coromat firmasından temin edilen PVD TiN kaplı seramik kesici takımlarda, kesme işlemi süresince oluşan aşınmaları belirlemek için ternalama testleri yapılmıştır. Kesici takım numuneleri aynı kesme koşulları altında test edilmiştir. Ternalama işleminde kullanılan iş parçası 60 mm çapında ve 180 mm boyunda AISI 4140 (DIN 42CrMo4) orta karbonlu düşük alaşımlı ıslah çeliğidir. Ternalama işlemleri, kuru kesme koşullarında Ler. Tc. 150B CNC torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, her deney üç kez tekrarlanarak 18 adet ternalama testi gerçekleştirilmiştir. Sertleştirilmiş AISI 4140 çelik malzemelerin ternalanması sürecinde, kesici takım aşınması, Şekil 3’te gösterilen On-line izleme sistemi kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca aşınmış kesici uçlar metalografik analizlere tabi tutulmuştur.



Şekil 3. CNC Torna tezgahı ile irtibatlandırılmış On-line izleme sisteminin görünüşü.

## 2.6. Kesme koşulları

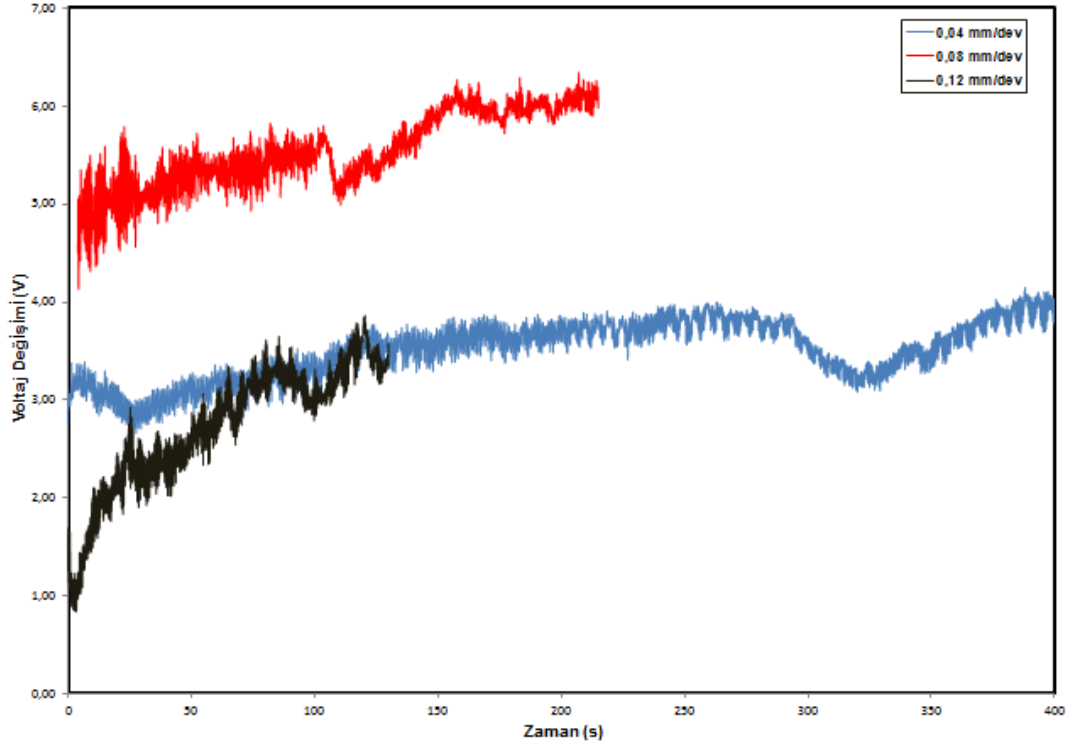
Sertleştirilmiş parçaların tornalanmasında kullanılan kesme parametreleri Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Sertleştirilmiş parçaların tornalanmasında kullanılan kesme parametreleri.

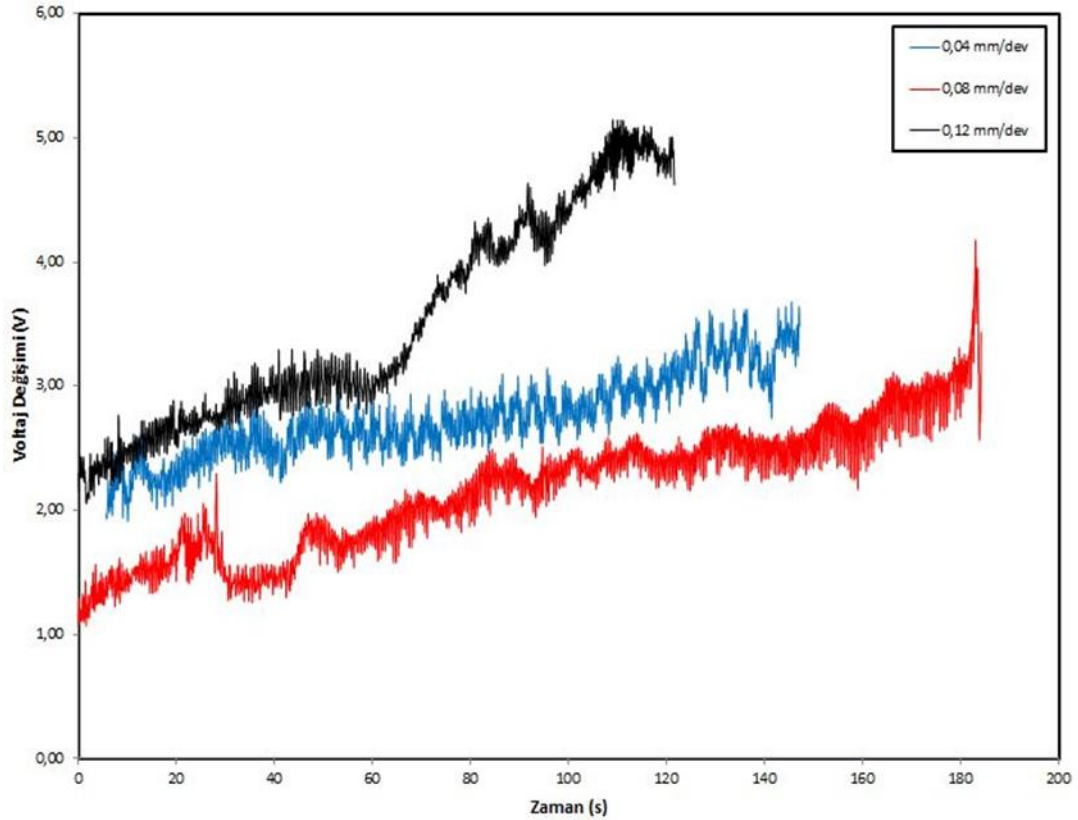
Kesme koşulları	Açıklamalar
İş parçası	AISI 4140
Sertlik	52 ± 1 HRC
Kesme hızı	150 m/dak ve 180 m/dak
İlerleme hızı	0.04 mm/dev, 0.08 mm/dev ve 0.12 mm/dev
Kesme Derinliği	0.2 mm
Kesme koşulu	Kuru
Kesici Takım	PVD TiN kaplı CNGA 120408T01020 650 kodlu seramik kesiciler
Takım geometrisi	CNGA 120408
Takım Tutucu	PCLNR 2525 M12

## 3. TARTIşMA

Kesici takımlarda oluşan aşınmaların belirlenmesinde On-line izleme sistemi kullanılmıştır. AISI 4140 (DIN 42CrMo4) sertleştirilmiş elik malzemelerin, sabit kesme derinliği (0.2 mm), iki farklı kesme hızı (150 m/dak ve 180 m/dak) ile üç farklı ilerleme hız (0.04, 0.08 ve 0.12 mm/dev) parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiş tormalama testlerinde, foto diyot çıkışından alınan voltaj değerleri Şekil 4 (a) (b) de verilmiştir. Kesici uç aşınmasının SEM görüntüsü ise Şekil 5’te verilmiştir.



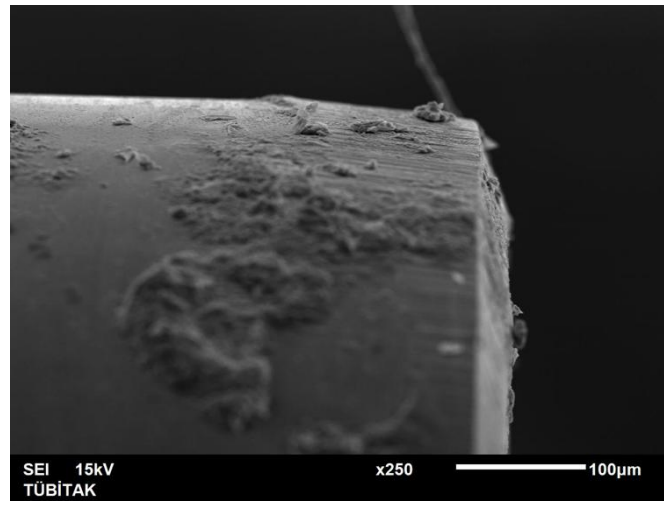
(a)



(b)

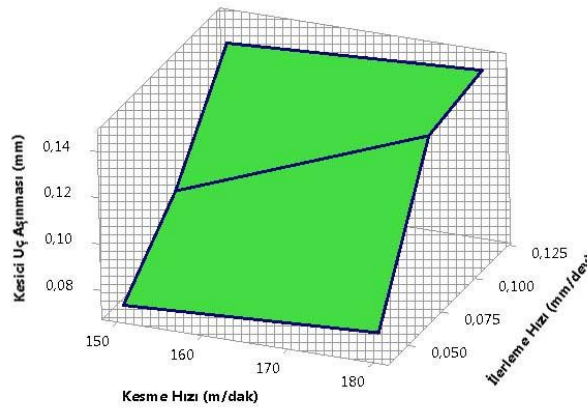
**Şekil 4.** TiN kaplı seramik kesici takımlarda farklı ilerleme hızlarında (a) 150 m/dak sabit kesme hızında oluşan voltaj değişimlerinin karşılaştırılması, (b) 180 m/dak sabit kesme hızında oluşan voltaj değişimlerinin karşılaştırılması

Şekil 4 (a) (b) de grldğu gibi kesme işlemi başlangıcından itibaren voltaj değerlerinde bir artma gözlenmiŐtir. Bunun nedeni takım üzerindeki keskin kenarda aşınma ve takım ucunda kk bir radyusun biŐimlenmesidir. Bu iş parçasına daha iyi bir yüzey kazandırmakta ve buna bağlı olarak yüzeyin yansıtma özelliğide artmaktadır. Kesme iŐleminin ilerleyen evresinde görülen voltaj sinyallerindeki düzenli artış; kesici takım üzerinde gittikçe artan kesici kenar aşınmasının neden olduğu, fiber optik ile iş parçası arasındaki azalan boŐluktan ileri gelmiŐtir. TiN kaplı seramik kesici takım numuneleriyle yapılan tornalama deneylerinden elde edilen sonuçlarda, (0.04 mm/dev den 0.12 mm/dev) artan ilerleme hızı ile voltaj değerinde de beklendiği gibi, artma gözlenmiŐtir. Şekil 5'te grldğu gibi; TiN kaplı seramik kesici ucun kesme bölgesinde belirgin derecede aşınma meydana gelmiŐ, kesici uç üzerinde kesilen malzeme kalıntısı olarak az oranda da sıvanmalar gözlenmiŐtir. Kesme işleminde kesici uç üzerine sıvanan malzemeler bir abrasif gibi davranarak kesici üzerinden ayrılana kadar işlenen parça yüzeyinde arzu edilmeyen yüzey özelliklerinin de oluŐmasına neden olmuştur. Parça yüzeyindeki bu kısımlar grafikte voltaj değerinde düŐme olarak grlmŐtir.



Şekil 5. TiN kaplı seramik kesici takımında kesme işlemi süresince kesici uçta oluşan aşınmanın SEM resmi

Deneylerde kullanılan kesme parametreleri aşınma iliŐkisinin üç boyutlu grafiksel gösterimi ise Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Kesme hızı, ilerleme hızı ve kesici uç aşınma iliŐkisinin üç boyutlu grafiksel gösterimi



#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma neticesinde elde edilen veriler, düşük ilerleme hızında gerçekleştirilen deneylerde aşınmanın daha az olduğunu göstermiştir. Sertleştirilmiş AISI 4140 çelik malzemelerin tormalanması sürecinde talaşın bir kısmı kesici takımın kesici kenarından itibaren serbest yüzeyine ve talaş yüzeyine yapışmış, kesici takımda aşınmanın ilerlemesiyle bu bağlı tabakalar ve TiN kaplama talaşla birlikte uzaklaşmıştır.

Aşınma testine tabi tutulan kesici takım numunelerinde aşınma, kesme işlemi başlangıcından itibaren kesme işlemi süresince artarak gelişmiştir. Tormalama testlerinde, 150 m/dak dan 180 m/dak artan kesme hızı ve 0.04 mm/dev den 0.12 mm/dev artan ilerleme hızına bağlı takım aşınmasında da artma olmuştur. Bu durum voltaj değişimi aşınma bağıntısı (1) kullanılarak kesici takımda oluşan aşınma miktarının mm olarak belirlendiği işlem neticelerinde de görülmüştür.

$$\text{Kesici kenar aşınma miktarı (mm)} = -0.0061 + 0.0472 \text{ aşınma oranı (V)}$$

$$(R^2 = 86.3 \% ; \text{RMSE} = 0.003 ; P < 0.001) \quad (1)$$

- 150 m/dak kesme hızında 0,04 mm/dev ilerleme hızında aşınma:  
 $FW_{150-0,04} = -0.0061 + (0.0472 * (1,65)) = 0,07178 \text{ mm}$
- 150 m/dak kesme hızında 0,08 mm/dev ilerleme hızında aşınma:  
 $FW_{150-0,08} = -0.0061 + (0.0472 * (2,21)) = 0,098212 \text{ mm}$
- 150 m/dak kesme hızında 0,12 mm/dev ilerleme hızında aşınma:  
 $FW_{150-0,12} = -0.0061 + (0.0472 * (3,03)) = 0,13916 \text{ mm}$
- 180 m/dak kesme hızında 0,04 mm/dev ilerleme hızında aşınma:  
 $FW_{180-0,04} = -0.0061 + (0.0472 * (1,77)) = 0,07744 \text{ mm}$
- 180 m/dak kesme hızında 0,08 mm/dev ilerleme hızında aşınma:  
 $FW_{180-0,08} = -0.0061 + (0.0472 * (3,09)) = 0,139748 \text{ mm}$
- 180 m/dak kesme hızında 0,12 mm/dev ilerleme hızında aşınma:  
 $FW_{180-0,12} = -0.0061 + (0.0472 * (3,20)) = 0,14494 \text{ mm}$

150 ve 180 m/dak kesme hızları ve 0.12 mm/dev ilerleme hızında seramik kesici uçlarla yapılan tormalama testlerinde elde edilen kesici uç aşınmalarında birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bununla birlikte, 150 m/dak kesme hız parametresinde oluşan aşınmanın (0.13916 mm), 180 m/dak kesme hız parametresinde kullanılan kesici uçta oluşan aşınmadan (0.14494 mm) daha az olduğu görülmüştür.

Sertleştirilmiş AISI 4140 çelik malzemelerin tormalanmasında en iyi aşınma performansı, 0.07178 mm'lik en düşük aşınma miktarı ile 150 m/dak kesme hızı ve 0.04 mm/dev ilerleme hız parametrelerinde elde edilmiştir.

#### 5. KAYNAKLAR

1. König, W., Berktold, A. and Koch, K.F., 1993, "Turning Versus Grinding A Comparison of Surface Integrity Aspects and Attainable Accuracies", CIRP Annals – Manufacturing Technology, 42, 39–43
2. Gaitonde, VN., Karnik, SR., Figueira, L., Paulo Davim, J., 2009, "Machinability Investigations in Hard Turning of AISI D2 Cold Work Tool Steel With Conventional and Wiper Ceramic Inserts", International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 27, 754–63
3. Karabatak, M., Kara, F., 2016, "AISI D2 Soğuk İş Takım Çeliğinin Sert Tormalanmasında



Yüzey Pürüzlülüğünün Deneysel Optimizasyonu”, Politeknik Dergisi, 19 (3), 349–355

4. Attanasio, A., Umbrello, D., Cappellini, C., Rotella, G., Saoubi, RM., 2012, “Tool Wear Effects on White and Dark Layer Formation in Hard Turning of AISI 52100 Steel”, *Wear*, 286–287, 98–107
5. Senthil Kumar, A., Raja Durai, A., Sornakumar, T., 2006, “Wear Behaviour of Alumina Based Ceramic Cutting Tools on Machining Steels”, *Tribology International*, 39, 191–197
6. Groover, MP., 2010, “Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems”, 4th ed. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
7. Cakan, A., 2011, “Real-time Monitoring of Flank Wear Behavior of Ceramic Cutting Tool in Turning Hardened Steel”, *International Advanced Manufacturing Technology*, 52, 897–903
8. Zhou, JM., Andersson, M., Stahl, JE., 2004, “Identification of Cutting Errors in Precision Hard Turning Process”, *Journal of Materials Processing Technology*, 153–154, 746–750
9. Oguamanam, DCD., Raafat, H., Taboun, SM., 1994, “A Machinevision System for Wear Monitoring and Breakage Detection of Single-point Cutting Tools”, *Computers & Industrial Engineering*, 26 (3), 575–598
10. Wang, WH., Hong, GS., Wong, YS., Zhu, KP., 2007, “Sensor fusion for on-line tool condition monitoring in milling”, *International Journal of Production Research*, 45 (21), 5059–5116
11. Choudhury, SK., Jain, VK., Rama Rao, ChVV., 1999, “On-line Monitoring of Tool Wear in Turning Using a Neural Network”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 39, 489–504
12. Cakan, A., Evrendilek, F., Ozkaner, V., 2015, “Data-driven Simulations of Flank Wear of Coated Cutting Tools in Hard Turning”, *Mechanika*, 21(6), 487–493
13. Li, X., 2002, “A Brief Review: Acoustic Emission Method for Tool Wear Monitoring During Turning”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42, 157–165
14. Altintas, Y., 1988, “In-process Detection of Tool Breakages Using Time Series Monitoring of Cutting Forces”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 28 (2), 157–172
15. Yaldiz, S., Unsacar, F., Saglam, H., 2006, “Comparison of Experimental Results Obtained by Designed Dynamometer to Fuzzy Model for Predicting Cutting Forces in Turning”, *Materials & Design*, 27, 1139–1147
16. Roget, J., Souquet, P., Gsib, N., 1988, “Application of Acoustic Emission to the Automatic Monitoring of Tool Condition During Machining”, *Materials Evaluation*, 46, 225–229
17. Dan L, Mathew, J., 1990, “Tool Wear and Failure Monitoring Techniques for Turning A Review”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 30 (4), 579–598
18. Dimla DE (2000) Sensor Signals for Tool Wear Monitoring in Metal Cutting Operations A Review of Methods. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 40, 1073–1098

19. Choudhury, S.K., Jain, V.K., Krishna, S.R., 2001, "On Line Monitoring of Tool Wear and Control of Dimensional Inaccuracy in Turning" *Journal of Manufacturing Science Engineering*, 123, 10–12
20. Trejo-Hernandez, M., Osornio-Rios, R.A., Romero Troncoso, R.J., Rodriguez-Donate, C., DominguezGonzalez, A., Herrera-Ruiz, G., 2010, "FPGA-Based Fused Smart-Sensor for Tool Wear Area Quantitative Estimation in CNC Machine Inserts", *Sensors*, 10, 3373–3388
21. Liu, Q., Altintas, Y., 1999, "On-line Monitoring of Flank Wear in Turning With Multilayered Feed-forward Neural Network", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 39 (12), 1945–1959
22. Kam, M., Saruhan, H., Kara, F., 2016, "Isıl İşlem Görmüş Millerin Dinamik Davranışlarının Deneysel Analizi", *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 5 (1), 81–90