

AA 7075-T6 Alaşımının Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü, Takım Sıcaklığı Ve İlerleme Kuvvetine Etkilerinin Araştırılması

Ulaş ÇAYDAŞ*, Mahmut ÇELİK

Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü 23119 Elazığ

(Geliş/Received : 26.04.2016 ; Kabul/Accepted : 31.05.2016)

ÖZ

Bu çalışmada, AA 7075 – T6 alüminyum alaşımı kuru delme koşullarında K 20 kalitesindeki karbür takımlarla sürekli delme deneylerine tabi tutulmuştur. Deneylerde kesme hızı (V) sabit tutulurken, ilerleme miktarı (f) ve matkap uç açısı (θ) parametreleri, belirli sınırlar içerisinde değiştirilmiş ve bu faktörlerin yüzey pürüzlülüğü, ilerleme kuvveti ve takım uç sıcaklığı üzerindeki etkileri deneysel olarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak, AA 7075 – T6 alaşımının delinmesinde en uygun şartlar araştırılarak sonuçları değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: AA 7075 – T6, Takım Sıcaklığı, Yüzey Pürüzlülüğü, Delme, İlerleme Kuvveti.

Investigation of the Effects of Cutting Parameters on The Surface Roughness, Tool Temperature and Thrust Force in Drilling of AA 7075-T6 Alloy

ABSTRACT

In this study, the AA 7075 – T6 aluminum alloy was subjected to continuous drilling process with K 20 grade carbide tools under dry machining conditions. In the experiments, the cutting speed (V) was fixed, while tool feed rate (f) and tool point angle (θ) were changed in certain intervals to experimentally explore their effects on the surface roughness, thrust force and tool bit temperature. Consequently, optimum parameter conditions were determined and evaluated for the best drilling of AA 7075 – T6 alloy.

Keywords: AA 7075 – T6, Tool Temperature, Surface Roughness, Drilling, Thrust Force.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Hafif metaller grubu içerisinde yer alan AA 7075 –T6 alüminyum alaşımı, sahip olduğu düşük yoğunluk, yüksek sertlik, mukavemet ve termal özellikler nedeniyle, özellikle havacılık, otomotiv ve savunma sanayisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu alaşımın işlenebilirliği, aynı grup içerisinde yer alan titanyum ve magnezyum alaşımlarına nazaran daha kolaydır [1 – 3]. Delme yöntemi, bu malzemenin işlenmesinde, tornalama, frezeleme ve taşlama gibi diğer talaşlı imalat yöntemlerine nazaran daha çok kullanılmaktadır. Ancak delme esnasında, matkap takımı malzeme içerisine doğru ilerleme hareketi yaptığından ve talaş kaldırma işlemi kapalı bir alanda gerçekleştiğinden dolayı oluşan ısı, delik içerisindeki kesme alanında yoğunlaşmaktadır. Talaş kaldırma için gerekli olan mekanik enerjinin önemli bir bölümü ısı enerjisine dönüşmekte ve ara bölgede sıcaklık artışı yaşanmaktadır. Sıcaklıktaki bu artışlar, kesici takım ve iş parçasının her ikisinde de termal hasarlara yol

açarak takım aşınmasını hızlandırmakta ve delikte boyutsal tolerans hatalarına neden olmaktadır [4]. Dolayısıyla delme işlemindeki sıcaklık değerlerinin ölçülmesi büyük önem arz etmektedir. Sıcaklığın ölçülmesiyle ilgili çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Beno ve Hulling [5] takım çeliği, Inconel 718 nikel alaşımı ve Ti-6Al-4V olmak üzere üç farklı malzemenin delinmesinde takımın kesme kenarındaki ve serbest yüzeydeki sıcaklıkları fiber optik kızılötesi pirometre yardımıyla ölçmüşlerdir. Dörr vd. [6] çelik malzemelerin delinmesinde farklı kaplama malzemelerinin sıcaklık üzerindeki etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Sıcaklık ölçümleri, yüksek çözünürlüklü bir termal kamera yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Agapiou vd. [7] takım sıcaklığını, içten soğutmalı matkap takımların iç delikleri (iki adet) içerinden geçirilen ve kesme kenarına konumlandırılan bir ısı çifti yardımıyla ölçmüşlerdir. Takım sıcaklığının, matkap uç açısının ve işleme zamanının artmasına bağlı olarak arttığı, helis açısının artmasıyla ise azaldığı tespit edilmiştir. Bağcı ve Özçelik [8] AISI 1040 çeliği ve AA 7075-T651 alüminyum alaşımının TiN/TiAlN kaplamalı karbür takımlarla sürekli ve gagalayarak delinmesinde; delme derinliği,

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: ucaydas@gmail.com

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2017.20.2 419-425

devir sayısı ve ilerleme oranının matkap uç sıcaklığı üzerindeki etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Sıcaklık ölçümleri, matkapların içinden geçen soğutma deliklerine yerleştirilen K tipi krom nikelli ısı çiftler yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Li ve Shih [9] kesme kenarından çapa doğru dört farklı noktadan takım soğutma deliklerine yerleştirilen ısı çiftler yardımıyla takım sıcaklığını ölçmüşlerdir. Takım sıcaklığını tahmin eden bir sonlu elemanlar modeli geliştirilmiş ve deneysel

2. DENEYSEL YÖNTEM (EXPERIMENTAL PROCEDURE)

Deneylerde ticari olarak temin edilmiş AA 7075 –T6 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Bu alaşım; yüksek mukavemet gerektiren yerlerde, termoform kalıplarında, vida, cıvata, somun yapımında ve çeşitli makine sanayisinde kullanılmaktadır. Bu alaşıma ait kimyasal bileşim ve mekanik özellikler Çizelge 1 ve Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 1. AA 7075 – T6 alaşımının kimyasal bileşimi. (Chemical composition of AA 7075-T6 alloy)

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Zi+Ti	Diğer	Al
0.5	0.5	1.6	0.3	2.5	5.7	0.25	0.25	0.16	Kalan

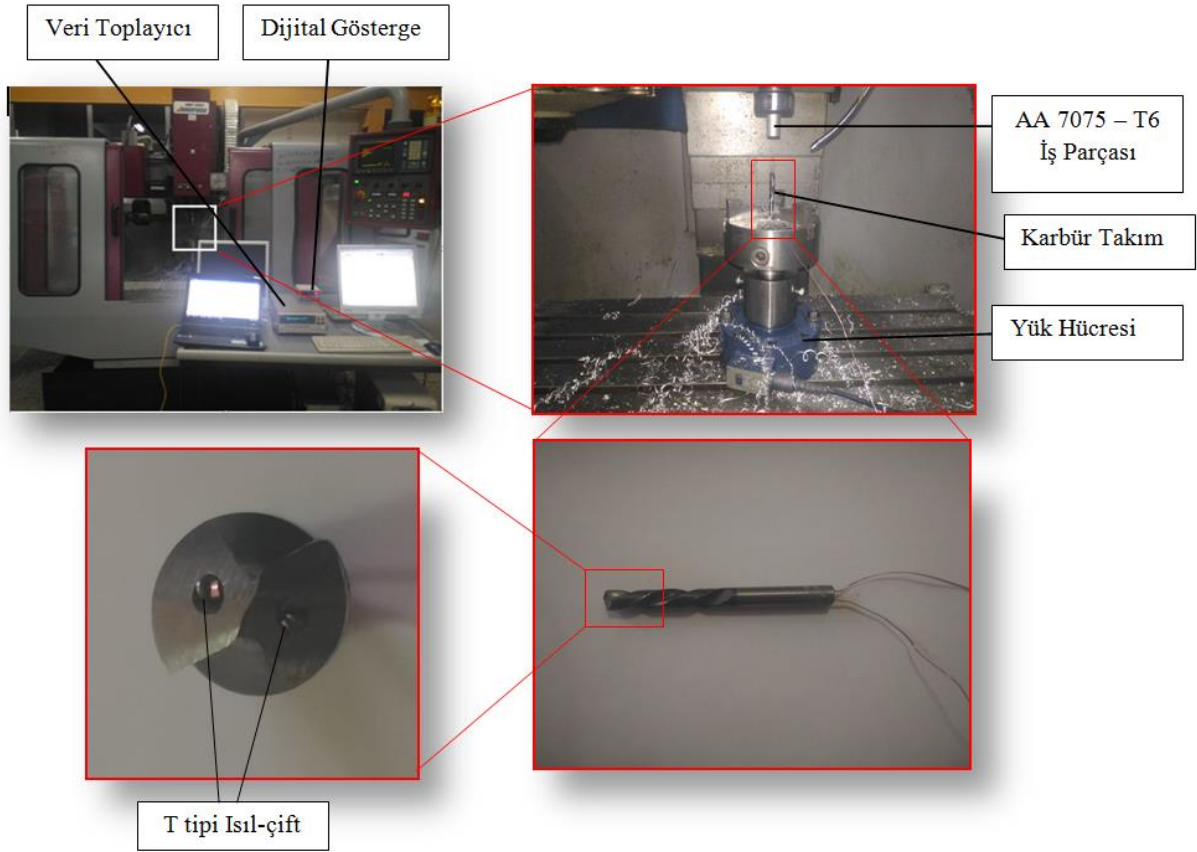
sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Kesme hızının artmasıyla takım kenarındaki sıcaklıkların merkeze yakın bölgelere nazaran daha yüksek değerlere çıktığı belirlenmiştir. Çakıroğlu ve Acır [10] AA 7075 alüminyum alaşımının kaplamalı karbür takımlarla delinmesinde kesme hızı, ilerleme oranı ve takım malzemesinin takım uç sıcaklığı üzerindeki etkilerini Taguchi yöntemi ile incelemişlerdir. Çalışmada sıcaklığın tahmin edilmesi için regresyon analizi kullanılmış ve geliştirilen model sonuçları ile deney sonuçlarının tutarlı oldukları belirtilmiştir. Sıcaklık üzerinde en etkili faktörün %56.15 oranıyla ilerleme miktarı olduğu, bunu sırasıyla kesme hızı ve takım malzemesi faktörlerinin takip ettiği elde edilmiştir. M.Tolga Özkan [11] AA 7075 – T6 alüminyum alaşımının delinmesinde, kesme hızı, ilerleme miktarı ve devir sayısı faktörlerinin iş parçasında oluşan ısı üzerindeki etkilerini deneysel olarak araştırmıştır. Çalışmada, oluşan ısı miktarını tahmin etmek için bir yapay sinir ağı modeli geliştirilmiştir. Faktörlerin istatistiksel etkileri varyans analizi yöntemi (ANOVA) yardımıyla incelenmiştir. Sonuç olarak deney sonuçları ile model tahmin sonuçlarının tutarlı oldukları (%0.015 kadar küçük bir hata oranıyla) tespit edilmiştir.

Konuyla ilgili yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde, delme yönteminde oluşan takım sıcaklığının farklı yöntemlerde ölçüldüğü görülmektedir. Bu yöntemler içerisinde ısı çiftler yardımıyla sıcaklığın ölçülmesi, literatürde önemli bir yer tutmaktadır. Diğer yandan AA 7075 –T6 alaşımının delinmesinde sıcaklık ölçümü ile ilgili çalışmalar yer almaktadır. Ancak, bu alaşımın farklı uç açılara sahip takımlarla delinmesinde sıcaklıkla birlikte ilerleme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğündeki değişiminin yeterince araştırılmadığı görülmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada, mevcut literatürden farklı olarak, AA 7075 –T6 alaşımının delinmesinde kesme parametreleri ve takım geometrisinin yüzey pürüzlülüğü, ilerleme kuvveti ve takım sıcaklığı üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır.

Çizelge 2. AA 7075 – T6 alaşımının mekanik özellikleri. (Mechanical Properties of AA 7075-T6 alloy)

Mekanik Özellik	
Maksimum çekme dayanımı (MPa)	600
Akma Mukavemeti (MPa)	550
Uzama (%)	11
Sertlik (HB)	150

Deneylerde 20 mm çapında ve 50 mm uzunluğunda numuneler kullanılmıştır. Deneyler, dik işlem merkezli Johnford CNC freze tezgahında gerçekleştirilmiştir. Delme takımları olarak, içten soğutmalı K 20 kalitesinde ve farklı uç açılara sahip 8 mm çapında matkaplar kullanılmıştır. Takım uç sıcaklıkları, matkapın iç soğutma deliklerinden geçirilen, kesme kenarına yakın bir noktaya konumlandırılan ve ölçüm aralığı -100 – 390 °C olan T tipi ısı çiftler yardımıyla ölçülmüştür. İlerleme kuvvetleri, 20 ton kapasiteli ve tek eksende ölçüm yapabilen CAS LS – 20T bir yük hücresi yardımıyla ölçülmüştür. Sıcaklık ve kuvvet değerleri zamana bağlı olarak bir bilgi toplayıcıya kaydedilmiştir. Deney düzeneği ve detaylar Şekil 1’de verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünü ölçmek amacıyla numuneler kesilmiştir (Şekil 2). Yüzey pürüzlülük değerleri, Mitutoyo SurfTest SJ-201 taşınabilir bir ölçüm cihazı yardımıyla 0.8mm örnekleme uzunluğu aralığında ölçülmüştür. Her delikten 3 farklı ölçüm alınmış ve bu ölçümlerin aritmetik ortalamaları ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) olarak kabul edilmiştir. Deneylerde, ilerleme kuvvetini ve takım aşınmasını azaltmak amacıyla numunelere 5 mm çapında ön delikler delinmiştir. Matkap uç açısı ve ilerleme miktarı faktörlerine bağlı olarak sürekli delme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan faktörler ve seviyeleri Çizelge 3’te verilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneği. (Experimental setup)



Şekil 2. Deney numunesi ve yüzey pürüzlülüğü ölçümü. (Specimen and surface roughness measurement)

Çizelge 3. Delme parametreleri ve seviyeleri. (Drilling parameters and levels)

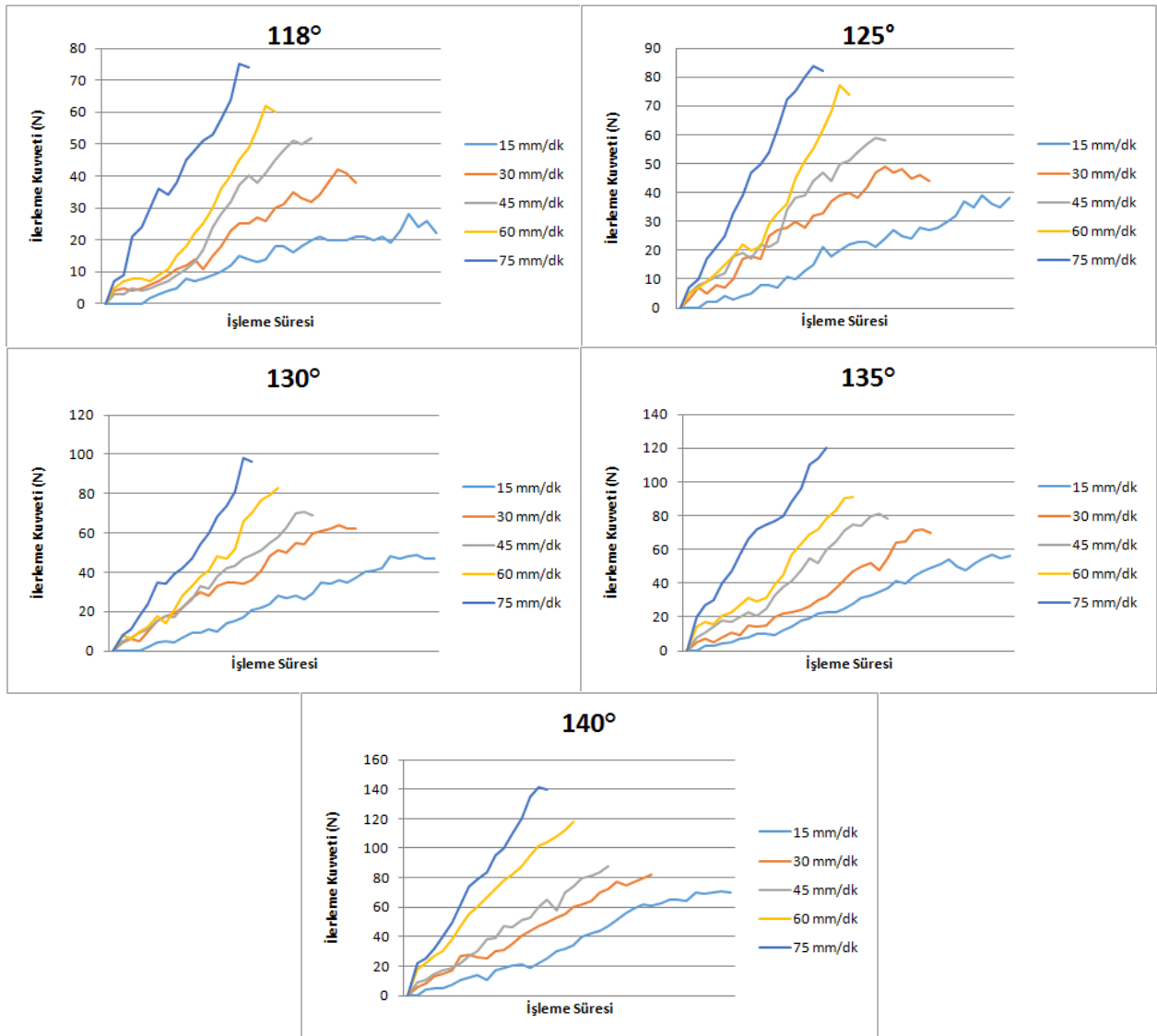
Parametre	Seviye1	Seviye 2	Seviye3	Seviye 4	Seviye 5
İlerleme miktarı (mm/dak)	5	10	15	20	25
Kesici takım uç açısı (°)	118	125	130	135	140
İşleme koşulu	Kuru işleme				
Devir sayısı (dev/dak)	1500 (sabit)				

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. Eksenel ilerleme kuvveti ölçüm sonuçları (Thrust Force Measurement Results)

Şekil 3'de AA 7075 – T6 alüminyum alaşımının delinmesinde kesme parametrelerinin eksenel ilerleme

kuvveti üzerindeki etkileri verilmiştir. Şekil incelendiğinde, tüm takımlarda ilerleme hızının artmasıyla birlikte ilerleme kuvvetinin de arttığı görülmektedir. Bu durum, artan ilerleme hızının talaş kesitini de arttırması sonucunda talaş kaldırma işlemi için daha büyük kuvvetlere ihtiyaç duyulması olarak değerlendirilebilir [10].

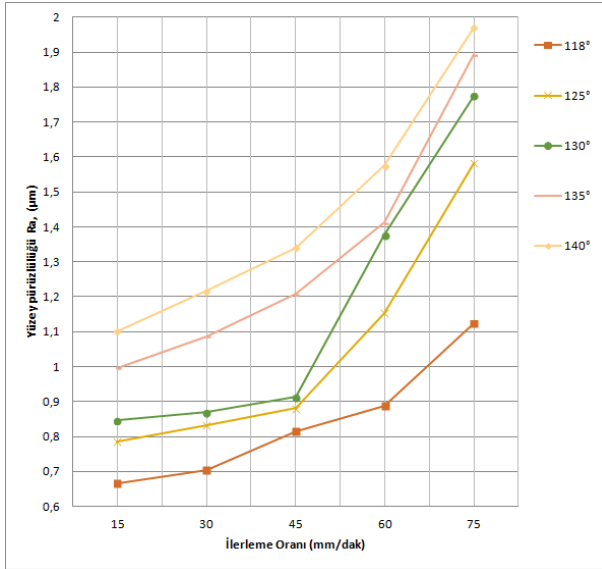


Şekil 3. Matkap uç açısının ve ilerleme hızının eksenel ilerleme kuvvetine etkisi. (Effect of drill bit angle and feed rate on thrust force.)

Uç açısının 118° olduğu durumda en yüksek ilerleme kuvveti, ilerleme hızının 75 mm/dak değerinde 75N, en düşük ilerleme kuvveti ise ilerleme hızının 15 mm/dak değerinde 28N olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla ilerleme hızındaki bu artış, eksenel ilerleme kuvvetinde %167 oranında bir artışa neden olmaktadır. İlerleme hızına bağlı olarak eksenel ilerleme kuvvetindeki bu artış oranı, matkap uç açısının artmasıyla daha da artmaktadır. Matkap uç açısının 140° 'ye çıkmasıyla, 118° uç açısına sahip matkaba nazaran ilerleme kuvveti yaklaşık %200 oranında artarak 70N değerinden 141N değerine yükselmektedir. Bu durum, matkap takımının kesme kenarı uzunluğu ile ilişkilendirilebilir. Benzer sonuçlar, literatürde de ifade edilmektedir [12-15].

3.2. YüzeY Pürüzlülüğü Ölçüm Sonuçları (Surface Roughness Measurement Results)

Şekil 4'te ilerleme hızı ve matkap uç açısının yüzeY pürüzlülüğü üzerindeki etkileri verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, ilerleme hızının artmasıyla numunelerin yüzeY pürüzlülük değerleri de artmaktadır. Tüm matkaplar için, yüzeY pürüzlülüğündeki bu artış eğilimi, ilerleme hızının 45 mm/dak değerinin üzerine çıkmasıyla daha da yükselmektedir. Bilindiği gibi delme işleminde, talaş genişliği ve derinliğinin sabit olduğu durumda, takım – talaş arasındaki temas alanının büyüklüğü, ilerleme hızıyla orantılı bir şekilde değişmektedir. Dolayısıyla ilerleme hızının artmasıyla, birim zamanda alınan yol artmakta ve yüzeYde daha geniş adımlı oluşan helisel izler daha kaba yüzeYlerin oluşmasına neden olmaktadır [16].

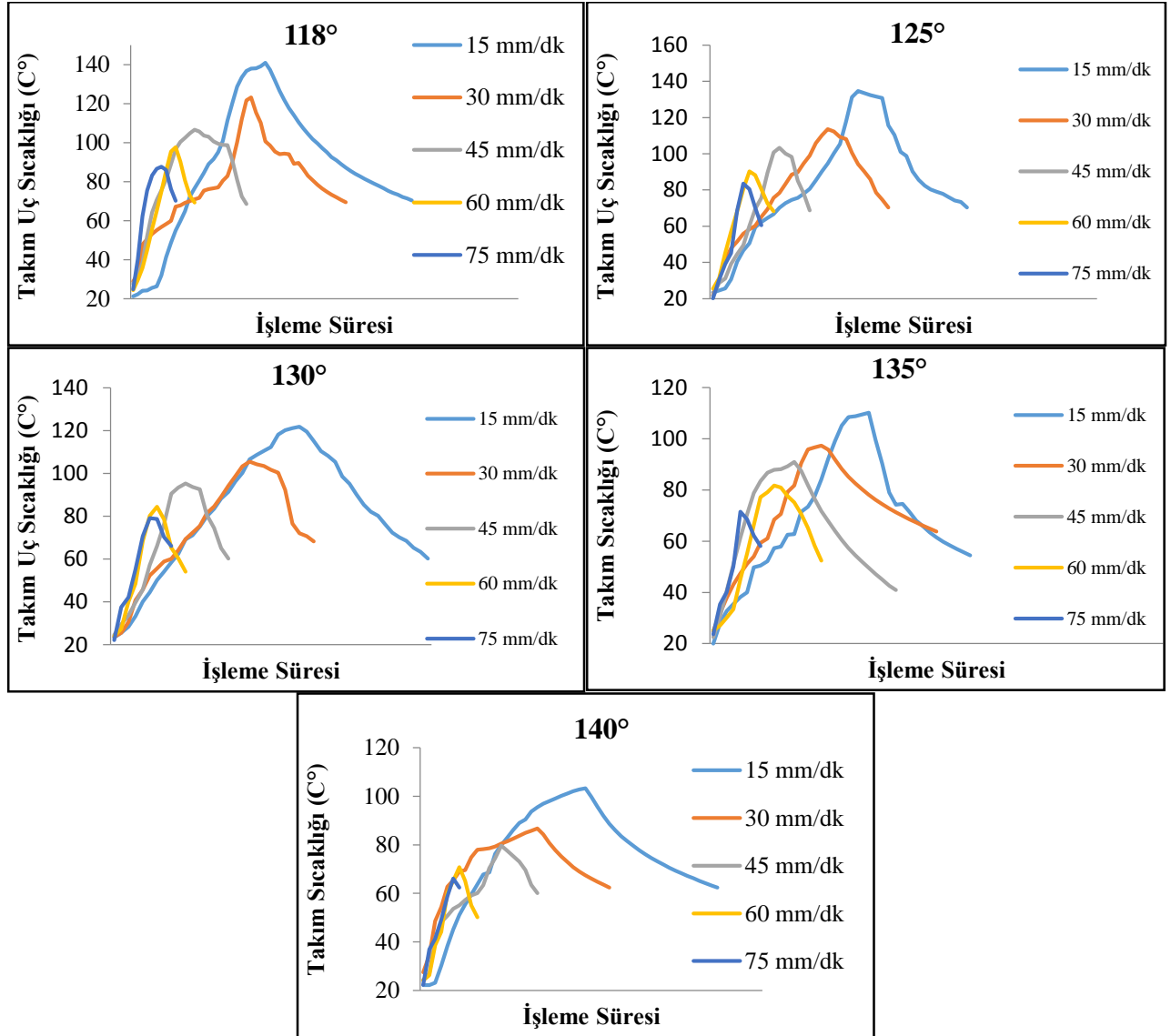


Şekil 4. Matkap uç açısının ve ilerleme hızının yüzeY pürüzlülüğüne etkisi. (Effect of drill bit angle and feed rate on surface roughness.)

Grafikten ayrıca, matkap uç açısının artmasıyla yüzeY pürüzlülüğünün kötüleştiği görülmektedir. En düşük yüzeY pürüzlülüğü, 118° uç açılı matkapla 15mm/dak ilerleme hızında 0.667 μm olarak ölçülmüştür. Aynı matkapla yapılan deneylerde ilerleme miktarının 75 mm/dak değerine çıkarılmasıyla, yüzeY pürüzlülüğü %68.5 artarak 1.124 μm olmaktadır. Matkap uç açısının 140° olduğu durumlarda yüzeY pürüzlülüğü %78.76 oranında artarak 1.102 μm değerinden 1.970 μm değerine yükselmektedir. Dolayısıyla ilerleme hızı ile birlikte matkap uç açısının da yüzeY pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkisinin olduğu söylenebilir. Bu durum, uç açısının ve dolayısıyla temas alanının artması ve buna bağlı olarak sürtünmelerin ve matkapta oluşan aşınma miktarlarının artmasıyla ilişkilendirilebilir.

3.3. Takım Sıcaklığı Ölçüm Sonuçları (Tool Temperature Measurement Results)

Şekil 5'de zamana bağlı olarak matkap uçlarından alınan sıcaklık ölçüm sonuçları verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, tüm matkaplarda sabit devir sayısı değerinde ($n=1500$ dev/dak) ilerleme hızının artmasıyla takım uç sıcaklık değerleri azalmaktadır. 118° uç açılı matkapla yapılan deneylerde ilerleme hızının %100 arttırılmasıyla takım ucundan ölçülen en yüksek sıcaklık değeri %61.62 oranla 139°C 'den 86°C 'ye düşmektedir. İlerleme hızının artmasıyla sıcaklık değerlerindeki bu azalma oranları, uç açılara bağlı olarak sırasıyla 125° için %61.44, 130° için %53.16, 135° için %54.92 ve 140° için % 56.06 olmaktadır. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde, tüm matkaplar için ilerleme hızının artmasıyla sıcaklık değerlerinde önemli azalmaların gerçekleştiği görülmektedir. İlerleme hızının artmasıyla birim zamanda daha fazla talaş kaldırılmaktadır. Dolayısıyla, takım talaş ara yüzeYindeki sürtünmelerden kaynaklanan ısı enerjisinin ve bunun bir sonucu olan sıcaklıkların ara bölgeden talaşla birlikte daha etkin bir şekilde tahliye edildiği söylenebilir. Benzer sonuçlar Çakıroğlu ve Acır [17] tarafından da ifade edilmiştir. Çakıroğlu ve Acır, AA 7075 – T6 alaşımının delinmesinde takım sıcaklığının işleme koşullarına bağlı olarak 112°C – 247°C aralığında değiştiğini tespit etmişlerdir. Bu çalışmada ise aynı malzeme için takım uç sıcaklık değerleri 66°C – 140°C aralığında ölçülmüştür. Deneysel sonuçlar literatürle karşılaştırıldığında, numunelerdeki ön deliklerin sıcaklık değerlerinde önemli azalmalara yol açtığı görülmektedir. Şekil 5'te ayrıca matkap uç açısının artmasıyla sıcaklık değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Bu durum, uç açısının artmasıyla kesme kenarı uzunluğunun ve dolayısıyla takım – talaş temas uzunluğunun azalmasıyla ilişkilendirilebilir. Matkap uç açısının yüksek olduğu durumlarda, sürtünme temas uzunluğunun azalmasına bağlı olarak daha düşük sıcaklık değerleri meydana gelmektedir.

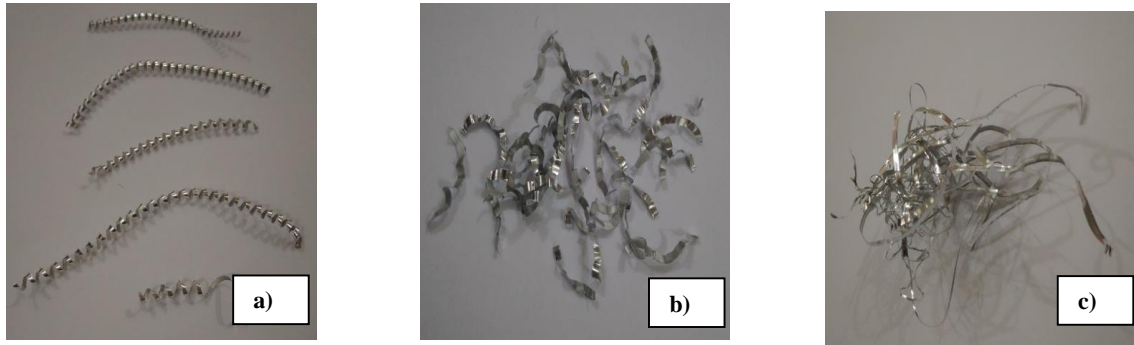


Şekil 5. Matkap uç açısının ve ilerleme hızının takım sıcaklığına etkisi. (Effect of drill bit angle and feed rate on tool temperature.)

4. TALAŞ YAPISI (CHIP MORPHOLOGY)

Alüminyum alaşımlarının talaş yapıları diğer metallere nazaran oldukça farklıdır. Bu çalışmada, işleme koşullarına bağlı olarak 3 farklı talaş tipi elde edilmiştir. Bunlar sürekli helisel talaş, dolaşık bant talaş ve kısa

kesikli talaş olarak gruplandırılabilir. İlerleme hızının ve takım uç açısının düşük olduğu deneylerde, sürekli, sünek ve uzun talaşlar elde edilirken (Şekil 6a), ilerleme hızının ve matkap uç açısının artmasıyla malzemedeki nispi sertlik artışına bağlı olarak kısa ve kesikli talaşlar oluşmaktadır (Şekil 6b). İlerleme hızının ve matkap uç



Şekil 6. Talaş tipleri (a: sürekli uzun talaş, b:kısa kesikli talaş, c:dolaşık bant talaş) . (Chip types (a: continous chip, b:short chip, c:involute chip)

açısının ve dolayısıyla ilerleme kuvvetlerinin yüksek olduğu deneylerde, düzensiz dolaşık bant talaşlar meydana gelmiştir (Şekil 6c). Talaş renklerinde sıcaklıktan kaynaklanan herhangi bir değişim gözlemlenmemiştir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, AA 7075 – T6 alüminyum alaşımı, farklı uç açılara sahip K20 kalitesindeki karbür matkaplarla farklı ilerleme hızı değerlerinde delinmiştir. İşleme parametrelerinin takım sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve ilerleme kuvveti üzerindeki etkileri deneysel olarak tespit edilmiştir. Çalışma sonrasında elde edilen veriler aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- İlerleme hızının ve matkap uç açısının artmasıyla, tüm deneylerde aksel ilerleme kuvveti de artmıştır.
- Numunelerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri, ilerleme miktarı ve matkap uç açısıyla artmıştır.
- Takım uç sıcaklıkları artan ilerleme hızı ve matkap uç açısı değerlerine bağlı olarak azalmıştır.
- Ön delik açılmış numunelerden ölçülen sıcaklık değerleri, mevcut literatürde yer alan aynı malzeme için ön deliksiz koşullara nazaran önemli derecede azalmaktadır.
- Sürekli helisel talaş, dolaşık bant talaş ve kısa kesikli talaş olmak üzere 3 farklı tip talaş elde edilmiştir. İlerleme miktarının artmasıyla talaş tipi, uzun sürekli yapıdan dolaşık bant yapıya dönüşmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Rotella, G., O. W. Dillon, D. Umbrello, L. Settineri, and I. S. Jawahir. "Finite element modeling of microstructural changes in turning of AA7075-T651 alloy." *Journal of Manufacturing Processes*, 15(1): 87-95, (2013).
- [2] Paturi, Uma Maheshwera Reddy, Suresh Kumar Reddy Narala, and Rajdeep Singh Pundir. "Constitutive flow stress formulation, model validation and FE cutting simulation for AA7075-T6 aluminum alloy." *Materials Science and Engineering: A*, 605: 176-185, (2014).
- [3] Songmene, V., A. Djebara, I. Zaghbani, J. Kouam, and R. Khettabi, "Machining and machinability of aluminum alloys", *INTECH Open Access Publisher*, (2011).
- [4] Sato, Masahiko, Tomoyuki Aoki, Hisataka Tanaka, and Satoshi Takeda. "Variation of temperature at the bottom surface of a hole during drilling and its effect on tool wear." *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 68: 40-47, (2013).
- [5] Beno, Tomas, and U. Hulling, "Measurement of cutting edge temperature in drilling." *Procedia CIRP*, 3: 531-536, (2012).
- [6] Dörr, J., Th Mertens, G. Engering, and M. Lahres, "'In-situ' temperature measurement to determine the machining potential of different tool coatings." *Surface and Coatings Technology*, 174: 389-392, (2003).
- [7] Agapiou, J. S., and D. A. Stephenson, "Analytical and experimental studies of drill temperatures." *Journal of Engineering for Industry*, 116(1): 54-60, (1994).
- [8] Bağcı, E., Ozcelik, B., "Investigation of the effect of drilling conditions on the twist drill temperature during step-by-step and continuous dry drilling." *Materials & design*, 27(6): 446-454, (2006).
- [9] R. Li, A.J. Shih, "Tool temperature in titanium drilling", *ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 129 (4):740-749, (2007).
- [10] Uzun, İ., "3D finite element modelling of drilling process of Al7075-T6 alloy and experimental validation", *Journal of Mechanical Science and Technology*, 30(4): 1843-1850, (2016).
- [11] Özkan, M.T., "Experimental and artificial neural network study of heat formation values of drilling and boring operations on Al 7075-T6 workpiece", *Indian Journal of Engineering&Materials Sciences*, 20: 259-268, (2013).
- [12] A. Paul, S. G. Kapoor and R. E. Devor, "A chisel edge model for arbitrary drill point geometry", *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 127(1): 23-32, (2005).
- [13] M. S. Won and C. K. H. Dharan, "Chisel edge and pilot hole effects in drilling composite laminates", *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 124 (2): 242-247, (2002).
- [14] D. A. Stephenson and J. S. Agapiou, Metal cutting theory and practice, *CRC press*, London (2005).
- [15] C. C. Tsao and H. Hocheng, "The effect of chisel length and associated pilot hole on delamination when drilling composite materials", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43 (11): 1087-1092, (2003).
- [16] Çelik, Y.H., "Investigating the Effects of Cutting Parameters on the Hole Quality in Drilling The Ti-6Al-4V Alloy", *Materiali in Tehnologije*, 48(5): 653-659, (2014).
- [17] Çakıroğlu, R. and Acır, A., "Optimization of cutting parameters on drill bit temperature in drilling by Taguchi method", *Measurement*, 46(9): 3525-3531, (2013).