

AISI 2205 Dupleks Paslanmaz Çeliğin CNC Torna Tezgahında İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Kuvvetlerinin Deneysel Araştırılması

Fatih Memiş¹, Yakup Turgut^{2,*}

¹Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ankara, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 21.04.2020

Kabul: 29.04.2020

Anahtar Kelimeler:

İşlenebilirlik

Paslanmaz çelik

Yüzey pürüzlülüğü

Kesme kuvvetleri

ÖZET

Bu çalışmada, özellikle denizcilik, petrol ve kimya sektöründe yaygın kullanım alanına sahip AISI 2205 (EN 1.4462) paslanmaz çeliğin CNC torna tezgahında işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülükleri ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneysel parametreleri olarak; SNMG 120408 NM4 WSM20 ve SNMG 120408 NR4 WSM20 iki farklı talaş kırıcı formuna sahip kesici takımlar, 1 mm kesme derinliği, 0.1-0.2-0.3 mm/dev ilerleme hızı ve 150, 180, 210, 240, 270 m/dak kesme hızı kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, en iyi yüzey pürüzlülük ve en düşük kesme kuvveti değerleri SNMG 120408 NR4 WSM20 kodlu kesici takımlarla elde edilmiştir. En düşük yüzey pürüzlülük değeri NR4 kodlu talaş kırıcı formuna sahip kesici takım ile 0,1 mm/dev ilerleme hızı ve 210 m/dak kesme hızında 0.659 µm olarak ölçülmüştür. En düşük kesme kuvvetleri en düşük ilerleme hızı 0.1 mm/dev'de oluşurken en yüksek kesme kuvvetleri ise en yüksek ilerleme hızı 0.3 mm/dev'de oluşmuştur. Her iki kesici için de düşük ilerleme hızlarında yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerinin azaldığı, ilerleme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerinin arttığı tespit edilmiştir. Kesme hızının artması ile birlikte kesme kuvvetleri genellikle azalmıştır.

Experimental Investigation of Surface Roughness and Cutting Forces in Machining of AISI 2205 Duplex Stainless Steel on CNC Lathe

ARTICLE INFO

Received: 21.04.2020

Accepted: 29.04.2020

Keywords:

Machinability

Stainless steel

Surface roughness

Cutting forces

ABSTRACT

In this study, the effects of cutting parameters on surface roughness and cutting forces were investigated in machining of AISI 2205 (EN 1.4462) stainless steel, which is widely used in the marine, petroleum and chemical industries, on a CNC lathe. In experiments, cutting tools with two different chip breaker forms SNMG 120408 NM4 WSM20 and SNMG 120408 NR4 WSM20, 1 mm cutting depth, 0.1-0.2-0.3 mm/rev feed rate and 150, 180, 210, 240, 270 m/min cutting speed were used. As a result of the experiments, the best surface roughness and the lowest cutting force values were obtained with SNMG 120408 NR4 WSM20 coded cutting tool. The lowest surface roughness was measured as 0.659 µm with 0.1 mm/rev feed rate and 210 m/min cutting speed with NR4 coded chip breaker cutting tool. The lowest cutting forces occurred at the lowest feed rate of 0.1 mm/rev while the highest cutting forces occurred at the highest feed rate of 0.3 mm/rev. For both cutting tools, surface roughness and cutting forces decreased at low feed rates and surface roughness and cutting forces increased with increasing feed rate. Cutting forces were generally decreased with increasing cutting speed.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dupleks paslanmaz çelikler, son yıllarda Türkiye'de ve dünyada kullanımı büyük artış gösteren bir paslanmaz çelik kalitesidir. Yüksek miktarda krom ve az miktarda nikel alaşım elementi esaslı olup östenitik ve ferritik yapıyı bünyesinde bulunduran bir malzemedir. Dupleks paslanmaz çelik diğer paslanmaz çeliklere oranla daha yüksek dayanım ve korozyon direnci göstermektedir. Bu özelliklerinden dolayı, pompa millerinde, tekne şaftlarında, pervane yapımında, özel hidroelektrik santrallerinde, gıda sektöründe, kimya sektöründe, medikal sektöründe ve makine üretiminde

* Sorumlu yazar, e-posta: yturgut@gazi.edu.tr

kullanılmaktadırlar. Dubleks paslanmaz çelik sınıfından olan AISI 2205 (EN 1.4462) çelik, mükemmel korozyon direnci ve yüksek mukavemet özellikleri sebebi ile yaygın kullanım alanına sahiptir [1-3].

Paslanmaz çeliklerin sahip olduğu yüksek çekme mukavemeti ve yüksek korozyon direnci, düşük ısıl iletkenlik, sünek bir malzeme olması, yüksek miktarda krom-nikel ve bir miktar molibden gibi mukavemet artırıcı elementlerin içeriği ve işlerken pekleşme özelliği işlemeyi zorlaştıran başlıca etkenlerdir. İşlenebilirliğin zorlaşması imalatçılar için büyük sorun teşkil etmekle birlikte işleme maliyetlerini de etkilemektedir. Ayrıca, işlenen malzemenin istenilen yüzey kalitesinde imal edilememesi o malzemenin kullanımı sırasında birçok problemleri beraberinde getirmektedir ki bu da daha büyük maliyetlere sebep olmaktadır [4].

Yüzey kalitesi, mühendislik malzemelerinin önemli bir kalite göstergesidir. İşlenmiş parçaların yüzey kalitesinin asıl göstergesi ise yüzey pürüzlülüğüdür. Yüzey pürüzlülüğü temelde takım geometrisi (uç yarıçapı, kesme kenar geometrisi, boşluk açısı vs.) ve kesme şartları (ilerleme hızı, kesme hızı, kesme derinliği vs.) gibi işleme parametrelerinin yanında malzemenin özelliklerine de bağlıdır. Yüksek kalite veya iş parçası yüzey tamlığı, daha uzun parça ömrü sağlamaktadır. İşlenmiş parça yüzeylerinin tribolojik özellikleri, yüzey dokusundan birinci derecede etkilenmektedir. Yüzey pürüzlülüğü sadece aşınma, sürtünme ve yağlama gibi tribolojinin geleneksel konularından değil aynı zamanda sızdırmazlık, hidrodinamik, elektrik, ısı iletimi vb. farklı alanlarda da dikkate alınması gereken önemli bir faktördür [5,6].

Talaş kaldırma sırasında kesme kuvvetleri gerek takım gerekse parça üzerinde bir takım şekil değiştirmelere neden olarak takım parça konumunu değiştirirler ve işleme kalitesini etkilerler [7]. Kesici takım üzerine etki eden kesme kuvvetleri, talaş kaldırmanın önemli bir safhasını oluşturur. Kesme kuvvetleri; takım tezgâhlarının rijit olması ile birlikte kesme derinliği, talaş açısı, kesme hızı, ilerleme miktarı, iş parçasının malzemesi vb. faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterir [8].

Uluslararası rekabetin hızla arttığı imalat sektöründe en temel amaç istenilen kalitede ürünün en düşük maliyetle üretilmesidir. İmalatçılar bu temel amaç için sürekli çalışmalar yapmaktadır. Kesici takımın daha uzun ömürlü olabilmesi, iş parçasının da istenilen kalitede üretilerek hammadde israfının önlenmesi için, kesme performansı ve şartlarını iyi belirlemek gerekir. Uygun işleme parametrelerinin seçilememesi maliyeti yükselten unsurlardanır. Ürünlerin daha az maliyet ile istenilen tolerans sınırları içerisinde kalmasını ve daha iyi işleme şartları sağlamak amacı ile geçmişten günümüze kadar çelik malzemelerin işlenebilirliği üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Yapılan araştırmalar incelendiğinde malzemelerin işlenebilirliğini etkileyen birçok etken göze çarpmaktadır. Kullanılan takım tezgahı, kesici takım özellikleri, soğutma sıvısı, kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği gibi parametrelerin, işlenebilirliği etkileyen ana etkenler olarak öne çıktığı görülmektedir [2,9].

Birçok çalışmada çeşitli paslanmaz çelikler farklı kesme parametreleri ve kesici takımlar kullanarak tornalanmış ve kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülükleri araştırılmıştır. Tekaslan ve arkadaşları AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğini tornalamışlar, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı, ilerleme hızının kesme hızına nazaran yüzey pürüzlülüğünde daha etkili olduğunu belirtmişlerdir [10]. Çiftçi, AISI 304 ve AISI 316 östenitik paslanmaz çelikleri işlemiş ve kesme hızının, kesme kuvvetleri üzerinde önemli bir değişikliğe neden olmadığı ancak, yüzey pürüzlülüğünü önemli derecede etkilediği sonucuna varmıştır. Kesme hızı artırıldığında, yüzey pürüzlülük değerleri azalmış, kesme hızı azaltıldığında yüzey pürüzlülük değerlerinde artış eğilimi olduğu belirtilmiştir [11,12]. Özer ve Bahçeci, farklı kesicilerle AISI 410 martensitik paslanmaz çeliği tornalamış ve TiC+TiN kaplamalı sementit karbür takımın en yüksek kesme kuvveti değerlerini verdiği CBN takımın en düşük kesme kuvveti değerlerini vermesine karşın, kısa işleme mesafelerinde takımda kırılmalar olduğu kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü bakımından optimum değerlerin TiC kaplı sementit karbür takım ile talaş kaldırma işleminde elde edildiği belirtilmiştir [13]. Yeyen ve arkadaşları, AISI 303 paslanmaz çelikler ile AISI 304 paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğini karşılaştırmışlardır. AISI 303'ün işlenmesi sırasında AISI 304'e göre % 19 daha fazla kesme kuvvetleri oluştuğu, yüzey pürüzlülüğünde ise % 51 artış olduğu ölçülmüştür.

Kesme kuvvetinin azalması ile titreşimin azaldığı ve daha iyi yüzey kalitesinin oluştuğu belirtilmiştir. Kesme hızı arttıkça kesme kuvvetinin düştüğü belirtilmiştir [14]. Korkut ve arkadaşları AISI 304 paslanmaz çeliğini işlemişler ve 180 m/dak'nın üzerindeki kesme hızlarında takım aşınmasının azaldığı, kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin de azaldığı belirtilmiştir [15]. Gürbüz ve arkadaşları AISI 316L paslanmaz çeliği işlemişler ve kesme derinliği ve ilerleme hızı arttığında kesme kuvvetlerinin arttığı, kesme hızındaki artışa bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün azalma eğiliminde olduğu belirtilmiştir [16]. Ay ve Kalyon 17-4 PH paslanmaz çeliği tornalamışlar ve ilerleme hızının artmasıyla parçanın yüzey pürüzlülük değerinin arttığı, düşük ilerleme hızlarında daha iyi yüzey kalitesi elde edildiği, artan talaş derinliği ve ilerleme hızlarında kesme kuvvetlerinin arttığı belirtmişlerdir [17]. Kayır ve arkadaşlarının yaptıkları iki farklı çalışmada, AISI 316Ti paslanmaz çeliği işlemişler ve ilerleme hızı arttıkça, kesme kuvvetlerinin arttığı, takım uç yarıçapının büyümesi ile de yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, kesme hızının yüzey pürüzlülüğünde ilerleme hızı kadar etkili olmadığı, takım uç yarıçapının değişmesi ile kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün etkilendiği belirtilmiştir [3,18]. Yalçın ve Temiz, AISI 316L paslanmaz çeliği işlemişler ve kesme hızının esas kesme kuvvetine ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin oldukça düşük olduğu ancak ilerleme hızının etkisinin kesme derinliğine göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir [19]. Kasap, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliği işlemiş ve kesme hızının artması ile kesme kuvvetinde fazla bir düşme olmadığını belirtmiştir. İlerlemenin artırılması da kesme bölgesindeki yükü artırarak kesici takım aşınmasının artmasına neden olduğu ve en uygun ilerleme hızının 0,24 mm/dev olduğu belirtilmiştir [20]. Özek ve arkadaşları AISI 304 östenitik paslanmaz çeliği tornalamışlar ve kesme hızının artması ile takım-talaş ara yüzey sıcaklığının ve takım yan yüzey aşınmasının azaldığı, ilerleme hızı ve talaş derinliğinin azalmasıyla yüzey pürüzlülüğünün iyileştiğini belirtmişlerdir [21]. Özek ve Savaş, AISI 304 paslanmaz çeliği işlemişler, en iyi yüzey pürüzlülüğünün yüksek kesme hızı, düşük ilerleme hızı ve düşük kesme derinliğinde elde edildiği kullandıkları takımlardan P20 kesici takımın P10 kesici takıma göre daha çok aşındığı belirtilmiştir [22]. Mavi ve Uzun Dublex 1.4462 paslanmaz çeliği QM ve SMR talaş formlarında kesicilerle tornalamışlar ve esas kesme kuvveti ve ortalama yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi sonuç SMR talaş formuna sahip kesici takımlarla elde edildiğini belirtmişlerdir [23].

Gurbuz ve arkadaşları AISI 316L çeliği tornalamış, tüm kesme koşullarında, kesme derinliği ve ilerleme hızı arttıkça yüzey bütünlüğünün kötüleştiği, kesme hızının artmasıyla yüzey bütünlüğünün iyileştiği belirtilmiştir. MF formuna sahip kesici takımlarla en iyi yüzey bütünlüğü sonuçları elde edilirken, MM formuna sahip kesici takımlarla en kötü yüzey bütünlüğü sonuçları elde edildiği belirtilmiştir [24]. Sharma ve Gupta, 304 paslanmaz çeliğin kaplanmamış ve çok katmanlı kaplamalı karbür takımlar kullanılarak kuru tornalamış ve işleme parametrelerinin takım aşınmasının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. TiAlN/TiN kaplanmış karbür takımlar, kaplanmamış takımlara nazaran takım aşınmasında ve ortalama pürüzlülük değerlerinde önemli bir iyileşme gösterdiği belirtilmiştir [25]. Dhananchezian ve arkadaşları 2205 dubleks paslanmaz çeliği kuru ve kriyojenik soğutma kullanarak tornalamışlardır. Kriyojenik soğutma kuru tornalama ile karşılaştırıldığında, kesme kuvvetleri % 30-43 ve pürüzlülük değeri yaklaşık % 18-23 azaldığını ve sıvı azot ile kriyojenik soğutma, kuru kesme koşullarından daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir [26]. Pradhan ve arkadaşları, östenitik paslanmaz çeliği SiAlON seramik takımla tornalamışlar ve kesme hızının artmasıyla hem kesme kuvveti hem de yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, ilerleme hızının artması ile kesme kuvveti, pürüzlülük ve sıcaklığın arttığı ancak takım aşınmasının azaldığı belirtilmiştir [27].

Bu çalışmada ise, iki farklı talaş kırıcı formuna sahip karbür kesicilerle AISI 2205 (EN 1.4462) paslanmaz çeliğin CNC torna tezgahında işlenmesinde kesme parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülükleri ve kesme kuvvetleri araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Deneylerde, özellikle denizcilik, kimya, kağıt ve petrol tesislerinde sık kullanılan AISI 2205 dubleks paslanmaz çelik kullanılmıştır. Kullanılan AISI 2205 dubleks paslanmaz çelik malzemenin kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri Tablo 1 ve 2’de verilmiştir.

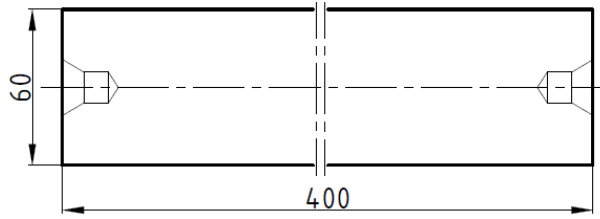
Tablo 1. AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi (Chemical composition of AISI 2205 duplex stainless steel)

Alaşım			UNS No			EN No			Malzeme tanımı		
2205			S31803			1.4462			X2CrNiMoN22-5-3		
C	Cr	Ni	Mo	Si	Mn	P	S	W	Cu	N	Fe
0.020	22.38	5.88	3.13	0.54	1.56	0.030	0.001	0.047	0.45	0.180	Diğer

Tablo 2. AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin oda sıcaklığındaki tipik mekanik özellikleri ve PRE (oyuklanma direnci) değerleri (Typical mechanical properties and PRE (Pitting Resistance Equivalent) values of AISI 2205 duplex stainless steel at room temperature)

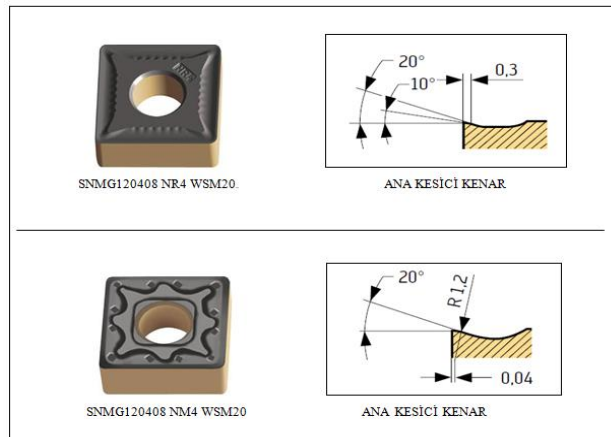
Alaşım	UNS No	EN No	Akma Dayanımı N/mm ²	Kopma mukavemeti N/mm ²	Uzama %	Çentik darbe direnci (J)	PRE
2205	S31803	1.4462	527	765	37	60	35.7

Deneylerde kullanılan iş parçası ölçüleri TSE 10329 standardında önerilen çap/boy oranı 1/10’u geçmeyecek şekilde Ø60x400 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Deneylerde kullanılan iş parçasının alın yüzeyleri temizlenerek punta deliği delinmiş ve dış çapı tornalanarak deney numunesi Şekil 1’de yer alan geometri ve ölçülerde hazırlanmıştır.

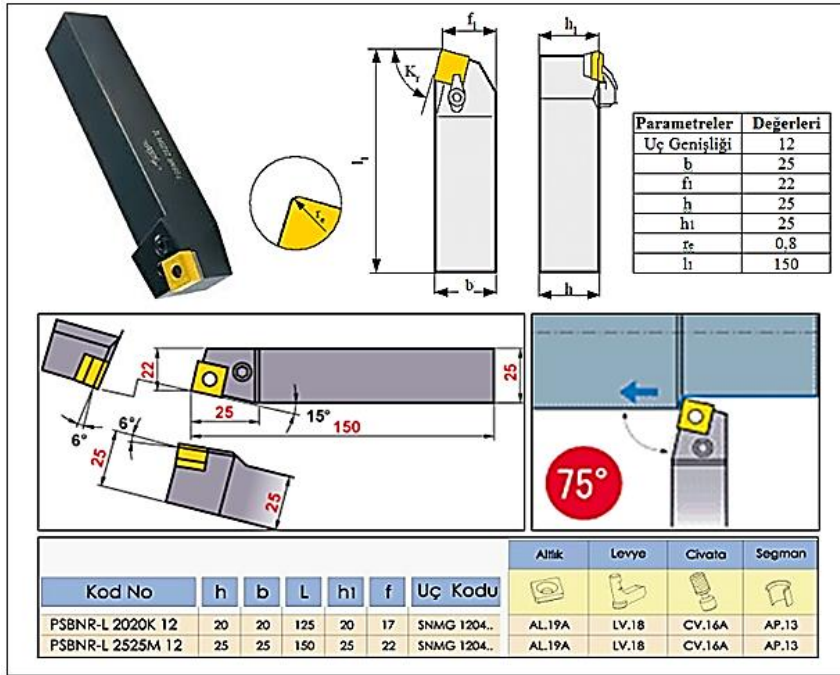


Şekil 1. Deney numunesi ölçüleri (Test sample dimensions)

Kesici takım olarak TS10329 (ISO 3685)’de belirtilen deney şartlarına uygun olarak üretici firmanın (WALTER) katalogunda dubleks paslanmaz çelikler için tavsiye edilen M20 kalitesinde PVD yöntemiyle TiAlN+Al₂O₃ (ZrCN) kaplanmış farklı talaş kırıcı formuna sahip SNMG 120408 NR4 WSM20 (1. takım) ve SNMG 120408 NM4 WSM20 (2. takım) kod numaralı iki farklı sementit karbür kesici takım seçilmiştir (Şekil 2). Bu kesici takımları bağlamak içinde Şekil 3’te verilen PSB NR2525M12 kodunda takım tutucu kullanılmıştır.



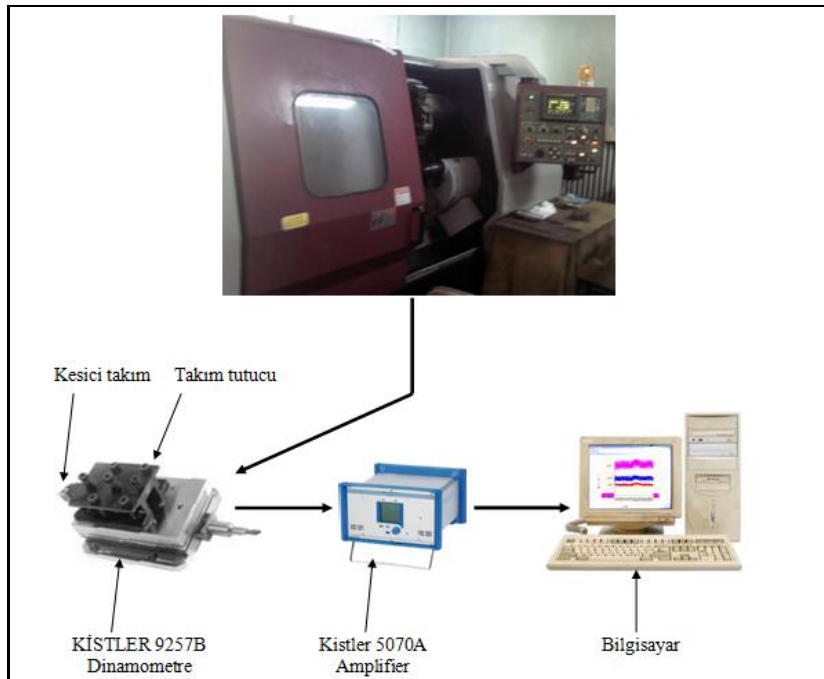
Şekil 2. Deneylerde kullanılan kesici takım formları (Cutting tool forms used in experiments) [28]



Şekil 3. PSBNR 2525M12 formunda takım tutucu ve özellikleri (PSBNR 2525M12 tool holder and features) [28]

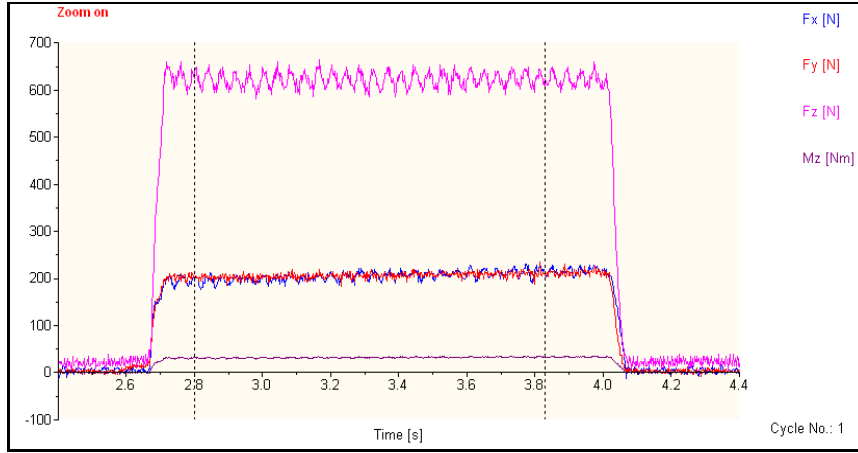
Deneyler, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü CNC laboratuvarında bulunan Fanuc kontrol ünitesine sahip JOHNFORDTC-35 sanayi tipi CNC torna tezgahında yapılmıştır. Deneylerde, deney numunesi CNC torna tezgahında ayna-punta arasında bağlanıp üzerinden 1mm sabit kesme derinliğinde 10’ar mm uzunluğunda farklı kesme ve ilerleme hızlarında talaş kaldırılarak tornalama işlemi yapılmıştır.

Yapılan tüm deneylerde kesme esnasında kesme kuvvetlerini ölçmek için KISTLER 9257B Piezokristal esaslı dinamometre kullanılmıştır. Tezgah taretine bağlanan dinamometreye “KISTLER Type 9403” kater tutucu ve bu tutucuya da kater ve kesici takım bağlanmıştır. Dinamometreden alınan kuvvet değerleri, “KISTLER Type 5070A” sinyal yükselticiye (Multichannel Charge Amplifier) ve “RS-232C” ara kablo ile bilgisayara gönderilerek “DYNOWARE Type 2825A1-2” programı ile bilgisayara aktararak grafiklere dönüştürülmüştür. Dinamometrenin tezgah bağlantısı ve deney düzeneği şematik olarak Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4. Deney düzeneği (Experimental setup)

Kurulan bu sistem sayesinde DynoWare programı ile her deney için kesme kuvveti grafikleri bilgisayar ekranında açılmış (Şekil 5) ve kararlı (efektif) kesme bölgesindeki kesme kuvveti değerlerinin ortalaması alınarak kesme kuvveti verileri elde edilmiştir. Kesme kuvveti verilerinden, dinamometrenin Z eksenine denk gelen esas kesme kuvveti (F_c) alınarak deneysel sonuçlar değerlendirmek için Microsoft Excel’de grafikler çizilmiştir.



Şekil 5. Örnek kesme kuvveti grafiği (Sample cutting force graph)

Numunelerin işlenmiş yüzeyleri üzerinden yüzey pürüzlülük ölçümleri için “Mahr” marka Perthometer M1 tipi masa üstü yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı kullanılmıştır (Resim 1). Her deneyin sonunda iş parçası kendi eksenine etrafında döndürülerek üç ölçüm yapılmış, yüzey pürüzlülük değerleri bu üç değer aritmetik ortalaması alınarak bulunmuştur. Ölçümlerde ortalama yüzey pürüzlülük değeri olan “Ra” değeri dikkate alınmıştır.



Resim 1. Perthometer M1 masa tipi yüzey pürüzlülük ölçme cihazı (Perthometer M1 table type surface roughness measuring device)

Deneyler için, ISO 3685’teki öneriler dikkate alınarak ve üretici firmanın (WALTER) kataloğunda dubleks paslanmaz çelikler için tavsiye edilen kesme parametreleri dikkate alınarak beş farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme hızı değeri belirlenmiştir. Uç yarıçapı 0.8 mm kesici takım için uygun kesme derinliği 1 mm seçilmiş ve her deneyde kullanılmamış yeni kesici takımlar kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri (Cutting parameters used in experiments)

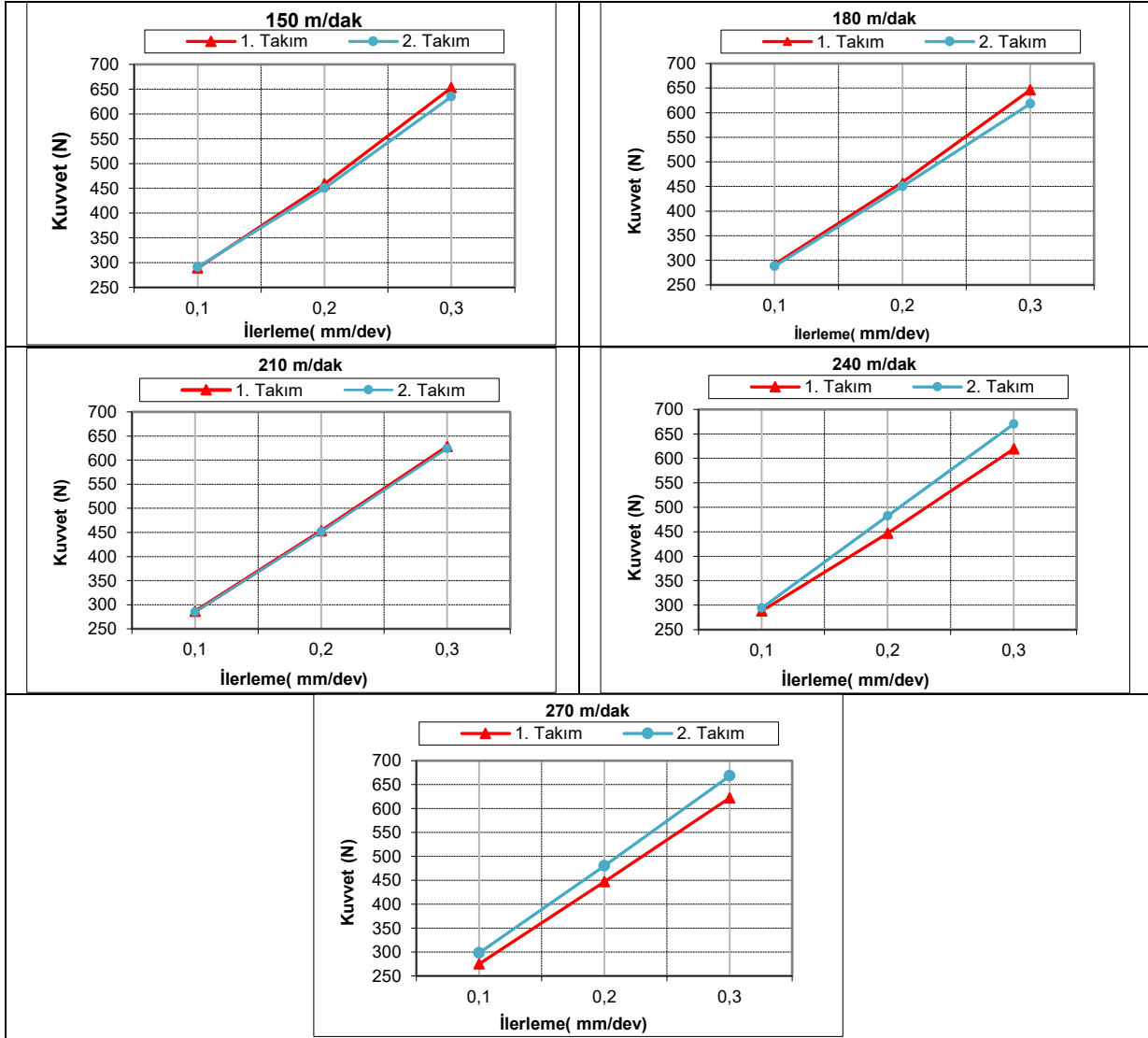
Kesme derinliği	1mm
İlerleme hızı	0.1-0.2-0.3 mm/dev
Kesme hızı	150-180-210-240-270 m/dak
Kesici takımlar	SNMG 120408 NR4 WSM20 SNMG 120408 NM4 WSM20

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

Sonuçlar, belirlenmiş kesme şartlarında her bir kesici için kesme kuvvetlerinin ve yüzey pürüzlülüklerinin değerlendirilmesi şeklinde iki bölüm halinde yapılmıştır.

3.1. Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi (Evaluation of Cutting Forces)

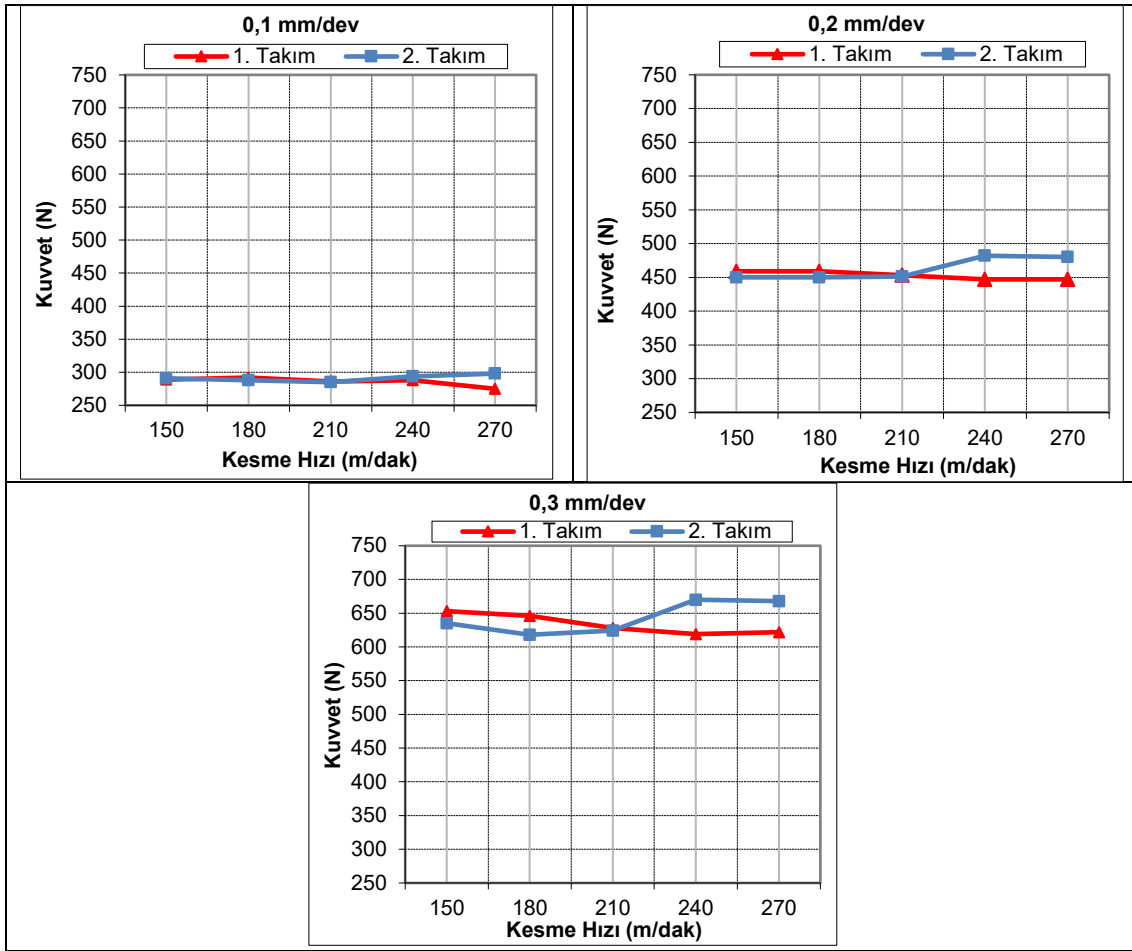
Her bir kesme hızında, 1 mm kesme derinliği için her iki kesici uç için kesme kuvvetlerinin ilerleme hızına bağlı değişimleri Şekil 6'da grafikler halinde verilmiştir.



Şekil 6. İlerleme hızına bağlı kesme kuvvetleri (Cutting forces based on feed rate)

Şekil 6'daki grafikler incelendiğinde her iki talaş kırıcı formuna sahip kesici ile yapılan deneylerde, ilerleme hızının artması ile kesme kuvvetlerinin sürekli ve orantılı bir şekilde arttığı görülmektedir. Bu durumu, ilerleme hızının artması ile kaldırılan talaş hacminin artmasına bağlamak mümkündür. Grafiklere bakıldığında, en düşük kesme kuvvetleri en düşük ilerleme hızı olan 0.1 mm/dev'de oluşurken, en yüksek kesme kuvvetleri ise en yüksek ilerleme hızı olan 0.3 mm/dev'de oluşmuştur. Düşük kesme hızları ve düşük ilerleme hızlarında, her iki kesici takımında da oluşan kesme kuvvetleri hemen hemen birbirine eşit çıkarken, kesme hızının artması ile 1. takımında oluşan kuvvetler daha az çıkmıştır. Bunu da kesici takımlarda bulunan talaş kırıcı formunun talaş akışını etkilemesine bağlamak mümkündür [23].

Kullanılan iki kesici uç için de aynı ilerleme hızlarında, kesme hızına bağlı kesme kuvveti grafikleri Şekil 7'de verilmiştir.

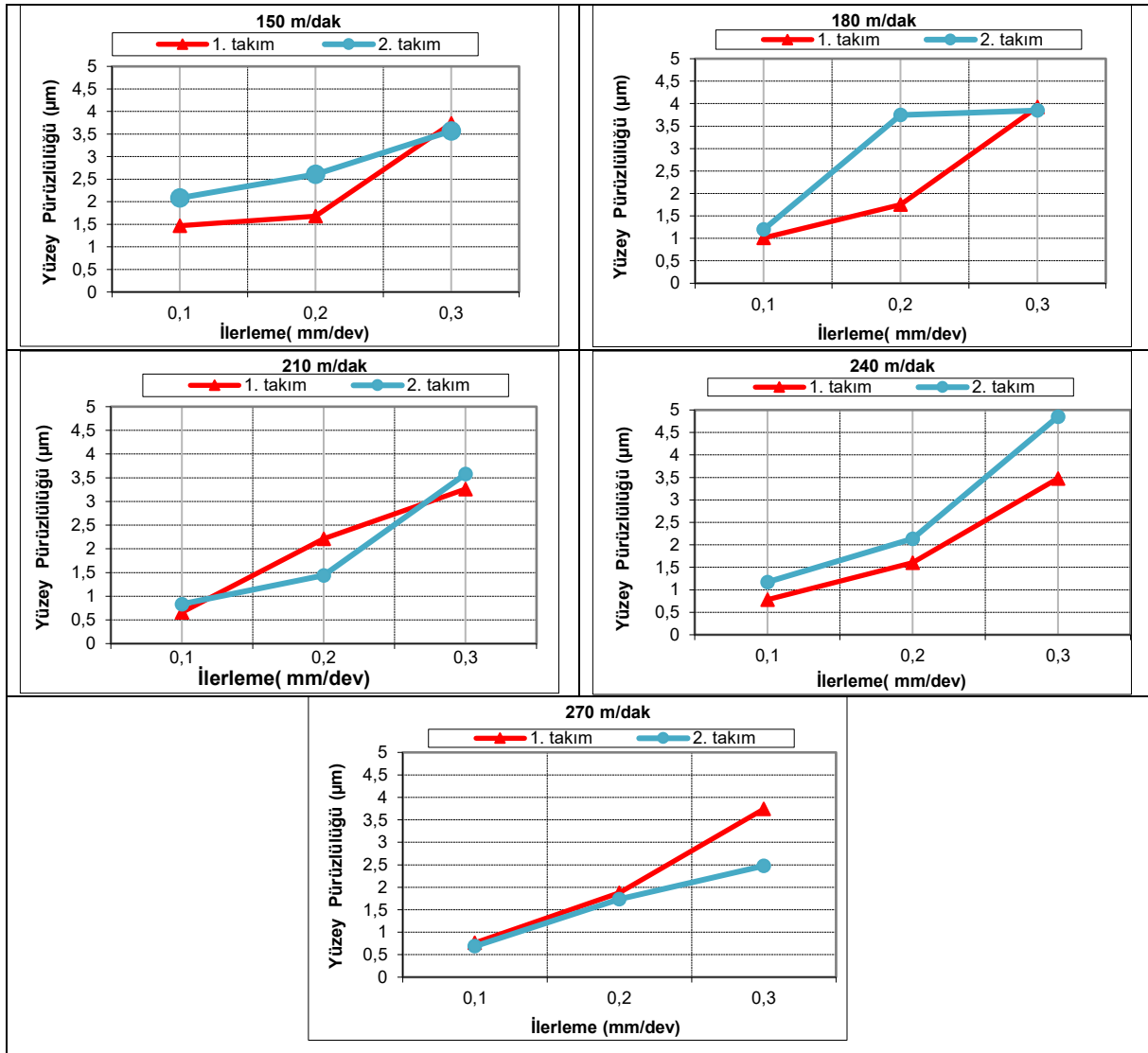


Şekil 7. Kesme hızına bağlı kesme kuvvetleri (Cutting forces based on cutting speed)

Şekil 7'deki grafikler incelendiğinde, kesme hızının 150 m/dak'dan 210 m/dak'ya kadar artması, kesme kuvvetlerinin azalmasına sebep olmuştur. 210 m/dak'dan sonra kesme hızının artması ile kesme kuvvetlerinde genelde bir artış eğilimi olduğu görülmektedir. Bu durumu kısmen takım talaş temas alanındaki azalma, kısmen de kesme hızındaki artışla birlikte birinci ve ikinci defarmasyon bölgelerinde artan sıcaklığın işlenen malzemenin akma mukavemetini bir noktaya kadar düşürmesi ile açıklamak mümkündür [11,29,30]. Kesme kuvvetleri, yüksek kesme hızlarında 1. takımında daha az oluşurken, düşük kesme hızlarında ise 2. takımında daha az oluşmuştur. Bu duruma, kesici takımlardaki talaş kırıcı formların sebep olduğu düşünülmektedir. En düşük kesme kuvveti 1. kesici takım 270 m/dak kesme hızı ve 0.1 mm/dev ilerleme hızında 275 N olarak ölçülmüştür. En yüksek kesme kuvveti değeri ise 1. kesici takımında 240 m/dak kesme hızı ve 0.3 mm/dev ilerleme hızında 670 N olarak ölçülmüştür. Kesici takım firmasının tavsiye ettiği orta kesme hızı değeri olan 210 m/dak kesme hızında kesme kuvvetlerinin birbirlerine hemen hemen eşit olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar doğrultusunda, kesme kuvvetleri üzerinde ilerleme hızının etkisi, kesme hızına göre daha etkili olduğu söylenebilir.

3.2. Yüze Pürüzlülüklerinin Değerlendirilmesi (Evaluation of Surface Roughnesses)

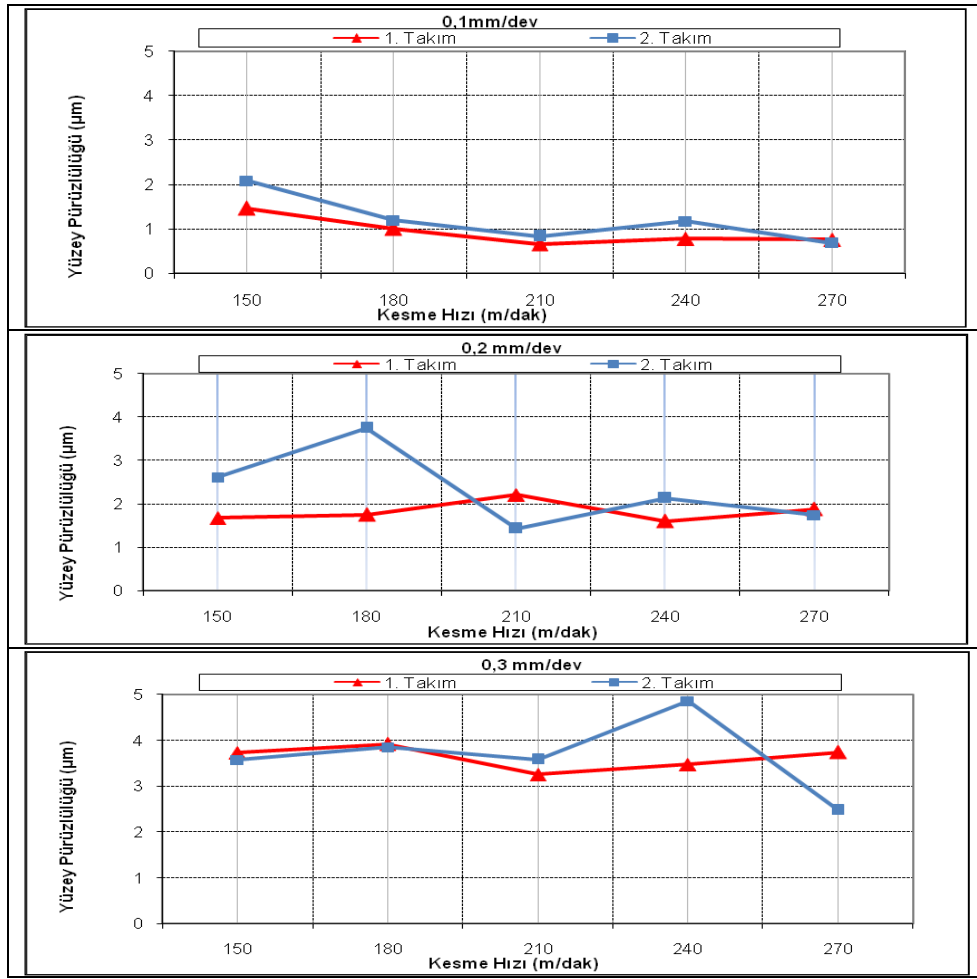
Kullanılan her bir kesici uç için, aynı kesme hızlarında ilerleme hızına bağlı kesme kuvvetlerinin grafikleri Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. İlerleme hızına bağlı ortalama yüzey pürüzlülüğü (Average surface roughness depending on the feed rate)

Şekil 8'deki grafikler değerlendirildiğinde, her iki talaş kırıncı formuna sahip kesici takımlar için de, deney yapılan tüm kesme hızlarında (150-180-210-240-270 m/dak) ilerleme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünün de sürekli arttığı görülmektedir. Düşük ilerleme hızlarında daha iyi yüzey kalitesi elde edildiği görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü ile ilerleme hızı arasında orantılı bir ilişki olduğu söylenebilir. Bu durumun daha önce yapılan literatürdeki çalışmalarla uyumlu olduğu görülmektedir [11,29]. En düşük yüzey pürüzlülük değeri NR4 kodlu talaş kırıncı formuna sahip 1. kesici takım ile 0.1 mm/dev ilerleme hızı ve 210 m/dak kesme hızında 0.659 µm olarak ölçülmüştür. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise NM4 kodlu talaş kırıncı formuna sahip 2. kesici takım ile 0.3 mm/dev ilerleme hızı 240 m/dak kesme hızında 4.852 µm olarak ölçülmüştür. Kesici takımlar arasında kıyaslama yapıldığında, en yüksek kesme hızı (270 m/dak) hariç diğer kesme hızlarında, 1. kesici takım ile yapılan deneylerde pürüzlülük değeri daha düşük çıkmıştır.

Kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülük grafikleri üç ilerleme hızı için de Şekil 9'daki gibi oluşmuştur.



Şekil 9. İlerleme hızlarına bağlı yüzey pürüzlülükleri (Surface roughness due to feed rates)

Şekil 9 değerlendirildiğinde, genel olarak kesme hızının 210 m/dak kesme hızına kadar artması ile yüzey pürüzlülük değerleri azalmakta, ancak bu değerden sonra kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerleri artış eğilimi sergilemiştir. 210 m/dak kesme hızına kadar artan kesme hızıyla yüzey pürüzlülüğü değerlerinin azalması yığıntı talaş oluşma eğiliminin azalmasıyla açıklanabilir. Çünkü, bir noktaya kadar artan kesme hızıyla sıcaklık artar ve sıcaklığın artması ile de kesici uçtaki yığıntı talaş sertliğini ve dayanımını kaybederek devam eden kesme sürecinde üzerine gelen gerilmelere dayanamayarak kesici uçtan uzaklaştırılır. Dolayısıyla belli bir kesme hızı değerine kadar, yığıntı talaş oluşma eğilimi azalır. Ancak, kesme hızındaki 210 m/dak'dan sonraki artışla yüzey pürüzlülüğünün artması, yüksek kesme hızlarında kesici takım ucundaki muhtemel küçük kırılmalarla (chipping) açıklanabilir [11]. En düşük yüzey pürüzlülük değeri NR4 kodlu talaş kırıcı formuna sahip 1. Takım ile, en küçük ilerleme ve orta kesme hızı değerleri olan 0.1 mm/dev ilerleme hızı ve 210 m/dak kesme hızında 0.659 µm olarak ölçülmüştür. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise NM4 kodlu talaş kırıcı formuna sahip kesici ile 0.3 mm/dev ilerleme hızı 240 m/dak kesme hızında 4.852 µm olarak ölçülmüştür. Kesici takımlar yüzey pürüzlülüğü açısından kıyaslandığında genel olarak 1. takım ile yapılan deneylerde daha iyi yüzeyler elde edildiği söylenebilir. NM4 kodlu 2. takımında, bazı kesme şartlarında (0,2 mm/dev'de 180 m/dak ve 0,3 mm/dev'de 240 m/dak) yüzey pürüzlülüğünde beklenmedik durumlar oluşmuş ve bu durumlar da talaş sarılması gibi kontrol edilemeyen sebeplere bağlanmıştır. NM4 kodlu 2. takımında 0,2 mm/dev ilerleme hızı ve 180 m/dak kesme hızında yükselerek 3.744 µm'a ulaştığı, yine aynı takımında 0.3 mm/dev ilerleme hızı ve 240 m/dak kesme hızında 4.852 µm ile en yüksek değere ulaştığı görülmektedir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

AISI 2205 (EN 1.4462) paslanmaz çeliğin CNC torna tezgahında, iki farklı talaş kırıcı forma sahip kesicilerle işlenmesinde, kesme parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülükleri ve kesme kuvvetlerini araştırmaya yönelik bu çalışma ile elde edilen önemli bulgular aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- NR4 (1. takım) ve NM4 (2. takım) talaş kırıcı formuna sahip kesici takımlar ile yapılan deneylerde her iki kesici takım için de ilerleme hızının artması ile kesme kuvvetleri sürekli ve orantılı bir şekilde artmıştır.
- En düşük kesme kuvvetleri en düşük ilerleme hızı olan 0.1 mm/dev'de oluşurken, en yüksek kesme kuvvetleri ise en yüksek ilerleme hızı olan 0.3 mm/dev'de oluşmuştur.
- Düşük kesme hızları ve düşük ilerleme hızlarında, her iki kesici takımında da oluşan kesme kuvvetleri hemen hemen birbirine eşit çıkarken, kesme hızının artması ile 1. takımında oluşan kuvvetler daha az çıkmıştır.
- Kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetleri kesici takım firmasının tavsiye ettiği kesme hızı (210 m/dak) değerine kadar azalmış daha sonra artmıştır.
- Kesme kuvvetleri, yüksek kesme hızlarında 1. takımında daha az oluşurken, düşük kesme hızlarında 2. takımında daha az oluşmuştur.
- En düşük kesme kuvveti 1. takımında 270 m/dak kesme hızı ve 0.1 mm/dev ilerleme hızında 275 N olarak ölçülmüştür. En yüksek kesme kuvveti değeri ise yine 1. takımında 240 m/dak kesme hızı ve 0.3 mm/dev ilerleme hızında 670 N olarak ölçülmüştür.
- 210 m/dak kesme hızına kadar 2. takımında oluşan kuvvetler az çıkarken, bu kesme hızından büyük olan hızlarda 1. takımında oluşan kuvvetler daha az çıkmıştır.
- Deney yapılan tüm kesme hızlarında, ilerleme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü de sürekli artmıştır.
- En düşük yüzey pürüzlülük değeri NR4 kodlu talaş kırıcı formuna sahip 1. kesici takım ile 0.1 mm/dev ilerleme hızı ve 210 m/dak kesme hızında 0.659 μm olarak ölçülmüştür.
- En yüksek yüzey pürüzlülük değeri NM4 kodlu talaş kırıcı formuna sahip 2. kesici takım ile 0.3 mm/dev ilerleme hızı 240 m/dak kesme hızında 4.852 μm olarak ölçülmüştür.
- Kesici takımlar arasında kıyaslama yapıldığında, en yüksek kesme hızı (270 m/dak) hariç diğer kesme hızlarında, NR4 kodlu talaş kırıcı formuna sahip 1. kesici takım ile yapılan deneylerde pürüzlülük değeri daha düşük çıkmıştır.
- Kesme hızının 210 m/dak kesme hızına kadar artması ile yüzey pürüzlülük değerleri azalmış, ancak bu değerden sonra kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerleri artış eğilimi sergilemiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. R. Badji, M. Bouabdallah, B. Bacroix, C. Kahloun, K. Bettahar, N. Kherrouba, Effect of solution treatment temperature on the precipitation kinetic of σ phase in 2205 duplex stainless steel welds, *Materials Science and Engineering*, 496(1-2): 447-454, 2008.
2. F. Memiş, AISI 2205 paslanmaz çeliğin CNC torna tezgahında işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerinin deneysel araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2015.
3. Y. Kayır, S. Asalan, A. Aytürk, AISI 316Ti paslanmaz çeliğin tornalanmasında kesici uç etkisinin taguchi yöntemi ile analizi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* 28(2): 63-372, 2013.
4. Ö. Tekaslan, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerde işlenebilirliğe bağlı olarak kalıcı gerilme problemlerinin araştırılması, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, Türkiye, 2007.
5. H. Demir, H.B. Ulaş, M. Zeyveli, Stavax ESR çeliğinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri açısından değerlendirilmesi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük.
6. İ. Çakmak, Frezeleme işleminde takım talaş kırıcı formunun yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etkisinin deneysel araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2013.

7. Y. Işık, M.C. Çakır, Hız çeliği takımlar için kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin deneysel olarak incelenmesi, TEKNOLOJİ, 1-2: 111-118, 2001.
8. B. Özlü, H. Demir, E. Nas, CNC tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etki eden parametrelerin matematiksel olarak modellenmesi, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi 3(2): 75-86, 2014.
9. M. Ay, A. Kalyon, CNC torna tezgahında 17-4 PH paslanmaz çeliğin işleme parametrelerinin deneysel olarak belirlenmesi, 6. International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 Mayıs 2011, Elazığ.
10. Ö. Tekaslan, N. Gerger, U. Şeker, CNC torna tezgahında AISI 304 çeliklerin işlenmesinde optimum yüzey pürüzlülüğünü sağlayacak kesme parametrelerinin tespiti, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 16:97-104, 2008.
11. İ. Çiftçi, 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.
12. İ. Çiftçi, Machining of austenitic stainless steels using CVD multi-layer coated cemented carbide tools, Tribology International, 39: 565-569, 2006.
13. A. Özer, E. Bahçeci, AISI 410 martensitik paslanmaz çeliğin işlenebilirliği, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 24(4): 693-698, 2009.
14. H.E.Yeyen, İ. Korkut, Y. Turgut, İ. Çiftçi, AISI 303 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesme hızı ve ilerlemenin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük.
15. İ. Korkut, M. Kasap, İ. Çiftçi, U. Seker, Determination of optimum cutting parameters during machining of AISI 304 austenitic stainless steel, Materials&Desing, 25:303-305 2004.
16. H. Gürbüz, F. Kafkas, U. Şeker, Kesici takıma farklı yöntemle uygulanmış kaplamaların kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak araştırılması, 6. International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 Mayıs 2011, Elazığ.
17. M. Aydın, M. Uçar, A. Cengiz, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin kuru tormalanabilmesine kesme parametrelerinin etkisi, 2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, 11-12 Kasım 2010, Balıkesir.
18. Y. Kayır, A. Aytürk, AISI 316Ti paslanmaz çeliğin işlenebilirlik karakteristiklerinin incelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18(1):61-71, 2012.
19. B. Yalçın, D. Temiz, İmplant malzemesi olarak kullanılan AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğin kuru tormalanabilirliğinin araştırılması, 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, 4-5 Ekim 2012, Ankara.
20. M. Kasap, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinde en uygun kesme parametrelerinin ve işleme şartlarının deneysel olarak araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2001.
21. C. Özek, A. Haşçalık, U. Çaydaş, F. Karaca, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin tormalanması, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 2:117-121, 2006.
22. C. Özek, V. Savaş, CNC torna tezgahlarında takım aşınmasına etki eden faktörlerin belirlenmesi, Denizli Malzeme Sempozyumu ve Sergisi, 14-16 Nisan 2004, Denizli.
23. A. Mavi, G. Uzun, Dupleks 1.4462 Paslanmaz çeliğin tormalanmasında kesme parametrelerinin işlenebilirlik üzerine etkisi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 5(3): 177-184, 2017.
24. H. Gurbuz, U. Seker, F. Kafkas, Effects of cutting tool forms on the surface integrity in turning of AISI 316L stainless steel, Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 35 (1):225-240, 2020.
25. N. Sharma, K. Gupta, Influence of coated and uncoated carbide tools on tool wear and Surface quality during dry machining of stainless steel 304, Materials Research Express, 6(8): 2019.
26. M. Dhananchezian, M.R. Priyan, G. Rajashekar, S.S. Narayanan, Study the effect of cryogenic cooling on machinability characteristics during turning duplex stainless steel 2205, Materials Today-Proceedings, 5(5): 12062-12070, 2018.
27. S. Pradhan, A. Das, A. Santoshwar, T.R. Dharmendrabhai, S.R. Das, Sustainability assessment and machinability investigation of austenitic stainless steel in finish turning with advanced ultra-hard sialon ceramic tool under different cutting environments, Silicon, Early Access, Feb 2020.
28. General Catalogue - Walter Tools, 2012.
29. E.M. Trent, Metal cutting, Butterworths Press, London, 1989.
30. İ. Çiftçi, M. Kasap, U. Şeker, Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirlik parametrelerinin belirlenmesi için deneysel çalışmalar üzerine bir değerlendirme, Teknoloji, 2(3-4):131-145, 1999.