

## St 37 ÇELİĞİNİN SÜRTÜNMELİ DELİNMESİNDE OPTİMUM DÖNME HIZI VE İLERLEME ORANININ ARAŞTIRILMASI

**Cebeli ÖZEK<sup>1</sup>, Zülküf DEMİR<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>[cozek@firat.edu.tr](mailto:cozek@firat.edu.tr) Fırat Üniversitesi, 23190 Elazığ

<sup>2</sup>[zulkuuff75@gmail.com](mailto:zulkuuff75@gmail.com) Fırat Üniversitesi, 23190 Elazığ

### ÖZET

Geleneksel olmayan delik delme işlemlerinden bir tanesi olan sürtünmeli delme işlemi, geleneksel olmayan, sürtünme sonucu oluşan ısı etkisi delik işleme yöntemidir. 800 d/d, 1200 d/d 1600 d/d, 2000 d/d, 2400 d/d, 2800d/d, 3200 d/d ve 3600 d/d dönme hızları, 20 mm/dak, 40 mm/dak, 60 mm/dak, 80 mm/dak ve 100 mm/dak ilerleme oranları kullanılmıştır. Kesit kalınlığı 4mm olan St 37 malzemelere, koniklik açısı  $36^{\circ}$   $h_1=16$ mm olan tungsten karbür (WC) takımlarla 10mm çapında delikler işlenmiştir. Çalışmada, yüzey pürüzlülüğü, kovan yüksekliği, kovan çeper kalınlığı parametrelerine göre en uygun dönme hızı ve ilerleme oranı araştırılmıştır. Çalışmanın sonunda düşük ilerleme oranları için düşük dönme hızları, yüksek dönme hızları için ise yüksek ilerleme oranlarının uygun olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sürtünmeli Delme, Dönme Hızı, İlerleme Oranı

### ABSTRACT

Friction drilling process, which is a non-traditional hole making is a no-chip drilling process was formed by thermal friction. In this study, the selected spindle speeds were 800 rpm, 1200 rpm, 1600 rpm, 2000 rpm, 2400 rpm, 2800 rpm, 3200 rpm, and 3600 rpm feed rates were 20mm/min, 40mm/min, 60mm/min, 80mm/min, and 100mm/min and tool material was tungsten carbide tool with  $36^{\circ}$  conical angle and 16 mm, tool cylindrical region lengths. The specimen was St 37 steel alloys with thickness of 4 mm. It was analysed the optimum spindle speed and feed rate pairs in friction drilling of St 37 steel alloy. At result it was investigated that for smaller spindle speeds small feed rates and for high spindle speeds high feed rates were optimum according to surface roughness, bushing height and bushing section thickness criteria.

**Keywords:** Friction drilling, Spindle Speed, Feed Rate

## 1. GİRİŞ

Sürtünmeli delme, konik bir takım ile iş parçasının temas bölgesinde sürtünme sonucu oluşan ısının etkisiyle yumuşamış iş parçasına konik takımın dalması ve deliğin işlenmesi şeklinde meydana gelen, talaşsız, temiz ve geleneksel olmayan, form delme, akıcı delme ve sürtünmeli karıştırmalı delme olarak da adlandırılan, geleneksel olmayan bir delik işleme yöntemidir. Bu imalat yönteminin amacı, ince cidarlı malzemelerde işlem sonunda oluşan kovan ile bağlantı uzunluğunun artırılmasıdır. İşlemden, sürtünme etkisi ile iş parçasının sıcaklığı yükselir ve iş parçası yumuşar, yumuşamış iş parçasına takım dalar ve delik oluşur. Malzemeye dalan takım yumuşamış malzemeyi ilerleme doğrultusunda iterek deliğin alt kısmında, bağlantı uzunluğunu arttıran kovani oluşturur.

Malzemenin bir kısmı yukarıya akarken diğer bir kısmı da, takımın dönme hızı ve ilerleme hareketinin etkisi ile çevreye yayılır [1-4].

Sürtünmeli delme işleminde en etkili olan parametreler dönme hızı, ilerleme oranı ve takım koniklik açılarıdır. Dönme hızı ve takım koniklik açısı, takım – iş parçası temas alanında meydana gelen sıcaklık miktarını etkileyen en önemli parametrelerdir. Dönme hızının artışı ve koniklik açısının azalması ile bölgede oluşan sıcaklık miktarı artar. İlerleme miktarı ise işlemin tamamlama sürecini etkileyen parametre olup ilerleme oranının artışı ile işlem süresi kısalmıştır [4-12].

Sürtünmeli delme işleminde dönme hızı, ısı oluşumu ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkili parametredir. Dönme hızının artışı ile gerekli olan enerji miktarı azalır, takım-iş parçası yüzey temas bölgesine ısı girişi ve iş parçasının sıcaklığı artar. Dönme hızının değişmesi ile oluşan kovanın biçiminde bir değişiklik olmazken, dönme hızının yükselmesi ile oluşan kovanın taç yaprağı biçiminde meydana gelme olasılığı ile kovanda meydana gelen çatlak ve yarık miktarı artar. Dönme hızının artması ile itme kuvveti, dönme momenti, yüzey pürüzlülüğünün değeri ( $R_a$ ) azalır. Dönme hızının çok yüksek olması durumunda, akan malzeme delik yüzeylerine yapışır ve yüzey kalitesini düşürür. Sürtünmeli delme işleminde iş parçasının kalınlığına ve delinecek delik çapına bağlı olarak uygun seçilmiş dönme hızı, takım ömrünü uzatır [4-6, 10]. İşlem sırasında meydana gelen

maksimum ısı miktarı yaklaşık olarak, iş parçası malzemesinin ergime sıcaklığının  $\frac{1}{3} - \frac{2}{3}$  arasında

olmaktadır. Malzeme kalınlığının delik çapına ( $\frac{t}{d}$ ) oranı, oluşan kovanın biçimi ve yüksekliği için önemli bir parametredir. Bu oranın artmasıyla kovan oluşumunu sağlayan malzeme miktarı artar [4].

İlerleme oranının artışıyla itme kuvveti, gerekli olan güç miktarı ve dönme momenti artar. İtme kuvvetinin ve dönme momentinin hızlı bir şekilde artması, pratik olarak ilerleme oranının yüksek olduğunun göstergesidir. Takımın iş parçasına dalma zamanı ilerleme oranına bağlıdır. Sürtünmeli delme işleminde harcanan enerji miktarı, ilerleme oranından bağımsızdır. Yüksek ilerleme oranlarında, takım-iş parçası yüzey temas alanındaki ısı oluşumu azalır, iş parçası yeterince yumuşamaz, akan malzeme deliğin yüzeyine yapışır ve yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ) artar. İlerleme oranının çok düşük olması durumunda yüzey temas alanında meydana gelen ısı miktarı artar, sürtünmeli delme işleminin süresi uzar ve işlenen deliğin yüzeyinde farklı soğuma bölgeleri meydana gelir. Deliğin giriş kısmına yakın yüzeyinin alt kısımları daha hızlı soğuduğundan takım iş parçasına yapışır ve yüzey kalitesi düşer [4, 5, 10, 11].

Bu çalışmada, literatür çalışmalarından farklı olarak St 37 çelik alaşımının tungsten karbür (WC) takım ile sürtünmeli delme işleminde yüzey pürüzlülüğü, kovan yüksekliği, kovan biçimi ve kovan çeper kalınlığı kriterlerine göre en uygun dönme hızı ve ilerleme oranı çifti araştırılmıştır.

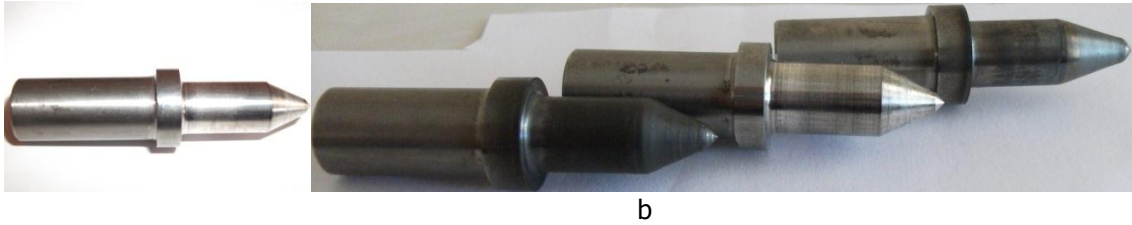
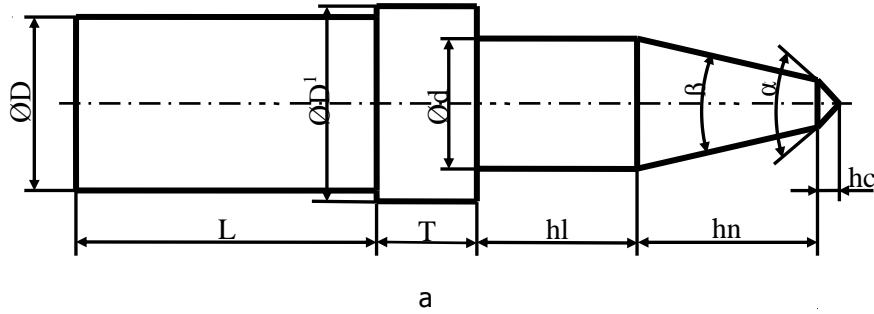
## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA VE DENEY DÜZENEGİ

Deneyler, HESSAP True – Trace C – 360/3D 1095 Model Kopya Freze tezgâhında yapılmıştır. 2400 800 d/d, 1200 d/d 1600 d/d, 2000 d/d, 2400 d/d, 2800d/d, 3200 d/d ve 3600 d/d dönme hızları, 20 mm/dak, 40 mm/dak, 60 mm/dak, 80 mm/dak ve 100 mm/dak ilerleme oranları seçilmiştir. Koniklik açısı  $36^\circ$  silindirik bölgenin uzunluğu  $h_1=16$  mm olan tungsten karbür (WC) takımlarla (Şekil 1), kesit kalınlığı 4mm olan St 37 çelik malzemeye, 10mm çapında delikler delinmiştir.



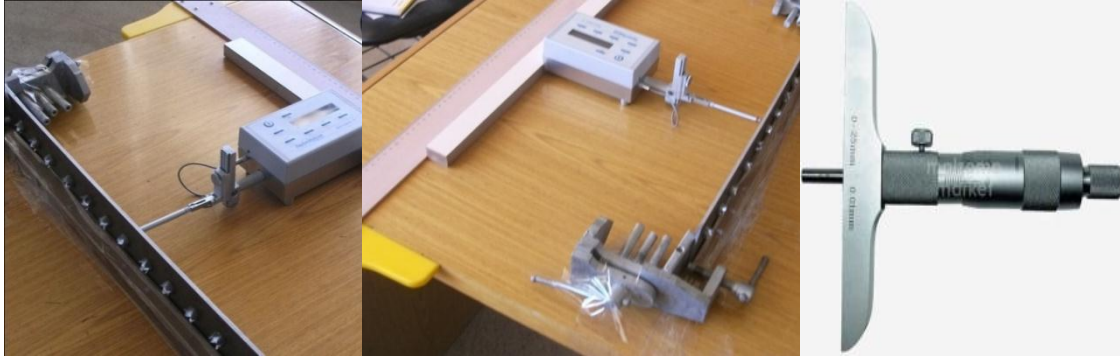
Şekil 1. Deney Düzeneği

70x500mm ebatlarında hazırlanmış iş parçası numuneleri, hazırlanmış özel bağlama aparatı (Şekil 2) ile tezgâhın tablasına rijit bir şekilde bağlanmıştır. Tezgâhın malafa miline bağlanmış tungsten karbür (WC) takımlarla, St 37 çelik alaşımı plakalarına sürtünmeli delme yöntemiyle delikler işlenmiştir İşlem sırasında, iş parçası malzemesinin sıcaklığı oda sıcaklığında olmuştur. Her delik işlendikten sonra iş parçası malzemesinin sıcaklığının oda sıcaklığına düşmesi için beklenmiştir.



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

Deliklerin yüzey pürüzlülük değerleri, Taylor Hobson Surtronik 3+ marka cihaz ile 0.25mm mesafede, kovan yüksekliği ise derinlik mikrometresi ile ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü ölçme düzeneği Şekil 3a'da ve derinlik mikrometresi ise Şekil 3b'de gösterilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü değerleri  $\mu\text{m}$  birimi, kovan yüksekliği ise mm birimi cinsinden ölçülmüştür.



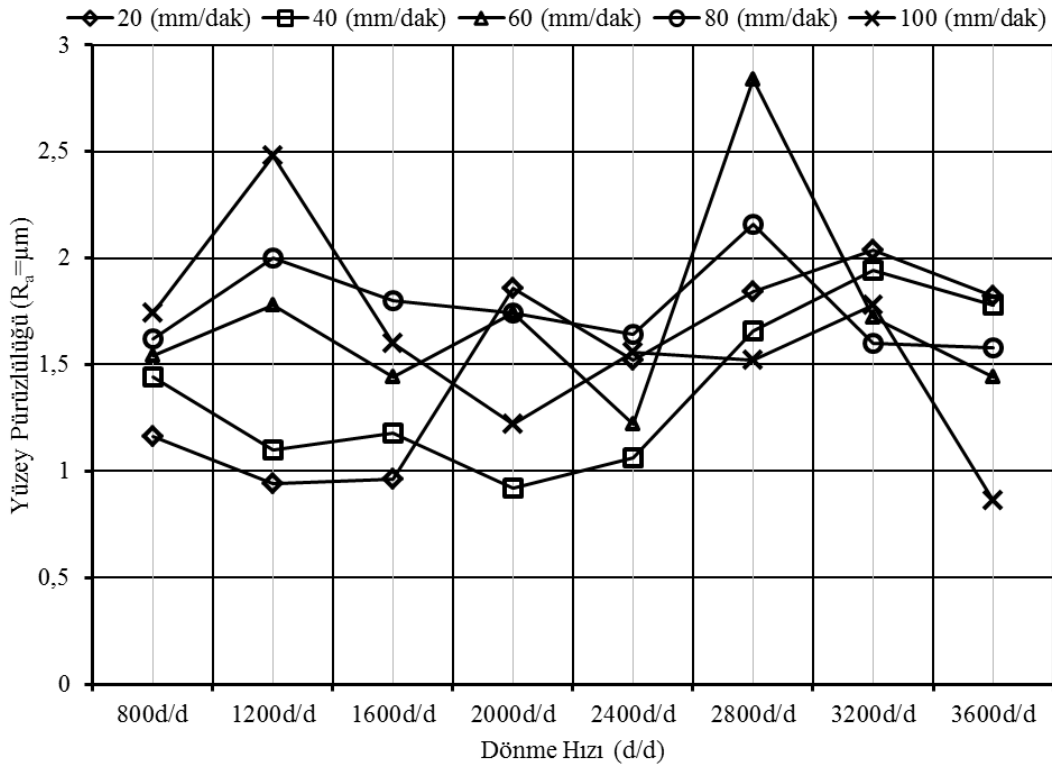
a b  
Şekil 3. Yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı ve düzeneği

### 3. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

DeneySEL çalışmada, St 37 çelik malzemenin sürtünmeli delme işleminde yüzey pürüzlülüğü, kovan yüksekliği, kovan çerper kalınlığı ve kovan biçimi kriterlerine göre en uygun dönme hızı ve ilerleme oranı çifti araştırılmıştır.

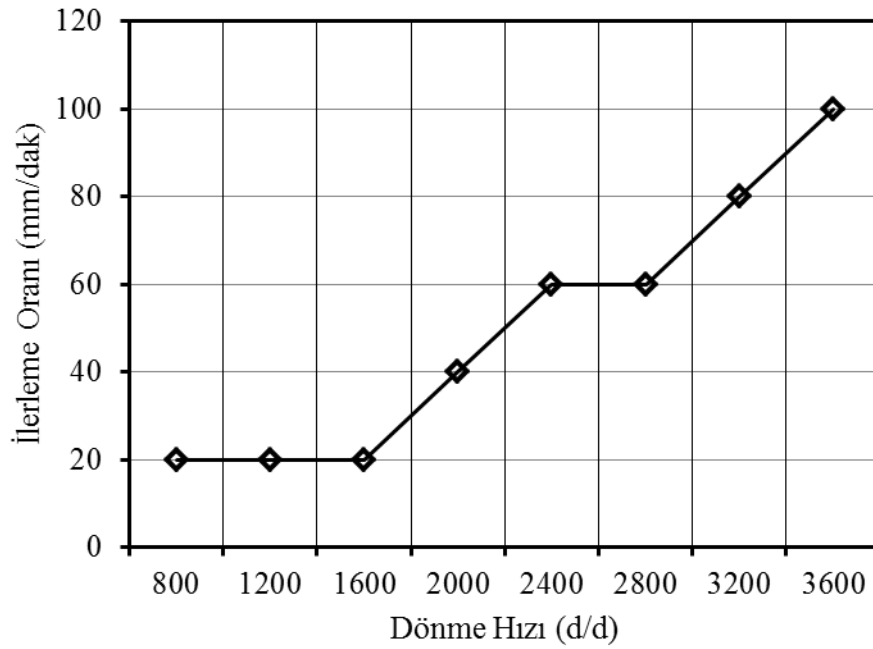
#### 3.1 Yüzey Pürüzlülüğü Göre En Uygun İlerleme Oranı ve Dönme Hızı

St 37 çelik alaşımının tungsten karbür takımla sürtünmeli delme işleminde yüzey pürüzlülüğüne göre en uygun dönme hızı ve ilerleme oranı Şekil 4'teki grafikte gösterilmiştir. Sürtünmeli delme işleminde dönme hızının artışı ile ısı miktarı artarken ilerleme oranının artışı ile de ısı miktarı azalmıştır. İşlem, ısı etkisiyle malzemenin akabilecek düzeyde yumuşaması esasına dayanan bir delme işlemi olduğundan dönme hızı ve ilerleme oranı çifti, işlem sırasında oluşan ısı miktarını etkileyen en önemli parametre olduğundan dolayı takım ve iş parçası malzemesinin ısı iletkenlik katsayıları önemli rol oynamıştır. Tungsten karbür (WC) takımın ısı iletkenlik katsayısı 84 w/m-K, St 37 çelik malzemenin ısı iletkenlik katsayısı ise 76 w/m-K dır. En düşük yüzey pürüzlülüğü kriterine göre 20 mm/dak ilerleme oranı için en uygun dönme hızının < 1600 d/d, 40 mm/dak ilerleme oranı için en uygun dönme hızının 2000 d/d, 60mm/dak ilerleme oranı için en uygun dönme hızının 2400 d/d, 80mm/dak ilerleme oranı için en uygun dönme hızının 3200 d/d ve 100 mm/dak ilerleme oranı için en uygun dönme hızının 3600 d/d olduğu görülmüştür. St 37 çelik alaşımının tungsten karbür takımla sürtünmeli delme işleminde daha kaliteli yüzey elde etmek ve en düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri için uygun dönme hızı ve ilerleme oranları seçilmelidir. Sürtünmeli delme işlemi ısı etkisiyle malzemenin yumuşaması ve akması esasına dayandığından takım-iş parçası yüzey temas alanında meydana gelen ısı miktarı seçilmiş dönme hızı ve ilerleme oranı tarafından etkilenmiştir. Düşük ilerleme oranları için düşük dönme hızları ve yüksek ilerleme oranları için ise yüksek dönme hızları seçilmelidir.



Şekil 4. Yüzey pürüzlülüğüne göre en uygun dönme hızı ve ilerleme oranı

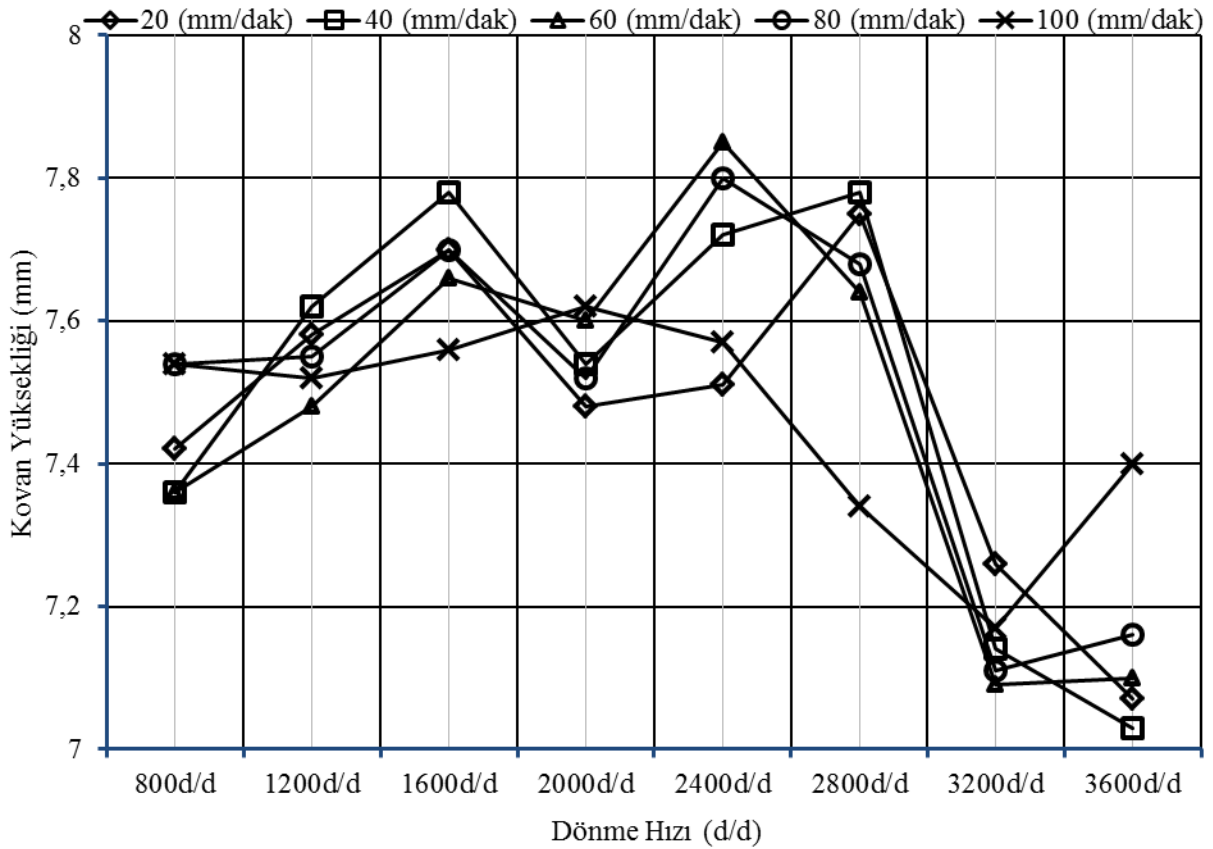
DeneySEL çalışmanın sonucunda elde edilen yüzey Pürüzlülüğü değerlerine göre en uygun dönme hızı ve ilerleme oranı çifti Şekil 5'teki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 5. Dönme Hızı ve ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

### 3.2 Kovan Yüksekliğine Göre En Uygun İlerleme Oranı ve Dönme Hızı

İlerleme oranının artışı sürtünmeli delme işleminde deformasyonun etkisi artmış ve akan malzeme radyal doğrultuda deliğin çevresine yayıldığından kovan yüksekliği azalmıştır. Yüksek dönme hızlarında meydana gelen dönme momentinin etkisi ile malzeme radyal doğrultuda yayıldığından kovan yüksekliği azalmış, düşük dönme hızlarında ise elde edilen kovan yüksekliği değerleri daha fazla olmuştur. Dönme hızının artışı ile ergime sıcaklığı artmış ve malzeme yeterince yumuşamıştır. Fakat yumuşamış malzeme, yüksek dönme hızlarında dönme momentinin etkisi ile deliğin çevresine doğru akmış, kovan yüksekliği azalmıştır. Daha büyük kovan yüksekliği değerlerine göre en uygun dönme hızı ve ilerleme oranı Şekil 6'daki grafikte gösterilmiştir. En uygun dönme hızı ve ilerleme oranı, büyük kovan yüksekliği değerlerine göre belirlenmiştir. En büyük kovan yüksekliği kriterine göre tüm ilerleme oranları için  $\leq 2800$  d/d dönme hızlarında daha büyük kovan yüksekliği değerleri elde edilirken 3200 d/d ve 3600 d/d dönme hızlarında ise artan dönme momentinin etkisiyle malzemenin çevreye yayılma oranı artmış ve kovan yüksekliği azalmıştır. En büyük kovan yüksekliği değerleri düşük dönme hızlarında elde edilmiştir. İlerleme oranının kovan yüksekliğine etkisi dönme hızına göre daha az olmuştur.

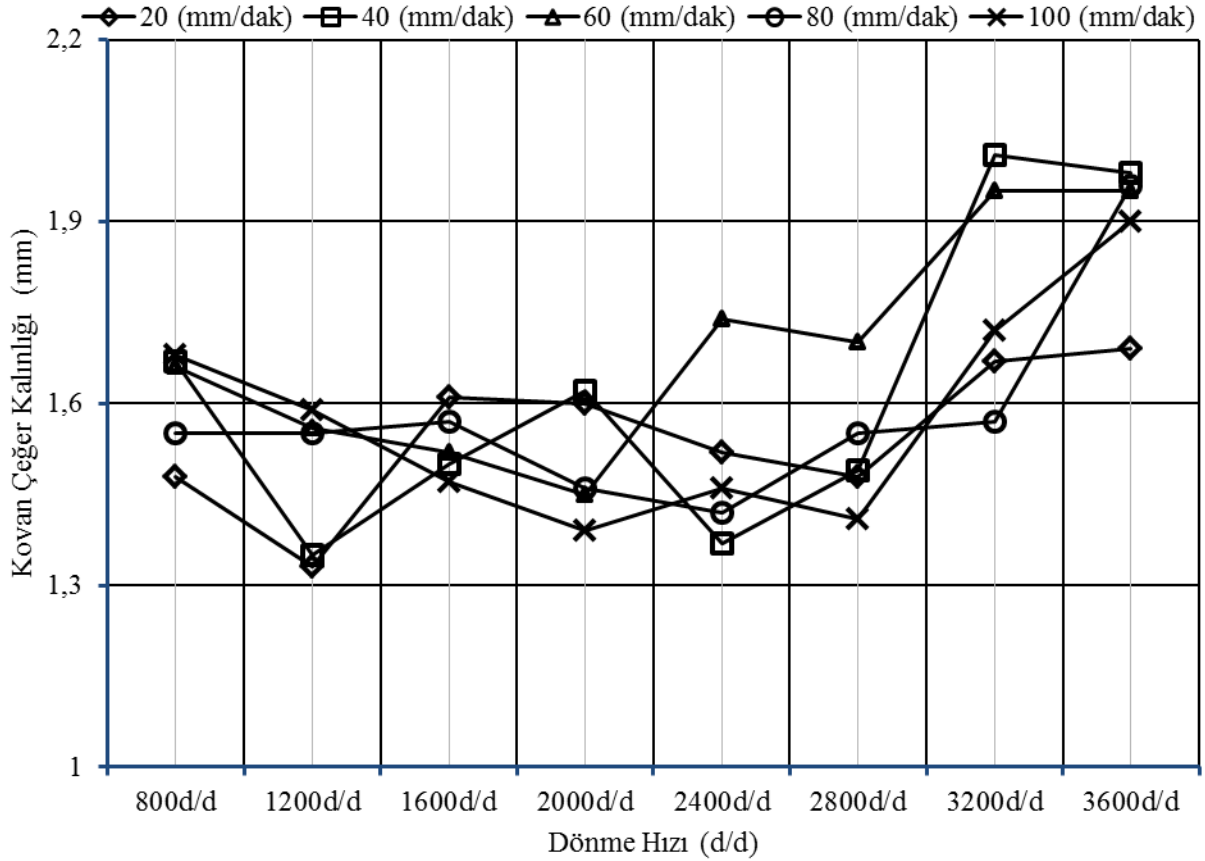


Şekil 6. Kovan yüksekliğine göre en uygun dönme hızı ve ilerleme oranı

### 3.3 Kovan Çeper Kalınlığına Göre En Uygun İlerleme Oranı ve Dönme Hızı

İlerleme oranının artışı sürtünmeli delme işleminde deformasyonun etkisi artmış ve akan malzeme radyal doğrultuda deliğin çevresine yayıldığından kovan çeper kalınlığı artmıştır. Yüksek dönme hızlarında meydana gelen dönme momentinin etkisi ile malzeme radyal doğrultuda yayıldığından kovanın çeper kalınlığı artmış, düşük dönme hızlarında ise elde edilen kovan çeper kalınlığı değerleri daha az olmuştur. Dönme hızının artışı ile ergime sıcaklığı artmış ve malzeme yeterince













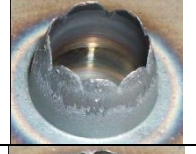


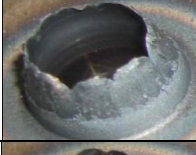









yumuşamıştır. Fakat yumuşamış malzeme, yüksek dönme hızlarında dönme momentinin etkisi ile deliğin çevresine doğru akmış, kovanın çeper kalınlığı artmıştır. Daha yüksek kovan çeper kalınlığı değerlerine göre en uygun dönme hızı ve ilerleme oranı Şekil 7'deki grafikte gösterilmiştir. En uygun dönme hızı ve ilerleme oranı, büyük kovan çeper kalınlığı değerlerine göre belirlenmiştir. En büyük kovan çeper kalınlığı kriterine göre tüm ilerleme oranları için >2800 d/d dönme hızlarında daha büyük kovan çeper kalınlığı elde edilirken <2800 d/d dönme hızlarında ise azalan dönme momentinin etkisiyle malzemenin çevreye yayılma oranı ve kovan çeper kalınlığı azalmıştır. En yüksek kovan çeper kalınlığı değerleri yüksek dönme hızlarında elde edilmiştir. İlerleme oranının kovan çeper kalınlığına etkisi dönme hızına göre daha az olmuştur.



Şekil 7. Kovan çeper kalınlığına göre en uygun dönme hızı ve ilerleme oranı

### 3.4 Delme Yönteminin Yüzey pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisi

Şekil 8'de St 37 çelik alaşımının tungsten karbür takım ile sürtümlü delme işleminde meydana gelen kovan biçimlerinin fotoğrafları gösterilmiştir. St 37 çelik alaşımı sünek malzeme olduğundan dolayı kovan biçimi, düzgün, silindirik, çatlak ve yarıkların az olduğu, bağlantı uzunluğunu artıracak şekilde meydana gelmiştir. Dönme hızının artışı ile dönme momenti artmıştır. Dönme momentinin etkisiyle yumuşamış ve akmış malzeme radyal doğrultuda ve çevreye yayılmış malzemenin miktarı artmıştır. Kovan oluşumunu sağlayan malzeme miktarı ise azaldığından meydana gelen kovanda çatlak ve yarıkların oluşumu artmıştır. St 37 çelik alaşımı sünek malzeme olduğundan dönme hızı ve ilerleme oranının değişimiyle kovan biçiminde fazla bir değişim meydana gelmemiştir. Fakat düşük dönme hızları ve ilerleme oranlarında, işlem ısısının yetersiz olması ve malzemenin yeterli miktarda ısınmamış, yumuşamamış ve akmamış olmasından dolayı kovandaki çatlak miktarı daha fazla olmuştur.

	20mm/dak	40mm/dak	60mm/dak	80mm/dak	100mm/dak
800d/d					
1200d/d					
2000d/d					
2800d/d					
3600d/d					

Şekil 8. St 37 çelik alaşımının sürtümlü delme işleminde meydana gelen kovan biçimlerinin fotoğrafları

#### 4. GENEL DEĞERLENDİRME

Sürtümlü delme işleminde, yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametre, takım – iş parçası yüzey temas alanında meydana gelen ısı etkisiyle iş parçası malzemesinin yeterince yumuşaması, akması ve işlemde deformasyon etkisinin azalmasıdır. İşlem sıcaklığını etkileyen en önemli parametreler ise dönme hızı ve ilerleme oranı çiftidir.

En düşük yüzey pürüzlülüğü kriterine göre 20mm/dak ilerleme oranı için en uygun dönme hızının < 1600 d/d, 40mm/dak ilerleme oranı için en uygun dönme hızının 2000 d/d, 60mm/dak ilerleme oranı için en uygun dönme hızının 2400d/d, 80mm/dak ilerleme oranı için en uygun dönme hızının 3200 d/d ve 100 mm/dak ilerleme oranı için en uygun dönme hızının 3600 d/d olduğu görülmüştür. En büyük kovan yüksekliği kriterine göre tüm ilerleme oranları için ≤2800 d/d dönme hızlarında daha büyük kovan yüksekliği değerleri elde edilirken 3200 d/d ve 3600 d/d dönme hızlarında ise artan dönme momentinin etkisiyle malzemenin çevreye yayılma oranı artmış ve kovan yüksekliği azalmıştır.

En büyük kovan çeper kalınlığı kriterine göre tüm ilerleme oranları için >2800d/d dönme hızlarında daha büyük kovan çeper kalınlığı elde edilirken <2800 d/d dönme hızlarında ise azalan dönme momentinin etkisiyle malzemenin çevreye yayılma oranı ve kovan çeper kalınlığı azalmıştır.

St 37 çelik alaşımı sünek malzeme olduğundan dönme hızı ve ilerleme oranının değişimiyle kovan biçiminde fazla bir değişme meydana gelmemiştir. Fakat düşük dönme hızları ve ilerleme oranlarında, kovandaki çatlak miktarı daha fazla olmuştur.



## 5. KAYNAKLAR

- [1] VAN GEFFEN, J. A., 1976, **Piercing Tools**, US Patent 3.939.683.
- [2] VAN GEFFEN, J. A., 1979, **Methods and Apparatuses for Forming by Frictional Heat And Pressure Holes Surrounded Each by a Boss in a Metal Plate Or the Wall of a Metal Tube**, US Patent 4. 175. 413.
- [3] VAN GEFFEN, J. A., 1980, **Rotatable Piercing Tools for Forming Bossed Holes**, US Patent 4.185.486.
- [4] MILLER, S. F., TAO, J., SHIH, A. J., 2006, Friction Drilling of Cast Metals, **International Journal of machine Tool and Manufacture**, 46 1526 – 1535.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] GOPAL KRICHNA, P. V., KISHORE, K., AND SATYANARAYANA, V. V., 2010, Some Investigations in Friction Drilling AA6351 Using High Speed Steel Tools, **ARPV Journal Engineering and Applied Sciences**, 5, 1819–6608.
- [8] DOĞRU, N., 2010, AISI 1010 Çelik Malzemenin Sürtünmeli Delme Yöntemiyle Delinmesinde İşleme Karakteristiklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [9] MILLER, S. F., BLAU, P., SHIH, A. J., 2005, Microstructural Alterations Associated with Friction Drilling of Steel, Aluminum and Titanium, **Journal of Materials Engineering and Performance**, 14, 647–653.
- [10] LEE, S. M. CHOW, H. M., AND YAN, B. H., 2007, Friction drilling of IN – 713LC cast superalloy, **Materials and manufacturing Process** , 22, 893-897.
- [11] MILLER, S. F. WANG, H., AND SHIH, A. J., 2006, Experimental and Numerical Analysis of the Friction Drilling Process, **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, 128, 802–810.
- [12] 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.