

AISI 304 ve AISI 316 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliğinin Değerlendirilmesi

Nursel ALTAN ÖZBEK¹, Adem ÇİÇEK², Mahmut GÜLESİN³, Onur ÖZBEK^{4*}

¹ Düzce Üniversitesi, Cumayeri Meslek Yüksekokulu, Düzce

²Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Müh. ve Doğa Bil. Fak., Makine Müh. Böl. Ankara

³Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara

⁴Düzce Üniversitesi, Gümüşova Meslek Yüksekokulu, Düzce

(Geliş/Received : 08.05.2016 ; Kabul/Accepted: 15.06.2016)

ÖZ

Bu çalışmada AISI 304 ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğini değerlendirmek amacıyla kaplamasız tungsten karbür kesici takımlar kullanılarak tornalama deneyleri yapılmıştır. Deneyler, kuru kesme şartlarında sabit kesme derinliği (2,4 mm), dört kesme hızı (100, 120, 140 ve 160 m/dak) ve üç ilerleme hızında (0,15, 0,3 ve 0,45 mm/dev) gerçekleştirilmiştir. AISI 304 ve AISI 316 çeliklerin işlenebilirliği takım aşınması, esas kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirilmiştir. Deney sonuçları AISI 316 çeliğinin işlenmesinde kesici takımın daha fazla aşındığını göstermiştir. Ayrıca AISI 316 çeliğinde daha yüksek kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüştür. Deneyel çalışmada sonunda, AISI 316 çeliğinin AISI 304 çeliğine kıyasla işlenebilirliğinin zor olduğu ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Paslanmaz Çelikler, Takım Aşınması, Kesme Kuvveti, Yüzey Pürüzlülüğü.

Evaluation of Machinability of AISI 304 and AISI 316 Austenitic Stainless Steels

ABSTRACT

In this study, turning tests were performed to assess machinability of AISI 304 and AISI 316 austenitic stainless steels using uncoated tungsten carbide tools. The tests were conducted at four cutting speeds (100, 120, 140 and 160 m/min), three feed rates (0.15, 0.3 and 0.45 mm/rev), and a fixed depth of cut (2.4 mm) under dry cutting conditions. Machinability of AISI 304 and AISI 316 steels was evaluated in terms of tool wear, main cutting force and surface roughness. Experimental results showed that larger wear damages formed on the cutting inserts used for machining of AISI 316 steel. In addition, higher values of cutting forces and surface roughness were measured in machining of AISI 316 steel. In consequence of experimental study, it was found that AISI 316 steel had harder machinability characteristics than AISI 304 steel.

Keywords: Austenitic Stainless Steels, Tool Wear, Cutting Force, Surface Roughness.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Endüstride geniş kullanım alanına sahip olan paslanmaz çelikler, içerisinde en az % 10,5 oranında (kütlece) krom (Cr) ve en çok % 1,2 oranında karbon (C) içeren demir esaslı alaşımlar olarak tanımlanırlar. Bu çelikler, korozif ortamlarda çalışacak makine ve yapı elemanlarının en önemli malzemesi olmakla birlikte; üstün mekanik özellikleri sayesinde, uçak, kimya, petro-kimya, gıda, ilaç endüstrisinde, nükleer enerji santrallerinde, takım ve paslanmaz eşya endüstrisinde geniş kullanım alanına sahiptirler [1-4]. Toplam paslanmaz çelik üretimi içinde östenitik paslanmaz çeliklerin payı % 70'tir [5]. Bu grup en yaygın kullanılan çelik grubudur. Östenitik paslanmaz çeliklerin diğer paslanmaz çeliklere göre korozyon direnci açısından önemli üstünlükleri vardır [6]. Östenitik paslanmaz çelikler 200 ve 300 serilerini içerirler ve temel alaşım elementleri krom ve nikelidir. Bu alaşımlar, geniş bir sıcaklık aralığında sahip oldukları

yüksek tokluk ve yüksek dayanım değerleri ile ön plana çıkarlar ve 540 °C'ye kadar ki sıcaklıklarda oksidasyona karşı dayanım gösterirler. Bu grupta yer alan malzemelerin başında 302, 304, 310, 316, 321 ve 347 sınıf paslanmaz çelikler gelmektedir [1]. Yüksek süneklikleri, pekleşme eğilimleri ve düşük ısı iletkenlikleri nedeniyle östenitik paslanmaz çelikler kesici takımlarda farklı aşınma tiplerinin hızlı bir şekilde ortaya çıkmasına neden olabilmektedirler [6]. Bu sebeple, paslanmaz çelikler hala yapısal mühendislik problemlerinin pahalı bir çözümü olarak görülmekte ve bu durum daha fazla kullanımını engellemektedir [7].

Bu çelikleri işlenebilirlik karakteristiklerini iyileştirmeye yönelik birçok çalışma yapılmış ve bunlardan önemli olanları şunlardır: Ranganathan ve arkadaşları, AISI 316 paslanmaz çeliğinin tungsten karbür uçlarla tornalanmasında, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerine kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği) etkilerini çalışmışlardır. Regresyon analizi ve ANOVA analizini kullanarak yaptıkları bu çalışmada takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: onurozbek@duzce.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2017.20.1 43-49

kesme hızının diğer kesme parametrelerinden (ilerleme hızı ve kesme derinliği) daha etkili olduğunu tespit etmişlerdir [8]. Selvaraj ve Chandramohan, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin kaplamalı tungsten karbür takımlar kullanılarak kuru tornalanmasında kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği gibi kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini araştırmışlardır. Sinyal gürültü oranı (S/N) ve ANOVA analizi kullanılarak yapılan çalışma sonucunda, yüzey pürüzlülüğü üzerine ilerleme hızının % 51,84, kesme hızının % 41,99 ve kesme derinliğinin % 1,66 oranında etkili olduğunu belirlemişlerdir [9]. Özek ve arkadaşları, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğinin tornalanmasında, kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü, takım yan yüzey aşınması ve takım-talaş ara yüzey sıcaklığına olan etkilerini incelemişlerdir. Deneyler neticesinde, kesme hızının artmasıyla, takım-

yaygın kullanım alanına sahip olan bu iki östenitik paslanmaz çeliğin kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve daha önce çalışılmamış olan takım aşınması açısından işlenebilirliklerini değerlendirmek amacıyla kesme parametrelerinin farklı kombinasyonunda kesme deneyleri yapılmış ve deney sonuçları tartışılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Yapılan deneysel çalışmada kullanılan AISI 304 ve AISI 316 çeliğinin kimyasal bileşimi Çizelge 1'de sunulmuştur. Deneylerde 100 mm çapında ve 250 mm uzunluğunda paslanmaz çelik çubuklar kullanılmıştır. Kesici takım olarak ISCAR tarafından üretilen SNMG 120412 – TF serisine ait kaplamasız tungsten karbür takımlar (IC20) kullanılmıştır.

Çizelge 1. Östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşenleri (Chemical compositions of the austenitic stainless steels)

Sınıf	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	%Cu
AISI 304	0,08	2	0,75	0,045	0,03	18,35	8,12	0,07	0,23
AISI 316	0,04	1,18	0,41	0,038	0,012	16,3	10,09	2,02	0,49

talaş ara yüzey sıcaklığının ve takım yan yüzey aşınmasının azaldığı; ilerleme hızı ve kesme derinliğinin artmasıyla yüzey kalitesinin kötüleştiği belirlenmiştir [10]. Korkut ve arkadaşları, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin tungsten karbür takımlarla tornalanmasında optimum kesme hızı değerini belirlemek için üç farklı kesme hızı kullanarak takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerine kesme hızının etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda kesme hızının artmasıyla takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünün azaldığı tespit edilmiştir [11]. Çiftçi, AISI 304 ve AISI 316 çeliğinin işlenmesinde, kesici takım kaplamasının, kesme hızının ve iş parçası malzemesinin, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla kuru kesme şartlarında tornalama deneyleri yapmıştır. Deney sonuçlarında, AISI 316 paslanmaz çeliğin tornalanması esnasında oluşan kesme kuvvetlerinin, AISI 304 paslanmaz çeliğin tornalanması esnasında oluşan kesme kuvvetlerinden daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Ayrıca kesme hızının kesme kuvvetlerinde önemli derecede bir değişikliğe neden olmadığı ancak yüzey pürüzlülüğünü önemli derecede etkilediği görülmüştür [12]. Yeyen ve arkadaşları, AISI 303 östenitik paslanmaz çelik ile AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin işlenebilirliğini karşılaştırdıkları çalışmada; AISI 303'ün işlenmesi sırasında AISI 304'e göre %19 daha fazla kesme kuvvetleri ve %51 daha fazla yüzey pürüzlülüğü ölçüldüğünü tespit etmişlerdir [13].

AISI 316 çeliği, AISI 304 çeliği ile benzer kimyasal bileşime sahip olmakla beraber AISI 316 çeliğinin kimyasal bileşiminde AISI 304'e göre molibden ve nikel oranı daha yüksektir (Çizelge 1). Bu alaşım elementleri sayesinde, AISI 316 çeliğin kopma dayanımı, AISI 304 çeliğe oranla daha yüksektir. Bu çalışmada, endüstride

Kesme deneyleri, sabit kesme derinliği (2,4 mm), dört farklı kesme hızı (100, 120, 140 ve 160 m/dak) ve üç farklı ilerleme hızında (0,15; 0,3 ve 0,45 mm/dev) gerçekleştirilmiştir. Tornalama deneyleri kuru kesme şartları altında Johnford TC35 tipi CNC torna tezgâhı kullanılarak yapılmıştır. Deneylerde, Kistler 9257 B model dinamometre kullanılarak esas kesme kuvveti değerleri (Fc) ve Mahr M1 marka profilometre cihazı kullanılarak yüzey pürüzlülüğü değerleri (Ra) ölçülmüştür. Kesici takım aşınma miktarlarının ölçümü ise, Dino-Lite dijital mikroskop kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Belirli aralıklarda kesme işlemi durdurulmuş ve mikroskop ile kesici takımların aşınan yüzeylerinin fotoğrafı çekilerek yan yüzey aşınma miktarları ölçülmüştür. Krater derinlikleri 1 µm hassasiyete sahip Mahr marka Conturograph ile ölçülmüştür. Çalışmada, esas kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünün doğru değerlerini elde etmek amacıyla kesme parametrelerinin her bir kombinasyonunda kesme deneyleri üç kez tekrarlanmış, her parametrede üç ölçüm yapılmış ve bunların aritmetik ortalaması alınarak esas değerler belirlenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

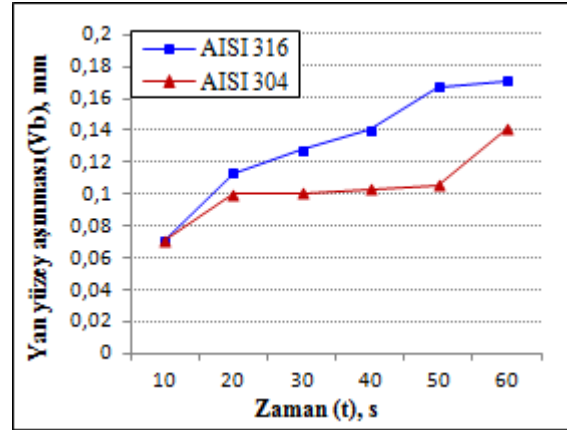
3.1. Takım Aşınması (Tool Wear)

Şekil 1'de AISI 304 ve AISI 316 çeliklerinin zamana bağlı yan yüzey aşınmasındaki değişim grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde; AISI 304 çeliğinin işlenmesinde daha düşük yan yüzey aşınması değerlerinin ölçüldüğü görülmektedir (Şekil 1). Bu durumun iki malzemenin kimyasal bileşimindeki farklılıktan kaynaklandığı düşünülmektedir. Çizelge 1'de

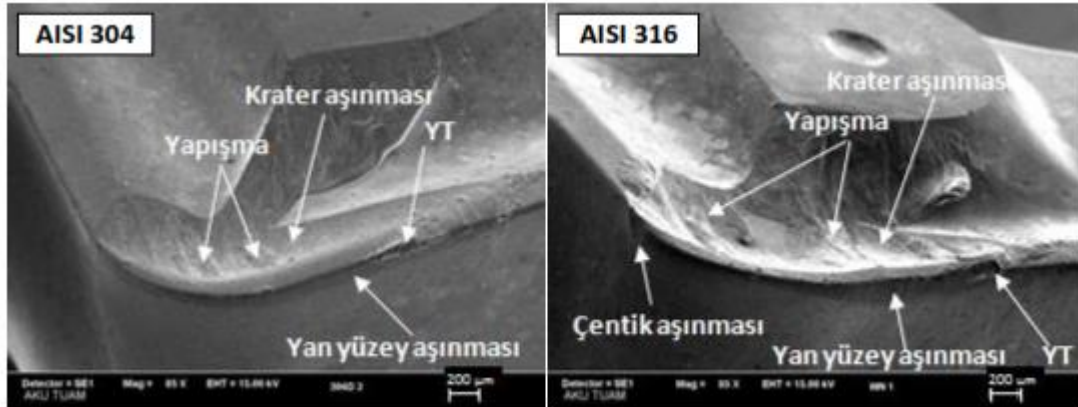
AISI 304 çeliğinden farklı olarak AISI 316 çeliğinin kimyasal bileşiminde % 2 oranında molibden (Mo) olduğu görülmektedir. Mo elementinin çeliklerde sıcak sertliği ve aşınma direncini artırdığı; bu sebeple de işlenebilirliği olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir [6, 12]. Sahip olduğu yüksek sıcak sertlik ve aşınma direnci sebebiyle AISI 316 çeliğin işlenmesinde kullanılan kesici takımın daha fazla aşınmasına sebep olmaktadır. Grafikte, her iki malzeme için de artan kesme zamanıyla birlikte kesici takım aşınmasının da arttığı görülmektedir. Kesme işleminin sonunda AISI 316 çeliğine kıyasla AISI 304 çeliğinde %18 oranda daha az aşınma olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca her iki malzemenin işlenmesinde de kesici takımlarda da krater aşınmasının olduğu gözlenmiştir (Şekil 2). Krater derinliği, AISI 316 çeliğinin işlendiği takımda 0,158 mm ölçülürken, AISI 304 çeliğinin işlendiği takımda 0,053 mm olarak ölçülmüştür. AISI 304 çeliğinin işlenmesinde % 67 oranında krater derinliği azalmıştır.

Kesici takımların aşınma mekanizmalarının daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla Şekil 2’de kesici takımların SEM fotoğrafları verilmiştir. Fotoğraflar incelendiğinde; her iki malzemenin işlenmesinde de abrasiv aşınma mekanizmasının sebep olduğu yan yüzey aşınmasının olduğu tespit edilmiştir. Yine her iki malzemenin işlenmesinde de kesici takımın kesme kenarında yığıntı talaş (YT) oluşumlarına rastlanmıştır. Sünek yapısı nedeniyle östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmeleri esnasında, iş parçası malzemesi ile kesici takım arasında temas bölgelerinde çok güçlü bir yapışma eğilimlerinin olduğu bilinmektedir [6]. Kesici takımların talaş

ve iş parçası ve takım malzemesinin kimyasal ilgisine bağlıdır. Dolayısı ile krater aşınması yüksek kesme hızlarında en büyük değerine ulaşır [6]. Her iki paslanmaz çeliğin işlenmesinde de adhezyon ve oksidasyon aşınma mekanizmalarının ve iş parçası malzemesinin işlenen yüzeyinde plastik deformasyon sonucu gerçekleşen pekleşmenin sebep olduğu çentik aşınmasının kesici takımların kesme kenarlarında oluşmadığı, yalnızca AISI 316 çeliğinin işlendiği kesici takımın yardımcı kesme kenarında olduğu görülmüştür.



Şekil 1. AISI 304 ve AISI 316 çeliğinin işlenmesinde zamana bağlı yan yüzey aşınmasındaki değişim ($f = 0,45$ mm/dev, $V = 100$ m/dak) (The variation of flank wear versus cutting times in machining of AISI 304 and AISI 316 steels ($f = 0.45$ mm/rev, $V = 100$ m/min))



Şekil 2. Kesici takımların SEM fotoğrafları ($f = 0,45$ mm/dev, $V = 100$ m/dak) (SEM pictures of cutting tools ($f = 0.45$ mm/rev, $V = 100$ m/min))

yüzeylerinde abrasiv ve difüzyon aşınma mekanizmalarının sebep olduğu krater aşınması oluşmuş ve krater yüzeylerinde yığıntı katmanı şeklinde yapışmalar meydana gelmiştir. Tungsten karbür içerisinde çok miktarda bulunan karbon atomları, yüksek sıcaklık ve basıncın etkisiyle az yoğun ortam olan iş parçası malzemesine ve talaşa geçme eğilimi göstermektedir. Bu durum difüzyon aşınma mekanizmasının ortaya çıkmasına neden olur ve aşınma sonucu kesici ucun talaş yüzeyi üzerinde krater oluşur. Bu aşınma mekanizması önemli ölçüde sıcaklığa, basınca

3.2. Kesme Kuvvetleri (Cutting Forces)

Şekil 3’te AISI 304 ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin kaplamasız tungsten karbür takımlarla işlenmesinde kesme hızına bağlı esas kesme kuvvetlerindeki değişimi verilmiştir. Grafikler incelendiğinde üç ilerleme hızında da AISI 316 çeliğinin AISI 304 çeliğine kıyasla daha yüksek kesme kuvveti değerleri sergilediği görülmektedir. Bu durumun; AISI 316 çeliğinin kimyasal bileşimindeki Mo (molibden) elementi sayesinde sahip olduğu yüksek sıcak sertlik ve aşınma direncinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Mo

elementi 2610 °C [14] gibi yüksek ergime sıcaklığına sahip refrakter bir malzeme olması nedeniyle çeliğe yüksek sıcak sertlik özelliği, ayrıca karbür yapıcı bir olması nedeniyle daha iyi bir sertlik ve aşınma direnci kazandırmaktadır. Bu özelliklerin, çeliklerin talaşlı imalatında plastik deformasyonu zorlaştırdığı bilinmektedir. Ayrıca, AISI 316 çeliği 520 MPa çekme dayanımına sahip iken, AISI 304 çeliği 505 MPa çekme dayanımına sahiptir [15]. Bu sebeple, AISI 316 çeliği işlenirken daha büyük kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Benzer şekilde Çiftçi de yaptığı çalışmada, AISI 304 çeliğine kıyasla AISI 316 çeliğin tornalanmasında daha yüksek kesme kuvveti değerleri ölçüldüğünü rapor etmiştir [12].

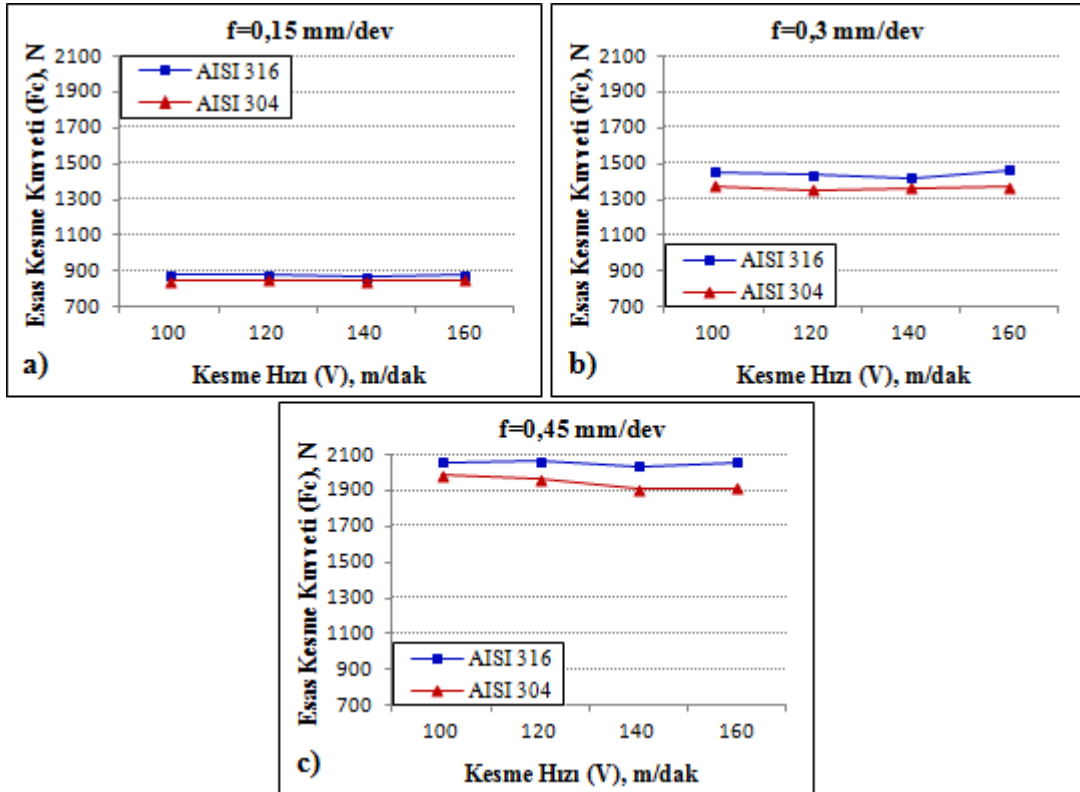
İki iş parçası malzemesi arasındaki esas kesme kuvveti (F_c) değerleri farkı 0,15 mm/dev ilerleme hızında en düşük değerlerde iken artan ilerleme hızıyla kesme kuvveti değerleri arasındaki fark da daha belirgin bir hale gelmiştir. Genel olarak tüm grafiklerde her iki malzeme için de 140 m/dak'ya kadar artan kesme hızı değerleriyle birlikte F_c değerleri düşmüş ancak kesme hızının daha da artırılarak 160 m/dak'ya çıkarılmasıyla F_c değerlerinde de bir miktar artış görülmüştür. Belirli bir değere kadar artan kesme hızıyla kesme kuvvetlerindeki bu düşüş, kesme bölgesinde oluşan yüksek sıcaklıklara bağlı olarak takım-talaş ara yüzeyindeki temas alanının azalması sonucu sürtünmenin azalması ve malzemenin akma dayanımının azalmasıyla açıklanabilir. Kesme hızının daha da artırılmasıyla artan kesme kuvveti ise kesici takım aşınmasının artması ile açıklanabilir [12, 16].

Şekil 3'deki grafikler incelendiğinde, kesme kuvvetlerinin artmasında ilerleme hızının kesme hızından daha etkili olduğu söylenebilir [17-19]. 0,15 mm/dev ilerleme hızında F_c değeri AISI 316 malzemesinde ortalama 875,21 N iken, ilerleme hızı % 200 artışıyla 0,45 mm/dev olduğunda F_c kuvvetlerinde % 135'lik bir artış meydana gelerek ortalama 2055,13 N olmuştur. AISI 304 malzemesinde ise ortalama 847,06 N olan F_c değeri, ilerleme hızındaki % 200'lük artışla ortalama % 130 oranında artarak 1944,23 N'a ulaşmıştır. İlerleme hızının kesme kuvveti değerleri üzerine bu etkisinin; ilerleme hızındaki artışla birlikte talaş kesitinin artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Talaş kesitinin artması takım-talaş temas alanı artırmaktadır. Böylece kesici takım yüzeyinde oluşan gerilmeler daha geniş bir alanda etkili olmaktadır [20, 21].

Diğer yandan artan ilerleme hızı ile iki malzeme arasındaki F_c kuvveti değerleri farkı da artmıştır. AISI 316 ile AISI 304 östenitik paslanmaz çeliği arasında ölçülen F_c kuvveti değerleri farkı 0,15 mm/dev ilerleme hızında % 3,3 (ortalama 28,15 N) iken, 0,3 ve 0,45 mm/dev ilerleme hızlarında bu fark ortalama % 5,7 (78,43 N) ve ortalama % 5,7 (110,71 N) olarak hesaplanmıştır.

3.3. Yüzey Pürüzlülüğü (Surface Roughness)

AISI 304 ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin kesme hızına bağlı ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değişim grafiklerine bakıldığında; kesme kuvvetlerindeki gibi R_a değerleri üzerinde ilerleme

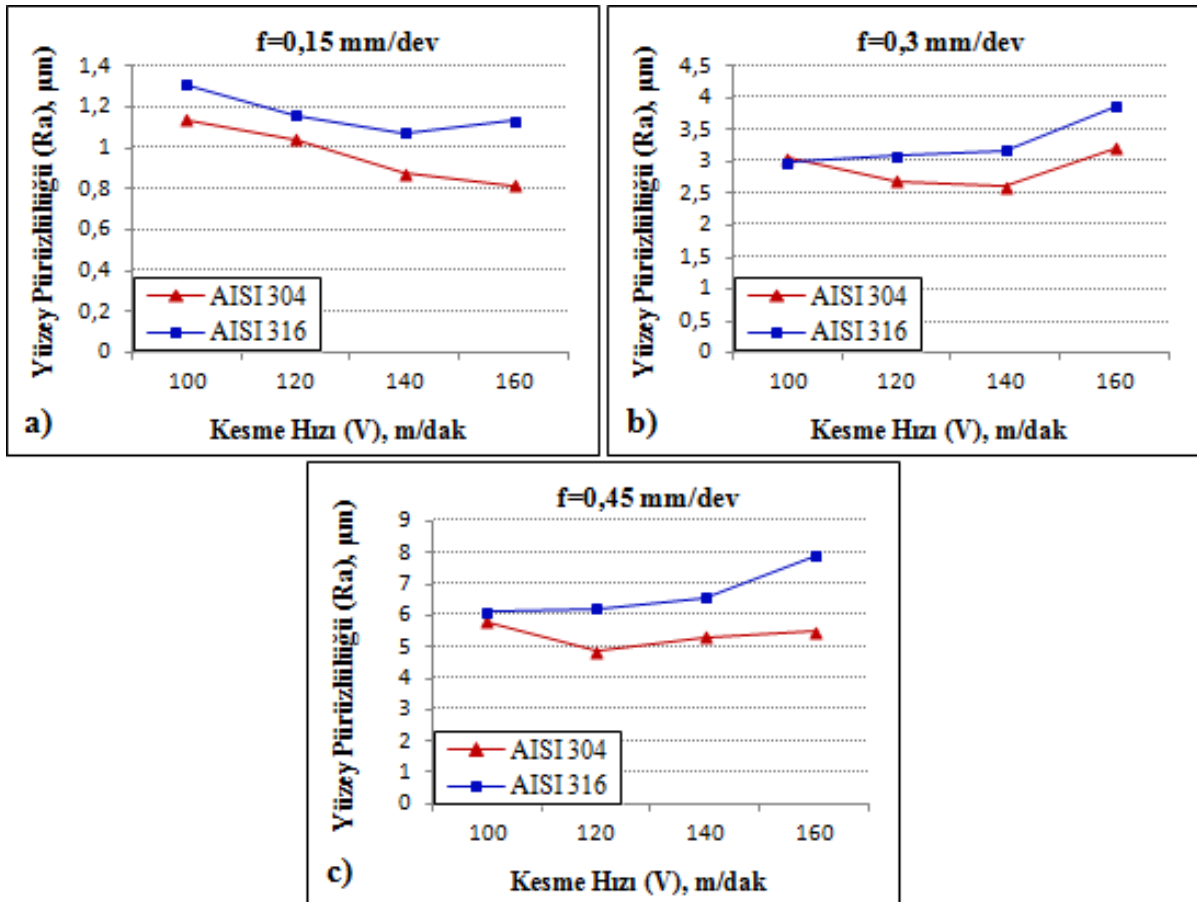


Şekil 3. Kesme hızına bağlı esas kesme kuvvetlerindeki değişim (The variation of main cutting forces versus cutting speed)

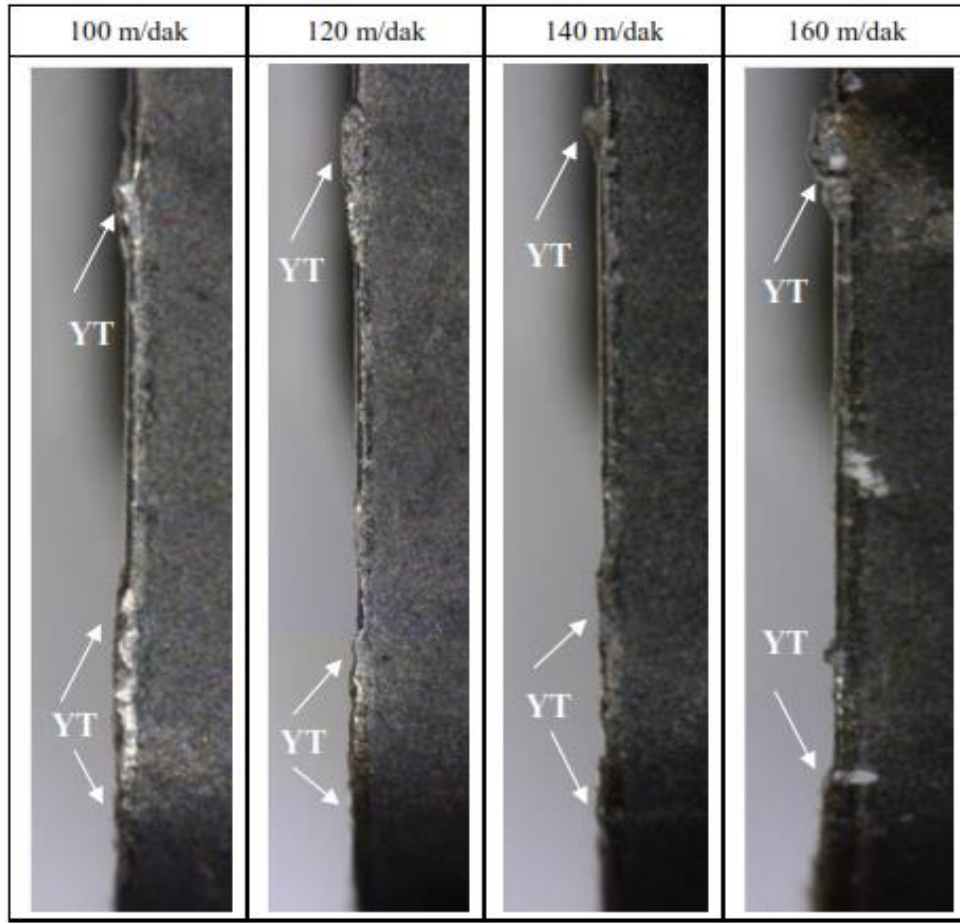
hızının kesme hızından daha etkili olduğu görülmektedir (Şekil 4). Diğer yandan iki iş parçası malzemesi arasındaki Ra değerleri farkı da F_c ye göre daha belirgindir. Bununla birlikte Şekil 3'deki gibi bu grafiklerde de genel olarak AISI 316 çeliği ile daha yüksek Ra değerleri elde edilmiştir. Bu durum AISI 304 çeliğine kıyasla AISI 316 çeliğinin işlenmesinde kesici takım aşınmasının ve kesme kuvvetlerinin daha fazla olmasına atfedilmiştir (Şekil 1). Bilindiği gibi aşınma ile yüzey pürüzlülüğü arasında doğrudan bir ilişki vardır [22]. Ayrıca, yüksek kesme kuvvetleri mekanik titreşimlerin artmasına neden olmakta ve bu titreşimlerde yüzey pürüzlülüğünün artırmaktadır. Tüm kesme hızlarında AISI 316 çeliği ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri 1,076 – 7,888 μm aralığında iken, AISI 304 çeliği ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri 0,817 – 5,809 μm aralığındadır.

AISI 316 çeliği üzerinde ölçülen Ra değerlerinde 0,15 mm/dev ilerleme hızında 140 m/dak kesme hızına kadar belirgin bir azalma gözlenmiştir. Ancak kesme hızının 160 m/dak kesme hızına çıkarılmasıyla Ra değerlerinin arttığı gözlenmiştir. 140 m/dak kesme hızına kadar artan kesme hızıyla Ra değerlerinin azalması yığıntı talaş oluşma eğiliminin azalmasıyla açıklanabilir. Artan kesme hızıyla sıcaklığın artması [23, 24] kesici takımdaki

yığıntı talaşın sertliğini ve dayanımını kaybederek kesici takımdan uzaklaşmasına sebep olur (Şekil 5). Şekil 5'te verilen fotoğraflar incelendiğinde kesici takımların kesme kenarlarında oluşan yığıntı talaş miktarının artan kesme hızıyla azaldığı görülmektedir. Kesme hızının 160 m/dak'ya çıkarılmasıyla Ra değerlerinin artış göstermesi yüksek kesme hızlarında kesici takımın aşınması ile açıklanabilir. 0,3 ve 0,45 mm/dev ilerleme hızlarında ise; artan kesme hızıyla ölçülen Ra değerlerinin de artış eğiliminde olduğu gözlenmiştir. Orta ve yüksek ilerleme hızlarında artan kesme hızıyla yüzey pürüzlülüğü değerlerinin artması; artan talaş kaldırma hızı ve sürtünme nedeniyle ortaya çıkan yüksek sıcaklıkların etkisiyle kesici takım aşınmasına atfedilmiştir. AISI 304 çeliğinde ise; 0,15 mm/dev ilerleme hızında artan kesme hızıyla Ra değerlerinin azaldığı görülmektedir. 0,3 ve 0,45 mm/dev ilerleme hızlarında ise bir değere kadar artan kesme hızıyla yüzey pürüzlülüğü değerlerinin azaldığı ancak kesme hızının daha fazla artırılmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerlerinin de arttığı gözlenmiştir. Benzer gözlemler Çiftçi [12] ve Tekaslan ve arkadaşları [25] tarafından da rapor edilmiştir. Yazarlar, bu durumu kesici takımda oluşan yan yüzey ve çentik aşınmalarına ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen diğer bir faktör olan talaş kökünde YT oluşma eğilimine atfetmişlerdir.



Şekil 4. Kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğündeki değişim (The variation of surface roughness forces versus



Şekil 5. Kesme hızına bağlı yığıntı talaştaki değişim (The variation of built-up-edge versus cutting speed)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Kaplamasız tungsten karbür takımlarla AISI 304 ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğinin işlenebilirliği üzerine yapılan deneysel çalışmalar neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- AISI 304 çeliğinin işlenmesinde daha düşük yan yüzey aşınması ve krater aşınması değerleri ölçülmüştür. Kesme işleminin sonunda AISI 316 çeliğine kıyasla AISI 304 çeliğinde %18 oranında daha az yan yüzey aşınması ve %67 oranında daha az krater derinliği oluşmuştur. Her iki malzemenin işlenmesinde de kesici takımlarda çentik aşınması gözlenmemiştir.
- AISI 316 çeliği ile elde edilen kesme kuvveti değerleri AISI 304 çeliği ile elde edilen kesme kuvveti değerlerinden daha yüksektir. Bu farkın; 0,15, 0,3 ve 0,45 mm/dev ilerleme hızlarında sırasıyla ortalama % 3,3, % 5,7 ve % 5,7 olduğu görülmüştür.
- Her iki malzeme sınıfı için de; ilerleme hızındaki artış ile kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü de artmıştır. 0,15 mm/dev ilerleme hızı % 100 ve % 200 oranında artırıldığında F_c değerleri de sırasıyla ortalama % 63 ve % 132,

yüzey pürüzlülüğü değerleri ise ortalama % 189 ve % 457 oranında artış göstermiştir.

- Kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin artmasında ilerleme hızı kesme hızından daha etkili olmuştur.
- Genel olarak AISI 316 çeliğinin işlenmesinde daha yüksek R_a değerleri elde edilmiştir. Ölçülen R_a değerleri 0,15, 0,3 ve 0,45 mm/dev ilerleme hızlarında sırasıyla ortalama %20, %13 ve %22 oranda daha yüksektir.

Bu çalışmada, sanayide geniş kullanım alanına sahip iki farklı östenitik paslanmaz çelik sınıfı yüzey pürüzlülüğü, esas kesme kuvvetleri ve takım aşınması açısından kıyaslanmıştır. Yan yüzey ve krater aşınmaları açısından bir değerlendirme yapılarak literatüre katkı sağlanmıştır.

5. TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Yazarlar olarak, bu çalışmayı 07/2010-23 numaralı proje ile destekleyen Gazi Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederiz. Bu makale, Ulusal Mühendislik Araştırmaları Sempozyumu'nda (UMAS 2015) daha dar bir kapsamda bildiri olarak sunulmuş ve bildirinin özeti özetler kitabında yer almıştır.

6. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Odabaş, C., "Paslanmaz çelikler", Eczacıbaşı, Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul, (2004).
2. Can, A.Ç., "Malzeme bilgisi", Birsan Yayınevi, İstanbul, (2006).
3. Reiter, A.E., Brunner, B., Ante, M. and Rechberger, J., "Investigation of several PVD coatings for blind hole tapping in austenitic stainless steel", *Surface & Coatings Technology*, 200: 5532–5541, (2006).
4. Maranhão, C. and Paulo Davim, J., "Finite element modelling of machining of AISI 316 steel: numerical simulation and experimental validation", *Simulation Modelling Practice and Theory*, 18: 139–156, (2010).
5. Aran, A., Temel, M.A., "Paslanmaz Çeliklerin Üretimi, Kullanımı, Standartları", Sarıtaş Teknik Yayın, İstanbul, (2004).
6. Çakır, M.C., "Modern talaşlı imalatın esasları", Vipaş A.Ş., Bursa, (1999).
7. Ashraf, M., Gardner, L. and Nethercot, D.A., "Compression strength of stainless steel cross-sections", *Journal of Constructional Steel Research*, 62: 105-115, (2006).
8. Ranganathan, S., Senthilvelan, T., Sriram, G., "Mathematical modeling of process parameters on hard turning of AISI 316 SS by WC insert", *Journal of Scientific and Industrial Research (JSIR)*, 68: 592-596, (2009).
9. Selvaraj, P., Chandramohan, P., "Optimization of surface roughness of AISI 304 austenitic stainless steel in dry turning operation using taguchi design method", *Journal of Engineering Science and Technology*, 5: 293-301, (2010).
10. Özek, C., Hasçalık, A., Çaydaş, U., Karaca, F., Ünal, E., "Turning of AISI 304 austenitic stainless steel", *Journal of Engineering and Natural Sciences, Sigma*, 2: 117-121, (2006).
11. Korkut, İ., Kasap, M., Çiftçi, İ., Şeker, U., "Determination of optimum cutting parameters during machining of AISI 304 austenitic stainless steel", *Materials and Design*, 25(4):303–305, (2004).
12. Çiftçi, İ., "Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme hızının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(2): 205-209, (2005).
13. Yeyen, H.E., Korkut, İ., Turgut, Y., Çiftçi, İ., "AISI 303 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesme hızı ve ilerlemenin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri", *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, (2009).
14. Savaşkan, T., "Malzeme Bilgisi ve Muayenesi", Derya Kitabevi, Trabzon, (2007), ISBN:978-9944-0068-0-4.
15. www.matweb.com.
16. Işık, Y., "Investigating the machinability of tool steels in turning operations", *Materials and Design*, 28: 1417–1424, (2007).
17. Çiçek, A., Kivak, T., Turgut, Y., Uygur, İ., Ekici, E., "Derin kriyojenik işlemin kesme kuvvetleri, delik çapları ve takım ömrü üzerine etkileri", *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, 33-36, (2011).
18. Işık, Y., Çakır, M.C., "Takım çeliklerinin talaşlı imalatında kesme kuvvetleri ile takım ömrü arasındaki ilişkinin deneysel olarak incelenmesi", *9. Uluslararası Makine Tasarımı ve Üretimi Kongresi*, Ankara, (2000).
19. Kara, F., Aslantaş, K., Çiçek, A., "ANN and multiple regression method based modelling of cutting forces in orthogonal machining of AISI 316L stainless steel", *Neural Computing and Applications*, 26: 237-250, (2015).
20. Uzun, İ., Aslantaş, K., Apaydın, D., "Çok Kaplamalı Kesici takımla tornalama işleminin sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmesi", *Electronic Journal of Machine Technologies*, 7(1): 69-82, (2010).
21. Kara, F., Aslantaş, K., Çiçek, A., "Prediction of cutting temperature in orthogonal machining of AISI 316L using artificial neural network", *Applied Soft Computing*, 38: 64-74, (2016).
22. Dhar, N.R., Paul, S., Chattopadhyay, A.B., "Machining of AISI 4140 steel under cryogenic cooling-tool wear, surface roughness and dimensional deviation", *Journal of Materials Processing Technology*, 123: 483–489, (2002).
23. Aydın, M., Uçar, M., Cengiz, A., "AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliğin Kuru Tornalanabilmesine Kesme Parametrelerinin Etkisi". *2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir, (2010).
24. Turgut, Y., Yeyen, H.E., Korkut, İ., "AISI 303 Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesme hızı ve ilerlemenin talaş biçimine etkisi", *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, (2009).
25. Tekaslan, Ö., Gerger, N., Şeker, U., "AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliklerde Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Yüzey Pürüzlülüklerinin Araştırılması". *BAÜ FBE Dergisi*, 10(2): 3-12, (2008).