
Derleme Makalesi / Review Article

Değiştirilebilir Uçlu Matkap Uygulamaları Üzerine Bir Derleme

Aslan AKDULUM^{*1}, Yunus KAYIR¹

¹Gazi Üniversitesi İmalat Mühendisliği Bölümü, 06500, Teknikokullar, Ankara, Türkiye
(ORCID: 0000-0003-2030-3167) (ORCID: 0000-0001-6793-7103)

Öz

Değiştirilebilir Uçlu Matkap (U Matkap) delik delmeye yarayan bir kesicidir. Dolu malzemeye ön delik olmaksızın büyük çaplarda delik delemeye uygundur. Çeşitli yüzey formlarında (eğimli, dışbükey, içbükey vb.) sıkıntısız bir şekilde kullanılabilir. Kesici uçlar körelendiğinde ise kolaylıkla değiştirilebilir. Genelde biri merkezde diğeri ise çevrede olmak üzere iki kesici uç barındırmaktadır. Bu iki uç bazı matkaplarda aynı geometri ve kaplamaya sahipken bazı matkaplarda farklı geometri ve kaplamalar kullanılabilir. Normal helisel matkaptan farklı olarak asimetrik bir geometriye sahiptir. Bu nedenle merkez ve çevresel uçlarda farklı talaş yükleri ve kesme kuvvetleri meydana gelmektedir. Kesme parametrelerinin uygun bir şekilde verilmesiyle kesme kuvvetlerinin, delik yüzey pürüzlülüğünün, daireselliğin ve takım aşınmasının optimum gerçekleşmesi sağlanabilir. Böylelikle bu matkaplar imalatla verimli bir şekilde kullanılabilir. Bu çalışmada farklı malzemelerin U Matkap kullanılarak delinmesi ile ilgili çalışmalar gözden geçirilerek çeşitli konu başlıkları altında incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Değiştirilebilir Uçlu Matkap, Delik Delme, U Matkap.

A Review on Indexable Insert Drill Applications

Abstract

Indexable Insert Drill (Udrill) is a cutter for drilling. Large diameter holes can be drilled into the stock material without a pilot hole. It can be used in various surface forms (inclined, convex, concave, etc.) without any problems. The inserts can be easily replaced when wear. It generally has two inserts, one at the center and the other at the periphery. While these two inserts have the same geometry and coating in some drills, different geometries and coatings can be used in some drills. Unlike the normal helical drill, it has an asymmetric geometry. Therefore, different chip loads and cutting forces occur at the central and peripheral inserts. Optimum cutting forces, hole roughness, circularity and tool wear can be achieved by appropriately setting the cutting parameters. Thus, these drills can be used efficiently in manufacturing. In this study, studies related to drilling different materials using U Drill are reviewed and examined under various topics.

Keywords: Indexable Insert Drill, Drilling, U Drill.

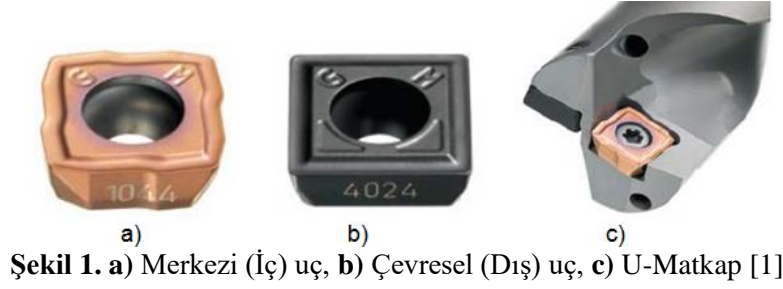
1. Giriş

Delik delme işlemlerinde kullanılan normal helisel matkaplar bazı delme operasyonları için kullanışsız veya maliyet artırıcı bir özelliğe sahiptir. Özellikle büyük çaplı deliklerde helisel matkapın radyal ağız genişliğinden dolayı malzeme içine batması yerine malzemeyi ezerek delik koordinatından sapmasına neden olur [1]. Böylelikle delik delme esnasında oluşan kesme kuvvetinde artış meydana gelir. Kesme yerine sürtünmenin artmasına bağlı olarak, kesme ortamının ısınmasına ve aşınma problemlerinin meydana gelmesine sebep olur. Bu problemi ortadan kaldırmak için ön delik delinmesi gerekmektedir [2]. Ön delik delme işlemi ise fazladan kesici takım kullanılmasına ve zaman kaybı yaşanmasına, dolayısıyla maliyetin artmasına sebep olmaktadır. Bazı delikleri ise konum özelliklerinden (eğimli,

*Sorumlu yazar: a.akdulum@gmail.com

Geliş Tarihi: 23/01/2020 Kabul Tarihi: 23/02/2020

dışbükey delik girişi vb.) dolayı delmek mümkün olamamaktadır. Bu gibi delikleri delmek için imalat endüstrisinin de yoğun bir şekilde Değiştirilebilir Uçlu Matkap (U Matkap) (Şekil 1) kullanılmaktadır [3].



DEĞİŞTİRİLEBİLİR UÇLU MATKAP, U-Drill, Indexable Insert Drill				İncelenen Parametreler															
Sıra	Tarih	Malzeme	ÇAP	İtme Kuvveti	Moment	BUF	Yüzey Pürüzlülüğü	Dairesellik	Diklik	Kesici Aşınması	Analitik Modelleme	Sonlu Elemanlar Analizi FEM	Sertlik	Ses Analizi-Titreşim	Sıcaklık	Talaş Analizi	Mikroyapı	Çapak Yüksekliği	
1	1996	SAE 1018 Çeliği	19			1	1	1		1									
2	2007	AISI 1050	20	1								1							
3	2008	Çelik	19	1	1		1			1									
4	2009	C 35 Mod By	19				1	1	1										
5	2012	No.45 çeliği		1	1					1		1				1			
6	2012	Dievar (Sıcak), Slepner (Soğuk)	16	1	1		1	1					1					1	
7	2012	4337 - AA 6082	25				1	1											1
8	2012	AA7050	21	1							1								
9	2013	magnezyum AZ31b	25	1								1	1						
10	2014	AISI1045, AISI 304, Ti-6Al-4V, Inconel 718	16	1			1			1						1	1		
11	2014	207 HB C35					1	1	1										
12	2014	42CrMoS4 (SS 2244).	24	1	1						1								
13	2015	42CrMoS4 (SS 2244).	24	1	1						1								
14	2016	taban 25mm çelik P265GH, 5mm ti kaplama	20	1	1		1												
15	2016										1								
16	2016	AISI 1045, AL 7075-T7451		1							1								
17	2016	AISI 304	16	1			1			1						1	1	1	
18	2016	2205 Dupleksli p.maz çelik	39					1		1									
19	2016	WCB Dövme döküm Çeliği						1	1										
20	2016	SAE 1030	35							1		1							
21	2017	taban 25mm çelik P265GH, 5mm ti kaplama	20				1												
22	2017	34CrNiMoS6 (SS 2541)	24											1					
23	2017	34CrNiMoS6 (SS 2541)	24	1	1						1			1					
24	2018	34CrNiMoS6 (SS 2541)	24	1	1						1			1					
25	2019	ArmoX 500T	20				1	1		1								1	
				14	8	1	11	8	3	8	7	4	2	3	3	2	3	1	

Şekil 2. Çalışmalarda incelenen başlıklar

U Matkaplar da biri merkezde diğeri çevrede olmak üzere iki adet uç bulunmaktadır (Şekil 1). Bu iki kesici ucun hem kenar geometrisi hem kaplamaları, farklı kesme hızları ve farklı yük koşullarında çalıştıkları için genellikle birbirlerinden farklıdır [4,5]. Genellikle çap 12'den başlamaktadır ve boy/çap oranı 2D ile 7D arasında kullanılmaktadır. U Matkapın ilerleme yönü delme eksenine ile aynı yönde olmalıdır. Yanal kesmeye uygun değildir [6]. Yüksek kesme hızı ve ilerleme hızlarında kullanıldığından oluşan ısıyı ve takım aşınmasını geciktirmek amacıyla kesici takımın içten soğutulması tavsiye edilmektedir [7]. Literatür incelendiğinde U Matkaplar ile ilgili yeteri kadar bilimsel çalışma yapılmadığı görülmektedir. Çalışmaların yeteri kadar olmaması bu kesici takımları etkin bir şekilde kullanılmasını mümkün kılmamaktadır. Etkin bir şekilde kullanılmayan her kesici takım gibi kesici uçlar kırılmakta, U Matkap şaftı (gövde) hasar görmekte ve malzeme fire oranı artmasından dolayı maliyet artarak makine ve imalat atölyeleri için külfet oluşturmaktadır. Bu çalışmada U Matkaplar ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar araştırılarak sonuçlar incelenmiştir.

2. Yöntem

Yapılan literatür taraması sonucu 25 adet U Matkap ile ilgili çalışmaya ulaşılmıştır. Yapılan çalışmalar incelenen parametrelere göre sınıflandırıldığında Şekil 2’de ki tablo oluşmuştur. U Matkaplar ile yapılan deneysel ve teorik çalışmalar incelendiğinde “Kesme Kuvveti ve Moment”, “Yüzey Pürüzlülüğü”, “Geometrik Kalite”, “Takım Aşınması” olmak üzere dört başlık altında çalışmalar değerlendirilmiştir.

2.1. Kesme Kuvveti ve Moment

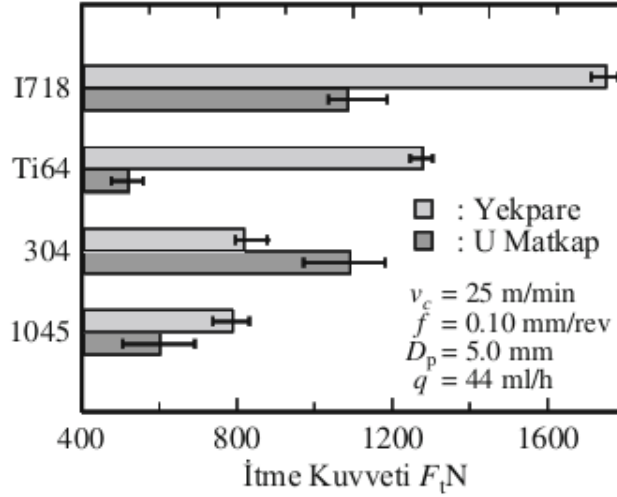
U Matkap, malzeme üzerinden hızlı biçimde talaş kaldırma metodu ile delik boşaltması için tasarlanmış kesici bir takımdır. Belirli bir ilerleme hızında parçaya dik olarak nüfuz ederek ve uç kısmındaki kesme kenar formlarının temas ettiği bölge miktarı kadar talaş nakli yapar. Bu kesme esnasında parçaya dik olarak uygulanan ilerleme miktarınca aksel kesme kuvveti (itme kuvveti, aksel kuvvet) ve kesme kenarlarının maruz kaldığı kuvvete oranla oluşan moment (tork) delme mekaniğinin değerlendirilmesinde kullanılır [8]. Kesme esnasında dengesiz kuvvetlerin oluşmasında talaş yapışmasının (BUE) ve sıkışmasının olumsuz etkileri mevcuttur. Kesme kuvvetleri BUE'nin büyüklüğüne ve BUE'nin büyüme süresine bağlıdır [9]. Farklı kimyasal bileşime ve özelliğe sahip malzemeler için oluşan kesme kuvveti ve momentler farklılık göstermektedir. Örneğin 25 mm kalınlığında karbonlu çelik ve 5 mm kalınlığında titanyum (Ti) malzemelerinin patlayıcı kaynak ile birleştirilmeleri sonrasında iki farklı U Matkap ile delinmiştir. 1 numaralı U Matkap aynı geometri ve kalitede uçlara sahipken 2 numaralı U Matkap farklı geometri ve kalitede uçlara (merkezi ve çevresel) sahiptir. Delme esnasında titanyum ve çeliğin kesme kuvveti ve moment değerlerinde fark gözlenmiştir. Titanyum tabakanın delinmesine kıyasla çelikte, momentin 10 Nm ve kesme kuvvetinin ortalama 500-2000 N kadar artmasına neden olmuştur. Titanyum tabakasının işlenmesinde 2 numaralı matkap, 1 numaralı matkaba göre %22’den fazla kesme kuvvetine sebep olmuştur. Çeliğin işlenmesinde ise yüzde 24’ten daha fazla bir artışa neden olmuştur. Moment değerlerinde ise Ti işlenmesinde 1. takıma göre ikinci takımda %2’lik bir artış söz konusu iken çeliğin işlenmesinde 1. takıma göre ikinci takımda moment değeri %5 civarında azalmıştır. (Tablo 1) [10].

Tablo 1. Delme takımlarının her biri için ortalama değerler ve sinyal standart sapması (SD) [10]

Takım	Malzeme	İtme Kuvveti (N)	Moment (Nm)
Takım 1	Titanyum Kalite 1	Ortalama 970.7 SD 39.7	Ortalama 9.29 SD 0.35
	P265GH Çelik	Ort. 2424.3 SD 714.3	Ort. 20.18 SD 5.35
Takım 2	Titanyum Kalite 1	Ort. 1187.8 SD 39.4	Ort. 9.48 SD 0.34
	P265GH Çelik	Ort. 3008.7 SD 871.8	Ort. 19.07 SD 5.0

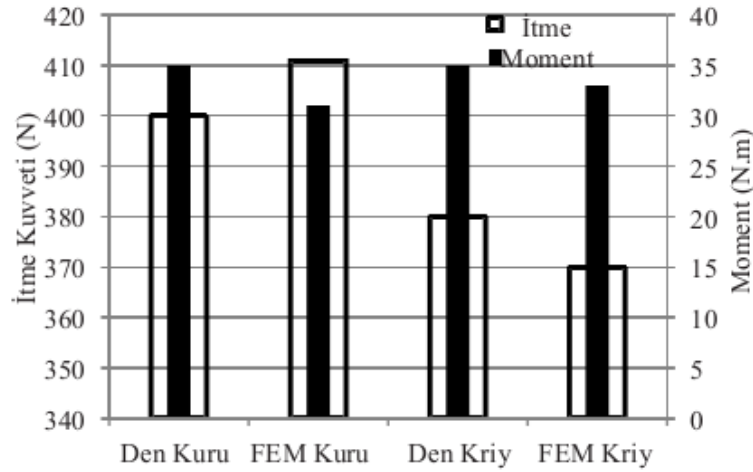
Başka bir çalışmada ise verilen yağ püskürtmesi altında kesilmesi zor malzemelerin (Inconel 718, Ti6Al4V, AISI 304) ve AISI 1045 malzemesinin normal helisel matkap ve U Matkap ile delinmesi deneylerinden elde edilen verilerin karşılaştırılması yapılmıştır (Şekil 3).

Şekil 3 incelendiğinde normal helisel matkaba kıyasla AISI 304 dışında kalan malzemelerin delinmesinde U Matkapın daha düşük kuvvetler oluşturduğu açıktır. Ancak AISI 304’ün delinmesinde U Matkap yüksek bir kesme kuvveti göstermiştir. Bu yükselmeyi yazarlar kesme açısı azaldığında ve talaş kalınlığı arttığında kesme kuvvetinin artmasına bağlamışlardır [11].



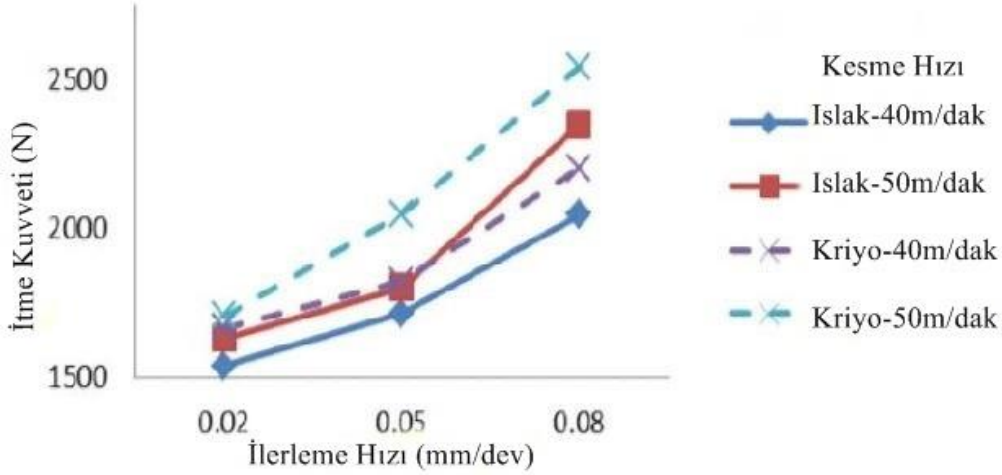
Şekil 2: Kesme kuvveti üzerinde iş parçası malzemesinin etkisi [11].

Delik delme işleminin kapalı bir bölgede meydana gelmesinden dolayı talaşın o bölgeden atılmasın da sürtünme gibi nedenlerden dolayı aşırı ısınma problemleri meydana gelmektedir. Bu olumsuzluğun üstesinden gelerek ısının artmaması için ise değişik soğutma yöntemleri ve çeşitleri denenmektedir. Yapılan bir çalışmada MgAZ31b malzemesine U Matkabın soğutucu deliklerinden uygulanan kriyojenik soğutma (LN₂) ve kuru şartlarda delme işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneysel olarak delme ve sonlu elemanlar analizi (FEM) arasındaki farklar kesme kuvveti ve moment açısından incelenmiştir. Kuru işlem için deneysel ve FEM sonuçlarında kesme kuvvetinde 10N'luk bir fark varken, moment sonuçlarında yaklaşık 5 Nm fark vardır. Kriyojenik işlem için ise deneysel ve FEM sonuçlarında kesme kuvvetinde 10N'luk bir fark varken, moment sonuçlarında yaklaşık 2 Nm fark vardır (Şekil 4) [12].



Şekil 3. Kuru ve kriyojenik işlem için FEM simülasyonu ile deneysel kesme kuvveti ve momentler [12]

Başka bir çalışmada ise emülsiyon (sulu, geleneksel) ve kriyojenik soğutma altında AISI 304 paslanmaz çeliğin delinmesindeki kesme kuvveti Şekil 5'te gösterilmiştir. Daha düşük kesme hızında 40 m/dak ve daha düşük ilerleme hızı 0.02 mm/dev de sırasıyla emülsiyon ve kriyojenik soğutma da kesme kuvveti 1537 N ve 1667 N olarak çıkmıştır. Emülsiyondan daha fazla kriyojenik soğutma altında yaklaşık %7,8'lik bir kesme kuvveti artışı fark edilmiştir. İlerleme oranı 0,05 mm/dev ve 0,08 mm/dev'e çıkarıldığında, talaş yükünün artması nedeniyle, kesme kuvveti her iki işleme koşulları altında artmaya devam etmiştir (Şekil 5) [7].



Şekil 4. İtme kuvveti ve ilerleme hızı ilişkisi [7]

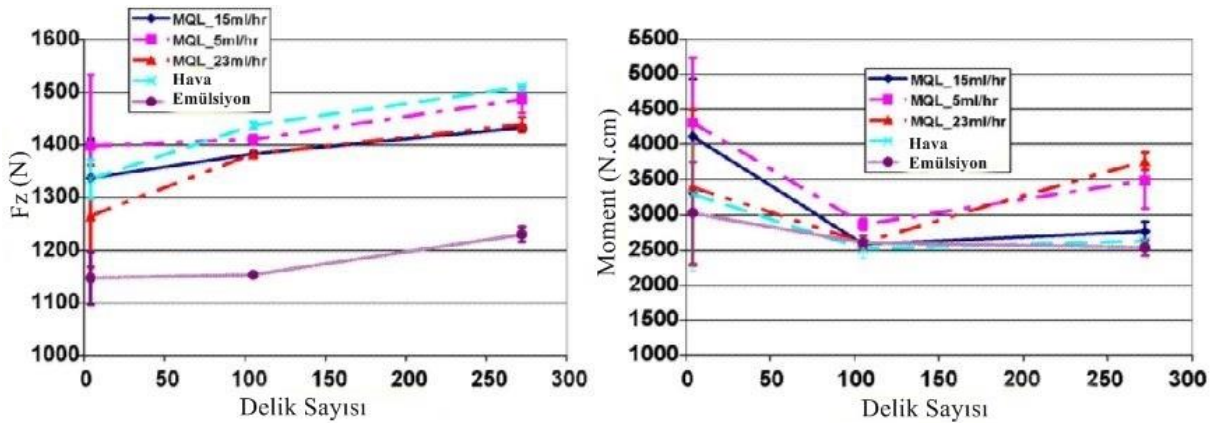
Soğutma veya talaş tahliyesi tarafından üretilen ses, tırlama titreşimleri ile karşılaştırıldığında düşük genliktedir. Talaş sıkışması sönümlenme etkisi yaratmaktadır. Talaş tahliye oluklarının geometrisine ve talaşlara bağlı olarak talaş oluklarında talaş sıkışması nedeniyle sürtünme kuvveti oluşabilir. Bu ekstra sönümlenme, titreşim seviyesini azaltabilir veya tırlama dinamiğini değiştirebilir [13]. U Matkaplardaki tırlama titreşimlerinin incelendiği bir çalışmada ise U Matkaplarda merkezi ve çevresel uçlardaki kesme kuvveti ve moment değerlerinin ayrı ayrı hesaplanmasına yönelik bir çalışma yapılmıştır (Tablo 2) [14].

Tablo 2. Merkezi ve çevresel uçlar tarafından üretilen tahmini moment ve eksenel kuvvetler [14]

İlerleme Hızı (mm/dev)	Kesme Hızı (m/dak)	Moment (Nm)		Eksenel.kuvvet (N)	
		Çevresel Uç	Merkezi Uç	Çevresel Uç	Merkezi Uç
0.12	200	-16.10	-5.84	-1431	-1524
0.14	200	-17.87	-6.48	-1510	-1609
0.18	200	-21.01	-7.62	-1561	-1663

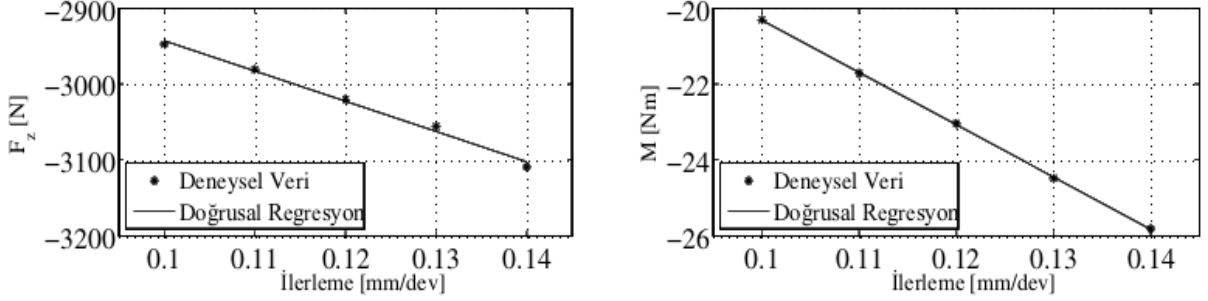
U Matkaplar ile delme de minimum miktarda yağlama (MQL), hava ve emülsiyon soğutma için yapılan deneysel çalışmanın sonuçları görülmektedir (Şekil 6).

Kuvvet ve moment ölçümleri yüksek bir farklılık göstermemiştir ancak en yüksek kuvvet hava da ve en düşük kuvvet emülsiyon da gözlenmiştir (Şekil 6) [15].



Şekil 5. Delik sayısına göre kesme kuvveti ve moment ölçümündeki değerler [15]

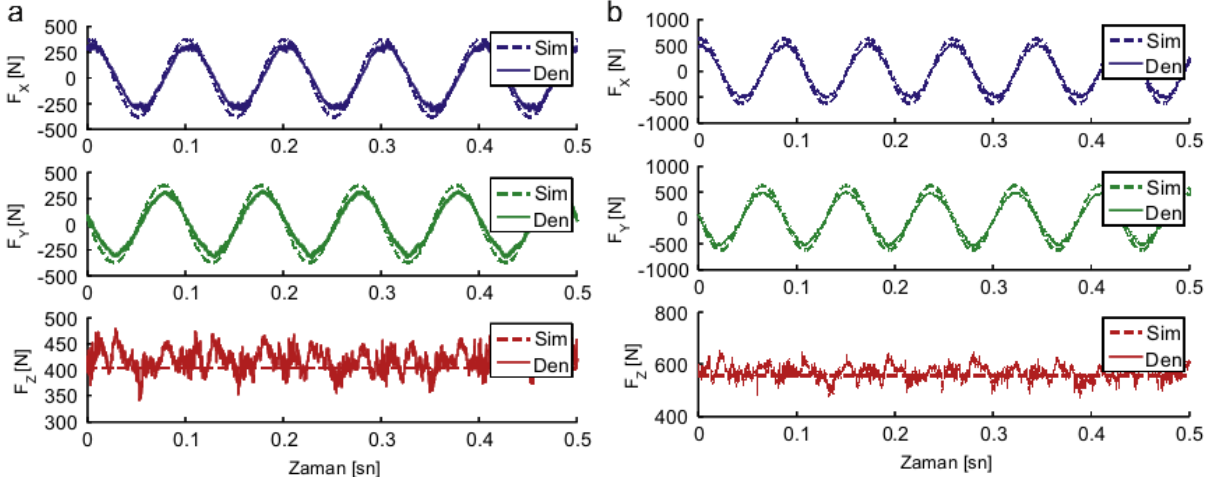
Yapılan bir çalışmada tırlama (Chatter) titreşimlerine daha az eğilimli olan ve böylece çalışma sırasında daha az gürültü yapan takımın tasarlanması amacıyla zaman alanı modellenmesi ile deneysel verileri karşılaştırmışlardır. Farklı ilerleme hızları için kesme kuvveti ve moment değerleri hesaplanmıştır. Deneysel ile modelleme verilerinin aralarında iyi bir uyum olduğu gözlenmiştir (Şekil 7) [16].



Şekil 6. Farklı ilerleme oranlarında ölçülen moment ve kesme kuvvetleri. Malzeme SS 2244 ve kesme hızı 200 m/dak [16]

Yapılan bir çalışmada kesici kenarları küçük elemanlara bölerek değiştirilebilir matkaplardaki statik kesme kuvvetlerini tahmin etmek için bir model önerilmiştir. Bu model kullanılarak, kuvvetler her kesici uç üzerinde ayrı ayrı hesaplanabildiğinden, kesme yüklerinin tahmininde kesici uç farklılıkları dikkate alınabilir [18].

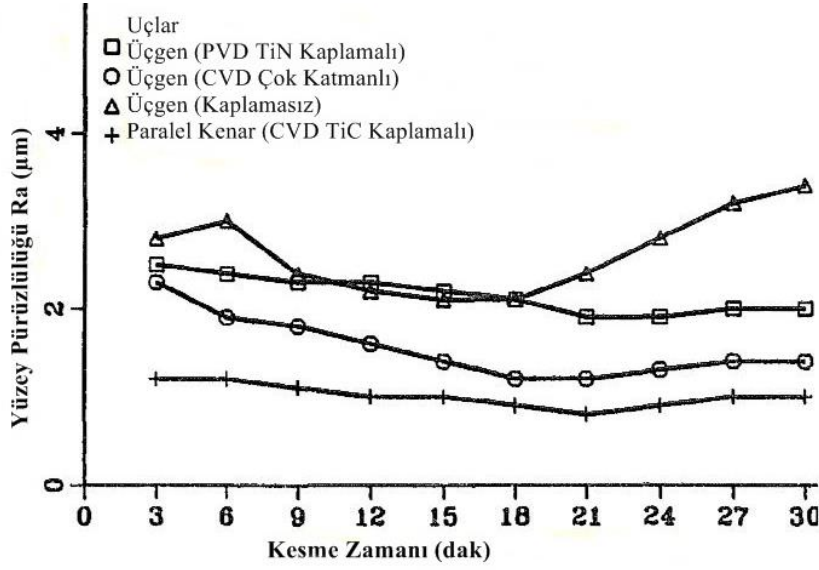
Yapılan bir çalışmada Alüminyum 7050 alaşımına 6 çapında bir ön delik deldikten sonra 21 çapında U Matkap ile delik delinmiştir. İtme kuvveti deneysel ve analitik modellemeyle karşılaştırılmıştır ve uyumlu olduğu görülmüştür (Şekil 8) [17].



Şekil 7. Zaman ile İtme Kuvvetlerinin değişimi [17]

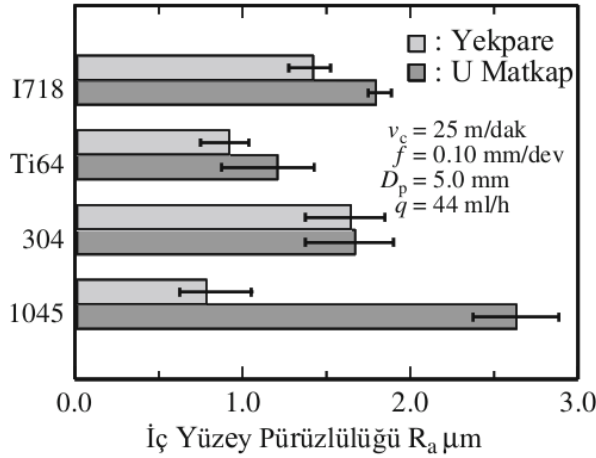
2.2. Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü delme işleminin ne kadar sağlıklı olup olmadığının bir göstergesidir. İşlenen yüzeylerde delik delme esnasında oluşan talaş tahliyesi sırasında talaşın işleme yüzeyine istenmeyen biçimde sürtünmesi yüzey pürüzlülük kalitesini etkilemektedir [8]. Yüzey pürüzlülüğünü, ilerleme hızı, kesici geometrisi ve kaplama türü belirlemektedir. U Matkaplardaki uç geometrisine göre yüzey pürüzlülüğünün ölçüldüğü çalışmanın sonuçlarına göre AISI 1018 çeliğinin delinmesinde en iyi performans baklava biçiminde CVD TiC kaplamalı takım ile elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü olarak en zayıf performansı ise üçgen biçimli kaplamasız takma uçlar sergilemiştir (Şekil 9) [9].



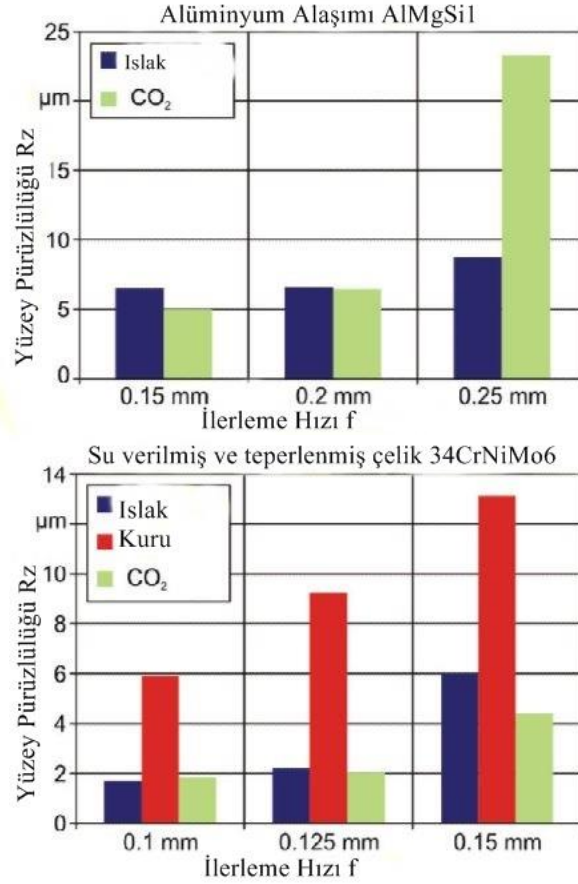
Şekil 8. Farklı U Matkaplarla delinmiş deliklerin yüzey pürüzlülüğü [9]

Tüm kesme parametreleri aynı olmasına rağmen malzemenin değişimi ile yüzey pürüzlülüğü değişmektedir. Çeşitli iş parçası malzemelerine U Matkap ve normal helisel matkap ile açılmış deliğin iç yüzeyindeki pürüzlülük değerleri (R_a), Şekil 10'da gösterilmektedir. U matkapla kesilen, kesilmesi zor olan üç malzemenin (Inconel 718, AISI 304, Ti6Al4V) yüzey pürüzlülüğü değerleri, her malzeme için normal helisel matkap kullanıldığında nispeten düşük ve aynı derecede iken, AISI 1045 kesiminde net bir fark gözlenmiştir (Şekil 10). Bunun temel nedeni olarak U Matkabın açılırları ve AISI 1045'in mekanik özellikleri gösterilmiştir [11].



Şekil 9. İş parçası malzemesinin iç yüzey pürüzlülüğüne etkisi [11]

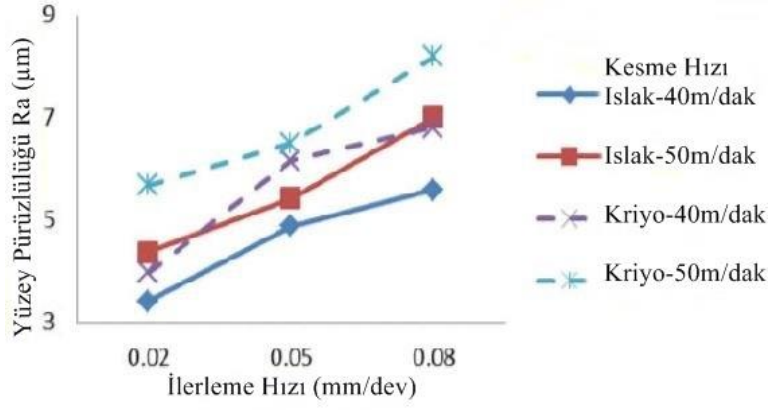
Şekil 11, 34CrNiMo6 çeliğin yanı sıra alüminyum alaşımı AlMgSi1'in işlenmesinden sonra ölçülen yüzey pürüzlülüğünü (R_z) göstermektedir. 34CrNiMo6'nın delinmesi için kuru işleme en kötü yüzey kalitesine yol açar. Yüzey pürüzlülüğü değerleri, ilerleme hızına bağlı olarak $R_z=5,9\mu\text{m}$ ve $R_z=13,1\mu\text{m}$ arasında değişmektedir. Diğer taraftan soğutma uygulanırsa, yüzey kalitesi açıkça artırılabilir. Hem yağlayıcı hem de CO_2 kar jeti yaklaşık $R_z = 1,7... 6 \mu\text{m}$ değerine ulaşır. Soğutma yağlayıcı ve CO_2 kar jeti ile delmede yüzey pürüzlülüğü, kuru işleme için karşılaştırılabilir ve daha avantajlıdır. Alüminyum alaşım AlSiMg1'in işlenmesi için, iki soğutma yönteminin R_z değerleri de birbirine benzerdir (Şekil 11) [20].



Şekil 10. 34CrNiMo6 ve AlMgSi1'in işlenmesi için soğutma tipinin yüzey kalitesi üzerindeki etkisi [20]

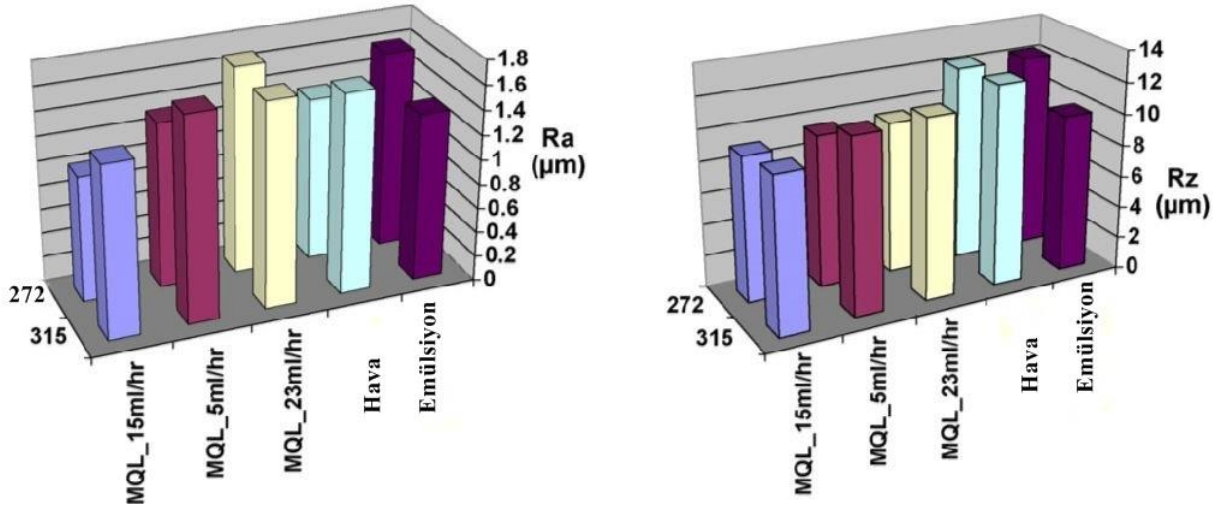
Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesinde çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerden kalem tabanlı (mekanik) profilometre ve optik profilometre arasındaki farklar bir çalışmada incelenmiştir. Örneğin yüzey pürüzlülüğü kalem tabanlı profilometre ile 2,6 mikron olarak ölçülürken optik işlemde 3,5 mikron olarak ölçülmüştür. Optik profilometre ile ölçülen değer kalem profilometre ile ölçülenden %35-85 daha fazladır [10,19].

Emülsiyon ve kriyojenik soğutma altında AISI 304 paslanmaz çeliğin delinmesinde yüzey pürüzlülüğünün değişimi Şekil 12'de gösterilmiştir. Daha düşük kesme hızında 40 m/dak ve daha düşük ilerleme hızı 0,02 mm/dev, yüzey pürüzlülük değerleri sırasıyla emülsiyon için 3,42 µm ve kriyojenik soğutma için 3,97µm değerleri elde edilmiştir. Emülsiyon soğutmada yüzey pürüzlülüğü görülmüştür. 0,05 mm/dev ve 0,08 mm/dev'lik daha yüksek ilerleme oranları için, emülsiyon soğutmaya karşı kriyojenik LN₂ soğutma altında yüzey pürüzlülüğünde %21 ve %18 artış meydana gelmiştir. Emülsiyon yerine kriyojenik soğutmanın uygulanması ile %15 ve %23 arası yüzey pürüzlülüğünde artış meydana gelmiştir (Şekil 12) [7].



Şekil 11. Yüzey pürüzlülüğü ve ilerleme hızı arasındaki ilişki [7]

Yüzey pürüzlülüğü delik sayısı arttıkça artmaktadır ve yüzey pürüzlülüğü ölçümünde delik derinliğinin birden fazla noktasında ölçümler yapılarak en optimal değer bulunması sağlanmaktadır. Bu kapsamda yapılan bir çalışmada deliklerin yüzeyi 272 delikten ve 315 delikten sonra incelenmiştir (Şekil 13). Ölçümler, delikten 4 noktada yapılmıştır. Ra ve Rz değerleri, yüksek bir farklılık olmamasına rağmen MQL-15 ml/saat ve emülsiyon delmenin en iyi sonucu verdiğini göstermektedir. Emülsiyon destekli delme ile karşılaştırıldığında MQL ve hava destekli delme deneyleri için daha yüksek yüzey profili gözlemlenmiştir. Rz değerine yakından bakıldığında, hava destekli delme testleri için daha yüksek bir değer gözlemlenmiştir (Şekil 13) [15].



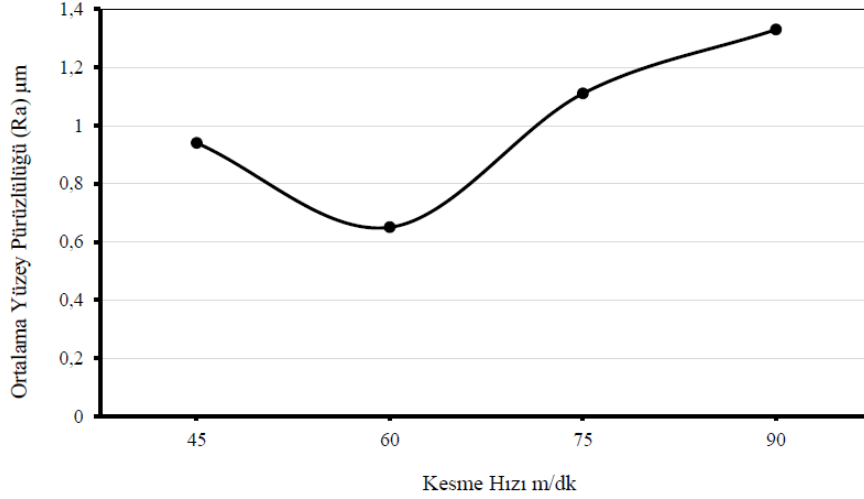
Şekil 12. Ra ve Rz değerleri [15]

Yapılan bir çalışmanın deneysel sonuçları ANOVA ile analiz edilmiştir. Tablo 3'te yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli değişkenin %70,64 ile delik çapı olduğunu göstermektedir. İlerleme hızı %24,97 ile yüzey pürüzlülüğünü etkilemektedir [2].

Tablo 3. Yüzey pürüzlülüğü için varyans analizi (Analysis of variance for the surface roughness) [2]

Varyasyon kaynağı		Serbestlik Derecesi	Kareler toplamı	Ortalama Kare	Katkı %
A	Delik çapı	2	67.8224	33.911	70.64
B	Delik derinliği	2	1.1657	0.5828	1.21
C	İlerleme hızı	2	23.9766	11.988	24.97
D	Kesme hızı	2	3.0485	1.5243	3.18
Toplam		8	96.013		100

Yapılan bir çalışmada Armox 500T zırh çeliği U Matkap ile delinmiştir. Bu çalışmada kesme hızını bir miktar arttırdığımızda yüzey pürüzlülük değerlerinin iyileştiği, ancak kesme hızını arttırmaya devam ettiğimizde ise yüzey pürüzlülük değerlerinin olumsuz etkilendiği gözlemlenmiştir. Bu doğrultuda kesme hızının artırılması ile kesici takım ideal kesme hızına ulaşana kadar yüzey pürüzlülüğünün daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Ancak kesme hızının ideal hızdan daha fazla bir değere çıktığında ise takım tezgahında artan titreşim sebebiyle yüzey pürüzlülüğünü olumsuz yönde etkilediği de görülmüştür (Şekil 14) [21].



Şekil 13. Kesme hızı ve yüzey pürüzlülüğü [21]

2.3. Geometrik Doğruluk

Yapılan delme işlemlerinden sonra deliğin geometrik kalitesi çeşitli şekillerde incelenmektedir. Bunlar dairesellik, silindiriklik, diklik ve deliğin çaptan sapması olarak çalışmalarda kontrol edilmiştir.

Yapılan bir çalışmada varyans analizine göre silindirikliği etkileyen en önemli değişkenin %77,72'lik yüzdelerle katkıyla delik derinliği olduğunu belirtmişlerdir. Takım sapması delme derinliği arttıkça artmaktadır. Delik çapı ve kesme hızı da %8,85 ve %10,86 oranındaki katkılarla silindiriklik üzerinde önemli etkiye sahiptir [1, 2].

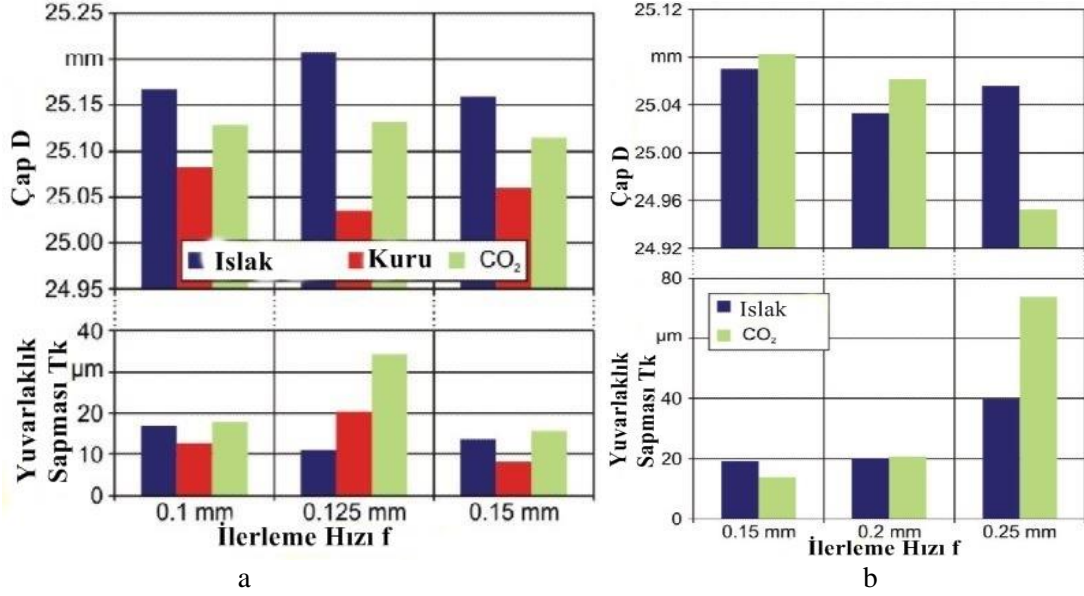
Yapılan bir çalışmada U Matkapın aksenal salgı değerleri ölçüldüğünde merkezi uç salgı yapmazken, çevresel uç 19 µm salgı yapmıştır [23].

Dövme dökme demir malzemesinde minimum silindiriklik, düşük iş mili hızı, düşük ilerleme ve orta kesme derinliği ile elde edilebilir. Minimal dikeylik, daha yüksek iş mili hızı, düşük ilerleme ve daha düşük kesme derinliği ile elde edilebilir. Silindiriklik ve diklik için ortalama tahmin hataları sırasıyla %2,34 ve %2,39'dur [22].

Varyans analizine göre dikliği etkileyen en önemli değişkenin %75,18'lik bir yüzde katkıyla delik derinliği olduğunu belirtmişlerdir. Delik derinliği 45–95 mm aralığında arttığında, diklik değerinde maksimum sapma tespit edilmiştir. Bu, takımın aşırı sapması ve delik derinliği arttıkça talaşların kesim bölgesinden çıkarılmasındaki zorluğa bağlı olabilir. Bu nedenle, talaş kaldırma mesafesi arttığında talaş kontrolü dikkatli bir şekilde düşünülmelidir. Delik çapı ve ilerleme oranı, sırasıyla %9,70 ve %11,31 oranındaki yüzdelerle katkıyla diklik üzerinde önemli etkiye sahiptir [1, 2].

Genel olarak dik işlemede delik operasyonunda kesme hızının artması ile dairesellik miktarının azaldığı gözlemlenmiştir. Sleiþner soğuk iş çeliği, dievar derecesine göre daha kararlı bir yapı ortaya çıkarmıştır. Dik işlemede U Matkap ile yapılan deneylerde T2000D takma ucunun çaptan sapma oranları dievar için ortalama 0,155 mm, sleipner için ise 0,170 mm çıkmıştır [8].

Soğutma yöntemi ve değişen malzemelerin çap ve dairesellikten sapmada etkisi mevcuttur. 34CrNiMo6 malzemesine delinmiş deliklerde soğutma olmayan testlerin çapı, D=25 mm nominal çapa en yakındır. AlMgSi sıvanma problemleri nedeniyle kuru işleme gerçekleştirilmemiştir (Şekil 15) [20].

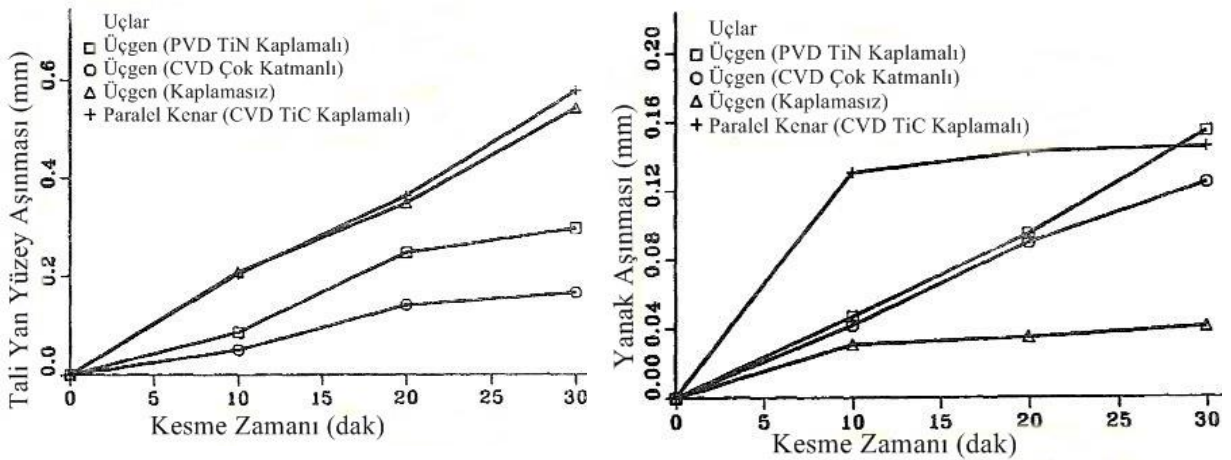


Şekil 14. Soğutma yönteminin çap ve yuvarlaklık sapması üzerindeki etkisi. (a) 34CrNiMo6, (b) AlMgSi1 [20]

2.4. Takım Aşınması

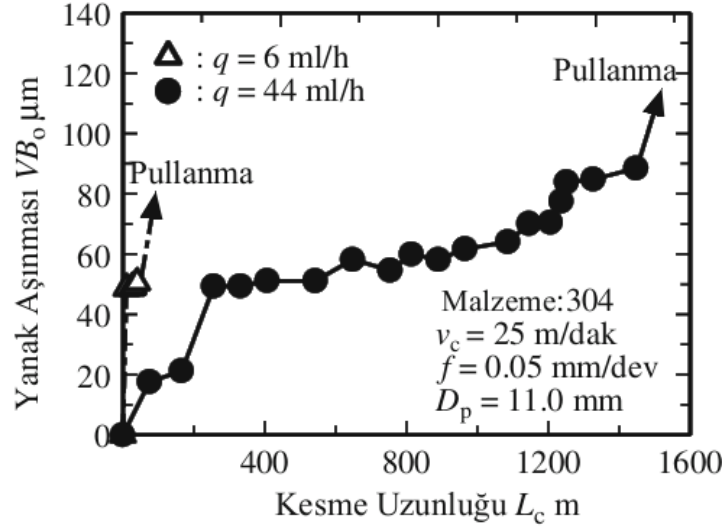
Takım aşınması, takımın orijinal şeklinin kaybolmasına neden olur ve bu sayede takım, zamanla verimsizliğe ve hatta tamamen kırılmaya neden olur. Paslanmaz çeliğin delinmesinde talaş kontrolü önemlidir çünkü takım aşınmasını belirler. Emülsiyon soğutmada, kesme bölgesi arayüz bölgesinde yüksek kesme sıcaklığı nedeniyle adheziv (yapışma) aşınması meydana gelir. Bu daha yüksek kesme bölgesi sıcaklığı, delme takımının iş malzemesine yapışmasına ve yüksek takım aşınmasına ve iş parçası malzemesinin yumuşamasına izin verir. Takım aşınması, kriyojenik soğutmada emülsiyon soğutmadan daha azdır. Kesme sıcaklığı kriyojenik soğutmada kesici uçların daha az termal şokuna neden olur. Sonuç olarak, takım abrasiv (sürtünme) aşınmaya maruz kalır ve parçacıkların kesici takım malzemesinden bir kısmının kopmasına neden olur [7].

Geometri ve kaplama malzemelerinin karbür uçlar üzerindeki etkisini incelemek için delme performansı ve takım aşınma araştırmaları gerçekleştirilmiştir. Delik kalitesi tali yan yüzey aşınmasına bağlı olduğundan ve deliğin alt yüzeyi serbest yüzey aşınmasına bağlı olduğundan, bu iki aşınma fonksiyonu sırasıyla Şekil 16'da gösterilmektedir. Delme deneyleri, Paralel kenar (Rhomboid) uçların yüksek aşınma oranına sahip olmasına rağmen, en iyi delikleri oluşturduğunu ve diğer uçlardan daha iyi delikler ürettiğini göstermektedir (Şekil 16) [9].



Şekil 15. (Sol) Dış uçta tali yan yüzey aşınması, (Sağ) İç uçlarda yanak aşınması [9]

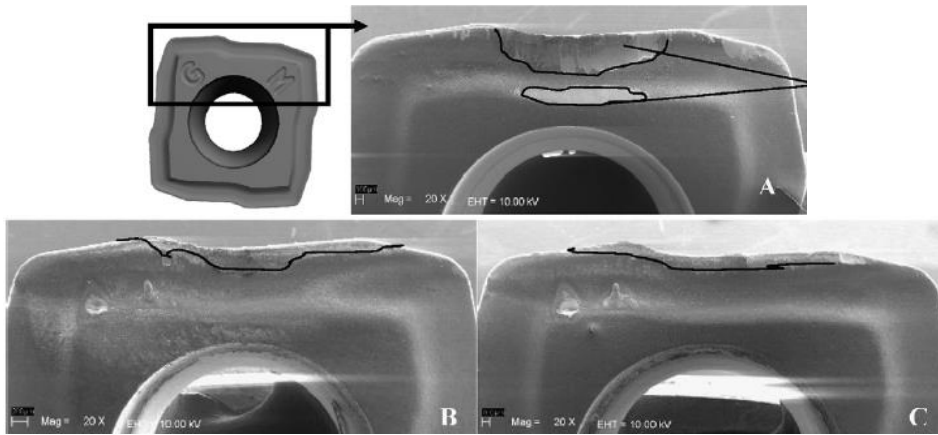
Bir çalışmada işlenecek malzeme olarak AISI 304 kullanılmıştır, bu da U Matkap için nispeten yüksek takım sıcaklığı ve kesme kuvveti göstermiştir. Yeni bir takımında bile kuru kesimin hemen neden olduğu tanecik kopmasından dolayı MQL yağlama koşulları olarak 6 ve 44 ml/saat yağ buharı akış oranları kullanılmıştır. Delik derinliği 15 mm kör bir deliktir. Hazırlanan ön delik çapı, iç uçların etkisini ortadan kaldırmak ve dış uçların aşınma davranışına odaklanmak için 11 mm olmuştur. Serbest yüzey aşınması, tanecik kopmasının oluşmasından dolayı 6 ml / saat için kesme uzunluğu 50.3m'de büyük ölçüde artmıştır (Şekil 17) [11].



Şekil 16. Kesme uzunluğu ve alt serbest yüzey aşınması arasındaki ilişki [11]

Tüp levha delme işlemi için takım aşınma takibi ile ilgili çap 39 U Matkap ile 2205 duplex paslanmaz çeliğin delinmesi işleminde ANOVA analizi gerçekleştirilerek takımın optimum kullanımı için bir model gerçekleştirilmiştir. Bu deney için kullanılan matkap ile takım ömründe yaklaşık %44'lük bir artışla ve tolerans dışı kalma riskinde önemli bir azalma ile delikleri ± 0.1 mm çapında bir toleransta tutabileceğini göstermektedir [24].

Adhesiv (yapışkan) aşınma, kaplamanın dökülmesiyle sonuçlanır, bu da kesme kenarı ve talaş kırıcısında tanecik kopmasına (chipping) yol açar [11]. Emülsiyon ile soğutma işleminde daha yüksek krater aşınması görülmüştür, yıpranma alt katmana uzamıştır. Bununla birlikte, MQL ve hava soğutması için, aşınma emülsiyonda görülenden daha düşük olmakla birlikte, hava ile MQL'den biraz daha büyüktür. En büyük fark, aşınmanın MQL ve hava için kenar boyunca uzanmasıdır, emülsiyon için ise kenarın ortasına yoğunlaşır ve alt tabakaya (WC ve Co matrisi) ulaşır (Şekil 18) [15].

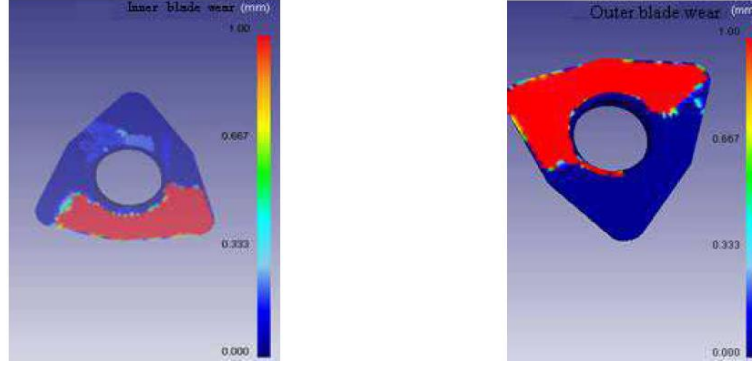


Şekil 17. 272. delikten sonra merkezi ucun talaş yüzü. (A) Emülsiyon, (B) hava, (C) MQL-5 ml/h [15]

Emülsiyonun yüksek soğutma kabiliyeti, sadece daha yüksek aşınmaya neden olmakla kalmayıp aynı zamanda talaş yüzeyinde farklı talaş teması ve talaş hareketi ile sonuçlanan daha yüksek gerilmeye neden olabilir. Talaşın yüksek sıcaklıklarda ve gerilimlerde kayması nedeniyle, talaş pekleşir ve

genellikle talaş yüzüne yapışır. Birbirinin üstünde sertleşmiş malzeme, talaşın MQL ve hava için kırılmasına yardımcı olurken, emülsiyon destekli delme için yapıştığına dair bir kanıt ulaşılamamıştır [15].

Yapılan bir çalışmanın sonlu elemanlar analizinde iki ucun aşınma alanlarının ana kesici kenara yakın olduğu yani parçaların ve uçların temasının kesici kenarlara yakın olduğu gözlemlenebilir. Maksimum aşınmış parçalar kesici kenarların yerine yerleşir. Bağın artması, oksidasyon ve difüzyon aşınmasına yol açar. Dahası, iş parçasının yüksek sıcaklık alanı, kesici kenara yakındır (Şekil 19) [25].



Şekil 18. 119. delikte iç ve dış uç aşınması [25]

3. Sonuçlar

U Matkaplar ile ilgili ulaşılabilen çalışmalar incelenmiştir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde U Matkapların deneysel veya matematiksel yöntemler kullanılarak daha farklı malzeme grupları ve deney parametreleri için incelenmesi gerektiği değerlendirilmektedir. Böylelikle bu takımlar daha etkin bir şekilde kullanılarak endüstri için verimlilik artırılabilir.

U Matkaplar ile ilgili çalışmalar “Kesme Kuvveti ve Moment”, “Yüzey Pürüzlülüğü”, “Geometrik Kalite” ve “Takım Aşınması” başlıkları altında incelenerek tespit edilen sonuçlar konu başlıkları altında belirtilmiştir.

Kesme Kuvveti ve Moment;

U Matkaplar, normal helisel matkaplara göre daha düşük kesme kuvveti ve moment oluşturmaktadırlar. Ancak kriyojenik işlemler uygulandığı takdirde bu değerler artmaktadır. İki uç için ayrı ayrı kuvvetler hesaplandığında hemen hemen yakın değerler söz konusuken oluşan moment açısından çevresel uca merkezi uca göre yaklaşık üç kat daha fazla değer oluşmaktadır. Açılan delik sayılarının soğutma biçimine göre kuvvet ölçümü yapıldığında ise en az kuvvet emülsiyon soğutmada ölçülürken en fazla kuvvet hava soğutmada ölçülmüştür. Moment açısından ise hemen hemen tüm soğutma türlerinde benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Yüzey Pürüzlülüğü;

Geometrilere göre yüzey pürüzlülüğünün incelenmesinde en iyi performansı paralel kenar biçiminde (Rhomboid) CVD TiC kaplamalı takım ile elde edilirken, en kötü performansı ise üçgen biçimli kaplamasız takımla elde edilmiştir. Değişik soğutma yöntemleri altında yüzey pürüzlülüğü incelendiğinde ise emülsiyon soğutmada daha düşük yüzey pürüzlülüğü ölçülürken kesiciye kriyojenik işlem uygulandıktan sonra ise yüzey pürüzlülük değerleri artış göstermiştir. Normal helisel matkaplar ile U Matkaplar kıyaslandığında ise Inconel718, Ti6Al4V, AISI 304 ve AISI 1045 malzemesi için normal helisel matkaplarda daha iyi yüzey pürüzlülüğü çıkmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün de en önemli faktör olarak %70,64 ile delik çapı, en az önemli ise %1,21 ile delik derinliği olduğu tespit edilmiştir. Hava, emülsiyon ve MQL soğutma altında yüzey pürüzlülüğü incelendiğinde ise en kötü sonuç hava soğutmada iken en iyi yüzey kalitesi ise MQL ve emülsiyonda elde edilmiştir.

Geometrik Kalite;

Silindiriklik için en önemli etken %77,72 ile delik derinliği iken en az önemli etken %2,57 ile ilerleme hızı olduğu tespit edilmiştir. Diklik için en önemli etken %75,18 ile delik derinliği iken en az önemli etken %3,81 ile kesme hızı olduğu tespit edilmiştir.

Dik işlemede U Matkap ile yapılan deneylerde T2000D takma ucunun çaptan sapma oranları dievar için ortalama 0,155 mm, sleipner için ise 0,170 mm çıkmıştır.

Soğutma yöntemi ve değişen malzemelerin çap ve dairesellikten sapmada etkisi mevcuttur. 34CrNiMo6 malzemesine delinmiş deliklerde soğutma olmayan testlerin çapı, D=25 mm nominal çapa en yakındır.

Takım Aşınması;

Kesici uç profili ve kaplama türüne göre serbest yan yüzey aşınması incelendiğinde en az aşınma üçgen kaplamasız da elde edilirken, en fazla aşınma kare CVD TiC kaplamalı uçta elde edilmiştir. Kesici uçlarda oluşan BUE bir dereceye kadar aşınmayı engellerken bir dereceden sonra aşınmayı artırmaktadır. Takım aşınması emülsiyon ve kriyojenik işlem ile kıyaslandığında ise en az aşınma kriyojenik soğutmada gerçekleşmiştir. Hava, emülsiyon ve MQL soğutma altında takım aşınması incelendiğinde ise en kötü sonuç emülsiyon soğutmada iken en iyi sonuç ise MQL ile elde edilmiştir.

Kaynaklar

1. E. Kabaklı, «Optimization Of Process Parameters Of Drilling Using The Taguchi Method.,» Yüksek Lisans Tez, Çukurova Üniversitesi, 2009.
2. E. Kabaklı, M. Bayramoğlu ve N. Geren, «Evaluation Of The Surface Roughness And Geometric Accuracies In A Drilling Process Using The Taguchi Analysis.,» *Materials and technology*, cilt 1, no. 48, pp. 91-98, 2014.
3. S. Korucu, «Delik İşlemlerinde Kesiciler Üzerine Etki Eden Gerilmelerin Matematiksel Olarak Modellenmesi.,» Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, 2007.
4. S. K. Alhat ve S. Pimpale, «Geometric Optimization of ‘U’-Drill Cutting Edge by Finite Element Analysis (FEA) and its Experimental Validation.,» *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, cilt Vol. 5 , no. Issue 06, pp. 542-546, June-2016.
5. A. Parsian, M. Magnevall, T. Beno ve M. Eynian, «A Mechanistic Approach to Model Cutting Forces in Drilling with Indexable Inserts.,» *Procedia CIRP*, cilt 1, no. 24, pp. 74-79, 2014.
6. Z. M. Kılıç ve Y. Altıntaş, «Generalized modelling of cutting tool geometries for unified process.,» *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, no. 104, pp. 14-25, 2016.
7. K. M. Pradeep ve A. L. Shakeel, «Drilling of AISI 304 Stainless Steel under Liquid Nitrogen Cooling: A Comparison with Flood Cooling.,» *Materials Today: Proceedings*, cilt 1, no. 4, pp. 1518-1524, 2017.
8. İ. Özkul, «Takım Çeliği Malzemelerinin Geleneksel Ve Modern İşleme Yöntemleri İle İşlenebilirliklerinin Araştırılması.,» Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, 2012.
9. V. C. Venkatesh ve W. Xue, «A Study Of The Built-Up Edge In Driling With Indexable Coated Carbide Inserts.,» *Journal of Materials Processing Technology*, cilt 1, no. 58, pp. 379-384, 1996.
10. P. Nieslony, P. Cichosz, G. M. Krolczyk, S. Legutko, D. Smyczek ve M. Kolodziej, «Experimental studies of the cutting force and surface morphology of explosively clad Ti–steel plates.,» *Measurement*, cilt 1, no. 78, p. 129–137, 2016.
11. M. Okada, N. Asakawa, E. Sentoku, R. M'Saoubi ve T. Ueda, «Cutting performance of an indexable insert drill for difficult-to-cut materials under supplied oil mist.,» *Int J Adv Manuf Technol*, cilt 1, no. 72, p. 475–485, 2014.
12. A. H. Kheireddine, A. H. Ammouri, T. Lu, I. S. Jawahir ve R. F. Hamade, «An FEM Analysis with experimental Validation to Study the Hardness of In-Process Cryogenically Cooled Drilled Holes in Mg AZ31b.,» *Procedia CIRP*, no. 8, p. 588 – 593., 2013.

13. A. Parsian, M. Magnevall, T. Beno ve M. Eynian, «Sound Analysis in Drilling, Frequency and Time Domains,» *Procedia CIRP*, no. 58, p. 411 – 415, 2017.
14. A. Parsian, M. Magnevall, M. Eynian ve T. Beno, «Time domain simulation of chatter vibrations in indexable drills,» *Int J Adv Manuf Technol*, no. 89, p. 1209–1221, 2017.
15. B. Tisdelen, T. Wikblom ve S. Ekered, «Studies on minimum quantity lubrication (MQL) and air cooling at drilling,» *Journal Of Materials Processing Technology*, no. 200, p. 339–346, 2008.
16. A. Parsian, M. Magnevall, T. Beno ve M. Eynian, «Time-Domain Modeling of Torsional-Axial Chatter Vibrations in Indexable Drills with Low Damping,» *The 4th International Conference on Virtual Machining Process Technology (VMPT 2015)*, pp. 1-8, 2015.
17. M. Kaymakci, Z. Kilic ve Y. Altintas, «Unified cutting force model fo rturning, boring, drilling and milling operations.,» *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, cilt 54, no. 55, pp. 34-45, 2012.
18. D. Biermann ve H. Hartmann, «Reduction of Burr Formation in Drilling Using Cryogenic Process Cooling,» *Procedia CIRP*, no. 3, p. 85 – 90, 2012.
19. K. Sönmez, *Arox 500 T Çeliğinin Delinmesinde Yüzey Kalitesi, Takım Aşınması ve Daireselliğinin İncelenmesi*, Karabük: Karabük Üniversitesi, İmalat Mühendisliği, 2019.
20. R. Griffin, Y. Cao, J. Y. Peng ve X. B. Chen, «Tool wear monitoring and replacement for tubesheet drilling,» *Int J Adv Manuf Technol*, no. 86, p. 2011–2020, 2016.
21. L. Liu, L. Zhou ve Z. Ying, «The FEM Dynamic Simulation in the Drilling process with Indexable Inserts,» *Advanced Materials Research*, no. 557-559, pp. 1292-1297, 2012.
22. P. Nieslony, G. M. Krolczyk, K. Zak, R. W. Maruda ve S. Legutko, «Comparative assessment of the mechanical and electromagnetic surfaces of explosively clad Ti–steel plates after drilling process,» *Precision Engineering*, no. 47, p. 104–110, 2017.
23. G. P. Sheth S., «Experimental investigation, prediction and optimization of cylindricity and perpendicularity during drilling of WCB material using grey relational analysis,» *Precision Engineering*, no. 45, p. 33–43, 2016.
24. Z. M. Kılıç ve Y. Altıntaş, «Generalized mechanics and dynamics of metal cutting operations,» *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, no. 104, pp. 1-13, 2016.
25. A. Parsian, *Regenerative Chatter Vibration in Indexable Drills: Modeling and Simulation*, West University Production Technology PhD Thesis, 2018.