



Yüksek Sünekliğe Sahip Al 1050-H14 Alaşımının Delinme Performansının İncelenmesi

Hüseyin GÖKÇE*

Öz

Alüminyum ve alaşımları, birçok ürünün üretiminde özellikle uzay, havacılık ve otomotiv sektörleri başta olmak üzere farklı endüstri alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Alüminyum alaşımları düşük yoğunluğu, yüksek korozyon direnci ve sünekliği, elektrik ve ısı iletkenliğinin yüksek olması ve ayrıca kolay işlenebilirliği ile karakterize edilebilir. Alüminyum ve alaşımlarının yüksek süneklik değerlerine sahip olması, talaşlı imalatta yüksek yüzey pürüzlülük değerleri, talaşın uzaklaştırılması ve kesici takıma yapışma gibi bazı zorlukları da beraberinde getirmektedir. Delme, talaşlı imalat alanında en yaygın kullanıma sahip imalat yöntemlerinden biridir. Teknolojinin hızla gelişmesine ve bununla beraber gelişen imalat yöntemlerine karşın delme, ekonomikliği ve basitliğinden dolayı hala tercih edilen imalat yöntemlerinden biri olmaya devam etmektedir. Bu çalışmada, 1050-H14 alüminyum alaşımı dört kontrol faktörü (kesme hızı, ilerleme miktarı, matkap uç açısı ve kaplama durumu) dikkate alınarak iki kalite karakteristiği (kesme kuvveti ve kesici takım sıcaklığı) açısından delme deneylerine tabi tutulmuştur. Kontrol faktörlerinin kalite karakteristikleri üzerindeki etkileri regresyon analizi ile modellenmiş ve Taguchi metodu ile optimum delme şartları belirlenmeye çalışılmıştır. %95 güven aralığında varyans analizi yapılarak kontrol faktörlerinin etki oranları hesaplanmıştır. Doğrulama deneyleri ile de optimizasyon test edilmiştir. Deneyler sonucunda kesme kuvveti üzerinde etkili olan kontrol faktörlerinin önem sıralamasının sırasıyla ilerleme miktarı, uç açısı, kesme hızı ve kaplama durumu olduğu, kesici takım sıcaklığı üzerinde etkili olan kontrol

* Dr.Öğr.Üyesi, Çankırı Karatekin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, huseyingokce@karatekin.edu.tr, ORCID:0000-0002-2113-1611.

faktörlerinin önem sıralaması sırasıyla kesme hızı, uç açısı, ilerleme miktarı ve kaplama durumu olduğu görülmüştür. Kesme kuvveti ve kesici takım sıcaklığı açısından 0,05 anlamlılık düzeyinde yapılan optimizasyonun uygun olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, Delme, Kesme Parametreleri, Regresyon Analizi, Taguchi Metodu.

Investigation of Drilling Performance of Al 1050-H14 Alloy with High Ductility

Abstract

Aluminum and its alloys are widely used in the production of many products in different industries, especially in the aerospace, space and automotive sectors. Aluminum alloys can be characterized by low density, high corrosion resistance and ductility, high electrical and thermal conductivity, as well as easy workability. The high ductility values of aluminum and its alloys bring with it some difficulties in machining such as high surface roughness values, removal of chips and adhesion to the cutting tool. Drilling is one of the most widely used manufacturing methods in the field of machining. Despite the rapid development of technology and the developing manufacturing methods, drilling continues to be one of the preferred manufacturing methods due to its economy and simplicity. In this study, the 1050-H14 aluminum alloy was subjected to drilling tests in terms of two quality characteristics (cutting force and cutting tool temperature), taking four control factors into account (cutting speed, feed rate, drill bit angle and coating state). The effects of control factors on quality characteristics were modelled by regression analysis, and optimum drilling conditions were tried to be determined by Taguchi method. The variance analysis was made with 95% confidence interval and the effect rates of control factors were calculated. Optimization was also tested by verification experiments. As a result of the experiments, the order of importance of the control factors affecting the cutting force is the feed rate, the drill bit angle, the cutting speed and the coating state. The order of importance of the control factors affecting the cutting tool temperature was found to be cutting speed, drill bit angle, feed rate and coating state, respectively. The optimization performed at the level of

0.05 significance in terms of cutting force and cutting tool temperature was found to be appropriate.

Keywords: *Aluminum, Drilling, Cutting Parameters, Regression Analysis, Taguchi Method.*

Giriş

Saf alüminyumun, düşük yoğunluğu, düşük erime sıcaklığı ve yetersiz mukavemet değerleri olmasına karşın teknolojinin hızla gelişmesi alüminyum alaşımlarını çeşitlendirmiş ve bu alaşımların zayıf taraflarını geliştirerek bu malzemelere üstün yetenekler katmıştır. Alüminyum alaşımları yüksek özgül mukavemet ve korozyon direnci, yüksek elektrik ve ısı iletkenliklerinin yanında rahat şekillendirilebilmeleri gibi özelliklerinden dolayı uzay, havacılık, savunma ve otomotiv sektörleri başta olmak üzere neredeyse tüm endüstri kollarında uygulama alanı bulmuştur (Samtaş ve Korucu, 2019; Durmuş, 2012). Ultrasonik (yüksek frekanslı bir elektrik sinyalinin akustik olarak iletilen mekanik harekete çevrilmesi), elektrolitik (kimyasal işleme yöntemi), su jeti ve lazer kesme gibi modern imalat yöntemleri gelişmesine karşın klasik tornalama, frezeleme ve matkapla delme işlemleri halen güncelliğini korumaktadır. Yaygın olarak kullanılan matkap ile delik delme, ekonomikliğı ve basitliğinden dolayı üretim endüstrilerinin her alanında tercih edilen imalat yöntemlerinden biridir (Kurt vd., 2009). Talaş kaldırarak şekillendirme sürecinde iş parçası, kesici takıma kesilmeye karşı bir direnç gösterecektir. Kesme olayının gerçekleşebilmesi için bu direncin karşı bir kuvvet ile aşılması gerekmektedir. Kesmenin gerçekleşebilmesi için gerekli olan bu kuvvet “kesme kuvveti” olarak tanımlanır. Kesme kuvveti ile bir malzemenin işlenebilirliği ifade edilebilir (Colligan, 1994; Kim ve Ramulu, 2005; Lambert, 1979; Bayraktar, Siyambaş ve Turgut, 2017). Kesme kuvveti, kesici takım ömrü üzerinde ve dolayısıyla yüzey kalitesi üzerinde etkili olan parametrelerin başında gelmektedir. Bu nedenlerden dolayı kesme kuvvetlerinin minimize edilmesi istenir (Bayraktar vd., 2017; Meral, Dilipak ve Sarıkaya, 2011).

Talaşlı imalat işlemlerinin verimliliğı büyük ölçüde kesme ve ilerleme hızlarının artırılmasına bağlıdır. Yükselen hızlarla beraber kesme bölgesinde oluşan ısı artacak dolayısıyla takım ömrü ve üretilen parça kalitesi olumsuz yönde etkilenecektir (Dhar, Ahmed ve Islam, 2007; Çakır, Bahtiyar ve Şeker, 2014). Kesme performansının artırılması için ısı kontrolünün sağlanması oldukça

önemlidir. Kesme işleminde oluşan ısının büyük bir kısmının talaşla beraber uzaklaştırılması beklenir. Bu nedenle kesme bölgesinden talaşın hızlı ve kolay bir şekilde tahliye edilmesi gerekmektedir (Dhar vd., 2007; Çakır vd., 2014; Bahçe vd., 2010).

Alüminyum alaşımlarının delinmesi üzerinde yapılmış eski ve güncel birçok çalışma vardır. Bhowmick ve Alpas (2008), yaptıkları çalışmada Al 319 alüminyum alaşımını (Al-Si) iki farklı geometriye sahip DLC (elmas benzeri karbon) kaplamalı ve kaplamasız HSS matkaplarla minimum miktar yağlama (MQL) ve kuru şartlarda delme deneylerine tabi tutmuşlardır. Deneyler sonucunda MQL sistemi kullanılarak yapılan işlemlerin daha kararlı olduğunu ayrıca kaplamalı takımlarda sıvanma eğiliminin oldukça azaldığını ifade etmişlerdir. Bununla beraber delme işleminin daha düşük kuvvet ve tork değerlerinde yapılabildiğini ortaya koymuşlardır. Chatha, Pal ve Singh (2016), 6063 alüminyum alaşımının delinme performansını kesme kuvveti, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü açısından incelemiştir. HSS kesici takımlarla yaptıkları çalışmada, farklı yağlama koşullarını (kuru, ıslak, MQL ve nano partiküllü MQL) mukayese etmişlerdir. Deneyler sonucunda NFMQL ile delinen delik sayısında önemli artış olduğunu, tork ve kesme kuvvetlerinin ise azaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca NFMQL'nin talaş tahliyesini kolaylaştırıp çapak oluşumunu azalttığını, deliklerin yüzey kalitesini artırdığını ve kesici takım aşınmasını azaltarak takım ömrünü uzattığını ifade etmişlerdir. Ilyuschenko vd. (2015), alüminyum alaşımı üzerinde kaplamasız ve PVD kaplamalı matkaplarla (Nano elmas ve nano molibden disulfid) deneyler yapmışlardır. Deney sonuçlarında kaplamasız matkaplarda büyük çapakların oluştuğunu, kaplamalı matkaplarda ise çapak oluşumunun olmadığını ve/veya oldukça küçük boyutta olduklarını gözlemlemişlerdir. Kaplamalı matkabın takım ömrünün, kaplamasız matkaba kıyasla yaklaşık 2,5 kat daha uzun bulunduğunu belirtmişlerdir. Zhu vd., Al 2024-T351 alüminyum alaşımı ve Ti6Al4V titanyum alaşımı üzerinde üç farklı matkap geometrisi kullanarak kuru şartlarda bir dizi delme deneyleri yapmışlardır. Çalışma sonucunda, iki farklı uç açısına sahip matkap geometrisinin kesme kuvveti ve çapak oluşumunu azaltarak delik kalitesini ve dolayısıyla verimliliği artırdığını ayrıca talaş tahliyesini kolaylaştıracağını ifade etmişlerdir. Song vd. (2019), karbon fiber takviyeli plastik (CFRP) / alüminyum kompozitlerin delinmesinde teorik bir çapak yüksekliği modeli önermişlerdir. Modelde itme kuvvetini, belirli faktörleri

(malzemenin mekanik özellikleri, kesilmemiş talaş kalınlığı ve takım geometrik boyutları) ve belirsiz faktörleri (sistemin kararlılığı ve kesme sıcaklığı) dikkate almışlardır. İtme kuvveti ve iş parçasında oluşan sapmaları inceleyerek çapak yüksekliği için matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Son olarak, teorik modeli doğrulamak için bir dizi deney yapmışlardır. Çapak yüksekliği eğilimlerinin analitik modellerle uyum içinde olduğunu belirtmişlerdir. Kimmelman, Duntschew, Schluchter ve Möhring (2019), özellikle havacılık endüstrisinde kullanılan CFRP/alüminyum kompozitlerin delinmesi sürecinde oluşabilecek çapağın öngörülebilmesi ve delme esnasında azaltılabilmesi için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Delme sürecinde oluşan ses spektrumunu analiz ederek oluşan sinyallerle çapak oluşumunun delme işlemi devam ederken kontrol altına alınabileceğini belirtmişlerdir. Dheeraj, Sanjay, Bhargav ve Jagadesh (2020), alüminyum ve alaşımlarının delinmesi için yeni nesil bir matkap geliştirmişlerdir. Matkapın zırh ve oluk yüzey geometrisini değiştirerek kesme sıvısını daha verimli kullanmaya ve ayrıca talaşın daha rahat uzaklaştırılmasını sağlamaya çalışmışlardır. Yeni geliştirilen ve klasik geometriye sahip matkaplarla delinen delikleri silindiriklik hatası, çapak yüksekliği ve yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirmişler, geliştirilen yeni nesil matkaplarla tatminkâr sonuçlar elde etmişlerdir. Korkmaz vd. (2019), Al2014 alüminyum alaşımının kaplamasız sementit karbür (tungsten karbür – WC) matkaplar ile delinmesi sonucunda itme kuvvetini deneysel ve sonlu elemanlar yöntemi ile incelemişlerdir. İtme kuvvetinin kesme hızının artmasıyla azaldığını, ilerleme miktarının artması ile de arttığını belirlemişlerdir. Sonlu elemanlar yöntemiyle gerçekleştirdikleri delme simülasyon sonuçlarının da deneysel sonuçlar ile benzerlik gösterdiğini belirtmişlerdir. Şahin (2013), alüminyum matrisli kompozit malzemelerin matkap ile delinmesi konusunda yapılan çalışmaları inceleyen bir literatür taraması yapmıştır. Tarama sonucunda yapılan çalışmaları, işlem parametreleri ve etkileri ile birlikte tablolaştırarak sunmuştur. Çaydaş ve Çelik (2017), AA 7075-T6 alaşımını kuru delme koşullarında K20 karbür takımlarla delme deneylerine tabi tutmuşlardır. Kesme hızının sabit tutulduğu deneylerde, ilerleme miktarlarını ve matkap uç açılarını değiştirmişlerdir. Değişkenlerin yüzey pürüzlülüğü, ilerleme kuvveti ve matkap uç sıcaklığı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bayraktar (2016), Al-5083 alaşımının kaplamasız ve TiN kaplamalı HSS matkaplar ile delinmesinde, kesme parametrelerinin aksenal kuvvet ve çapak yüksekliği üzerindeki etkilerini

incelemiştir. Deneyler sonucunda, devir sayısının artması ile çapak yüksekliğinin arttığını, aksenal kuvvetin ise azaldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca ilerleme miktarının artması ile aksenal kuvvetin ve çapak yüksekliğinin de arttığını tespit etmiştir. Kaplamasız HSS matkaplarda, TiN kaplamalı matkaplara göre aksenal kuvvetlerin ve çapak yüksekliğinin daha az olduğu gözlemlenmiştir. Varyans analizi ile bağımsız değişkenler arasında ilerleme parametresinin, aksenal kuvvet ve çapak yüksekliği üzerinde en etkili faktör olduğunu, bunu sırasıyla devir sayısı ve matkap uç açısının takip ettiğini belirtmiştir.

Regresyon analizi çok bilinen ve bilim insanları tarafından da yaygın olarak kullanılan istatistiksel bir araçtır. Karaca (2016), cam elyaf takviyeli plastik kompozitlerde delme sürecinde oluşan deformasyon faktörünü kesme hızı, ilerleme miktarı ve matkap uç açısı gibi delme parametrelerinin etkisi incelemiştir. En uygun delme parametrelerini çoklu regresyon analizi kullanarak tespit etmeye çalışmıştır. Bayraktar ve Turgut (2012), elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit malzemelerin delme işlemini, delik giriş ve çıkışında oluşan yüzey hasarları, kesici takım, kesme parametreleri ve kesici takım geometrisi gibi faktörleri dikkate alarak araştırmışlardır. Elde edilen verileri, Taguchi metodu, varyans analizi, yapay sinir ağları ve regresyon analizi gibi yöntemler kullanarak yorumlamaya çalışmışlardır. Çalışmalar neticesinde yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme değerlerinin kullanılması gerektiğini vurgulamışlardır. Meral, Dilipak ve Sarıkaya (2011), AISI 1050 malzemenin delinmesinde elde edilen ilerleme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüklerini deney parametrelerine bağlı olarak (matkap geometrisi, matkap çapı, ilerleme miktarı ve kesme hızı gibi) lineer regresyon, ikinci dereceden regresyon ve üstel regresyon metotları ile modellemişlerdir. Yılmaz, Yılmaz, Sarıkaya ve Özdemir (2015), X10CrAlSi24 sac malzemesini elektro erozyon işleme yöntemiyle 0,5mm çapında ve 20mm boyunda delikler delmişlerdir. Deneylerde üç farklı boşaltım akımı, üç farklı elektrot devir sayısı ve iki farklı elektrot çeşidi için iş parçası işleme hızı ve elektrot aşınma hızı değerlerini incelemiştir. Daha sonra deney sonuçlarını kullanarak çoklu regresyon analizi yardımıyla matematiksel bir model elde etmişlerdir. Başak ve Baday (2016), küreselleştirilmiş orta karbonlu bir çeliğin işlenmesinde, kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini regresyon analizi ile modellemişlerdir.

Taguchi metodu, tam faktöriyel deney tasarımının aksine deney sayısını azaltarak araştırma sonuçlarının ekonomik ve daha kısa sürede elde edilmesine izin veren bir metottur. Bu nedenlerden dolayı metodu, farklı çalışma alanlarındaki araştırmacılar tarafından sıklıkla tercih edilmektedir. Ghani, Choudhury ve Hassan (2004), AISI H13 takım çeliğinin parmak freze ile işlenmesinde frezeleme parametrelerinin optimizasyonu için Taguchi metodunu uygulamışlardır. Kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğini kontrol faktörleri olarak, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünü de kalite karakteristiği olarak belirlemişlerdir. Deney tasarımı için L27 ortogonal dizisini seçmişlerdir. Deneylerde TiN kaplamalı karbür takımlarla AISI H13 takım çeliğini kullanmışlardır. Düşük kesme kuvvetleri ve düşük yüzey pürüzlülük değerlerinin yüksek kesme hızı, düşük ilerleme miktarı ve düşük kesme derinliğinde elde edildiğini vurgulamışlardır. Günay (2013), AISI 316L paslanmaz çeliğin işlenmesinde oluşan kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri için kesici takım uç yarıçapı ve kesme parametrelerinin optimizasyonunu yapmıştır. Bu amaçla Taguchi L9 dikey dizinini kullanmış ve önem seviyelerini belirlemek için varyans analizinden faydalanmıştır. Kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli kontrol faktörünün ilerleme miktarı olduğunu belirtmiştir. Çiftçi ve Gökçe (2019), molibden alaşımlarının frezelenmesinde kesici takım ve kesme parametrelerini Taguchi L16 deney tasarımı ile optimize etmeye çalışmışlardır. Canel, Zeren ve Sınmazçelik (2019), Taguchi metodu ile Al 6082-T6 alaşımının lazerle kesilmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir. Terzioğlu (2020), termoelektrik jeneratör üzerindeki etki faktörlerini yine Taguchi metodunu kullanarak analiz etmiştir. Pınar, Uluer ve Kırmacı (2009), Ranque-Hilsch vorteks tüpünün performansını incelerken Taguchi metodunu kullanmışlardır. Maiyar, Ramanujam, Venkatesan ve Jerald (2013), Inconel 718 süper alaşımının frezelemesi işleminde kesme parametrelerini Taguchi tabanlı gri ilişkisel analiz ile optimize etmişlerdir. Gökçe, Çiftçi ve Demir (2018), ticari saflıktaki molibdenin frezelenmesi sürecini Taguchi L16 deney tasarımını kullanarak kesme parametreleri açısından ele almışlardır.

1050-H14 alüminyum alaşımı talaşlı imalata uygun ve en yaygın kullanılan alüminyum alaşımlarından biridir. Yapılan yazın taramasına göre ilgili malzeme için bir çok çalışma olsa da kesme bölgesinde oluşan sıcaklığın matkap uç açısı ile etkileşimi nadir olarak incelenmiştir. Bu çalışmada, 1050-H14 alüminyum alaşımı, HSS kesici takımlarla 4 farklı kesme hızı, 4 farklı ilerleme miktarı, 4 farklı matkap

uç açısı ve 2 farklı kaplama durumu (4 kontrol faktörü) dikkate alınarak kesme kuvveti ve kesici takım sıcaklığı (2 kalite karakteristiği) açısından delme deneylerine tabi tutulmuştur. Delme performansları çoklu doğrusal regresyon metodu ile modellenmiş ve Taguchi metodu ile optimum işleme koşulları belirlenmeye çalışılmıştır. Seçilen kontrol faktörlerinin, kalite karakteristikleri üzerindeki etki oranlarını belirleyebilmek için test verilerine %95 güven düzeyinde varyans analizi (ANOVA) uygulanmış ve son olarak doğrulama deneyi ile optimizasyonun geçerliliği test edilmiştir.

Materyal ve Metot

1. Malzeme ve İşleme Deneyleri

Alüminyum 1050-H14 iş parçası, 17 mm kalınlığında Ø60 mm çapında silindirik dolu malzemedan kesilmiş sonra 15 mm kalınlığa düşürülerek tesviye yapılmıştır (delik delme deneyi standart plaka kalınlığı \geq matkap çapı x 3). Alüminyum 1050-H14 alaşımının kimyasal bileşimi ve bazı mekanik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Deney malzemesi HSS matkaplarla belirlenen kesme parametreleri ile boydan boya (15 mm) delik delme işlemine tabi tutulmuştur. Kesme kuvvetleri (F_c) ve kesici takım sıcaklıkları (T) performans kriterleri (kalite karakteristikleri) olarak belirlenmiştir. Kesme sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilen deneylerde, belirlenen kalite karakteristikleri açısından kontrol faktörlerinin en iyi değerlerinin belirlenebilmesi için, 4 farklı kesme hızı (V_c), 4 farklı ilerleme miktarı (f), 4 farklı matkap uç açısı (β) ve 2 farklı kaplama durumu (KD) (kaplamasız ve kaplamalı) seçilmiştir. Kontrol faktörleri, kontrol faktörlerinin seviyeleri ve kullanılan kısaltmalar Tablo 2’de verilmiştir.

Taguchi metodu ile kalite karakteristikleri için kontrol faktörlerinin optimum değerleri belirlenmeye çalışılmıştır. Deney tasarımı, Taguchi L16 ($4^{**}3^{*}2^{**}1$) dikey dizisi kullanılarak yapılmıştır. Kontrol faktörlerinin belirlenmesinde kataloglarda ve yazında yer alan çalışmalar dikkate alınmıştır. Kataloglarda ve yazında önerilen kesme parametreleri değerlerinin en yüksek ve en düşük seviyelerinde ön deneyler yapılarak seviyeler belirlenmiştir.

Tablo 1. Al 1050-H14 Malzemenin Bazı Özellikleri

Özellik	Birim	Al 1050-H14
Kimyasal Bileşim	%	> 99,50 Al, <= 0,05 Cu, <= 0,40 Fe Kalanı diğer elementler
Yoğunluk (20°C'de)	g/cm ³	2,705
Ergime noktası	°C	646-657
Brinell sertliği	HB	30
Akma gerilmesi	MPa	103
Çekme gerilmesi	MPa	110
Elastikiyet modülü	GPa	73
Poisson oranı	-	0,33
Isı iletim katsayısı (20°C'de)	[W/(mK)]	227

Tablo 2. Kontrol Faktörleri ve Seviyeleri

Kontrol faktörleri	Birim	Kod	Seviyeler			
			1	2	3	4
Kesme hızı (Vc)	m/dk	A	10	20	30	40
İlerleme miktarı (f)	mm/dev	B	0,025	0,050	0,075	0,100
Uç açısı (β)	°	C	90	105	118	140
Kaplama durumu (KD)	-	D	Kaplamasız ve kaplamalı			

2. Takım Tezgâhı, Kesici Takımlar ve Ölçüm Cihazları

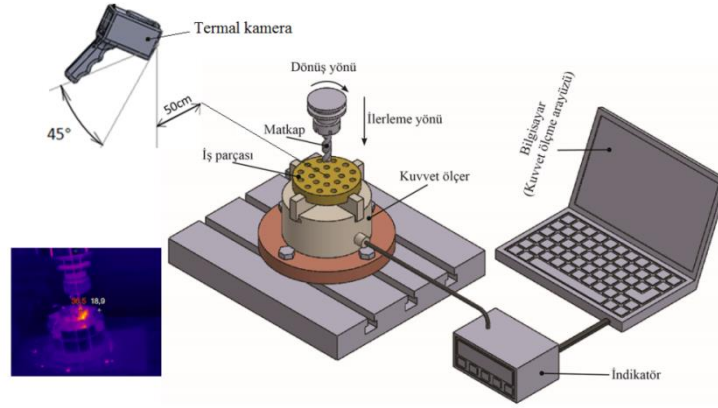
Deneylerde Ø5 mm çapında, 30° helis açısına sahip, 90° - 105° - 118° - 140° uç açılarında, kaplamasız ve kaplamalı (CVD - AlTiN - kaplama kalınlığı: 5 µm) HSS matkaplar kullanılmıştır. Matkap seçiminde üretici firma tavsiyeleri ve daha önce yapılan çalışmalar dikkate alınmıştır. Kesici takım Şekil 1'de gösterilmiştir. Deneylerde kullanılan kesici takımlar, Ø5 mm çapında kesici takımları sıkabilecek pens ile takım tutucuya bağlanmıştır.



Şekil 1. HSS Kesici Takım

Delme deneyleri Arion IMM-600 CNC dik işleme merkezi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kesme kuvvetleri yük hücresi temeline dayanan bir kuvvetölçer ile ölçülmüştür (Gökçe, Yavuz ve Karayel, 2017). Şekil 2'de, kurulan deney düzeneğinin tasarımı gösterilmeye çalışılmıştır. Silindirik olarak hazırlanan

iş parçası tezgâha 4 ayaklı bir ayna ile bağlanarak boydan boya delikler delinmiştir. İşleme esnasında takım ve iş parçasında oluşan sıcaklıklar Fluke Ti200 marka/model termal kamera ile ölçülmüştür.



Şekil 2. Deney Düzenegi

3. Regresyon Analizi

Regresyon analizi, bağımlı (kalite karakteristiği) ve bağımsız (kontrol faktörleri) değişkenleri içeren bir modeldir ve bağımlı değişkeni bağımsız değişkenlerle ifade edilebilmesine olanak verir (Başar ve Kahraman, 2017). Denklem sonucunda elde edilen belirtme katsayısı (determinasyon katsayısı, R^2) bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenlerle ifade edilebilme oranını verir. R^2 değeri 1'e ne kadar yakın olursa regresyon modelinden o denli doğru sonuçlar elde edilebilecektir. Bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkileri belirlemek için ANOVA ile anlamlılık testi yapılmıştır.

4. Taguchi Metodu

Geleneksel deney tasarımının aksine Taguchi metodu ile kontrol faktörlerinin kalite karakteristiği üzerindeki etkilerini belirleyebilmek için deneylerden elde edilen veriler istenilen sonuca uygun amaç fonksiyonu ile Sinyal/Gürültü (S/N) oranına dönüştürülür. S/N oranı, istenilmeyen rastgele gürültü değeri için istenilen sinyal oranı olarak tanımlanmakta olup, deneysel verilerin kalite karakteristiklerini gösterir (Aydemir, 2014). S/N oranının hesaplanması için

üç temel fonksiyon vardır. Bunlar “en küçük en iyi, en büyük en iyi ve hedef değer en iyi” amaç fonksiyonlarıdır. Her üç fonksiyon içinde amaç, S/N oranını maksimize etmektir (Saat, 2000; Çiftçi ve Gökçe, 2019).

Deneylerde kontrol faktörlerinin uygun seviyelerini belirlemek için kalite karakteristiği değerlerinin en küçük olduğu durum belirlenmelidir (kesme kuvvetlerinin ve kesici takım sıcaklıklarının minimize edilmesi istenir). Bu amaçlar için S/N oranının hesaplanmasında Eşitlik 1’de verilen “en küçük en iyi” amaç fonksiyonu kullanılmıştır. Burada; Y_i : kalite karakteristiğinin ölçülen değeri (kalite değişkeni) ve n : toplam deney (gözlem) sayısını göstermektedir. Kalite karakteristiği değerleri üzerinde kontrol faktörlerinin etkisini belirlemek için deney sonuçlarına %95 güven aralığında ANOVA analizi uygulanmıştır. Taguchi metodu ve ANOVA analizi Minitab17 programı ile yapılmıştır.

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

Bulgular ve Tartışma

1050-H14 alüminyum alaşımının delik delme deneylerinde ölçülen kesme kuvvetleri ve kesici takım sıcaklıkları ayrıca Eşitlik 1’de verilen “en küçük en iyi” amaç fonksiyonu ile elde edilen S/N oranları Tablo 3’te verilmiştir.

Deney malzemesinin belirlenen kontrol faktörleri ile delinmesi sonucunda elde edilen ortalama kesme kuvveti 450,07N ve ortalama kesici takım sıcaklık değeri 53,2°C olarak hesaplanmıştır. Tablo 3 incelendiğinde kesme kuvvetinin yaklaşık 315 N ile 536 N aralığında kesici takım sıcaklığının ise yaklaşık 25°C ile 69°C aralığında değiştiği görülmektedir. Bu değişimler kontrol faktörlerinin delme sürecini önemli derecede etkilediğinin bir göstergesidir.

Tablo 3. Ölçülen Kesme Kuvvetleri, Takım Sıcaklıkları ve Hesaplanan S/N Oranları

Test no	Vc (m/dak)	f (mm/dev)	β (°)	KD	Fc (N)	T (°C)	Fc S/N (dB)	T S/N (dB)
1	10	0,025	90	Kaplamasız	315,16*	25,2*	-49,971	-28,028
2	10	0,050	105	Kaplamasız	390,54	40,5	-51,833	-32,149
3	10	0,075	118	Kaplamalı	453,25	45,3	-53,127	-33,122
4	10	0,100	140	Kaplamalı	528,65	52,8	-54,463	-34,453
5	20	0,025	105	Kaplamalı	348,52	42,1	-50,845	-32,486
6	20	0,050	90	Kaplamalı	373,15	34,8	-51,438	-30,832
7	20	0,075	140	Kaplamasız	510,05	61,4	-54,152	-35,763
8	20	0,100	118	Kaplamasız	535,84**	58,6	-54,581	-35,358
9	30	0,025	118	Kaplamasız	410,47	61,3	-52,266	-35,749
10	30	0,050	140	Kaplamasız	485,35	68,8**	-53,721	-36,752
11	30	0,075	90	Kaplamalı	448,65	43,7	-53,038	-32,810
12	30	0,100	105	Kaplamalı	523,34	55,5	-54,376	-34,886
13	40	0,025	140	Kaplamalı	388,96	67,1	-51,798	-36,535
14	40	0,050	118	Kaplamalı	463,04	65,8	-53,312	-36,365
15	40	0,075	105	Kaplamasız	500,28	68,6	-53,984	-36,727
16	40	0,100	90	Kaplamasız	525,92	60,4	-54,418	-35,621
Ortalama					450,07	53,2		
* En küçük değer, ** En büyük değer								

Deney malzemesinin belirlenen kontrol faktörleri ile delinmesi sonucunda elde edilen ortalama kesme kuvveti 450,07N ve ortalama kesici takım sıcaklık değeri 53,2°C olarak hesaplanmıştır. Tablo 3 incelendiğinde kesme kuvvetinin yaklaşık 315 N ile 536 N aralığında kesici takım sıcaklığının ise yaklaşık 25°C ile 69°C aralığında değiştiği görülmektedir. Bu değişimler kontrol faktörlerinin delme sürecini önemli derecede etkilediğinin bir göstergesidir.

1. Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi Sonuçları

Kesme kuvvetleri ve kesici takım sıcaklıklarının hesaplanabilmesi için elde edilen çoklu doğrusal regresyon denklemleri sırasıyla Eşitlik 2 ve Eşitlik 3'te verilmiştir. Delme deneylerinde kesme kuvvetlerinin ve oluşan sıcaklığın mümkün olan en düşük seviyelerde olması arzulanır. Bu nedenle elde edilen regresyon denklemlerinde negatif çarpan durumunda bulunan kontrol faktörlerinin yükselen değerleri kalite karakteristiği sonuçları üzerinde olumlu etkiye neden olurken, pozitif çarpan durumunda bulunan kontrol faktörlerinin yükselen değerleri ise olumsuz yönde etkili olacaktır. Regresyon denkleminin elde edilebilmesi için kaplama durumu: 1 (kaplamasız) ve 2 (kaplamalı) olarak kodlanmıştır. Buna göre

kaplamalı kesici takımlarla yapılacak deneylerden elde edilecek sonuçların daha düşük olacağı söylenebilir.

$$F_c = 158 + 1,68 V_c + 2152 f + 1,27 \beta - 18,3 KD \quad (2)$$

$$T = -14,3 + 0,817 V_c + 104 f + 0,421 \beta - 4,71 KD \quad (3)$$

Tablo 4'te regresyon denklemi elde edildikten sonra bulunan katsayılar tablosu verilmiştir. Bu tabloda verilen; Coef: Değerlerin katsayılarını, SE Coef: Katsayılarıdaki standart hatayı, T: Test istatistiklerinin sonucunu, P: Regresyon analizinin anlamlı olup olmadığını göstermektedir. P değerlerinin 0,05'ten küçük olması kontrol faktörünün istatistiksel olarak anlamlı olduğunun bir kanıtıdır.

Tablo 4. Regresyon Denklemlerinin Katsayılar Tablosu

Tahmin unsuru	Kesme kuvveti				Kesici takım sıcaklığı			
	Coef	SE Coef	T	P	Coef	SE Coef	T	P
Katsayı	157,65	25,54	6,17	0,000	-14,255	5,736	-2,49	0,030
Kesme hızı	1,680	0,300	5,61	0,000	0,817	0,067	12,13	0,000
İlerleme miktarı	2152,1	119,9	17,95	0,000	103,90	26,92	3,86	0,003
Uç açısı	1,265	0,183	6,93	0,000	0,421	0,041	10,26	0,000
Kaplama durumu	-18,26	6,703	-2,72	0,020	-4,712	1,505	-3,13	0,010
R-Sq (R ²)	%97,4				%96,2			
R-Sq(adj) (R ² adj)	%96,4				%94,8			

Kesme kuvveti açısından en yüksek katsayı ilerleme miktarına aittir ve ilerleme miktarının yükselen değerlerinde kesme kuvvetlerinin artması beklenen bir durumdur (Korkmaz vd., 2019; Çaydaş vd., 2017). Kaplama durumunun etkisi ise negatif olarak görülse de kaplamalı kesici takım kodu 2 olduğundan (negatif katsayı) kesme kuvvetini azaltacak etkiye sahip olacaktır. Kaplamalı kesici takımların kaplamasız takımlara nazaran sürtünmeyi azaltması ve olası yapışmaları engellemesi nedeniyle kesme kuvvetlerini düşüreceği de beklenen bir durumdur (Bayraktar, 2016). Kesici takım sıcaklığının da en çok etkilendiği kontrol

faktörünün ilerleme miktarı olduğu Eşitlik 3 ve Tablo 4'te görülmektedir. İlerleme miktarındaki artış talaş kesit alanını artıracaktır. Yüksek sünekliğe sahip malzemeden talaşın koparak uzaklaşması zorlaşarak sürtünmeyi artıracığı ve kesme bölgesinde oluşan ısı değerini yükselteceği düşünülmektedir.

Tablo 4'teki değerler incelendiğinde 1050-H14 alüminyum alaşımının delinmesinde bütün kontrol faktörlerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu kanaatine varılabilir ($P < 0,05$). Kesme kuvveti ve kesici takım sıcaklığı R^2 ve düzeltilmiş R^2 değerleri incelendiğinde regresyon denklemlerinin deneylerin kesme kuvveti için %97,4 ve kesici takım sıcaklığı için %96,2 oranlarında açıklayabildiğini görürüz. Başka bir ifade ile değişkenler arasında kuvvetli bir ilişkiden söz edilebilir. Düzeltilmiş R^2 değerimiz kesme kuvveti için %96,4 ve kesici takım sıcaklığı için ise %94,8'dir ve bu değer R^2 değerine oldukça yakındır. Bu nedenle regresyon denkleminin uygun olduğunu söyleyebiliriz. Ayrıca Tablo 5'te elde ettiğimiz çoklu doğrusal regresyon denkleminin ait varyans analizi verilmiştir. Burada da P değeri 0,05'ten küçüktür ve dolayısıyla istatistiksel olarak anlamlı bir regresyon denkleminiz vardır.

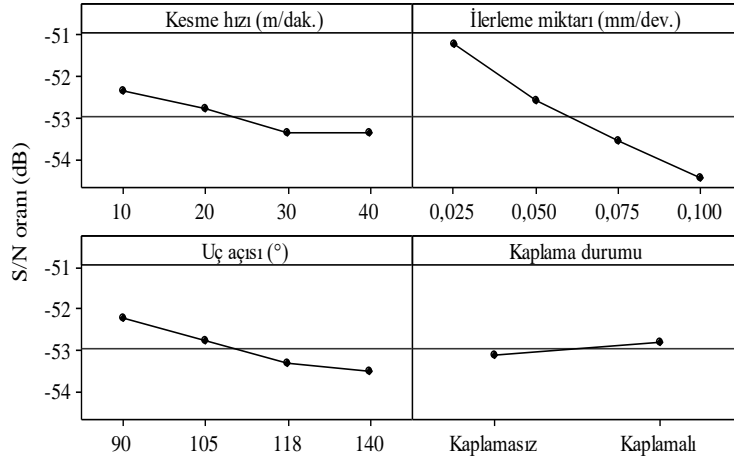
Tablo 5. Regresyon Denklemlerine Ait Varyans Analizi

Kesme Kuvveti					
Kaynak	DF	SS	MS	F	P
Regresyon	4	73496	18374	102,25	0,000
Ölçüm hatası	11	1977	180		
Toplam	15	75473			
Kesici takım sıcaklığı					
Kaynak	DF	SS	MS	F	P
Regresyon	4	2511,80	627,95	69,30	0,000
Ölçüm hatası	11	99,68	9,06		
Toplam	15	2611,48			

2. Taguchi Metodu ile Optimizasyon Sonuçları

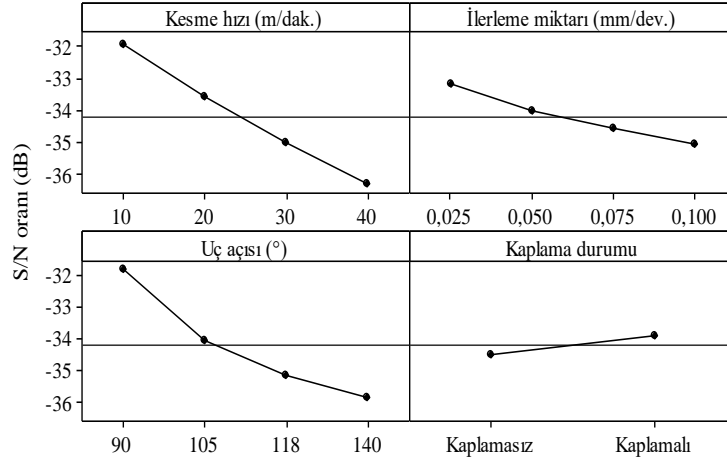
Kesme kuvveti ve kesici takım sıcaklık değerleri için hesaplanan S/N oranlarına göre ana etki grafikleri Şekil 3 ve Şekil 4'te gösterilmiştir. Ayrıca Tablo 6'da S/N oranlarının kontrol faktörlerine göre dağılımları ve önem sıralaması verilmiştir.

Şekil 3'teki ana etki grafikleri ve Tablo 6'daki S/N oranlarının en yüksek ve en düşük noktaları incelendiğinde kesme kuvveti üzerinde etkili olan en önemli kontrol faktörünün ilerleme miktarı olduğu görülmektedir. Ayrıca, kesme kuvveti üzerinde etkili olan kontrol faktörlerinin önem sırasının sırayla ilerleme miktarı, uç açısı, kesme hızı ve kaplama durumu olduğu Tablo 6'da görülmektedir. Benzer şekilde Şekil 4 ve Tablo 6 incelendiğinde kesici takım sıcaklığı üzerinde etkili olan en önemli kontrol faktörünün kesme hızı olduğu görülmektedir. Ayrıca, kesici takım sıcaklığı üzerinde etkili olan kontrol faktörlerinin önem sırası kesme hızı, uç açısı, ilerleme miktarı ve kaplama durumudur (Tablo 6).



S/N: en küçük en iyi

Şekil 3. Kesme Kuvveti Değerlerinin S/N Oranları için Ana Etki Grafikleri



S/N: en küçük en iyi

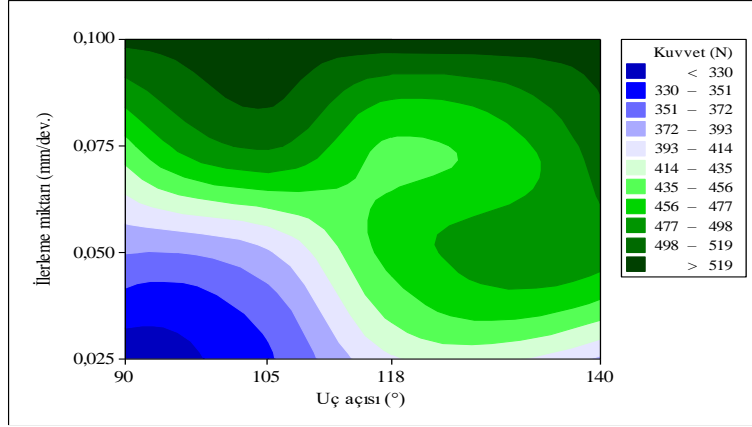
Şekil 4. Kesici Takım Sıcaklık Değerlerinin S/N Oranları için Ana Etki Grafikleri

Tablo 6. Kesme Kuvveti ve Kesici Takım Sıcaklık Değerlerinin S/N Oranları İçin Önem Sırası

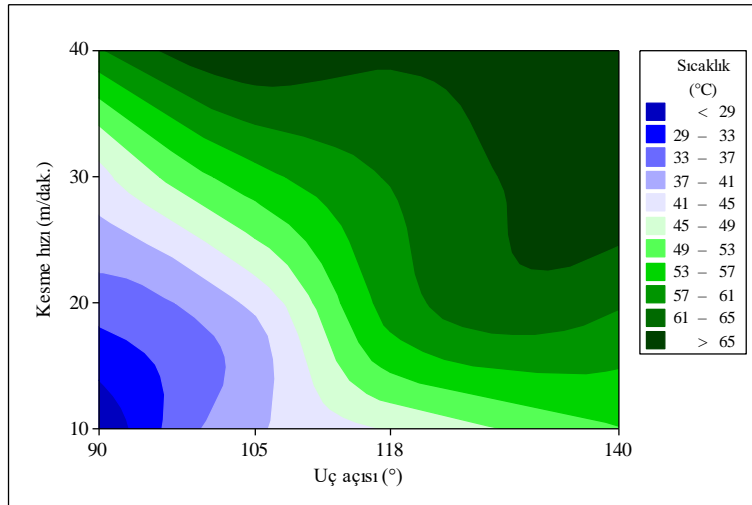
Seviye	Kesme hızı (dB)	İlerleme miktarı (dB)	Uç açısı (dB)	Kaplama durumu (dB)	
Kesme kuvveti	1	-52,35	-51,22	-52,22	-53,12
	2	-52,75	-52,58	-52,76	-52,8
	3	-53,35	-53,58	-53,32	
	4	-53,38	-54,46	-53,53	
	Fark	1,03	3,24	1,32	0,32
	Sıra	3	1	2	4
Kesici takım sıcaklığı	1	-31,94	-33,2	-31,82	-34,52
	2	-33,61	-34,02	-34,06	-33,94
	3	-35,05	-34,61	-35,15	
	4	-36,31	-35,08	-35,88	
	Fark	4,37	1,88	4,05	0,58
	Sıra	1	3	2	4

İlerleme miktarı ve uç açısındaki değişimin kesme kuvvetleri üzerindeki etkileşimi Şekil 5'teki grafikte gösterilmektedir. Grafikteki dalgalanmalar kesme kuvvetlerinin diğer kontrol faktörlerinden de (kesme hızı ve kaplama durumu) etkilendiğini göstermektedir ve bu sonuçlar istatistiksel sonuçların da doğruluğunu kanıtlar niteliktedir. Şekil 6'da kesme hızı ve uç açısındaki değişimlerin kesici takım sıcaklığı üzerindeki etkisi görülmektedir. Grafik üzerindeki eğrisel renk

değişimleri diğer kontrol faktörlerinin de (ilerleme miktarı ve kaplama durumu) kesici takım sıcaklık değerlerini etkilediğinin bir göstergesidir.



Şekil 5. İlerleme Miktarı ve Uç Açısındaki Değişimin Kesme Kuvveti Üzerindeki Etkileşimi



Şekil 6. Kesme Hızı ve Uç Açısındaki Değişimin Kesici Takım Sıcaklığı Üzerindeki Etkileşimi

Şekil 5 incelendiğinde ilerleme miktarının artmasıyla her matkap uç açısı için de kesme kuvvetlerinin yükseliş eğilimine girdiği görülmektedir. En düşük

kesme kuvveti ölçümlerinin 0,025 mm/dev ilerleme miktarında ve 90° uç açısına sahip matkaplarla elde edildiği görülmektedir.

Şekil 6, kesme hızının artması ile kesme bölgesinde daha yoğun bir ısı oluşumunun olduğunu göstermektedir. Kesme hızının artan değerlerinde artan ısı kesici takıma nüfuz ederek kesici takım sıcaklığını artırmaktadır. Ayrıca matkap uç açısındaki değişimde takım sıcaklığı üzerinde oldukça etkilidir. Özellikle 140° uç açısına sahip matkaplarla yapılan deneylerde ısı oluşumunda önemli derecede yükseliş olduğu görülmektedir.

Varyans analizi (ANOVA) ile kesme kuvvetlerinin ve kesici takım sıcaklık değerlerinin, kontrol faktörlerinden etkilenme oranları belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 7’de verilmiştir. Tabloda SD: Serbestlik derecesini, KT: Kareler toplamını, KO: Kareler ortalamasını, F: Test istatistiğini, P: Anlamlılık düzeyini, % katkı: Etki oranını ve R²: Determinasyon katsayısını ifade etmektedir.

Tablo 7. Kesme Kuvvet ve Kesici Takım Sıcaklık Değerleri S/N Oranları için ANOVA

Kontrol faktörleri		SD	KT	KO	F oranı	P değeri	% Katkı
Kesme kuvveti	Kesme hızı	3	6099,8	2033,3	13,48	0,008	8,08
	İlerleme miktarı	3	58064,8	19354,9	128,3	0,000	76,93*
	Uç açısı	3	9221,1	3073,7	20,38	0,003	12,22
	Kaplama durumu	1	1333,2	1333,2	8,84	0,031	1,77
	Artık hata	5	754,1	150,8			1,00
	Toplam	15	75472,9				100,00
R ²		%99,00					
Kesici takım sıcaklığı	Kesme hızı	3	1334,19	1334,19	121,59	0,000	51,09*
	İlerleme miktarı	3	137,35	45,78	12,52	0,009	5,26
	Uç açısı	3	1032,83	344,28	94,13	0,000	39,55
	Kaplama durumu	1	88,83	88,83	24,29	0,004	3,40
	Artık hata	5	18,29	3,66			0,70
	Toplam	15	2611,48				100,00
R ²		%99,30					
* En yüksek etki oranı							

Regresyon analizinde olduğu gibi ANOVA sonuçlarına göre de P değerinin 0,05’ten küçük olması kontrol faktörlerinin kalite karakteristikleri üzerindeki

etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Tablo 7 incelendiğinde her kontrol faktörü için anlamlılık düzeyi 0,05 değerinden küçüktür (P değeri $<0,05$). Buna göre bütün kontrol faktörleri kalite karakteristikleri üzerinde istatistiki olarak etkilidir. Ayrıca Tablo 7'deki F oranlarının, ilgili F testi tablosundaki ($\alpha=0,05$ F dağılım tablosu) değeri mukayese edildiğinde F oranlarının, $\alpha=0,05$ F dağılımı tablo değerinden oldukça büyük oldukları görülmektedir (F oranları $>6,61$). Bu sonuçlar da varyans analizinin doğruluğunu desteklemektedir. Ayrıca determinasyon katsayılarının da (R^2) \geq %99,00 oranında çıkması kalite karakteristikleri ile kontrol faktörleri arasında güçlü bir ilişki olduğunun bir göstergesidir.

Kesme kuvveti değerlerinin kontrol faktörlerinden etkilenme oranlarının sırasıyla; ilerleme miktarı için %76,93, uç açısı için %12,22, kesme hızı için %8,08 ve kaplama durumu için ise %1,77 seviyelerinde olduğu ilgili tablodan (Tablo 7) görülmektedir. Ayrıca kesici takım sıcaklık değerlerinin kontrol faktörlerinden etkilenme oranlarının ise sırasıyla; kesme hızı için %51,09, uç açısı için %39,55, ilerleme miktarı için %5,26 ve kaplama durumu için ise %3,40 seviyelerinde olduğu Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 8. Yapılan Doğrulama Deneyi Sonuçları ve Tahminsel Hesaplamaların Karşılaştırılması

Kalite karakteristiği	Doğrulama deneyleri		Tahminsel hesaplamalar		Farklar	
	F_{Cden} (N)	$F_{C S/Nden}$ (dB)	F_{Ctah} (N)	$F_{C S/Ntah}$ (dB)	$ F_{Cden}-F_{Ctah} $ (N)	$ F_{C S/Nden}-F_{C S/Ntah} $ (dB)
Kesme kuvveti	300,22	-49,548	294,12	-49,711	6,1	0,162
Kesici Takım sıcaklığı	T_{den} (°C)	$T S/Nden$ (dB)	T_{tah} (°C)	$T S/Ntah$ (dB)	$ T_{den}-T_{tah} $ (°C)	$ T S/Nden-T S/Ntah $ (dB)
	23,6	-27,458	22,1	-28,214	1,5	0,756

Taguchi metodu ile optimizasyon yapılarak, belirlenen kalite karakteristikleri üzerinde kontrol faktörlerinin en uygun seviyeleri belirlenmiştir. Yapılan optimizasyona göre kesme kuvvetleri açısından kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri A1-B1-C1-D2 (10 m/dak kesme hızı-0,025 mm/dev ilerleme miktarı-90° uç açısı-kaplamalı kesici takım), kesici takım sıcaklık değerleri açısından ise A1-B1-C1-D2 (10 m/dak kesme hızı-0,025 mm/dev ilerleme miktarı-90° uç açısı-kaplamalı kesici takım) olarak bulunmuştur (Şekil 3 ve Şekil 4).

Bundan sonraki aşama optimizasyonun geçerliliğinin kontrolüdür. Bu amaçla kontrol faktörlerinin en uygun seviyeleri için doğrulama deneylerinin ve tahminsel hesaplamaların yapılması gerekmektedir. Yapılan doğrulama deneyi sonuçları, tahminsel hesaplamalar ve karşılaştırmaları Tablo 8’de verilmiştir.

Kesme kuvvetinin tahminsel değerinin ($[[Fc]]_{tah}$) hesaplanmasında Eşitlik 4 ve kesici takım sıcaklığının tahminsel değerinin ($[[T]]_{tah}$) hesaplanmasında Eşitlik 5 kullanılmıştır. Optimum kesme kuvvetinin ve kesici takım sıcaklığının elde edilebileceği kontrol faktörlerinin seviyeleri aynıdır (A1-B1-C1-D2). Eşitlik 4; $[[Fc]]_{tah}$, A1-B1-C1-D2 kontrol faktörlerinin optimum koşulları için Fc değerinin aritmetik ortalaması ve $(Fc)_{tah}$, deneyler sonucunda elde edilen Fc değerlerinin aritmetik ortalamasını göstermektedir. Eşitlik 5 ise; $[[T]]_{tah}$, A1-B1-C1-D2 kontrol faktörlerinin optimum koşulları için T değerinin aritmetik ortalamasını ve $(T)_{tah}$, deneyler sonucunda elde edilen T değerlerinin aritmetik ortalamasını göstermektedir. Optimum kontrol faktörlerinin seviyeleri ile yapılan doğrulama deneyi sonuçları Eşitlik 6 yardımıyla hesaplanan güven aralığı (CI) değeri dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

$$Fc_{tah} = \overline{Fc}_{tah} + (\overline{A_1} - \overline{Fc}_{tah}) + (\overline{B_1} - \overline{Fc}_{tah}) + (\overline{C_1} - \overline{Fc}_{tah}) + (\overline{D_2} - \overline{Fc}_{tah}) \quad (4)$$

$$T_{tah} = \overline{T}_{tah} + (\overline{A_1} - \overline{T}_{tah}) + (\overline{B_1} - \overline{T}_{tah}) + (\overline{C_1} - \overline{T}_{tah}) + (\overline{D_2} - \overline{T}_{tah}) \quad (5)$$

$$CI = \sqrt{F_{0,05,(1,f_e)} Ve (1/\eta_{eff} + 1/r)} \quad (6)$$

$$\eta_{eff} = N / (1 + U_T) \quad (7)$$

Eşitlik 6 ve Eşitlik 7’de yer alan; $F_{0,05,(1,f_e)}$: F_{0.05} test tablosundan hata serbestlik derecesini, Ve : Hata varyansını, η_{eff} : gerçek tekrar sayısını, r : doğrulama deneyi tekrar sayısını, N : toplam deney sayısını ve U_T : kontrol faktörlerinin serbestlik dereceleri toplamını ifade etmektedir. Buna göre; Kesme kuvveti için: $F_{0,05,(1,f_e)} = 6,61$ (F test tablosundan) ve $Ve = 150,8$ (Tablo 7’den), kesici takım sıcaklığı için: $F_{0,05,(1,f_e)} = 6,61$ (F test tablosundan) ve $Ve = 3,66$ (Tablo 7’den) değerleri ilgili tablolardan elde edilmiştir. Deney tekrar sayısının hesaplanması, toplam deney sayısı ve kesme kuvveti üzerinde anlamlı etkisi olan

kontrol faktörlerinin serbestlik dereceleri toplamı Eşitlik 7’de yerine konulduğunda gerçek tekrar sayısı (Π_{eff}) 1,45 olarak hesaplanmış ve doğrulama deneyi tekrar sayısı (r) 1 olarak uygulanmıştır. İlgili değerler Eşitlik 6’da yerine konulduğunda kesme kuvveti için güven aralığı (CI)= $\pm 37,0214$ olarak bulunmuştur. Aynı işlemler kesici takım sıcaklığı için tekrarlanacak olursa; $F_{0,05,(1,f_e)} = 6,61$, $Ve = 3,66$, $\Pi_{eff} = 1,45$, $r=1$ ve $CI = \pm 5,767$ değerleri elde edilmiş olur.

Doğrulama deneyi sonucunda elde edilen Fc değeri ($F_{c_{den}} = 300,22$ N) ölçülmüş ve bu değere ait S/N oranı ($F_{c} S/N_{den} = -49,548$ dB) Eşitlik 1 ile hesaplanmıştır. Ayrıca Eşitlik 4 ile hesaplanan tahminsel $F_{c_{tah}}$ değeri ($F_{c_{tah}} = 294,12$ N) ve bu değere ait S/N oranı ($F_{c} S/N_{tah} = -49,711$ dB) Eşitlik 1 yardımıyla bulunmuştur. Aynı işlemler kesici takım sıcaklığı için tekrarlanacak olursa; $T_{den} = 23,6$ °C, $T S/N_{den} = -27,458$ dB, $T_{tah} = 22,1$ °C ve $T S/N_{tah} = -28,214$ dB olarak bulunur (Tablo 8).

Bu sonuçlara göre: Kesme kuvveti için $F_{c} S/N_{den}$ oranı (-49,548 dB) ile $F_{c} S/N_{tah}$ oranı (-49,711 dB) arasındaki mutlak fark 0,162 dB, kesici takım sıcaklığı için ise $T S/N_{den}$ oranı (-27,458 dB) ile $T S/N_{tah}$ oranı (-28,214 dB) arasındaki mutlak fark 0,756 dB çıkmıştır. Her iki kalite karakteristiği için de bu farkların Eşitlik 6 ile hesaplanan güven aralığı (CI) değerlerinden küçük olduğu görülmektedir ($0,162 < 37,021$) ve ($0,756 < 5,767$).

Başka bir ifadeyle;

Kesme kuvveti için:

$$F_{c} S/N_{tah} - CI < F_{c} S/N_{den} < F_{c} S/N_{tah} + CI$$

$$-49,711 - 37,021 < -49,548 < -49,711 + 37,021 \rightarrow -86,732 < -49,548 < -12,689$$

Kesici takım sıcaklığı için ise:

$$T S/N_{tah} - CI < T S/N_{den} < T S/N_{tah} + CI$$

$$-28,214 - 5,767 < -27,458 < -28,214 + 5,767 \rightarrow -33,982 < -27,458 < -22,446$$

Elde edilen bu sonuçlara göre, Taguchi metoduyla HSS matkaplarla alüminyum 1050-H14 malzemenin delinmesinde kesme kuvveti ve kesici takım sıcaklığı açısından 0,05 anlamlılık düzeyinde yapılan optimizasyonun uygun olduğu görülmüştür.

Sonuç

Bu çalışmada, kesme hızı, ilerleme miktarı, matkap uç açısı ve kaplama durumu olarak 4 kontrol faktörü kullanılarak 1050-H14 alüminyum alaşımının HSS kesici takımlarla delinmesi kesme kuvveti ve kesici takım sıcaklığı kalite karakteristikleri açısından değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçları regresyon analizi ve Taguchi metodu istatistiksel araçlarıyla değerlendirilmiş ve doğrulama deneyleri ile yapılan optimizasyonun geçerliliği test edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda aşağıdaki çıkarımlar elde edilmiştir.

- Kesme kuvveti üzerinde etkili olan kontrol faktörlerinin önem sırası ilerleme miktarı, uç açısı, kesme hızı ve kaplama durumu olmuştur.
- Kesici takım sıcaklığı üzerinde etkili olan kontrol faktörlerinin önem sıralaması ise kesme hızı, uç açısı, ilerleme miktarı ve kaplama durumu şeklinde olmuştur.
- Kesme kuvveti için ilerleme miktarının %76,93, kesici takım sıcaklığı için ise kesme hızının %51,09 oranlarında sonuçlar üzerinde etkili olduğu hesaplanmıştır.
- Kesme kuvveti ve takım sıcaklığı üzerinde belirlenen diğer kontrol faktörleri de istatistiksel olarak anlamlıdır.
- İlerleme miktarının artmasıyla her matkap uç açısı için kesme kuvvetleri yükseliş eğilimine girmektedir. En düşük kesme kuvvetleri düşük uç açısına sahip matkaplarla ölçülmüştür.
- Kesme hızının artması ile kesme bölgesinde daha yoğun bir ısı oluşumu görülmüştür. Matkap uç açısının artması da kesici takıma geçen ısıyı olumsuz yönde etkilemiştir.
- Kesme kuvveti ve kesici takım sıcaklığı açısından 0,05 anlamlılık düzeyinde yapılan optimizasyonun uygun olduğu görülmüştür.

Extended Summary

Introduction

Aluminum and its alloys are widely used in the production of many products, especially space, aerospace and automotive sectors. The high ductility

values of aluminum and its alloys bring with it some difficulties in machining such as high surface roughness values, removal of chips and adhesion to the cutting tool. In this study, 1050-H14 material, one of the most widely used aluminum alloys suitable for machining, cutting by taking into account 4 different cutting speeds, 4 different feed rates, 4 different drill bit angles and 2 different coating conditions (Table 1) with HSS cutting tools, drilling experiments were carried out in terms of cutting force and cutting tool temperature (2 quality characteristics).

Table 1. Control Factors and Levels

Control factors	Unit	Code	Levels			
			1	2	3	4
Cutting speed (Vc)	m/min	A	10	20	30	40
Feed rate (f)	mm/rev	B	0.025	0.050	0.075	0.100
Drill bit angle (β)	°	C	90	105	118	140
Coating condition (KD)	-	D	Uncoated and coated			

Material and Method

The test material with a thickness of 15 mm was subjected to through-drilling with the cutting parameters determined with HSS drills without using coolant. In the experiments, \varnothing 5 mm diameter, 30° helix angle, 90° - 105° - 118° - 140° end angles, uncoated and coated (CVD - AlTiN - coating thickness: 5 μ m) HSS drills were used. The manufacturer's recommendations and previous studies were taken into consideration in the selection of drills. The cutting tools used in the experiments are connected to the tool holder with a collet that can tighten \varnothing 5 mm diameter cutting tools. The workpiece is connected to the CNC vertical machining center table using a 4-foot chuck, and the cutting forces are measured with a force gauge based on the load cell. The temperatures formed in the tool and workpiece during processing were measured with the Fluke Ti200 brand / model thermal camera. The temperatures in the tool and workpiece during processing were measured with the Fluke Ti200 thermal camera. The experimental setup is shown in Figure 1.

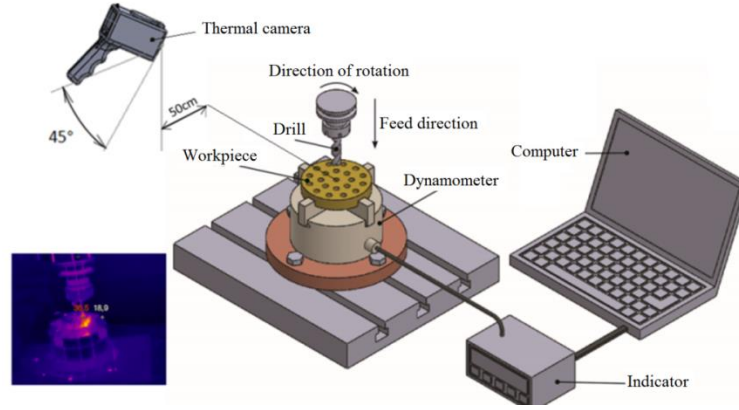


Figure 1. Experimental Setup

The experimental design was made using the Taguchi L16 (4×3 2×1) orthogonal array. The effects of control factors on quality characteristics were modelled by regression analysis and optimum drilling conditions were determined by Taguchi method. The variance analysis was made in 95% confidence interval and the effect rates of control factors were calculated. Optimization was also tested by verification experiments.

Results and Discussion

In drilling operations, cutting forces and cutting tool temperatures were measured, and the S/N ratios obtained with the "smaller is better" objective function were calculated. It can be seen that the cutting force from about 315 N to 536 N and the cutting tool temperature varies from about 25 °C to 69 °C. These changes are indications that control factors significantly affect the drilling process.

In the light of the data obtained as a result of the experiments, optimization was performed with Regression analysis and Taguchi method. Variance analysis was performed separately for the results obtained for cutting forces and cutting tool temperatures. With the analysis of variance, it was concluded that all control factors were statistically significant ($P < 0.05$). In other words, a strong relationship can be mentioned between the variables (Table 2 and Table 3).

Table 2. Analysis of Variance of Regression Equations

Cutting force					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regresyon	4	73496	18374	102.25	0.000
Residual error	11	1977	180		
Total	15	75473			
Cutting tool temperature					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regresyon	4	2511.80	627.95	69.30	0.000
Residual error	11	99.68	9.06		
Total	15	2611.48			

Table 3. ANOVA for Cutting Force and Cutting Tool Temperature Values S/N Ratios

Control factors		SD	KT	KO	F ratio	P value	% Contribution
Cutting forces	Cutting speed	3	6099.8	2033.3	13.48	0.008	8.08
	Feed rate	3	58064.8	19354.9	128.3	0.000	76.93*
	Drill bit angle	3	9221.1	3073.7	20.38	0.003	12.22
	Coating condition	1	1333.2	1333.2	8.84	0.031	1.77
	Error	5	754.1	150.8			1.00
	Total	15	75472.9				100.00
	R ²	99.00 %					
Cutting tool temperature	Cutting speed	3	1334.19	1334.19	121.59	0.000	51.09*
	Feed rate	3	137.35	45.78	12.52	0.009	5.26
	Drill bit angle	3	1032.83	344.28	94.13	0.000	39.55
	Coating condition	1	88.83	88.83	24.29	0.004	3.40
	Error	5	18.29	3.66			0.70
	Total	15	2611.48				100.00
	R ²	99.30 %					
* Highest impact rate							

As a result of the experiments, it was observed that the order of importance of the control factors affecting the cutting force was the feed rate, the angle of bit,

the cutting speed and the coating state, respectively and the control factors affecting the cutting tool temperature were the order of the cutting speed, the angle of bit, the feed rate and the coating state, respectively (Table 4). The optimization performed at the level of 0.05 significance in terms of cutting force and cutting tool temperature was found to be appropriate.

Table 4. Response Table of S/N Ratios for Cutting Force and Cutting Tool Temperature Values

Levels	Cutting speed (dB)	Feed rate (dB)	Drill bit angle (dB)	Coating condition (dB)	
Cutting forces	1	-52.35	-51.22	-52.22	-53.12
	2	-52.75	-52.58	-52.76	-52.8
	3	-53.35	-53.58	-53.32	
	4	-53.38	-54.46	-53.53	
	Delta	1.03	3.24	1.32	0.32
	Rank	3	1	2	4
Cutting tool temperature	1	-31.94	-33.2	-31.82	-34.52
	2	-33.61	-34.02	-34.06	-33.94
	3	-35.05	-34.61	-35.15	
	4	-36.31	-35.08	-35.88	
	Delta	4.37	1.88	4.05	0.58
	Rank	1	3	2	4

Conclusions

- The order of importance of the control factors affecting the cutting force was the feed rate, the angle of bit, cutting speed and coating condition.
- The order of importance of the control factors affecting the cutting tool temperature was found to be cutting speed, angle of bit, feed rate and coating status.
- It has been calculated that the feed rate in terms of cutting force is 76.93% and the cutting speed is 51.09% effective in terms of cutting tool temperature.
- Other control factors determined on cutting force and tool temperature are also statistically significant.
- With the increasing feed rate, cutting forces for each drill bit angle tend to increase. The lowest cutting forces were measured with drills with a low bit angle.

- With the increase in cutting speed, more intense heat formation was observed in the cutting zone. Increasing the drill bit angle also adversely affected the heat passing to the cutting tool.
- Optimization performed at 0.05 confidence interval in terms of cutting force and cutting tool temperature was found appropriate.

Kaynakça

Makaleler

- Aydemir, M.E. (2014). Bazı optimizasyon yöntemlerinin yama anten problemlerindeki performansı. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29(3). 579-588.
- Başak, H. ve Baday, Ş. (2016). In processing of a spheroidized medium carbon steel, modelling with regression analysis of cutting forces and surface roughness affected by cutting parameters. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 22(4). 253-258.
- Bayraktar, Ş., Siyambaş, Y. ve Turgut, Y. (2017). Delik delme prosesi: bir araştırma. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(2). 120-130.
- Bhowmick, S. ve Alpas, A.T. (2008). Minimum quantity lubrication drilling of aluminium-silicon alloys in water using diamond-like carbon coated drills. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 48(12-13). 1429-1443.
- Canel, T., Zeren, M. ve Sınmazçelik, T. (2019). Laser parameters optimization of surface treating of Al 6082-T6 with Taguchi method. *Optic & Laser Technology*, 120. 105714.
- Chatha, S.S., Pal, A. ve Singh, T. (2016). Performance evaluation of aluminium 6063 drilling under the influence of nanofluid minimum quantity lubrication. *Journal of Cleaner Production*, 137. 537-545.
- Colligan, K. (1994). New tool drills both titanium and carbon composites. *American Machinist*, 138(10). 56-58.

- Çaydaş, U. ve Çelik, M. (2017). AA 7075-T6 alaşımının delinmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, takım sıcaklığı ve ilerleme kuvvetine etkilerinin araştırılması. *Journal of Polytechnic*, 20(2). 419-425.
- Çiftçi, İ. ve Gökçe, H., (2019). Optimisation of cutting tool and cutting parameters in machining of molybdenum alloys through the Taguchi Method. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(1). 201-213.
- Dhar, N.R., Ahmed, N.T. ve Islam, S. (2007). An experimental investigation on effect of minimum quantity lubrication in machining AISI 1040 steel. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47. 748-753.
- Durmuş, H., (2012). Optimization of multi-process parameters according to the surface quality criteria in the end milling of the AA6013 aluminum alloy. *Materials and Technology*, 46(4). 383-388.
- Ghani J.A., Choudhury I.A. ve Hassan H.H. (2004). Application of Taguchi method in the optimization of end milling parameters. *Journal of Materials Processing Technology*, 145. 84-92.
- Gökçe, H., Yavuz, M. ve Karayel, M. (2017). İmalat süreçlerinde kesme kuvvetlerinin belirlenmesi amaçlı dinamometre tasarımı ve imalatı. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(2). 27-32.
- Gökçe, H., Çiftçi, İ. ve Demir, H. (2018). Cutting parameter optimization in shoulder milling of commercially pure molybdenum. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 40. 360.
- Günay, M. (2013). Optimization with Taguchi method of cutting parameters and tool nose radius in machining of AISI 316l steel. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28(3). 437-444.
- Ilyuschenko, A.P., Feldshtein, E.E., Lisovskaya, Y.O., Markova, L.V., Andreyev, M.A. ve Lewandowski, A. (2015). On the properties of PVD coating based on nanodiamond and molybdenum disulfide nanolayers and its efficiency when drilling of aluminum alloy. *Surface and Coatings Technology*, 270. 190-196.

- Karaca, F. (2016). Cam elyaf takviyeli plastik kompozitlerde delme parametrelerinin deformasyon faktörüne etkisinin araştırılması. *Firat University Journal of Engineering*, 28(2). 23-27.
- Kimmelman, M., Duntschew, J., Schluchter, I. ve Möhring, H.C. (2019). Analysis of burr formation mechanisms when drilling CFRP-aluminium stacks using acoustic emission. *Procedia Manufacturing*, 40. 64-69.
- Korkmaz, M.E., Çakıroğlu, R., Yařar, N., Özmen, R. ve Günay, M. (2019). Al2014 alüminyum alaşımının delinmesinde itme kuvvetinin sonlu elemanlar yöntemi ile analizi. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 6(1). 193-199.
- Lambert, B.K. (1979). Prediction of force, torque and burr length in drilling titanium-composite materials. *SME Technical Paper MR*, 79.363.
- Maiyar, L.M., Ramanujam, R., Venkatesan, K. ve Jerald, J. (2013). Optimization of machining parameters for end milling of Inconel 718 super alloy using Taguchi based grey relational analysis. *Procedia Engineering*, 64. 1276-1282.
- Meral, G., Dilipak, H. ve Sarıkaya, M. (2011). AISI 1050 malzemenin delinmesinde ilerleme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüđünün regresyon analiziyle modellenmesi. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 4(1). 31-41.
- Meral, G., Dilipak, H. ve Sarıkaya, M. (2011). AISI 1050 malzemenin delinmesinde delme parametrelerinin delik kalitesi üzerindeki etkisinin çoklu regresyon metoduyla modellenmesi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(1). 37-46.
- Pınar, A.M., Uluer, O. ve Kirmaci, V. (2009). Optimization of counter flow Ranque-Hilsch vortex tube performance using Taguchi method. *International Journal of Refrigeration*, 32(6). 1487-1494.
- Saat, M., (2000). Kalite denetiminde Taguchi yaklaşımı. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 3. 97-108.
- Samtaş, G. ve Korucu, S. (2019). Optimization of cutting parameters for surface roughness in milling of cryogenic treated EN AW 5754 (AlMg3) aluminum alloy. *Journal of Polytechnic*, 22(3). 665-673.

- Song, D., Wenhe, L., Kan, Z., Jinshan, L. ve Jindan, F. (2019). Investigation on exit burr in robotic rotary ultrasonic drilling of CFRP/aluminum stacks. *International Journal of Mechanical Sciences*, 151. 868-876.
- Şahin, İ. (2013). Alüminyum matrisli kompozit malzemelerin matkap ile delinmesi konusunda yapılan çalışmaların incelenmesi. *Mühendis ve Makine*, 55(649). 9-16.
- Terzioğlu, H. (2020). Analysis of effect factors on thermoelectric generator using Taguchi method. *Measurement*, 149. 106992.
- Zhu, Z., Guo, K., Sun, J., Li, J., Liu, Y., Zheng, Y. ve Chen, L. (2018). Evaluation of novel tool geometries in dry drilling aluminium 2024-T351/titanium Ti6Al4V stack. *Journal of Materials Processing Technology*. 259. 270-281.

Kongre ve Sempozyum

- Bahçe, E., Kılıçkap, E. ve Özel, C. (2010). Al-5005'in delinmesinde delme parametrelerinin çapak oluşumuna etkisinin araştırılması. 2.Ulusal Tasarım İmalat ve Analizi Kongresi. 242-250. Balıkesir.
- Başar, G. ve Kahraman, F. (2017). Delik işleme prosesinde kesme parametrelerinin Taguchi metodu ve regresyon analizi kullanılarak modellenmesi ve optimizasyonu. 2nd International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2017). 688-695.
- Bayraktar, Ş. ve Turgut, Y. (2012). Elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin delinmesi üzerine bir araştırma. 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu. Ankara.
- Bayraktar, Ş. (2016). Investigating of effects on thrust force and burr height of cutting parameters in dry drilling of Al-5083 alloy. 16th International Materials Symposium (IMSP'2016). 64.
- Çakır, A., Bahtiyar, O. ve Şeker, U. (2014). Farklı soğutma şartları ile farklı kesme parametrelerinin AA7075 ve AA2024 alüminyum alaşımlarında delik delme işlemlerine etkisinin deneysel olarak incelenmesi. 16. Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi. İzmir.
- Dheeraj, N., Sanjay, S., Bhargav, K.K. ve Jagadesh, T. (2020). Investigation into solid lubricant filled textured tools on hole geometry and surface integrity

during drilling of aluminium alloy. *Materials Today: Proceedings*. 10th International Conference of Materials Processing and Characterization.

Kim, D. ve Ramulu, M. (2005). Cutting and drilling characteristics of hybrid titanium composite laminate (HTCL). In *Proceedings of Materials and Processing Technologies for Revolutionary Applications Fall Technical Conference*, Seattle, Washington, 1-8.

Kurt, M., Kaynak, Y., Bakır, B., Köklü, U., Atakök, G. ve Kutlu, L. (2009). Experimental investigation and Taguchi optimization for the effect of cutting parameters on the drilling of Al 2024-t4 alloy with diamond like carbon (DLC) coated drills. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09). Karabük.

Yılmaz, V., Yılmaz, C.Y., Sarıkaya, M. ve Özdemir, M. (2015). Modelling of performance output in the hole drilling process with different electrodes to X10CrAlSi24 sheet material”, ISITES 2015 Valencia –Spain.

Elektronik Kaynaklar

Matweb. 01.05.2020'de <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=b1aa69c0528a40729478403542a8c94a&n=1> adresinden alınmıştır.