

A7075-T651 Alaşımının Sürtünmeli Delinmesinde Takım Geometrisinin Etkisinin Araştırılması

Zülküf DEMİR

*Batman Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü, 72100 Batman Türkiye,
zulkuf.demir@batman.edu.tr, zulkuff75@gmail.com*

Özet

Sürtünmeli delme, kendi ekseninde dönen konik bir takım ile iş parçası arasında sürtünme sonucu oluşan ısının etkisiyle malzemenin yumuşaması ve takımın dalması şeklinde uygulanan, geleneksel olmayan delik delme yöntemidir. Bu deneysel çalışmada, 4 ve 6 mm kalınlığındaki A7075-T651 alüminyum alaşımı, koniklik açıları 24°, 36°, ve 48°, silindirik bölge uzunlukları (h_1) 8, 16 ve 24 mm, çapı 8 mm olan HSS takımlar ile 1200, 1800, 2400, 3000 ve 3600 d/d devirlerinde, 20, 40, 60, 80 ve 100 mm/dak ilerleme değerlerinde sürtünmeli delinmişlerdir. Çalışmada takımın geometrisini oluşturan uç, konik, silindirik ve omuz bölgelerinin işlem üzerindeki etkileri araştırılmıştır ve meydana gelen sıcaklık değerleri ve kovan biçimi araştırılmıştır. İşleminde başlangıç deformasyonuna takım ucunun sebep olduğu, sürtünme ısısının konik bölgenin devire ve ilerlemeye bağlı olarak artırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca kovandaki çatlakların konik ve silindirik bölgenin geometrisi tarafından etkilendiği, omuz çapının yetersiz olması veya takımın silindirik bölgesine ergimiş malzemenin yapışarak yığılması, pul biçiminin bozulmasına neden olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sürtünmeli delme, Takım geometrisi, Sürtünme ısısı.

Investigation the Effect of Tool Geometry in Friction Drilling of A7075-T651 Alloy

Abstract

Friction drilling is non-traditional hole drilling method, which uses the frictional heat due to the friction between a rotating conical tool and the workpiece to soften and penetrate the work-material, obtained a hole in a thin wall thickness material and at the result a bushing form. In this experimental study, 4 and 6 mm in thickness of A7075-T651 alloy were frictional drilled by using HSS tools with 8 mm diameter, which have 24°, 36° and 48°, conical angles. Tool cylindrical regions lengths (h_1) are 8, 16 and 24 mm. 1200, 1800, 2400, 3000 and 3600 rpm spindle speeds, 20, 40, 60, 80 and 100 mm/min feed rates were selected. In experimental study the effect of the geometry of the tool, which is obtains the tip, conical, cylindrical and shoulder regions, frictional temperature and bushing shape was investigated. Consequently it was determined that the cause of the initial deformation in friction drilling operation was the tip of the tool, the conical region of the tool provided the frictional heat depending of spindle speed and feed rates. The cracks on the bushing were affected by the geometries of cylindrical and conical regions of the tool, the form of the washer was damaged with the insufficient diameter of shoulder or adhesion softens material to the cylindrical region of the tool.

Keywords: Friction drilling, Tool geometry, Frictional heat.

1. GİRİŞ

İnce cidarlı metal ve alaşımları, imalat sanayinin birçok alanında kullanılmaktadır. Bu malzemelerin kullanıldığı alanlarda sökülebilir bir şekilde bağlama ve montaj yapma gerekliliği kaçınılmazdır. Bu montaj ve bağlama konstrüksiyonun mukavemetli olması, maruz kalacağı yükleri taşıması ve çalışma ömrünün uzun olması istenir. Sürtünmeli delme işlemi, ince cidarlı malzemelerde, iş parçasının alt yüzeyinde meydana gelen kovan oluşumu yardımıyla bu ihtiyacı karşılamaktadır. Sürtünmeli delme, kendi eksenini etrafında dönen konik bir takım ile iş parçasının temas bölgesinde sürtünme sonucu oluşan ısının etkisiyle iş parçasının yumuşaması ve takımın dalması şeklinde uygulanan, talaşsız, temiz, termal, geleneksel olmayan bir delik delme yöntemidir [1]. Delme işlemi sürtünme ısısının etkisiyle gerçekleştiğinden ısı oluşumunu etkiler. Sürtünme katsayısı, takım-iş parçası temas alanı, ilerleme ve dönme devirleri takımın koniklik açısı ve diğer boyutları gibi parametreler sürtünmeli delme işleminde işlemin sonucunu etkileyen en önemli değişkenlerdir [2-4].

Dönme devrinin artması ve ilerlemenin azalması ile takım-iş parçası temas bölgesinde oluşan sürtünme ısısı artar ve kovanın biçimi, silindiriklik, çatlaksızlık iyileşir. Takım koniklik açısının artması ile takım çapı artar ve kovanın biçimi olumsuz etkilenir. İlerlemenin artması ile takımın deformasyona etkisi artar [5,6]. Dönme devri ve ilerlemenin sabit olması durumunda temas alanının sürtünme ısısına önemli bir etkisi olmaz. Sürtünme açısı, ilerleme, takım-iş parçası temas alanının artması ve dönme hızının azalması ile itme ve dönme devrinin (tork) kuvvetleri artar [7,8]. Sürtünmeli delme işleminde sürtünme ısısının yetersiz olması durumunda deformasyonun etkisi artar, oluşan kovandaki çatlak sayısı artar, kovan taç yaprağı biçiminde, istenmeyen ve amaca uygun olmayan bir şekilde oluşur [6,9]. Takım-iş parçası temas alanının yüzey pürüzlülüğü ve yüzey kalitesi üzerindeki etkisi oldukça azdır. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametreler sürtünme açısı, takımın ilerlemesi ve dönme devridir. Çok yüksek veya çok düşük ilerlemede erimiş malzeme, kararsız bir şekilde aktığından, deliğin yüzeyine yapışır, yüzey pürüzlülüğü artar ve deliğin yüzey kalitesi azalır [10]. Yüksek dönme devirlerinde yüksek sürtünme ısısı meydana geldiğinden, kaplanmış takımlar ile kaplanmamış takımların sürtünmeli delme işlemlerindeki aşınma miktarları arasında bir fark olmaz. Diğer bir ifade ile yüksek dönme hızlarında, meydana gelen yüksek sürtünme ısısı takımın kaplama tabakasının olumlu etkisini ortadan kaldırır [11].

Sürtünmeli delme takımı beş ayrı bölgeden oluşur. Bunlar: uç, konik, silindirik, omuz ve sap bölgeleridir. Her bir bölgenin sürtünmeli delme işlemine olan etkisi farklıdır. Takımın uç bölgesi, uç açısı α ve yüksekliği h_c olan bölgedir. Sürtünmeli delme alanında bu güne kadar yapılmış deneysel çalışmalarda genellikle α açısı 90° seçilmiştir. Böylece takımın ucu keskin olmadığından iş parçasına kolayca dalmaz ve delme işleminin başlangıcında daha fazla kuvvet ve sürtünme ısısı meydana gelir. Sürtünmeli delme takımının ucu, matkap ucunun özü gibi takımın, düşey ekseninde, delme doğrultusunda, ilerlemesine kılavuzluk yapar [14]. Konik bölge, uç bölgesine göre daha küçük bir eğim açısına sahiptir. Takımın bu bölgesi iş parçasına temas ederek sürtünme kuvveti ve sürtünme ısısının oluşmasını, yumuşamış malzemeyi, düşey doğrultuda (delik delme doğrultusunda) iter ve kovanın oluşmasını sağlar. Konik bölgenin açısı β ve uzunluğu h_n ile gösterilir. Silindirik bölge deliğin ve kovanın şekillenmesini sağlar. Bu bölgenin çapı d , uzunluğu h_1 ile gösterilir. Omuz bölgesi delme işlemi sırasında eriyerek iş parçasının üst yüzeyine, yukarı doğru akan malzemeyi iş parçasının yüzeyine bastırır ve pulun silindirik bir şekilde oluşmasını sağlar. Sap kısmı, takımın tutucu yardımıyla tezgâhın malafa miline bağlanmasını sağlar. Takımın ilk üç bölgesi (uç, konik ve silindirik bölgeleri) delme işlemi sırasında meydana gelen itme kuvvetlerini, takım ve iş parçasının sıcaklığını belirlerler [12].

Sürtünmeli delme işlemi, takımın geometrisine ve iş parçasının içindeki hareketine göre beş aşamada gerçekleşir. İlk aşamada takım ucu iş parçasına temas eder, yüksek aksel kuvvet ve dönme hızında iş parçasına dalar. Sürtünme kuvveti takım-iş parçası temas bölgesinde meydana gelen sürtünme ısısı iş parçasını yumuşatır. Takımın konik bölgesi yumuşamış malzemeyi, aşağıya (delik delme doğrultusunda, iş parçasının alt yüzeyine) doğru iter ve kovan oluşumu başlar. Üçüncü aşamada takımın silindirik bölgesi iş parçasına dalar ve kovan oluşumu tamamlanır. Dördüncü aşamada takımın omuz bölgesi iş parçasının üst yüzeyine doğru akan malzemeyi bastırarak pul oluşumu tamamlanır. Son aşamada ise takım geri çekilir ve delme işlemi tamamlanır [13]. Takımın koniklik açısı dönme (tork) ve itme kuvvetlerini etkileyen önemli bir parametredir [14].

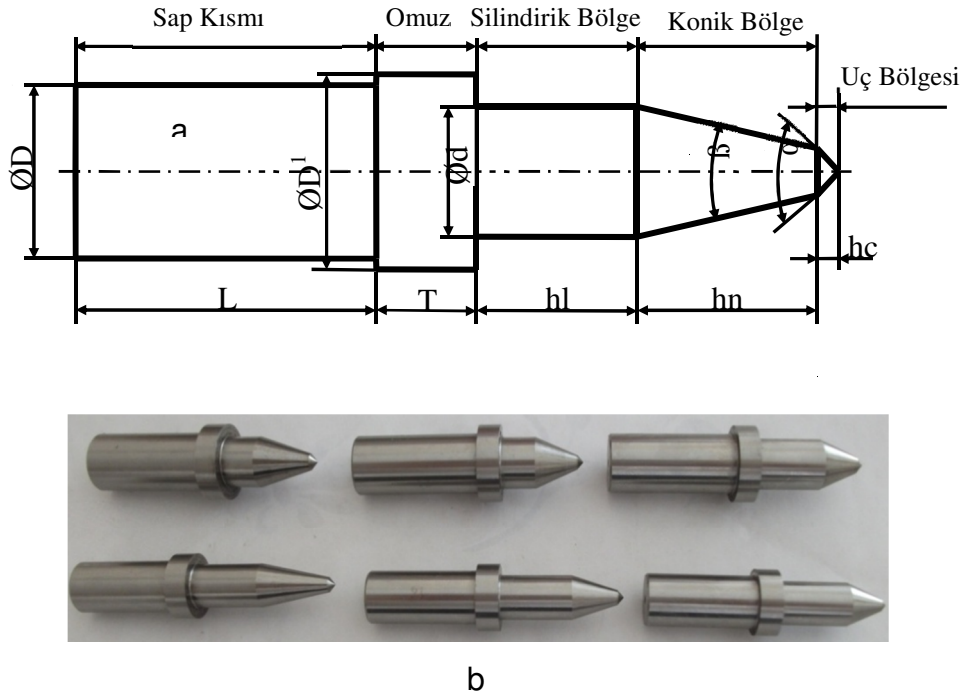
Bu deneysel çalışmada, literatür çalışmalarından farklı olarak sürtünmeli delme takımının her bir bölgesinin işlemdeki etkisi deneysel olarak araştırılmış ve analiz edilmiştir. Deneysel çalışmada, takım koniklik açısının, dönme devrinin, ilerlemenin, takımın uç, konik ve silindirik bölgelerinin pul ve kovan biçimleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. İşlem sırasında meydana gelen sıcaklık ve deliklerin yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür.

2. MATERYAL VE METOT

Deneyler, 1200, 1800, 2400, 3000 ve 3600 d/d dönme devirleri, 20, 40, 60, 80 ve 100 mm/dak ilerleme değerlerinde, HESSAPP True – Trace C – 360/3D 1095 Model Kopya Freze tezgâhında yapılmıştır (Şekil 1). Deneysel çalışmalarda kullanılan bütün parametreler, konu ile ilgili yapılmış deneysel çalışmalara ve literatüre göre, seçilmiştir. Koniklik açısı 24° , 36° ve 48° , uç açısı $\alpha=90^{\circ}$, silindirik bölgenin uzunluğu 8, 16 ve 24 mm, çapı 8 mm olan HSS (Yüksek Hız Çeliği) takımlar ile (Şekil 2) kesit kalınlığı 4 ve 6 mm olan 70x500 mm ebatlarında hazırlanmış A7075-T651 alaşımları sürtünmeli delinmiştir. Delme işleminin başlangıcında deneysel çalışma ortamının sıcaklığı 20° olmuştur. Her bir delik işlendikten sonra iş parçası malzemesi sıcaklığının oda sıcaklığına düşmesi için beklenmiştir. İşlem sırasında meydana gelen sıcaklık değerleri ısılıçiftler (termokupl) yardımıyla delik merkezinden 7 mm uzakta ölçülmüştür. Böylece delik yüzeyi ile ısılıçiftlerin yüzeyleri arasındaki mesafe 2 mm olmuştur. Deneysel çalışmada kullanılan HSS takımların geometrik boyutları Şekil 2a’da, takımların fotoğrafları ise Şekil 2b’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneği ve deneysel çalışmada kullanılan bağlama aparatı.

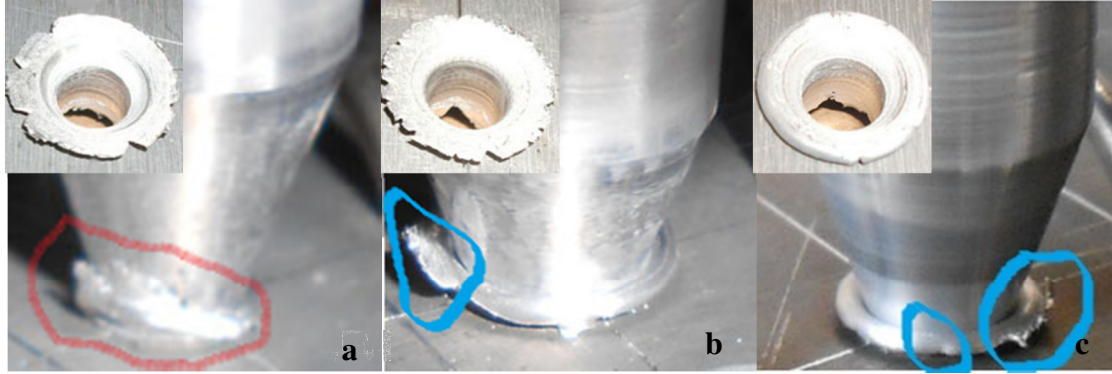


Şekil 2. Deneysel çalışmada kullanılan takımın geometrik boyutları
a) Takımın geometrisi, b) Takım fotoğrafları.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Takım Ucunun Etkisinin Değerlendirilmesi

Takım ucu, Şekil 2a'da h_c ile ve uç açısı ise α ile gösterilmiştir. Sürtünmeli delme işleminin başlangıcında takım ucunun iş parçası teması sırasında malzemenin yumuşaması, ergimesi ve akması için yeterli ısı oluşmadığından deformasyon etkisi meydana gelir. Deformasyonun etkisi, ilerlemenin artması ve dönme devrinin azalması ile artmıştır (Şekil 3). Sürtünmeli delme takımlarının uç açısı, işlemin başlangıcında daha fazla kuvvet ve sürtünme ısısının oluşması amacıyla genellikle 90° seçilir.

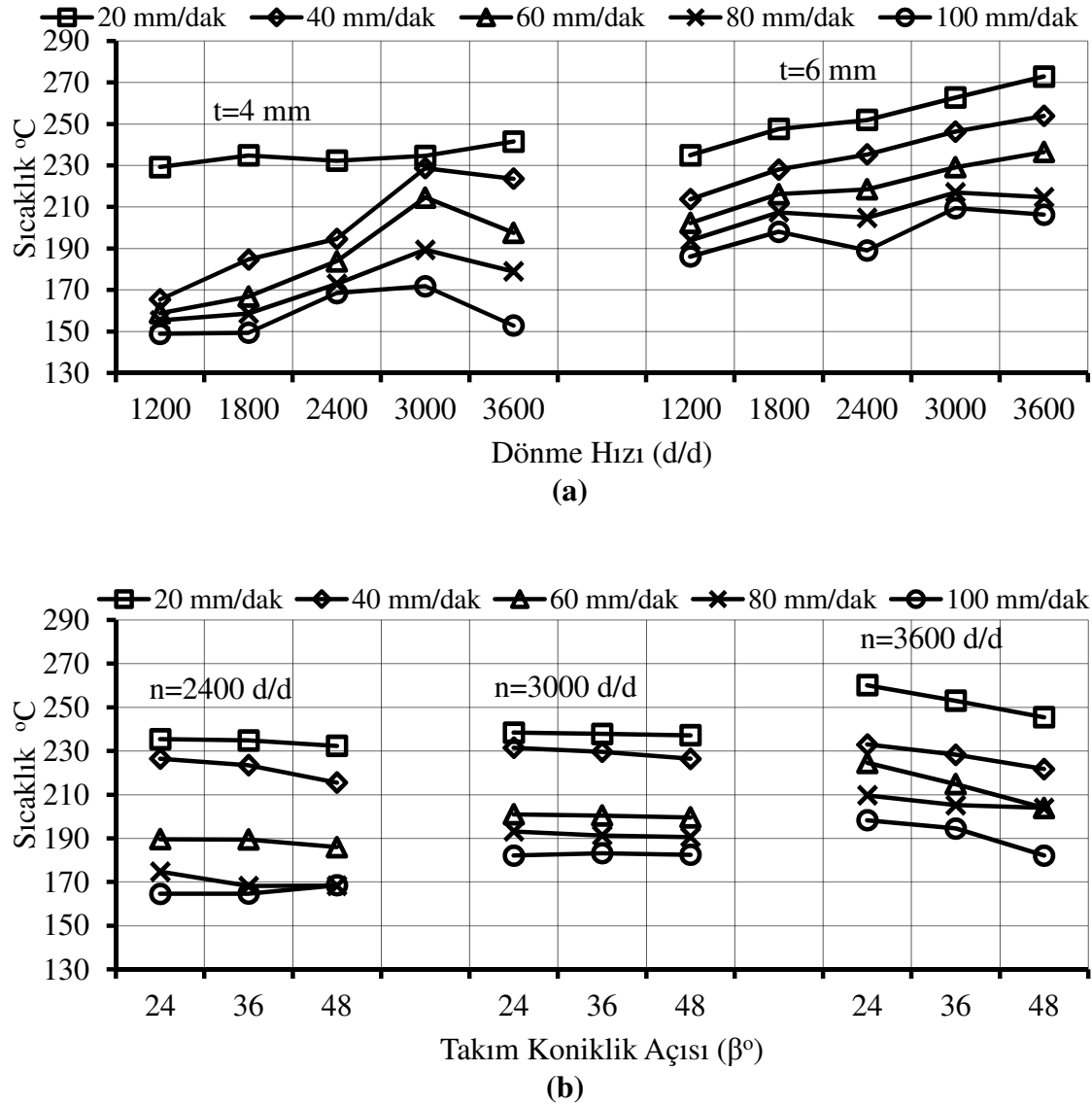


Şekil 3. Sürtünmeli delme işleminde takım ucunun iş parçasına ilk teması sırasında meydana gelen deformasyonun etkisi ve delik giriş kısmında oluşan pul biçimleri, a) 1200 d/d dönme ve 100 mm/dak ilerleme hızlarında, b) 1800 d/d dönme ve 80 mm/dak ilerleme hızlarında, c) 3600 d/d dönme ve 40 mm/dak ilerleme hızlarında delinmiştir.

Şekil 3a'da 1200 d/d dönme devri ve 100 mm/dak ilerlemede daha fazla deformasyon meydana gelirken, şekil 3c'de 3600 d/d dönme devri ve 40 mm/dak ilerlemede deformasyonun etkisi daha az olduğu görülmüştür. Takım ucunun iş parçasına dalması ile meydana gelen deformasyon etkisinin sonucunda, yırtılmalar ve çatlaklar, iş parçasının üst yüzeyinde oluşan pul biçiminin bozulmasına ve pul biçiminde çatlak ve yarıkların oluşmasına neden olduğu gözlemlenmiştir.

3.2. Takım Koniklik ve Silindirik Bölgelerinin Etkisinin Değerlendirilmesi

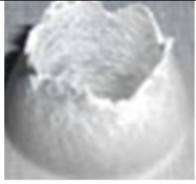

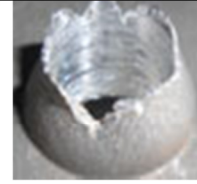
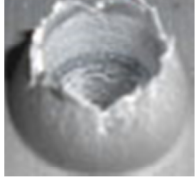



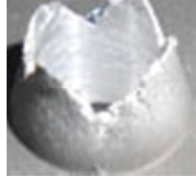

Takımın konik bölgesi Şekil 2a'da h_n , eğim açısı β ile silindirik bölgenin ise çapı d ve uzunluğu h_1 ile gösterilmiştir. Koniklik açısının azalması ile takım-iş parçası temas alanı artığından sürtünme etkisi ve oluşan sıcaklık artmış ve kovan biçimi iyileşmiştir. Takım koniklik açısının artması ile sıcaklık azalmış, kovan biçimindeki çatlak oluşumu artmış ve kovanın biçimi bozulmuştur. Koniklik açısının, dönme devrinin, ilerlemenin ve malzeme kalınlığının sıcaklık üzerine etkisi Şekil 4'te verilmiştir.





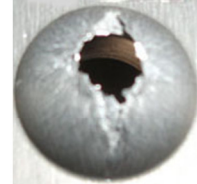
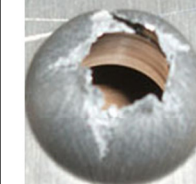
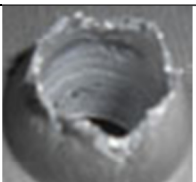

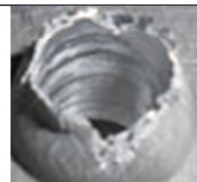
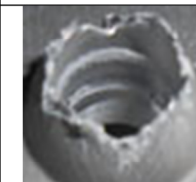




Şekil 4. Malzeme kalınlığı, dönme ve ilerleme hızının sıcaklık oluşumu üzerindeki etkisi.

Şekil 4a'da görüldüğü gibi dönme devri ve malzeme kalınlığının artması, ilerlemenin azalması, sürtünme ısısı düzenli bir şekilde artmasına neden olmuştur. En yüksek ısı değeri 3600 d/d dönme devri, 20 mm/dak ilerleme ve 6 mm kalınlığındaki A7075-T651 alaşımının sürtünmeli delinmesinde elde edilmiş ve bu değer 260 °C olarak ölçülmüştür. Şekil 4b'de takım koniklik açısının işlem sırasında oluşan sürtünme ısısının üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Takım koniklik açısının değişmesi ile sürtünme ısısında önemli bir değişim meydana gelmemiştir. Dönme devrinin ve ilerlemenin sıcaklığa etkisi daha fazla olduğu tespit edilmiştir. En yüksek sıcaklık değeri 24° koniklik açısı, 20 mm/dak ilerleme ve 3600 d/d dönme hızlarında elde edilmiştir.

Tablo 1. Takım koniklik açısının ve konik bölgenin kovan biçimine etkisi.

n=2400 d/d, t=6mm	$\beta=24^\circ$	$\beta=36^\circ$	$\beta=48^\circ$
f=20 mm/dak			
f=60 mm/dak			
f=100 mm/dak			

Tablo 2. Takım silindirik bölge uzunluğunun kovan biçimine etkisi.

n=1800 d/d, t=6mm	f=40 mm/dak	f=60 mm/dak	f=80 mm/dak	f=100 mm/dak
$h_1=8$ mm				
$h_1=16$ mm				
$h_1=24$ mm				

Tablo 1’de 24° , 36° ve 48° koniklik açısına sahip takımlar ile A7075-T651 alaşımının sürtünmeli delinmesinde elde edilmiş kovanların resimleri gösterilmiştir. Koniklik açısının artması ile konik bölgenin uzunluğu h_n azaldığından oluşan kovanın biçimindeki çatlaklar artmış ve kovanın biçimi bozulmuştur. Tablo 2’de 6 mm kalınlığındaki A7075-T651 alaşımının silindirik bölge uzunluğu 8, 16 ve 24 mm, koniklik açısı 36° , çapı 8 mm olan HSS takımlar ile yapılan sürtünmeli delme işleminde elde edilmiş kovan biçimleri gösterilmiştir. Koniklik açısının 24° ’den 48° ’ye yükselmesi ile takım-iş parçası arasındaki temas alanı azaldığından ve takımın iş parçası içerisinde ilerleme hızı arttığından deformasyonun etkisi ve kovandaki çatlak miktarı artmıştır.

Silindirik bölge uzunluğu 8 mm olan takımın uzunluğu yetersiz olduğundan kovan oluşumu tamamlanamamış ve kovan konik bir biçimde meydana gelmiştir. Elde edilmiş kovanın yüksekliği yaklaşık olarak malzeme kalınlığının 1.5 katı olduğu tespit edilmiştir. Bu yükseklik değerleri dönme devri ve ilerlemenin, takım koniklik açısına göre maksimum 1 mm oranında bir değişiklik göstermiştir. Malzeme kalınlığının 6 mm olması durumunda takım silindirik bölge uzunluğu, kovan oluşumunu tamamlayabilmesi için, 10 mm den büyük olması gerektiği tespit edilmiştir. Tablo 2’de $h_1=16$ mm uzunluğun yeterli olduğu ve kovan oluşumunun tamamlandığı tespit edilmiştir. Takım silindirik bölge uzunluğunun gereğinden fazla büyük seçilmesi durumunda ise dönme devri ve ilerlemenin etkisiyle kovan oluşumu tamamlanmış takımın radyal ve itme hareketlerinden kaynaklanan deformasyon etkisine maruz kaldığı ve kovandaki çatlak sayısının arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 6’da gösterildiği gibi takımın silindirik bölgesine ergimiş malzemenin yapışması sonucu omuz kısmının yukarıya doğru akmış malzemeye ulaşamaması durumunda biçimde silindirik olmayan, çatlakların yoğun olduğu ve biçimin bozulduğu pullar elde edilmiştir. Silindirik bölgenin kovanın biçiminde oluşan çatlaklara etkisi konik bölgenin etkisine göre daha az olduğu tespit edilmiştir.

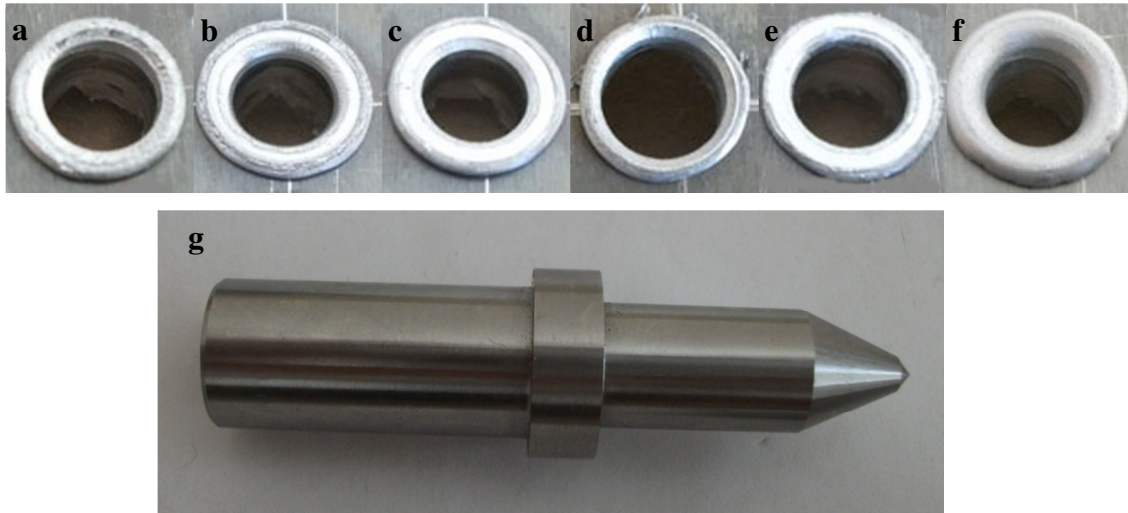
3.3. Omuz ve Sap Bölgelerinin Etkisinin Değerlendirilmesi

Takımın omuz kısmı, sürtünmeli delme işlemi sırasında ısı etkisiyle ergimiş ve yumuşamış, yukarı doğru akan malzemeyi iş parçasının yüzeyine bastırır ve pul şeklinde deliğin giriş kısmında sızdırmazlık halkasını oluşturur. Omuz kısmının çapı silindirik bölgenin çapından büyük seçilir. Bu çap değeri ergiyen malzemenin tamamını altına alarak bastırabilecek büyüklükte seçilmelidir. Bu deneysel çalışmada silindirik bölge çapının 1.5 katı

olarak seçilmiştir. Takım sapı, takımın tutucular yardımıyla tezgâhın malafa miline bağlanmasını sağlayan kısımdır. Bu bölgenin çapı, bağlama şekline göre uygun büyüklükte seçilmelidir. Bu çalışmada mukavemetli olması açısından silindirik bölge çapından 2 mm daha büyük seçilmiştir.

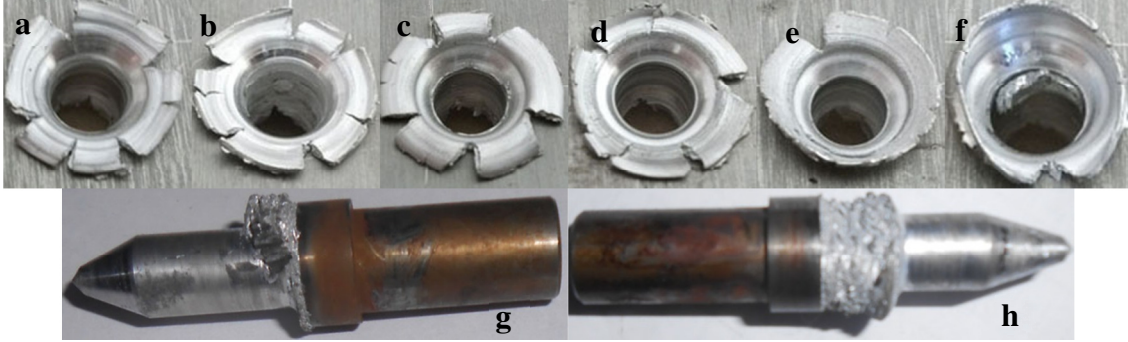
Şekil 5'te omuz çapının uygun olması durumunda elde edilmiş pul biçimleri gösterilmiştir. Omuz çapının yeterli olması ve takımın silindirik kısmına ergimiş malzemenin yapışmaması durumunda pul biçimi silindirik ve çatlakların olmadığı biçimde meydana gelmiştir.

Şekil 6b, c ve d'de omuz çapı, takımın silindirik yüzeyine ergimiş malzeme yapıştığından, yetersiz olduğu, bu durumda ergimiş malzemenin tamamı omuz tarafından bastırılmadığı, ergimiş malzemenin bir kısmı omuzun kenarlarından dışarıya sızdığı ve pul biçiminin bozulduğu görülmüştür. Şekil 6a, e ve f'de ise silindirik yüzeyine ergimiş malzeme yapışmış takımın silindirik bölgenin çapı arttığından yukarıya akan yumuşamış malzemenin içine dalmış ve pulun biçimini bozmuştur.



Şekil 5. Omuz kısmının çapı yeterli veya temiz olan takım ve takım ile uygulanan sürtünmeli delme işleminde elde edilmiş kovanların biçimleri a) 1800 d/d, 40 mm/dak, b)1800 d/d, 40 mm/dak, c) 2400 d/d, 60 mm/dak, d) 3000 d/d, 80 mm/dak, e) 3600 d/d, 60 mm/dak, f) 3600 d/d, 20 mm/dak döne ve ilerleme hızlarında h_1 uzunluğu 16 mm, koniklik açısı 36° olan HSS takım ile sürtünmeli delinmiştir. g) $h_1=16$ mm koniklik açısı $\beta=36^\circ$ HSS takımdır.

Şekil 6’da omuz kısmının çapı yetersiz olan veya ergimiş malzemenin silindirik bölge yüzeyine yapışmış takımlar ile uygulanan sürtünmeli delme işlemlerinde elde edilmiş kovan biçimlerinin, 20 delik ve 50 delik delindikten sonra fotoğrafları gösterilmiştir.



Şekil 6. Omuz kısmının çapı yetersiz veya silindirik yüzeyine ergimiş malzeme yapışmış takım ile uygulanan sürtünmeli delme işleminde elde edilmiş kovanların biçimleri a) 2400 d/d, 40 mm/dak, b) 3000 d/d, 40 mm/dak, c) 3600 d/d, 60 mm/dak, d) 1800 d/d, 80 mm/dak, e) 3000 d/d, 60 mm/dak, f) 3600 d/d, 40 mm/dak döne ve ilerleme hızlarında h₁ uzunluğu 16 mm, koniklik açısı 36° olan HSS takım ile sürtünmeli delinmiştir. g) h₁=16 mm koniklik açısı $\beta=36^\circ$ HSS takım ile kalınlığı 6mm olan A7075-T651 alaşımına 20 delik delinmiş takım, h) h₁=16 mm koniklik açısı $\beta=36^\circ$ HSS takım ile kalınlığı 6mm olan A7075-T651 alaşımına 50 delik delinmiş takım fotoğrafıdır.

4. SONUÇLAR

Dönme devrinin 1200 d/d’den 3600 d/d’ya yükselmesi, ilerlemenin 100 mm/dak’dan 20 mm/dak’ya azalması ile oluşan sıcaklık değeri artmıştır. Ayrıca koniklik açısının azalması ile takım-iş parçası temas alanı ve bu alanda meydana gelen sıcaklık değeri artmıştır, fakat bu artış dönme devri ve ilerlemenin sağladığı artışa göre kayda alınabilecek bir artış olmadığı tespit edilmiştir.

Sürtünmeli delme işleminin başlangıç aşamasında takım ucunun iş parçası ile ilk teması sırasında meydana gelen deformasyonun etkisi ilerlemenin hızının artması ile artmıştır. İşlemin başlangıcında etkisi fazla olan deformasyon pulun yapısında çatlaklar meydana getirmiş ve pul biçiminin bozulmasına sebep olmuştur.

Takımın silindirik bölgesi takım-iş parçası arasındaki temas alanını belirleyen bir faktör olduğundan işlem üzerindeki etkisi oldukça önemlidir. Konik bölgenin çapı eğim açısının artması ile arttığından ve uzunluğu azaldığından kovanın biçimde çatlakların artmasına sebep

olmuştur. Konik bölgenin eğim açısındaki değişiklikler temas alanının önemli oranda değiştirmedikten sürtünme ısısı üzerindeki etkisi dönme devri ve ilerlemenin etkisine göre oldukça az olduğu görülmüştür.

Takımın silindirik bölgesi kovan oluşumunu tamamladığı için bu bölgenin uzunluğu yaklaşık olarak malzeme kalınlığının 2-3 kadar olması gerektiği tespit edilmiştir. Uzunluğunun az olması durumunda kovan biçimini tamamlamadığı, konik biçimde oluştuğu, gereğinden fazla uzun olması durumunda ise dönme ve itme hareketlerinin etkisi ile kovanın biçimindeki çatlakların artmasına ve kovanın taç yaprağı biçiminde oluşmasına sebep olduğu gözlemlenmiştir.

Takımın omuz kısmı, işlem sırasında ergimiş ve yukarı doğru akmış malzemeyi iş parçasının yüzeyine bastırarak ve pul oluşumunu sağlamıştır. Omuz çapının yetersiz olması veya silindirik bölgeye ergimiş malzemenin yapışması ile omuzun ergimiş malzemeyi bastırması engellendiği durumda pul biçimi bozulmuştur.

KAYNAKLAR

- [1]. Miller S. F., Tao, j., Shih A. J., 2006. Friction Drilling of Cast Metals, International Journal of machine Tool and Manufacture, 46 1526 – 1535.
- [2]. Miller S. F., and Shih A. J., 2007. Thermo – Mechanical Finite Element Modelling of the Friction Drilling process, Department of Mechanical Engineering, University of Michigan, Ann Arbor MI 48109, 129, 531–538.
- [3]. Raju B. P., and Swamy M. K., 2012. Finite Element Simulation of a Friction Drilling Process Using Deform – 3D, International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA),2 (6): 716-721.
- [4]. Diwakar Reddy V., Krishnaiah G., Chand G., Indumathi G., 2011. Analysis in From Drilling AA1100 Using HSS Tools, International Conference on Trends in Mechanical and Industrial Engineering (ICTMIE 2011) Bangkok, pp. 160-164.
- [5]. Ozler L., Dogru N., 2013. An Experimental Investigation of Hole Geometry in Friction Drilling, Materials and Manufacturing Processes, 28: 470-475.
- [6]. Boopathi M., Shankar S., Manikandakumar S., Ramesh R., 2013. Experimental Investigation of Friction Drilling on Brass, Aluminium and Stainless Steel, International Conference on Design and Manufacturing, IConDM, Procedia Engineering 64: 1219-1226.

- [7]. Pantawane P. D., and Ahuja B. B., 2011. Experimental Investigations and Multi-objective Optimization of Friction Drilling Process on AISI 1015, *International Journal of Applied Engineering Research Dindigul*, 2(2):448-461.
- [8]. Kaya M. T., Aktas A., Beylergil B., Akyildiz H. K., 2014. An Experimental Study on Friction Drilling of ST 12 Steel, *Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering*, 38(3): 319-329.
- [9]. Miller S. F., Blau P., Shih A. J., 2005. Microstructural Alterations Associated with Friction Drilling of Steel, Aluminium and Titanium, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 14: 647–653.
- [10]. Chow H. M., Lee S. M., and Yang L. D., 2008. Machining Characteristics Study of Friction Drilling on AISI 304 Stainless Steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 207, 180–186.
- [11]. Lee S. M., Chow H. M., Huang F. Y., Yan B. H., 2009. Friction Drilling of Austenitic Stainless Steel by Uncoated and PVD AlCrN – TiAlN Coated Tungsten Carbide Tools, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 49: 81 – 88.
- [12]. Miller S. F., Wang H., Shih A. J., 2006. Experimental and Numerical Analysis of the Friction Drilling Process, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 128:802–810.
- [13]. Lee S. M., Chow H. M., Yan B. H., 2007. Friction drilling of IN – 713LC cast superalloy, *Materials and manufacturing Process*, 22, 893-897.
- [14]. Gopal Krichna P. V., Kishore K., Satyanarayana V. V., 2010. Some Investigations in Friction Drilling AA6351 Using High Speed Steel Tools, *ARP Journal Engineering and Applied Sciences*, 5: 1819–6608.