

AISI 304 ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN TİTANYUM KARBÜR KAPLAMALI KESİCİ TAKIM İLE TORNALAMA İŞLEMİNDE KESME KUVVETLERİNİN İNCELENMESİ

Özgür TEKASLAN*, Nedim GERGER**, Mustafa GÜNAY***, Ulvi ŞEKER***

*Kara Harp Okulu Dekanlığı, Teknik Bilimler Bölümü, Makine Bilimsel Dalı, 06154/Ankara

**Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Balıkesir

***Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Ankara

Geliş Tarihi : 08.12.2006

ÖZET

Bu araştırmada, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin titanyum karbür kaplı kesici takımlarla tornalama işleminde oluşan kesme kuvvetleri deneysel olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar teorik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmada, farklı kesme hızları, ilerleme değerleri ve kesme derinlikleri dikkate alınmıştır. Kesme kuvvetleri üç boyutlu kistler dinamometre ile ölçülmüştür. Teorik çalışmada ise; Kienzle formülasyonuna göre kesme kuvvetleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda teorik olarak hesaplanan kesme kuvvetlerinin çeşitli etkenler nedeni ile tam sonucu vermediği, deneysel sonuçlara göre; ortalama % 25'lik fark olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle kesme kuvvetlerinin belirlenmesinde deneysel yöntemin daha kesin sonuçlar verdiği değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler : AISI 304 östenitik paslanmaz çelik, Kesme parametreleri, Kesme kuvveti.

EXAMINATION OF THE CUTTING FORCES OF AISI 304 AUSTENITIC STAINLESS STEEL IN THE TURNING PROCESS WITH TITANIUM CARBIDE COATED CUTTING TOOLS

ABSTRACT

In this study, cutting forces occurring in the machining process of AISI 304 austenitic stainless steel specimen using titanium coated cutting tools are investigated experimentally and the results are compared to theoretical calculations. In the experimental study, various cutting speeds, feed rates and cutting depths are considered. Cutting forces are measured by 3-dimensional Kistler dynamometer. In the theoretical study, cutting forces are determined by Kienzle formulation. Consequently, it is found that the calculation of cutting forces in the theoretical method doesn't yield the exact results because of various factors and there is a % 25 average differences in accordance with the experimental results. Hence it is evaluated that the experimental technique in the determination of cutting forces yields more accurate results.

Key Words : AISI 304 austenitic stainless steel, Cutting conditions, Cutting force.

1. GİRİŞ

Paslanmaz çeliklerin özellikle tıp, havacılık, nükleer, gıda, savunma sanayi gibi bir çok alanda gün geçtikçe kullanımı yaygın hale gelmektedir. Kullanım alanlarına göre istenen mekanik ve kimyasal özelliklerin sağlanması için paslanmaz çeliklerin bileşimlerinde yapılan değişiklikler, paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğini etkilemektedir. Paslanmaz çeliklerin sahip olduğu yüksek çekme mukavemeti, korozyon direnci ile düşük ısı iletkenlik, sünek bir malzeme olması, yüksek miktarda krom-nikel ve bir miktar molibden gibi mukavemet artırıcı elementlerin muhtevası ve işlerken pekleşme özelliği işlemeyi zorlaştıran başlıca etkenlerdir. İşlenebilirliğin zorlaşması imalatçılar için büyük sorun teşkil etmektedir (Anon., 1997; Bahadır et al., 2004). AISI 304 paslanmaz çeliği de, özellikleri itibarıyla işlenebilirliği düşük ve imalat sanayiinde çok yaygın olarak kullanılan bir malzemedir. İmalatın amacı, hammadde ile ürün arasındaki dönüşümü sağlamaktır. Bu dönüşümün sağlanabilmesi için pek çok değişik teknolojik yöntemler kullanılabilir. Bu yöntemlerden birisi olan talaşlı imalatta (tornalama, frezeleme vb.) hammadde üzerinden talaş kaldırılmasıdır. Talaşlı imalat; kesici takımın iş parçasına göre nispi hareketleri sonucunda, iş parçasının belirli bir bölümünde plastik deformasyon oluşturarak gerçekleştirilen bir talaş kaldırma işlemidir. Oldukça karmaşık bir yapıya sahip olan talaşlı imalat esnasında kesme kuvvetlerini etkileyecek pek çok faktör söz konusudur. Talaşlı üretimin temel elemanı olan makine, kesici takım ve işlenecek malzeme üzerinde, yapılan çalışmalar, talaş kaldırma esnasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin ve etkilerinin analizini ve doğru olarak ölçülmesini de zorunlu hale getirmiştir. Literatür taraması, kesici takımın da kesme kuvveti üzerinde etkili olduğunu bize göstermiştir (Belejchak, 1997; Kasap, 2001).

Mühendislik hesaplamaları ile elde edilen bazı değerlerin, etkisi tam tespit edilemeyen değişik faktörler ve çok yönlü gerilmeler sebebiyle, çoğu zaman ölçülen değerlerle uyummadığı görülmüştür. Söz konusu faktörlerin göz ardı edilmesinden dolayı hesaplamaların kesinlik sağlamadığı ve zorlama doğrultusunun hatasız olarak tespit edilemediği durumlarda, gerilmelerin ve bu gerilmeleri doğuran kuvvetlerin deneysel olarak ölçülmesi daha kesin sonuçlar vermektedir. Böylece, hesaplamalarda

kullanılan formüllerin doğruluk derecesi de yapılan deneylerle teyit edilebilmektedir (Şeker et al., 2002; Günay, 2003).

Bu çalışmada, talaşlı imalat sırasında meydana gelen kesme kuvvetleri, teorik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu faktörlerin etkilerini belirleyebilmek için; deney parçası farklı kesme parametreleriyle tornalama yapılmıştır. Yapılan çalışmada kesme hızı, talaş derinliği ve ilerlemenin kesme kuvvetlerine etkileri incelenmiştir. Her bir deney numunesinin işlenmesi esnasında asıl kesme kuvveti (F_c), ilerleme kuvveti (F_f) ve pasif kuvvet (F_r) ayrı ayrı tespit edilmiş ve Kienzle'ye göre hesaplanan teorik sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

2. TEORİK FORMÜLASYON

Kesme işlemi sırasında kesici takımın oluşan kesme kuvvetleri, kesme işleminin ekonomikliğini ve gerekli güç ihtiyacını belirlenmesi açısından en önemli parametredir. Kesme kuvvetleri ile kesici takım arasındaki etkileşimler kesici takım aşınması veya kırılması açısından büyük önem arz etmektedir. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi, bilimsel analizler için gerekli olduğu kadar, takım tasarımını optimize edilmesinde de gereklidir. Bu nedenle kesici takımın oluşan gerilme ve şekil değiştirmelerin dikkatle incelenmesi gerekmektedir (Shatla et al., 2001). Kesici takıma etki eden kuvvetlerin yeterli hassasiyette ölçülmesi için pek çok dinamometre geliştirilmiştir. Kullanılan bütün metotlar yük altında kesici takımın elastik şekil değişiminin ölçülmesi esasına dayanmaktadır.

Yardımoğlu ve Boyar (1992) genel olarak, kuvvet bileşenlerinin ilerleme hızı ile doğru orantılı olduğunu ve talaş derinliğinin artmasıyla kesme kuvvetlerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Talaş kaldırma işlemlerinde kesme kuvvetlerinin, takım ile talaş arasındaki temas uzunluğu ile ilgili olduğu bilinmektedir. Kesme hızının artırılması, kayma açısını artırdığı, daha ince talaş oluşturduğu ve temas uzunluğunu azalttığı için kesme kuvvetleri de buna bağlı olarak düşmektedir. Ayrıca takım ve iş parçası sıcaklığı yükseldiği için kayma bölgesindeki kesme gerilmesindeki azalmanın da kesme kuvvetlerini düşüreceği belirtilmiştir. Kienzle'ye göre, asıl kesme kuvveti değeri, talaş kesiti ile işlenen malzemenin özgül kesme direncinin çarpımıdır (Eş. 1) (Mendi, 1996).

$$F_c = A \cdot k_s \quad (1)$$

Burada; A: Talaş kesitinin alanı (mm²),

k_s : Malzemenin özgül kesme direnci (N/mm^2) dir.

Kesme kenar açısı 90° ise talaş kesitinin alanı,

$$A = t_1 \cdot f \quad (2)$$

ile ifade edilir. Burada;

t_1 : talaş derinliği (mm), f: İlerleme (mm/d) değeridir.

Yapılan deneysel araştırmalara göre, talaş kaldırma sırasında asıl kesme kuvveti; talaş açısı faktörü k_γ , kesme hızı faktörü k_v , takım aşınma faktörü k_a , takım malzemesi faktörü k_t 'de etkilemektedir. Bu durumda asıl kesme kuvveti Eşitlik 3'deki gibi bulunur.

$$F_c = A \cdot k_s \cdot k_v \cdot k_\gamma \cdot k_a \cdot k_t \quad (3)$$

Kesme hızı değerinin artmasına karşılık malzemenin özgül kesme direnci azalmaktadır. Bu durumda kesme kuvvetlerinin azalacağı, talaş derinliği ve ilerleme hızının artması ile de kesme kuvvetlerinin artacağı belirtilmiştir (Mendi, 1996). Genel kural olarak, talaş açısının artması ile kesme kuvvetleri azalır ve daha iyi bitirme yüzeyi elde edilir. Ancak talaş açısının optimum bir değeri bulunmalıdır (Shaw, 1984; Trent, 1989; Mendi, 1996;

Huang et al., 1999; Şeker, 2000). Bu değer in aşırı artması kesici ucun dayanımını azaltacağından aşınmayı artırmaktadır. Aşınmanın artması boşluk yüzeyi temas alanını artıracağından kesme kuvvetleri de buna bağlı olarak artacaktır (Shaw, 1984). Bu nedenle; yapılan tüm deney şartlarında talaş açısı optimum değerinde sabit tutulmuş, her bir işleme parametresinde kesici uç değiştirilmiş, talaş açısı faktörü (k_γ), takım aşınma faktörü (k_a), ve takım malzemesi faktörü (k_t) teorik hesaplamalarda dikkate alınmamıştır. İlerleme kuvveti ve pasif kuvvet aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmaktadır (Mendi, 1996).

$$F_f = 0,4 \cdot F_c \quad (4)$$

$$F_T = 0,25 \cdot F_c \quad (5)$$

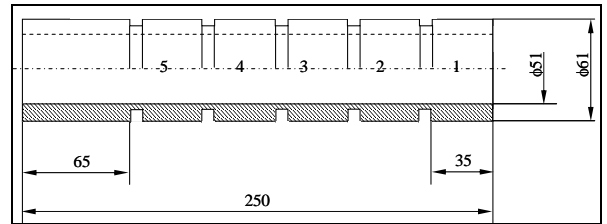
3. MALZEME VE METOT

Bu çalışmada, deney numunelerinin hazırlanması için paslanmaz çelik çeşitlerinden, AISI 304 östenitik dikişsiz paslanmaz çelik boru malzemeler piyasadan temin edilmiştir. Deneylerde kullanılan AISI 304 östenitik paslanmaz malzemenin spektral analizi; ticari bir firmada Spektrocast 11814/00 optik emisyon spektrometresi ile tespit edilmiştir. Deney numunelerinin belirlenen kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. AISI 304 Östenitik Paslanmaz Malzemenin Kimyasal Bileşimi (% Ağırlık).

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
< 0.0050	0.3885	2.173	> 0.0960	0.0344	17.67	0.2983	14.71
Al	Cu	Nb	Ti	V	Fe	-	-
0.0145	0.0806	<0.0050	<0.0010	0.0457	61.70	-	-

Deney numunelerinin hepsi bir boy malzeme üzerinden kesilerek çıkarılmıştır. Bu sayede her bir deney numunesinin aynı fiziksel ve kimyasal özellikte olması sağlanmıştır. Çalışmada; tek bir deney numunesi üzerinde, Şekil 1'de gösterildiği gibi Tablo 2'de belirlenen beş farklı kesme parametresi uygulanmıştır. Böylelikle bir deney numunesi üzerinde beş farklı kesme kuvveti ölçülmüştür. Deney numunelerinin işlenmesinde takım üreticisi Mitsubishi firmasının katalogunda östenitik paslanmaz çelikler için önerilen titanyum karbür kaplı, ISO M30 kalitesinde, SNMG 120408-MS US735 formunda kesici uç ve buna uygun SSBKR122525 takım tutucu kullanılmıştır.



Şekil 1. Deneylerde kullanılan numunenin geometrik boyutları.

Deneylerde kullanılan kesme parametrelerinin seçimi ISO 3685 (TS 10329)'a göre üretici firma verileri de dikkate alınarak belirlenmiş ve Tablo 2'de verilmiştir. Belirlenen kesici uca göre en uygun kesme hızları 80-

120 m/min'dir. Tavsiye edilen kesme hızının altındaki ve üstündeki değerlerde nasıl sonuçlar alabileceğimizi görmek için ilave olarak 50-150 m/dk'lık kesme hızı da deneylere dahil edilmiştir. ISO 3685'deki referans değerleri esas alınarak, 0.8

mm'lik kesici takım uç radiusuna uygun ilerleme ve talaş derinlikleri belirlenmiştir. İşleme deneylerinde her bir deney parçasında yeni bir kesici uç kullanılmıştır. Her deneyde yeni bir kesici uç kullanılarak kesicinin aşınmasından kaynaklanan etkiler elimine edilmiştir.

Tablo 2. İşleme Deneylerinde Kullanılan Kesme Parametreleri.

Deney No	V (m/dk)	f (mm/d)	a (mm)	Deney No	V (m/dk)	f (mm/d)	a (mm)
1	50	0.15	1.5	16	50	0.15	2
2	75			17	75		
3	100			18	100		
4	125			19	125		
5	150			20	150		
6	50	0.20	1.5	21	50	0.20	2
7	75			22	75		
8	100			23	100		
9	125			24	125		
10	150			25	150		
11	50	0.25	1.5	26	50	0.25	2
12	75			27	75		
13	100			28	100		
14	125			29	125		
15	150			30	150		

Deneylerde kullanılan numune boyutları Şekil 1'de gösterilmiştir. Deneyler boyunca Tablo 2'deki parametrelere göre Fanuc kontrol ünitesine sahip TC 35 Johnford CNC torna tezgahı kullanılmıştır. Deney numunelerinin işlenmesi esnasında kesici katalogunda kuru kesme yapılması önerildiğinden kesme sıvısı kullanılmamıştır. Kesme sıvısının kesme kuvvetleri üzerinde etkisi çok azdır.

şekilde bağlandıktan sonra, üzerinden en ideal kesme hızı olarak önerilen 80 m/dk ile 1 mm talaş kaldırılarak, malzemenin kendi salgısı ve bağlamadan dolayı meydana gelebilecek salgı yok edilmeye çalışılmış, hem de haddelemenin olumsuz etkileri giderilmiştir. Malzemenin salgılı dönmesi ve haddeleme işlemleri kesme kuvveti değerini etkileyecektir. Bu sayede salğıdan ötürü oluşacak değişimler önlenmiştir.

Araştırmada CNC torna tezgahı ile talaş kaldırmada talaş oluşumu esnasında oluşan kesme kuvvetleri üç boyutlu, KISTLER 9257B Piezokristal dinamometresi kullanılmıştır. Dinamometrenin kalibrasyonu, imalatçı firmanın dinamometre ile birlikte yolladığı kalibrasyon değerlerini bilgisayar programına girdikten sonra program otomatik olarak kalibrasyon ayarlarını gerçekleştirmektedir. Dinamometre Şekil 2'de görüldüğü gibi CNC torna tezgahının taretine bağlanmıştır. Veriler aynı şekilde görülen amplifikatör yardımıyla bilgisayar ortamına aktarılmakta ve bir bilgisayar programı yardımı ile de kesme kuvveti değerleri tespit edilebilmektedir.



Şekil 2. Dinamometrenin CNC torna tezgahına bağlanması

Deney numunelerinin her birinde; farklı kesme hızlarının yanı sıra ilerleme hızı, talaş derinliği gibi işleme parametreleri de değiştirilmiştir. Bu sayede kesme hızının, ilerlemenin ve talaş derinliğinin kesme kuvvetini nasıl etkilediği tespit edilmiştir. Deneylerin yapımında aşağıdaki işlem sırası takip edilmiştir. Deney numuneleri CNC torna tezgahına Şekil 2'deki gibi, ayna punta arasında hassas bir

Bu işlemden sonra deney numunesi sökülmeden sırası ile Tablo 2'deki parametrelere göre işlenmiştir. Her bir deney numunesinin işlenmesi esnasında oluşan asıl kesme, ilerleme ve pasif kuvvetler belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların, oluşturulan tüm grafikler incelenerek

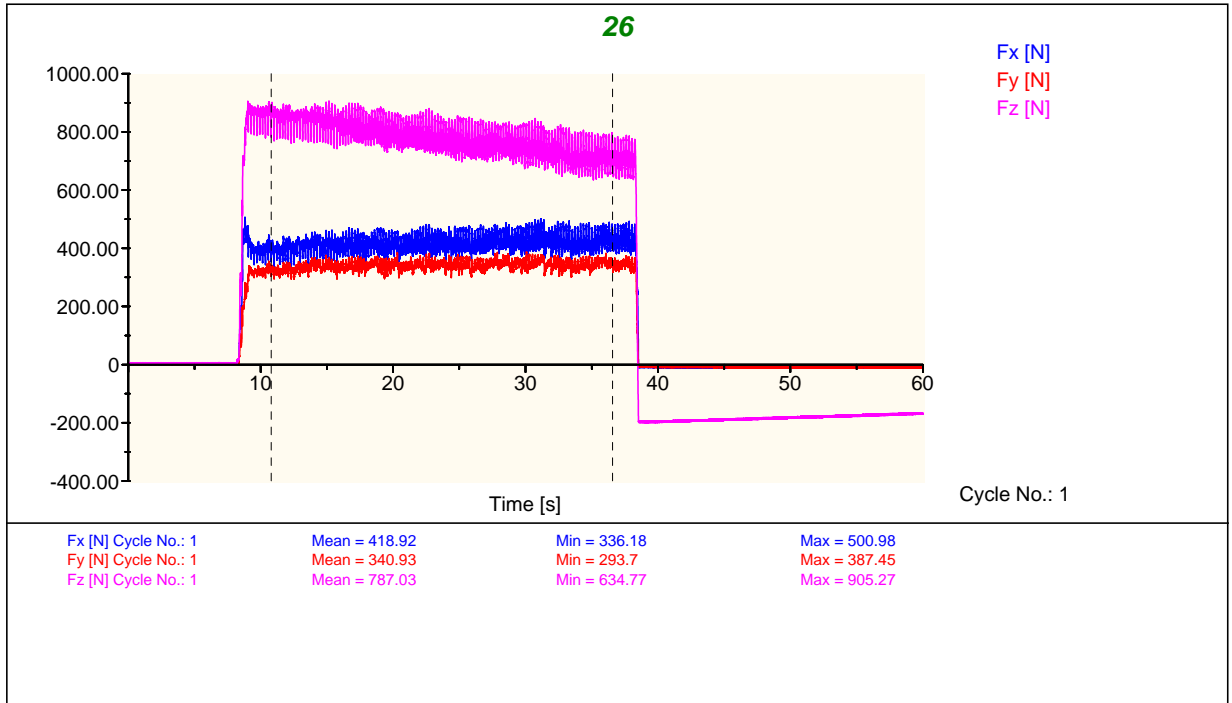
kesme parametrelerinin kesme kuvvetlerine nasıl etkilediği ve bunlar arasındaki ilişkiler yorumlanmıştır. Ayrıca teorik olarak hesaplanan kesme kuvveti değerleri de deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Farklı kesme parametrelerinde işlenen deney numunelerinden, dinamometre ile ölçülen değerler

ile teorik olarak hesaplanan kesme kuvveti değerleri tespit edilmiştir.

Şekil 3'de deney numunelerinin işlenmesi esnasında asıl kesme kuvvetinin, ilerleme kuvvetinin ve pasif kuvvetin bilgisayarda oluşan örnek kuvvet diyagramlarından biri görülmektedir. Diyagramda; $F_z=F_c$, $F_x=F_f$, $F_y=F_r$ yi tanımlamaktadır. Deney numunelerinin işlenmesi esnasında elde edilen asıl kesme kuvveti, ilerleme kuvveti ve pasif kuvveti ve Eşitlik 3'e göre teorik olarak hesaplanan asıl kesme kuvveti, ilerleme kuvveti ve pasif kuvveti Tablo 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Deneyler esnasında oluşan kuvvet diyagramı.

Kesme kuvvetleri deneysel yöntemlerle belirlenebildiği gibi, teorik olarak da hesaplanabilmektedir. Ancak teorik formüller, işlenen malzemenin, kesicinin metalürjik yapısını ve kesme esnasında oluşabilecek bir çok etkiyi dikkate almadığından, tamamen doğru sonuçlar vermemektedir. Deneysel sonuçlar ve teorik sonuçlar karşılaştırıldığında belli bir yakınlıkta kesme kuvvetlerinin hesaplanabilmesine imkan sağlamaktadır (Otmanbölük ve ark., 1987; Yardımoğlu ve Boyar, 1992; Mendi, 1996; Günay, 2003; Günay ve ark., 2004).

Deney sonuçları baz alınarak, Şekil 4'de farklı kesme hızlarında ilerlemenin ve talaş derinliğinin kesme kuvvetine, Şekil 5'de ilerleme kuvvetine, Şekil 6'da pasif kuvvete etkisi toplu olarak görülmektedir. Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6'daki grafiklerden elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde;

Deneysel verilerle teorik veriler bütün kesme hızları için kıyaslandığında deneysel sonuçlarla teorik sonuçların benzer bir eğilim sergilediği görülmektedir. Deneyler sırasındaki gerçek işleme şartlarına bağlı olarak, deneysel sonuçların teorik sonuçlara göre asıl kesme

kuvveti için %18-25'lik bir azalma sergilediği Tablo 3'de görülmektedir. Kesme hızı ve kesme sıvısının kesme kuvvetleri üzerinde çok fazla bir etkisi olamamasına rağmen talaş kesitinin kesme kuvvetleri üzerinde etkisi çok büyüktür. Talaş kesiti arttıkça kesme kuvveti artmaktadır. Talaş kesitine

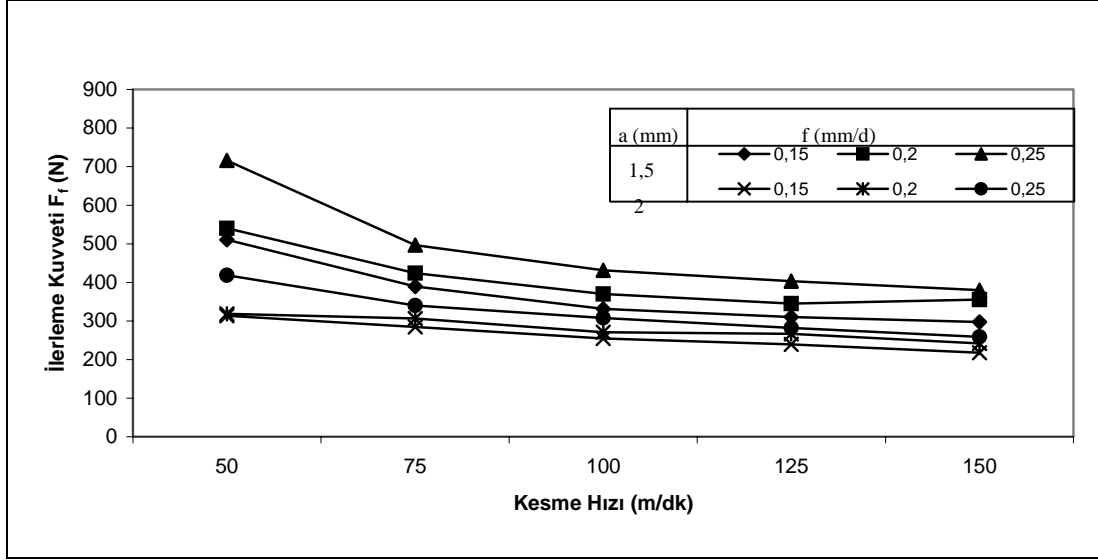
göre de malzemenin özgül kesme direnci farklılık gösterecektir. Buna bağlı olarak kesme hızı faktörünün yeterince tutarlı olmamasından ve malzemenin özgül kesme direncinin tam olarak belirlenememesinden dolayı deneysel sonuçlarla teorik sonuçlar arasında fark oluştuğu değerlendirilmektedir.

Tablo 3. Farklı Kesme Hızlarına Bağlı Olarak Deneylerden ve Teorik Hesaplamalardan Elde Edilen Kesme Kuvveti Sonuçları.

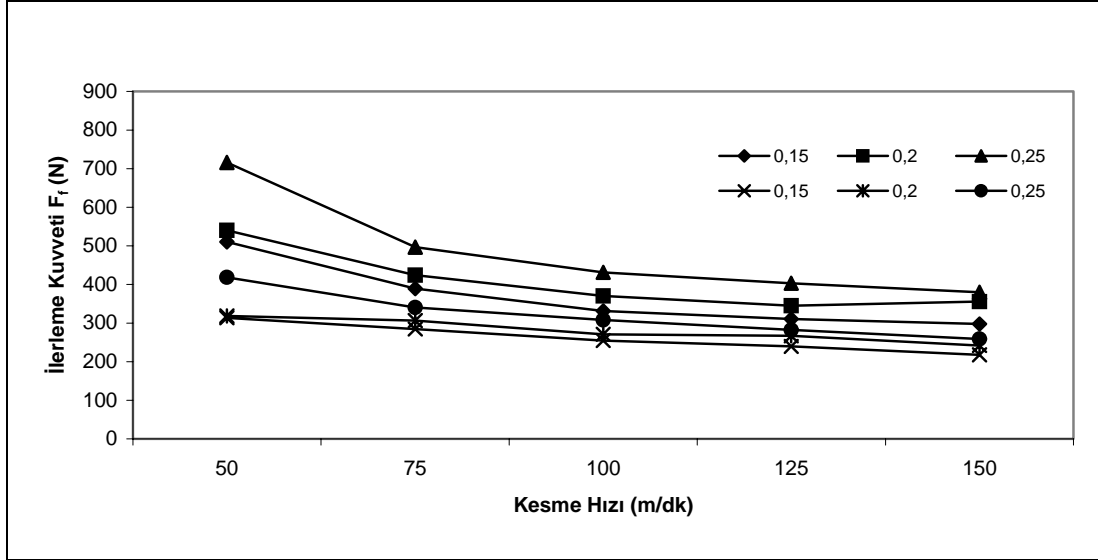
Deneysel Ölçülen F_c (N)	Teorik Hesaplanan F_c (N)	Fark %	Deneysel Ölçülen F_f (N)	Teorik Hesaplanan F_f (N)	Fark %	Deneysel Ölçülen F_r (N)	Teorik Hesaplanan F_r (N)	Fark %
503.87	631.48	25.32	313.51	212.34	32.27	226.93	186.43	17.84
499.30	628.23	25.82	284.53	193.26	32.07	211.12	174.05	17.55
488.81	626.97	28.26	254.74	172.03	32.46	190.71	156.37	18.00
484.80	609.38	25.69	239.83	162.55	32.22	184.87	151.43	18.08
473.23	594.30	25.58	217.95	148.35	31.93	165.28	135.79	17.84
618.20	958.84	55.10	318.61	217.04	31.87	249.29	202.69	18.69
611.89	947.14	54.78	306.23	208.81	31.81	241.49	196.17	18.76
608.60	942.49	54.86	270.92	184.92	31.74	233.25	189.95	18.56
603.66	936.29	55.10	267.28	183.03	31.52	216.19	176.91	18.16
603.45	934.74	54.89	241.99	165.13	31.76	196.5	160.19	18.47
788.98	884.17	12.06	418.41	291.89	30.23	340.58	240.45	29.39
749.07	840.47	12.20	339.93	236.73	30.35	272.48	192.36	29.40
731.67	819.01	11.93	307.72	214.94	30.15	241.32	170.11	29.50
721.10	807.81	12.02	282.62	196.99	30.29	236.67	167.29	29.31
711.14	796.6	12.01	258.75	180.22	30.34	212.31	149.64	29.51
689.86	865.24	25.42	510.86	346.09	32.25	263.35	216.31	17.86
641.01	803.57	25.35	389.64	264.58	32.09	257.74	211.07	18.10
620.05	777.24	25.35	331.05	225.23	31.96	232.09	190.53	17.90
612.10	768.47	25.54	310.52	210.99	32.05	209.26	172.47	17.58
608.17	764.56	25.71	297.3	201.49	32.22	202.35	165.90	18.01
848.17	1069.29	26.07	540.06	427.71	20.80	328.97	267.32	18.74
800.06	1008.49	26.05	424.58	336.05	20.85	293.15	238.50	18.64
775.77	978.23	26.06	369.99	293.25	20.74	259.87	211.64	18.55
773.28	974.45	26.01	345.11	273.44	20.76	244.95	199.43	18.58
790.70	969.88	22.66	355.5	270.71	23.85	248.11	198.87	19.84
1135.22	1255.68	10.61	716.27	500.31	30.15	444.69	313.92	29.40
1010.57	1117.67	10.59	496.85	347.06	30.76	364.84	258.13	29.24
969.77	1073.40	10.68	431.67	301.67	30.11	308.76	218.52	29.32
959.20	1061.23	10.63	403.51	281.42	30.25	300.42	212.16	29.37
955.03	1056.81	10.65	379.68	265.36	30.10	297.91	210.07	29.48

Şekil 4'de kesme hızının artması ile asıl kesme kuvvetlerinde çok farklı bir değişimin olmadığı bir miktar azaldığı görülmektedir. Kesme hızının kesme kuvvetleri üzerinde çok büyük bir etkisi bulunmamaktadır. Kesme hızının asıl kesme kuvvetine olan etkisi, artan kesme hızıyla birlikte yükselen talaş kaldırma sıcaklıklarına bağlanabilir. Birincil ve ikincil deformasyon bölgelerinde kesme hızıyla birlikte aratan sıcaklık, işlenen malzemenin akma mukavemetini düşürerek asıl kesme kuvvetlerinde azalmaya sebep olur. Pasif ve ilerleme

kuvvetlerinde ise deneysel sonuçlarının teorik sonuçlara göre ortalama % 22- % 28 daha fazla çıktığı görülmektedir. İlerleme kuvvetinin asıl kesme kuvvetine oranı 0.36 ile 0.69 arasında değiştiği görülmektedir. Bu oran literatürle (Anon., 1997; Şeker, 2000) paralellik gösterirken teorik yaklaşımlarda yaygın olarak kullanılan 0.4 katsayısının düşük olduğu F_f 'nin en az 0.5 F_c olarak alınması gerektiği değerlendirilmektedir.



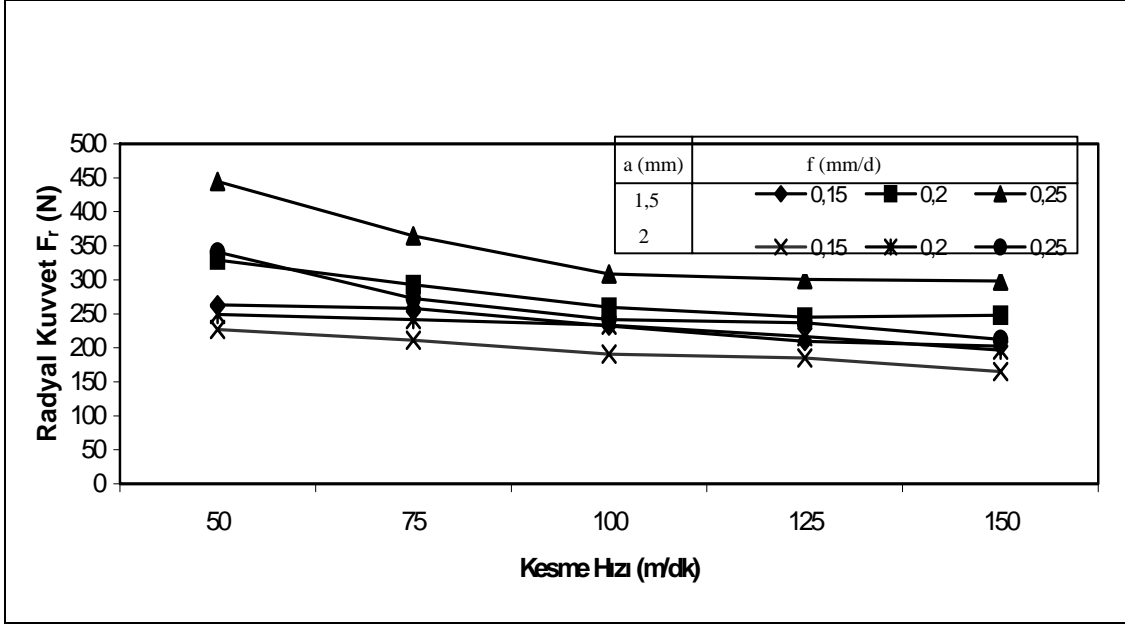
Şekil 4. Farklı kesme hızlarında ilerlemenin ve talaş derinliğinin kesme kuvvetine etkisi.



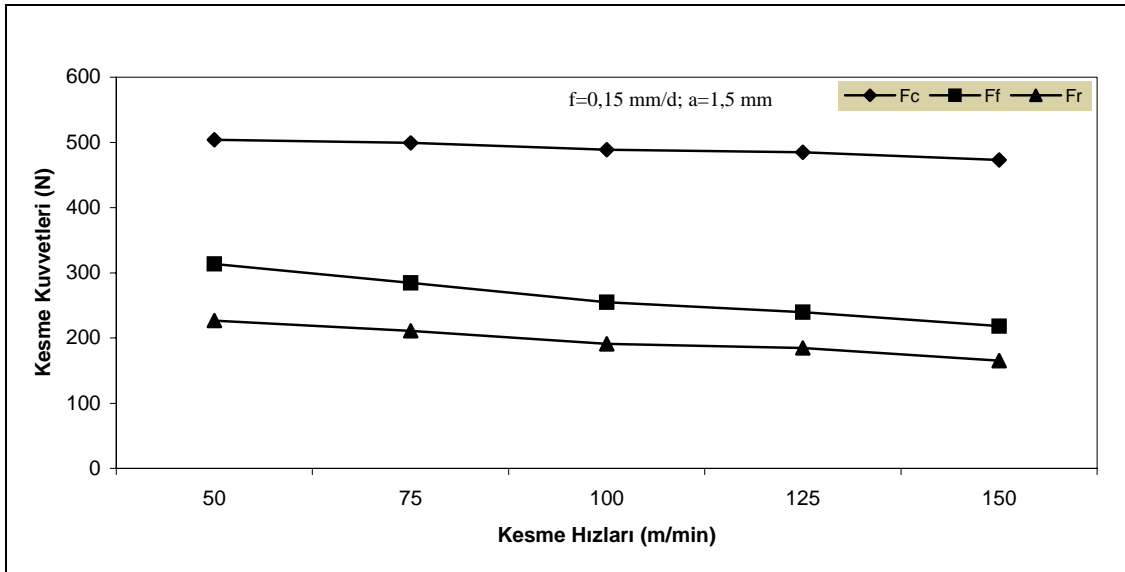
Şekil 5. Farklı kesme hızlarında ilerlemenin ve talaş derinliğinin ilerleme kuvvetine etkisi.

Pasif kuvvetlerin ise asıl kesme kuvvetine oranı 0.31 ile 0.45 arasında değiştiği görülmektedir. Bu oran literatürde teorik yaklaşımlar için belirtilen 0.25 katsayısının düşük kaldığını, F_r 'nin en az $0.38 F_c$ olarak alınması gerektiğini ortaya çıkarmaktadır. Talaş derinliği 1.5 mm ilerleme 0.15 mm/d sabit tutularak

değişik kesme hızlarında asıl kesme kuvveti, ilerleme kuvveti ve pasif kuvvetin birlikte gösterimi Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 6. Farklı kesme hızlarında ilerlemenin ve talaş derinliğinin pasif kuvvete etkisi.



Şekil 7. $f = 0.15$ mm/d, $a = 2$ mm olduğu durumda kesme kuvvetlerinin tek bir grafikte gösterimi.

Grafik incelendiğinde üç kuvvetin benzer bir eğilim sergilediği sırası ile en büyük kuvvetin asıl kesme kuvveti, ilerleme kuvveti ve pasif kuvvet olduğu görülmektedir.

Talaş derinliği ($a = 2$ mm ve $a = 1.5$ mm) sabit tutularak, sırası ile ilerlemeler $f = 0.15$, $f = 0.20$ ve $f = 0.25$ mm/d alınarak deneyler gerçekleştirilmiş, ilerlemenin ve talaş derinliğinin artmasıyla F_c , F_f ve F_r 'nin arttığı görülmüştür.

Deneylerden elde edilen sonuçlarla, literatürdeki (Shaw, 1984; Trent, 1989; Yardımoğlu ve Boyar 1992); sonuçlar paralellik göstermesine karşılık; Şekil 4’de Şekil 5’de ve Şekil 6’da $v=150$ m/dk, $f = 0.20$ mm/d, $a = 2$ mm’de asıl kesme kuvveti, ilerleme kuvveti ve pasif kuvvetin düşmesi beklenirken bir artışın olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni ise;

- Malzemenin mikro yapısındaki farklılık,
- BUE’nin (talaş sıvanması) oluşması,
- Alaşım elementlerinin o bölgede yoğunlaşmasından ve o bölgede deformasyon pekleşmesinden kaynaklanabileceği,
- İşleme esnasında, deney numunesinin bağlanmasındaki değişim ve titreşim gibi olumsuz durumdan da kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir.
- Ayrıca söz konusu kesme hızı ($V=150$ m/dk), kullanılan kesici takım için üretici firmanın önerdiği kesme hızının dışında kalan bir değerdir. Kesme hızının önerilen kesme hızının üzerine çıkması ile eğilimin değişmesi, hız sınırları dışına çıkılmasından da bu artışın olabileceği düşünülmektedir.

5. SONUÇ

AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin farklı kesme parametreleri ile tornalanma işleminden sonra, deney numunelerinde yapılan ölçümlerin sonucu kesme kuvvetleri ile ilgili aşağıda belirtilen sonuçlara varılmıştır.

- Kesme hızının artmasıyla; kesme kuvveti, ilerleme kuvveti ve pasif kuvvetin azaldığı,
- İlerlemenin artmasıyla F_c , F_f ve F_r ’nin arttığı,
- Talaş derinliği artırıldığında da F_c , F_f , F_r ’nin arttığı tespit edilmiştir.
- Tüm deneylerin aynı şartlarda yapılmış olması, elde edilen sonuçların kendi arasında tutarlılık sergilemesi, teorik ve deneysel sonuçların kendi aralarında karşılaştırılabilmesini mümkün kılmıştır. Deneysel ve teorik sonuçlar karşılaştırıldığında tüm sonuçlarda ortalama % 25’lik bir fark olduğu görülmüştür.

- Asıl kesme kuvveti için, deneysel sonuçlarla teorik sonuçları karşılaştırmak amacı ile yapılan değerlendirmede, teorik ve deneysel sonuçların bir biri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Sonuçların sergilediği uyum, teorik yaklaşımlarda kullanılan parametrelerin doğru olarak tespit edildiği takdirde, teorik yaklaşımların da önemli ölçüde geçerliliğini göstermektedir.
- Teorik ve deneysel sonuçlardaki sapma değerlendirildiğinde kullanılan teorik yaklaşımın ortalama % 80 doğrulukla kullanılabilmesi değerlendirilmektedir.
- İşleme esnasında deney numuneleri üzerinde oluşan titreşimlerin kuvvetleri değiştirdiği tespit edilmiştir.

6. KAYNAKLAR

Anonymous, 1997. Sandvik Coromant Co. Inc., Modern Metal Cutting-A Practical Handbook, Sweden.

Bahadur, A., Kumar, B.R., Chowdhury, G. S. 2004. “Evaluation of Changes in X-Ray Elastic Contents And Residual Stress As A Function of Cold Rolling of Austenitic Steels” Materials Science and Technology, V20, 3, p., 387-392.

Belejchak, P. 1997. “Machining Stainless Steel”, *Advanced Materials & Processes*, p. 23-25.

Günay, M. 2003. “Talaş kaldırma işlemlerinde kesici takım talaş açısının kesme kuvvetlerine etkisinin deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Günay, M., Aslan, E., Korkut, İ., Şeker, U. 2004. “Investigation of the Effect of Rake Angle on Main Cutting Force”, *International Journal of Machine Tools&Manufacture*, 953-959.

Huang, L., Chen Joseph C., and Chang, T. 1999. “Effect of Toll/Chip Contact Length on Orthogonal Turning Performance”, *Journal of Industrial Technology*.

Kasap, M. 2001. AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliğinde En Uygun Kesme Parametrelerin ve İşleme Şartlarının Deneysel Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Mendi, F. 1996. "Tornalama Teorisi ve Hesapları", Takım Tezgahları Teori ve Hesapları, ISBN 975-06008-0-3, Ankara.

Otmanbölük, N., Ay, İ. ve Aksoy, Z. 1987. "Tornalamada Kesme Kuvvetlerinin Ölçümü İçin Ortogonal-Ring Dinamometresi Tasarımı", Malzeme ve İmalat Sempozyumu, Dokuz Eylül Üniversitesi, Denizli.

Shatla, M., Kerk, C., Altan, T. 2001. "Process Modeling in Machining. Part II: Validation and Applications of the Determined Flow Stress Data", International Journal of Machine Tools & Manufacture, 41, 1659-1680.

Shaw, M. C. 1984. "Metal Cutting Principles",

Oxford University Press, London, ISBN 0-19-859002-4.

Şeker, U. 2000. "Talaşlı İmalatta Takım Tasarımı", G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Ders Notları, Ankara.

Şeker, U., Kurt, A. and Çiftci, İ. 2002. "Design and Construction of a Dynamometer For Measurement of Cutting Forces During Machining With Linear Motion", Materials and Design, 23: 355-360.

Trent, E. M. 1989. Metal Cutting, Butterworths Press.

Yardımoğlu, B., Boyar, L. 1992. "Talaşlı İmalatta Takıma Gelen Kuvvetlerin Deneysel İncelenmesi", 5. Ulusal Makine ve İmalat Kongresi, Ankara.