

**LAZERLE DELMEDE İŞLEME PARAMETRELERİNİN DELİK
KALİTESİNE OLAN ETKİSİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI**

Şenol ERDOĞAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2007
ANKARA**

Şenol ERDOĞAN tarafından hazırlanan LAZERLE DELMEDE İŞLEME PARAMETRELERİNİN DELİK KALİTESİNE OLAN ETKİSİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Bedri TUÇ
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Can ÇOĞUN

Üye : Prof. Dr. Adem KURT

Üye : Prof. Dr. Bedri TUÇ

Tarih : 28/06/2007

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Şenol ERDOĞAN

**LAZERLE DELMEDE İŞLEME PARAMETRELERİNİN DELİK KALİTESİNE
OLAN ETKİSİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Şenol ERDOĞAN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2007**

ÖZET

Lazer endüstride kesme, delme, kaynak vb. işlerde kullanılmaktadır. Günümüzde endüstriyel anlamda en çok CO₂ ve Nd:YAG lazerleri kullanılmaktadır. Lazer tezgahları hızlı, takıma ihtiyaç duymaksızın, malzeme ile temas olmadan çapaksız işleyebilen, bunun yanında ortamda yüksek ısı olduğundan malzemede istenmeyen çarpılmalar ve yanmalar, yüksek kurulum maliyetleri gibi de dezavantajları bulunan makinelerdir.

Bu çalışmada, delme işlemleri CO₂ lazer tezgahında gerçekleştirilmiştir. İşleme parametreleri olarak; 1.2-4 mm iş parçası kalınlığı, 2500-4000 W lazer gücü, (-4)-(-2) inç odaklama mesafesi, 8-14 bar yardımcı gaz basıncı, 500-1200 Hz lazer frekansı seçilmiştir. Delme işleminden sonra optik mikroskopta elde edilen görüntülerden çap ölçümü, ısı tesiri altındaki bölge ve yeniden katılaşan bölge büyüklüğü ölçümü yapılarak işleme parametrelerinin delik kalitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

1,2 mm için alt ve üst yüzeylerde daireye en yakın olarak 2500 W, 0 inç, 10 bar, 500 Hz deliğinde çap değeri 0,98 mm olarak elde edilmiştir. 2 mm için alt ve üst yüzeylerde daireye en yakın olarak 2500 W, -4 inç, 8 bar 800 Hz deliğinde çap değeri 0,66 mm olarak elde edilmiştir. 2,5 mm için alt ve üst yüzeylerde daireye en yakın olarak 3000 W, -4 inç, 8 bar,

1200 Hz deliğinde çap değeri 0,58 mm olarak elde edilmiştir. 4 mm için alt ve st yüzeylerde daireye en yakın olarak 3000 W, -4 in, 12 bar, 1000 Hz deliğinde çap değeri 0,86 mm olarak elde edilmiştir. 1,2 mm için 2500 W -2 in, 8 bar, 1200 Hz'in 1 numaralı deliğinde minimum 0,03 mm yeniden katılaşmış bölge ve 0,18 mm ısı tesiri altındaki bölge meydana gelmiştir. 2500 W -2 in, 8 bar, 1200 Hz deliğini oluşturan parametreler 2 mm kalınlık için delik giriş açısı ve koniklik değerleri açısından en düzgün deliği oluşturan parametrelerdir.

Bilim Kodu : 914.1.140
Anahtar Kelimeler : Lazerle delme, delik kalitesi, delme parametreleri
Sayfa Adedi : 127
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Bedri TU

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF PROCESSING PARAMETERS FOR
HOLE QUALITY IN LASER DRILLING**

(M.Sc. Thesis)

Şenol ERDOĞAN

GAZİ UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

June 2007

ABSTRACT

Laser is used for cutting, drilling, welding etc. in industry. Today, mostly CO₂ and Nd:YAG lasers are used in industrial means. Laser machines are rapid, no contacting with materials and they can be worked without producing crust. Besides, those machines have disadvantages like material crooking and burning caused by high temperature and their high settling costs.

In this study, CO₂ laser machine is used for drilling processes. Processing parameters are selected as 1.2-4 mm working piece thickness, 2500-4000 W laser output power, (-4)-(-2) laser focus setting, 8-14 bar assisted gas pressure and 500-1200 Hz laser frequency. After the drilling process, by making the measurements of diameter, Heat affected zone and resolidification material size on the pictures taken with optic microscope, the effect of processing parameters on hole quality is investigated.

For 1,2 mm thickness, on the upper and lower surfaces, hole of 2500 W, 0 inç, 10 bar, 500 Hz is obtained as the nearest circle with diameter of 0,98 mm. For 2 mm thickness, on the upper and lower surfaces, hole of 2500 W, -4 inç, 8 bar 800 Hz is obtained as the nearest circle with diameter of 0,66 mm. For 2,5 mm thickness, on the upper and lower

surfaces, hole of 3000 W, -4 inç, 8 bar, 1200 Hz is obtained as the nearest circle with diameter of 0,58 mm. For 4 mm thickness, on the upper and lower surfaces, hole of 3000 W, -4 inç, 12 bar, 1000 Hz is obtained as the nearest circle with diameter of 0,86 mm. And hole of 2500 W -2 inç, 8 bar, 1200 Hz _1 has the minimum resolidification area of 0,03 mm and heat affected zone of 0,18 mm. The parameters of hole 2500 W -2 inç, 8 bar, 1200 Hz are the most regular ones in the aspect of hole taper angle and inlet cone angle for 2 mm thickness.

Science Code	: 914.1.140
Key Words	: Laser drilling, quality of laser, laser parameter
Page Number	: 127
Adviser	: Prof. Dr. Bedri TUÇ

TEŞEKKÜR

Öncelikle danışmanım Sayın Prof.Dr. Bedri TUÇ olmak üzere, çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Doç. Dr. İbrahim USLAN'a yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Prof. Dr. Bekir Sami YILBAŞ, Yrd. Doç Dr. Ömer KELEŞ'e , BAP 06/2005-47 kodlu "Lazerle Delme İşleminde Delik Kalitesinin Araştırılması" başlıklı proje ile çalışmalarımı destekleyen Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne, metalografi çalışmalarına verdiği destekten dolayı Prof.Dr. Süleyman SARITAŞ'ın şahsında TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi'ne, katkılarından dolayı Araş.Gör. Tevfik DEMİR ve teknisyen Kadir YILMAZ'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xv
RESİMLERİN LİSTESİ	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xxii
1. GİRİŞ	1
2. LAZERİN TARİHÇESİ, TANIMI VE ÇEŞİTLERİ	14
2.1.Lazerin Tarihçesi	14
2.2. Lazerin Tanımı ve Çalışma Prensibi	14
2.3. Dalga Boyları ve Lazerin Yeri.....	16
2.4 Lazer Çeşitleri	17
2.4.1. Optik pompalamalı katı lazerler.....	17
2.4.2. Sıvı lazerler	17
2.4.3. Boyarmaddeli lazerler	18
2.4.4. Gaz lazerler.....	18
2.4.5. Dinamik gaz lazerler.....	19
2.4.6. Kimyasal lazerler.....	19
2.4.7. Yarı iletken lazerler	19
2.4.8. Lazerlerin yükselteç ve osilatör olarak kullanılması.....	20

	Sayfa
2.4.9. Kısa, güçlü darbeler üreten lazerler	20
2.4.10. Ayarlanabilen lazerler.....	21
2.4.11. Katı lazerler	21
2.4.12. Gaz lazerler	22
2.4.13. Serbest elektronlu lazerler	23
2.5. Mod.....	23
2.6. Bazı Lazer Türlerinin Karşılaştırılması	26
2.7. Lazerde Farklı Malzemelerin İşlenebilirliği	26
2.7.1.Endüstriyel çelikler	26
2.7.2.Paslanmaz çelik	27
2.7.3.Alüminyum	28
2.7.4.Titanyum	28
2.7.5.Bakır ve piringç	28
2.7.6.Sentetik malzemeler.....	28
2.7.7.Organik malzemeler	29
2.8. Lazer Uygulamaları	29
2.8.1. Lazerin Uygulama Alanları	29
3. LAZERLE DELME İŞLEMİ	32
3.1. CO ₂ Lazer Tezgahında Lazer Oluşumu ve Makinedeki İletimi	32
3.2. Lazerle Delme İşlemi.....	33
3.2.1. Fiziksel yöntem	33
3.2.2. Kütle yerdeğiştirme mekanizması	35
3.2.3. Lazerle delme işleminin avantajları ve dezavantajları	36

	Sayfa
3.3. Lazerle Delmede Etki Parametreleri	37
3.3.1. Lazer parametreleri	37
3.3.2. İş parçası parametreleri	38
3.4. Lazerle Delmede Delik Özellikleri	39
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	41
4.1. Amaç	41
4.2. Malzeme ve Yöntem	41
4.2.1. Malzeme	41
4.2.2. Yöntem	42
4.2.3. Parametreler	44
4.3. Uygulama	46
5. DENEYSEL BULGULAR VE SONUÇLAR	51
5.1. Delme Parametrelerine Bağlı Delik Çapları	51
5.2. Delik Çap Değişiminin Parametrelere Bağlı Değişimi	52
5.3. Delik Kararlılığının İncelenmesi	77
5.4. Deliğin Isıdan Etkilenen ve Yeniden Katılaştan Bölgesinin İncelenmesi	85
5.5. Delik Giriş Açısı ve Delik Boyunca Oluştan Konikliğin İncelenmesi	91
6. TARTIŞMA VE SONUÇ	96
6.1. Tartışma	96
6.2. Sonuçlar	98
6.3. Öneriler	99
KAYNAKLAR	100

	Sayfa
EKLER	102
EK-1 Parametrelere bağlı olarak elde edilen tablo değerleri	103
ÖZGEÇMİŞ	127

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Etki parametreleri	3
Çizelge 1.2. Etki parametreleri	6
Çizelge 1.3. Etki parametreleri	8
Çizelge 1.4. Etki parametreleri	12
Çizelge 1.5. İstatiksel sonuçlar.....	12
Çizelge 2.1. Lazer modları	24
Çizelge 2.2. Bazı lazer türlerinin karşılaştırılması	26
Çizelge 4.1. Parametre uygulama tablosu	44
Çizelge 5.1. 0 inç, 8 bar, 1000 Hz'teki delik çapı değerleri.....	52
Çizelge 5.2. -4 inç, 10 bar, 800 Hz'teki delik çapı değerleri	53
Çizelge 5.3. 2500 W, -4 inç, 8 bar'daki delik çapı değerleri	55
Çizelge 5.4. 3000 W, -4 inç, 8 bar'daki delik çapı değerleri	56
Çizelge 5.5. 3500 W, -4 inç, 8 bar'daki delik çapı değerleri	57
Çizelge 5.6. 4000 W, -4 inç, 8 bar'daki delik çapı değerleri	58
Çizelge 5.7. 2500 W, -4 inç, 14 bar'daki çap değerleri.....	62
Çizelge 5.8. 3000 W, -4 inç, 14 bar'daki delik çapı değerleri	62
Çizelge 5.9. 3500 W, -4 inç 14 bar'daki delik çapı değerleri	63
Çizelge 5.10. 4000 W, -4 inç, 14 bar'daki delik çapı değerleri	64
Çizelge 5.11. -4 inç, 1200 Hz için delik çapı değerleri.....	65
Çizelge 5.12. -4 inç, 500 Hz için delik çapı değerleri.....	68
Çizelge 5.13. -2 inç, 800 Hz için delik çapı değerleri.....	72

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.14. 0 inç, 800 Hz için elde edilen delik çapı değerleri	73
Çizelge 5.15. 2 inç, 800 Hz için kalınlık ve güç-basınca bağlı delik çapı değerleri	74
Çizelge 5.16. 1.2 mm ve 2 mm kalınlıklar için elde edilen delik kararlılığı	78
Çizelge 5.17. ITAB ve yeniden katılan bölge büyüklükleri	85
Çizelge 5.18. Delik giriş ve koniklik açıları	91

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Ortalama puls derinliği-ışın çapı grafiği	7
Şekil 1.2. Ortalama pulse derinliği-spot çapı grafiği	7
Şekil 2.1. Enerji seviyesi diyagramı.....	15
Şekil 2.2. Q anahtarlı yakut (Cr+3 Ruby) lazer.....	16
Şekil 2.3. Dalga boyları ve lazerin yeri	16
Şekil 2.4. Yarıiletken lazer	20
Şekil 2.5. Lazer gücüne göre farklı lazer türlerinin K katsayısının karşılaştırılması	25
Şekil 3.1. Lazerin tezgah üzerinde izlemiş olduğu yol.....	33
Şekil 3.2. Lazerle delmedeki fiziksel yöntem.....	33
Şekil 3.3. Delme işleminin şematik görünümü	35
Şekil 3.4. Kütle yerdeğiştirme mekanizması	36
Şekil 3.5. Delik özellikleri	39
Şekil 4.1. Kullanılan malzeme ölçüleri.....	42
Şekil 5.1. 0 inç, 8 bar, 1000 Hz'teki kalınlık ve güce bağlı delik çapı değişimi.....	53
Şekil 5.2. -4 inç, 10 bar, 800 Hz'teki kalınlık ve güce bağlı delik çapı değişimi.....	54
Şekil 5.3. 2500 W, -4 inç, 8 bar,'daki kalınlık ve frekansa bağlı delik çapı değişimi	56
Şekil 5.4. 3000 W, -4 inç, 8 bar'daki kalınlık ve frekansa bağlı delik çapı değişimi	57
Şekil 5.5. 3500 W, -4 inç, 8 bar'daki kalınlık ve frekansa bağlı delik çapı değişimi	58

Şekil	Sayfa
Şekil 5.6. 4000 W, -4 inç, 8 bar'daki kalınlık ve frekansa bağlı delik çapı değişimi	59
Şekil 5.7. 2500 W, -4 inç, 14 bar'daki kalınlık ve frekansa bağlı delik çapı değişimi	62
Şekil 5.8. 3000 W, -4 inç, 14 bar'daki kalınlık ve frekansa bağlı delik çapı değişimi	63
Şekil 5.9. 3500 W, -4 inç, 14 bar'daki kalınlık ve frekansa bağlı delik çapı değişimi	63
Şekil 5.10. 4000 W, -4 inç, 14 bar'daki kalınlık ve frekansa bağlı delik çapı değişimi	64
Şekil 5.11. -4 inç, 1200 Hz için kalınlık ve güç-basınca bağlı delik çapı değişimi	65
Şekil 5.12. -4 inç, 500 Hz için kalınlık ve güç-basınca bağlı delik çapı değişimi	69
Şekil 5.13. -2 inç, 800 Hz için kalınlık ve güç-basınca bağlı delik çapı değişimi	72
Şekil 5.14. 0 inç, 800 Hz için kalınlık ve güç-basınca bağlı delik çapı değişimi	73
Şekil 5.15. 2 inç, 800 Hz için kalınlık ve güç-basınca bağlı delik çapı değişimi	74
Şekil 5.16. Delik kararlılığı	80
Şekil 5.17. 1,2 mm kalınlık için ITAB, yeniden katılaşan bölge büyüklükleri değişimi	86
Şekil 5.18. 2 mm kalınlık için ITAB ve yeniden katılaşan bölge büyüklükleri değişimi	88
Şekil 5.19. 2,5 mm kalınlık için ITAB ve yeniden katılaşan bölge büyüklükleri değişimi	89
Şekil 5.20. 4 mm kalınlık için ITAB ve yeniden katılaşan bölge büyüklükleri değişimi	90

Şekil	Sayfa
Şekil 5.21. Kalınlığa göre delik giriş açıları	92
Şekil 5.22. Kalınlığa göre delik koniklikleri	93

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 1.1. 4 mm kalınlık için IN718 malzemesinin dikey delik görünümü.....	4
Resim 1.2. 4 mm kalınlık için IN718 malzemesinin üstten delik görünümü.....	4
Resim 1.3. Değişik koşullardaki Ti malzemesi için oluşan kraterler	5
Resim 1.4. Krater kesit görüntüleri	5
Resim 1.5. Erime fazındaki darbeli delme işleminde malzeme kaçıının SEM görüntüsü.....	8
Resim 1.6. Değişik frekanslardaki delik girişi görüntüleri. (a) 10 kHz; (b)20 kHz; (c) 40 kHz:	9
Resim 1.7. Uzunlamasına delik görünüşleri(a) boşta çalışma; (b)Q-anahtarlamaı	9
Resim 1.8. Aynı iş parçası yüzey şartları için değişik yoğunluklardaki lazer uygulamaları: a) $0.65 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$, b) $1.30 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$, c) $1.95 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$, and d) $3.14 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$	10
Resim 1.9. Isıdan etkilenen bölgenin resmi	11
Resim 1.10. Delik görüntüleri.....	13
Resim 2.1. Endüstrideki bazı lazer uygulamaları	30
Resim 4.1. Delme işleminden görünüm	43
Resim 4.2. Deliğin üstten görünümü (2.5 mm kalınlık, 3000 W, 2 inç, 14 bar, 1000Hz)	46
Resim 4.3. Deliğin alttan görünümü (4 mm kalınlık, 3500 W, -4 inç, 14 bar, 500Hz)	47
Resim 4.4. Deliğin kesit görünümü (1.2 mm kalınlık, 3000 W, -4 inç, 14 bar, 800 Hz)	47

Resim	Sayfa
Resim 4.5. Deliğe doğru malzemede mikroyapı değişimi (1.2 mm kalınlık, 2500 W, -2 inç, 8 bar, 1200 Hz)	48
Resim 4.6. Alt Görünümden Bir Çap Ölçümü (2 mm kalınlık, 2500 W, 0 inç, 12 bar, 1000 Hz)	49
Resim 4.7. Kesit görünümü ölçümleri (1.2 mm kalınlık, 3000 W, -4 inç, 10bar, 800 Hz)	49
Resim 4.8. ITAB ve yeniden katılaşmış bölgelerin ölçümü (1.2 mm kalınlık, 2 inç, 14 bar, 1200 Hz)	50
Resim 5.1. 4 mm kalınlık, 2500 W, 0 inç 8 bar, 1000 Hz için elde edilen delik	54
Resim 5.2. 4 mm kalınlık, 4000 W, 0 inç, 8 bar, 1000 Hz için elde edilen delik	55
Resim 5.3. 1,2 mm kalınlık, 4000 W, -4 inç, 8 bar, 1200 Hz için elde edilen delik	59
Resim 5.4. 2 mm kalınlık, 4000 W, -4 inç, 8 bar, 1200 Hz için elde edilen delik	60
Resim 5.5. 2,5 mm kalınlık, 4000 W, -4 inç, 8 bar, 1200 Hz için elde edilen delik	60
Resim 5.6. 4 mm kalınlık, 4000 W, -4 inç, 8 bar, 1200 Hz için elde edilen delik	61
Resim 5.7. 1,2 mm kalınlık, 3500 W, -4 inç, 8 bar, 1200 Hz için elde edilen delik	66
Resim 5.8. 2 mm kalınlık, 3500 W, -4 inç, 8 bar, 1200 Hz için elde edilen delik	66
Resim 5.9. 2,5 mm kalınlık, 3500 W, -4 inç 8 bar, 1200 Hz için elde edilen delik	67
Resim 5.10. 4 mm kalınlık, 3500 W, -4 inç, 8 bar, 1200 Hz için elde edilen delik	67
Resim 5.11. 4 mm kalınlık, 3500 W, -4 inç, 8 bar, 500 Hz için elde edilen delik	69

Resim	Sayfa
Resim 5.12. 4 mm kalınlık, 3500 W, -4 inç, 10 bar, 500 Hz için elde edilen delik	70
Resim 5.13. 4 mm kalınlık, 3500 W, -4 inç, 12 bar, 500 Hz için elde edilen delik	70
Resim 5.14. 4 mm kalınlık, 3500 W, -4 inç, 14 bar, 500 Hz için elde edilen delik	71
Resim 5.15. 4 mm kalınlık, 2500 W, 2 inç, 8 bar, 800 Hz için elde edilen delik	75
Resim 5.16. 4 mm kalınlık, 2500 W, 2 inç, 10 bar, 800 Hz için elde edilen delik	75
Resim 5.17. 4 mm kalınlık, 2500 W, 2 inç, 12 bar, 800 Hz için elde edilen delik	76
Resim 5.18. 4 mm kalınlık, 2500 W, 2 inç, 14 bar, 800 Hz için elde edilen delik	76
Resim 5.19. 2 mm kalınlık, 2500 W, -2 inç 8 bar, 1200 Hz için elde edilen delik (1214_1 nolu parametre, üst görünüm, %11 sapma)	80
Resim 5.20. 2 mm kalınlık, 2500 W, -2 inç 8 bar, 1200 Hz için elde edilen delik (1214_2 nolu parametre, üst görünüm, %11 sapma)	81
Resim 5.21. 2 mm kalınlık, 2500 W, -2 inç, 8 bar, 1200 Hz için elde edilen delik (1214_3 nolu parametre, üst görünüm, %11 sapma)	81
Resim 5.22. 2 mm kalınlık, 2500 W, -4 inç, 8 bar, 500 Hz için elde edilen delik (1111_1 nolu parametre, üst görünüm, %6 sapma)	82
Resim 5.23. 2 mm kalınlık, 2500 W, -4 inç, 8 bar, 500 Hz için elde edilen delik (1111_2 nolu parametre, üst görünüm, %6 sapma)	82
Resim 5.24. 2 mm kalınlık, 2500 W, -4 inç, 8 bar, 500 Hz için elde edilen delik (1111_3 nolu parametre, üst görünüm, %6 sapma)	83

Resim	Sayfa
Resim 5.25. 2 mm kalınlık, 3000 W, -4 inç, 10 bar, 800 Hz için elde edilen delik (2122_1 nolu parametre, üst görünüm)	83
Resim 5.26. 2 mm kalınlık, 3000 W, -4 inç, 10 bar, 800 Hz için elde edilen delik (2122_1 nolu parametre, kesit görünüm)	84
Resim 5.27. 2 mm kalınlık, 3000 W, -4 inç, 10 bar, 800 Hz için elde edilen delik (2122_1 nolu parametre alt görünüm)	84
Resim 5.28. 1,2 mm kalınlık, 2500 W, 2 inç, 14 bar, 1200 Hz için elde edilen ITAB ve yeniden katlaşan bölge	87
Resim 5.29. 1,2 mm kalınlık 2500 W, 0 inç 8 bar, 1000 Hz için elde edilen ITAB ve yeniden katlaşan bölge	87
Resim 5.30. 2 mm kalınlık, 4000 W 2 inç, 8 bar, 1000 Hz için elde edilen ITAB ve yeniden katlaşan bölge	88
Resim 5.31. 2,5 mm kalınlık, 2500 W, -4 inç, 8 bar, 500 Hz için elde edilen ITAB ve yeniden katlaşan bölge	89
Resim 5.32. 4 mm kalınlık, 2500 W, -2 inç, 8 bar, 1200 Hz için elde edilen ITAB ve yeniden katlaşan bölge	90
Resim 5.33. Delik giriş açısı ve koniklik ölçümü.....	93
Resim 5.34. 1,2 mm kalınlık, 2500 W, -4 inç, 8 bar 500 Hz için elde edilen kesit (11111_2 nolu parametre).....	94
Resim 5.35. 2 mm kalınlık, 2500 W, 2 inç, 14 bar, 1200 Hz için elde edilen kesit (21444_5 nolu parametre)	94
Resim 5.36. 1,2 mm kalınlık, 2500 W, 2 inç, 14 bar, 1200 Hz için elde edilen kesit (11444_5 nolu parametre)	95

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
J/cm^2	Enerji yoğunluğu
W/cm^2	Güç yoğunluğu
α	Delik giriş açısı
θ	Delik koniklik açısı
CW	Sürekli mod

Kısaltmalar	Açıklama
ITAB	Isı tesiri altında kalan bölge
Nd:YAG	Neodiyum: Yttrium Alüminyum Garnet
SEM	Spektrum elektron mikroskobu

1. GİRİŞ

Uydu, bilgisayar ve entegre devre ile birlikte yüksek teknolojinin sembolü olan lazerler 20. yüzyılın ikinci yarısındaki en büyük icatlar listesinde zirveye yakın bir yerde yer almaktadır[1].

Müzikhollerden Apollo projesine, kompakt disk okuyucularından göz cerrahisine kadar, “yıldız savaşları”nı da içine alan lazer, hiç kuşkusuz modern fiziğin en yaygın teknik uygulamalarından biri olmuştur. Işığın saflığı ve kullanım alanlarının esnekliği, hemen hemen maddeyle enerji hakkında bilgilerin tümünden yararlanan bilgileri içerir. Bunun en önemli kanıtı, 1966’da Nobel ödülü kazanan Fransız fizikçi A. Kastler’in lazerin doğuşunda belirleyici bir rol oynayacak olan “optik pompalama” çalışmasıdır [1].

Lazer “uyarılmış ışınım yayımıyla mikrodalga yükseltilmesi”nin (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) kısaltması olan “maser”in oğludur. Çünkü uyarılmış yayım uygulamaları, ışık alanından önce mikrodalga alanında ortaya çıkmıştır. Maser 1954’te doğmuş ve ancak 1960’ta Amerikalı Maiman ilk yakutlu lazeri gerçekleştirmiştir [1].

Ancak uyarılmış yayımın ilkesi oldukça eskiye dayanır. 1917’den itibaren Einstein, kendiliğinden yayım ve soğurmanın ötesinde, maddeyle ışık arasındaki etkileşimin bu üçüncü ürünün kuramsal gerekliliğini ortaya koymuştur. Ayrıca, bu durumda yayımlanan ışığın uyarıcı ışıkla bağlantılı, uyumlu olması gerekeceğini, böylece bunun etkin bir şekilde büyütüleceğini göstermişti. Fakat, bütün klasik ışık kaynaklarında uyarılmış yayım, kendiliğinden yayıma göre çok küçüktür. Bunun baskın olabilmesi için, hem çok daha fazla uyarıcı bağdaşık ışık, hem de yayım yapabilecek durumda, yani yüksek bir enerji durumunda bulunan çok sayıda atom gereklidir. İşte, “optik pompalama”nın belirleyici rolü buradadır ve bu üst enerji durumlarındaki atom topluluğunun sayısını artırır [1].

Yaşamımızda uzun zamandan beri önemli bir yere sahip olan hassas ışınlar, süper marketlerde ürün fiyatlarını, CD'lerden müziği, DVD'lerden de filmleri okumaktadır. Araştırmacılar, bugüne kadar ulaşılamayan hassaslık, hız ve güçte yeni lazer türleri gelişmektedir. Onun sayesinde maddenin en küçük parçası görülür hale gelecek ve sonsuza kadar yetecek miktarda ucuz enerji üretilebilecektir [1].

Lazer endüstride kesme, delme, kaynak vb. işlerde kullanılmaktadır. Günümüzde endüstriyel anlamda en çok CO₂ ve Nd:YAG lazerleri kullanılmaktadır. Lazer tezgahları hızlı, takıma ihtiyaç duymaksızın, malzeme ile temas olmadan çapaksız işleyebilen, bunun yanında ortamda yüksek ısı olduğundan malzemede istenmeyen çarpılmalar ve yanmalar, yüksek kurulum maliyetleri gibi de dezavantajları bulunan makinelerdir.

Bu çalışmada, CO₂ lazer tezgahı ile değişik parametreler kullanılarak delme işlemleri gerçekleştirilmiş olup, bu işlemten sonra çeşitli fotoğraflama, çap ölçümü, ITAB ve yeniden katılaştıran bölgeler incelenerek parametre değişmesi neticesinde kalitenin ve çap değişiminin ne şekilde değiştiği irdelenmiştir.

Literatürde Yapılan Çalışmalar

S. Bandyopadhyaya ve arkadaşları[2] Nd:Yag lazer kullanarak, IN718 ve Ti-6Al-4V plakalara Çizelge 1.1'deki etki parametreleri uygulanmıştır. Burada gaz tipi, odak pozisyonu (yüzeyde ve yüzeyin 2 mm altında), puls süresi ve pulsta uygulanan enerji miktarları belirlenmiştir. Bu parametrelerin değişik varyasyonları uygulanarak deneysel çalışmalar yapılmıştır.

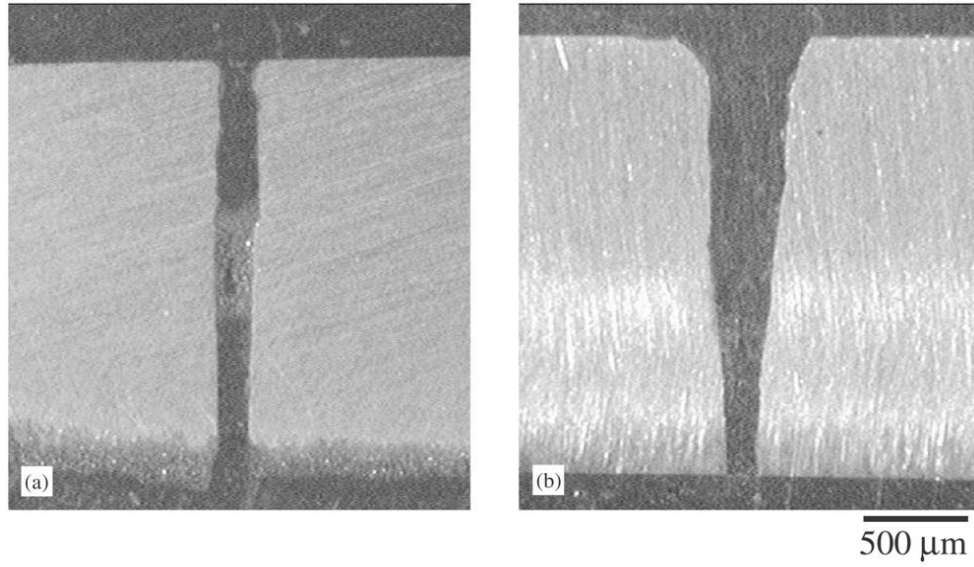
Çizelge 1.1. Etki parametreleri [2]

Deney	Odak Mesafesi	Lüle Pozisyonu	Puls Enerjisi	Puls Süresi	Yardımcı Gaz Basıncı	Puls Tekrarı
	(Z)	(C)		(D)	(P)	rate (R)
1	L	L	L 1	L	L	L
2	L	L	L 2	H	H	H
3	L	H	H 1	L	L	H
4	L	H	H 2	H	H	L
5	H	L	H 1	L	H	H
6	H	L	H 2	H	L	L
7	H	H	L 1	L	H	L
8	H	H	L 2	H	L	H
Gaz Tipi (G)		Odak Pozisyonu (Z)	Puls Süresi (D) (ms)		Puls Enerjisi (E) (J)	
G1=O ₂ for IN718		L=yüzeyde	L=0.5		L1=3.6	
G1=Ar for Ti-6Al-4V					H1=10	
G2=Ar for IN718		H=yüzeyden 2 mm içerde	H=2.5		L2=11	
G2=N ₂ for Ti-6Al-4V					H2=30.6	

S. Bandyopadhyaya ve arkadaşları[2] bu çalışmada yukarıdaki işlem şartlarını uygulayarak aşağıdaki şu sonuçları elde etmişlerdir:

1. IN718 malzemesi, 4 mm kalınlık için odak pozisyonu iş parçası yüzeyinden ve 2 mm yüzey altından seçerek iki farklı parametre oluşturmuş ve yüzeyde seçilen odak pozisyonunda daha düzgün bir delik elde etmiştir (Resim 1.1.).

2. IN718 malzemesi, 4 mm kalınlık için odak pozisyonu iş parçası yüzeyinden ve 2 mm yüzey altından seçerek, oluşturulan bu iki farklı parametre için yüzeyde seçilen odak pozisyonunda delik girişinde daha az malzeme sıçraması oluşmuştur.



Resim 1.1. 4 mm kalınlık için IN718 malzemesinin dikey delik görünümü
a) "Optimum" ZLDLEL kombinasyonu b) ZHDHEH kombinasyonu [2]

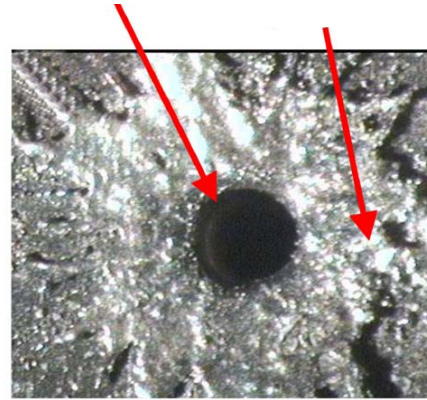
Delik girişinde sıçrama görünmüyor



(a)

Delik girişi

Sıçrama



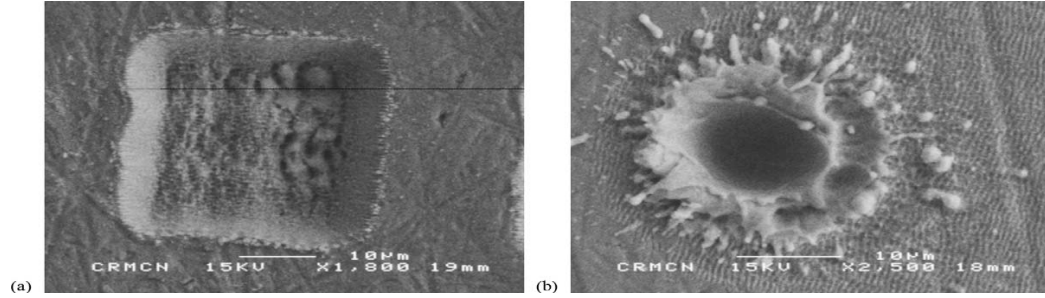
(b)

500 µm

Resim 1.2. 4 mm kalınlık için IN718 malzemesinin üstten delik görünümü
a) "Optimum" ZLDLEL kombinasyonu ve b) ZHDHEH kombinasyonu [2]

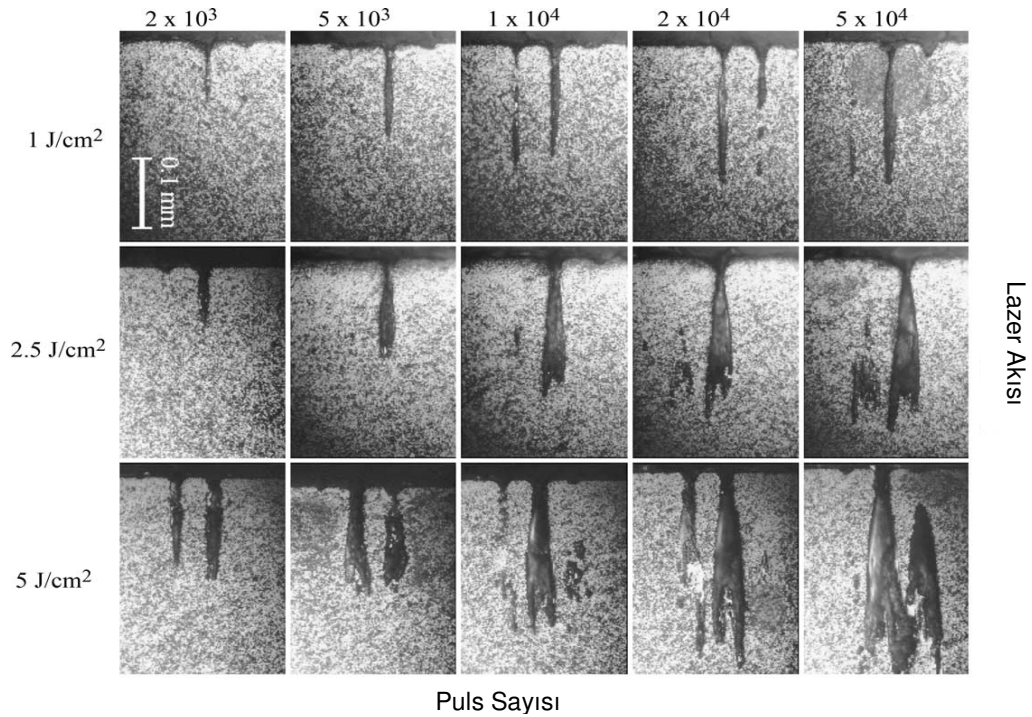
S. Bruneau ve arkadaşları [3] Resim 1.3. Ti malzemenin vakum altındaki (a) 0.9 J/cm^2 düzenli lazer ışını ve (b) 10 J/cm^2 Gaussian ışını olan şartların

delme işleminde şu sonuçları elde etmişlerdir: Lazer yoğunluğu arttıkça yüzeyden itibaren malzeme kalınlığı boyunca etkisi de artmıştır (Resim 1.3.). Güç yoğunluğu arttıkça, malzeme kalınlığı boyunca etkisi artmakla birlikte delik çaplarında dallanma ve dağılma oluşmuştur (Resim 1.4.).



Resim 1.3. Değişik koşullardaki Ti malzemesi için oluşan kraterler:

a) 0.9 J/cm^2 , 100 düzenli atım ve b) 10 J/cm^2 , 10 Gaussian atımı [3]



Resim 1.4. Krater kesit görüntüleri. Çevre havasının kullanıldığı değişik koşullardaki delik görüntüleri [3]

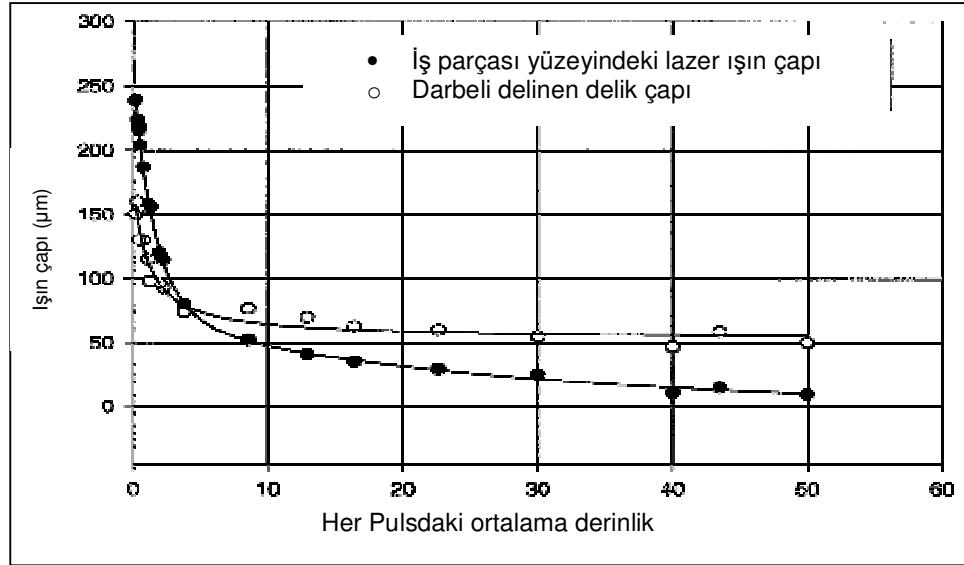
L. Tuna ve arkadaşları[4] makalesinde Nd: YAG lazeriyle 1064, 532, 355 nm dalga boylarında Al malzeme için Çizelge 1.2.'deki etki parametreleri uygulanarak şu sonuçlar ortaya çıkmıştır:

a) Yaklaşık 5 μm derinliğinde delik delindiği zaman lazer odak çapı ile delik çapı yaklaşık eşit olmaktadır(75 μm), (Şekil 1.2.).

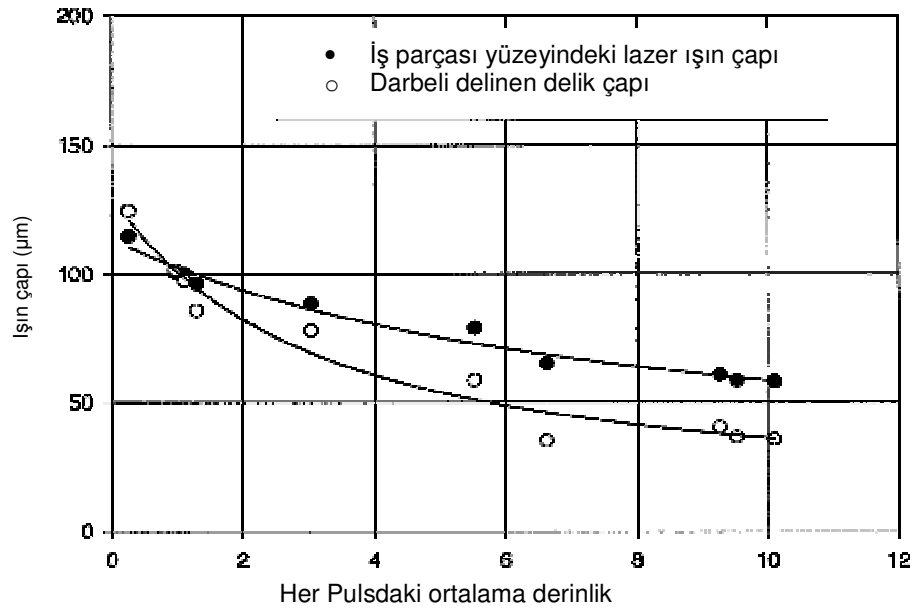
b) Yaklaşık 1 μm derinliğinde delik delindiği zaman lazer odak çapı ile delik çapı yaklaşık eşit olmaktadır (100 μm), (Şekil 1.2.).

Çizelge 1.2. Etki parametreleri [4]

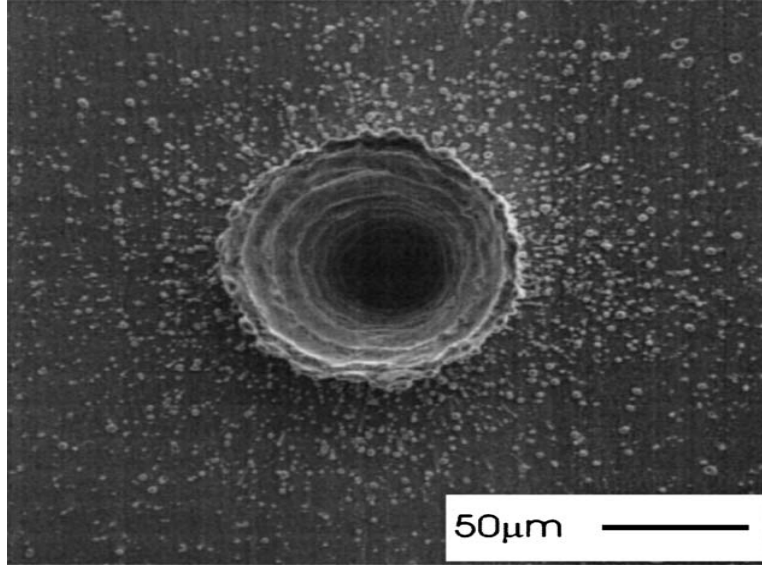
Lazer	Starline TM	Gator TM
M ²	<1.2	<1.2
Puls süresi	12 ns FWHM	15 ns FWHM
Puls Enerjisi	1064 nm için 8 mJ, 532 nm için 5 mJ, 355 nm için 3 mJ	Her puls için 0.3 mJ
Işın Çıkış Profili	TEM ₀₀	TEM ₀₀
Tekrar oranı (Hz)	1-1000	10 K (karışık)



Şekil 1.1. Ortalama puls derinliği-ışın çapı grafiği [4]



Şekil 1.2. Ortalama puls derinliği-spot çapı grafiği [4]

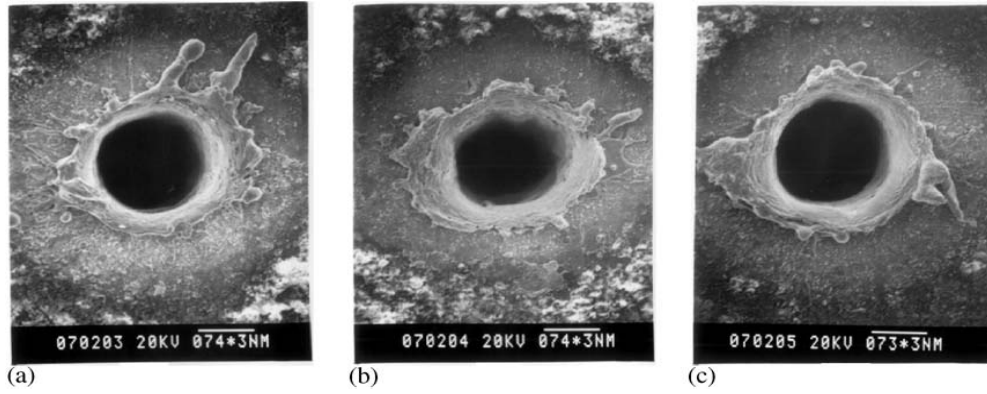


Resim 1.5. Erime fazındaki darbeli delme işleminde malzeme kaçıışının SEM görüntüsü. $\frac{1}{4}$ 200 J/cm² yoğunluk, $\frac{1}{4}$ 355 nm dalga boyu sırasında [4]

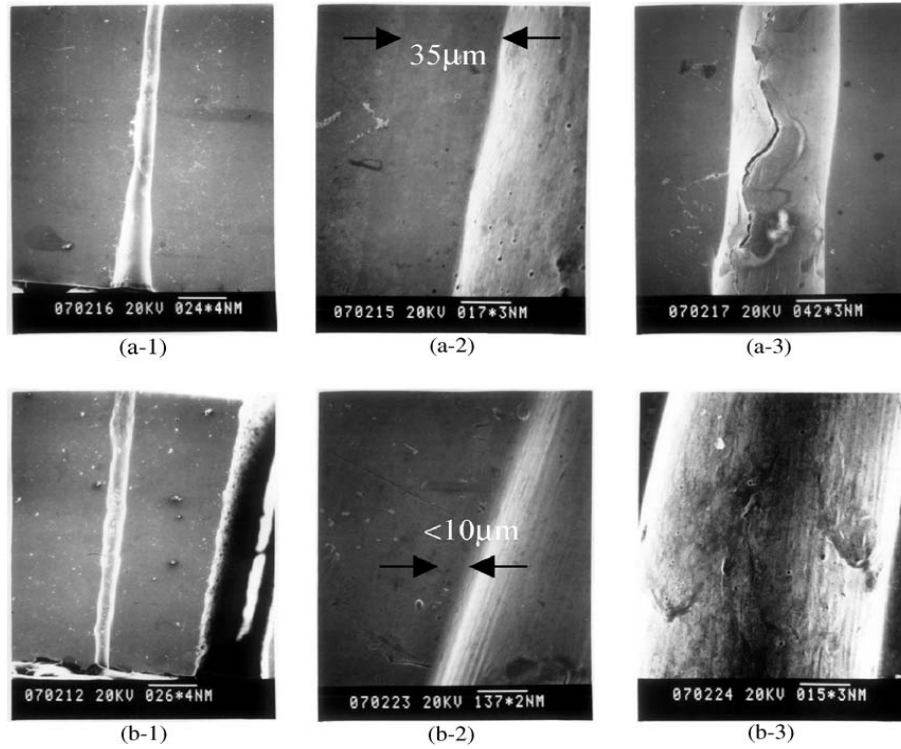
Qiang Li, ve arkadaşlarının[5] çalışmasında Nd:YAG lazeri kullanılarak, Çizelge 5.3'teki etki parametreleri ile Resim 1.6. ve Resim 1.7.'deki delikler elde edilmiştir. Burada 10 kHz, 20 kHz ve 40kHz frekanslarında Q anahtarlama yapılarak delikler delinmiştir. Frekans artışıyla birlikte saçılma miktarı azalmış ve delik çapında azda olsa artış meydana gelmiştir.

Çizelge 1.3. Etki parametreleri [5]

	1 kez Q anahtarlama	2 kez Q anahtarlama	Q anahtarlama paralel ise	Q anahtarlama dik ise
Pompalanan enerji (J)	18.0	18.0	22.8	30.0
Elde edilen çıkış enerjisi (mJ)	65	68	101	204



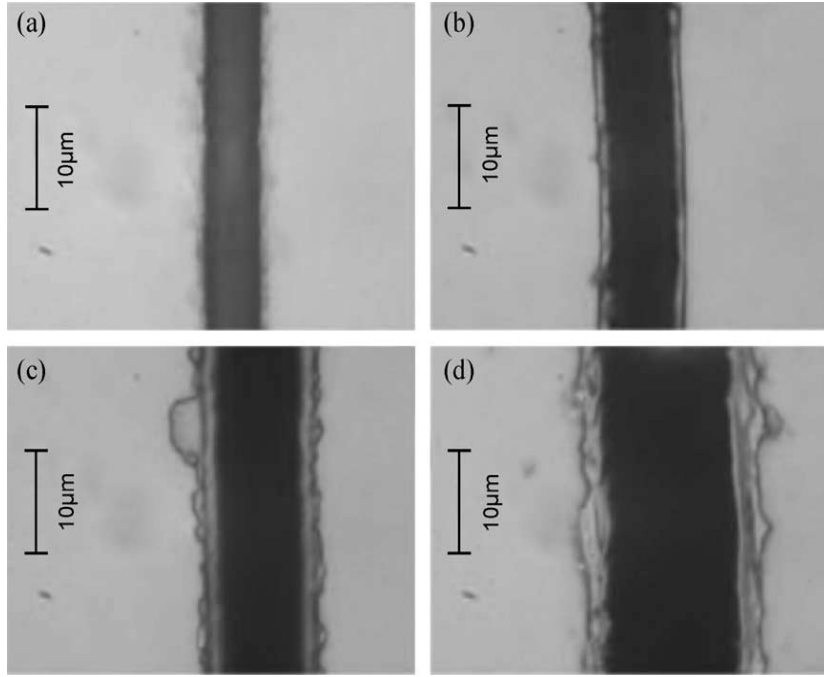
Resim 1.6. Değişik frekanslardaki delik girişi görüntüleri. a) 10 kHz, b)20 kHz, c) 40 kHz [5]



Resim 1.7. Uzunlamasına delik görünüşleri a) boşta çalışma; b)Q- Anahtarlama [5]

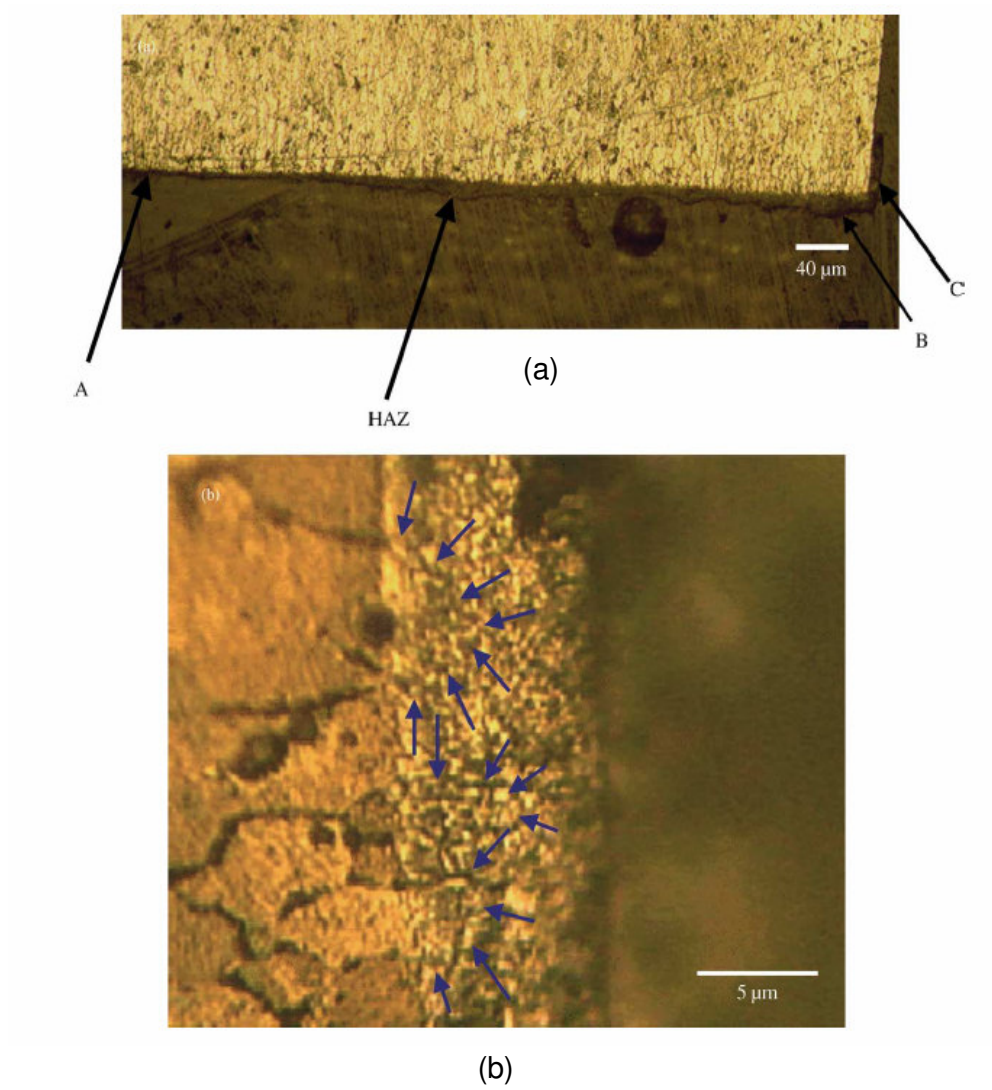
S. Nikumb, ve arkadaşlarının[6] çalışmasında 355 nm dalga boyunda Nd:YAG lazeri kullanılarak, 50 mm odak mesafesiyle, sırasıyla lazer yoğunluğu a) 0.65×10^6 , b) 1.30×10^6 , c) 1.95×10^6 ve d) 3.14×10^6 W/cm²

olmak üzere aşağıdaki delik kaliteleri elde edilmiştir. Buradan ışın yoğunluğun yani gücün artmasıyla birlikte delik çapları artmıştır. Ayrıca ITAB ve yeniden katılaşma bölgelerinde artış olduğu da görülmektedir (Resim 1.8.).



Resim 1.8. Aynı iş parçası yüzey şartları için değişik yoğunluklardaki lazer uygulamaları: a) $0.65 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$, b) $1.30 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$, c) $1.95 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$, and d) $3.14 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$ [6]

D. Araujo, ve arkadaşlarının[7] 2 kW'lık sürekli CO_2 lazeri kullanarak, Al 2024 malzemesinin ITAB'ını (Isı Tesiri Altındaki Bölge) incelemiştir. Bu çalışmada 8 mm çapında delik delinmeye çalışılmıştır. Buna göre ITAB, Resim 1.9.'da verilmiştir. Buradan A, B, C bölgeleri gaz tesiri ile tekrar katılaşan bölgeleri, (b) detaylı resmi de ITAB bölgesinde bazı noktalarda tane yapıları düzgün dağıldığı halde bazı noktalarda ise keskin çatlaklar olduğu belirtilmiştir.



Resim 1.9. Isıdan etkilenen bölgenin resmi; a) Isı tesiri altındaki bölgeler, b) Isı tesiri altındaki bölge ayrntı resmi [7]

G.K.L. Ng, L. Li'nin[8] çalışmasında 2 mm kalınlığındaki paslanmaz çelik malzeme Nd: YAG lazeri ile işlenmiştir. Çizelge 1.4.'te kullandıkları parametreler verilmektedir.

Çizelge 1.4. Etki parametreleri [8]

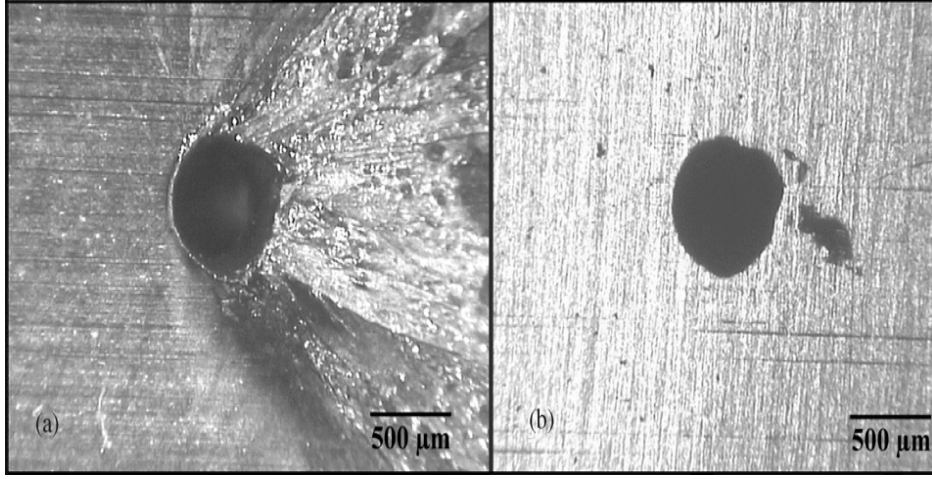
Setting	Power (kW)	Pulse width (ms)	Frequency (Hz)	No. of Pulses
1st	4.0	1.50	15	8
2nd	5.5	1.50	15	8
3rd	5.5	1.25	15	8
4th	5.5	2.00	15	8

Bu etki parametreleri altında istatiksel olarak ortaya çıkan sonuçlar ise Çizelge 1.5.'te verilmiştir. Bu sonuçlara göre 5.5 kW'lık güç değeri için en az sapma değeri ortaya çıkmıştır.

Çizelge 1.5. İstatiksel sonuçlar [8]

Uygulama	Ortalama Delik Çapı (μm)	Orta Bölgedeki Delik Çapı (μm)	Standart Sapma	% Standart Sapma
1st (4.0 kW, 1.59 ms)	1017	1018	38.0	3.7
2nd (5.5 kW, 1.50 ms)	1130	1127	20.0	1.8
3rd (5.5 kW, 1.25 ms)	1124	1121	22.3	2.0
4th (5.5 kW, 2.00 ms)	1213	1225	68.2	5.6

Buna bağlı olarak oluşan delik resmi ve dışarıya olan saçılma ise Resim 1.10.'da verilmiştir. (a) resimde saçılma, (b) resminde ise saçılmanın giderildiği haldeki durumları mevcuttur.



Resim 1.10. Delik görünümleri [8]

2. LASERİN TARİHÇESİ, TANIMI VE ÇEŞİTLERİ

2.1. Laserin Tarihçesi

Lazer (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) kelimesi "uyarılmış ışınım yayımıyla ışığın yükseltilmesi", şeklinde ifade edilmektedir. Lazer tek bir dalga boyuna sahip yapışık ve yüksek bir ışıktır. Lazer atomik enerjiyi elektro manyetik enerjiye dönüştürür.

İlk defa A.L. Schawlow ve C.H. Townes tarafından 1958'de "Infrared and Optical Masers" adlı yayınlı maser tarif edilmiştir. Yakut laseri ilk olarak Maiman tarafından 16 Mayıs 1960'da sonuç raporları olarak yayınlanmıştır. 1961 yılında Sorokin ve Stevenson U: Ca F₂ lazeri ile ilgili çalışmalarını yayınlamıştır [3]. Mathias 1963'de N₂ lazerini 1964'de Geusic YAG lazerini Bridges Ar-Ion lazerini bulmuştur [9].

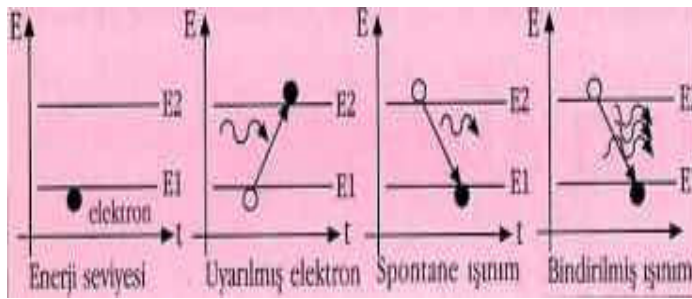
Geçen yıllar sonucunda 1970 yılında Co ve H₂ 'nin O₂ ile yanarak CO₂ ve H₂ O açığa çıkmasıyla ışımaya yapan ilk dinamik gaz lazeri Gerry tarafından gerçekleştirilmiştir [9].

Daha sonraki yıllarda boya lazerleri, dye lazerleri excimer ve iyot lazerleri bulunarak ve geliştirilerek lazer teknolojisi bugün ki savunma sanayinden endüstriye, tıp alanından, haberleşme, bilgisayar ve hatta eğlence sektörüne kadar birçok alanda kullanılmaktadır [9].

2.2. Lazerin Tanımı ve Çalışma Prensibi

Herhangi bir ortamda, belirli bir elementin atomları, molekülleri veya iyonları birçok enerji düzeyi gösterir ve bu enerji düzeyleri arasında gidip gelirken, enerjileri iki düzey arasındaki farka eşit olan fotonlar yayımlar veya soğurur. Belirli bir frekansta bir foton yayımlamaya yatkın yüksek enerjili bir atom, tam olarak aynı frekansta bir ışıkla foton vermeye "teşvik edilebilir" ve yayımlanan ışık uyarıcı ışıkla bağdaşık (senkronize) olur [10].

Her elementin atom yapısında yalnız o elemente özgü olan elektron yerleşim düzeni vardır; yani o elementteki atomların elektronları kararlı yörüngeleri olan belli bir enerji düzeyinde bulunurlar. Yörüngelerinde kararlı olarak bulunan elektronların, dışarıdan gelen bir enerji ile uyarılıp bir üst yörüngeye çıkarak tekrar eski kararlı konumuna dönmesi sırasında aldığı enerjiyi dışarı salma işlemi lazerin ana prensibini oluşturmaktadır [10].

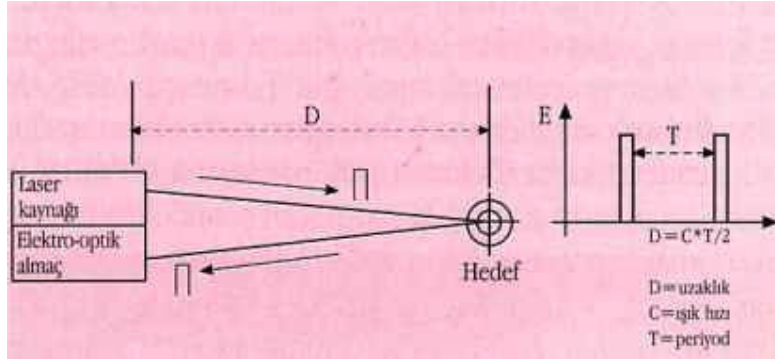


Şekil 2.1. Enerji seviyesi diyagramı

Eğer atom dalga boyu (rengi) kendisine uygun düşmeyen bir ışık demeti (dalga boyu) ile uyarılmış ise enerjisini spontane ışını şeklinde yayar. Eğer kendisine tam olarak uygun düşen bir ışık demeti ile uyarılmış ise çok kısa bir sürede yerleştirildiği ışık demeti ile aynı doğrultuda ve daha parlak bir ışık demeti şeklinde ışıtır. Bu "bindirilmiş (yükseltilmiş) ışınım" olayıdır (Şekil 2.1) [10].

Lazer kaynağı olarak kullanılan malzemenin (kristal, gaz, sıvı) yapısını oluşturan atomların en son yörüngelerindeki elektronları dışarıdan enerjilendirilerek (pumped) bir üst yörüngeye çıkması sağlanır. Verilen enerji kesildiği zaman elektron tekrar kararlı konumuna geçer (bir alt yörüngeye düşer). Bu sırada kazanmış olduğu enerjiyi foton şeklinde yayar. Yayılan bu enerji lazer kaynağının iki tarafında bulunan yansıtıcı aynalar vasıtası ile kendi ortamında döndürülür. Bu işlem elektronların tekrar tekrar uyarılması ile devam eder. Böylece eş fazda şiddeti çok artarak uyarılmış ve o atomun frekans (renk) karakteristiklerini taşıyan güçlü bir ışınım (foton demeti) elde

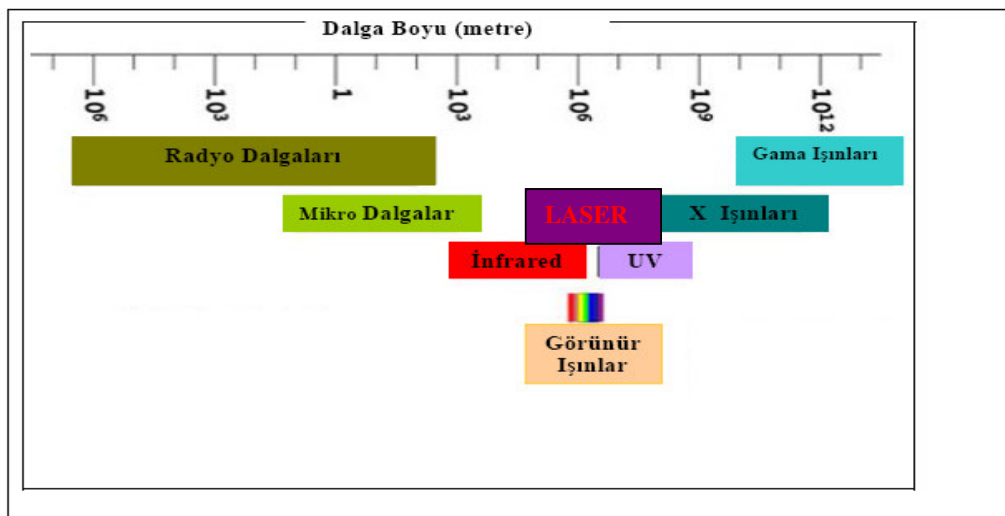
edilir. Tek dalga boyunda yoğunlaştırılarak yönlendirilmiş lazer ışığı ~ %25 geçirgen olan aynadan bir Q anahtarı yardımı ile açığa çıkar (Şekil 2.2) [10].



Şekil 2.2. Q anahtarlı yakut (Cr+3 Ruby) lazer

Lazer ışığı üretilen ortamdan birim anahtarlama zamanında açığa çıkan enerjiye Q değeri ve bu işleme Q anahtarlama denir. Q anahtarlama metotları döner aynalar (1000 dönme/sn.), elektro-optik ve akustik-optik şekillerinde olabilir. elektro-optik ve akustik-optikde çalışma prensibi, polarizasyon kuramlarının çeşitli uygulamalarına dayanır [10].

2.3. Dalga Boyları ve Lazerin Yeri



Şekil 2.3 Dalga boyları ve lazerin yeri [11]

2.4. Lazer Çeşitleri

2.4.1. Optik pompalamalı katı lazerler

Lazer etkisinin oluşması için atomları uyatarak yüksek enerji düzeylerine çıkmalarını sağlamanın yollarından biri lazerde kullanılan maddeye, bu maddenin yayacağı ışığın frekansından daha yüksek frekanslı ışık düşürmektir. Optik pompalama olarak adlandırılan bu sürecin verimi düşük olduğundan güçlü bir pompalama gerçekleştirilmesi gerekir [1].

Optik pompalamalı lazerde uygun malzemeden yapılmış bir çubuk bulunur; bu çubuğun uçları düz ve birbirine paralel olacak biçimde parlatılmış ve lazer ışığının yansıyabilmesi için ayna ile kaplanmıştır. Çubuğun yan çeperi saydamdır, böylece pompalayıcı lambadan gelen ışığın çubuğun içine girmesi sağlanır. Pompalayıcı lamba darbeli çalışan bir gaz boşalmalı lamba (fotoğrafçılıkta kullanılan elektronik flaş lambasının benzeri) olabilir; bu lamba çubuğun çevresine sarılmış olabileceği gibi, çubuğun yanına boylamasına yerleştirilmiş ya da ışığının bir ayna aracılığıyla çubuğa odaklanması sağlanmış olabilir. İlk lazerde yapay bir gök yakut kristali (safir, alüminyum oksit) olan pembe yakut kullanılmıştır. Sonraları birçok toprak elementleri kullanılmıştır. En yaygın kullanılan element neodimdir. Bu tür lazerden çok güçlü ışık çakımları biçiminde binlerce wattlık güçler elde edilebilir [1].

2.4.2. Sıvı lazerler

Katı lazerlerin bir sakıncası yüksek güçte çalışırken malzeme içinde oluşan ya da pompalama lambasından kaynaklanan çok büyük ısının etkisiyle zaman zaman kırılma ve hasar ortaya çıkmasıdır. Sıvı lazerlerde, kristal ya da camsı çubuk yerine saydam bir bölme içine konmuş uygun bir sıvı (örn. neodim oksit ya da neodim klorürün selenyum oksiklorürdeki eriyiği) kullanılır. Sıvının içine konduğu bölme istenildiği kadar büyük yapılabilir, böylece yüksek güçlerin elde edilmesi olanaklı olur. Ne var ki inorganik sıvıların pek azı lazerlerde kullanılmaya elverişlidir [1].

2.4.3 Boyar maddeli lazerler

Bazı organik boyarmaddeler flüorışıma özelliği gösterir. Bir başka deyişle üzerlerine düşen ışığı farklı bir renkte yeniden yayımlarlar. Atomlarının uyarılmış durumda bulunma süresinin çok kısa (saniyenin kesri kadar) olmasına ve yayımlanan ışığın dar bir bantta toplanmasının olanaklı olmamasına karşılık, boyarmaddelerin lazerlerde kullanılmasının nedeni bunların geniş bir frekans bölgesi içinde ayarlanabilme özelliği göstermesidir[1].

Rodamin 6G gibi boyarmaddeler başka bir lazerle uyarılma sonucunda lazer etkisi gösterir. Turuncu-sarı bir ışık yayan rodamin 6G, sürekli olarak çalışan (ışığı darbeler biçiminde değil sürekli bir demet olarak veren) ilk lazerin gerçekleştirilmesinde yararlanılan boyarmaddedir. Böylece frekansı ayarlanabilen sürekli bir lazer demetinin elde edilmesi olanaklı olmuştur. Bir başka boyarmadde olan metilumbelliferon, hidroklorik asitle karıştırıldığında ışık tayfının morötesinden sarıya kadar uzanan bölgesinde lazer etkisi gösterir. Böylece tayfın bu bölgesinde istenen dalga boyunda lazer ışığı elde edilebilir [1].

2.4.4. Gaz lazerleri

Gazlı boşalmada atomlar uyarılmış düzeylere geçerler ve ışık yayımlarlar. Bu olgunun en yaygın örneği ışıklı neon lambalarıdır. Bu süreçte bazen çok sayıda atom, belirli bir enerji düzeyinde birikebilir. Boşalmalı lambalı iki ucuna aynalar yerleştirilecek olursa lazer etkisi ortaya çıkar. Bu olguya yol açan koşullar seyrek ortaya çıkar ve boşalmanın ortaya saldığı ışınımdaki dalga boylarının pek azı için geçerlidir. Ancak birçok gazda lazer etkisi oluşturulabilmektedir. Elde edilen lazer demeti ideal doğru çizgiye çok yakındır. Bu nedenle inşaat işlerinde hizalama amacıyla kullanılır [1].

2.4.5. Dinamik gaz lazerleri

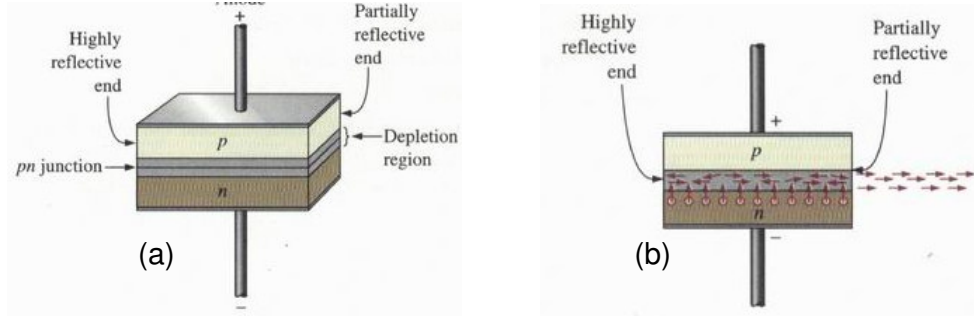
Sıcak bir gaz hızla soğutulursa, alçak enerji düzeylerinin birindeki moleküllerin sayısı daha hızlı azalır yüksek bir düzeydeki moleküllerin sayısının altına düşebilir. Bu durumda lazer etkisi ortaya çıkar. Bu koşul, yanmakta olan ve azotla karıştırılmış karbon monoksitin bir jet (fıskırma) memesinden çıkarken birden genişlemesi sırasında sağlanabilir. Böyle bir lazerden 30.000 W'ın üstünde yüksek güçler elde edilebilmiştir [1].

2.4.6. Kimyasal lazerler

Bazı kimyasal tepkimelerde lazer etkisinin oluşmasına yeterli olacak sayıda yüksek enerjili atomlar ortaya çıkar. Örneğin, hidrojen ve flor elementleri hidrojen florür oluşturmak üzere tepkimeye girdiğinde ortamda bulunan CO_2 gazında lazer etkisi oluşur. Bu tür lazerlerde az miktarda kimyasal madde kullanılarak yüksek enerjiler elde etmek olanaklıdır [1].

2.4.7. Yarı iletken lazerler

Yarı iletken lazerde farklı türden katılanmış iki yarı iletken madde düz bir bitişim oluşturacak biçimde yan yana getirilmiştir. Böyle bir aygıttan yüksek şiddette bir elektrik akımı geçirilirse eklem bölgesinde lazer ışığı ortaya çıkar. Çıkış güçleri sınırlı olan yarı iletken lazerler, maliyetlerinin düşüklüğü, boyutlarının küçük olması ve verimliliklerinin yüksekliği nedeniyle kısa erimli iletişimde (telefon, televizyon vb.) ve uzaklık ölçme aygıtlarında kullanılır [1].



Şekil 2.4. Yarı iletken lazer; a) Yarı iletken lazer görünümü, b) Yarı iletken lazer oluşumu

2.4.8. Lazerlerin yükselteç ve osilatör olarak kullanılması

Lazerlerin çoğunda etkin malzeme uzun ve dar bir sütun biçimindedir, bunun iki ucuna birbirine bakan birer ayna yerleştirilmiştir. Aynalar kaldırılırsa bu aygıt, güçlü bir lazer demetini yükselterek daha da güçlü bir lazer demeti oluşturmak amacıyla kullanılabilir. Aynaların varlığı ise aygıtın bir osilatör (titreşim üretici) olarak çalışması sonucunu doğurur. Bu durumda üretilen lazer demetinin dalga boyu, başlıca iki etmene bağlıdır: Aynalar arasındaki uzaklık ve lazer ortamının nitelikleri [1].

2.4.9. Kısa, güçlü darbeler üreten lazerler

Yükselteç olarak çalışan sütun ile iki uçtaki aynalar arasına yerleştirilen bir engelleyici (obtüratör) kapalıyken lazer etkisi oluşamaz. Lazer etkisinin ortaya çıkması için gerekli koşullar sağlanmışken engelleyici birden açılırsa, sütunda depolanmış durumdaki enerji, saniyenin çok küçük bir kesri kadar süren ve tepe gücü birkaç yüz bin kilowatt olabilen çok güçlü bir ışık darbesi biçiminde açığa çıkar. Bu işleme "Q anahtarlama" denir. Q anahtarı mekanik bir engelleyici olabilir; ama genellikle normal durumda ışık geçirmeyen, bir elektrik darbesi uygulandığında ise saydam duruma geçen sıvı ya da katı bir optik engelleyici kullanılır. Engelleyici olarak, normal durumda ışık geçirmeyen, ama üzerine lazer ışığı düşürüldüğünde saydamlaşan bir boyarmaddeden de yararlanılabilir [1].

Bir lazer genellikle birkaç kipte birden (bir başka deyişle, değişik frekanslarda) titreşim yapar. Bu kipler kip kilitlemesi denen bir yöntemle eş zamanlanabilir. Bu durumda daha da güçlü ve kısa süreli darbeler elde edilir. Böyle darbelerden çok hızlı delik açma işlemlerinde yararlanılır. Deliğin açılması o kadar kısa sürede gerçekleşir ki, çevredeki malzeme bu işleminden etkilenmez. Bu tür ışık darbeleri bilimsel araştırmalarda da kullanılır [1].

2.4.10. Ayarlanabilir lazerler

Lazerin değişik frekanslara ayarlanabilmesi bilimsel araştırmalar açısından önemli bir özelliktir; bu olanağı sağlayan lazer türleri arasında geniş bir frekans bandında çalışabilen boyarmaddeli lazerler başta gelir. Aynalardan biri yerine yalnızca belirli bir frekanstaki ışığı yansıtan bir ayna (örn. bir kırınım ağı) konarak istenen dalga boyu seçilir. Bazı katı lazerlerde, sıcaklık ve kristalin yönlenişi değiştirilerek, dar bir frekans bölgesi içinde ayarlanabilir. Kimi lazerler ise, harmonikler (gelen lazer demeti frekansının tamsayı katları frekanslı demetler) üretebilir. Lityum iyodat kristalinin bu özelliğinden yararlanılarak, kızılötesi ışıınımdan sudan daha kolay geçebilen yeşil lazer ışığı elde edilir [1].

2.4.11. Katı lazerleri

Kullanılan ilk gereç yakuttur (1960). Bu, % 0.05 oranında üçdeğereli krom iyonları (Cr^{+++}) içeren, saydam bir Al_2O_3 alümina kristalidir. Krom iyonlarının enerji düzeylerinin konumu nedeniyle nüfus evrimine olanak verir. Uygulamada, yapay yakutlardan yontulmuş çubuklar kullanılır. Yayım dalga boyu, kızıl bölgede 694.3 nm'dir. Başboş çalışmada bir yakut lazeri 30-40 kW, darbeli çalışmada ise 30 ile 100 MW arası güç sağlar [1].

Neodimli cam, yakut lazerlerinden birkaç yıl sonra ortaya çıkmıştır. Burada, neodim iyonlarıyla (Nd^{+++}) katkılanmış biçimsiz bir malzeme (cam) söz konusudur. Bu, 1060 nm de (yakın kızılötesi) yayım yapan, 4 düzeyli bir malzemedir. Neodimli cam lazerleri yalnızca darbelidir. Bunların birbirinden

oldukça farklı iki türü vardır. Askeri uzaklık ölçümde kullanılan küçük lazerler ve plazmaları, çekirdek kaynaşmalarını incelemede kullanılan yüksek güçlü lazerler. İkinci tür lazerler bir lazer yükselteçleri bataryası biçimindedir [1].

YAG (Yttrium Alüminyum Garnet) neodime katkılanmış ve aynı dalga boyu üzerinden yayım yapan bir itriyum ve alüminyum grenasıdır. Bu gereç sürekli ya da darbeli bir çalışmaya olanak verir. Erbiyum ya da holmiyum iyonları gibi başka malzemeler üzerinde de incelemeler yapılmaktadır [1].

2.4.12. Gaz lazerleri

Ortam çoğu kez bir gaz karışımından oluşur. Karışımındaki bileşenlerden biri, uyarımını çarpışmalarla öbürüne aktarır. En yaygın olanları, güçleri zayıf (miliwatt düzeyinde) olmakla birlikte, helyum-neon lazerleridir. Bu lazerlerde yayım çizgilerini veren neon gazıdır. En çok kullanılan dalga boyu, kızıl bölgede 632.8 nm'dir. 1150 ve 3390 nm'lik tayf çizgileri de kullanılabilir [1].

İyon lazerleri, etkin malzemesi iyonlaştırılmış bir gaz olan gaz lazerleridir. En yaygın olan argon lazeridir. Argon atomları, bir elektrik boşalmasının elektronlarıyla çarpışarak iyonlaşır. Bu lazerlerle çok sayıda tayf sayısı elde edilebilir (mavi-yeşil bölgede 488 nm, 496.5 nm ve 514.5 nm). Yayımlanan güç yüksektir (onlarca watt) [1].

*Karbondioksit lazerleri*nde, CO_2 karbondioksit moleküllerinin temel elektron durumundaki titreşim-dönme geçişlerinden yararlanılır. Gaz karışım CO_2 , azot ve helyumdan oluşur ve uyarma azot moleküllerinden karbondioksit moleküllerine aktarılır. Sürekli ya da darbeli olabilen yayım kızılaltı bölgede (10.6 μm ya da 9.6 μm) yapılır. Karbondioksit lazerlerinin %10 ile %15 arasında değişen yüksek bir verimi vardır. Maksimum güç, sürekli çalışmada 400 kW, kısa darbeli çalışmada ise 10 TW'dir [1].

HF/DF *kimyasal lazerler*'de lazer yayımı verecek olan, titreşim yönünden uyarılmış HF ya da DF moleküllerini üretmek için flüor atomunun hidrojen (ya

da izotopu döteryum) üzerindeki tepkimesinden yararlanılır. En güçlü lazerlerde, flüor atomu, F_2 flüor molekülünün (ya da NF_3 bileşiğinin) özel bir odada hidrojenle (ya da bir hidrokarbonla) yanmasıyla elde edilir. Yayım dalga boyları HFF lazer için $2.7 \mu m$, DF lazer için ise $3.8 \mu m$ dolayındadır. DF lazer bugüne dek gerçekleştirilmiş olan en güçlü sürekli lazerdir. ABD 'de yapılmış bir ilk örnek, 2.2 MW lik bir güç sağlanmıştır [1].

Metal buharlı lazerler'de (en yaygın olanı helyum-kadmiyum lazeridir) etkin ortam, buhar halindeki kadmiyumdur. 100 miliwatt'a kadar olan güçlerde, 441.6 ve 325 nm'lik dalga boylarıyla sürekli çalışma sağlanabilir [1].

En son gerçekleştirilmiş lazer tipi olan *iyot lazerleri*'nde etkin ortam olarak atom halinde iyot kullanılır ve cam lazerinin dalga boyuna yakın, 1315 nm'lik bir dalga boyu üzerinden yayım gerçekleştirilir. Bu tip bir lazer ile 1 TW'lık bir güç sağlanmıştır [1].

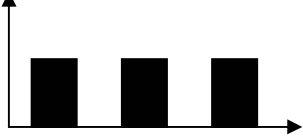
2.4.13. Serbest elektronlu lazerler

Bunlar, bir hızlandırıcıdan çıkan yüksek enerjili elektron paketlerini, evirici olarak adlandırılan bir dizi mıknatısın oluşturduğu sabit, alması bir magnetik alanın içinden geçirerek senkrotron, bağdaşık ve tek renkli yeğin bir ışımaya kaynağı elde etmeye olanak verir. Elektronların enerjileri ya da magnetik alanın dönemi değiştirilerek, X ışınlarının dalga boylarından, uzak kızılötesinin dalga boylarına kadar değişen dalga boyları elde edilebilir [1].

2.5. Mod

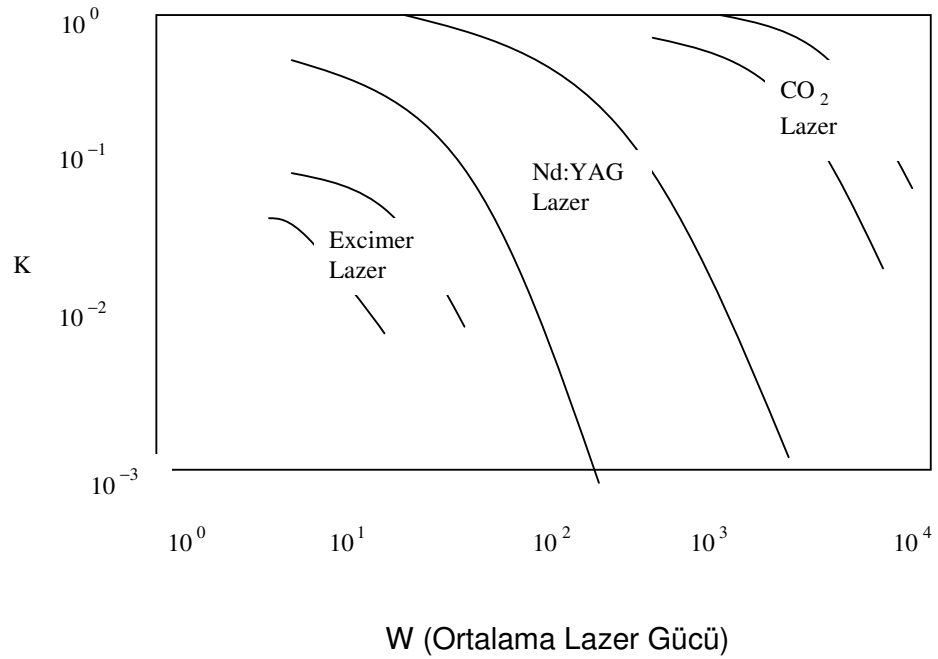
Mod lazer ışının yoğunluğunu değişimi olarak adlandırılmaktadır. K katsayısının değeri azaldıkça, ışının kalitesi de düşmektedir. Dolayısıyla birer lazer ışınının en küçük odak çapına ve dolayısıyla en küçük enerji yoğunluğuna sahip olabilmesi için bu temel moda mümkün olduğu kadar yaklaşması gerekmektedir. K katsayısı azaldıkça lazer ışınının odaklanma yarıçapı büyümekte ve ışın kalitesi azalmaktadır.

Çizelge 2.1. Lazer modları (Bystronic 1996) [12]

Mod	Grafik Gösterimi	Uygulama	Örnek
Sürekli Mod (CW)		Düşük Basıncılı Kesme Normal Kesme Yüksek Basıncılı Kesme	DKP O ₂ ile Alüminyum N ₂ ile Paslanmaz N ₂ ile Sabit güç ile hassas kesme elde edilir.
Modülasyon Mod		Köşeleri Kesme Hızlanma ve Durma	Aktif modülasyonda lazer gücü eksen hızına ayarlanır. böylece sivri köşelerdeki yanık izlerinde kaçınılır.
Normal Puls Sp		Delme İnce saclardaki Hassas Konturlar	DKP sac üzerindeki başlama delikleri küçük delikler hassas delikler
Superpuls Sp		Delme Yüksek Yansıtma Özelliğine Bağlı Malzemeler	Bakır N ₂ ile Paslanmaz O ₂ ile

Çizelge 2.1. (Devam) Lazer modları (Bystronic 1996) [9]

Megapuls Sp		Delme Kalın Saclarda Hassas Konturlar	Kalın malzemelerde az artık ile hızlı delme O ₂ ile çinko deliği
----------------	---	---	--



Şekil 2.5. Lazer gücüne göre farklı lazer türlerinin K katsayısının karşılaştırılması[13]

2.6. Bazı Lazer Türlerinin Karşılaştırılması

Çizelge 2.2. Bazı lazer türlerinin karşılaştırılması

Karşılaştırma	CO ₂ Lazeri	Nd: YAG Lazeri	Excimer Lazeri
Dalga Boyu (µm)	10,6	1,06	0,3-0,2
Tahrik Tekniği	Düşük Basıncılı Gaz Boşaltımı	Ark Lambası	Yüksek Basıncılı Gaz Boşaltımı
Çalışma Şekli	CW/P	P/CW	P
MaksimumGüç(kw)	25	2	0,4
Darbe Gücü(kw)	10 kW'a kadar	100 kW'a kadar	30000 kW'a kadar
Işın Kalitesi	Maksimum	Düşük	Düşük
Verimlilik(%)	5-10	2-5	1-2
Fiyat(x1000Avro)	500	800	650
Kullanım Yerleri	Termik prosesler Makro işleme	Termik prosesler Mikro işleme	Mikro alanda termik olmayan işlerde

2.7. Lazerde Farklı Malzemelerin İşlenebilirliği

2.7.1. Endüstriyel çelikler

Bu tip malzeme oksijen ile kesildiğinde iyi sonuç verir. Lazer CW modunda kullanılır. Kesme gazı olarak oksijen kullanıldığında kesim kenarı çok az olmak üzere oksitlenir. 4 mm'ye kadar kesme gazı olarak yüksek basınçlı azot kullanmak mümkündür. Kesim kenarlarında bu halde oksit görülmez. Kesme hızı, oksijen ile elde edilen maksimum kesme hızının sadece %10 ile %30'una erişebilir [12].

Daha zor şekilli parçalar için lazer ünitesi darbe modunda çalıştırılır. Bu dar açılı ve ince kesitli bağlantılardaki yanıkları önler [12].

Çelikteki daha çok karbon ihtivası, kesim kenarlarındaki sertleşmeye ve köşelerdeki yanık izlerinin oluşmasına neden olacaktır. Sertliğin kesme hızı üzerindeki hiçbir etkisi yoktur. Alaşım yüzdesi yüksek olan malzemeleri kesmek düşük alaşımlı malzemeleri kesmekten zordur [12].

Oksitli ya da kumlanmış yüzeyler daha düşük kesme kalitesine izin verecektir. Malzeme yüzeyinde oluşan, kalan sıcaklık kesme kalitesine negatif yönde etki eder [12].

Çelikleri keserken gerilmelerin giderilmesi önemlidir. Haddeme ile oluşmuş iç gerilme de delme işlemine etki eder. Küçük boyutlu parçalarda ve 15-20 mm kalınlıklarda ince tane yapısına sahip çelik tavsiye edilir [12].

Örneğin, %0.03 silikon ve maksimum %0.012 karbon ihtiva eden Reax-250-lazer çeliğinin çekme dayanımı $360-440 \text{ N/mm}^2$ 'ye eşittir. Bu çelik aşağıdaki özelliklere sahiptir.

- Lazer delme ve kesme sırasında cüruf oluşumunu yok eder.
- Optimum büküm
- Geri yaylanma azaltılmış
- Kaynak kabiliyeti yüksek
- Bu çelikten 30 mm'ye kadar mevcuttur [12].

St 52-3 kullanıldığında artık malzeme ve yapışkan cürufun yarattığı çapaklar gibi ikinci sınıf kesme sonuçları elde edilir [12].

2.7.2. Paslanmaz çelik

Bu malzemeyi delmek için eğer oksitli kenarlar önemli değil ise oksijen ile başka müdahaleye gerek kalmaksızın oksitsiz ve çapaksız bir delme için azot ile yüksek lazer gücü kullanarak yapılabilir. 5 mm'den itibaren tüm tabla yüzeyindeki paslanmaz çeliği azotla çapaksız delmek için odak pozisyonunun ayarı gerekmektedir. Odak noktasının yeniden ayarı temiz delme yapabilmeyi mümkün kılar. Plaka üzerinde yağ filmi tabakası oluşturmak, işleme kalitesini azaltmadan başlangıç deliklerindeki sonucun daha iyi olmasını sağlayacaktır [12].

2.7.3. Alüminyum

Alüminyum ve alaşımlarının sürekli modda delinmesi tavsiye edilmektedir. Çok yüksek yansıtma özelliğine ve ısıtma transferine rağmen alaşım ve lazer gücüne bağlı olarak 6 mm'ye kadar olan plakalar delinebilir [12].

Azot ile delme yüzeyi daha temiz olur. 4 mm'ye kadar olan uygulamalarda optimum regülasyon sağlama ve çapaksız kesme elde etmek mümkündür. Daha kalın parçalarda temizlenmesi zor çapaklar oluşacaktır [12].

2.7.4. Titanyum

Titanyum saclar argon ve azot kesme gazları ile kesilebilir. Krom-nikel parametreleri kullanılabilir [12].

2.7.5. Bakır ve pirinç

Her iki malzemedede çok iyi yansıtma ve ısı iletkenliğine sahiptir. Pirinç ancak 3 mm'ye kadar azot ile kesilebilir. Bakır kesme gazı osijen kullanıldığında 3 mm'ye kadar kesilebilir [12].

2.7.6. Sentetik malzemeler

Sentetik malzeme olarak termoplastik, termoset malzemeler ve sentetik kauçuk malzemeler işlenebilir. Çok yoğun duman çıkmasından dolayı PVC ve polietilen malzemeleri lazer işlerken su jeti kullanılmalıdır [12].

Akrilik cam lazer ile kesilebilir. Kesme gazı olarak basıncı 0.5 bardan daha düşük olmak üzere azot kullanılır. Bu yolla daha parlak kesme yüzeyi elde edilebilir [12].

2.7.7. Organik malzemeler

Tahta, deri, kağıt lazer ile işlenebilir. İşlenmiş kenarlar, yanmaktan kömür haline gelecektir. Yapışkan tahta işlerken her yapışkan tipi ve çeşidine bağlı olarak temiz bir işleme garantisi elde etmek imkansızdır [12].

2.8. Lazer Uygulamaları

2.8.1. Lazerin uygulama alanları

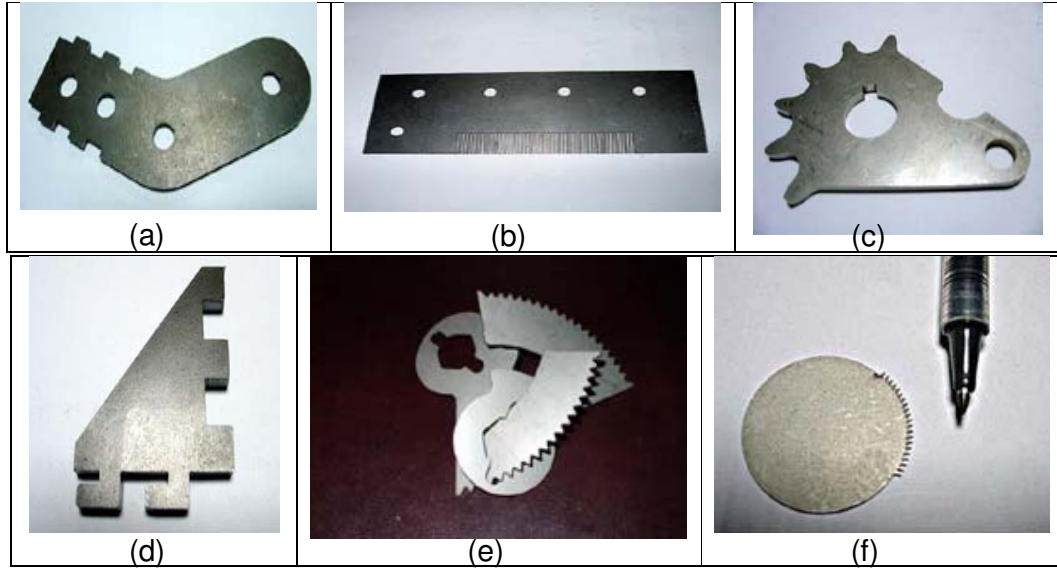
Lazerler; endüstride, bilimsel araştırmalarda, haberleşmede, tıp ve askeri alanlarda gün geçtikçe daha da önemli olmaktadır [10].

Endüstride;

- Her türlü malzemeyi çok hassas bir şekilde kesme, delme, eritme, lehimleme ve şekil verme işlemleri ,
- Mikroelektronikte dirençlerin aktif veya pasif olarak 0,01% hassasiyetinde üretilmeleri,
- Chip üretiminde hat kalınlıklarının 0,25 μm 'den az olarak desenlendirilmesi
- Yeni maddelerin analiz işlemlerinin yapılması,
- Yüksek ve uzun yapıların düzgünlüğünün ölçümü
- Yüzey sertleştirme

Bilimsel araştırmalarda;

- Çok hassas bilimsel ölçümler (ışık hızı ölçümü),
- Yerküre üzerindeki hareketlerin hassas ölçümü,
- Malzemelerin kimyasal analizleri



Resim 2.1. Endüstrideki bazı lazer uygulamaları; a) Açılı kesim, b) Düz kesim, c) Oval kesim, d) Kalın dik köşeli sac uygulaması, e) Diş tipi kesim, f) Hassas kesim

Haberleşmede;

- Yeryüzü ile uydular arası haberleşme sistemleri
- Dünya üzerindeki haberleşme ağında fiber-optik sistemlerle birlikte kullanılması,
- Yüksek yoğunlukta ses ve görüntü bilgileri depolanması (compact disc, video disc),

Tıp alanında;

- Zarar görmüş dokuların keserek alınması
- Yaraların iyileştirilmesi
- Kanamanın durdurulması
- Göz retinasında oluşan zedelenmelerin giderilmesi

Askeri alanlarda;

- Açısal hassasiyet (ışınımının doğrusal şekilde olması)
- Uzun mesafelere ulaşma (Lazer gücünün yüksek olması)
- Mesafe ölçümünde hassasiyet (darbe genişliğinin çok dar olması)
- Selektif tespit (spektral band aralığının çok dar olması sebebi ile)
- Kullanım kolaylığı (küçük boyutta ve hafif olmaları)

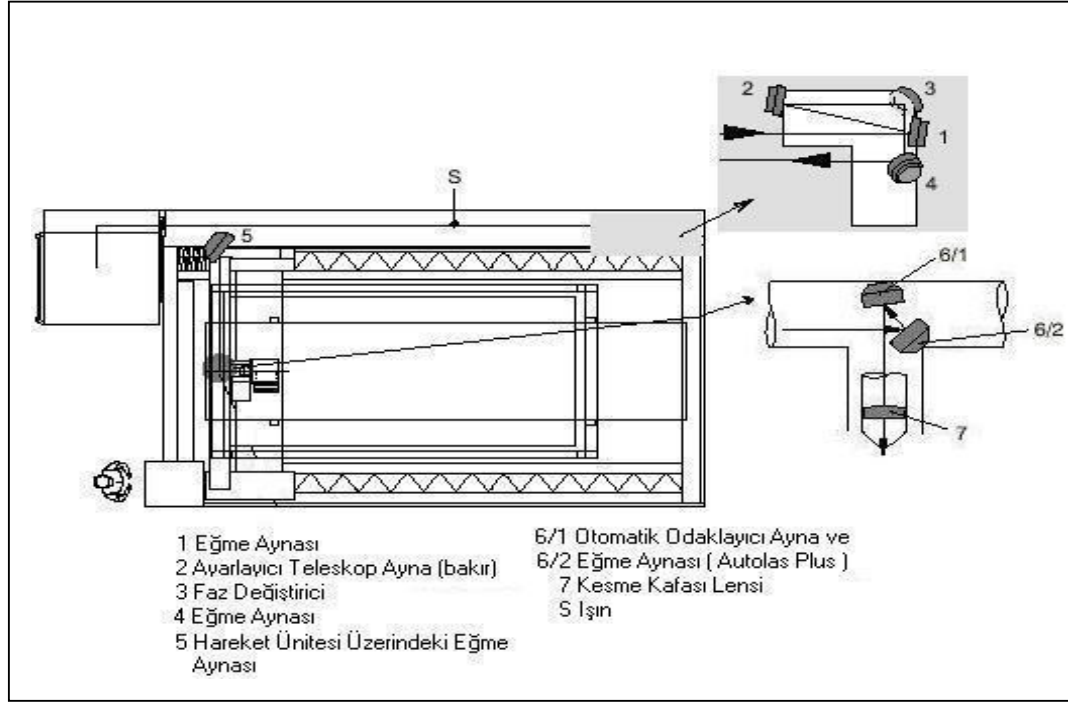
3. LAZERLE DELME İŞLEMİ

3.1. CO₂ Lazer Tezgahında Lazer Oluşumu ve Makinedeki İletimi

CO₂ lazer tezgahlarında lazer, CO₂ gazına elektrik akımı verilerek oluşturulur. Bunun yanında kullanılan azot ve helyum gazı düşük verimde olan CO₂ lazerine eklenerek verim %30 artırılmaktadır. Lazer karışım oranı CO₂/N₂ = 0.81, He ise » 1'dir. Lazer ışını tezgahın rezonatör bölümünde cam tüpler içinde 10m'ye yakın bir mesafe kateder. Bu tüplerden gaz geçerken iki ucu arasından elektrik akımı verilerek lazer oluşturulur. Daha sonra lazerin tezgah üzerinde izlemiş olduğu yol Şekil 3.1'de görülmektedir. Lazerin bir ışın olması sebebiyle aynalar sayesinde yönleri değiştirilebilmektedir. En son olarak lazer ışını kesme kafasına gelmekte burada kesme işlemi yapılmaktadır. Lazer oluşumu için kullanılan gaz silindirlerinin makinaya mesafesi ise en fazla 10m kadar olmalıdır. Uygulama basıncı 6-10 bar'dır [14].

Endüstriyel lazerlerin birçoğunda, lazer ışınının oluşabilmesi için özel gazların kullanılması gereklidir. Gazın kalitesi ve seçimi, lazerin güvenilirliğini ve işlemin verimliliğini doğrudan etkilemektedir. Lazer gazları genellikle, yüksek saflıkta özel gazlardır. Lazer gazları, makinaya ayrı ayrı tüplerde ya da önceden belli oranlarda karıştırılmış olarak verilmektedir. Bu ön karıştırma ya da gazların ayrı tüplerde verilmesindeki işlem parametreleri (gaz debisi, basınç saflığı vb.) her lazer makinası üreticisi tarafından belirlenir ve o şartlarda makinaya verilmektedir [14].

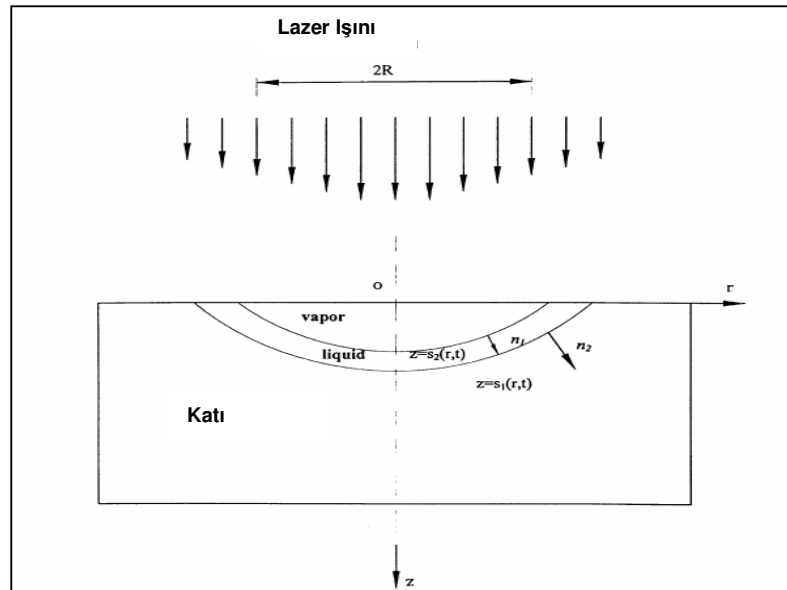
Karbondioksit lazerini oluşturan gazlar şunlardır : Karbondioksit, Azot ve Helyum. Bazı lazer gazları 4 ya da 5 bileşen içerebilir (Ortama CO₂, N₂ ve Helyumun dışında CO, H₂ ve Ne eklenebilir) [14].



Şekil 3.1. Lazerin tezgah üzerinde izlemiş olduğu yol

3.2. Lazerle Delme İşlemi

3.2.1. Fiziksel yöntem



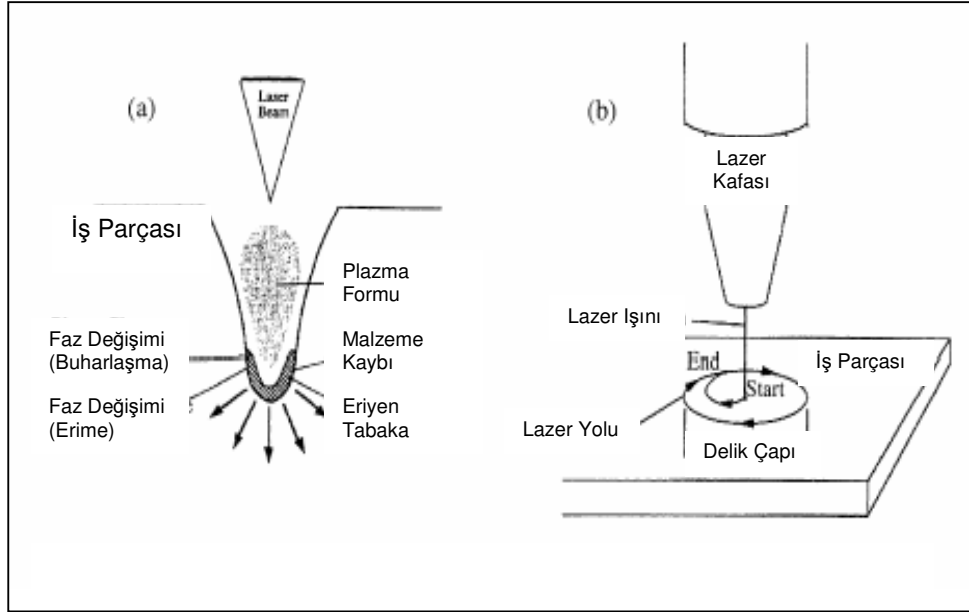
Şekil 3.2. Lazerle delmedeki fiziksel yöntem

Şekil 3.2. lazerle delme işlemini göstermektedir. Belirli bir yoğunluğa sahip lazer ışını hedefte bulunan iş parçası üzerine doğrudan uygulanır. Bu lazer ışını malzeme yüzeyi üzerinde büyük bir ısı akısı meydana getirerek, uygulanan katı iş parçası erime noktasına geldiğinde erir ve buharlaşır [15].

Lazerle delme işlemi sırasında aşağıdaki şartlara ihtiyaç duyulmaktadır [15]:

1. Uygulamaya konan malzemenin ışını absorbe edebilme yeteneği iyi olmalıdır. Eğer iş parçasının yansıtma oranı yüksekse lazer ışını malzemenin alt noktalarına kadar ulaşamayacaktır.
2. Lazerle delme işlemi sırasında herhangi bir plazma alanı oluşturulmamalıdır.
3. Deliğin içine doğru sıvı metalin meydana getirdiği ısı akısı ihmal edilir ve ısı dağılımı lineer kabul edilmelidir.
4. Oluşan sıvı ve katı malzemenin özellikleri sıcaklık, katı ve sıvı fazın yoğunluklarından bağımsız kabul edilmelidir.
5. Yüzey ışımalarından ve yayınımdan kaynaklanan ısı kayıpları ihmal edilmelidir.

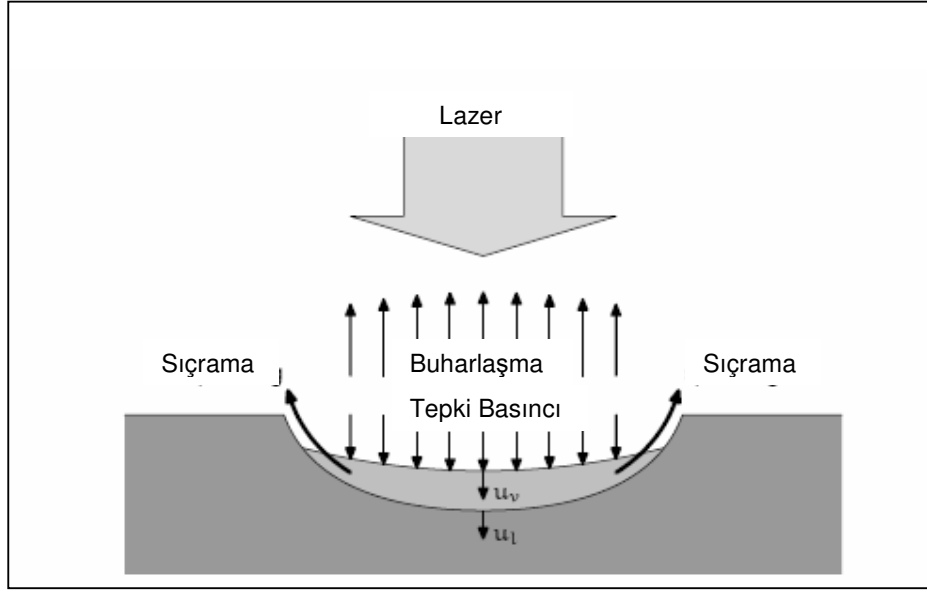
Lazer-iş parçası yüzeyi, olayların oluş bakımına göre 3 kısma ayrılır. İlk kısımda katı sıcaklığı erime sıcaklığının altında, erime ve buharlaşma mevcut değildir. Katı kısım sıcaklığı absorbe edince ısı enerjisi ve katı kısmın sıcaklığı zamanla artacaktır. İş parçası bu yüzeyde en yüksek sıcaklığa eriştikten sonra, bu genelde lazer ışının uygulandığı merkez kısma tekabül eder, iş parçası erime noktasına gelir ve ikinci kısım malzemenin erimesiyle başlar. İkinci kısımda sıvı kısmın yüzey sıcaklığı buharlaşma sıcaklığından düşüktür. Sıvı kısım maksimum buharlaşma sıcaklığına ulaştığında iş parçasında buharlaşma olur ve üçüncü kısım başlar. Üçüncü kısımda katı-sıvı ve sıvı-buhar ara yüzlerinde bilinmeyenler mevcuttur ve hesaplanmalıdır [15].



Şekil 3.3. Delme işleminin şematik görünümü; a) Darbe delme işlemi
b) Çevresel delme işlemi

3.2.2. Kütle yerdeğiştirme mekanizması

Kütle yerdeğiştirme mekanizması buhar –sıvı yüzeyleri arasındaki tepki basıncı oluşmasıyla tanımlanabilir. İlk buharlaşma anında buharlaşan metal molekülleri hızla yüzeyden uzaklaşmaya çalışırlar fakat sıvı yüzey düşük hızdadır. Böylece sıvı-buhar arayüzünde bir momentum değişimi meydana gelmektedir. Bu momentum hareketi sıvı faz üzerinde bir basınç oluşturur. Bu basınç malzemenin sıvı fazdan gaz faza geçişini zorlaştırır. Aynı zamanda sıvı faz kalınlığı artar ve basınç nedeniyle oluşan sıcaklığı depolamaya başlar. Sıcaklıkla birlikte basınç artışı devam eder ve sonunda sıvı metali dışarı doğru fışkırır¹.



Şekil 3.4. Kütle yerdeğiştirme mekanizması

3.2.3. Lazerle delme işleminin avantajları ve dezavantajları

Avantajlar;

- Malzemenin mekanik özelliklerinden bağımsız olması: Yani gevreklik tokluk sertlik gibi özelliklerden bağımsızdır.
- Kısa işleme zamanı: Örnek olarak gaz türbinlerinde kullanılan filtrenin delme işlemi konvansiyonel tezgahta 12 saat olurken lazerle 5 dk. içinde delinebilmektedir.
- Hassas işleme: Mikron derecesinde hatalarla delme yapabilmektedir.
- Kesme takımı ve iş parçası arasında temas yoktur.
- İşlemler bütünüyle düşünüldüğünde maliyetlerin az olması.
- Esnek kablolar vasıtasıyla elde edilen ışının taşınabilmesi mümkündür.
- Kalıpsız imalat

Dezavantajlar;

- Bakım ve ilk yatırım maliyetinin yüksek olması.
- Isıl işlemde kaynaklanabilecek malzemedeki kimyasal değişimler, bozulmalar.

- Sınırlı kalınlık/çap oranı($H/D=10$).

3.3. Lazerle Delmede Etki Parametreleri

3.3.1. Lazer parametreleri

G sabitliği

Makine operasyonu boyunca sabit güç sağlanması uniform delme kalitesiyle sonuçlanır. Uygulanacak lazer gnn miktarı delme kalitesi açısından son derece önemlidir. Lazer oluşumuna başlandıktan sonra sabit bir çıkış g elde edilebilmek için 5-10 dakikaya ihtiyaç vardır. Bu olaya geçici g değişmezliği denir, sıcaklıktan ve gaz basıncından bağımsızdır [16].

Işın profili

Ulaşılabilir fokus çapı lensin fokuslama mesafesine bağlıdır. 2,5 in lenste 0,12 mm'den küçük ve 5 in lenste ise 0,2 mm'den küçük odaklama çapına müsaade edilebilir [16].

Uzaklaşma açısı

1 mm'lik kırılma bir metre uzunluğundaki ışında 1 mm'lik genişlemeye neden olur. Işığın kırılma açısı sabit bir ışın çapı ve kararlı ışın özellikleri sağlayabilmek için mümkün olduğu kadar küçük tutulmalıdır [16].

Odaklama noktası

İyi bir delme kalitesi elde etmenin n şartlarından biri de doğru fokuslama noktası tayin edebilmektir. Siyah sağın alev kesiminde 6 mm'ye kadar olan saç kalınlıklarında uygun odaklama yüzeyde olmalı 8 mm ve üzerindeki saç kalınlıklarında odaklama saç yüzeyinin üzerinde olmalıdır [16].

Lüle ayarı

Lens tarafından odaklanan lazer ışını tam olarak lüle merkezine denk gelmelidir. Lazer ışını 0,05 mm'den daha fazla kaçık olamaz. Kaçık merkezli ışın, alevle siyah saç kesiminde yüzeyde kıvılcımlaşma oluşturur [16].

Lüle ağzı

Lazer kesimde farklı lüle çaplarından yararlanılır. Saç yüzeyi ile lüle arasındaki mesafe de değişkendir. Doğru lüle seçimi kaliteli delik için çok önemlidir. Çarpma sonucu lüle ağzının ovallik alması gibi durumlar kusurlu delik yönlendirmelerine neden olur [16].

3.3.2. İş parçası parametreleri

Malzeme çeşidi

Malzemenin ışını ve sıcaklığı soğurabilme etkisi, delmede kullanılacak malzeme çeşidini, diğer parametreleri etkilemesi açısından önemlidir. Çünkü, bir bakır malzeme uygulanan lazer etkisini iş parçasının diğer noktalarına diğer malzemelere göre daha fazla ve hızlı bir şekilde iletebilmektedir. Saf alüminyum gibi parlak yüzeye sahip malzemeler büyük yansıtma potansiyeline sahiptir ve kötü delme sonuçlarıyla karşılaşılır [16].

İş parçası kalınlığı

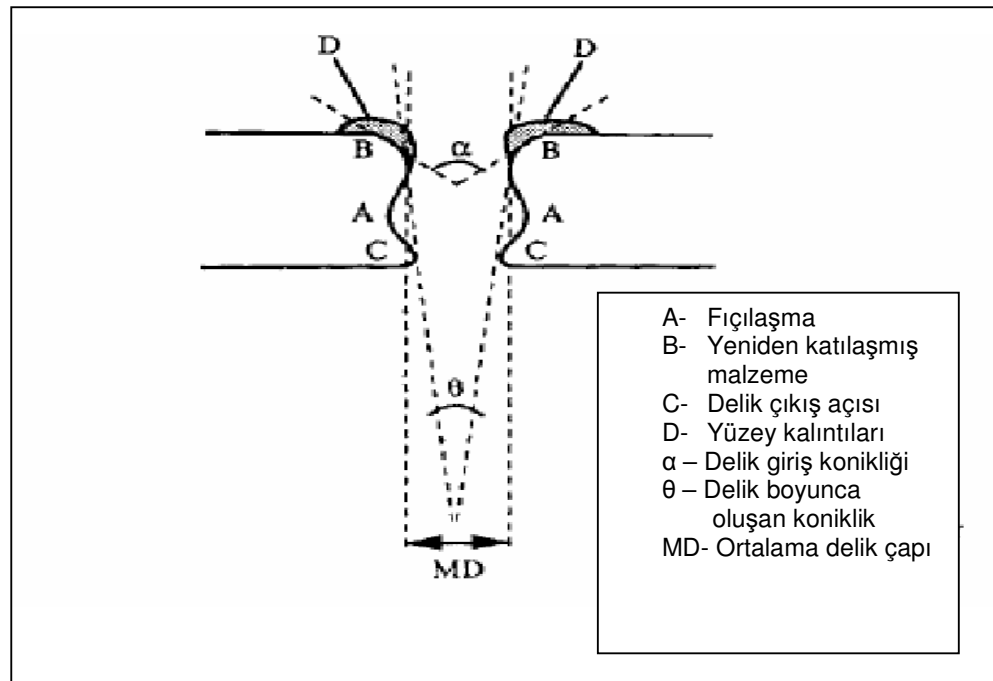
Lazerle delmede, delik çapı ve iş parçası kalınlığı arasında sınırlı bir oran vardır. $H/D=10$. Ayrıca malzeme kalınlığına bağlı olarak iletilecek olan ısıнын, kalınlığın artmasıyla azaldığı böylece buharlaşan metal miktarı ve delik kalitesini etkilediği tespit edilmiştir [16].

İş parçası yüzeyi

Yüzeyin boyalı olması, cilalı olması yada plastik malzeme ile kaplı olması ters yönde etki yapar. Kaba ve sönük yüzeyler yüksek delme hızlarına müsaade

ederler. % 100 lazer gücüyle yapılan delme işlemlerinde yüzeyin yağ filmiyle kaplı olması olumlu yönde katkı yapar. Sonuç olarak yüzeydeki cüruf tabakası miktar azalır. Yüzeyin pas tabakasıyla kaplı olması yüzeyde yanmalara neden olur ve gaz tüketimi artar bu suretle enerji tüketimi de artmış olur. Soğuk haddelenmiş, rengi ağartılmış, kurulandırılmış saçları delmek daha kolaydır [16].

3.4. Lazerle Delmede Delik Özellikleri



Şekil 3.5. Delik özellikleri

Lazerle delme işleminde, aşağıdaki durumlar gerçekleşir (Şekil-5.5.):

- Fıçılaşma : Delikte oluşacak fıçı görünümlü yapı kısmıdır.
- Yeniden katılaşmış malzeme : Delik iç yüzeylerindeki erimiş fakat dışarı çıkamamış ve tekrar katılaşmaya uğramış bölümdür.
- Çıkış açısı : Malzemenin ters kısmındaki delik çıkış açısıdır.
- Yüzey kalıntıları : Erime ve tepki basıncı sonucu oluşacak fışkıрма neticesinde yüzeyde katılaşp kalacak malzemedir.
- Delik giriş konikliği : Delme uygulanan kısımdaki giriş açısıdır.

- Koniklik : Delik boyunca oluşan daralmayı ifade eder.
- Ortalama delik çapı : Esas delik çapını ifade eder.

Tüm bunların neticesinde delik kalitesini tanımlayacak olursak, yukarıdaki ifadelerin en olumlu yöndeki etkileri bize iyi bir deliğin elde edildiğini verecektir. Yani kalite;

$Q=Re+Ta+Ba+Ec+Ic+Sd$ olarak tanımlanabilir [17].

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Amaç

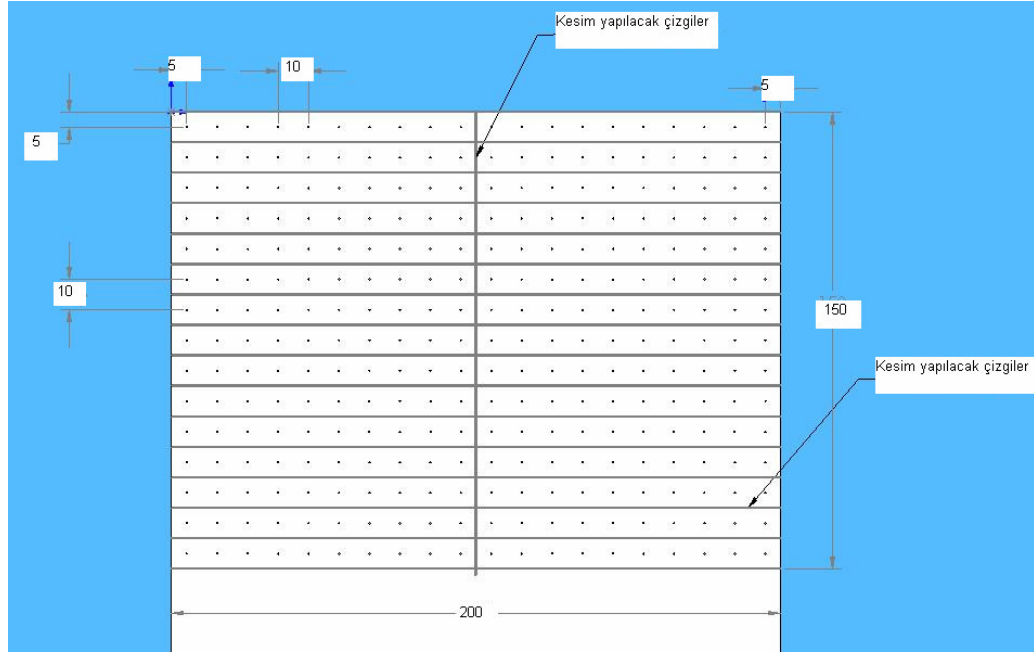
Lazerle delme işlemi hızlı bir şekilde yapıldığı için çok sayıda delik delinmesi kısa bir sürede mümkün olmaktadır. Lazerle elde edilen delik geometrileri, klasik metotla elde edilenden daha kaliteli ve hassas olabilmektedir. Klasik delme işleminde iş parçası ile kesici ucun mekanik teması neticesinde titreşimler, sürtünme kayıpları ve kesici ucun aşınması söz konusu olmaktadır. Bu durumda iş parçasının sertlik kırılgenlik gibi mekanik özellikleri önem arz etmektedir. Bu nedenle lazerle elde edilen delikler konvansiyonel yöntemlerle elde edilenden daha ekonomik ve daha iyi olabilmektedir. Bu çalışmada, deneysel olarak lazerle değişik çaplara delikler delinerek, lazer ve iş parçası geometrilerinin delik geometrisi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

4.2. Malzeme ve Yöntem

4.2.1. Malzeme

Deneylerde kullanılmak üzere St-37 siyah sac seçilmiştir. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi belirlenen ölçülerde sırasıyla delikler delinmiştir. Toplam 4 farklı kalınlıkta sac kullanılmıştır. Bunlar sırasıyla 1.2 mm, 2 mm, 2.5 mm, 4 mm’dir.

Delme işlemi sırasında 4000 W gücündeki “Mazak HypearGear” lazer tezgahı kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Kullanılan malzeme ölçüleri

4.2.2. Yöntem

Delme işlemi sırasında CO_2 lazerinin oluşması için kullanılan gaz karışımı %1.7 CO_2 , %23.4 N_2 ve kalan kısım Helyum gazından oluşmaktadır. İşlem sırasında %100 güç yoğunluğu, 7.5" lens, 1.5 mm çapında lüle kullanarak, azot gazıyla birlikte normal puls tipi seçilmiştir. Resim 4.1'de görüldüğü üzere 10 mm aralıklarla delikler delinmiş, daha sonra 100 X 10 mm büyüklükte plakalar halinde kesimler yapılarak numaralandırılmıştır. Her sac kalınlığı için 10 parametre bir plakayı oluşturmuştur. Toplam 26 plaka elde edilmiştir. Delik geometrilerinin tekrarlanabilir olup olmadığını anlamak amacıyla rasgele 10 parametre seçilerek 5'er adet delik daha delinmiştir.



Resim 4.1. Delme işleminden görünüm

Delme işleminin sonunda deliklerin alt üst görünüm resimleri optik mikroskopta x50 büyütme kullanılarak çekilmiştir. Seçilen 10 parametre 5'er adet deliklerin kesitleri alınarak fotoğraflanmış daha sonra su zımparası ile sırasıyla 400, 600 ve 1000' lik zımpara ile zımparalanarak, 6 μm ve 3 μm parlatma işleminden sonra %5 nital çözeltisi ile dağlanarak yeniden katılaşmış malzeme ve ısı tesiri altındaki bölge(ITAB) resimleri fotoğraflanmıştır. Elde edilen fotoğraflar uygun programlar (CorelDraw) ile çap ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Her delik giriş ve çıkış noktaları için ikişer adet ölçüm alınmıştır. Daha sonra bu değerlerin ortalamalarıyla birlikte referans ölçümlerine göre gerçek değerleri çıkarılmıştır.

Elde edilen ölçüm değerleri ve resimler değerlendirilerek delik kaliteleriyle ilgili olarak uygun grafikler ortaya çıkarılmış kaliteyle ilgili genellemeler yapılacaktır.

4.2.3. Parametreler

İş parçası parametresi olarak;

- Kalınlık

ve lazer parametreleri olarak da;

- Odak Uzaklığı
- Lazer Çıkış Gücü
- Gaz Basıncı
- Lazer Pulse Frekansı

seçilmiştir. Değerler ise aşağıdaki tabloda olduğu gibi seçilmiştir.

Çizelge 4.1. Parametre uygulama tablosu

Sıra	P(W)	Odaklama mesafesi (inç)	Gaz Basıncı(bar)	Frekans(Hz)
1	2500,3000,3500,4000	-4	8	500
2				800
3				1000
4				1200
5			10	500
6				800
7				1000
8				1200
9			12	500
10				800
11				1000
12				1200
13			14	500
14				800
15				1000
16				1200
17		-2	8	500
18				800
19				1000
20				1200

Çizelge 4.1. (Devam) Parametre uygulama tablosu

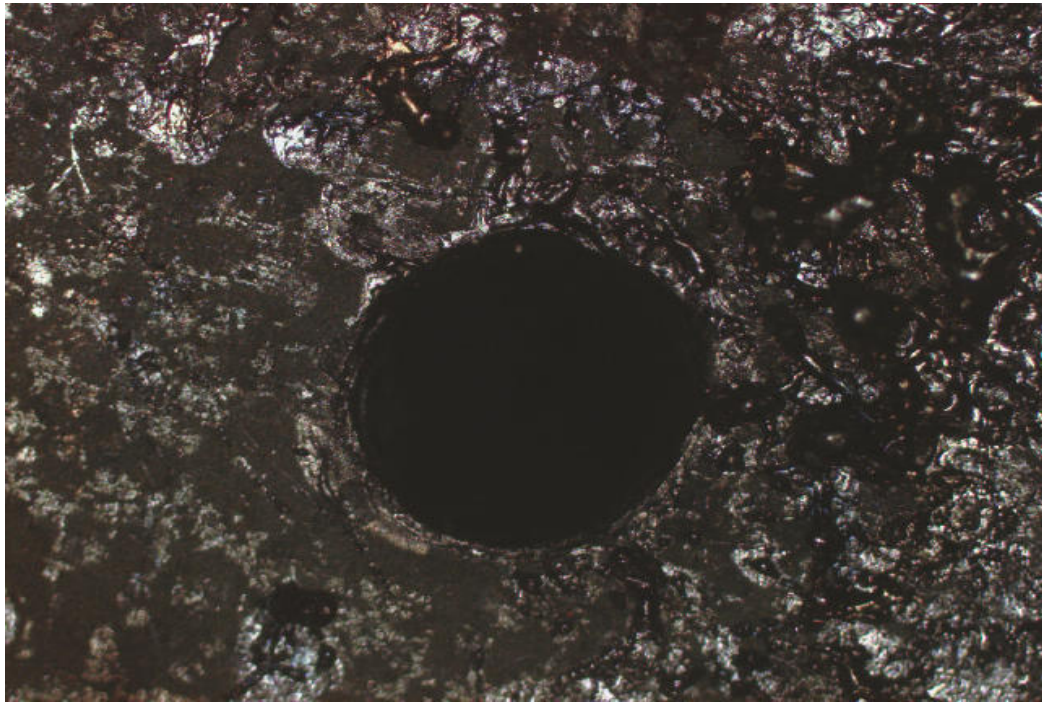
21	2500,3000,3500,4000	-2	10	500
22				800
23				1000
24				1200
25			12	500
26				800
27				1000
28				1200
29			14	500
30				800
31				1000
32				1200
33		0	8	500
34				800
35				1000
36				1200
37			10	500
38				800
39				1000
40				1200
41			12	500
42				800
43				1000
44				1200
45			14	500
46				800
47				1000
48				1200
49		2	8	500
50				800
51				1000
52				1200
53			10	500
54				800
55				1000
56				1200
57			12	500
58				800
59				1000
60				1200
61			14	500
62				800
63				1000
64				1200

Çizelge 4.1.'deki tablo değerleri uygulanarak her bir sac kalınlığı için toplam 256 adet delik delinmiştir. Toplam delik sayısı 4 sac kalınlığı için 1024 olarak elde edilmiştir.

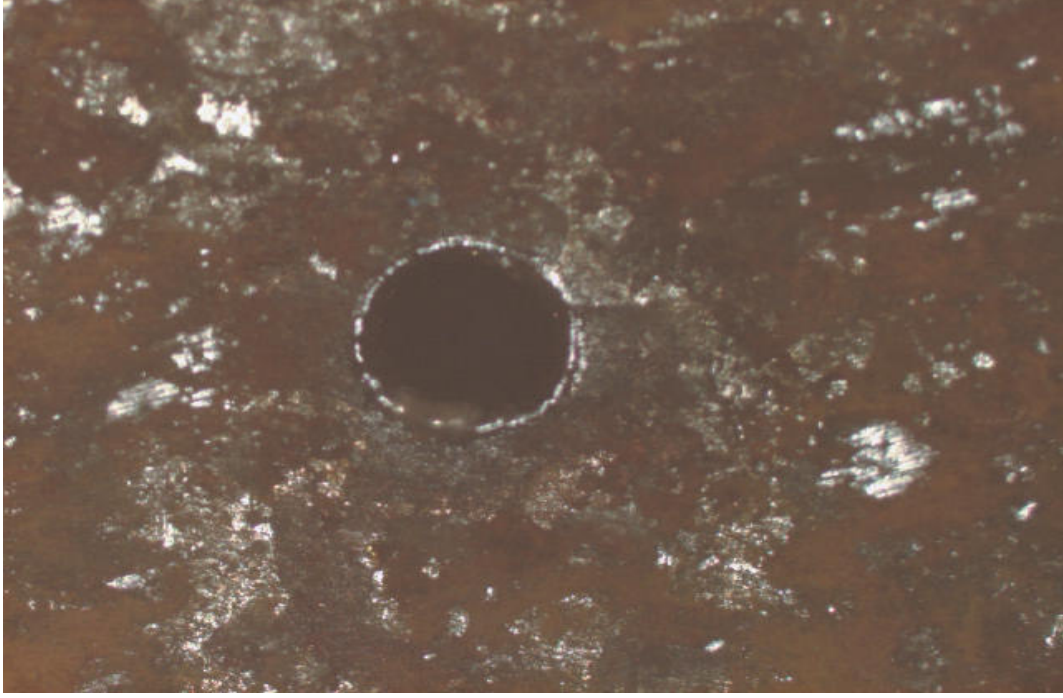
Bu parametrelerin arasından sıra numarasına göre 2500 W için 1., 20., 64., delikler, 3000 W için 6. ve 14. delikler, 3500 W için 7., 13., 34., delikler, 4000 W için 35. ve 51. deliklerden 5'er adet delinmiştir.

4.3. Uygulama

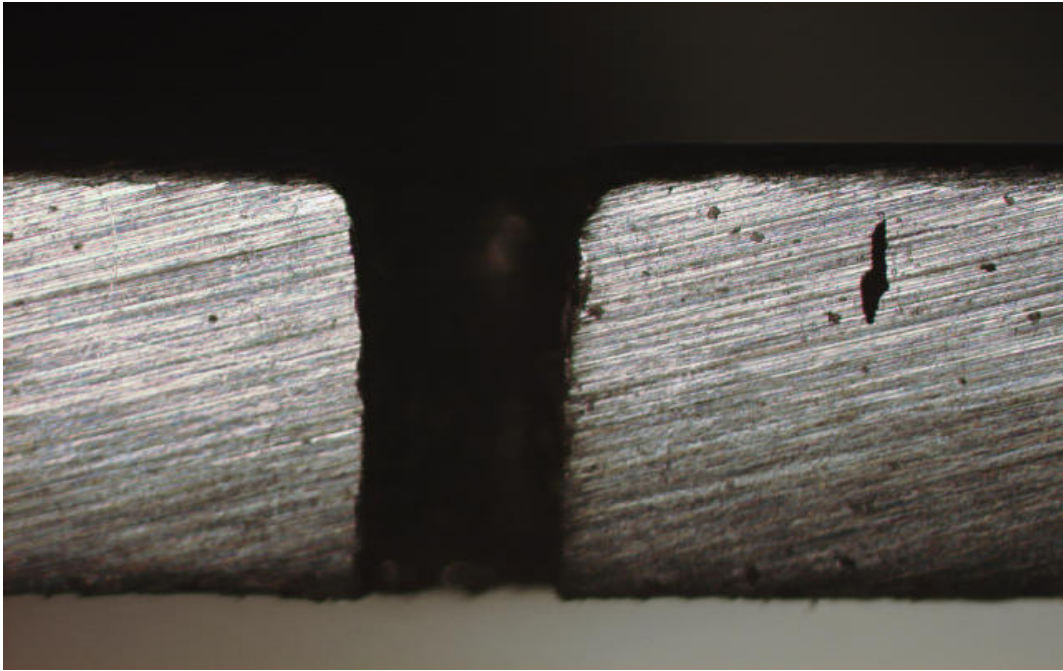
Toplam 4 sac kalınlığı için elde edilen 1024 adet deliğin optik mikroskopta x50 büyütme ile delik alt ve üst yüzeylerinden Resim 4.2. ve Resim 4.3.'de olduğu gibi fotoğraflanmıştır. 10 parametreden elde edilen toplam 50 deliğin yine alt ve üstten fotoğraflarıyla beraber kesitleri alınarak kesit görünüşleri ve mikroyapı fotoğrafları Resim 4.4. ve Resim 4.5.'de olduğu gibi çekilmiştir. Tane sınırları bölgesinin fotoğrafları x200 büyütme ile çekilmiştir.



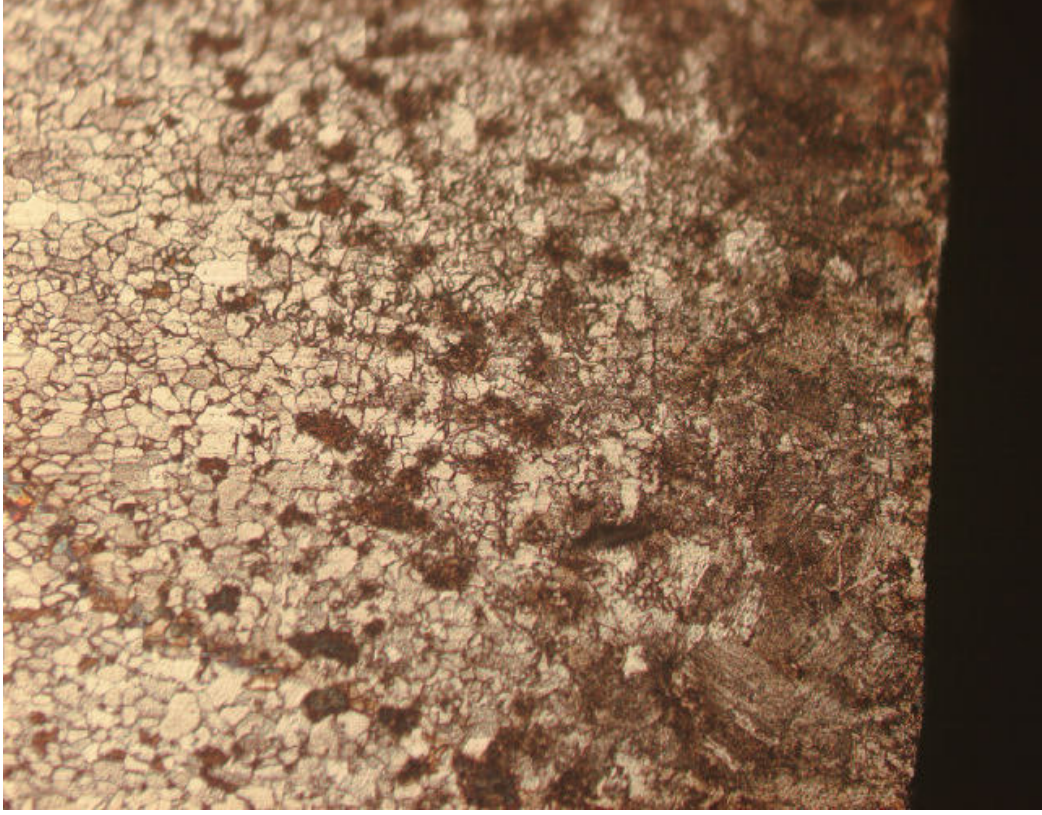
Resim 4.2. Deliğin üstten görünümü, x 50 büyütme (2.5 mm kalınlık, 3000W, 2 inç, 14 bar 1000 Hz) [18]



Resim 4.3. Deliğın alttan görünümü, x 50 büyütme (4 mm kalınlık, 3500 W, -4 inç, 14 bar, 500 Hz) [18]

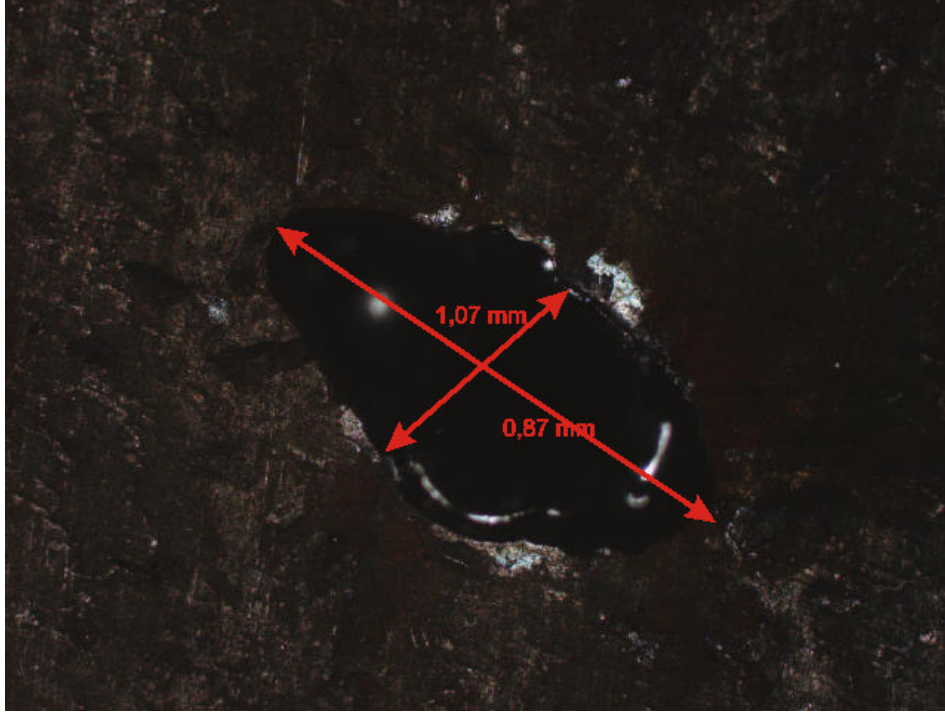


Resim 4.4. Deliğın kesit görünümü, x 50 büyütme (1.2 mm kalınlık, 3000 W, - 4 inç, 14 bar, 800 Hz) [18]

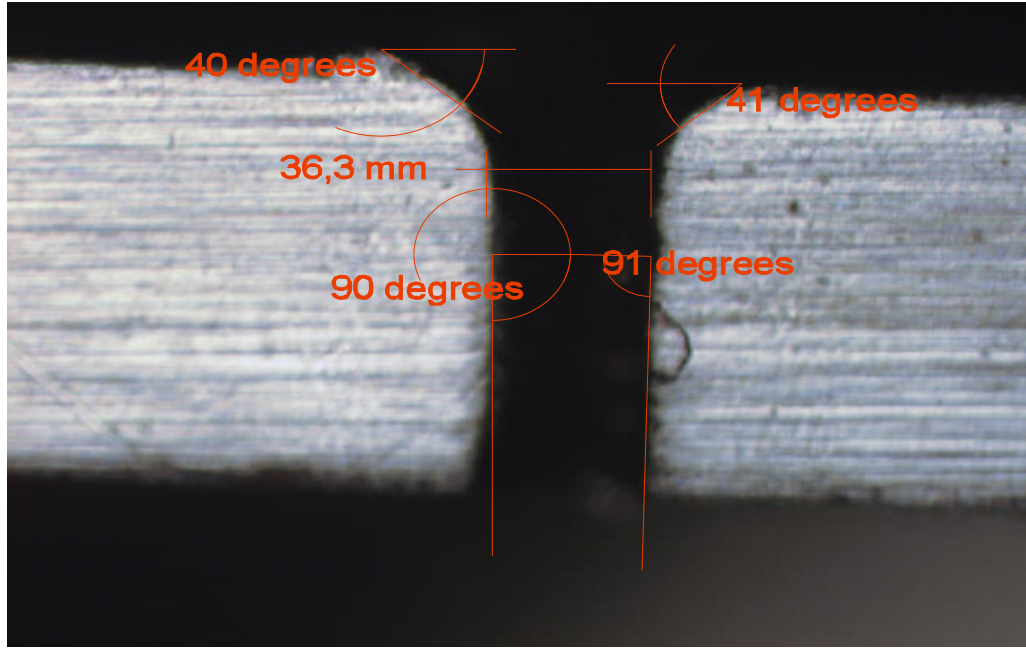


Resim 4.5. Deliğe doğru malzemede mikroyapı değişimi, x 200 büyütme (1.2 mm kalınlık, 2500 W, -2 inç, 8 bar, 1200 Hz) [18]

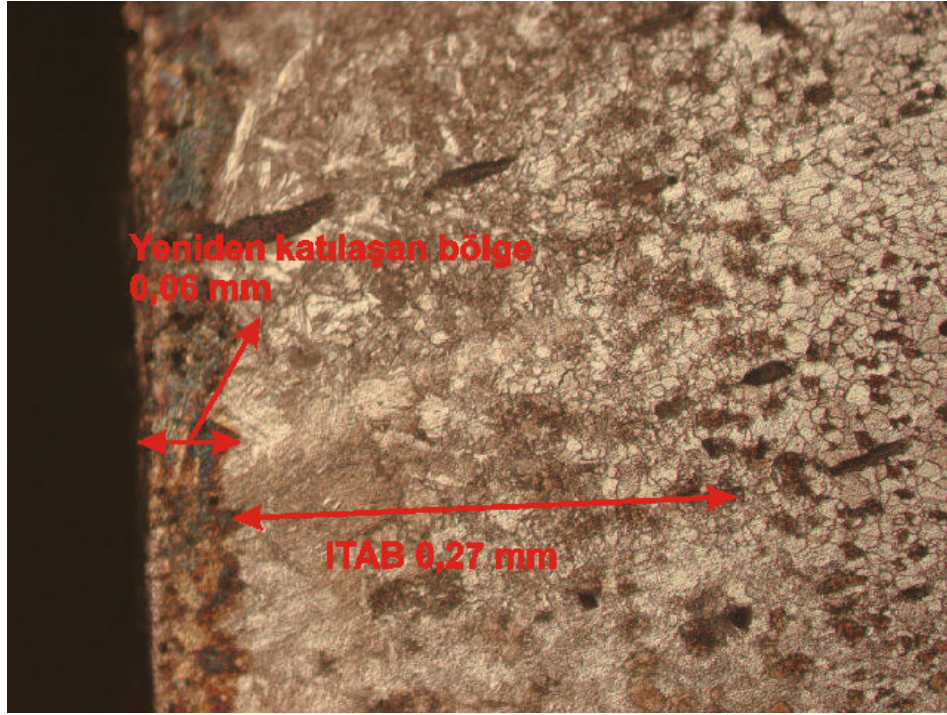
Çekilen bu resimlerde, üst ve alt delik geometrileri üzerinde ikişer adet çap ölçümü (Resim 4.6.), kesit görünümü üzerinde delik giriş açısı, delik konikliği ve orta nokta çap ölçümü (Resim 4.7.), tane sınırı görünümü üzerinde çeper üzerinde katılaştıran malzeme kalınlığı ve ITAB mesafeleri ölçümleri (Resim 4.8.) gerçekleştirilmiştir. Ölçülen bu değerler daha sonra gerçek değerlere dönüştürülmüştür.



Resim 4.6. Alt görünümünden boyut ölçümü, x 50 büyütme (2 mm kalınlık, 2500 W, 0 inç, 12 bar, 1000 Hz) [18]



Resim 4.7. Kesit görünümü ölçümleri, x 50 büyütme (1.2 mm kalınlık, 3000 W, -4 inç, 10 bar, 800 Hz) [18]



Resim 4.8. ITAB ve yeniden katılaşmış bölgelerin ölçümü, x 200 büyütme
(1.2 mm kalınlık, 2500 W, 2 inç, 14 bar, 1200 Hz) [18]

Delme işlemi gerçekleşmeden önce çıkacak delik çapları bilinmemektedir. Delik alt, üst ve orta noktadan alınan ölçümler ile ortalama delik çapları elde edilmiştir.

Parametrelere bağlı olarak açılma değişimleri ve yine parametrelere bağlı olarak ısıdan etkilenen bölge ve katılaşmış malzeme bölge büyüklükleri karşılaştırılarak delik kaliteleri incelenecektir.

5. DENEYSEL BULGULAR VE SONUÇLAR

5.1. Delme Parametrelerine Bağlı Delik Çapları

Elde edilen alt ve üst delik geometrileri, kesit görünüşleri ve dağlanma görünüşlerinin her biri için uygun ölçümler yapılarak aşağıdaki değerleri içeren EK-1'de verilen tablo değerleri elde edilmiştir.

Tablolardaki delik kodlamaları şu şekilde yapılmıştır: (ABCDE).

Burada A parametresi malzeme kalınlığını ifade etmektedir.

- A=1 → t= 1.2 mm
- A=2 → t= 2 mm
- A=3 → t= 2.5 mm
- A=4 → t= 4 mm

Burada B parametresi gücü ifade etmektedir.

- B=1 → P= 2500 W
- B=2 → P= 3000 W
- B=3 → P= 3500 W
- B=4 → P= 4000 W

Benzer şekilde C odaklama mesafesidir.

- C=1 → odaklama mesafesi = -4 inç
- C=2 → odaklama mesafesi = -2 inç
- C=3 → odaklama mesafesi = 0 inç
- C=4 → odaklama mesafesi = 2 inç

D gaz basıncıdır.

E frekans değerlerini belirtmektedir.

- | | |
|------------------------|-----------------------|
| • D=1 → Basınç= 8 bar | E=1 → Frekans= 500 Hz |
| • D=2 → Basınç= 10 bar | E=2 → Frekans= 800 Hz |

- D=3 → Basınç= 12 bar E=3 → Frekans= 1000 Hz
- D=4 → Basınç= 14 bar E=4 → Frekans= 1200 Hz

Buna göre (11111) kodlaması 1.2 mm kalınlık, 2500 W, -4 inç, 8 bar ve 500 Hz şartlarında delindiği; (44321) kodlaması 4 mm kalınlık, 4000 W, 0 inç, 10 bar ve 500 Hz şartlarındaki delme işlemini ifade etmektedir.

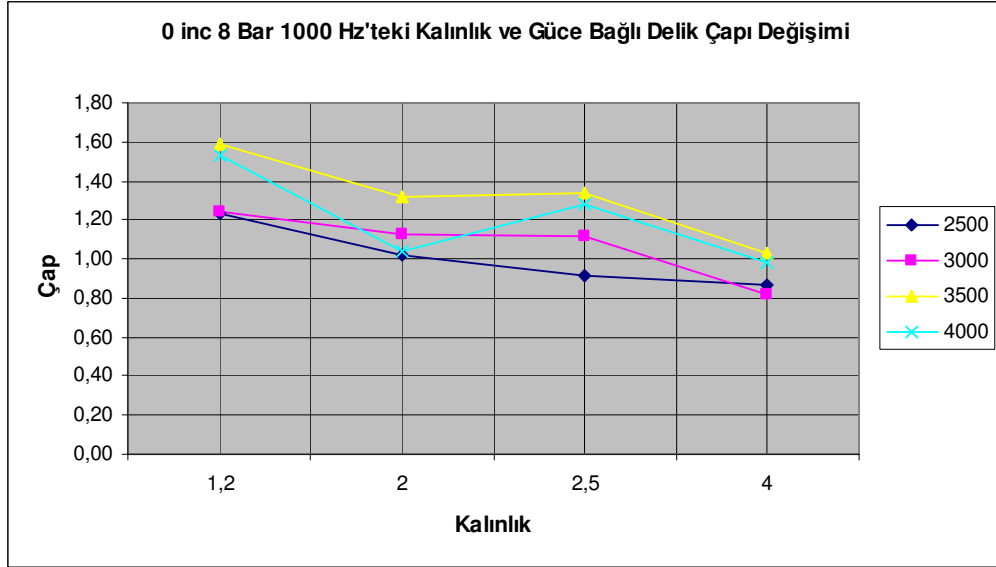
EK-1'de elde edilen tablo sonuçlarına göre delik kalitesi, 4 ana grup altında gerçekleştirilmiştir.

5.2. Delik Çap Değişiminin Parametrelere Bağlı Değişimi

Delik çap değişimini incelemek için; bazı parametreler sabit tutularak değişken parametrenin delik çapına olan etkisi incelenmeye çalışılmıştır. Buna göre ilk aşamada gücün değişimini görmek için odaklama, frekans ve gaz basıncı belirli değerler de sabit tutulmuştur. Buna göre Çizelge 5.1.'de

Çizelge 5.1. 0 inç, 8 bar, 1000 Hz'teki delik çapı değerleri

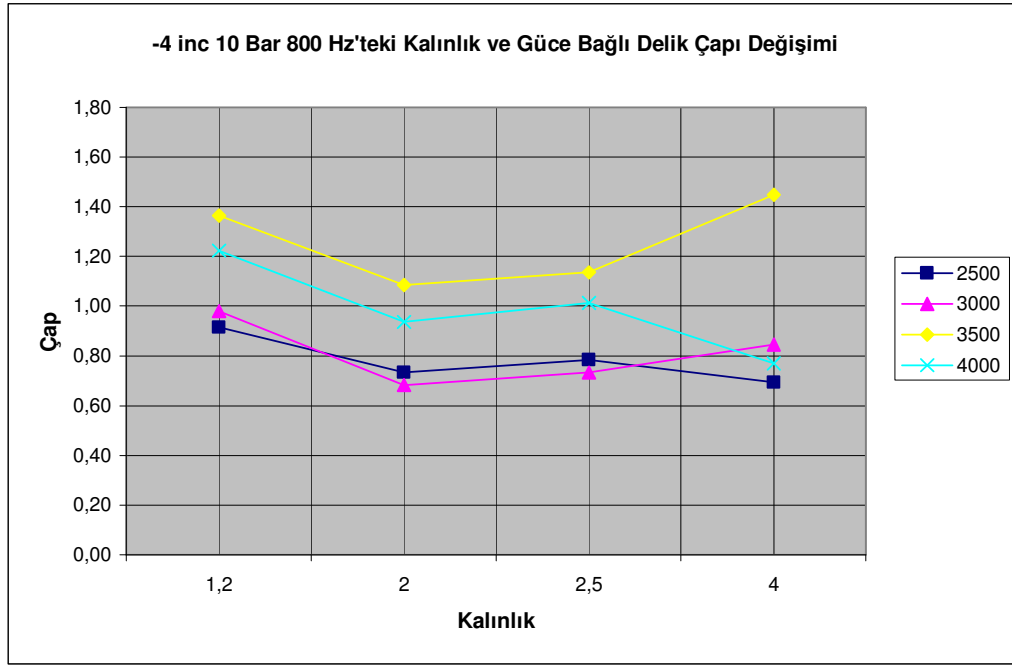
		Ortalama delik çapı mm (0 inc 8 Bar 1000 Hz)			
Güç \ Kalınlık		1,2	2	2,5	4
2500		1,23	1,02	0,91	0,87
3000		1,24	1,12	1,12	0,81
3500		1,59	1,32	1,34	1,03
4000		1,53	1,04	1,28	0,98



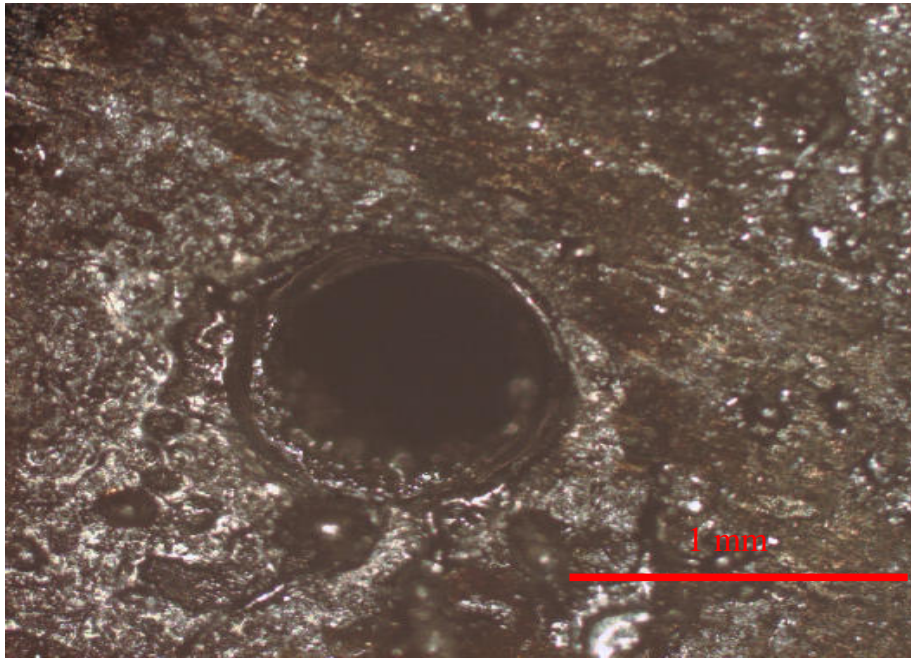
Şekil 5.1. 0 inç, 8 bar, 1000 Hz'teki kalınlık ve güce bağlı delik çapı değişimi

Çizelge 5.2. -4 inç, 10 bar, 800 Hz'teki delik çapı değerleri

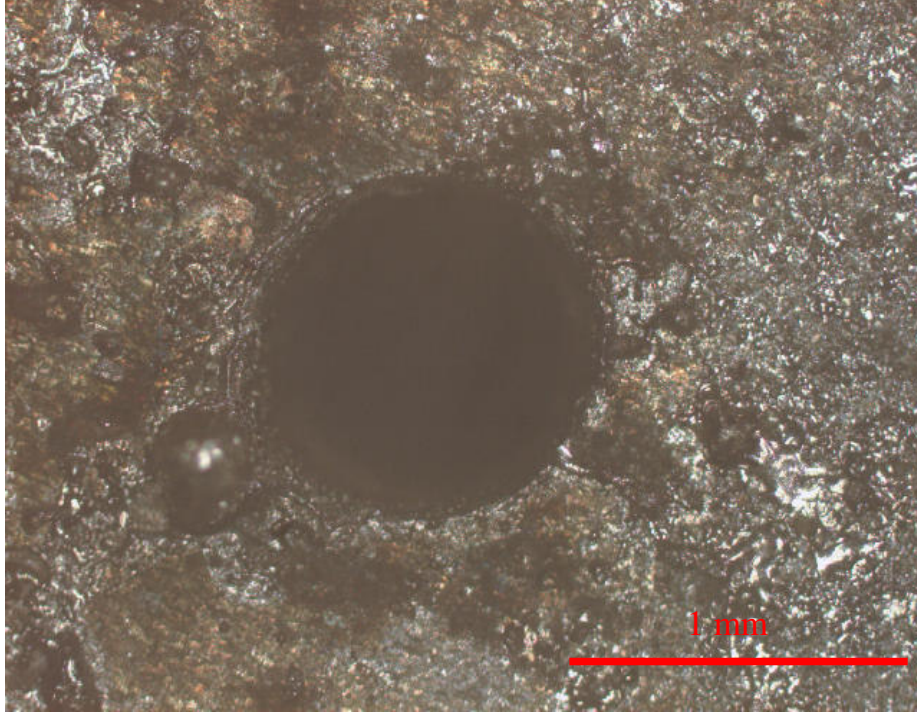
		Ortalama delik çapı mm (-4 inc 10 Bar 800 Hz)			
Güç	Kalınlık	1,2	2	2,5	4
2500		0,92	0,73	0,79	0,69
3000		0,98	0,68	0,73	0,85
3500		1,36	1,09	1,14	1,45
4000		1,22	0,94	1,01	0,77



Şekil 5.2. -4 inç, 10 bar, 800 Hz'teki kalınlık ve güce bağlı delik çapı değişimi



Resim 5.1. 4 mm kalınlık, 2500 W, 0 inç 8 bar, 1000 Hz için elde edilen delik x 50 büyütme[18]

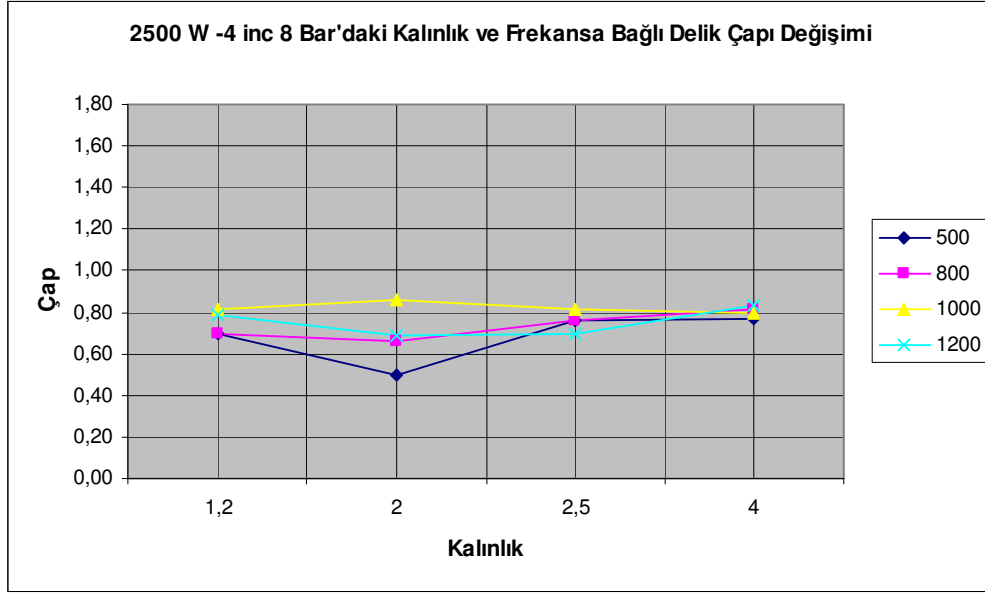


Resim 5.2. 4 mm kalınlık, 4000 W, 0 inç, 8 bar, 1000 Hz için elde edilen delik, x 50 büyütme [18]

Güç-kalınlık grafikleri incelendiğinde ve fotoğraflardaki güç değişimine bakıldığında genelleme yapılacak olursa sac kalınlığı arttıkça delik çapında düşme olduğu görülmüştür. Güç açısından değerlendirildiğinde, 3500 W 'a kadar güç arttıkça ısı girdisi arttığından çap büyüklüklerinin arttığı görülmektedir.

Çizelge 5.3. 2500 W, -4 inç, 8 bar'daki delik çapı değerleri

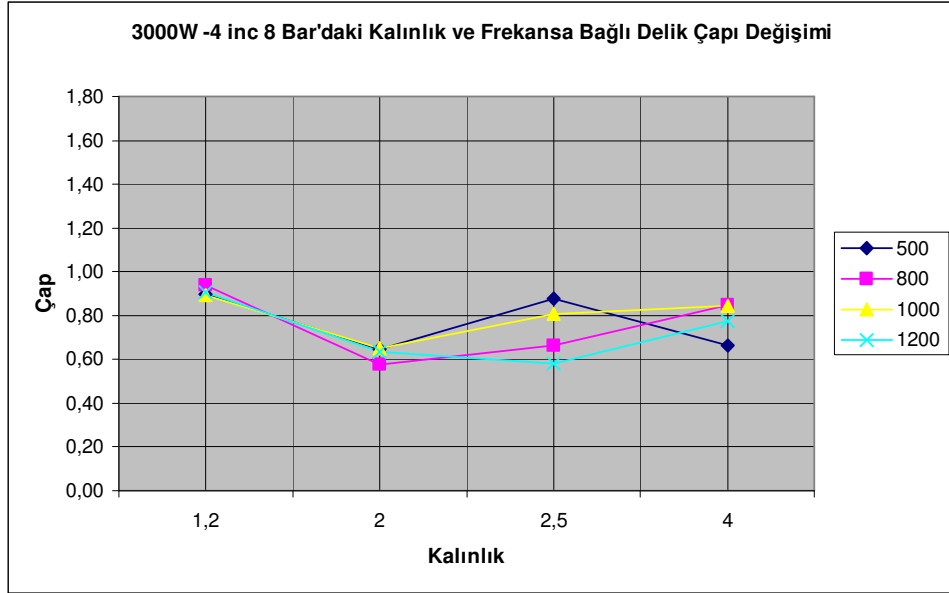
Frekans \ Kalınlık		Ortalama delik çapı mm (2500 W, -4 inç 8 bar)			
		1,2	2	2,5	4
500		0,70	0,50	0,76	0,77
800		0,70	0,66	0,76	0,81
1000		0,82	0,86	0,82	0,80
1200		0,78	0,69	0,70	0,83



Şekil 5.3. 2500 W, -4 inç, 8 bar,'daki kalınlık ve frekansa bağlı delik çapı Değişimi

Çizelge 5.4. 3000 W, -4 inç, 8 bar'daki delik çapı değerleri

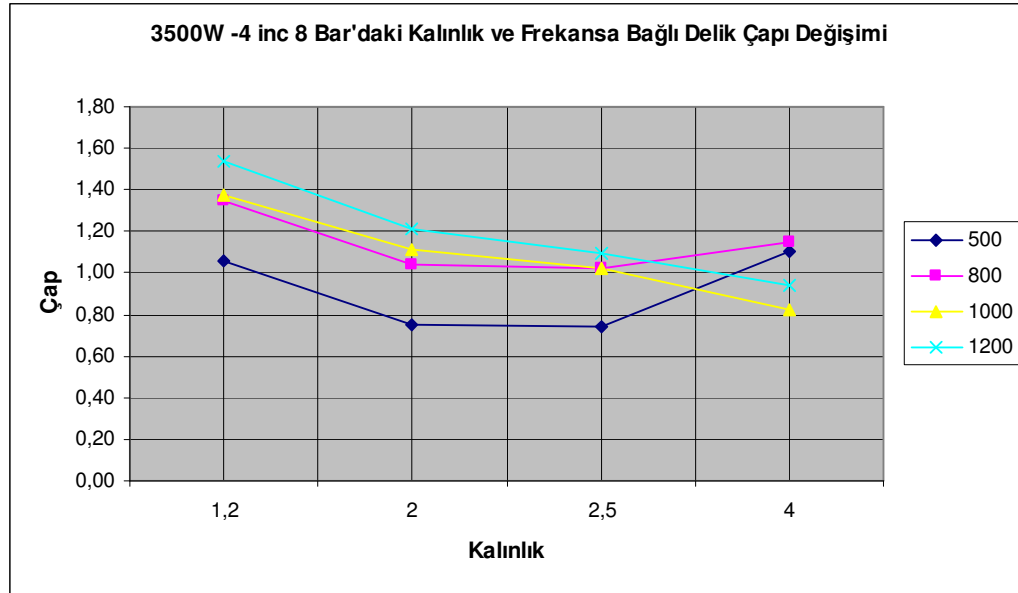
		Ortalama delik çapı mm (3000 W -4 inç 8 Bar)			
Frekans	Kalınlık	1,2	2	2,5	4
500		0,90	0,65	0,88	0,66
800		0,94	0,58	0,66	0,85
1000		0,89	0,65	0,81	0,85
1200		0,91	0,63	0,58	0,77



Şekil 5.4. 3000 W, -4 inç, 8 bar'daki kalınlık ve frekansa bağlı delik çapı değişimi

Çizelge 5.5. 3500 W, -4 inç, 8 bar'daki delik çapı değerleri

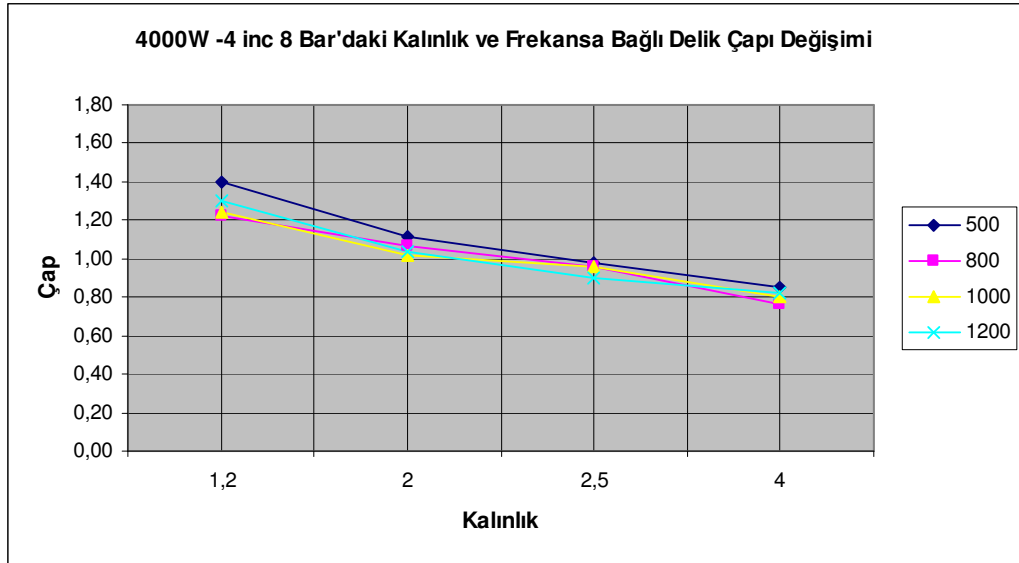
		Ortalama delik çapı mm (3500 W -4 inc 8 Bar)			
Frekans \ Kalınlık		1,2	2	2,5	4
500		1,06	0,75	0,74	1,10
800		1,35	1,04	1,02	1,15
1000		1,37	1,11	1,02	0,82
1200		1,54	1,22	1,10	0,94



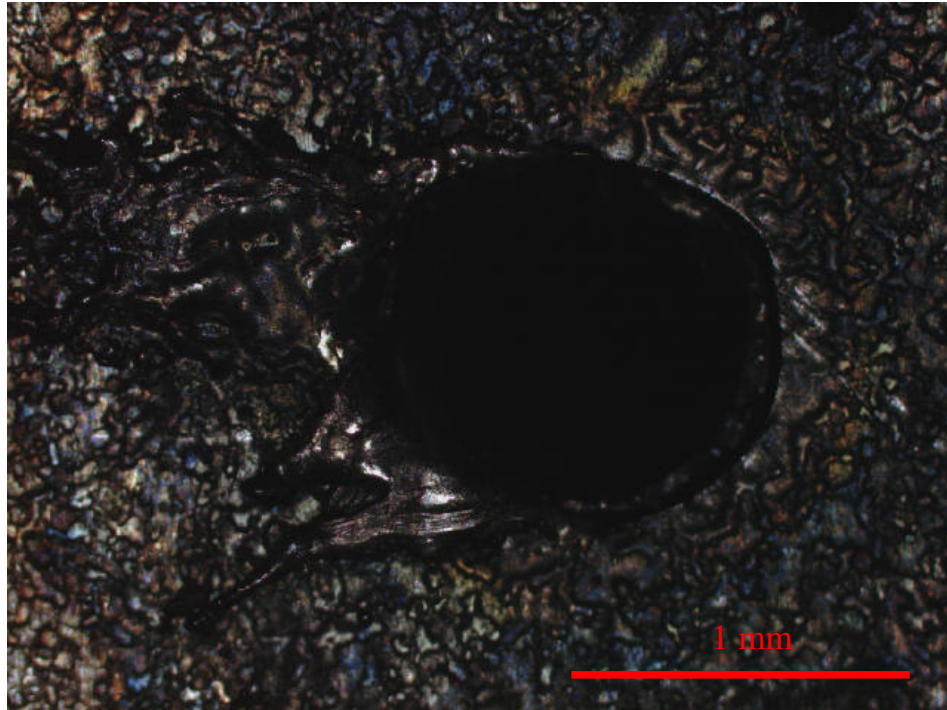
Şekil 5.5. 3500 W, -4 inç, 8 bar'daki kalınlık ve frekansa bağlı delik çapı değişimi

Çizelge 5.6. 4000 W, -4 inç, 8 bar'daki delik çapı değerleri

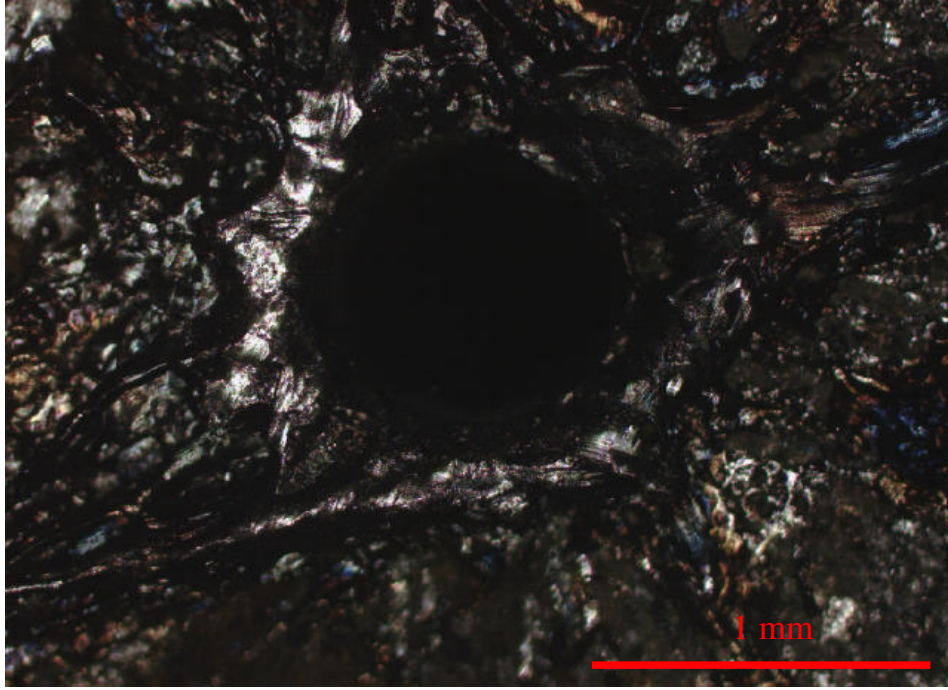
		Ortalama delik çapı mm (4000 W -4 inc 8 Bar)			
Frekans \ Kalınlık		1,2	2	2,5	4
500		1,40	1,12	0,98	0,85
800		1,22	1,06	0,96	0,76
1000		1,24	1,01	0,96	0,80
1200		1,31	1,04	0,90	0,82



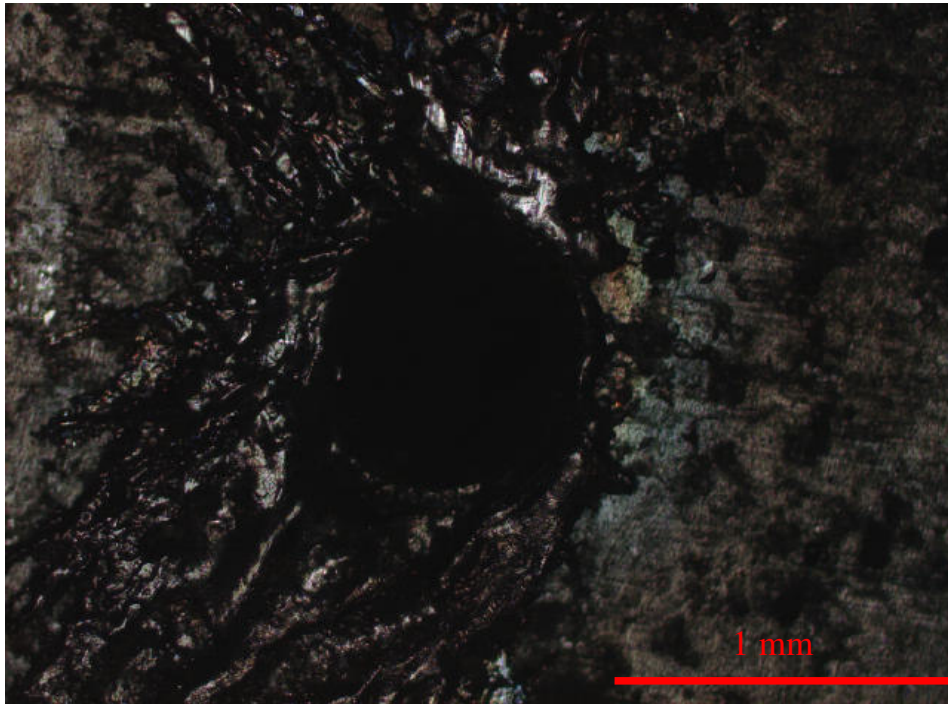
Şekil 5.6. 4000 W, -4 inç, 8 bar'daki kalınlık ve frekansa bağlı delik çapı değişimi



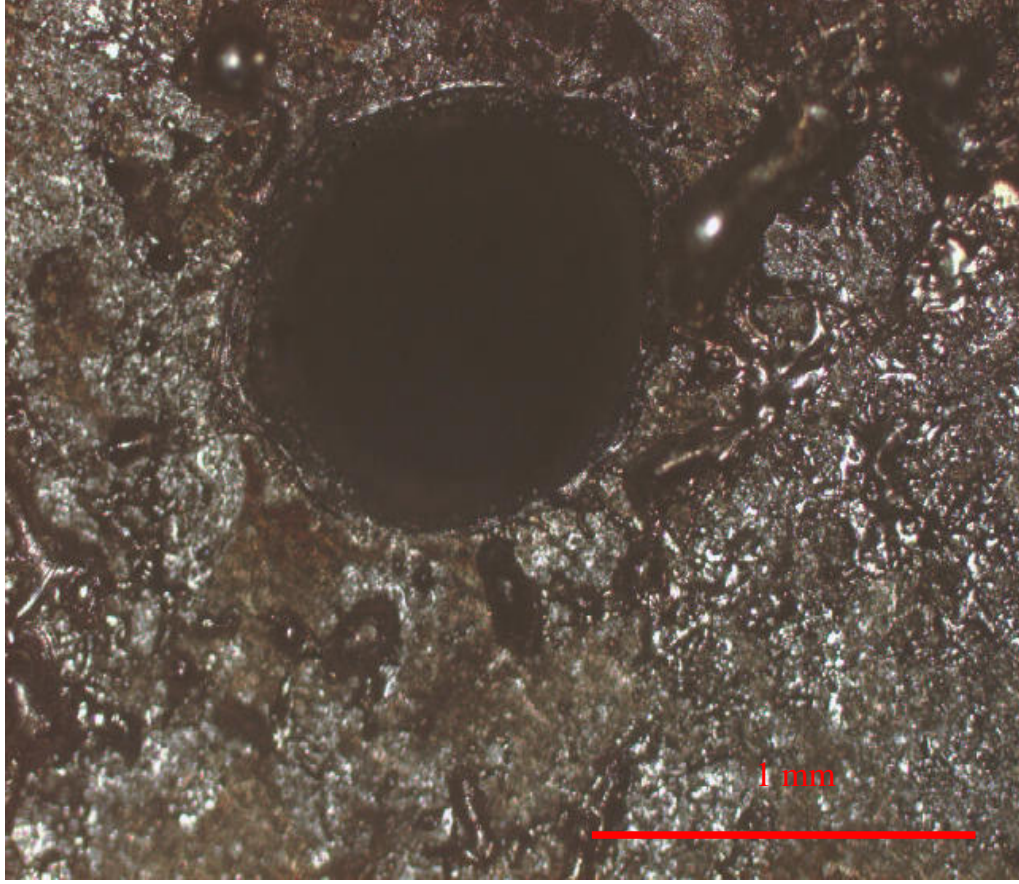
Resim 5.3.1,2 mm kalınlık, 4000 W, -4 inç, 8 bar, 1200 Hz için elde edilen delik, x 50 büyütme [18]



Resim 5.4. 2 mm kalınlık, 4000 W, -4 inç, 8 bar, 1200 Hz için elde edilen delik, x 50 büyütme [18]



Resim 5.5. 2,5 mm kalınlık, 4000 W, -4 inç, 8 bar, 1200 Hz için elde edilen delik, x 50 büyütme [18]

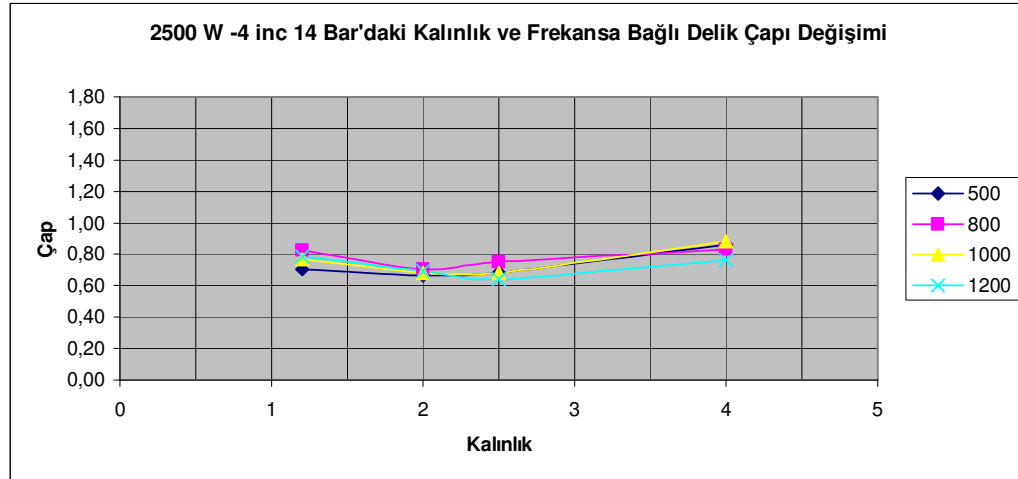


Resim 5.6. 4 mm kalınlık, 4000 W, -4 inç, 8 bar, 1200 Hz için elde edilen delik, x 50 büyütme [18]

Yukarıda 4 adet her güç değeri için -4 inç, 8 bar basınçta frekans değişimleri incelenmiştir. Grafiklere bakıldığında 1,2 kalınlık için her 4 grafikte de diğer kalınlıklara göre en yüksek çap değerleri oluşmuştur. Frekans değişimini incelediğimizde, çap boyutlarında belirgin bir değişim gözükmemektedir. Güç artmasından dolayı 4000 W grafiği yüksek çap değerlerine sahiptir.

Çizelge 5.7. 2500 W, -4 inç, 14 bar'daki çap değerleri

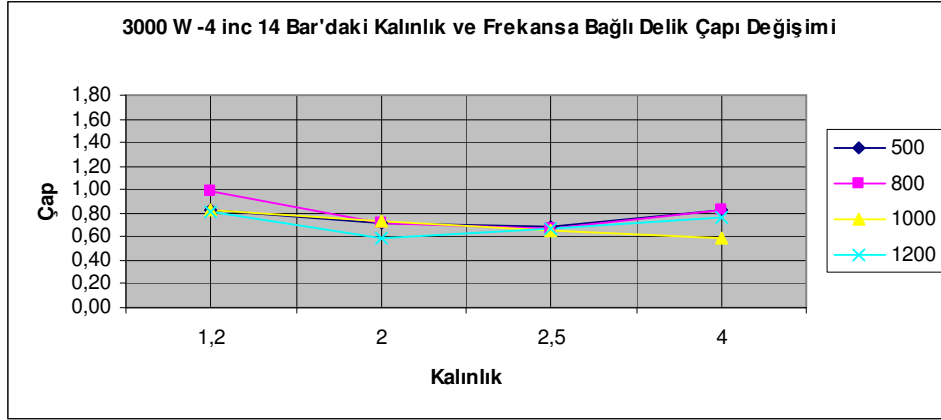
		Ortalama delik çapı mm (2500 W -4 inc 14 Bar)			
Frekans \ Kalınlık		1,2	2	2,5	4
500		0,70	0,66	0,68	0,86
800		0,82	0,70	0,75	0,83
1000		0,77	0,68	0,68	0,88
1200		0,78	0,70	0,64	0,76



Şekil 5.7. 2500 W, -4 inç, 14 bar'daki kalınlık ve frekansa bağlı delik çapı değişimi

Çizelge 5.8. 3000 W, -4 inç, 14 bar'daki delik çapı değerleri

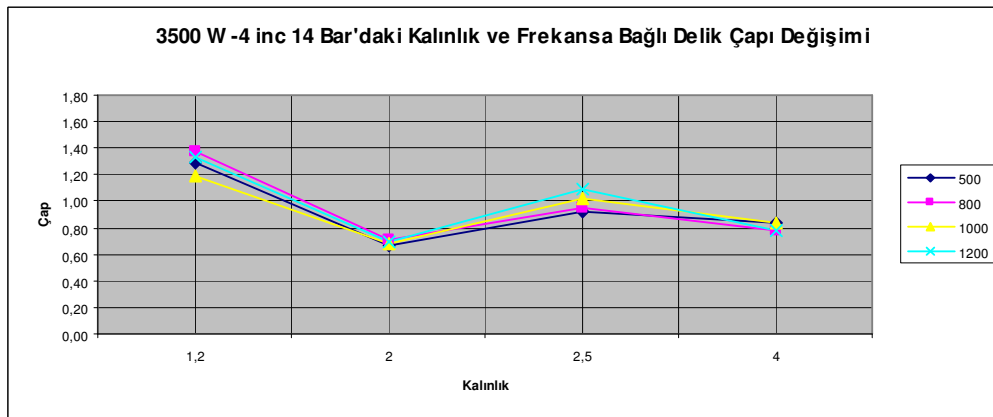
		Ortalama delik çapı mm (3000 W -4 inc 14 Bar)			
Frekans \ Kalınlık		1,2	2	2,5	4
500		0,84	0,71	0,68	0,83
800		0,98	0,72	0,67	0,83
1000		0,83	0,73	0,65	0,60
1200		0,82	0,59	0,67	0,76



Şekil 5.8. 3000 W, -4 inç, 14 bar'daki kalınlık ve frekansa bağlı delik çapı değişimi

Çizelge 5.9. 3500 W, -4 inç 14 bar'daki delik çapı değerleri

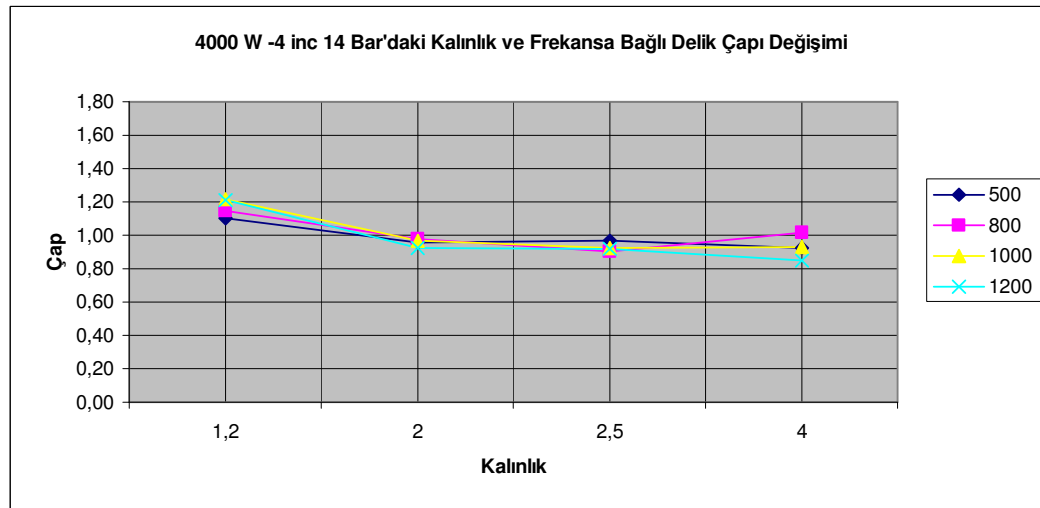
		Ortalama delik çapı mm (3500 W -4 inc 14 Bar)			
Frekans	Kalınlık	1,2	2	2,5	4
500		1,29	0,66	0,92	0,84
800		1,37	0,70	0,95	0,77
1000		1,19	0,68	1,03	0,83
1200		1,34	0,70	1,09	0,78



Şekil 5.9. 3500 W, -4 inç 14 bar'daki kalınlık ve frekansa bağlı delik çapı değişimi

Çizelge 5.10. 4000 W, -4 inç, 14 bar'daki delik çapı değerleri

		Ortalama delik çapı mm (4000 W -4 inc 14 Bar)			
Frekans \ Kalınlık		1,2	2	2,5	4
500		1,10	0,96	0,97	0,92
800		1,15	0,98	0,90	1,02
1000		1,22	0,97	0,92	0,93
1200		1,21	0,92	0,92	0,85



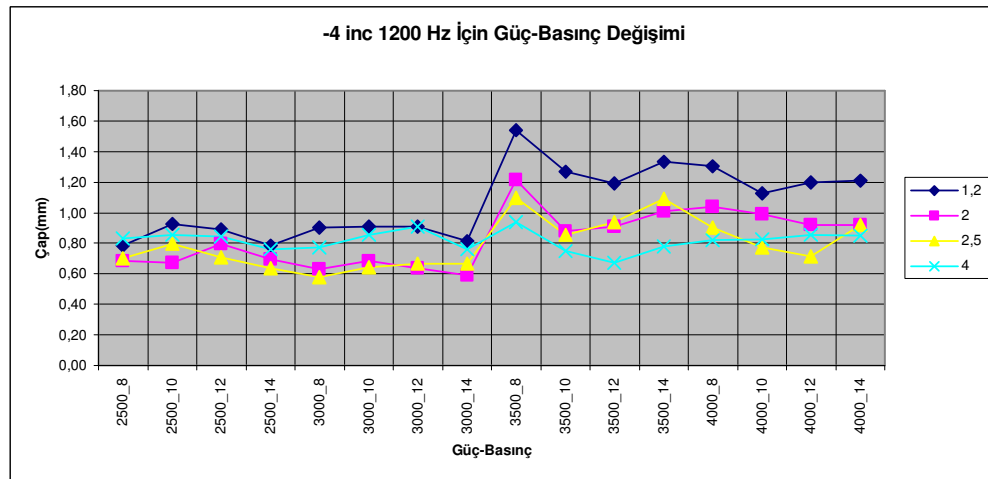
Şekil 5.10. 4000 W, -4 inç, 14 bar'daki kalınlık ve frekansa bağlı delik çapı değişimi

Frekans değişiminin diğer bir açıdan incelemek amacıyla aynı -4 inç ve bu kez 14 bar basınçtaki değerler dikkate alınmıştır. Buna göre elde edilen 4 adet grafikte hemen hemen aynı eğim çizgileri oluşmuştur. Burada, çap değerleri, aynı güç değerleri için daha fazla çıkmıştır.

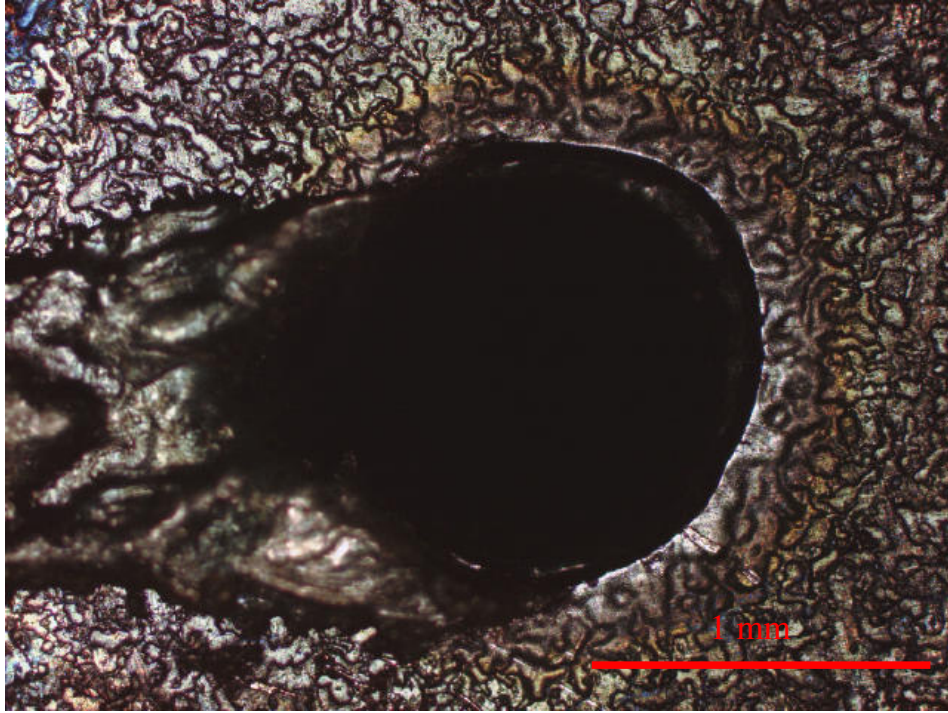
Çizelge 5.11. -4 inç, 1200 Hz için delik çapı değerleri

Güç-Basınç \ Kalınlık	Ortalama delik çapı mm (-4 inc 1200Hz)			
	1,2	2	2,5	4
2500_8 ¹	0,78	0,69	0,70	0,83
2500_10	0,93	0,67	0,80	0,86
2500_12	0,89	0,80	0,71	0,84
2500_14	0,78	0,70	0,64	0,76
3000_8	0,91	0,63	0,58	0,77
3000_10	0,91	0,68	0,64	0,86
3000_12	0,91	0,64	0,67	0,91
3000_14	0,82	0,59	0,67	0,76
3500_8	1,54	1,22	1,10	0,94
3500_10	1,27	0,88	0,86	0,75
3500_12	1,19	0,91	0,94	0,67
3500_14	1,34	1,01	1,09	0,78
4000_8	1,31	1,04	0,90	0,82
4000_10	1,13	0,99	0,77	0,83
4000_12	1,20	0,92	0,72	0,86
4000_14	1,21	0,92	0,92	0,85

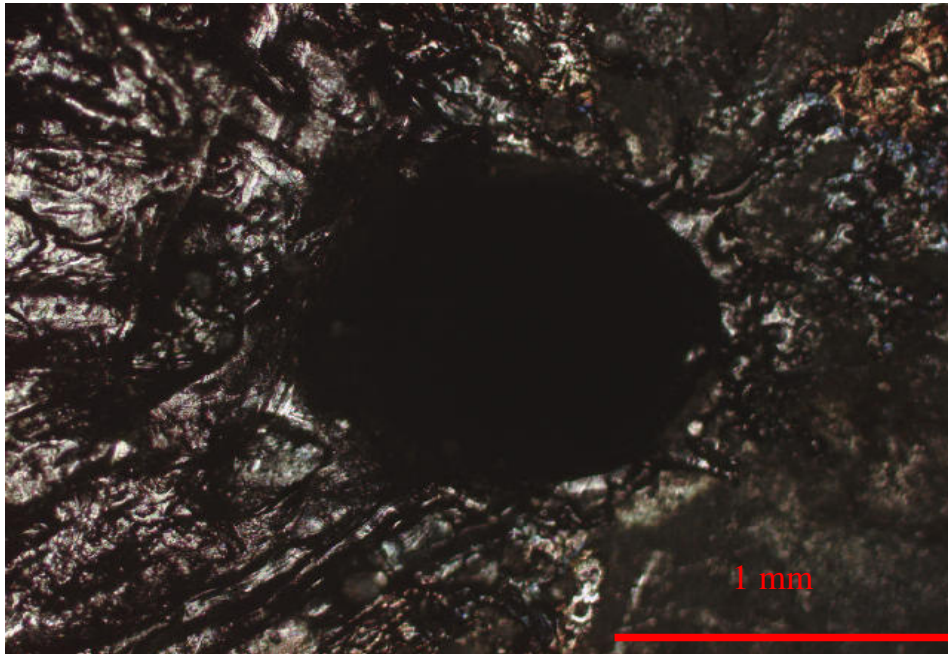
1 : 2500_8 ifadesi 2500 Watt, 8 Bar Basıncı temsil etmiştir. Diğer sıralamalarda buna göre yapılmıştır.



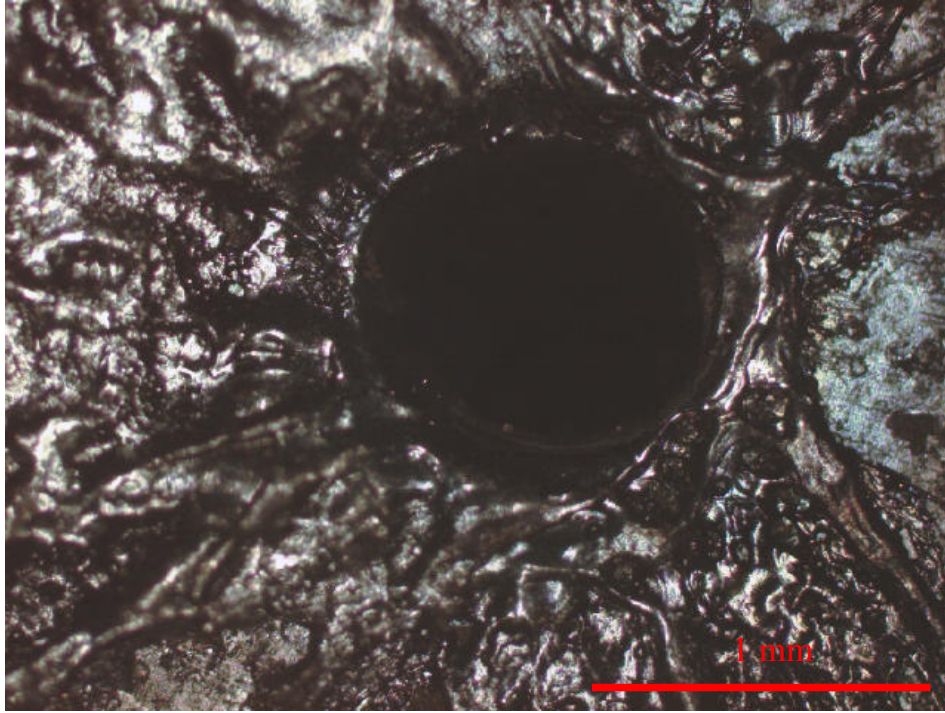
Şekil 5.11. -4 inç, 1200 Hz için kalınlık ve güç-basınca bağlı delik çapı değişimi



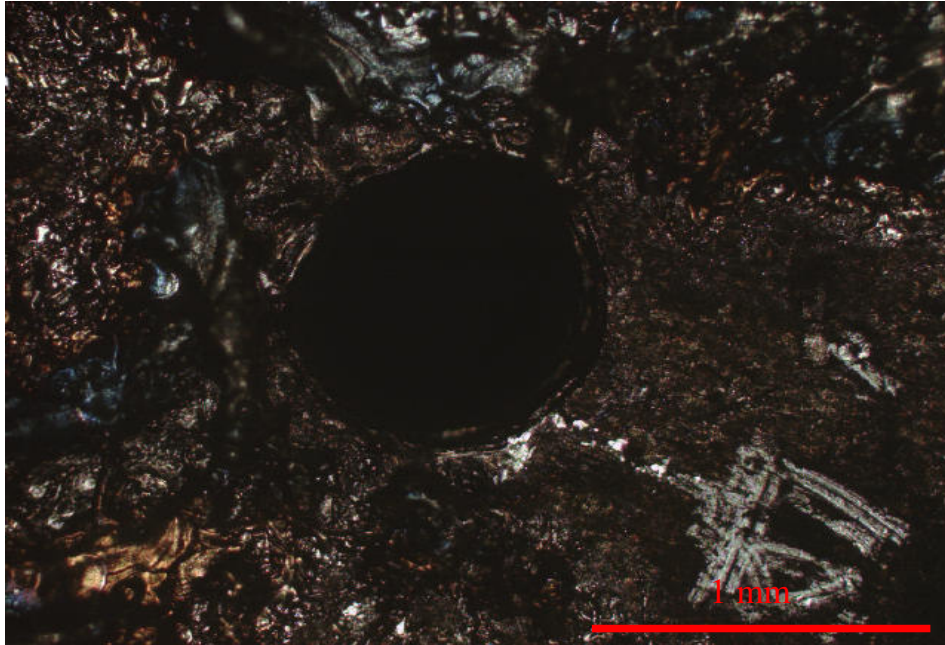
Resim 5.7. 1,2 mm kalınlık, 3500 W, -4 inç, 8 bar, 1200 Hz için elde edilen delik, x 50 büyütme [18]



Resim 5.8. 2 mm kalınlık, 3500 W, -4 inç, 8 bar, 1200 Hz için elde edilen delik, x 50 büyütme [18]



Resim 5.9. 2,5 mm kalınlık, 3500 W, -4 inç 8 bar, 1200 Hz için elde edilen delik, x 50 büyütme [18]

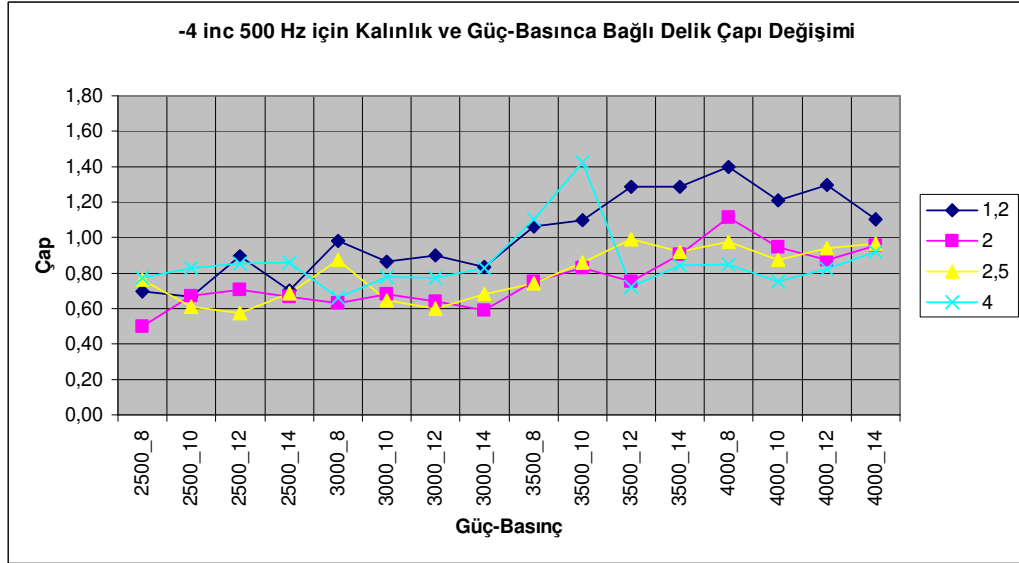


Resim 5.10. 4 mm kalınlık, 3500 W, -4 inç, 8 bar, 1200 Hz için elde edilen delik, x 50 büyütme [18]

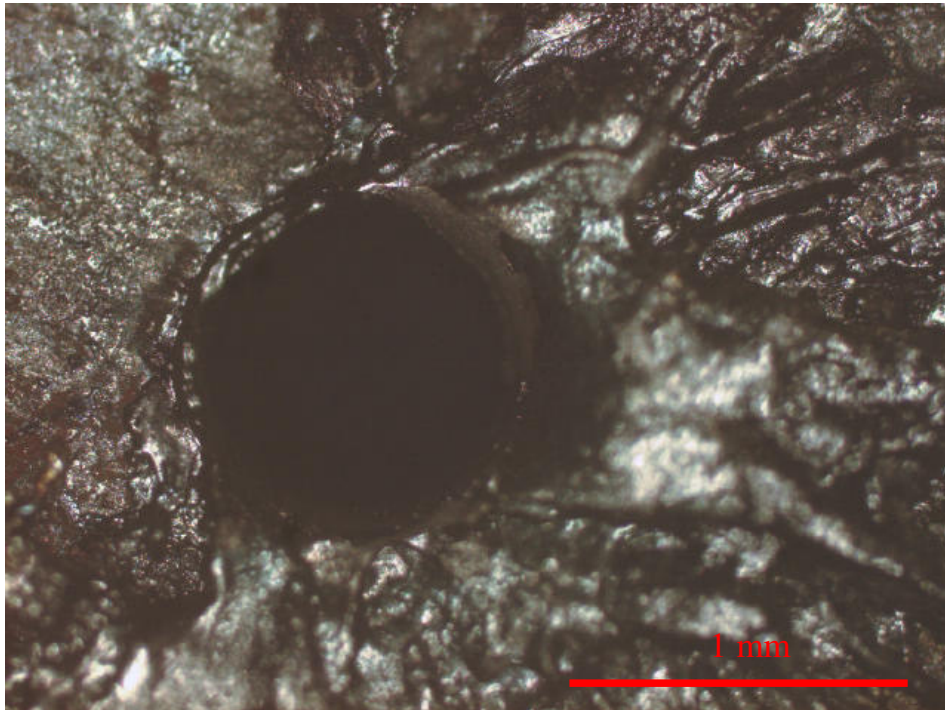
Güç-basınç grafikleri incelendiğinde, -4 inç, 1200 Hz grafiği 3500_8 değerinden sonra delik çaplarında bir büyüme görülmektedir. Basınç grafiklerinin geneline bakıldığında 10 bar ve 12 bar değerlerinde çapta artış, 8 bar ve 14 bar değerlerinde ise çapta azalış olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.12. -4 inç, 500 Hz için delik çapı değerleri

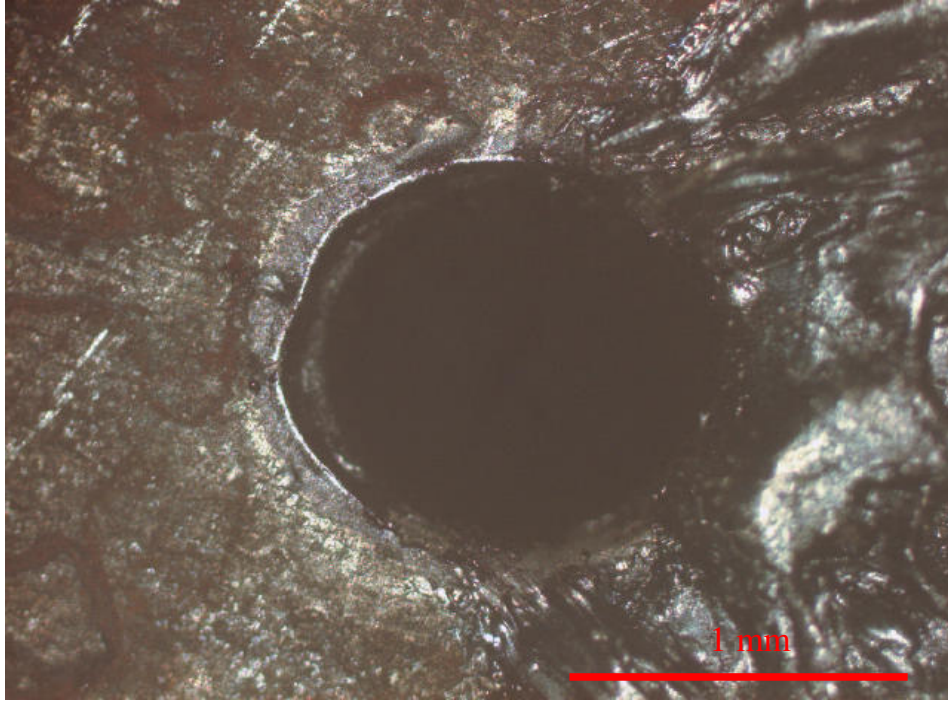
Güç-Basınç \ Kalınlık	Ortalama delik çapı mm (-4 inc 500Hz)			
	1,2	2	2,5	4
2500_8	0,70	0,50	0,76	0,77
2500_10	0,67	0,67	0,61	0,83
2500_12	0,90	0,70	0,58	0,86
2500_14	0,70	0,66	0,68	0,86
3000_8	0,98	0,63	0,88	0,66
3000_10	0,87	0,68	0,65	0,78
3000_12	0,90	0,64	0,60	0,77
3000_14	0,84	0,59	0,68	0,83
3500_8	1,06	0,75	0,74	1,10
3500_10	1,10	0,83	0,86	1,42
3500_12	1,29	0,75	0,99	0,72
3500_14	1,29	0,91	0,92	0,84
4000_8	1,40	1,12	0,98	0,85
4000_10	1,21	0,95	0,87	0,75
4000_12	1,30	0,87	0,94	0,83
4000_14	1,10	0,96	0,97	0,92



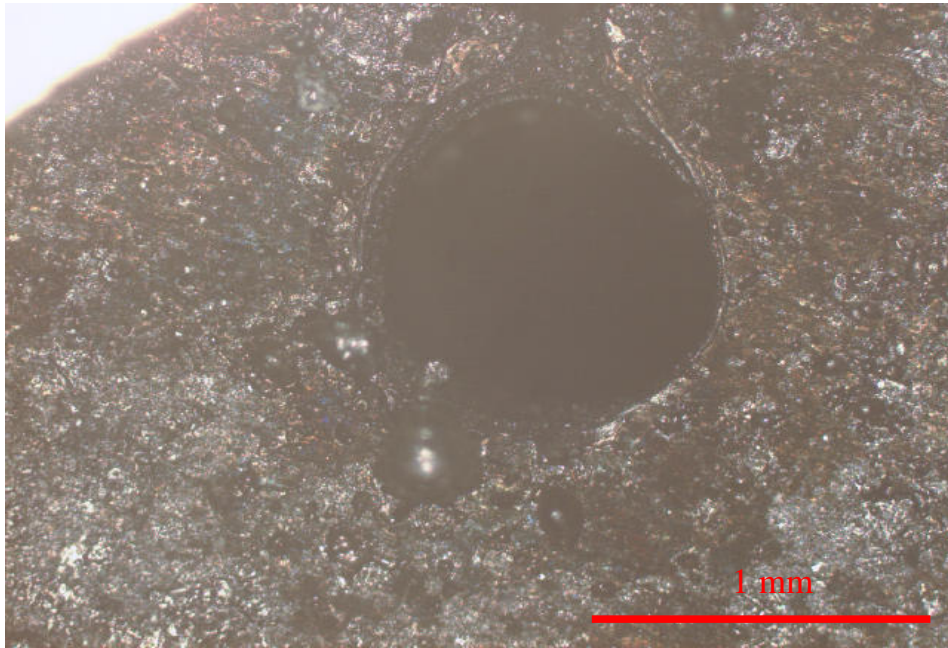
Şekil 5.12. -4 inç, 500 Hz, için kalınlık ve güç-basınca bağlı delik çapı değişimi



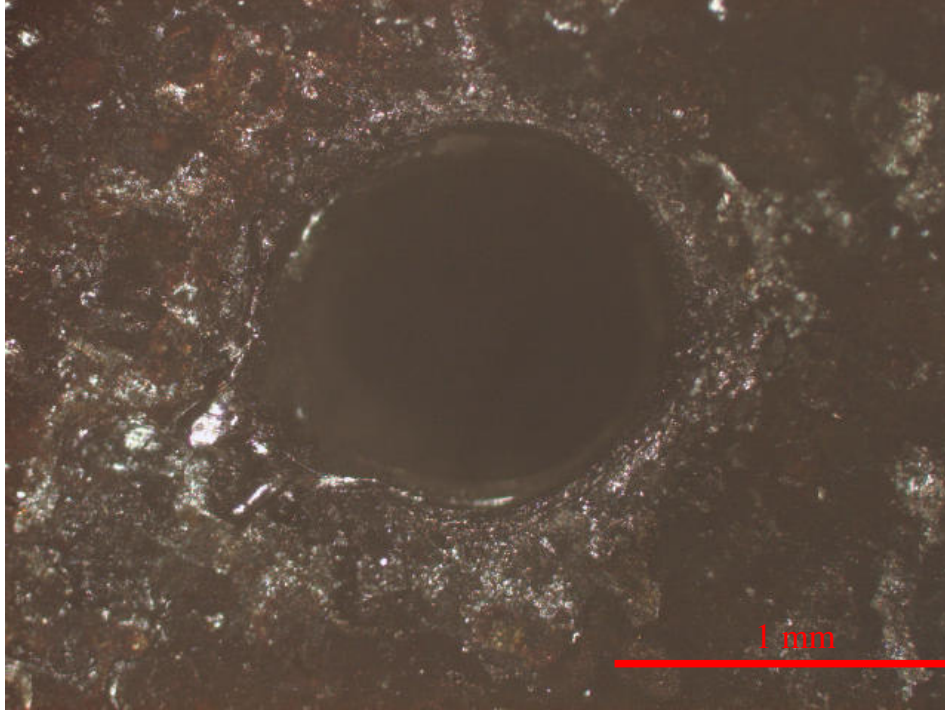
Resim 5.11. 4 mm kalınlık, 3500 W, -4 inç, 8 bar, 500 Hz için elde edilen delik, x 50 büyütme [18]



Resim 5.12. 4 mm kalınlık, 3500 W, -4 inç, 10 bar, 500 Hz için elde edilen delik, x 50 büyütme [18]



Resim 5.13. 4 mm kalınlık, 3500 W, -4 inç, 12 bar, 500 Hz için elde edilen delik, x 50 büyütme [18]



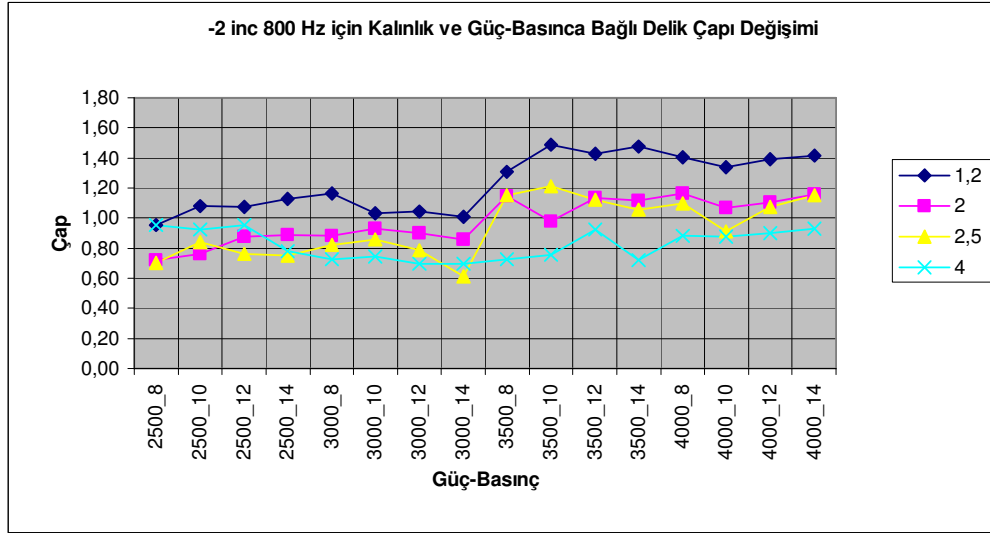
Resim 5.14. 4 mm kalınlık, 3500 W, -4 inç, 14 bar, 500 Hz için elde edilen delik, x 50 büyütme [18]

-4 inç, 500 Hz grafiğı incelendiğinde güç ve basınç artışından kaynaklanan sürekli artış gösteren eğriler mevcuttur. Özellikle 4mm kalınlık için 3500_10 değerinde diğer kalınlıklardan farklı olarak pik yapmıştır. 4 mm kalınlık için -4 inç 500 Hz grafiğı çok yüksek iniş ve çıkışlardan oluşan değışkenlikler göstermiştir.

-4 inç, 1200 Hz grafiğı ve -4 inç, 500 Hz grafiklerini karşılaştırdığımızda 1200 Hz grafiğı daha düzgün birbirine daha yakın eğriler ortaya çıkmıştır. Tüm kalınlıklar için 500 Hz grafiğı daha çok değışkenlik göstermiştir.

Çizelge 5.13. -2 inç, 800 Hz için delik çapı değerleri

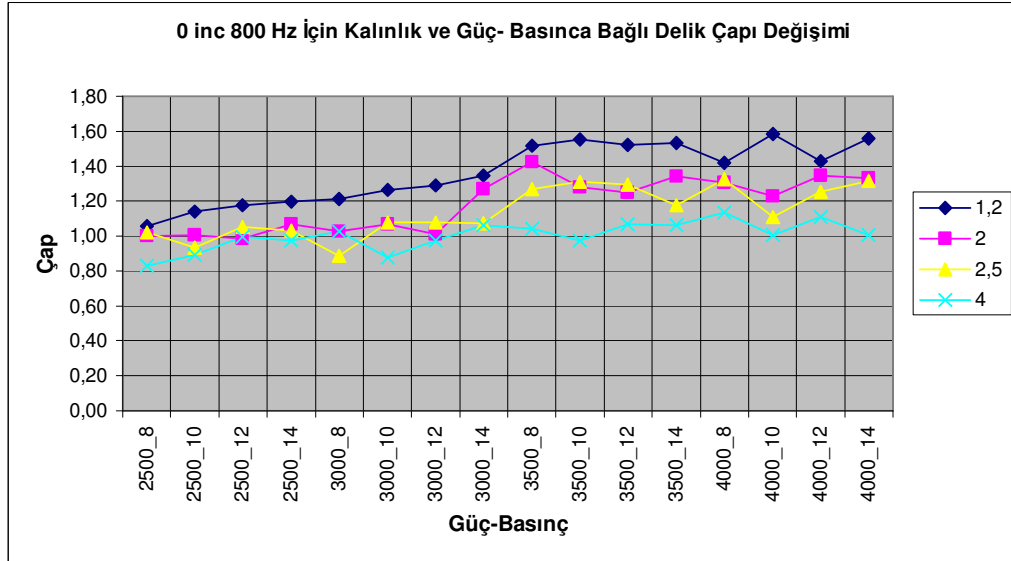
Güç-Basınç \ Kalınlık	Ortalama delik çapı mm (-2 inç 800Hz)			
	1,2	2	2,5	4
2500_8	0,96	0,72	0,70	0,95
2500_10	1,08	0,76	0,84	0,93
2500_12	1,07	0,87	0,76	0,95
2500_14	1,13	0,89	0,75	0,78
3000_8	1,16	0,88	0,82	0,72
3000_10	1,03	0,93	0,86	0,75
3000_12	1,05	0,90	0,79	0,69
3000_14	1,01	0,86	0,61	0,70
3500_8	1,31	1,15	1,15	0,73
3500_10	1,49	0,98	1,21	0,76
3500_12	1,43	1,14	1,12	0,92
3500_14	1,48	1,12	1,05	0,72
4000_8	1,41	1,16	1,10	0,88
4000_10	1,34	1,07	0,91	0,87
4000_12	1,39	1,11	1,07	0,90
4000_14	1,41	1,16	1,15	0,93



Şekil 5.13. -2 inç, 800 Hz için kalınlık ve güç-basınca bağlı delik çapı değişimi

Çizelge 5.14. 0 inç, 800 Hz için elde edilen delik çapı değerleri

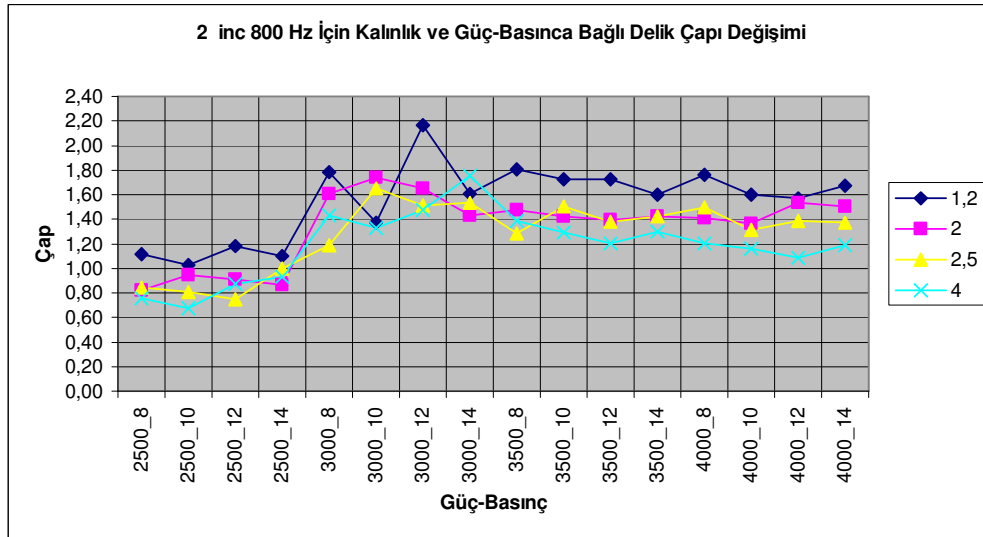
Güç-Basınç	Kalınlık	Ortalama delik çapı mm (0 inc 800Hz)			
		1,2	2	2,5	4
2500_8		1,06	1,00	1,02	0,83
2500_10		1,14	1,00	0,94	0,89
2500_12		1,18	0,98	1,05	1,00
2500_14		1,20	1,07	1,03	0,97
3000_8		1,21	1,03	0,89	1,03
3000_10		1,27	1,07	1,08	0,88
3000_12		1,29	1,01	1,08	0,98
3000_14		1,35	1,27	1,07	1,06
3500_8		1,51	1,42	1,27	1,04
3500_10		1,55	1,28	1,31	0,97
3500_12		1,52	1,25	1,29	1,07
3500_14		1,53	1,34	1,18	1,06
4000_8		1,42	1,30	1,33	1,13
4000_10		1,58	1,23	1,11	1,01
4000_12		1,43	1,35	1,25	1,11
4000_14		1,56	1,33	1,32	1,00



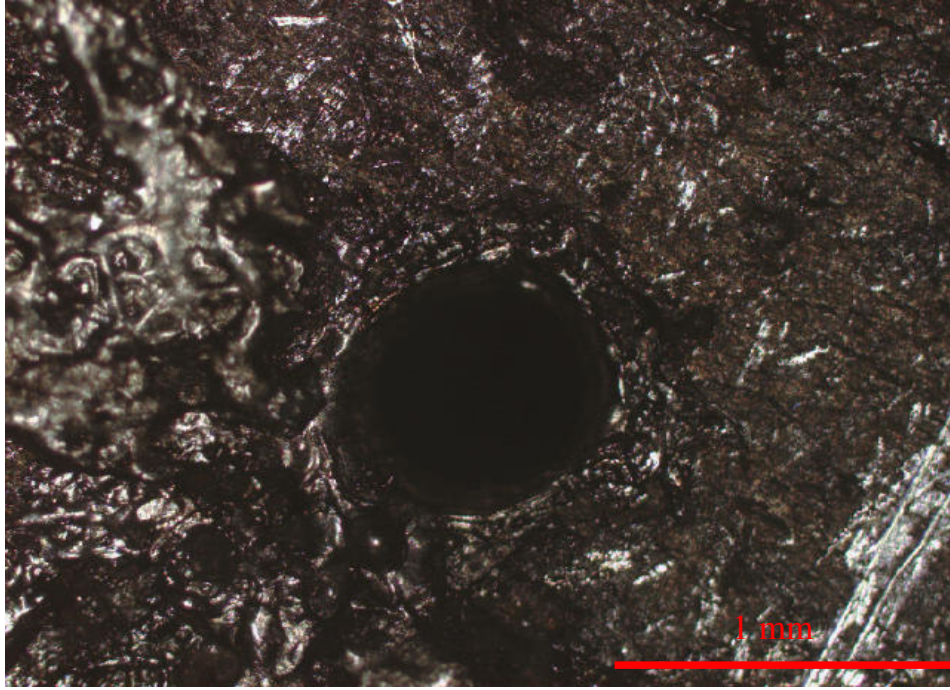
Şekil 5.14. 0 inç, 800 Hz için kalınlık ve güç-basınca bağlı delik çapı değişimi

Çizelge 5.15. 2 inç, 800 Hz için kalınlık ve güç-basınca bağlı delik çapı değerleri

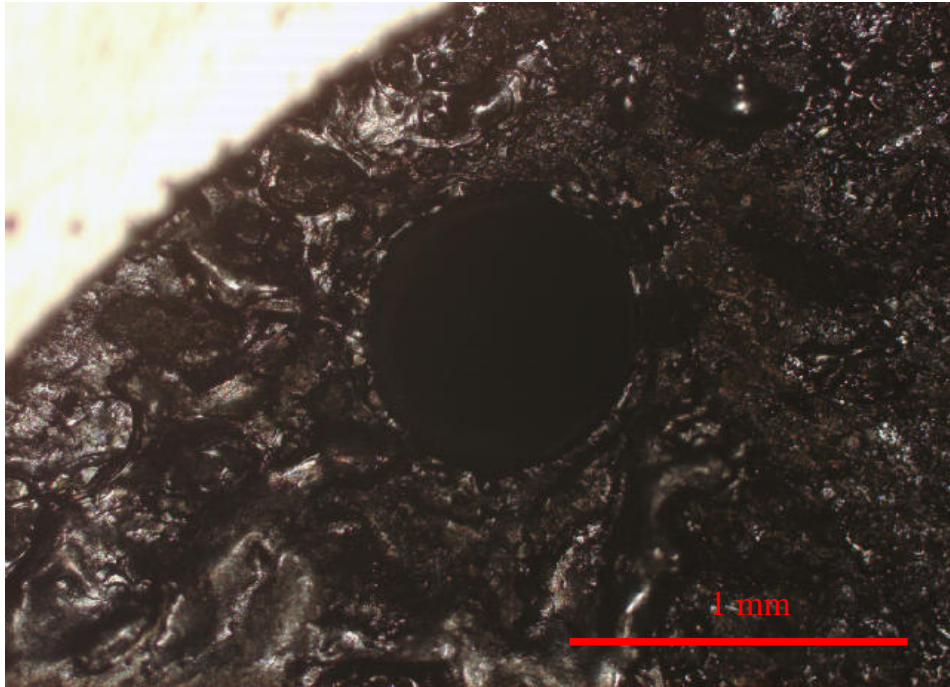
Güç-Basınç	Kalınlık	Ortalama delik çapı mm (2 inç, 800Hz)			
		1,2	2	2,5	4
2500_8		1,12	0,82	0,85	0,75
2500_10		1,03	0,94	0,80	0,67
2500_12		1,18	0,91	0,75	0,88
2500_14		1,10	0,87	1,00	0,93
3000_8		1,78	1,61	1,19	1,43
3000_10		1,38	1,74	1,65	1,33
3000_12		2,17	1,65	1,51	1,48
3000_14		1,60	1,43	1,54	1,75
3500_8		1,81	1,47	1,28	1,39
3500_10		1,73	1,42	1,50	1,29
3500_12		1,72	1,39	1,38	1,21
3500_14		1,60	1,43	1,42	1,30
4000_8		1,76	1,41	1,50	1,20
4000_10		1,60	1,37	1,32	1,16
4000_12		1,57	1,53	1,39	1,09
4000_14		1,67	1,51	1,37	1,19



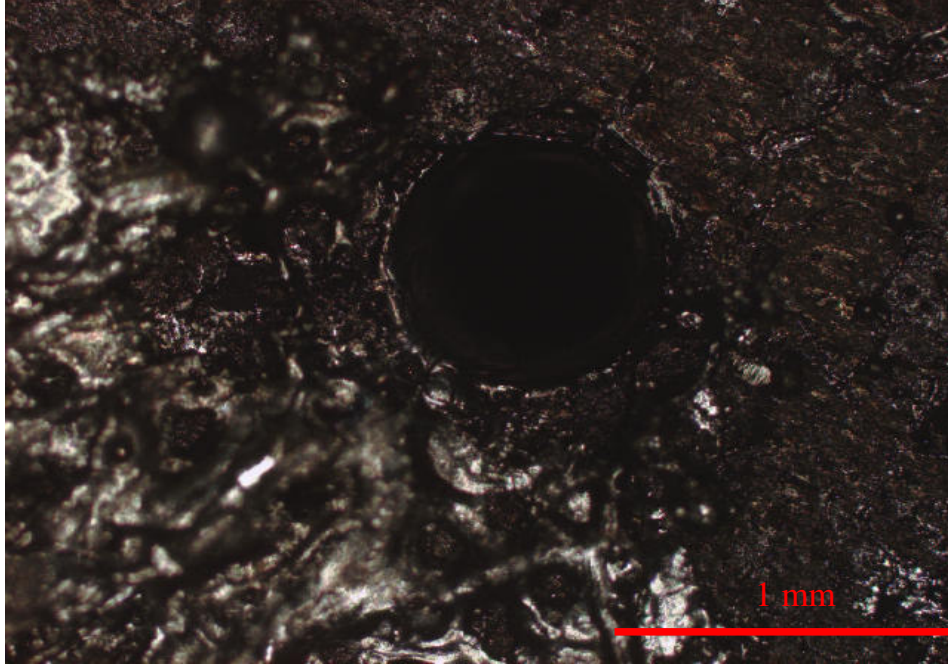
Şekil 5.15. 2 inç, 800 Hz için kalınlık ve güç-basınca bağlı delik çapı değişimi



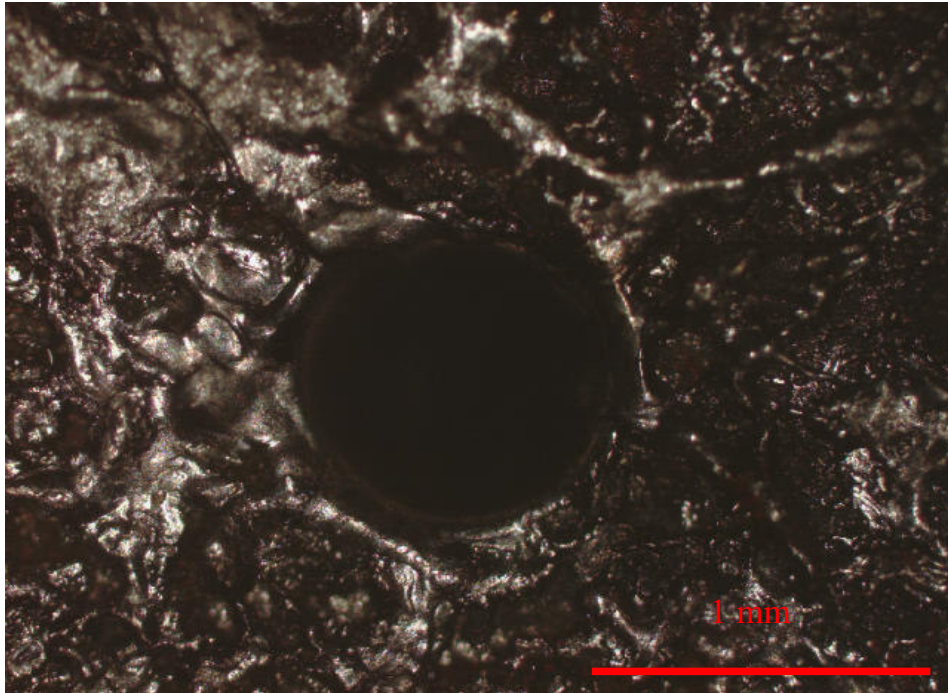
Resim 5.15. 4 mm kalınlık, 2500 W, 2 inç, 8 bar, 800 Hz için elde edilen delik, x 50 büyütme [18]



Resim 5.16. 4 mm kalınlık, 2500 W, 2 inç, 10 bar, 800 Hz için elde edilen delik, x 50 büyütme [18]



Resim 5.17. 4 mm kalınlık, 2500 W, 2 inç, 12 bar, 800 Hz için elde edilen delik, x 50 büyütme [18]



Resim 5.18. 4 mm kalınlık, 2500 W, 2 inç, 14 bar, 800 Hz için elde edilen delik, x 50 büyütme [18]

2 inç, 800 Hz grafiği incelendiğinde özellikle 1,2 mm kalınlık için çap değeri 2 mm civarına kadar çıkmıştır. Kalınlık açısından değerlendirildiğinde (+) fokuslamalarda kalınlık değeri arttıkça çap değeri düşmektedir. En yüksek çap değerleri 1,2 mm kalınlık için gerçekleşmiştir. En düşük çap değerleri, 4 mm kalınlık için oluşmuştur.

Tüm güç-basınca bağlı kalınlık değişimi grafikleri genel olarak incelendiğinde şu sonuçlar elde edilmiştir.

1. (+) fokuslamaya gidildiğinde, kalınlık değeri arttıkça çap değerleri düşmektedir.
2. Güç değeri basınçla birlikte arttığında çap büyümektedir.
3. Diğer parametreler sabit kalmak şartıyla 10 ve 12 bar çap değerlerinde artış, 8 ve 14 bar çap değerlerinde düşüşler mevcuttur.
4. Bazı parametre değerlerinde parça kalınlığına göre ya da parametre farklılığında aşırı artış ve düşüşler oluşmuştur.

5.3. Delik Kararlılığının İncelenmesi

Aynı parametrelerle delinecek deliklerin aynı çap değeri, aynı delik giriş ve koniklik açısı, aynı yeniden katılaşmış bölge ve ITAB göstermesi beklenir. Bunun için değişik 10 parametre seçilerek aynı parametreden 5'er adet delik delinmiştir. Delik çapı dikkate alınırken, kesit görünümülerinden orta noktasından da bir ölçüm alınarak alt ve üst delik çap ortalamalarına katılmıştır.

Elde edilen her bir delik çapı ortalamalarından yola çıkılarak 5 adet deliğin aritmetik ortalaması hesaplanmıştır. Delik kararlılığının bir anlam ifade edebilmesi için, 5 deliğin toplam ortalamasından en fazla % sapma ne kadar olduğu hesaplanmıştır.

Yani;

$$\% \text{ sapma} = \frac{\text{Maksimum Olusan \u00c7ap} - \text{Minimum Olusan \u00c7ap}}{5 \text{ delik ortalaması}} \times 100$$

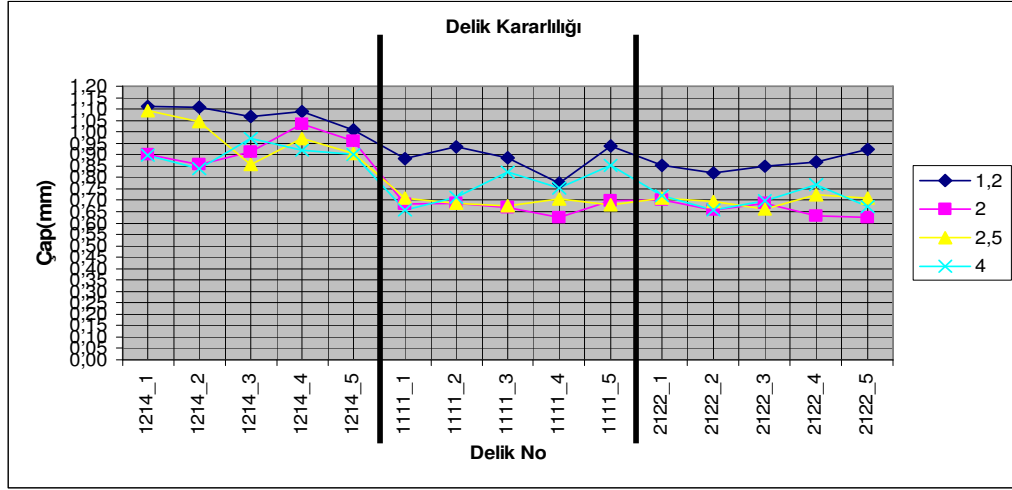
olur.

Çizelge 5.16. 1.2 mm ve 2 mm kalınlıklar için elde edilen delik kararlılığı

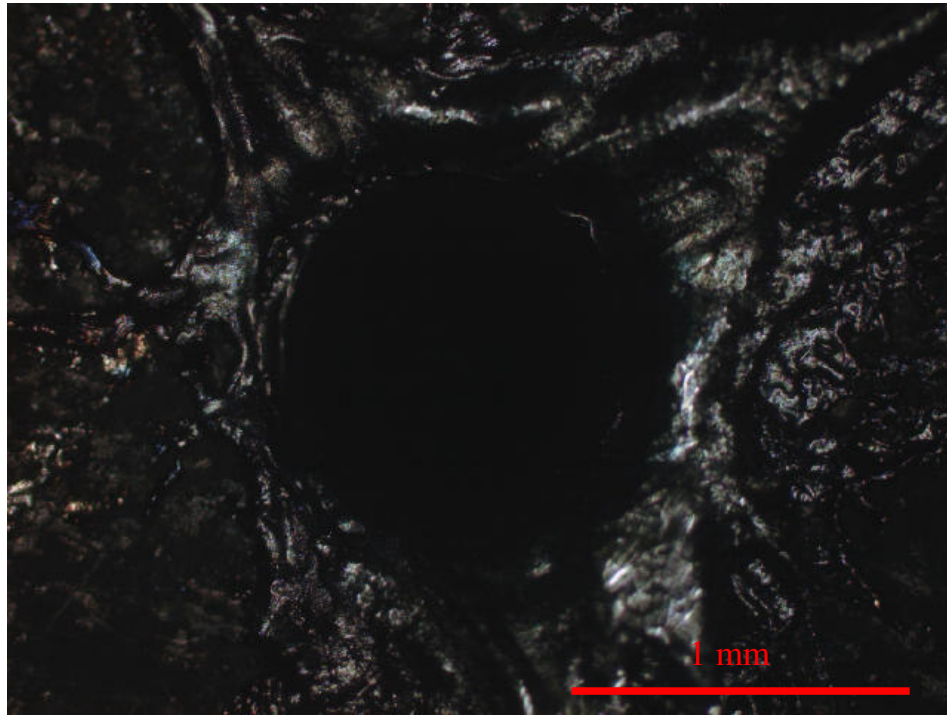
Delik No 1.2 mm	Üç Ortalama Delik Çapı (mm)	5 Farklı Delik'in Ortalaması	5 Farklı Delik Ortalamasında Oluşan Maksimum % Sapma	Delik No 2 mm	Üç Ortalama Delik Çapı (mm)	5 Farklı Delik'in Ortalaması	5 Farklı Delik Ortalamasında Oluşan Maksimum % Sapma
11444_1	1,01	1,13	15,00	21444_1	1,10	1,11	2,00
11444_2	1,17			21444_2	1,10		
11444_3	1,09			21444_3	1,11		
11444_4	1,19			21444_4	1,13		
11444_5	1,18			21444_5	1,10		
14413_1	1,27	1,23	9,00	24413_1	1,04	1,02	7,00
14413_2	1,15			24413_2	1,03		
14413_3	1,22			24413_3	1,04		
14413_4	1,26			24413_4	1,06		
14413_5	1,26			24413_5	0,96		
14313_1	1,26	1,22	22,00	24313_1	0,90	0,89	2,00
14313_2	1,25			24313_2	0,88		
14313_3	1,13			24313_3	0,90		
14313_4	1,09			24313_4	0,88		
14313_5	1,36			24313_5	0,89		
13313_1	1,32	1,29	9,00	23312_1	1,12	1,09	11,00
13313_2	1,28			23312_2	1,05		
13313_3	1,35			23312_3	1,07		
13313_4	1,29			23312_4	1,17		
13313_5	1,23			23312_5	1,06		
11214_1	1,11	1,08	9,00	21214_1	0,90	0,93	18,00
11214_2	1,11			21214_2	0,86		
11214_3	1,07			21214_3	0,91		
11214_4	1,09			21214_4	1,03		
11214_5	1,01			21214_5	0,96		
11111_1	0,88	0,88	19	21111_1	0,68	0,67	10,00
11111_2	0,93			21111_2	0,69		
11111_3	0,89			21111_3	0,67		
11111_4	0,77			21111_4	0,63		
11111_5	0,94			21111_5	0,70		
12122_1	0,85	0,86	11,00	22122_1	0,70	0,66	12,00
12122_2	0,82			22122_2	0,66		
12122_3	0,85			22122_3	0,69		
12122_4	0,87			22122_4	0,63		
12122_5	0,92			22122_5	0,62		
12142_1	0,61	0,73	28,00	22142_1	0,52	0,60	20,00
12142_2	0,76			22142_2	0,60		
12142_3	0,70			22142_3	0,63		
12142_4	0,76			22142_4	0,64		
12142_5	0,82			22142_5	0,61		
13123_1	0,73	0,75	6,00	23123_1	0,66	0,62	6,00
13123_2	0,77			23123_2	0,60		
13123_3	0,75			23123_3	0,62		
13123_4	0,72			23123_4	0,64		
13123_5	0,77			23123_5	0,60		
13141_1	0,97	0,86	26,00	23141_1	0,72	0,71	15,00
13141_2	0,74			23141_2	0,76		
13141_3	0,81			23141_3	0,71		
13141_4	0,80			23141_4	0,68		
13141_5	0,97			23141_5	0,65		

Çizelge 5.16. (Devam) 2.5 mm ve 4 mm kalınlıklar için elde edilen delik kararlılığı

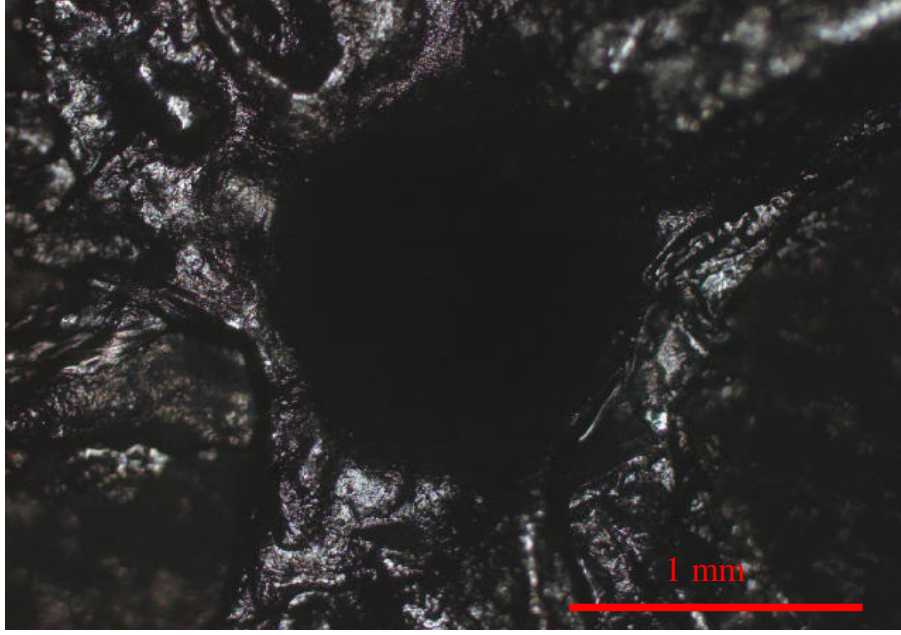
Delik No 2,5 mm	Üç Ortalama Delik Çapı (mm)	5 Farklı Delik Ortalaması	5 Farklı Delik Ortalamasında Oluşan Maksimum % Sapma	Delik No 4 mm	Üç Ortalama Delik Çapı (mm)	5 Farklı Delik Ortalaması	5 Farklı Delik Ortalamasında Oluşan Maksimum % Sapma
31444_1	1,08	1,13	10,00	41444_1	0,60	1,31	79,00
31444_2	1,18			41444_2	1,64		
31444_3	1,17			41444_3	1,59		
31444_4	1,18			41444_4	1,26		
31444_5	1,06			41444_5	1,46		
34413_1	1,17	1,21	38,00	44413_1	1,13	1,11	8,00
34413_2	1,14			44413_2	1,13		
34413_3	1,10			44413_3	1,12		
34413_4	1,08			44413_4	1,04		
34413_5	1,55			44413_5	1,13		
34313_1	0,98	0,97	9,00	44313_1	0,00	0,99	4,00
34313_2	0,95			44313_2	0,98		
34313_3	0,93			44313_3	0,98		
34313_4	1,02			44313_4	1,02		
34313_5	0,96			44313_5	0,99		
33312_1	1,12	1,12	9,00	43312_1	1,00	0,98	15,00
33312_2	1,19			43312_2	1,03		
33312_3	1,12			43312_3	1,01		
33312_4	1,11			43312_4	0,98		
33312_5	1,08			43312_5	0,88		
31214_1	1,09	0,97	18,00	41214_1	0,90	0,91	14,00
31214_2	1,05			41214_2	0,84		
31214_3	0,86			41214_3	0,97		
31214_4	0,97			41214_4	0,92		
31214_5	0,91			41214_5	0,90		
31111_1	0,71	0,69	4,00	41111_1	0,66	0,76	21,00
31111_2	0,69			41111_2	0,71		
31111_3	0,68			41111_3	0,82		
31111_4	0,71			41111_4	0,75		
31111_5	0,68			41111_5	0,85		
32122_1	0,71	0,70	8,00	42122_1	0,72	0,70	4,00
32122_2	0,70			42122_2	0,66		
32122_3	0,66			42122_3	0,70		
32122_4	0,72			42122_4	0,77		
32122_5	0,71			42122_5	0,67		
32142_1	0,55	0,66	46,00	42142_1	0,71	0,73	12,00
32142_2	0,62			42142_2	0,72		
32142_3	0,58			42142_3	0,69		
32142_4	0,69			42142_4	0,78		
32142_5	0,86			42142_5	0,75		
33123_1	0,68	0,65	13,00	43123_1	0,83	0,80	8,00
33123_2	0,69			43123_2	0,78		
33123_3	0,65			43123_3	0,76		
33123_4	0,62			43123_4	0,80		
33123_5	0,60			43123_5	0,81		
33141_1	0,00	0,00	0,00	43141_1	0,72	0,78	14,00
33141_2	0,00			43141_2	0,82		
33141_3	0,00			43141_3	0,79		
33141_4	0,00			43141_4	0,83		
33141_5	0,00			43141_5	0,74		



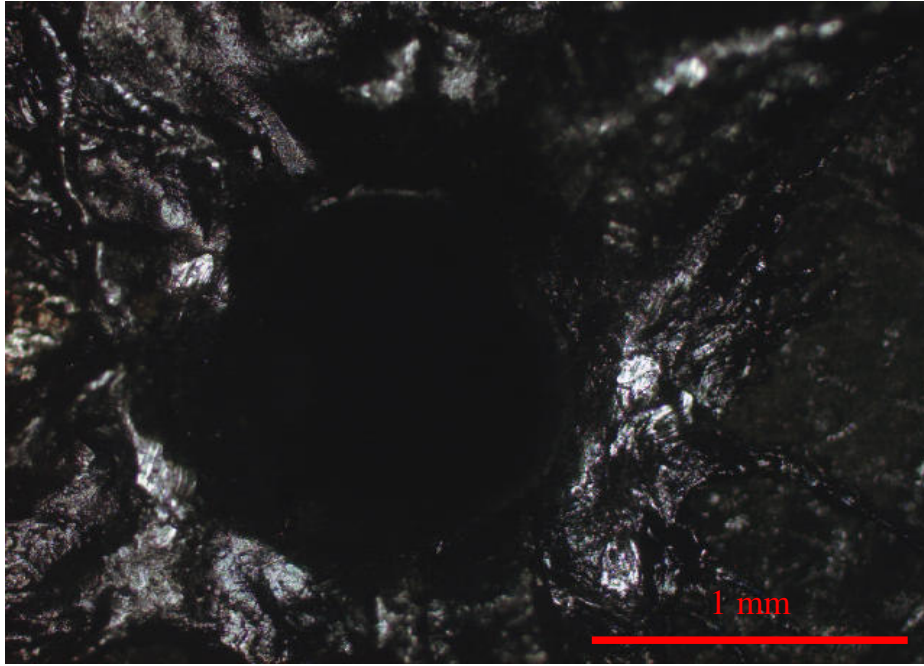
Şekil 5.16. Delik kararlılığı



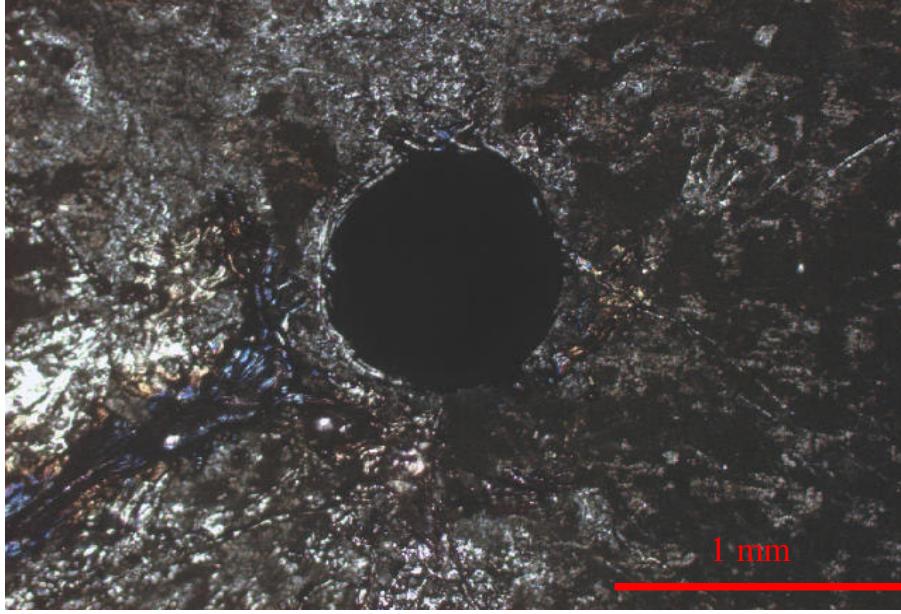
Resim 5.19. 2 mm kalınlık, 2500 W, -2 inç 8 bar, 1200 Hz için elde edilen delik, x 50 büyütme (1214_1 nolu parametre, üst görünüm, %18 sapma) [18]



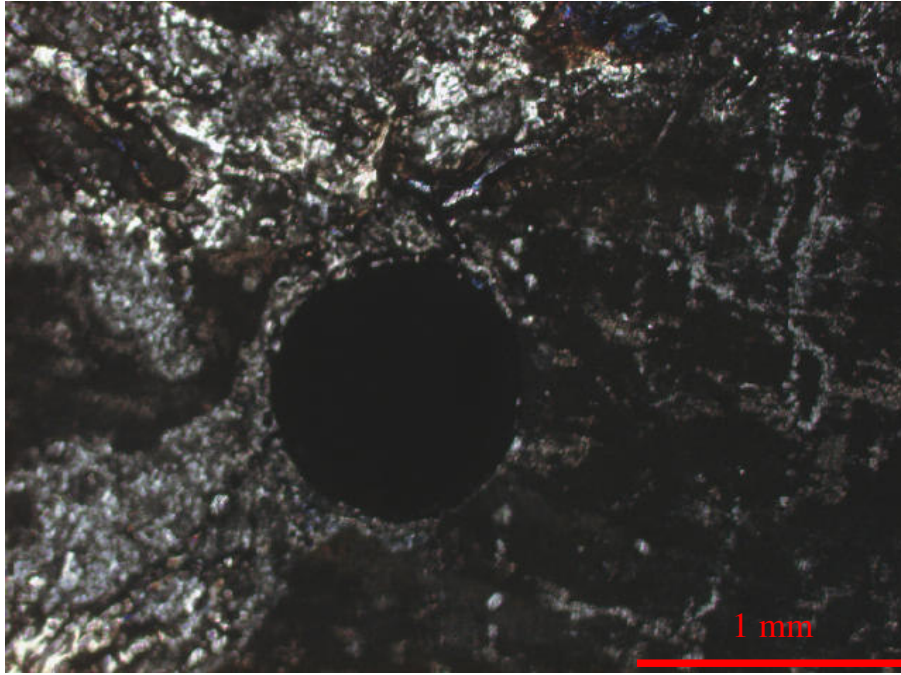
Resim 5.20. 2 mm kalınlık, 2500 W, -2 inç 8 bar, 1200 Hz için elde edilen delik , x 50 büyütme (1214_2 nolu parametre, üst görünüm, %18 sapma) [18]



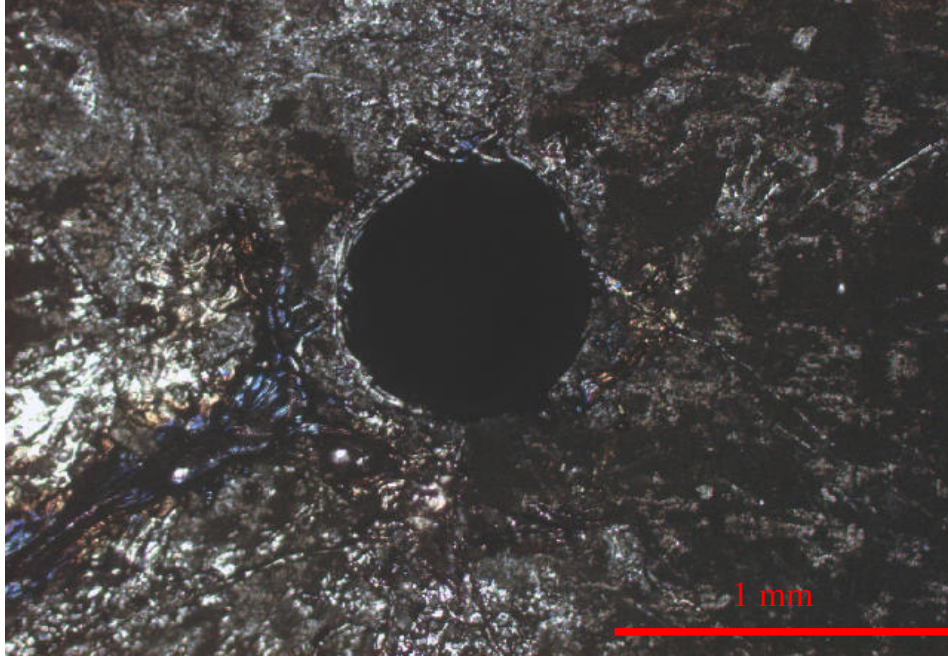
Resim 5.21. 2 mm kalınlık, 2500 W, -2 inç, 8 bar, 1200 Hz için elde edilen delik, x 50 büyütme (1214_3 nolu parametre, üst görünüm, %18 sapma) [18]



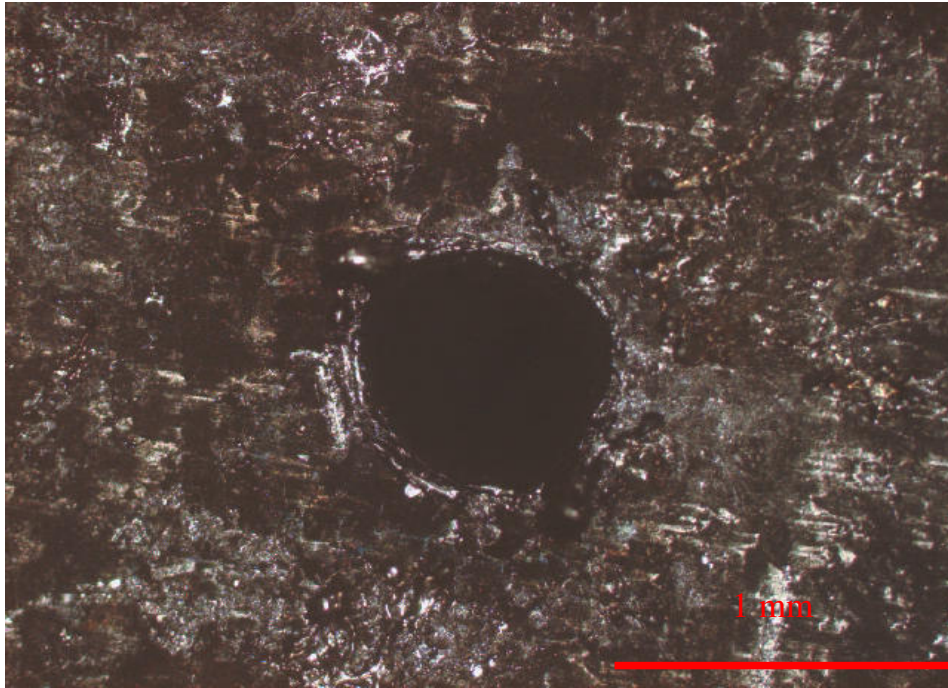
Resim 5.22. 2 mm kalınlık, 2500 W, -4 inç, 8 bar, 500 Hz için elde edilen delik, x 50 büyütme (1111_1 nolu parametre, üst görünüm, %10 sapma) [18]



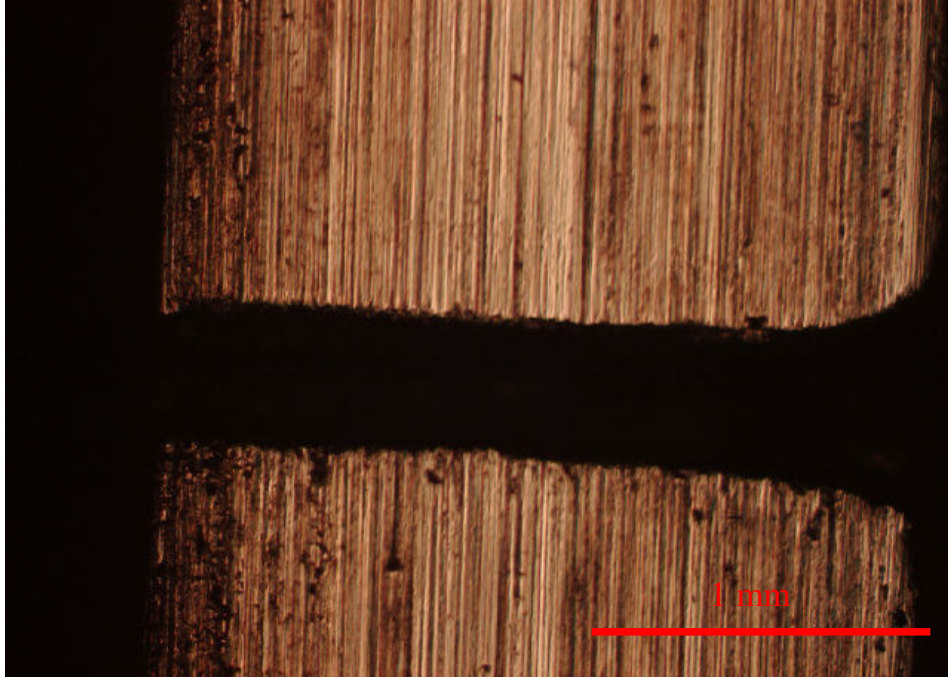
Resim 5.23. 2 mm kalınlık, 2500 W, -4 inç, 8 bar, 500 Hz için elde edilen delik, x 50 büyütme (1111_2 nolu parametre, üst görünüm, %10 sapma) [18]



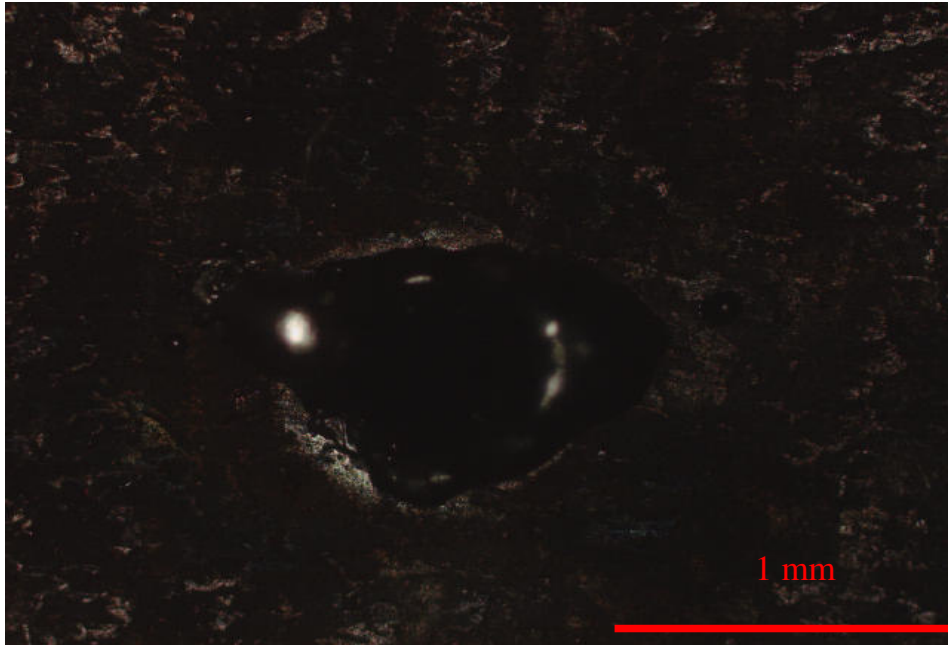
Resim 5.24. 2 mm kalınlık, 2500 W, -4 inç, 8 bar, 500 Hz için elde edilen delik, x 50 büyütme (1111_3 nolu parametre, üst görünüm, %10 sapma) [18]



Resim 5.25. 2 mm kalınlık, 3000 W, -4 inç, 10 bar, 800 Hz için elde edilen delik, x 50 büyütme (2122_1 nolu parametre, üst görünüm) [18]



Resim 5.26. 2 mm kalınlık, 3000 W, -4 inç, 10 bar, 800 Hz için elde edilen delik, x 50 büyütmeye (2122_1 nolu parametre, kesit görünümü) [18]



Resim 5.27. 2 mm kalınlık, 3000 W, -4 inç, 10 bar, 800 Hz için elde edilen delik, x 50 büyütmeye (2122_1 nolu parametre alt görünümü) [18]

Sonuç olarak delik kararlılığımız %2-%28 aralığında değişmektedir. %38, %46 ve %79 değerleri uç değerler olup değerlendirmeye katılmamıştır. Ölçüm hataları, delik geometrilerindeki farklılıklar da dikkate alındığında delik kararlılığının sağlandığını, toplam ortalama %11 gibi bir oranla aynı çapta delikler oluştuğunu ortaya koymuştur.

5.4. Deliğin Isıdan Etkilenen ve Yeniden Katılaştan Bölgesinin İncelenmesi

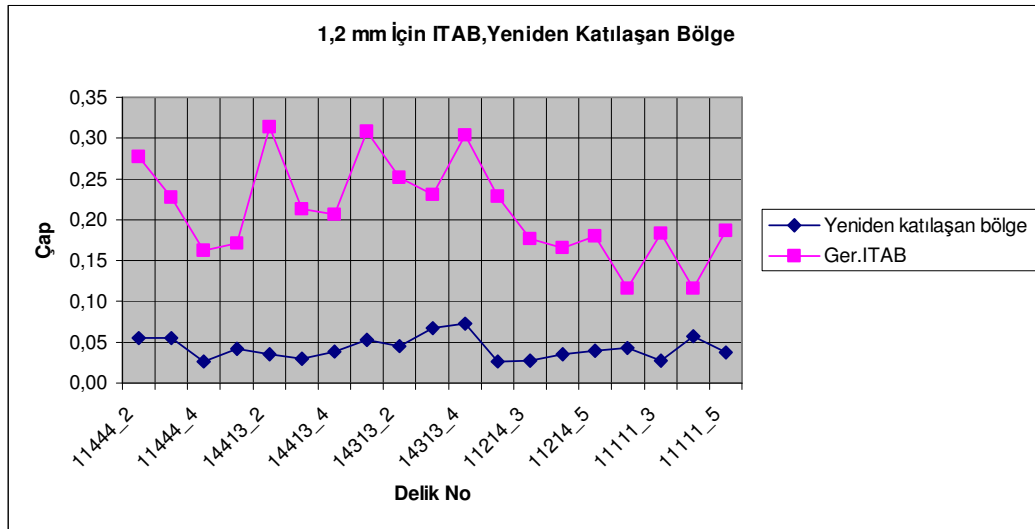
10 parametre kullanılıp, her bir parametreyle 5'er adet elde edilen delikler, delik eksenleri boyunca zımparalama ve dağlama işlemlerinden geçirilerek optik mikroskop altında incelenmiştir.

Çizelge 5.17. ITAB ve yeniden katılaştan bölge büyüklükleri

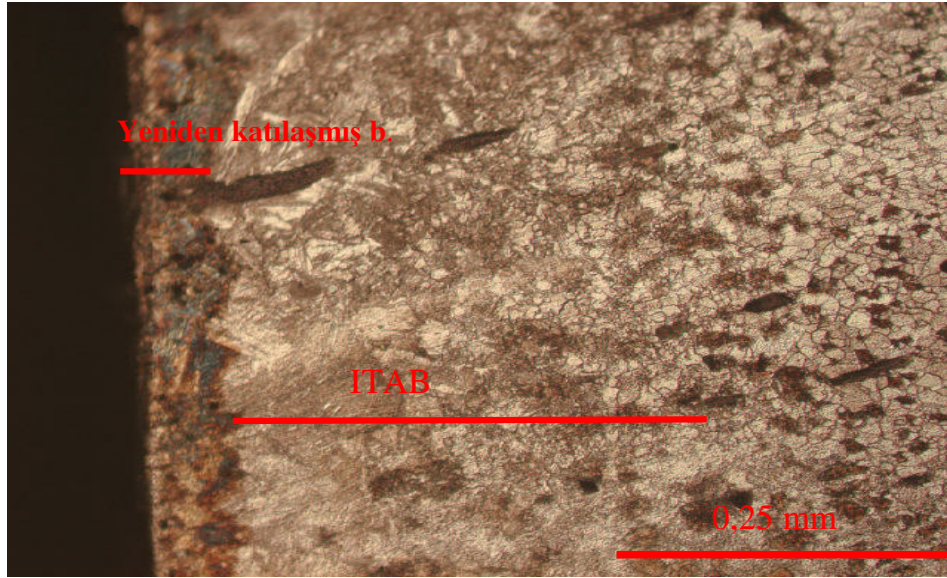
Kalınlık	Tanımlama			Kalınlık	Tanımlama		
1,2 mm	Yeniden katılaştan bölge(mm)	ITAB (mm)	Yeniden katılaştan kısım (tüm çapa göre-%)	2 mm	Yeniden katılaştan bölge(mm)	ITAB (mm)	Yeniden katılaştan kısım (tüm çapa göre-%)
11444_2	0,06	0,28	4,75	21444_2	0,04	0,23	3,38
11444_3	0,06	0,23	5,09	21444_3	0,03	0,18	2,36
11444_4	0,03	0,16	2,20	21444_5	0,04	0,17	3,91
11444_5	0,04	0,17	3,52	24413_2	0,05	0,18	4,69
14413_2	0,04	0,31	3,08	24413_3	0,05	0,24	5,20
14413_3	0,03	0,21	2,45	24413_4	0,05	0,22	4,29
14413_4	0,04	0,21	3,11	24413_5	0,11	0,22	11,63
14413_5	0,05	0,31	4,25	24313_2	0,02	0,05	1,91
14313_2	0,05	0,25	3,66	24313_3	0,05	0,21	5,60
14313_3	0,07	0,23	5,99	24313_4	0,13	0,16	14,37
14313_4	0,07	0,30	6,68	24313_5	0,10	0,24	11,37
11214_2	0,03	0,23	1,91	21214_1	0,03	0,22	3,16
11214_3	0,03	0,18	2,61	21214_2	0,03	0,26	3,05
11214_4	0,04	0,17	3,25	21214_3	0,03	0,24	3,50
11214_5	0,04	0,18	3,90	21214_4	0,03	0,27	2,80
11111_2	0,04	0,12	4,58	21214_5	0,04	0,26	3,68
11111_3	0,03	0,18	3,11	21111_2	0,02	0,15	3,52
11111_4	0,06	0,12	7,45	21111_3	0,02	0,17	3,27
11111_5	0,04	0,19	3,98	21111_4	0,02	0,16	3,58
				21111_5	0,02	0,20	2,96

Çizelge 5.17. (Devam) ITAB ve yeniden katılaşılan bölge büyüklükleri

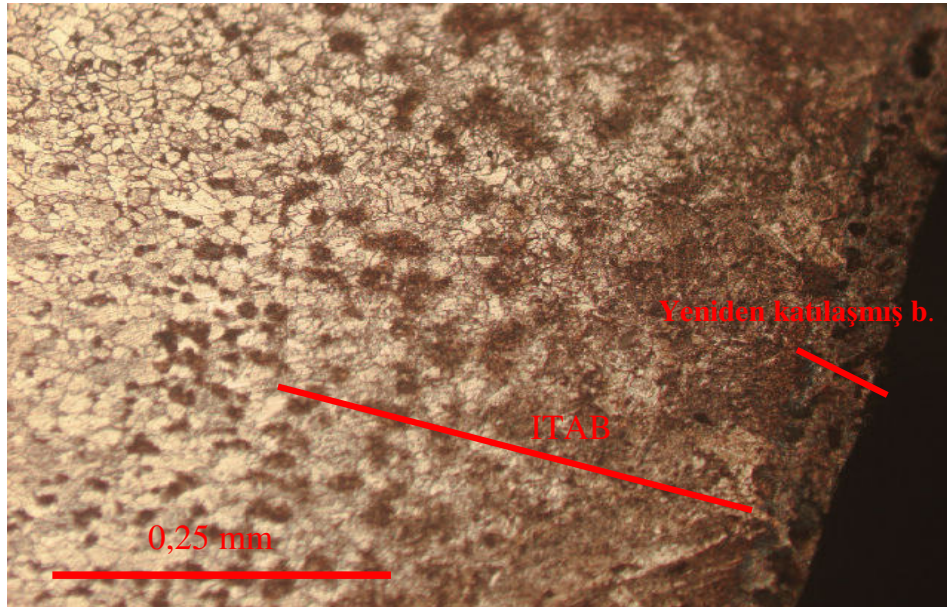
Kalınlık	Tanımlama			Kalınlık	Tanımlama		
2.5 mm	Yeniden katılaşılan bölge(mm)	ITAB (mm)	Yeniden katılaşılan kısım (tüm çapa göre- %)	4 mm	Yeniden katılaşılan bölge(mm)	ITAB (mm)	Yeniden katılaşılan kısım (tüm çapa göre- %)
31444_3	0,07	0,23	6,04	41444_3	0,04	0,11	2,50
31444_4	0,07	0,25	6,32	41444_4	0,08	0,22	5,31
31444_5	0,04	0,14	3,64	41444_5	0,12	0,20	9,44
34413_3	0,09	0,24	7,84	44413_3	0,09	0,17	5,95
34413_4	0,07	0,26	6,60	44413_4	0,08	0,19	7,07
34413_5	0,05	0,28	3,16	44413_5	0,05	0,19	4,81
34313_2	0,05	0,08	5,05	44313_2	0,07	0,19	6,27
34313_3	0,06	0,21	6,54	44313_3	0,09	0,19	7,59
34313_4	0,09	0,18	8,56	44313_4	0,11	0,26	11,55
34313_5	0,06	0,24	6,40	44313_5	0,11	0,24	10,94
31214_1	0,03	0,14	2,58	41214_1	0,10	0,22	9,40
31214_2	0,07	0,11	6,75	41214_2	0,07	0,21	7,46
31214_3	0,06	0,17	6,89	41214_3	0,07	0,15	7,81
31214_4	0,07	0,14	6,74	41214_4	0,09	0,20	9,61
31214_5	0,05	0,15	5,52	41214_5	0,11	0,19	12,45
31111_1	0,04	0,09	6,24	41111_1	0,06	0,15	6,39
31111_2	0,04	0,18	6,11	41111_2	0,05	0,26	7,61
31111_3	0,02	0,16	3,57	41111_3	0,06	0,15	6,72
31111_4	0,07	0,14	9,44	41111_4	0,05	0,20	7,26
31111_5	0,04	0,13	6,56	41111_5	0,04	0,18	4,81



Şekil 5.17. 1,2 mm kalınlık için ITAB, yeniden katılaşılan bölge büyüklükleri değişimi

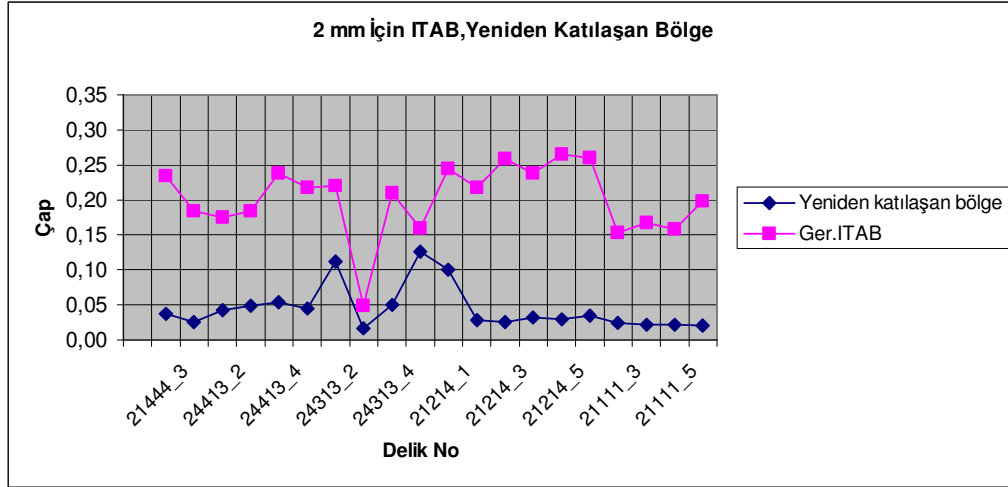


Resim 5.28. 1,2 mm kalınlık, 2500 W, 2 inç, 14 bar, 1200 Hz için elde edilen ITAB ve yeniden katılaşılan bölge, x 200 büyütme ¹[18]

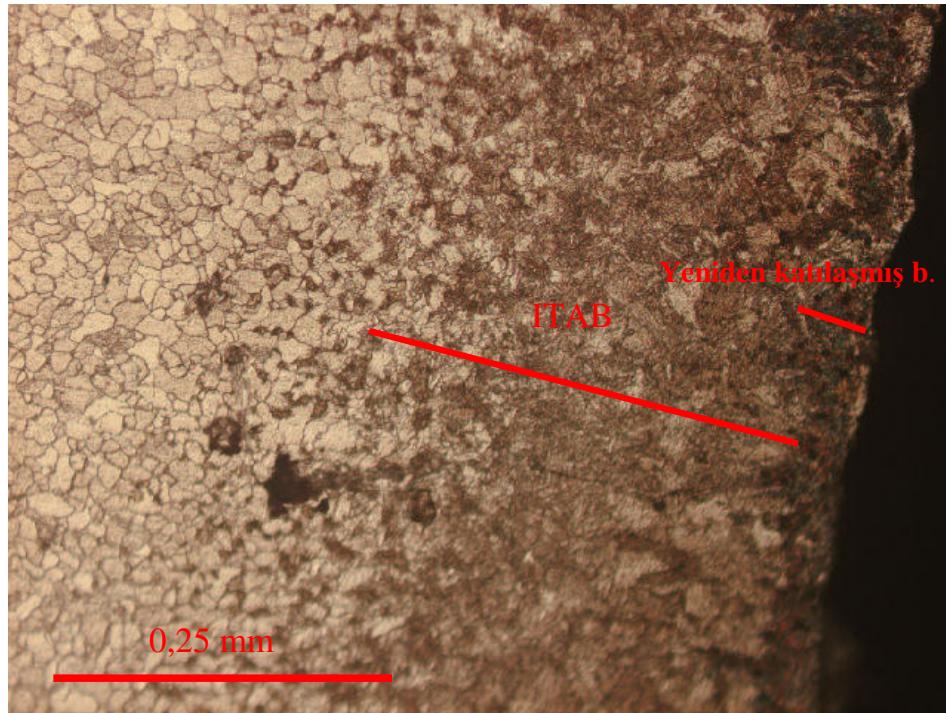


Resim 5.29. 1,2 mm kalınlık 2500 W, 0 inç 8 bar, 1000 Hz için elde edilen ITAB ve yeniden katılaşılan bölge, x 200 büyütme [18]

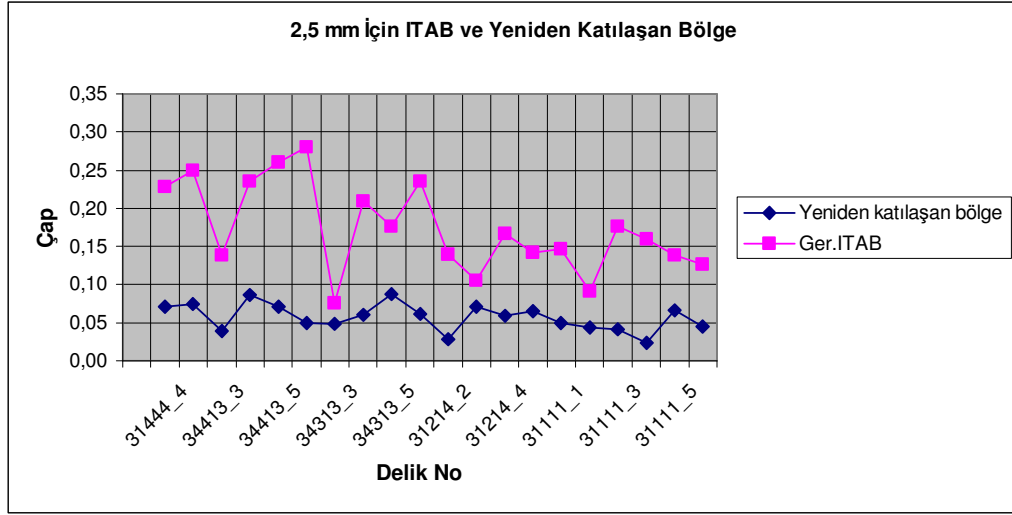
1 : 11444 nolu parametrenin 2 nolu deliği 200 büyütme ile fotoğraflanmıştır.



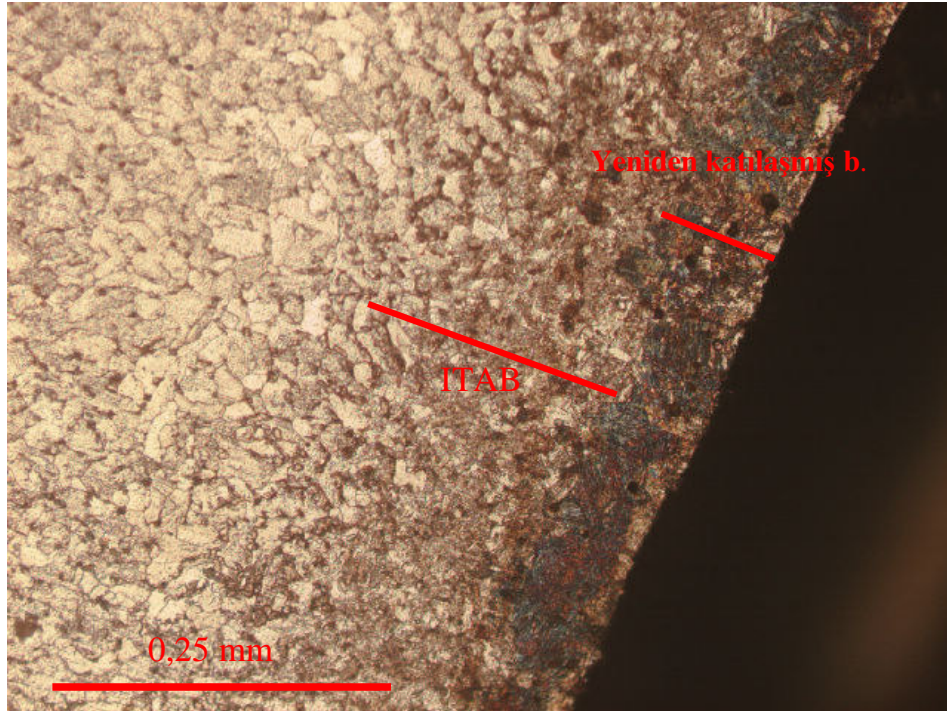
Şekil 5.18. 2 mm kalınlık için ITAB ve yeniden katılaşılan bölge büyüklükleri değişimi



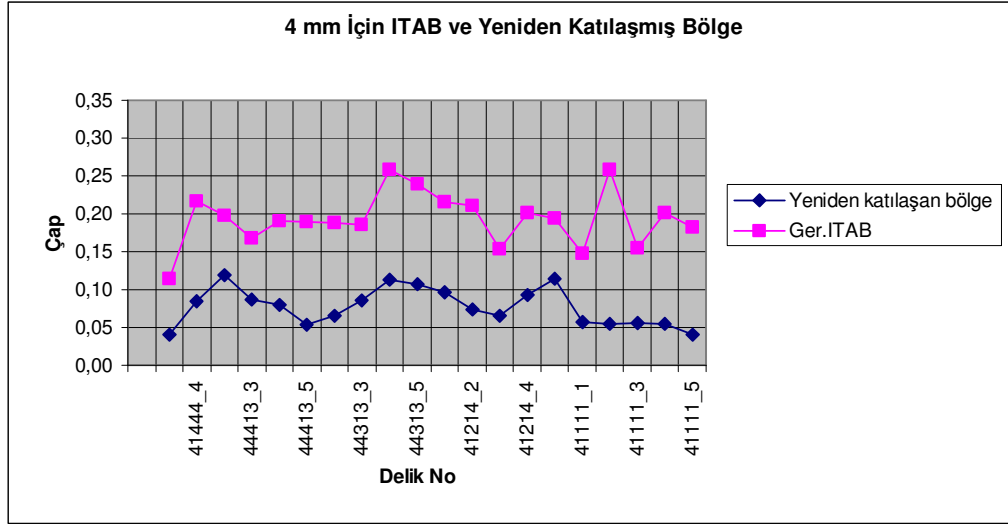
Resim 5.30. 2 mm kalınlık, 4000 W 2 inç, 8 bar, 1000 Hz için elde edilen ITAB ve yeniden katılaşılan bölge, x 200 büyütme [18]



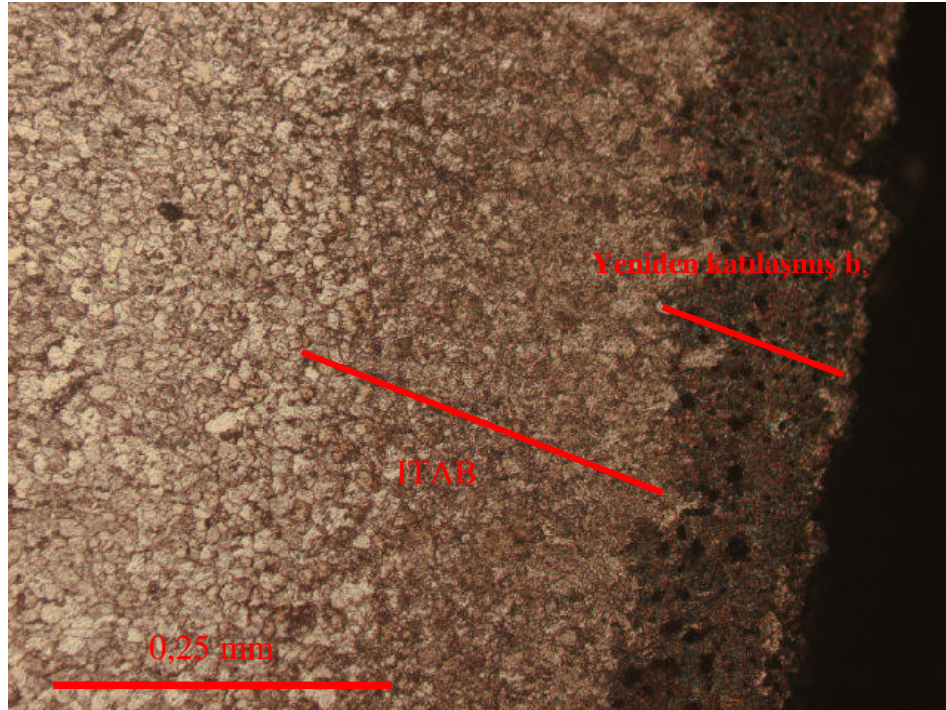
Şekil 5.19. 2,5 mm kalınlık için ITAB ve yeniden katılaşılan bölge büyüklükleri değişimi



Resim 5.31. 2,5 mm kalınlık, 2500 W, -4 inç, 8 bar, 500 Hz için elde edilen ITAB ve yeniden katılaşılan bölge, x 200 büyütme [18]



Şekil 5.20. 4 mm kalınlık için ITAB ve yeniden katılaşan bölge büyüklükleri değişimi



Resim 5.32. 4 mm kalınlık, 2500 W, -2 inç, 8 bar, 1200 Hz için elde edilen ITAB ve yeniden katılaşan bölge, x 200 büyütme [18]

Grafikler incelendiğinde ITAB ve tekrar katılaşan bölge genişlikleri hemen hemen aynı oranlarda artmakta ve azalmaktadır. Yani bir delikte yeniden katılaşan malzeme bölgesi ne kadar büyükse ısıdan etkilenen bölge de o kadar büyüyecektir.

Parametrelere bağlı inceleme yapıldığında fokuslamaya bağlı olarak parça üzeri (+) fokuslamalarda ısıdan etkilenen bölge ve tekrar katılaşan malzeme kalınlığı bölgesi fazla, fokuslama (-) değerlere geldikçe bu bölge küçülmektedir.

Delme işlemi gerçekleştirilirken ve fotoğraflama işlemi yapılırken dikkat çeken yukarıda bahsedilen duruma ek olarak 0 ve üzeri fokuslarda delik üzeri sıçrayan(splatter) malzeme daha fazla olduğu görülmüştür.

5.5. Delik Giriş Açısı ve Delik Boyunca Oluşan Konikliğin İncelenmesi

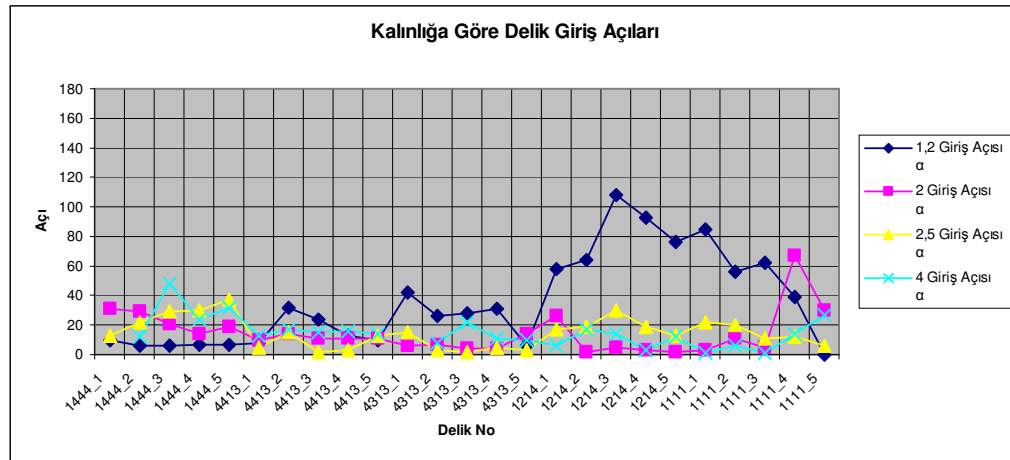
Delik kalitesini etkileyen diğer unsurlardan biri de delik giriş açısı ve delik eksenini boyunca oluşan konikliklerdir. Delik giriş açısı olan α , 0 veya 180 dereceye ne kadar yakınsa delik için o kadar kaliteli bir durum söz konusu olur. Θ koniklik açısı 0 dereceye ne kadar yakınsa delik açısından o kadar paralellik söz konusu olur.

Çizelge 5.18. Delik giriş ve koniklik açıları

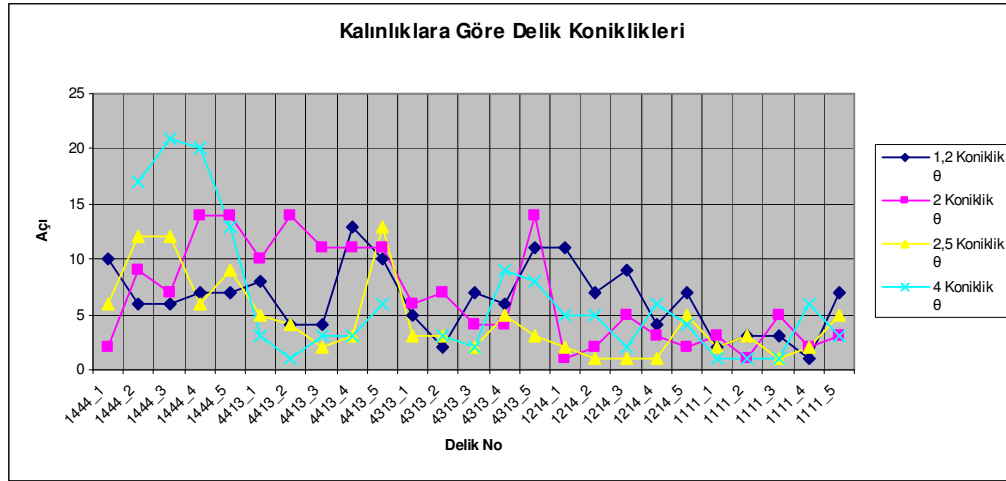
		1,2 mm		2 mm		2,5 mm		4 mm	
		α °	θ °	α °	θ °	α °	θ °	α °	θ °
Delik No	1444_1	10	10	31	2	13	6		
	1444_2	6	6	29	9	22	12	12	17
	1444_3	6	6	21	7	29	12	48	21
	1444_4	7	7	14	14	30	6	24	20
	1444_5	7	7	19	14	37	9	32	13
	4413_1	8	8	10	10	5	5	13	3
	4413_2	32	4	14	14	15	4	17	1
	4413_3	24	4	11	11	2	2	15	3
	4413_4	13	13	11	11	3	3	16	3
	4413_5	10	10	11	11	13	13	14	6
	4313_1	42	5	6	6	15	3	-	-
	4313_2	26	2	7	7	3	3	8	3
	4313_3	28	7	4	4	2	2	22	2
	4313_4	31	6	4	4	5	5	11	9
	4313_5	6	11	14	14	3	3	10	8

Çizelge 5.18. (Devam) Delik giriş ve koniklik açıları

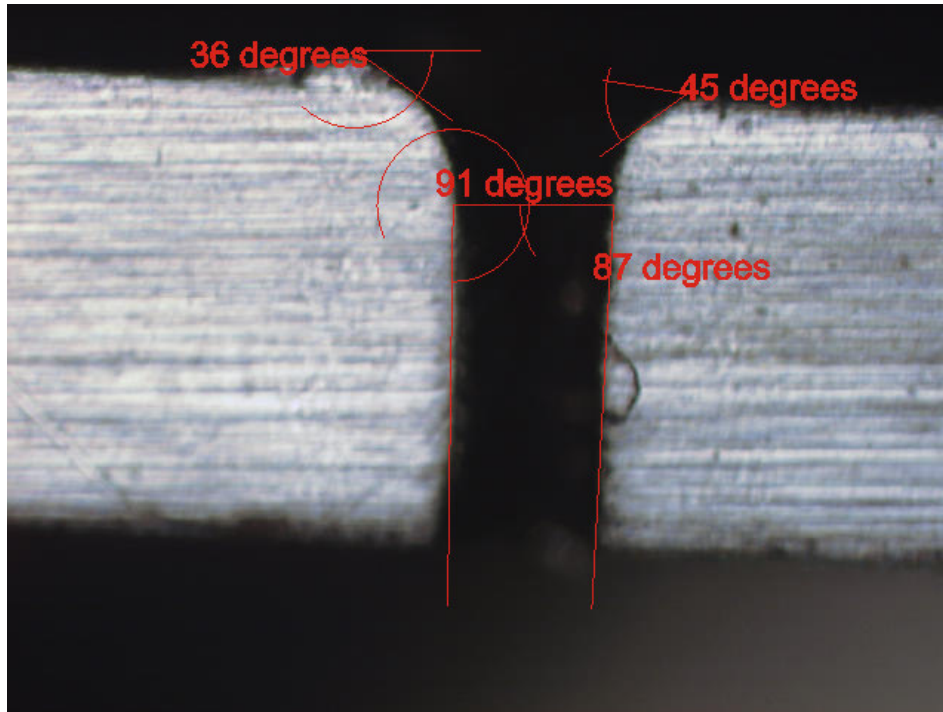
Delik No	3313_1	17	9	4	4	1	1	11	9
	3313_2	36	5	6	6	17	10	5	6
	3313_3	7	2	12	8	2	2	8	4
	3313_4	7	1	8	8	5	5	9	2
	3313_5	7	8	10	10	3	3	18	2
	1214_1	58	11	26	1	17	2	6	5
	1214_2	64	7	2	2	19	1	17	5
	1214_3	108	9	5	5	30	1	14	2
	1214_4	93	4	3	3	19	1	3	6
	1214_5	76	7	2	2	13	5	12	4
	1111_1	85	2	3	3	22	2	1	1
	1111_2	56	3	11	1	20	3	6	1
	1111_3	62	3	5	5	11	1	1	1
	1111_4	39	1	67	2	12	2	14	6
	1111_5	0	7	30	3	6	5	27	3
	2122_1	55	2	28	2	4	4	16	3
	2122_2	69	1	16	2	16	4	6	2
	2122_3	43	6	15	3	20	2	14	4
	2122_4	100	1	18	3	2	2	13	4
	2122_5	75	1	2	17	1	1	33	4
	2142_1	-1	-	3	3	-	-	25	7
	2142_2	58	9	3	3	12	12	16	8
	2142_3	66	5	4	4	6	6	21	3
	2142_4	63	2	11	11	6	6	41	7
	2142_5	-	22	17	17	7	7	14	7
	3123_1	21	0	31	16	17	3	8	4
	3123_2	44	4	21	3	14	3	13	2
	3123_3	30	3	34	8	9	2	17	2
	3123_4	59	1	14	14	14	2	19	2
	3123_5	30	5	9	7	32	2	6	4
	3141_1	-	-	9	7	-	-	4	2
	3141_2	45	3	8	8	-	-	6	2
	3141_3	33	8	6	6	-	-	-	-
	3141_4	21	14	4	4	-	-	8	4
	3141_5	-	8	8	8	-	-	16	8



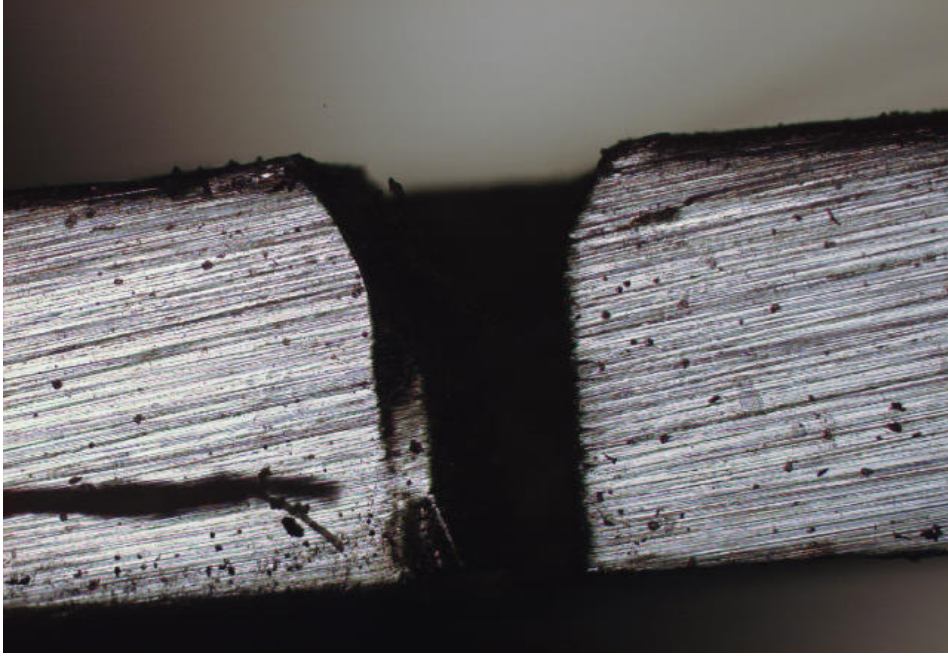
Şekil 5.21. Kalınlığa göre delik giriş açıları



Şekil 5.22. Kalınlığa göre delik koniklikleri



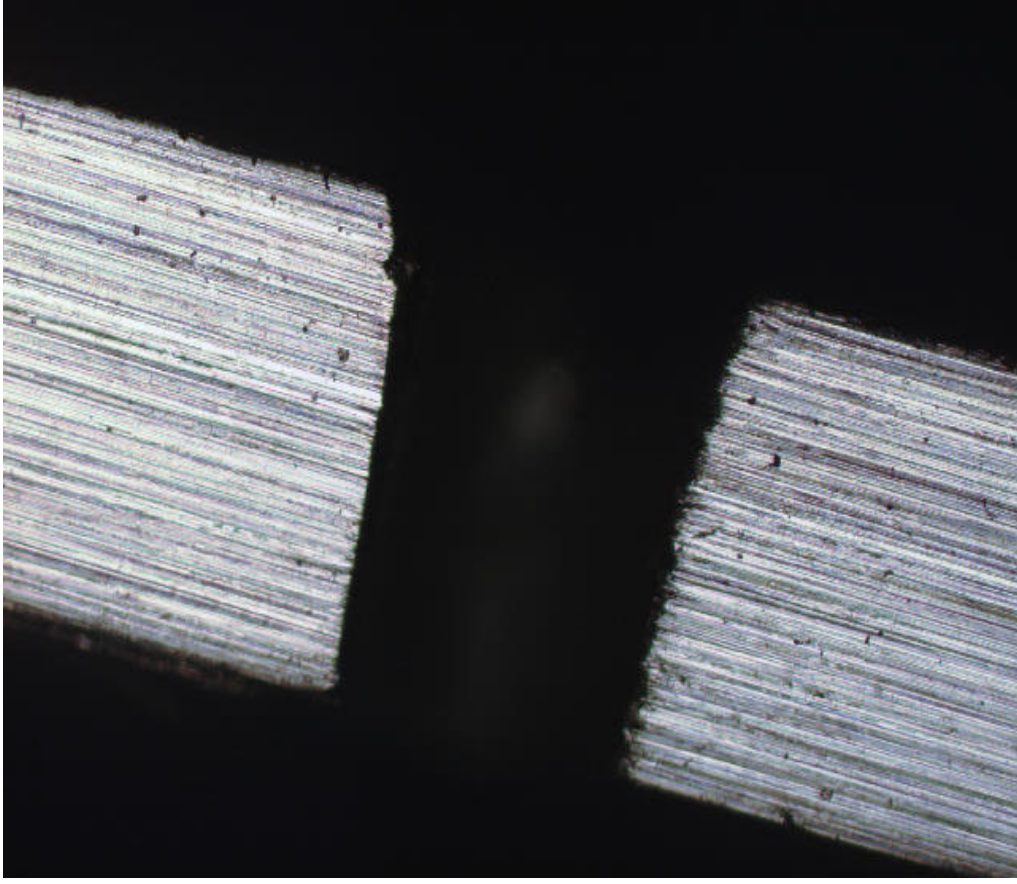
Resim 5.33. Delik giriş açısı ve koniklik ölçümü, x 50 büyütme [18]



Resim 5.34. 1,2 mm kalınlık, 2500 W, -4 inç, 8 bar 500 Hz için elde edilen kesit, x 50 büyütme (11111_2 nolu parametre) [18]



Resim 5.35. 2 mm kalınlık, 2500 W, 2 inç, 14 bar, 1200 Hz için elde edilen kesit, x 50 büyütme (21444_5 nolu parametre) [18]



Resim 5.36. 1,2 mm kalınlık, 2500 W, 2 inç, 14 bar, 1200 Hz için elde edilen kesit, x 50 büyütme (11444_5 nolu parametre) [18]

Grafikler incelendiğinde; 1111 numaralı deliğe doğru yani fokuslama (-) değerlerdeyken koniklik açısı en küçük değer olan 0 değerine yaklaşmıştır. Delik giriş açısı ise 1214 numaralı delik -2 fokuslamada 1,2 mm kalınlık için yüksek açı değerlerine çıkmıştır. Bunun dışında diğer kalınlıklar için ortalama 0-20 derece aralığında seyretmektedir.

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

6.1. Tartışma

Tüm parametre ve etkiler genel olarak değerlendirildiğinde, delik çap değeri uygulanan lazer gücü ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Şekil 5.1. ve Şekil 5.2. incelendiğinde çap değerleri, gücün 3500 W değerine kadar artış göstermiş, 4000 W değerinde ise düşmüştür. Bu durum, S. Bruneau ve arkadaşları[3] ile S. Nikumb ve arkadaşlarının[6] yapmış oldukları, lazer yoğunluğunun diğer bir ifadeyle lazer gücünün malzeme üzerindeki etkisinin araştırıldığı çalışmalarla uyum göstermektedir. Kalınlık açısından değerlendirildiğinde, iş parçası kalınlığının artmasıyla birlikte ısı kayıplarının artması sonucu çap büyüklüklerinin azaldığı görülmektedir.

Frekans değişimin etkisini incelemek amacıyla tüm parametreler sabit bir değerde tutularak frekans değişiminin kalınlık boyunca çapta oluşturduğu durum incelenmiştir. Burada frekans değişimine bağlı olarak çapın ne yönde değiştiğiyle ilgili bir genelleme yapılamamıştır. Aynı parametreler sabit kalmak şartıyla, sadece 8 bar yerine 14 bar basınç değeri alınarak frekans değişimine bağlı olarak oluşan çap değerleri Şekil 5.7.-Şekil 5.10.'da gösterilmiştir. Burada önce ki 4 şekille hemen hemen aynı paralellikte eğriler ortaya çıkmıştır. Oluşan tek fark çap değerleri, basıncın artmasıyla aynı kalınlık ve güç değerleri için arttığı görülmüştür.

Şekil 5.11.'de güç-basınç değişiminin birlikte çap üzerinde ne tür bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Buna göre -4 inç odaklama ve 1200 Hz frekans değeri sabit kalmak şartıyla güç ve basınç birlikte artırılmıştır. 3500_8 değerinde tüm kalınlıklar için Resim 5.7., Resim 5.8., Resim 5.9., Resim 5.10.'de maksimum delik çapları olduğu görülmüştür. Basınç açısından grafik değerlendirildiğinde 10 ve 12 barda çapta artış, 8 ve 14 barda ise çapta azalış olduğu görülmektedir. Güç açısından ise özellikle 3000 W'tan sonra çap değerlerinde artış görülmüştür.

Benzer basınç-güç eğrisi -4 inç odaklama ve 500 Hz frekans değeri için Şekil 5.12.'de incelenmiştir. Şekil 5.11 ve Şekil 5.12. eğrileri karşılaştırıldığında Şekil 5.11. eğrileri daha düzenli ve kalınlıklar boyunca daha yakın değerler oluşmuştur. Şekil 5.12.'de ise daha değişken eğriler meydana gelmiştir. Aynı durum Qiang Li ve arkadaşlarının [5] çalışmasında frekans artışıyla saçılmalarda azalma, delik çaplarında ise azda olsa artış olduğu görülmektedir (Resim 1.6, Resim 1.7).

Basınç-güç parametresi odaklama mesafesiyle birlikte değiştirilerek 800 Hz frekans değeri için Şekil 5.13.-Şekil 5.15.'de elde edilmiştir. Burada odaklama mesafesi (+) değerlere yaklaştıkça, kalınlık atışıyla birlikte çap değerleri düşmektedir. En büyük çap değeri 1.2 mm kalınlık için gerçekleşmiştir. En küçük çap değeri ise 4 mm kalınlık için oluşmuştur. Bu durum S. Banyopodhyaya ve arkadaşlarının[2] çalışmasında odaklamayı yüzeyde ve yüzeyin 2 mm aşağısında seçerek Resim 1.1.'de karşılaştırmıştır. Burada da görüldüğü üzere (-) odaklama seçilen Resim 1.1.b seçeneğinde daha konik ve büyük çap değeri, Resim 1.1.a seçeneğinde ise daha düzgün ve küçük delik çapı elde edilmiştir. Basınç artışıyla birlikte çap değerindeki artış Resim 5.15.-Resim 5.18.'de görülmektedir.

Şekil 5.17.-Şekil 5.20.'de sırasıyla 1,2 mm, 2 mm, 2,5 mm, 4 mm kalınlık değerleri için ITAB ve yeniden katılma bölge büyüklükleri incelenmiştir. Buna göre bir delikte yeniden katılma bölgesi ne kadar büyükse ITAB'ın da o kadar büyük olduğu görülmüştür. Odaklama durumuna göre incelendiğinde, (+) odaklamalarda ITAB ve yeniden katılmış bölge büyük, (-) odaklamalar da ise bu bölgeler küçülmektedir.

Şekil 5.21 ve Şekil 5.22'de delik giriş ve koniklik açıları verilmiştir. Grafikler incelendiğinde ortalama açı değerleri 0-20 derece aralığında değişmektedir. (-) fokuslamalarda 1.2 mm kalınlık için yüksek açı değerine çıkmıştır. Bu durum S. Banyopodhyaya ve arkadaşlarının[2] yaptığı çalışmada da (Resim 1.1) görülmektedir. Aksine 1111 numaralı delik içinde (-) odaklamada iken koniklik açısı 0 değerine yaklaşmıştır. Yani 2500 W, -4 inç, 8 bar, 500 Hz'de

minimum güç ve basınç değerleri olduğundan parametrenin malzeme üzerindeki etkisi az olacağından, giriş ve koniklik açıları da minimum çıkmıştır.

6.2. Sonuçlar

Yapılan tüm incelemeler neticesinde şu sonuçlar çıkarılmıştır:

- 1,2 mm için alt ve üst yüzeylerde düşük güç(2500 W) ve basınç değerlerinde daireye en yakın çapta delikler elde edilmiştir.
- 2 mm için alt ve üst yüzeylerde düşük güç(2500 W) ve basınç değerlerinde daireye en yakın çapta delikler elde edilmiştir.
- 2,5 mm için alt ve üst yüzeylerde 3000 W güç ve daha yüksek basınç(10-12 bar) değerlerinde daireye en yakın çapta delikler elde edilmiştir.
- 4 mm için alt ve üst yüzeylerde 3000 W güç ve daha yüksek basınç(10-12 bar) değerlerinde daireye en yakın çapta delikler elde edilmiştir.
- Tüm kalınlıklar değerlendirildiğinde daireye en yakın delikler 2500 W ve 3000 W, odaklama ise -4 inç ve -2 inç değerlerinde ortaya çıkmaktadır. Uygulama aşamasında görülmüştür ki, (-) odaklamalarda daha az saçılma ve daha dairesel delikler ortaya çıkmaktadır.
- 1,2 mm için 3500 W değerinde ve iş parçası yüzeyindeki ve altındaki odaklamalarda daha düzgün delikler ortaya çıkmıştır.
- Fakat malzeme üzerinde (-) odaklamalarda 2, 2,5, 4 mm kalınlıklar için daha düzgün delikler ortaya çıktığı görülmüştür.
- 1,2 mm, 2 mm, 2,5 mm, 4 mm kalınlık değerleri için ITAB ve yeniden katılaşan bölge büyüklükleri incelendiğinde, bir delikte yeniden katılaşma bölgesi ne kadar büyükse ITAB'ın da o kadar büyük olduğu görülmüştür.
- Odaklama durumuna göre incelendiğinde, (+) odaklamalarda ITAB ve yeniden katılaşmış bölge büyük, (-) odaklamalar da ise bu bölgeler küçülmektedir.

- Uygulanan güç açısından değerlendirildiğinde, aynı malzeme kalınlığı için yüksek güç değerlerinde ITAB ve yeniden katılaşmış bölge büyüklüğü daha fazladır.

6.3. Öneriler

1. Paslanmaz çelik, alüminyum gibi yüksek yansıtma oranına sahip parlak malzemeler için lazer parametreleri uygulanarak çap değişimi ve kalite üzerindeki etkileri incelenebilecektir.
2. Frekans değişimiyle ilgili herhangi bir genelleme yapılması söz konusu olmadığından, frekans aralıklarının artırılması suretiyle gerekli incelemeler yapılabilir.
3. Bu çalışmada uygulama parametre değerlerinin değiştirilmesiyle farklı kombinasyonlar oluşturularak karşılaştırma çalışmaları yapılabilecektir.
4. 4 mm kalınlığa kadar gerçekleştirilen bu çalışma, kalınlık artışı ile(örneğin 5-20 mm) delik kalitesinin nasıl etkileneceği incelenerek uygun parametrelerin belirlenmesi sağlanacaktır.
5. Elde edilen tüm deliklerin kesitlerinin alınmasıyla tüm parametrelerin(256 adet delik için) delik kalitesi üzerindeki etkisi ayrıntılı olarak incelenebilecektir.

KAYNAKLAR

1. Çelik S. “ Lazerler, tıpta ve özellikle göz tedavisindeki uygulamaları” Proje- 1,**Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü**, İstanbul, 4, 16-22 (1998).
2. S. Bandyopadhyay, Hina Gokhale, J.K. Sarin Sundar,G. Sundararajan, S. Joshi, “A statistical approach to determine process parameter impact in Nd:YAG laser drilling of IN718 and Ti-6Al-4V sheets”, **Optics and Lasers in Engineering**, 43: 163–182 (2005).
3. S. Bruneau, J. Hermann, G. Dumitru, M. Sentis, E. Axente, “Ultra-fast laser ablation applied to deep-drilling of metals”, **Applied Surface Science**, 248: 299– 303 (2005).
4. L. Tunna, W. O'Neill, A. Khan, C. Sutcliffe, “Analysis of laser micro drilled holes through aluminium for micro-manufacturing applications”, **Optics and Lasers in Engineering**, 43: 937–950 (2005).
5. Qiang Li, Yijun Zheng, Zhiyong Wang, Tiechuan Zuo, “A novel high peak power double AO Q-switches pulse Nd:YAG laser for drilling”, **Optics & Laser Technology**, 37: 357–362 (2005).
6. S. Nikumb, Q. Chen, C. Li, H. Reshef, H.Y. Zheng, H. Qiu, D. Low, “Precision glass machining, drilling and profile cutting by short pulse lasers”, **Thin Solid Films**, 477: 216– 221 (2005).
7. D. Araujo, F.J. Carpio, D. Méndez, A.J. García, M.P. Villar, R. García, D.Jiménez, L. Rubio, “Microstructural study of CO2 laser machined heat affected zone of 2024 aluminum alloy”, **Applied Surface Science**, 208–209:210–217 (2003).
8. G.K.L. Ng, L. Li, “Repeatability characteristics of laser percussion drilling of stainless-steel sheets”, **Optics and Lasers in Engineering**, 39: 25–33 (2003).
9. Acer H. “Lazer sistemleri” Yüksek Lisans Tezi, **Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**, Denizli, 1-3(1998).
10. Metiner H. “Lazerin çalışma prensipleri”, **Aselsan**, Ankara, 1-3, 4-5 (1995).
11. Türkiye meteoroloji Enstitüsü, “2006 Yılı Araştırmaları”, İnternet:<http://www.meteor.gov.tr/2006/arastirma/files/uvradetki.pdf>(2006).

12. Tanrıverdi M.A. “Çelik Malzemelerin Lazer İle Kesilmesinde Kesme Bölgesinin Yapı ve Özelliklerinin İncelenmesi”,Yüksek Lisans Tezi, **Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Bursa,15, 10-14 (1995).
13. Karaören K. “Lazer İle Kesim Parametrelerinin Tespiti” Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 11 (1999).
14. Güven O, Ünal S. “Lazer Kesme”, Araştırma Yazısı, **Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü**, Mersin, 1-2 (2002).
15. Yuwen Zhang, A. Faghri, “Vaporization\ melting and heat conduction in the laser drilling process”, **International Journal of Heat and Mass Transfer**, 42:1775-1790 (1999).
16. Özel M., “Lazer Kesim Teknolojisi ve Endüstrideki Uygulamaları”, Araştırma Projesi, **Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü**, Manisa, 13-18 (2005).
17. Yilbas B.S. “Parametric Study For Laser Hole Drilling Of Inconel 617 Alloy”, **Lasers in Engineering**, , 12, (1), 1–16 (2002).
18. Erdoğan Ş., arşivinden (2007)

EKLER

EK-1 Parametrelere bağılı olarak elde edilen tablo değerleri

Çizelge 1.1. 1.2 mm, 2500 W için delik çapları

Delik No	Delik Alt Çapı (mm)	Delik Üst Çapı (mm)	Ortalama Delik
11111	0.82	0.58	0.70
11112	0.76	0.63	0.70
11113	0.79	0.84	0.82
11114	0.78	0.79	0.78
11121	0.67	0.66	0.67
11122	0.98	0.85	0.92
11123	0.91	0.91	0.91
11124	1.00	0.85	0.93
11131	0.93	0.86	0.90
11132	1.04	0.84	0.94
11133	0.78	0.86	0.82
11134	0.94	0.84	0.89
11141	0.78	0.62	0.70
11142	0.89	0.76	0.82
11143	0.80	0.73	0.77
11144	0.75	0.82	0.78
11211	1.11	1.07	1.09
11212	0.92	0.99	0.96
11213	0.88	0.93	0.91
11214	0.94	0.87	0.91
11221	0.76	0.88	0.82
11222	1.18	0.98	1.08
11223	1.19	0.97	1.08
11224	0.95	0.87	0.91
11231	0.95	1.00	0.97
11232	1.30	0.85	1.07
11233	1.22	1.00	1.11
11234	1.16	0.90	1.03
11241	1.04	0.90	0.97
11242	1.28	0.98	1.13
11243	1.19	0.95	1.07
11244	1.16	0.97	1.07
11311	1.13	1.08	1.11
11312	1.05	1.06	1.06
11313	1.40	1.07	1.23
11314	1.39	0.98	1.19
11321	0.97	0.98	0.98
11322	1.21	1.07	1.14
11323	1.31	0.98	1.15
11324	1.43	0.99	1.21
11331	1.39	0.97	1.18
11332	1.44	0.91	1.18
11333	1.47	0.97	1.22
11334	1.53	1.07	1.30
11341	1.35	1.05	1.20
11342	1.39	1.00	1.20
11343	1.32	0.95	1.14
11344	1.54	0.93	1.23
11411	1.25	0.93	1.09
11412	1.25	0.99	1.12
11413	1.04	1.01	1.03
11414	1.25	0.94	1.09
11421	1.26	0.97	1.12
11422	1.13	0.92	1.03
11423	1.18	0.92	1.05
11424	1.26	0.97	1.12
11431	1.04	0.92	0.98
11432	1.39	0.98	1.18
11433	1.19	0.97	1.08
11434	1.25	1.00	1.12
11441	1.11	0.98	1.05
11442	1.25	0.95	1.10
11443	1.13	0.97	1.05
11444	1.40	1.01	1.21

EK-1 (Devam) Parametrelere bağılı olarak elde edilen tablo değerleri

Çizelge 1.2. 1.2 mm, 3000 W için delik çapları

Delik No	Delik Alt Çapı (mm)	Delik Üst Çapı (mm)	Ortalama Delik
12111	1,07	4,89	2,98
12112	1,05	0,83	0,94
12113	0,92	0,87	0,89
12114	0,96	0,85	0,91
12121	0,94	0,79	0,87
12122	1,13	0,83	0,98
12123	0,98	0,81	0,89
12124	0,96	0,85	0,91
12131	0,97	0,83	0,90
12132	1,05	0,87	0,96
12133	0,97	0,84	0,90
12134	1,01	0,81	0,91
12141	0,89	0,78	0,84
12142	1,07	0,89	0,98
12143	0,79	0,87	0,83
12144	0,80	0,83	0,82
12211	1,49	1,02	1,26
12212	1,25	1,07	1,16
12213	1,18	1,05	1,11
12214	1,61	1,01	1,31
12221	1,30	1,00	1,15
12222	1,08	0,98	1,03
12223	1,19	1,01	1,10
12224	1,31	0,97	1,14
12231	1,18	0,90	1,04
12232	1,24	0,85	1,05
12233	1,12	0,89	1,01
12234	1,14	0,88	1,01
12241	1,10	0,82	0,96
12242	1,20	0,81	1,01
12243	1,07	0,79	0,93
12244	1,27	0,85	1,06
12311	1,21	1,06	1,14
12312	1,33	1,10	1,21
12313	1,43	1,06	1,24
12314	1,36	1,13	1,25
12321	1,36	1,04	1,20
12322	1,44	1,09	1,27
12323	1,32	1,06	1,19
12324	1,33	1,03	1,18
12331	1,34	1,02	1,18
12332	1,49	1,09	1,29
12333	1,45	1,03	1,24
12334	1,38	1,28	1,33
12341	1,57	1,19	1,38
12342	1,48	1,21	1,35
12343	1,57	1,17	1,37
12344	1,68	1,24	1,46
12411	1,52	1,11	1,32
12412	1,99	1,58	1,78
12413	1,78	1,39	1,59
12414	1,95	1,44	1,69
12421	1,94	1,37	1,65
12422	1,53	1,22	1,38
12423	1,59	1,19	1,39
12424	1,63	1,28	1,46
12431	1,65	1,27	1,46
12432	2,77	1,57	2,17
12433	1,93	1,52	1,72
12434	1,80	1,36	1,58
12441	1,86	1,39	1,63
12442	1,89	1,32	1,60
12443	1,65	1,38	1,52
12444	1,67	1,28	1,47

EK-1 (Devam) Parametrelere bağılı olarak elde edilen tablo değerleri

Çizelge 1.3. 1.2 mm, 3500 W için delik çapları

Delik No	Delik Alt Çapı	Delik Üst Çapı	Ortalama Delik Çapı (mm)
13111	1,17	0,95	1,06
13112	1,49	1,20	1,35
13113	1,53	1,21	1,37
13114	1,81	1,27	1,54
13121	1,27	0,93	1,10
13122	1,59	1,13	1,36
13123	1,16	1,07	1,11
13124	1,48	1,06	1,27
13131	1,49	1,09	1,29
13132	1,37	1,11	1,24
13133	1,29	1,26	1,28
13134	1,28	1,10	1,19
13141	1,47	1,10	1,29
13142	1,61	1,14	1,37
13143	1,25	1,14	1,19
13144	1,52	1,16	1,34
13211	1,70	1,35	1,52
13212	1,31	1,31	1,31
13213	1,12	1,26	1,19
13214	1,42	1,30	1,36
13221	1,57	1,27	1,42
13222	1,69	1,29	1,49
13223	1,66	1,30	1,48
13224	1,62	1,29	1,45
13231	1,53	1,25	1,39
13232	1,55	1,30	1,43
13233	1,47	1,29	1,38
13234	1,56	1,26	1,41
13241	1,49	1,16	1,32
13242	1,70	1,26	1,48
13243	1,71	1,25	1,48
13244	1,56	1,25	1,40
13311	2,04	1,51	1,78
13313	1,66	1,37	1,51
13313	1,74	1,43	1,59
13314	2,05	1,42	1,73
13321	1,60	1,42	1,51
13322	1,70	1,41	1,55
13323	1,67	1,35	1,51
13324	1,58	1,46	1,52
13331	1,76	1,47	1,61
13332	1,69	1,35	1,52
13333	1,58	1,40	1,49
13334	1,77	1,38	1,58
13341	1,59	1,36	1,48
13342	1,63	1,43	1,53
13343	1,63	1,45	1,54
13344	1,55	1,38	1,47
13411	2,06	1,69	1,87
13412	2,11	1,51	1,81
13413	1,86	1,56	1,71
13414	1,92	1,53	1,73
13421	2,07	1,50	1,78
13422	1,90	1,55	1,73
13423	1,68	1,54	1,61
13424	1,79	1,54	1,66
13431	1,92	1,49	1,70
13432	1,94	1,51	1,72
13433	1,63	1,52	1,58
13434	1,91	1,48	1,69
13441	1,91	1,44	1,68
13442	1,79	1,41	1,60
13443	1,89	1,53	1,71
13444	1,70	1,35	1,52

EK-1 (Devam) Parametrelere bağılı olarak elde edilen tablo değerleri

Çizelge 1.4. 1.2 mm, 4000 W için delik çapları

Delik No	Delik Alt Çapı	Delik Üst Çapı	Ortalama Delik Çapı (mm)
14111	1,60	1,20	1,40
14112	1,42	1,02	1,22
14114	1,44	1,04	1,24
14114	1,54	1,07	1,31
14121	1,33	1,09	1,21
14122	1,39	1,05	1,22
14123	1,38	0,95	1,17
14124	1,24	1,02	1,13
14131	1,20	1,40	1,30
14132	1,36	1,01	1,18
14133	1,34	1,00	1,17
14134	1,35	1,04	1,20
14141	1,25	0,96	1,10
14142	1,28	1,01	1,15
14143	1,41	1,02	1,22
14144	1,43	0,99	1,21
14211	1,66	1,38	1,52
14212	1,59	1,23	1,41
14213	1,36	1,18	1,27
14214	1,64	1,20	1,42
14221	1,45	1,18	1,32
14222	1,51	1,17	1,34
14223	1,36	1,09	1,22
14224	1,34	1,16	1,25
14231	1,41	1,19	1,30
14232	1,60	1,18	1,39
14233	1,50	1,17	1,33
14234	1,59	1,20	1,39
14241	1,53	1,19	1,36
14242	1,63	1,20	1,41
14243	1,53	1,15	1,34
14244	1,39	1,24	1,32
14311	1,92	1,55	1,73
14312	1,47	1,36	1,42
14313	1,72	1,34	1,53
14314	1,66	1,41	1,53
14321	1,75	1,38	1,57
14322	1,78	1,39	1,58
14323	1,76	1,43	1,59
14324	1,69	1,37	1,53
14331	1,64	1,31	1,48
14332	1,53	1,32	1,43
14333	1,60	1,35	1,48
14334	1,64	1,32	1,48
14341	1,79	1,32	1,56
14342	1,75	1,37	1,56
14343	1,65	1,30	1,48
14344	1,67	1,32	1,49
14411	2,19	1,58	1,89
14412	2,06	1,46	1,76
14413	1,39	1,46	1,43
14414	1,95	1,43	1,69
14421	1,86	1,41	1,63
14422	1,76	1,44	1,60
14423	1,89	1,47	1,68
14424	1,89	1,44	1,67
14431	1,81	1,41	1,61
14432	1,76	1,38	1,57
14433	1,70	1,46	1,58
14434	1,79	1,37	1,58
14441	1,82	1,38	1,60
14442	1,93	1,41	1,67
14443	1,63	1,33	1,48
14444	1,44	1,43	1,43

EK-1 (Devam) Parametrelere bağılı olarak elde edilen tablo değerleri

Çizelge 1.5. 2 mm, 2500 W için delik çapları

Delik No	Delik Alt Çapı	Delik Üst Çapı	Ortalama Delik Çapı (mm)
21111	0,38	0,61	0,50
21112	0,57	0,75	0,66
21113	0,60	1,11	0,86
21114	0,68	0,69	0,69
21121	0,69	0,66	0,67
21122	0,72	0,74	0,73
21123	0,78	0,67	0,73
21124	0,55	0,79	0,67
21131	0,67	0,74	0,70
21132	0,65	0,70	0,68
21133	0,85	0,84	0,84
21134	0,71	0,89	0,80
21141	0,60	0,73	0,66
21142	0,69	0,72	0,70
21143	0,71	0,66	0,68
21144	0,71	0,68	0,70
21211	0,78	0,69	0,73
21212	0,84	0,60	0,72
21213	0,69	0,70	0,70
21214	0,65	0,66	0,65
21221	0,81	0,75	0,78
21222	0,74	0,79	0,76
21223	0,97	0,90	0,93
21224	0,96	0,83	0,89
21231	0,84	0,99	0,92
21232	0,85	0,90	0,87
21233	0,77	0,88	0,83
21234	0,87	0,84	0,85
21241	0,91	0,83	0,87
21242	0,90	0,88	0,89
21243	0,84	0,85	0,85
21244	0,87	0,90	0,88
21311	1,23	0,83	1,03
21312	1,08	0,92	1,00
21313	1,18	0,87	1,02
21314	1,20	0,90	1,05
21321	1,21	0,84	1,02
21322	1,09	0,92	1,00
21323	1,17	0,87	1,02
21324	1,05	0,89	0,97
21331	1,26	0,90	1,08
21332	1,05	0,92	0,98
21333	1,07	0,87	0,97
21334	1,05	0,89	0,97
21341	1,08	0,83	0,96
21342	1,26	0,88	1,07
21343	1,22	0,84	1,03
21344	1,20	0,90	1,05
21411	1,09	0,75	0,92
21412	0,87	0,78	0,82
21413	0,92	0,78	0,85
21414	1,00	0,81	0,91
21421	1,04	0,77	0,90
21422	1,10	0,79	0,94
21423	0,97	0,80	0,88
21424	0,96	0,81	0,88
21431	0,95	0,77	0,86
21432	1,00	0,82	0,91
21433	0,91	0,79	0,85
21434	0,98	0,83	0,91
21441	0,97	0,93	0,95
21442	0,91	0,82	0,87
21443	0,94	0,76	0,85
21444	0,98	0,77	0,88

EK-1 (Devam) Parametrelere bağılı olarak elde edilen tablo değerleri

Çizelge 1.6. 2 mm, 3000 W için delik çapları

Delik No	Delik Alt Çapı	Delik Üst Çapı	Ortalama Delik Çapı (mm)
22111	0,62	0,68	0,65
22112	0,52	0,63	0,58
22113	0,61	0,69	0,65
22114	0,59	0,67	0,63
22121	0,65	0,70	0,68
22122	0,70	0,67	0,68
22123	0,77	0,70	0,74
22124	0,66	0,71	0,68
22131	0,66	0,69	0,67
22132	0,64	0,71	0,67
22133	0,66	0,70	0,68
22134	0,61	0,67	0,64
22141	0,71	0,71	0,71
22142	0,75	0,69	0,72
22143	0,70	0,75	0,73
22144	0,51	0,67	0,59
22211	0,89	0,82	0,85
22212	0,96	0,81	0,88
22213	1,00	0,84	0,92
22214	0,99	0,75	0,87
22221	0,91	0,78	0,85
22222	1,04	0,82	0,93
22223	1,01	0,81	0,91
22224	0,80	0,86	0,83
22231	0,96	0,84	0,90
22232	1,00	0,80	0,90
22233	0,79	0,80	0,80
22234	0,74	0,88	0,81
22241	0,70	0,79	0,75
22242	1,00	0,71	0,86
22243	1,09	0,79	0,94
22244	0,94	0,80	0,87
22311	1,18	0,95	1,06
22312	1,16	0,89	1,03
22313	1,38	0,86	1,12
22314	1,22	0,89	1,05
22321	1,17	0,86	1,01
22322	1,24	0,90	1,07
22323	1,20	0,88	1,04
22324	1,13	0,88	1,00
22331	1,27	0,87	1,07
22332	1,19	0,83	1,01
22333	1,14	0,84	0,99
22334	1,35	0,97	1,16
22341	1,47	1,01	1,24
22342	1,39	1,14	1,27
22343	1,34	1,01	1,18
22344	1,29	1,24	1,26
22411	1,15	0,87	1,01
22412	1,85	1,36	1,61
22413	1,60	1,10	1,35
22414	1,68	1,15	1,42
22421	1,54	1,03	1,28
22422	2,00	1,48	1,74
22423	1,38	1,04	1,21
22424	1,59	1,02	1,31
22431	1,43	0,99	1,21
22432	1,91	1,39	1,65
22433	1,76	1,18	1,47
22434	1,59	1,13	1,36
22441	1,57	1,24	1,40
22442	1,71	1,15	1,43
22443	1,48	1,15	1,31
22444	1,79	1,55	1,67

EK-1 (Devam) Parametrelere bağılı olarak elde edilen tablo değerleri

Çizelge 1.7. 2 mm, 3500 W için delik çapları

Delik No	Delik Alt Çapı	Delik Üst Çapı	Ortalama Delik Çapı (mm)
23111	0,82	0,69	0,75
23112	1,12	0,96	1,04
23113	1,25	0,98	1,11
23114	1,38	1,05	1,22
23121	0,96	0,69	0,83
22122	1,15	1,02	1,09
23123	1,00	0,85	0,92
23124	0,97	0,79	0,88
23131	0,77	0,74	0,75
23132	0,80	0,84	0,82
23133	0,90	0,81	0,86
23134	1,04	0,78	0,91
23141	1,01	0,81	0,91
23142	1,13	0,80	0,96
23143	1,11	0,85	0,98
23144	1,20	0,82	1,01
23211	0,97	1,03	1,00
23212	1,27	1,02	1,15
23213	1,30	1,07	1,19
23214	1,24	1,07	1,16
23221	1,29	0,98	1,13
23222	0,97	0,99	0,98
23223	1,46	0,97	1,21
23224	1,18	0,94	1,06
23231	1,26	0,97	1,12
23232	1,33	0,94	1,14
23233	1,28	0,89	1,08
23234	0,83	0,90	0,86
23241	1,48	0,92	1,20
23242	1,28	0,95	1,12
23243	1,11	0,97	1,04
23244	1,28	0,94	1,11
23311	1,38	1,34	1,36
23312	1,56	1,28	1,42
23313	1,42	1,23	1,32
23314	1,08	1,14	1,11
23321	1,49	1,14	1,31
23322	1,43	1,13	1,28
23323	1,27	1,10	1,19
23324	1,49	1,10	1,29
23331	1,44	1,07	1,26
23332	1,43	1,07	1,25
23333	1,03	1,01	1,02
23334	1,47	1,11	1,29
23341	1,18	1,01	1,10
23342	1,65	1,03	1,34
23343	1,48	1,10	1,29
23344	1,48	1,03	1,25
23411	1,67	1,29	1,48
23412	1,75	1,19	1,47
23413	1,73	1,28	1,51
23414	1,66	1,33	1,49
23421	1,50	6,87	4,19
23422	1,63	1,21	1,42
23423	1,69	1,20	1,44
23424	1,62	1,37	1,49
23431	1,49	1,15	1,32
23432	1,60	1,18	1,39
23433	1,55	1,19	1,37
23434	1,60	1,18	1,39
23441	1,62	1,20	1,41
23442	1,66	1,20	1,43
23443	1,59	1,15	1,37
23444	1,60	1,15	1,38

EK-1 (Devam) Parametrelere bağılı olarak elde edilen tablo değerleri

Çizelge 1.8. 2 mm, 4000 W için delik çapları

Delik No	Delik Alt Çapı	Delik Üst Çapı	Ortalama Delik Çapı
24111	1,15	1,08	1,12
24112	1,19	0,94	1,06
24113	1,06	0,96	1,01
24114	1,23	0,84	1,04
24121	0,97	0,92	0,95
24122	1,09	0,78	0,94
24123	0,94	0,78	0,86
24124	1,15	0,84	0,99
24131	0,86	0,89	0,87
24132	1,19	0,80	0,99
24133	0,95	0,78	0,86
24134	1,04	0,80	0,92
24141	1,15	0,77	0,96
24142	1,20	0,76	0,98
24143	1,17	0,77	0,97
24144	1,11	0,74	0,92
24211	1,20	0,98	1,09
24212	1,34	0,99	1,16
24213	1,23	1,01	1,12
24214	1,42	0,96	1,19
24221	1,42	0,90	1,16
24222	1,25	0,88	1,07
24223	1,19	0,91	1,05
24224	1,30	0,94	1,12
24231	1,34	0,91	1,13
24232	1,26	0,95	1,11
24233	1,34	0,96	1,15
24234	1,19	0,96	1,07
24241	1,18	0,93	1,06
24242	1,38	0,93	1,16
24243	1,25	0,97	1,11
24244	1,41	1,01	1,21
24311	1,44	1,19	1,31
24312	1,48	1,13	1,30
24313	0,92	1,16	1,04
24314	1,58	1,19	1,39
24321	1,53	1,13	1,33
24322	1,39	1,07	1,23
24323	1,30	1,15	1,23
24324	1,52	1,11	1,32
24331	1,58	1,08	1,33
24332	1,58	1,11	1,35
24333	1,55	1,06	1,31
24334	1,60	1,13	1,37
24341	1,42	1,16	1,29
24342	1,54	1,12	1,33
24343	1,55	1,19	1,37
24344	1,69	1,20	1,44
24411	1,53	1,23	1,38
24412	1,66	1,16	1,41
24413	1,56	1,24	1,40
24414	1,72	1,20	1,46
24421	1,62	1,28	1,45
24422	1,47	1,26	1,37
24423	1,58	1,32	1,45
24424	1,65	1,23	1,44
24431	1,80	1,30	1,55
24432	1,68	1,39	1,53
24433	1,56	1,20	1,38
24434	1,70	1,24	1,47
24441	1,57	1,22	1,39
24442	1,75	1,26	1,51
24443	1,71	1,24	1,47
24444	1,35	1,37	1,36

EK-1 (Devam) Parametrelere bağılı olarak elde edilen tablo değerleri

Çizelge 1.9. 2,5 mm, 2500 W için delik çapları

Delik No	Delik Alt Çapı	Delik Üst Çapı	Ortalama Delik Çapı (mm)
31111	0,79	0,74	0,76
31112	0,83	0,69	0,76
31113	0,83	0,80	0,82
31114	0,54	0,86	0,70
31121	0,46	0,76	0,61
31122	0,80	0,77	0,79
31123	0,66	0,70	0,68
31124	0,89	0,71	0,80
31131	0,47	0,69	0,58
31132	0,74	0,71	0,73
31133	0,61	0,73	0,67
31134	0,72	0,69	0,71
31141	0,56	0,81	0,68
31142	0,76	0,75	0,75
31143	0,74	0,63	0,68
31144	0,58	0,70	0,64
31211	0,78	0,73	0,76
31212	0,66	0,75	0,70
31213	0,85	0,72	0,79
31214	0,63	0,76	0,69
31231	0,72	0,60	0,66
31222	0,85	0,83	0,84
31223	0,76	0,82	0,79
31224	0,95	0,84	0,90
31231	0,67	0,80	0,73
31232	0,78	0,75	0,76
31233	0,78	0,78	0,78
31234	0,92	0,78	0,85
31241	0,64	0,81	0,73
31242	0,66	0,84	0,75
31243	0,69	0,78	0,73
31244	0,92	0,76	0,84
31311	0,94	0,92	0,93
31312	1,20	0,84	1,02
31313	0,98	0,84	0,91
31314	0,96	0,85	0,90
31321	0,97	0,79	0,88
31322	0,99	0,88	0,94
31323	1,22	0,84	1,03
31324	1,05	0,91	0,98
31331	1,07	0,80	0,93
31332	1,23	0,87	1,05
31333	1,32	0,82	1,07
31334	1,13	0,87	1,00
31341	1,18	0,82	1,00
31342	1,22	0,85	1,03
31343	1,00	0,84	0,92
31344	1,15	0,80	0,97
31411	0,90	0,78	0,84
31412	0,89	0,81	0,85
31413	0,72	0,86	0,79
31414	0,81	0,78	0,79
31421	0,76	0,75	0,76
31422	0,83	0,77	0,80
31423	0,81	0,84	0,82
31424	0,74	0,79	0,76
31431	0,85	0,81	0,83
31432	0,74	0,75	0,75
31433	0,79	0,81	0,80
31434	0,84	0,79	0,82
31441	1,03	0,77	0,90
31442	1,18	0,82	1,00
31443	0,85	0,81	0,83
31444	0,88	0,79	0,84

EK-1 (Devam) Parametrelere bağılı olarak elde edilen tablo değerleri

Çizelge 1.10. 2,5 mm, 3000 W için delik çapları

Delik No	Delik Alt Çapı	Delik Üst Çapı	Ortalama Delik Çapı
32111	1,03	0,72	0,88
32112	0,60	0,72	0,66
32113	0,90	0,71	0,81
32114	0,51	0,64	0,58
32121	0,60	0,69	0,65
32122	0,80	0,66	0,73
32123	0,55	0,70	0,63
32124	0,60	0,68	0,64
32131	0,57	0,63	0,60
32132	0,58	0,69	0,63
32133	0,65	0,68	0,67
32134	0,63	0,70	0,67
32141	0,69	0,67	0,68
32142	0,66	0,68	0,67
32143	0,62	0,68	0,65
32144	0,69	0,64	0,67
32211	0,91	0,85	0,88
32212	0,87	0,77	0,82
32213	0,92	0,82	0,87
32214	1,06	0,79	0,92
32231	0,82	0,80	0,81
32222	0,96	0,76	0,86
32223	1,17	0,74	0,95
32224	0,70	0,79	0,75
32231	0,76	0,78	0,77
32232	0,75	0,82	0,79
32233	0,81	0,72	0,76
32234	0,75	0,77	0,76
32241	0,62	0,82	0,72
32242	0,54	0,68	0,61
32243	0,86	0,80	0,83
32244	0,92	0,70	0,81
32311	0,96	0,94	0,95
32312	0,83	0,95	0,89
32313	1,31	0,92	1,12
32314	1,05	0,93	0,99
32321	1,18	0,86	1,02
32322	1,20	0,95	1,08
32323	1,44	0,90	1,17
32324	1,34	0,83	1,08
32331	1,41	0,91	1,16
32332	1,29	0,86	1,08
32333	1,16	0,82	0,99
32334	1,60	1,08	1,34
32341	0,88	0,92	0,90
32342	1,10	1,05	1,07
32343	1,48	0,84	1,16
32344	1,89	1,23	1,56
32411	1,29	0,82	1,06
32412	1,04	1,33	1,19
32413	1,35	1,13	1,24
32414	1,96	1,35	1,65
32421	1,46	1,03	1,24
32422	1,92	1,38	1,65
32423	1,57	1,15	1,36
32424	1,86	1,35	1,60
32431	1,56	1,04	1,30
32432	1,78	1,25	1,51
32433	1,79	1,25	1,52
32434	1,76	1,24	1,50
32441	1,56	1,22	1,39
32442	1,78	1,29	1,54
32443	1,53	1,09	1,31
32444	1,92	1,43	1,67

EK-1 (Devam) Parametrelere bağılı olarak elde edilen tablo değerleri

Çizelge 1.11. 2,5 mm, 3500 W için delik çapları

Delik No	Delik Alt Çapı (mm)	Delik Üst Çapı (mm)	Ortalama Delik Çapı (mm)
33111	0.72	0.76	0.74
33112	1.11	0.94	1.02
33113	1.12	0.92	1.02
33114	1.21	0.98	1.10
33121	0.95	0.76	0.86
33122	1.30	0.97	1.14
33123	1.14	0.71	0.93
33124	1.02	0.70	0.86
33131	1.16	0.82	0.99
33132	1.10	0.69	0.90
33133	1.15	0.77	0.96
33134	1.15	0.73	0.94
33141	0.98	0.86	0.92
33142	1.07	0.83	0.95
33143	1.21	0.85	1.03
33144	1.35	0.84	1.09
33211	1.26	1.02	1.14
33212	1.29	1.00	1.15
33213	1.37	1.02	1.20
33214	1.33	0.95	1.14
33231	1.15	0.95	1.05
33222	1.51	0.91	1.21
33223	0.89	0.94	0.92
33224	1.32	0.95	1.14
33231	1.13	0.91	1.02
33232	1.31	0.93	1.12
33233	1.55	0.86	1.21
33234	1.29	0.87	1.08
33241	1.06	0.93	1.00
33242	1.20	0.91	1.05
33243	1.21	0.89	1.05
33244	1.23	0.95	1.09
33311	1.33	1.21	1.27
33312	1.30	1.24	1.27
33313	1.44	1.24	1.34
33314	1.43	1.13	1.28
33321	1.40	1.16	1.28
33322	1.50	1.12	1.31
33323	1.24	1.22	1.23
33324	1.55	1.08	1.31
33331	1.53	1.07	1.30
33332	1.49	1.09	1.29
33333	1.43	1.03	1.23
33334	1.92	1.06	1.49
33341	1.47	1.02	1.24
33342	1.33	1.03	1.18
33343	1.36	1.04	1.20
33344	1.28	1.05	1.16
33411	1.69	1.23	1.46
33412	1.42	1.15	1.28
33413	1.30	1.24	1.27
33414	1.38	1.24	1.31
33421	1.81	1.31	1.56
33422	1.69	1.32	1.50
33423	1.88	1.28	1.58
33424	1.62	1.24	1.43
33432	1.56	1.20	1.38
33432	1.54	1.21	1.38
33433	1.52	1.23	1.37
33434	1.54	1.25	1.39
33441	1.72	1.20	1.46
33442	1.63	1.22	1.42
33443	1.65	1.14	1.40
33444	1.65	1.17	1.41

EK-1 (Devam) Parametrelere bağılı olarak elde edilen tablo değerleri

Çizelge 1.12. 2,5 mm, 4000 W için delik çapları

Delik No	Delik Alt Çapı (mm)	Delik Üst Çapı (mm)	Ortalama Delik Çapı (mm)
34111	1,15	0,80	0,98
34112	1,17	0,74	0,96
34113	1,13	0,78	0,96
34114	1,02	0,78	0,90
34121	1,02	0,72	0,87
34122	1,31	0,72	1,01
34123	1,03	0,72	0,87
34124	0,80	0,74	0,77
34131	1,02	0,86	0,94
34132	1,15	0,77	0,96
34134	0,94	0,99	0,97
34134	0,68	0,76	0,72
34141	1,12	0,81	0,97
34142	1,05	0,75	0,90
34143	1,12	0,72	0,92
34144	1,06	0,78	0,92
34211	1,30	0,90	1,10
34212	1,32	0,88	1,10
34213	1,23	0,85	1,04
34214	1,13	0,93	1,03
34231	1,17	0,80	0,99
34222	0,94	0,88	0,91
34223	1,11	0,91	1,01
34224	1,13	0,89	1,01
34231	1,35	0,87	1,11
34232	1,29	0,85	1,07
34233	1,11	0,85	0,98
34234	1,25	0,89	1,07
34241	1,26	0,98	1,12
34242	1,34	0,97	1,15
34243	1,26	0,98	1,12
34244	1,24	0,97	1,11
34311	1,69	1,12	1,41
34312	1,50	1,15	1,33
34313	1,47	1,08	1,28
34314	1,28	1,14	1,21
34321	1,43	1,04	1,24
34322	1,26	0,96	1,11
34323	1,25	1,02	1,14
34324	1,65	1,02	1,34
34331	1,59	1,06	1,32
34332	1,43	1,08	1,25
34333	1,40	1,03	1,21
34334	1,40	1,09	1,24
34341	1,48	1,02	1,25
34342	1,58	1,05	1,32
34343	1,46	1,04	1,25
34344	1,51	1,10	1,30
34411	1,58	1,31	1,44
34412	1,75	1,25	1,50
34413	1,45	1,36	1,41
34414	1,46	1,35	1,41
34421	1,50	1,28	1,39
34422	1,41	1,22	1,32
34423	1,65	1,17	1,41
34424	1,49	1,12	1,30
34432	1,89	1,17	1,53
34432	1,75	1,03	1,39
34433	1,72	1,13	1,42
34434	1,77	1,11	1,44
34441	1,53	1,15	1,34
34442	1,51	1,24	1,37
34443	1,47	1,17	1,32
34444	1,67	1,24	1,46

EK-1 (Devam) Parametrelere bağılı olarak elde edilen tablo değerleri

Çizelge 1.13. 4 mm, 2500 W için delik çapları

Delik No	Delik Alt Çapı (mm)	Delik Üst Çapı (mm)	Ortalama Delik Çapı (mm)
41111	0,61	0,93	0,77
41112	0,53	1,10	0,81
41113	0,71	0,88	0,80
41114	0,83	0,84	0,83
41121	0,65	1,00	0,83
41122	0,62	0,77	0,69
41123	0,53	1,03	0,78
41124	0,73	0,99	0,86
41131	0,71	1,00	0,86
41132	0,80	0,93	0,86
41133	0,67	1,07	0,87
41134	0,70	0,99	0,84
41141	0,57	1,14	0,86
41142	0,52	1,14	0,83
41143	0,63	1,13	0,88
41144	0,55	0,98	0,76
41211	0,92	1,05	0,99
41212	0,83	1,08	0,95
41213	0,68	1,10	0,89
41214	0,88	1,02	0,95
41231	0,71	1,11	0,91
41222	0,77	1,08	0,93
41223	0,56	0,87	0,72
41224	0,85	1,08	0,97
41231	0,84	1,05	0,94
41232	0,88	1,02	0,95
41233	0,73	0,93	0,83
41234	0,91	0,99	0,95
41241	0,77	0,95	0,86
41242	0,81	0,76	0,78
41243	0,97	0,87	0,92
41244	0,90	0,76	0,83
41311	1,06	0,77	0,91
41312	0,95	0,71	0,83
41313	1,06	0,67	0,87
41314	1,08	0,81	0,95
41321	1,03	0,78	0,91
41322	1,02	0,76	0,89
41323	1,06	0,76	0,91
41324	0,98	0,68	0,83
41331	1,13	0,96	1,04
41332	0,91	1,08	1,00
41333	1,02	0,65	0,84
41334	0,91	1,08	0,99
41341	0,91	1,00	0,95
41342	1,01	0,93	0,97
41343	1,02	0,94	0,98
41344	1,06	0,73	0,89
41411	0,87	0,68	0,77
41412	0,76	0,75	0,75
41413	0,93	0,74	0,83
41414	1,01	0,79	0,90
41421	0,85	0,74	0,80
41422	0,57	0,78	0,67
41423	0,93	0,74	0,83
41424	0,92	0,78	0,85
41431	0,76	0,75	0,75
41432	0,99	0,76	0,88
41433	0,90	0,76	0,83
41434	0,88	0,79	0,84
41441	0,98	0,79	0,89
41442	1,01	0,85	0,93
41443	0,83	0,78	0,80
41444	0,77	0,87	0,82

EK-1 (Devam) Parametrelere bağılı olarak elde edilen tablo değerleri

Çizelge 1.14. 4 mm, 3000 W için delik çapları

Delik No	Delik Alt Çapı (mm)	Delik Üst Çapı (mm)	Ortalama Delik Çapı (mm)
42111	0,49	0,83	0,66
42112	0,85	0,85	0,85
42113	0,91	0,78	0,85
42114	0,78	0,77	0,77
42121	0,74	0,81	0,78
42122	0,86	0,83	0,85
42123	0,83	0,76	0,80
42124	0,91	0,80	0,86
42131	0,77	0,78	0,77
42132	0,83	0,80	0,81
42133	0,95	0,77	0,86
42134	0,95	0,87	0,91
42141	0,76	0,89	0,83
42142	0,93	0,73	0,83
42143	0,37	0,82	0,60
42144	0,78	0,75	0,76
42211	0,87	0,68	0,77
42212	0,79	0,66	0,72
42213	0,77	0,69	0,73
42214	0,59	0,68	0,63
42231	0,70	0,83	0,76
42222	0,81	0,68	0,75
42223	0,69	0,72	0,71
42224	0,87	0,68	0,77
42231	0,65	0,95	0,80
42232	0,46	0,92	0,69
42233	0,62	1,04	0,83
42234	0,44	1,04	0,74
42241	0,42	1,01	0,72
42242	0,37	1,02	0,70
42243	0,50	0,81	0,65
42244	0,48	0,93	0,71
42311	1,04	0,63	0,83
42312	0,96	1,09	1,03
42313	0,97	0,66	0,81
42314	0,95	0,66	0,80
42321	0,50	1,30	0,90
42322	0,55	1,20	0,88
42323	0,64	1,08	0,86
42324	0,79	1,69	1,24
42331	0,97	1,44	1,21
42332	0,66	1,29	0,98
42333	0,60	1,30	0,95
42334	1,19	1,16	1,18
42341	1,15	1,11	1,13
42342	1,03	1,09	1,06
42343	1,62	1,95	1,78
42344	1,79	1,81	1,80
42411	1,52	1,27	1,39
42412	1,54	1,32	1,43
42413	1,71	1,05	1,38
42414	1,40	1,04	1,22
42421	1,73	1,22	1,48
42422	1,58	1,09	1,33
42423	1,66	1,37	1,52
42424	1,63	1,70	1,66
42431	1,56	1,23	1,40
42432	1,79	1,17	1,48
42433	1,10	2,43	1,76
42434	1,25	2,04	1,65
42441	1,60	2,15	1,87
42442	1,44	2,06	1,75
42443	1,68	1,99	1,83
42444	1,60	1,74	1,67

EK-1 (Devam) Parametrelere bağılı olarak elde edilen tablo değerleri

Çizelge 1.15. 4 mm, 3500 W için delik çapları

Delik No	Delik Alt Çapı (mm)	Delik Üst Çapı (mm)	Ortalama Delik Çapı (mm)
43111	1,29	0,91	1,10
43112	1,32	0,97	1,15
43113	0,65	0,98	0,82
43114	1,01	0,87	0,94
43121	1,71	1,13	1,42
43122	1,72	1,18	1,45
43123	0,75	0,85	0,80
43124	0,58	0,92	0,75
43131	0,51	0,93	0,72
43132	0,55	0,93	0,74
43133	0,57	1,09	0,83
43134	0,52	0,82	0,67
43141	0,54	1,15	0,84
43142	0,55	0,99	0,77
43143	0,53	1,12	0,83
43144	0,56	1,00	0,78
43211	0,89	0,82	0,86
43212	0,53	0,93	0,73
43213	0,63	0,88	0,75
43214	0,84	0,90	0,87
43231	0,68	0,96	0,82
43222	0,67	0,85	0,76
43223	0,99	0,93	0,96
43224	0,96	0,93	0,94
43231	0,59	1,00	0,79
43232	0,63	1,21	0,92
43233	0,54	0,95	0,74
43234	0,55	1,00	0,78
43241	0,52	0,99	0,75
43242	0,51	0,93	0,72
43243	0,97	1,02	1,00
43244	0,83	0,96	0,90
43311	1,03	0,98	1,01
43312	1,13	0,96	1,04
43313	1,07	0,98	1,03
43314	0,86	1,10	0,98
43321	0,89	1,03	0,96
43322	0,90	1,05	0,97
43323	0,64	1,11	0,88
43324	1,13	0,96	1,04
43331	1,01	1,06	1,04
43332	1,09	1,04	1,07
43333	1,13	1,03	1,08
43334	1,05	1,12	1,08
43341	1,00	1,09	1,05
43342	0,97	1,15	1,06
43343	1,30	1,06	1,18
43344	1,30	0,99	1,14
43411	1,19	1,83	1,51
43412	1,33	1,45	1,39
43413	1,37	1,11	1,24
43414	1,47	1,03	1,25
43421	1,12	1,17	1,15
43422	1,44	1,14	1,29
43423	1,61	1,11	1,36
43424	1,16	1,10	1,13
43431	1,40	1,13	1,27
43432	1,35	1,06	1,21
43433	1,42	1,10	1,26
43434	1,39	1,14	1,26
43441	1,49	1,22	1,36
43442	1,23	1,37	1,30
43443	1,29	1,29	1,29
43444	1,41	1,19	1,30

EK-1 (Devam) Parametrelere bağılı olarak elde edilen tablo değerleri

Çizelge 1.16. 4 mm, 4000 W için delik çapları

Delik No	Delik Alt Çapı (mm)	Delik Üst Çapı (mm)	Ortalama Delik Çapı (mm)
44111	0,79	0,91	0,85
44112	0,60	0,92	0,76
44113	0,63	0,98	0,80
44114	0,64	1,00	0,82
44121	0,53	0,98	0,75
44122	0,51	1,03	0,77
44123	0,69	1,05	0,87
44124	0,61	1,04	0,83
44131	0,54	1,11	0,83
44132	0,54	1,07	0,81
44133	1,06	1,11	1,08
44134	0,62	1,09	0,86
44141	0,79	1,06	0,92
44142	1,03	1,01	1,02
44143	0,62	1,24	0,93
44144	0,65	1,05	0,85
44211	0,71	0,94	0,82
44212	0,76	1,01	0,88
44213	0,68	0,90	0,79
44214	0,86	0,83	0,85
44231	1,18	0,67	0,93
44222	0,95	0,80	0,87
44223	0,79	0,96	0,87
44224	0,84	0,97	0,90
44231	1,08	0,96	1,02
44232	0,74	1,06	0,90
44233	1,10	1,07	1,09
44234	0,84	0,97	0,91
44241	1,12	0,72	0,92
44242	0,76	1,10	0,93
44243	0,66	1,09	0,87
44244	0,80	0,76	0,78
44311	1,29	0,98	1,14
44312	1,26	1,00	1,13
44313	1,03	0,93	0,98
44314	1,15	0,93	1,04
44321	1,07	1,01	1,04
44322	0,97	1,04	1,01
44323	1,26	1,05	1,15
44324	1,11	0,99	1,05
44331	1,16	1,03	1,09
44332	1,31	0,91	1,11
44333	1,19	0,83	1,01
44334	1,33	0,95	1,14
44341	1,10	1,05	1,07
44342	1,09	0,92	1,00
44343	1,38	1,04	1,21
44344	1,35	0,90	1,12
44411	1,52	1,06	1,29
44412	1,39	1,02	1,20
44413	1,30	1,04	1,17
44414	1,38	1,10	1,24
44421	1,44	0,97	1,20
44422	1,42	0,90	1,16
44423	1,62	0,91	1,26
44424	1,37	1,07	1,22
44431	1,37	0,80	1,08
44432	1,36	0,81	1,09
44433	1,47	0,96	1,21
44434	1,23	1,01	1,12
44441	1,39	1,03	1,21
44442	1,40	0,98	1,19
44443	1,38	1,03	1,20
44444	1,37	0,96	1,16

EK-1 (Devam) Parametrelere bağılı olarak elde edilen tablo değerleri

Çizelge 1.17. 1,2 mm, 10 parametre 5 delik için delik çapları

Delik No 1.2 mm	Delik Alt Çapı (mm)	Delik Üst Çapı (mm)	Delik Orta Çapı (mm)	Üç Ortalama Delik Çapı (mm)
11444_1 *	1,07	1,14	0,83	1,01
11444_2	1,52	1,17	0,83	1,17
11444_3	1,27	1,17	0,84	1,09
11444_4	1,57	1,20	0,79	1,19
11444_5	1,51	1,24	0,80	1,18
14413_1	1,66	1,29	0,85	1,27
14413_2	1,08	1,31	1,05	1,15
14413_3	1,59	1,31	0,75	1,22
14413_4	1,65	1,29	0,82	1,26
14413_5	1,61	1,25	0,91	1,26
14313_1	1,54	1,33	0,92	1,26
14313_2	1,64	1,25	0,85	1,25
14313_3	1,47	1,18	0,74	1,13
14313_4	1,45	1,18	0,63	1,09
14313_5	1,59	1,19	1,31	1,36
13312_1	1,63	1,37	0,97	1,32
13312_2	1,69	1,36	0,79	1,28
13312_3	1,77	1,30	0,98	1,35
13312_4	1,31	1,35	1,20	1,29
13312_5	1,53	1,39	0,75	1,23
11214_1	1,35	1,15	0,84	1,11
11214_2	1,42	1,11	0,78	1,11
11214_3	1,34	1,10	0,76	1,07
11214_4	1,36	1,19	0,71	1,09
11214_5	1,10	1,16	0,77	1,01
11111_1	1,06	0,99	0,60	0,88
11111_2	1,21	1,03	0,56	0,93
11111_3	1,13	0,97	0,55	0,89
11111_4	0,93	0,89	0,50	0,77
11111_5	0,98	0,97	0,86	0,94
12122_1	1,24	0,88	0,44	0,85
12122_2	1,01	1,06	0,39	0,82
12122_3	1,06	1,05	0,44	0,85
12122_4	1,17	1,01	0,42	0,87
12122_5	1,22	1,03	0,53	0,92
12142_1	1,01	0,82	0,00	0,61
12142_2	1,06	0,82	0,40	0,76
12142_3	0,81	0,80	0,48	0,70
12142_4	0,99	0,77	0,53	0,76
12142_5	0,82	0,76	0,87	0,82
13123_1	0,99	0,85	0,34	0,73
13123_2	1,01	0,82	0,47	0,77
13123_3	1,04	0,86	0,34	0,75
13123_4	0,92	0,85	0,40	0,72
13123_5	0,97	0,81	0,52	0,77
13141_1	1,11	0,82	0,00	0,97
13141_2	0,90	0,81	0,51	0,74
13141_3	1,04	0,81	0,58	0,81
13141_4	1,04	0,83	0,52	0,80
13141_5	1,28	0,80	0,85	0,97

*: 11444 numaralı parametrenin 1 numaralı deliği.

EK-1 (Devam) Parametrelere bağılı olarak elde edilen tablo değerleri

Çizelge 1.18. 2 mm, 10 parametre 5 delik için delik çapları

Delik No 2 mm	Delik Alt Çapı (mm)	Delik Üst Çapı (mm)	Delik Orta Çapı (mm)	Üç Ortalama Delik Çapı (mm)
21444_1	1,48	1,11	0,71	1,10
21444_2	1,28	1,27	0,77	1,10
21444_3	1,23	1,31	0,79	1,11
21444_4	1,20	1,32	0,85	1,13
21444_5	1,19	1,30	0,79	1,10
24413_1	1,43	1,08	0,61	1,04
24413_2	1,41	1,05	0,64	1,03
24413_3	1,35	1,10	0,67	1,04
24413_4	1,50	1,04	0,63	1,06
24413_5	1,30	1,00	0,56	0,96
24313_1	1,17	0,93	0,61	0,90
24313_2	1,18	0,87	0,60	0,88
24313_3	1,14	0,90	0,65	0,90
24313_4	1,20	0,85	0,59	0,88
24313_5	1,14	0,89	0,62	0,89
23312_1	1,33	1,17	0,87	1,12
23312_2	1,24	1,11	0,79	1,05
23312_3	1,36	1,10	0,75	1,07
23312_4	1,47	1,31	0,72	1,17
23312_5	1,39	1,07	0,71	1,06
21214_1	1,30	1,07	0,34	0,90
21214_2	0,92	1,12	0,53	0,86
21214_3	1,00	1,13	0,60	0,91
21214_4	1,27	1,04	0,79	1,03
21214_5	0,89	1,27	0,72	0,96
21111_1	0,85	0,73	0,47	0,68
21111_2	0,80	0,75	0,51	0,69
21111_3	0,76	0,73	0,52	0,67
21111_4	0,83	0,63	0,42	0,63
21111_5	0,96	0,72	0,42	0,70
22122_1	0,99	0,70	0,42	0,70
22122_2	0,86	0,71	0,40	0,66
22122_3	0,95	0,69	0,42	0,69
22122_4	0,83	0,72	0,34	0,63
22122_5	0,92	0,66	0,29	0,62
22142_1	0,57	0,71	0,28	0,52
22142_2	0,57	0,78	0,45	0,60
22142_3	0,66	0,72	0,51	0,63
22142_4	0,72	0,75	0,45	0,64
22142_5	0,56	0,81	0,45	0,61
23123_1	0,61	0,81	0,54	0,66
23123_2	0,59	0,74	0,48	0,60
23123_3	0,53	0,75	0,60	0,62
23123_4	0,65	0,82	0,46	0,64
23123_5	0,65	0,75	0,39	0,60
23141_1	0,84	0,84	0,50	0,72
23141_2	0,79	0,87	0,61	0,76
23141_3	0,91	0,74	0,49	0,71
23141_4	0,90	0,75	0,40	0,68
23141_5	0,80	0,79	0,37	0,65

EK-1 (Devam) Parametrelere bağılı olarak elde edilen tablo değerleri

Çizelge 1.19. 2,5 mm, 10 parametre 5 delik için çap değerleri

Delik No 2,5 mm	Delik Alt Çapı (mm)	Delik Üst Çapı (mm)	Delik Orta Çapı (mm)	Üç Ortalama Delik Çapı (mm)
31444_1	1,25	1,25	0,74	1,08
31444_2	1,17	1,40	0,98	1,18
31444_3	1,41	1,35	0,77	1,17
31444_4	1,60	1,25	0,69	1,18
31444_5	1,29	1,24	0,64	1,06
34413_1	1,65	1,05	0,81	1,17
34413_2	1,57	1,10	0,74	1,14
34413_3	1,53	1,04	0,74	1,10
34413_4	1,52	1,04	0,69	1,08
34413_5	1,83	1,88	0,95	1,55
34313_1	1,30	1,01	0,62	0,98
34313_2	1,32	0,89	0,65	0,95
34313_3	1,28	0,88	0,62	0,93
34313_4	1,47	0,94	0,66	1,02
34313_5	1,36	0,90	0,62	0,96
33312_1	1,37	1,25	0,76	1,12
33312_2	1,56	1,15	0,86	1,19
33312_3	1,36	1,22	0,77	1,12
33312_4	1,46	1,11	0,75	1,11
33312_5	1,43	1,14	0,68	1,08
31214_1	1,46	1,17	0,64	1,09
31214_2	1,37	1,18	0,59	1,05
31214_3	0,82	1,11	0,64	0,86
31214_4	1,22	1,13	0,57	0,97
31214_5	1,01	1,21	0,49	0,91
31111_1	1,00	0,76	0,36	0,71
31111_2	0,92	0,74	0,40	0,69
31111_3	0,79	0,79	0,45	0,68
31111_4	0,89	0,78	0,44	0,71
31111_5	0,84	0,77	0,43	0,68
32122_1	0,93	0,76	0,44	0,71
32122_2	0,96	0,72	0,41	0,70
32122_3	0,91	0,71	0,37	0,66
32122_4	0,94	0,75	0,48	0,72
32122_5	0,92	0,74	0,47	0,71
32142_1	0,92	0,72	0,00	0,55
32142_2	0,64	0,76	0,45	0,62
32142_3	0,48	0,78	0,50	0,58
32142_4	0,74	0,77	0,56	0,69
32142_5	0,93	0,98	0,68	0,86
33123_1	0,86	0,79	0,38	0,68
33123_2	0,87	0,80	0,39	0,69
33123_3	0,77	0,81	0,38	0,65
33123_4	0,81	0,72	0,32	0,62
33123_5	0,74	0,81	0,23	0,60
33141_1*	0,00	0,00	0,00	0,00
33141_2	0,00	0,00	0,00	0,00
33141_3	0,00	0,00	0,00	0,00
33141_4	0,00	0,00	0,00	0,00
33141_5	0,00	0,00	0,00	0,00

*: Bu parametre için düzgün delik oluşmadığı için ölçüm alınamamıştır.

EK-1 (Devam) Parametrelere bağılı olarak elde edilen tablo değerleri

Çizelge 1.20. 4 mm, 10 parametre 5 delik için çap değerleri

Delik No 4 mm	Delik Alt Çapı (mm)	Delik Üst Çapı (mm)	Delik Orta Çapı (mm)	Üç Ortalama Delik Çapı (mm)
41444_1 *	0,00	1,79	0,00	0,00
41444_2	1,20	2,47	1,26	1,64
41444_3	1,33	2,03	1,41	1,59
41444_4	1,12	1,64	1,02	1,26
41444_5	1,38	1,97	1,03	1,46
44413_1	1,62	1,03	0,73	1,13
44413_2	1,36	1,31	0,72	1,13
44413_3	1,48	1,20	0,66	1,12
44413_4	1,39	1,17	0,57	1,04
44413_5	1,30	1,42	0,66	1,13
44313_1	0,00	0,00	0,00	0,00
44313_2	1,40	0,90	0,64	0,98
44313_3	1,42	0,89	0,64	0,98
44313_4	1,52	1,00	0,54	1,02
44313_5	1,52	0,94	0,52	0,99
43312_1	1,37	0,99	0,65	1,00
43312_2	1,54	0,94	0,62	1,03
43312_3	1,47	0,97	0,59	1,01
43312_4	1,41	0,92	0,61	0,98
43312_5	1,19	0,91	0,55	0,88
41214_1	1,20	0,91	0,59	0,90
41214_2	1,02	0,90	0,59	0,84
41214_3	1,30	0,91	0,70	0,97
41214_4	1,31	0,87	0,57	0,92
41214_5	1,24	0,92	0,55	0,90
41111_1	0,67	0,73	0,57	0,66
41111_2	0,88	0,78	0,48	0,71
41111_3	1,03	0,77	0,67	0,82
41111_4	0,99	0,76	0,51	0,75
41111_5	1,04	0,91	0,61	0,85
42122_1	0,68	0,87	0,61	0,72
42122_2	0,63	0,84	0,50	0,66
42122_3	0,55	0,93	0,61	0,70
42122_4	0,59	1,09	0,63	0,77
42122_5	0,52	1,07	0,43	0,67
42142_1	0,56	1,00	0,56	0,71
42142_2	0,62	1,04	0,50	0,72
42142_3	0,55	1,03	0,48	0,69
42142_4	0,58	1,22	0,53	0,78
42142_5	0,55	1,20	0,51	0,75
43123_1	0,90	0,96	0,63	0,83
43123_2	0,84	0,94	0,55	0,78
43123_3	0,81	0,88	0,58	0,76
43123_4	0,83	1,00	0,57	0,80
43123_5	0,83	1,05	0,56	0,81
43141_1	0,76	0,91	0,49	0,72
43141_2	0,83	1,01	0,61	0,82
43141_3	1,46	0,93	0,00	0,79
43141_4	0,81	1,07	0,59	0,83
43141_5	0,77	0,97	0,48	0,74

*: 41444 numaralı parametre için delik alt ve orta noktasında düzgün kesit oluşmadığından ölçüm alınamamıştır.

EK-1 (Devam) Parametrelere bağılı olarak elde edilen tablo değerleri

Çizelge 1.21. 1,2 mm için delik kesitlerinden ölçülen yeniden katılaştıran bölge ve ITAB büyüklükleri

Delik No 1.2 mm	Yeniden Katılaştıran Bölge Büyüklüğü (mm)	ITAB Büyüklüğü (mm)	Üç Ortalama Delik Çapı (mm)
11444_2	0,06	0,28	1,17
11444_3	0,06	0,23	1,09
11444_4	0,03	0,16	1,19
11444_5	0,04	0,17	1,18
14413_2	0,04	0,31	1,15
14413_3	0,03	0,21	1,22
14413_4	0,04	0,21	1,26
14413_5	0,05	0,31	1,26
14313_2	0,05	0,25	1,25
14313_3	0,07	0,23	1,13
14313_4	0,07	0,30	1,09
11214_2	0,03	0,23	1,36
11214_3	0,03	0,18	1,07
11214_4	0,04	0,17	1,09
11214_5	0,04	0,18	1,01
11111_2	0,04	0,12	0,93
11111_3	0,03	0,18	0,89
11111_4	0,06	0,12	0,77
11111_5	0,04	0,19	0,94

EK-1 (Devam) Parametrelere bağılı olarak elde edilen tablo değerleri

Çizelge 1.22. 2 mm için delik kesitlerinden ölçülen yeniden katılaşılan bölge ve ITAB büyüklükleri

Delik No 2 mm	Yeniden Katılaşılmış Bölge Büyüklüğü (mm)	ITAB Büyüklüğü (mm)	Üç Ortalama Delik Çapı (mm)
21444_2	0,04	0,23	1,10
21444_3	0,03	0,18	1,11
21444_5	0,04	0,17	1,10
24413_2	0,05	0,18	1,03
24413_3	0,05	0,24	1,04
24413_4	0,05	0,22	1,06
24413_5	0,11	0,22	0,96
24313_2	0,02	0,05	0,88
24313_3	0,05	0,21	0,90
24313_4	0,13	0,16	0,88
24313_5	0,10	0,24	0,89
21214_1	0,03	0,22	0,90
21214_2	0,03	0,26	0,86
21214_3	0,03	0,24	0,91
21214_4	0,03	0,27	1,03
21214_5	0,04	0,26	0,96
21111_2	0,02	0,15	0,69
21111_3	0,02	0,17	0,67
21111_4	0,02	0,16	0,63
21111_5	0,02	0,20	0,70

EK-1 (Devam) Parametrelere bağılı olarak elde edilen tablo değerleri

Çizelge 1.23. 2,5 mm için delik kesitlerinden ölçülen yeniden katılan bölge ve ITAB büyüklükleri

Delik No 2.5 mm	Yeniden Katılmış Bölge Büyüklüğü (mm)	ITAB Büyüklüğü (mm)	Üç Ortalama Delik Çapı (mm)
31444_3	0,07	0,23	1,17
31444_4	0,07	0,25	1,18
31444_5	0,04	0,14	1,06
34413_3	0,09	0,24	1,10
34413_4	0,07	0,26	1,08
34413_5	0,05	0,28	1,55
34313_2	0,05	0,08	0,95
34313_3	0,06	0,21	0,93
34313_4	0,09	0,18	1,02
34313_5	0,06	0,24	0,96
31214_1	0,03	0,14	1,09
31214_2	0,07	0,11	1,05
31214_3	0,06	0,17	0,86
31214_4	0,07	0,14	0,97
31214_5	0,05	0,15	0,91
31111_1	0,04	0,09	0,71
31111_2	0,04	0,18	0,69
31111_3	0,02	0,16	0,68
31111_4	0,07	0,14	0,71
31111_5	0,04	0,13	0,68

EK-1 (Devam) Parametrelere bağılı olarak elde edilen tablo değerleri

Çizelge 1.24. 4 mm için delik kesitlerinden ölçülen yeniden katılaştıran bölge ve ITAB büyüklükleri

Delik No 4 mm	Yeniden Katılaştıran Bölge Büyüklüğü (mm)	ITAB Büyüklüğü (mm)	Üç Ortalama Delik Çapı (mm)
41444_2	0,04	0,11	1,64
41444_3	0,08	0,22	1,59
41444_4	0,12	0,20	1,26
41444_5	0,09	0,17	1,46
44413_2	0,08	0,19	1,13
44413_3	0,05	0,19	1,12
44413_4	0,07	0,19	1,04
44413_5	0,09	0,19	1,13
44313_2	0,11	0,26	0,98
44313_3	0,11	0,24	0,98
44313_4	0,10	0,22	1,02
44313_5	0,07	0,21	0,99
41214_2	0,07	0,15	0,84
41214_3	0,09	0,20	0,97
41214_4	0,11	0,19	0,92
41214_5	0,06	0,15	0,90
41111_2	0,05	0,26	0,71
41111_3	0,06	0,15	0,82
41111_4	0,05	0,20	0,75
41111_5	0,04	0,18	0,85

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ERDOĞAN, Şenol
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 17.08.1982 Ankara
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (312) 345 45 15
Faks : -
e-mail : erciyes_06@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniv./Mak. Müh. Böl.	2002
Lisans	Erciyes Üniv./ Mak. Müh. Böl.	2000
Lise	Özel Muradiye Erkek Lisesi	1999

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005-	Ankara Metrosu	Önleyici Bakım Şefi

Yabancı Dil

İngilizce, Almanca

Hobiler

Futbol, Bilgisayar teknolojileri, Basketbol