

INCONEL 718 SÜPER ALAŞIMININ İŞLENMESİNDE KESME PARAMETERELERİNİN KESME KUVVETİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Adnan TAŞLIYAN, Mustafa ACARER*, Ulvi ŞEKER, Hasan GÖKKAYA*** ve Bilge DEMİR***

Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, 06570 Tandoğan, Ankara

* Metal Eğitimi Bölümü, Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, 78200 Karabük

** Makine Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi, 06500 Beşevler, Ankara

*** Safranbolu Meslek Yüksekokulu, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, 78600 Karabük

macarer@hotmail.com, useker@gazi.edu.tr, hgokkaya@hotmail.com, ildemir@hotmail.com

(Geliş/Received: 18.10.2005; Kabul/Accepted: 08.06.2006)

ÖZET

Bu çalışmada, kesme parametrelerinden kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin esas kesme kuvveti üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, nikel esaslı Inconel 718 süper alaşımı; 1,2 mm uç radyüsüne sahip seramik kesici takım ile bilgisayarlı sayısal denetimli (BSD) torna tezgahında, soğutma sıvısı kullanılmadan işlenmiştir. Kesme parametreleri olarak beş farklı kesme hızı (225, 300, 350, 400, 500 m/dak) ve beş farklı ilerleme hızı (0,05, 0,075, 0,1, 0,125, 0,15 mm/dev) ile iki farklı kesme derinliği (1 mm, 2 mm) değerleri kullanılmıştır. Yapılan deneylerde kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğine bağlı olarak en düşük esas kesme kuvveti 500 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/dev ilerleme hızı ve 1 mm kesme derinliğinde (A-1-V) 192 N, en yüksek esas kesme kuvveti ise 225 m/dak kesme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme hızı ve 2 mm kesme derinliğinde (B-5-I) 780 N elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İşleme, seramik kesici takım, kesme parametreleri, esas kesme kuvveti.

THE EFFECT OF CUTTING PARAMETERS ON CUTTING FORCE DURING THE PROCESSING OF INCONEL 718 SUPER ALLOY

ABSTRACT

In this study, the effects of cutting parameters such as cutting speed, feed rate and cutting depth over cutting forces have been investigated. For this purpose, nickel based super alloy Inconel 718 has been processed with ceramic cutting tool having 1.2 mm insert radia on a digitally controlled turning lathe (CNC) without using cooling water. Different cutting processes having the values of five different cutting speeds (225, 300, 350, 400, 500 m/dak) and five different feed rates (0.05, 0.075, 0.1, 0.125, 0.15 mm/rev) and two different cutting depths (1mm, 2mm) have been implemented. In the experiments, the lowest main cutting force was obtained as (A-1-V) 192 N in 500 m/min cutting speed, 0.05 mm/rev feed rate speed and 1 mm depth of cut, the highest main cutting force was obtained as (B-5-I) 780 N in 225 m/min cutting speed, 0.15 mm/rev feed rate speed and 2 mm depth of cut.

Keywords: Processing, ceramic cutting tools, cutting parameters, main cutting force.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Süper alaşımlar, endüstriyel gaz türbinlerinde, uzay araçlarında, roket motorlarında, nükleer reaktörlerde, deniz altlarında, buhar üretme tesislerinde, petrokimyasal cihazlarda, cam sanayi, sıcak takımlar ve diğer ısıya dayanıklı uygulamalarda kullanılmaktadır. Inconel 718, yüksek sıcaklıkta uzun süreli başarılı uygulamaları nedeni ile "süper alaşımlar" terimi ile ifade edilmekte-

dirler. Inconel 718, uçak ve uzay endüstrisinde, ticari kullanımı olan süper alaşımlar arasında en çok kullanılan malzemedir [1-4]. Inconel 718 süper alaşımı genellikle talaşlı imalat yöntemiyle şekillendirilmektedir. Tornalama işlemleri talaşlı şekillendiriminin büyük bir kısmını kapsamaktadır. Talaş kaldırma işlemlerinde iki farklı kesme işlemi (dik-eğik, ortogonal-oblique kesme) uygulanmaktadır. Çoğu kesme işlemleri genellikle eğik kesme işlemidir. Fakat işleme parametre-

lerinin etkisini belirlemek için yapılan deneysel çalışmalarda, mekanik davranışın iki boyutlu olmasından dolayı dik kesme işlemi uygulanmaktadır [5,6]. Talaşlı imalatta iyi seçilmeyen kesme parametreleri, kesici takımların hızlı aşınması ve kırılması gibi kayıpların yanı sıra, iş parçasının bozulması veya yüzey kalitesinin düşüklüğü gibi ekonomik kayıplara da neden olmaktadır [7]. Kesme hızı ve kesici takım geometrisi, işlenebilirlik özelliklerine etki bakımından en önemli parametrelerdir [8,9]. Inconel 718, düşük kesme hızlarında sementit karbür takımlar ile işlenebilirken daha yüksek kesme hızlarında ise seramik kesici takımlarla işlenebilmektedir [10,11]. Yüksek sertliğe sahip nikel esaslı Inconel 718 süper alaşımın işlenmesi esnasında takım ömrünü kısaltan en önemli aşınma çentik aşınmasıdır [12,13].

Bu çalışmada, seramik kesici takımla, kesme parametresi olarak beş farklı kesme hızı ve beş farklı ilerleme hızı kullanılarak, Inconel 718 süper alaşım malzemesi üzerinde iki farklı kesme derinliğinde talaş kaldırılmıştır. Kesme parametrelerinden kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin talaş kaldırma sırasında esas kesme kuvveti üzerinde etkileri araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

2.1. Deneysel Numuneleri (Experimental Specimens)

Deneysel çalışmalar için, endüstride özel kullanım alanı olan, Inconel 718 süper alaşım (0,08% C, 0,35% Mn, 0,35% Si, 0,60% Ti, 0,80% Al, 1,00% Co, 3,00% Mo, 5,00% Nb, 17,00% Fe 19,00% Cr ve 52,82% Ni) malzemeden Ø50x500 mm boyutlarında hazırlanmış deney numuneleri kullanılmıştır. Inconel 718 süper alaşımın mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

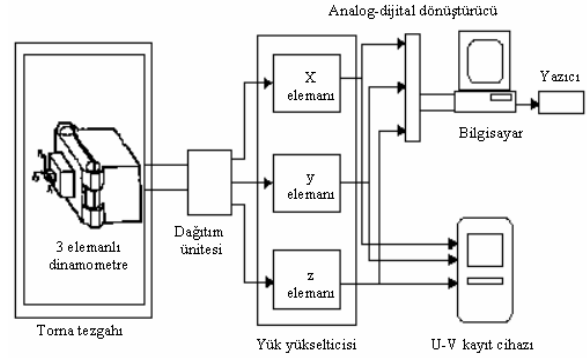
2.2. Kesme Parametreleri, Kesici Takım ve Takım Tutucu (Machining Parameters, Cutting Tools and Tool Holder)

ISO 3685'de önerildiği gibi imalatçı firmaların kesici takım kaliteleri için önerdiği kesme hızı aralıkları dikkate alınarak 225, 300, 350, 400 ve 500 m/dak olacak şekilde beş farklı kesme hızı belirlenmiştir. 1,2 mm uç radyüsüne bağlı olarak ISO 3685'te tavsiye edilen aralıkta 0,05, 0,075, 0,1, 0,125 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızı değerleri ile 1 ve 2 mm talaş derinliği seçilmiştir.

Inconel 718 süper alaşım malzemesi için Kennametal firmasına ait KY 4300 SNGN120712 T01020 formunda değiştirilebilir seramik kesici takımlar kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan değiştirilebilir uçlara uygun CSRNR 2525 M125 takım tutucu kullanılmıştır. Takım tutucunun yanaşma açısı 90°'dir.

Tablo1. Deneysel numunelerinin mekanik özellikleri (Mechanical properties of experimental specimens)

Sertlik HB	Çekme dayanımı MPa	Akma dayanımı MPa	Kopma uzaması % (5do)
388	1375	1170	23,3



Şekil 1. Kesme kuvvetleri ölçme düzeni ve dinamometre ünitesinin şematik görünümü (Schematically view of measurement of cutting forces and dynamometer unit)

2.3. Tezgah ve Kesme Kuvveti Ölçme Aleti (Lathe and Device of Cutting Force)

Talaş kaldırma işlemleri için 10 KW güce sahip 50 ve 3500 arasında devir yapabilen JOHNFORD T35 BSD sanayi tipi torna tezgahı kullanılmıştır.

Talaş kaldırma esnasında 3 ortogonal kesme (F_c , F_f , F_p) kuvvetlerinin ölçümünde, gerinim ölçme esasına dayalı, Kistler 9257B marka dinamometre kullanılmıştır. Deneysel düzeneğin şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir. Şekilde x elemanı F_p pasif kuvveti ölçen kuvvet elemanını, y elemanı F_f ilerleme kuvvetini ölçen kuvvet elemanını, z elemanı ise F_c esas kesme kuvvetini ölçen kuvvet elemanını göstermektedir.

2.3. İstatistiksel Analiz (Statistical Analysis)

Inconel 718 süper alaşım malzemesini işlemede kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği) esas kesme kuvvetine etkilerini belirlemek için verilere çoklu varyans analizi uygulanmıştır. Analiz neticesinde aralarında fark bulunan verilere, farkın hangi düzeyde önemli olduğunu saptamak için Duncan testi uygulanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. Kesme Hızı, İlerleme Hızı ve Kesme Derinliğine Bağlı Olarak Esas Kesme Kuvvetindeki Değişim (The Change of Main Cutting Force Depending on Cutting Speed, Feed Rate Speed and Depth of Cut)

Seramik kesici takımla, beş farklı kesme hızı ve beş farklı ilerleme hızı ile iki farklı kesme derinliğinde elde edilen ortalama esas kesme kuvveti (N) değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğine bağlı ortalama esas kesme kuvveti değerleri (F_c) (Main cutting force (F_c) values based on cutting speed, feed rate speed and depth of cut)

Kesme hızı, (m/dak)	Esas kesme kuvveti, F_c (N)	İlerleme hızı, (mm/dev)	Esas kesme kuvveti, F_c (N)
225	436	0,05	275
300	419	0,075	301
350	408	0,1	443
400	403	0,125	496
500	420	0,15	569

Tablo 3. Kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin esas kesme kuvvetine etkisi (The influence of cutting speed, feed rate speed and depth of cut on main cutting force)

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Faktör A	6202752,200	1	6202752,200	9304128,300	,000
Faktör B	6354296,800	4	1588574,200	2382861,300	,000
Faktör C	65880,800	4	16470,200	24705,300	,000
A * B	1031624,800	4	257906,200	386859,300	,000
A * C	42152,800	4	10538,200	15807,300	,000
B * C	23329,200	16	1458,075	2187,113	,000
A * B * C	37065,200	16	2316,575	3474,862	,000
Hata	300,000	450	,66700		
Toplam	100877130,000	500			
Düzeltilen Toplam	13757401,800	499			

Faktör A; Kesme Derinliği (1 mm, 2 mm)

Faktör B; İlerleme Hızı (0,05, 0,075, 0,1, 0,125, 0,15 mm/dev)

Faktör C; Kesme Hızı (225, 300, 350, 350, 400, 500 m/dak)

Kesme hızı değerlerine göre en düşük (aritmetik ortalama) esas kesme kuvveti 400 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. İlerlemeye göre ise en düşük ortalama esas kesme kuvveti 0,05 mm/dev ilerleme hızında elde edilmiştir. Kesme ve ilerleme hızının esas kesme kuvvetine etkisini belirlemek için yapılan varyans analizi Tablo 3'te verilmiştir.

Verilere uygulanan çoklu varyans analizi sonucunda kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin esas kesme kuvvetine etkisinin olup olmadığı araştırılmıştır. Varyans analizi sonucuna göre, tüm faktörler arasında % 95 güven düzeyinde önemli bir fark bulunmuştur. Farklılığın hangi uygulamalarda önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçları aşağıdaki Tablo 4' te verilmiştir.

Yapılan Duncan testi sonucunda kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğine bağlı olarak en yüksek esas kesme kuvveti 225 m/dak kesme hızı ve 0,15 mm/dev ilerleme hızı ile 2 mm kesme derinliğinde (B-5-I) (780 N) elde edilmiştir. En düşük esas kesme kuvveti ise 500 m/dak kesme hızı ve 0,05 mm/dev ilerleme hızı ile 1 mm kesme derinliğinde (A-1-V) (192 N) elde edilmiştir. Kesme hızına bağlı olarak elde edilen esas kesme kuvvetlerini ayrıntılı olarak belirten grafik Şekil 2'de gösterilmiştir.

Şekil 2'deki grafik de, kesme hızındaki artışla birlikte, ortalama esas kesme kuvveti belirli kesme hızına (400 m/dak) kadar düşüş göstermektedir. Kesme hızı 500 m/dak'ya çıkarıldığında ise ortalama esas kesme kuvveti değeri artış göstermiştir. Seçilen kesme hızlarında elde edilen ortalama esas kesme kuvvet değerleri en küçükten en büyüğe doğru sırasıyla 400 m/dak'da (403 N), 350 m/dak'da (408 N), 300 m/dak'da (419 N), 500 m/dak'da (420 N) ve 225 m/dak'da (436 N) olarak bulunmuştur. Esas kesme kuvvetini düşük değerde elde etmek için kesme hızının artırılması, literatürdeki en yaygın yöntemdir (14-16). Kesme kuvvetinin, kesme hızının artışına bağlı olarak düşmesinin sebebi, akış bölgesindeki yüksek sıcaklık ve azalan temas yüzey alanıdır. Kesme kuvvetindeki azalma miktarı malzeme çeşidine, çalışma koşullarına ve çalışılan kesme hızı aralığına göre farklılık gösterebilir. Bu çalışmada, denenen değerler arasında kesme hızındaki artışa bağlı olarak, esas kesme kuvvet değerlerinde belirli kesme hızına kadar (400 m/dak) düşüş görülmüştür.

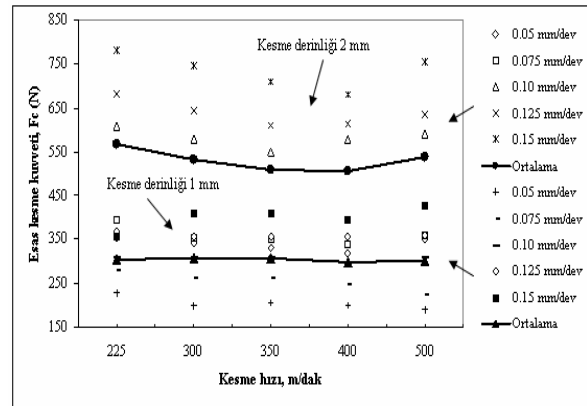
Tablo 4. Duncan testi sonuçları (The results of Duncan test)

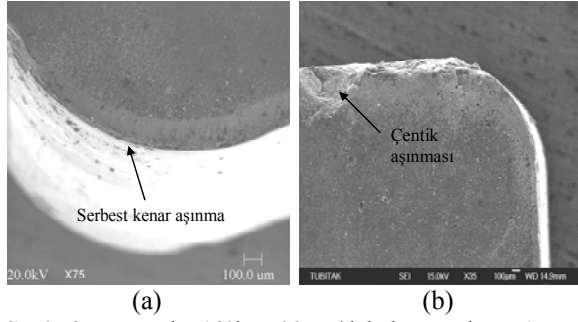
Varyans Kaynağı	Ortalama Fc, (N)	Homojenlik Grubu	Varyans Kaynağı	Ortalama Fc, (N)	Homojenlik Grubu
A-1-V	192,00	a	A-4-III	356,00	p
A-1-II	199,00	b	A-4-IV	358,00	r
A-1-IV	199,00	b	A-4-V	361,00	s
A-1-III	205,00	c	B-1-I	369,00	t
A-2-V	225,00	d	B-2-I	369,00	t
A-1-I	228,00	e	A-5-I	383,00	u
A-2-IV	250,00	f	A-5-IV	396,00	v
A-2-II	264,00	g	A-5-II	410,00	w
A-2-III	264,00	g	A-5-III	410,00	w
A-2-I	282,00	h	A-5-V	428,00	y
A-3-IV	292,00	i	B-3-III	550,00	z
A-3-I	310,00	j	B-3-II	578,00	a
A-3-II	310,00	j	B-3-IV	580,00	b
A-3-III	310,00	j	B-3-V	590,00	c
A-3-V	310,00	j	B-3-I	608,00	d
B-1-IV	330,00	k	B-4-III	610,00	e
B-2-IV	330,00	k	B-4-IV	614,00	f
B-1-III	333,00	l	B-4-V	634,00	g
B-2-III	333,00	l	B-4-II	642,00	h
B-1-II	347,00	m	B-4-I	680,00	i
B-2-II	347,00	m	B-5-IV	682,00	j
A-4-I	353,00	n	B-5-III	709,00	k
B-1-V	354,00	o	B-5-II	745,00	l
B-2-V	354,00	o	B-5-V	752,00	m
A-4-II	356,00	p	B-5-I	780,00	n

Kesme Derinliği; A: 1 mm, B: 2 mm

İlerleme Hızı; 1= 0,05, 2= 0,075, 3=0,1, 4=0,125, 5=0,15 mm/dev

Kesme Hızı; I: 225, II: 300, III: 350, IV: 400, V: 500 m/dak

**Şekil 2.** Inconel 718'in seramik kesici takımla işlenmesinde kesme hızına bağlı olarak elde edilen esas kesme kuvvet değerleri, (Fc) (Main cutting force (Fc) values based on cutting speed at the time of Inconel 718 in being processed with ceramic tool)



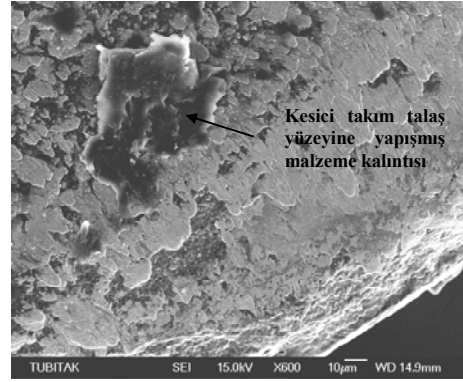
Şekil 3. Inconel 718'in 500 m/dak kesme hızı, 1 mm kesme derinliği ve 0.1 mm/dev ilerleme hızında işlenmesi sonucunda seramik kesici takım üzerinde oluşan çentik ve serbest kenar aşınması SEM görüntüsü, a) Kesici takım serbest yüzeyi SEM görüntüsü, b) Kesici takım talaş yüzeyi SEM görüntüsü (The view of notch and flank wear on ceramic cutting tool as a result of Inconel 718 in being processed in 500 m/min cutting speed, 1 mm depth of cut and 0.1 mm/min feed rate speed. a) The view of flank face insert SEM b) The three-dimensional view of insert SEM)

Daha sonra ise kesme hızı 500 m/dak'ya artırıldığında esas kesme kuvvetinde artış görülmüştür. Bu durum, seramik kesici takımların, yüksek kesme hızlarında kullanılmasında, Inconel 718 süper alaşım malzemesine bağlı olarak kesme bölgesinde oluşan yüksek sıcaklıkların kesici takım üzerinde oluşturduğu serbest kenar ve çentik aşınmalarına bağlanmıştır. Kullanılan kesme hızları sonucunda, kesici takım üzerinde görülen serbest kenar ve çentik aşınması 35x ve 75x büyütme SEM görüntüleri Şekil 3'te verilmiştir. Düşük hızlarda çalışırken (225 m/dak), kesme hızında sağlanan % 78'lik artış ile esas kesme kuvvetinde gözlenen düşüş (% 8), kesme hızının 400 m/dak'dan 500 m/dak'ya artırıldığında % 25'lik artış ile ise esas kesme kuvvetinde artış (%4,2) gözlenmiştir.

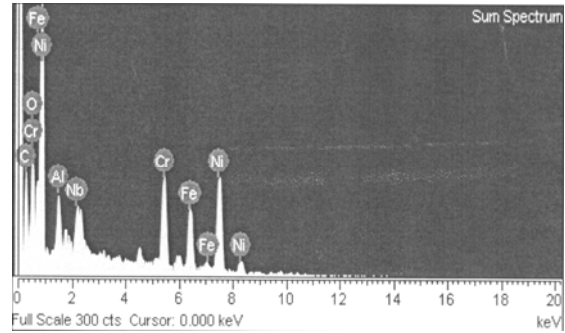
Talaş kaldırma sırasında kesici takım ile işlenen malzeme arasında kesme hızına bağlı olarak takım-talaş ara yüzeyinde oluşan sıcaklıktan dolayı kesici takım üzerine iş parçası malzemesi yapışabilir [5]. 500 m/dak kesme hızıyla talaş kaldırma sırasında seramik kesici takım üzerinde Inconel 718 iş parçası yapıştığı görülmüştür. Yapışan Inconel 718 süper alaşım malzemesinin görüntüsü Şekil 4'te, EDX analizi ise Şekil 5'te verilmiştir.

Seçilen ilerleme hızlarında elde edilen ortalama esas kesme kuvveti değerleri en küçükten en büyüğe doğru sırasıyla, 0,05 mm/dev'da (275 N), 0,075 mm/dev'de (301 N), 0,1 mm/dev'de (443 N), 0,125 mm/dev'de (496 N) ve 0,15 mm/dev'de (569 N) bulunmuştur. İlerleme hızına bağlı olarak elde edilen esas kesme kuvvetlerini ayrıntılı olarak belirten grafik Şekil 6'da gösterilmiştir.

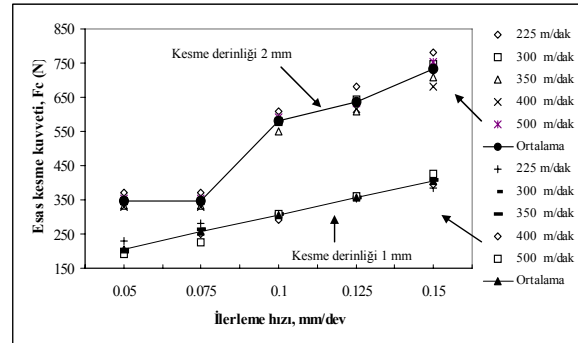
0,05, 0,075, 0,1, 0,125 ve 0,15 mm/dev'lik ilerleme değerlerinde ortalama esas kesme kuvveti değerleri incelendiğinde ilerleme değeri arttıkça esas kesme kuvvetinde önemli bir artış görülmüştür (Şekil 6). 0,05 mm/dev ilerleme değerinde elde edilen en düşük ortalama esas kesme kuvveti (275 N) ilerleme hızının % 200 oranında artırılmasıyla (0,15 mm/dev) esas kesme kuvvetinde % 107 artış (569 N) gözlenmiştir.



Şekil 4. Seramik kesici takım üzerine yapışmış Inconel 718 malzeme görüntüsü (The view of Inconel 718 material built-up edge on ceramic cutting tool)



Şekil 5. Seramik kesici takım üzerine yapışmış Inconel 718 malzemenin EDX analizi (EDX analysis of Inconel 718 material built-up edge on ceramic cutting tool)



Şekil 6. Inconel 718'in seramik kesici takımla işlenmesinde ilerleme hızına bağlı olarak elde edilen esas kesme kuvvet değerleri (Fc). (Main cutting force (Fc) values based on feed rate speed at the time of Inconel 718 in being processed with ceramic tool)

Denenen ilerleme hızı değerleri ile esas kesme kuvveti arasında artan bir ilişki görülmüştür. İlerleme hızı değerindeki artışa bağlı olarak, esas kesme kuvvetinde artış, beklenen bir özellik olup esas kesme kuvvetini düşürmek için ilerleme hızı değerinin azaltılması gerekmektedir [5].

4. SONUÇ (CONCLUSIONS)

Seramik kesici takımlar çelik malzemeleri işlemede yüksek kesme hızlarında kullanıldığı zaman iyi bir performans gösterebilmektedir. Bu çalışmada, seramik kesici takımlar iş parçası olarak Inconel 718 süper alaşım malzemesi kullanılması nedeniyle yüksek kesme hızlarında istenilen performansı göstermemiştir. Tespit

edilen sınırlar içerisinde deneme bulgularına göre elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- i. Inconel 718 süper alaşımın yüksek kesme hızlarında işlenmesinde yüksek kesme hızları kesici takım üzerinde serbest kenar ve çentik aşınma oluşumuna yol açmıştır ve bu serbest kenar ve çentik aşınması, esas kesme kuvvetini olumsuz yönde etkilemiştir.
- ii. Kesme hızı ile esas kesme kuvveti arasında azalan-artan bir ilişki vardır. Kesme hızı miktarının (225 m/dak) % 78 artırılmasıyla (400 m/dak) esas kesme kuvveti değerinde % 8 düşüş, kesme hızı miktarının (400 m/dak) % 25 artırılmasıyla (500 m/dak) ise esas kesme kuvveti değerinde % 4,2 artış elde edilmiştir. En düşük esas kesme kuvveti 400 m/dak kesme hızında elde edilmiştir.
- iii. İlerleme hızı ile esas kesme kuvveti arasında artan bir ilişki vardır. İlerleme hızı değerini (0,05 mm/dev) % 200 artırılmasıyla (0,15 mm/dev) esas kesme kuvveti değerinde % 107 artış elde edilmiştir. En düşük esas kesme kuvveti 0,05 mm/dev ilerleme hızında elde edilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Sims, C.T., 6th ed., **Plansee Sedakar Book**, 1968.
2. Gessinger, H.G., **Powder Metallurgy of Superalloys**, Butterworths, 1984.
3. Elliott, I.C., and Hack, G.A., **MA Alloys for Aerospace Applications, Proc. Conf. on Structural Application of Mechanical Alloying**, Ed. by Froes, J.J., and de Barbadillo, J.J., Myrtle Beach, 15-23, South Caroline, 1990.
4. Özdemir, A., Türker, M., Karataş, C., Güllü, A.K., "MA 956 Süperalaşım Malzemesi İçin Tel Erozyonda Kesme Parametrelerinin Ön Tayini", Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, **Politeknik Dergisi**, Özel Sayı, Cilt 4, 7-14, Ankara, 2002.
5. Modern Metal Cutting, **Practical Handbook**, Sandvik, 1994.
6. Şahin, Y., **Talaş Kaldırma Prensipleri**, Cilt 1, Gazi Kitabevi, Ankara, 2003.
7. Thomas T.R., **Rough Surface**, Longman, New York, 1982.
8. Özçatalbaş, Y., "The Effects of Tool Wear and Mechanical Properties of Work Piece Material on Surface Roughness and Cutting Forces", **G.Ü. Journal of Polytechnic**, Cilt 4, 47-52, 2002.
9. Whitney, E.D., **Ceramic Cutting Tools**, Noyes Publications, New Jersey, 1994.
10. Gatto, A., Iuliano, L., "Advanced Coated Ceramic Tools for Machining Superalloys", **Int. J. Mach. Tools Manufact.**, Cilt. 37, No 5, 591-605, 1997.
11. Ezugwu, E.O., Wanga, Z.M., Machadop A.R., "The Machinability of Nickel-Based Alloys: A Review", **J. of Materials Processing Technology**, Cilt 86, 1-16, 1998.
12. Richards, N., Aspinwall, D., "Use of Ceramic Tools for Machining Nickel-Based Alloys", **Int. J. Mach. Tools Manuf.**, 575-588, 1989.
13. Focke, A.E., Westermann, F.E., Eemi, A., Yavelak, J., Hoch, M., "Failure Mechanism of Superhard Materials when Cutting Superalloys", **Proc. 4th Int.-Am.Conf.**, China, A 268-296, 1991.
14. Trent E.M., **Metal Cutting**, 2nd ed., Butterworths, London, 1984.
15. Boothroyd G., **Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools**, International Student ed. 5th Printing, McGraw-Hill, New York, 1981.
16. Paul Degarmo E, Black J.T, Ronaldo A.Kohser., **Material and Process in Manufacturing**, Prentice Hall International Inc, 1997.

