

INCONEL 600 SÜPER ALAŞIMININ TORNALANMASINDA İŞLEME PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

Abdullah ALTIN

Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu 65100 Van, Türkiye
aaltin@yyu.edu.tr

(Geliş/Received: 24.09.2013; Kabul/Accepted: 30.10.2013)

ÖZET

Bu çalışmada Taguchi metodu esas alınarak kesici takım kaplama malzemesinin ve kesme hızının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Teğet kesme kuvveti (F_z), asıl kesme kuvveti olarak kabul edilmiş ve kriter olarak alınmıştır. İşleme parametrelerinin etkileri L_{18} Taguchi deney tertibi ile araştırılmıştır. Optimum kesme şartları, "daha küçük daha iyidir" yaklaşımına göre kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü için sinyal-gürültü (S/N) oranı hesaplanarak tespit edilmiştir. Varyans (ANOVA) analizi ve sinyal-gürültü (S/N) oranı sonuçları kullanılarak parametrelerin, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri istatistiki olarak araştırılmıştır. Kesme kuvveti F_z (N)'nin üzerinde kesici ve ilerlemenin etkisi daha yüksek iken, ortalama yüzey pürüzlülüğü R_a (μm)'nin üzerinde ilerleme ve kesme hızının etkisi daha yüksek görülmüştür.

Anahtar kelimeler: İşlenebilirlik, Kesme kuvvetleri, Taguchi deneysel tasarımı, inconel 600, Yüzey pürüzlülüğü.

OPTIMIZATION OF TURNING MACHINIG PARAMETERS IN INCONEL 600 SUPER ALLOY

ABSTRACT

In this paper, the effects of cutting tool coating material and cutting speed on cutting forces and surface roughness were investigated on Taguchi experimental design. Main cutting force, F_z is considered to be cutting force as a criterion. The effects of machining parameters were investigated using Taguchi L_{18} orthogonal array. Optimal cutting conditions were determined using the signal-to-noise (S/N) ratio which is calculated for average surface roughness and cutting force according to the "smaller is better" approach. Using results of analysis of variance (ANOVA) and signal-to-noise (S/N) ratio, effects of parameters on both average surface roughness and cutting forces were statistically investigated. It has seen that while cutting tool and feed rate has higher effect on average surface roughness.

Keywords: Machinability, Cutting forces, Taguchi design of experiments, Inconel 600, Surface roughness,

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Nikel esaslı süper alaşımlar, ısıya dayanıklılığı ile yüksek sıcaklıklarda çalışma özelliğinden ötürü uçak, uzay ve nükleer endüstrisinin büyük ilgisini çekmektedir [1,2]. Inconel 600, mükemmel mekanik özellikleri, korozyona karşı direnci ile havacılık alanında yüksek sıcaklıklara dayanması gereken çeşitli uçak gövde ve motor aksamının üretiminde kullanılmaktadır. Miknatıslanmaz ve bir çok aşındırıcı ortama çok dayanıklıdır [3-6]. Inconel 600, nükleer reaktör için standart bir malzeme olup çok yüksek sıcaklıklarda bile mükemmel dayanıma sahiptir [7,8-

12]. Kolay kaynak yapılabilir, klorin iyon gerilim korozyonu çatlamasına uğramaz. Ancak düşük termal iletkenliği ve kesme kuvvetine olan yüksek mukavemeti nedeniyle kesme kenarında oluşan yoğun ısıdan ötürü, işlenmesi halen zor görülmektedir. Çeliklerle ya da paslanmaz çeliklerle karşılaştırıldıklarında süper alaşım malzemelerinin işlenebilirliği daha zordur [13]. Talaş kaldırma parametreleri, seçilecek torna tezgâhı ve kesici takım seçimi, malzemelerin işlenebilirliği için önemlidir. İş parçası yüzeyi, kesici takım geometrisi, ilerleme oranı ve diğer parametrelere bağlı olarak şekillenir [14]. Kesici takım ve iş parçası malzemesi, talaş

kaldırma ortamı ve takım tezgahı, talaşlı imalat yöntemi, kesme koşulları, iş parçasının yüzey kalitesi ve imalat maliyeti gibi faktörlerin tamamı talaşlı işlenebilirliği belirleyen faktörlerdir [15,16]. Uygun olmayan şartlarda süper alaşımı işlemek aşırı derecede zordur. İşlenmekte iken genellikle TiN ve TiC gibi titanyum esaslı kaplamalar oldukça verimlidir. Bu çalışmada kesici takım kaplama malzemesi, kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etki oranları ANOVA analizleri yapılarak tespit edilmiştir.

2. MALZEME VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Tornalama deneyleri, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği araştırma atelyesinde

Tablo 1. Inconel 600'ün kimyasal bileşimi. (Chemical composition of Inconel 600)

Ni+ Co	Cr	Fe	C	Mn	Si	Cu	S	Silikon
%72	%17,50	%8,23	%0,15	%1	%0,10	%0,50	%0,015	%0,50

Tablo 2. Inconel 600'ün mekanik Özellikleri (Mechanical properties of Inconel 600)

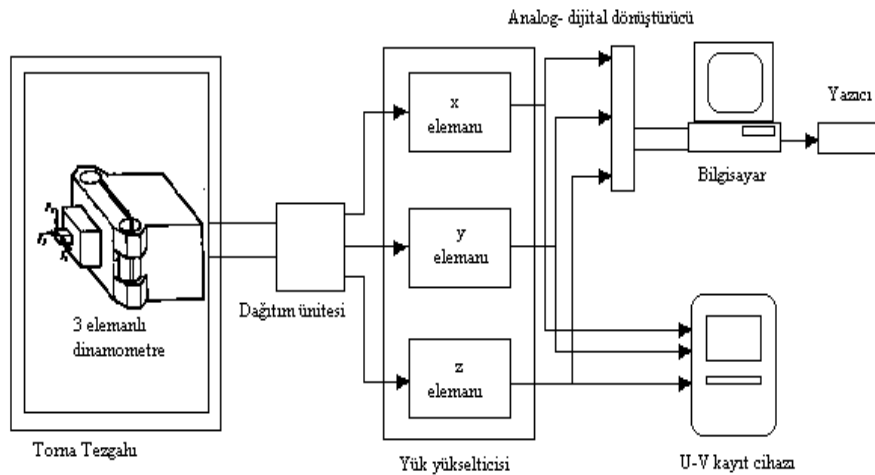
Isıl iletkenlik (W/mK)	Çalışma sıcaklığı °C	Sertliği HRB	Akma Gerilmesi (MPa)	%Uzama(5do)	Çekme gerilmesi (MPa)
9,8	1095	65-85	758	60-30	880

Tablo3. Kesici takım özellikleri (Cutting tool features)

Üst kaplama ve kesici takım kodu	Kaplama metodu Kaplama cinsi	Malzemenin ISO kalitesi	Geometrik şekil kodu	Üretici firma
TiN KC9240	CVD (TiN, AL2O3, TiCN, TiN, Wc)	P25-P40,M20-M30	CNMG120412R	Kennametal
TiN KT315	PVD (TiN, TiCN, TiN, Wc)	P25-40,M20-M30	CNMG120412FN	Kennametal
WC-CO K313	Kaplamasız	P25-P40,M20-M30	CNMG120412MS	Kennametal

Tablo 4. Bağımsız değişken seviyeleri (Levels of the independent variable)

Değişkenler	Değişken Seviyeleri			
Kesme hızı, v (m/dak.)	50	65	80	100
İlerleme, f (mm/dev.)	0,1- 0,15	0,1- 0,15	0,1- 0,15	0,1- 0,15
Talaş derinliği da (mm)	1,5	1,5	1,5	1,5



Şekil 1. Kesme kuvvetleri ölçme düzeni ve dinamometre ünitesi (Schematicall view of measurement of cutting forces and dynamometer unit)

Tablo 5. Kesme parametreleri ve seviyeleri (The cutting parameters and levels)

Kontrol Parametreleri		Birimler	seviyeler		
			1	2	3
Kesme hızı	(A)	m/min.	65	80	100
İlerleme oranı	(B)	mm/dev	0,1	0,15	
Kesici takım	(C)		K313	KT315	KC9240

Tablo 6. Ortalama yüzey pürüzlülüğü ve asıl kesme kuvveti deneylerinde elde edilen veriler ve S/N Oranları (Average surface roughness and the data obtained from actual experiments main force and the S / N ratio.)

İlerleme (mm/dev.)	Kesme hızı (m/min)	Kesici takım	Ortalama yüzey pürüzlülüğü Ra, (µm)	Asıl kesme kuvveti, Fz (N)	Ra için S/N oranı	Fz için S/N oranı
0,10	60	K313	0,54	672	5,352	-56,547
0,10	60	KT315	0,597	455	4,480	-53,160
0,10	60	KC9240	0,236	505	12,541	-54,065
0,10	85	K313	0,277	691	11,150	-56,789
0,10	85	KT315	0,272	434	11,308	-52,749
0,10	85	KC9240	0,26	508	11,700	-54,117
0,10	100	K313	0,242	481	12,323	-53,642
0,10	100	KT315	0,179	404	14,942	-52,127
0,10	100	KC9240	0,266	483	11,502	-53,678
0,15	60	K313	0,734	765	2,686	-57,673
0,15	60	KT315	0,577	602	4,776	-55,591
0,15	60	KC9240	0,609	691	4,307	-56,789
0,15	85	K313	0,516	655	5,747	-56,324
0,15	85	KT315	0,516	573	5,747	-55,163
0,15	85	KC9240	0,679	555	3,362	-54,885
0,15	100	K313	0,476	637	6,447	-56,082
0,15	100	KT315	0,479	530	6,393	-54,485
0,15	100	KC9240	0,504	632	5,951	-56,014

2.1. Taguchi Metodu ile optimizasyon (The Optimization by Taguchi Metod)

Bu bölümde tornalama parametrelerinin optimizasyonu, kesme kuvvetleri ve Taguchi analizi bakımından gerçekleştirilmiştir. Tornalama kuvvetleri ile ilgili her bir kontrol faktörünün etkisi, önem sırasına göre tespit edilmiştir. Bu amaçla Taguchi analizi bakımından seçilen faktörler ve bu faktörlerin seviyeleri Tablo 5'te, deneylerde elde edilen veriler ve S/N Oranları Tablo 6'da verilmiştir. Taguchi'nin L18 2*1 3*2 karışık tasarımı kullanılmıştır. Endüstride metal işleme uygulamalarında Taguchi yöntemi güvenilir sonuçları vermesinin yanısıra ekonomik maliyeti düşürmesi sebebiyle tercih edilmektedir. Taguchi yöntemi, parametrelerin ürünü ne ölçüde etkilediğinin tespitine yönelik araçları sunmaktadır. Bunun için, ürün ve proses tasarımı gerçekleştirerek prostesteki değişkenliği en aza indirmeye yönelik çözümler oluşturulmaktadır. Bu yöntemde, hedef ürün kalitesini belirlemeye yönelik çalışmalar, üretim başlamadan önce hem ürün hem de proses tasarımı olarak iki aşamada değerlendirilmiştir [18]. Her iki tertip, üç temel aşamayı da kullanmaktadır. Bunlar, sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımıdır. Sistem tasarımı aşamasında, mühendislik ve bilimsel prensipler kullanılarak ürünün beklenen performansı sağlanmasına yönelik prototip üretim yapılır. Parametre tasarım aşaması, üründe

çıkabilecek değişkenliklerin en aza indirilerek imalat ve sonraki kullanım aşamalarında maliyetleri azaltmaya yönelik faaliyetleri içermektedir. Burada amaç farklılık yaratan faktör ve seviyelerin ürün üzerindeki etkisini en aza indirecek tedbirleri almak ve parametreler için en uygun değerlerin seçilmesini sağlamaktır. Tolerans tasarımı aşamasında amaç ürün için belirlenen kalite hedefine ulaşma yönünde seçilen her bir parametrenin nominal değer etrafındaki tolerans değerlerini belirlemektir. Ürünün hedef değerden farklı bir sonuç vermesi durumunda kayıplar tespit edilerek sapmalar hesaplanır. Taguchi kayıp fonksiyonu, beklenen hedef değerle deneysel değer arasındaki sapmadır ve sinyal/gürültü (S/N) oranına dönüştürülerek hesaplanmaktadır [17-19]. S/N oranının hesaplanmasında sıklıkla kullanılan üç farklı karakteristik; anma (nominal) değer en iyi, daha küçük daha iyi ve daha büyük daha iyidir. Bu çalışmada, en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri, en iyi performansı ifade edeceğinden ve literatürde işlenmiş yüzeylerde en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri için daha küçük daha iyi S/N karakteristiği kullanılması sebebiyle analizlerde en az yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti için daha küçük daha iyi S/N karakteristiği kullanılmıştır. Bununla birlikte, deneylerde daha büyük daha iyi S/N karakteristiği de kullanılabilir. Bu kapsamda deneysel

çalışmalarda kullanılacak S/N oranı formülleri aşağıdaki gibidir [19,20].

Anma değeri en iyidir:

$$S / N_T = 10 \log \left(\frac{\bar{y}}{s_y^2} \right) \quad (1)$$

Daha büyük daha iyidir:

$$S / N_L = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (2)$$

En küçük en iyidir:

$$S / N_S = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (3)$$

Burada,

\bar{y} : müşahede edilen veri ortalaması

y_i : müşahede edilen veri değeri (yüzey pürüzlülüğü ya da kesme kuvveti)

n : deney sayısı

Burada amaç S/N oranını maksimize etmektir. Dolayısıyla değerlendirmelerde, her bir parametre için hesaplanan ortalama S/N oranları içinde en büyük S/N oranına sahip seviye, en iyi sonucu belirlemede kullanılmaktadır. Bu çalışmada, en düşük yüzey pürüzlülüğü ve en düşük kesme kuvveti değeri en iyi performansı ifade etmektedir [17]. Parametrelerin her bir seviyesi için ortalama S/N oranının grafiksel gösteriminden yararlanılarak her bir parametre için optimal bir seviye belirlenmektedir. Buna göre, parametrelerin her bir seviyesi için tespit edilen S/N oranı kullanılarak tahmini bir değer hesaplanmaktadır. Tahmini S/N oranı ve çıktı (yüzey pürüzlülüğü ya da kesme kuvveti) değerinin hesaplanmasında 4 numaralı formül kullanılmaktadır.

$$\eta = \eta_m = \sum_{i=1}^n (\eta_i - \eta_m) \quad (4)$$

Burada,

η : Tahmin edilen S/N oranı

η_m : Toplam ortalama S/N oranı

η_i : parametrenin i . seviyesindeki S/N oranı

Bununla birlikte optimal değerler için doğrulama test deneyi yapılmaktadır. Test deneyi sonucunda işlenmiş yüzeyin ölçümünden elde edilen değer ile 4 nolu formülden elde edilen tahmini değer karşılaştırılarak oluşturulan kombinasyonun çıktı üzerindeki performansı kontrol edilebilmektedir.

Genel bir ifadeyle, bir prosesin tasarım aşaması en önemli aşamadır ve doğru sistemin seçilmesi ve kontrol edilebilen proses parametreleri için uygun değerlerin (seviyelerin) belirlenmesi faaliyetlerini

kapsamaktadır. Böylece, ürünü etkileyen ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı kontrol edilebilen faktörlerin değerlerini optimal seçerek üründeki ve prosesdeki değişim en aza indirilebilmektedir [17,19-21].

2.2. Deneyleerin Onayı (Approval tests)

Kesme kuvvetleri ve işleme parametreleri arasında ampirik ilişkiler aşağıdaki gibi üstel şekilde modellenmiştir:

$$e = c1(Fc)c2(Ff)c3(Fr)c4(L)c5(2) \quad (5)$$

Burada e çaptan hatadır. ($_m$), $c1$, $c2$, $c3$, $c4$ ve $c5$ sabitlerdir. Fz asıl kesme (teğet) kuvvet, Ff ilerleme aksiyal/aksiyal kuvvet, Fr radyal kuvvet (N) ve L aynadan olan mesafedir (mm). Taguchi deneysel tasarımının son işlem basamaklarından biri deneylerin doğrulanmasıdır [22]. Bu amaçla deney sonuçları Taguchi metodu ile tahmin edilen değerler ile elde edilen hata oranları karşılaştırılmıştır. S/N oranları aşağıdaki model ile tahmin edilmiş ve asıl kesme kuvveti Fz aşağıdaki model ile hesaplanmıştır [14,22]

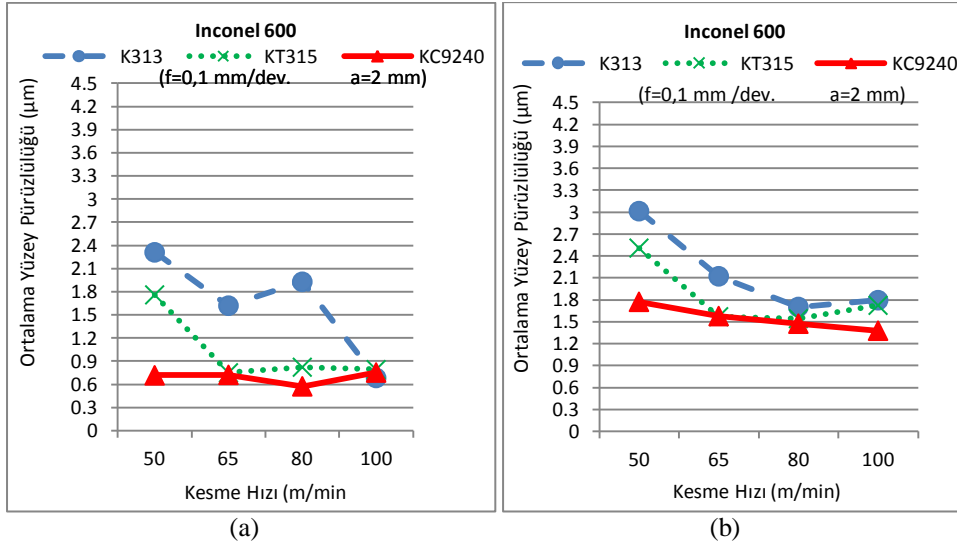
$$\eta_{tahmin} = \eta m + \sum_{i=1}^{kn} (\eta_i - \eta m) \quad (6)$$

Burada Y tahmin S/N oranı ile ilgili olarak asıl kesme kuvveti veya Fz dir.

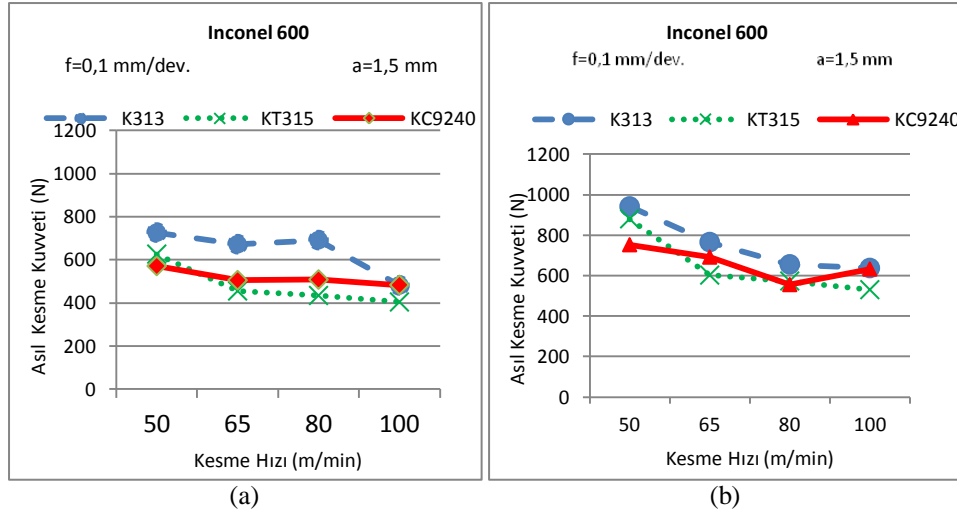
$$Y_{tahmin} = 10^{\frac{-S/N}{20}} \quad (7)$$

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler, parametrelerin çıktı (ortalama yüzey pürüzlülüğü ya da kesme kuvveti) üzerindeki etkilerinin istatistiksel olarak güvenilirliğinin ve farklı seviyelerin nasıl bir değişkenlik meydana getirdiğinin belirlemek için varyans analizi (ANOVA) yapılmaktadır [16,17]. Bu çalışmada, ANOVA analizi için anlamlılık düzeyi %95 ($\alpha=0,05$) olarak seçilmiştir. Bu analiz sonucunda eğer P değeri (olasılık değeri) 0,05'den küçük olursa parametrenin çıktı üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu kabul edilmektedir. Bu çalışmada elde edilen verilerden Şekil 2' (a) ve (b)' ye göre en düşük asıl kesme kuvveti PVD kaplamalı sementit karbür KT 315 ile 100 m/min' lik kesme hızında 404 N, Şekil 3 (a) ve (b)' ye göre en düşük yüzey pürüzlülüğü 80 m/min.' lik kesme hızında 0.576 (μm) olarak KC 9240 CVD kaplamalı karbür takım ile elde edilmiştir. Şekil 3 (b)' ye göre.KC 9240 (0.15 mm/dev. sabit) kesici uçta, kesme hızı 50 m/min' dan 100 m/min' e artarken, ortalama yüzey pürüzlülüğünde %22, asıl kesme kuvvetin de ise %16 'lık bir azalma görülmüştür. Literatürde kesme kuvvetinin azalması malzeme tipi, çalışma durumu ve



Şekil 2. Kesme hızına göre ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi (a) $f=0,1$ mm/dev.'de, (b) $f=0,15$ mm/dev.'de. Değişimi (The change of main cutting force according to average surface roughness (a) $f=0.1$ mm/rev. (b) $f=0.15$ mm/rev.)



Şekil 3. Kesme hızına göre asıl kesme kuvvetinin değişimi (a) $f=0,1$ mm/dev., (b) $f=0,15$ mm/dev. (The change of main cutting force according to cutting speed (a) $f=0.1$ mm/rev., (b) $f=0.15$ mm/rev.)

kesme hızına bağlı olarak değiştiği ifade edilmektedir [15,22].

ANOVA ile parametrelerin değerlendirilmesi (The evaluation of the parameters with ANOVA)

Varyans oranlarının toplam değişkenliğini, işleme parametrelerinin her biri ve hatadan kaynaklanan değişkenlikten ayırmak suretiyle gerçekleştirilir. Ortaya çıkan her faktörün etkisini belirlemek için, asıl kesme kuvveti ve ortalama yüzey pürüzlülüğü için elde edilen Anova sonuçları Tablo 7 ve Tablo 8'de, ortalama yüzey pürüzlülüğü S/N oranları için optimum sonuç ve doğrulama deneyi Tablo 9 da, kesme kuvveti (Fz) S/N oranları için optimum sonuç ve doğrulama deneyi Tablo 10'da, grafiksel dönüşümler ise Şekil 4 ve Şekil 5'te sunulmuştur. Tablo 7'ye göre her faktörün karelerinin toplamının ayrı ayrı hesaplanması sonucu ortaya çıkan

değerlerde, yüzey pürüzlülüğü değerini, sırasıyla kesici takım ve ilerleme oranı % 37,35 ve % 34,02 oranında etkiledikleri, Tablo 8'de ise F'nin en büyük değeri kesme kuvvetini, ilerleme oranı %56,13, kesme hızı faktörü %19,00 ve kesici takım % 01,13 oranında etkiledikleri görülmüştür.

En büyük kesme kuvveti değerinin tespitinde parametrelerin her bir seviyesi için en küçük S/N oranı belirlenmiş ve oluşturulan yeni deney kombinasyonuna göre doğrulama deneyi yapılmıştır. Parametrelerin belirlenen seviyeleri için tahmin edilen ve deney sonucu gerçekleşen S/N oranı ve kesme kuvveti değerleri Tablo 9'da verilmiştir. Doğrulama deneyi için yapılan tornalama işlemi sonrasında ölçülen kesme kuvveti değeri 765 N olarak ölçülmüştür.

Tablo 7. Asıl kesme kuvveti (F_z) S/N oranları için ANOVA sonuçları. (The ANOVA results for the main cutting force (F_z) S/N ratio.)

Parametre	Serbestlik derecesi(Df)	Karelerin toplamı	Karelerin ortalaması	F	Parametre etkisi (%)	P (p<0.05)
İlerleme	1	14,457	14,4571	24,44	34,02	%95
Kesme hızı	2	5,066	2,533	4,28	11,92	
Kesici	2	15,872	7,9361	13,42	37,35	
Hata	12	7,098	0,5915		16,70	
Toplam	17	42,294			100,00	

Tablo 8. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) S/N oranları için ANOVA sonuçları. (The ANOVA results for the main average surface roughness (R_a) S/N ratio)

Parametre	Serbestlik derecesi(Df)	Kareler Toplamı	Kareler ortalaması	F	Parametre etkisi (%)	P (p<0.05)
İlerleme	1	138,24289	138,2429	28,4011	56,13	%95
Kesme hızı	2	46,80772	23,4039	4,8082	19,00	
Kesici	2	2,80624	1,4031	0,2883	01,13	
Hata	12	58,41029	4,8675		23,71	
Toplam	17	246,26714			100,00	

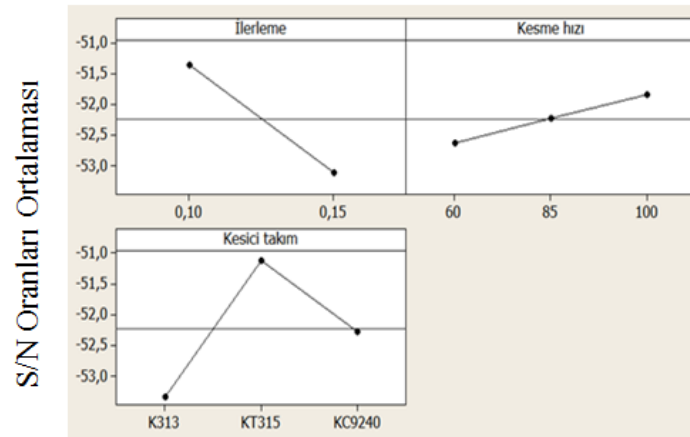
Tablo 9. Kesme kuvveti (F_z) S/N oranları için optimum sonuç ve doğrulama deneyi (Optimum results for the cutting force (F_z) S/N ratio and verification test)

Taguchi Optimizasyonu	Tahmin edilen			Doğrulama deneyi		
Seviye	A1B3C2			A1B3C2		
Kesme şartları	0.10	100	KT315	0.10	100	KT315
Kesme kuvveti (F_z)	780,389			765		
S/N oranı	-57,717			-57,673		

Tablo 10. Ortalama yüzey pürüzlülüğü SN oranları için optimum sonuç ve doğrulama deneyi (Optimum results for the average surface roughness (R_a) S/N ratio and verification test)

Taguchi Optimizasyonu	Tahmin edilen			Doğrulama deneyi		
Seviye	A1B3C3			A1B3C3		
Kesme şartları	0.10	100	KC9240	0.10	100	KC9240
Ortalama yüzey pürüzlülüğü	0,280			0,179		
S/N oranı	11,350			14,942		

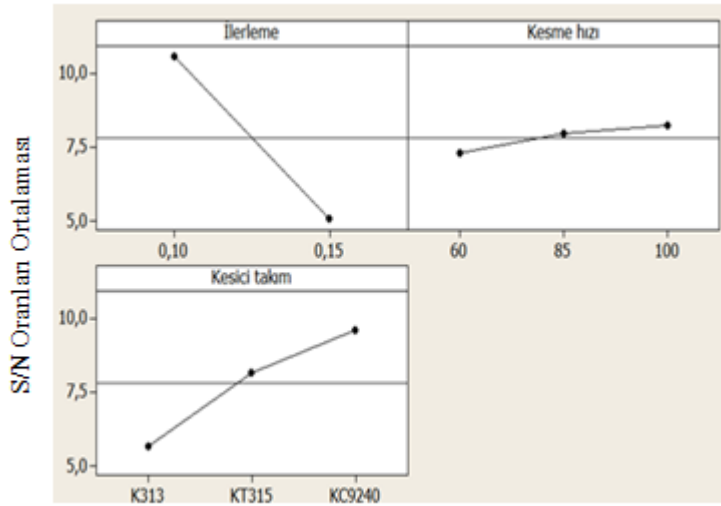
$F_z(N)$ 'e göre



Sinyal-gürültü: En küçük en iyidir.

Şekil 4. İşleme parametrelerinin seviyelerine göre kesme kuvveti (F_z) sinyal-gürültü (S/N) oranları (According to the level of machining parameters cutting force (F_z), the signal-to-noise (S/N) ratio)

Ra (μm)'ya göre



Sinyal-gürültü: En küçük en iyidir.

Şekil 5. İşleme parametrelerinin seviyelerine göre ortalama yüzey pürüzlülüğü sinyal-gürültü (S/N) oranları (The average surface roughness parameters for processing the signal-to-noise level (S / N) ratio)

En küçük ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin tespitinde parametrelerin her bir seviyesi için en büyük S/N oranı belirlenmiş ve oluşturulan yeni deney kombinasyonuna göre doğrulama deneyi yapılmıştır. Parametrelerin belirlenen seviyeleri için tahmin edilen ve deney sonucu gerçekleşen S/N oranı ve ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri Tablo 10'da verilmiştir. Doğrulama deneyi için yapılan tornalama işlemi sonrasında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri 0,179 μm olarak ölçülmüştür. Ölçülen bu değerden daha küçük bir değer deney sırasında elde edilmemiştir

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu makalede, Inconel 600'ün tornalanmasında Taguchi deney tertibi kullanılarak tornalama parametrelerinin optimizasyonu yapılmaya çalışılmıştır. Bu çalışmanın deneysel sonuçları esas alınarak aşağıdaki sonuçlar söylenebilir:

- Taguchi yöntemiyle parametre tertibi, kesme parametrelerinin optimizasyonunda basit, sistematik ve etkin bir metodoloji sağladığı görülmüştür.
- Torna ile işleme deney sonuçları, kesme derinliği ve ilerlemenin ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetini etkileyen üç adet kontrol edilebilir faktör (kesici, kesme hızı, ilerleme) arasında ana parametreler olduğunu göstermiştir. Kesme kuvveti (Fz, N) üzerinde kesici ve ilerlemenin, ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerleme ve kesme hızının daha yüksek etkiye sahip olduğu görülmüştür.
- Inconel 600'ün tornalanmasında daha iyi ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti elde edilmesi, belirtilen parametrelerin test aralığında hemen hemen aynı seviyelerde elde edilmiştir.

- Taguchi ortogonal dizi tertibi, bu makalede tanımlanan kesme kuvveti ve ortalama yüzey pürüzlülüğünü analiz etmek için uygun görülmüştür.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Yazar, finansal destek için BAP 2012-BYO-013 nolu proje ile Yüzüncü Yıl Üniversitesi BAP Başkanlığına teşekkürlerini sunmaktadır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Choudhury I.A. and El-Baradie M.A., Machinability of Nickel Base Superalloy: A General Review, **Journal of Materials Processing Technology**, 77 (1-3), 278-284, 1998.
2. Güllü, A., Karabulut, Ş., (2008). Dynamic Chip Breaker Design For Inconel 718 Using Positive Angle Tool Holder. **Materials Manufacturing Processes**, V. 23 Is.8(852).
3. Ezugwu E.O., Improvements in The Machining of Aero-engine Alloys Using Self-propelled Rotary Tooling Technique, **Journal of Materials Processing Technology**, 185, 60–71, 2007.
4. Jawaid A., et al., Cutting Performance and Wear Characteristics of PVD Coated and Uncoated Carbide Tools In Face Milling Inconel 718 Aerospace Alloy, **Journal of Processing Technology**, 116, 2-9, 2001.
5. Darwish S.M., Machining of Difficult-to-Cut Materials with Bonded Tools, **International Journal of Adhesion and Adhesives**, 20, 279-289, 2000.
6. Ezugwu E.O., Key Improvements in the Machining of Difficult-to-Cut Aerospace Superalloys, **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 45, 1353–1367, 2005.

7. Liu G., et al., Experimental Studies on Machinability of Six Kinds of Nickel-Based Superalloys, **International Journal of Machining and Machinability of Materials**, 1 (3), 287-300, 2006.
8. Ezugwu E.O., et al., An Overview of The Machinability of Aero-engine Alloys, **Journal of Materials Processing Technology**, 134, 233-253, 2003.
9. Alauddin M.A., et al., End Milling Machinability of Inconel 718, **Journal of Engineering Manufacture**, 210, 11-23, 1996.
10. Chen Y.C. and Liao Y.S., Study on Wear Mechanisms in Drilling of Inconel 718 Superalloy, **Journal of Materials Processing Technology**, 140, 269-273, 2003.
11. Ezugwu E.O. and Wang Z.M., Wear of Coated Carbide Tools When Machining Nickel (Inconel 718) and Titanium Base (Ti-6Al-4V) Alloys, **Tribol. Trans.**, 43, 263-268, 2000.
12. Zhao S., et al., Microstructural Stability and Mechanical Properties of A New Nickel-Based Superalloy, **Materials and Engineering A**, 355, 96-105, 2003.
13. R. K. Roy, **A primer on the Taguchi method** / Ranjit K. Roy, Van Nostrand Reinhold, New York, (1990)
14. Demir, H., Gullu, A., Ciftci, I., Seker, U. An Investigation into the Influences of Grain Size and Grinding Forces When Grinding. *Strojniski Vestnik- Journal of Mechanical Engineering*, 7-8(447-454), 2010
15. Ezugwu E.O., Key Improvements in the Machining of Difficult-to-Cut Aerospace Superalloys, **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 45, 1353-1367, 2005.
16. Ezugwu E.O., et al., An Overview of The Machinability of Aero-engine Alloys, **Journal of Materials Processing Technology**, 134, 233-253, 2003.
17. Montgomery DC. **Design and analysis of experiments**. 4th ed. New York: Wiley; 1997.
18. Savaşkan, M., Taptık, Y ve Urgan, M., Deneysel tasarımı yöntemi ile matkap uçlarında performans optimizasyonu, **İTÜ Dergisi**, Cilt 3, no 6, 2004, 117-128
19. Nalbant, M., H. Gokkaya, G. Sur. Application of Taguchi method in the optimization of cutting parameters for surface roughness in turning. **Materials and Design** 28 (2007): 1379-1385
20. Yang H, Tarng Y.S. **Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method**. *J Mater Process*
21. Taskesen A, Kütükde K, Optimization of the Drilling Parameters for The Cutting Forces in B4C-Reinforced AL-7XXX- Series Alloys Based On The Taguchi Method **Materiali in Tehnologije MTAEC9**, 47(2)169(2013)
22. G. Tosun, Statistical analysis of process parameters in drilling of AL/SIC P metal matrix composite, **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 55 (2011) 5-8, 477-485