



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy
2010, Volume: 5, Number: 1, Article Number: 2A0037

TECHNOLOGICAL APPLIED SCIENCES

Received: June 2009

Accepted: January 2010

Series : 1A

ISSN : 1308-7231

© 2010 www.newwsa.com

Ahmet Murat Pınar

Celal Bayar University

ahmet.pinar@bayar.edu.tr

Manisa-Turkey

AA 6013 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ FREZELENMESİNDE ORTALAMA VE TOPLAM YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE GÖRE KESME PARAMETRELERİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Yüzey pürüzlülüğü, imalat sanayindeki en önemli kalite karakteristiklerinden biri olup, ağırlıklı olarak ortalama ve toplam yüzey pürüzlülüğü parametreleri ile değerlendirilmektedir. Çalışmada AA 6013 alüminyum alaşımının frezelenmesinde kesme hızı, ilerleme oranı, işleme deseni ve talaş derinliği işlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri Taguchi metodu kullanılarak belirlenmiştir. Taguchi'ye ait standart L27 ortogonal dizi esas alınarak gerçekleştirilen deneyler varyans analizi (ANOVA) ve ana etkiler grafiği ile %95 güven seviyesinde değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüzey Pürüzlülüğü, Frezeleme, Cep İşleme, Taguchi Deney Tasarımı, ANOVA, AA6013 Alüminyum Alaşımı

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF CUTTING PARAMETERS IN TERMS OF ROUGHNESS AVERAGE AND MAXIMUM HEIGHT OF THE PROFILE IN THE MILLING OF AA6013 ALUMINUM ALLOY

ABSTRACT

Surface roughness is one of most significant quality characteristics in manufacturing industry and is mostly evaluated with roughness average and maximum height of the profile parameters. In the study, the effects of cutting speed, feed rate, machining pattern and dept of cut process parameters in the milling of AA6013 aluminium alloy are determined by using Taguchi method. The experiments conducted based on Taguchi's standard orthogonal array are evaluated with analysis of variance (ANOVA) and main effects plots for a confidence level of 95%.

Keywords: Surface Roughness, Milling, Pocket Machining, Taguchi Experimental Design, ANOVA, AA6013 Aluminium Alloy

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Hacim kalıpcılığı, otomotiv ve havacılık alanlarında daha hassas ve kompleks ürün talebi, işlenebilirlik çalışmalarının en büyük tetikleyicisi olmaktadır. Özellikle yüksek süratli CNC takım tezgâhları, CAD/CAM yazılımlarının getirmiş olduğu esneklik ve kesici takım teknolojisindeki gelişmeler, bu alandaki çalışmaların çok geniş bir yelpazede dağıldığını göstermektedir. Yüksek dayanım/ağırlık oranları, iyi korozyon/yorulma direnci ve yüksek talaş kaldırma oranı avantajlarına sahip alüminyum alaşımları işlenebilirlik çalışmalarının büyük bir kısmını frezeleme operasyonları oluşturmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü talaşlı üretimde en çok kullanılan kalite karakteristiklerinden biri olup, ortalama ve toplam yüzey pürüzlülüğü en yaygın kullanılan pürüzlülük parametreleridir. Bu alandaki çalışmalar, kesme parametrelerinin (kesme hızı, eksenel talaş derinliği, radyal talaş derinliği ve ilerleme oranı), kesici takım geometrisi/malzemesi ve iş parçası malzemesi değişimlerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin incelenmesi üzerine odaklanmıştır. Aşağıda Alüminyum alaşımlarının frezelenmesinin incelendiği en sık kullanılan iki metoda ait çalışmalar sunulmuştur.

Yüzey cevap metodu (YCM) geleneksel full faktöriyel deneysel tasarımıyla karşılaştırıldığında, daha az deney sayısında, faktörlerin etkilerinin de elde edilebildiği 2. derece regresyon eşitliklerine imkân vermektedir. Buna ek olarak, sistemin optimizasyonu da gerçekleştirilebilmektedir.

Whang ve Chang, Al2014-T6 malzemenin kanal açma operasyonlarında, farklı kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme oranı ve talaş derinliği) ve takım geometrisinin (iç bükümlük ve eksenel boşluk açısı) yüzey pürüzlülüğüne etkisini kuru ve ıslak şartlar için YCM ile modellemişlerdir. Islak şartlarda, yüzey pürüzlülüğünün düştüğü ve kuru modelde tüm faktörler anlamlı iken ıslak modelde ilerleme oranı ve iç bükümlük açısının anlamlı olduğu elde edilmiştir [1].

Öktem vd., dış başı ilerleme, kesme hızı, eksenel/radyal talaş derinliği ve işleme toleransı parametrelerinin plastik enjeksiyon kalıbına ait yüzeyin (AA 7075-T6) frezelenmesindeki, etkisini YCM ve genetik algoritma (GA) tekniğini kullanarak değerlendirmişlerdir. GA tekniğinin, kalıp yüzeylerini %10 iyileştirdiğini gözlemlemişlerdir. [2] Erzurumlu ve Öktem aynı deney verilerini kullanıldığı diğer bir çalışmada, YCM ile Yapay sinir ağları (YSA) metodunu karşılaştırmışlar. YCM modelde %2.05'lik maksimum test hatası YSA'da %1.48'lik test hatası değerlerine ulaşmışlardır [3].

Routara vd., 6061-T4 Alüminyum alaşımı, AISI 1040 çelik ve orta kurşunlu pirinç UNSC34000 malzemelerin kimyasal buhar biriktirme tekniği ile kaplanmış karbür düz parmak freze ile işlenmesini YCM ile incelemişlerdir. Kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme oranı faktörlerinin etkilerini 5 yüzey pürüzlülük kriteri için 2.derece regresyon denklemi formunda modellemişler ve sistemin optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir [4].

60'lı yıllarda, Genichi Taguchi tarafından önerilen Taguchi metodu, endüstriyel ürün kalitesinin iyileştirilmesinde ispatlanan başarısından ötürü, yaygın olarak uygulanmaktadır [5, 6 ve 7]. Özellikle düşük deney sayısı, uygulama kolaylığı ve nitel değişkenlerin kolaylıkla değerlendirilebilmesinden ötürü araştırmacıların Taguchi metoduna ilgisi her geçen gün artmaktadır.

Yang ve Chan AA6061 malzemenin frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğünün optimizasyonunu Taguchi metodu ile gerçekleştirmişlerdir. Talaş derinliği, fener mili hızı, ilerleme oranı ve takım çapı parametrelerinin farklı kombinasyonlarında,

Taguchi'nin L18 ortogonal dizisi esas alınarak gerçekleştirilen deneyler, ANOVA ve S/N oranı analizleri ile değerlendirilmiştir. Buna göre takım çapı faktörü dışındaki tüm faktörlerin anlamlı olduğunu ve minimum yüzey pürüzlülüğü veren faktör seviyelerini belirlemişlerdir [8].

Lo vd. AA6061 alüminyum alaşımının frezelenmesinde, ilerleme oranı, talaş derinliği ve takım malzemesi parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini Taguchi yöntemi ile incelemişlerdir. L9 ortogonal dizi temel alınarak toplanan yüzey pürüzlülük verisi ANOVA ve S/N oranı analizleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu veriler ışığında, Talaş derinliğinin %40'luk oranla en dominant etkiye sahip olduğu bu parametreyi, takım malzemesi (%30) ve fener mili hızı (%21) izlemektedir. Buna karşın, ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı olmadığı gözlemlenmiştir [9].

Öktem vd. Al 7075-T6 malzemenin AlTiN kaplı karbür yekpare parmak freze ile işlenmesiyle elde edilen kalıbın yüzey pürüzlülüğünü, istatistiksel olarak incelemişlerdir. Kesme hızı, diş başı ilerleme, radyal/eksenel talaş derinliği ve işleme toleransı faktörlerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri Full faktöriyel ve Taguchi deney tasarım metotları ile analiz edilmiştir. Buna göre, Yüzey pürüzlülüğü 0.96'lık korelasyon katsayısı ile modellenmiş; İşleme toleransının yüzey pürüzlülüğü değişimi üzerindeki en dominant faktör olduğu bu parametreyi anlamlılık sırasına göre radyal talaş derinliği (%2.5), ekstenel talaş derinliği (%1.5), diş başı ilerleme (%0.177) ve kesme hızının (%0.09) izlediği elde edilmiştir [10].

Çalışmada, Son 10 yılda oldukça önem kazanmış Taguchi metodu kullanılarak, AA6013 alüminyum alaşımının kaplamasız sementit karbürle frezelenmesinde, yüzey pürüzlülüğü istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Talaşlı üretimdeki vazgeçilmez kalite karakteristiklerinden biri yüzey kalitesi olup, özellikle amaçlanan yüzeyin elde edilmesi ürünün çalıştığı yere bağlı olarak oldukça önem arz etmektedir. Bu sebeple bunu etkileyen parametrelerin belirlenmesi, amaçlanan yüzey kalitesinin elde edilmesinde oldukça önemlidir.

3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ (SURFACE ROUGHNESS)

Şekil 1'de yüzey pürüzlülüğü ile ilgili önemli parametreler ISO 4287 standardı esas alınarak verilmiştir [11].



Şekil 1. Yüzey pürüzlülüğü ile ilgili önemli parametreler [11]
(Figure 1. Significant parameters related surface roughness)

Orta çizgi: Örnekleme uzunluğu boyunca yüzeye ait girinti ve çıkıntıların alanlarının eşitlendiği elemandır.

R_a (Ortalama yüzey pürüzlülüğü): En sık kullanılan yüzey pürüzlülük parametresidir. Örnekleme uzunluğu boyunca orta çizgiden itibaren gerçekleşen sapmaların aritmetik ortalaması olup, aşağıdaki formülle elde edilmektedir.

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |Z(x)| dx \quad (1)$$

R_q (RMS pürüzlülüğü): Örnekleme uzunluğu boyunca orta çizgiden itibaren gerçekleşen sapmaların geometrik ortalamasıdır ve aşağıdaki formülle elde edilmektedir.

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L Z^2(x) dx} \quad (2)$$

R_t (Toplam yüzey pürüzlülüğü): Örnekleme uzunluğu boyunca en yüksek tepe noktası ile en derin çukur arasında kalan sapma mesafesidir.

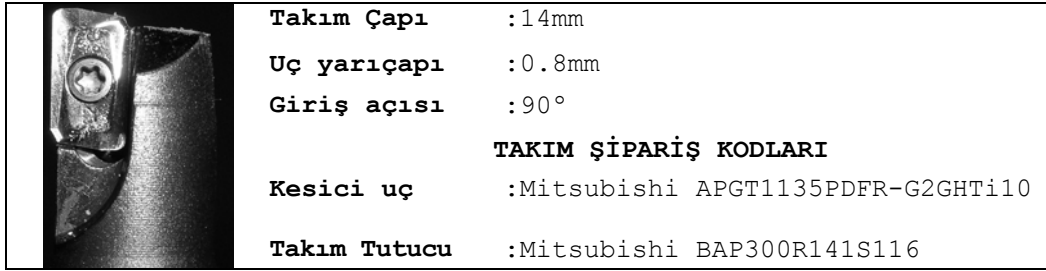
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

AA 6013 alaşımına ait işleme testleri First MCV 300 Dik işleme merkezinde gerçekleştirilmiş olup, Şekil 2'de tezgâha ait özellikler verilmiştir.

FIRST MCV-300	
Tabla	
İş Tablası Ebatları	:700x308mm
Tabla Yüğü	:350kg
Eksenler	
X Eksen Hareketi	:610mm
Y Eksen Hareketi	:305mm
Z Eksen Hareketi	:460mm
Eksen Motorlarının Güçleri (X,Y,Z)	:1.2,1.8 ve 1,8 kw
Seri Hareket Hızları (X,Y,Z)	:20, 20 ve 18m/dak
Kesme Hareket Hızı	:10m/dak
Mağazin ve Takımlar	
Takım Sayısı	:10
Maksimum Takım Çapı	:Ø80mm
Maksimum Takım Çapı	:Ø100mm
Maksimum Takım Ağırlığı	:8kg
Maksimum Takım Boyu	:300mm
Fener mili	
Fener Mili Koniği	:BT 40
Fener Mili Devri	:8000rpm
Fener Mili Motor Gücü	:5.5 kw

Şekil 2. Deneylerde kullanılan takım tezgahına ait özellikler
(Figure 2. Properties of the machine tool used in the experiments)

60x60x30mm'lik ölçülerdeki numunelerin frezelenmesinde, tek uçlu kaplamasız sementit karbür parmak freze kullanılmıştır. Şekil 3'de takım tutucu ve kesici uca ait detaylar verilmektedir. Soğutma sıvısı olarak Ecocool 2030 marka %5 su-yağ emülsiyonu kullanılmıştır.



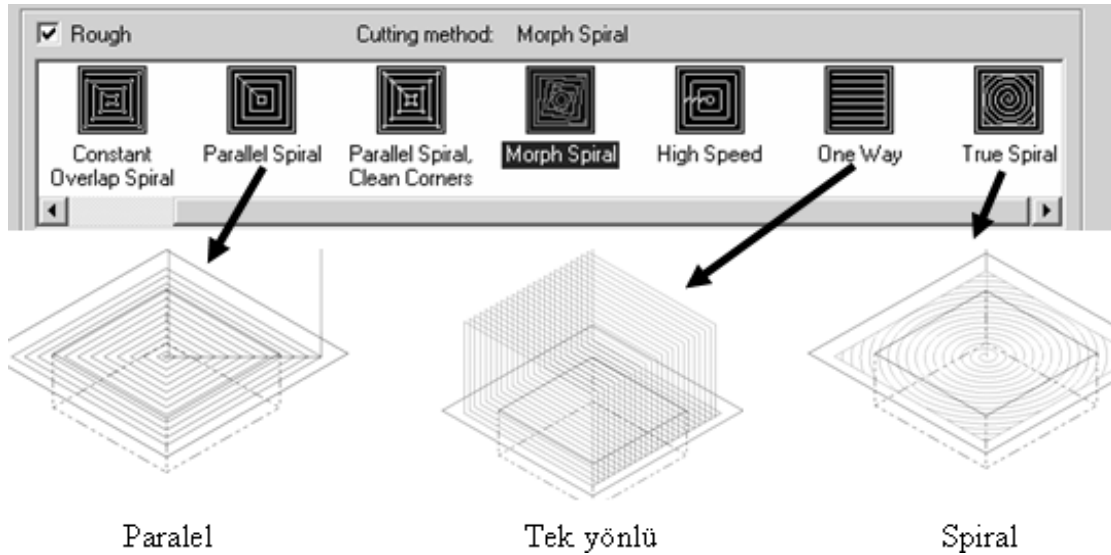
Şekil 3. Takım tutucu ve kesici uca ait detaylar
(Figure 3. The details about tool holder and insert)

İşleme parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme oranı, işleme deseni ve talaş derinliği parametrelerinin ortalama ve toplam yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiş olup, Tablo 1'de seçilen işleme parametreleri (faktörler) ve bunlara ait seviyeler görülmektedir.

Tablo 1. Seçilen işlem parametreleri ve seviyeleri
(Table 1. Chosen process parameters and their levels)

Kontrol Faktörleri	Birimler	Seviyeler		
		1	2	3
Kesme hızı (A)	m/dk	100	200	300
İlerleme oranı (B)	mm/dk	150	675	1200
İşleme deseni (C)	-	Tek yönlü	Paralel	Spiral
Talaş derinliği (D)	mm	1	1.75	2.5

İşleme deseni olarak cep unsurların işlenmesinde en sık kullanılan tek yönlü, paralel ve spiral takım yolu stratejileri seçilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Deneylerde kullanılan işleme desenleri
(Figure 4. Machining patterns employed in the experiments)

İşlenebilirlik deneylerine ait parça programları, MasterCAM versiyon 10 CAD/CAM yazılımına ait 2½B cep işleme modunda oluşturulmuştur. Tüm deneylerde yana kayma mesafesi (radyal talaş derinliği) 3.5mm olarak alınmış ve zıt yönlü frezeleme tipi seçilmiştir.

Numunelere ait yüzey pürüzlülüğü izleyici uç (stylus) prensibine dayalı MİTUTOYO SURF TEST SJ-301 profilometre ile ölçülmüş olup, istatistiksel analizlerde bağımlı değişken (response) olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a , μm) ve toplam yüzey pürüzlülüğü (R_t , μm) kullanılmıştır. Ölçmelerde ölçme uzunluğu 5mm, Range özelliği otomatik ve filtre olarak "gauss" seçilmiştir. Her bir numuneye ait ortalama yüzey pürüzlülüğü ve toplam yüzey pürüzlülük değerleri 3'er kez tekrar edilmiş ve istatistiksel analizlerde bunlara ait aritmetik ortalama değerleri kullanılmıştır.

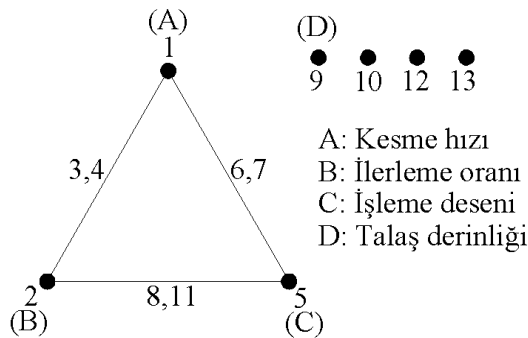
4.1. Taguchi Metodu ve Deney Planı (Taguchi Method and Experimental Plan)

Deney tasarımı teorisi ve kalite kaybı fonksiyonu konsepti birleştirilerek geliştirilen metot, düşük deney sayısı ve kullanım kolaylığı ile oldukça geniş bir şekilde kullanılmaktadır [12-17]. Metot, özellikle yüzey cevap metodunun kullanılmadığı nitel değişkenlerin bulunduğu deney sistemlerinde oldukça başarılıdır. Bu deney tasarımı işlemi 3 ana safhadan oluşmaktadır: Planlama fazı, uygulama fazı ve analiz yorumlama fazı. Planlama fazı, maksimum önemin verilmesi gereken en önemli fazdır. Tüm deneylerden toplanan veriler çeşitli tasarım parametrelerinin etkilerini belirlemek için analiz edilir. Bu yaklaşım, fraksiyonel faktöriyel yaklaşımı uygulamaktadır ve bu ortogonal dizilerin kullanımı ile gerçekleştirilmektedir [18]. Ortogonal diziler, Taguchi metodu ile standartlaştırılmış olup, bunlara ait serbestlik derecesi (SD) deney sisteminin serbestlik derecesinden büyük ya da eşit olmalıdır. Deney sisteminin serbestlik derecesi, faktör seviye ve etkileşim sayısına göre belirlenmektedir [8]. İlgili faktöre ait serbestlik derecesi o faktöre ait seviye sayısı-1 olarak belirlenmektedir. Buna göre 4 faktör olduğuna göre, faktörlere ait serbestlik derecesi $4 \times 2 = 8$ dir. Etkileşimlerde ise, etkileşimi oluşturan faktörlere ait serbestlik dereceleri çarpılarak serbestlik derecesi hesaplanır. Buna göre 3 adet etkileşim olduğuna göre, bunlara ait serbestlik derecesi $3 \times 4 = 12$ dir. Toplamda, $8 + 12$ olmak üzere, sistemin serbestlik derecesi 20 dir. Bu veriler ışığında, 26 serbestlik dereceli, 13 sütun ve 27 satırdan oluşan L27 ortogonal dizi seçilmiştir (Tablo 2). Buna ait satırlar, 27 adet testi içeren deney planımızı oluştururken, sütunlara da faktör ve etkileşimler atanmaktadır.

Tablo 2. Deney sisteminde kullanılan L27 ortogonal dizi
 (Table 2. L27 Orthogonal array employed in the experiment)

Deney no	Sütun no												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	A	B	AXB	AXB	C	AXC	AXC	BXC	D	-	BXC	-	-
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2

Ortogonal dizilere faktör ve etkileşimlerin atanmasında, en sık başvurulan yöntem lineer grafik yöntemidir. Şekil 5’de lineer grafik yöntemiyle faktör ve etkileşimlerin diziyeye atanması görülmektedir. Buna göre Kesme hızı dizinin birinci, ilerleme oranı ikinci, işleme deseni beşinci ve ikili etkileşimlerde kalan sütunlara atanmıştır.



Şekil 5. Faktör ve etkileşimlerin, ortogonal dizinin sütunlarına lineer grafik yöntemiyle atanması

(Figure 5. Assigning of the factors and interactions to the orthogonal array through linear graph method)

5. DENEYSEL SONUÇLAR VE İSTATİSTİKSEL ANALİZ (EXPERIMENTAL RESULTS AND STATISTICAL ANALYSIS)

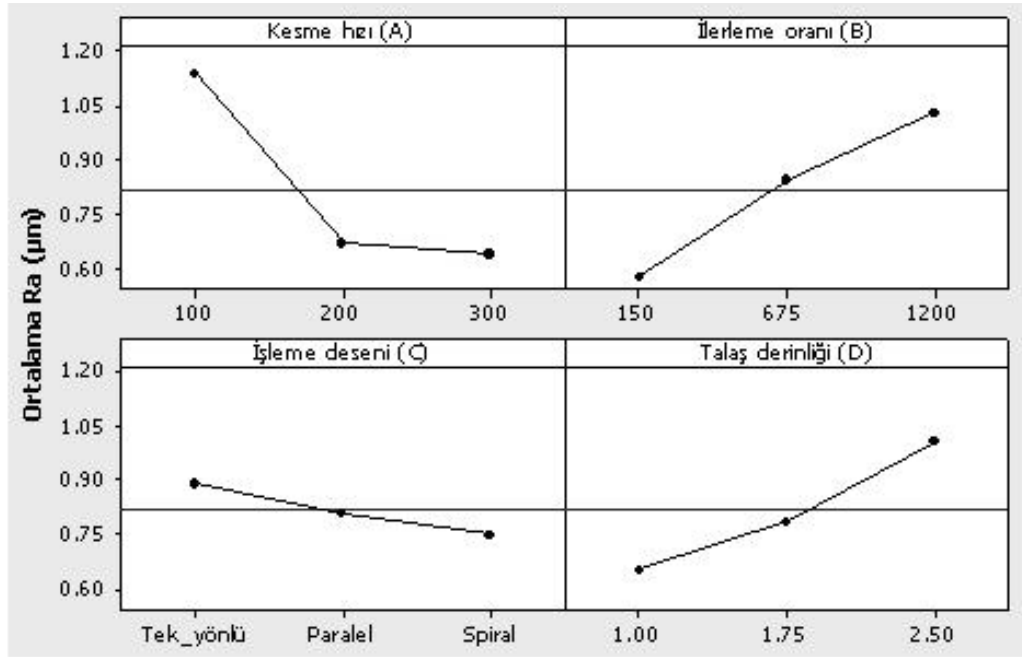
Tüm istatistiksel analizler, %95 güven seviyesinde, Minitab istatistik paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tablo 3'de, L27 deney planı esas alınarak yapılan ortalama ve toplam yüzey pürüzlülüğü ölçümleri ve bunlara ait ortalamalar verilmiştir.

Tablo 3. Deneysel sonuçlar ve bunlara ait ortalamalar)
(Table 3. Experimental results and their means)

Deney no	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)				Toplam yüzey pürüzlülüğü (Rt)			
	Ra ₁	Ra ₂	Ra ₃	Ra _{ort}	Rt ₁	Rt ₂	Rt ₃	Rt _{ort}
1	0.570	0.620	0.750	0.647	5.270	5.720	9.680	6.890
2	0.760	0.670	0.650	0.693	6.530	5.970	5.290	5.930
3	0.630	0.440	0.460	0.510	4.500	4.850	3.060	4.137
4	1.220	0.860	1.120	1.067	6.010	5.120	7.460	6.197
5	1.350	1.760	1.980	1.697	10.630	8.960	12.810	10.800
6	0.900	0.810	0.750	0.820	5.300	6.600	5.450	5.783
7	2.700	2.370	2.380	2.483	25.000	16.400	14.840	18.747
8	0.850	0.870	0.950	0.890	6.460	6.000	6.640	6.367
9	1.390	1.730	1.320	1.480	11.100	10.980	9.410	10.497
10	0.560	0.550	0.550	0.553	4.750	4.600	4.990	4.780
11	0.580	0.600	0.530	0.570	4.710	4.800	4.630	4.713
12	0.530	0.530	0.540	0.533	4.400	4.740	4.730	4.623
13	0.770	0.860	0.850	0.827	4.960	5.130	5.750	5.280
14	0.580	0.630	0.640	0.617	4.840	4.740	5.060	4.880
15	0.740	0.650	0.740	0.710	6.660	5.680	4.900	5.747
16	0.730	0.610	0.610	0.650	5.220	5.680	5.250	5.383
17	0.620	0.800	0.750	0.723	5.350	5.560	4.530	5.147
18	0.870	0.900	0.850	0.873	5.800	5.960	5.740	5.833
19	0.570	0.610	0.570	0.583	4.620	4.780	4.450	4.617
20	0.530	0.550	0.570	0.550	4.800	4.850	4.890	4.847
21	0.550	0.550	0.550	0.550	4.620	4.580	4.600	4.600
22	0.610	0.510	0.570	0.563	5.240	4.240	4.820	4.767
23	0.630	0.690	0.670	0.663	5.320	5.310	4.840	5.157
24	0.660	0.690	0.650	0.667	5.690	5.610	5.240	5.513
25	0.660	0.650	0.760	0.690	5.660	4.270	5.870	5.267
26	0.850	0.920	0.880	0.883	6.490	5.830	5.980	6.100
27	0.690	0.610	0.610	0.637	5.270	5.490	5.170	5.310

5.1. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (Roughness Average)

Ortalama yüzey pürüzlülüğü, faktörlere ait ana etkiler grafiği ve ANOVA ile değerlendirilmiştir. Şekil 6'da faktörlere ait ana etkiler grafiği görülmektedir.



Seviye	Kesme hızı (A)	İlerleme oranı (B)	İşleme deseni (C)	Talaş derinliği (D)
1	1.1430	0.5767	0.8959	0.6563
2	0.6730	0.8478	0.8096	0.7922
3	0.6430	1.0344	0.7533	1.0104
Fark	0.5000	0.4578	0.1426	0.3541
Derece	1	2	4	3

Şekil 6. Ra (µm) için ana etkiler grafiği
(Figure 6. Main effects plot for Ra)

Şekil 6'ya göre, ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile ters, ilerleme oranı ve talaş derinliği ile doğru orantılı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Şekil 6'da, her bir faktör için ortalama Ra değerleri verilmiştir. Buna göre, tüm işlem parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı olduğu gözlemlenmiştir. Paralel ve tek yönlü işleme desenlerinde sırasıyla %7.47 ve %18.93'lük artış gözlemlenmiştir.

ANOVA, faktörlerin ve bunlara ait etkileşimlerin kalite karakteristiği üzerinde anlamlılıklarını ve bunların derecelerini belirleyen genel bir istatistikî araçtır. ANOVA'da, ilgili işlem parametresine ait varyansın hatanın varyansına oranı F değeri olarak adlandırılmakta olup, parametrenin bağımlı değişken üzerinde anlamlı olup olmadığının belli güven seviyesinde belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu işlem parametre için elde edilen F değerinin standart F tablo değeri ($F_{0.05}$) ile karşılaştırılması ile gerçekleştirilmektedir. Şayet F değeri $F_{0.05}$ 'den büyük ise parametre anlamlı kabul edilmektedir. Buna göre, tüm işlem parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı olduğu gözlemlenmiştir. Kesme hızının %29.12'lik oranla pürüzlülük üzerinde en anlamlı etkiye sahiptir. Bu parametreyi anlamlılık sırasına göre, ilerleme oranı (%19.63), kesme hızı-ilerleme oranı (%13.9), talaş derinliği (%11.82), ilerleme oranı-işleme deseni (%6.62), kesme hızı-işleme deseni (%5.35) ve işleme deseni (%1.92) faktör ve etkileşimleri izlemektedir.

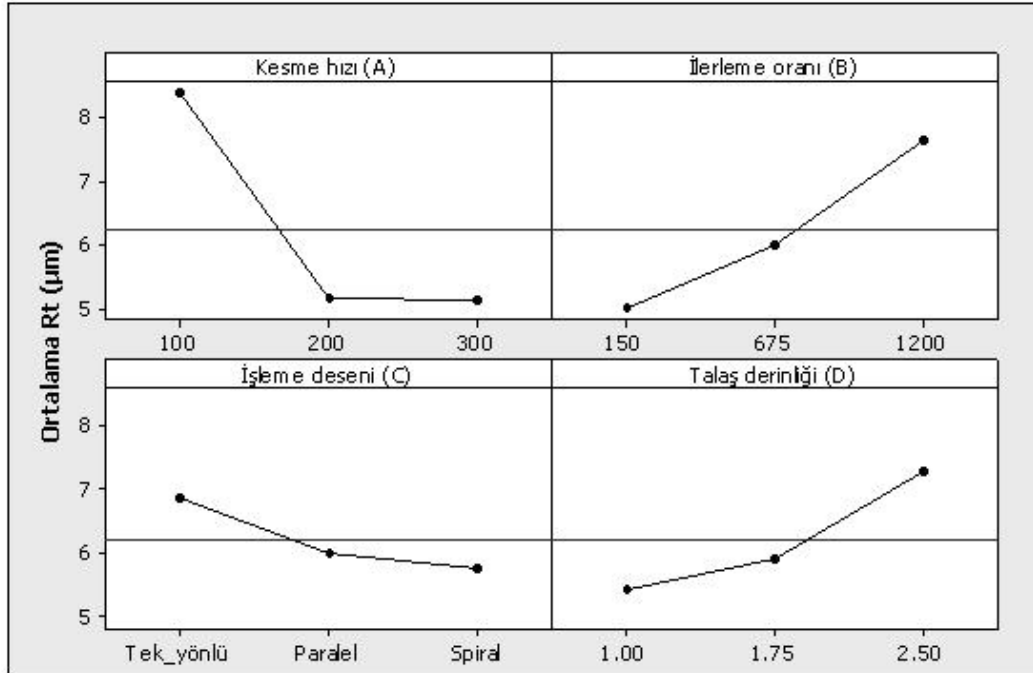
Tablo 4. Ra için ANOVA sonuçları
(Table 4. ANOVA results for Ra)

Kaynaklar	SD	KT	V	F	F _{0.05}	%P
Kesme hızı (A)	2	1.41540	0.70770	75	3.15	29.12
İlerleme oranı (B)	2	0.95372	0.47686	50.5	3.15	19.63
İşleme deseni (C)	2	0.09285	0.04642	4.9	3.15	1.92
Talaş derinliği (D)	2	0.57430	0.28715	30.4	3.15	11.82
AxB	4	0.67546	0.16886	17.9	2.53	13.9
AxC	4	0.26001	0.06500	6.9	2.53	5.35
BxC	4	0.32156	0.08039	8.5	2.53	6.62
Hata	60	0.56609	0.09435			11.64
Toplam	80	4.85939				100

SD:Serbestlik derecesi, KT:Kareler toplamı, V:Varyans,
%P: Yüzde dağılım

5.2. Toplam Yüzey Pürüzlülüğü (Maximum Height of the Profile)

Toplam yüzey pürüzlülüğü faktörlere ait ana etkiler grafiği ve ANOVA ile değerlendirilmiştir. Şekil 7'de faktörlere ait ana etkiler grafiği görülmektedir.



Seviye	Kesme hızı (A)	İlerleme oranı (B)	İşleme deseni (C)	Talaş derinliği (D)
1	8.372	5.015	6.881	5.428
2	5.154	6.014	5.993	5.924
3	5.131	7.628	5.783	7.304
Fark	3.241	2.613	1.098	1.877
Derece	1	2	4	3

Şekil 7. Rt (µm) için ana etkiler grafiği
(Figure 7. Main effects plot for Rt)

Buna göre Rt'nin ilerleme oranı ve talaş derinliği ile doğru orantılı olarak değiştiği; Kesme hızının 1. seviyesinde yüzey pürüzlülüğünün oldukça arttığı 2. ve 3. seviyelerde pürüzlülüğün keskin bir şekilde düşüş gösterdiği ancak bu seviyelerde çok

değişmediği görülmüştür. Şekil 7'de, ana etkiler grafiğinin alt kısmında faktörlere ait ortalama Rt değerleri verilmiştir. Buna göre spiral işleme deseninde en düşük ortalama Rt (5.783µm) elde edilmiştir. Paralel ve tek yönlü işleme desenlerinde sırasıyla %3.631 ve %18.99'lük artış gözlemlenmiştir.

Tablo 5'de toplam yüzey pürüzlülüğü için ANOVA sonuçları verilmiştir. Buna göre, tüm işlem parametrelerinin toplam yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı olduğu görülmektedir. Kesme hızının toplam yüzey pürüzlülüğünün değişimi üzerinde en büyük etkiye sahiptir (%27.73). Bunu Kesme hızı-ilerleme oranı (%13.97), ilerleme oranı (%13.86), ilerleme oranı-işleme deseni (%10.35), kesme hızı-işleme deseni (%8.14), talaş derinliği (%7.54) ve işleme deseni (%2.72) faktör ve etkileşimleri izlemektedir.

Tablo 5. Rt için ANOVA sonuçları
(Table 5. ANOVA results for Rt)

Kaynaklar	SD	KT	V	F	F _{0.05}	%P
Kesme hızı (A)	2	62.578	31.289	53	3.15	27.73
İlerleme oranı (B)	2	31.284	15.642	26.5	3.15	13.86
İşleme deseni (C)	2	6.113	3.057	5.2	3.15	2.71
Talaş derinliği (D)	2	17.019	8.509	14.4	3.15	7.54
AxB	4	31.514	7.879	13.3	2.53	13.97
AxC	4	18.357	4.589	7.8	2.53	8.14
BxC	4	23.341	5.835	9.9	2.53	10.35
Hata	60	35.435	0.591			15.70
Toplam	80	225.642				100

SD:Serbestlik derecesi, KT:Kareler toplamı, V:Varyans,
%P: Yüzde dağılım

6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Sunulan çalışmada, AA6013 alüminyum alaşımının frezelenmesinde, kesme hızı, ilerleme oranı, işleme deseni ve talaş derinliği işlem parametrelerinin ortalama ve toplam yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri Taguchi deney tasarım metodu yardımıyla değerlendirilmiştir.

Buna göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

6.1. Ra'ya Ait Sonuçlar (Conclusions About Ra)

- Ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile ters, ilerleme oranı ve talaş derinliği ile doğru orantılı olarak değiştiği belirlenmiştir. En düşük pürüzlülük ortalamaları, spiral işleme deseni ile elde edilmiş olup, Paralel ve tek yönlü işleme desenlerinde sırasıyla %7.47 ve %18.93'lük artış gözlemlenmiştir.
- Varyans analizine göre %95 güven seviyesinde tüm işlem parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı olduğu elde edilmiştir.
- Kesme hızının %29.12'lik oranla pürüzlülük değişiminde en anlamlı faktör olduğu Bu parametreyi anlamlılık sırasına göre, ilerleme oranı (%19.63), kesme hızı-ilerleme oranı (%13.9), talaş derinliği (%11.82), ilerleme oranı-işleme deseni (%6.62), kesme hızı-işleme deseni (%5.35) ve işleme deseni (%1.92) faktör ve etkileşimleri izlemektedir.

6.2. Rt'ye Ait Sonuçlar (Conclusions About Rt)

- Toplam yüzey pürüzlülüğünün ilerleme oranı ve talaş derinliği ile doğru orantılı olarak değiştiği; Kesme hızının 1. seviyesinde yüzey pürüzlülüğünün oldukça arttığı 2. ve 3. seviyelerde pürüzlülüğün keskin bir şekilde düşüş gösterdiği ancak bu seviyelerde çok değişmediği görülmüştür. Spiral işleme deseninde en düşük ortalama Rt elde edilirken. Paralel ve tek yönlü işleme desenlerinde sırasıyla %3.631 ve %18.99'lük artış elde edilmiştir.
- Yapılan varyans analizine göre tüm işlem parametrelerinin toplam yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı olduğu gözlemlenmiştir.
- Kesme hızı toplam yüzey pürüzlülüğünün değişimi üzerinde en büyük etkiye sahiptir(%27.73). Bunu Kesme hızı-ilerleme oranı (%13.97), ilerleme oranı (%13.86), ilerleme oranı-işleme deseni (%10.35), kesme hızı-işleme deseni (%8.14), talaş derinliği (%7.54) ve işleme deseni (%2.72) faktör ve etkileşimleri izlemektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Çalışma, Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Biriminin MÜH 2008-011 no'lu projeye sağladığı finansal destek ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca takım ve soğutma sıvısı seçimi konusundaki desteklerinden dolayı Ercüment PEKZORLU'ya teşekkürü bir borç bilirim.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Wang, M.Y. and Chang, H.Y., (2004). Experimental Study of Surface Roughness in Slot End Milling Al2014-T6. International Journal of Machine Tools & Manufacture, Volume:44, pp:51-57.
2. Öktem, H., Erzurumlu, T., and Kurtaran, H., (2005). Application of Response Surface Methodology in the Optimization of Cutting Conditions for Surface Roughness. J. Mater. Process. Tech., Volume:170, pp:11-16.
3. Erzurumlu, T. and Öktem, H., (2007). Comparison of Response Surface Model with Neural Network in Determining the Surface Quality of Moulded Parts. Materials & Design, Volume:28, pp:459-465.
4. Routara, B.C., Bandyopadhyay, A., and Sahoo, P., (2009). Roughness Modeling and Optimization in CNC End Milling Using Response Surface Method: Effect of Workpiece Material Variation. International Journal of Advanced. Manufacturing Technology, Volume:40, pp:1166-1180.
5. Taguchi, G. Elsayed, E.A., and Hsiang, T., (1989). Quality Engineering in Production Systems. McGraw-Hill, New York.
6. Chang, C. and Kuo, C., (2007). Evaluation of Surface Roughness in Laser-Assisted Machining of Aluminium Oxide Ceramics with Taguchi Method. International Journal of Machine Tools & Manufacture, Volume:47, pp:141-147.
7. Öktem, H., Erzurumlu, T., and Çöl, M., (2006). A Study of the Taguchi Optimization Method for Surface Roughness in Finish Milling of Mold Surfaces. International Journal of Advanced. Manufacturing Technology, Volume:28, pp:694-700.
8. Pınar, A.M. ve Güllü, A., (2009). Bir Hidrolik Pozisyonlama Sisteminde Piston Çapı, İlerleme Oranı, Yön ve Eksen Parametrelerinin Optimum Seviyelerinin Belirlenmesi. e-Journal of New World Sciences Academy, Volume: 4, Number: 3, pp:252-262.



9. Yang, J.L. and Chen, J.C., (2001). A Systematic Approach for Identifying Optimum Surface Roughness Performance in End Milling Operations. *Journal of Industrial Technology*, , Volume:17, Number:2, pp:1-8.
10. Lo, S.P., Chiu, J.T., and Lin, H.Y., (2005). Rapid Measurement of Surface Roughness for Face-Milling Aluminum Using Laser Scattering and the Taguchi Method. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Volume:26, pp:1071-1077.
11. ISO 4287, (1997). Geometrical Product Specification (GPS)– Surface texture: Profile method–Terms, definitions and surface texture.
12. Tsao, C.C. and Hocheng, H., (2004). Taguchi analysis of delamination associated with various drill bits in drilling of composite material. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Volume:44, Number:10, pp:1085-1090.
13. Taguchi, G., Elsayed, E.A., and Hsaing, T., (1989). *Quality Engineering in Production Systems*. McGraw-Hill, New York.
14. Park, S.H., (1996). *Robust Design and Analysis for Quality Engineering*. Chapman & Hall, New Jersey.
15. Ugo, E.E., Sherif, E.A., and Chukwujekwu, O.A., (2001). An approach for development of damage-free drilling of carbon fiber reinforced thermosets. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Volume:41, Number:12, pp:1795-1814.
16. Davim, J.P., Reis, P., and Antonio, C.C., (2004). Experimental study of drilling glass fiber reinforced plastics (GFRP) manufactured by hand lay-up. *Composites Science and Technology*, Volume:64, pp:289-297.
17. Tsao C.C., (2008). Investigation into the effects of drilling parameters on delamination by various step-core drills. *Journal of Materials Processing Technology*, Volume:206, pp:405-411.
18. Basavarajappa, S.G., Chandramohan, J., and Davim, P., (2007). Application of Taguchi techniques to study dry sliding wear behaviour of metal matrix composites. *Materials & Design*, Volume:28, pp:1393-1398.