



# Hastelloy X Süper Alaşımının Tornalanmasında Kriyojenik İşlem Uygulanan PVD Ve CVD Kaplamalı Takımların Performansının İncelenmesi

Gültekin UZUN<sup>1,\*</sup>, Selçuk YAGMUR<sup>1</sup>, İhsan KORKUT<sup>1</sup>, Ulvi ŞEKER<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Bölümü, 06500, Yenimahalle/ANKARA

## Öz

Süper alaşımlar yüksek sıcaklığa karşı direnci olan alaşımlardır. Ayrıca süper alaşımlar, yüksek sürünme dayanımları ile korozyona karşı direncinin yüksek olması sebebiyle uzay ve havacılık sektörünün yanı sıra gaz türbinlerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada Hastelloy X süper alaşımının tornalanması sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri değerlendirilmiştir. Farklı kesici takımlara uygulanan (PVD, CVD) kriyojenik işlemin ve farklı kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerinde etkileri araştırılmıştır. Çalışmada kesme parametreleri olarak dört farklı kesme hızı (60, 75, 90 ve 120 m/dak) ve üç farklı ilerleme miktarı (0,10 - 0,15 - 0,20 mm/dev) seçilmiştir. Çalışma neticesinde artan kesme hızlarının ve ilerleme miktarlarının kesme kuvvetlerini arttırdığı görülmüştür. Ayrıca CVD takımlarla elde edilen kesme kuvvetlerinin PVD takımlara nazaran daha düşük olduğu görülmüştür. En iyi takım ömrü kriyojenik işlem görmüş CVD kaplamalı takımla elde edilmiştir.

## Makale Bilgisi

Başvuru: 26/10/2016

Kabul: 22/02/2017

## Anahtar Kelimeler

Hastelloy X  
Tornalama  
Kesme kuvveti  
Takım aşınması

## Keywords

Hastelloy X  
Turning  
Cutting Force  
Tool Wear

## The Investigation of The Effect of Cryogenic Processed PVD and CVD Coated Cutting Tools on Machinability in Turning on Hastelloy X Super Alloy

## Abstract

Super alloys are alloys which has the resistance of high temperatures. In addition to that, super alloys are widely used in aerospace, aviation industries, also in gas turbines because of their high creep strength and high corrosion resistance. In this study, cutting forces obtained as a result of turning of the Hastelloy X super alloy were evaluated. The effects of different cutting parameters and the cryogenic treatment applied to different cutting tools (PVD, CVD coated) on cutting forces were investigated. During the experiments, four different cutting speeds (60, 75, 90 and 120 m/min) and three different feed rates (0.10 - 0.15 - 0.20 mm/rev) were used. As a result of the experiments, it is observed that increasing cutting speeds and feed rates increase cutting forces. Moreover, the cutting forces obtained with CVD coated cutting tools were less than PVD coated cutting tools. The best tool life result was obtained with cryogenic treated CVD coated cutting tools.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Nikel esaslı süper alaşımlar, ısıya dayanıklılığı ile yüksek sıcaklıklarda çalışma özelliğinden ötürü uçak, uzay ve nükleer endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Süper alaşımların bir çeşidi olan Hastelloy X yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Bununla birlikte dayanım özelliklerinin iyi olması Hastelloy X gibi süper alaşımların işlenmesinde çeşitli zorluklarla karşılaşılmasına yol açmıştır. Bu malzemelerde bulunan bazı elementler (Ni, Co, Cr, Ti) işlenebilirliği olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle Nikel elementi bu malzemelerin işlenebilirliğini daha da güçleştirmektedir. Literatür incelemesi yapıldığında bu tip bir malzemenin işlenmesi ile ilgili çalışmaların son dönemde araştırmacıların ilgisini çektiği görülmektedir. Süper alaşımların işlenmesinde farklı tipte kesiciler kullanılması, farklı kesici geometrileri ve bu kesicilere PVD ve CVD kaplama uygulamalarının süper alaşımların işlenmesinde nasıl etkili olduğu araştırmacılar tarafından sıklıkla denenilen bir yöntem olmuştur [2-7]. Ayrıca süper alaşımların işlenmesi esnasında takım aşınma davranışını ve aşınmayı inceleyen

\*İletişim yazarı, e-mail: [uzun.gultekin@gazi.edu.tr](mailto:uzun.gultekin@gazi.edu.tr)

çalışmalar da araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Deneysel çalışmalarla birlikte bazı matematiksel modelleme yöntemleri de kullanılmıştır [8-12]. Özellikle zor malzemelerin tornalanması işleminde PVD ve CVD yöntemi ile kaplanmış takımlar sıklıkla kullanılmaktadır [13-14]. Bu kaplama tipleri arasında oluşan kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülükleri ve takım aşınma değerleri gibi farklılıklar daima araştırma konusu olmuştur [15-17].

## 2. MALZEME VE METOT (MATERIALS AND METHOD)

Bu çalışmada Hastelloy X süper alaşımı deney malzemesi olarak seçilmiştir. Deneylerde kullanılan Hastelloy X süper alaşımının kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilmektedir.

**Tablo 1.** Hastelloy X süper alaşımının kimyasal bileşimi.

Alaşım	Ni	Cr	Mo	Fe	Co	W	Mn	Al	Si	C	B
%	50	21	17	2	1	1	0.80	0.50	0.08	0.01	0.01

Deneylerde Sandvik firması tarafından üretilen ticari kalite SNMG120408MM olan PVD (GC1125) ve CVD (GC2025) kaplamalı sementit karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Bu çalışma, PVD, CVD kaplamalı takımlarla ve bu takımların kriyojenik ısıtma işlemi uygulanmış (KRPVD ve KRCVD) olanları ile gerçekleştirilmiştir (Tablo 2.). Kesici takımlar oda sıcaklığından  $-145^{\circ}\text{C}$ 'ye yaklaşık  $1-2^{\circ}\text{C}/\text{dak}$  soğutma hızı ile kademeli olarak soğutulmuş, bu sıcaklıkta 24 saat bekletildikten sonra yine  $1-2^{\circ}\text{C}/\text{dak}$  ısıtma hızı ile kademeli olarak oda sıcaklığına getirilerek kriyojenik işlem uygulanmıştır. Kriyojenik işlem ile ısıtma işlemi sonrası kalıntı östenitin martenzite dönüşümü ile kesici takımların aşınma dirençlerinin artırılması amaçlanmıştır.

**Tablo 2.** Kesici takım.

Kesici Takım	Kısaltma	Isıl İşlem	
PVD GC1125	PVD	-	
PVD GC1125	KRPVD	Kriyojenik ısıtma işlemi uygulanmış	
CVD GC2025	CVD	-	
CVD GC2025	KRCVD	Kriyojenik ısıtma işlemi uygulanmış	
Kaplama Özellikleri			
Kalite	Sementit Karbür Tipi	Kaplama Türü	Kalınlık ( $\mu\text{m}$ )
GC1125	Mikron altı (çok ince) tane boyutu	PVD TiAlN+AlCrO	4
GC2025	Orta / kaba WC tane boyutu	CVD MT-Ti(C,N) +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN	4,5

İşleme Deneyleri, FANUC kontrol ünitesine sahip “Johnford TC-35” sanayi tipi CNC torna tezgâhında yapılmıştır. Tezgâhın gücü 10 KW olup, tezgâh iş mili değişken kademesiz hıza sahiptir ve 3500 dev/dak’ya kadar çıkabilmektedir. İşleme esnasında oluşan esas kesme kuvveti  $F_z$  ( $F_c$ ), KISTLER 9257A tipi piezoelektrik dinamometre ile ölçülmüştür. Kesici takımlar üzerindeki aşınma ve malzeme yapışmaları AM413ZT Polarize Dijital Mikroskop ile 50X büyütme yapılarak görüntülenmiştir. Deneyler, kesici takım üretici firması tarafından tavsiye edilen değerler ışığında Tablo 3’de verilen kesme kesme parametre değerleri ile kuru kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Her bir malzeme için dört farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme miktarı seçilmiş, kesme derinliği sabit tutulmuştur. Tablo 4’de deney tablosu verilmiştir.

**Tablo 3.** Kesme şartları.

Kesme Hızı, V (m/dak)	İlerleme, f (mm/dev)	Kesme derinliği, a (mm)
60–75–95–120	0,1-0,15-0,2	0,75

**Tablo 4.** Deney tablosu.

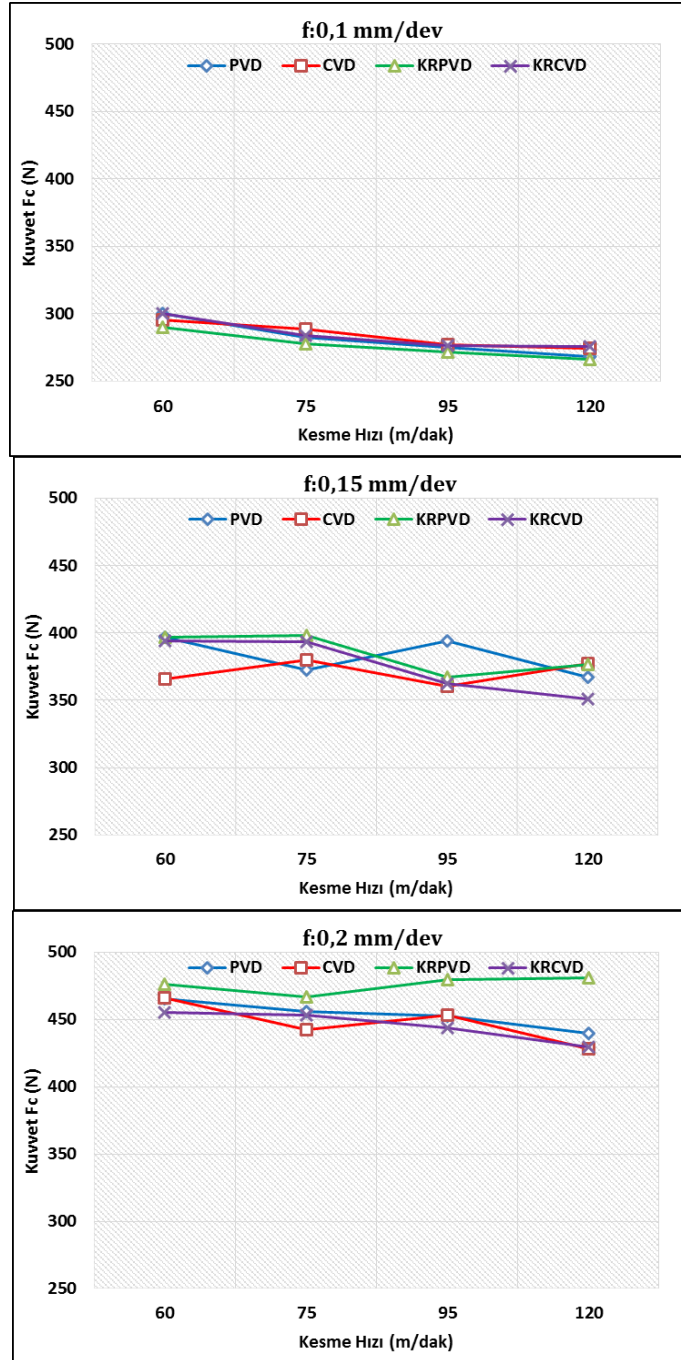
Deney No	Kesici Takım	Kesme Hızı, V (m/dak)	İlerleme, f (mm/dev)	Kesme derinliği, a (mm)
1	PVD	60	0,1	0,75
2		75		
3		95		
4		120		
5		60	0,15	
6		75		
7		95		
8		120		
9		60	0,2	
10		75		
11		95		
12		120		
13	CVD	60	0,1	0,75
14		75		
15		95		
16		120		
17		60	0,15	
18		75		
19		95		
20		120		
21		60	0,2	
22		75		
23		95		
24		120		
25	KRPVD	60	0,1	0,75
26		75		
27		95		
28		120		
29		60	0,15	
30		75		
31		95		
32		120		
33		60	0,2	
34		75		
35		95		
36		120		
37	KRCVD	60	0,1	0,75
38		75		
39		95		
40		120		
41		60	0,15	
42		75		
43		95		
44		120		
45		60	0,2	
46		75		
47		95		
48		120		

### 3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL AND DISCUSSION)

Deneyler sonrasında deney girdilerine bağlı olarak CVD ve PVD takımlar ile elde edilen kesme kuvvetleri ve takım ömrü değerleri grafik olarak değerlendirilmiştir.

#### 3.1. Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi (Evaluation of Cutting Forces)

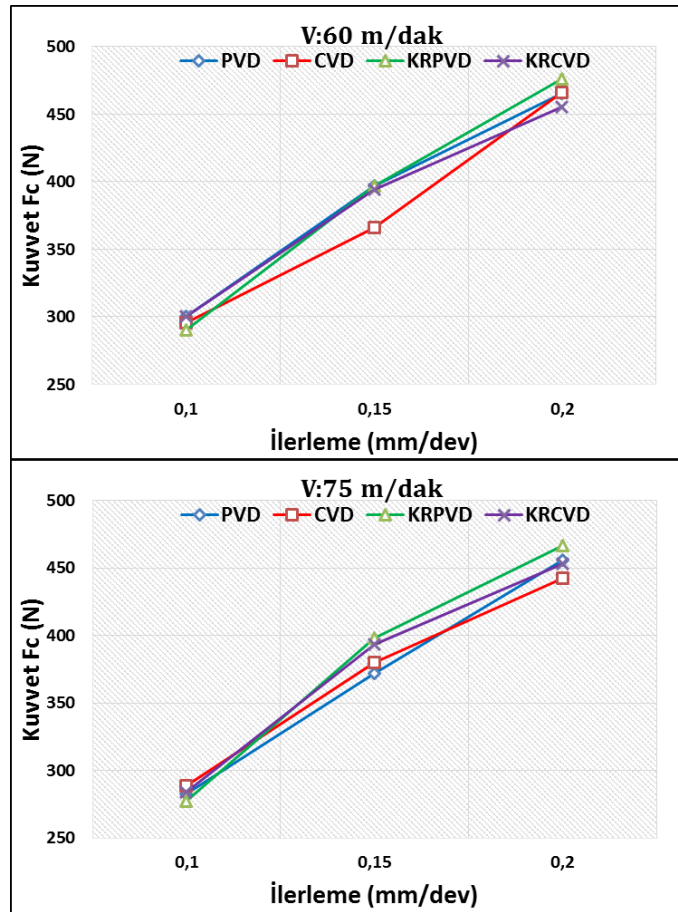
Hastelloy X süper alaşımının PVD ve CVD takımlar ile tornalamasında her bir ilerleme miktarı için kesme hızlarına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişiklik Şekil 1’de verilmiştir.

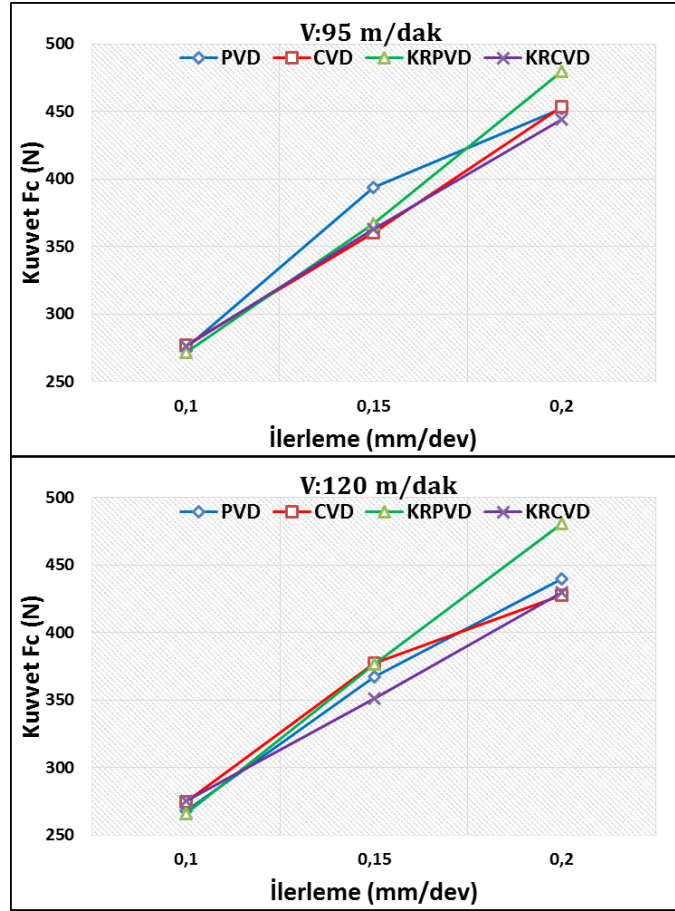


Şekil 1. Her bir ilerleme miktarı için kesme hızlarına bağlı olarak kuvvetlerin değişimi

Şekil 1’deki grafikler incelendiğinde kesme hızlarının değişimi ile birlikte kesme kuvvetlerinde genel olarak düşüş eğilimi görülmektedir. Talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan güç çoğunlukla kayma düzleminde ve kesici uç çevresinde ısıya dönüşür. Kayma düzleminde oluşan ısının büyük bir bölümü

talaşla atılır ancak belli bir miktar ısı iş parçasına iletilir. İletilen bu ısı iş parçasının sertliğini azaltır. Sertlik azaldığında süneklik artacağından iş parçasından talaş kaldırmak kolaylaşır [12,18-23]. Kesme hızlarının artışı kriyojenik işlem görmüş takımların daha iyi performans göstermesini sağlamıştır. Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin kesme kuvvetlerinin düşmesinin sebebi kesici takımlarda ki aşınma direnci ve sertliğinde meydana gelen artışların olduğu düşünülmektedir [12, 18]. Ayrıca kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin düşük ilerleme oranında kesme kuvvetlerini düşürdüğü görülmektedir. 0,1 mm/dev ilerleme miktarında 60 m/dak kesme hızında PVD takımında meydana gelen kesme kuvveti 300 N iken, kriyojenik işlem görmüş PVD takımında kesme kuvveti %3,3 azalarak 290 N olmuştur. Yine 0,1 mm/dev ilerleme miktarında 120 m/dak kesme hızında PVD takımında yapılan deneylerde meydana gelen kesme kuvveti 268 N iken, kriyojenik işlem görmüş PVD takımında ise %1 azalarak 266 N olmuştur. Artan ilerleme miktarları ile beklendiği şekilde kesme kuvvetlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Her bir kesme hızı için ilerleme miktarlarına göre kesme kuvvetlerinin değişimi Şekil 2'deki grafiklerde verilmiştir.





Şekil 2. Her bir kesme hızı için ilerleme miktarına bağlı olarak kuvvetlerin değişimi

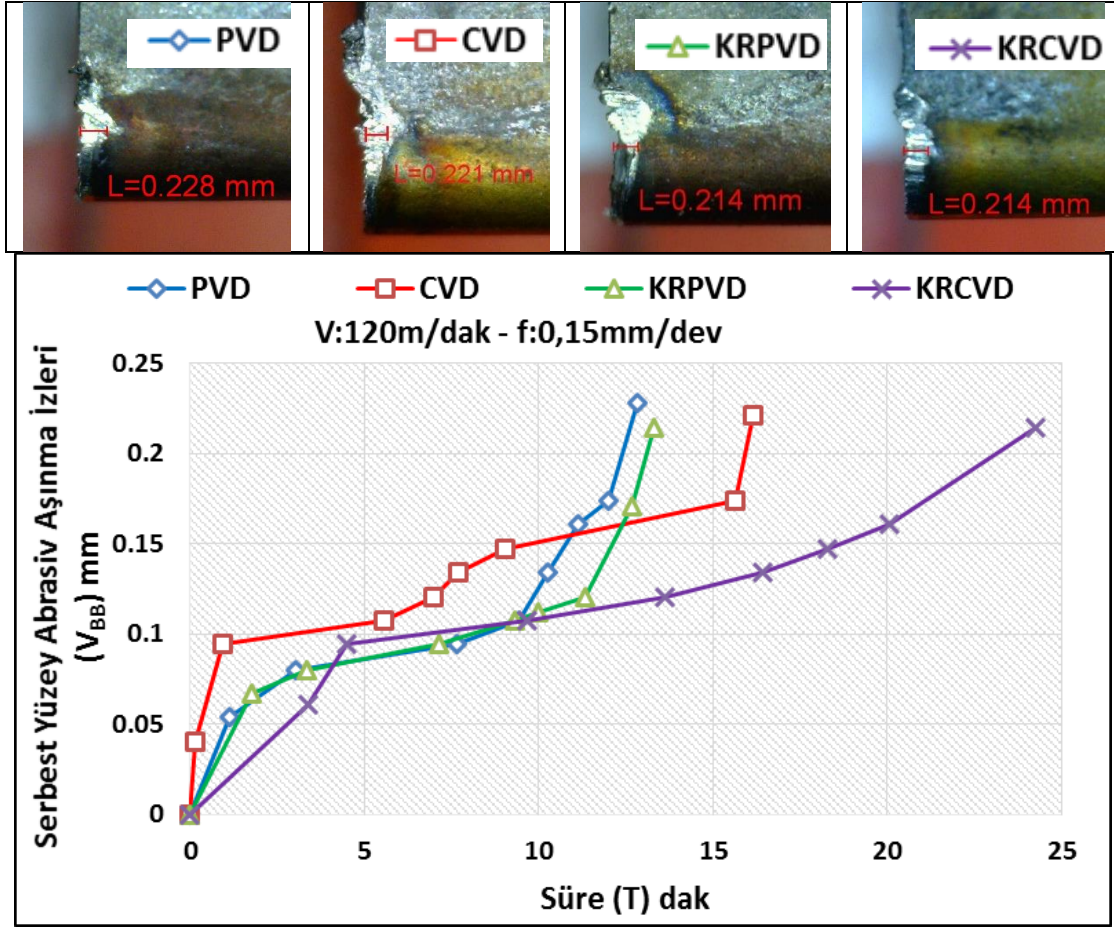
Şekil 2'deki grafikler incelendiğinde artan ilerleme miktarlarının kesme kuvvetlerini arttırdığı görülmektedir. İlerleme miktarı tarafından oluşturulan talaş kesit alanı esas kesme kuvvetini belirleyen en önemli faktördür. Dolayısıyla ilerlemedeki artışla beraber kesme kuvvetlerinin artması beklenen bir eğilimdir [12, 18-20]. En yüksek kesme kuvveti 483 N ile 0,2 mm/dev ilerleme miktarında ve 95 m/dak kesme hızında kriyojenik işlem görmüş PVD takım ile yapılan deneyde elde edilmiştir. Ayrıca 95 m/dak kesme hızı dışındaki kesme hızlarında en yüksek kesme kuvvetleri yine 0,2 mm/dev ilerleme miktarında kriyojenik işlem görmüş PVD takımlarla yapılan deneylerde meydana geldiği görülmektedir.

Genel olarak en düşük kesme kuvvetleri CVD takımlar ile yapılan deneyler sonucunda elde edilmiştir. En yüksek kesme kuvvetleri ise kriyojenik işlem görmüş PVD takımlarda meydana gelmiştir. Bu durumun başlıca nedeni, PVD kaplamanın dış yüzeylerinde başlayan çatlakların alt tabakaya ulaşması, ayrıca CVD kaplamaların yüksek aşınma direncine, kaplama sertliğine ve kaplama kalınlığına bağlanabilir [12, 18, 24-26].

### 3.2. Takım Aşınmasının Değerlendirilmesi (Evaluation of Tool Wear)

Takım aşınması değerleri deneylerde kullanılan Hastelloy X süper alaşımın maliyeti sebebi ile yüksek kesme hızı ve orta ilerleme miktarı esas alınarak belirlenmiştir. Şekil 3'te 120 m/dak kesme hızında 0,15 mm/dev ilerleme miktarında dört farklı kesici takımında meydana gelen aşınmalar verilmiştir. Aşınma miktarı kriteri olarak 0,2 mm alınmış ve kesiciler bu değeri aşana kadar kesme işlemine devam edilmiştir.





Şekil 3. Kesici takımlarda meydana gelen aşınma miktarları

Şekil 3'teki grafik incelendiğinde en uzun kesme işleminin kriyojenik işlem görmüş CVD takımında meydana geldiği görülmüştür. Düşük kesme kuvvetlerinin genel olarak kriyojenik işlem görmüş CVD takımlarda meydana gelmiş olması bu durumu destekler niteliktedir. Kriyojenik işlem görmüş CVD kaplı takım CVD kaplamalı takım izlerken en çabuk aşınan takımın ise PVD kaplamalı takım olduğu görülmüştür. Takımlara uygulanan kriyojenik işlemin takım ömrünü artırdığı ve bununla birlikte CVD kaplamanın PVD kaplamaya göre takım ömrü performansının daha iyi olduğu görülmektedir. Kriyojenik ısıl işlem PVD kaplamalı takımın takım ömrünü %3 artırırken, CVD kaplamalı takımın takım ömrünü %50 artırmıştır. CVD kaplanmış takım PVD kaplanmış takıma göre %26 daha iyi bir takım ömrü sergilemiştir. Bu durum en üst katmanda bulunan Ti(C,N) kaplamanın yüksek sertlik, oksidasyon ve korozyon direnci ile açıklanabilir. Ayrıca kesici uç kaplamasının kriyojenik işleme direncinin arttığı da bilinmektedir. Bu da yanak aşınma direncini iyileştirir [12, 27]. Şekil 3'te kriyojenik işlemin etkisi de açık bir şekilde görülmektedir. Kriyojenik işleme tabi tutulmuş kesici takımlar işlemsiz takımlara göre aşınma yönünden daha iyi sonuçlar vermiştir. Kriyojenik işlem bu iyileşmeyi kesici ucun morfolojik yapısını değiştirmek kaydıyla yapmaktadır [12, 18, 27, 28].

## 5. SONUÇ (CONCLUSION)

Hastelloy X süper alaşımının dört farklı kesici takımla tornalamasında meydana gelen kesme kuvvetleri ve takım aşınmasının araştırıldığı bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Takımlara uygulanan kriyojenik ısıl işlemin esas kesme kuvveti açısından çok farklılık oluşturmadığı, fakat CVD takımlar için kesme kuvvetlerini düşürürken PVD takımlarda yükselttiği söylenebilir

- CVD ve PVD takımlara uygulanan kriyojenik işlem, takım ömrü yönünden olumlu etkide bulunmuş ve en uzun ömüre sahip takım, kriyojenik işlem görmüş CVD kaplamalı takım ile elde edilmiştir. Kriyojenik işlemin bu iyileşmeyi kesici ucun morfolojik yapısını değiştirerek gerçekleştirmektedir.
- Genel olarak CVD kaplamalı takımların PVD kaplamalı takımlara oranla daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Bu durumun CVD kaplamalı takımların yüksek aşınma direncine, kaplama sertliğine ve kaplama kalınlığına sahip olması ile açıklanabilir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] I.A. Choudhury, M.A. El-Baradie, “Machinability of nickel-base super alloys: a general review”, *Journal of Materials Processing Technology* 77 (1998) 278–284.
- [2] N. Richards, D.D. Aspinwall, Use of ceramic tools for machining nickel-based alloys, *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 29 (4) (1989) 575–588.
- [3] N. Narutaki, et al. (Eds.), “Performance of PVD and CVD coated tools when machining nickel-based, Inconel 718 alloy”, *International Journal of Material Forming*, 3, (2010), pp. 475–478.
- [4] L. Li, N. He, M. Wang, and Z. G. Wang, “High speed cutting of Inconel 718 with coated carbide and ceramic inserts,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 129, no. 1—3, pp. 127–130, 2002.
- [5] R.S. Pawadea, Suhas S. Joshia, P.K. Brahmankarb, M. Rahmanc, “An investigation of cutting forces and surface damage in high-speed turning of Inconel 718” *Journal of Materials Processing Technology* 192–193 (2007) 139–146
- [6] Lalbondre , R., Krishna, P. , Mohankumar G.C. ,” Machinability Studies of Low Alloy Steels by Face Turning Method: An Experimental Investigation” *Procedia Engineering* 64, 632 – 641, 2013.
- [7] M. Nalbant, A. Altın and H. Gokkaya, “ The effect of cutting speed and cutting tool geometry on machinability properties of nickel-base Inconel 718 super alloys ,” *Materials and Design*, vol. 28, no. 4, pp. 1334–1338, 2007.
- [8] J.L. Cantero, J. Diaz-Alvarez, M.H. Miguelez, N.C. Marin, “Analysis of tool wear patterns in finishing turning of Inconel 718”, *Wear*, 297 885–894, 2013.
- [9] K. Kadirgama, K.A. Abou-El-Hossein, M.M. Noor, K.V. Sharma, B. Mohammad, “Tool life and wear mechanism when machining Hastelloy C-22HS” , *Wear*, 270, 258–268, 2011.
- [10] Dahu Zhu, Xiaoming Zhang, Han Ding, “Tool wear characteristics in machining of nickel-based superalloys”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 64, 60–77, 2013.
- [11] A., Altın, “Optimization Of The Turning Parameters For The Cutting Forces In The Hastelloy X Superalloy Based On The Taguchi Method”, *Original scientific article / Izvirni znanstveni ~lanek*, 48(2), 249, 2014.
- [12] A., Mavi, I., Korkut, “Machinability of a Ti-6Al-4V Alloy with Cryogenically Treated Cemented Carbide Tools” *Materiali in tehnologije / Materials and technology*, 48 (4), 577–580, 2014.
- [13] M. E., Korkmaz, M., Günay, “Finite Element Modeling of Tool Stresses in Hard Turning of AISI L2 Steel: Prediction by ANN” *International Journal of Modern Engineering Research*, 6(11), , 30-40, 2016.
- [14] H., Yurtkuran, M. E., Korkmaz, M., Günay, “Modelling and Optimization of the Surface Roughness in High Speed Hard Turning with Coated and Uncoated CBN Insert” *Gazi University Journal of Science*, 29(4), 987-995, 2016.



- [15] H., Gökkaya, G., Sur, H., Dilipak “Experimental Investigating of the Effect of Cemented Carbide Cutting Tools Coated by PVD and CVD on Surface Roughness According to Machining Parameters” Journal of Zonguldak Karaelmas University, Technical Education, 7 (3), 473-478, 2004.
- [16] M., Nalbant, H., Gökkaya, İ., Toktaş, G., Sur, “The Experimental Investigation of the Effects of Uuncoated, PVD- and CVD- Coated Cemented Carbide Inserts and Cutting Parameters on Surface Roughness in CNC Turning and its Prediction Using Artificial Neural Networks” Robotics and Comp., 25, 211-223, 2009.
- [17] T., Kıvak, G., Uzun, E., Ekici, “An Experimental and Statistical Evaluation of The Cutting Parameters on The Machinability of Hadfield Steel” Gazi University Journal of Science, 29 (1), 9-17, 2016.
- [18] A., Mavi, “Kesici Takımlara Uygulanan Kriyojenik İşlemin Ti6Al4V Titanyum Alaşımının İşlenmesinde Kesici Takım Performansının Etkisi” Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2013.
- [19] I., Korkut, K., Yavuz, Y., Turgut, “An Experimental Investigation into the Machinability of GGG70 Grade Spheroidal Graphite Cast Iron” Indian Journal of Engineering Materials Sciences, 16, 123-127, 2009.
- [20] G., Uzun, İ., Çiftçi, “Ç 5140 Çeliğinin Mekanik Özelliklerinin Takım Aşınması ve Kesme Kuvvetlerine Etkisinin İncelenmesi” Politeknik Dergisi, 15 (1), 29-34, 2012.
- [21] İ., Çiftçi, “Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenmesinde Kesici Takım Kaplamasının ve Kesme Hızının Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 20 (2), 205-209, 2005.
- [22] İ., Çiftçi, “Machining Of Austenitic Stainless Steels Using CVD Multi-Layer Coated Cemented Carbide Tools”, Tribology International, 39, 565-569, 2006.
- [23] Trent, E.M., “Metal Cutting”, Butterworths Press Single Layer And Multilayer Wear Resistance Coating, London, 1-171, 1989.
- [24] S. PalDey, S.C. Deevi, “s of (Ti,Al)N”, Materials Science and Engineering, 342, 58-79, 2003.
- [25] V. Braic, et al., “TiAlN/TiAlZrN Multilayered Hard Coatings for Enhanced Performance of HSS Drilling Tools”, Surface & Coatings Technology, 204, 1925–1928, 2010.
- [26] Ezugwu, E.O., Wang, Z.M., “Titanium Alloys and Their Machinability – a Review”, Journal of Materials Processing Technology, 68, 262 – 274, 1997.
- [27] S.S., Gill, R., Singh, H., Singh, J., Singh, “Wear Behaviour of Cryogenically Treated Tungsten Carbide Inserts Under Dry and Wet Turning Conditions”, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 49, 256-260, 2009.
- [28] A., Çiçek, T., Kıvak, I., Uygur, E., Ekici, Y., Turgut, “Performance of Cryogenically Treated M35 HSS Drills İn Drilling of Austenitic Stainless Steels” Int J Adv Manuf Technol, 60, 65-73, 2012.