

**AISI 1010 ÇELİK MALZEMENİN SÜRTÜNMELİ
DELMEYÖNTEMİYLE DELİNMESİNDE DELME
KARAKTERİSTİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mak. Müh. Nülfifer DOĞRU

**Yüksek Lisan Tezi
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Latif ÖZLER
EKİM-2010**

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AISI 1010 ÇELİK MALZEMENİN SÜRTÜNMELİ DELME YÖNTEMİYLE
DELİNMESİNDE DELME KARAKTERİSTİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nülfir DOĞRU

07220101

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Latif ÖZLER

EKİM- 2010

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AISI 1010 ÇELİK MALZEMENİN SÜRTÜNMELİ DELME YÖNTEMİYLE
DELİNMESİNDE DELME KARAKTERİSTİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nülifer DOĞRU

07220101

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 02 Eylül 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 01 Ekim 2010

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Latif ÖZLER (F.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç.Dr.Niyazi ÖZDEMİR(F.Ü.)

Doç.Dr.Nihat TOSUN(F.Ü.)

EYLÜL-2010

ÖNSÖZ

Özverili bir çalışma sonucunda ortaya çıkan bu tezin hazırlanmasında; değerli bilgisini, tecrübelerini, zamanını esirgemeyen ve çokça desteğini gördüğüm, çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Yrd. Doç. Dr. Latif ÖZLER'E, yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Nihat TOSUN hocama teşekkür ederim. Ayrıca çalışmalarımda bana desteğini esirgemeyen eşim Akın DOĞRU'ya, çocuklarıma ve Makina Mühendisliği Atölye personeline yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Maddi desteklerinden dolayı, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP-1833) Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

Nülifer DOĞRU

ELAZIĞ – 2010

İÇİNDEKİLER TABLOSU

	Sayfa No
ÖZET	III
ABSTRACT	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	V
TABLolar LİSTESİ.....	VII
SEMBOLLER LİSTESİ	VIII
1. GİRİŞ	1
2. SÜRTÜNMELİ DELME YÖNTEMİ.....	5
2.1. Sürtünmeli Delme Yönteminin Aşamaları	7
2.1.1. Başlangıç Aşaması	7
2.1.2. Akma Aşaması	8
2.1.3. Şekillendirme Aşaması	9
2.2. Takım Geometrileri	9
2.3. Uzun Tip Sürtünmeli Delme Matkapları	9
2.4. Kısa Tip Sürtünmeli Delme Matkapları	10
2.5. Düz Boyunlu Sürtünmeli Delme Matkabı	11
2.6. Kesici Boyunlu Sürtünmeli Delme Matkabı	11
2.7. Kesici Ağızlı Sürtünmeli Delme Matkapları	12
2.8. Sürtünmeli Delme Matkabının Seçimi	12
2.9. Delme Parametreleri	13
2.9.1. Eksenel Kuvvet	13
2.9.2. Takım İlerlemesi	15
2.9.3. Sürtünme Açısı	15
2.9.4. Devir Sayısı	16
2.9.5. Tahrik Gücü P (kW)	17
2.9.6. Sürtünme Temas Yüzey Alanı Oranı	17
2.9.7. Malzeme Kalınlığı	18
2.10. Sıvama Klavuzları (Flowtap) İle Dış Açma	18
2.11. Sürtünmeli Delme Matkap Ucunun Yağlanması	19
2.12. Sıvama Kılavuzunun Yağlaması	20
2.13. Sürtünmeli Delme Matkabının Ömrünü Etkileyen Faktörler	20

2.14.	Sürtünmeli Delme Yönteminin Avantajları	21
2.15.	Sürtünmeli Delmenin Uygulama Alanları.....	22
3.	MATERYAL VE METOT	26
3.1.	Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri	28
3.2.	Sıcaklık Ölçümü	29
4.	DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	30
4.1.	Delme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkileri	32
4.1.1.	Delme Hızının Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisi	32
4.1.2.	İlerlemenin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisi	39
4.1.3.	Sürtünme Açısının Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisi.....	41
4.1.4.	Matkap Çapının Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkileri	42
4.2.	Delme Parametrelerinin Delik Profili Üzerindeki Etkileri.....	43
4.2.1.	Delme Parametrelerinin Delme Bölgesi Sıcaklığı Üzerindeki Etkileri	44
4.2.2.	Delme Parametrelerinin Pul Geometrisi Üzerindeki Etkileri.....	46
4.2.3.	Delme Parametrelerinin Petal Oluşumuna ve Çökme Miktarına Etkisi.....	48
5.	GENEL SONUÇLAR	53
6.	KAYNAKLAR	54

ÖZET

Sürtünmeli delme ince kesitli profil, boru ve sac malzemelerin delinmesinde kullanılan yeni bir delme yöntemidir. Termal delme ya da sıvayarak delme yöntemi olarak da adlandırılan bu yöntemde dönen konik sivri uçlu bir takımın malzemeye teması sonucu oluşan sürtünme ısısı ile malzemeyi yumuşatıp içine ekstrüze eder ve ince duvarlı bir kovan oluşturarak talaşsız delik açar.

Bu çalışmada AISI 1010 çelik kare profiller sürtünmeli delme yöntemi ile CNC freze tezgahında delinmiştir. Çalışmada farklı sürtünme açlarına sahip sinterlenmiş karbür uçlar kullanılmış ve farklı delme parametrelerinde(sürtünme açısı, ilerleme ve delme hızı) deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne, kovan biçimine ve pul biçimine etkileri incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda yüzey pürüzlülüğüne, kovan biçimine ve pul biçimine kesme hızı ve ilerlemenin en fazla etkiye sahip olduğu görülmüştür. Kesme hızının artmasıyla kovan yüzey pürüzlülük değerleri azalarak pul ve kovan geometrileri iyileşirken, ilerlemenin artması ile yüzey pürüzlülüğü değerleri artarak pul ve kovan geometrisi bozulmuştur.

Anahtar kelimeler: Sürtünmeli delme, Sıvayarak delme, Termal delme, Yüzey pürüzlülüğü

SUMMARY

Investigation of Machining Characteristics of Friction Drilling on AISI 1010 steel

Friction drilling is a drilling method used in drilling of thin cross-section profile, pipe and sheet materials. A rotating conical tool with sharpened tip in this method that is also called thermal drilling or flow drilling extrudes the softening work-material by means of the frictional heat caused by its contact to the material, and create a hole with no-chip drilling process by forming a thin-walled bushing.

In this study, AISI 1010 steel materials were drilled with CNC milling machine by frictional drilling methods. In the study, sintered carbide tools with different friction angles were used and experiments were conducted under different drilling parameter conditions (friction angle, feedrate and drilling speed). In the results of experiments, the effect of the drilling parameters on surface roughness, bushing shape and form of sealing ring was investigated. According to the results of this study, it was found out that cutting speed and feed rate has the maximum effect on the surface roughness, bushing shape and form of sealing ring on the work-material. Along with the increase of cutting speed, the values of bushing surface roughness decreased; and so, form of sealing ring geometry and bushing geometry improved. On the other hand, along with the increasing feed rate, the values of surface roughness increased; and so, the form of sealing ring geometry and the bushing geometry were distorted.

Keywords: Friction drilling, Flow drilling, Thermal drilling, Surface roughness.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2. 1 Sürtünmeli delme işleminin adımları.....	5
Şekil 2. 2 Sürtünmeli delme işlemi uygulanması.....	6
Şekil 2. 3 Sürtünmeli delme matkabının boyutlandırılması	6
Şekil 2. 4 Başlangıç safhasındaki ilerleme kuvveti ile yol arasındaki ilişki [15].	8
Şekil 2. 5 Malzeme akışı sırasında ilerleme kuvveti ile yol arasındaki ilişki [15].....	8
Şekil 2. 6 Şekillendirme sırasında ilerleme kuvveti ile yol arasındaki ilişki [15].....	9
Şekil 2. 7 Uzun tip sürtünmeli delme matkabının kesit görünüşü[15].....	10
Şekil 2. 8 Kısa tip sürtünmeli delme matkabının kesit görünüşü [15].	10
Şekil 2. 9 Düz boyunlu sürtünmeli delme matkabı[15].....	11
Şekil 2. 10 Kesici boyunlu sürtünmeli delme matkabı [15].....	11
Şekil 2. 11 Kesici ağızlı sürtünmeli delme matkabı[15].	12
Şekil 2. 12 Matkap tipinin malzeme kalınlığına göre belirlenmesi [15].	13
Şekil 2. 13 Eksenel kuvvetinin delik çapına bağlı olarak değişimi [15].	14
Şekil 2. 14 Eksenel kuvvetinin matkap ilerleme miktarına göre değişimi [10].....	14
Şekil 2. 15 İlerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi (d=8 mm) [3].....	15
Şekil 2. 16 Matkap çapına bağlı olarak devir sayısı seçim aralığı [15].....	17
Şekil 2. 17 Sürtünmeli tahrik gücü ile delik çapı arasındaki ilişki [15]	17
Şekil 2. 18 Sürtünmeli delmede oluşan kovan yapıları [8].....	18
Şekil 2. 19 Sürtünmeli delmenin vidalı bağlantılarda uygulanmaları [15].....	19
Şekil 2. 20 Sıvama klavuzu(flowtap) [15]	19
Şekil 2. 21 Sızdırmazlık gerektiren gaz ve boru bağlantı uygulamaları [15].	23
Şekil 2. 22 Manşonlu yataklarda veya kaymalı destek uygulamaları [15]	24
Şekil 2. 23 Lehimli ve kaynaklı boru bağlantıları uygulamaları [15]	24
Şekil 2. 24 İç içe geçmiş boru veya profil parçaların müşterek delinmesi [15].....	24
Şekil 2. 25 Otomotiv iskeleti uygulamaları [11].....	25
Şekil 3. 1 Deneylerde kullanılan CNC tezgahı	27
Şekil 3. 2 Deneylerde kullanılan takım ölçüleri.....	27
Şekil 3. 3 Delme işlemi süresince oluşan sıcaklık değişimleri	29
Şekil 4. 1 Delme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi	33
Şekil 4. 2 Delme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi	33

Şekil 4. 3 Delme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi	34
Şekil 4. 4 Delme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi	35
Şekil 4. 5 Delme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi	35
Şekil 4. 6 Delme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi	36
Şekil 4. 7 Delme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi	37
Şekil 4. 8 Delme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi	37
Şekil 4. 9 Delme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi	38
Şekil 4. 10 İlerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi	39
Şekil 4. 11 İlerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi	40
Şekil 4. 12 İlerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi	40
Şekil 4. 13 Sürtünme açısının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi	41
Şekil 4. 14 Sürtünme açısının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi	42
Şekil 4. 15 Matkap çapının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi	43
Şekil 4. 16 Sürtünmeli delme yöntemiyle delinmiş iş parçasının kesit görünüşü.....	44
Şekil 4. 17 İlerlemenin delik bölgesi sıcaklığı üzerindeki etkisi	44
Şekil 4. 18 Delme hızının delik bölgesi sıcaklığı üzerindeki etkisi	45
Şekil 4. 19 Sürtünme açısının delik bölgesi sıcaklığı üzerindeki etkileri.....	46
Şekil 4. 20 Matkap uç açısının pul geometrisi üzerindeki etkisi.....	47
Şekil 4. 21 İlerleme miktarının pul geometrisi üzerindeki etkisi	47
Şekil 4. 22 Delme hızının pul geometrisi üzerindeki etkisi.....	48
Şekil 4.23 Delme hızının ortalama petal yüksekliği üzerindeki etkisi	49
Şekil 4.24 Delme hızının petal geometrisi üzerindeki etkisi(d=10 mm).....	49
Şekil 4.25 İlerleme miktarının çökme üzerindeki etkisi(d=10 mm)	50
Şekil 4.26 İlerlemenin çökme miktarına etkisi	51
Şekil 4.27 Sürtünme açısının çökme miktarına etkisi	51
Şekil 4.28 Sürtünme açısının petal geometrisi üzerindeki etkisi(d=10mm).....	52

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3. 1 Sürtünmeli delme işleminde delme parametreleri	26
Tablo 3. 2 Sürtünmeli delme kullanılan CNC freze tezgâhının özellikleri	26
Tablo 3. 3 Sürtünmeli delme deneylerinde kullanılan matkap uçlarının boyutları.....	28
Tablo 3. 4 Deney çalışmalarında kullanılan AISI 1010 malzemesinin kimyasal analizi	28
Tablo 3. 5 Impac IGA 15 Plus Marka temassız kızılötesi ışınlı termometre özellikleri	29
Tablo 4. 1 Sürtünmeli delme deney sonuçları.....	30
Tablo 4. 2 Sürtünmeli delme deney sonuçlarının (devamı).....	31
Tablo 4. 3 Sürtünmeli delme deney sonuçlarının (devamı).....	32

SEMBOLLER LİSTESİ

- d: Matkap çapı(mm)
 F_{ax} : Eksenel (ilerleme) kuvvet (N)
h : Malzeme kalınlığı, (mm)
L: Takım boyu(mm)
n : Devir sayısı (dev/dak)
P : Tezgah gücü, (kW)
f: Takım ilerlemesi (mm/dak)
 R_a : Ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (μm)
V: Delme hızı(m/dak)
 α : Sürtünme temas açısı (derece)
 β : Konik uç açısı (derece)
 λ_c : Yüzey pürüzlülüğünün ölçümündeki numune uzunluğu (mm)
 ℓ : numune sayısı

1.GİRİŞ

Matkapla delik delme işlemi, talaşlı üretim tekniklerinden biri olup talaş kaldırma işlemlerinin % 40 dan daha fazlasında kullanıldığı için imalatla çok önemlidir. Geleneksel delme işlemlerinde genellikle hız çeliği (HSS) kesici uçlar kullanılmaktadır[1]. Bu delme yönteminde delme boyunca oluşan yüksek sıcaklıktan dolayı kesici takımında çabuk körelme, aşınma ve delme boyunca delik yüzeyinde de sertleşme oluşabilmektedir. Öte yandan delme sırasında meydana gelen talaş sürtünmesinden dolayı daha kötü bir delik yüzeyi ve hassasiyeti elde edilmektedir. Ayrıca, delik delme işlemi malzeme üzerinde bir boşaltma işlemi gerçekleştirmektedir. Bundan dolayı boşaltmanın yapılmış olduğu noktada önemli derecede bir gerilme yoğunlaşması problemi ortaya çıkmaktadır[2].

Günümüzde otomotiv, inşaat, tesisat ve çelik konstrüksiyon gibi bir çok alanda farklı cidar kalınlığına sahip profil ve boru bağlantıları önemli yer tutmaktadır. Bu malzemeler kullanım yerlerine göre geçmeli, kaynaklı ya da vidalı olarak birleştirilirler. Özellikle ince kesitli parçaların bağlantılarında kesit kalınlığının yeterli seviyede olmaması nedeniyle kaynak esnasında bağlantı bölgesinde aşırı erime ve delik delme esnasında delik bölgesinde deformasyon ve yırtılma gibi önemli problemler ortaya çıkmaktadır. İnce kesitli parçaların cıvatalı bağlantılarında kesit kalınlığının az olması nedeniyle yeterli vida diş boyu uzunluğu sağlanamaması da en önemli olumsuzluklardan biridir. Bu tür parçalarda yeterli sıkma yükü sağlayabilmek için iş parçası yüzeyine ilave parça kaynak edilerek delik delinmekte ve vida dişi açılmaktadır[3]. Bu durum ilave işlemleri gerektirdiğinden maliyeti artırmakta ve bir takım eksenleme problemlerini ortaya çıkarmaktadır.

Yukarıda bahsedilen tüm bu problemlere ek olarak geleneksel delme işlemlerinde genellikle soğutma sıvıları kullanılır. Fakat kullanılan bu soğutma sıvıları insan sağlığı için zararlı olabilmekte ve çevresel kirlilik yapmaktadırlar. Bu nedenle geleneksel delme yöntemlerinin yerine son yıllarda yeni bir yöntem olan sürtünmeli delme yöntemi geliştirilmiştir.

Sürtünmeli delme yöntemi talaşsız bir delme yöntemi olup dönen bir takım ile malzeme arasında sürtünmeyle oluşan ısıyı kullanarak, deformasyonla malzemeyi içine ekstrüze eden ve ince duvarlı bir kovan oluşturarak delik açan bir delme yöntemidir [3]. Bu yöntemde iş parçası hem yığılarak hem de sıvanarak et kalınlığının birkaç katı kadar delik yüksekliğine çıkabilmektedir[4]. Bu durum malzeme yüzeyine ilave parça kaynağını gereksiz kılmakta ve vidalı bağlantılarda sıkma yükünü artırmaktadır. Bu yöntemle delme işlemlerinde takım

bileme ve değiştirme maliyetleri yok denecek kadar azdır. Ayrıca uygun takım kullanmak suretiyle vida açma işlemi de aynı anda yapılabilir.

Sürtünmeli delmenin geleneksel delme işlemine göre üstünlüğü, zaman kaybını ve maliyeti minimuma indirerek bir avantaj sağlamaktadır. Bu yöntem yeni olup, konu ile ilgili yapılan araştırmalar aşağıda özetlenmiştir.

Han-Ming vd. [3] yaptıkları çalışmada taşlanmış ve gerekli geometrik biçime getirilmiş sinterlenmiş karbür uçlu yeni bir tip sürtünmeli termal delme matkabı geliştirmişlerdir. Delme işlemlerinde östenitik paslanmaz çelik malzeme(AISI 304) kullanılmıştır. Sürtünme temas alan oranı, sürtünme açısı, ilerleme ve devir sayısı gibi farklı parametrelerin delik biçimini nasıl etkilediklerini araştırmışlardır. Çalışmada Taguchi metodu uygulanarak optimum delme şartları 30 derece sürtünme açısı, %50 sürtünme temas oranı, 100 mm/dak ilerleme ve 90 mm/dak devir sayısı olarak elde edilmiştir. Bu dört delme şartlarına karşılık gelen ortalama yüzey pürüzlüğü $Ra=0.96\ \mu m$ olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre elde edilen bu Ra değeri, L-18 Sütunlu Ra değeri ile karşılaştırıldığında elde edilen en küçük değeri ifade edilmiş ve bu analizle deneysel değerlerle doğruluğu kanıtlanmıştır. Sürtünmeli delmede optimum delme parametreleri elde edildikten sonra, sürtünmeli takımın optimum sürtünme temas alanı oranı ve geometrik biçimi, deneysel sonuçlar doğrultusunda seçilmiştir. Sürtünmeli delme matkabının performansı sinterlenmiş karbür (WC) matkap uçları ile karşılaştırılmış ve yapılan deneylerde sinterlenmiş karbür uçların peş peşe üç delme sonrası hasara uğradığı ve bununla beraber AISI 304 malzeme sürtünmeli delme matkabı ile normal olarak 60 kez delindiğinde takımda sadece küçük bir aşınma olduğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre sürtünmeli delme matkabının sinterlenmiş karbür (WC) uçlara göre çok daha iyi delme performansına sahip olduğu ve ayna gibi iyi bir kalitede delik yüzeyi elde edildiği ifade edilmiştir.

Miller vd. [4] yaptıkları çalışmada 5.3 mm çapında konik tungsten karbür takım kullanılarak düşük karbonlu AISI 1015 karbon çeliğinden yapılmış profil malzemeye geleneksel bir delme yöntemi olmayan sürtünmeli delme yöntemi uygulanmış ve takım aşınması incelenmiştir. Takım aşınma karakteristikleri, takımın ağırlığındaki değişimlerin ölçülmesi, koordinat ölçme cihazı kullanılarak takımın şeklindeki değişimlerin incelenmesi ve elektron tarama mikroskobu kullanılarak aşınmanın zararının incelenmesi ile belirlenmiştir. Enerji dağılım spektrometresi ile delme boyunca takım yüzeyinin kimyasal bileşimindeki değişikliklerin analizi yapılmıştır. Bunlara ilaveten delme boyunca takım aşınmasının etkilerini izlemek için itme kuvveti, moment ve delik üzerinde ölçümler yapılmıştır. Bu sonuçlara göre karbür takımın açılan 11000 delik sayısından sonra halen daha dayanıklı bir

yapıya sahip olduğu ve takım aşınmasının en düşük seviyede olduğu, ama takım ucunda yapılan incelemelerde ise derin aşınmış izler bulunduğunu ifade etmişlerdir.

Miller vd. [5] yaptıkları çalışmada sürtünmeli delmenin mekanik ve termal yönlerini araştırmışlardır. Sabit ilerlemede ilerleme kuvveti ve dönme momenti ölçülerek analiz edilmiş ve işparçası ile delici takımın sıcaklıkları kızıl ötesi bir termometre ile ölçülerek belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda sürtünmeli delme için iki model geliştirilmiştir. Bunlardan birisi iş parçasının eşik sıcaklığa (kamera ile eşik sıcaklık olarak tespit edilmiş olan 250⁰C sıcaklığa) yaklaşımadan hemen önceden takım ilerleme miktarını tahmin eden termal bir sonlu elamanlar modelidir. Diğeri ise iş parçası sıcaklığını, malzeme özelliklerini ve takım temas alanını esas alarak ilerleme kuvveti ve dönme momentini tahmin eden bir kuvvet modelidir. Bu çalışmanın sonuçları sürtünmeli delme ilgili yapılacak olan araştırmalarda ihtiyaçlarının saptanmasında kullanılabileceği ve elde edilen sonuçların sürtünmeli delme işlemlerinde optimizasyon problemlerinde gelecekte esas alınabileceği ifade edilmiştir.

Lee vd. [6] yaptıkları çalışmada nikel esaslı süper alaşım olan IN-713LC malzemesini farklı devir sayılarında ve ilerleme hızlarında sürtünmeli delme yöntemi ile delmişlerdir. Bu çalışmada malzemenin sertliği, deliğin daireselliği ve yüzey pürüzlülüğü kontrol edilmiş olup, malzemenin sertliğinin delik cidarına yakın olan yerlerinde arttığı ve kenardan iç kısımlarda ise azaldığı ifade edilmiştir. Bununla beraber artan devir sayıları ile artan ilerlemelerde ortalama yüzey pürüzlülüğünün azaldığı analiz edilmiştir.

Miller vd. [7] yaptıkları çalışmada karbon çeliği, alaşımlı çelik, alüminyum, ve titanyum alaşımlı malzemeleri sürtünmeli delme yöntemiyle delmişler ve daha sonra mikro yapı ve çentik sertlik değişimini incelemişlerdir. Bunun sonucunda farklı bileşimdeki malzemeler ve bu malzemelerin termal özelliklerinin, delme işlemi parametrelerinin seçimini etkilediğini, delik yüzey biçimini etkilediğini ve delik yüzeyinde yüksek bir deformasyon tabakası ortaya çıkardığını ifade etmişlerdir.

Scott vd. [8] yaptıkları çalışmada dökme malzemelerini sürtünmeli delme yöntemiyle delmişlerdir. Haddelenmiş metal malzemelere göre daha gevrek olan dökme alüminyum ve magnezyum alaşımlarını delmek için kullanılan ilerleme hızının, devir sayısının ve iş parçası sıcaklığının, delme boyunca ölçülen ilerleme kuvvetinin ve burulma momentinin delik biçimine etkileri analiz edilmiştir. Bu araştırmada azalan iş parçası sıcaklığı ile daha iyi bir delik biçimi elde edildiği ve ilerleme kuvvetinin ile dönme momentinin sürtünmeli delme yönteminin aşamaları boyunca gittikçe azaldığı ifade edilmiştir. Farklı devir sayılarında iki farklı iş parçasının delik biçimleri karşılaştırılarak sürtünmeli delme için maksimum ve

ortalama güç ve enerji hesaplanmıştır. Sürtünmeli delmede iş parçasını ön ısıtmanın ve yüksek devir sayısının faydalarına değinilmiş ve analiz edilmiştir.

Miller vd. [9] yaptıkları bu çalışmada kullanılan malzemede meydana gelen yüksek plastik şekil değiştirme ile iş parçasında oluşan sıcaklıkları 3 boyutlu sonlu elemanlar modeliyle analiz etmişlerdir. Malzemenin mekanik ve termal özelliklerini sıcaklığa bağlı olarak sonlu elemanlar metodu ile kodlamışlardır. Hesaplanan ve ölçülen itme kuvvetine göre invers metoduyla sürtünme katsayısı 0.7 olarak belirlenmiştir. Çalışmada modelle elde edilerek hesaplanan ilerleme kuvveti, moment ve iş parçası sıcaklığı deneysel değerlerle karşılaştırılmıştır. Sürtünmeli delme işlemlerinde iş parçasında oluşan plastik deformasyonun modellenmesinde sonlu elemanlar metodunun avantajlı olduğu ve plastik şekil değişimi, sıcaklık ve gerilme dağılımlarının iş parçasının termomekanik davranışlarına göre değiştiği ifade edilmiştir.

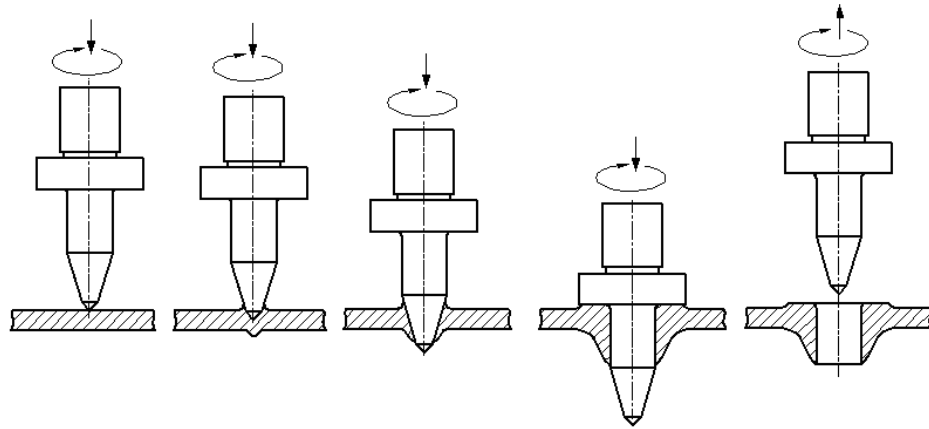
Lee vd. [10] yaptığı çalışmada ise sürtünmeli delme yöntemi, yüksek sertliği, düşük ısı iletkenliği ve yüksek esnekliği olan AISI 304 paslanmaz çelik malzeme üzerinde kaplamalı ve kaplamasız tungsten karbür uçlar kullanılarak uygulanmıştır. Kaplamalı matkapların yüzeyi PVD yöntemiyle TiAlN ve AlCrN ile kaplanmıştır. Kaplamalı ve kaplamasız kesici takımların farklı devirlerdeki performansları üzerinde çalışılmıştır. Bu matkapların yüzey sıcaklıkları, takım aşınması ve eksenel itme kuvveti arasındaki değişiklikler karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Buna göre deneysel sonuçlar göstermiştir ki, AlCrN 'un düşük ısı iletkenliği ve yağlama özelliğinden dolayı AlCrN kaplamalı takımlarda en yüksek yüzey sıcaklığı üretilirken düşük eksenel itme kuvveti nedeniyle takımda çok az miktarda aşınma oluşmuştur. Bununla beraber kaplamalı ve kaplamasız takımlar arasındaki performans farkının delik sayısının artmasına bağlı olarak azaldığı gözlemlenmiştir.

Literatür araştırması incelendiğinde sürtünmeli delme işlemi ile ilgili yapılmış çok fazla çalışmaya rastlanmamıştır. Yöntemin yeni olması, uygulama alanlarının genişliği ve ülkemizde bu konu ile ilgili çalışmanın hemen hemen hiç olmaması bu araştırmayı önemli kılmaktadır. Bu çalışma bu konuda ülkemizde yapılacak araştırmalara ve imalat yapan sanayicilere ışık tutacak bir çalışmadır. Bu amaçla yapılan bu çalışmada sürtünmeli delme işleminde kullanılmayan AISI 1010 çelik malzeme delinmiş ve delme parametrelerinin (delme hızı, ilerleme, sürtünme açısı) yüzey pürüzlülüğü ve delik bölgesinde oluşan sıcaklık üzerine etkileri araştırılmıştır. Ayrıca daha önce literatürde rastlanmayan işleme şartlarının pul geometrisine ve kovan eteklerinde oluşan petalleşmeye (radyal yırtıklar) etkileri de bu çalışmada araştırılmıştır.

2. SÜRTÜNMELİ DELME YÖNTEMİ

Sürtünmeli delme, talaşsız bir delme yöntemi olup dönen bir takım ile malzeme arasında sürtünmeyle oluşan ısıyı kullanarak, deformasyonla malzemeyi içine ekstrüze eden ve ince duvarlı bir kovan oluşturarak delik açan bir delme yöntemidir (Şekil 2.1). Bu yöntem termal sürtünme esasına dayanır ve kısa işlem zamanına ve uzun takım ömrüne sahiptir. Ekonomik hızlı ve talaşsız bir delik oluşturma yöntemi olup soğutma sıvısını gereksiz kılmaktadır. Ayrıca sürtünmeli delmede kullanılan takımların ömürlerinin geleneksel delmeye göre çok yüksek olması, elde edilen delik yüzeyinin ve geometrisinin oldukça iyi olması da bu metodun en önemli avantajlarındandır [3].

Sürtünmeli delme yönteminde konik uçlu sert metal takımlar kullanılır. Başlangıçta oldukça yüksek bir devir ve eksenel kuvvete sahip olan sürtünmeli delme matkabının ince metal yüzeye bastırılması ile açığa çıkan sürtünme ısısı malzemeyi plastik şekillenmeye zorlar. Bu zorlama ile sürtünmeli delme matkabı malzemenin içinde ilerleyerek bir delik oluşturur. Bu delik oluşumu esnasında takımın hareketi ile malzeme aşağı doğru akmaya zorlanarak ayrıca bir kovan oluşumu sağlanır (Şekil 2.2). Oluşan bu kovanın boyu esas malzeme kalınlığının yaklaşık 3-5 katı kadardır. Ayrıca sürtünmeli delme işlemi kaynaklı bir iç diş açmak için de kullanılabilir ve burada oluşan kovan sayesinde malzeme yüzeyine ilave parça kaynağı yapılmasına gerek kalmadan diş açmada kalınlık ve mevcut sıkma yükü artırılabilir. Buna ilaveten sürtünmeli delme yöntemi ile geçmeli bağlantılarda daha büyük bir delik yüzeyi alanı elde edilebilmektedir ve uygun takım kullanmak suretiyle vida açma işlemi de aynı anda yapılabilir[15].

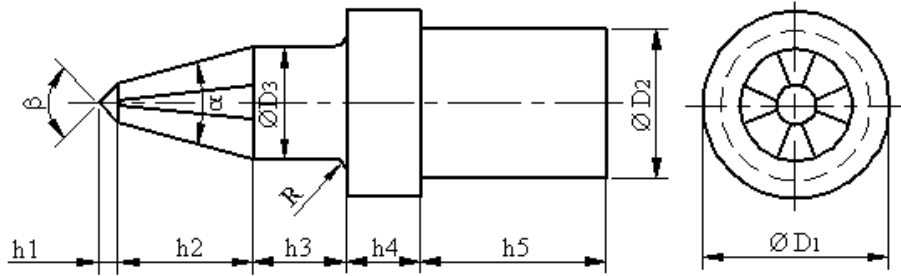


Şekil 2. 1 Sürtünmeli delme işleminin adımları



Şekil 2. 2 Sürtünmeli delme işlemi uygulanması

Sürtünmeli delme matkabı, özellikle bu iş için özel geliştirilmiş aşınmaya ve sıcaklık değişikliklerine karşı çok dirençli bir malzemeden imal edilmiş olmalıdır. Sürtünmeli delme matkabı konik uç, konik kısım, silindirik kısım, boyun, silindirik sap olmak üzere 5 bölgeden oluşmaktadır (Şekil 2.3)



Şekil 2. 3 Sürtünmeli delme matkabının boyutlandırılması

- **Konik uç(h_1):** Sürtünmeli delme işleminde sürtünmenin başladığı ilk kısımdır. Delme işleminde h_1 yüksekliği ile β açısı etkili olan parametrelerdir. Bu kısımda herhangi bir kesici ağız mevcut değildir. Konik uç kısmı delme işleminde sürtünme kuvvetinin oluşması için teğetsel yönde kuvvetler oluşturarak delme esnasında takımın iş parçası konumlanmasını sağlar.
- **Konik kısım(h_2):** Bu kısım konik uçtan daha küçük bir açığa sahiptir. Delme işleminde

h_2 yüksekliği ve α açısı etkili olan parametrelerdir. Bu bölge malzemenin sürtünme etkisiyle ısınarak yumuşayan malzemenin aşağıya doğru ekstrüze olmasını ve malzemenin delici takım üzerinde sıvanarak şekillenmesini sağlar. Bu kısım sürtünme temas yüzey alanını arttırmak için genellikle poligon şeklinde yapılır.

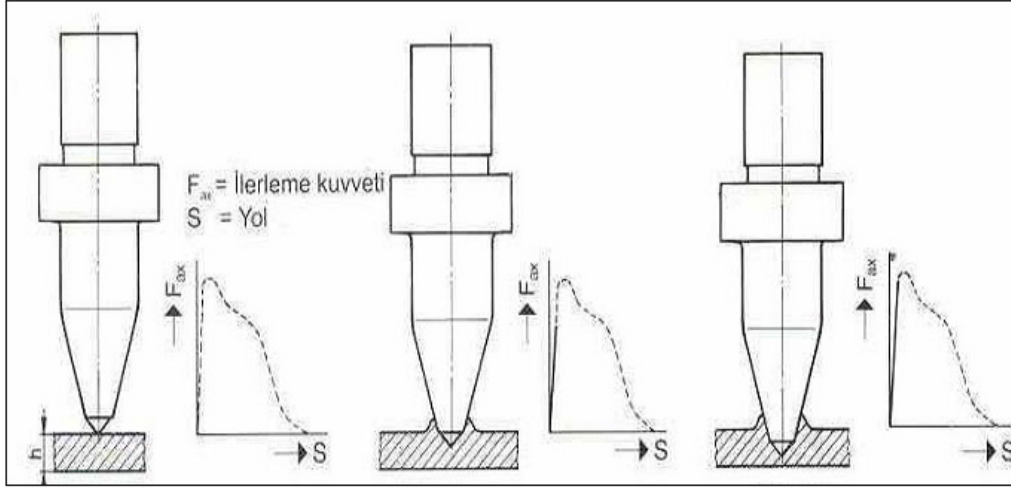
- **Silindirik kısım(h_3):** Açılan deliğin geometrisinin oluşturulmasını sağlayan bölümdür. Bu kısımdaki h_3 yüksekliği açılacak deliğin et kalınlığına göre belirlenir.
- **Boyun(h_4):** Delme işleminde yumuşayan malzeme delme yönünün tersine, yukarıya doğru bir miktar akar. Bu bölge, yukarıya doğru akan kısmın boru üzerindeki eğimini kompanse ederek bir sızdırmazlık halkası ve sızdırmaz bağlantılar için ideal bir düz yatak oluşturur.
- **Bağlama sapı(h_5):** Bu kısım takımın sap kısmı olup tezgahın miline bağlanmasını sağlayan kısımdır.

2.1. Sürtünmeli Delme Yönteminin Aşamaları

Sürtünmeli delme yöntemi ile oluşturulan delik kovanının şekli, işleme şartlarına ilaveten delme matkabının çapına, matkabın konik kısmının uzunluğuna ve açısına bağlıdır [15]. Delme işleminde deliğin oluşumu 3 aşamadan meydana gelmektedir.

2.1.1. Başlangıç Aşaması

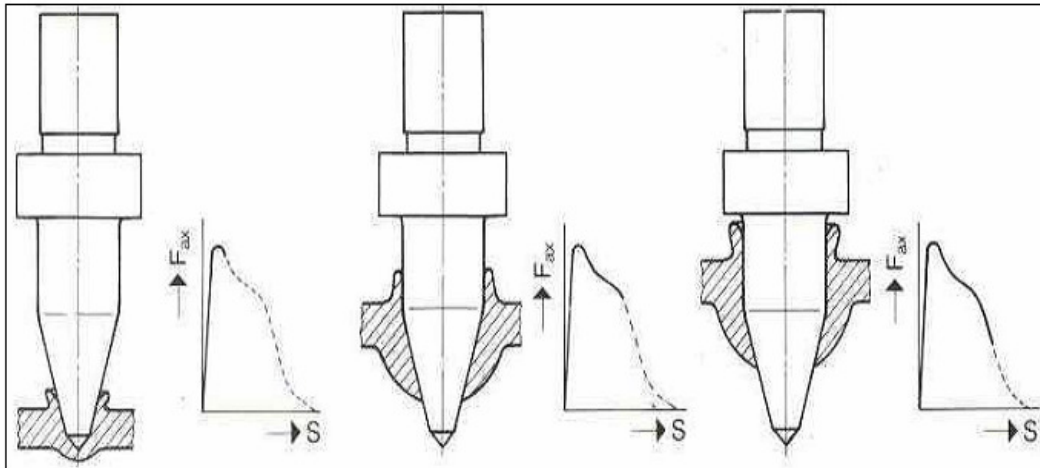
Sürtünmeli delme işleminde yeterli sürtünme enerjisini elde edebilmek için delme matkabının oldukça yüksek bir devir sayısında dönmesi ve aynı zamanda yüksek bir ilerleme hızı ile iş parçasına temas etmesi gerekmektedir. Yüksek ilerleme hızı sayesinde yüksek bir ilerleme kuvveti elde edileceğinden takımın- iş parçası temas noktasında yüksek bir ısı enerjisi oluşacak ve ince kesitli malzemenin hızlı bir şekilde yumuşaması sağlanacaktır (Şekil 2.4). Delme başlangıcında takım ilerleme kuvveti maksimum seviyededir.



Şekil 2. 4 Başlangıç safhasındaki ilerleme kuvveti ile yol arasındaki ilişki [15].

2.1.2. Akma Aşaması

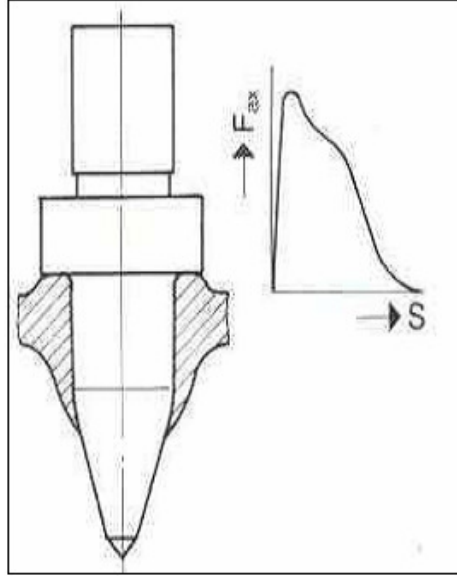
Yüksek ilerleme kuvveti ve devir sayısı ile oluşan sürtünme ısısı ile iş parçası yumuşamaya başlarken, yumuşayan malzeme ilk olarak matkabın ilerleme yönünün tersine doğru akmaya başlar. Matkabın ucunun iş parçasını tamamen deldiği andan itibaren ise malzeme akışı matkabın ilerleme yönünde oluşur. Bu safhada ilerleme kuvveti azalırken ilerleme hızı artar(Şekil 2.5).



Şekil 2. 5 Malzeme akışı sırasında ilerleme kuvveti ile yol arasındaki ilişki [15].

2.1.3. Şekillendirme Aşaması

Matkabın konik ve silindirik kısmının son olarak iş parçasının içine tamamen nüfuz etmesi ile malzeme tamamen delinmiş olur. Bu durumda matkabın boyun kısmı ilerleme yönünün tersine hareket ederken iş parçasının üst kısmına doğru akan malzemede şekillendirilir ve sızdırmazlık halkası oluşur. Bu safhada ilerleme kuvveti sıfıra düşer (Şekil 2.6) [15].



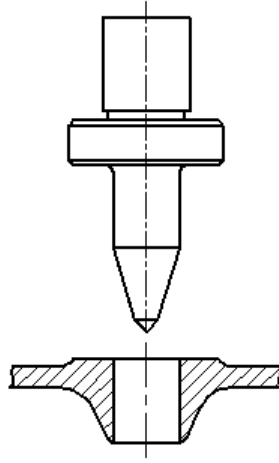
Şekil 2. 6 Şekillendirme sırasında ilerleme kuvveti ile yol arasındaki ilişki [15].

2.2. Takım Geometrileri

Sürtünmeli delme matkapları düz boyunlu, kesici boyunlu, kısa tip, uzun tip, kesici ağızlı (kesici yivli) ve özel tip olmak üzere sınıflandırma yapılabilir.

2.3. Uzun Tip Sürtünmeli Delme Matkapları

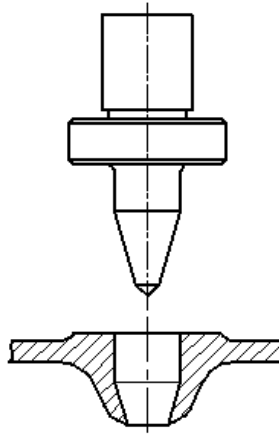
Genellikle düz silindirik deliklerin oluşturulmasında kullanılan matkap uçlarıdır. Bu tip sürtünmeli delme matkaplarının kovan oluşumunu sağlayan silindirik kısmı uzundur. 2 mm ve üstü kalınlıktaki malzemelerde uzun bir kovan yapısı oluşturmak için kullanılırlar ve aynı zamanda konik kısımları da uzun bir yapıdadır (Şekil 2.7). Ayrıca bu tip matkapların düz boynu sürtünmeli delme yönünün tersine doğru akan malzemeye sızdırmazlık halkası şeklinde bir form verir [15].



Şekil 2. 7 Uzun tip sürtünmeli delme matkabının kesit görünüşü[15].

2.4. Kısa Tip Sürtünmeli Delme Matkapları

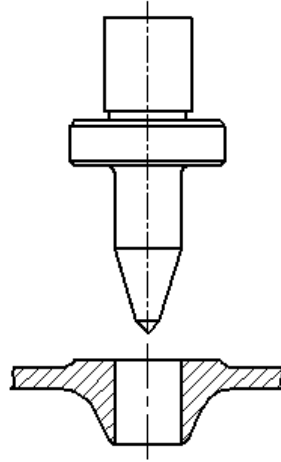
Uzun tipe kıyasla bu matkap tipinde silindirik kısmın boyu daha kısadır (Şekil 2.8). Bu matkap ile şekillendirilen kovanlar genellikle konik olup, delinen kısımdaki malzemenin kalınlığı bitime doğru inildikçe kovan delik çapı daralır. Bu tip matkaplar özellikle sürtünmeli delme kılavuzu ile beraber kullanılmak üzere geliştirilmişlerdir. Kovanın bu şekli daha düzgün bir kılavuz çekme işlemi yapılmasına imkân verir. Bu şekilde deliklere açılan dişlerin formu çok düzgün olup, yüksek bir sıyrma mukavemetine sahiptir. Malzeme kalınlığının daha fazla olduğu hallerde sonradan kılavuz çekilecekse uzun tiplerin kullanılması tavsiye edilir. Ancak bu tür uygulamalarda kısa tipin kullanılması halinde kovanın ucundaki daralma, kılavuzu fazla zorlayabilir [15].



Şekil 2. 8 Kısa tip sürtünmeli delme matkabının kesit görünüşü [15].

2.5. Düz Boyunlu Sürtünmeli Delme Matkabı

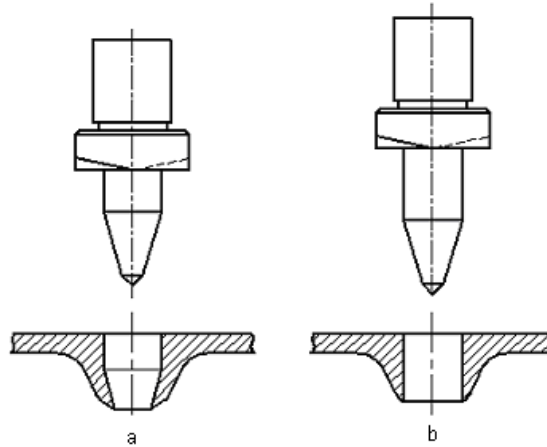
Bu tip sürtünmeli delme matkaplarının boyun kısmında herhangi bir kesici ağız mevcut değildir. Delinen malzemenin üst kısmında sızdırmazlık halkası istenen durumlarda (pul) kullanılırlar. Bu tip matkapların boyun kısımları düz olup yukarıya deliğin üst kısmına doğru akan malzemenin şekillendirmesini sağlayarak bir sızdırmazlık halkası oluşturur(Şekil 2.9)



Şekil 2. 9 Düz boyunlu sürtünmeli delme matkabı[15].

2.6. Kesici Boyunlu Sürtünmeli Delme Matkabı

Bu matkaplarda, iş parçası yüzeyine basacak olan boyun kısımları özel olarak bilenererek kesici ağızlar oluşturulmuştur. Bu kesici ağızlar yumuşayarak deliğin üst kısmı akan malzemenin tıraşlanarak temizlenmesini sağlar. Bu tip matkap uçları sızdırmazlık halkasını meydana getirmezler(Şekil 2.10).

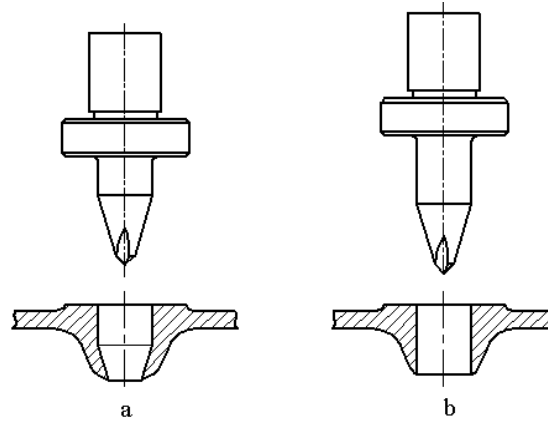


Şekil 2. 10 Kesici boyunlu sürtünmeli delme matkabı [15].
a) Kısa tip b)uzun tip

2.7. Kesici Ağızlı Sürtünmeli Delme Matkapları

Bu tipte sürtünmeli delme matkabının konik kısmının her iki tarafında matkabın ucuna doğru inen kesici kenarlar bulunmaktadır(Şekil 2.11). Bu kesici kenarlar sayesinde ilerleme kuvveti yaklaşık 1/3 oranında azaltıldığı için bu uygulama el matkapları için çok uygundur[15].

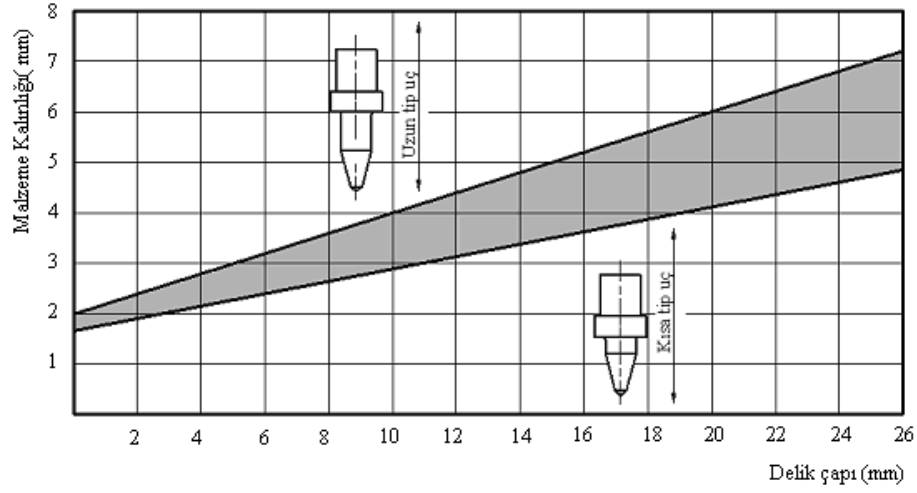
Bu tipin diğer bir uygulama sahası da galvanizlenmiş yüzeylerdir. Yüzeyindeki kaplamanın ilk safhada ayrışmasıyla, bu katmanda yer alan çabuk eriyen malzemelerin yağlama etkisi önlenmiş olur. Bu tip matkap uçları diğer tipteki matkap uçları ile kombine edilebilir.



Şekil 2. 11 Kesici ağızlı sürtünmeli delme matkabı[15].
a)Kısa Tip b)Uzun tip

2.8. Sürtünmeli Delme Matkabının Seçimi

Sürtünmeli delmede kullanılan matkap uçlarının seçiminde en önemli parametrelerden biri malzeme kalınlığıdır. Malzeme kalınlığına göre uzun tip ya da kısa tip matkap uçları seçilir. Sürtünmeli delme işlemleri sonrasında deliklere vida dişi açılacak ve deliklerde sıvama kılavuzları kullanılacaksa, malzeme kısa tip matkap uçları kullanılarak delinmelidir. Ancak malzeme kalınlığının fazla olması durumunda ise uzun tip matkap uçları ile açılmış delikler daha uygun olur(Şekil 2.12).



Şekil 2. 12 Matkap tipinin malzeme kalınlığına göre belirlenmesi [15].

2.9. Delme Parametreleri

Sürtünmeli delme işleminde sızdırmazlık halkası delik kovani biçimi ve yüzey pürüzlülüğüne etkili olan parametreler aşağıdaki gibidir [15].

- Eksenel (ilerleme) kuvvet F_{ax} , (N)
- Takım ilerlemesi f , (mm/dak)
- Devir sayısı n , (dak^{-1})
- Delme matkabının sürtünme açısı β
- Tezgah gücü P , (kW)
- Malzeme kalınlığı h , (mm)
- Sürtünme temas yüzey alanı oranı(%)

2.9.1.Eksenel Kuvvet

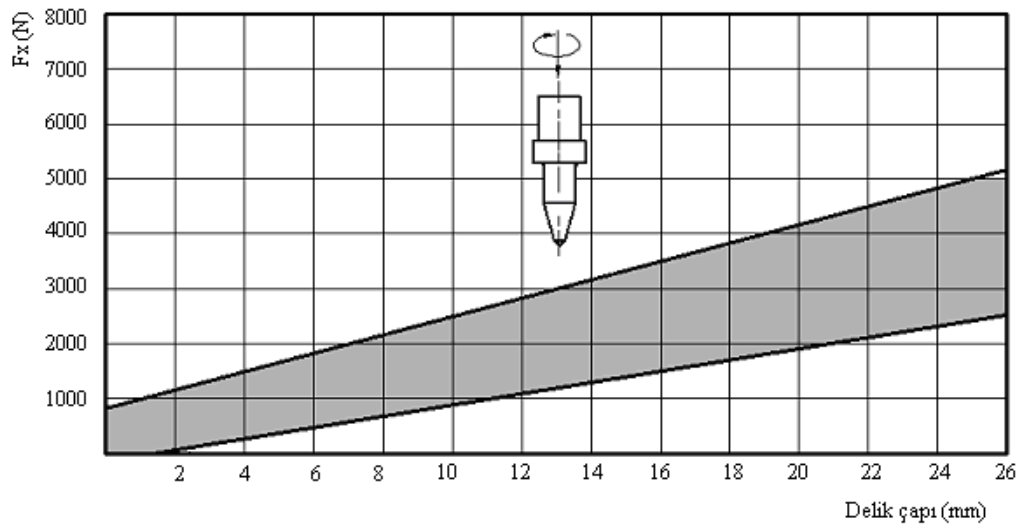
Eksenel kuvvetin değeri delme matkabın çapına bağlı olarak değişmektedir(Şekil 2.13). Sürtünmeli delme işlemi esnasında başlangıçta yüksek ilerleme kuvveti meydana gelir. Daha sonra iş parçasının sıcaklığının yükselme ile birlikte eksenel kuvvet düşer ve ilerleme hızı artar(Şekil 2.14). Ön ısıtmalı ile yapılan delme işlemlerinde yüksek ilerleme hızlarında yüksek iş parçası sıcaklığı oluşmakta ve ilerleme kuvvetini azaltarak momenti düşmektedir. Dolayısıyla delme işlemindeki işlem süresi azalmaktadır [4].

Eksenel kuvvetin fazla yüksek olması;

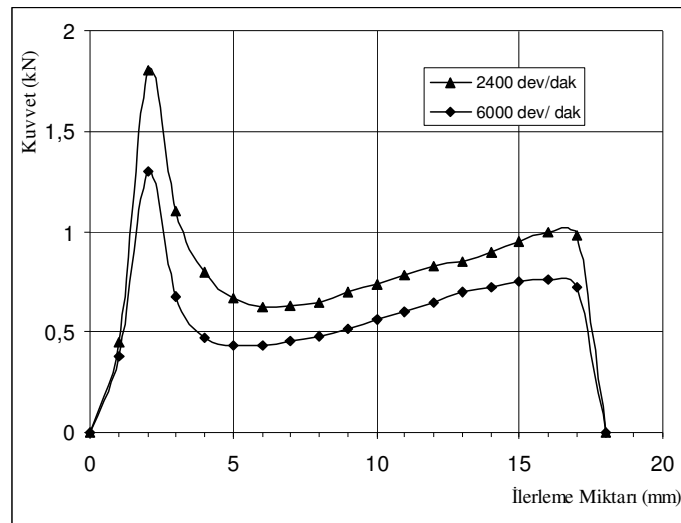
- Isının hızla yükselmesine ve bunun sonucu olarak sıvama matkabında termik gerilmelere yol açar.
- Matkap ucunun mekanik olarak zorlanmasına yol açar.
- Sıcaklığın fazla yükselmesine sebep olur ve malzemenin içyapısını ve yüzey pürüzlüğünü olumsuz yönde etkiler [15].

Eksenel kuvvetin fazla düşük olması;

- İş parçasını daha az ısınmasına ve daha düşük termik gerilmeleri oluşturur.
- Delme esnasında matkap ucunun aşırı ısınmasına neden olur ve takım ömrünü azaltır.
- Sürtünmeli delme için gerekli olan ısınma süresini uzatır.



Şekil 2. 13 Eksenel kuvvetinin delik çapına bağlı olarak değişimi [15].

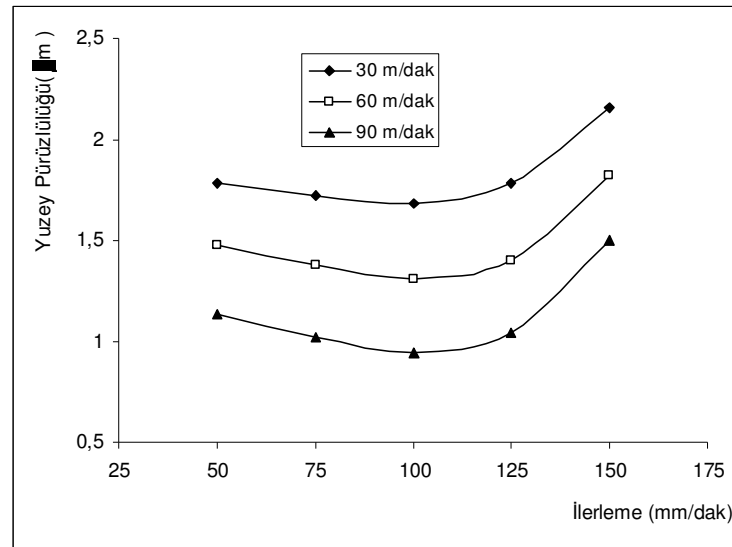


Şekil 2. 14 Eksenel kuvvetinin matkap ilerleme miktarına göre değişimi [10].

2.9.2. Takım İlerlemesi

Sürtünmeli delme yönteminde takım ilerlemesinin delinen malzemenin yüzey pürüzlülüğü ile takımın aşınması üzerinde önemli derecede etkisi vardır. Yüksek ilerleme hızları ile yapılan delme işlemlerinde, iş parçasının delik bölgesinde yeterli erime sıcaklığı elde edilemez ve eriyen malzeme sürtünmeli delme matkabına yapışır. Bunun sonucunda takım üzerinde derin izler oluşarak yüzey pürüzlülüğü yüksek olan bir delik meydana gelir (Şekil 2.15). İlerleme hızının çok yavaş olması, sürtünmeli delme işleminin daha uzun zaman almasına ve bundan dolayı iş parçasının delik bölgesinde farklı soğuma bölgelerinin oluşmasına sebep olur. Delik yüzeyi üst katmanı delik yüzeyi alt katmanına göre daha hızlı soğuduğu için delme boyunca sürtünme matkabı metale yapışır ve kötü bir delik yüzey kalitesi elde edilir [3].

Sürtünmeli delme ile delik bölgesinde oluşan maksimum iş parçası sıcaklığının malzemelerin ergime sıcaklığının yaklaşık 1/2 ile 2/3'ü kadar olduğu ifade edilmiştir [15].



Şekil 2.15 İlerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi (d=8 mm) [3].

2.9.3. Sürtünme Açısı

Sürtünmeli delme yönteminde sürtünme açısı, matkap ucunun iş parçasının yüzeyine temas miktarını artırarak kovan uzunluğunu değiştirir. Bu açı delik yüzey pürüzlüğünü etkileyen önemli parametrelerden biridir.

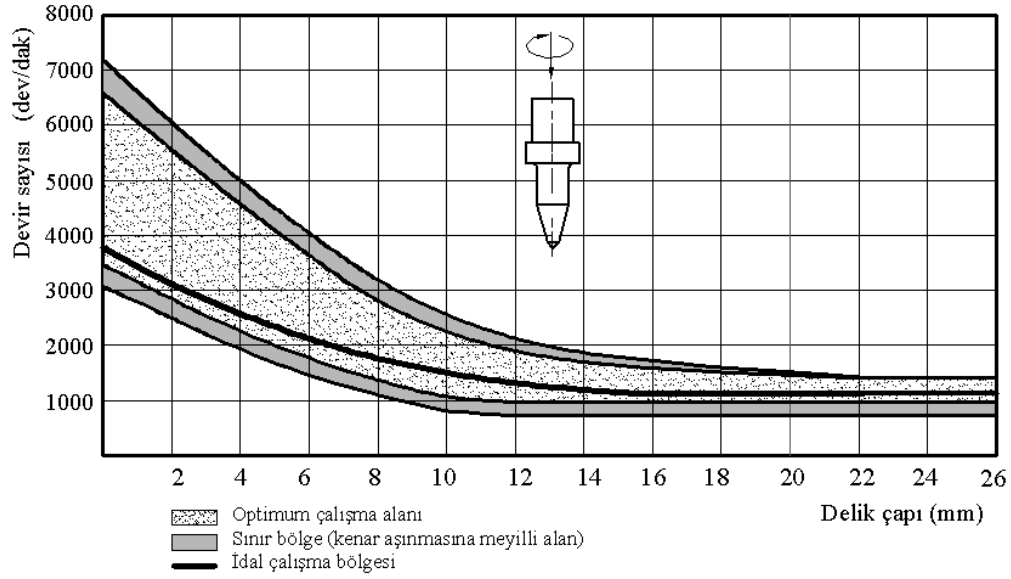
Sürtünme açısı küçük olduğunda takımın konik yüzeyinin temas uzunluğu daha uzun olmaktadır. Ayrıca bu konik temas yüzey uzunluğunun artması ile delme esnasında delik tam ve dengeli bir erime sıcaklığına sahip olur. Dolayısıyla deliğin yüzey pürüzlülüğü değeri küçülerek daha düzgün bir delik yüzeyi elde edilir [6].

2.9.4. Devir Sayısı

İş parçası malzemesi ve kalınlığına göre uygun seçilen devir sayısı takım ömrünü artırmaktadır. Arıca yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametrelerin başında en fazla devir sayısı gelmektedir. Devir sayısı arttıkça malzemenin metal kristalleşme enerjisi artmakta ve tam bir erime sıcaklığı elde edilmektedir. Bundan dolayı yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır[6].

Devir sayısı seçimi öncelikli olarak matkap çapına bağlı olup aynı zamanda iş parçasının kalınlığına ve cinsine de bağlıdır [11].Demir dışı malzemeler de ise daha yüksek devir sayılarına ihtiyaç duyulur [15]. Şekil 2.16 de düşük alaşımlı çelik malzemeler için matkap çapına bağlı olarak devir sayısı değişimi gösterilmiştir. Yüksek alaşımlı çelikler ve kalınlığı fazla olan paslanmaz çeliklerde daha düşük devir sayılarına ihtiyaç duyarlar. Bu durum doğal olarak matkabin ömrünü de kısaltır. Ayrıca delme işlemini sonlandırmak için matkap geri çekildiğinde, düşük sıcaklıktan dolayı eriyen metalin takıma yapışması ile matkap ucu deliğin yüzeyini kazıyarak iş parçasının içinden çıkmaktadır. Bu ise deliğin yüzey pürüzlülüğünü artırmaktadır [6].

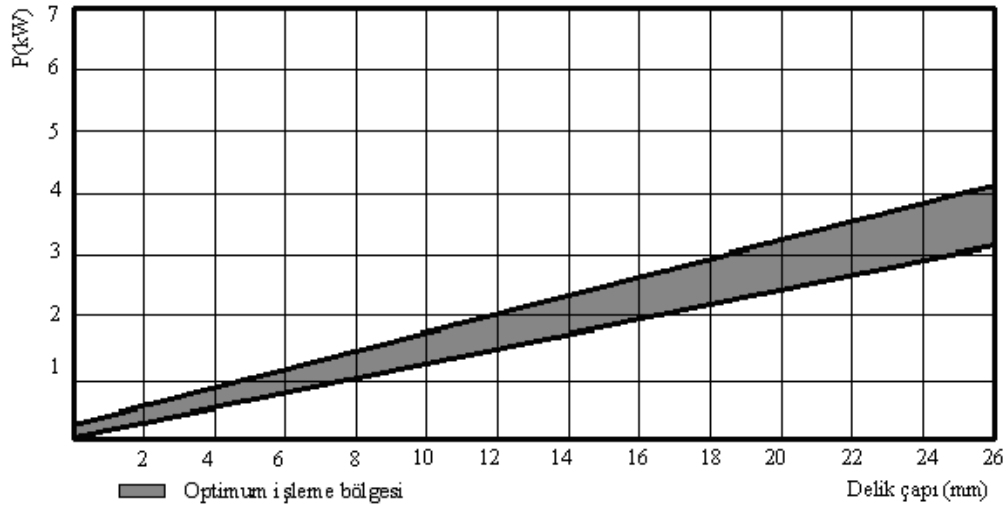
Yanlış seçilmiş bir devir sayısının etkisi, daha önce açıklanan uygun olmayan bir eksenel kuvvetin etkisine benzer. Bunun yanında aynı malzeme ve matkap ucu için hatalı seçilmiş devir sayısı işlem süresini uzatmakta ve takım aşınmasını artırmaktadır.



Şekil 2. 16 Matkap çapına bağlı olarak devir sayısı seçim aralığı [15].

2.9.5. Tahrik Gücü P (kW)

Çekirdek delik çapı ve devir sayısı kombinasyonu güç karakteristiğini oluşturur (Şekil 2.17). Yeterli tahrik gücüne ve devir sayısına sahip olduğu sürece, piyasada mevcut matkap tezgâhlarının çoğu sürtünmeli delme işlemlerinde kullanılabilir [15].



Şekil 2. 17 Sürtünmeli tahrik gücü ile delik çapı arasındaki ilişki [15]

2.9.6. Sürtünme Temas Yüzey Alanı Oranı

Sürtünme temas yüzey alanı oranı, matkap ucunun konik yüzeyinin delme esnasında işparçasına temas ettiği sürtünme yüzey miktarını ifade eder. Bu oran sürtünmeye temas halinde bulunan konik yüzeyin toplam konik yüzeye oranının yüzde değeridir (Şekil 2.18).

2.9.7. Malzeme Kalınlığı

Sürtünmeli delme işlemlerinde kovan oluşumuna en büyük etkiyi malzemenin kalınlığının delici takımın çapına oranı (h/d) göstermektedir. Bu oranın yükselmesi, delinen deliklerde daha düzgün bir şekilde kovan oluşumunu sağlamaktadır[8]. Malzeme kalınlığının takım çapına oranının (h/d) düşmesi ile oluşan delik kovani yonca yaprağı biçimini almakta ve kovanda radyal yırtıklar meydana gelmektedir. Bu durum delinen deliğin kovan biçimi bozarak istenmeyen deliklerin elde edilmesine neden olmaktadır(Şekil 2.18)



Şekil 2. 18 Sürtünmeli delmede oluşan kovan yapıları [8].

2.10. Sıvama Kılavuzları (Flowtap) İle Diş Açma

Sürtünmeli delme işlemin yapılmasının amacı ince kesitli profil ve boru tipi malzemelere delik delme ve bu deliklere vida açma işleminin uygulanmasıdır(Şekil 2.19). Deliklere vida dişi açma işlemi vida kılavuzlarıyla yapılabilmektedir. Ancak günümüzde alışılmış kılavuzların yerine sıvama kılavuzları kullanılarak vida dişi açma işlemleri uygulanmaya başlanmıştır(Şekil 2.20). Sıvama kılavuzları ile diş açma işleminde vida dişleri soğuk şekillendirme işlemiyle talaş kaldırılmadan kesintisiz bir malzeme akışıyla oluşur.

Sürtünmeli delme işleminin peşine herhangi bir kılavuzla vida dişi açma işlemi yapılabilmektedir. Fakat sıvama kılavuzları kullanılarak açılan vidalar normal kılavuzla açılan vida dişlerine göre bir takım avantajlara sahiptirler. Sıvama kılavuzu ile diş açma işlemi; talaşı elimine eden, kılavuz kırılmalarını azaltan ve iş parçasının kalitesini iyileştiren bir yöntem olması nedeniyle endüstride önem kazanmaktadır[11]. Soğuk şekillendirme ile vida dişi açma işlemi hemen hemen geleneksel vida kılavuzlarının kullanıldığı tüm tezgahlar ile yapılabilir.



Şekil 2. 19 Sürtünmeli delmenin vidalı bağlantılarda uygulanmaları [15]



Şekil 2. 20 Sıvama klavuzu(flowtap) [15]

2.11. Sürtünmeli Delme Matkap Ucunun Yağlanması

Sürtünmeli delme matkabının ömrünü uzatmak, aşınmayı önlemek ve kovan yüzey kalitesini azaltmak için belirli aralıklarla yağlanmalıdır. Bu yağlar sürtünmeli delme matkabı için geliştirilmiş olan özel yağlar olup matkaba belirli aralıklarla sürülürler. Özellikle sıvama matkabının konik kısmı ile silindirik kısmı arasındaki geçişin ve boyun kısmının düzenli olarak yağlanması tavsiye edilir[11]. Düzenli bir yağlama;

- Matkabin çalıştığı sıcaklığı düşürerek ömrünü uzatır.
- Sürtünmeli delme matkabında malzeme birikmesini ve yapışmasını önler.
- Takım aşınmasını azaltır.
- Delik yüzey kalitesinin iyileştirir
- Temiz şekillendirilmiş bir kenarın oluşmasını sağlar [15]

Sıvama ucunun yağlanması için yarı yarıya FTMZ yağı ve FD-KS yağı karıştırılarak uygun bir karışım elde edilir [11]. FTMZ yağı açık kahverengi rengine olup yoğunluğu

20°C’de $0,945 \pm 0,01$ g/cm³’dür, viskozitesi ise 40 °C’de 350 mm²/s’dır [13]. FD-KS ise beyaz renkli macun kıvamında olup 20 °C’de yoğunluğu 17 g/cm³’dür [12,13,14].

2.12. Sıvama Kılavuzunun Yağlaması

Soğuk şekillendirme esnasında meydana gelen yüksek sürtünme değerleri yüksek kuvvetleri meydana getirmektedir. Sıvama kılavuzunun yağlanması ile kaliteli bir vida dışı yüzeyi elde edilir ve yağlama sayesinde döndürme momenti azalır. Bu durum sıvama kılavuzunun ömrünü uzatır [15].

Sülfirik ve klorik yağlar soğuk şekillendiren işlemler için tercih edilir. Diğer akışkanlar genel olarak metal kesme işlemlerinde ve kılavuzlarla dış açma işleri için tercih edilir [11].

2.13. Sürtünmeli Delme Matkabının Ömrünü Etkileyen Faktörler

Sürtünmeli delme matkabının ömrünü etkileyen birçok faktör vardır. Takım ömrünü etkileyen faktörler aşağıda özetlenmiştir.

1. Sert metal malzemeden yapılan matkapların darbe dayanımları zayıftır. Bu nedenle sürtünmeli delme matkabının iş parçasına teması çok hızlı bir şekilde olmamalıdır.
2. Yabancı maddelerin sürtünmeli delme matkabına yapışması delik kalitesini ve kovan biçimini bozacağı gibi aynı zamanda matkabın aşırı aşınmasına neden olur. Bu tür birikimler düzenli olarak matkap ucundan uzaklaştırılmalıdır.
3. Matkabın iş parçasına girmesi sırasında çok yüksek burulma momenti meydana gelir. Bu durum matkap ucunun kırılmasına neden olur. Bu nedenle delme işleminin başlangıcında ani ve yüksek ilerleme kuvveti kullanılmamalıdır.
4. Sürtünmeli delme matkapları çok yüksek sıcaklıklarda bile mukavemet özelliklerini koruyacak şekilde özel geliştirilmiş sert metal malzemelerden imal edilirler. Fakat bu malzemeler aşırı ani sıcaklık değişikliklerine karşı hassastırlar. Bu durum sürtünmeli delme matkabının kırılmasına neden olur. Ani sıcaklık değişimlerini meydana getirecek uygulamalardan kaçınılmalıdır[11].
5. Çok yüksek ilerleme değerlerinde delme işlemlerinde matkap ucu iş parçasını deldikten sona birden boşa çıkar. Bu ise matkap ucunda yorulma kırılmasına neden olur.

6. Sürtünmeli delme işleminin süreklilik içerisinde ara verilmeden tamamlanmasına dikkat edilmelidir. Delme esnasında iş parçası delik bölgesinde oluşacak büzüşme matkap ucunun kırılmasına sebep olur.
7. Sürtünmeli delmede matkap ucunun bağlanması oluşacak eksen kaçıklığı, tezgah milindeki boşluk ve titreşim gibi hatalar matkap ucunun kırılmasına neden olur.
8. Belirli delme aralıklarında matkap ucunun yağlanması takımların ömrünü belirgin bir şekilde artırır.
9. Delme parametreleri uygun seçilmeli ve mümkün oldukça yüksek çalışma sıcaklıklarından kaçınılmalıdır. Yüksek çalışma sıcaklıkları matkap ucunun hızlı bir şekilde aşınmasına neden olur.

2.14. Sürtünmeli Delme Yönteminin Avantajları

Sürtünmeli delme yöntemi endüstrinin birçok alanında kullanılan ince cidarlı malzemelerin delinmesinde ve dış açılmasında, geleneksel yöntemlerle delinemeyen aşınmaya dirençli malzemelerin delinmesinde önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu yöntem henüz pek kullanılmamasına rağmen endüstriye çok fazla katkıda bulunacak nitelikte bir yöntemdir. Bu yöntemin kullanım alanlarına göre sağladığı avantajları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- a. Geleneksel delme yöntemleri, malzeme üzerinde mekanik kuvvet uygulayarak ve zorlama ile genellikle malzeme içinde plastik deformasyon ve kayma gerilmeleri yaratarak, malzeme üzerinden talaş kaldırılarak yapılan delme yöntemidir. Sürtünmeli delme yöntemi ise, dönen bir takım ve malzeme arasında sürtünmeyle oluşan ısıyı kullanarak malzemeyi yumuşatıp içine nüfuz ederek ince duvarlı bir delik açan, geleneksel olmayan bir delme yöntemidir. Bu nedenle aşınma direnci yüksek ve deformasyon sertleşmesine uğrayan ince kesitli malzemeler bu yöntemle kolaylıkla delinebilir.
- b. Sürtünmeli delme yöntemi, ince cidarlı malzemelere açılan deliklere vida montajı yapılırken elde edilen kovan oluşumuyla daha sağlam bir yapı oluşturduğundan, dış açma kalınlığını ve mevcut sıkma yükünü daha da arttırdığından özellikle önem kazanmaktadır. Bu sebeple sürtünmeli delme yönteminin kullanılması ile vidalı bağlantılarda harici ek bir malzeme kaynatmaya, perçinlemeye ve puntalamaya gerek kalmaz. Ayrıca herhangi bir ilave işlem gerektirmediği için imalat maliyeti daha düşük ve üretim süreleri de daha kısadır.

- c. Deliklere ilave malzeme kaynağı meydana gelecek olan kaynak gerilmelerini de elimine edecek bir işlem olması nedeniyle, diğer ince cidarlı malzemelerde vidalı yüzey oluşturmak için uygulanan yöntemlere göre daha avantajlıdır.
- d. Sürtünmeli delme matkaplarının en yoğun kullanıldığı uygulamalar, ince cidarlı sac veya borularda delik açarak, bunları kılavuz çekilebilecek bir duruma getirmektir. Kılavuz çekme işlemi doğal olarak piyasadaki herhangi bir kılavuzla yapılabilse de, sürtünmeli delme ile delinmiş delik ile bütünleşmesi açısından, sıvama kılavuzu (flowtap) tavsiye edilir. Bu durumda sıvayarak dış açma işlemi sonucu oluşan pekleşme nedeniyle vida dişi açılmış malzemenin dayanımı daha da artar.
- e. Geleneksel delme işlemlerinde kullanılan soğutma sıvıları insan sağlığı için zararlı ve çevresel kirlilik yapmaktadırlar. Buna karşın sürtünmeli delmede soğutma sıvısı kullanılmamakta ve soğutma sıvısı israfını ortadan kaldırmaktadır.
- f. Daha yüksek delme hızları ile daha düşük imalat zamanları oluşur. Takım ömürleri konvansiyonel delmeye göre daha yüksektir. Bununla birlikte sorunsuz bir otomasyon sağlar[11].
- g. Dış çekme vidalarında seri üretimde zamandan ve maliyetten tasarruf sağlar. Boru genişletmelerinde ise güvenli bağlantılar sağlar [1,2].
- h. Boruların geleneksel delme işlemleri ile delinmesinde eksenleme ve borularda büzülme gibi problemler meydana gelmektedir. Boruların delinmesi esnasında ortaya çıkan bu tür problemlerin ortadan kaldırılması için önemli bir avantaj sağlarlar.
- i. Sıvama kılavuzları ne yivlere, nede kesici kenarlara sahiptir. Soğuk şekillendirme ile dış açma işlemi hemen hemen konvansiyonel kılavuz açabilen tüm tezgahlar ile yapılabilir. Sıvama kılavuzları, talaş kaldıran kılavuzlar gibi ısı açığa çıkartmazlar. Bunlar ısıyı kılavuzun ve iş parçasının içine doğru dağıtırlar. Sonuç olarak sıvama kılavuzu ile soğuk şekillendirme, talaşları elimine eden, kılavuz kırılmalarını azaltan ve iş parçalarının kalitesini iyileştiren bir yöntemdir. Bu yöntem endüstride hızla ivme kazanan bir yöntem olmakta olup her türlü mevcut dış açma tertibatında kullanılabilir.

2.15. Sürtünmeli Delmenin Uygulama Alanları

Sürtünmeli delme yöntemi hemen hemen ince cidarlı tüm malzemelere uygulanabilmektedirler. Sürtünmeli delme temel olarak yapı çeliği, paslanmaz çelik, pirinç, bakır, alüminyum, manyetik malzemeler ve özel alaşımlar ve özellikle aşınmaya dirençli ve deformasyon sertleşmesine uğrayan malzemelerde kolaylıkla kullanılabilir. Genel olarak,

boyuna talaş kaldırmaya müsait tüm malzemelerin sürtünmeli delme işlemine uygun olduğu söylenebilir. Delinen malzemeye sıvama kılavuzu (flowtap) ile vida dişi açılabilir.

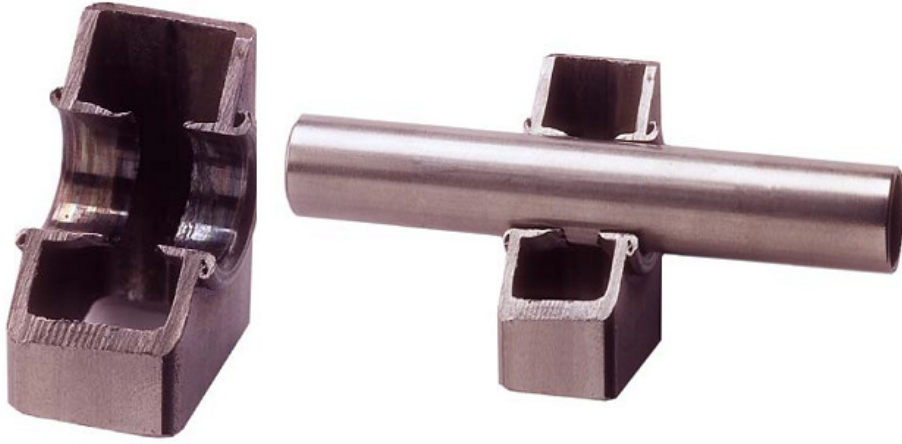
Sürtünmeli delme yöntemi farklı kesit ve duvar kalınlıklarında çeşitli geometrilerdeki malzemelerde kullanılabilir. Ayrıca yuvarlak borularda sürtünmeli delme işlemi önemli bir avantaj sağlar. Sürtünmeli delmenin kullanım alanlarını aşağıdaki gibi özetlersek;

- Özellikle ince cidarlı bölgelerde yüksek bir vida sıyrma mukavemetine sahip civata bağlantıları,
- Çok düzgün bir yuvaya ihtiyaç duyan geniş yüzeyli lehim bağlantıları (ısı değiştirici tabanları,
- Sızdırmazlık istenen gaz bağlantıları(Şekil 2.21)
- Yüksek mukavemetli kaymalı yataklar (güneş enerjili sistemlerdeki katlama mekanizmaları ,
- Rulman veya kaymalı yatakların ince cidarlı borulara veya profil parçalara oturtulması(Şekil 2.22),
- Lehimli ve kaynaklı bağlantıları(Şekil 2.23),
- Su tankları ve basınçlı tankları,
- İç içe geçmiş profil ve boru tipi parçalara müşterek delik açma işlemleri(Şekil 2.24),
- Otomotiv endüstrisi(Şekil 2.25),
- Çelik mobilyalardaki bağlantı yerleri,

gibi birçok uygulama yerleri sayılabilir.



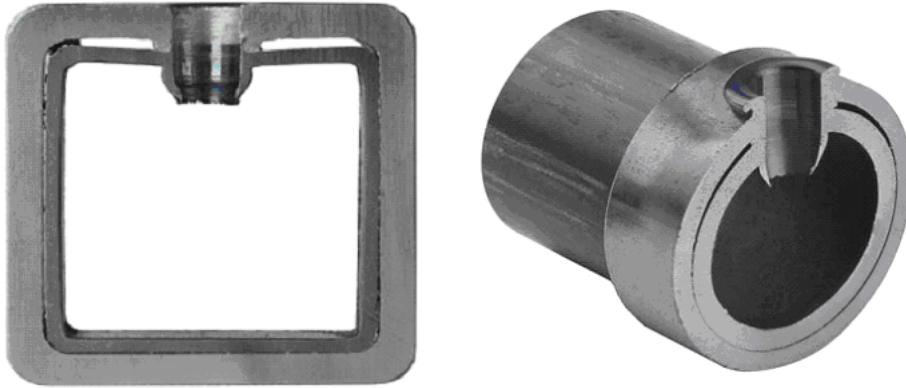
Şekil 2. 21 Sızdırmazlık gerektiren gaz ve boru bağlantı uygulamaları [15].



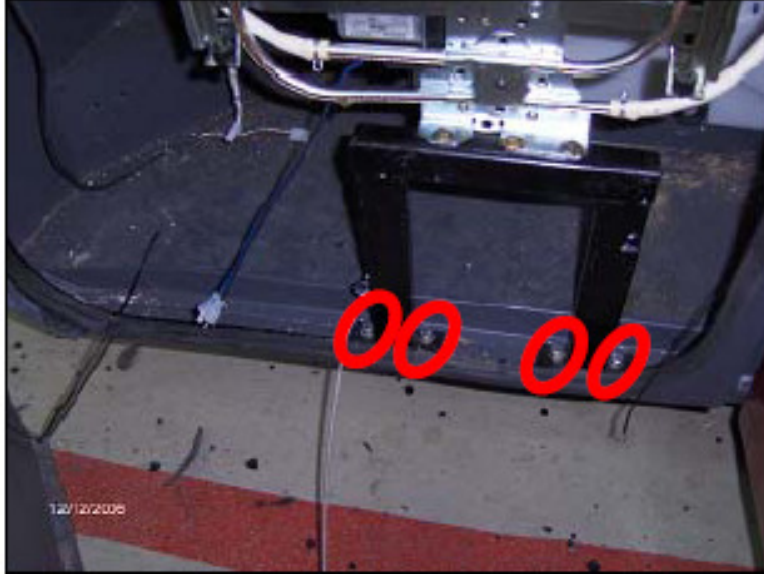
Şekil 2. 22 Manşonlu yataklarda veya kaymalı destek uygulamaları [15]



Şekil 2. 23 Lehimli ve kaynaklı boru bağlantıları uygulamaları [15]



Şekil 2. 24 İç içe geçmiş boru veya profil parçaların müşterek delinmesi [15]



Şekil 2. 25 Otomotiv iskeleti uygulamaları [11].

3.MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, AISI 1010 çeliğinin sürtünmeli delme yöntemiyle delinmesinde delme hızı, sürtünme açısı, ilerleme, takım çapı, sürtünme temas alanı gibi delme parametreleri kullanılarak delik yüzeyi kalitesi ve kovan geometrisi incelenmiştir.

Tablo 3. 1 Sürtünmeli delme işleminde delme parametreleri

Parametreler	Değerleri			
Sürtünme açıları (derece)	30 ⁰	45 ⁰	60 ⁰	
İlerleme (mm/dak)	75	150	225	
Matkap çapı (mm)	6	8	10	
Delme hızı (m/dak)	50	75	100	125
Sürtünme temas alanı oranı (%)	100			

Sürtünmeli delme deneyleri Microcut Challenger 2414 marka dik işlem merkezli CNC freze tezgâhında yapılmıştır. İş parçası CNC tezgâhının tablasına mengene yardımıyla bağlanarak delikler, hazırlanan CNC programı yardımıyla otomatik olarak delinmiştir(Şekil 3.1). Delme esnasında pul oluşumu da dikkate alındığından delici takımın boyun kısmı işparçasına tam olarak temas ettirilmeyerek matkabının boyun kısmı ile iş parçası yüzeyi arasında 1 mm boşluk bırakılmıştır. Delme işlemleri kuru ortamlarda yapılmış olup matkap uçlarında herhangi bir yağlayıcı kullanılmamıştır. CNC freze tezgâhının özellikleri aşağıda verilmiştir (Tablo 3.2).

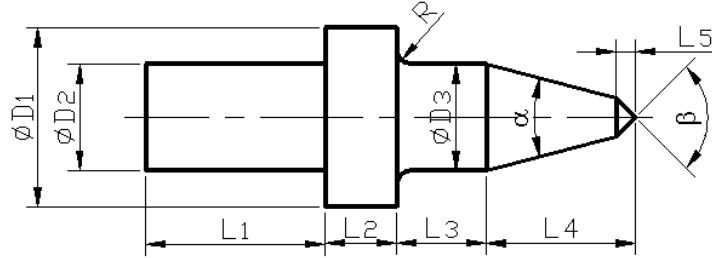
Tablo 3. 2 Sürtünmeli delme kullanılan CNC freze tezgâhının özellikleri

Tezgah Parametreleri	Değerleri
İş masası ölçüsü	760 x 360 mm
X-Eksen hareketi	610 mm
Y-Eksen hareketi	355 mm
Z-Eksen hareketi	510 mm
İş mili alnı ile iş masası yüzeyi arası mesafe	110~620 mm
İş mili devir sayısı	8000 d/dak
İş mili motor gücü	7,5 kW
Takım şaft koniği	BT-40
Takım magazini istasyon sayısı	16 adet
Ağırlık	2500 kg
Kontrol ünitesi	Fanuc 0i-MC
Eksen seri hareket hızları	20 m/dak



Şekil 3. 1 Deneylerde kullanılan CNC tezgahı

Deneylerde %10 Co ihtiva eden WCsinterlenmiş karbür uçlar(K20) kullanılmıştır(Şekil 3.2). Sürtünmeli delme deneylerinde kullanılmak üzere üç farklı çap ve üç farklı sürtünme açlarına sahip 9 adet matkap ucu, Nurol Teknoloji Sanayi ve Madencilik Ticaret A.Ş. Ankara/ TÜRKİYE’ de imal ettirilmiştir. Takımların uç açıları 90° ve sürtünme temas yüzey alanı oranı % 100(kesici takım sürtünmeye konik yüzey olarak alınmıştır. Deneylerde kullanılan matkap uçlarının boyutları Tablo 3.3’ de verilmiştir.



Şekil 3. 2 Deneylerde kullanılan takım ölçüleri

Tablo 3. 3 Sürtünmeli delme deneylerinde kullanılan matkap uçlarının boyutları

Takım No.	ϕD_1	ϕD_2	ϕD_3	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	R	α	β
1	12	8	6	25	10	10	4,7	0,64	0,5	60	90
2	12	8	6	25	10	10	6,2	0,74	0,5	45	90
3	12	8	6	25	10	10	7,8	1,24	0,5	30	90
4	16	10	8	25	10	12	6,4	0,72	0,5	60	90
5	16	10	8	25	10	12	8,2	1,03	0,5	45	90
6	16	10	8	25	10	12	10,0	1,8	0,5	30	90
7	20	14	10	25	10	14	8,0	0,9	1	60	90
8	20	14	10	25	10	14	10,3	1,25	1	45	90
9	20	14	10	25	10	14	12,6	2,22	1	30	90

Bu araştırmada iş parçası malzemesi olarak 40x40 mm boyutlarında et kalınlığı 2 mm olan AISI 1010 düşük karbonlu çelik kare profil kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan iş parçasının kimyasal analizi Tablo 3.4’ de verilmiştir.

Tablo 3. 4 Deney çalışmalarında kullanılan AISI 1010 malzemesinin kimyasal analizi

% Alaşım Elementi								
C	Si	Mn	Cu	S	Cr	Ni	Al	Fe%
0.03491	0.03614	0.20271	0.03565	0.01892	0.02235	0.01596	0.03181	99.5754

3.1. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri

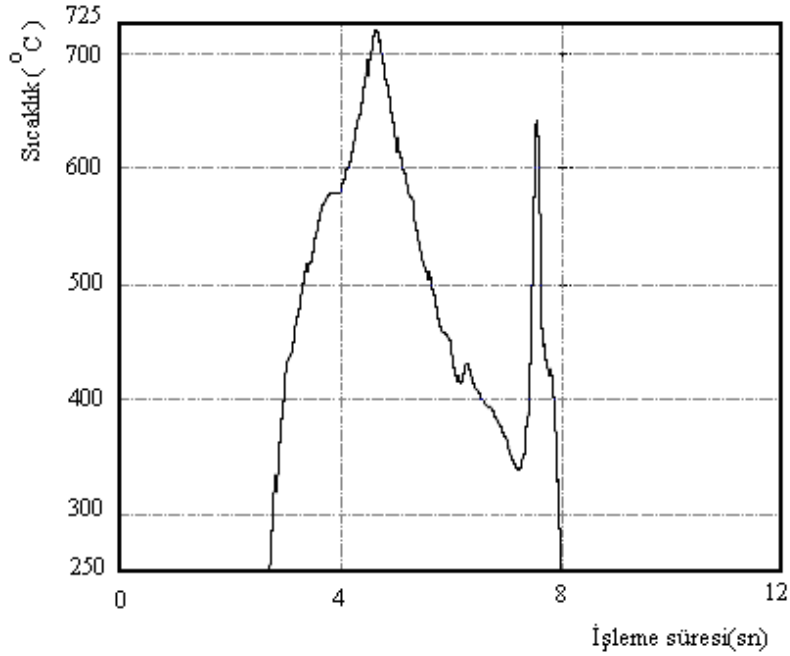
Sürtünmeli delme deneylerinde, delme parametrelerinin deliklerin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemek amacıyla yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapıldı. Ölçümlerde Mitutoyo SJ-201 marka yüzey pürüzlülük cihazı kullanılarak ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri (Ra) belirlendi. Belirlenen deney şartlarında işlenmiş ikişer adet numune kullanıldı. Her deney numunesinin farklı 3 noktasından deliğin eksenı boyunca ölçümler yapılarak ortalamaları alındı. Hatalı ve aşırı sapma gösteren deneyler değerlendirmeye alınmayarak deneyler tekrar edildi. Yüzey pürüzlülüğünün ölçümünde delme uzunluğu (the cutoff length) $\lambda_c=0,8$ ve numune sayısı 5 (the sampling number) seçildi. Bu durumda hareket(travers) uzunluğu $0,8 \times 5 = 4$ mm olmaktadır.

3.2. Sıcaklık Ölçümü

Delme esnasında delik bölgesinde oluşan sıcaklıkları zamana bağlı olarak ölçümü için Impac IGA 15 Plus Marka temassız kızılötesi ışınli termometre bilgisayar destekli olarak kullanılmıştır. Kullanılan temassız sıcaklık ölçme aletinin özellikleri Tablo 3.5’ de verilmiştir. Sıcaklıklar 0.02 sn gösterge süresinde maksimum değerler okunarak belirlenmiştir. Belirlenen değerler 0.1 sn aralıklarla bilgisayara aktarılmış ve sıcaklık zaman grafikleri elde edilmiştir(Şekil 3.3). Delme esnasında oluşan ön ısınmanın etkisini ortadan kaldırmak için her deney sonrasında kesici takım ile iş parçasının soğuması beklenmiş ve sonraki deneye başlanmıştır.

Tablo 3. 5 Impac IGA 15 Plus Marka temassız kızılötesi ışınli termometre özellikleri

Parametreler	Aralığı
Sıcaklık ölçme aralığı	250-1800 °C
Ölçme doğruluğu	%0.6 (23 °C ortam sıcaklığında %100)
Gösterge süresi	20 ms
Ölçme fonksiyonu	Max. , Min. , Ort.. ve Fark
Kaydetme aralığı	0.02sn,0.04sn,0.1sn,0.2sn,0.5sn,1sn,2sn,5sn,10sn,20sn,50sn



Şekil 3. 3 Delme işlemi süresince oluşan sıcaklık değişimleri
(d=8mm, V=75 m/dak, F=225 mm/dak, $\alpha=60^\circ$)

4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Sürtünmeli delme deneyleri farklı delme şartlarında yapılmış ve delinen delik kovanlarının yüzey pürüzlülük değerleri ile delme esnasında delik bölgesinde meydana gelen maksimum sıcaklıklar ölçülerek tablo haline getirilmiştir(Tablo 4.1).

Tablo 4. 1 Sürtünmeli delme deney sonuçları

Deney no	Takım çapı (mm)	Sürtünme açısı, α (derece)	Delme hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dak)	Sıcaklık (°C)	Yüzey pürüzlülüğü Ra (μ m)
1	6	30	50	75	779	0,49
2	6	30	50	150	725	0,65
3	6	30	50	225	700	0,75
4	6	30	75	75	806	0,38
5	6	30	75	150	743	0,42
6	6	30	75	225	705	0,48
7	6	30	100	75	830	0,34
8	6	30	100	150	755	0,38
9	6	30	100	225	715	0,45
10	6	30	125	75	822	0,29
11	6	30	125	150	742	0,35
12	6	30	125	225	704	0,42
13	6	45	50	75	705	0,4
14	6	45	50	150	700	0,52
15	6	45	50	225	667	0,56
16	6	45	75	75	764	0,36
17	6	45	75	150	736	0,47
18	6	45	75	225	699	0,52
19	6	45	100	75	880	0,33
20	6	45	100	150	799	0,45
21	6	45	100	225	734	0,5
22	6	45	125	75	842	0,32
23	6	45	125	150	764	0,43
24	6	45	125	225	675	0,48
25	6	60	50	75	685	0,37
26	6	60	50	150	676	0,68
27	6	60	50	225	661	0,74
28	6	60	75	75	756	0,37
29	6	60	75	150	732	0,55
30	6	60	75	225	714	0,58
31	6	60	100	75	778	0,31
32	6	60	100	150	752	0,49
33	6	60	100	225	739	0,48
34	6	60	125	75	808	0,3
35	6	60	125	150	780	0,37
36	6	60	125	225	745	0,38
37	8	30	50	75	821	0,78
38	8	30	50	150	720	1,07
39	8	30	50	225	711	1,2

Tablo 4. 2 Sürtünmeli delme deney sonuçlarının (devamı)

Deney no	Takım çapı (mm)	Sürtünme açısı, α (derece)	Delme hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dak)	Sıcaklık (°C)	Yüzey pürüzlülüğü Ra (μ m)
40	8	30	75	75	841	0,65
41	8	30	75	150	767	0,85
42	8	30	75	225	747	1
43	8	30	100	75	759	0,6
44	8	30	100	150	785	0,72
45	8	30	100	225	776	0,78
46	8	30	125	75	856	0,58
47	8	30	125	150	788	0,66
48	8	30	125	225	779	0,68
49	8	45	50	75	768	0,84
50	8	45	50	150	709	1,2
51	8	45	50	225	682	1,39
52	8	45	75	75	860	0,76
53	8	45	75	150	769	1,01
54	8	45	75	225	726	1,09
55	8	45	100	75	920	0,65
56	8	45	100	150	821	0,9
57	8	45	100	225	772	0,95
58	8	45	125	75	913	0,65
59	8	45	125	150	819	0,82
60	8	45	125	225	768	0,85
61	8	60	50	75	700	1,18
62	8	60	50	150	666	1,76
63	8	60	50	225	654	2,16
64	8	60	75	75	785	0,98
65	8	60	75	150	756	1,27
66	8	60	75	225	719	1,48
67	8	60	100	75	820	0,77
68	8	60	100	150	777	1,02
69	8	60	100	225	742	1,2
70	8	60	125	75	835	0,75
71	8	60	125	150	786	0,88
72	8	60	125	225	755	0,95
73	10	30	50	75	790	0,95
74	10	30	50	150	754	1,27
75	10	30	50	225	671	1,47
76	10	30	75	75	848	0,75
77	10	30	75	150	822	0,91
78	10	30	75	225	781	1,15
79	10	30	100	75	865	0,65
80	10	30	100	150	834	0,77
81	10	30	100	225	792	0,86
82	10	30	125	75	834	0,64
83	10	30	125	150	805	0,7
84	10	30	125	225	769	0,75
85	10	45	50	75	752	1,15
86	10	45	50	150	732	1,59
87	10	45	50	225	660	1,83
88	10	45	75	75	864	0,81

Tablo 4. 3 Sürtünmeli delme deney sonuçlarının (devamı)

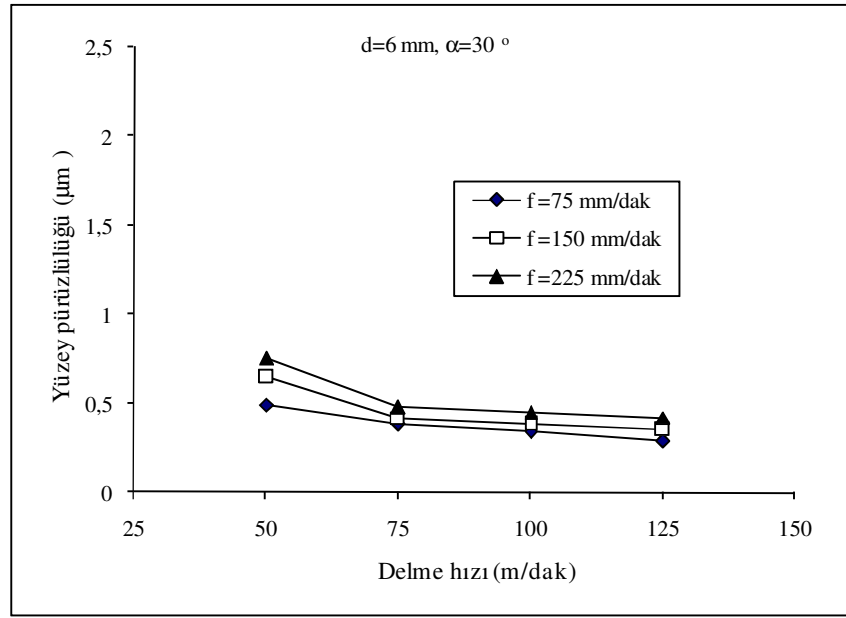
Deney no	Takım çapı (mm)	Sürtünme açısı, α (derece)	Delme hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dak)	Sıcaklık (°C)	Yüzey pürüzlülüğü Ra (μm)
89	10	45	75	150	815	1,14
90	10	45	75	225	746	1,28
91	10	45	100	75	881	0,73
92	10	45	100	150	833	0,95
93	10	45	100	225	780	1,05
94	10	45	125	75	852	0,66
95	10	45	125	150	830	0,85
96	10	45	125	225	765	0,95
97	10	60	50	75	708	1,58
98	10	60	50	150	675	2,25
99	10	60	50	225	652	2,32
100	10	60	75	75	770	1,14
101	10	60	75	150	736	1,46
102	10	60	75	225	720	1,63
103	10	60	100	75	795	0,92
104	10	60	100	150	765	1,22
105	10	60	100	225	743	1,43
106	10	60	125	75	807	0,85
107	10	60	125	150	771	1,08
108	10	60	125	225	751	1,25

4.1. Delme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkileri

Sürtünmeli delme işlemi sonucunda delme hızının, ilerlemenin, sürtünme açısının delik yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri ayrı ayrı ele alınarak incelenmiştir.

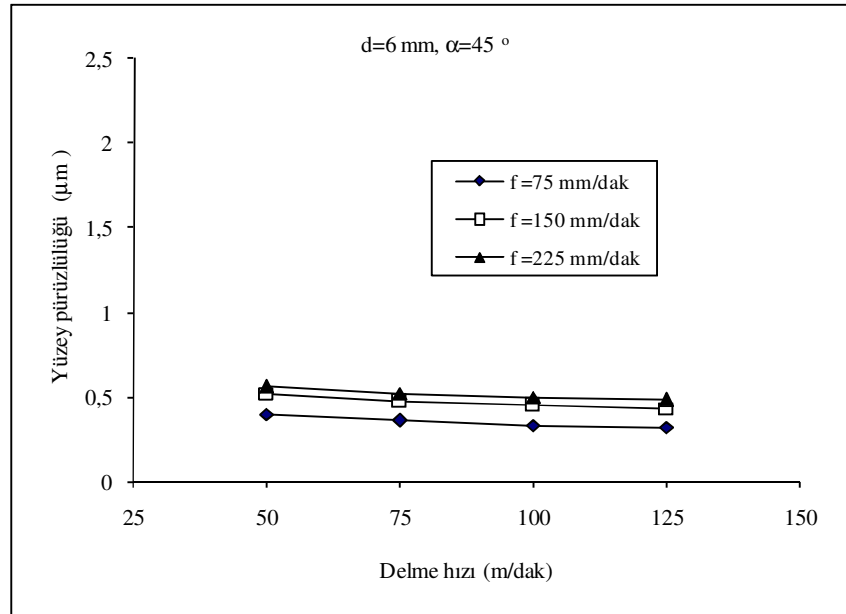
4.1.1. Delme Hızının Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisi

Deneyler 50, 75, 100 ve 125 m/dak olmak üzere dört farklı delme hızları kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen değerler takım çapı ve ilerleme miktarlarına bağlı olarak Şeki 4.1'den Şekil 4.9' a kadar olan grafiklerde sunulmuştur.



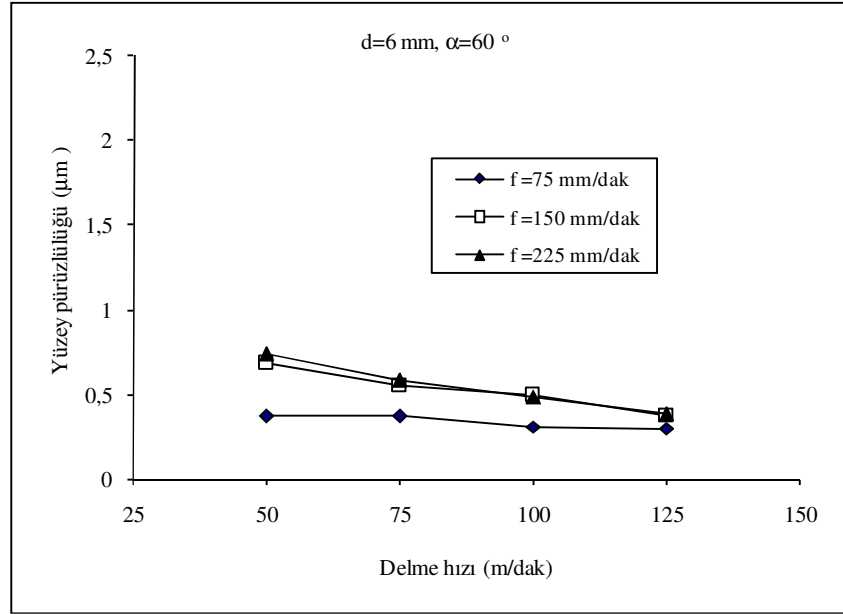
Şekil 4. 1 Delme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi

Şekil 4.1 deki grafik incelendiğinde $d=6\text{mm}$ çapında $\alpha=30^\circ$ 'lik sürtünme açısına sahip takımlar kullanılarak 75, 150, 225 mm/dak ilerleme hızlarında yapılan deneylerde en yüksek R_a yüzey pürüzlülüğü değerleri (0.49, 0.65, 0.75 μm) olarak 50 m/dak delme hızında elde edildiği görülmüştür. En düşük R_a yüzey pürüzlülüğü değerleri (0.29, 0.35, 0.42 μm) ise 125 m/dak delme hızında elde edilmiştir. Delme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azalmaktadır.



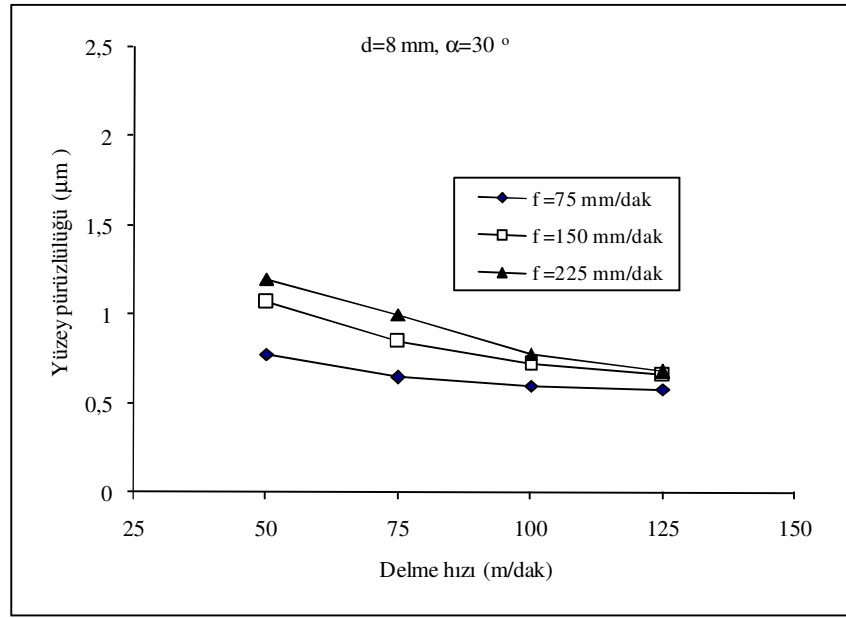
Şekil 4. 2 Delme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi

Şekil 4.2 deki grafik incelendiğinde $d=6\text{mm}$ çapında $\alpha=45^\circ$ lik sürtünme açısına sahip takımlar kullanılarak 75, 150, 225 mm/dak ilerleme hızlarında yapılan deneylerde en yüksek Ra yüzey pürüzlülüğü değerleri 50 m/dak delme hızında sırasıyla 0.4, 0.52, 0.56 μm olarak elde edilmiştir. Bu değerler $\alpha=30^\circ$ için elde edilen en yüksek Ra (0.49, 0.65, 0.75 μm) değerlerinden daha düşüktür. En düşük Ra yüzey pürüzlülüğü değerleri 125 m/dak delme hızında sırasıyla 0.32, 0.43, 0.48 μm olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla delme hızı artıkça yüzey pürüzlülüğü değerleri azalmaktadır.



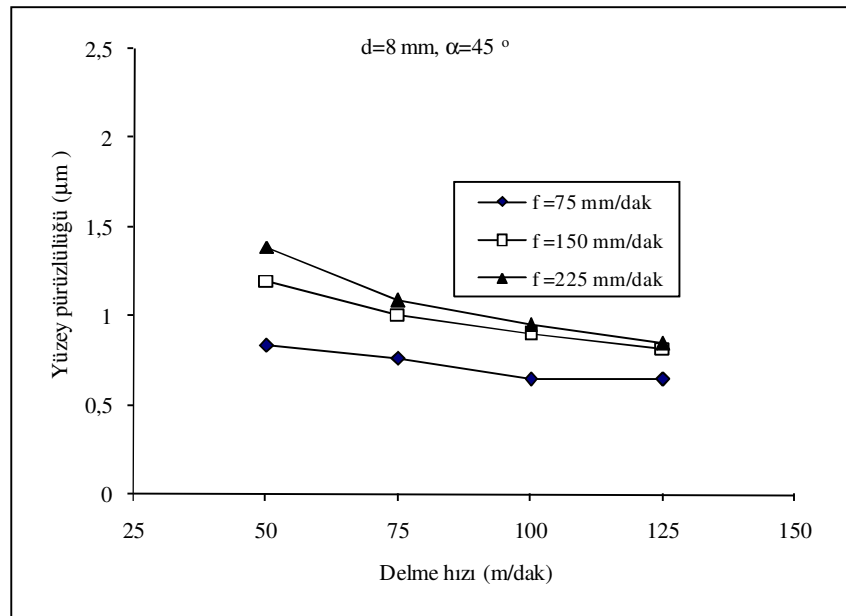
Şekil 4. 3 Delme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi

Şekil 4.3 deki grafik incelendiğinde $d=6\text{mm}$ çapında $\alpha=60^\circ$ lik sürtünme açısına sahip takımlar kullanılarak 75, 150, 225 mm/dak ilerleme hızlarında yapılan deneylerde, $\alpha=30^\circ$ ve $\alpha=45^\circ$ deki elde edilen verilerde olduğu gibi elde edilen en yüksek Ra yüzey pürüzlülüğü değerleri 50 m/dak delme hızında sırasıyla 0.37, 0.68, 0.74 μm olarak elde edilmiştir. En küçük Ra yüzey pürüzlülüğü değerleri ise 125 m/dak delme hızında 0.3, 0.37, 0.38 μm olarak elde edilmiştir.



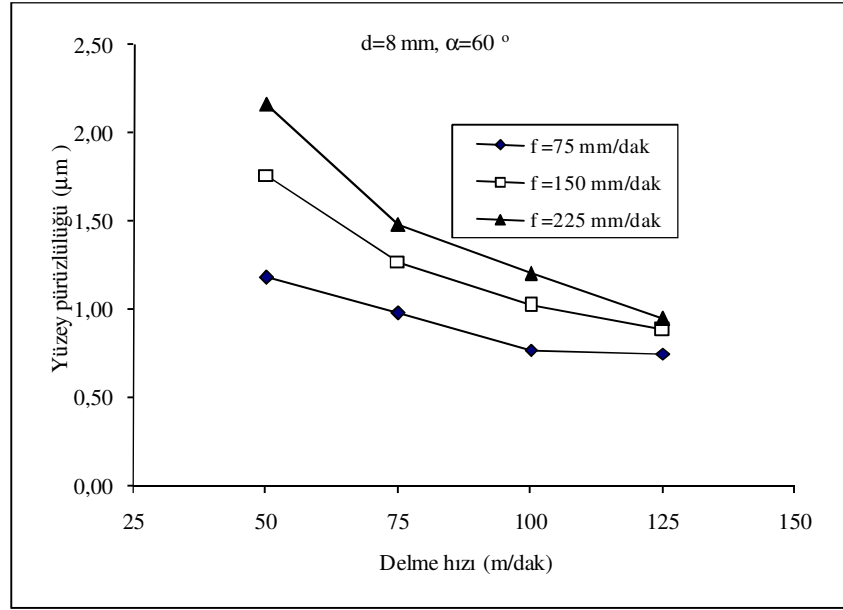
Şekil 4. 4 Delme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi

Şekil 4.4 deki grafik incelendiğinde $d=8\text{mm}$ çapında $\alpha=30^\circ$ 'lik sürtünme açısına sahip takımlar kullanılarak 75, 150, 225 mm/dak ilerleme hızlarında yapılan deneylerde en yüksek Ra yüzey pürüzlülüğü değerleri 50 m/dak delme hızlarında sırasıyla 0.78, 1.07, 1.2 μm olarak elde edilmiştir. En küçük Ra yüzey pürüzlülüğü değerleri ise 125 m/dak delme hızında 0.58, 0.66, 0.68 μm olarak elde edilmiştir.



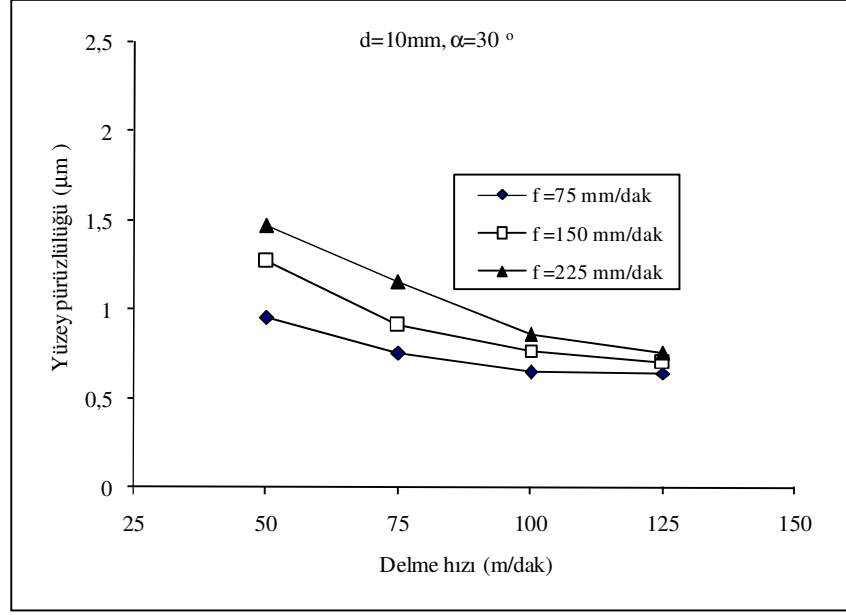
Şekil 4. 5 Delme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi

Şekil 4.5 deki grafik incelendiğinde $d=8\text{mm}$ çapında $\alpha=45^\circ$ ’lik sürtünme açısına sahip takımlar kullanılarak 75, 150, 225 mm/dak ilerleme hızlarında yapılan deneylerde en yüksek Ra yüzey pürüzlülüğü değerleri 50 m/dak delme hızında sırasıyla 0.84, 1.2, 1.39 μm olarak elde edilmiştir. En küçük Ra yüzey pürüzlülüğü değerleri ise 125 m/dak delme hızında 0.65, 0.82, 0.85 μm olarak elde edilmiştir.



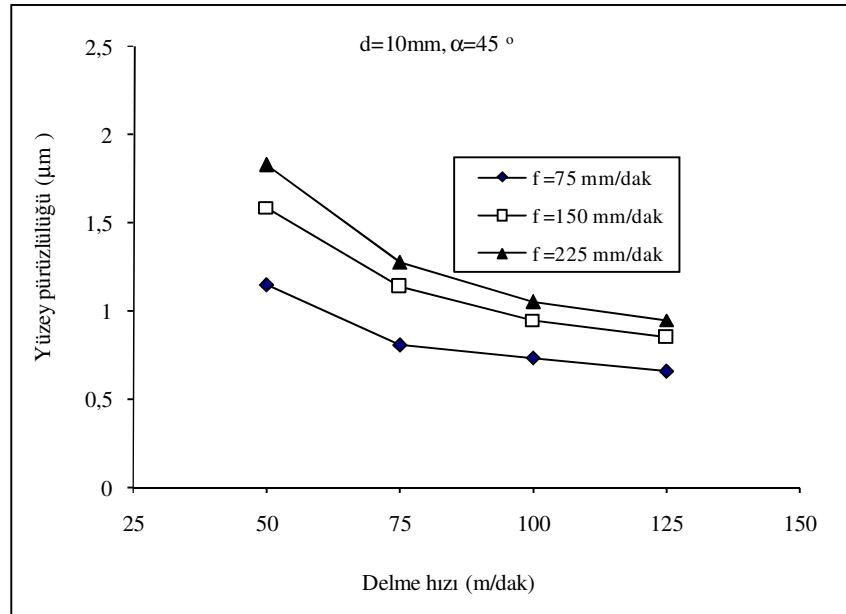
Şekil 4. 6 Delme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi

Şekil 4.6 daki grafik incelendiğinde $d=8\text{mm}$ çapında $\alpha=60^\circ$ ’lik sürtünme açısına sahip takımlar kullanılarak 75, 150, 225 mm/dak ilerleme hızlarında yapılan deneylerde en yüksek Ra yüzey pürüzlülüğü değerleri 50 m/dak delme hızında sırasıyla 1.18, 1.76, 2.16 μm olmuştur. En küçük Ra yüzey pürüzlülüğü değerleri ise 125 m/dak delme hızında 0.75, 0.88, 0.95 μm olmuştur.



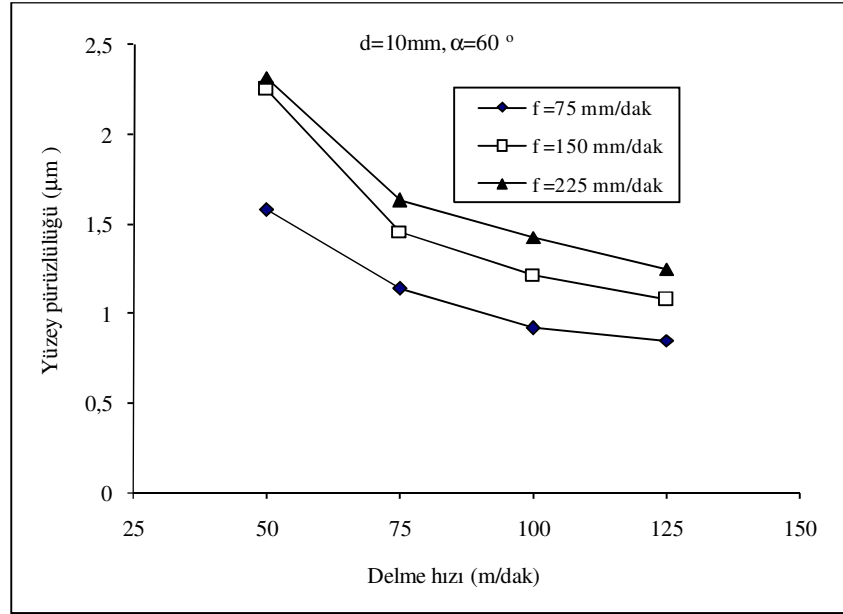
Şekil 4. 7 Delme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi

Şekil 4.7 deki grafik incelendiğinde $d=10$ mm çapında $\alpha=30^\circ$ 'lik sürtünme açısına sahip takımlar kullanılarak 75, 150, 225 mm/dak ilerleme hızlarında yapılan deneylerde en yüksek Ra yüzey pürüzlülüğü değerleri 50 m/dak delme hızında sırasıyla 0.95, 1.27, 1.47 μm olarak elde edilmiştir. En küçük Ra yüzey pürüzlülüğü değerleri ise 125 m/dak delme hızında 0.64, 0.7, 0.75 μm olarak elde edilmiştir.



Şekil 4. 8 Delme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi

Şekil 4.8 deki grafik incelendiğinde $d=10$ mm çapında $\alpha= 45^\circ$ lik sürtünme açısına sahip takımlar kullanılarak 75, 150, 225 mm/dak ilerleme hızlarında yapılan deneylerde en yüksek Ra yüzey pürüzlülüğü değerleri 50 m/dak delme hızında sırasıyla 1.15, 1.59, 1.83 μm olarak elde edilmiştir. En küçük Ra yüzey pürüzlülüğü değerleri ise 125 m/dak delme hızında 0.66, 0.85, 0.95 μm olarak elde edilmiştir.



Şekil 4. 9 Delme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi

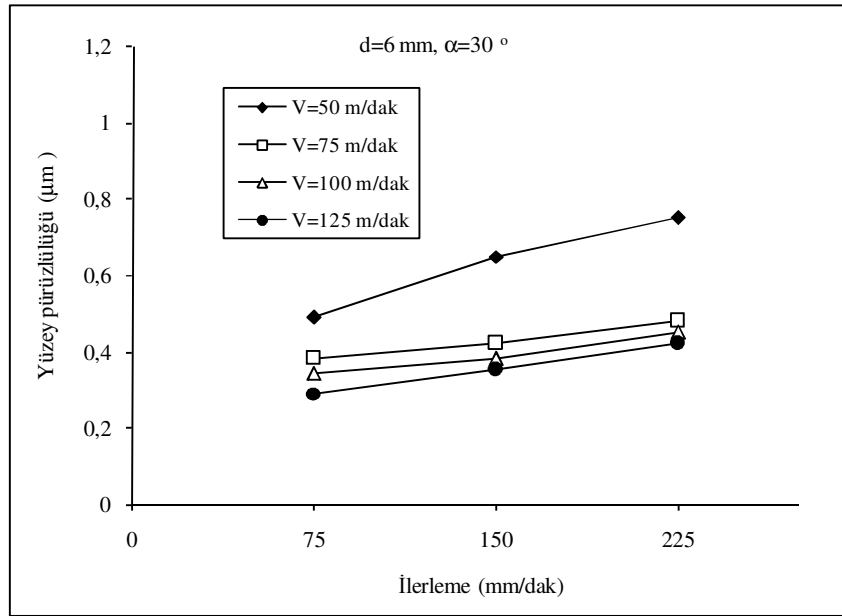
Şekil 4.9 deki grafik incelendiğinde $d=10$ mm çapında $\alpha= 60^\circ$ lik sürtünme açısına sahip takımlar kullanılarak 75, 150, 225 mm/dak ilerleme hızlarında yapılan deneylerde en yüksek Ra yüzey pürüzlülüğü değerleri 50 m/dak delme hızında sırasıyla 1.58, 2.25, 2.32 μm olarak elde edilmiştir. En küçük Ra yüzey pürüzlülüğü değerleri ise 125 m/dak delme hızında 0.66, 1.08, 1.25 μm olarak elde edilmiştir.

Şekil 4.1-Şekil 4.9 grafikleri incelendiğinde aynı çaptaki takımlarla yapılan sürtünmeli delme deneylerinde en küçük Ra yüzey pürüzlülüğü değerleri delme hızları 125 m/dak da elde edilmiştir. Buna karşın en yüksek Ra yüzey pürüzlülüğü değerleri ise delme hızları 50 m/dak değerlerinde görülmüştür. Delme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır.

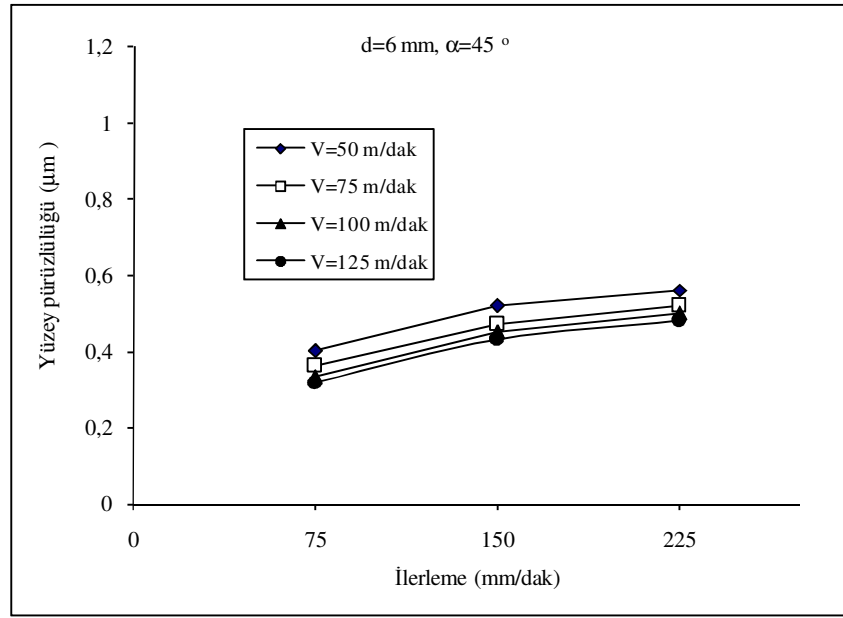
Delme hızının artmasıyla iş parçası ile kesici takım arasında birim zamanda oluşan sürtünme miktarı artmaktadır. Artan sürtünme miktarı ile iş parçası daha fazla ısınmakta ve buna bağlı olarak metallerin kristalleşme enerjisi artarak tam bir erime sağlanmaktadır[6]. Bunun sonucunda iş parçası yumuşayarak kesici takım üzerinde daha düzgün şekillenmektedir. Bu durum işlenen deliğin yüzey kalitesini arttırmaktadır.

4.1.2. İlerlemenin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisi

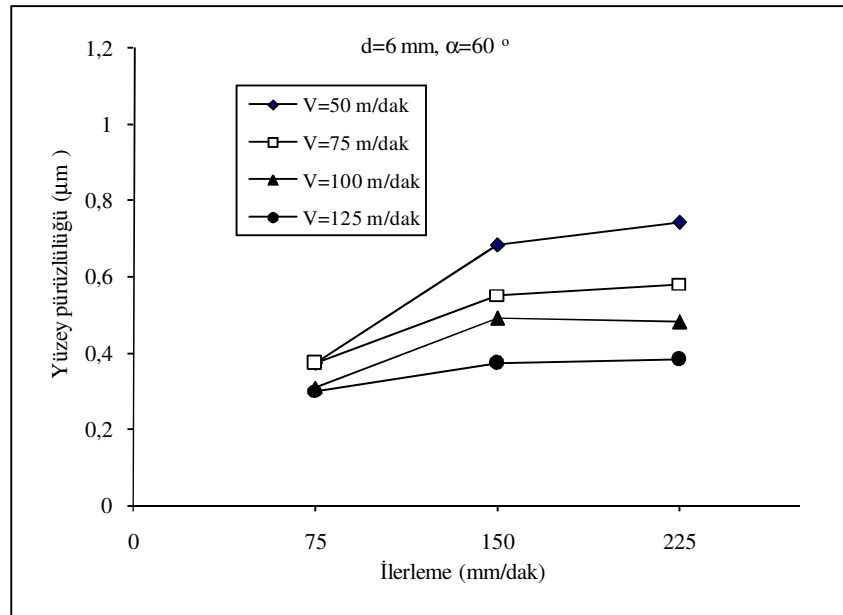
Şekil 4.10- Şekil 4.12 de 6 mm çapında matkap ucu kullanılarak farklı sürtünme açısı, farklı delme hızları ve farklı ilerlemelerle yapılan sürtünmeli delme deneylerinin grafikleri verilmiştir. İlerleme arttıkça yüzey pürüzlülüğü değerleri artmakta ve kötü bir yüzey kalitesi elde edilmektedir. Bu grafikler incelendiğinde en büyük Ra yüzey pürüzlülüğü değerleri 225 mm/dak ilerlemelerde görülmüş ve en küçük Ra değerleri ise 75 mm/dak ilerlemelerde görülmüştür.



Şekil 4. 10 İlerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi



Şekil 4.11 İlerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi



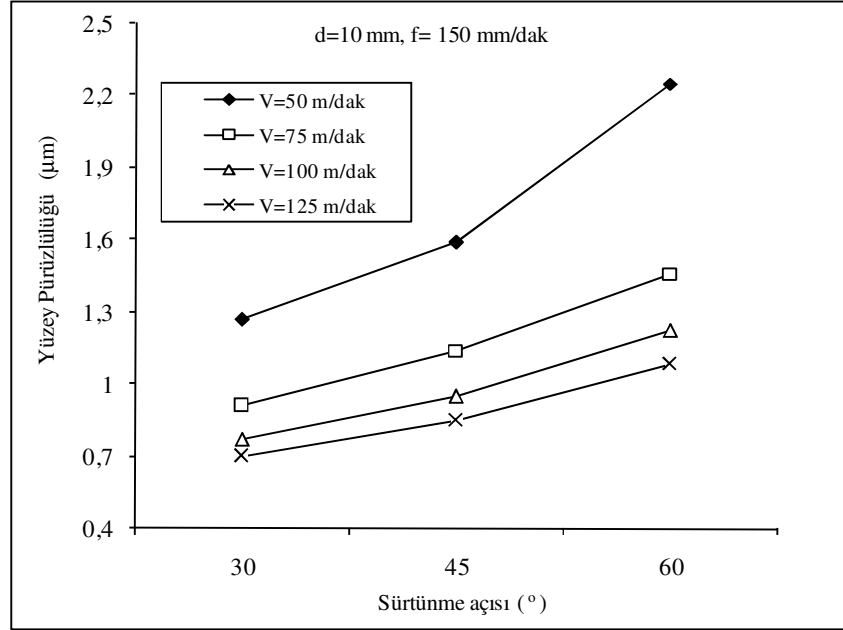
Şekil 4.12 İlerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi

Şekil 4.10 ve Şekil 4.12 arasındaki grafikler incelendiğinde ilerlemenin artması ile yüzey pürüzlülüğü değerlerinin arttığı görülmüştür.

İlerlemenin artması, iş parçasının yumuşama sıcaklığına ulaşmadan delinmesine neden olmaktadır. Yeterli derecede yumuşamayan iş parçası delme esnasında kesici takıma yapışmaktadır. Bu durum delme esnasında iş parçası yüzeyinde çizikler meydana getirerek yüzey pürüzlülüğünü arttırmaktadır[3].

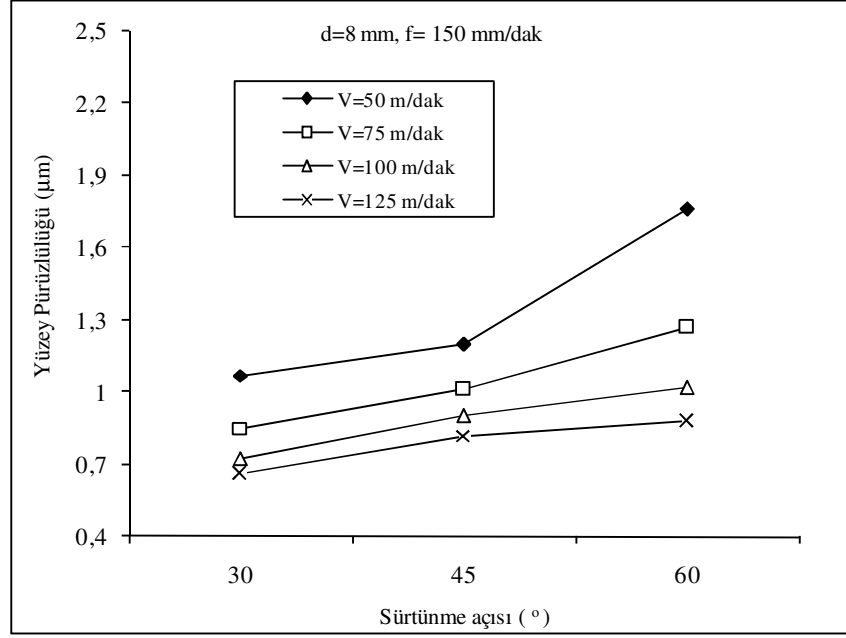
4.1.3. Sürtünme Açısının Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisi

Sürtünme açısının yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemek amacıyla kesici takım $\alpha= 30^\circ$, 45° , 60° olmak üzere üç farklı sürtünme açıları seçilerek deneyler yapılmış ve elde edilen sonuçlar grafik haline getirilerek karşılaştırılmıştır(Şekil 4.13- Şekil 4.14).



Şekil 4. 13 Sürtünme açısının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi

Şekil 4.13 deki grafik incelendiğinde 10 mm çaplı matkap ucu ve 150 mm/dak ilerleme kullanılarak yapılan deneylerde en düşük yüzey pürüzlülüğü değerlerinin sürtünme açısı $\alpha= 30^\circ$ olduğunda görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü 75 m/dak delme hızı, 150 mm/dak ilerleme ve 30° sürtünme açısında $R_a=0,91 \mu\text{m}$ olurken, 60° sürtünme açısında $R_a= 1,46 \mu\text{m}$ olmuştur. Sürtünme açısının artırılması ile delinen deliğin yüzey pürüzlülüğünün de arttığı görülmüştür.



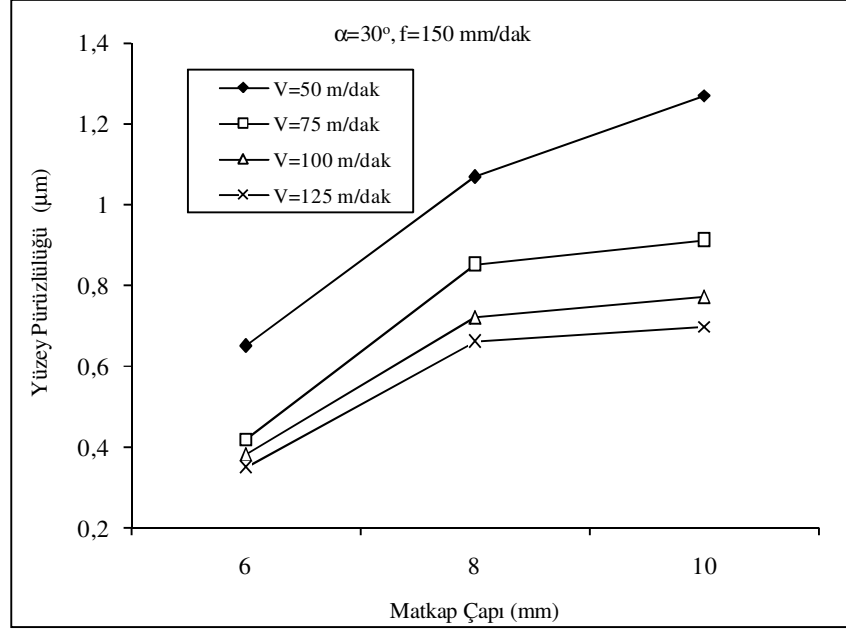
Şekil 4. 14 Sürtünme açısının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi

Şekil 4.14 deki 8 mm takım çaplı matkap ucu ve 150 mm/dak ilerleme kullanılarak yapılan deneylerden elde edilen veriler incelendiğinde yine Şekil 5.13 de olduğu gibi en düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri 30° sürtünme açısında elde edilmiş olup sürtünme açısı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür.

Sürtünme açısı arttığında takım konik temas uzunluğu azalmaktadır. Bu durumda iş parçasının daha düşük sıcaklığa ulaşarak daha düzensiz erime gerçekleşmektedir. Bunun sonucunda sürtünmeli delme işleminde matkap işparçasından ayrılırken delik yüzeyinde derin çizikler oluşturmaktadır ve dolayısıyla Ra yüzey pürüzlülüğü değeri artmaktadır [3].

4.1.4. Matkap Çapının Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkileri

Matkap çapının yüzey pürüzlülüğüne etkisini belirlemek amacıyla üç farklı çapta matkap uçları kullanılarak deneyler yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda elde edilen değerler grafik haline getirilmiştir.

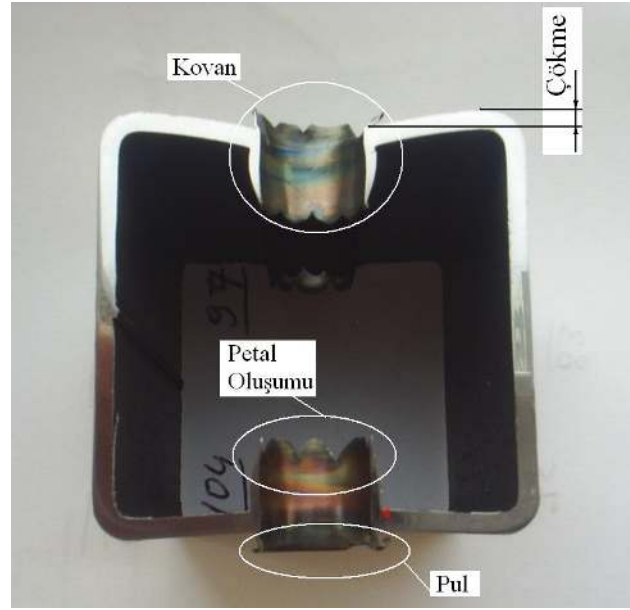


Şekil 4. 15 Matkap çapının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi

Şekil 4.15’ deki grafiğe göre sürtünme açısı 30° ve 150 mm/dak ilerleme şartlarında ve 6, 8 ve 10 mm’lik takımlar kullanılarak yapılan deneylerde, matkap çapı arttıkça yüzey pürüzlülüğü arttığı görülmektedir. Bunun sebebini matkap çapının artmasına bağlı olarak devir sayısının azalmasıdır.

4.2. Delme Parametrelerinin Delik Profili Üzerindeki Etkileri

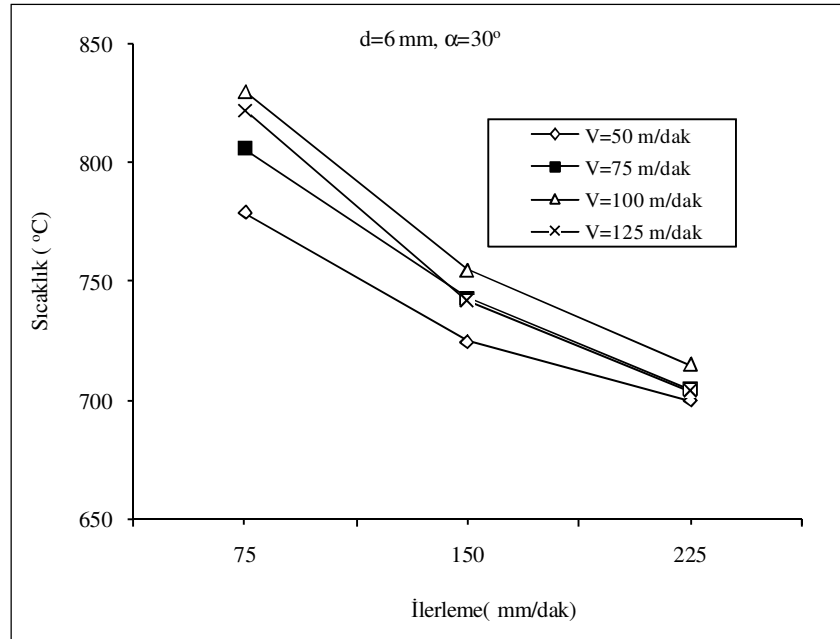
Bu çalışmada yapılan sürtünmeli delme yönteminde delme parametrelerinin delik bölgesi sıcaklığı, kovan eteğinde meydana gelen petal (yapraklanma) geometrisi, delik yüzeyinde oluşan pul geometrisi ve çökme üzerindeki etkileri incelenmiştir(Şekil 4.16).



Şekil 4. 16 Sürtünmeli delme yöntemiyle delinmiş iş parçasının kesit görünüşü

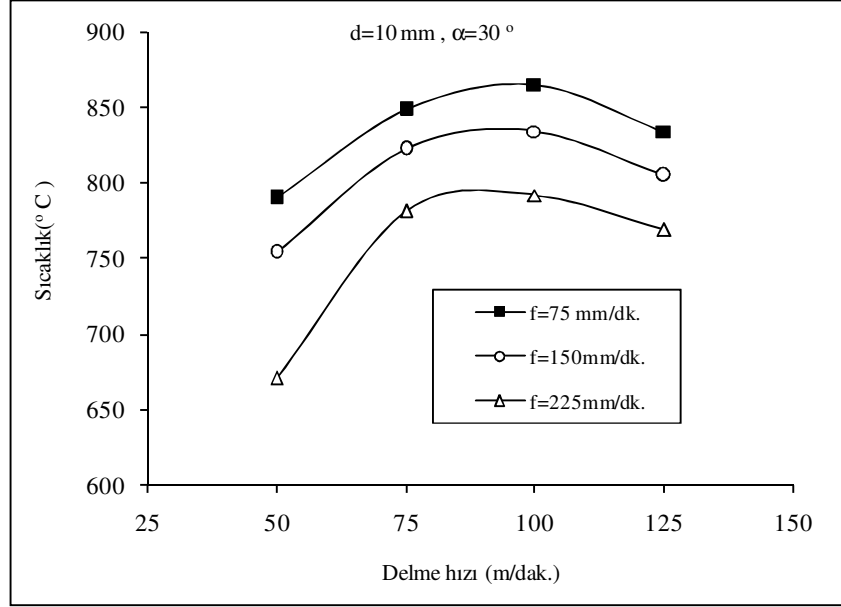
4.2.1. Delme Parametrelerinin Delme Bölgesi Sıcaklığı Üzerindeki Etkileri

Sürtünmeli delme işlemi esnasında delik bölgesinde meydana gelen maksimum sıcaklıklar temassız termometre yardımıyla ölçülmüş ve elde edilen değerler delme parametrelerine bağlı olarak grafikler haline getirilmiştir (Şekil 4.17- Şekil 4.18).



Şekil 4. 17 İlerlemenin delik bölgesi sıcaklığı üzerindeki etkisi

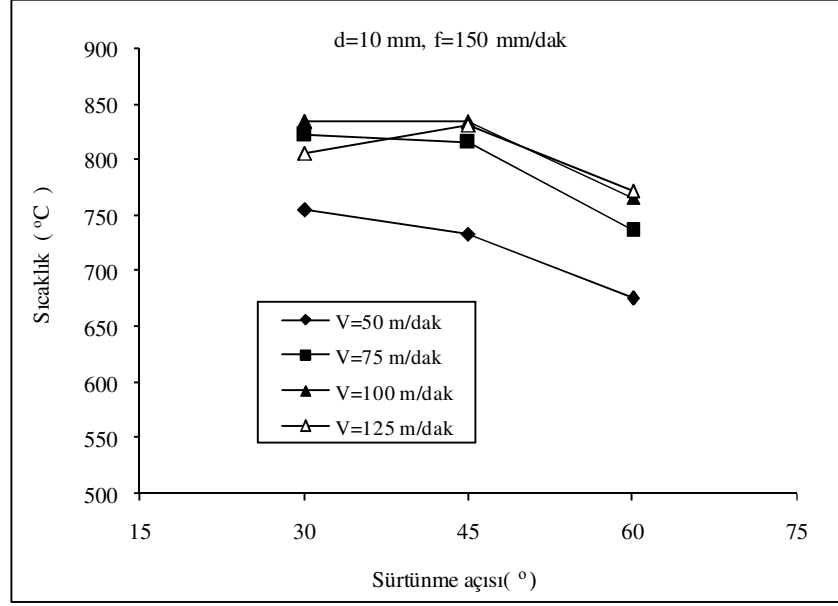
Şekil 4.17 deki grafik incelendiğinde, 6 mm çaplı ve 30° lik sürtünme açısına sahip takım kullanılarak yapılan deneylerde ilerleme arttıkça delik bölgesinde meydana gelen maksimum sıcaklığın azalmaktadır. En yüksek sıcaklıklar 75 mm/dak ilerleme hızlarında ve en düşük sıcaklık değerleri 225 mm/dak ilerleme hızlarında elde edilmiştir. İlerlemenin artması, takımın birim zamanda işparçasına temasını azaltır ve bunun sonucunda daha düşük işparçası sıcaklıkları elde edilir.



Şekil 4. 18 Delme hızının delik bölgesi sıcaklığı üzerindeki etkisi

Sürtünmeli delme yönteminde sıcaklığı arttıran en önemli faktör delme hızıdır. Şekil 4.18 deki grafik incelendiğinde, 10 mm çap ve 30° lik sürtünme açısına sahip matkap ucu kullanılarak yapılan deneylerde en düşük delik bölgesi sıcaklıkları 50 m/dak delme hızlarında (790, 745, 671 °C), en yüksek delik bölgesi sıcaklıkları ise 100 m/dak delme hızlarında (792, 834, 865 °C) elde edilmiştir. 125 m/dak delme hızında ise sıcaklıklar (834, 805, 769 °C) bir miktar düşmektedir.

Delme hızı arttıkça takımın işparçasına birim zamanda temas süresi arttığından sıcaklık artmaktadır. Bu çalışmada 100 m/dak delme hızı optimum bir değer oluşturmuştur. Bu delme hızı değerlerinden sonra işparçası sıcaklığı azalmaktadır. Bunun nedeni çok yüksek delme hızlarında sıcaklık önce aşırı yükselmekte ve bunun neticesinde takımla temas halinde bulunan delik yüzeyinin ince katmanı eriyerek sıvı tabakası oluşmaktadır. Oluşan bu sıvı tabakası bir yağlama görevi yaparak sürtünmeyi azaltmakta ve sıcaklığı düşürmektedir.



Şekil 4. 19 Sürtünme açısının delik bölgesi sıcaklığı üzerindeki etkileri

Şekil 4.19 daki grafik incelendiğinde, 10 mm çapında 150 mm/dak ilerleme kullanılarak 30°, 45°, 60° yapılan deneylerde sürtünme açısının artması ile birlikte delik bölgesinde oluşan sıcaklıklarda azalma görülmektedir. Sürtünme açısının artması delme esnasında işparçası ile takım arasında oluşan sürtünme yüzeyinin azalmasına neden olmakta ve bunun sonucunda işparçasında oluşan sıcaklık azalmaktadır [6].

4.2.2. Delme Parametrelerinin Pul Geometrisi Üzerindeki Etkileri

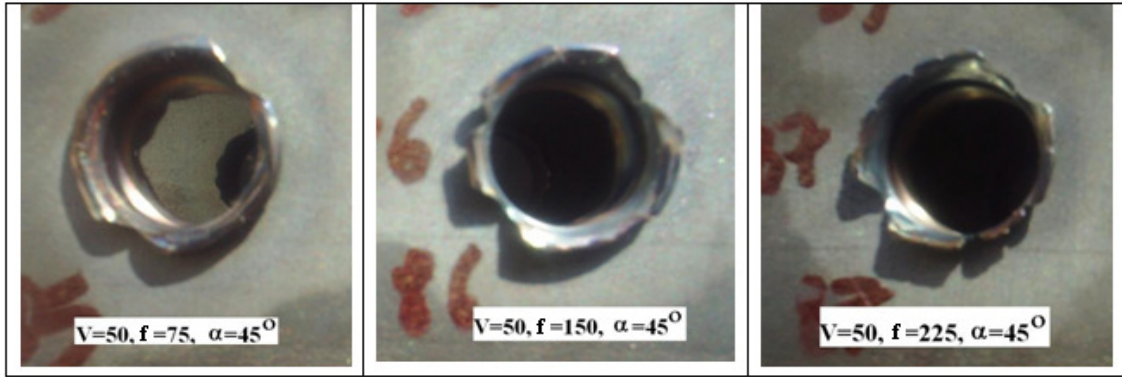
Sürtünmeli delme işlemi esnasında delik bölgesinde meydana gelen değişiklikleri belirlemek amacıyla delme parametrelerine bağlı olarak bir takım deneyler yapılmış ve elde edilen pul geometrilerinin fotoğrafları çekilerek birbirleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.20 - 4.22).



Şekil 4. 20 Matkap uç açısının pul geometrisi üzerindeki etkisi

Matkap uç açısının delik üst yüzeyinde oluşan pul biçimlerine etkisi incelendiğinde en iyi pul biçimi sırasıyla 30° lik matkapla delmelerde, en kötü pul biçimi ise 60° matkap ucu ile yapılan delmelerde elde edilmiştir(Şekil 4.20).

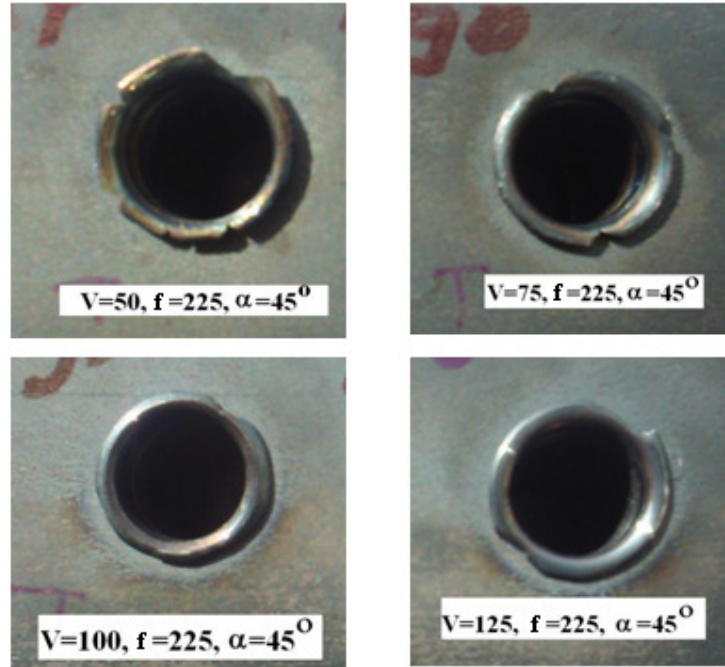
Matkap uç açısı arttıkça sıcaklık azalmaktadır (Şekil 4.19). Bu azalma delik bölgesinde yeterli sıcaklık oluşmadan malzemeyi deformasyona uğratarak yırtmaktadır. Ayrıca uç açısının artması radyal yöndeki kuvvetleri de arttırmaktadır. Bunun sonucunda radyal yöndeki bu kuvvetler yeterli derecede yumuşamayan işparçasında ilave bir olumsuz etki göstererek pul biçimi bozulmaktadır.



Şekil 4. 21 İlerleme miktarının pul geometrisi üzerindeki etkisi

Şekil 4.21 deki pul biçimleri incelendiğinde 50 m/dak delme hızında ve 45° lik sürtünme açısında yapılan deneylerde ilerleme miktarı arttıkça pul kenarlarında meydana gelen radyal yırtıkların arttığı ve pul biçiminin bozulduğu görülmektedir. Bunun sebebi ilerleme miktarının artmasıyla delme esnasında işparçasına matkap ucundan etkiyen radyal yönde kuvvetin artması ve delik ağzında savrulmaya sebebiyet vermesi, ayrıca eksenel kuvvetin artmasıyla da

takımın iş parçasını yırtarak delme eğiliminde olmasıdır. Dolayısıyla makro olarak çekilen fotoğraflarda da görüldüğü üzere ilerleme arttıkça pul geometrisi bozulmaktadır.



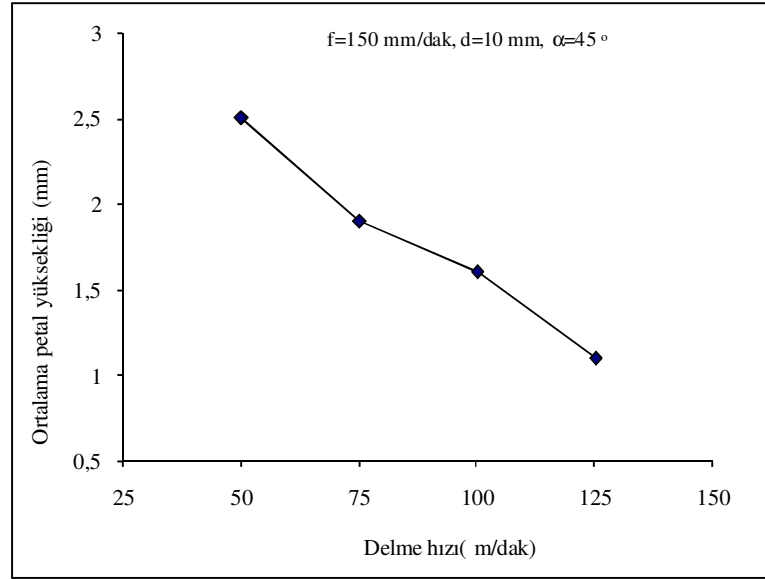
Şekil 4. 22 Delme hızının pul geometrisi üzerindeki etkisi

Şekil 4.22 de verilen resimler incelendiğinde pul geometrisine en fazla etkiyi delme hızının meydana getirdiği görülmektedir. Delme hızı arttıkça sıcaklık artmakta ve dolayısıyla malzemenin takım etrafında düzgün şekillenmesi için yeterli delme sıcaklığı elde edilebilmektedir. [6]. Bununla birlikte Şekil 4.22 incelendiğinde, pul biçimleri 50, 75, 100 m/dk delme hızları arasında sürekli iyileşmekte, fakat delme hızı 125 m/dak yükseldiğinde pul geometrisi bozulmaktadır. Aslında bu durum Şekil 4.18 deki sıcaklık grafiği ile uyum sağlamaktadır. Çok yüksek delme hızlarında iş parçası ile takım arasında oluşan sıvı metal tabakası bir yağlama etkisi göstererek sıcaklığı düşürmektedir. Buna bağlı olarak pul biçimi de bozulmaktadır.

4.2.3. Delme Parametrelerinin Petal Oluşumuna ve Çökme Miktarına Etkisi

Sürtünmeli delme işlemi sonucunda oluşan kovanların etek kısımlarında meydana gelen petal yapının yükseklikleri 3 farklı noktadan ölçümler yapılarak ortalamaları alınmış ve grafik haline getirilmiştir(Şekil 4.23). Ayrıca elde edilen delikler tam eksenlerinden kesilerek birbirleriyle mukayese edilmiş ve deliklerin üst kısımlarında meydana gelen çökmelerde

belirlenmiştir (Şekil 4-24 –Şekil 4.28).



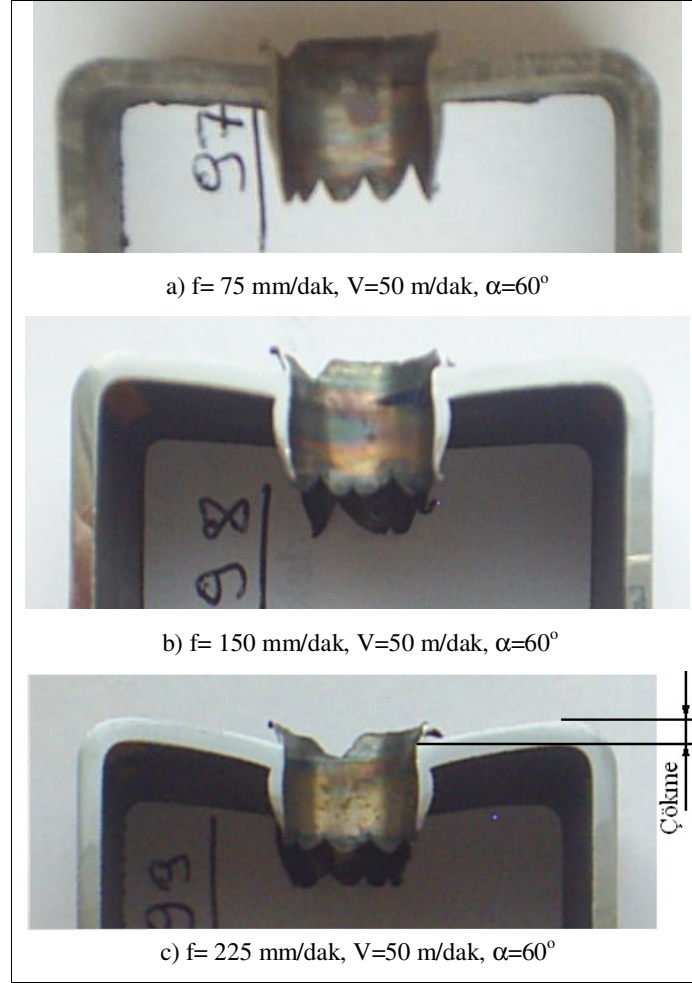
Şekil 4.23 Delme hızının ortalama petal yüksekliği üzerindeki etkisi



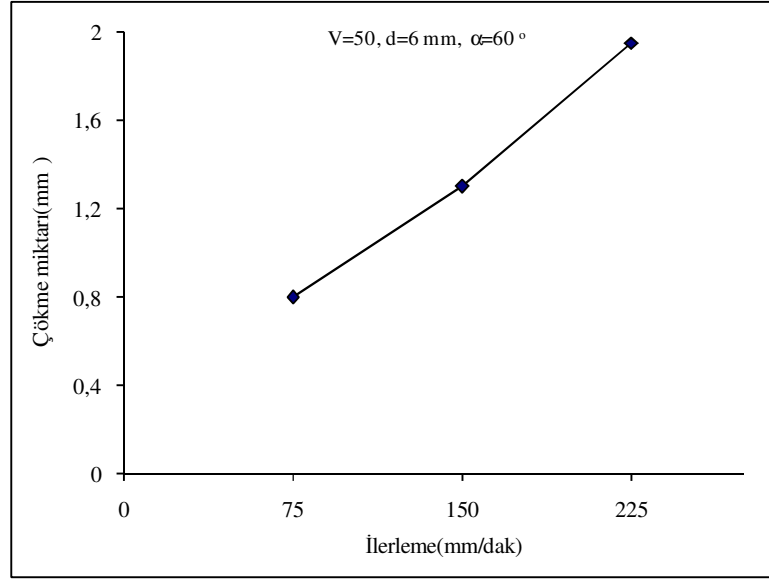
Şekil 4.24 Delme hızının petal geometrisi üzerindeki etkisi($d=10$ mm)

Delme hızı arttıkça petal yüksekliği azalmış ve kovan ucunda bulunan petal yapının daha düzgün geometrik bir şekil aldığı belirlenmiştir(Şekil 4.24-Şekil 4.25). Kesme hızının artması birim zamanda oluşan sürtünmeyi artıracığından iş parçasının delme bölgesinin daha fazla ısınmasına sebep olacaktır(Şekil.4.18). Bu ısınma, iş parçasının yeterli sıcaklığa ulaşmasını ve kesici takım üzerinde daha düzgün şekillenmesini sağlayarak kovanın etek kısmındaki petal oluşumunu azaltmıştır.

Delme hızının delik ağzındaki çökmeye etkisi çok az olmuştur. 45° sürtünme açılı takımlar kullanılarak 150 mm/dak ilerlemelerle yapılan delmelerde en az çökme miktarı 125 m/dak delme hızında elde edilmiştir(Şekil 4.24).

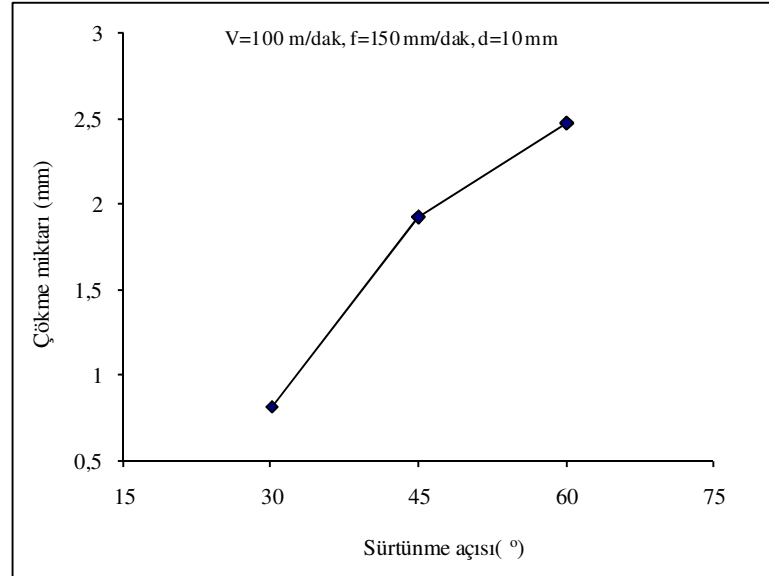


Şekil 4.25 İlerleme miktarının çökme üzerindeki etkisi($d=10 \text{ mm}$)

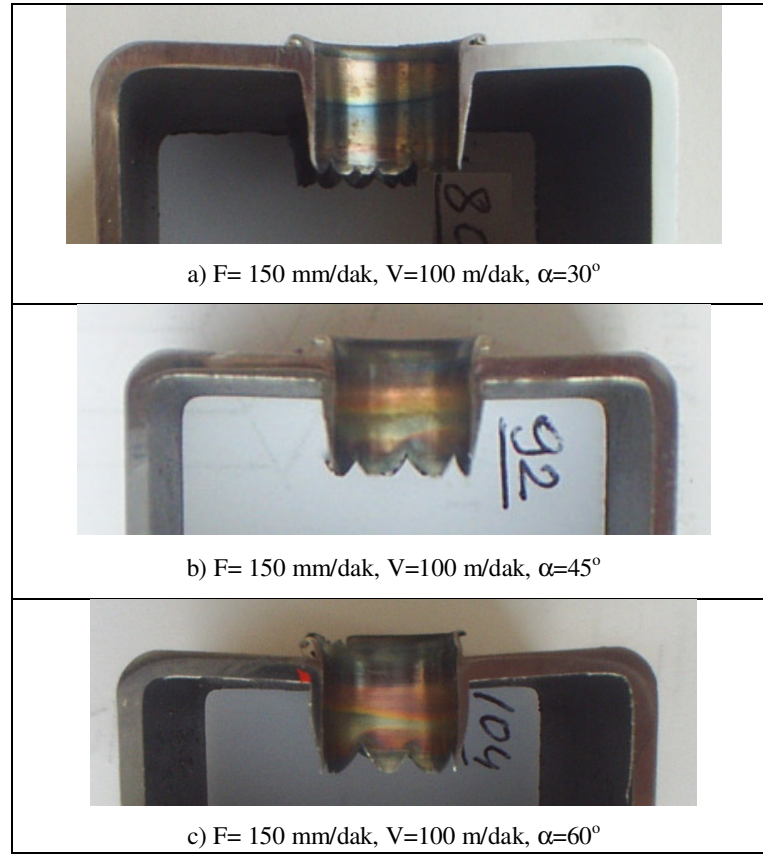


Şekil 4.26 İlerlemenin çökme miktarına etkisi

İlerleme miktarının kovan biçimine etkisi incelendiğinde; ilerleme miktarının artması ile kovan ucunda oluşan petal yapıda göze çarpan bir değişiklik gözlenmemiştir(Şekil 4.25). Bununla birlikte ilerlemenin artması delik ağzındaki çökme miktarını artırmış olup en az çökme miktarı 75 mm/dak ilerleme miktarında elde edilmiştir(Şekil 4.26). Bunun nedeni ilerleme miktarının artması ile yeterli sıcaklığa ulaşamamış ince kesitli iş parçasının yüksek eksenel kuvvetin etkisiyle ekstrüze edilemeden zorlanmasıdır.



Şekil 4.27 Sürtünme açısının çökme miktarına etkisi



Şekil 4.28 Sürtünme açısının petal geometrisi üzerindeki etkisi($d=10\text{mm}$)

Sürtünme açısının kovan biçimine etkisi incelendiğinde, sürtünme açısı artıkça çökme miktarı da belirgin bir şekilde artmıştır(Şekil 4.27). Sürtünme açısının artması kesici takımın temas uzunluğunu kısalttığından işparçasının daha az ısınmasına ve dolayısıyla yeterli sıcaklığa ulaşmamış işparçasının uygulanan kuvvetin etkisi ile ekstrüze olmadan çökmesine sebep olmuştur. Aynı şekilde sürtünme açısının artması petalleşmeyi de artırmıştır(Şekil 4.28). En az petalleşme 30° lik sürtünme açısında oluşurken en fazla petalleşme 60° lik sürtünme açısında olmuştur. Matkap uç açısının artması, yeterli sıcaklığa ulaşmamış işparçasının delik eteklerinde radyal kuvvetlerin ilave etkisiyle yırtılmalar meydana getirmiş ve petalleşmeyi artırmıştır.

5. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada AISI 1010 malzeme sürtünmeli delme yöntemi ile farklı uç geometrisine sahip sürtünmeli matkap uçları kullanılarak delinmiş ve delme hızının, ilerlemenin ve sürtünme temas açısının delinen iş parçalarında oluşan kovanların yüzey pürüzlülüğü ile kovan ve pul biçimi etkisi incelenmiştir. Bu inceleme neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Deneyleerde elde sonuçlara göre:

— Delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri aşağıdaki sonuçlarla özetlenmiştir:

Delme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü azalmakta ve delik bölgesinde daha iyi bir yüzey kalitesi elde edilmektedir. İlerleme miktarı ve sürtünme açısının artması ile yüzey pürüzlülüğü artmakta ve delik bölgesinde daha kötü bir yüzey kalitesi elde edilmektedir.

— Delme parametrelerinin petal geometrisi üzerindeki etkileri aşağıdaki sonuçlarla özetlenmiştir:

Petalleşmeyi etkileyen en önemli faktör delme hızıdır. Delme hızı arttıkça petalleşme azalmakta ve kovanın uç kısmında oluşan petal geometrisi (yapraklanma) daha düzgün bir yapıda olmaktadır.

Sürtünme açısı artırıldığında ise petalleşme artmaktadır.

—Bununla birlikte delik ağzı incelendiğinde, delme parametrelerinin delik ağzındaki çökme miktarı üzerine etkileri aşağıdaki sonuçlarla özetlenmiştir:

Sürtünmeli delme ince cidarlı iş parçalarının delinmesinde kullanılan bir yöntem olması nedeniyle ilerleme iş parçası yüzeyinde çökmeye en fazla etki eden delme parametrelerinden biridir. İlerleme arttıkça eksenel kuvvet artmakta ve buna bağlı olarak çökme miktarı artmaktadır. Bu nedenle özellikle ince kesitli parçaların delinmesinde ilerleme miktarının düşük seçilmesi çökme miktarının azaltacaktır. Delme hızı artırıldığında ise çok belirgin olmamakla beraber çökme miktarının azaldığı görülmüştür.

—Delme parametrelerinin delik ağzında oluşan pul geometrisi üzerindeki etkileri aşağıdaki sonuçlarla özetlenmiştir:

Pul geometrisine en fazla etkiyi delme hızı meydana getirmektedir. Delme hızı arttıkça pul kenarlarında meydana gelen yırtıklar azalmaktadır. İlerleme miktarı ve sürtünme açısı arttıkça pul kenarlarında meydana gelen radyal yırtıklar artmakta ve pul biçimi bozulmaktadır.

6. KAYNAKLAR

- [1] **Brinksmeier, E.**, “Prediction of tool fracture in drilling.” Ann.CIRP 39,97-100,1990
- [2] **Cantero, J.L., Tardío, M.M., Canteli, J.A., Marcos, M., Miguélez, M.H.**, “Dry drilling of alloy” Ti-6Al-4V. Int. J. Mach. Tools Manuf., 45,1246–1255, 2005.
- [3] **Han-Ming C., Shin-Min L., Lieh-Dai Y.**, “Machining characteristic study of friction drilling on AISI304 stainless steel “Journal of Materials Processing Technology, 207, 180–186, 2007.
- [4] **Scott F. Miller, Peter J. Blaub, Albert J. Shih,**”Tool wear in friction drilling” International Journal of Machine Tools & Manufacture, 47, 1636–1645,2006.
- [5] **S.F. Miller, H. Wang, R. Li, A.J. Shih**, “Experimental and numerical analysis of the friction drilling process”, Journal of Manufacturing Science and Engineering, 128 (3), 802–810, 20068.
- [6] **Lee,S.M., Chow, H.M., Yan, B.H.**, “Friction drilling of IN-713LC cast superalloy “Materials And Manufacturing Processes”, 2(7-8), 893-897, 2007.
- [7] **S.F. Miller, P. Blau, A.J. Shih**, ” Microstructural alterations associated with friction drilling of steel, aluminum, and titanium”, Journal of Materials Engineering and Performance, 14 (5), 647–653, 2005.
- [8] **Scott F. Miller, Jia Tao, Albert J.** “Friction drilling of cast metals” International Journal of Machine Tools & Manufacture 46, 1526–1535, 2006.
- [9] **Miller,S.F.,Shih A.J.**, ”Thermo-mechanical finite element modeling of the friction drilling process”, Journal of Manufacturing Science and Engineering-Transactions of The ASME., 129, (3), (531-538), 2007.
- [10] **Lee S.M., Chow H.M., Huang F.Y., Yan B.H.**, ”Friction Drilling of Austenitic Stainless Steel by Uncoated and PVD AlCrN- and TiAlN-Coated Tungsten Carbide Tools”, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 49, (1), 81-88, 2009.
- [11] **Sözügüzel, D.**, “İnce Cidarlı CM22NBK Malzemesi İçin Sıvayarak Delik Delme (Flowdrill) Prosesi İle Dış Açma Ve Alternatif Malzeme Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, 2007
- [12] **DIN 51757 Normu**, Deutsche Industrie Norm, “Yağ Minerallerinin ve İlgili Materyallerin Testi: Yoğunluk Hesabı”, 1994
- [13] **Flowdrill (1)**, Material Safety Data Sheet for FTMZ According to 91 / 155 EWG.

- [14] **Flowdrill (2)**, Material Safety Data Sheet for FD-KS According to 91 /155 EC.
- [15] **Dekkers, G.**, Flowdrill proesi firma katologları, Copyright by Flowdrill, B. V.Holland, 1-30 (1993).