



MAKÜ FEBED
ISSN Online: 1309-2243
<http://dergipark.gov.tr/makufebed>
DOI: 10.29048/makufebed.335605

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 8(Ek Sayı 1): 231-238 (2017)
The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University 8(Supplementary Issue 1): 231-238 (2017)

Araştırma Makalesi / Research Paper

GGG40 Malzemesinin CNC Torna Tezgahında Karbür Matkaplarla Delinmesinde Sıcaklık ve Delme Kuvvetlerinin Araştırılması

Muharrem USTA^{1*}, Yunus KAYIR²

¹ Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Burdur
² Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ankara

Geliş Tarihi (Received): 22.08.2017, Kabul Tarihi (Accepted): 09.11.2017
✉ Sorumlu Yazar (Corresponding author*): muharremusta@mehmetakif.edu.tr
☎ +90 248 2134554 📠 +90 248 2134598

ÖZ

Bu çalışmada CNC torna tezgahında delik delme deneyleri yapılmıştır. Deneylerde GGG40 malzemesi, Ø14 mm TiAlN kaplamalı ve kaplamasız içten soğutmalı karbür matkaplar ile delinmiştir. Deneyler sırasında oluşan, delik delme kuvveti (Fz) ve moment (Mz) bir dinamometre ile sıcaklık ise Ø1 mm K tipi ısı çifti kullanılarak ölçülmüştür. Isıl çifti, karbür matkabın iç soğutma kanallarından geçirilerek kesici ucuna konumlandırılmıştır. Delik delme deneyleri, 3 farklı kesme hızı ve 3 farklı ilerleme kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen deney sonuçları, ilerleme arttıkça delme kuvveti ve momentin arttığı, kesme hızı arttıkça da delme kuvveti ve momentin azaldığını göstermiştir. Bununla birlikte, sıcaklığın artan ilerleme ile azaldığı, artan kesme hızına bağlı olarak artış gösterdiğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Matkaplar, Kesme kuvvetleri, Delik delme, Sıcaklık ölçme, Kuvvet ölçme

Investigation of Temperature and Forces on Drilling GGG40 Materials with Carbide Drills on CNC Turning Machine Tools

ABSTRACT

In this study, drilling experiments were carried out on the CNC turning machine tools. In the experiments, GGG40 material was drilled TiAlN coated and uncoated carbide drills that was Ø14 mm and had internal cooling channels. The drilling force (Fz) and moment (Mz) that were measured with a dynamometer. Moreover, the temperature was measured using a thermocouple of Ø1 mm K type. The thermocouple was positioned at the drill bit by passing through the internal cooling channels of the carbide drill. Drilling experiments were performed by using 3 different cutting speeds and 3 different feed rates. Experimental results show that increasing of the feed rate goes up drilling force and moment. But, increasing of the cutting speed goes down drilling force and moment. For all that, the temperature decreases with increasing of the feed rate, and temperature steps up due to increasing of the cutting speed.

Keywords: Drills, Cutting forces, Drilling, Temperature measurement, Force measurement

GİRİŞ

Makine imalat sanayisinde matkapla delik delme işlemi yaygın olarak kullanılan bir operasyondur. Matkapla delik delme, basitliği, hızlılığı ve ekonomisi gibi sebeplerle

tercih edilmektedir. Aslında, matkapla delik delme, en karmaşık kesme işlemlerinden biridir. Diğer talaşlı imalat işlemlerindeki kesme süreci dikkate alındığında matkapla delik delme oldukça farklıdır. Matkapla delik delme işleminde, kendi eksenini etrafında dönen kesicinin ucu

malzemeyi ezerek matkabin merkezlenmesine çalışılırken devamında kesici iki kenar talaş kaldırmaya, kaldırılan talaşla birlikte ilerleyen matkabin malzeme içerisine gömülmesi gerçekleşmektedir. Bununla birlikte, delik içerisinde ilerleyen matkabin helis kanalları ile de çıkan talaşların tahliyesi yapılmaktadır. Dolayısı ile delik delme işleminde kullanılan kesici takım, açılan delik üzerinde çok fazla etkili parametre oluşmaktadır.

Yapılan tüm delik delme deneylerinde temelde bir kuvvet ve bir moment dikkate alınmıştır. Kuvvet, kesicinin, parçaya dalması (ilerleme) yönünde oluşturduğu Fz (N) delme kuvvetidir. Moment ise kesicinin kendi eksenini etrafında dönüşü ile meydana getirdiği Mz (Ncm)'dir. Kuvvet ve momentin ölçülmesinde çeşitli dinamometreler kullanılmıştır (Rawat ve Attia, 2009). En yaygın olarak, Kistler 9272 dinamometresinin tercih edildiği görülmüştür. Yapılan ölçümlerde ise kullanılan deney parametrelerinden ilerleme ve kesme hızının Fz ve Mz üzerinde önemli bir etkisinin olduğu ifade edilmiştir (Bhowmick ve ark., 2010). İncelenen çalışmalarda, deneylerin iki farklı kesme şartlarında yapıldığı görülmüştür. En yüksek delme kuvveti ve momentin kuru kesme şartlarında olduğu ileri sürülmüştür. Kuru kesme şartlarında yapılan deneylerde, dene başından deney sonuna kadar elde edilen ölçümlerin stabil (istikrarlı) olmadığı ani artışların ve düşüşlerin meydana geldiği ifade edilmiştir. Kuru kesme şartlarında kesici üzerinde meydana gelen talaş yapışması, kesici kenarında oluşan BUE gibi olumsuzlukların daha fazla ortaya çıktığı ileri sürülmüştür (Imran ve ark., 2014). Kuru kesme şartlarında takım aşınmasının daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Sulu kesme şartlarında yapılan deneylerde ise ölçümlerin daha istikrarlı değerler ortaya koyduğu belirtilmiştir (Rahim ve ark., 2008). Sulu kesme şartları için genelde, soğutma olarak kimyasal sıvılar, hava vb. gibi araçlar kullanılmıştır. Yapılan deneylerde soğutma tipinin yanında uygulanış şeklinin de (taşkın, MQL, vb.) etkili olduğundan bahsedilmiştir (Brandao ve ark., 2011). En iyi soğutma aracının kimyasal sıvılar olduğu, taşkın ve MQL yöntemlerinin daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir (Tasdelen ve ark., 2008).

Delik delme işleminde ortaya çıkan sıcaklığın takım ve dolayısı ile elde edilen üzerinde etkisinin büyük olduğu belirtilmiştir. Sıcaklığın ölçülmesinde değişik yöntemler denenmiştir. Genelde, delik delme deneylerinde sıcaklık ölçümünde, temasız ve temaslı olmak üzere iki yöntem kullanılmıştır (Dörr ve ark., 2003; Rivero ve ark., 2006). Temasız sıcaklık ölçümlerinde, termal kamera ve kızıl ötesi termometre gibi teknikler öne çıkmaktadır (Dörr ve ark., 2003). Delik delme deneylerinde termal kameralarla yapılan sıcaklık ölçümlerinde, kesicinin parçanın içinde olması sağlıklı sonuçların alınmasını zorlaştırmıştır. Dolayısı ile temasız ölçümlerde, matkap ucunu görebilmek için iş parçasına deneyler öncesi ön delikler açılmıştır (Kalidas ve ark., 2003; Rivero ve ark., 2006).

Temaslı sıcaklık ölçüm en yaygın kullanılan yöntem olmuştur. Bu yöntemde, ölçümler ısı çifti ile yapılmıştır. Isıl çifti ile yapılan ölçümlerde, delinen malzeme üzerinden ve kullanılan takım üzerinden olmak üzere iki farklı teknik kullanılmıştır. Malzeme üzerinden yapılan ölçümlerde, ısı çifti malzeme içine gömülmüş, açılan delik duvarına 0.4-1.2 mm arasındaki uzaklıklarda konumlandırılmıştır (Rahim ve Sasahara, 2011; Brandao ve ark., 2011). Kesici üzerinden yapılan sıcaklık ölçümlerinde ise ısı çifti, özellikle karbür matkapların imalatında oluşturulan iç soğutma kanallarından geçirilerek kesicinin ucuna kesme kenarına konumlandırılmıştır (Rawat ve Attia, 2009). Malzeme üzerinden yapılan sıcaklık ölçümleri, kesicinin çalışmasında bir kısıtlama oluşturmazken, kesici üzerinden yapılan ölçümlerde ise ısı çifti, kesicinin dönmelerini engeller. Çünkü matkabin iç soğutma kanallarından geçirilen ısı çifti için kesicinin sabit kalması gerekmektedir. Bu gibi ölçümlerin yapıldığı deneylerde, CNC freze tezgahları, bir CNC torna tezgahı gibi kullanılmıştır (Bağcı ve Özçelik, 2006; Yağmur ve ark., 2013). Bununla birlikte bu gibi kısıtlamaları gidermek için, matkap içerisine geçirilmiş olan ısı çiftleri ile radyo frekansları ile haberleşen kablosuz bir sistem geliştirildiği ve sıcaklık ölçümlerinin yapıldığı bir çalışmada ileri sürülmüştür (Le Coz ve ark., 2012).

Elde edilen deney sonuçlarının değerlendirilmesinde, çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Oluşturulan grafiklerin yorumlanması gibi klasik yöntem ve ANOVA, Taguchi gibi istatistiki yöntemlerden faydalanılmıştır. Özellikle son yıllarda, delik delme çalışmalarında istatistiki yöntemlerin daha çok tercih edildiği görülmüştür. Kullanılan deney parametrelerinin deney sonuçlarına etkisinin ortaya çıkarılmasında, deneyler için en uygun parametrelerin belirlenmesinde istatistiki yöntemler önem kazanmıştır (Rajmohan ve Palanikumar, 2013). Taguchi ve ANOVA analizleri ile delme kuvvetinin düşürülmesinde kesme hızı ve ilerleme parametreleri katkısının birbirine yakın olduğu ileri sürülmüştür (Prasanna ve ark., 2014). Düşük ilerleme hızının, deliklerin daireselliği üzerinde olumlu etkisi olduğu belirtilmiştir.

İncelenen çalışmalar, delik delme deneylerinin genellikle CNC Freze tezgahlarında yapıldığı görülmüştür. Deneylerde, sıcaklık ölçümleri için kesici soğutma kanallarından geçirilen ısı çiftinin kullanılması ile CNC freze tezgahları bir CNC torna tezgahı gibi kullanılmıştır. Tezgah üzerinde, kesici dinamometre üzerinde sabit kalacak şekilde tutulup iş parçası, dönme miline bağlanarak delme işlemi yapılmıştır. Bununla birlikte, imalat sektöründe yaygın bir kullanıma sahip olan CNC torna tezgahlarında birçok operasyonun yanında delik delmede yapılmaktadır. Fakat incelemelerde, delik delme deneylerinin yapılmasında CNC torna tezgah kullanımının çok az olduğu görülmüştür. Dolayısı ile matkapla delik delme işleminde

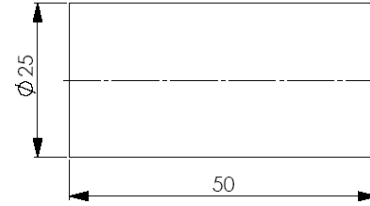
CNC torna tezgahları üzerinde böyle bir çalışmanın yapılmasının daha doğru olacağı düşünülmüştür.

Yapılan bu çalışmada, GGG40 malzemesinin CNC torna tezgahı üzerinde delinmesine yönelik deneyler yapılmıştır. Deneylerde, kaplamasız ve TiAlN kaplamalı karbür matkaplar ve kuru kesme koşulları kullanılmıştır. Deliklerin delinmesinde oluşan kesme kuvvetleri ve sıcaklığın delik üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Kullanılan deney düzeneğinin tezgâhın çalışma mantığına (iş parçası döner, kesici sabit) uygun olacak şekilde kurulabilmesi için çeşitli aparatlar tasarlanarak imal edilmiştir. Deneylerde kuvvetler için dinamometre ve sıcaklık içinde ısı çifti kullanılmıştır. Sıcaklığın ölçülmesi için kesicinin iç soğutma kanallarından ısı çifti geçirmek suretiyle kesme kenarının altından ölçülmüştür. Deneylerden elde edilen veriler, grafik haline getirilerek yorumlanmaya çalışılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada malzeme olarak, başta otomotiv sanayisi olmak üzere, birçok alanında yaygın olarak kullanılan

GGG40 dökme demir kullanılmıştır. Piyasada bu malzeme, küresel grafitli dökme demir, olarak adlandırılmaktadır. Küresel dökme demir, diğer dökme demirlere kıyasla, mukavemet/ağırlık oranı bakımından tasarruf sağlamaktadır. Küresel grafitli dökme demirin mekanik özelliklerinin iyi olmasının yanında, talaşlı imalatı da kolaydır. Genelde dökme demirler piyasada hazır olarak bekletilmezler, ihtiyaca ve şekle göre kalıplara dökülürler. Dolayısı ile deneylerde kullanılan parçalar, GGG40 dökme demirden, belirlenen boyutlarda dökülmüştür. Elde edilen parçalar, tornaladıktan sonra ölçüsünde taşlanmıştır. Parça ölçüleri Şekil 1’de verilmiştir. GGG40 dökme demir malzemesine ait bazı mekanik ve kimyasal özellikler Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 1. GGG40 deney parçalarının boyutları

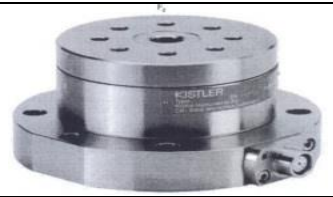
Tablo 1. GGG40 malzemesinin özellikleri (Kayır ve Usta, 2012)

Kimyasal Analizi											
C	Si	Mn	P	S	Mg	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti	Sn
3,5	2,6	0,146	0,026	0,00	0,045	0,025	0,02	0,00	0,06	0,014	0
Mekanik Testler ve Mikro Yapı Analizi											
Grafit Boyu		Küre Sayısı		Küre %		Mikro Yapı		Sertlik (BHN)			
4 -5		150		95		95F – 5P		151			

Deneylerde çapı Ø14 mm olan 2 ağızlı içten soğutmalı karbür matkaplar kullanılmıştır. Matkap çapının belirlenmesinde, kesici ucundaki sıcaklığın ısı çifti ile ölçülmesinde gerekli olan minimum içten soğutma kanal çapları dikkate alınmıştır. Matkapın standardı DIN 6537 L’dir. Deneylerde kaplamalı ve kaplamasız olarak kullanılan matkapların helis açısı 30° ve uç açısı 140°’dir. Kaplamalı matkapların kaplama tipi TiAlN olup kaplama kalınlığı 4 µm (mikron)’dur.

Deneyler, Jhonford T35 CNC torna tezgahında yapılmıştır. CNC torna tezgâhlarında deliklerin delinmesi sırasında meydana gelen kesme kuvvetler 9272 Kistler dinamometre ile ölçülmüştür. Dinamometre, 4 bileşenli (Fx, Fy, Fz ve Mz) olup hassas ölçüm yapabilecek olup ölçme aralığı Şekil 2’de verilmiştir.

Fx için	-5kN...	5 kN
Fy için	-5kN...	5 kN
Fz için	-5 kN...	20 kN
Mz için	-200 Nm	200 Nm



Şekil 2. Deneylerde kullanılan dinamometre ve ölçme aralık değerleri (Kayır ve Usta, 2012)

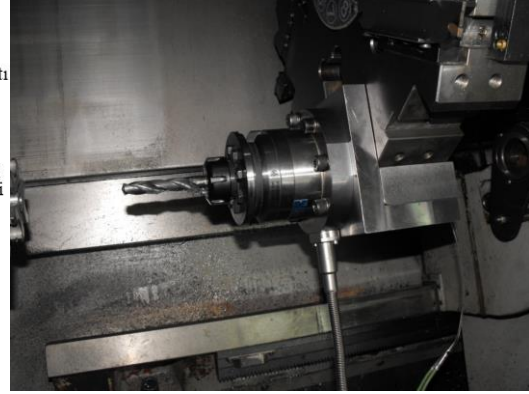
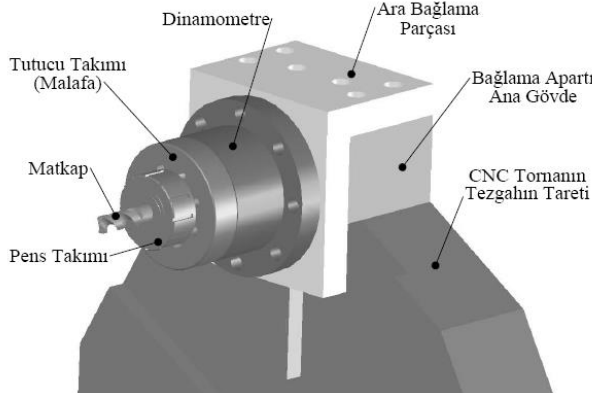
Deliklerin delinmesinde meydana gelen sıcaklığın ölçülmesinde ısı çifti kullanılmıştır. Tablo 2’de belirtilen K tipi ısı çifti kullanılmıştır. K tipi ısı çiftinin kullanılmasındaki amaç bükülebilir olmasıdır. Çünkü matkapın soğutma

kanalları helisel olduğundan ısı çiftinin bu kanallardan rahat bir şekilde ilerlemesi ön görülmüştür. ısı çiftten alınan veriler veri kaydedici (Data Logger) ile bilgisayara kaydedilmiştir.

Tablo 2. Isıl çiftinin sıcaklık limitleri ve standart kodları (Kayır ve Usta, 2012)

Isıl Çift	DIN 43710	Ölçüm Aralığı
NiCr-Ni	K	-200 ile 1200°C

Deneyler CNC torna tezgâhında yapılacağından, deney düzeneğinin tezgâha adapte edilmesi gerekmiştir. Bunun içinde dinamometrenin CNC torna tezgâhına ve matkabın da dinamometreye bağlanabildiği bir deney düzeneğinin tasarlanmasına gidilmiştir. İmalatı gerçekleştirilen deney düzeneği tezgah üzerine montajı yapılmıştır (Şekil 3).

**Şekil 3.** CAD ortamında tasarlanarak montajı yapılan deney seti

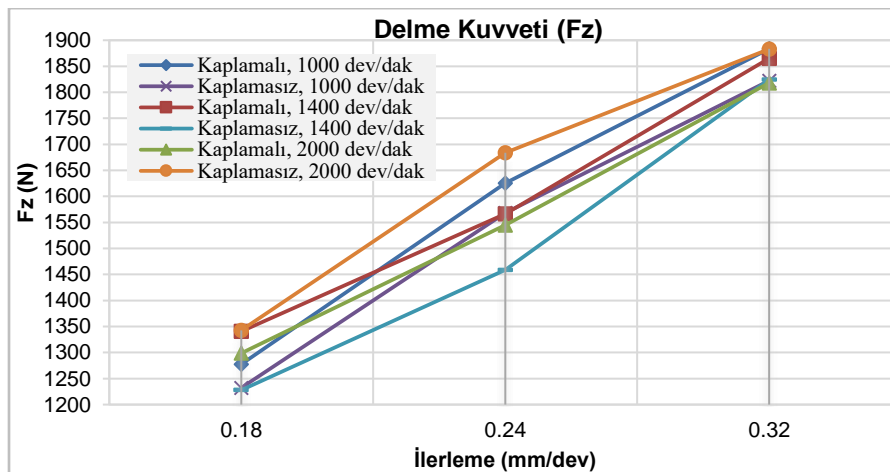
Yapılacak çalışma için kesme şartlarının belirlenmesinde kesici katalog önerileri ve literatür çalışmalarından faydalanılmıştır (Kayır ve Usta, 2012). Deneylerde kullanılan devir ve ilerleme değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri ve şartları

Devir (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)	Kesme Şartı
1000 dev/dak	0.18 mm/dev	Kuru
1400 dev/dak	0.24 mm/dev	
2000 dev/dak	0.32 mm/dev	

BULGULAR VE TARTIŞMA

Delik delme sırasında, kesme kuvvetleri ve ısı ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan kesme kuvvetleri ve sıcaklık, matkap ve delik üzerinde önemli etkilere neden olmaktadır. Deliklerin açılması sırasında elde edilen kesme kuvveti (Fz), moment (Mz) dinamometrenin kendi yazılımı olan *DynoWare* programı, sıcaklık değerleri ise *Elimko datalogger manager* programı kullanılmıştır. Deneylerin sonucunda elde edilen tüm sıcaklık, delme kuvveti ve moment değerleri için grafikler oluşturulmuştur (Şekil 4-6).

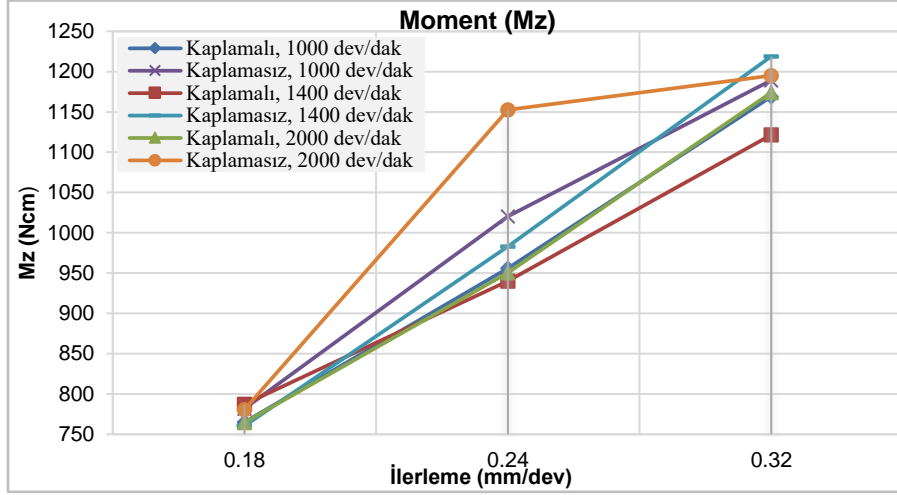
**Şekil 4.** CNC tornada GGG40 malzemesini delinmesinde oluşan delme kuvvetleri (Fz)

Şekil 4'de, GGG40 malzemesinin delinmesi sırasında elde edilen delme kuvveti grafiği verilmiştir. Grafikte, iler-

lemeye bağlı olarak Fz değerlerinde bir artış söz konusudur (Taşkesen ve Kütükde, 2013). Kesme kuvvetinde, kesici tipinin (TiAlN kaplamalı ve kaplamasız matkaplar)

çok fazla bir etkisinin olmadığı söylenebileceği gibi delme sırasında TiAlN kaplamasının az da olsa bir etkisinin olduğu söylenebilir. Özellikle de artan devir ile (2000 dev/dak) kaplamasız kesici ile elde edilen Fz değerleri, TiAlN Kaplamalı kesicilere göre daha yüksektir. Bilindiği gibi artan sıcaklık ile birlikte kesici üzerinde

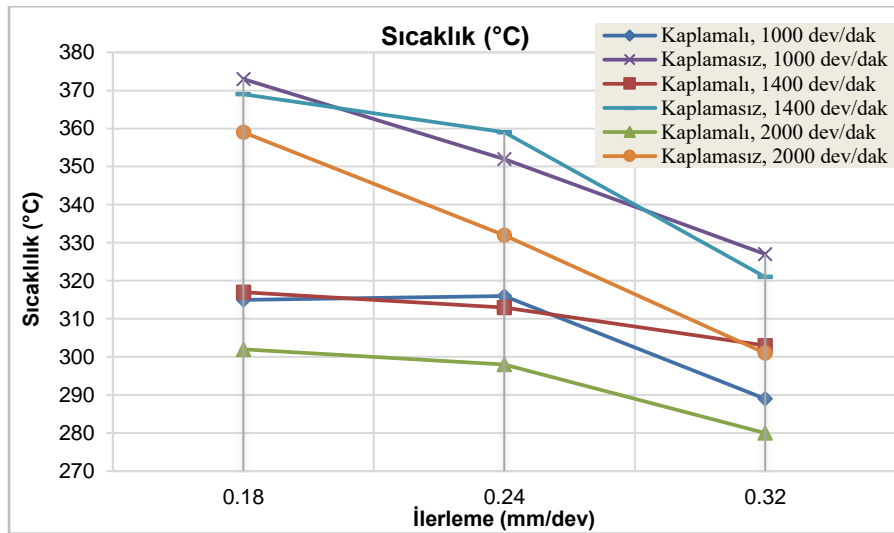
meydana gelen, talaş yapışmaları ve BUE Fz kuvvetlerini etkilemektedir (Bhowmick ve ark., 2010; Imran ve ark., 2014). Fakat genel itibari ile ortaya çıkan Fz değerleri, GGG40 malzemesinin karbür matkapları ile delinmesinde kaplamanın etkisinin az olduğunu, kaplamasız karbür matkapların da verimli bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.



Şekil 5. CNC tornada GGG40 malzemesini delinmesinde oluşan momentler (Mz)

Şekil 5'teki moment (Mz) grafiğinde, TiAlN kaplamalı ve kaplamasız matkaplar için elde edilen momentteki artışın düzenli bir şekilde olduğu söylenebilir (Le Coz ve ark., 2012). Fakat 2000 dev/dak ve 0.24 mm/dev kullanılan kaplamasız matkapta, hızlı bir artış meydana gelmiştir. Bu artışın talaşın dışarı atılmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Buna sebep olarak da artan ısı ile talaş yapışması (BUE) ileri sürülebilir (Bhowmick ve ark., 2010; Rajmohan ve Palanikumar, 2013; Imran ve ark., 2014).

Elde edilen kuvvet ve moment grafikleri (Şekil 4, 5) genel olarak incelendiğinde, artan ilerleme ile Fz ve Mz değerlerinin arttığı görülmektedir. Genelde artışın, kaplamalı ve kaplamasız matkaplarda birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür (Taşkesen ve Kütükde, 2013). En küçük değerler, en düşük ilerleme (0.18 mm/dev) ile elde edilirken en yüksek değerler ise en yüksek ilerleme (0.32 mm/dev) ile ortaya çıkmıştır.



Şekil 6. CNC tornada GGG40 malzemesini delinmesinde oluşan sıcaklıklar (°C)

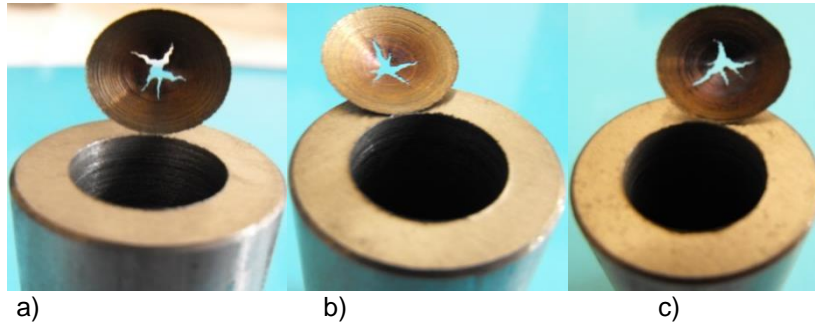
Şekil 6'da elde edilen sıcaklık değerleri genel olarak incelendiğinde ilerleme miktarı ile sıcaklığın düştüğü gözlemlenmiştir (Bağcı ve Özçelik, 2006). Dolayısı ile ilerlemenin artışıyla delik içerisindeki talaşların daha hızla dışarı atıldığını göstermektedir. Normalde tüm değerler karşılaştırıldığında en yüksek sıcaklık (373 °C), en düşük ilerleme (0.18 mm/dev) ve en düşük devir (1000 dev/dak) ile elde edilmiştir. Kaplamasız matkaplarla elde edilen sıcaklıkların, TiAlN kaplamalı takımlara oranla daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Sıcaklığın en yüksek değerlerde olduğu an matkabın delik sonuna yaklaştığında oluşmaktadır. Delme işleminin sonunda yani matkap delikten çıktıktan sonra sıcaklık hızlı bir şekilde düşmektedir.

GGG40 silindirik parçaların kaplamasız karbür matkaplarla kesintisiz delme yöntemi ile kuru kesme şartlarında delinmesinde ortaya çıkan talaşlar, delik duvarı ve kesici arasında kalarak ufalanmaktadır. Ufalanmış talaşların tahliyesi zorlaşmaktadır. Meydana gelen talaş sıkışmaları ve ortaya çıkan ısı, talaşların matkabın üzerine yapışmasına sebep olmaktadır (Şekil 7). Dolayısı ile talaş yapışmasının tetiklediği sıcaklık ve kesme kuvvetlerindeki artışlar, kesici ve delik üzerinde olumsuz etki meydana getirmekte, delik delme işlemini güçleştirmektedir.



Şekil 7. GGG40 malzemesini kaplamasız karbür matkabın üzerine talaş yapışması

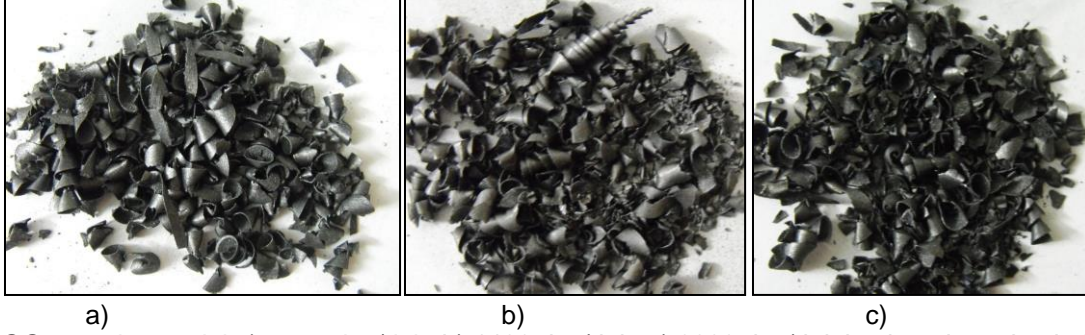
Delik delme işlemlerinde malzeme içerisinde hızla ilerleyen kesici, delik sonlandığı anda delik tabanını patlatır veya kapak gibi açar. Delik sonunda ortaya çıkan bu durum, delik ve kesici için önemli bir teşkil etmektedir. Eğer kesici yüksek ilerleme hızı ile delik deliyorsa delik sonunda basınç birikmesine bağlı olarak kesici delik tabanını patlatır (Şekil 8). Delik tabanının patlatılması durumunda meydana gelen dengesiz yükler, özellikle de karbür kesicilerin kesici kenarlarında kırılmalara sebebiyet vermektedir. Yapılan bu çalışmada bazı deneylerde, kaplamasız karbür kesicilerde küçük parça kırılmaları gözlemlenmiştir (Heinemann ve ark., 2006).



Şekil 8. GGG40 malzemesini a) 1000 dev/dak, b) 1400 dev/dak, c) 2000 dev/dak, kaplamalı matkaplarla delinmesinde elde edilen delik çıkışı

Yapılan deneylerde çıkan talaşlar incelendiğinde, talaşların ufalandığı görülmektedir (Şekil 9). Matkapların ürettiği talaşlar kısa eğilimli olduğu görülmektedir (Taşkesen ve Kütükde, 2013). Dökme demir yapısı itibari kırılğan bir malzeme olduğundan talaşların ufalanması gayet

normaldir. Fakat artan sıcaklık ve devir ile talaşların delik duvarı ve kesici arasında sıkışması, özellikle de delik sonlarında ani kuvvet ve moment artışlarına sebep olmuştur.



Şekil 9. GGG40 malzemesini a) 1000 dev/dak, b) 1400 dev/dak, c) 2000 dev/dak kaplamalı matkaplarla delinmesinde çıkan talaşlar

SONUÇLAR

Bu çalışmada CNC torna tezgahında GGG40 malzemesi, Ø14 mm TiAlN kaplamalı ve kaplamasız karbür matkaplarla 50 mm boyda kuru delme şartlarında delinmiştir. Genel olarak GGG40 malzemesi kullanılan tüm matkaplarla delinebilmiştir. Fakat bunun yanında bazı deneylerde delerken olumsuzluklar da yaşanmıştır. Bazı deneylerde, özellikle de delik sonlarında ani kuvvet ve moment artışları meydana gelmiştir.

GGG40 malzemesinin delinmesi sırasında kesme kuvveti ve moment değerleri, artan ilerleme ile artış gösterirken, sıcaklık değerleri ilerleme arttıkça azalma eğilimine girmiştir. Delik delme sırasında delik boyunca kesme kuvveti, moment ve sıcaklık değerlerinde artış meydana gelmiştir. Bunun nedeni olarak, talaş yapışması ve talaş sıkışmaları olduğu düşünülmektedir. Dolayısıyla ile GGG40 malzemesinin kuru kesme şartlarında ve duraklama yapmadan delinmesinde zorluklarla karşılaşılabileceği unutulmamalıdır. Bu yüzden soğutma sıvısının özellikle de derin deliklerin delinmesinde kullanılması gerekmektedir.

Kuru kesme şartlarında karbür kesicilerle yapılan delik delme uygulamalarında, TiAlN kaplamanın ölçülen delme kuvveti ve moment üzerinde kesin bir etkisinin olduğunu söylemek zor. Fakat yapılan bazı ölçümlerde, delik sonunda kaplamasız kesicilerde ani delme kuvveti ve moment artışları olmuştur.

Artan ilerleme ile delik sonunda kesicinin büyük bir basınçla dışarı çıkacağı unutulmamalıdır. Kullanılan karbür kesicilerin delik çıkışlarında karşılaşılabileceği dengesiz yükler, kesici kenarlarında kırılmalara sebebiyet verecektir.

İleride yapılacak olan benzer çalışmalar için de öneri olarak, Matkap uçları SEM görüntüleri alınabilir, elde edilen deney verileri için Taguchi ve ANOVA analizleri yapılabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi BAP projesi kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı, Gazi Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma birimine ve Teknik Eğitim Fakültesi Bilimsel Araştırma birimi uzmanlar grubuna teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Bağcı, E., Özçelik, B. (2006). Investigation of the effect of drilling conditions on the twist drill temperature during step-by-step and continuous dry drilling. *Materials & Design* 27: 446-454.
- Bhowmick, S., Lukitsch, M.J., Alpas, A.T. (2010). Dry and minimum quantity lubrication drilling of cast magnesium alloy (AM60). *International Journal of Machine Tools & Manufacturing* 50: 444-457.
- Brandao, L.C., Coelho, R.T., Lauro, C.H. (2011). Contribution to dynamic characteristics of the cutting temperature in the drilling process considering one dimension heat flow. *Applied Thermal Engineering* 31: 3806-3813.
- Dörr, J., Mertens, Th., Engering, G., Lahres, M. (2003). 'In-situ' temperature measurement to determine the machining potential of different tool coating. *Surface and Coatings Technology* 174-175: 389-392.
- Heinemann, R., Hinduja, S., Barrow, G., Petuelli, G. (2006). Effect of MQL on the tool life of small twist drills in deep-hole drilling. *International Journal of Machine Tools & Manufacturing* 46: 1-6.
- Imran, M., Mativenga, P.T., Gholinia, A., Withers, P.J. (2014). Comparison of tool wear mechanisms and surface integrity for dry and wet micro-drilling of nickel-base superalloys. *International Journal of Machine Tools & Manufacturing* 76: 49-60.
- Kalidas, S., DeVor, R.E., Kapoor S.G. (2001). Experimental investigation of the effect of drill coatings on hole quality under dry and wet drilling conditions. *Surface and Coatings Technology* 148: 117-128.
- Kayır, Y., Usta, M. (2012). Torna tezgahlarında matkaplarla delik delme işlemlerinde kesme kuvvetleri ve sıcaklığın ölçülmesi. 1. Uluslararası Demir Çelik Sempozyumu, Nisan 3-4, 2012, Karabük, Türkiye, Bildiri Kitabı, 1284-1295p.
- Le Coz, G., Marinescu, M., Devillez, A., Dudzinski, D., Velnom, L. (2012). Measuring temperature of rotating cutting tools:

- Application to MQL drilling and dry milling of aerospace alloys. *Applied Thermal Engineering* 36: 434-441.
- Prasanna, J., Karunamoorthy, L., Raman, M.V., Prashanth, S., Chordia, D.R. (2014). Optimization of process parameters of small hole dry drilling in Ti-6Al-4V using Taguchi and grey relational analysis. *Measurement* 48: 346-354.
- Rahim, E.A., Kamdani, K., Sharif, S. (2008). Performance evaluation of uncoated carbide tool in high speed drilling of Ti6Al4V. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing* 2(4): 522-531.
- Rahim, E.A., Sasahara, H. (2011). A study of the effect of palm oil as MQL lubricant on high speed drilling of titanium alloys. *Tribology International* 44: 309-317.
- Rajmohan, T., Palanikumar, K. (2013). Application of the central composite design in optimization of machining parameters in drilling hybrid metal matrix composites. *Measurement* 46: 1470-1481.
- Rawat, S., Attia, H. (2009). Characterization of the dry high speed drilling process of woven composites using Machinability Maps approach. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 58: 105-108.
- Rivero, A., Aramendi, G., Herranz, S., López de Lacalle, L.N. (2006). An experimental investigation of the effect of coatings and cutting parameters on the dry drilling performance of aluminium alloys. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 28: 1-11.
- Tasdelen, B., Wikblom, T., Ekered, S. (2008). Studies on minimum quantity lubrication (MQL) and air cooling at drilling. *Journal of Materials Processing Technology* 200: 339-346.
- Taşkesen, A., Kütükde, K. (2013). Experimental investigation and multi-objective analysis on drilling of boron carbide reinforced metal matrix composites using grey relational analysis. *Measurement* 47: 321-330.
- Yağmur, S., Acır, A., Şeker, U., Günay, M. (2013). Delik delme işlemlerinde kesme parametrelerinin kesme bölgesindeki sıcaklığa etkisinin deneysel incelenmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 28: 1-6.
-