

AA5083-H36 Malzemesinin Farklı Soğutma Ortamlarında Frezelenmesinde Çapak Oluşumunun İncelenmesi

Ahmet Murat Pınar^{1*}, Serhat Filiz²

^{1*} Celal Bayar Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü, Tel: +90 236 3141010, ahmet.pinar@cbu.edu.tr

² Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Biga Meslek Yüksekokulu, Tel: +90 286 3162878, sfiliz@comu.edu.tr

Geliş / Recieved: 17 Şubat (February) 2016

Kabul / Accepted: 7 Haziran (June) 2016

DOI: <http://dx.doi.org/10.18466/cbujos.14019>

Özet

Alüminyum alaşımları iyi korozyon/yorulma direnci, yüksek dayanım/ağırlık oranları, ısı ve elektrik iletkenlikleri, arttırılabilen mukavemet karakteristikleri ve kolay şekillendirme özellikleri nedeniyle havacılık, denizcilik, otomotiv ve kalıpcılık alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada AA 5083-H36 malzemesinin cep frezelenmesinde vorteks tüplü ve klasik soğutma şartlarında çapak yüksekliği istatistiksel olarak değerlendirilmektedir. Taguchi L16 ortogonal diziyeye (OD) göre kesme hızı (100 ve 250m/dk), ilerleme oranı (150 ve 1000mm/dk), eksenel talaş derinliği (1 ve 2,5mm), radyal talaş derinliği (4 ve 8mm) ve uç yarıçapı (0,4 ve 0,8mm) işlem parametrelerinin farklı seviyelerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar %95 güven seviyesinde varyans analizi (ANOVA) ve ana etkiler grafikleri ile değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, iki soğutma tipinde de çapak yüksekliğinin kesme hızı ile ters, ilerleme ve eksenel/radyal talaş derinliği ile doğru orantılı olarak değiştiği ancak uç yarıçapının etkili olmadığı gözlemlenmiştir. Varyans analizine göre eksenel talaş derinliğinin en anlamlı faktör olduğu ve bunu ilerleme oranı ve kesme hızı işlem parametrelerinin izlediği görülmüştür. Vorteks tüp ve klasik soğutma şartlarında optimum çapak yükseklikleri sırasıyla 0,056 ve 0,009mm olarak elde edilmiştir. Yapılan doğrulama testleri sonucunda önerilen metodun optimizasyonu yeterli doğrulukta gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler — Çapak oluşumu, frezeleme, işlenebilirlik, optimizasyon, Taguchi metodu

Examination of Burr Occurance in the Milling of AA5083-H36 Material for Different Cooling Strategies

Abstract

Aluminum alloys, with the advantages of high strength to weight ratio, good corrosion and fatigue resistance, and thermal/electrical conductivity, easy formability are widely employed in aircraft, marine, automotive and molding industry. In this study, Burr height is assessed statistically in the pocket milling of AA5083-H36 alloy at the vortex tube and classical cooling conditions. Experiments are carried out at the different levels of cutting speed (100 and 250m/min), feed rate (150 and 1000mm/min), axial depth of cut (1 and 2,5mm), radial depth of cut (4 and 8mm) process parameters according to Taguchi's L16 orthogonal array (OA). Experimental results are evaluated with analysis of variance (ANOVA) and main effects plots at the confidence level of 95%. As a result, it is observed that burr height correlates negatively with cutting speed and positively with feed rate and axial/radial depth of cut; however, nose radius is not effective in the burr occurrence. In terms of ANOVA, it obtained that axial depth of cut is most significant factor and followed by, feed rate and cutting speed. In the vortex tube and classical cooling types, optimum burr heights are obtained as 0,056 and 0,009mm, respectively. Finally, as a result of the confirmation experiments, proposed method achieves the system optimization sufficiently.

1 Giriş

Alüminyum alaşımları iyi korozyon/yorulma direnci, yüksek dayanım/ağırlık oranları, ısı ve elektrik iletkenlikleri, arttırılabilen mukavemet karakteristikleri ve kolay şekillendirme özellikleri nedeniyle havacılık, denizcilik, otomotiv ve kalıpcılık alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu sebeple bu malzemelerin işlenebilirlik çalışmaları önem kazanmaktadır. Aşağıda Taguchi yöntemiyle gerçekleştirilen alüminyum alaşımlarına ait frezeleme çalışmaları değerlendirilmiştir:

Yang ve Chen [1] 6061 alüminyum alaşımının frezelenmesinde, talaş derinliği, devir sayısı, ilerleme oranı ve takım çapı parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini Taguchi deney tasarım metodu kullanarak incelemişlerdir. Kesici takım olarak 4 kesici ağızlı HSS düz parmak freze kullanmışlardır. L18 OD esas alınarak yapılan deneyler, varyans analizi (ANOVA) ve sinyal-gürültü oranı (S/N) analizleri ile değerlendirilmiştir. Lo vd. [2] AA6061 malzemenin yüksek hızlı frezelenmesini iki kısımda incelemişlerdir. 1. kısımda, lazer nokta metodu ve dijital görüntü işleme teknikleri kullanarak yüzey pürüzlülüğünün hızlı ölçümü için deneysel bir model geliştirmişlerdir. 2. kısımda ilerleme oranı, fener mili hızı, talaş derinliği ve takım malzemesi işleme faktörlerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini Taguchi tekniği ile değerlendirmişlerdir. Öktem vd. [3] AA 7075-T6 malzemenin PVD tekniği ile üretilmiş AlTiN kaplı düz parmak freze ile işlenmesiyle elde edilen kalıbın yüzey pürüzlülüğünün incelemişlerdir. Kesme hızı, diş başı ilerleme, radyal/eksenel talaş derinliği ve işleme toleransı işleme parametrelerinin etkileri Taguchi ve full faktöriyel deney tasarım metodları kullanılarak araştırılmıştır. Regresyon analizi ile faktörlerin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri 0,906'lık korelasyon katsayısı ile modellenmiştir. Taguchi metoduyla da faktörlerin etkileri ve optimum yüzey pürüzlülüğü belirlenmiştir. Pinar [4] AA5083-H36 malzemenin cep frezelenmesinde kesme hızı ilerleme oranı takım yolu deseni ve talaş derinliği faktörlerinin farklı seviyelerinde L27 OD esas alınarak deneyler gerçekleştirmiş ve sistemin optimizasyonu elde edilmiştir. Lekkala vd. [5] yaptıkları çalışmada, AA 2124 ve AISI 304 paslanmaz çelik malzemeleri ile mikro kanal frezeleme deneyleri gerçekleştirerek çapak oluşumundaki değişimleri incelemişlerdir. Taguchi L18 OD esas alınarak yapılan deneyler sonucunda, ilerleme hızındaki artış ile çapak

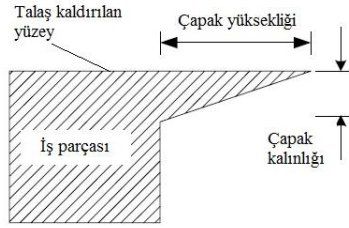
yüksekliğinin azaldığı görülmüştür. Benzer şekilde, ağız sayısının artışı da çapak yüksekliğini düşürmüştür. Bernardos ve Vosniakos [6] seri 2 alüminyum alaşımının alın frezelenmesinde, yüzey pürüzlülüğünü Taguchi ve ANN metodlarını kullanarak modellemiştir. Farklı kesme parametreleri (kesme hızı, diş başı ilerleme, radyal/eksenel talaş derinliği ve kesme sıvısı kullanımı), kesme kuvvetleri ve kesici takım aşınmalarında Taguchi L27 OD'ye göre elde edilen sonuçlar Levenberg-Marquardt algoritmasıyla ileri besleme yapay sinir ağıları kullanılarak tahmin edilmiştir. Mahesh ve Rajesh [7] AA7075-T6 malzemenin frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve talaş kaldırma oranı kalite karakteristiklerinin optimizasyonlarını Taguchi ve bulanık mantık metodlarını birleştirerek gerçekleştirmişlerdir. Devir sayısı, ilerleme oranı ve uç yarıçapı faktörlerinin farklı kombinasyonlarında gerçekleştirilen deney sonuçları S/N ve ANOVA ile analiz edilmiştir. Kalite karakteristiklerine ait S/N oranları bulanık mantık sistemin girdileri olarak beslenmiş ve çıkış olarak çoklu cevap performansı alınmıştır.

Gerek yukarıda özetlenen çalışmalarda gerekse endüstriyel uygulamalarda bu alaşımların tezgâha ait geleneksel soğutma sistemiyle bor yağlı olarak gerçekleştirildiği açıkça görülmektedir. Bu soğutma sistemi ve burada kullanılan kimyasal soğutkanın tezgâh yağlama sistemine, operatöre ve en önemlisi çevremize büyük zararları vardır. Son dönem talaşlı imalatta daha geniş bir kullanım alanı bulan vorteks tüpler çok düşük maliyetli olmaları, yenilenebilir bir enerji kaynağına sahip olmaları, ebatlarının küçük ve hafif olmaları, kimyasal bir soğutkana ihtiyaç duymamaları, ekolojik açıdan hiçbir zararı bulunmamaları ve hem ısıtma hem de soğutma amaçlı kullanımları en önemli avantajlarıdır [8]. Pinar vd. [8] AA 5083-H36 malzemenin cep frezelenmesinde klasik ve vorteks tüple yapılan soğutma şartları için farklı kesme şartlarında yüzey pürüzlülüğünü istatistiksel olarak araştırmışlardır. Bu çalışmanın devamı niteliğindeki araştırmamızda aynı malzemenin vorteks tüp ve klasik şartlardaki çapaklanma yüksekliği performansı istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

2 Çapaklanma

Çapaklanma talaş kaldırma operasyonları sonucunda istenmeyen ancak kaçınılmaz olarak

meydana gelen bir oluşumdur. Özellikle bu oluşum ortadan kaldırılmadığı takdirde montaj aşamasında sistemin geometrisinde ya da diğer talaş kaldırma operasyonlarının geometrik doğruluğunu ciddi olarak bozabilmektedir. Bunun giderilmesi için ekstra talaşlı imalat operasyonları gerekmektedir ve minimize edilmesi şarttır. Aşağıdaki şekilde aln frezelemede ortaya çıkabilecek çapak geometrisi ile ilgili bilgiler verilmiştir. [9]



Tablo 1. AA 5083-H36 malzemesi kimyasal bileşim ve mekanik özellikleri

Numuneye Ait Kimyasal Bileşim							
Si	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Al
0,4	0,1	0,6	4,4	0,1	0,2	-	Kalan
Numuneye Ait Mekanik Özellikler							
Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)		Uzama (%50) min-max		Sertlik (brinel) min-max		
282,4	358,9		8		92		

Kesici takım olarak Seco firmasına ait 12mm çaplı tek uçlu kaplamasız sementit karbür parmak freze kullanılmıştır (Takım tutucu: XOEX 090304FR-E05 ve Uç: R217.69-1612.0-09-1AN) İş parçasında oluşan çapaklanmalar 32 kat sabit büyütmeli ve iki adet 0,001mm ölçüm hassasiyetli mikrometresi olan Mahr MM200 optik mikroskopla yapılmıştır (Şekil 2). Ölçümlerde en büyük çapak yükseklik değerleri dikkate alınmıştır.



Şekil 2. İş parçasında oluşan çapaklanmanın ölçüldüğü mikroskop

Deneylerde, aşağıda çalışma prensibi ve şekli verilen Emuge Franken karşıt akışlı vorteks tüp 6 bar basıçta kullanılmış olup yaklaşık -30° derece soğuk

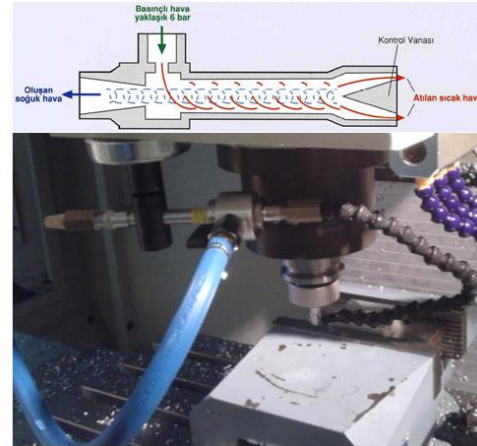
Şekil 1. Frezelemedeki çapak geometrisi [9]

Çapak geometrisinin ölçümü ağırlıklı olarak optik/dijital mikroskoplarla ve profil projektörlerle gerçekleştirilmektedir.

3 Gereç Yöntem

Deney numunesi olarak, 60x55x30 mm ölçülerindeki AA 5083-H36 malzemesi (Tablo 1) kullanılmıştır. Frezeleme testleri First MCV 300 CNC dik işleme merkezinde gerçekleştirilmiştir. Tezgah Fanuc OiMB kontrol ünitesine göre programlanabilen 8000dev/dk. maksimum devir sayısına ve 10m/dk'lık maksimum ilerleme hızına sahiptir. Numunelere ait CNC parça programları MasterCAM V15 yazılımıyla 2,5-eksen cep işleme operasyonu olarak ve paralel takım yolu deseni kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

hava çıkışı elde edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Deneylerde kullanılan vorteks tüp

Klasik soğutma işlemi, tezgahın soğutma sistemi kullanılarak Ecocool 2030MB soğutma sıvısı ile %5 suya yağ konsantrasyonunda gerçekleştirilmiştir.

İstatistiksel deney tasarımı ve analizler, Taguchi metodu ile gerçekleştirilmiştir. Kompleks matematiksel hesaplamalara ihtiyaç duymaması, çok az sayıda deneyle gerçekleştirilebilmesi ve işlem parametrelerinin optimum seviyelerinin kolaylıkla belirlenmesinden ötürü metot endüstriyel ve bilimsel çalışmalarda çok yaygın olarak kullanılmaktadır [4].

Uç yarıçapı (E)	mm	0,4	0,8
-----------------	----	-----	-----

4 İstatistiksel Deney Tasarımı ve Analiz

Sunulan çalışmada, AA 5083-H36 malzemesinin frezelenmesinde, klasik ve vorteks tüple soğutma ortamında, önemli işlem parametrelerinin (Kesme hızı, ilerleme oranı, aksel talaş derinliği, radyal talaş derinliği ve uç yarıçapı) ve bunlara ait ikili etkileşimlerin çapak yüksekliği (Çg , mm) üzerindeki etkileri Taguchi metoduyla istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Tablo 2’de kullanılan işlem parametreleri ve bunlara ait özellikler verilmiştir.

Tablo 2. Kullanılan işlem parametreleri ve bunlara ait özellikler

İşlem Parametreleri	Birimler	Seviyeler	
		1	2
Kesme hızı (A)	m/dk	100	250
İlerleme oranı (B)	mm/dk	150	1000
Eksenel talaş derinliği (C)	mm	1	2,5
Radyal talaş derinliği (D)	mm	4	8

Çalışmadaki deney sayısını ve doğruluğunu direkt olarak etkileyen OD’nin seçimi faktör ve etkileşimlerin toplam serbestlik derecesine dayalı olarak belirlenmektedir. Seçilen OD’ye ait serbestlik derecesi sistemin serbestlik derecesinden büyük ya da eşit olmalıdır [8, 10]. Deney sisteminin serbestlik derecesi, faktör ve etkileşimlerin serbestlik derecelerinin toplanmasıyla belirlenmektedir [8, 11]. İlgili faktöre ait serbestlik derecesi, o faktöre ait seviye sayısı-1 olarak belirlenmektedir. Buna göre, deney sistemimizde beş faktör bulunduğundan, faktörlere ait serbestlik derecesi $5 \times 1 = 5$ dir. Etkileşimlerde ise, etkileşimi oluşturan faktörlere ait serbestlik dereceleri çarpılarak hesaplanmaktadır. Sistemde 7 adet etkileşim bulunduğundan, bunlara ait serbestlik derecesi $7 \times 1 = 7$ dir. Bu veriler ışığında, sisteme ait serbestlik derecesi $5 + 7 = 12$ olarak hesaplanmaktadır. Deneylerde 15 sütun ve 16 satırdan oluşan 15 serbestlik dereceli L16’lık OD seçilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Kullanılan L16’lık OD

DENEY NO	SÜTUN NO														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	A	B	AXB	C	AXC	BXC	-	D	AXD	BXD	-	-	BXE	AXE	E
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1

Bu dizi aynı zamanda deney planını oluşturmakta ve dizideki 16 satır, parametrelerin farklı kombinasyonlarındaki deneyleri ifade etmektedir. Dizinin sütunlarına da faktör ve etkileşimler atanmaktadır. Buna göre, dizideki birinci sütun kesme hızına, ikinci sütun ilerleme oranına, dördüncü sütun aksel talaş derinliğine, sekizinci sütun radyal talaş derinliğine, on beşinci sütun uç yarıçapına ve geri kalanlar da ikili etkileşimlere atanmıştır.

4.1 Çapaklanma Deney Sonuçları

L16 OD esas alınarak gerçekleştirilen deneylere ait sonuçlar, Tablo 4’de verilmektedir. Tablo’nun 7 ve 8. sütununda sırasıyla vorteks tüple gerçekleştirilen deneylere ait çapak yüksekliği ölçümleri (VÇg) ve klasik şartlarda gerçekleştirilen deneylere ait çapak yükseklikleri (NÇg) verilmiştir. Deneysel veriler, Minitab istatistik yazılımı kullanılarak varyans analizi (ANOVA) ile %95 güven seviyesinde analiz edilerek değerlendirilmiştir.

Tablo 4. Çapaklanma deney sonuçları

Deney no	Kesme Hızı (A)	İlerleme Oranı (B)	E. Talaş Der. (C)	R. Talaş Der. (D)	Uç Yarıçapı (E)	VÇ _g	NÇ _g
1	100	150	1	4	0,4	0,102	0,02
2	100	1000	2,5	8	0,8	0,21	0,05
3	250	150	1	4	0,8	0,057	0,009
4	250	1000	2,5	8	0,4	0,189	0,041
5	100	150	2,5	8	0,4	0,198	0,046
6	100	1000	1	4	0,8	0,119	0,024
7	250	150	2,5	8	0,8	0,176	0,038
8	250	1000	1	4	0,4	0,107	0,021
9	100	150	1	8	0,8	0,111	0,022
10	100	1000	2,5	4	0,4	0,181	0,047
11	250	150	1	8	0,4	0,078	0,014
12	250	1000	2,5	4	0,8	0,185	0,04
13	100	150	2,5	4	0,8	0,2	0,044
14	100	1000	1	8	0,4	0,152	0,032
15	250	150	2,5	4	0,4	0,16	0,034
16	250	1000	1	8	0,8	0,111	0,022

4.2 ANOVA

ANOVA, deney tasarımıımızdaki işlem parametrelerinin kalite karakteristiği üzerindeki anlamlılığını belli bir güven seviyesinde ölçen istatistik tabanlı bir araçtır [8]. Vorteks tüple ve klasik sistemle gerçekleştirilen deneylere ait ANOVA sonuçları sırasıyla Tablo 5'de verilmiştir. ANOVA'da anlamlı parametreler, tablonunun beşinci sütunundaki ilgili işlem parametresi ya da etkileşime ait F değeri (ilgili parametreye ait varyansın toplam varyansa oranı) ile belirlenmektedir. İlgili parametreye ait F değeri belli anlamlılık seviyesindeki F çizelge değeri ($F_{0,05}$) ile karşılaştırılır; $F_{0,05}$ belli anlamlılık seviyesinde (0,05 olarak belirlenmiştir) parametreye ait serbestlik derecesi ve hatanın serbestlik derecesi dikkate alınarak belirlenmektedir. Şayet F değeri büyükse

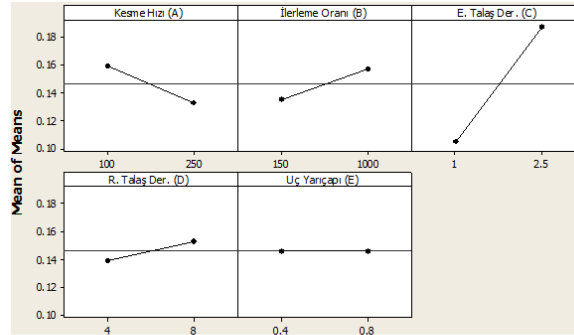
parametre cevap üzerinde anlamlı kabul edilmektedir. Tablonun son sütunu parametrelerin cevap üzerindeki yüzdellik dağılımını ifade etmektedir bir başka ifade ile anlamlılık oranı olarak da adlandırılabilir [8]. Buna göre iki ANOVA'da da Kesme hızı, ilerleme oranı ve eksenel talaş derinliği parametrelerinin cevap üzerinde anlamlı olduğu elde edilmiştir. Vorteks tüplü deneylerde eksenel talaş derinliğinin çapak oluşumunda %78,47'lik oranla en yüksek etkiye sahip olduğu bunu ilerleme oranı (%4,71) ve kesme hızı (%7,33) faktörlerinin izlediği gözlemlenmektedir. Durum klasik soğutmada da aynıdır eksenel talaş derinliği (%78,66)'lık oranla en anlamlı parametre olup bunu ilerleme oranı (%6,07)ve kesme hızı (%10,80) faktörleri takip etmektedir.

Tablo 5. ANOVA Sonuçları

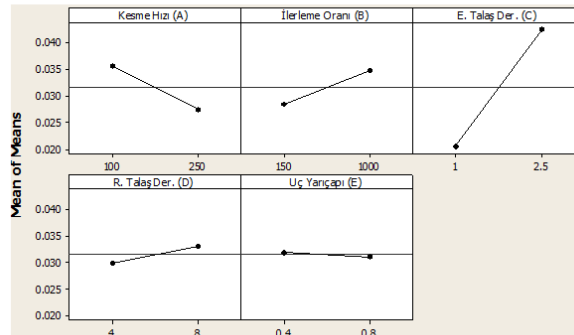
a) Vorteks soğutmalı						
Kaynak	SD	KT	V	F	KT'	YD
Kesme Hızı (A)	1	0,002756	0,002756	12,59	2,537x10 ⁻³	7,33
İlerleme Oranı (B)	1	0,001849	0,001849	8,45	1,63 x10 ⁻³	4,71
E, Talaş Der. (C)	1	0,027390	0,027390	125,11	27,171 x10 ⁻³	78,47
R, Talaş Der. (D)	(1)	0,000812	-	Çekilmiş	Çekilmiş	-
Uç Yarıçapı (E)	(1)	0,000000	-	Çekilmiş	Çekilmiş	-
A*B	(1)	0,000306	-	Çekilmiş	Çekilmiş	-
A*C	(1)	0,000169	-	Çekilmiş	Çekilmiş	-

A*D	(1)	0,000036	-	Çekilmiş	Çekilmiş	-
A*E	(1)	0,000009	-	Çekilmiş	Çekilmiş	-
B*C	(1)	0,000756	-	Çekilmiş	Çekilmiş	-
B*D	(1)	0,000042	-	Çekilmiş	Çekilmiş	-
B*E	(1)	0,000006	-	Çekilmiş	Çekilmiş	-
Hata	12	0,002627	$2,1892 \times 10^{-4}$		$3,286 \times 10^{-3}$	9,49
Toplam	15	0,034624			0,034624	100
b) Klasik soğutmalı						
Kesme Hızı (A)	1	0,000272	0,000272	37,95	0,00026483	10,80
İlerleme Oranı (B)	1	0,000156	0,000156	21,77	0,00014883	6,07
E, Talaş Der. (C)	1	0,001936	0,001936	270,14	0,00192883	78,66
R, Talaş Der. (D)	(1)	(0,000042)	-	Çekilmiş	Çekilmiş	-
Uç Yarıçapı (E)	(1)	(0,000002)	-	Çekilmiş	Çekilmiş	-
A*B	(1)	(0,000004)	-	Çekilmiş	Çekilmiş	-
A*C	(1)	(0,000000)	-	Çekilmiş	Çekilmiş	-
A*D	(1)	(0,000001)	-	Çekilmiş	Çekilmiş	-
A*E	(1)	(0,000001)	-	Çekilmiş	Çekilmiş	-
B*C	(1)	(0,000020)	-	Çekilmiş	Çekilmiş	-
B*D	(1)	(0,000000)	-	Çekilmiş	Çekilmiş	-
B*E	(1)	(0,000001)	-	Çekilmiş	Çekilmiş	-
Hata	12	0,000086	$7,17 \times 10^{-6}$		0,00010951	4,47
Toplam	15	0,002452			0,002452	100

SD: Serbestlik derecesi, KT: Kareler toplamı, V: Varyans, KT': Saf kareler toplamı,
YD: Yüzde dağılım, $F_{0,05}=4,75$



a) Vorteks tüplü soğutma



b) Klasik soğutma

Şekil 4. Faktörlere ait ana etkiler grafikleri

4.3 Optimum Çapak Yüksekliklerinin Belirlenmesi

Metot ANOVA'daki anlamlı işlem parametrelerini dikkate alarak optimum çapak yüksekliklerini tahmin etmektedir. Anlamlı işlem parametrelerinin hangi seviyelerinin alınacağı da faktörlere ait ana etkiler ve etkileşim grafikleri ile belirlenebilmektedir. İki tip soğutma stratejisinde de hiçbir etkileşim anlamlı olmadığından ana etkiler grafikleri yeterli olacaktır. Buna göre iki sistem için de optimum çapaklanma tahmininde kesme hızı, ilerleme oranı ve eksenel talaş derinliği parametreleri dikkate alınacaktır. Şekil 4'de vorteks tüplü ve klasik soğutma şartlarındaki ana etkiler grafikleri verilmektedir. Buna göre iki soğutma tipi için de kesme hızının ikinci ($A=250\text{m/dk}$), ilerleme oranının birinci ($B=150\text{mm/dk}$) ve eksenel talaş derinliğinin birinci seviyeleri ($C=1\text{mm}$) kullanılacaktır. Ayrıca, çapaklanmanın kesme hızı ile ters, ilerleme oranı, eksenel talaş derinliği ve radyal talaş derinliği ile doğru orantılı olarak değiştiği açıkça görülmektedir. Vorteks tüplü sistemde uç yarıçapının çapaklanma değişiminde neredeyse hiçbir etkisi gözlemlenmezken, normal soğutmada büyük uç radyüsünde az da olsa çapaklanmanın azaldığı elde edilmiştir.

Böylece, vorteks tüp ve klasik soğutma şartların gerçekleştirilen deneylerde optimum çapaklanma sırasıyla Eşitlik 1 ve 2 de elde edilmiştir.

$$C_{vopt} = CVA_2 + CVB_1 + CVC_1 - 2\mu_{vc} \quad (1)$$

$$C_{nopt} = CNA_2 + CNB_1 + CNC_1 - 2\mu_{nc} \quad (2)$$

Burada CVA_2 , vorteks tüplü deneylerde kesme hızının ikinci seviyesindeki çapaklanma ortalamaları, CVB_1 ilerleme oranının birinci seviyesine ait ortalamaları ve CVC_1 'de eksenel talaş derinliğinin birinci seviyelerine ait ortalamaları ifade ederken, μ_{vc} de genel ortalamayı ifade etmektedir. Diğer yandan, N indeksi ile ifade edilen parametrelerden CNA_2 , kesme hızının ikinci seviyesindeki çapaklanma ortalamaları, CNB_1 ilerleme oranının birinci seviyesine ait ortalamaları ve CNC_1 'de eksenel talaş derinliğinin birinci seviyelerine ait ortalamaları ifade ederken, μ_{nc} de genel ortalamayı ifade etmektedir. Bu veriler ışığında vorteks tüplü ve klasik soğutmalı deneyler için optimum çapak yükseklikleri sırasıyla $0,0807\text{mm}$ ve $0,01325\text{mm}$ olarak tahmin edilmiştir.

Bundan sonraki işlem Taguchi'nin son uygulama basamağı olan tahmin edilen optimum değer için güven aralığının aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmasıdır [12].

$$CI = \left(F_{0,05}(1, dfe) \cdot V_e \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{R} \right] \right)^{1/2} \quad (3)$$

Eşitlikteki $F_{0,05}(1, dfe)$, $0,05$ anlamlılık seviyesinde $1'e$ ve hatanın serbestlik derecesine göre tablolardan elde edilmektedir. V_e hataya ait varyans değeridir. R optimum seviyede gerçekleştirilen doğrulama deney sayısıdır ve 3 adet deney yapılmıştır. Son olarak n_{eff} , etkin tekrar sayısı olup Eş. 4 vasıtası ile hesaplanmaktadır.

$$n_{eff} = \frac{N}{1 + V_t} \quad (4)$$

Burada, N toplam deney sayısını, V_t de, ortalamanın hesaplandığı işlem parametrelerine ait toplam serbestlik derecesini ifade etmektedir. Bu iki eşitlik kullanımıyla Vorteks tüp ve klasik soğutmalı sistem için güven aralıkları sırasıyla $\pm 0,025$ ve $\pm 4,457 \times 10^{-3}$ olarak elde edilmiştir. Bir başka ifadeyle vorteks tüplü soğutmada optimum seviyelerdeki ortalama çapak yüksekliği değerinin $0,0557 < C_{ort} < 0,1057$ aralığında; klasik soğutmalı sistemde de $0,00879 < C_{ort} < 0,01771$ aralığında yer alması gerekmektedir. Sonuç olarak, Optimum şartlarda ($A=250\text{m/dk}$, $B=150\text{mm/dk}$, $C=1\text{mm}$, $D=4\text{mm}$ ve $E=0,8\text{mm}$) yapılan doğrulama deneylerinde vorteks tüplü sistemde $0,056\text{mm}$ normal soğutmada da $0,009\text{mm}$ ortalama çapak yüksekliği değeri elde edilmiş olup iki soğutma stratejisi içinde optimizasyon yeterli doğrulukta gerçekleştirilmiştir.

5 Tartışma

Yapılan deneyler ve istatistiksel analizler neticesinde, her iki soğutmadaki optimum şartlar mukayese edildiğinde, klasik soğutmada çapak yüksekliğinde % $83,9$ 'luk azalma elde edilmiştir. Vorteks tüplü soğutmada kesme ortamına yaklaşık -30°C , klasik soğutmada 20°C 'lik sıcaklık akışı olmaktadır. Ancak iki sistemde taşınım ve iletimle kesme bölgesinden çekilen enerji miktarları oldukça farklıdır. Newton'un soğutma yasasına göre ısı taşınım katsayısı gazlar için $25-250$ iken sıvılarda bu durum $50-20000$ olarak kabul edilmektedir, Aynı durum Fourier yasasındaki iletim katsayıları için de geçerlidir. Bu katsayı farkı durumu açıklamaktadır. Klasik soğutmadaki bir başka avantaj da iş parçası üzerinde bıraktığı ısıtma ve bunun sebep olduğu yağlama etkisi ile daha az bir çapaklanma meydana gelmesidir.

6 Sonuçlar

Vorteks tüp ve normal soğutma şartlarında AA 5083-H36 malzemesinin cep frezelenmesinde işlem parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme oranı aksenal/radyal talaş derinliği ve uç yarıçapı) çapaklanma üzerindeki etkileri Taguchi metodu ile araştırılmıştır. Buna göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Vorteks tüplü soğutmada, ANOVA sonuçlarına göre, aksenal talaş derinliği %78,47'lik oranla çapaklanma üzerinde en baskın etkiye sahiptir. Bunu anlamlılık oranına göre kesme hızı (%7,33) ve ilerleme oranı (4,71) izlemektedir. Buna karşın tüm etkileşimlerin anlamlı bir etkiye sahip olmadığı gözlemlenmektedir.

- Vorteks tüple soğutmada, çapaklanmanın kesme hızı ile ters, ilerleme oranı aksenal/radyal talaş derinliği ile doğru orantılı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Uç yarıçapına ait grafiğinin yatayla paralel bir karakteristik göstermesine karşın 0,4mm'lik uç yarıçapıyla yapılan deneylerde diğerine göre %0,14'lük düşüş gözlemlenmiş olup, ihmal edilebilir düzeydedir.

- Vorteks tüple soğutmada, Taguchi metoduyla optimum çapaklanma kesme hızının ikinci (A=250m/dk), ilerleme oranının birinci (B=150mm/dk), aksenal talaş derinliğinin birinci (C=1mm), radyal talaş derinliğinin birinci (D=4mm) ve uç yarıçapının birinci (E=0,4mm) seviyesinde 0,0807mm olarak tahmin edilmiştir. Bu şartlarda gerçekleştirilen doğrulama deneylerinde ortalama 0,056mm çapaklanma elde edilmiştir. Buna göre önerilen metot optimizasyonu başarı ile gerçekleştirmiştir.

- Klasik soğutmada ANOVA sonuçlarına göre, Aksenal talaş derinliği %78,66'lik oranla çapaklanma üzerinde en baskın etkiye sahiptir. Bunu anlamlılık oranına göre, kesme hızı (%10,8) ve ilerleme oranı (6,07) izlemektedir. Buna karşın etkileşimlerin çapaklanma üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığı gözlemlenmektedir.

- Klasik soğutmada çapaklanma, kesme hızı ve uç yarıçapı ile ters, ilerleme oranı, aksenal/radyal talaş derinliği ile doğru orantılı olarak değiştiği gözlemlenmiştir.

- Klasik soğutmada, Taguchi metoduyla optimum çapaklanma, kesme hızının ikinci (A=250m/dk), ilerleme oranının birinci (B=150mm/dk) aksenal talaş derinliğinin birinci (C=1mm), radyal talaş

derinliğinin birinci (D=4mm) ve uç yarıçapının ikinci (E=0,8mm) seviyesinde 0,01325mm olarak tahmin edilmiştir. Bu şartlarda gerçekleştirilen doğrulama deneylerinde ortalama 0,009mm çapaklanma elde edilmiştir. Buna göre önerilen metot optimizasyonu başarı ile gerçekleştirmiştir.

Teşekkür

Maddi katkılarından dolayı Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine (Proje no: 2012-028) teşekkür ederiz.

7 Referanslar

- [1] Yang, J.L.; Chen, J.C. A Systematic Approach for Identifying Optimum Surface Roughness Performance in End-Milling Operations, *Journal of Industrial Technology*, 2001; 17, 2.
- [2] Lo, S.P.; Chiu, J.T.; Lin, H.Y. Rapid measurement of surface roughness for face-milling aluminum using laser scattering and the Taguchi method, *Int J Adv Manuf Technol*, 2005; 26, 1071-1077.
- [3] Öktem, H.; Erzurumlu, T.; Çöl, M. A study of the Taguchi optimization method for surface roughness in finish milling of mold surfaces, *Int J Adv Manuf Technol*, 2006; 28, 694-700.
- [4] Pinar, A.M. Optimization of Process Parameters with Minimum Surface Roughness in the Pocket Machining of AA5083 Aluminum Alloy via Taguchi Method *Arabian Journal Science Eng*, 2013; 38:3, 705-714.
- [5] Lekkala, R.; Bajpai, V.; Singh, K.R.; Joshi, S.S. Characterization and modeling of burr formation in micro-end milling, *Precision Engineering*, 2011; 35:4, 625-637.
- [6] Benardos, P.G.; Vosniakos, G.C. Prediction of surface roughness in CNC face milling using neural networks and Taguchi's design of experiments, *Robot Cim-int Manuf*, 2002; 18, 343-354.
- [7] Mahesh, T.P.; Rajesh, R. Optimal selection of process parameters in CNC end milling of Al 7075-T6 aluminium alloy using a Taguchi-Fuzzy approach, *Procedia Mat Sci*, 2014; 5, 2493-2502.
- [8] Pinar, A.M.; Filiz, S.; Ünlü, B.S. A comparison of cooling methods in the pocket milling of AA5083-H36 alloy via Taguchi method *Int J Adv Manuf Technol*, 2016; 83, 1431-1440.
- [9] Seoung, H.L.; Sang-Heon, L.B. Optimisation of cutting parameters for burr minimization in face-milling operations, *International Journal of Production Research*, 2003; 41:3, 497-511.
- [10] Çavdar, U.; Pinar, A.M.; Atik, E.; Ünlü, B.S. İndüksiyonla sinterlenen demir esaslı toz metal parçaların korozyon davranışının optimizasyonu, 13th International Materials Symposium (IMSP'2010), Pamukkale University-Denizli-Turkey, 2010;13-15:715-723.
- [11] Pinar, A.M.; Güllü, A. Sayısal denetimli hidrolik

CBÜ Fen Bil. Dergi., Cilt 12, Sayı 2, 265-273 s
pozisyonlama sisteminin Taguchi metodu ile [12] Ross, P.J. Taguchi technique for quality engineering,
optimizasyonu, Journal of Faculty of Engineering and McGraw-Hill; New York, 1988.
Architecture Gazi University, 2010; 25:1, 93-100.

