

Farklı Tip Malzemelerden İnce Cidarlı Boru ve Kutu Profiller Üzerinde Sürtünmeli Delme Yöntemi ile Oluşturulan Dışlı Deliklerin Deneysel İncelenmesi

Abdullah FEYZULLAH^{1*} , Osman Hamdi METE² 

¹Sakarya Üniversitesi, İmalat Mühendisliği, Sakarya, Türkiye
²Sakarya Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

Anahtar Kelimeler:

Kovan yüksekliği,
Sıyırma kuvveti,
Sürtünmeli delme,
Termal delme

Özet

Günümüzde sac ve ince cidarlı profil malzemelerde cıvatalı bağlantı uygulamaları endüstride yoğun olarak kullanılmaktadır. Ancak bu malzemelerin cıvatalı bağlantılarında kesit kalınlığının ince olmasından dolayı yeterli dış derinliği sağlamak için perçin somun kullanımı, yüzeye somun kaynatma gibi yöntemler kullanılmaktadır. Tüm bu uygulamalar ilave işlem ve malzeme gerektirdiğinden üretim maliyetlerini artırmaktadır. Bu nedenle bu yöntemlere alternatif olarak sürtünmeli delme yöntemi geliştirilmiştir. Bu çalışmada et kalınlığı 1,5 mm olan 6063 alüminyum, Ms58 pirinç, St37 çelik ve AISI 304 paslanmaz çelik malzemeden boru ve kutu profil numuneler üzerine geleneksel talaşlı yöntemle delikler delinerek kılavuz çekilmiştir. Aynı işlemler sürtünmeli delme yöntemiyle delinerek oluşan deliklerdeki kovan geometrileri, kovan yükseklikleri ve sıyırma kuvvetleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Sürtünmeli delme yöntemiyle delinen numunelerde delik bölgesinde profil et kalınlığının yaklaşık üç katı yüksekliğinde kovan oluştuğu görülmüştür. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda sürtünmeli yöntemle delinen numunelerde ölçülen sıyırma kuvvetlerinin geleneksel talaşlı yöntemle delinen numunelere göre %100-120 oranında arttığı gözlemlenmiştir.

*e-posta: abdullah.feyzullah1@ogr.sakarya.edu.tr

Bu makaleye atıf yapmak için:

Abdullah FEYZULLAH; Osman Hamdi METE, "Fatigue Analysis of an Aerospace Elastoplastic Structural Cylindrical Component with Hole under Cyclic Mechanical Load using COMSOL Multiphysics and Taguchi Method Optimization", Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, C. 8, s 1, ss. 13-23

How to cite this article:

Abdullah FEYZULLAH; Osman Hamdi METE, "Experimental Investigation of Tapped Holes Formed by Friction Drilling in Thin Walled Pipe and Box Profiles of Different Materials", Bayburt University Journal of Science, vol. 8, no 1, pp. 13-23

Experimental Investigation of Tapped Holes Formed by Friction Drilling in Thin Walled Pipe and Box Profiles of Different Materials

Keywords:

*Bushing height,
Clamping force,
Friction drilling,
Thermal drilling*

Abstract

Recently, bolted connection applications in sheet metal and thin-walled profile materials are used frequently in the industry. However, in bolted connections of these materials, methods such as rivet nut use, nut welding to the surface are used to provide sufficient thread depth due to the thin cross-sectional thickness. All these applications increase production costs as they require additional processing and materials. Therefore, friction drilling method has been developed as an alternative to these methods. In this study, holes were drilled and tapped on pipe and box profile samples of 6063 aluminum, Ms58 brass, St37 steel and AISI 304 stainless steel with a wall thickness of 1.5 mm by conventional machining method. The same operations were carried out with the friction drilling method and the bushing geometries, bushing heights and stripping forces in the formed holes were comparatively analyzed. It was observed that in the specimens drilled by friction drilling method, a bushing about three times the height of the profile wall thickness was formed in the hole area. As a result of the experimental studies, it was observed that the stripping forces measured in the samples drilled with the friction method increased by 100%-120% compared to the samples drilled with the conventional machining method.

1 GİRİŞ

Günümüzde imalat endüstrisinde öne çıkan eğilimlerden biri de ince cidarlı malzemelerin kullanımının artmasıdır. Kritik yapıların üretiminde malzeme ve enerji tasarrufunu artırmak için hafif ve yüksek mukavemetli malzemeler kullanılmaktadır. Aynı zamanda malzeme tasarrufu için imalatla kullanılan sac ve profil malzemelerin kalınlığı azaltılmaktadır. Bu durumda ince cidarlı malzemelerde yeterli vidalama uzunluğu oluşturulamadığından dolayı cıvatalı bağlantıların uygulanması zorlaşmaktadır. Bu problemi aşmak için özel bağlantı parçaları kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemlerle işlem süreleri uzamakta ve üretim maliyetleri artmaktadır. Bu noktada daha verimli bir yöntem, ince cidarlı malzemelerde yeterli diş derinliği oluşturmak için burçlu delikler açılmasını sağlayan sürtünmeli delme yöntemidir [1], [2].

Sürtünmeli delme, dönen konik bir takım ile malzeme arasındaki temas bölgesinde sürtünme ile oluşan ısıdan yararlanarak malzemeyi yumuşatıp içine nüfuz eden ve ince cidarlı malzemelerde delik açan geleneksel olmayan bir delik delme yöntemidir. Bu yöntemle ince cidarlı malzemelerde temiz, talaş kaldırmadan burç oluşturulur. Burcun amacı, diş açma işlemi için gerekli et kalınlığını oluşturmak ve bağlantı mukavemetini artırmaktır. Sürtünmeli delme aynı zamanda termal delme, akış delme, form delme veya sürtünme karıştırmalı delme olarak ta adlandırılır [3].

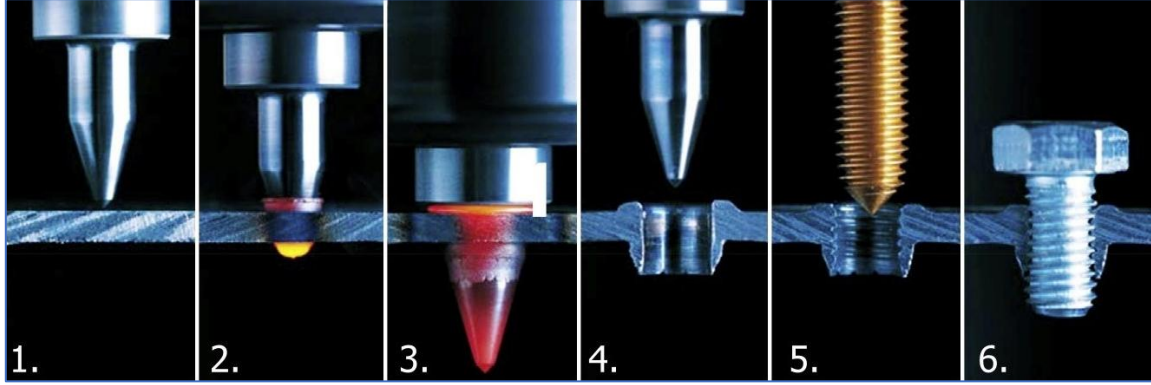
Bu yöntem ilk olarak 1923 yılında Jan Claude de Valliere tarafından geleneksel talaşlı delme yöntemine alternatif olarak geliştirilmiştir. Ancak üretimde kullanımı 60 yıl sonra tungsten karbür takımların imalatındaki teknik gelişmeler sonucu mümkün olabilmıştır. İmalat endüstrisindeki modern uygulamaların ihtiyaçlarını karşılamak, delme işlemlerinde kullanılan takımların ömrünü ve verimliliğini artırmak, çevre kirliliği oluşturmadan delme işlemlerini uygulamak amacıyla özel takım geometrileri tasarlanmış ve geleneksel olmayan bu delme yöntemi daha yoğun bir şekilde kullanılabilir hale gelmiştir [4].

Sürtünmeli delme, sac metallere, ince cidarlı profil ve borular üzerinde basit ve etkili şekilde cıvatalı bağlantılar oluşturmak için burçlu delikler oluşturur. Oluşturulan burç yüksekliği genellikle malzeme et kalınlığının 2-3 katıdır. Bu burcun içine diş açılarak mevcut malzeme et kalınlığına diş açılarak oluşturulan cıvatalı bağlantıdan çok daha sağlam bir bağlantı oluşturulur [5].

Sürtünmeli delme işlemi Şekil 1’de gösterildiği üzere genel olarak altı aşamadan oluşmaktadır.

Birinci aşamada takımın uç kısmı delinecek malzeme yüzeyine temas eder. Bu esnada itme kuvveti maksimum seviyeye ulaşır. İkinci aşamada, oluşan sürtünme ısı ile delinen bölge yumuşar ve takımın konik kısmı ile yana ve aşağı doğru bastırılır. Bu aşamada malzemenin alt yüzeyinde kovan oluşumunu sağlayan şişkinlik oluşur. Üçüncü aşamada, delik bölgesindeki yumuşayan metal, takımın silindirik kısmı ile tamamen aşağı itilir ve kovan

oluşumu başlar. Malzemenin üst yüzeyine doğru akan metal ise takımın omuz kısmı ile yüzeye doğru sıkıştırılarak yüzeyde halka şeklinde pul oluşturur. Dördüncü aşamada, sürtünmeli delme işlemi tamamlanmış olur ve takım kovandan ayrılarak geri çekilir. Beşinci aşamada, oluşturulan kovana kılavuz takımının girmesi ile başlar. Bu aşamada da diş açma işlemi, delik delme işleminde olduğu gibi talaş kaldırmadan ovalama yöntemi ile gerçekleştirilir. Son olarak altıncı aşamada ise bağlantıyı oluşturmak için vidalama işlemi yapılır [6], [7].



Şekil 1. Sürtünmeli delme işlemi aşamaları [6]

Literatürde sürtünmeli delme yöntemi ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, burç geometrisi, pul geometrisi, burç yüksekliği, yüzey kalitesi ve işlem sıcaklıkları üzerinde birçok deneysel ve teorik çalışmalar yapıldığı görülmektedir.

Kaya ve ark. [8] yaptıkları çalışmada ST12 çeliğinin sürtünmeli delinmesinde takım ilerleme hızı, devir sayısı, sürtünme açısı ve sürtünme temas alanı oranı (STAO) gibi işlem parametrelerinin takım eksenel itme kuvveti ve tork değerleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deneylerde TiN kaplı tungsten karbür (WC) takımlar kullanılmıştır. Deney sonuçlarında eksenel itme kuvveti ve tork değerleri, sürtünme açısı, STAO ve ilerleme hızının artmasıyla kademeli olarak artmıştır. Bununla beraber devir sayısı arttıkça yüzey sıcaklığının arttığı, eksenel itme kuvveti ve tork değerinin azaldığı görülmüştür. Devir sayısı ve ilerleme hızı sabitken STAO değerinin artmasının veya azalmasının deney parçasının yüzey sıcaklığı üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır. İlerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünde artış ve burç uzunluğunda azalma olmuştur.

Boopathi ve ark. [9] pirinç, alüminyum ve paslanmaz çeliklerin delinmesinde devir sayısı ve ilerleme hızının eksenel itme kuvveti ve yüzey sıcaklığına etkisini incelemişlerdir. 2500, 3000 ve 3500 d/dk devir sayısı ve 80, 100 ve 120 mm/dk ilerleme hızlarında oluşan eksenel itme kuvvetleri ölçüldüğünde maksimum eksenel itme kuvveti 2500 d/dk devir sayısı ve 80mm/dk ilerleme hızında ortaya çıkmıştır. Tüm ilerleme hızlarında devir sayısı arttıkça eksenel itme kuvvetinde azalma olmuştur. Delme işlemi esnasında oluşan sıcaklıklar kızılötesi termometre ile ölçülmüştür. Alüminyum, pirinç ve paslanmaz çeliğin sürtünmeli delme işleminde sırasıyla 164, 252 ve 468 °C maksimum sıcaklık değerleri kaydedilmiştir. Numunelerde delik yüzeyine yakın ve delikten 1 mm uzaklıktaki noktalarda brinell sertlik değerleri ölçülmüştür. Sürtünmeli delme işlemi ısınan bölgelerde sertliği artırdığı gözlemlenmiştir. Delik yüzeyinden uzaklaştıkça sertlik değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Paslanmaz çelik, pirinç ve alüminyumun sırasıyla 359, 166 ve 120'lik maksimum brinell sertlik değerleri ölçülmüştür.

Lee ve ark. [10] yaptıkları çalışmada AISI 304 çeliğin delinmesinde kaplamasız, PVD yöntemiyle TiAlN ve AlCrN kaplanmış takımlar kullanmışlardır. Farklı devir sayılarında kaplamalı ve kaplamasız delme uçlarının performansı incelenmiştir. Delme işlemi esnasında oluşan takım aşınması, eksenel itme kuvveti ve takım yüzey sıcaklığı arasındaki ilişki incelenmiştir. Delme işlemi esnasında devir sayısı arttıkça takımların yüzey sıcaklıklarının arttığı gözlemlenmiştir. Kaplamalı ve kaplamasız takımların ısı iletkenliği farklı olduğundan dolayı en düşük yüzey sıcaklığı kaplamasız takımda, en yüksek yüzey sıcaklığı ise AlCrN kaplı takımda ölçülmüştür. Delinen delik sayısı arttıkça tüm takımların sıcaklıkları artmıştır. Bunun nedeni delme ucunun delinen parçaya yapışarak takımın yüzey pürüzlülüğünü artırması ve dolayısıyla sonraki delme işlemlerinde takımla parça arasında artması olarak ifade edilmiştir. Eşit devir sayısı ve eşit delme sayısında karşılaştırma yapıldığında kaplamalı takımlarda kaplamasız takıma göre daha az aşınma meydana gelmiştir. AlCrN kaplı takımda TiAlN kaplı takıma göre daha az aşınma görülmüştür. Devir sayısı arttıkça takım yüzeyindeki kaplamada oluşan aşınma miktarı artmış ve takım yüzeylerinin sıcaklıkları arasındaki fark azalmıştır.

Özek ve Demir [11] A7075-T651 alaşımının sürtünmeli delme işleminde malzeme kalınlığı ve delik çapının kovan boyuna etkisini incelemişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada koniklik açıları 24°, 36° ve 48° olan 8 ve 10 mm çapındaki yüksek hız çeliği (HSS) sıvama matkapları ile 2400 d/dk, 3600 d/dk ve 4800 d/dk devir sayısı ve 50

mm/dk, 75 mm/dk ve 100 mm/dk ilerleme hızlarında 2 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm ve 10mm kalınlığındaki malzemelere delikler delinmiştir. Bu delme işlemlerinde takım koniklik açısı, ilerleme hızı ve dönme hızına bağlı olarak değişen malzeme kalınlığı ile kovan yüksekliği analiz edilmiştir. Malzeme kalınlığı ve kovan yüksekliği artış oranının aynı olmadığı, malzeme kalınlığı arttıkça kovan yüksekliğinin artış oranının azaldığı gözlemlenmiştir. En yüksek kovan yüksekliği ise 24° takım koniklik açısında, 2400 d/dk dönme hızı ve 50 mm/dk ilerleme hızı ile 6 mm malzemeye delinen 10 mm çapındaki delikte 8,5 mm olarak ölçülmüştür.

Dehghan ve ark. [12] tungsten karbür (WC) takım kullanarak bir titanyum alaşımı olan Ti-6Al-4V'nin sürtünmeli delinmesinde ilerleme hız ve devir sayısı gibi işlem parametrelerinin burç şekli, burç yüksekliği, yüzey sertliği ve takım aşınması üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişleridir. Deneysel sonuçlarda takım devir sayısını doğru seçmenin iyi bir burç geometrisi elde etmek ve takım ömrünü uzatmada çok önemli olduğu ortaya konulmuştur. Düşük devir sayısı ve düşük ilerleme hızlarında çalışmanın daha iyi burç geometrisi ve yüksekliği ve aynı zamanda takım ömrünü uzatmada çok önemli olduğu gözlemlenmiştir. Bununla beraber Ti-6Al-4V'nin termal iletkenliğinin düşük olmasından dolayı sürtünme ısısı ve yüzey sıcaklığının anormal bir şekilde artmasına neden olmuştur. Bu durum şekil olarak tatmin edici olmayan burç oluşumuna neden olmaktadır. Sonuç olarak bu çalışma titanyum alaşımları gibi işlenmesi zor malzemelerde bile sürtünmeli delme işleminin performansını göstermiştir.

Ku ve ark. [13] yaptıkları çalışmada sinterlenmiş karbürden yapılmış yeni bir sürtünmeli delme takımı geliştirmek için Taguchi yöntemi kullanarak işlem parametrelerini optimize etmişlerdir. Deneyler SUS304 malzemeden 2 mm kalınlığında 30x30 mm plakalar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Oluşan kovan kalitesini belirlemek için yüzey pürüzlülüğü ve kovan yüksekliği olmak üzere iki kalite parametre belirlenmiştir. ANOVA yazılımı ile takım sürtünme açısı, sürtünme temas alanı oranı, ilerleme hızı ve devir sayısının bu iki kalite parametresine etkileri incelenmiştir. Sonuçlar sürtünme açısı ve devir sayısının yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametre olduğu, sürtünme temas alanı oranının ise kovan yüksekliğini etkileyen tek önemli parametre olduğunu göstermiştir.

Doğru [14] AISI 1010 çelik malzemeden kare profillerin sinterlenmiş karbür takımlarla sürtünmeli delme yöntemiyle delinmesi ile ilgili yaptığı çalışmada farklı devir sayısı, ilerleme hızı ve sürtünme açıları kullanarak deneyler yapmıştır. Deneylerde işlem parametrelerinin kovan ve pul geometrisine ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenmiştir. Ortaya çıkan sonuçlarda kovan kalitesini etkileyen en önemli parametrenin devir sayısı ve ilerleme hızı olduğu belirlenmiştir. Devir sayısı arttıkça kovan ve yüzey pürüzlülüğünün azaldığı kovan geometrisi iyileşirken ilerleme hızı artmasıyla yüzey pürüzlülüğü artmış ve kovan geometrisi bozulmuştur.

Tunalıoğlu ve Keser [15] yaptıkları deneysel çalışmada 1,5 mm kalınlığında AISI 304 paslanmaz çelik ve 6060 alüminyum malzemeden kare ve boru profil malzemelere sürtünmeli delme yöntemi ile 2000 d/dk, 2500 d/dk ve 3000 d/dk devir sayılarında M5, M6 ve M8 dişli delikler oluşturmuştur. Aynı malzemelere geleneksel talaşlı yöntem ile 2000 d/dk devir sayısında aynı çaplarda dişli delikler oluşturularak parçaların kovan yükseklikleri, sıyrma kuvvetleri, delikler etrafındaki sertlik değerleri ve kılcal çatlak oluşumları karşılaştırılmıştır. Elde edilen deney sonuçlarında sürtünmeli delme yöntemi ile oluşturulan deliklerde kovan yükseklikleri profil et kalınlığının 2,5-3 katı kadar olduğu belirlenmiştir. Bunun sonucunda sıyrma testlerinde sıyrma kuvveti geleneksel talaşlı delme yöntemi ile oluşturulan dişli deliklere göre %50-55 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca geleneksel talaşlı yöntemle oluşturulan deliklerde delik çapı arttıkça görülen kılcal çatlakların sürtünmeli delme yöntemi ile delinen parçalarda oluşmadığı gözlemlenmiştir.

Sürtünmeli delme yöntemi ile ilgili literatürdeki çalışmalar incelendiğinde çeşitli malzemelerde kovan kalitesini ve bağlantı mukavemetini artırmak amacıyla kovan yüksekliği, kovan geometrisi, yüzey sertliği, yüzey pürüzlülüğü gibi işlem parametreleri hakkında yeterli çalışma yapıldığı görülmektedir. Ancak günümüz endüstrisinde oldukça sık kullanılan kare ve dairesel kesitli profillerin geleneksel talaşlı delme ve sürtünmeli delme işlemlerinin mukavemet açısından yapılan çalışmaların yetersiz olduğu görülmektedir. Bu çalışmada 6063 alüminyum, Ms58 Pirinç, St37 çelik ve AISI 304 paslanmaz çelik malzemeden 1,5 mm kalınlığında kare ve dairesel kesitli profillere optimum işlem parametrelerinde sürtünmeli ve talaşlı yöntemle delikler delinerek kılavuz çekilmiştir. Elde edilen numunelerde kovan geometrisi, kovan yüksekliği, sıyrma testleri ile bağlantı mukavemetleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

2 MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada 6063 alüminyum, Ms58 pirinç, St37 çelik ve AISI 304 paslanmaz çelik malzemeden kesit ölçüsü 30x30x1,5 mm olan kutu profil ve kesit ölçüsü Ø30x1,5 mm olan boru profil malzemeler üzerine sürtünmeli yöntem ile 5,4 mm çapında delikler delinmiş ve ovalama kılavuzu ile M6 diş çekilmiştir. Aynı malzemelere

geleneksel talaşlı yöntemle 5 mm çapında delikler delinmiş ve M6 kılavuz ile talaş kaldırarak diş çekilmiştir. Sürtünmeli delme ve diş çekme işlemlerinde Flowdrill markasına ait çap 5,4 mm standart kısa tip tungsten karbür uç ve M6x1 TiN kaplı ovalama kılavuzu kullanılmıştır. Geleneksel talaşlı delme ve diş çekme işlemleri için çap 5 mm HSS matkap ve M6x1 standart diş açma kılavuzu kullanılmıştır. Tüm delme ve diş çekme işlemleri Maxmill NVM-1166 model CNC dik işleme tezgâhında yapılmıştır. Çalışmada kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri Tablo 1’de detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri [16]

Malzemelerin Mekanik Özellikleri	Malzeme Türleri			
	AL 6063	Ms58	St37	AISI 304
Yoğunluk (g/cm ³)	2,7	8,46	7,85	7,9
Akma gerilmesi (MPa)	145-269	220-350	185-235	200-225
Çekme gerilmesi (MPa)	186-290	360-500	340-510	500-700
Kopma uzaması (%)	7-15	3-20	21-26	35-45
Elastiklik modülü (GPa)	70	96	210	200
Isıl iletkenlik katsayısı (W/m.°K)	170-200	113	40-45	15
Sertlik değeri (HB)	65-85	90-160	120	215
Erime sıcaklığı (°C)	616-654	875-890	1470	1400-1450

2.1 Delik delme ve kılavuz çekme işlemleri

Çalışmada ölçüm ve test işlemleri için hazırlanan numune listesi Tablo 2’de verilmiştir.

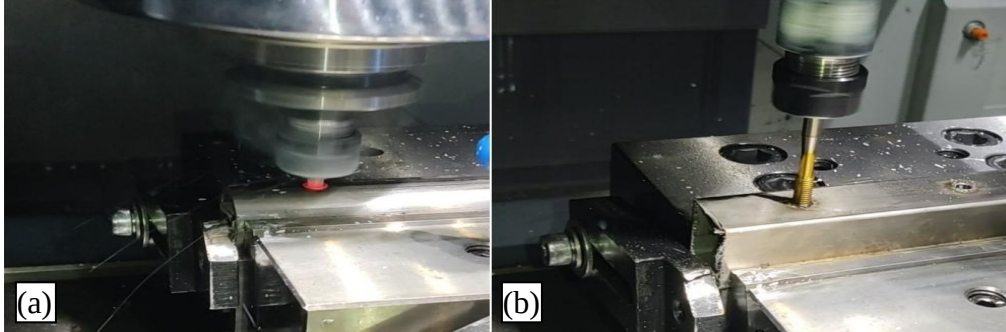
Tablo 2. Toplam numune listesi

Numune No	Malzeme	Delme Yöntemi	Profil Tipi	Numune Sayısı
1	6063 Alüminyum	Talaşlı	Kutu profil	3
2	6063 Alüminyum	Sürtünmeli	Kutu profil	3
3	6063 Alüminyum	Talaşlı	Boru profil	3
4	6063 Alüminyum	Sürtünmeli	Boru profil	3
5	Ms58 Pirinç	Talaşlı	Kutu profil	3
6	Ms58 Pirinç	Sürtünmeli	Kutu profil	3
7	Ms58 Pirinç	Talaşlı	Boru profil	3
8	Ms58 Pirinç	Sürtünmeli	Boru profil	3
9	St37 Çelik	Talaşlı	Kutu profil	3
10	St37 Çelik	Sürtünmeli	Kutu profil	3
11	St37 Çelik	Talaşlı	Boru profil	3
12	St37 Çelik	Sürtünmeli	Boru profil	3
13	AISI 304 Paslanmaz Çelik	Talaşlı	Kutu profil	3
14	AISI 304 Paslanmaz Çelik	Sürtünmeli	Kutu profil	3
15	AISI 304 Paslanmaz Çelik	Talaşlı	Boru profil	3
16	AISI 304 Paslanmaz Çelik	Sürtünmeli	Boru profil	3

Her iki delme yönteminde ve tüm malzeme türlerinde delme, ölçüm ve test işlemleri üç kez tekrarlanmış ve sonuçlar her bir malzeme türü için elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Sürtünmeli delik delme ve kılavuz çekme işlemlerinde her malzeme türü için devir sayıları ve ilerleme hızları, takım üreticisi firmanın (Flowdrill) önerdiği değerlerde gerçekleştirilmiştir. Buna göre sürtünmeli delik delme işlemleri için devir sayısı alüminyum ve pirinç malzemelerde 2800 d/dk, St37 çelik malzemede 2400 d/dk ve paslanmaz çelik malzemede 2000 d/dk olarak belirlenmiştir. Sürtünmeli kılavuz çekme işlemleri için devir sayısı tüm malzeme

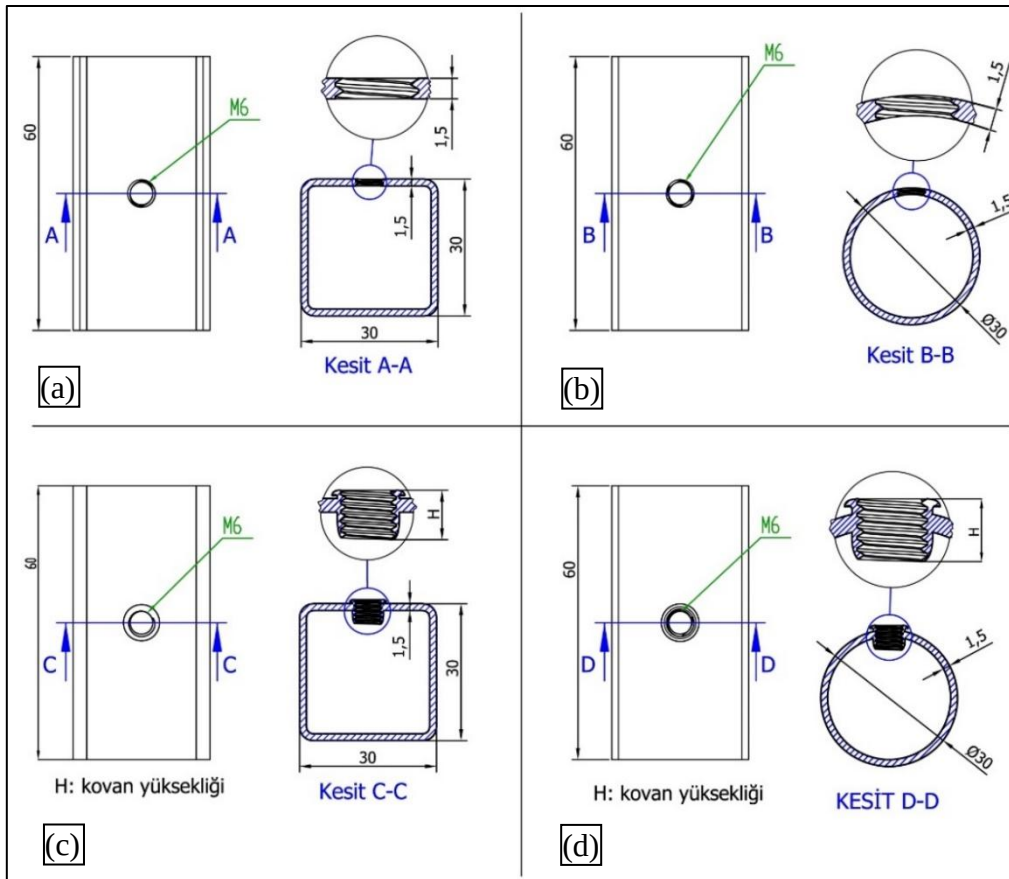
türlerinde 650 d/dk olarak belirlenmiştir. İlerleme hızı ise tüm malzemelerde 120 mm/dk olarak belirlenmiştir. Geleneksel talaşlı delme diş çekme işlemlerinde ise devir sayısı 1500 d/dk olarak belirlenmiştir.

Şekil 2’de görüldüğü üzere numuneler CNC tezgahına bağlanarak delik delme işlemleri ve diş çekme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Tüm delik delme ve diş çekme işlemleri aynı tezgâhta takım değiştirilerek yapılmıştır.



Şekil 2. Sürtünmeli delik delme işlemi (a), sürtünmeli diş çekme işlemi (b)

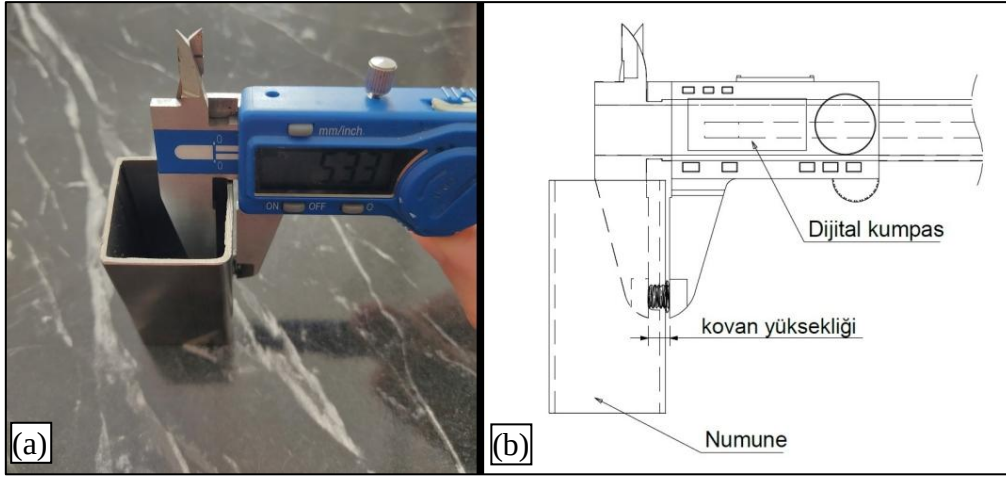
Delik delme işlemleri sonrası elde edilen numunelerin ölçüleri ve delik bölgesindeki kesit görünüşleri Şekil 3’te verilmiştir. Talaşlı yöntemle delinen numunelerde delik bölgesinde kovan yapısı oluşmazken sürtünmeli yöntemle delinen numunelerde H ile belirtilen yükseklikte kovan yapıları oluşmuştur.



Şekil 3. Talaşlı yöntemle delinen kutu profil (a), talaşlı yöntemle delinen boru profil (b), sürtünmeli yöntemle delinen kutu profil (c) ve sürtünmeli yöntemle delinen boru profil (d) numunelerin ölçüleri ve delik bölgesindeki kesit görünüşleri

2.2 Kovan yüksekliği ölçümleri

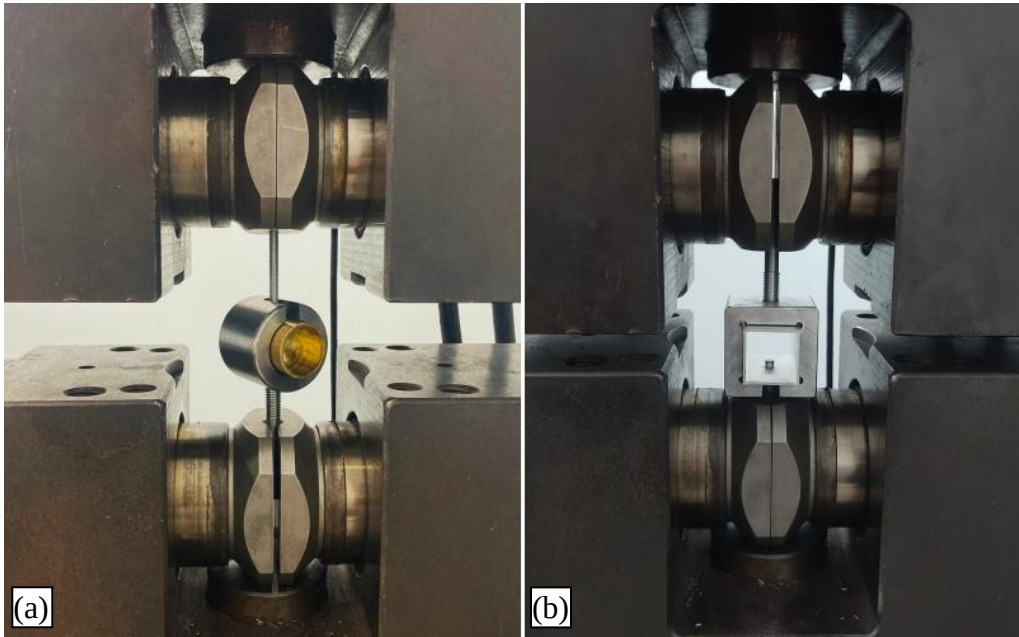
Numunelerde oluşan kovan yükseklikleri Şekil 4a ve Şekil 4b’de gösterildiği şekilde dijital kumpas yardımıyla ölçülmüştür.



Şekil 4. Kovan yüksekliğinin ölçülmesi (a), kovan yüksekliği ölçümü şematik gösterimi (b)

2.3. Sıyırma kuvveti testleri

Çalışmanın en önemli kısmını sıyırma kuvvetlerinin ölçülmesi aşaması oluşturmaktadır. Bu aşamada her iki delme yöntemi ile delinen numunelere vida bağlantı kuvvetlerini karşılaştırmak amacıyla sıyırma testleri yapılmıştır. Sıyırma testleri, numuneler üzerinde oluşturulan dişli deliklere saplama cıvata takılarak çekme cihazında aksel yönde çekilerek yapılmış ve sıyırma kuvvetleri ölçülmüştür. Sıyırma testleri Dartec MTS 250 kN kapasiteli servohidrolik aksel çekme cihazında gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyleri sabit 1 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Numuneleri çekme cihazına sağlam bir şekilde bağlamak ve sıyırma testi esnasında oluşan deformasyonun sadece delik bölgesinde oluşmasını sağlamak için numune tutucu aparat kullanılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Boru profil (a), kutu profil (b) numunelerin aparat yardımıyla çekme testi cihazına bağlanması

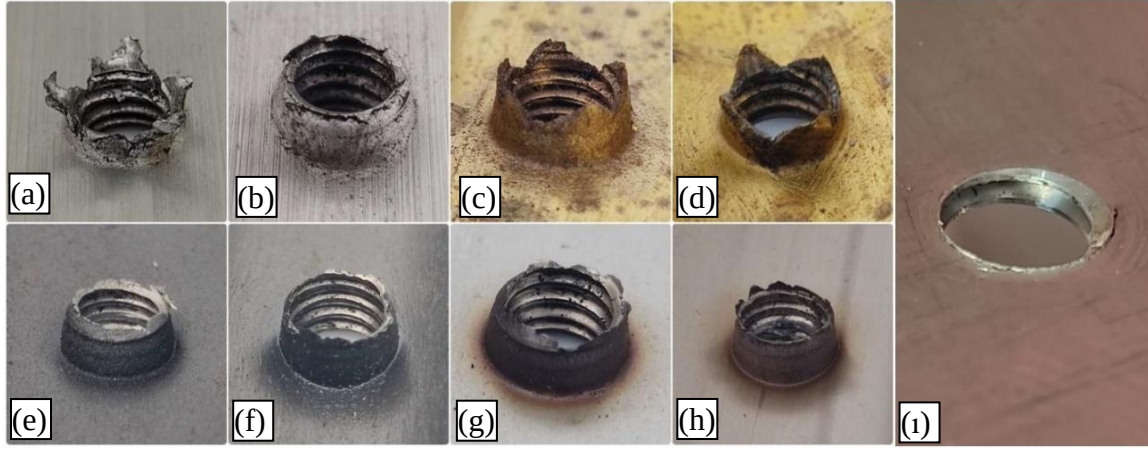
3 BULGULAR

Kovan yüksekliği ölçümleri ve sıyırma testleri, sonuçlardaki hata oranını minimize etmek için her bir numune türünde üç kez tekrarlanmış ve karşılaştırmalar elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak yapılmıştır.

3.1 Kovan geometrileri ve yükseklikleri

Sürtünmeli delme uygulamalarında farklı malzemelerde farklı kovan geometrileri oluşmaktadır. Numuneler üzerinde malzeme türlerine göre oluşan kovan resimleri Şekil 6'da verilmiştir. Sürtünme yöntemi ile delinen

alüminyum ve pirinç gibi gevrek malzemelerde kovan yapısında taç yaprağı şeklinde yırtılmalar ve şekil bozuklukları gözlenmiştir. St37 ve AISI 304 çelik malzemelerde ise daha düzgün ve silindirik şekilde kovan oluşumları görülmektedir. Şekil 6'da görüldüğü üzere talaşlı yöntemle delme işleminde malzeme üzerinde kovan yapısı oluşmamaktadır.



Şekil 6. Sürtünmeli delme yöntemi ile delinen 6063 alüminyum kutu profil (a), 6063 alüminyum boru profil (b), Ms58 pirinç kutu profil (c), Ms58 pirinç boru profil (d), St37 çelik kutu profil (e), St37 çelik boru profil (f), AISI 304 paslanmaz çelik kutu profil (g), AISI 304 paslanmaz çelik boru profil (h) numunelerinde kovan geometrileri ve talaşlı yöntemle delinen numunelerdeki genel delik yapısı (i)

Numunelerde oluşan kovan yükseklikleri ölçüldüğünde farklı malzeme ve profil tiplerinde farklı kovan yüksekliklerinin oluştuğu görülmüştür. Malzemelerde ölçülen kovan yükseklikleri karşılaştırmalı olarak Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Numunelerde oluşan kovan yükseklikleri

Numune No	Malzeme	Delme Yöntemi	Profil Tipi	Kovan Yüksekliği (mm)
1	6063 Alüminyum	Talaşlı	Kutu profil	1,5
2	6063 Alüminyum	Sürtünmeli	Kutu profil	4,6
3	6063 Alüminyum	Talaşlı	Boru profil	1,5
4	6063 Alüminyum	Sürtünmeli	Boru profil	4,9
5	Ms58 Pirinç	Talaşlı	Kutu profil	1,5
6	Ms58 Pirinç	Sürtünmeli	Kutu profil	4,8
7	Ms58 Pirinç	Talaşlı	Boru profil	1,5
8	Ms58 Pirinç	Sürtünmeli	Boru profil	5,0
9	St37 Çelik	Talaşlı	Kutu profil	1,5
10	St37 Çelik	Sürtünmeli	Kutu profil	5,2
11	St37 Çelik	Talaşlı	Boru profil	1,5
12	St37 Çelik	Sürtünmeli	Boru profil	5,1
13	AISI 304 Paslanmaz çelik	Talaşlı	Kutu profil	1,5
14	AISI 304 Paslanmaz çelik	Sürtünmeli	Kutu profil	5,1
15	AISI 304 Paslanmaz çelik	Talaşlı	Boru profil	1,5
16	AISI 304 Paslanmaz çelik	Sürtünmeli	Boru profil	5,4

Tablo 3'de verilen kovan yükseklikleri incelendiğinde sürtünmeli delme yöntemi ile delinen tüm malzeme ve profil türlerinde oluşan kovan yüksekliği malzeme et kalınlığının üç katı civarı olduğu görülmektedir. Geleneksel talaşlı yöntem ile delinen malzemelerde ise kovan oluşmadığı için karşılaştırmalarda profil et kalınlığı (1,5 mm) baz alınmıştır. Sürtünmeli delme yöntemi ile delinen 6063 alüminyum numunelerde kovan yükseklikleri kutu ve boru profillerde sırasıyla 4,6 ve 4,9 mm, Ms58 pirinç numunelerde kovan yükseklikleri kutu ve boru profillerde sırasıyla

4,8 ve 5 mm, St37 çelik numunelerde kovan yükseklikleri kutu ve boru profillerde sırasıyla 5,2 ve 5,1 mm, AISI 304 paslanmaz çelik numunelerde kovan yükseklikleri kutu ve boru profillerde sırasıyla 5,1 ve 5,4 mm olarak ölçülmüştür.

3.2 Sıyırma kuvvetleri

Geleneksel talaşlı delme ve sürtünmeli delme yöntemi ile delinen numunelerde ölçülen cıvata sıyırma kuvvetleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Numunelerde ölçülen cıvata sıyırma kuvvetleri

Numune No	Malzeme	Delme Yöntemi	Profil Tipi	Sıyırma Kuvveti (N)
1	6063 Alüminyum	Talaşlı	Kutu profil	1708
2	6063 Alüminyum	Sürtünmeli	Kutu profil	3150
3	6063 Alüminyum	Talaşlı	Boru profil	1640
4	6063 Alüminyum	Sürtünmeli	Boru profil	3250
5	Ms58 Pirinç	Talaşlı	Kutu profil	3015
6	Ms58 Pirinç	Sürtünmeli	Kutu profil	5964
7	Ms58 Pirinç	Talaşlı	Boru profil	2629
8	Ms58 Pirinç	Sürtünmeli	Boru profil	5892
9	St37 Çelik	Talaşlı	Kutu profil	4275
10	St37 Çelik	Sürtünmeli	Kutu profil	7623
11	St37 Çelik	Talaşlı	Boru profil	3563
12	St37 Çelik	Sürtünmeli	Boru profil	6527
13	AISI 304 Paslanmaz çelik	Talaşlı	Kutu profil	4658
14	AISI 304 Paslanmaz çelik	Sürtünmeli	Kutu profil	8405
15	AISI 304 Paslanmaz çelik	Talaşlı	Boru profil	4001
16	AISI 304 Paslanmaz çelik	Sürtünmeli	Boru profil	8872

6063 alüminyum malzemeden talaşlı yöntemle delinen kutu ve boru profillerde sıyırma kuvvetleri sırasıyla 1708 N ve 1640 N, sürtünmeli yöntemle delinen kutu ve boru profillerde sıyırma kuvvetleri sırasıyla 3150 N ve 3250 N olarak ölçülmüştür. Ms58 pirinç malzemeden talaşlı yöntemle delinen kutu ve boru profillerde sıyırma kuvvetleri sırasıyla 3015 N ve 2629 N, sürtünmeli yöntemle delinen kutu ve boru profillerde sıyırma kuvvetleri sırasıyla 5964 N ve 5892 N olarak ölçülmüştür. St37 çelik malzemeden talaşlı yöntemle delinen kutu ve boru profillerde sıyırma kuvvetleri sırasıyla 4275 N ve 3563 N, sürtünmeli yöntemle delinen kutu ve boru profillerde sıyırma kuvvetleri sırasıyla 7623 N ve 6527 N olarak ölçülmüştür. AISI 304 paslanmaz çelik malzemeden talaşlı yöntemle delinen kutu ve boru profillerde sıyırma kuvvetleri sırasıyla 4658 N ve 4001 N, sürtünmeli yöntemle delinen kutu ve boru profillerde sıyırma kuvvetleri sırasıyla 8405 N ve 8872 N olarak ölçülmüştür.

4 SONUÇLAR

İnce cidarlı malzemelerde cıvatalı bağlantıların mukavemetini artırmak için geleneksel talaşlı yöntem yerine sürtünmeli delik delme yönteminin önerildiği bu deneysel çalışmada elde edilen genel sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

- Uygulama için özel makine ve ekipmanlara gerek duyulmamaktadır. Geleneksel talaşlı imalatlarda kullanılan CNC tezgahlarında kolaylıkla uygulanabilmektedir.
- Sürtünmeli delme işlemi, kesme sıvısı kullanmadan ve talaş kaldırmadan yapıldığı için çevre kirliliği oluşmamaktadır.
- Sürtünmeli delme yöntemi çelik, paslanmaz çelik, pirinç ve alüminyum alaşımları gibi birçok malzeme türünde başarılı bir şekilde uygulanabilmektedir.
- Yöntem alüminyum ve pirinç gibi gevrek malzemelere uygulandığında, kovan geometrisinde taç yaprağı şeklinde istenmeyen yırtılmalar oluşabilmektedir. Bu nedenle bu malzemelerde kovan yükseklikleri çelik malzemelere göre daha düşük olmuştur.

- Sürtünmeli delme yöntemi ile delinen numunelerde delik bölgesinde malzeme et kalınlığının yaklaşık üç katı uzunluğunda kovan yapısı oluşmuştur.
- Sürtünmeli delme yöntemi ile delinen numuneler kovan yükseklikleri açısından karşılaştırıldığında en yüksek kovan ölçüsü AISI 304 boru profil numunelerde 5,4 mm olarak ölçülmüştür. En düşük kovan yüksekliği ise 6063 alüminyum kutu profil numunelerde 4,6 mm olarak ölçülmüştür.
- Sürtünmeli delme yönteminde deliğin alt yüzeyinde oluşan kovandan dolayı talaşlı delme yöntemi ile elde edilen deliklere göre daha yüksek sıyırma kuvvetleri elde edilmiştir.
- Numunelerde profil yapısının kare veya boru olmasının kovan yapısına, kovan yüksekliğine ve sıyırma kuvvetine çok fazla etkisinin olmadığı gözlenmiştir.
- Geleneksel talaşlı delme ve sürtünmeli delme yöntemleri sıyırma kuvvetleri açısından karşılaştırıldığında en fazla artışın Ms58 pirinç boru profil numunelerde %124 oranında olduğu hesaplanmıştır. En az artışın ise St37 çelik kutu profil numunelerde %78 oranında olduğu hesaplanmıştır.

Yazar Katkıları

Abdullah FEYZULLAH: Kavramlaştırma, Metodoloji, Veri analizi, Araştırma, Materyaller / Kaynaklar, Yazım - Özgün Taslak, Görselleştirme

Osman Hamdi METE: Kavramlaştırma, Metodoloji, Yazılım, Doğrulama, Veri analizi, Yazım - Değerlendirme & Düzenleme

Yazarlar makalenin son halini okuyup onaylamışlardır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynakça

- [1] A. Eliseev ve E. Kolubaev, “Friction drilling: a review”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, c. 116, sy 5-6, ss. 1391-1409, Eyl. 2021, doi: 10.1007/s00170-021-07544-y.
- [2] R. Stryczek ve P. Błazczak, “Optimal feed rate control strategies for friction drilling”, *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, c. 18, sy 4, ss. 545-564, 2020, doi: 10.22190/FUME200510021S.
- [3] S. F. Miller, J. Tao, ve A. J. Shih, “Friction drilling of cast metals”, *Int J Mach Tools Manuf*, c. 46, sy 12-13, ss. 1526-1535, Eki. 2006, doi: 10.1016/j.ijmachtools.2005.09.003.
- [4] İ. Karaağaç ve M. Y. Demirel, “Sürtünmeli Delik Delme Prosesi ve Prosesin Başlıca Uygulamaları”, *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 4, sy 2, ss. 234-248, May. 2017, doi: 10.31202/ecjse.292088.
- [5] S. El-Bahloul, H. El-Shourbagy, M. Al-Makky, ve T. El-Midany, “Thermal Friction Drilling: (A Review)”, *International Conference on Aerospace Sciences and Aviation Technology*, c. 15, sy AEROSPACE SCIENCES, ss. 1-15, May. 2013, doi: 10.21608/asat.2013.22057.
- [6] R. Kumar ve N. R. Jesudoss Hynes, “Thermal drilling processing on sheet metals: A review”, 01 Eylül 2019, *KeAi Publishing Communications Ltd*. doi: 10.1016/j.jlmm.2019.08.003.
- [7] M. Aka ve O. Erdem, “Friction drilling method and its application areas sürtünmeli delme yöntemi ve uygulama alanları”, içinde *International Conference on Materials Science, Mechanical and Automotive Engineerings and Technology (IMSMATEC'21)*, May. 2020. Erişim: 29 Ekim 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.researchgate.net/publication/358228793>
- [8] M. T. Kaya, A. Aktas, B. Beylergil, ve H. K. Akyildiz, “An experimental study on friction drilling of st12 steel”, *Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering*, c. 38, sy 3, 2014.
- [9] M. Boopathi, S. Shankar, S. Manikandakumar, ve R. Ramesh, “Experimental investigation of friction drilling on brass, aluminium and stainless steel”, içinde *Procedia Engineering*, Elsevier Ltd, 2013, ss. 1219-1226. doi: 10.1016/j.proeng.2013.09.201.
- [10] S. M. Lee, H. M. Chow, F. Y. Huang, ve B. H. Yan, “Friction drilling of austenitic stainless steel by uncoated and PVD AlCrN- and TiAlN-coated tungsten carbide tools”, *Int J Mach Tools Manuf*, c. 49, sy 1, ss. 81-88, Oca. 2009, doi: 10.1016/j.ijmachtools.2008.07.012.
- [11] C. Özek ve Demir Zülküf, “A7075-T651 alaşımının sürtünmeli delinmesinde kovan yüksekliğinin malzeme kalınlığına göre araştırılması”, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, c. 4, sy 2, ss. 61-67, 2013.

- [12] S. Dehghan, M. I. S. Ismail, M. K. A. Ariffin, ve B. T. H. T. Baharudin, “Experimental investigation on friction drilling of titanium alloy”, *Engineering Solid Mechanics*, c. 6, sy 2, ss. 135-142, 2018, doi: 10.5267/j.esm.2018.2.002.
- [13] W. L. Ku, C. L. Hung, S. M. Lee, ve H. M. Chow, “Optimization in thermal friction drilling for SUS 304 stainless steel”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, c. 53, sy 9-12, ss. 935-944, Nis. 2011, doi: 10.1007/s00170-010-2899-5.
- [14] N. Doğru, “AISI 1010 çelik malzemenin sürtünmeli delme yöntemiyle delinmesinde delme karakteristiklerinin araştırılması”, Yüksek lisans tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [15] M. S. Tunalioglu ve M. Keser, “Experimental Investigation of Flow Drilling and Flow Tapping of Thin-Walled Square and Circular Hollow Sections”, *International Journal of Automotive Science and Technology*, c. 8, sy 2, ss. 188-200, 2024, doi: 10.30939/ijastech..1453441.
- [16] “Malzeme Kütüphanesi, Xometry Pro”. Erişim: 29 Ekim 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://xometry.pro/tr/malzemeler/>