

Delik delme prosesi: bir araştırma

Şenol Bayraktar¹, Yusuf Siyambaş², Yakup Turgut³

25.01.2016 Geliş/Received, 26.10.2016 Kabul/Accepted

doi: <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.296833>

ÖZ

Delik delme işlemi, talaşlı imalat işlemleri arasında önemli bir yere sahiptir. Delme işlemi esnasında, aşırı yüzey pürüzlülüğü, çapak oluşumu, dairesellik, aksel kaçıklık ve hızlı takım aşınması gibi istenmeyen sonuçlarla karşılaşmaktadır. Bu sonuçlar, ürün kalitesinin ve üretim maliyetlerinin belirlenmesinde önemli bir etkiye sahiptir. Buna göre, makine parçalarının birbirleri arasında hassas çalışabilmeleri ve üretimde verimliliğin artırılabilmesi için istenmeyen bu sonuçların en aza indirgenmesi gerekmektedir. Kesme esnasında oluşan ilerleme kuvveti, moment, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü, optimum kesme parametrelerinin belirlenmesi ile kontrol edilebilmektedir. Böylelikle, optimum kesme parametreleri belirlenerek, üretimde verimliliğin ve hassasiyetin artırılması sağlanmaktadır. Bu çalışmada, farklı malzemeler üzerinde delik delme işlemi ile ilgili yapılan çalışmalar araştırılarak elde edilen sonuçlar bir arada sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Delik delme, İlerleme kuvveti, Çapak oluşumu, Yüzey pürüzlülüğü, Takım aşınması

Drilling process: a review

ABSTRACT

Drilling has important role among all machining operations. In during drilling process such as excessive surface roughness, burr formation, ovality and axial deviation with adverse results have been encountered. These results have a significant influence in determining product quality and manufacturing costs. Hence, It is necessary to minimize these adverse results in order to work on each machine part precisely and to get an increased efficiency in production. Thrust force, torque, tool wear and surface roughness can be controlled by determining the optimum cutting parameters. Thereby, using these parameters increased efficiency and accuracy in production are provided. The investigated studies which are about drilling process on different materials are presented in this study.

Keywords: Drilling, Thrust force, Burr formation, Surface roughness, Tool wear

¹ Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği - senol.bayraktar@erdogan.edu.tr

² Erzincan Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, Makina ve Metal Teknolojileri Bölümü - yusuf.siyambas@erzincan.edu.tr

³ Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği - yurgut@gazi.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Makine parçalarının istenen verimde çalışabilmesi için, yüzey kalitesi önemli bir etkidir. Yüzey kalitesinin belirlenmesinde kullanılan faktör ise yüzey pürüzlülüğüdür. Bu faktör, aşınma, sürtünme ve yağlamanın yanı sıra sızdırmazlık, hidrodinamik, elektrik, ısı iletimi gibi farklı alanlarda da dikkate alınması gereken önemli bir parametredir. Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi parametreler yüzey pürüzlülüğünü doğrudan etkilemektedir [1]. Kesme parametreleri iyi belirlenmediği durumda, yüzey kalitesinin azalmasına ve çentik etkisine sebep olarak çatlak oluşumuna, yorulma ve korozyon dayanımının azalmasına neden olmaktadır. Bundan dolayı yüzey kalitesi açısından talaşlı imalat işlemlerinin optimizasyonu önem taşımaktadır [2].

Delik delme işlemi, imalat işlemleri arasında en çok kullanılan işlemlerden biridir ve talaş kaldırma işlemlerinin yaklaşık % 33'ünü içermektedir [3,4]. Bunun yanı sıra, harcanan zamanın %25'ini delik delme işlemi oluşturmaktadır [5]. Delik delme işlemi, çoğunlukla talaş kaldırma işlemlerinin sonucusudur. Mekanik üretimde, ekonomiklik açısından büyük öneme sahiptir [6]. Tornalama ve frezeleme işlemleri ile karşılaştırıldığında, kinematik ve dinamik yapısının benzer olup kesme anında talaş akışı ve kesme sıcaklığı dağılımı aynı şekilde gerçekleşir. Ancak, delme işleminde talaş oluşumunun kapalı alanda gerçekleşmesi, talaş kontrolünü zorlaştırmaktadır. Matkap üzerinde oluşan talaş kalınlığı, talaş akışını belirleyen etkidir. Matkap ile iş parçası malzemesi arasında oluşan sürtünmeye bağlı olarak yüzeyde oluşan sıcaklığın yetersiz ve dönme ekseninde kesme hızının sıfır olması, delik delme işleminde ana problemdir. Bundan dolayı, matkap geometrisi ve malzemesinin geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır [5, 7].

Matkap ile delme işlemi, radyal ağzın parçaya teması ile başlar ve ana kesme ağzlarının aktif kesme işlemine katılması ile devam eder. Oluşan talaş, helisel kanalları vasıtasıyla tahliye edilir. Radyal ağız, matkabın dönme ve ilerleme hareketi ile iş parçasını ezerek kesicinin ağızlamasını sağlar. Böylelikle matkabın delme eksenine paralel olacak şekilde ilerlemesini sağlar. Kesici ağız ise matkabın ilerleme hareketiyle helis bir yüzey oluşturarak, iş parçasını kesmeye başlar. Helisel yüzey boyunca hareket eden takımın kesme ağzlarının etki yönü sürekli değiştiğinden, matkabın etkili kesme açıları da değişmektedir [8].

Özellikle, havacılık sanayisindeki uygulamalarda delik yüzey kalitesi önemlidir [9]. Delik yüzey pürüzlülüğü ve çap doğruluğu, delik kalitesini belirten parametrelerdir [10]. Bu işleminde, matkap performansı ve delik kalitesinin

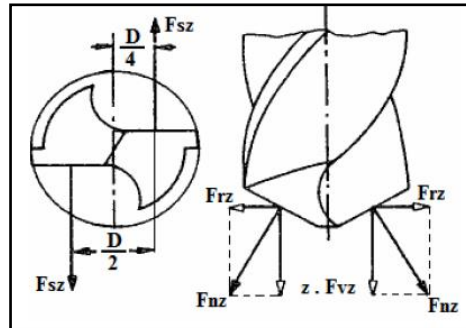
belirlenmesinde, kesme parametreleri ve matkap malzemeleri önemli etkiye sahiptir. Bu nedenle, en iyi delme performansının belirlenmesi için araştırmacılar bu konu üzerine yoğunlaşmışlardır [11]. Delik delme işleminin gerçekleştirilmesi esnasında yüzey pürüzlülüğünün yanı sıra çapak oluşumu, ölçü tamlığı, dairesellik ve aksel kaçıklık gibi etkenler de ön plana çıkmaktadır. Bu etkenler, kesme hızı, ilerleme, matkap geometrisi ve malzemesi, iş parçası malzemesi gibi çeşitli kesme koşullarına bağlıdır [12]. Bu kesme koşulları ise kesme kuvvetini, kesme sıcaklığını, takım aşınmasını, delik kalitesi ve talaş tipini doğrudan etkilemektedir [13]. Matkapla delik delme işleminde delik kalitesinin optimum şekilde sağlanması için bu durumun göz önüne alınması gerekmektedir. Son yıllarda, özellikle kriyojenik işlem sayesinde kesme bölgesindeki oluşan sıcaklıklar bir miktar azaltılarak delik delme işleminde daha iyi sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir.

Bu çalışmada, kesme parametrelerine bağlı olarak delik delme işlemi esnasında delik kalitesini etkileyen faktörler ve bu alanda literatürde yapılan araştırmalar bir arada sunulmuştur.

2. DELME PROSESİ (DRILLING PROCESS)

2.1. Kesme Kuvveti ve Moment (Cutting Force and Moment)

Kesme kuvveti, bir malzemenin işlenebilirliğini gösteren parametrelerden biridir [14-16]. Genellikle, işleme esnasında düşük kesme kuvvetleri istenmektedir. Kesme kuvvetleri, işlenmiş yüzeyin kalitesini etkilemekle birlikte matkapların takım ömrü de etkilemektedir [17]. Kesme momentinin artması, kesici takım ile malzeme arayüzünde oluşan ısının artmasına neden olmaktadır. Kesici matkabın bir kesici ağızı dikkate alındığında, bu bölgede ilerleme kuvveti (F_{vz}), radyal kuvvet (F_{rz}) ve kesme kuvveti (F_{sz}) oluşmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Kesici ucu etkileyen kuvvetler [18]. (Affecting forces to the cutting edge)

Kesici uç konumu itibarıyla her ağızda oluşan radyal kuvvetler birbirini dengelemektedir. Dolayısıyla delme

işleminde F_{sz} ve F_{vz} kuvvetleri etkili olmaktadır (Şekil 1) [18]. İki ağızlı bir matkap için oluşan kesme kuvveti;

$$F_s = zF_{sz} = 2F_{sz} = d_{sz}k_s = \frac{ds}{2}k_s \quad (\text{Nm}) \quad (1)$$

şeklinde ifade edilir. Burada k_s , özgül kesme kuvvetini ifade etmektedir. İki ağızlı matkapta oluşan toplam kesme momenti;

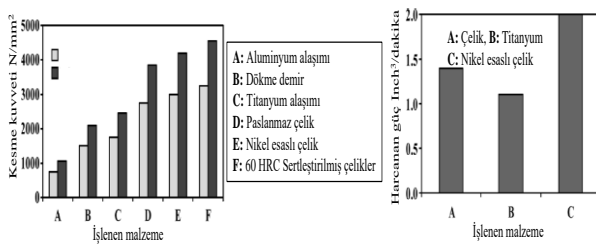
$$F_s = 2F_{sz} \quad (\text{Nm}) \quad (2)$$

$$M_s = zF_{sz} \frac{d}{4} = 2F_{sz} \frac{d}{4} = F_s \frac{d}{4} \quad \text{veya} \quad (3)$$

$$M_s = \frac{d^2 sk_s}{8 \cdot 10^3} \quad (\text{Nm}) \quad (4)$$

ile hesaplanabilir.

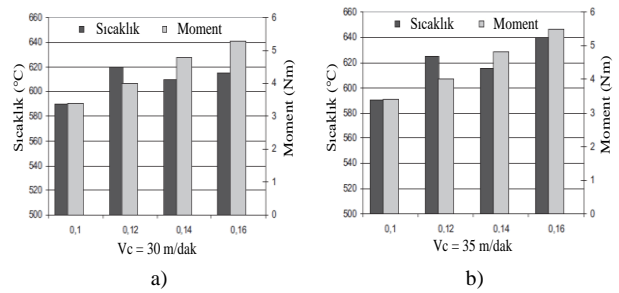
Alaşımli çelikler, alüminyum, metal veya polimer matrisli kompozit gibi farklı malzemelerin işlenmesi esnasında oluşan kesme kuvvetleri, kesme parametrelerinin yanı sıra bu malzemelerin yapısal özelliklerinin farklı olmasından dolayı değişkenlik göstermektedir. Örneğin, [19-20]'de titanyumun delinmesinde oluşan kesme kuvvetleri alüminyum alaşımlarına göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Titanyumun işlenmesinde, takım-talaş arayüzünde oluşan temastan dolayı kesme kenarı civarında diğer metal malzemelere göre yüksek değerlerde gerilmeler oluşur [21]. Titanyumun delinmesindeki güç tüketimi, düşük sertliğe sahip çeliklerin delinmesinde harcanan güç ile yaklaşık olarak aynı veya daha düşük değerlerde olmaktadır [22]. Şekil 2.a ve b' de farklı metallere delinmesi esnasında oluşan kesme kuvveti ve güç tüketim değerleri sırasıyla gösterilmiştir.



a) Şekil 2-a) Farklı metallere delinmesinde oluşan kesme kuvveti [23] (Consisted cutting forces in drilling of different metals), b) Farklı metallere delinmesinde harcanan güç [22] (Consumed power in drilling of different metals).

Kesme kuvvetleri, titreşim, yüzey hataları ve takım aşınması gibi faktörlere etki etmektedir. Araştırmacıların birçoğu, delik delme işlemi esnasında oluşan ilerleme kuvveti ve moment için matematiksel modeller

geliştirmişlerdir. Williams [24] delme işlemi esnasında, matkap ağız bölgesini esas, ikincil kesme kenarı ve matkap uç bölgesi şeklinde üç bölge olarak belirterek, talaş oluşumu ve matkabın ağızlaması ile ilgili, Zhang ve ark., [25], matkabın kesme kenarı boyunca, ilerleme kuvveti, moment ve titreşim mekaniği ile ilgili, Wang ve ark., delme esnasında oluşan talaş kalınlığına bağlı olarak dinamik kesilmemiş talaş kalınlığı arasındaki ilişkiyi belirten modeller geliştirmişlerdir. Sabit titreşim parametrelerinin yanı sıra ilerlemenin artması ile moment ve ilerleme kuvvetleri artmaktadır [26-27]. Coz ve ark [28]., Ti6Al4V alaşımının MQL (minimal quantity of lubricant) ile delinmesinde kesme hızının artması ile sıcaklık ve moment değerlerinde artış olduğunu ve bu değerlerin Zeilmann and Weingaertner [29]' in yaptığı benzer çalışmaya göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Moment değerlerindeki artış, talaş kesitinin artması ile ilişkilendirilirken, kesme hızının artması ise moment değerlerini çok fazla etkilemediğini ifade etmişlerdir (Şekil 3.a ve b).



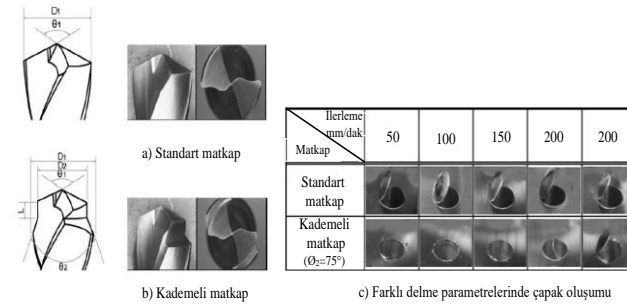
Şekil 3. Ti6Al4V alaşımının delinmesinde oluşan sıcaklık ve moment değerleri (Consisted temperature and moment values in drilling of Ti6Al4V alloy, a) Vc=30 m/dak, b) Vc=35 m/dak [28].

Tsao ve Hocheng, ilerleme kuvvetini etkileyen en önemli faktörün ilerleme oranı ve matkap çapının olduğu, yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler ise ilerleme oranı ile devir sayısı olduğunu belirtmişlerdir. Taguchi deney düzeneği kullanılarak, yapay sinir ağları ile tahmini model geliştirmişlerdir [30]. İlerleme oranının artması ile iş parçası üzerinden kaldırılan talaş kesiti artar ve bu sebeple delme esnasında mekanik titreşimin artmasına bağlı olarak delme kuvvetleri artar [31-33]. Rajmohan ve Palanikumar, Al356/SiC metal matrisli karma kompozit malzemenin delinmesinde, düşük ilerleme değerlerinin kullanılması gerektiğini, ilerlemenin artması ile ilerleme kuvveti ve moment değerlerinin arttığını ve delik yüzey kalitesinin azaldığını belirtmişlerdir [34]. Fiber takviyeli kompozit malzemelerin delinmesinde, fiber-matris arayüzünde delaminasyonun oluşumu, ilerleme kuvveti ve moment çıktıkları ile yakından ilişkilidir. Birçok yazarın [35-37] yaptığı çalışmada da sabit kesme parametrelerinde ilerleme kuvvetinin ve moment değerinin artması ile delaminasyonun arttığı belirtilmiştir.

2.2 Delik Kalitesi ve Matkap Geometrisi (Hole Quality and Drill Geometry)

Delme işleminde, kesme parametrelerinin yanlış seçimi, delik kalitesini olumsuz etkilemektedir. Bundan dolayı, delme işleminde, yüzeyin hassas olarak işlenmesi için bu parametrelerinin iyi belirlenmesi gerekmektedir. Kesme parametreleri genel olarak, kesme hızı, ilerleme, delme derinliği, matkap malzemesi, soğutma sıvısı ve çevre koşullarından oluşmaktadır [38-41]. Deng ve Chin [42], işleme şartları, delik çapı, matkap çapı, ilerleme ve devir sayısı gibi etkenleri giriş parametresi olarak dikkate alarak, delik daireselliğini Taguchi metodu ile test etmişlerdir. Panda ve Mahapatra [43], delik yüzey pürüzlülüğünün ve matkap kesici kenarında oluşan serbest yüzey aşınmasının belirlenmesi için gri tabanlı Taguchi (Gray-based Taguchi) metodunu önermişlerdir.

Delik delme esnasında, delik çıkış bölgesinde oluşan çapak, makina parçalarının kalitesini ve fonksiyonelliğinin azalmasına sebep olmaktadır. Çapak, makine parçalarının birbirleri arasında çalışması esnasında güvenilirliğini ve hassas çalışma kabiliyetini en aza indirdiği için delik kalitesini belirleyen en önemli parametredir [44]. Gaitonde ve ark., delik çıkışında oluşan, çapağın yüksekliğini ve kalınlığını minimuma indirmek için çok amaçlı Taguchi (multi-objective) metodu ile optimum parametreleri 8 m/dak kesme hızı, 0.08 mm/devir ilerleme, 134° uç açısı ve 8° ön boşluk açısı olarak belirlemişlerdir [45, 46]. Diğer bir çalışmada ise matkap uç açısının çapak oluşumu üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu, boşluk açısının azaltılması ve büyük çapa sahip matkapların kullanılması gerektiği belirtilmiştir [47]. Ko ve ark., SM45C alaşım çeliğinin delinmesinde, 130°'den büyük uç açısına sahip standart matkap, kademeli matkaba göre kıyaslandığında, daha fazla çapak oluşumunun gözlemlendiği, 75° kademe açısına sahip kademeli matkabin, çapağı minimize edilebilmesi için ideal olduğunu belirtmişlerdir (Şekil 4).

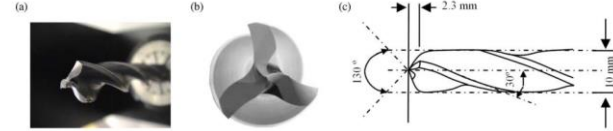


Şekil 4.a) Standart matkap (uç açısı 140°) (Standard drill-tip angle 140°), b) Kademeli matkap (step drill), c) SM45C alaşım çeliğinin farklı delme parametrelerinde çapak oluşumu [48] (Burr formation in drilling of SM45C alloy steel in different drilling parameters).

Birçok çalışmada, matkap geometrisinin çapak oluşumu üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çapak boyutunun azaltılması için büyük uç açılı matkapların kullanılması

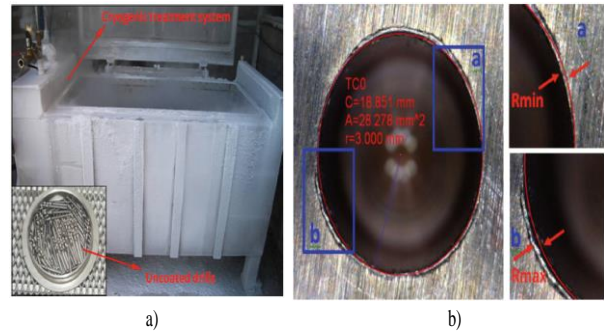
gerektiği [49], diğer bir çalışmada da benzer sonuçlar elde edildiği belirtilmiştir [50].

Pena ve ark., Al 7075-T6'in delinmesinde çapak oluşumunun belirlenmesi için sinyal işleme yöntemi ile algoritma geliştirmişlerdir. Delme anında oluşan moment ile sinyaller arasında ilişki kurularak delme parametreleri belirlenmektedir. Ayrıca geliştirilen algoritma, farklı yöntemlerle kıyaslandığında, % 92 doğruluğun sağlandığı belirtilmiştir [51].



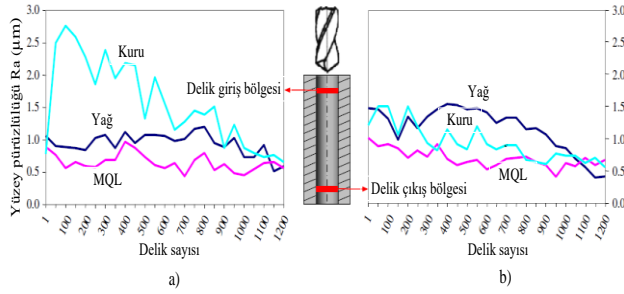
Şekil 5.a) Karbür matkap (Carbide drill), b) Matkap uc detayı (Drill tip detail), c) Matkap ölçüleri (Drill dimensions) [51].

Çiçek ve ark., AISI 304 çeliğinin delinmesinde, kaplamasız HSS matkaplara uygulanan üç farklı (geleneksel ısı işlem-CHT, kriyojenik işlem-CT, kriyojenik ve ısı işlem-CTT) işlemin, delik yüzey pürüzlülüğü ve dairesellik hatası üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Taguchi ve RSM (Response surface methodology) optimizasyonu sonucunda, yüzey pürüzlülüğü ve dairesellik hatası üzerinde etkili parametrelerin sırasıyla, ilerleme ve kesme hızı olduğuna ve matkaplara uygulanan CT işlemi, takım aşınması ve kesme kuvvetlerini azalttığı için yüzey pürüzlülüğü ve dairesellik hatası üzerinde pozitif bir etki yaptığını belirtmişlerdir (Resim 1) [52].



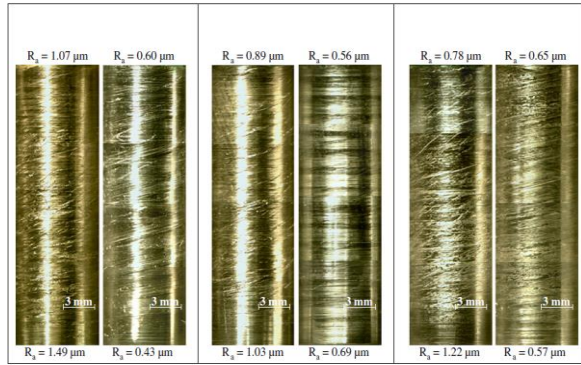
Resim 1.a) Kriyojenik test sistemi ve kaplamasız HSS matkaplar (Cryogenic test system and uncoated HSS drills), b) AISI 304 paslanmaz çeliğin delinmesinde maksimum ve minimum yarıçap ölçüleri [52] (Maximum and minimum radius dimensions in drilling of AISI 304 stainless steel).

Zeilmann ve ark., TiAlN kaplamalı karbür matkap ile yaptıkları çalışmada, AISI P20 çeliğinin delinmesinde, MQL (minimum quantity lubricant-emülsiyon) miktarda yağlama soğutma yönteminin emülsiyon (yağ) ve kuru şartlarda yapılan delme işlemlerine göre delik sayısı ve yüzey kalitesi açısından daha iyi performans sergilediğini belirtmişlerdir (Şekil 6.a-b).



Şekil 6.a) Delik giriş bölgesinde oluşan yüzey pürüzlülüğü (Consisted surface roughness in hole entry zone), b) Delik çıkış bölgesinde oluşan yüzey pürüzlülüğü [53] (Consisted surface roughness in hole exit zone).

Ayrıca, MQL soğutma işleminde delik giriş ve çıkış bölgesinde oluşan, yüzey pürüzlülüğünün daha az olduğu tespit edilmiştir (Resim 2) [53].



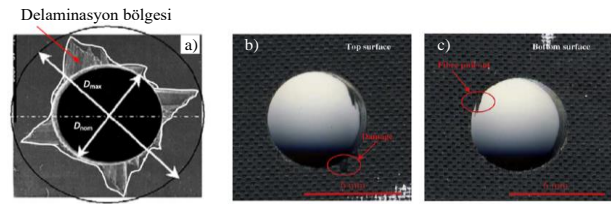
Resim 2. Farklı soğutucu tiplerine göre delik giriş ve çıkışında oluşan yüzey pürüzlülüğü ve yapısı (Consisted surface roughness and hole structure in hole entry and exit zones for different coolant types).

Kıvık ve ark, Inconel-718'in delinmesinde, TiN kaplamalı takımlarla düşük ilerlemelerde (0,05 mm/dev), kaplamasız takımlarla orta ilerlemelerde (0,075 mm/dev), TiAlN kaplamalı takımlarda ise yüksek ilerlemelerde daha düşük yüzey pürüzlülüğü elde etmişlerdir. Ancak, genel olarak en düşük yüzey pürüzlülük değerini, kaplamasız matkaplar ile elde edilmiştir [54].

Genellikle uzay ve havacılık sanayiinde kullanılan elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerde, birbirleri arasındaki perçinli birleştirmelerden dolayı delik delme işlemi yoğunlukla kullanılmaktadır. Bu malzemelerin delinebilirliği ile ilgili yoğunlukla, kesme parametreleri ve kesici takım geometrisi üzerine literatürde çalışmalar yapılmıştır. Rajamurugan ve ark., cam elyaf takviyeli kompozitlerin delinmesinde, ilerleme oranının artması ile delik girişinde delaminasyonda artış olduğu, kesme hızının azalması ile delaminasyonda azalma olduğunu belirtmişlerdir [55]. Fiber takviyeli kompozit malzemelerin delinmesinde, fiber-matris arayüzünde delaminasyon oluşumu, ilerleme kuvveti ve moment

parametreleri ile yakından ilişkilidir. Birçok yazar [56-58] bu malzemelerin delinmesinde, delme parametreleri, kesici takım malzemesi ve geometrisinin delik yüzey kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmiştir. Uygun olmayan parametre seçimi, delik yüzeyinde termal hasar, delaminasyon ve elyaf kopması gibi istenmeyen durumlara sebep olmaktadır. Bu kusurlar üzerinde delaminasyon, en önemli etkiye sahiptir. Koenig ve ark., yüksek ilerleme değerlerinde elyaf takviyeli kompozitlerin delinmesi sonucu, delik çıkışında, çatlakların oluştuğunu [59], Miller ise optimum kesme şartları ile delik yüzey hasarının minimuma indirgenmesinde kullanılmak üzere veri tabanı geliştirmiştir [60].

Elyaf takviyeli kompozitlerde delaminasyon, $F_d = (D_{max})/D$ ile belirlenmektedir. Burada, D_{max} (mm), tabaka yüzeyinde hasar gören alanı kapsayan maksimum çap değeridir. D (mm) ise, matkap çapını ifade etmektedir.



Resim 3. Elyaf takviyeli kompozitlerin delinmesi (Drilling of carbon fibre reinforced composites), a) Delaminasyonun oluşumu (Formation of delamination), b) Delik girişinde oluşan delaminasyon (Delamination forming in hole entry), c) Delik çıkışında oluşan elyaf kopması [61] (Delamination forming in hole exit).

Franke, polimer kompozitlerin delinmesinde, dairesellik ve aksel kaçıklık üzerinde kesici takım köşe yarıçapının ve iş parçası malzemesine ait elastik deformasyon özelliğinin etkili olduğunu ve köşe yarıçapının artması ile dairesellik, aksel kaçıklık ve ilerleme kuvvetlerinde artış olduğunu ifade etmişlerdir [62].

Zitoune ve ark., elyaf takviyeli kompozitlerin delinmesinde, ilerleme değerinin artması ile yüzey pürüzlülüğünde artış olduğu, ancak devir sayısının yüzey pürüzlülüğü üzerinde çok fazla etkiye sahip olmadığını belirtmişlerdir [61]. Davim ve ark., Viapal VUP 9731 ve ATLAC 382-05 matrisli polimer kompozitlerin delinmesinde, ilerleme oranının kesme parametreleri arasında delaminasyon üzerinde sırasıyla % 63.5 ve %72.8 etkiye sahip olduğunu ifade etmişlerdir [63].

2.3. Takım Ömrü (Tool Life)

20.yüzyılın başından itibaren, metallere ve alaşımların talaşlı imalatında, kesme parametrelerinin takım ömrü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Talaşlı imalat işlemlerinde, kesici takım değiştirme süresinin

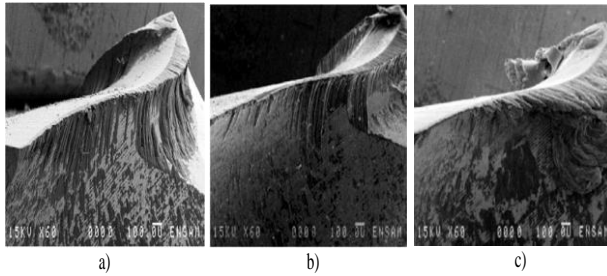
azaltılması, verimliliğin artırılması ile yakından ilişkilidir. Bu nedenle, takım ömrü ile ilgili oluşturulan matematiksel modeller, optimum şartların belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. 1907 yılında Taylor tarafından geliştirilen matematiksel model, takım ömrünün doğru tahmin edilmesini sağlamıştır. Bu model, takım ömrü ile kesme hızı arasındaki ilişkiyi Eşitlik 5'te ortaya koymaktadır;

$$V_c \cdot T^n = C \quad (5)$$

Burada, V_c kesme hızını (m/dak), T takım ömrünü (dak), n ve C takım malzemesi, ilerleme ve iş parçası malzemesine göre belirlenen katsayıdır [64]. Bu matematiksel model, genişletilerek Eşitlik 6 elde edilmiştir;

$$V_c \cdot T^n \cdot D^x \cdot F^y = C \quad (6)$$

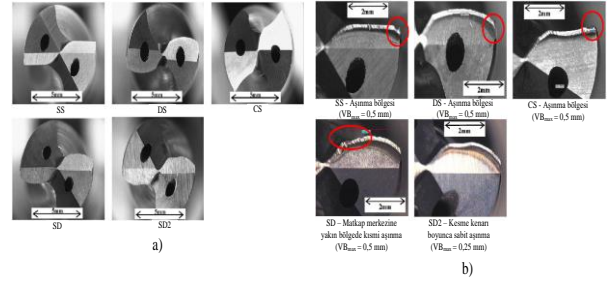
Eşitlik 6'da D , kesme derinliğini (mm), F ilerleme miktarını (mm/dev), x ve y ise deneysel olarak belirlenen katsayıdır. Üretim verimliliğinin artırılmasında takım ömrü, önemli bir role sahiptir. Dolayısı ile önemli bir ekonomik faktördür [65]. İmalatta kesme işlemlerinin ana araştırma konusunu oluşturmakla birlikte, araştırmacılar tarafından takım ömrü ile ilgili bazı değerlendirme ve tahminler yapılmaktadır. Bazı araştırmalarda, düşük kesme hızlarında abrazyondan dolayı takım aşınmasının olduğu ve kesme hızının artırılmasının kesme yüzeyinde sıcaklığın artmasına neden olduğu belirtilmiştir. Bu durum, plastik deformasyon etkisi ile takım-talaş arayüzünde birincil kesme bölgesinde oluşan sürtünme ve kesme gerilmeleri ile yakından ilişkilidir. Soğutucu ve yağlayıcı akışkanlar kullanılarak kesme yüzeyinde artan sıcaklık azaltılabilmektedir. Böylelikle takım aşınması, bir miktar önlenabilmektedir [66]. Nouari ve ark., AA2024 alüminyum alaşımının delinmesinde, TiAlN+WC/C kaplanmış sementit karbür matkapların yüksek kesme hızlarında, takım ömrü açısından daha iyi performans gösterebileceği, ancak HSS matkapların kuru delme şartlarında iyi sonuçlar vermediğini belirtmişlerdir [67].



Resim 4. Karbür matkapla 70 delik delme işleminden sonra kesici kenarın görüntüsü (Image of cutting edge after the 70th drill operation with carbide drill), a) Kaplamasız karbür matkap (Uncoated carbide drill), $V=25$ m/dak, b) TiAlN+WC/C kaplı karbür matkap

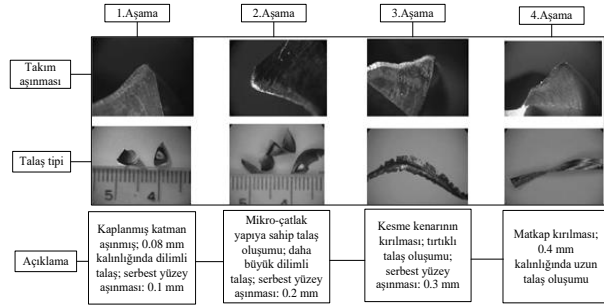
(TiAlN+WC/C coated carbide drill), $V=65$ m/dak, c) Kaplamasız karbür matkap (Uncoated carbide drill), $V=165$ m/dak [67].

Lin ve Ting, bakır alaşımlı malzemenin HSS matkaplarla delinmesi sonucunda oluşan kesme kuvvetlerine bağlı sinyaller yardımıyla takım aşınmasını araştırmışlardır. İlerleme, kesme derinliği ve takım aşınmasının kesme kuvvetleri üzerinde etkili olduğu, ilerleme kuvveti ve momentin artması ile takım aşınmasında artış görülmüştür [68]. Aized ve Amjad, AISI D2 malzemenin HSS matkaplarla derin delik delme işleminde, küçük gagalama değerleri ve soğutma sıvısı kullanılarak, takım ömrü ve delik yüzey kalitesi açısından daha iyi sonuçlar elde edildiğini belirtmişlerdir [69, 70] düşük kesme hızlarında kaplama malzemesinin sertliğinden dolayı matkapların performansının arttığını belirtmişlerdir. Sharman ve ark., yaptıkları çalışmada, SS, CS ve DS takım geometrisine sahip matkaplarda oluşan aşınmanın 0,5 mm olduğunu (Resim 5.a ve b) ve SD2 (kaplamasız matkap)'ların takım ömrü açısından daha az performans sergilediği, matkaplar üzerindeki kaplamanın takım ömrü üzerinde olumlu etki yaptığını belirtmişlerdir. [71, 72]'in yaptığı çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir.

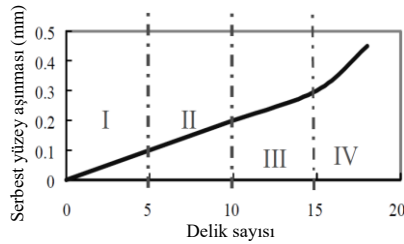


Resim 5.a) Matkaplara ait uç geometrisi (Tip geometries), b) Matkaplarda oluşan aşınma bölgeleri ve aşınma miktarı (Wear zones and amount of wear on drills) [71].

Chen ve Liao, inconel 718 süper alaşım malzemesinin TiAlN kaplanmış tungsten karbür matkap ile delinmesinde, delik sayılarına göre oluşan aşınma ve talaş tipini araştırmışlardır. Yaptıkları araştırmada, 2. aşamada kesici kenarda talaş yapışmasının (built-up edge) olduğu ve bunun da matkap kesici ağızında aşınmaya sebep olduğunu belirtmişlerdir (Şekil 7-8) [72].

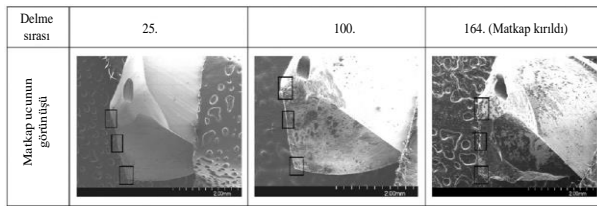


Şekil 7. Her bir aşamada oluşan takım aşınması ve talaş tipinin gösterimi [72] (Image of tool wear and burr type for each step).



Şekil 8. TiAlN kaplamalı matkaba ait serbest yüzey aşınması-takım ömrü ilişkisi [72] (Flank wear-tool life relation for TiAlN coated drill).

Cantero ve ark., [73] Ti-6Al-4V malzemenin TiN kaplamalı ISO K40 karbür matkapla delinmesi sonucunda, difüzyon aşınması ve kesme esnasında termal ve mekanik gerilmelerinden dolayı matkapta kırılmalar, Ezugwu ve Lai, [74] HSS matkaplarla Inconel 901 malzemenin delinmesinde, abrasiv, adhezyon ve plastik deformasyon aşınma mekanizmalarının oluştuğunu belirtmişlerdir. Sanjay ve ark., [75] orta sertlikteki çelik malzemenin kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak HSS matkaplarla delinmesi sonucu oluşan aşınma için yapay sinir ağları yöntemi ile matematiksel model geliştirmişlerdir. Li ve ark., [76] yaptıkları çalışmada titanyum alaşımlarının delinmesinde takım ömrü açısından en iyi performansı, WC-Co spiral uçlu matkaplar ile 91 m/dak kesme hızı, 0.102 mm/devir ilerleme ve 156 mm³/sn talaş kaldırma hacmi ile elde etmişlerdir (Şekil 9).



Şekil 9. WC-Co spiral uçlu matkabın 61 m/dak kesme hızı ve 0,152 mm/dev ilerleme parametrelerinde delik sırasına göre takımın oluşan aşınmaya ait SEM görüntüsü [76] (Scanning Electron Microscope image of tool wear in 61 m/min cutting speed and 0,152 mm/rev feed rate cutting parameters for Spiral tipped WC-Co drill).

Coz ve ark., sıcaklık ölçüm sistemi geliştirerek havacılık sanayisinde kullanılan alaşım malzemelerinin delinebilirliğini araştırmışlardır. Geliştirilen ölçüm sistemi ile takım aşınmasının kontrol edilmesi, optimum kesme şartlarının belirlenmesi ve istenen yüzey kalitesi açısından sanayide kullanılabileceği belirtilmiştir [28]. Matsumura ve Obikawa [77] ve Teshima ve Shibusaka [78] matkapta oluşan serbest yüzey ve krater aşınmalarını, resim görüntüsü kullanarak sayısal veriler ile tahmin etmişlerdir. Neema ve Pande, [79] ilerleme kuvveti ve moment değerinin artması ile takım aşınmasında artış olurken, devir sayısının artması ise çok fazla etki yapmadığını belirtmişlerdir.

3. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Delme işlemi, makine parçalarının birbiri ile montaj yapılmasında en fazla kullanılan talaşlı imalat yöntemlerinden biridir. Bu amaçla, makine parçalarının hassas çalışabilmesi için delme esnasında oluşan çapak ve yüzey pürüzlülüğü gibi istenmeyen durumların en aza indirgenmesi gerekmektedir. Optimum kesme parametreleri belirlenerek, hassas makine parçalarının üretilmesi nispeten mümkün olabilmektedir. Buna göre literatürde yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- İlerleme kuvvetini etkileyen en önemli parametrenin ilerleme hızı olduğu,
- İlerleme hızının artması ile delik yüzey pürüzlülüğünde artış olduğu,
- Çapak oluşumu üzerinde, matkap uç açısının ve ilerleme hızının etkili olduğu,
- Kademeli matkap veya uç açısı büyük olan matkaplar kullanarak çapak yüksekliğinin azaltılabileceği,
- Matkaplara uygulanan kriyojenik işlemin, ilerleme kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülüğünü azaltıcı etkiye sahip olduğu,
- Matkaplara uygulanan kaplama işleminin sürtünme katsayısını düşürerek, yüksek kesme hızlarında delme işleminin yapılabildiği,
- İlerleme kuvveti ve moment değerlerinin artması ile matkap kesici kenarında aşınmanın oluştuğu,
- Kesici takım köşe yarıçapının dairesellik, eksenel kaçıklık ve ilerleme kuvveti üzerinde etkili olduğu,
- MQL soğutma sisteminin, matkapların takım aşınması açısından performansını arttırdığı,
- Malzeme yapısının farklı olduğu elyaf takviyeli kompozit malzemelerin delinmesinde oluşan delaminasyonun, kesici takım geometrisi, moment ve ilerleme kuvveti ile yakından ilişkili olduğu,
- Talaş kesitinin artması ile moment değerlerinde artış olduğu,
- Kesme hızının moment değerleri üzerinde fazla bir etkiye sahip olmadığı gözlemlenmiştir.

TEŞEKKÜRLER (ACKNOWLEDGMENTS)

2211-C Öncelikli Alanlara Yönelik Doktora Tez Teşvik Burs'u ile sağlamış olduğu desteklerden dolayı, TÜBİTAK-BİDEB birimine teşekkür ederim.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] Ö. Tekaslan, N. Gerger, ve U. Şeker, "AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerde kesme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüklerinin araştırılması", BAÜ FBE Dergisi, 10(2), 3-12, 2008.
- [2] G. Sur, H. Çetin, E. Çevik, H. Ahlatçı and Y. Sun, "Determining the Influence of Ti Additive on Surface Roughness During Turning of AA6063 Alloy", 6th International Advanced Technologies Symposium(IATS'11), Elazığ, Turkey, 2011, pp.180-185.
- [3] W.C. Chen, and C.C. Tsao, "Cutting performance of different coated twist drills", Journal of Material Processing Technology, 88(1-3), 203-207, 1999.
- [4] H. Zhao, "Predictive models for forces, power and hole oversize in drilling operations", Ph.D. thesis, University of Melbourne, Australia, 1994.
- [5] H.L. Tonshoff, W. Spintig, and W. König, A. Neises, "Machining of Holes Developments in Drilling Technology", Annals of the CIRP, 43(2), 551-560, 1994.
- [6] R. Li, and A.J. Shih, "Finite element modeling of high-throughput drilling of Ti-6Al-4V", Transactions of NAMRI/SME, 35, 73-80, 2007.
- [7] T. Kıvık, "Kesici Takımlara Uygulanan Kriyojenik İşlemin Ti-6Al-4V Alaşımının Delinebilirliği Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2012.
- [8] M. Akkurt, "Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları", Birsen Yayınevi, İstanbul, 1998, 23-90.
- [9] S.A. Basile, "Modeling transverse motions of a drill bit for process understanding", Precision Engineering, 15(4), 258-265, 1993.
- [10] M.S. Roger, and V.L. Russell, "Experimental design for process settings in aircraft manufacturing. In: Statistical case studies: a collaboration between academe and industry", Society for Industrial and Applied Mathematics, 235-247, 1998.
- [11] M. Kurt, E. Bağcı, and Y. Kaynak, "Application of Taguchi methods in the optimization of cutting parameters for surface finish and hole diameter accuracy in dry drilling processes", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 40(5), 458-469, 2009.
- [12] E. Kılıçkap, ve M. Hüseyinoğlu, "Tepki yüzey modeli ve genetik algoritma kullanılarak AISI 316' nın delinmesinde oluşan çapak yüksekliğinin modellenmesi ve optimizasyonu", Mühendislik Dergisi, 1(1), 71-80, 2010.
- [13] P.F. Zhang, N.J. Churi, and Z.J. Pei, C. Treadwell, "Mechanical Drilling Processes for Titanium Alloys: A Literature Review", Machining Science and Technology: An International Journal, 12(4), 417-444, 2008.
- [14] K. Colligan, "New tool drills both titanium and carbon composites", American Machinist, 138(10), 56-58, 1994.
- [15] D. Kim, and M. Ramulu, "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, 2005, 1-8.
- [16] B.K. Lambert, "Prediction of force, torque and burr length in drilling titanium-composite materials", SME Technical Paper MR79-363, 1979.
- [17] G. Meral, H. Dilipak, ve M. Sarıkaya, "AISI 1050 Malzemenin Delinmesinde Delme Parametrelerinin Delik Kalitesi Üzerindeki Etkisinin Çoklu Regresyon Metoduyla Modellenmesi", Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 8(1), 37-46, 2011.
- [18] F. Mendi, "Takım tezgahları teori ve hesapları", Gazi Kitabevi, Ankara, 1996, 5-40.
- [19] X. Yang, and C.R. Liu, "Machining titanium and its alloys", Machining Science and Technology, 3(1), 107-139, 1999.

- [20] E.Q. Ezugwu, "Titanium alloys and their machinability-a review", *Journal of Materials Processing Technology*, 68(3), 262-274, 1997.
- [21] W. Konig, "Applied research on the machinability of titanium and its alloys", In *Proceedings of the Forty-Seventh Meeting of AGARD Structural and Materials Panel*, Florence, 1979, 1-10.
- [22] J.F. Kahles, M. Field, and D. Eylon, F.H. Froes, "Machining of titanium alloys", *Journal of Metals*, 37(4), 27-35, 1985.
- [23] Anonymous(2006) Specific cutting force. Available: <http://aluminium.matter.org.uk/content/html/eng/default.asp?catid=129&pageid=2144416344>.
- [24] R.A. Williams. "A study of the drilling process", *Journal of Engineering for Industry*, 96(4), 1207-1215, 1974.
- [25] L.B. Zhang, L.J. Wang, X.Y. Liu, H.W. Zhao, X. Wang, H.Y. Luo, "Mechanical model for predicting thrust and torque in vibration drilling fibre-reinforced composite materials", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 41(5), 641-657, 2001.
- [26] L.P. Wang, L.J. Wang, Y.H. He, Z.J. Yang, "Prediction and computer simulation of dynamic thrust and torque in vibration drilling", *Proceedings Institution of Mechanical Engineers(Part B) Journal of Engineering Manufacture*, 212(6), 489-497, 1998.
- [27] L.P. Wang, J.S. Wang, and P.Q. Ye, L.J. Wang, "A theoretical and experimental investigation of thrust and torque in vibration microdrilling", *Proceedings Institution of Mechanical Engineers(Part B) Journal of Engineering Manufacture*, 215(11), 1539-1548, 2001.
- [28] G.L. Coz. M. Marinescu, and A. Devillez, D. Dudzinski, L. Velnom, "Measuring temperature of rotating cutting tools: Application to MQL drilling and dry milling of aerospace alloys", *Applied Thermal Engineering*, 36(1), 434-441, 2012.
- [29] R.P. Zeilmann, and W.L. Weingaertner, "Analysis of temperature during drilling of TiAl4V with minimal quantity of lubricant", *Journal of Materials Processing Technology*, 179,(1-3), 124-127, 2006.
- [30] C.C. Tsao, and H. Hocheng, "Evaluation of thrust force and surface roughness in drilling composite material using Taguchi analysis and neural network", *Journal of Materials Processing and Technology*, 203(1-3), 342-348, 2008.
- [31] A.I.S. Antonialli, A.E. Diniz, and R. Pederiva, "Vibration analysis of cutting force in titanium alloy milling", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 50(1), 65-74, 2010.
- [32] V.P. Astakhov, "Effects of the cutting feed, depth of cut, and workpiece(bore) diameter on the tool wear rate", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 34(7-8), 631-640, 2007.
- [33] I. Korkut, K. Yavuz, and Y. Turgut, "An experimental investigation into the machinability of GGG-70 grade spheroidal graphite cast iron", *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 16(2), 116-122, 2009.
- [34] T. Rajmohan, and K. Palanikumar, "Optimization of Machining Parameters for Surface Roughness and Burr Height in Drilling Hybrid Composites", *Materials and Manufacturing Processes*, 27(3), 320-328, 2012.
- [35] H. Hocheng, and H. Puw, "On drilling characteristics of fibre-reinforced thermoset and thermoplastics", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 32(4), 583-592, 1992.
- [36] H. Hocheng, H. Puw, and K. Yao, "Experimental aspects of drilling of some fibre reinforced plastics", *Proceedings of the machining of composite materials symposium. Chicago Illinois: ASM Materials week*, 1992, 127-138.
- [37] W. Chen, "Some experimental investigations in the drilling of carbon fibre-reinforced plastic(CFRP) composite laminates", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 37(8), 1097-1108, 1997.
- [38] P.K.R. Rao, and M.S. Shunmugam, "Accuracy and surface finish in BTA drilling", *International Journal of Production Research*, 25(1), 31-44, 1987.
- [39] P.K.R. Rao, and M.S. Shunmugam, "Wear studies in boring trepanning association drilling", *Wear*, 124(1), 33-43, 1988.

- [40] P.K.R. Rao, and M.S. Shunmugam, "Investigation: stress in boring trepanning association machining", *Wear*, 119(1), 89-100, 1987.
- [41] M.M. El-Khabeery, S.M. Saleh, and M.R. Ramadan, "Some observations of surface integrity of deep drilling holes", *Wear*, 142(2), 331-349, 1991.
- [42] C.S. Deng, and J.H. Chin, "Hole roundness in deep-hole drilling as analyzed by Taguchi methods", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25(5), 420-426, 2005.
- [43] S.S. Panda, and S.S. Mahapatra, "Parametric optimisation of multiresponse drilling process using grey based Taguchi methods", *AIMS Int. Conf, Noida, New Delhi*, 2008, 1-4.
- [44] J. Koelsch, "Divining edge quality by reading the burrs", *Quality Magazine*, 40(13), 24-28, 2001.
- [45] V.N. Gaitonde, S.R. Karnik, B.T. Achyutha, B. Siddeswarappa, "Taguchi approach with multiple performance characteristics for burrs size minimization in drilling", *Journal Scientific & Industrial Research*, 65(12), 977-981, 2006.
- [46] R. Jeyapaul, P. Shahabudeen, K. Krishnaiah, "Quality management research by considering multi-response problems in the Taguchi method-a review", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 26(11), 1331-1337, 2005.
- [47] V.N. Gaitonde, S.R. Karnik, B.T. Achyutha, B. Siddeswarappa, "Taguchi optimization in drilling of AISI 316L stainless steel to minimize burr size using multi-performance objective based on membership function", *Journal of Materials Processing Technology*, 202(1-3), 374-379, 2008.
- [48] S.L. Ko, J.E. Chang, and G.E. Yang, "Burr minimizing scheme in drilling", *Journal of Materials Processing Technology*, 140(1-3), 237-242, 2003.
- [49] S.L. Ko, and J.K. Lee, "Analysis on burr formation in drilling with new concept drill", *Journal of Materials Processing Technology*, 113(1-3), 392-398, 2001.
- [50] H. Wada, and K. Yoshida, "Burrless drilling of metals", *Journal of the Japan Society for Precision Engineering*, 66(7), 1109-1114, 2000.
- [51] B. Pena, G. Aramendi, A. Rivero, L.N.L. Lacalle, "Monitoring of drilling for burr detection using spindle torque", *International Journal of Machine Tools&Manufacture*, 45(14), 1614-1621, 2005.
- [52] A. Çiçek, T. Kıvak, E. Ekici, "Optimization of drilling parameters using Taguchi technique and response surface methodology(RSM) in drilling of AISI 304 steel with cryogenically treated HSS drills", *Journal of Intelligent Manufacturing*, 26(2), 295-305, 2015.
- [53] R.P. Zeilmann, G.L. Nicola, T. Vacaro, C.R. Teixeira, R. Heiler, "Implications of the reduction of cutting fluid in drilling AISI P20 steel with carbide tools", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 58(5), 431-441, 2012.
- [54] T. Kıvak, K. Habalı, U. Şeker, "Inconel 718'in Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Talaş Oluşumu Üzerindeki Etkisinin Araştırılması", *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(2), 293-298, 2010.
- [55] T.V. Rajamurugan, K. Shanmugam, S. Rajakumar, K. Palanikumar, "Modelling and analysis of thrust Force in drilling of GFRP Composites using Response Surface Methodology(RSM)", *Procedia Engineering*, 38, 3757-3768, 2012.
- [56] H. Hocheng, H. Puw, "On drilling characteristics of fibre-reinforced thermoset and thermoplastics", *International Journal of Machine Tools&Manufacture*, 32(4), 583-92, 1992.
- [57] H. Hocheng, H. Puw, K. Yao, "Experimental aspects of drilling of some fibre reinforced plastics" In: *Proceedings of the machining of composite materials symposium, Chicago Illinois: ASM Materials week*, 1992, 127-38.
- [58] W. Chen, "Some experimental investigations in the drilling of carbon fibre-reinforced plastic(CFRP) composite laminates", *International Journal of Machine Tools&Manufacture*, 37(8), 1097-108, 1997.
- [59] W. Koenig, C. Wulf, P. Grass, H. Willerscheid, "Machining of fiber reinforced plastics", *Manufacturing Technology-CIRP Annals*, 34(2), 537-548, 1985.

- [60] J.A. Miller, "Drilling graphite/epoxy at Lockheed", *Am Mach Autom. Manufact* 131(10), 70-71, 1987.
- [61] R. Zitoune, V. Krishnaraj, F. Collombet, "Study of drilling of composite material and aluminium stack", *Composite Structures*, 92(5), 1246-1255, 2010.
- [62] V. Franke, "Drilling of long fiber reinforced thermoplastics-influence of the cutting edge on the machining results", *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 60(1), 65-68, 2011.
- [63] J.P. Davim, P. Reis, C.C. António, "Drilling fiber reinforced plastics(FRPs) manufactured by hand lay-up: influence of matrix(Viapal VUP 9731 and ATLAC 382-05)", *Journal of Materials Processing Technology*, 155(1), 1828-1833, 2004.
- [64] F.W. Taylor, "On the Art of Cutting Metals", American Society of Mechanical Engineers, New York, 1907.
- [65] S.S. Gill, R. Singh, H. Singh, "Wear behaviour of cryogenically treated tungsten carbide inserts under dry and wet turning conditions", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 49(3-4), 256-260, 2009.
- [66] A. Moufki, A. Molinari, D. Dudzinski, "Modelling of orthogonal cutting with a temperature dependent friction law", *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 46(10), 2103-2138, 1998.
- [67] M. Nouari, G. List, F. Girot, D. Gehin, "Effect of machining parameters and coating on wear mechanisms in dry drilling of aluminium alloys", *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 45(12-13), 1436-1442, 2005.
- [68] S.C. Lin, C.J. Ting, "Tool wear monitoring in drilling using force signals", *Wear* 180(1-2), 53-60, 1995.
- [69] T. Aized, M. Amjad, "Quality improvement of deep-hole drilling process of AISI D2", *International Journal of Advancad Manufacturing Technology*, 69(9), 2493-2503, 2013.
- [70] S. Sharif, E.A. Rahim, "Performance of coated and uncoated-carbide tools when drilling titanium alloy Ti-6Al-4V", *Journal of Materials Processing Technology*, 185(1-3), 72-76, 2007.
- [71] A.R.C. Sharman, A. Amarasinghe, K. Ridgway, "Tool life and surface integrity aspects when drilling and hole making in Inconel 718", *Journal of Materials Processing Technology*, 200(1-3), 424-432, 2008.
- [72] Y.C. Chen, Y.S. Liao, "Study on wear mechanisms in drilling Inconel 718 superalloy", *Journal of Materials Processing Technology*, 140(1-3), 269-273, 2003.
- [73] J.L. Cantero, M.M. Tardio, J.A. Canteli, M. Marcos, M.H. Miguelez, "Dry drilling of alloy Ti-6Al-4V", *International Journal of Machine Tools&Manufacture*, 45(11), 1246-1255, 2005.
- [74] E.O. Ezugwu, C.J. Lai, "Failure modes and wear mechanisms of M35 high-speed drills when machining inconel 901", *Journal of Materials Processing Technology*, 49(3-4), 295-312, 1995.
- [75] C. Sanjay, M.L. Neema, C.W. Chin, "Modeling of tool wear in drilling by statistical analysis and artificial neural network", *Journal of Materials Processing Technology*, 170(3), 494-500, 2005.
- [76] R. Li, P. Hegde, A.J. Shih, "High-throughput drilling of titanium alloys", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47(1), 63-74, 2007.
- [77] T. Matsumura, T. Obikawa, "On the development of expert system for selecting the optimum cutting condition", *Journal of the Japan Society for Precision Engineering*, 58(10), 1691-1696, 1992.
- [78] T. Teshima, T. Shibusaka, M. Takuma, A. Yamamoto, K. Iwata, "Estimation of cutting tool life by processing tool image data with neural network", *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 42(1), 59-62, 1993.
- [79] M.L. Neema, P.C. Pande, "The effect of magnetization on the wear of HSS steel tools", *Wear*, 59(2), 355-362, 1980.