

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇELİK MALZEMELERİN LASER KESİM
PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU**

Metalurji ve Malzeme Müh. Ersan YILMAZ

**FBE Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Üretim Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Cemalettin YAMAN YTÜ

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|--|-------|
| ŞEKİL LİSTESİ | i |
| ÇİZELGE LİSTESİ | iv |
| ÖNSÖZ | v |
| ÖZET | vi |
| ABSTRACT | vii |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. LASER FİZİĞİ | 3 |
| 2.1 Soğurulma , Yayınım ve Uyarılmış Yayınım..... | 4 |
| 2.2 Einstein Bağlıntıları | 5 |
| 2.3 Işınımın Soğurulması..... | 8 |
| 2.4 Eşik Şartları ve Laser Kayıpları..... | 9 |
| 3. LASER TANIMI VE YARARLI BİR ARAÇ OLARAK KULLANILMASI | 11 |
| 3.1 Laserin Çalışma Prensibi | 11 |
| 3.2 Laser Işınının Özellikleri | 12 |
| 3.3 Laser Türleri | 13 |
| 3.3.1 Katı Laserler | 13 |
| 3.3.2 Yarı İletken Laserler | 13 |
| 3.3.3 Gaz Laserleri..... | 15 |
| 3.3.4 Kimyasal Laserler | 15 |
| 3.3.5 Sıvı Laserler..... | 15 |
| 3.4 Laser Işınının Araç Olarak Kullanılması..... | 16 |
| 4. LASER ile KESME | 18 |
| 4.1 Kesme İşlemi | 18 |
| 4.2 Işın Dağıtımı | 19 |
| 4.3 Kesme Kalitesi..... | 21 |
| 4.4 İşlem Parametreleri..... | 22 |
| 4.4.1 Güç..... | 22 |
| 4.4.2 Kararlılık..... | 22 |
| 4.4.3 Hız | 23 |
| 4.4.4 Kesme Yardımcı Gazı | 23 |
| 4.4.5 Odak Pozisyonu..... | 23 |
| 4.5 Laserle Kesmenin Diğer Kesme İşlemleri ile Karşılaştırılması | 24 |

| | | |
|-----|---|----|
| 4.6 | Laserle Kesim Kriterleri | 24 |
| 4.7 | Laserle Kesim İşleminin Avantajları | 26 |
| 4.8 | Laserin Kullanıldığı Yerler | 27 |
| 4.9 | CNC Laser Kesme Tezgahları | 28 |
| 5. | YALIN KARBONLU ÇELİKLER | 30 |
| 6. | ÇELİĞİN KARBONDİOKSİT (CO ₂) LASERİ İLE KESİLMESİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR..... | 31 |
| 7. | DENEYSEL ÇALIŞMALAR..... | 41 |
| 7.1 | Giriş | 41 |
| 7.2 | Kesim Parametreleri | 44 |
| 7.3 | Yüzey Pürüzlülük İncelemeleri | 47 |
| 7.4 | Isıdan Etkilenen Bölge İncelemeleri..... | 72 |
| 7.5 | Mikro Yapı İncelemeleri | 78 |
| 7.6 | Sertlik İncelemeleri..... | 93 |
| 8. | SONUÇLAR | 80 |
| | KAYNAKLAR..... | 97 |
| | ÖZGEÇMİŞ..... | 98 |

ŞEKİL LİSTESİ

| | Sayfa |
|------------|--|
| Şekil 1.1 | Normal ışıkla laser ışını arasındaki fark 2 |
| Şekil 2.1 | Etki altındaki elektronların enerji geçişleri 3 |
| Şekil 2.2 | Soğurulma (absorbsion) olayı 4 |
| Şekil 2.3 | Anlık ve uyarılmış yayınım 5 |
| Şekil 3.1 | Şematik laser yapısı 11 |
| Şekil 3.2 | Katı cisim laser sistemi 14 |
| Şekil 3.3 | Kurşunlanmış tüplü gaz laseri 14 |
| Şekil 3.4 | Sıvı laser sistemi 15 |
| Şekil 3.5 | Laser ışın yoğunluğuna bağlı olarak laserin kullanım şekilleri 16 |
| Şekil 4.1 | Kesme işleminin şematik görünümü 18 |
| Şekil 4.2 | Işın dağıtımının şematik görünümü 20 |
| Şekil 4.3 | CNC laser kesme tezgahının şematik görünümü 29 |
| Şekil 6.1 | Güç ve kesme hızının üst kısım genişliği ile olan ilişkisi 31 |
| Şekil 6.2 | Güç ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğü ile olan ilişkisi 32 |
| Şekil 6.3 | Güç ve kesme hızının ısıdan etkilenen bölge ile olan ilişkisi 32 |
| Şekil 6.4 | Farklı kesim hızlarında laser gücünün ısı verimle olan ilişkisi 33 |
| Şekil 6.5 | Laserle kesilmiş parçanın alt ve üstten görünümü 34 |
| Şekil 6.6 | Laser kesim yüzeyinin optik ve tarama elektron mikroskobu ile oluşturulan görüntüleri 34 |
| Şekil 6.7 | Oksijen atmosferinde 3 mm'lik yalın karbonlu çelik için kabul edilebilir kaliteli kesim bölgesi 37 |
| Şekil 6.8 | Argon basıncının değişimiyle üst kısımda bulunan kesme kanalı arasındaki ilişki 38 |
| Şekil 6.9 | Argon basıncının değişimiyle cüruf oluşumu arasındaki ilişki 38 |
| Şekil 6.10 | Basıncı hava ile kesimde kesme kanalı genişliği ile kesme hızı arasındaki ilişki 39 |
| Şekil 6.11 | Basıncı hava ile kesimde kesme hızı ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki 39 |
| Şekil 6.12 | Basıncı hava ile kesimde cüruf oluşumu ile kesme hızı arasındaki ilişki 39 |
| Şekil 6.13 | 0,5-6 Bar gaz basınç aralığında ve 1400 W laser gücünde oksijenle kesimde elde edilen sonuçlar 40 |
| Şekil 7.1 | Numunelerin makro görüntüsü 42 |
| Şekil 7.2 | Deneyisel uygulamada kullanılan laser makinası (Trumpf TC L 3030-TLF 4000) 42 |
| Şekil 7.3 | Yüzey pürüzlülük eğrisi 48 |
| Şekil 7.4 | Yüzey pürüzlülük ölçüm aleti 48 |
| Şekil 7.5 | 3.1 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri 49 |
| Şekil 7.6 | 3.2 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri 50 |
| Şekil 7.7 | 3.3 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri 51 |
| Şekil 7.8 | 3.4 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri 52 |
| Şekil 7.9 | 3.6 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri 53 |
| Şekil 7.10 | 3.7 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri 54 |
| Şekil 7.11 | 3.8 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri 55 |
| Şekil 7.12 | 3.9 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri 56 |
| Şekil 7.13 | 3.10 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri 57 |
| Şekil 7.14 | 3.11 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri 58 |
| Şekil 7.15 | 3.12 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri 59 |
| Şekil 7.16 | 5.1 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri 60 |

| | | |
|------------|--|----|
| Şekil 7.17 | 5.2 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri | 61 |
| Şekil 7.18 | 5.3 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri | 62 |
| Şekil 7.19 | 5.4 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri | 63 |
| Şekil 7.20 | 5.5 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri | 64 |
| Şekil 7.21 | 5.6 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri | 65 |
| Şekil 7.22 | 5.7 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri | 66 |
| Şekil 7.23 | Oksijenle kesimde 3 mm'lik numunede laser gücü ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki | 68 |
| Şekil 7.24 | Oksijen ile kesimde 3 mm'lik numunede kesme hızı ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki | 68 |
| Şekil 7.25 | Oksijen ile kesimde 3 mm'lik numunede kesme gazı basıncı ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki | 69 |
| Şekil 7.26 | Basınçlı hava ile kesimde 3 mm'lik numunede laser gücü ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki | 69 |
| Şekil 7.27 | Basınçlı hava ile kesimde 3 mm'lik numunede kesme hızı ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki | 70 |
| Şekil 7.28 | Oksijenle kesimde 5 mm'lik numunede laser gücü ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki | 70 |
| Şekil 7.29 | Oksijenle kesimde 5 mm'lik numunede kesme hızı ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki | 71 |
| Şekil 7.30 | Oksijenle kesimde 5 mm'lik numunede kesme gaz basıncı ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki | 71 |
| Şekil 7.31 | Laserle kesimde ısıdan etkilenen bölgenin görünümü | 72 |
| Şekil 7.32 | Optik mikroskop görüntüsü | 72 |
| Şekil 7.33 | Oksijen atmosferinde 3 mm'lik numunede laser gücü ile ısıdan etkilenen bölge arasındaki ilişki | 74 |
| Şekil 7.34 | Oksijen atmosferinde 3 mm'lik numunede kesme hızı ile ısıdan etkilenen bölge arasındaki ilişki | 74 |
| Şekil 7.35 | Oksijen atmosferinde 3 mm'lik numunede kesme gazı basıncı ile ısıdan etkilenen bölge arasındaki ilişki | 75 |
| Şekil 7.36 | Hava atmosferinde 3 mm'lik numunede laser gücü ile ısıdan etkilenen bölge arasındaki ilişki | 75 |
| Şekil 7.37 | Hava atmosferinde 3 mm'lik numunede kesme hızı ile ısıdan etkilenen bölge arasındaki ilişki | 76 |
| Şekil 7.38 | Oksijen atmosferinde 5 mm'lik numunede laser gücü ile ısıdan etkilenen bölge arasındaki ilişki | 76 |
| Şekil 7.39 | Oksijen atmosferinde 5 mm'lik numunede kesme hızı ile ısıdan etkilenen bölge arasındaki ilişki | 77 |
| Şekil 7.40 | Oksijen atmosferinde 5 mm'lik numunede kesme gazı basıncı ile ısıdan etkilenen bölge arasındaki ilişki | 77 |
| Şekil 7.41 | Seçilen parametrelerde kesilemeyen numunenin görüntüsü | 78 |
| Şekil 7.42 | Isıdan etkilenen bölgenin mikroyapısı | 78 |
| Şekil 7.43 | 3.1 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü | 79 |
| Şekil 7.44 | 3.1 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü | 79 |
| Şekil 7.45 | 3.2 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü | 80 |
| Şekil 7.46 | 3.3 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü | 80 |

| | | |
|------------|--|----|
| Şekil 7.47 | 3.4 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü | 81 |
| Şekil 7.48 | 3.6 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü | 81 |
| Şekil 7.49 | 3.7 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü | 82 |
| Şekil 7.50 | 3.8 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü | 82 |
| Şekil 7.51 | 3.9 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü | 83 |
| Şekil 7.52 | 3.10 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü | 83 |
| Şekil 7.53 | 3.11 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü | 84 |
| Şekil 7.54 | 3.12 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü | 84 |
| Şekil 7.55 | 5.1 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü | 85 |
| Şekil 7.56 | 5.2 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü | 85 |
| Şekil 7.57 | 5.3 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü | 86 |
| Şekil 7.58 | 5.4 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü | 86 |
| Şekil 7.59 | 5.4 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 200X büyütmedeki görüntüsü | 87 |
| Şekil 7.60 | 5.5 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü | 87 |
| Şekil 7.61 | 5.6 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü | 88 |
| Şekil 7.62 | 5.6 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 200X büyütmedeki görüntüsü | 88 |
| Şekil 7.63 | 5.7 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü | 89 |
| Şekil 7.64 | 5.7 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 500X büyütmedeki görüntüsü | 89 |
| Şekil 7.65 | Laserle kesilmiş numunelerin dikey kesitte alınan stereo mikroskop görüntüleri | 90 |
| Şekil 7.66 | Laserle kesilmiş numunelerin dikey kesitte alınan stereo mikroskop görüntüleri | 91 |
| Şekil 7.67 | Laserle kesilmiş numunelerin dikey kesitte alınan stereo mikroskop görüntüleri | 92 |

ÇİZELGE LİSTESİ

| | Sayfa |
|---|-------|
| Çizelge 3.1 Genel olarak laserlerin kesme, kaynak, yüzey sertleştirme, alaşımlama, delme, kaplama ve sertleştirmede kullanılan özellikleri..... | 17 |
| Çizelge 4.1 Bazı laserlerin dalga boyları ve kullanım alanları | 28 |
| Çizelge 6.1 Laser kesme koşulları | 31 |
| Çizelge 6.2 Laser kesim parametreleri..... | 33 |
| Çizelge 6.3 Kesme esnasında sabit tutulan parametreler | 35 |
| Çizelge 6.4 40 mm/sn hızda 10 bar oksijen basıncındaki laser gücü etkileşimi..... | 36 |
| Çizelge 6.5 1 kW laser gücünde 10 bar oksijen basıncındaki kesme hızı etkileşimi..... | 36 |
| Çizelge 6.6 1.5 kW laser gücünde gaz basıncının maksimum kesme hızı ile olan ilişkisi .. | 37 |
| Çizelge 7.1 Kullanılan laser makinasının teknik özellikleri | 43 |
| Çizelge 7.2 Oksijen atmosferinde 3 mm kalınlıktaki çelik için belirlenmiş olan laser gücü parametreleri..... | 45 |
| Çizelge 7.3 Oksijen atmosferinde 3 mm kalınlıktaki çelik için belirlenmiş olan kesme hızı parametreleri | 45 |
| Çizelge 7.4 Oksijen atmosferinde 3 mm kalınlıktaki çelik için belirlenmiş olan kesme gazı basıncı parametreleri | 45 |
| Çizelge 7.5 Hava atmosferinde 3 mm kalınlıktaki çelik için belirlenmiş olan laser gücü parametreleri..... | 46 |
| Çizelge 7.6 Hava atmosferinde 3 mm kalınlıktaki çelik için belirlenmiş olan kesme hızı parametreleri..... | 46 |
| Çizelge 7.7 Oksijen atmosferinde 5 mm kalınlıktaki çelik için belirlenmiş olan laser güç parametreleri..... | 47 |
| Çizelge 7.8 Oksijen atmosferinde 5 mm kalınlıktaki çelik için belirlenmiş olan kesme hızı parametreleri..... | 47 |
| Çizelge 7.9 Oksijen atmosferinde 5 mm kalınlıktaki çelik için belirlenmiş olan kesme gazı basıncı parametreleri..... | 47 |
| Çizelge 7.10 Oksijen atmosferinde 3 mm kalınlıktaki çelik için ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri | 67 |
| Çizelge 7.11 Hava atmosferinde 3 mm kalınlıktaki çelik için ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri | 67 |
| Çizelge 7.12 Oksijen atmosferinde 5 mm kalınlıktaki çelik için ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri | 67 |
| Çizelge 7.13 Oksijen atmosferinde 3 mm kalınlıktaki çelikte ölçülen ısıdan etkilenen bölge büyüklükleri..... | 73 |
| Çizelge 7.14 Hava atmosferinde 3 mm kalınlıktaki çelik için ölçülen ısıdan etkilenen bölge büyüklükleri..... | 73 |
| Çizelge 7.15 Oksijen atmosferinde 5 mm kalınlıktaki çelik için ölçülen ısıdan etkilenen bölge büyüklükleri..... | 73 |
| Çizelge 7.16 Isı etkisinde kalan ve ısı etkisinde kalmayan bölgelerin sertlik karşılaştırması | 93 |

ÖNSÖZ

Yapılmış olan çalışmada değişen laser parametreleri ile laser kesimde ne gibi farklılıklar oluştuğu belirlenmeye çalışılmış, düşük karbonlu çeliklerin laser kesiminde kullanılacak laser parametrelerinin belirlenmesinde kaynak olabilmek amaçlanmıştır.

Bu amaçta benden yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Cemalettin YAMAN, Sayın Prof. Dr. Müzeyyen MARŞOĞLU başta olmak üzere, çalışmalarında beni sürekli destekleyen şefim Sayın Yük. Müh. Mehmet ARPAKÇI, çalışma arkadaşlarım Mümin GÜNEŞ, Ali DERİNGÖL, Bayram GÖDEK, Ümit AYDIN, Hasan BAĞÇI, Erhan MAZMAN'a, ölçümlerin yapılmasında yardımcı olan üniversite teknik personelinden Şevki ŞAHİN ve Mehmet ÇALIŞKAN' a, arkadaşlarım Aydın Burak BİÇER ve Kerem ÇELİK'e teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak yüksek lisans için beni cesaretlendiren ve en zor anlarımda yanımda olan aileme teşekkür ederim.

ÇELİK MALZEMELERİN LASER KESİM PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

Ersan YILMAZ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi

Günümüz endüstrisinde laser kesim uygulamaları giderek önem kazanmaktadır. Laser kesim tezgahları ile kesim işlemine maruz kalan metallerde daha iyi yüzey kalitesi elde edilmekte, üretimde hızlı kesim yapılabilmekte ve maliyetlerin aşağıya çekilmesi sağlanabilmektedir. Bu tezgahların endüstride kullanılması birçok kolaylığı da yanında getirmektedir.

Yapılmış olan bu çalışmada düşük karbonlu çelik malzemeler ayrı ayrı oksijen ve hava ortamlarında CO₂ laseri ile farklı güçlerde (900 W ile 4000 W aralığında), farklı kesme hızlarında (1 m/dk ile 10 m/dk aralığında) ve farklı gaz basınçları ile (0 bar ile 5 bar) kesilmiştir. Daha sonra kesilen numunelerin mikro yapıları ışık metal mikroskobunda incelenmiştir. Uygun kesim parametrelerinin belirlenmesi için numunelerin yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Mikroskop incelemeleri ve yüzey pürüzlülüğü incelemelerinde elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak nihai kesim parametreleri belirlenmiştir.

Lazer kesim tezgahları ile maliyetin önemli olduğu günümüzde, bu yöntem üretim esnasında hızlı kesim yapılabilmesi, kalıp gerektirmeden üretim yapılabilmesi ve minimum fire oranları ile önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Laser kesme, Çelik malzemeler, parametre, optimizasyon, Yüzey pürüzlülüğü

OPTIMISATION of LASER CUTTING PARAMETERS of STEEL SHEETS

Ersan YILMAZ

Metallurgical and Materials Engineering, M.S. Thesis

The practical application of laser is steadily increasing in industry owing to the recent developments in laser technology. Laser cut metals have much better surface finishing. Rapid manufacturing can be obtained and production costs can be decreased. A lot of conveniences have come with usage of laser machining tables in industry.

In this study, steel sheets are cut one by one different laser output powers (between 900 W - 4000W), different cutting speeds (between 1 m/min - 10 m/min) and different gas pressures (between 0 bar – 5 bar) at oxygen,nitrogen and air atmosphere. After that micro structures of laser cut parts examined with optic microscope. Surface roughness of laser cut parts measured and optimum laser cutting parameters are obtained.

Laser cutting has some advantages like rapid cutting during manufacturing, no required model and minimum material losses especially production costs have made important expenses in nowadays.

Keywords: Laser cutting, steel sheets, parameter, optimization, surface roughness

1.GİRİŞ

Laser İngilizce; Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (uyarılmış ışın yoluyla ışık kuvvetlendirilmesi) cümlesindeki kelimelerin baş harflerinin alınmasından türetilmiş bir kelimedir.

1960 senesinde ABD’de Theodore H. Maiman tarafından keşfedilmiştir. Normal ışık, değişik dalga boylarında, rengarenk, yani farklı faz ve frekansa sahip dalgalardan meydana gelir. Laser yüksek genlikli, aynı fazda, birbirine paralel, tek renkli, hemen hemen aynı frekanslı dalgalardan ibarettir.

Mühendislik açısından incelendiğinde laser ışınımı kaynak, kesme ve delme işlemlerinde önemli bir uygulama alanına sahiptir. Laser ile kesme işlemi laser ışınımının, kesilecek olan metal yüzeyinin kesim bölgesine yoğunlaşması şeklinde gerçekleşir. Kesme için en yaygın kullanılan laser türü karbondioksit laseridir. Bu kesme yöntemini ince ve kalın saclarda uygulamak mümkün olup, kalıp maliyetleri ortadan kaldırılıp, minimum fire oranı ile maliyetler aşağı çekilir.

Malzemelerin laserle kesimi sırasında çeşitli teknikler kullanılır. Bu teknikler buharlaştırma yöntemi ile kesme, ergiterek kesme ve yakarak kesme şeklinde sıralanabilir.

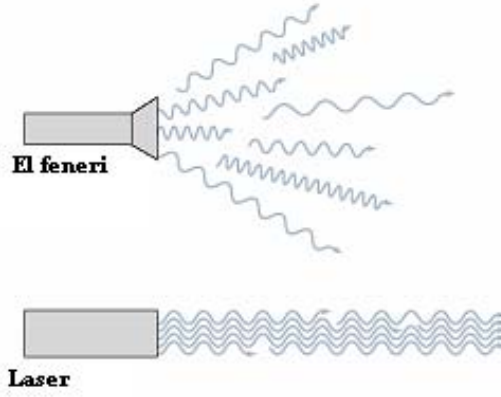
Laser ışınıyla buharlaştırarak kesme yönteminde malzeme kesme hattı boyunca buharlaştırılır. Bu işlem için gerekli olan enerji yoğunluğu, laser ışınının malzeme üzerine düzgün bir şekilde odaklanması ile sağlanabilir. Kesme hattının oksitlenmemesi için kesim sırasında argon veya azot kullanılır. Buharlaştırarak kesme yöntemi ile ahşap, kağıt, plastik türleri ve seramik gibi sıvı fazı olmayan birçok malzeme işlenebilir .

Laser ile ergiterek kesme yönteminde malzeme erime sıcaklığına kadar ısıtılır. Ergimiş kısım ve cüruf, bölgeye püskürtülen bir gaz akışı ile kesme ağzından dışarı atılır. Yanabilir malzemelerin kesilmesinde ve metallerin paslanmaksızın kesilmesinde reaksiyona girmeyen, koruyucu bir gaz kullanılır. Ergiterek kesme yöntemi, buharlaştırarak kesme yöntemine göre daha düşük güçlü laserlere ihtiyaç duyar.

Laser ile yakarak kesme yönteminde metalik malzeme, yanma sıcaklığına kadar ısıtılır ve bölgeye püskürtülen oksijen ile yakılır. Yanma sonucu oluşan ince ve akıcı cüruf oksijen huzmesi ile kesme ağzından dışarı atılır. Ekzotermik tepkime ek bir enerjinin açığa çıkmasına

neden olur. Bu ek enerji sayesinde kesme hızı daha da artar.

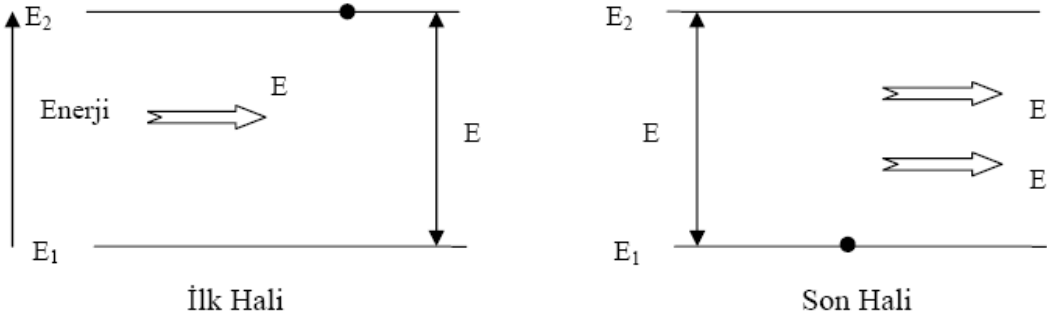
Laserin önemi uygulamasının yaygın olmasında ve onun daha da genişlemesinin beklenmesinde yatmaktadır. Özellikle uygulamanın genişliği, ışınların frekansların hassas bir şekilde kontrolünden, yayılan ışının yayılma düzeninden veya ışınların olağanüstü yoğunluğundan kaynaklanmaktadır.



Şekil 1.1 Normal ışıkla laser ışını arasındaki fark

2. LASER FİZİĞİ

Elektromanyetik dalga paketçisi de denen foton, güneş ışığı füzyon reaksiyonuyla meydana gelip, bu şekilde yayılan bir enerji çeşididir. Laser ışını da foton yayılmasından ibarettir. Bir atomun uyarılmış durumda bulunduğu kısa zaman aralığında üzerine belli bir dalga boyunda foton düşürülürse, atom aynı fazda foton yayar. Bu işlem peş peşe tekrarlanırsa, tamamen aynı fazda bir ışın demeti elde edilir.



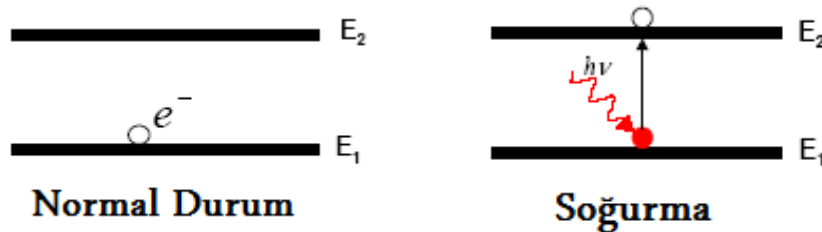
Şekil 2.1 Etki altındaki elektronların enerji geçişleri

En düşük enerji seviyesinde bulunan bir atoma dışarıdan bir foton verilirse, atom enerji kazanarak E_1 enerji seviyesinden E_2 enerji seviyesine uyarılmış olur. Bu atom kendi halinde bırakılırsa, uyarılmış bulunduğu E_2 enerjisinden bir foton vererek tekrar E_1 enerji seviyesine döner. Uyarılarak enerji seviyesi E_1 'den E_2 'ye yükseltilen atom enerjisini geriye foton olarak yaymaya başlarken bir foton daha çarpıtılırsa atomu birbiri ile aynı özellikte iki foton terk eder. Bu şekilde atom kat kat enerji seviyelerine çıkarılırsa bu seviyelerden düşerken de katlar halinde foton üretir. Bu işlem iki paralel ayna arasında aynı fazda olan fotonların toplanması şeklinde devam eder. Laser ışını dalgasının dalga boyu aynalar arasındaki mesafe ile uyumludur. Aynı frekansta yani, aynı dalga boyunda yapılan foton üretimine uyarılmış yayılma işlemi denir. Milyonlarca atom için bu işlem yapılırsa aynı yöne doğru milyonlarca foton paralel ışınlar halinde bir noktadan yayılır. Bu ışınlar aynı fazda, aynı frekansta, aynı yönde olduklarından adeta birbirine yan yana, yapışıkır. Paralel aynalar arasında şiddeti bu şekilde çığ gibi artan ışınlar, ışık frekansına eş bir frekansta, darbeler halinde oldukça parlak ışık huzmesi olarak yayılır. Laser ışınındaki enerjisinin büyümesinin esasısı işte bu milyonlarca küçük enerji kaynaklarının çok dar bir hüzme halinde aynı yönde hem yan yana hem de ard arda birleşmesi neticesidir. Laserin çalışması için enerji seviyesi düşen atomlardan daha fazla sayıdaki atomların uyarılacak enerji seviyelerine yükseltilmesi gerekir. Bu durum ise normal

olarak atomların enerji seviyesi dağılımının tersidir. Bu sebepten laserin çalışması için gerekli durum tersine çevrilmiş dağılım olarak isimlendirilir. Tersine çevrilmiş dağılımı ortaya çıkarmak için pompalama işlemi kullanılır. Optik pompalama ise, yüksek frekanslı yoğun ışınların oluşturulması ile yapılabilir. Yarı iletken laserlerde pompalama elektrik akımı yardımı ile gerçekleştirilir ve işlem elektrikselsel pompalama olarak isimlendirilir. Gaz laserlerinde ise pompalama işlemi elektron-atom veya atom-atom çarpıştırılmasıyla ortaya çıkarılır ve çarpışma pompalaması olarak bilinir. Kimyasal pompalama işleminde ise kimyasal laserlerde kimyasal reaksiyonlarla atom ve moleküller uyarılır. Gaz-dinamik laserlerde de pompalama ses hızı üstü gaz genişlemesi yoluyla gerçekleştirilir ve gaz genişleme pompalaması olarak isimlendirilir. (Miralles, 2003)

2.1 Soğurulma , Yayınım ve Uyarılmış Yayınım

Doğada, fiziğin temel ilkelerinden biri de “Kararlı dengelerin minimum enerjide oluşma ilkesi”dir. Bu ilkeye göre her cisim en küçük enerji düzeyinde kalma eğilimi gösterir. Aynı atomlardan oluşan bir gaz karışımı göz önüne alındığında, atomların istatistiksel olarak enerji dağılımına bakıldığında, en düşük enerji düzeyindeki atomların sayısının üst enerji düzeyindeki atomların sayısından daha büyük olduğu görülür. Kısacası Boltzmann dağılımına uyduğu görülür.



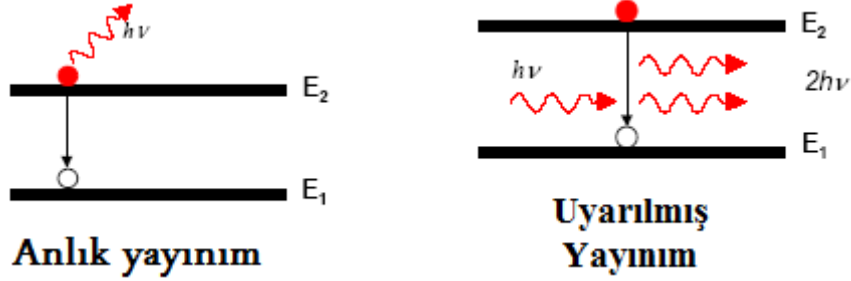
Şekil 2.2 Soğurulma (absorption) olayı

E₁ seviyesinde bulunan bir atom ancak ve ancak ;

$$h\nu = E_2 - E_1 \quad (2.1)$$

kadarlık bir enerjiye sahip bir foton tarafından uyarılarak E₂ seviyesine çıkabilir ve bu durum ışınımın soğurulması (absorption) olarak isimlendirilir. E₂ seviyesine uyarılarak çıkan bu

atom burada dinlenme süresi kadar kalarak denge hali olan E_1 seviyesine inmek isteyecektir. Elektron bu seviye değişimi sırasında enerji farkı kadar bir foton yayınlar bu olaya anlık yayınım (Spontaneous Emission) adı verilir.



Şekil 2.3 Anlık ve uyarılmış yayınım

Laser ışığının oluşturulmasının temeli ise uyarılmış yayınımdır (Stimulated Emission). Bu durumda atoma bir foton gönderilir ve anlık yayınım ile beraber kuvvetlendirilmiş olarak çıkar. Elektronun uyarılmış seviyede kalma süresi τ_{21} olarak gösterilir. Bu durumda dt süresinde anlık yayınımın olma olasılığı

$$A_{21}dt = dt/\tau_{21} \quad (2.3)$$

ile verilir. Buradaki A_{21} anlık geçiş oranı veya hızıdır. Uyarılmış yayınımın en önemli özelliği, gelen foton ve uyarılmış elektrondan gelen fotonun koharent olmasıdır. Bunun anlamı, aynı frekansta aynı fazda ve aynı polarizasyon doğrultusunda olmasıdır. Bunun sonucunda uyarılmış yayınım ile gelen fotonun genliği artacak ve bu olay bir atom topluluğu için gerçekleştirildiğinde laser ışınının oluşumu gerçekleşecektir. (Miralles, 2003)

2.2 Einstein Bağlıları

Einstein' a göre yukarıda tanımlanan üç işlemde termal dengedeki bir sistem için yukarı geçişlerin ($E_1 \rightarrow E_2$) oranı aşağı inişlerin ($E_2 \rightarrow E_1$) oranına eşit olmalıdır. Eğer E_1 enerji seviyesinde birim hacimde N_1 sayıda atom bulunuyorsa, yukarı geçiş ve yayınım oranı hem N_1 ile hem de doğru frekanstaki fotonların sayısına bağlı olacaktır. (Şentürk, 2002)

ν enerjisine sahip birim hacimdeki foton sayısı n olmak üzere bu frekanstaki enerji yoğunluğu ;

$$\rho_\nu = nh\nu \quad (2.4)$$

ile verilir. Bu durumda yukarı geçiş oranı, B_{12} bir sabit olmak üzere,

$$N_1\rho_\nu B_{12} \quad (2.5)$$

olarak yazılabilir. Benzer şekilde aşığıya iniş oranı için

$$N_2\rho_\nu B_{21} \quad (2.6)$$

olarak yazılabilir. Bu durumda toplam aşığı iniş oranı,

$$N_2\rho_\nu B_{21} + N_2A_{21} \quad (2.7)$$

olarak yazılabilir. Buradaki A_{21} , B_{21} ve B_{12} Einstein katsayıları olarak isimlendirilirler.

Termal dengedeki bir sistem için aşığı iniş ve yukarı çıkış oranları eşit olması gerektiğinden ;

$$N_1\rho_\nu B_{12} = N_2\rho_\nu B_{21} + N_2A_{21} \quad (2.8)$$

şeklinde yazılabilir. Bu durumda;

$$\rho_\nu = \frac{N_2A_{21}}{N_1B_{12} - N_2B_{21}} \quad \text{veya} \quad \rho_\nu = \frac{A_{21}/B_{21}}{\frac{B_{12}}{B_{21}} \frac{N_1}{N_2} - 1} \quad (2.9)$$

elde edilir. Termal dengedeki bir sistemin değişik enerji seviyelerindeki atom sayısı Boltzmann istatistiğine göre;

$$N_j = \frac{g_j N_0 \exp\left(-\frac{E_j}{kT}\right)}{\sum_i g_i \exp\left(-\frac{E_i}{kT}\right)} \quad (2.10)$$

ile verilir. Burada; N_0 toplam atom sayısı ve g_j j inci seviyenin bozunumudur. Dolayısıyla;

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{g_1}{g_2} \exp\left(\frac{(E_2 - E_1)}{kT}\right) = \frac{g_1}{g_2} \exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) \quad (2.11)$$

elde edilir. (2.11) eşitliğinin (2.9) eşitliğinde yerine yazılmasıyla;

$$\rho_\nu = \frac{A_{21}/B_{21}}{\left[\frac{g_1 B_{12}}{g_2 B_{21}} \exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right)\right] - 1} \quad (2.12)$$

elde edilir. Ele aldığımız sistem termal dengede olduğu için ışınım enerjisi kara cisim ışınımı ile eş olacaktır.

$$\rho_\nu = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \left(\frac{1}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1} \right) \quad (2.13)$$

(2.12) ve (2.13) eşitliklerini kıyaslırsak Einstein katsayıları arasındaki ilişkileri;

$$g_1 B_{12} = g_2 B_{21} \quad (2.14)$$

$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \quad (2.15)$$

olarak buluruz. (2.14) ve (2.15) eşitlikleri Einstein bağıntıları olarak bilinirler ve (2.15) eşitliği verilen enerji seviyesi çifti için anlık/uyarılmış yayınım oranının hesaplanabilmesini sağlar.

Uyarılmış yayının ile bir ışık demetinin şiddeti, uyarılmış yayının olayını diğer anlık yayının ve soğurma işlemlerine oranla artırılarak elde edilir.(Şentürk, 2002)

2.3 Işınının Soğurulması

Bir monokromatik ışık soğurucu bir ortamdan geçtiğinde, ışın demeti uzaklığın fonksiyonu olarak azalır. (Şentürk, 2002)

$$I = I_0 e^{-\alpha x} \quad (2.17)$$

Burada α , soğurulma katsayısıdır. Bir ışının soğurulma derecesi E_1 ve E_2 seviyelerinde kaç tane atom olduğuna bağlıdır. Eğer N_2 sıfır ise bu durumda soğurulma maksimum olurken Bütün atomların üst enerji seviyesinde olma durumunda ise soğurulma sıfır ve uyarılmış yayının olma olasılığı maksimum olur. Bu durumda soğurulma katsayısı için,

$$\alpha = \left(\frac{g_2}{g_1} N_1 - N_2 \right) \frac{B_{21} h \nu_{21} n}{c} \quad (2.18)$$

yazılabilir. Burada görüldüğü gibi termal dengedeki sistem için $N_1 > N_2$ olduğundan (2.18) eşitliğindeki parantez içi terim daima pozitif ve dolayısıyla α pozitif olacaktır. Aksi bir durum olarak $N_2 > N_1$ olduğu durumu ele alırsak; parantez içi negatif olacak ve α negatif olacaktır. Bunun anlamı ortamda ilerleyen ışınının şiddeti artacaktır. Bu durumu;

$$I = I_0 e^{k x} \quad (2.19)$$

ile ifade edebiliriz ve burada k , küçük sinyal kazanç katsayısı olarak isimlendirilir ve;

$$k = \left(N_2 - \frac{g_2}{g_1} N_1 \right) B_{21} \frac{h \nu_{21} n}{c} \quad (2.20)$$

ile verilmektedir.

2.4 Eşik Şartları ve Laser Kayıpları

Laser sistemlerinde toplam kayıp farklı işlemlerdeki sebeplerden oluşmaktadır. Bazıları şunlardır:

1. Aynalardaki yansıma katsayısı
2. Aynalardaki soğurma ve saçılma
3. Arzu edilen geçişler dışındaki geçişler sebebiyle laser ortamındaki soğurma
4. Laser ortamında optik homojensizliklerden saçılma
5. Aynalardaki kırınım kayıpları

Buradaki toplam kayıp hesabını basitleştirmek için 3. madde hariç diğer bütün kayıpları γ etkin kayıp sabiti ile simgeleyelim. Bu durumda (2.20) ile verdiğimiz etkin kazanç katsayısı $(k - \gamma)$ halini gelir. L boyundaki laser ortamının yansıtıcılıkları R_1 ve R_2 olan iki aynanın arasını doldurduğunu kabul edelim. Böylece iki ayna arasında hareket eden demetin şiddeti I_0 dan I 'ya artacaktır. (2.19) eşitliğinden;

$$I = I_0 \exp(k - \gamma)L \quad (2.21)$$

yazılabilir. İkinci aynadan yansıyan demetin şiddeti

$$R_2 I_0 \exp(k - \gamma)L \quad (2.22)$$

olacaktır. Tam bir döngüden sonra toplam döngü kaybı;

$$G = \frac{\text{Sonuç şiddeti}}{\text{Başlangıç şiddeti}} = R_1 R_2 \exp\{2(k - \gamma)L\} \quad (2.23)$$

olur. Eğer G , 1 den büyükse sonuç şiddeti başlangıçtan büyük olup ışığın kuvvetlendirilmesi

gerçekleştirilmiş olur, aksi durumda yani 1 den küçük olduğunda ise titreşimle zayıflayarak yok olacaktır. Bu durumda eşik hali,

$$G = R_1 R_2 \exp \{2(k_{th} - \gamma)L\} = 1 \quad (2.24)$$

olarak belirlenir. Buradaki k_{th} , eşik kazancıdır. (2.24) eşitliğinden eşik kazancı,

$$k_{th} = \gamma + \frac{1}{2L} \ln \left(\frac{1}{R_1 R_2} \right) \quad (2.25)$$

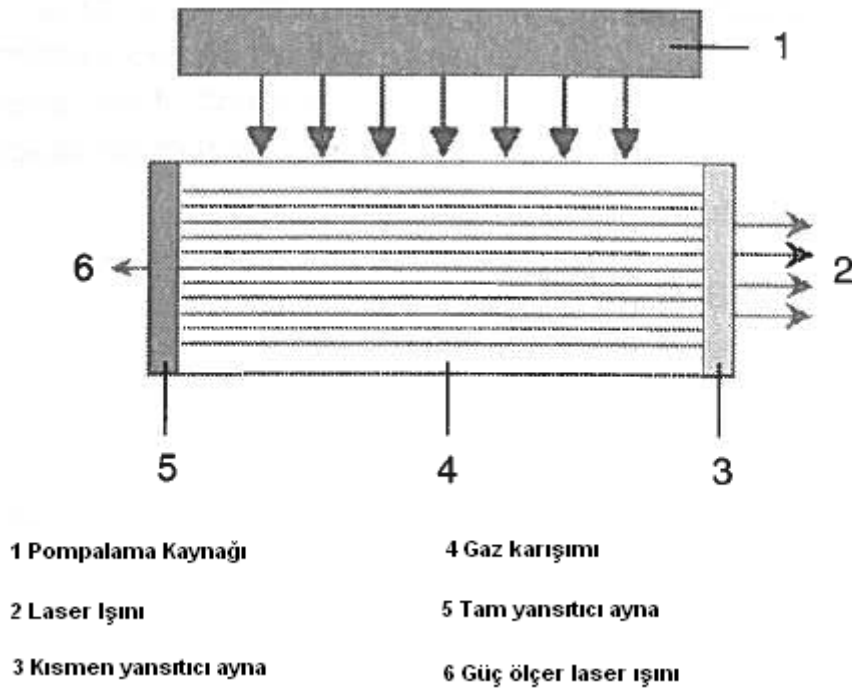
olur.

Bu eşitlikteki birinci terim hacimsel ve ikincisi ise faydalı çıkış şeklindeki kayıpları gösterir. (2.20) eşitliği ile verilen k büyükse laser olayını gerçekleştirmek kısmen kolaydır; ayna ayarlaması çok kritik değildir ve aynalardaki tozların etkisi ihmal edilebilir. Aksi durumda ise bu tür kayıplar kabul edilemez, yani aynalar oldukça iyi yansıtıcı, son derece temiz ve dikkatli ayarlanmış olmalıdır. (Şentürk, 2002)

3. LASERİN BİR ARAÇ OLARAK KULLANILMASI

3.1 Laserin Çalışma Prensibi

Optik bakımdan saydam, bir ucunda tam sırlı ve yansıtıcı, diğer ucunda yarı sırlı kısmen yansıtıcı iki ayna bulunan bir tüp alınır. Buna gaz, sıvı ve katı bir madde doldurulur. Dışarıdan ışık verme, elektrik akımı geçirmek suretiyle veya kimyasal bir yolla elde edilen enerji, ortamdaki atomlara ulaşır. Bunların bazıları bu enerjiyi emerler. Fazla enerji, atomları kararsız hale getirir. Kendisine bir foton çarpan, uyarılmış ve kararsız atom, fazla enerjiyi foton yayarak verir. Fotonlar, benzer şekilde diğer fotonların yayınmasını sağlar. Uçlara ulaşan fotonlar, aynalardan yansiyarak geri dönerler ve olay devam eder. Uyarma ve tahriklerle ortamdaki fotonlar artar. Atomların hemen hemen hepsi, foton yaymaya başlayınca kuvvetlenen ışık, yarı sırlı uçtan dışarı çıkar. Bu, laser ışınıdır. Normal ışıkta dalgalar, birbirini zayıflatıcı karakterde olmasına rağmen, laserde birbirini kuvvetlendirici olurlar. Laser ışınları yüksek frekanslı olduklarından güneş ışını özelliklerine sahiptir. Ancak laser ışınları tek frekanslı olduğu için kayıpları azdır. Ayrıca laser ışınları aynı fazda yapılan ışık dalgaları olduğu için şiddeti büyük olur. Bu yüzden laser ışınlarının şiddeti güneş ışınlarının şiddetinin bir milyon katıdır. (Tanrıverdi, 2001)



Şekil 3.1 Şematik laser yapısı

3.2 Laser Işınının Özellikleri

- En büyük özelliği dağılmaz olması ve yön verilebilmesidir.
- Ayrıca lazer ışınları, aynı fazda üretilen ışık dalgaları olduğu için şiddetleri büyük olur.
- Ergitme kaynağında, örneğin yaygın olarak kullanılan ark kaynağında, metaller ergitilerek kaynak dikişi oluşturulurken, lazer ışın kaynağında bu işlem, çok küçük boyutlarda ve kısa sürede malzemeler buharlaştırılarak gerçekleştirilir.
- Son derece düzgün bir ışıktır ve çok az sapar. Yoğun bir şekilde hedefe yönlendirilebilir.
- Lazer ışını küçük bir noktaya yüksek enerji verebilir ve böylece çok hassas işler yapılabilir.
- Lazer ışını, dalga boyu tek olduğundan monokromatik özellik taşır. Frekans dağılım aralığı, frekansının bir milyonda biri civarındadır. Bu nedenle istenilen frekansta çok sayıda dalga, lazer dalgası üzerine bindirilmek suretiyle haberleşmede *iyi* bir sinyal jeneratörü olarak iş görür. Aynı anda birçok bilgi bir yerden başka yere gönderilebilir. (Tanrıverdi, 2001)
- Lazer ışını dağılmaz olduğundan kısa darbeler halinde yayılabilmesi mümkündür.
- Bu özellik sayesinde kayıpsız yüksek enerji naklinin yapılması sağlanabilir.
- Lazer, kendisinde bulunan yüksek enerji sayesinde imalat endüstrisinde, kesme, kaynak ve delme işlerinde kullanılır.

- Lazer ışını tek dalga boyuna sahip olduğu için lazer cinsine göre çeşitli renkte ışınlar elde etmek mümkündür.

3.3 Lazer Türleri

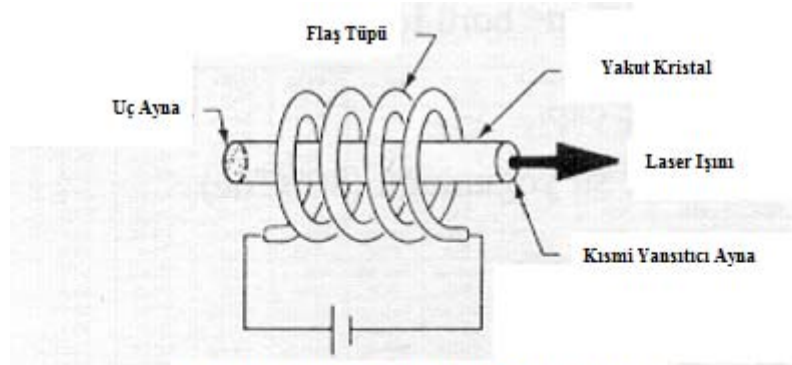
3.3.1 Katı Laserler

İlk bulunan laser yakut laseridir. Yakut, az miktarda krom ihtiva eden alüminyum oksit kristalidir. Kırmızı laser ışınları yayan, bu kristal içindeki krom atomlarıdır. Krom atomları optik olarak yeşil ve mor ışıkla uyarılır. Bu tür laser ile saniyenin milyarda biri gibi kısa bir sürede birkaç milyon wattlık güç nakledilebilir. İlk yakut laser sadece bir darbe ile çalıştırılmıştır. Daha sonra bunun oda sıcaklığında ve sürekli biçimde çalıştırılması mümkün olmuştur. Darbenin gücünün yükseltildiği ikincil laserlerle birlikte kullanılan q-anahtarlı laser moduyla saniyenin birkaç milyarda biri kadar devam eden birkaç milyar wattlık güç üretilebilir. Günümüzde kullanılan laser, sert şeffaf kristalden meydana gelir. Kristalde küçük miktarda genellikle nadir toprak elementleri mevcuttur. Bu kristalin işlem için oda sıcaklığının çok altına indirilmesi gerekir. Bu laserler optik pompalama gerektirirler ve darbeli olarak çalışarak ısınmayı önlerler. Sıcaklık ve manyetik alanda yapılacak değişikliklerle çalışma frekansı ayarlanabilir. (Ekşi, 1988)

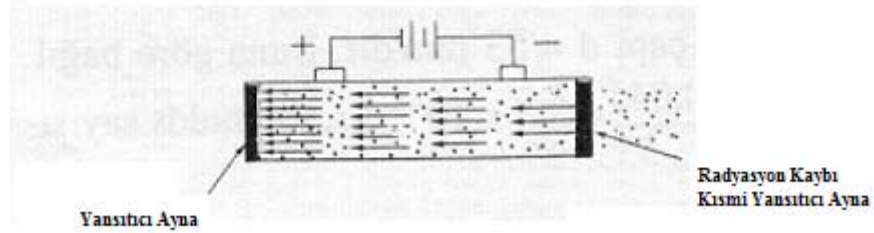
Neodimium çeşitli kristallerde kullanılan nadir toprak elementlerinden biridir. Enerji düzeyi sebebiyle fazla optik pompalamaya ihtiyaç göstermez ve bu sebepten dolayı tercih edilir.

3.3.2 Yarı İletken Laserler

Yarı iletken malzemelerden elde edilen kristallerle de laser yapılmıştır. Galyum arsenik kristali yarı iletken lasere örnektir. Yarı iletken diod gibi p-n malzemenin birleşmesinden meydana gelmiş olup, p-n malzemenin birleştiği yüzey yakut laserindeki aynalar görevini yapar. Birleşim yüzeyinde pozitif voltaj p tarafına ve negatif voltaj n tarafına verildiği zaman elektronlar n malzemesinden p malzemesine geçerken enerjilerini kaybeder ve foton yayarlar. Bu fotonlar tekrar elektronlara çarparak bu elektronların daha çok foton üretmesine sebep olurlar. Neticede yeterli seviyeye ulaşan foton oluşumu, laser ışınını meydana getirmiş olur. Bu tür laserler verimli ışık kaynaklarıdır. Genellikle boyları bir milimetreden büyük değildir. Ancak çok verimli çalışma için ortam sıcaklığı oda sıcaklığının çok altına düşürülmelidir.

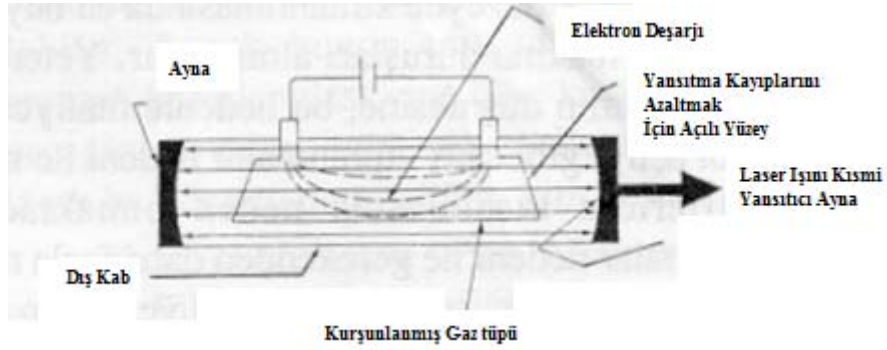


Yakut kristalli katı lazer, ameliyatlarda delme işlemlerinde ölçme işlemlerinde ve nokta kaynağında kullanılır

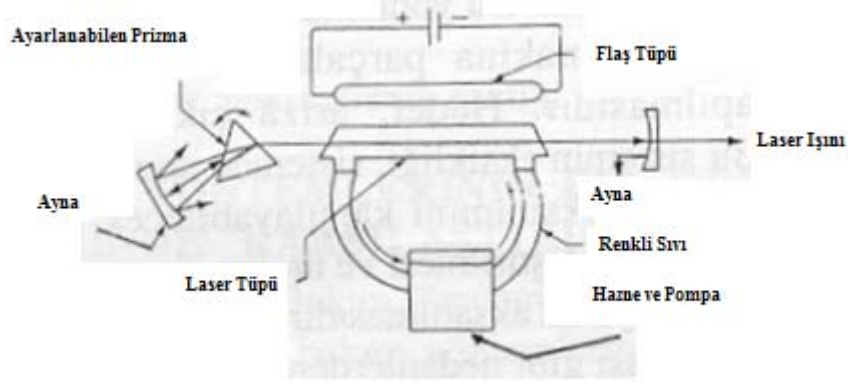


Işık dalgaları, eksen boyunca yayılan fotonların tahriki ile çubuk boyunca ileri geri hareket eder.

Şekil 3.2 Katı cisim lazer sistemi



Şekil 3.3 Kurşunlanmış tüplü gaz laseri



Şekil 3.4 Sıvı laser sistemi

3.3.3 Gaz Laserleri

İlk gaz laser helyum ve neon karışımı şeklinde kullanılmıştır. Bu karışım uzun bir tüpe ve iki küresel ayna arasına yerleştirilmiştir.

Helyum ve neon gazı ile çalışan laserde bu gazlar yüksek voltaj altında iyonize hale gelir. Helyum atomları elektrik deşarjı esnasında elektronların çarpması ile uyarılarak yüksek enerji seviyelerine çıkar. Bunlar, kazandıkları enerjilerini neon atomlarındaki eş enerji seviyelerine aktarırlar. Bu enerji aktarma işlemi fotonun yayılmasına sebep olur. Aynalar vasıtasıyla yeterli seviyeye ulaştıktan sonra laser ışını elde edilmiş olur. Bu tür laser ışınının dalga boyu 1,15 mikrondur. (Ekşi, 1988)

3.3.4 Kimyasal Laserler

Kimyasal laserlerde bir gaz meydana getirilir ve kimyasal reaksiyon yoluyla pompalanır. Kimyasal pompalama bir ekzotermik reaksiyonun açığa çıkmasıyla olur. Buna bir örnek hidrojen ve flor elementleri hidrojen florür meydana getirmek üzere reaksiyona girdiklerinde laser etkisi ortaya çıkar.

3.3.5 Sıvı Laserler

En çok kullanılan sıvı laser türü, organik bir çözücü içindeki organik boyanın seyreltik bir çözeltisidir. Bunlara mor ötesine yakın ve kızılötesine yakın arasında laser türleri elde edilebilir. Genellikle pompalama optik olarak cereyan eder. Birkaç laser paralel olarak çalıştırılabilir. Böylece saniyenin birkaç trilyonda biri devam eden laser darbeleri elde edilebilir. Boya laserlerinin en önemli özelliği dalga boyunun geniş bir alanda hassas bir

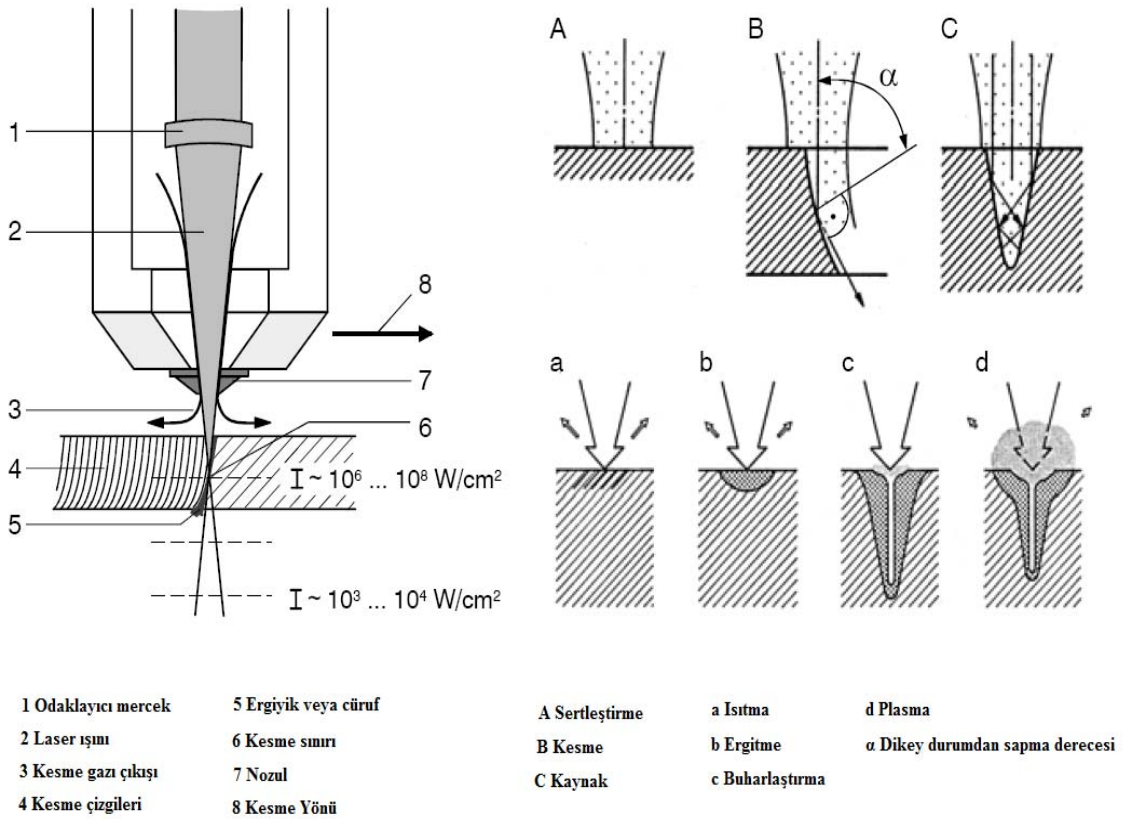
şekilde ayarlanabilmesidir.(Ekşi, 1988)

3.4 Laserin Araç Olarak Kullanılması

Laser ışınının bir araç olarak kullanılması için bazı özel şartları sağlaması gereklidir. Bu şartlar ;

- Uzun mesafelerde bile paralellliğini mümkün olduğunca korumalı
- Kullanılacağı alanda (kesme, delme, kaynak gibi) tutarlı sonuçlar vermeli ve sürekliliği bulunmalı
- İş parçasına tam olarak yönlendirilebilmeli
- İş parçasına odaklanabilirliği sağlanmalı

Bu özellikler laser ışınının oluştuğu kısmından sonra gelen bileşenlerle birlikte, laserin bir araç olarak kullanılması için önem arz etmektedir.(Trumph, 2007)



Şekil 3.5 Laser ışın yoğunluğuna bağlı olarak laserin kullanım şekilleri (Trumph, 2007)

Çizelge 3.1 Genel olarak laserlerin kesme, kaynak, yüzey sertleştirme, alaşımlama, delme, kaplama ve sertleştirmede kullanılan özellikleri (Gupta)

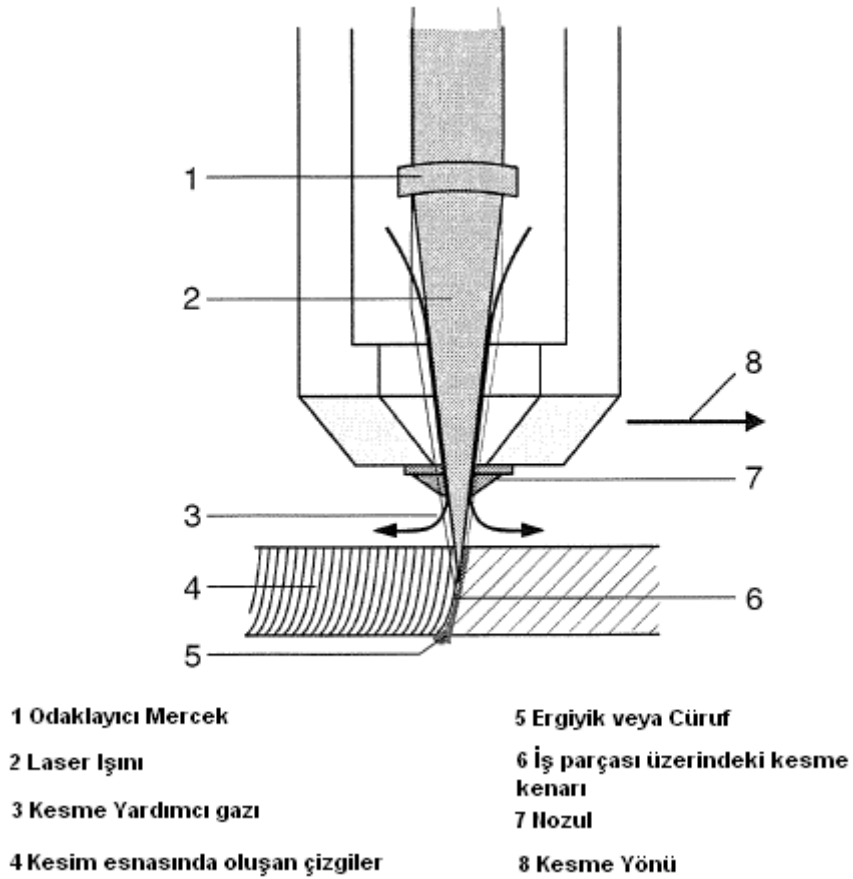
| Laser İşlemi | Güç yoğunluğu (W/cm²) | İşlem hızı (m/dk) | Etkileşim zamanı (sn) | Uygulama derinliği (mm) |
|-------------------------------|---|------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Kesme | 10^6-10^7 | 3-4,20-30 | 10^1-10^2 | 15 mm' ye kadar |
| Kaynak | $10^5-5.10^6$ | 1-3,20-30 | 10^1-10^2 | 15 mm' ye kadar |
| Yüzey Sertleştirme | $10^3-5.10^4$ | 3'e kadar | $1-10^4$ | 15 mm' ye kadar |
| Alaşımlama | $10^5-5.10^5$ | 1,5 | 10^2-10^4 | 0,25-1,25 |
| Delik Delme | 10^7-10^8 | | 10^2-10^5 | 50 |
| Yüzey Kaplama | 10^6-10^7 | | 10^5-10^7 | ~0,5 |
| Sertleştirme | 10^8-10^{10} | | 10^6-10^8 | ~0,5 |

4. LASER ile KESME

Günümüz endüstrisinde laserin en yaygın kullanım alanlarından birisi kesmedir. Kesme için laserin kullanımı birçok avantajlar sağlar.

4.1 Kesme İşlemi

Kesme için laser kullanımında yoğun ısı enerjisi ışın ile malzemeye odaklanır. Eğer verilen ısı yeterli büyüklükte ise ışının değdiği bölgede malzeme buharlaşması ile delik oluşur. Bunun devamında yoğun ısı kaynağının malzemedeki hareketi ile kesme işlemi sağlanır. Ham (Raw) ışın enerjisi tipik olarak 0.1-0.3 mm çapındaki spota toplayacak odaklama merceğine yönlendirilir. Bu odaklama hemen hemen bütün malzemeleri buharlaştırabilecek yüksek güç yoğunluklarını üretir.(Trumph, 2007)

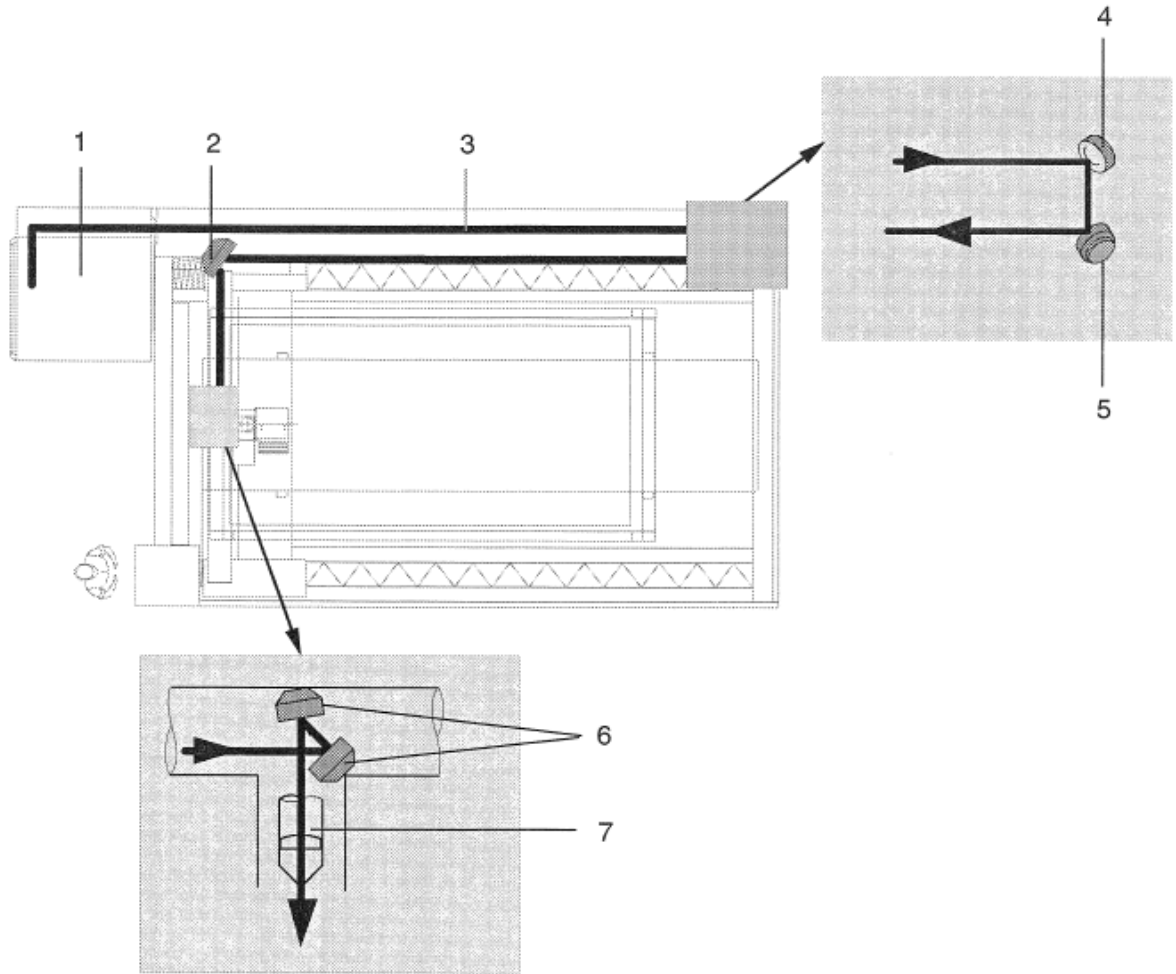


Şekil 4.1 Kesme işleminin şematik görünümü (Trumph, 2007)

4.2 Işın Dağıtımı

Işın bir dizi ayna kullanılarak parçaya yönlendirilir. Işın odaklanmamış ham haliyle olup, kullanılan lasere bağlı olarak 50 mm kadar bir çapa sahip olabilir. Aynalar laser tarafından üretilen ışınının dalga boyunu yüksek oranda yansıtabilecek malzemelerden yapılırlar. Kullanılmakta olan en yaygın türler altın kaplanmış bakır ve silisyumdur. Bu aynaların yansıtıcılıkları % 98-99,5 mertebesindedir. Işınının absorbe edilen küçük bir miktarı (ısı) soğutma suyu nedeniyle hızla harcanır ki böylece ayna düzlem kalır ve olabilecek heterojen sıcaklık dağılımları nedeniyle çarpılmaya çalışması önlenir. Laser tarafından üretilen ışın lineer olarak polarize edilir ve bu durumda kesme kalitesi bir yönden diğerine daha düzgün değişir. Bunu sağlamak için 1/8 dalga geciktirici olarak bilinen ve düzgün polarize edilmiş ışını dairesel polarize edilmiş ışına dönüştüren iki özel ayna kullanılır. Dairesel polarize edilmiş ışın kesme yönünden bağımsız kesme kalitesi özelliğini sağlar.

Kesme için yararlanılan ışın önce malzeme yüzeyine odaklanır. Bu genellikle 10,6 mikron dalga boylu ışın yayan düzlem-konveks mercekler kullanılarak sağlanır. En çok bilinen iki malzeme potasyum klorür (KCl) ve çinko selendir. (ZnSe). KCl mercekler ZnSe merceklerden daha ucuzdurlar ancak daha kısa olan ömürleri nemli atmosferlerde daha da kısalmır. Buna karşılık ZnSe mercekler daha küçük boyutla üretilirler ve böylece KCl merceklerle elde edilenden daha büyük güç yoğunluğu elde edilir. Merceklerin seçiminde odak uzaklığı değişkendir ve küçük spot boyutları ile daha büyük güçlere ulaşılır. Kısa odak uzaklıklı mercekler ise küçük odak derinliğine sahiptirler. Genel olarak ince malzemelerin kesilmesinde kısa odak uzaklıklı (f: 50-75 mm) , kalın malzemelerin kesilmesinde ise uzun odak uzaklıklı (f:100-150 mm) mercekler kullanılır. Odak uzaklığı çok küçük olan merceklerin kullanılması tavsiye edilmez. Çünkü kesme işleminden mercekler ergimiş malzeme sıçraması ihtimali vardır ki bunun gerçekleşmesi verimi düşürür. (Trumph, 2007)



1 Laser oluşum ünitesi (rezonatör)

2 Hareketli ünite de bulunan yansıtıcı ayna

3 Laser ışını

4 Yansıtıcı ayna

5 Yansıtıcı ayna

6 Yansıtıcı aynalar

7 Kesme kafasındaki odaklayıcı mercek

4.2 Işın dağıtımının şematik görünümü (Trumpf, 2007)

Genel olarak laser ile kesmede işleme yardımcı gaz kullanılır. Gaz laser ışını ile birlikte verilir ve aşağıda belirtilen üç fonksiyonu yerine getirir.

- Ergimiş malzemeyi kesikten uzaklaştırmak

-Kesme sırasında ekzotermik bir reaksiyon oluşturarak kesme işlemine yardımcı olmak

-Kesme bölgesinden sıçrayacak ergimiş malzemedan merceği korumak.

Metal kesmede yardımcı gaz olarak oksijen kullanmak doğaldır ama oksijenle yüksek reaktivlik gösteren malzemelerde yanma görülebileceğinden, bu durumlarda hava veya azot kullanılabilir. Sözü edilen azot ve hava sadece 1 ve 2. maddelerde belirtilen görevleri yerine getirirler.Yardımcı gazı parçaya yönlendirmek amacıyla konik kısımda, merceğin altına nozul yerleştirilir ve kesme gazı ile laser ışınının 1-1.5mm çaplı küçük delikten yayılması sağlanır. Bu delik, kesmeden merceğe gelebilecek ergimiş malzemeleri engelleyecek kadar küçük ancak ışının parçaya doğru hareketinde kenarları tutmayacak kadar da büyük olmalıdır.(Trumph, 2007)

4.3 Kesme Kalitesi

Laser ile kesme işlemi aşağıdaki karakteristikleri beraberinde getirir.

a-Açılan yarık dar ve devamlıdır. Açılan yarık “Kesme Kanalı” (Kerf genişliği) diye bilinir ve çeliklerin kesilmesinde bile 0,12 mm mertebesindedir. (5 mm kalınlığındaki bir kesitte kesme kanalı genişliği 0.05 mm’dir.)

b-Malzeme kalınlığı artıyorsa kesme bölgesinden daha fazla malzeme göç ettirilir. Bu miktar ince kesitlerde minimumdur.

c-Kesme gazı kesme kenarı boyunca çiziklere sebep olur. Yüzey kalitesini optimize etmek için ilerleme hızı , gaz basıncı ve odaklama gibi işlem parametreleri kullanılabilir.

d-Bazı kesme uygulamalarında kesiğin arka yüzeyinde malzeme artığı görülebilir. Bu artık cüruf olarak ve ergimiş malzemenin viskozitesine bağlı olarak miktarı değişir. Yüzeyden uzaklaştırılması genellikle zorluk çıkarmaz.

e-Metalde aşırı ısınma malzeme yapısında çoğu zaman özellik değişimleri meydana getirir. Örneğin çelikte kesme kenarının ana malzemedan sert olmasına neden olur. Bu bölge ısı etkilenmiş alan (HAZ -Heat affected zone)olarak bilinir. Bu genelde laser ile kesme işlemlerinde minimumdur.

Kesme kalitesi , yukarıda belirtilen özellikler ile :

1- Işın gücü

2-Kesme hızı

3-Yardımcı gaz ve

4-Odak pozisyonunun dikkatli seçilmesi ile kontrol edilebilir.(Manohar, 2004)

4.4 İşlem Parametreleri

4.4.1 Güç

Laser gücü geniş sınırlar içinde kolayca değiştirilebilir. Genel olarak , artan güç yüksek işleme hızlarına ve kalın kesitlerin kesilebilmesine olanak verir. Ancak her zaman en iyi sonuçlar en yüksek güçlerde elde edilemez. Örneğin, güç çok fazla ise ince ve yüksek reaktif malzemelerde, çoğunlukla kenarlarda aşırı yanma görülmektedir. Ayrıca, karmaşık şekilli parçalar birkaç nedenden dolayı her zaman tam hızla kesilemez ve çoğu zaman oldukça yavaş ve kenar kalitesini sağlayacak düşük hızla kesme yapmak gereklidir. Karmaşık şekilli parçaların kesilmesinde bir başka metot laser gücünü dalgalı kullanmaktır. Bu enerjinin devamlı olmasından çok, aşırı yükselmesinde laser gücünü dağıtarak kesme hızının bir fonksiyonu olarak laser güç yoğunluğunu kontrol etmektedir.(Mungan, 2006)

4.4.2 Kararlılık

Laserin kararlılığı tekrarlanabilir kesme ve yüksek kalite sonuçları ile üstündür. Optimum kesme verimi için ışın kalitesi sürekli (Model kararlılığı) , çıkış gücü (Güç kararlılığı) ve sabit ışın yönü (Noktalama kararlılığı) gereklidir.

4.4.3 Hız

Optimum sonuçlar için hız, gaz akışı ve güçle dengeleme gerekse bile çoğu malzemelerin kesilmesinde kullanılan hızlar kabul edilebilir bir kesme için yeterlidir. Hızın artmasıyla gaz akışı belirgin hale geleceğinden kesme kenarındaki çizikler belli bir seviyeye ulaşır. Hız daha da arttırılırsa kesimin arka yüzünde cüruf oluşturulacağından sonuçta yüksek hızlarda kesme başarısız olur.

Kesme çok yavaş yapıldığında kenarlarda aşırı yanma görülür. Düşük hızlarda bile ergimiş metalin temizlenmeden katılaşmaya eğilimi vardır.

4.4.4 Kesme Yardımcı Gazı

Laser ile kesmede yardımcı gazın seçimi ve parçaya gönderilme miktarı kritik parametrelerdir. Belirlenen herhangi bir hız ve güç için gaz akışı, ergimiş malzemeyi kesme yüzeyinden uzaklaştıracak kadar yeterli olmalıdır. Metal kesme uygulamaları için bir reaktif gaz (genellikle oksijen) kesmenin devamı için ekzotermik reaksiyon oluşturmada kullanılır. 1-2 mm kalınlık için laser kontrolü mümkün olup, saf kesme gazı malzemeyi (ergimiş) uzaklaştırmak için kullanılır. Yüzeyin 2 mm altında kesme oksijen kontrollü olur ve oksijenin metalle reaksiyona girmeye başlaması kesme işleminde önemli bir bölümü oluşturur. Bu kesme mekanizmalarına göre ince malzemeleri kesmek için gaz akışı gereklidir. Daha kalın kesitlerin gaz akışlı kesilmesinde oksijen reaksiyonu kontrol edilmelidir aksi halde oksijen reaksiyonu, kesme kenar kalitesini olumsuz yönde etkileyecektir.

Yüksek reaktif metaller, plastikler, tahta ve kauçuk malzemeler genellikle hava veya azot gibi bir yardımcı gazla kesilirler. Bu durumda yardımcı gaz yalnızca ergimiş malzemeyi yüzeyden uzaklaştırmak için kullanıldığından hızlı gaz akışı da kullanılabilir.(Mungan, 2006)

4.4.5 Odak Pozisyonu

Odak noktası çoğu zaman malzeme yüzeyinde veya yüzeyin altında olacak şekilde ayarlanır. Bu noktaların dışında güç yoğunluğu etkili bir kesme için yetmeyecek kadar azalabilir. Bu yüzden odak pozisyonu kesme için önemli bir parametredir. En iyi pozisyon kesilecek malzemenin kalınlığı ile yakından ilgilidir. İnce malzemeler için (yaklaşık olarak 5mm) genellikle yüzeyde odaklama yapılır. Böylece en dar kesme genişliğine ve en ideal kesme hızına ulaşılır. Kalın malzemeler veya ergitildiğinde viskoz olan malzemeler için odak noktası genellikle malzeme yüzeyinin 2-3mm altında veya üstünde odaklanır. Bu kesme genişliğinin büyümesine neden olur ancak böylece uygun hızlarla ergimiş malzemenin yüzeyden kolayca uzaklaştırılmasını sağlar.(Mungan, 2006)

4.5 Laserle Kesmenin Diğer Kesme İşlemleri ile Karşılaştırılması

Alevle kesme birçok bakımdan laserle kesmeye benzer ve kalın çeliklerin kesilmesinde kullanılır. Karakteristik özellikleri arasında fazla ısı gerektirmesi ve büyük kesme kanalı genişliği sayılabilir ki bu durumda distorsiyonlara sebep olacağı ve ısıl etkilenecek sahanın büyük olacağı açıktır. Kesme hızı yavaştır. 20 mm'den küçük kalınlıklar için laserle kesme alevle kesmeye nazaran daha iyi kenar kalitesi, daha dar kesme kanalı genişliği, daha küçük ısıl etkilenmiş alan ve oldukça düşük ısı ihtiyacı gibi avantajlar sağlar.

Bir diğer kesme yöntemi zımbalayarak (PUNCHING) kesme diye bilinen metottur. Bu metot parçaların seri halde üretilmesinde avantaj sağlar ancak küçük ve orta boyutlu parçaların kesilmesinde laserle kesme daha iyidir. Bu metodun ilk tesis masrafı yüksektir ve teçhizat belli zaman aralıklarında bakım gerektirir. Bunlar laserle kesme için geçerli değildir. Laserle kesmenin büyük avantajı çok yönlülüğüdür. Parça dizaynındaki küçük dizayn değişiklikleri ek donanım gerektirmeksizin yapılabilmektedir. Laserle kesmede kenar kalitesi zımbalanmış parçalardan genellikle iyidir, distorsiyon ve gerilmeler daha azdır.

İnce malzemelerin kesilmesinde kullanılan yüksek basınçlı su püskürtmeli kesme de laserle kesmenin rakibi olabilir. Ancak burada düşünülmesi gereken bir dizi tedbirin varlığı dezavantaj oluşturmaktadır.(Gupta)

4.6 Laserle Kesim Kriterleri

1-) Laser osilatör'ünün çıkış gücü, işlenecek malzeme kalınlığı için ana kıstas teşkil etmektedir. Bununla birlikte aranması gerekli temel kriterler; kesimde kesintisiz sürekli kalite, pürüzsüzlük ve hassasiyettir. Bunun için, tercih edilecek laser işleme merkezinin gerçek ve görsel performansı bizzat görülmelidir.

2-) Vibrasyon, laser gibi hassas bir konuda önemli belirleyici bir kriterdir. İç vibrasyonlar ve özellikle dış çevresel vibrasyonlar, toplam bileşke vibrasyonu teşkil etmektedir. İhmal edilebilir görünen bir vibrasyon, laser'in yuvarlak açması gerekli bir deliğin oval açılmasına sebep olabilmektedir. Ayrıca vibrasyon, kesintisiz sürekli kesim kalitesi, pürüzsüzlük ve hassasiyet konularında etkin bir belirleyici kriterdir.

3-) Toplam kullanılan ekipman sayısı ve toplam maliyetler : Laser işleme makinalarında,

kullanılan ekipman sayısının (odaklayıcı lensler, doğrultucu ve yönlendirici aynalar, kullanılan laser gazı, tüp sayısı v.s.) olabildiğince az tutulması gereklidir. Temel olarak; Madde-1'de belirtilen kesintisiz sürekli kalite, pürüzsüzlük ve hassasiyetin olabildiğince az değişkene bağlanması gereklidir.

a- Işının katedeceği yol uzadıkça ışık saçılımı artmaktadır. Bunu önlemek için ise, ek odaklayıcı ve doğrultucu elemanlar kullanılmaktadır. (NC ayarlı, eksen ortasında ek aynalı isin sabitleme ya da konkavlığı NC ile ayarlanabilir özel aynalar kullanılmaktadır.) Bunlarda sonuç olarak; ek maliyet, periyodik bakım-değişim ve servis maliyeti gerektirmektedir. Bu hareketlerin, yüksek hızlı kesimlerde sürekli olarak gerçekleştirileceği göz önünde bulundurulacak olur ise; Laser ışınının katedeceği yolun mümkün olduğunca kısa, laser kesim kafasının da olabildiğince az hareketli olması önem taşımaktadır.

b- Laser gazı ve kesim için gerekli yardımcı gazların oransal kullanım performansı, ara ek ekipman kullanılıp kullanılmadığı, tüp ve tüketim maliyetleri de dikkate alınması gerekli önemli bir husustur.

c- Toplam elektrik tüketimi, yine toplam maliyetler ile yakından incelenmesi gerekli bir konudur.

4-) Seri üretim yapılan ve zamanın çok değerli olduğu sistemlerde; laser işleme merkezinin, farklı kalınlıklardaki farklı malzemeleri, kafa değişimine, ek ayarlara ve zaman kayıplarına gerek duyulmaksızın, kesintisiz ve sürekli gerçekleştirebilme özelliğine sahip olması gereklidir.

5-) Tüm bu belirleyici kriterler ile birebir örtüşen, laser işleme merkezinin tamamlayıcısı CAD CAM çizim ve kod çevirici programlarının mevcut olması yine önem verilmesi gerekli bir konudur. CAD (Computer Aided Design) Bilgisayar Destekli Çizim, CAM (Computer Aided Manufacturing) Bilgisayar Destekli Üretim kısaltmalarından oluşmaktadır. CAM, CAD'de yapılmış çizimleri işler ve makine kodlarına dönüştürür. (Gupta)

4.7 Laserle Kesim İşleminin Avantajları

Diğer kesme yöntemleriyle kıyaslandığında laserle kesmenin avantajları şunlardır:

- Laser ile kesme temassız bir işlemdir. Bunun sonucu olarak kesme kuvveti ve takım aşınması yoktur ve parçanın bağlanması oldukça basittir.
- Malzeme sertliği kesme için ya da etkili kesme hızı için sınırlayıcı değildir. Bilinen kesme işlemleri sırasında sertlikleri ile güçlük çıkaran malzemeler laser ile kesmede herhangi bir problem çıkarmazlar.
- Kesim kalitesi mükemmel yakındır. Bu mükemmelliği sağlayan kriterler ışın çapının sabit ve oldukça dar olması, bununla birlikte seri üretimde bile 0,05 mm gibi düşük tolerans değerlerine inilebilmesidir.
- Kesim hızı yüksektir. Bu üretim işlemini büyük ölçüde hızlandırır.
- Yüksek enerji yoğunluğuna bağlı olarak ısıdan etkilenen bölge çok küçük ve sınırlıdır. Isıdan etkilenen bölgenin küçük olması demek malzeme bozunumunun minimum düzeyde olması demektir.
- Kesim yüzeyi pürüzlülüğü çok azdır. (100 μm 'den küçük) Kesim işleminden sonra iş parçasına ek bir işlem yapmak gerekmez.
- Yaygın şekilde kullanılan çelikler çapak oluşturulmaksızın kesilebilir. Bu nedenle çapak temizleme problemi yoktur.
- Dar kesmelerle malzemenin çok daha az miktarı göç ettirildiğinden malzemenin kayıp oldukça azdır. Böylece efektif malzeme kullanımı mümkündür.
- Laser ve laser kesme teknolojisindeki hızlı gelişmeler göz önünde bulundurularak, ticari olarak laserle kesim diğer tekniklere karşı bir alternatif olarak görülmekte, uygulamalarda sınırsız esneklik sağlaması yönünden geleneksel yöntemler yerine tercih edilmektedir.(Trumph, 2007)

4.8 Laserin Kullanıldığı Yerler

- 1) Laser, haberleşmede kullanılacak özelliklere sahiptir. Laser ışını da güneş ışını gibi atmosferden etkilenir. Bu sebeple atmosfer, radyo yayınlarında olduğu gibi laser yayını için uygun bir ortam değildir. Bu bakımdan laser ışınları, içi ayna gibi olan lifler içinden gönderilirse, lifler ne kadar uzun, kıvrıntılı olursa olsun kayıp olmadan bir yerden diğerine ulaşır. Bu liflerden istifade edilerek milyonlarca değişik frekanstaki bilgi aynı anda taşınabilmektedir. Bu maksatla foto diyot kullanılmakta ve elektrik enerjisi foto diyotta ışık enerjisine çevrilmektedir. Dünyanın birçok telefon şirketleri bu tatbikata geçmişlerdir.
- 2) Laser, uzayda mesafe ölçmede kullanılır. 25 cm hata ile ölçüm yapılabilmektedir. Laserle ilk mesafe ölçümü, 1962 senesinde, Aya yerleştirilen argon-iyon laseri ile yapıldı. Laser, inşaatlarda, boru ve tünel yapımında, yön ve doğrultu tayininde ve tespitinde klasik teodolitlerden çok daha mükemmel ve kullanışlıdır.
- 3) Laserin askeri alanda pek çok uygulamasına rastlanmaktadır. Mesafe bulma ve yer tanıma maksadıyla kullanıldığı bilinmektedir. Hedefe gönderilen güdümlü mermiler, hedef yakalanınca laser ışını ile infilak ettirilmektedir. Gece karanlığında gece görüş dürbünleri sayesinde gündüzmüş gibi operasyon yapılabilir. Çok başlıklı füzelerin hafızalarına yerleştirilen hedef resmi, füze hedefe yaklaşınca laser ışını ile tanınır. ABD' nin 1984 yılında geliştirdiği füze savunma sistemi, düşman füzesini havada iken uzaydan gönderilen laser ışını ile tahrip edebilmektedir.
- 4) Holografi ve fotoğrafçılıkta önemli bir yere sahiptir. Laserle görüntü kaydetme süresi saniyenin 10 trilyonda biri zamanda mümkün olur. Holografi, laser ışınları ile üç boyutlu resim çekme ve görüntüleme tekniğidir.
- 5) Tıpta laser kansız ameliyat maksatları ile kullanılır. Yırtılmış göz retinası, laser ışını ile acısız ve süratle dikilir. Vücudun çeşitli bölgelerindeki tümörler bıçakla açılmadan yerinde kesilerek tedavi edilebilir. Damardaki dokular, laser ışını ile kaynar ve kanama olmaz. Çürük diş çukurları dolgu yapılmak üzere acısız delinebilir.

Çizelge 4.1 Bazı laserlerin dalga boyları ve kullanım alanları (Trumpf, 2007)

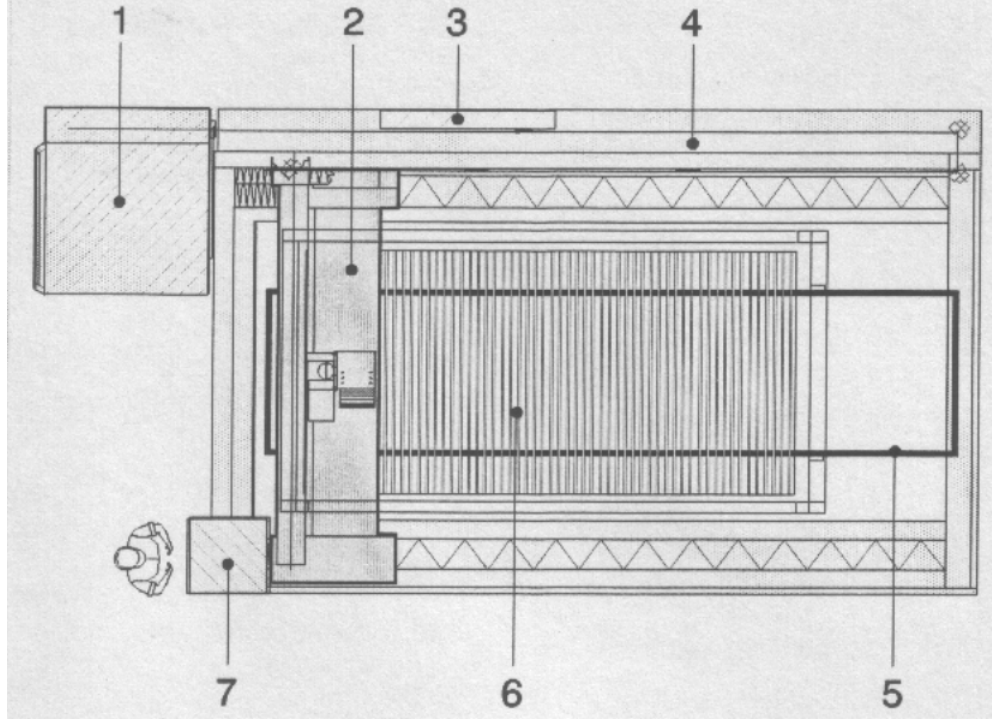
| Laser Tipi | Laser oluşum maddesi | Dalga boyu (µm) | Uygulama alanları |
|----------------|--|---------------------------------------|--|
| Gaz laserleri | Azot | 0,3371 | Boya laserleri için optik pompalama kaynağı |
| | Excimer | | Boya laserleri için optik pompalama kaynağı |
| | ArF | 0,1931 | Plastik, cam ve seramik malzemelerin işlenmesi |
| | KrF | 0,2484 | Spektroskopi |
| | XeCl | 0,308 | Tıp |
| | XeF | 0,351 | Ölçme teknolojisi |
| | Helyum-Neon (He:Ne) | 0,6328 | Ölçme teknolojisi Holografi |
| | Argon | 0,3511-0,5287 | Boya laserleri için optik pompalama kaynağı Ölçme teknolojisi Holografi Spektroskopi Tıp |
| | Krypton | 0,3424-0,858 | Boya laserleri için optik pompalama kaynağı Spektroskopi Tıp Fotolitografi |
| Karbondiyoksit | 10,6 | Malzeme işleme Spektroskopi Tıp | |
| Katı laserler | Yakut | 0,694 | Tıp Uzaklık tayini Malzeme işleme |
| | Neodyum cam | 1,062 | Malzeme işleme Plazma araştırması Fotokimya |
| | Neodyum YAG | 1,063 1,064 | Malzeme işleme Tıp |
| | Alexandrit | 0,755 | Tıp |
| | Diod laserler | GaAlAs / GaAs | 0,635-0,910 |
| InGaAsP / InP | | 1,3 | Optik haberleşme mühendisliği |
| InGaAlAs | | 1,50 | Ses teknolojisi Laser yazıcılar Ölçüm teknolojisi Tıp Yüksek güçlerde malzeme işlemleri |
| Boya laserleri | Aşırı seyreltilmiş organik boyaları 0,31-1,28 arasında değişen | | |

4.9 CNC Laser Kesme Tezgahları

Torna ve işleme merkezlerinden farklı olarak; laser işleme makinaları, işlenecek malzemeyi 0.5 mm'den küçük çaplı bir laser ışık hüzmesi ile eritir ve buharlaştırır. Sertliği veya yoğunluğu ne olur ise olsun, tüm malzemeler çabuk ve pürüzsüz olarak kesilmektedir. Kesilmesi zor malzemelerden olan inconel, titanyum ve takım çeliğini kesebilir. Dokunmasız işleme gerçekleştirildiğinden dolayı sabitleme-düzeltilme gerektirmemektedir.

Maksimum işlenebilecek malzeme kalınlığı laser osilatör'ünün çıkış gücü ile belirlenmektedir. Örneğin; 4kW'lık bir laser, 15mm lik paslanmaz çeliği, 20mm lik takım

çeliğini, 25mm lik yumuşak çeliği kesebilmektedir. Ek olarak; üç boyutlu laser işleme makinaları yalnız düz tabakaları değil, üç boyutlu kompleks parçaları da kesebilmektedir. (Trumpf, 2007)



- 1) Laser Ünitesi 2) Hareket Ünitesi 3) Makine paneli
4) Tezgah çerçevesi 5) Boylamsal taşıyıcı kayış 6) Palet
7) Kontrol Paneli

Şekil 4.3 CNC laser kesme tezgahının şematik görünümü (Trumpf, 2007)

5. YALIN KARBONLU ÇELİKLER

Bunlar yapılarında az miktarda mangan silisyum oksijen azot ve kükürt gibi çelik üretim yöntemlerinden gelen elementler bulunduran demir karbon alaşımlarıdır. Yalın karbonlu çelikler ucuz ve kolay şekillendirilebilirler. Mekanik özellikleri yapılarında bulunan karbon oranına bağlı olarak değişir. Bu gün için demir çelik endüstrisinde üretilen çeliklerin 10 da 9' una yakını yalın karbonlu çeliklerdir sertleşme yetenekleri azdır, sertleştirme işlemlerinden sonra parçada çatlama ve çarpılmalar meydana gelir. Kalın kesitli parçalar ise istenilen düzeyde sertleştirilemezler. Korozyonik ortamlara dayanıksızdırlar ancak alevle ve indüksiyonla yüzey sertleştirilme yapılabilir. Yapılarındaki karbon oranlarına göre yalın karbonlu çelikler 3 kısma ayrılırlar.

1) Düşük karbonlu çelikler : %0,05 - 0,3 karbon içerir.

2) Orta karbonlu çelikler : %0,3 - 0,8 karbon içerir .

3) Yüksek karbonlu çelikler : % 0,8 - 1,7 karbon içerir.

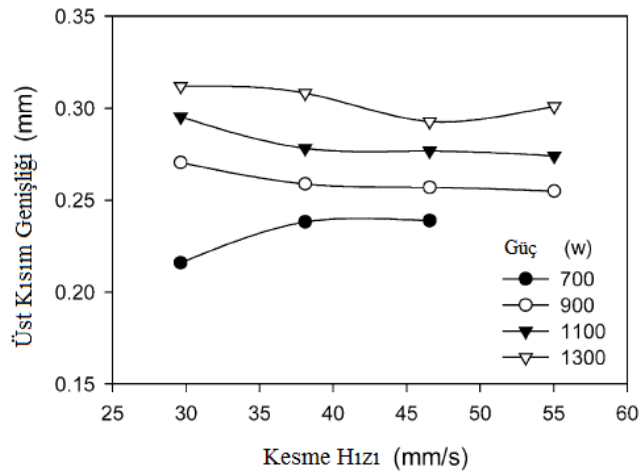
Düşük karbonlu çelikler sertleştirilemezler bunların uygun yöntemlerle yüzeylerin sertleştirilmesi mümkündür. Orta karbonlu çelikler ısı işlemlere oldukça yatkındır dayanımları az karbonlu çeliklere oranla daha iyidir yüksek karbonlu çeliklerin sünekliği azdır. Kesilmeleri ve işlenmeleri güçtür. Talaş kaldırma işlemine yumuşatma tavlama ile yatkınlık kazandırılabilir.

6. ÇELİĞİN KARBONDİOKSİT (CO₂) LASERİ İLE KESİLMESİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

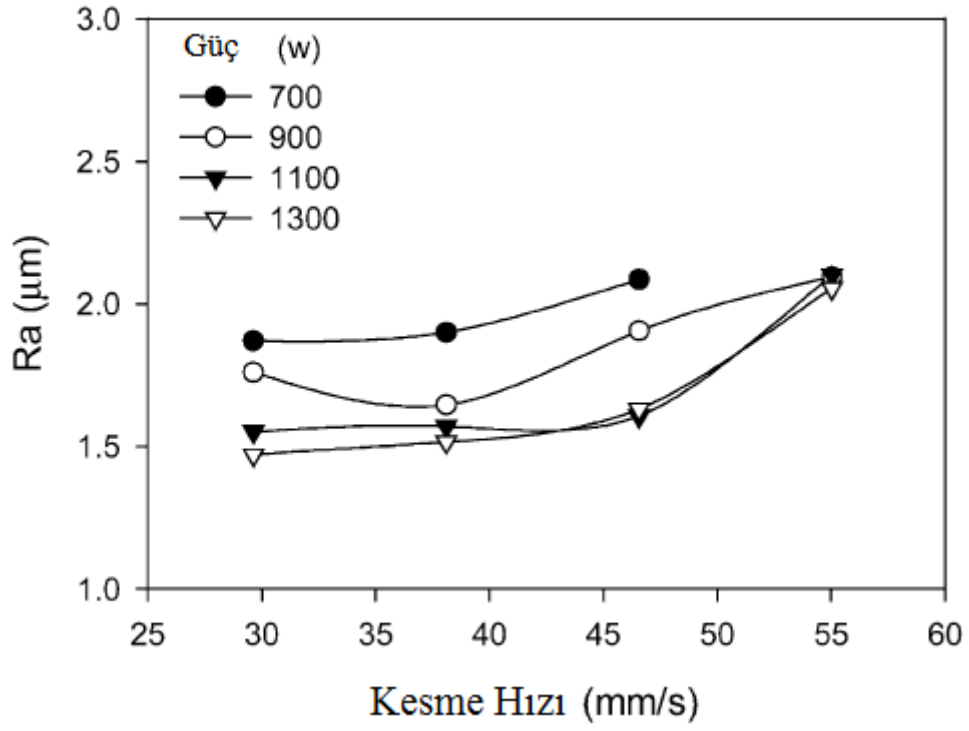
J. Sheikh-Ahmad ve ekibinin yapmış olduğu çalışmada 4130 çeliğini laser ışını ile kesmişlerdir. Kesim kalitesine laser gücünün, kesme hızının, cüruf oluşumunun, ısıdan etkilenen bölgenin ve yüzey pürüzlülüğünün etkisini araştırmışlardır. Laser gücünün ısıdan etkilenen bölgeyi ve kesme kanalı (kerf) genişliğini büyük ölçüde artırırken kesme hızının bunları daha az etkilediğini gözlemlemişlerdir. Diğer yandan cüruf oluşumunun ve yüzey pürüzlülüğünün daha çok kesme hızından etkilendiğini belirlemişlerdir. Optimum kesim kalitesi için kesme kanalı genişliğinin, yüzey pürüzlülüğünün ve ısıdan etkilenen bölgenin minimumda tutulması gerektiğini bulmuşlardır.

Çizelge 6.1 Laser kesme koşulları

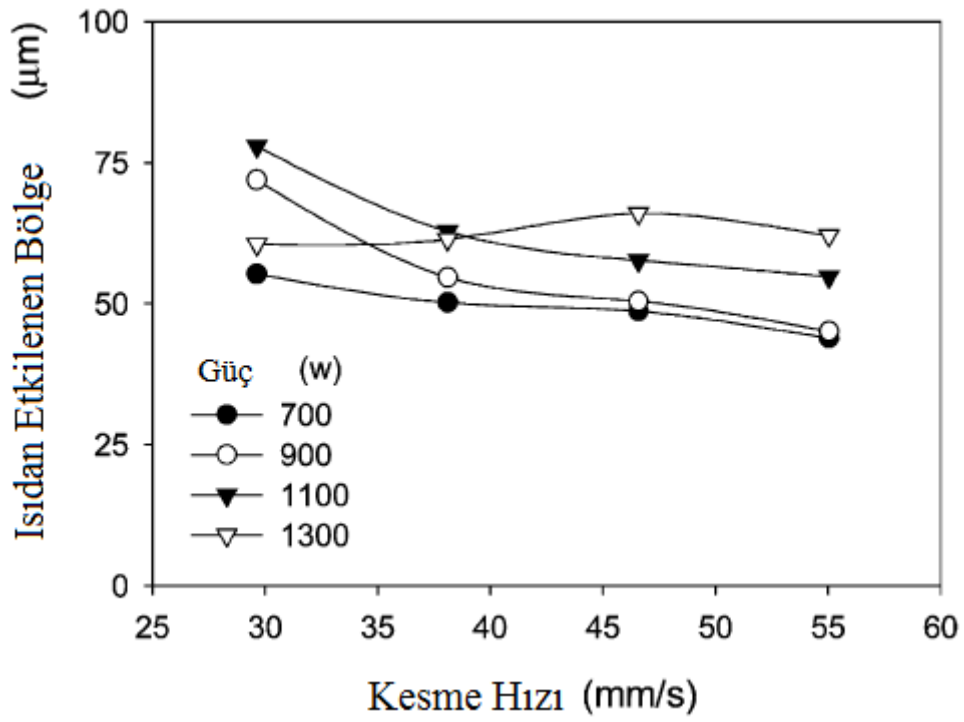
| Parametre | Değer |
|---------------------|-----------------------------|
| Malzeme ve kalınlık | 4130 , 1.27 mm |
| Kesme Hızı | 29.6, 38.1, 46.6, 55.0 mm/s |
| Güç | 700, 900, 1100, 1300 W |
| Frekans | 500 Hz |
| Çalışma Oranı | 85% |
| Gaz basıncı | 1.3 kgf/cm ³ |
| Nozul Yüksekliği | 1.5 mm |



Şekil 6.1 Güç ve kesme hızının üst kısım genişliği ile olan ilişkisi



Şekil 6.2 Güç ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğü ile olan ilişkisi

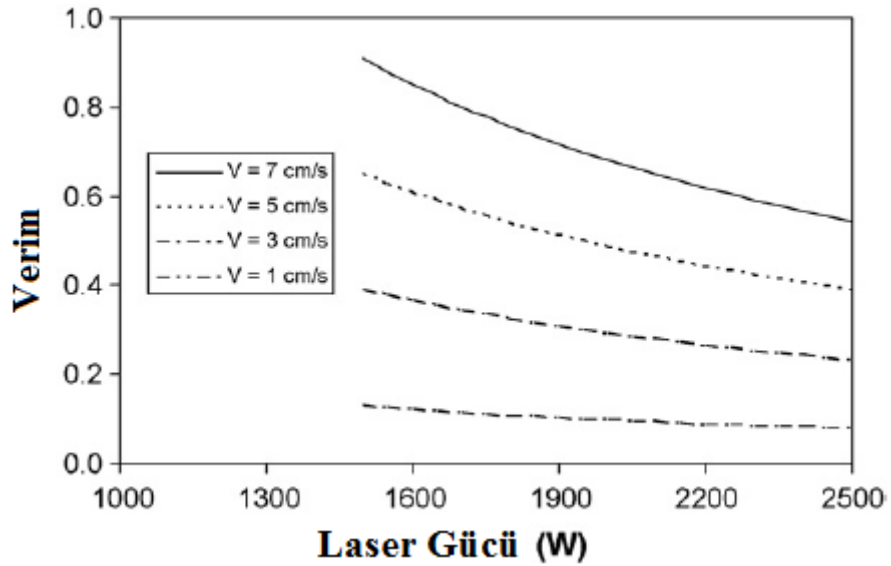


Şekil 6.3 Güç ve kesme hızının ısıdan etkilenen bölge ile olan ilişkisi

B.S Yilbas yapmış olduğu çalışmada 12 mm kalınlığındaki çelik malzemeyi 450 kPa oksijen basıncı ile 500-2000 W güç ve 0.05-0.5 m/sn hız aralıklarında kesmiştir. Laser çıkış gücü yoğunluğu ve oksijen basıncının kesme kanalı genişliğine olan etkisinin önemli boyutta olduğunu belirlemiştir. Artan laser gücü ve gaz basıncının kesim bölgesinde ısıl erozyona sebep olduğunu bunun sonucunda cüruf oluşumunun önemli ölçüde arttığını görmüştür. Laser gücü ve gaz basıncı değerlerinin azalması ile cüruf oluşumunun azaldığını belirlemiştir.

Çizelge 6.2 Laser kesim parametreleri

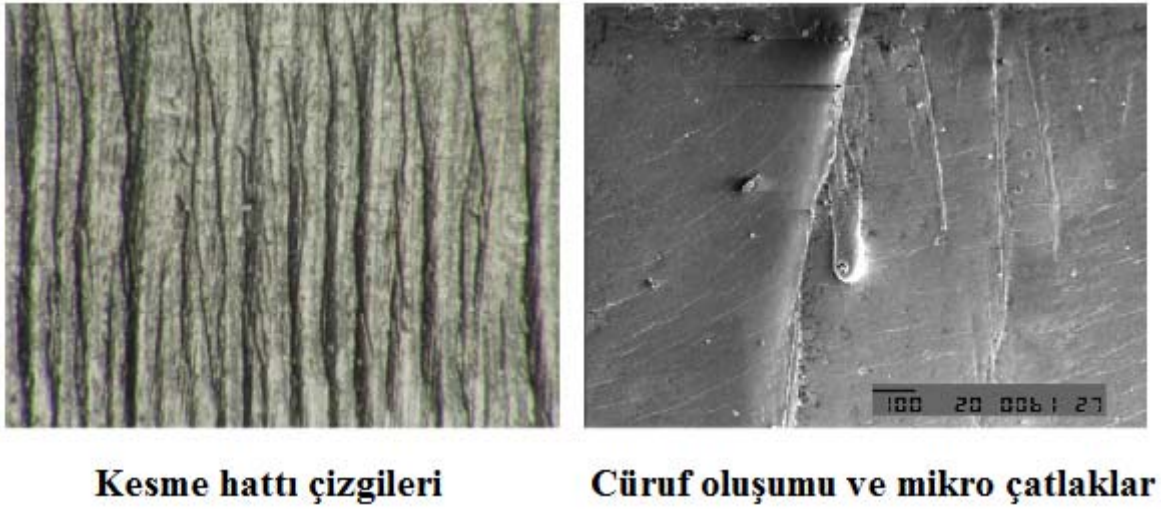
| Kesme Hızı (m/sn) | Güç (W) | Nozulun malzemeye olan uzaklığı (mm) | Nozul Çapı (mm) | O ₂ Basıncı (kPa) |
|----------------------|----------|---|--------------------|---------------------------------|
| 0,05-0,5 | 500-2000 | 1,0 | 1,5 | 450 |



Şekil 6.4 Farklı kesim hızlarında laser gücünün ısıl verimle olan ilişkisi



Şekil 6.5 Laserle kesilmiş parçanın alt ve üstten görünümü



Şekil 6.6 Laser kesim yüzeyinin optik ve tarama elektron mikroskobu ile oluşturulan görüntüleri

Shang-Liang Chen yapmış olduğu çalışmada 3 mm kalınlığındaki yumuşak çeliği 10 bar' a kadar farklı gaz basınçları kullanarak kesmiştir. Oksijen ile kesimde 4 bar' dan sonra kesim kalitesinin bozulduğunu gözlemlemiştir. İnert gaz ile kesimde ise çoğu laser parametresinde parçanın alt bölgesinde cüruf oluştuğunu belirlemiştir. Ancak argon gazı ile 10 bar basınç ve 25 mm/sn hızda yapmış olduğu kesimde kesim kalitesinin kabul edilebilir derecede düzgün olduğunu gözlemlemiştir. Sonuç olarak 3 mm kalınlığındaki yumuşak çeliğin laser ile kesilmesinde oksijen yardımcı gazının en iyi sonuç verdiğini, argon ve azot gazlarının oksijen kadar iyi sonuç vermese de kullanılabileceğini, hava ile yapılan kesimin istenilen kesim kalitesini sağlayamadığını belirlemiştir.

Çizelge 6.3 Kesme esnasında sabit tutulan parametreler

| | |
|-------------------------|---|
| Laser Tipi | 1,5 kW çıkış gücünde 10,6 µm sürekli dalgalı CO₂ laseri |
| Laser Modu | TEM ₀₁ |
| Lens Tipi | KCl, 125 mm odak uzunluklu |
| Nozul tipi | Silindirik düz başlı 1.5 mm delik çaplı |
| Kesme pozisyonu | Açısal olmayan, düz |
| Kesme parçası | 3 mm yalın karbonlu çelik |
| Nozul yüksekliği | 0.1 mm |
| Odak pozisyonu | Kesme parçasının yüzeyi |

Çizelge 6.4 40 mm/sn hızda 10 bar oksijen basıncındaki laser gücü etkileşimi

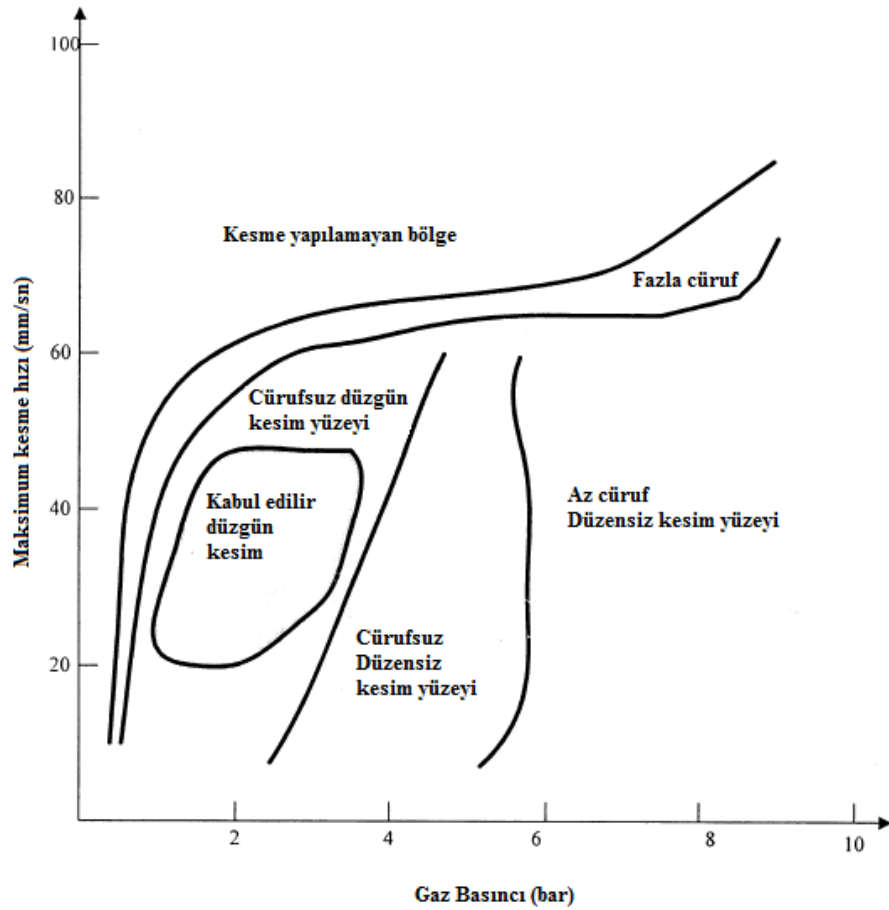
| Laser Gücü (kW) | 1.4 | 1.2 | 1 | 0.8 | 0.6 |
|---------------------|-------|-----|-----|-----|-----|
| Üst açıklık (mm) | 1.8 | 1.8 | 1.4 | 1.5 | 1.4 |
| Cüruf (mm) | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.6 | 0.8 |
| Kenar yanıkları | Fazla | | | Az | |

Çizelge 6.5 1 kW laser gücünde 10 bar oksijen basıncındaki kesme hızı etkileşimi

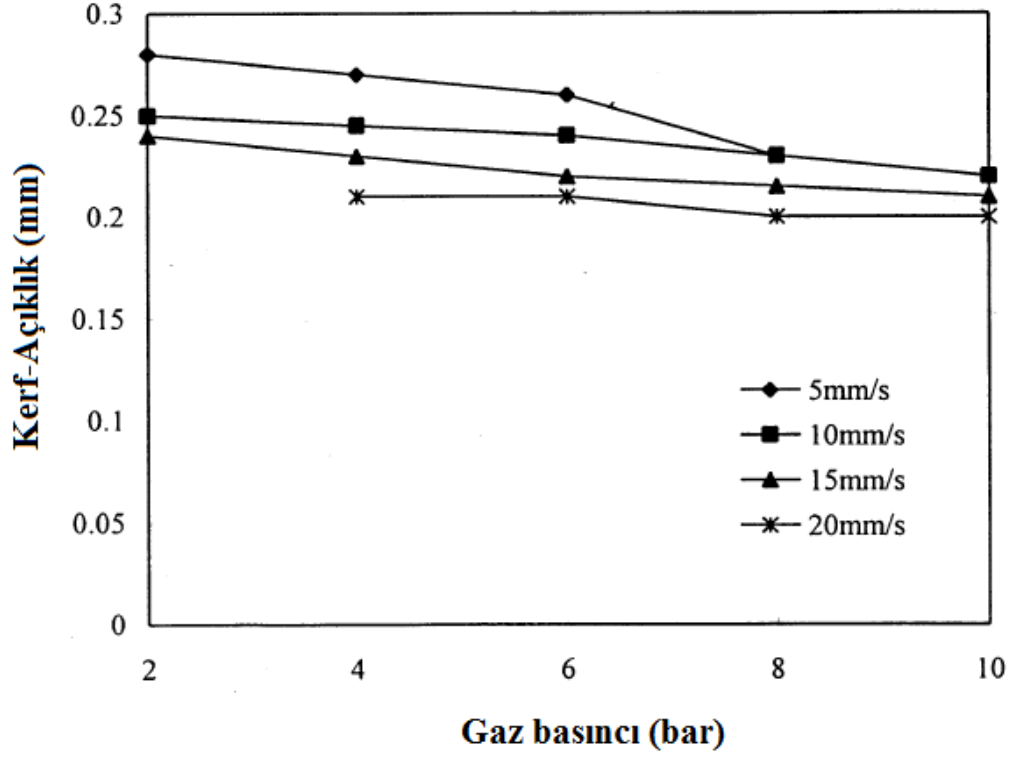
| Kesme Hızı (mm/sn) | 60 | 80 | 100 | 120 |
|-----------------------|-------|-----|-----|-------------------|
| Üst açıklık (mm) | 1.3 | 1.0 | 1.0 | 0.4 |
| Cüruf (mm) | 0.8 | 1.2 | 1.0 | 0.5 (Kısmi kesim) |
| Kenar yanıkları | Fazla | | Az | |

Çizelge 6.6 1.5 kW laser gücünde gaz basıncının maksimum kesme hızı ile olan ilişkisi

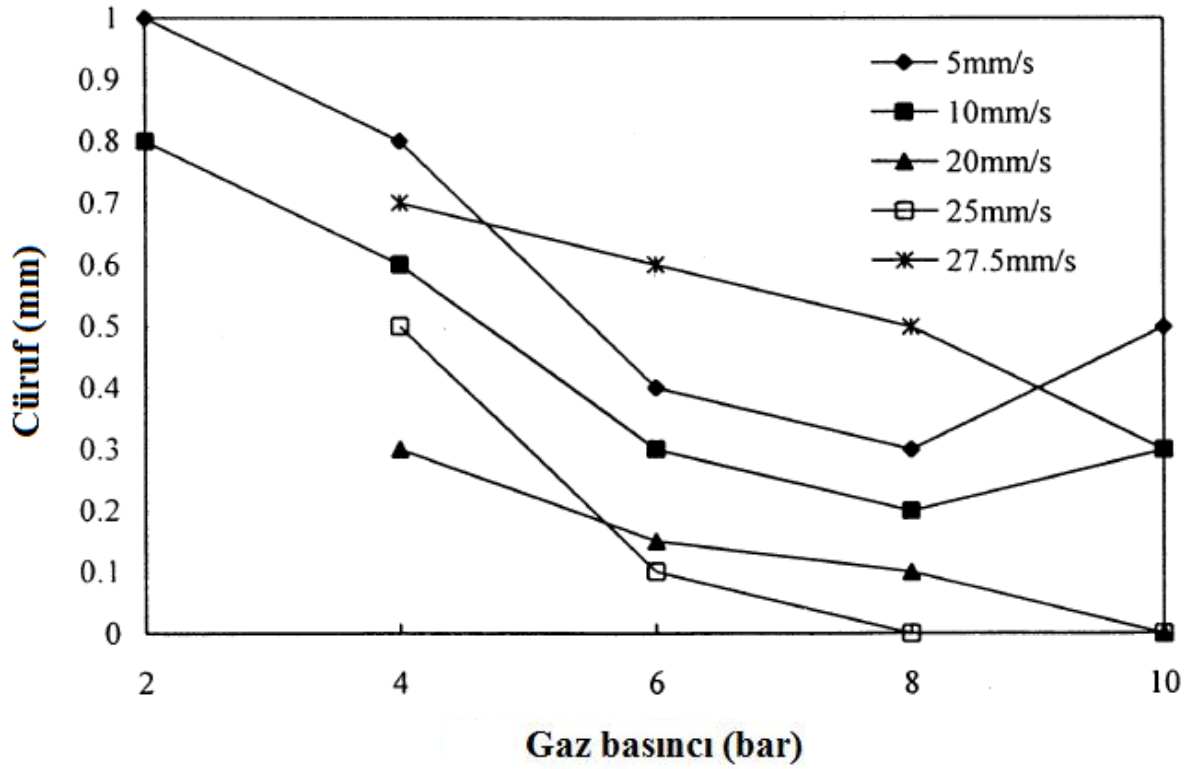
| (mm/sn) | 2 bar | 4 bar | 6 bar | 10 bar |
|----------------|----------|----------|----------|----------|
| Oksijen | 52.5±2.5 | 57.5±2.5 | 60.5±2.5 | 110±2.5 |
| Azot | 17.5±2.5 | 17.5±2.5 | 17.5±2.5 | 22.5±2.5 |
| Argon | 17.5±2.5 | 17.5±2.5 | 17.5±2.5 | 27.5±2.5 |
| Hava | 22.5±2.5 | 27.5±2.5 | 37.5±2.5 | - |



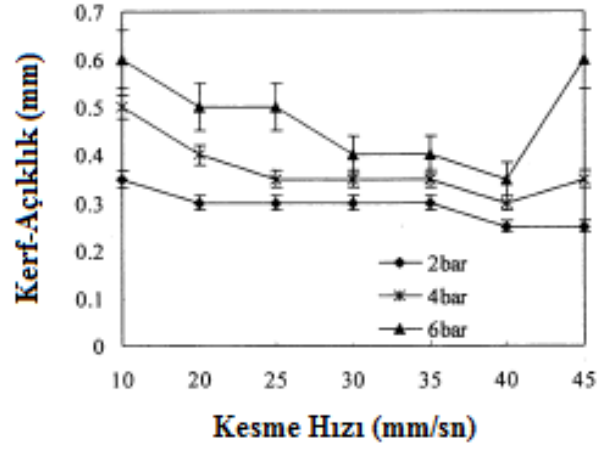
Şekil 6.7 Oksijen atmosferinde 3 mm'lik yalın karbonlu çelik için kabul edilebilir kaliteli kesim bölgesi



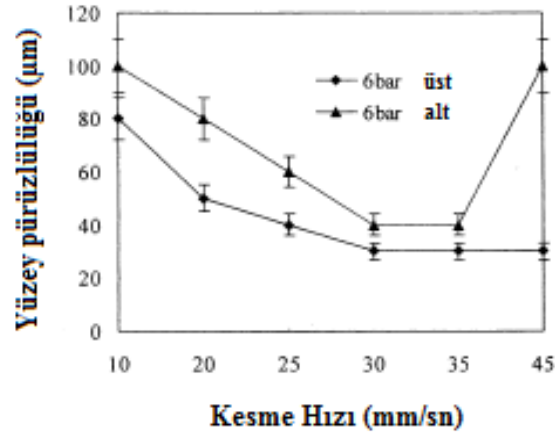
Şekil 6.8 Argon basıncının değişimiyle üst kısımda bulunan kesme kanalı arasındaki ilişki



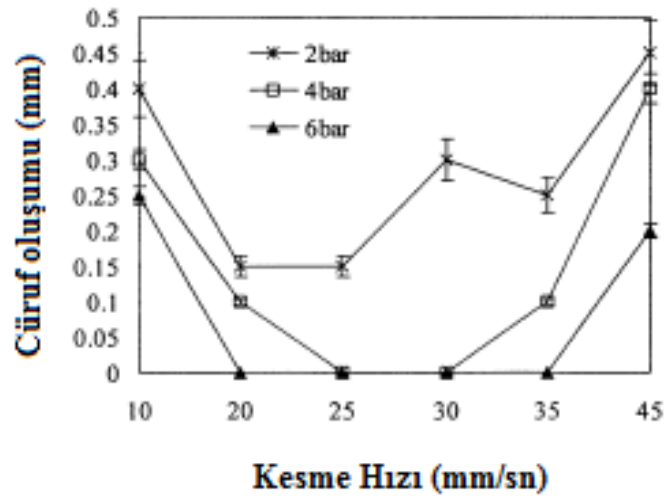
Şekil 6.9 Argon basıncının değişimiyle cüruf oluşumu arasındaki ilişki



Şekil 6.10 Basıncılı hava ile kesimde kesme kanalı genişliği ile kesme hızı arasındaki ilişki



Şekil 6.11 Basıncılı hava ile kesimde kesme hızı ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki



Şekil 6.12 Basıncılı hava ile kesimde cüruf oluşumu ile kesme hızı arasındaki ilişki

| | 20 mm/s | 30 mm/s | 40 mm/s | 50 mm/s | 60 mm/s | 70 mm/s |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0.5 bar | | | | NCT | | |
| 0.75 bar | | | | | NCT | |
| 1 bar | | | | | NCT | |
| 2 bar | | | | | NCT | |
| 4 bar | | | | | | NCT |
| 6 bar | | | | | | NCT |

Şekil 6.13 0,5-6 Bar gaz basınç aralığında ve 1400 W laser gücünde oksijenle kesimde elde edilen sonuçlar

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1 Giriş

Bu araştırmada, 3 mm ve 5 mm kalınlığındaki düşük karbonlu çelik malzemelerin CO₂ laseri kullanılarak düşük gaz basıncı, farklı kesme hızı , farklı laser gücü gibi kesim parametreleri için optimum değerlerini belirlemektir.

Araştırmada 4000 W gücünde Trumph marka karbondioksit (CO₂) laseri kullanılmıştır. Laser makinesi Sistem Reklamcılık A.Ş. bünyesinde bulunmaktadır. Düşük karbonlu çelik malzemeler ayrı ayrı oksijen ve hava ortamında farklı güçlerde (900 W ile 4000 W aralığında), farklı kesme hızlarında (1 m/dk ile 10 m/dk aralığında) ve farklı gaz basınçları ile (0 bar ile 5 bar) kesilmiştir. Daha sonra kesilen numunelerin mikro yapıları ışık metal mikroskopunda incelenmiştir. Uygun kesim parametrelerinin belirlenmesi için numunelerin yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı Marsurf perthometer S2 marka istasyonel ölçüm cihazıdır. Mikroskop incelemeleri ve yüzey pürüzlülüğü incelemelerinde elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak nihai kesim parametreleri belirlenmiştir.

Numuneler düşük karbonlu çelik çekme sacdan elde edilmiştir. Numunelerin kimyasal analizleri 3 mm kalınlığındaki numune için ;

99.08 % Fe, 0.082 % C, 0.046 % Si, 0.33 % Mn, 0.0147 % P, 0.0211 % S, 0.02 % Cr, 0.004 % Mo, 0.017 % Ni, 0.058 % Al

5 mm kalınlığındaki numune için ;

98.94 % Fe, 0.1 % C, 0.053 % Si, 0.484 % Mn, 0.0073 % P, 0.0135 % S, 0.025 % Cr, 0.006 % Mo, 0.018 % Ni, 0.064 % Al

şeklindedir.

Numuneler 3x3 cm boyutlarında kesilmiştir. Numunelerin makro görüntüsü Şekil 6.1' deki gibidir.



Şekil 7.1 Numunelerin makro görüntüsü



Şekil 7.2 Deneysel uygulamada kullanılan laser makinası (Trumph TC L 3030-TLF 4000)

Çizelge 7.1 Kullanılan laser makinasının teknik özellikleri

| | |
|--------------------------------|---|
| Toplam Ağırlık: | 11500 kg |
| Çalışma Alanı: | x yönünde 3000mm y yönünde 1500mm z yönünde 115mm |
| Boyutlar: | x yönünde 9800mm y yönünde 5300mm z yönünde 2000mm |
| Basınçlı Hava Tüketimi: | 31 m ³ /saat = 516 litre/dakika |
| Hız: | Max pozisyonlama hızı eksenlere paralel olarak 60m/dakika eş zamanlı olarak 85m/dakika |
| Duyarlılık: | En küçük programlanabilir hassasiyet 0,01 mm Pozisyonlama duyarlılığı ±0,1 mm Tekrar edilebilirlik ±0,03 mm |

| | | |
|--------------------------------|-----------------|-------------------------------------|
| Max Kesme Kalınlıkları: | Yumuşak Çelik | oksijen ile 20 mm |
| | | basınçlı hava ile 3 mm |
| | Paslanmaz Çelik | yüksek basınçlı azot ile 15 mm |
| | | basınçlı hava ile 3 mm |
| | Alüminyum | yüksek basınçlı azot ile 10 mm |
| | | basınçlı hava ile 2 mm |
| Max Kesme Hızları : | Yumuşak Çelik | oksijen ile 8,2m/dak |
| | | basınçlı hava ile 19m/dak |
| | Paslanmaz Çelik | yüksek basınçlı azot ile 10,5 m/dak |
| | | basınçlı hava ile 20 m/dak |
| | Alüminyum | yüksek basınçlı azot ile 11,4 m/dak |
| | | basınçlı hava ile 18 m/dak |

7.2 Kesim Parametreleri

Kesim parametrelerinin değişiminin sınırsız olduğunu düşünürsek; parametreleri belirlerken ilk olarak makro ölçüde kesim yüzeyine bakılmış, olası kesim parametreleri çıkarılmış, daha sonra bu parametrelerin belli ölçülerde alt ve üst değerleri alınarak en uygun parametreler incelemelere dayanılarak bulunmuştur.

Buna göre oksijen atmosferinde kesimde 3 mm' lik numune için olası değerler ;

| Laser Gücü (Watt) | Kesme Hızı (m/dk) | Kesme gazı basıncı (bar) |
|-------------------|-------------------|--------------------------|
| 1500 | 3,9 | 0,8 |

olarak seçilmiştir.

Seçilen bu parametrelerden alt ve üst olarak değerler belirlenmiş ve 7.2, 7.2 ve 7.4 nolu çizelgelerde gösterilmiştir.

Çizelge 7.2 Oksijen atmosferinde 3 mm kalınlıktaki çelik için belirlenmiş olan laser gücü parametreleri

| Numune no | Laser Gücü (Watt) | Kesme Hızı (m/dk) | Kesme gazı basıncı (bar) |
|-----------|-------------------|-------------------|--------------------------|
| 3.1 | 900 | 3,9 | 0,8 |
| 3.2 | 1500 | 3,9 | 0,8 |
| 3.3 | 3600 | 3,9 | 0,8 |

Çizelge 7.3 Oksijen atmosferinde 3 mm kalınlıktaki çelik için belirlenmiş olan kesme hızı parametreleri

| Numune no | Laser Gücü (Watt) | Kesme Hızı (m/dk) | Kesme gazı basıncı (bar) |
|-----------|-------------------|-------------------|--------------------------|
| 3.4 | 1500 | 2 | 0,8 |
| 3.2 | 1500 | 3,9 | 0,8 |
| 3.5 | 1500 | 8,2 | 0,8 |

Çizelge 7.4 Oksijen atmosferinde 3 mm kalınlıktaki çelik için belirlenmiş olan kesme gazı basıncı parametreleri

| Numune no | Laser Gücü (Watt) | Kesme Hızı (m/dk) | Kesme gazı basıncı (bar) |
|-----------|-------------------|-------------------|--------------------------|
| 3.6 | 1500 | 3,9 | 0,6 |
| 3.2 | 1500 | 3,9 | 0,8 |
| 3.7 | 1500 | 3,9 | 5 |

Hava atmosferinde 3 mm' lik numune için olası değerler ;

| Laser Gücü (Watt) | Kesme Hızı (m/dk) | Kesme gazı basıncı (bar) |
|-------------------|-------------------|--------------------------|
| 3500 | 5,5 | 5 |

olarak belirlenmiştir.

Seçilen bu değerlere göre belirlenen parametreler 7.5 ve 7.6 nolu çizelgelerde gösterilmektedir.

Çizelge 7.5 Hava atmosferinde 3 mm kalınlıktaki çelik için belirlenmiş olan laser gücü parametreleri

| Numune no | Laser Gücü (Watt) | Kesme Hızı (m/dk) | Kesme gazı basıncı (bar) |
|-----------|-------------------|-------------------|--------------------------|
| 3.8 | 3000 | 5,5 | 5 |
| 3.9 | 3500 | 5,5 | 5 |
| 3.10 | 4000 | 5,5 | 5 |

Çizelge 7.6 Hava atmosferinde 3 mm kalınlıktaki çelik için belirlenmiş olan kesme hızı parametreleri

| Numune no | Laser Gücü (Watt) | Kesme Hızı (m/dk) | Kesme gazı basıncı (bar) |
|-----------|-------------------|-------------------|--------------------------|
| 3.11 | 3500 | 3,9 | 5 |
| 3.9 | 3500 | 5,5 | 5 |
| 3.12 | 3500 | 7 | 5 |

Hava ile kesimde 5 bar basınç değerinin altında düşük basınç nedeniyle kesme işlemi sağlıklı biçimde gerçekleştirilemediğinden bu değerlerde numune elde edilememiş ve inceleme imkanı bulunamamıştır.

Oksijen atmosferinde 5 mm' lik numune için olası değerler ;

| Laser Gücü (Watt) | Kesme Hızı (m/dk) | Kesme gazı basıncı (bar) |
|-------------------|-------------------|--------------------------|
| 3600 | 3,4 | 0,8 |

olarak belirlenmiştir. Buna göre seçilen alt ve üst değerler 7.7 , 7.8 ve 7.9 nolu çizelgelerde gösterilmiştir.

Çizelge 7.7 Oksijen atmosferinde 5 mm kalınlıktaki çelik için belirlenmiş olan laser güç parametreleri

| Numune no | Laser Gücü (Watt) | Kesme Hızı (m/dk) | Kesme gazı basıncı (bar) |
|-----------|-------------------|-------------------|--------------------------|
| 5.1 | 1500 | 3,4 | 0,8 |
| 5.2 | 3600 | 3,4 | 0,8 |
| 5.3 | 4000 | 3,4 | 0,8 |

Çizelge 7.8 Oksijen atmosferinde 5 mm kalınlıktaki çelik için belirlenmiş olan kesme hızı parametreleri

| Numune no | Laser Gücü (Watt) | Kesme Hızı (m/dk) | Kesme gazı basıncı (bar) |
|-----------|-------------------|-------------------|--------------------------|
| 5.4 | 3600 | 1,6 | 0,8 |
| 5.2 | 3600 | 3,4 | 0,8 |
| 5.5 | 3600 | 5,4 | 0,8 |

Çizelge 7.9 Oksijen atmosferinde 5 mm kalınlıktaki çelik için belirlenmiş olan kesme gazı basıncı parametreleri

| Numune no | Laser Gücü (Watt) | Kesme Hızı (m/dk) | Kesme gazı basıncı (bar) |
|-----------|-------------------|-------------------|--------------------------|
| 5.6 | 3600 | 3,4 | 0,6 |
| 5.2 | 3600 | 3,4 | 0,8 |
| 5.7 | 3600 | 3,4 | 5 |

5 mm' lik numune kesiminde hava atmosferinde kesim denenmiş ancak oksijen ile kesim ile kıyaslandığında kesim için gerekli güç yoğunluğu sağlanamadığından kesim işlemi gerçekleştirilememiştir.

7.3 Yüzey Pürüzlülük İncelemeleri

Yüzey pürüzlülük değerleri DIN EN ISO 4288 standartlarına göre 5,6 mm uzunlukta ölçülmüştür. Ayrıca DIN 2310'a göre laser ışını ile kesme yönteminde kalınlığı 2 mm'yi aşan plakaların yüzey pürüzlülük ölçümü ışının girdiği kenardan itibaren 2/3 uzaklıkta ölçülür. (Karaaslan, 2009)

Ölçüm işlemleri bunlar göz önünde bulundurularak yapılmış, inceleme sonucunda yüzey pürüzlülük değerleri aşağıdaki şekilde bulunmuştur. Sonuç olarak kaba pürüzlülük değerleri (R_a) baz alınmıştır.



Şekil 7.3 Yüzey pürüzlülük eğrisi

Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesinde kullanılan parametreler aşağıda gösterildiği gibidir.

R_a : Aritmetik ortalama sapma (kaba pürüzlülük)

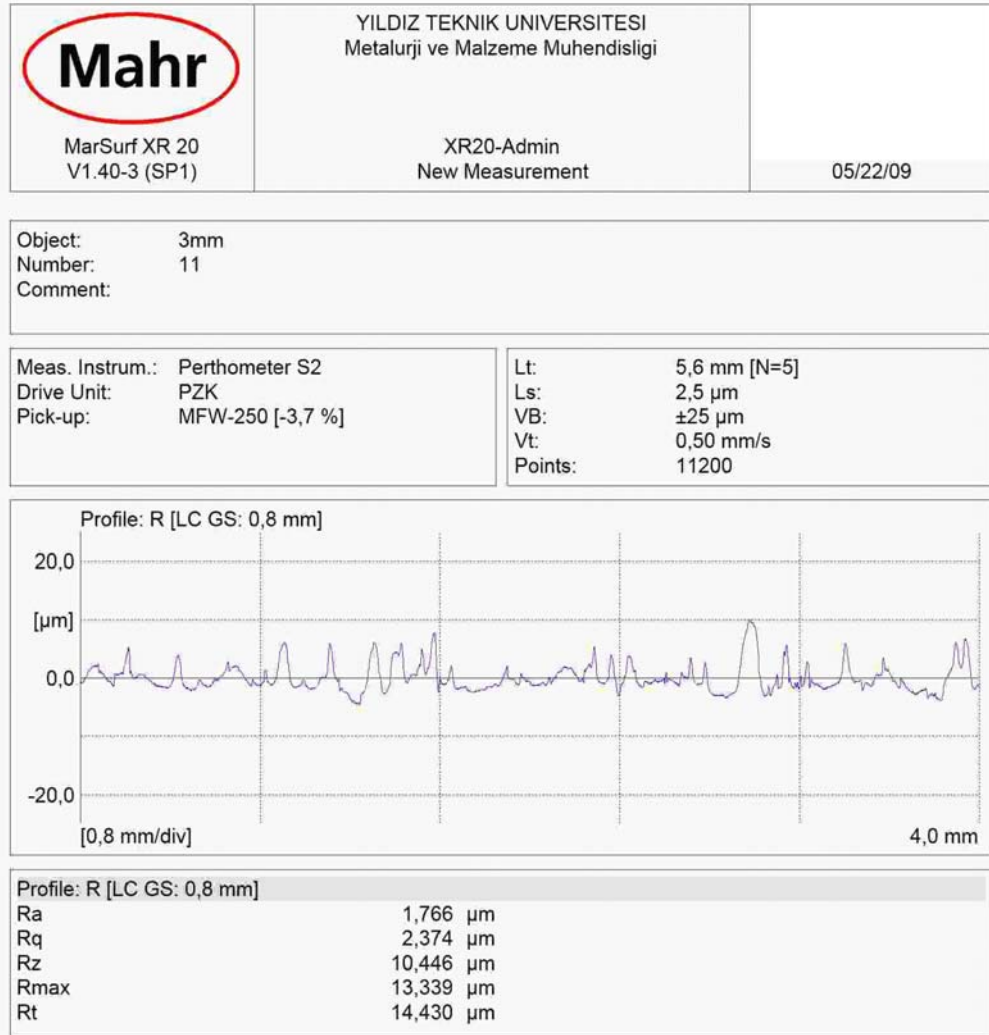
R_z : 5 tane en yüksek 5 tane en alçak noktanın ortalaması

R_t : Tüm ölçüm uzunluğu için maksimum yükseklik ile maksimum derinliğin toplamı

R_q : Aritmetik ortalama sapmaların karekökü

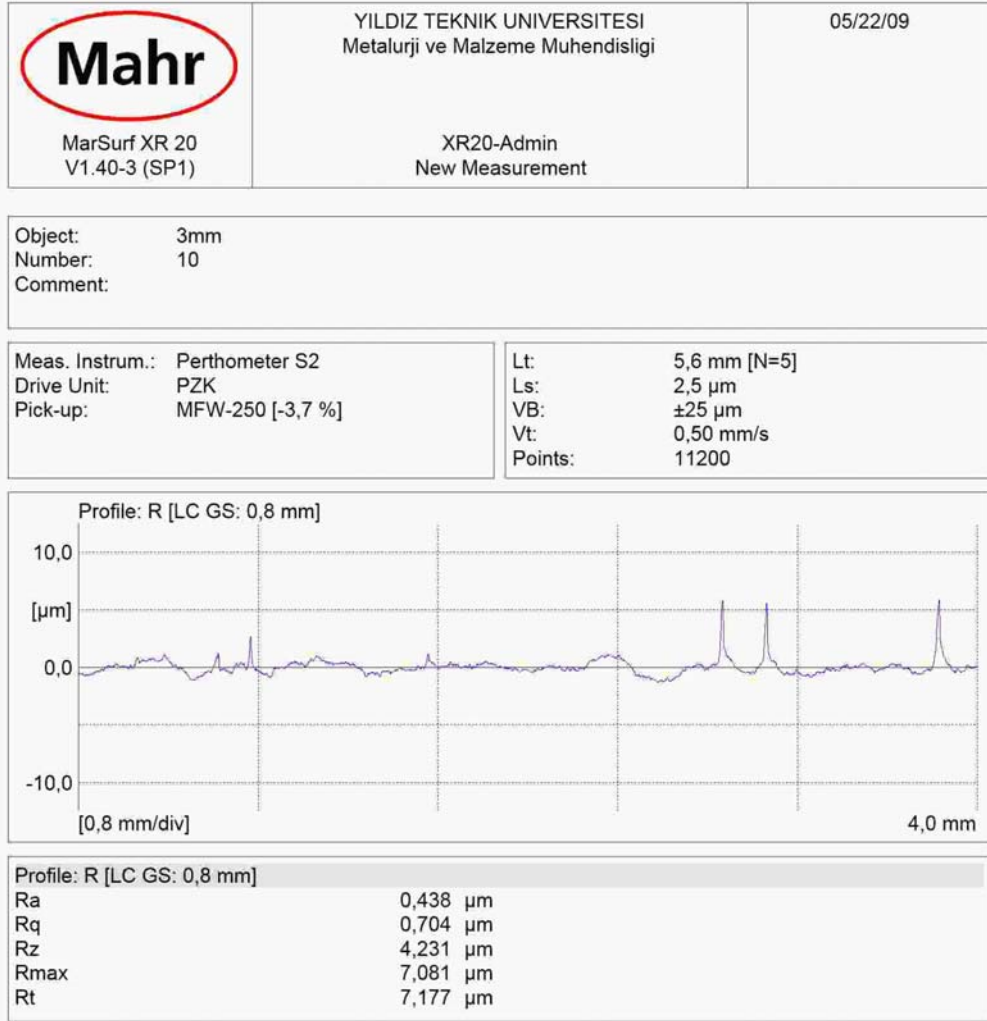


Şekil 7.4 Yüzey pürüzlülük ölçüm aleti



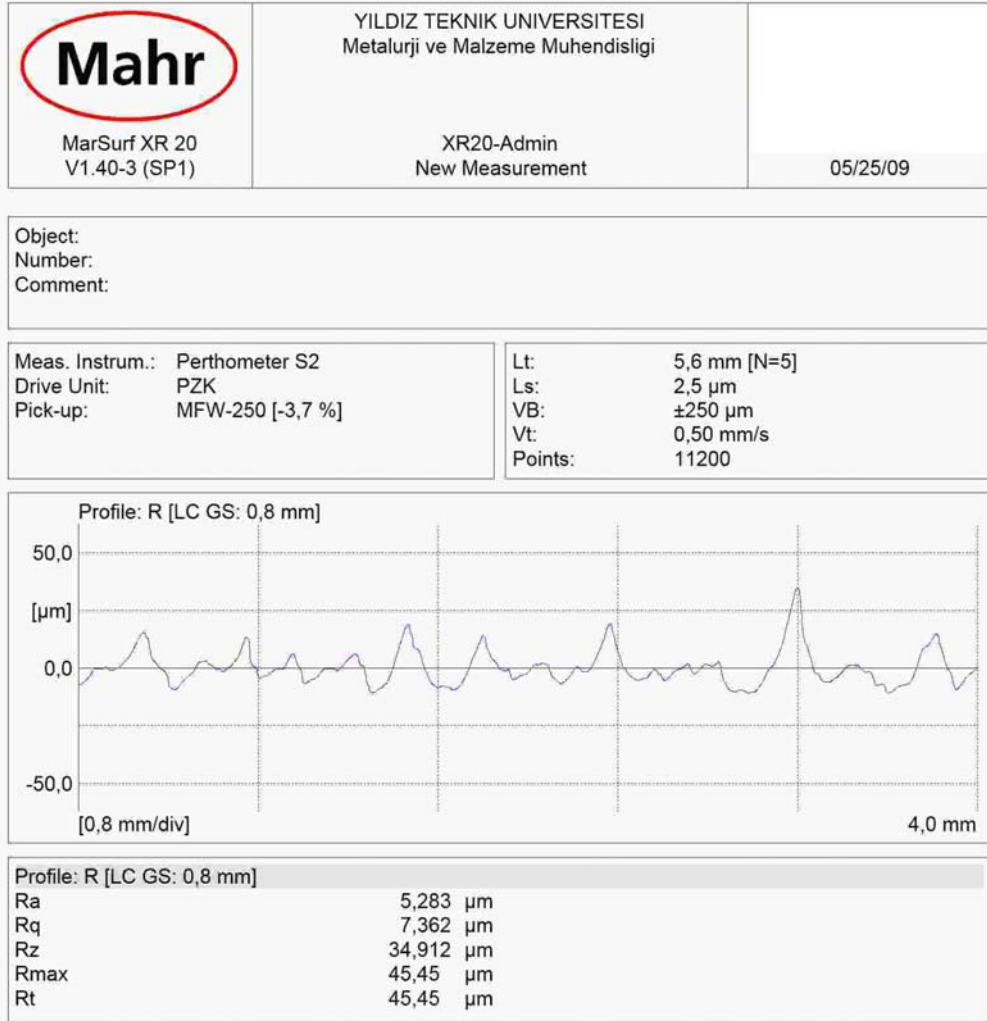
Düşük karbonlu (~0,1) 3 mm kalınlığındaki çeliğin oksijen ortamında 900 W laser gücü, 3,9 m/dk kesme hızında, 0,8 bar kesme gazı basıncında kesilmiş olan yüzeyinin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri

Şekil 7.5 3.1 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri



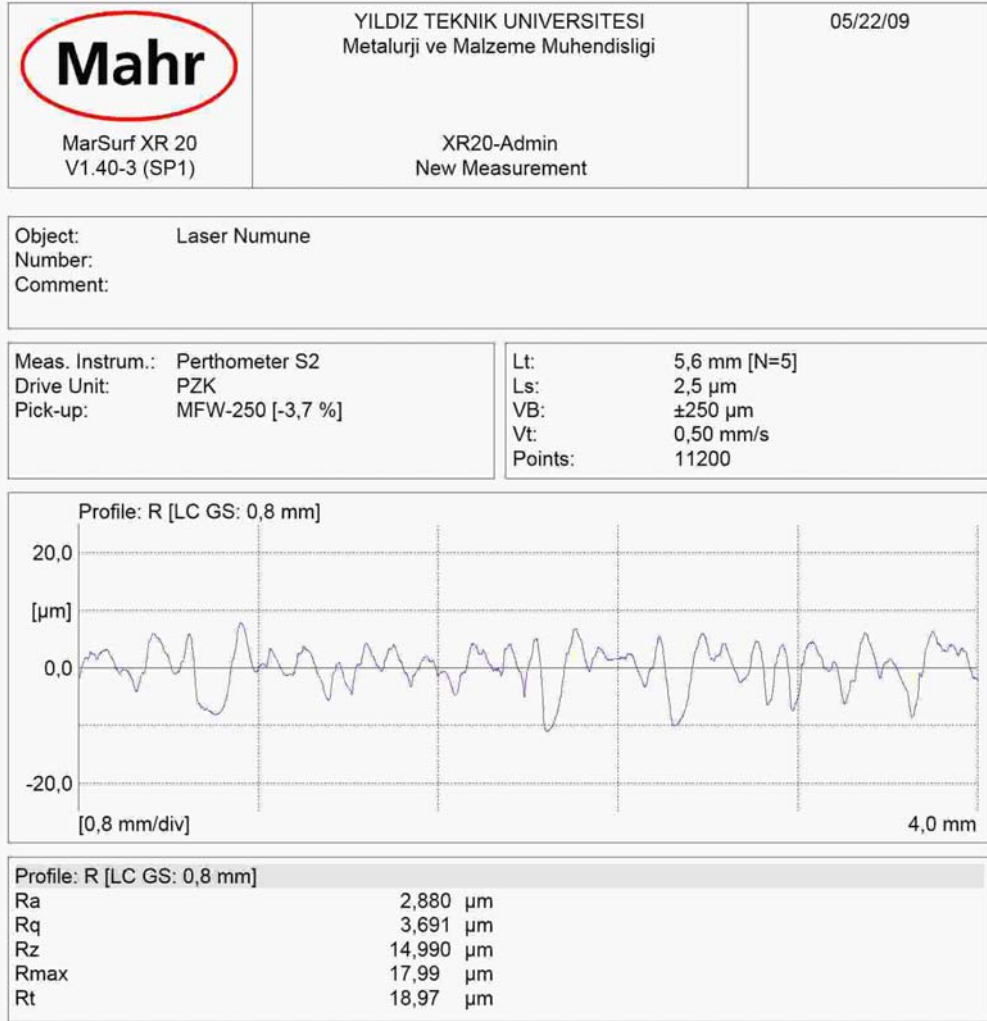
Düşük karbonlu (~0,1) 3 mm kalınlığındaki çeliğin oksijen ortamında 1500 W laser gücü, 3,9 m/dk kesme hızında, 0,8 bar kesme gazı basıncında kesilmiş olan yüzeyinin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri

Şekil 7.6 3.2 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri



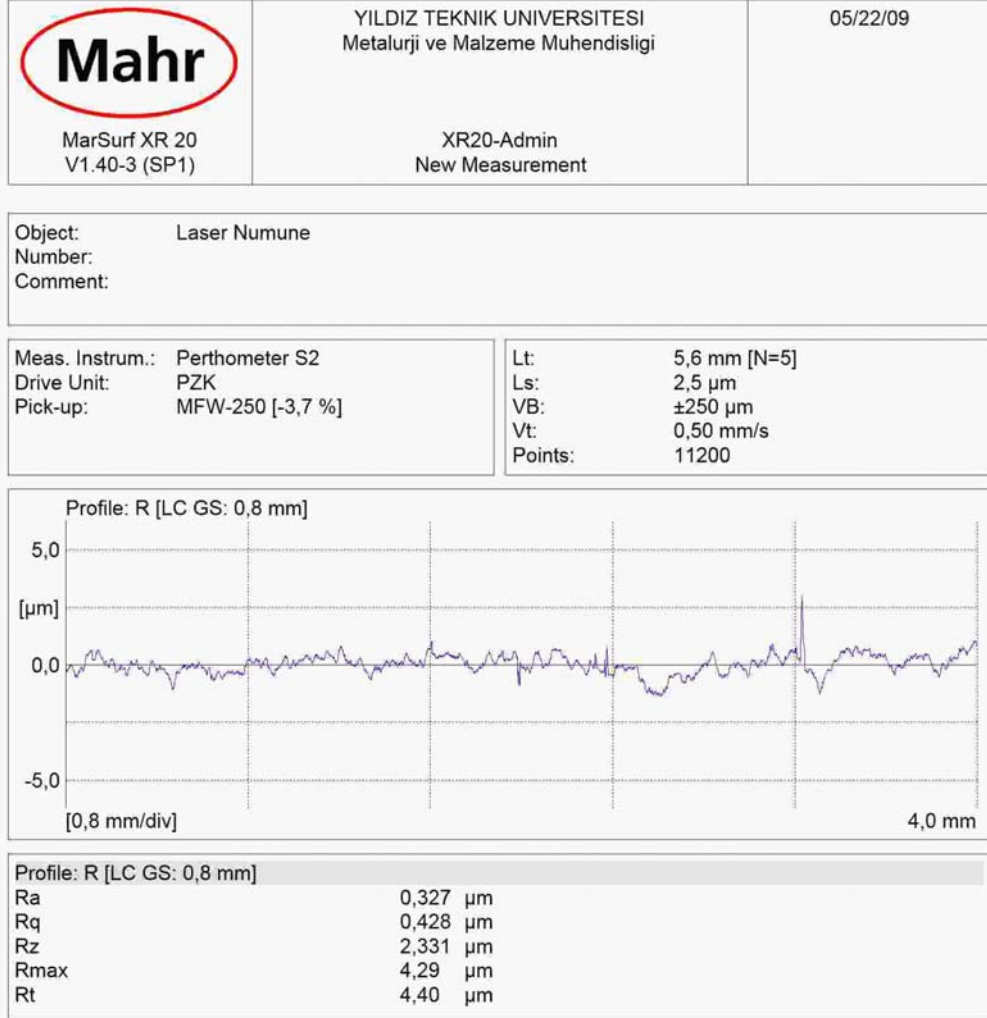
Düşük karbonlu (~0,1) 3 mm kalınlığındaki çeliğin oksijen ortamında 3600 W laser gücü, 3,9 m/dk kesme hızında, 0,8 bar kesme gazı basıncında kesilmiş olan yüzeyinin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri

Şekil 7.7 3.3 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri



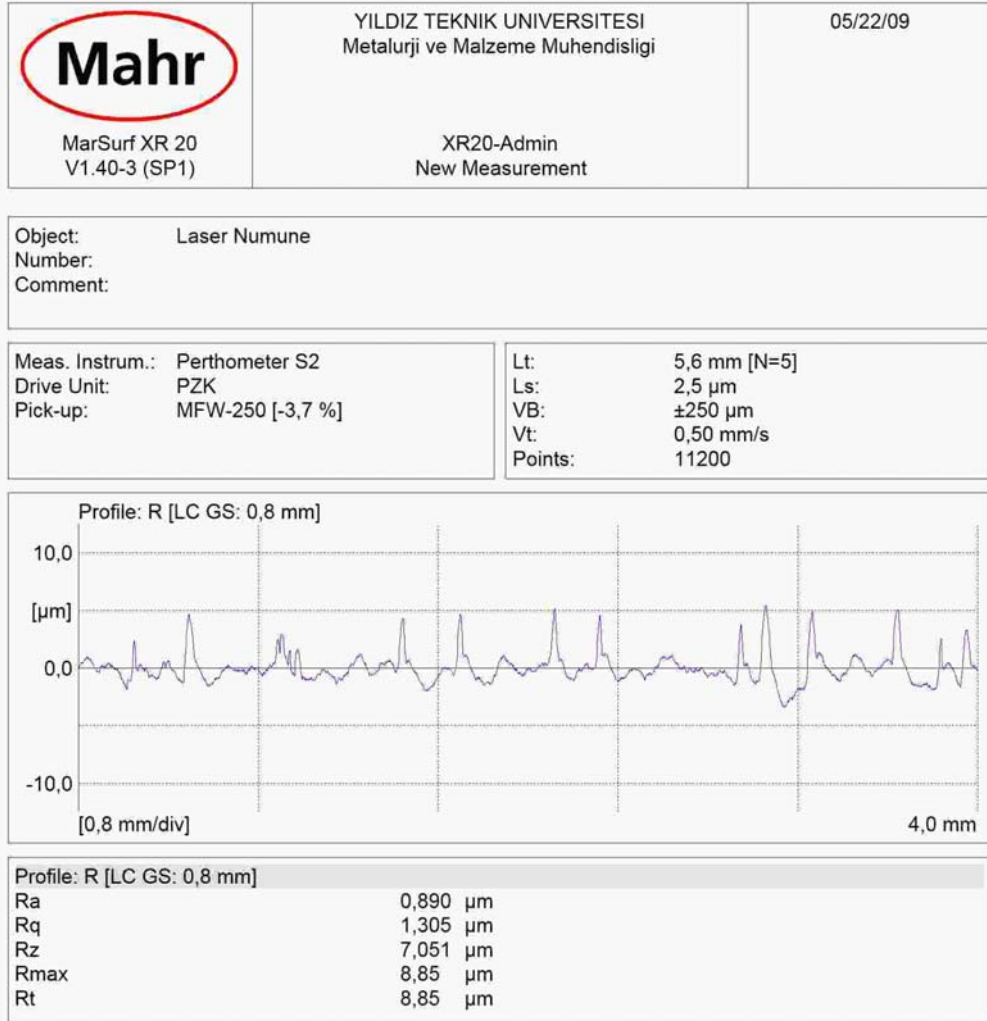
Düşük karbonlu (~0,1 C) 3 mm kalınlığındaki çeliğin oksijen ortamında 1500 W laser gücünde, 2 m/dk kesme hızında, 0,8 bar kesme gazı basıncında kesilmiş olan yüzeyinin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri

Şekil 7.8 3.4 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri



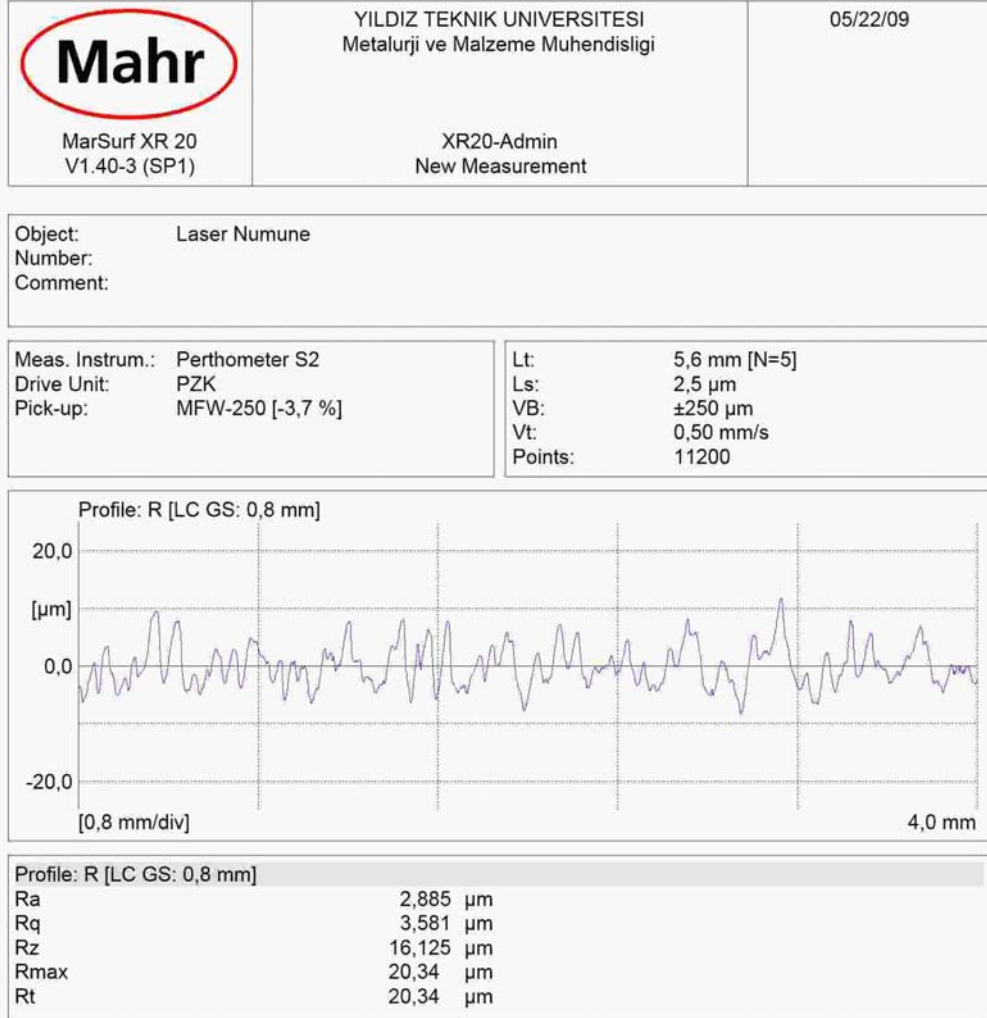
Düşük karbonlu (~0,1) 3 mm kalınlığındaki çeliğin oksijen ortamında 1500 W laser gücü, 3,9 m/dk kesme hızında, 0,6 bar kesme gazı basıncında kesilmiş olan yüzeyinin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri

Şekil 7.9 3.6 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri



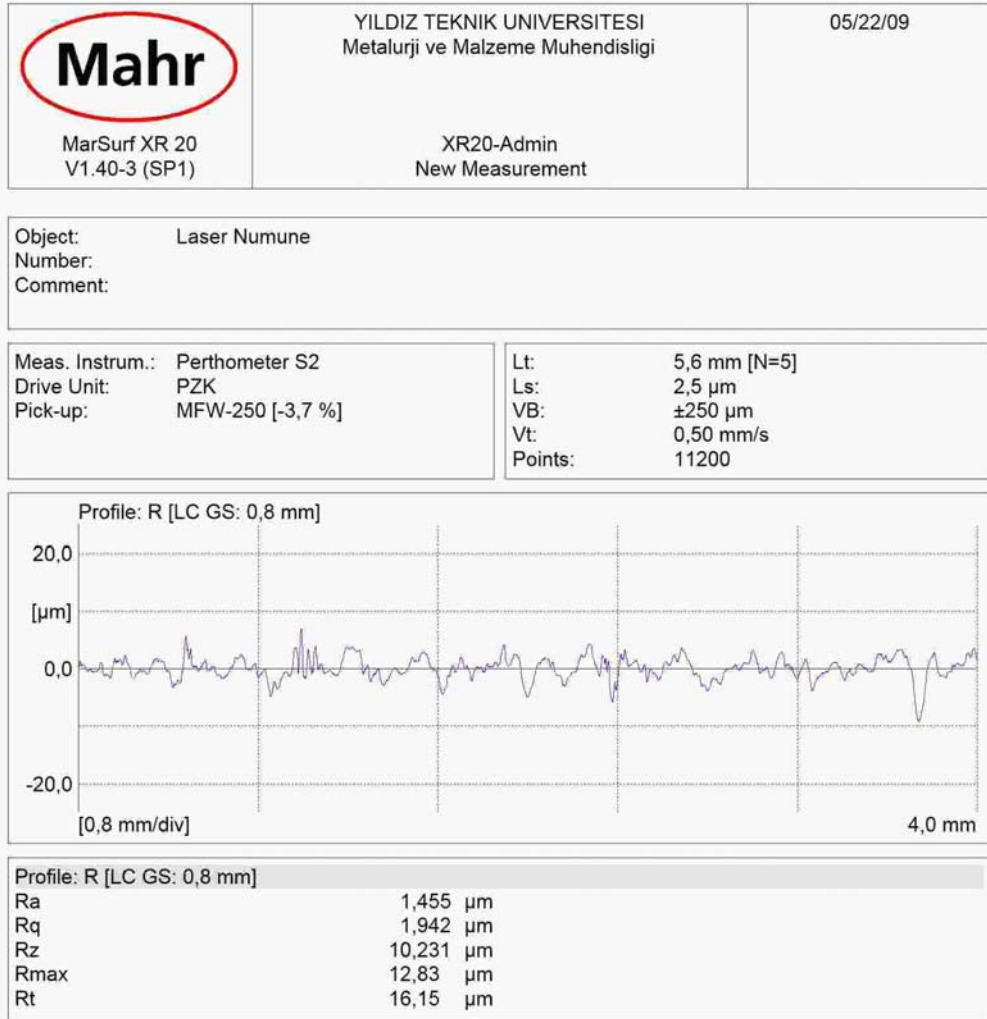
Düşük karbonlu (~0,1) 3 mm kalınlığındaki çeliğin oksijen ortamında 1500 W laser gücü, 3,9 m/dk kesme hızında, 5 bar kesme gazı basıncında kesilmiş olan yüzeyinin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri

Şekil 7.10 3.7 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri



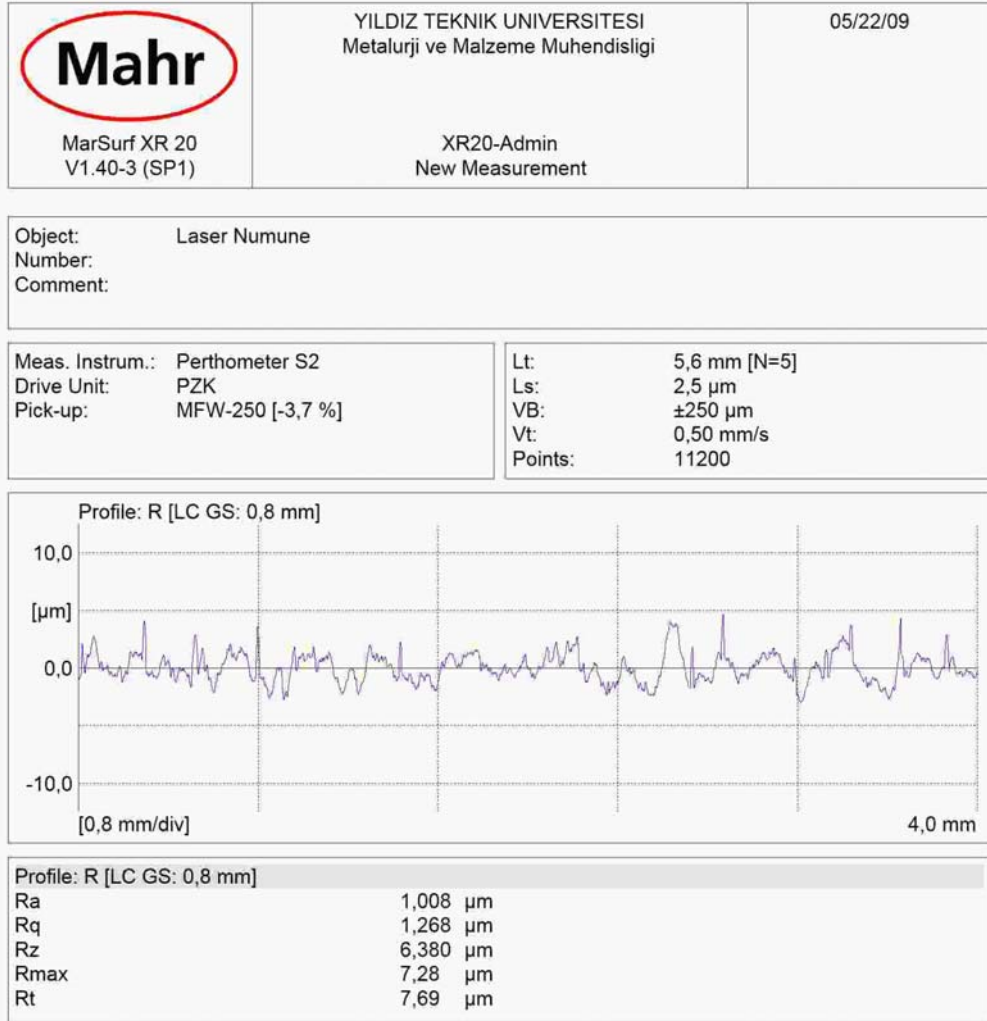
Düşük karbonlu (~0,1) 3 mm kalınlığındaki çeliğin hava ortamında 3000 W laser gücü, 5,5 m/dk kesme hızında, 5 bar kesme gazı basıncında kesilmiş olan yüzeyinin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri

Şekil 7.11 3.8 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri



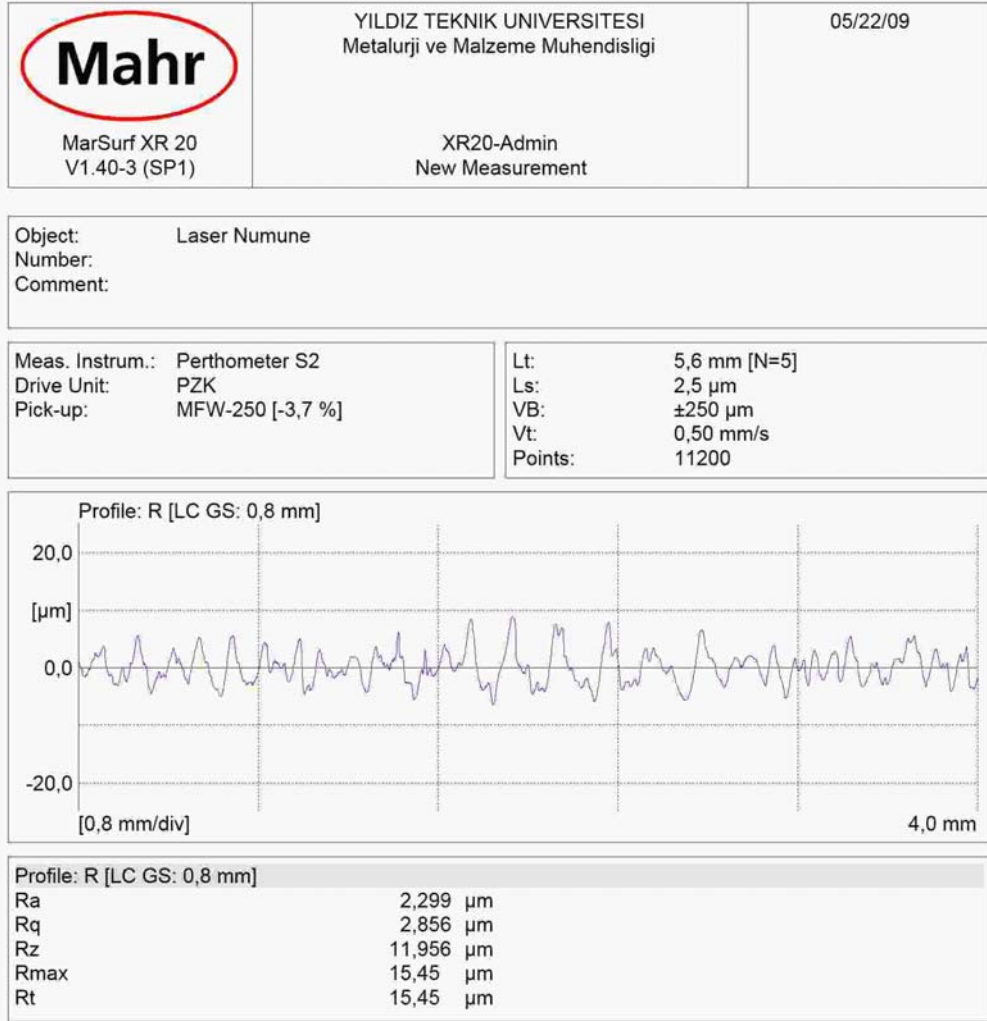
Düşük karbonlu (~0,1) 3 mm kalınlığındaki çeliğin hava ortamında 3500 W laser gücü, 5,5 m/dk kesme hızında, 5 bar kesme gazı basıncında kesilmiş olan yüzeyinin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri

Şekil 7.12 3.9 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri



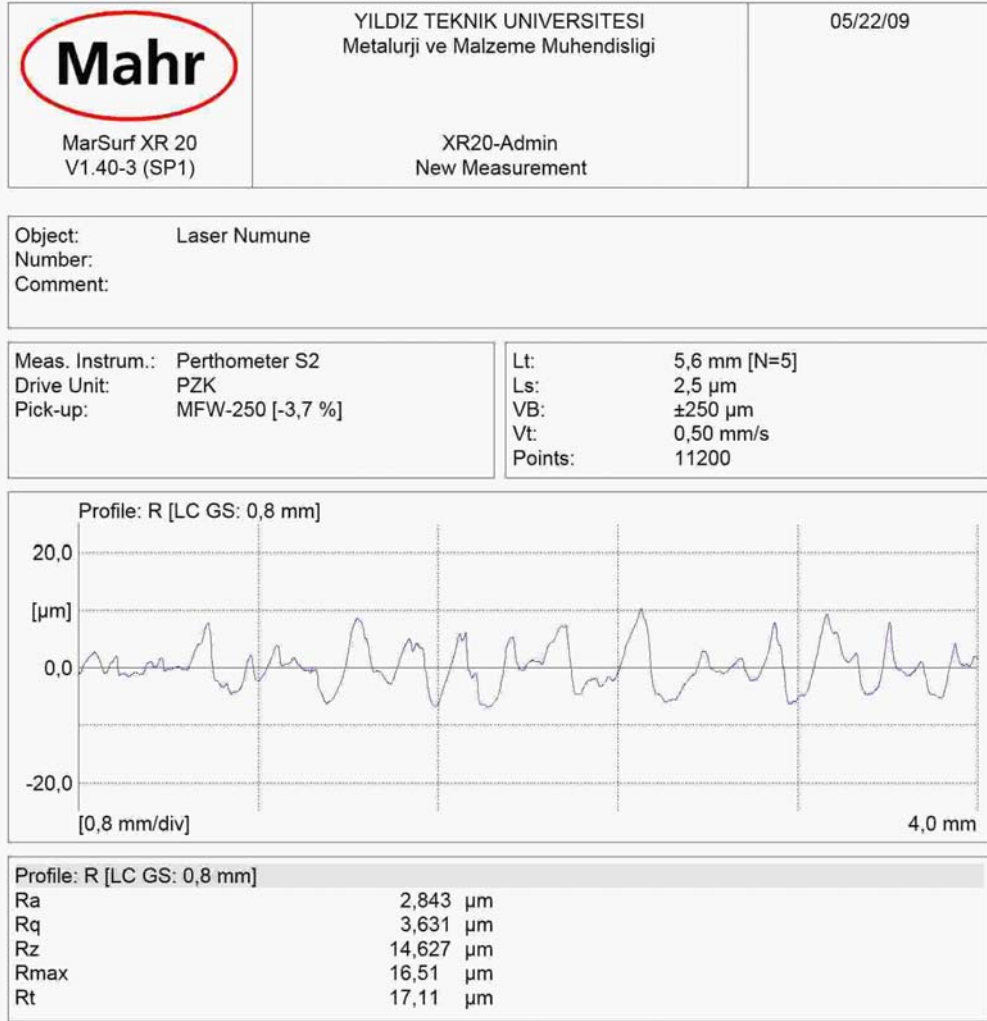
Düşük karbonlu (~0,1) 3 mm kalınlığındaki çeliğin hava ortamında 4000 W laser gücü, 5,5 m/dk kesme hızında, 5 bar kesme gazı basıncında kesilmiş olan yüzeyinin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri

Şekil 7.13 3.10 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri



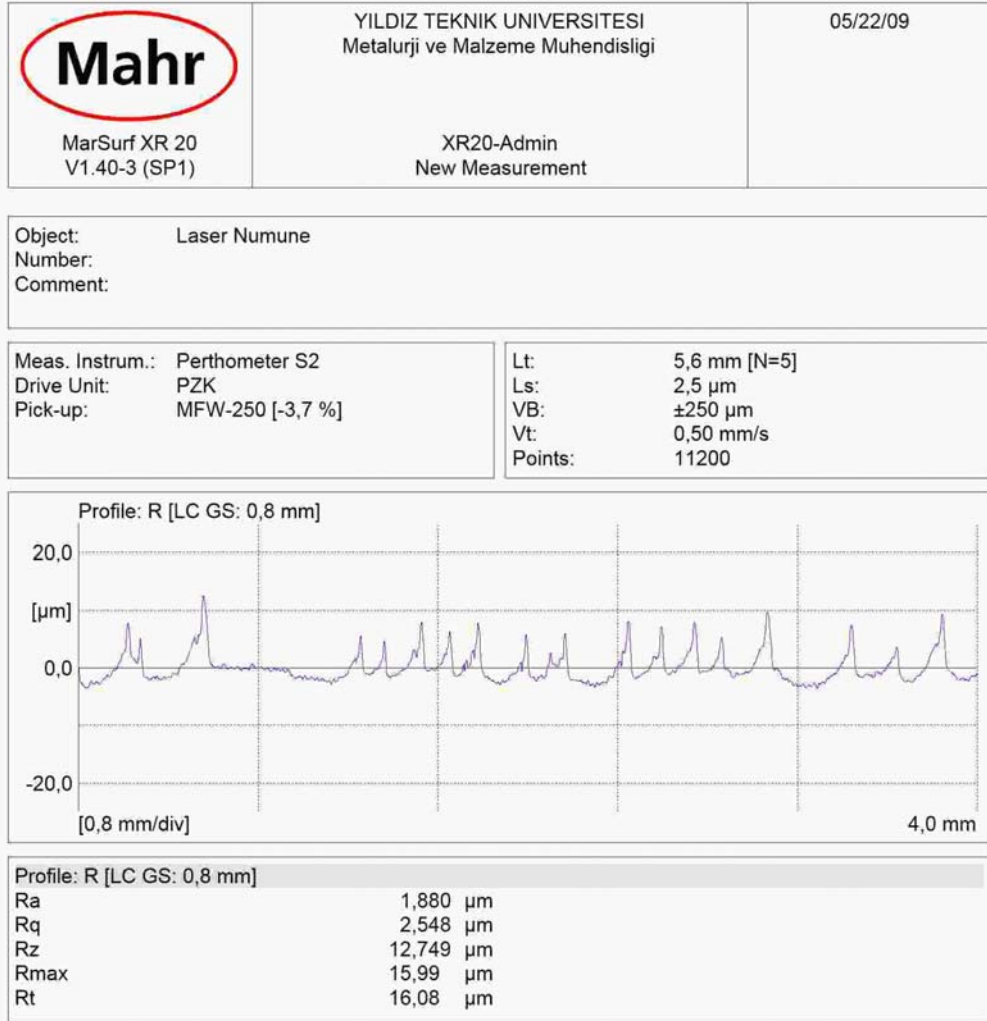
Düşük karbonlu (~0,1) 3 mm kalınlığındaki çeliğin hava ortamında 3500 W laser gücü, 3,9 m/dk kesme hızında, 5 bar kesme gazı basıncında kesilmiş olan yüzeyinin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri

Şekil 7.14 3.11 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri



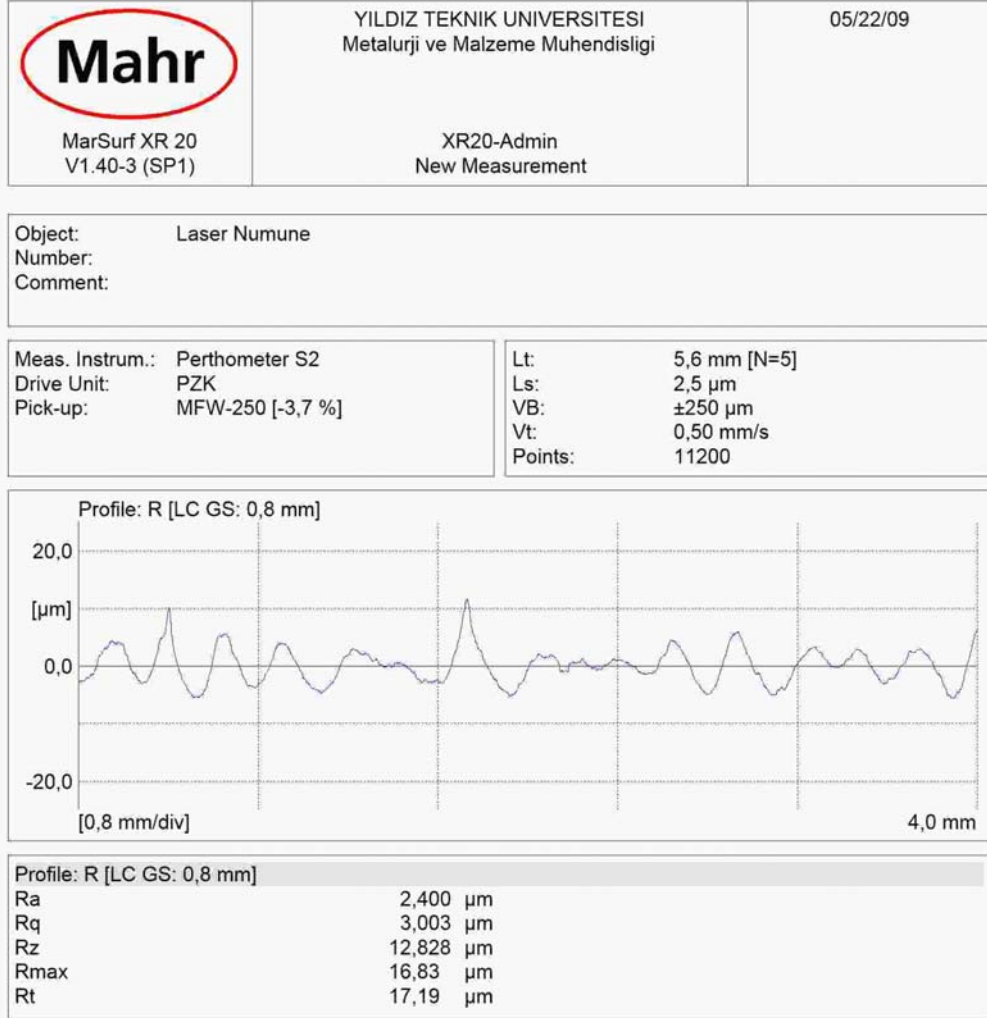
Düşük karbonlu (~0,1) 3 mm kalınlığındaki çeliğin hava ortamında 3500 W laser gücü, 7 m/dk kesme hızında, 5 bar kesme gazı basıncında kesilmiş olan yüzeyinin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri

Şekil 7.15 3.12 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri



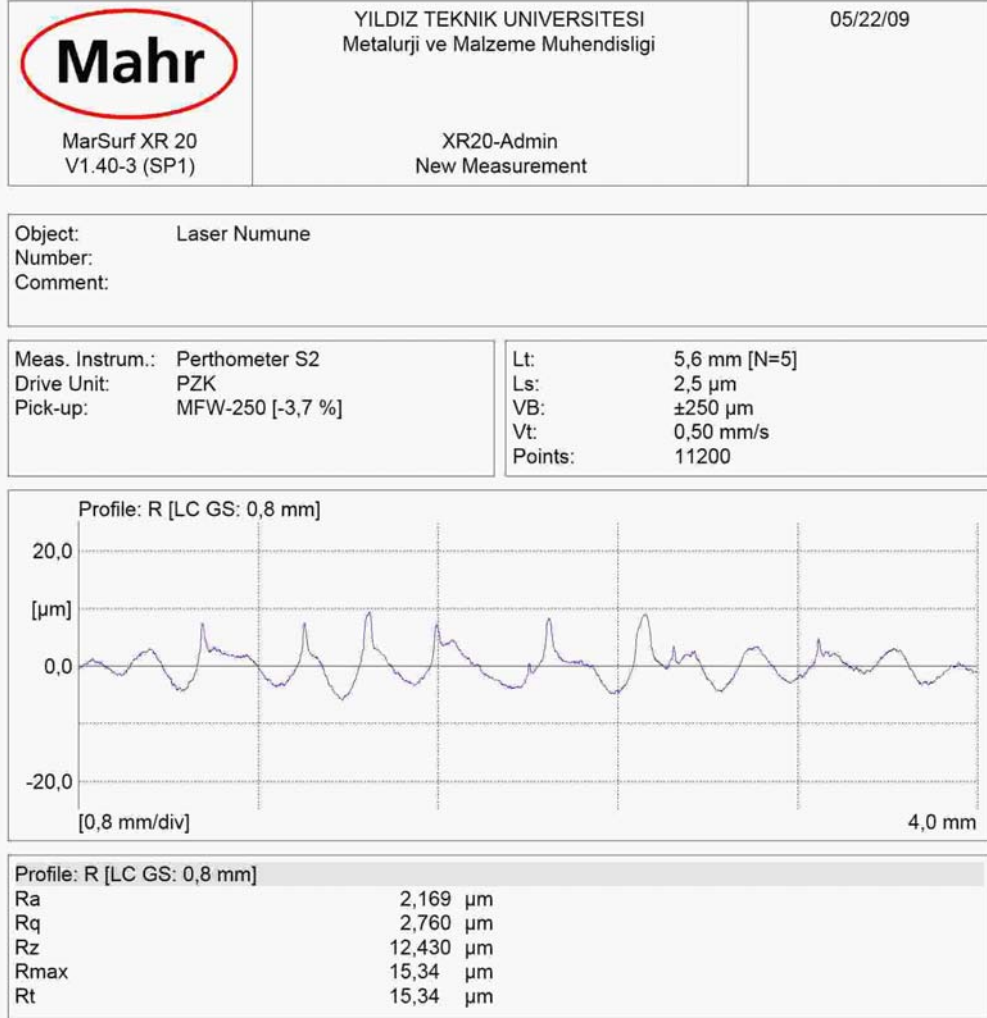
Düşük karbonlu (~0,1) 5 mm kalınlığındaki çeliğin oksijen ortamında 1500 W laser gücü, 3.4 m/dk kesme hızında, 0.8 bar kesme gazı basıncında kesilmiş olan yüzeyinin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri

Şekil 7.16 5.1 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri



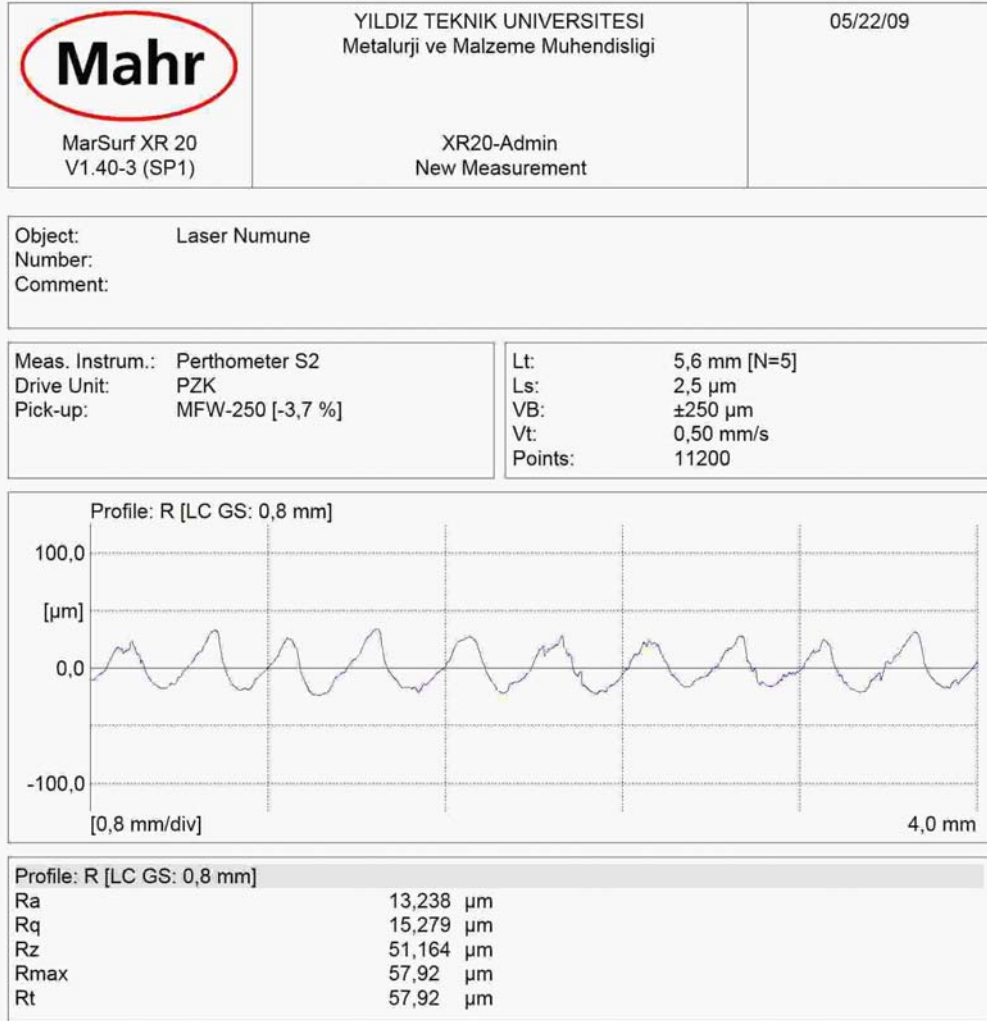
Düşük karbonlu (~0,1) 5 mm kalınlığındaki çeliğin oksijen ortamında 3600 W laser gücü, 3,4 m/dk kesme hızında, 0,8 bar kesme gazı basıncında kesilmiş olan yüzeyinin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri

Şekil 7.17 5.2 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri



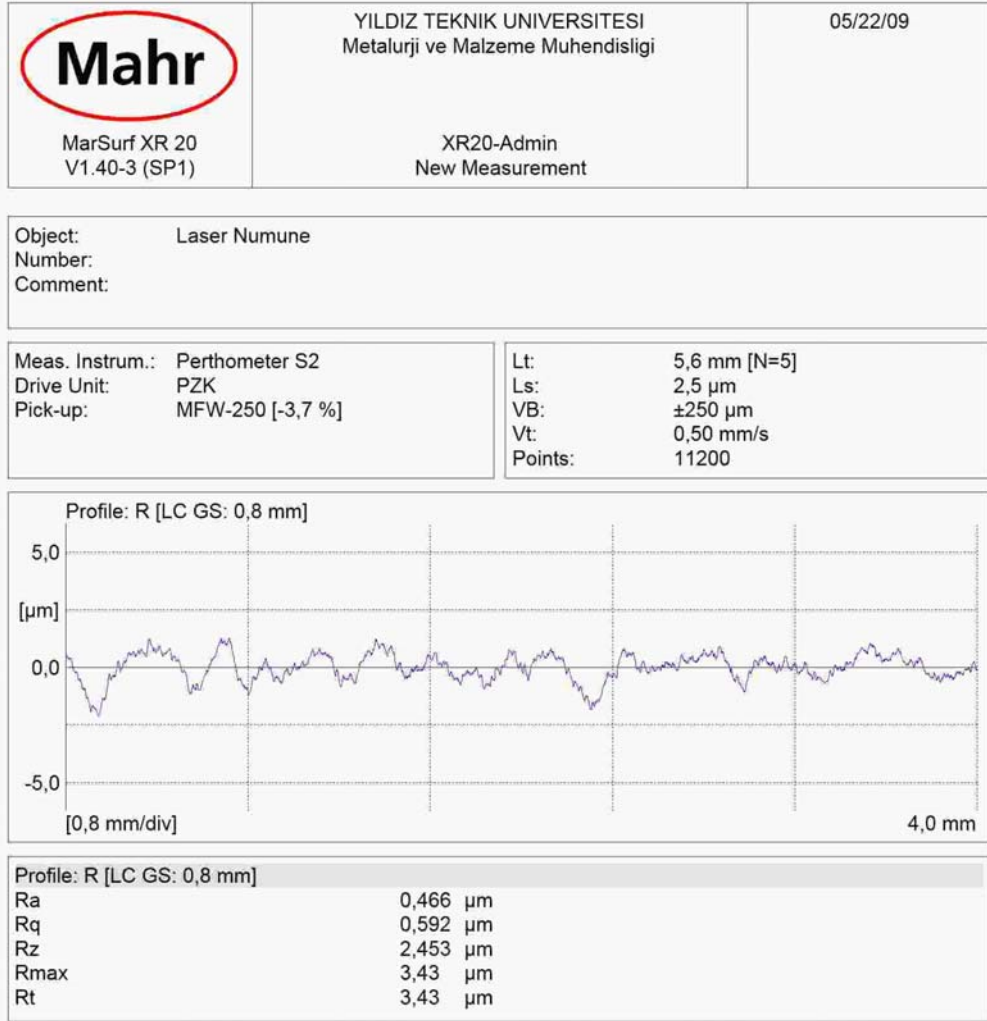
Düşük karbonlu (~0,1) 5 mm kalınlığındaki çeliğin oksijen ortamında 4000 W laser gücü, 3,4 m/dk kesme hızında, 0,8 bar kesme gazı basıncında kesilmiş olan yüzeyinin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri

Şekil 7.18 5.3 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri



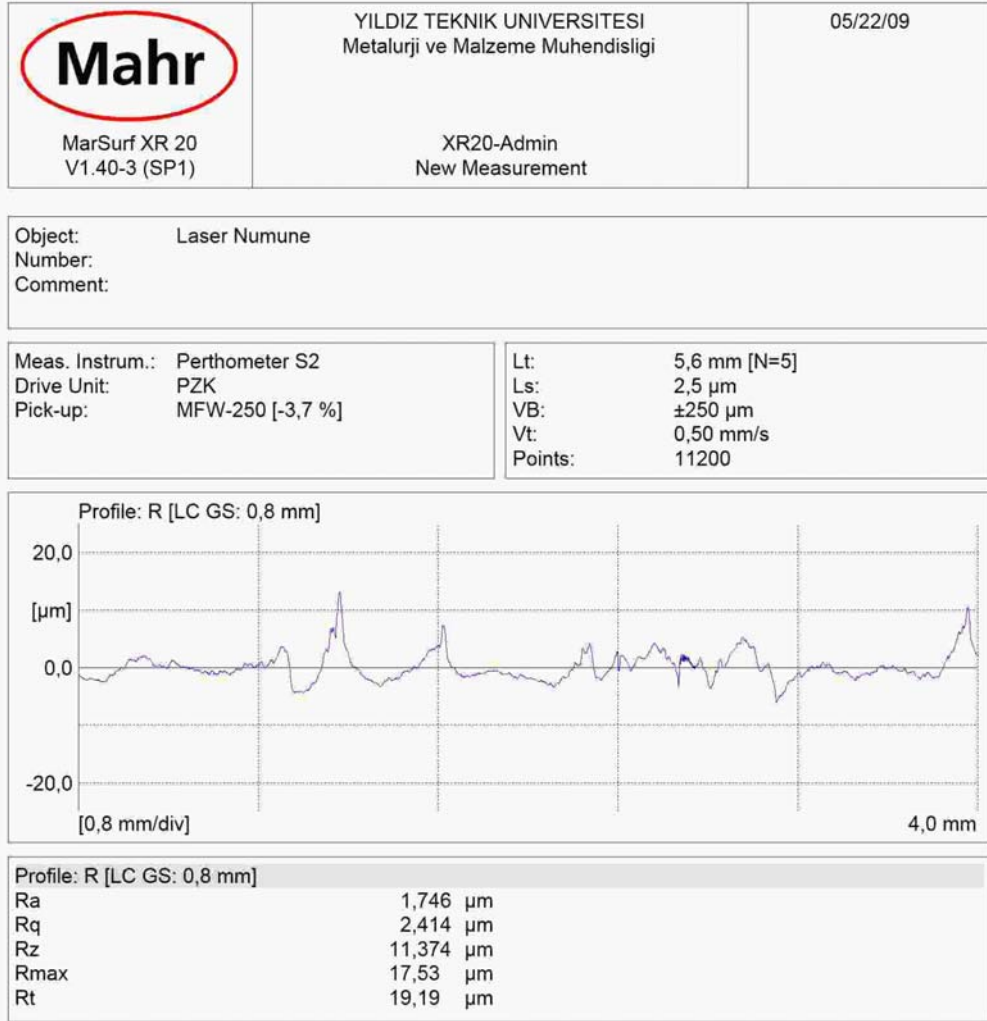
Düşük karbonlu (~0,1) 5 mm kalınlığındaki çeliğin oksijen ortamında 3600 W laser gücü, 1,6 m/dk kesme hızında, 0,8 bar kesme gazı basıncında kesilmiş olan yüzeyinin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri

Şekil 7.19 5.4 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri



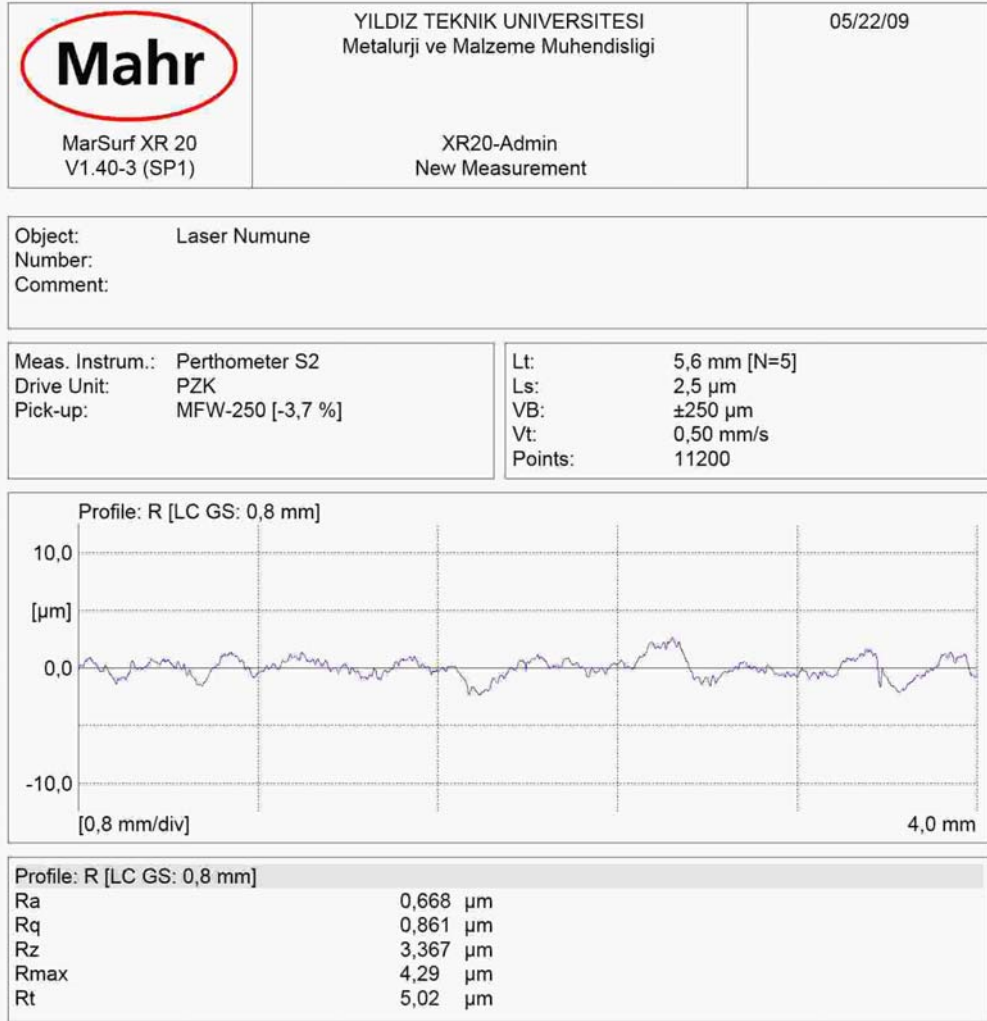
Düşük karbonlu (~0,1) 5 mm kalınlığındaki çeliğin oksijen ortamında 3600 W laser gücü, 5.4 m/dk kesme hızında, 0.8 bar kesme gazı basıncında kesilmiş olan yüzeyinin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri

Şekil 7.20 5.5 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri



Düşük karbonlu (~0,1) 5 mm kalınlığındaki çeliğin oksijen ortamında 3600 W laser gücü, 3,4 m/dk kesme hızında, 0,6 bar kesme gazı basıncında kesilmiş olan yüzeyinin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri

Şekil 7.21 5.6 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri



Düşük karbonlu (~0,1) 5 mm kalınlığındaki çeliğin oksijen ortamında 3600 W laser gücü, 3.4 m/dk kesme hızında, 5 bar kesme gazı basıncında kesilmiş olan yüzeyinin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri

Şekil 7.22 5.7 nolu numunenin yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri

Çizelge 7.10 Oksijen atmosferinde 3 mm kalınlıktaki çelik için ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri

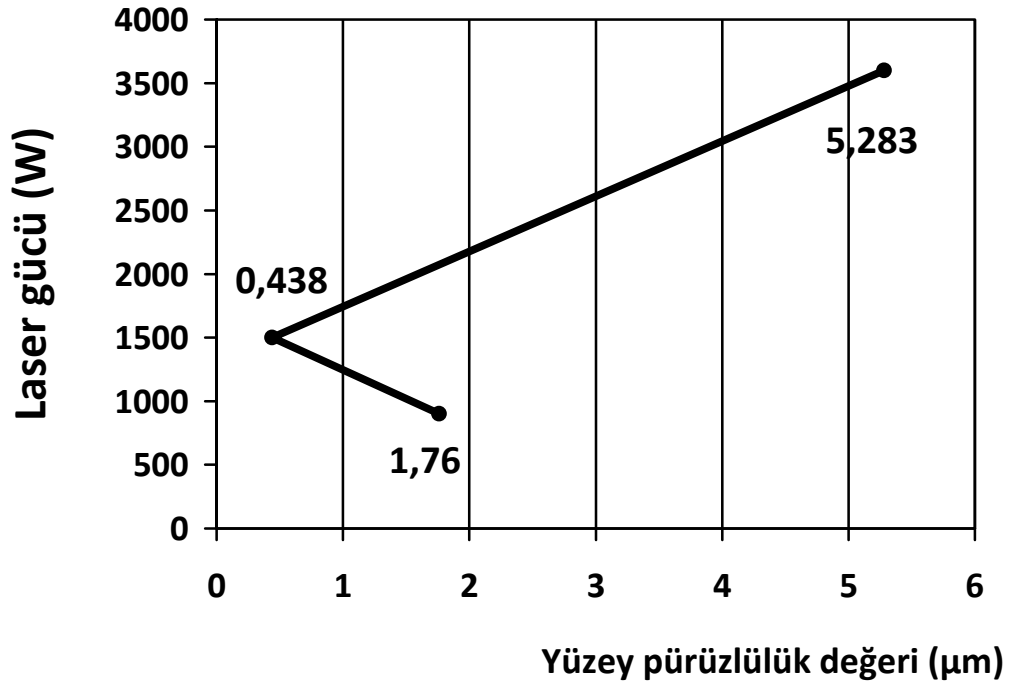
| Numune no | Laser Gücü (Watt) | Kesme Hızı (m/dk) | Kesme gazı basıncı (bar) | Yüzey Pürüzlülük değeri (μm) |
|-----------|-------------------|-------------------|--------------------------|---|
| 3.1 | 900 | 3,9 | 0,8 | 1,766 |
| 3.2 | 1500 | 3,9 | 0,8 | 0,438 |
| 3.3 | 3600 | 3,9 | 0,8 | 5,283 |
| 3.4 | 1500 | 2 | 0,8 | 2,880 |
| 3.5 | 1500 | 8,2 | 0,8 | - |
| 3.6 | 1500 | 3,9 | 0,6 | 0,327 |
| 3.7 | 1500 | 3,9 | 5 | 0,890 |

Çizelge 7.11 Hava atmosferinde 3 mm kalınlıktaki çelik için ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri

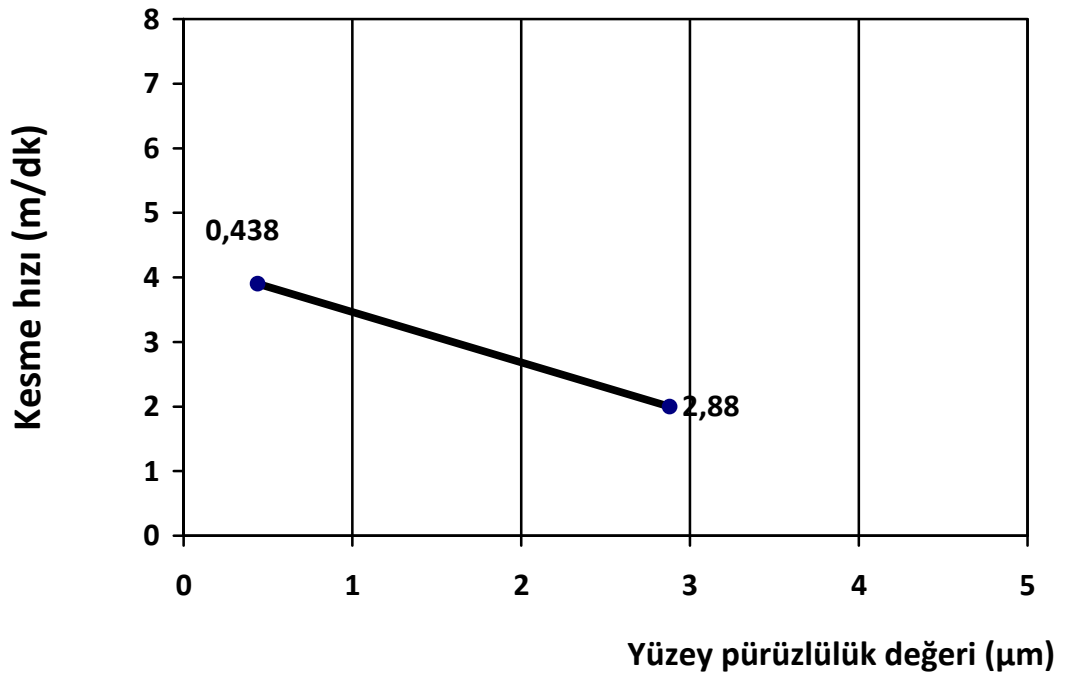
| Numune no | Laser Gücü (Watt) | Kesme Hızı (m/dk) | Kesme gazı basıncı (bar) | Yüzey Pürüzlülük değeri (μm) |
|-----------|-------------------|-------------------|--------------------------|---|
| 3.8 | 3000 | 5,5 | 5 | 2,885 |
| 3.9 | 3500 | 5,5 | 5 | 1,455 |
| 3.10 | 4000 | 5,5 | 5 | 1,008 |
| 3.11 | 3500 | 3,9 | 5 | 2,299 |
| 3.12 | 3500 | 7 | 5 | 2,843 |

Çizelge 7.12 Oksijen atmosferinde 5 mm kalınlıktaki çelik için ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri

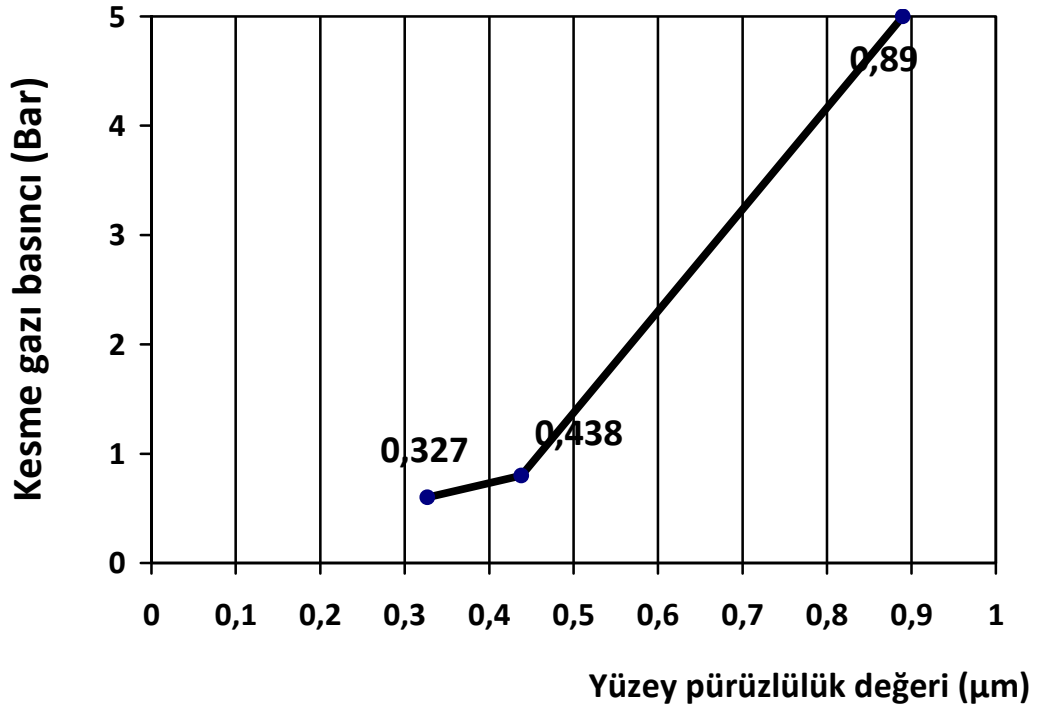
| Numune no | Laser Gücü (Watt) | Kesme Hızı (m/dk) | Kesme gazı basıncı (bar) | Yüzey Pürüzlülük değeri (μm) |
|-----------|-------------------|-------------------|--------------------------|---|
| 5.1 | 1500 | 3,4 | 0,8 | 1,880 |
| 5.2 | 3600 | 3,4 | 0,8 | 2,400 |
| 5.3 | 4000 | 3,4 | 0,8 | 2,169 |
| 5.4 | 3600 | 1,6 | 0,8 | 13,238 |
| 5.5 | 3600 | 5,4 | 0,8 | 0,466 |
| 5.6 | 3600 | 3,4 | 0,6 | 1,746 |
| 5.7 | 3600 | 3,4 | 5 | 0,668 |



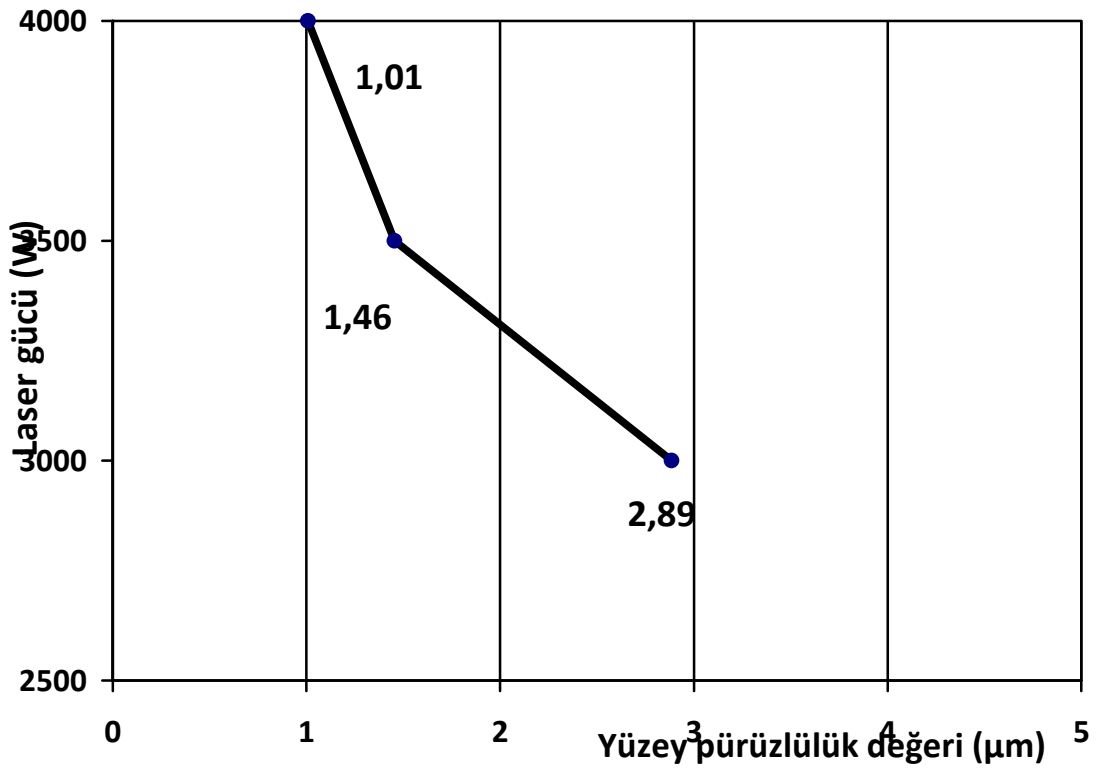
Şekil 7.23 Oksijenle kesimde 3 mm'lik numunede laser gücü ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki



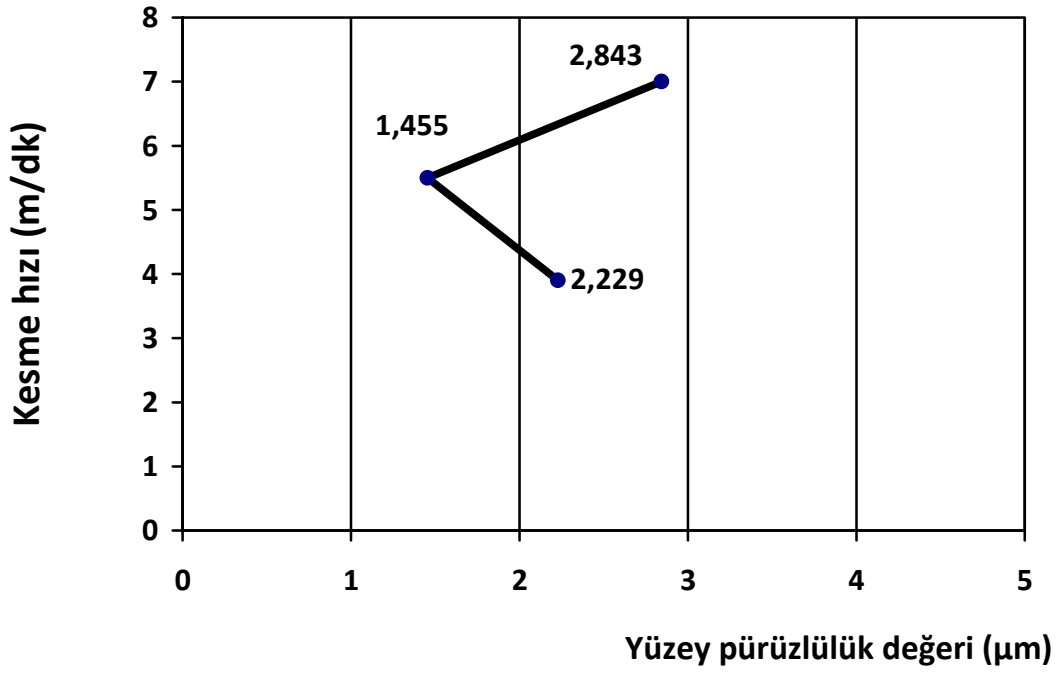
Şekil 7.24 Oksijen ile kesimde 3 mm'lik numunede kesme hızı ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki



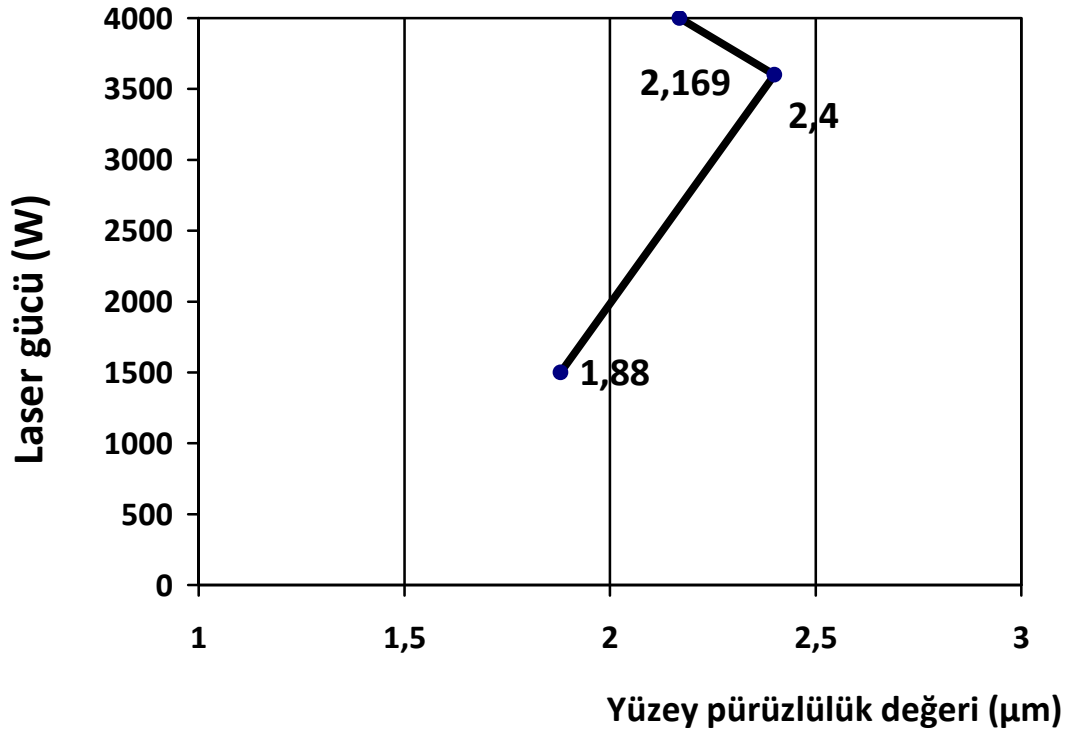
Şekil 7.25 Oksijen ile kesimde 3 mm'lik numunede kesme gazı basıncı ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki



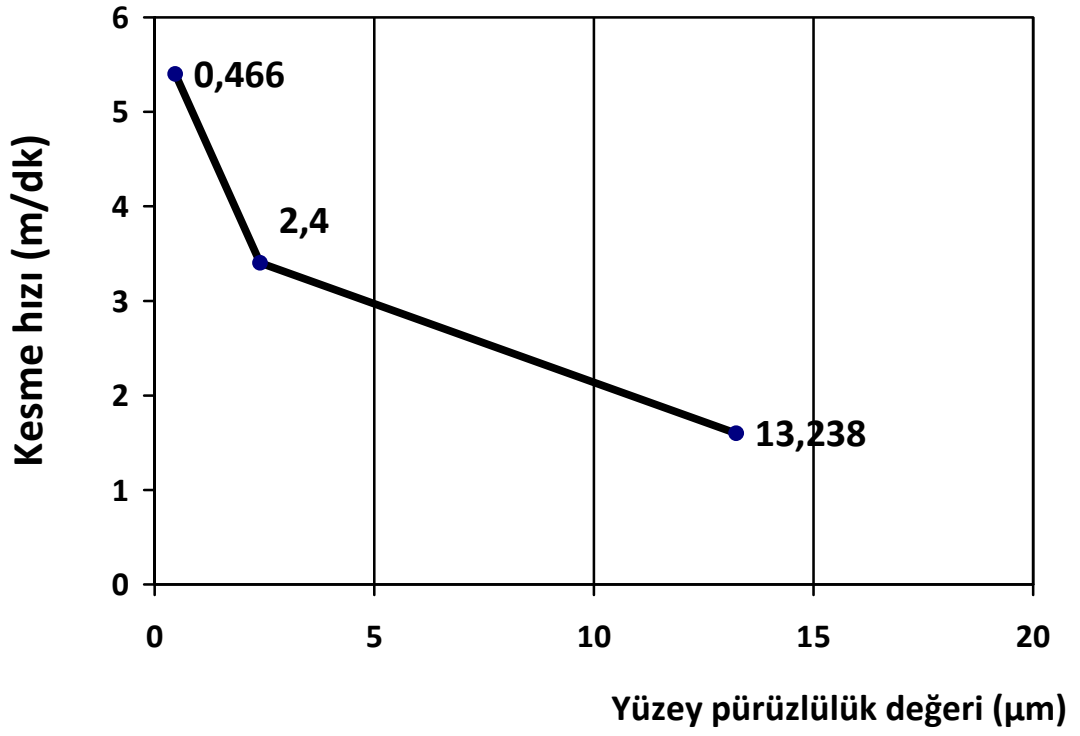
Şekil 7.26 Basıncılı hava ile kesimde 3 mm'lik numunede laser gücü ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki



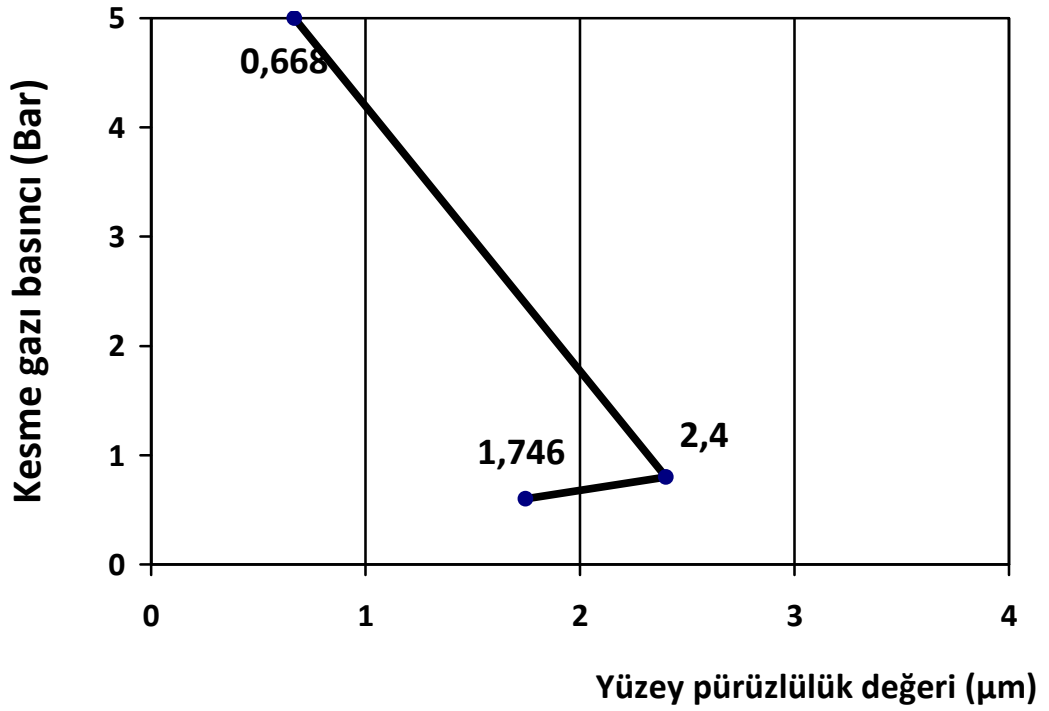
Şekil 7.27 Basıncılı hava ile kesimde 3 mm'lik numunede kesme hızı ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki



Şekil 7.28 Oksijenle kesimde 5 mm'lik numunede laser gücü ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki



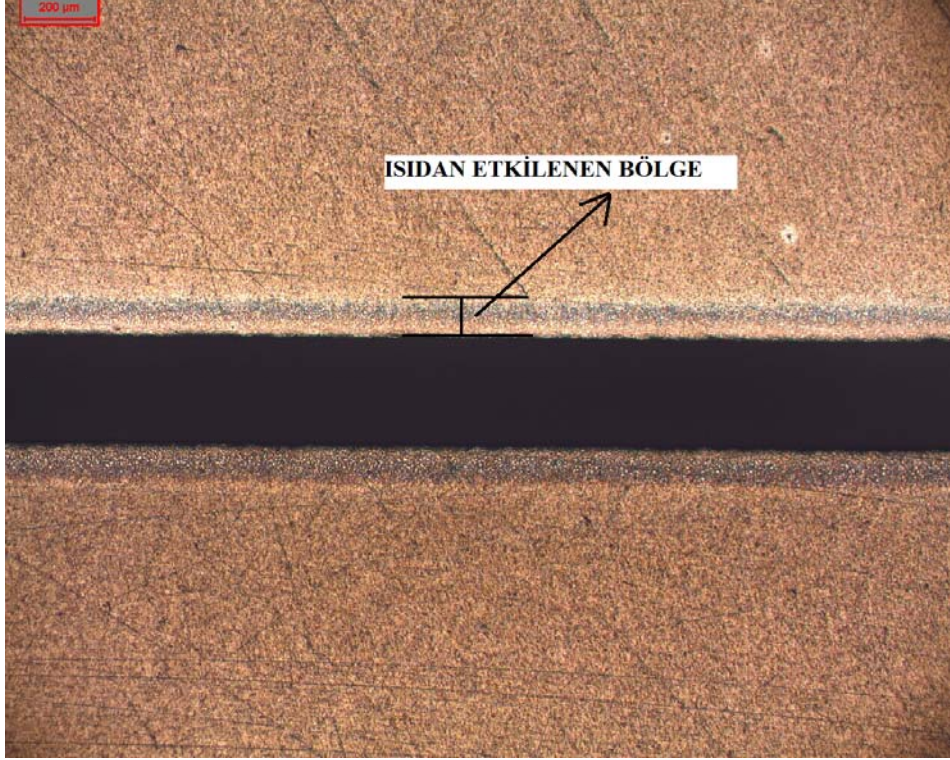
Şekil 7.29 Oksijenle kesimde 5 mm'lik numunede kesme hızı ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki



Şekil 7.30 Oksijenle kesimde 5 mm'lik numunede kesme gaz basıncı ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki

7.4 Isıdan Etkilenen Bölge İncelemeleri

Laserle kesilmiş numunelerin mikroskop incelemelerinden, ısıdan etkilenen bölge ölçülmüş ve grafik halinde değişen parametrelere göre değişim gösterilmiştir.



Şekil 7.31 Laserle kesimde ısıdan etkilenen bölgenin görünümü



Şekil 7.32 Optik mikroskop görüntüsü

Çizelge 7.13 Oksijen atmosferinde 3 mm kalınlıktaki çelikte ölçülen ısıdan etkilenen bölge büyüklükleri

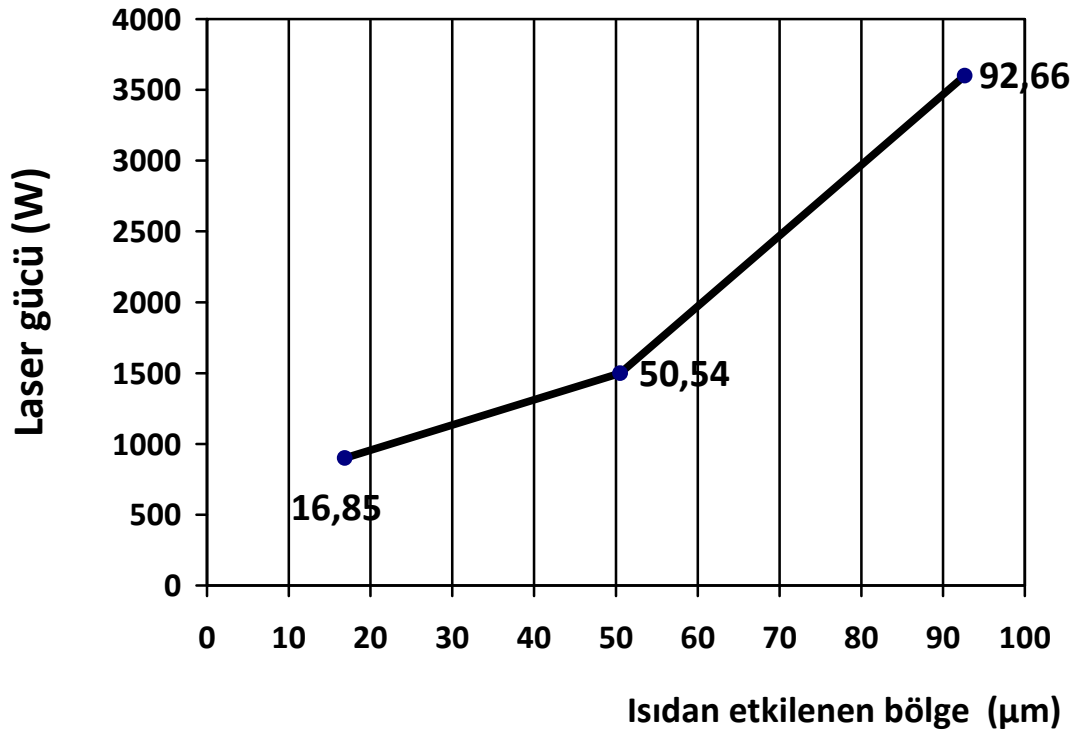
| Numune no | Laser Gücü (Watt) | Kesme Hızı (m/dk) | Kesme gazı basıncı (bar) | Isıdan etkilenen bölge (μm) |
|-----------|-------------------|-------------------|--------------------------|--|
| 3.1 | 900 | 3,9 | 0,8 | 16,85 |
| 3.2 | 1500 | 3,9 | 0,8 | 50,54 |
| 3.3 | 3600 | 3,9 | 0,8 | 92,66 |
| 3.4 | 1500 | 2 | 0,8 | 96,88 |
| 3.5 | 1500 | 8,2 | 0,8 | - |
| 3.6 | 1500 | 3,9 | 0,6 | 84,24 |
| 3.7 | 1500 | 3,9 | 5 | 75,82 |

Çizelge 7.14 Hava atmosferinde 3 mm kalınlıktaki çelik için ölçülen ısıdan etkilenen bölge büyüklükleri

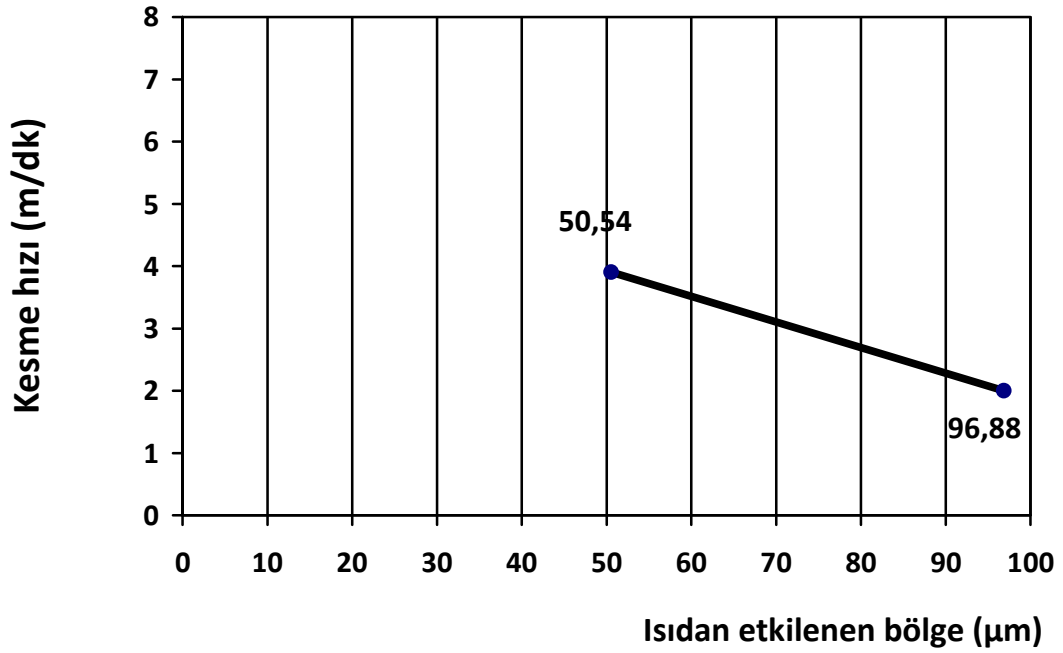
| Numune no | Laser Gücü (Watt) | Kesme Hızı (m/dk) | Kesme gazı basıncı (bar) | Isıdan etkilenen bölge (μm) |
|-----------|-------------------|-------------------|--------------------------|--|
| 3.8 | 3000 | 5,5 | 5 | 109,51 |
| 3.9 | 3500 | 5,5 | 5 | 101,90 |
| 3.10 | 4000 | 5,5 | 5 | 71,60 |
| 3.11 | 3500 | 3,9 | 5 | 103,19 |
| 3.12 | 3500 | 7 | 5 | 90,56 |

Çizelge 7.15 Oksijen atmosferinde 5 mm kalınlıktaki çelik için ölçülen ısıdan etkilenen bölge büyüklükleri

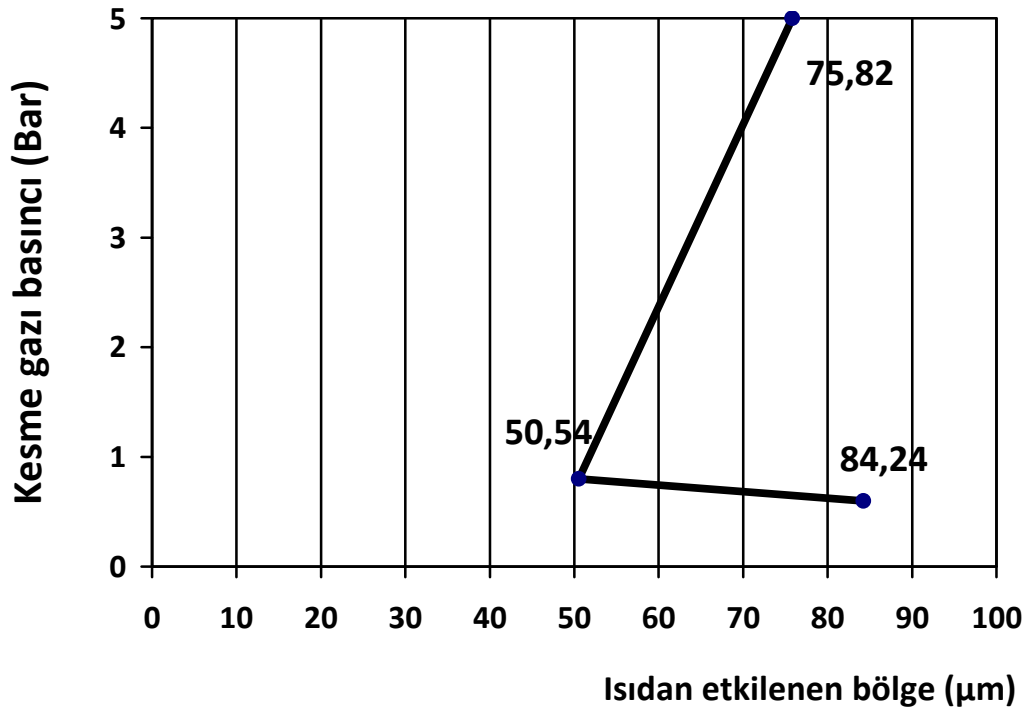
| Numune no | Laser Gücü (Watt) | Kesme Hızı (m/dk) | Kesme gazı basıncı (bar) | Isıdan etkilenen bölge (μm) |
|-----------|-------------------|-------------------|--------------------------|--|
| 5.1 | 1500 | 3,4 | 0,8 | 44,63 |
| 5.2 | 3600 | 3,4 | 0,8 | 21,06 |
| 5.3 | 4000 | 3,4 | 0,8 | 46,33 |
| 5.4 | 3600 | 1,6 | 0,8 | 128,48 |
| 5.5 | 3600 | 5,4 | 0,8 | 69,82 |
| 5.6 | 3600 | 3,4 | 0,6 | 56,86 |
| 5.7 | 3600 | 3,4 | 5 | 73,71 |



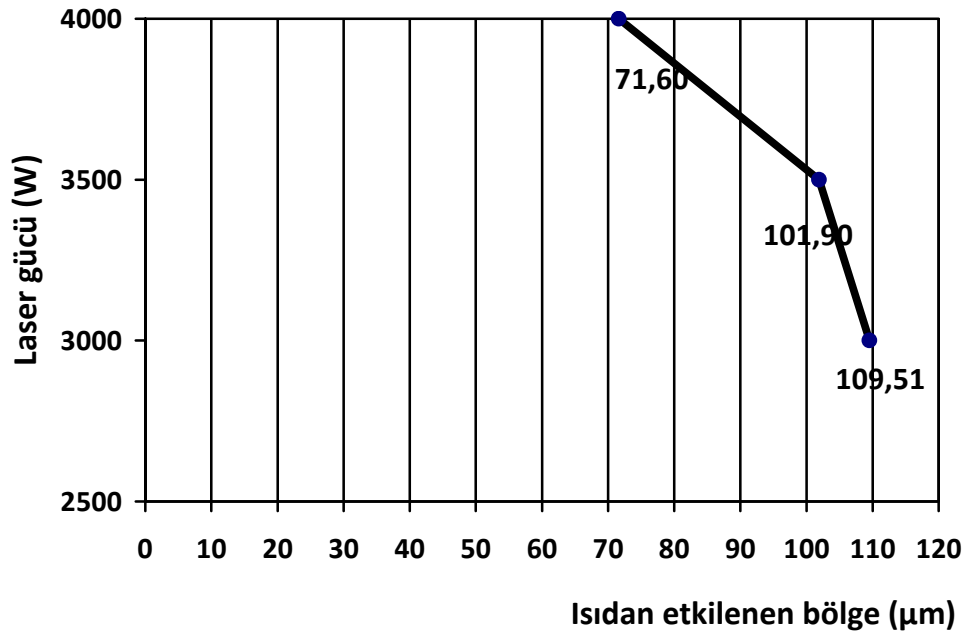
Şekil 7.33 Oksijen atmosferinde 3 mm' lik numunede laser gücü ile ısıdan etkilenen bölge arasındaki ilişki



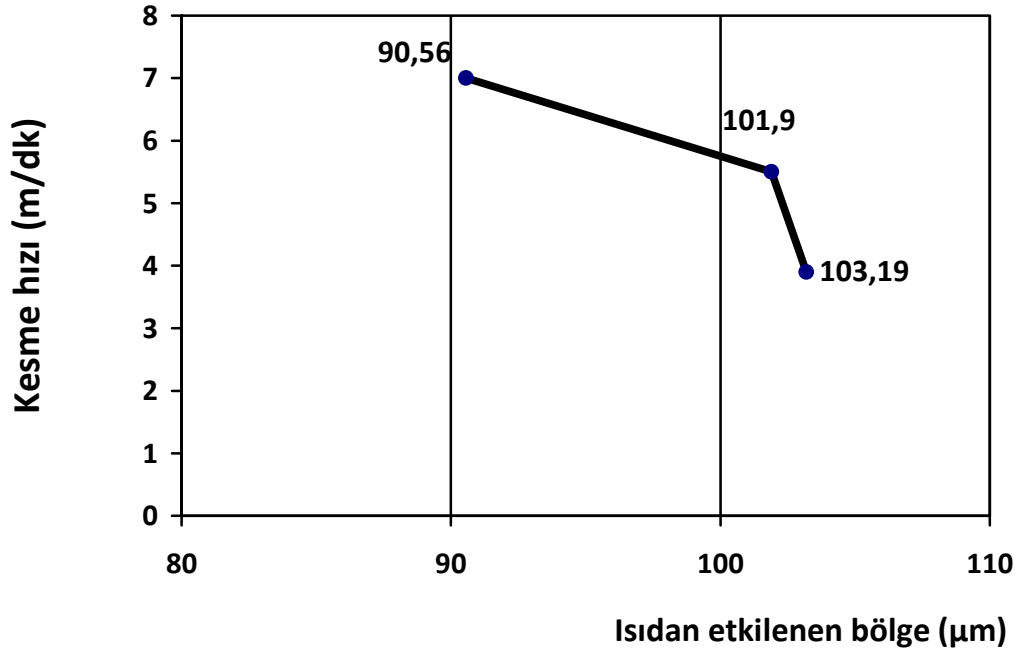
Şekil 7.34 Oksijen atmosferinde 3 mm' lik numunede kesme hızı ile ısıdan etkilenen bölge arasındaki ilişki



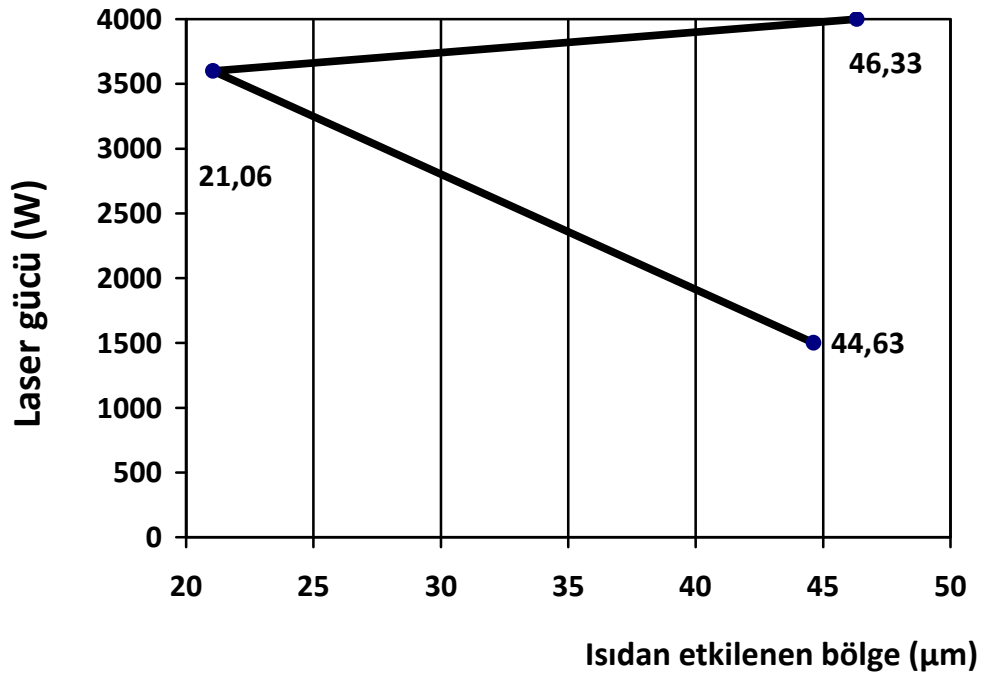
Şekil 7.35 Oksijen atmosferinde 3 mm' lik numunede kesme gazı basıncı ile ısıdan etkilenen bölge arasındaki ilişki



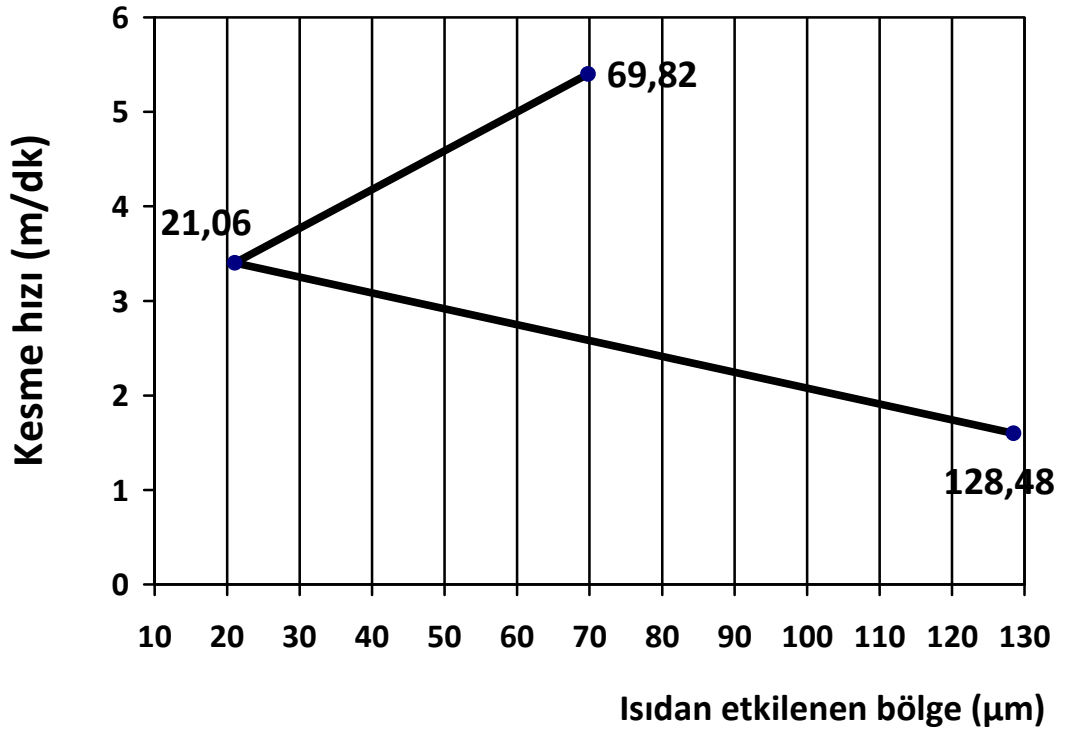
Şekil 7.36 Hava atmosferinde 3 mm' lik numunede laser gücü ile ısıdan etkilenen bölge arasındaki ilişki



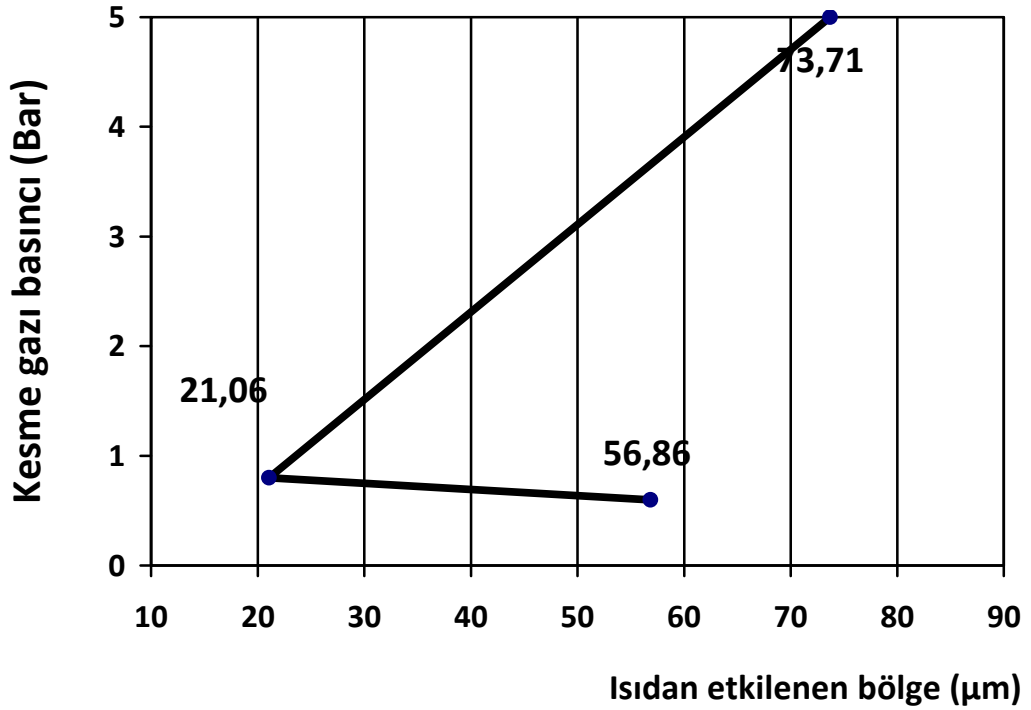
Şekil 7.37 Hava atmosferinde 3 mm' lik numunede kesme hızı ile ısıdan etkilenen bölge arasındaki ilişki



Şekil 7.38 Oksijen atmosferinde 5 mm' lik numunede laser gücü ile ısıdan etkilenen bölge arasındaki ilişki



Şekil 7.39 Oksijen atmosferinde 5 mm' lik numunede kesme hızı ile ısıdan etkilenen bölge arasındaki ilişki

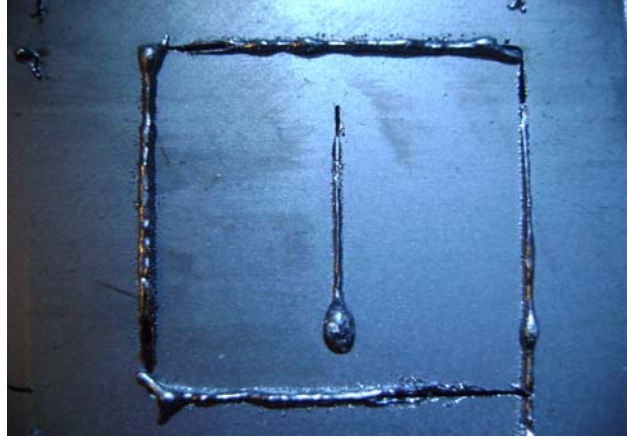


Şekil 7.40 Oksijen atmosferinde 5 mm' lik numunede kesme gazı basıncı ile ısıdan etkilenen bölge arasındaki ilişki

7.5 Mikro Yapı İncelemeleri

Laserle kesilmiş numuneler ışık metal mikroskopunda incelenmiş farklı büyütmelerde görüntüler elde edilmiştir. Elde edilen görüntüler aşağıdaki gibidir.

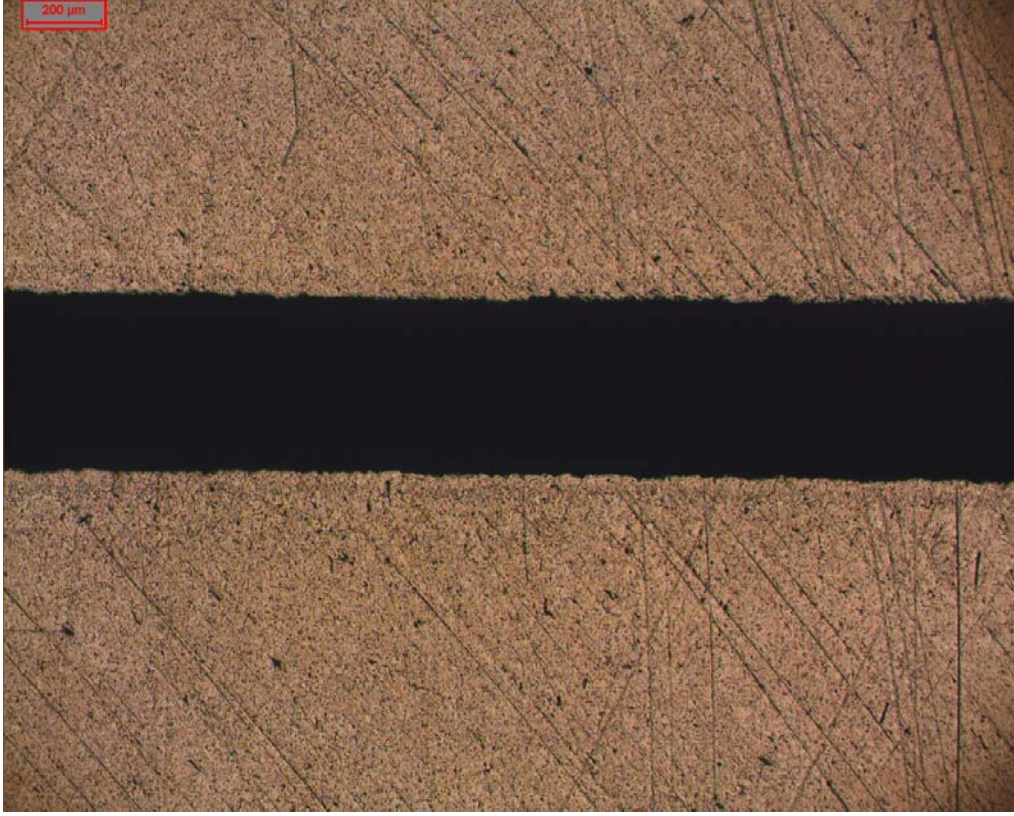
Seçilen parametrelere göre 3.5 numaralı numunenin kesim işlemi gerçekleştirilememiştir. Kesilemeyen numune Şekil 7.41' de verilmiştir.



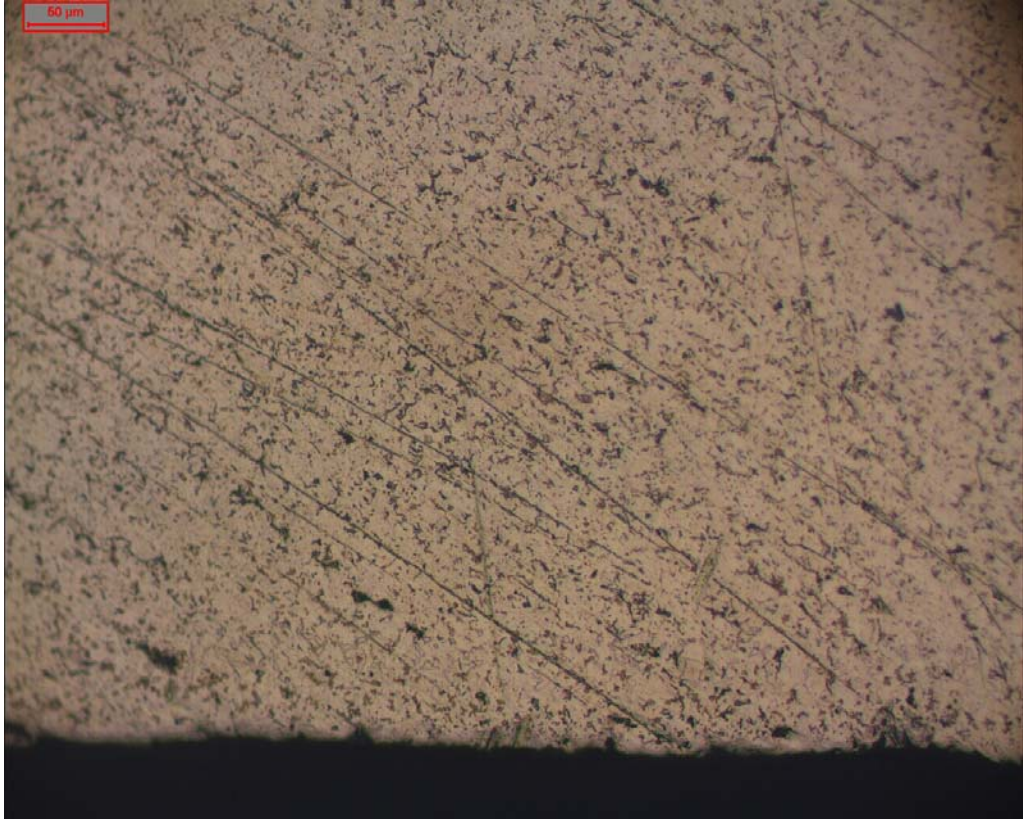
Şekil 7.41 Seçilen parametrelerde kesilemeyen numunenin görüntüsü



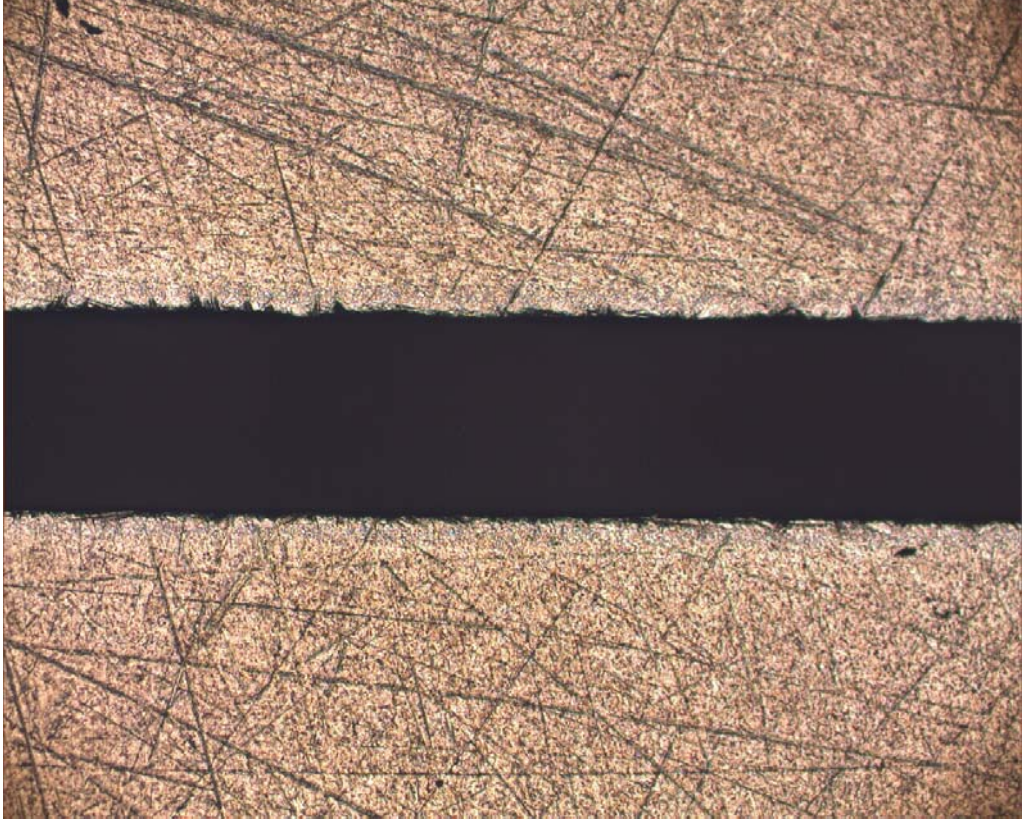
Şekil 7.42 Isıdan etkilenen bölgenin mikro yapısı



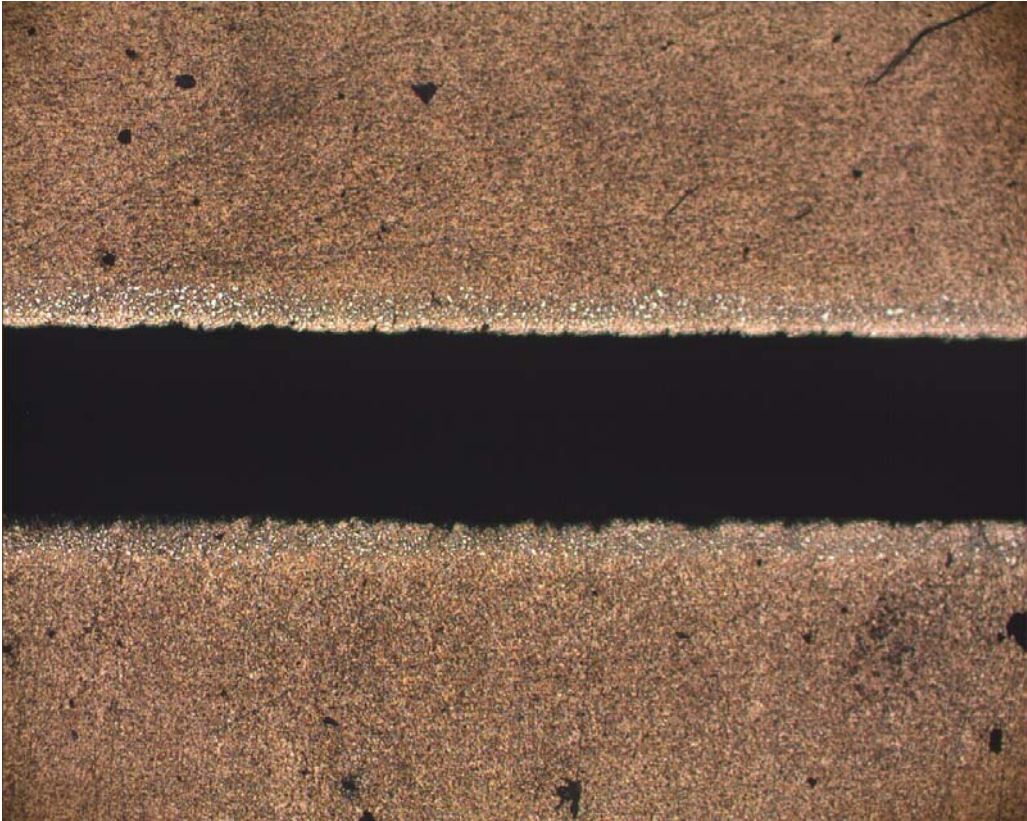
Şekil 7.43 3.1 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü



Şekil 7.44 3.1 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 200X büyütmedeki görüntüsü



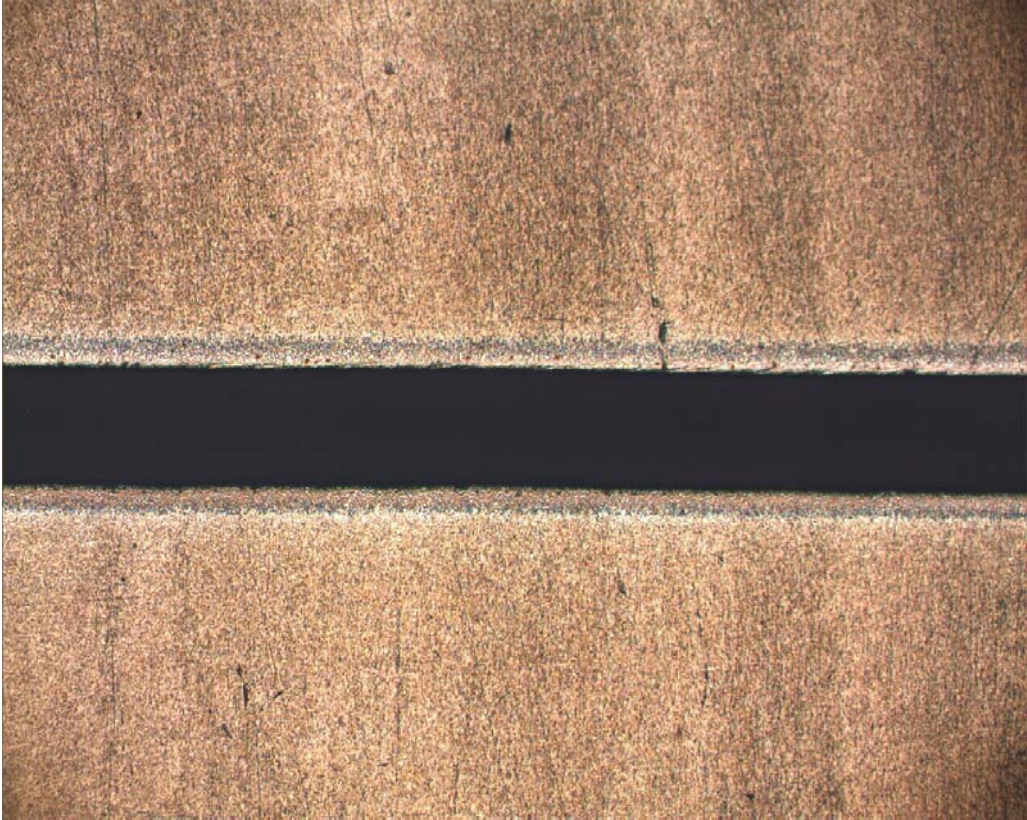
Şekil 7.45 3.2 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü



Şekil 7.46 3.3 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü



Şekil 7.47 3.4 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü



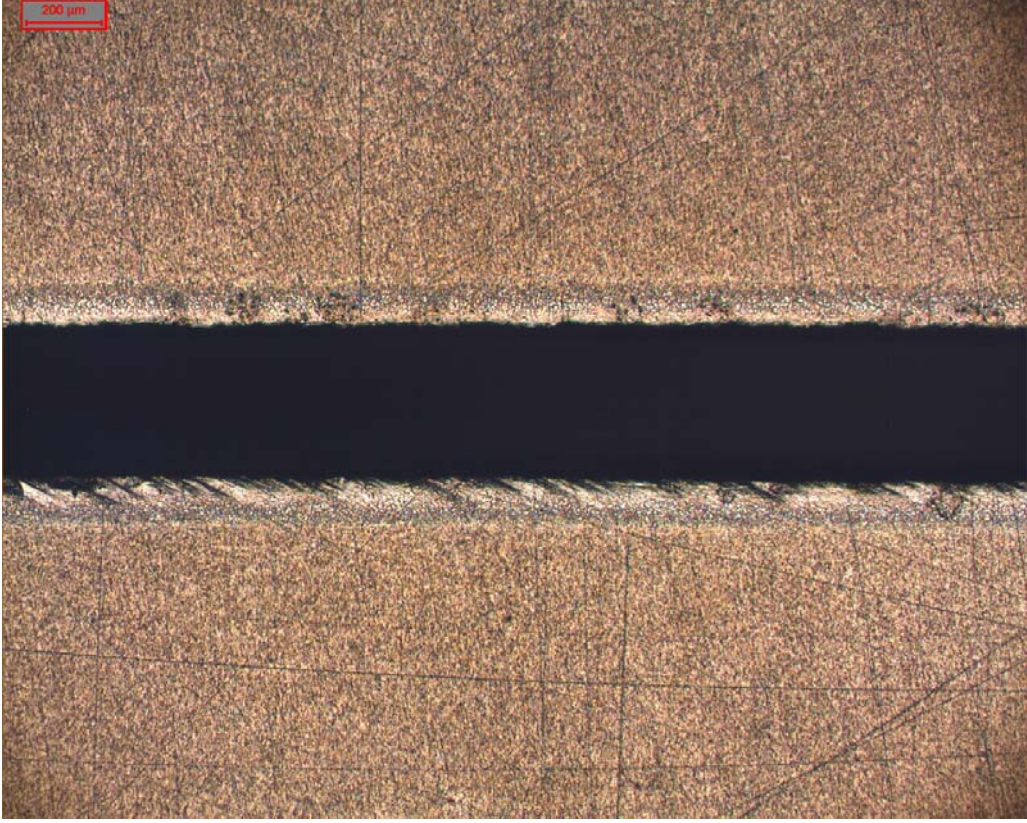
Şekil 7.48 3.6 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü



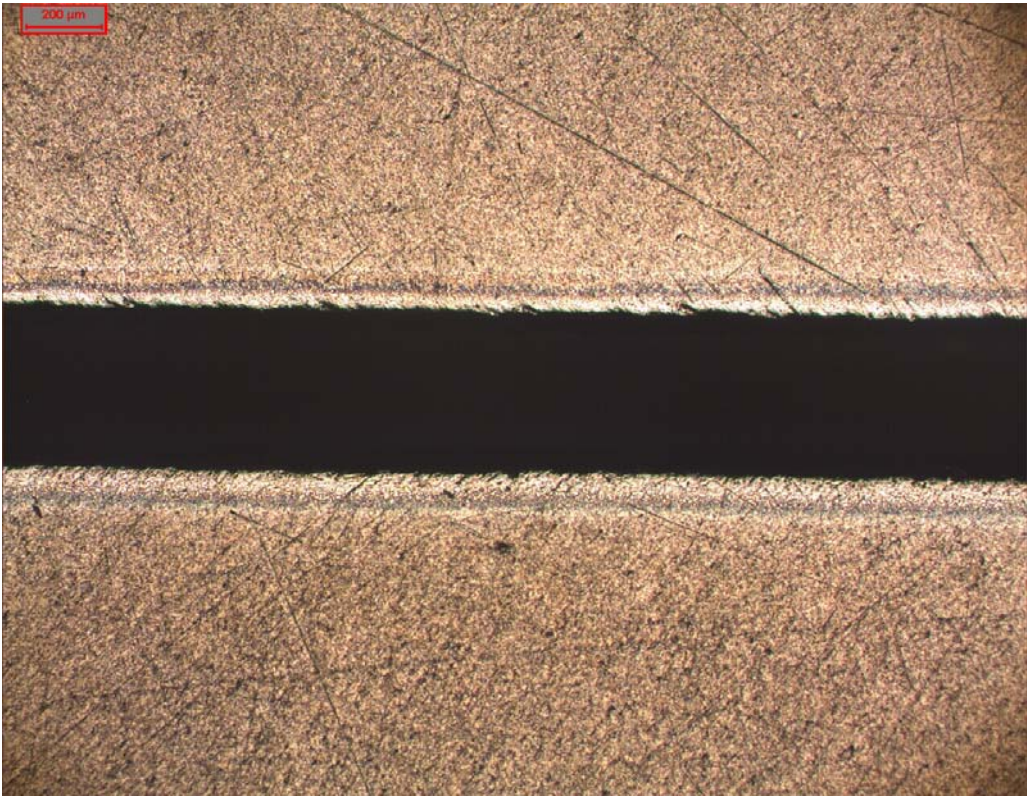
Şekil 7.49 3.7 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü



Şekil 7.50 3.8 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü



Şekil 7.51 3.9 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü



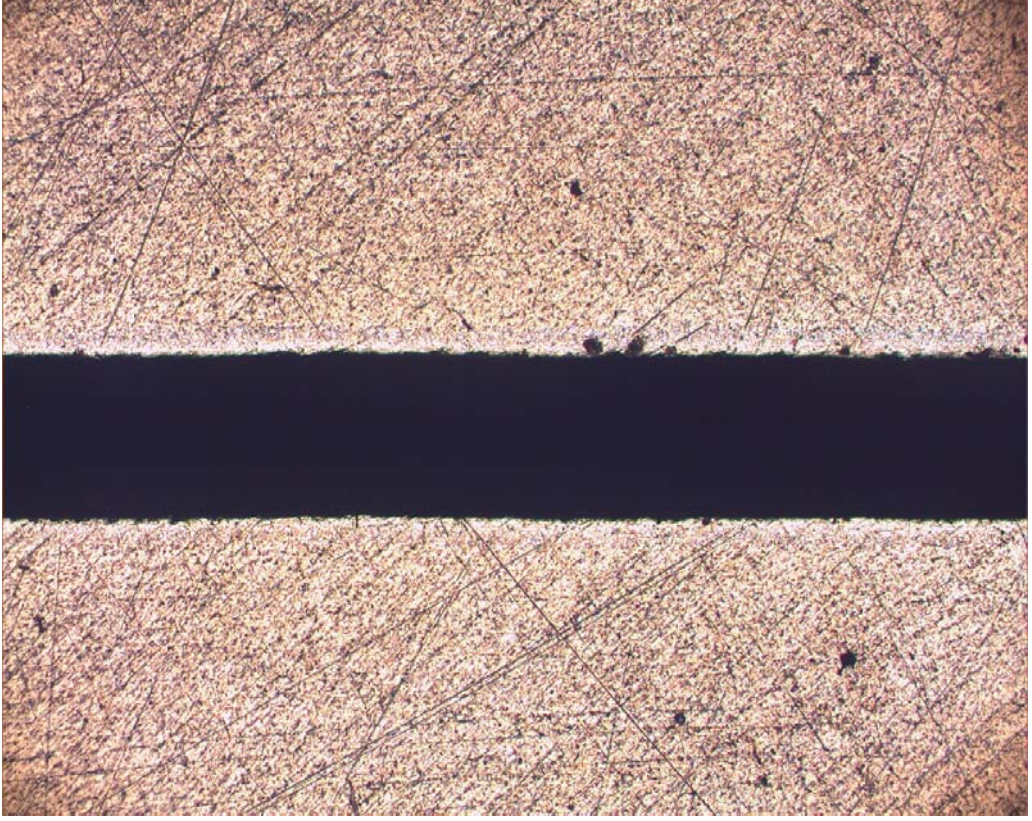
Şekil 7.52 3.10 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü



Şekil 7.53 3.11 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü



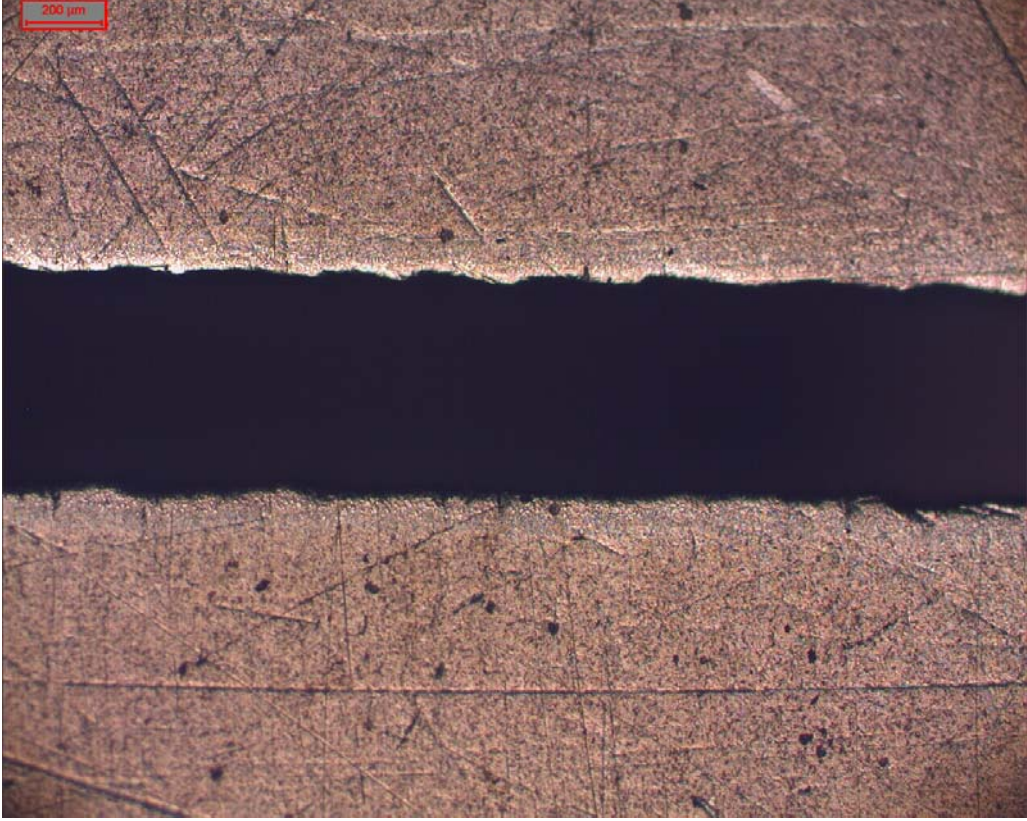
Şekil 7.54 3.12 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü



Şekil 7.55 5.1 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü



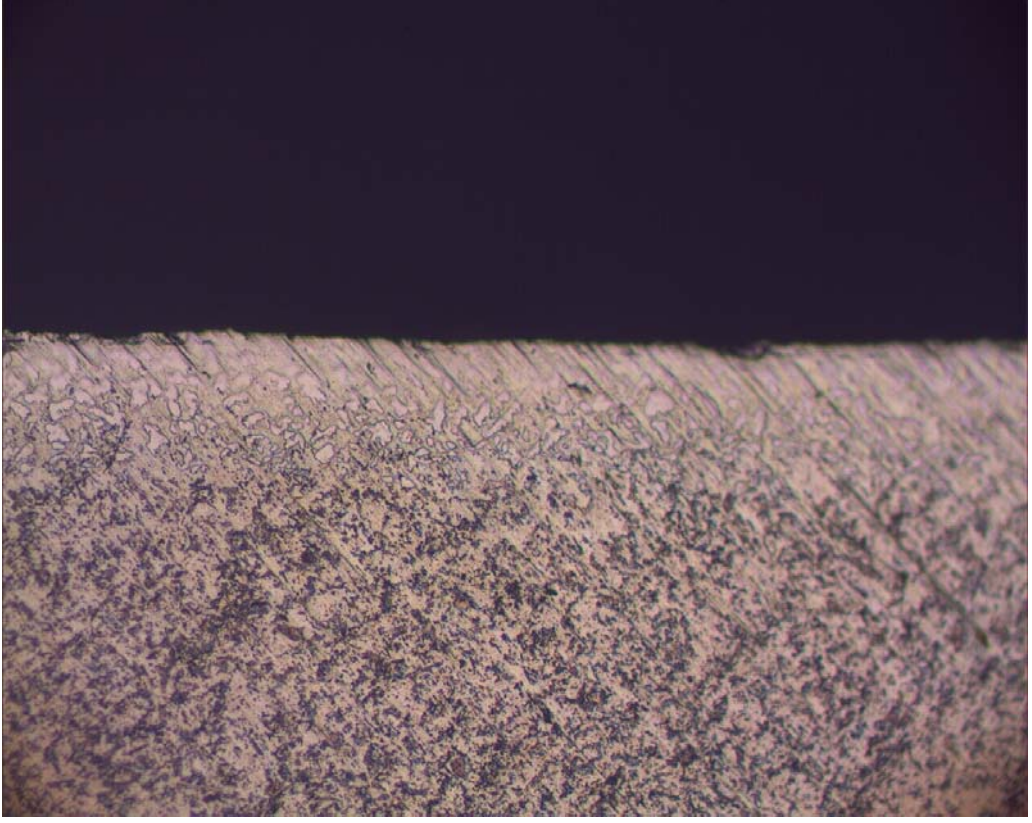
Şekil 7.56 5.2 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü



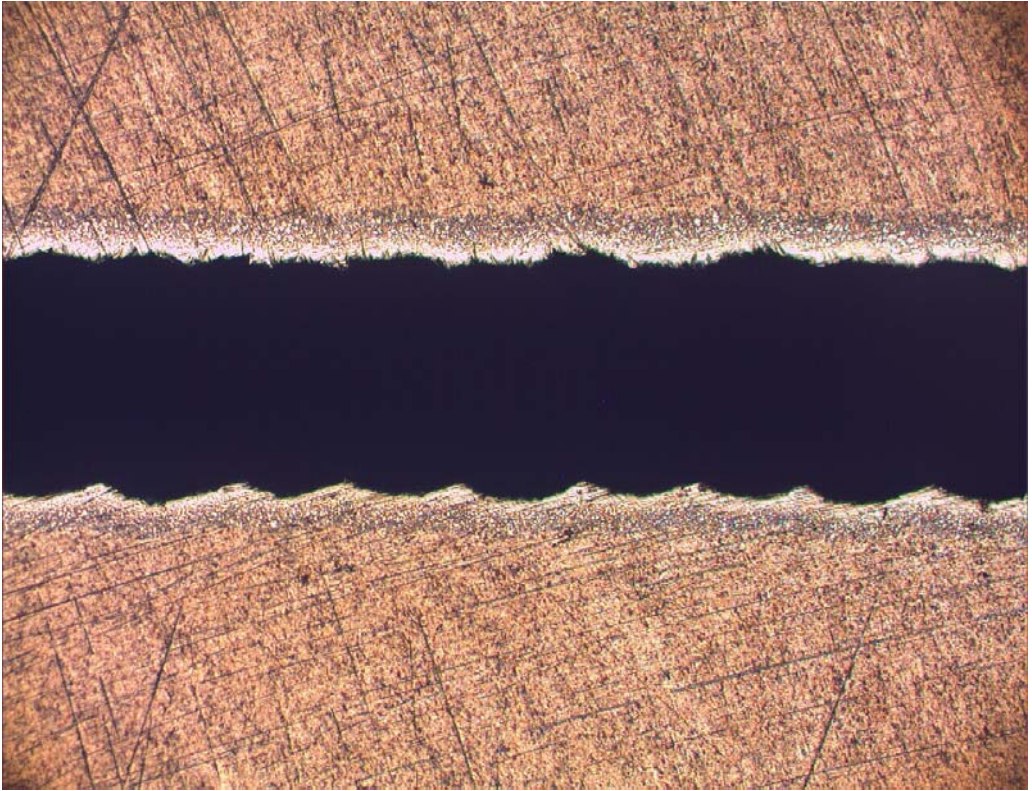
Şekil 7.57 5.3 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü



Şekil 7.58 5.4 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü



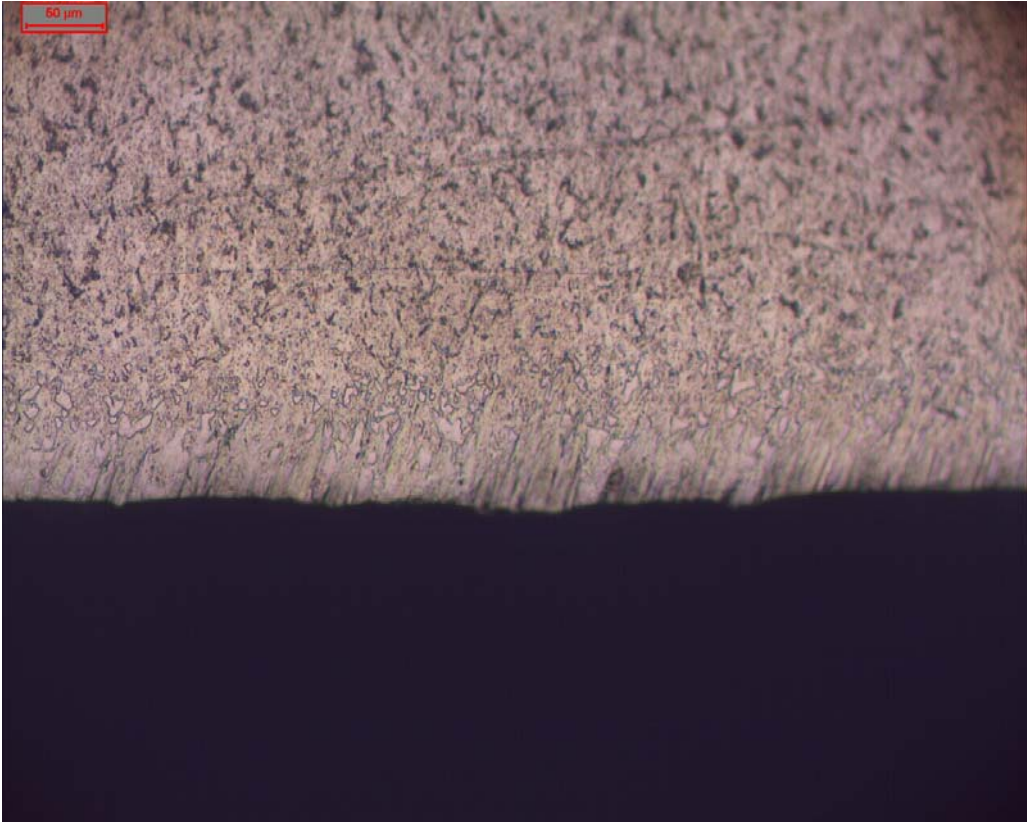
Şekil 7.59 5.4 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 200X büyütmedeki görüntüsü



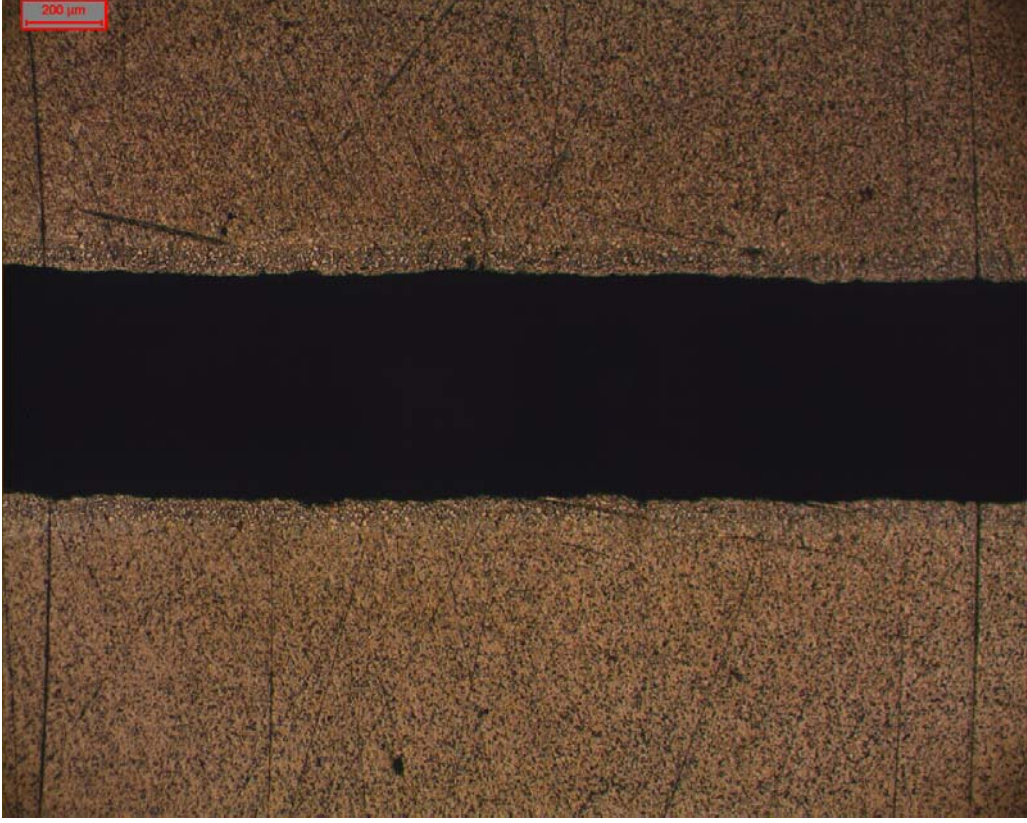
Şekil 7.60 5.5 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü



Şekil 7.61 5.6 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü



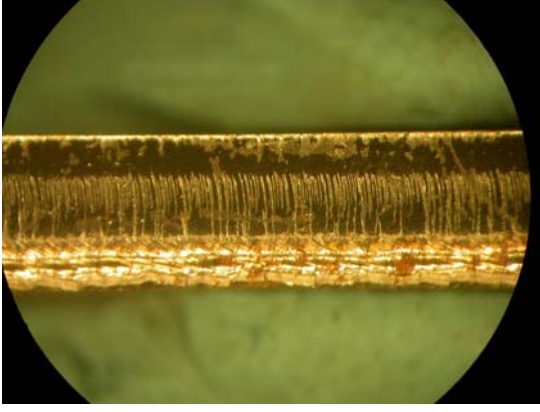
Şekil 7.62 5.6 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 200X büyütmedeki görüntüsü



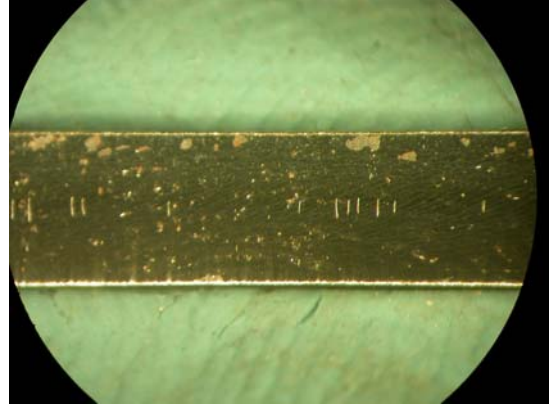
Şekil 7.63 5.7 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 50X büyütmedeki görüntüsü



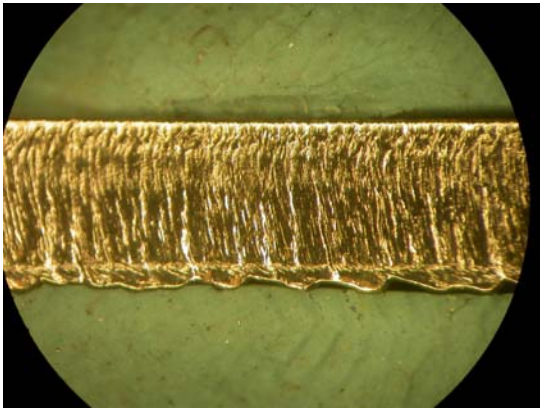
Şekil 7.64 5.7 Nolu numunenin dikey kesim doğrultusundaki 500X büyütmedeki görüntüsü



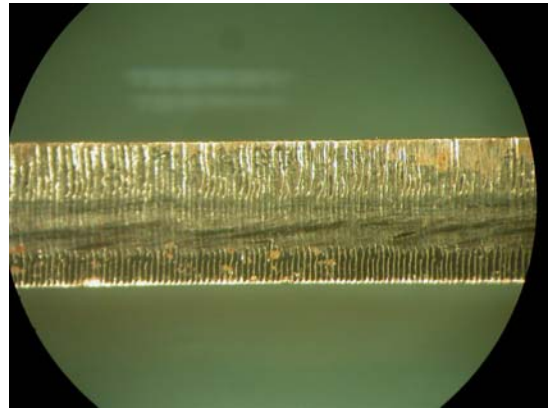
Numune 3.1



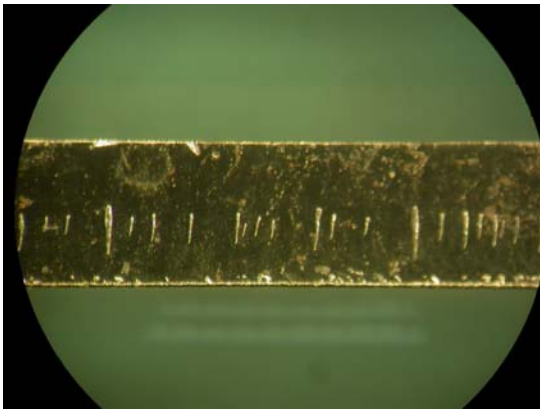
Numune 3.2



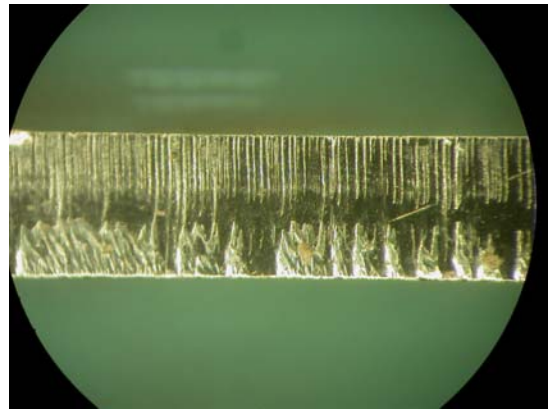
Numune 3.3



Numune 3.4

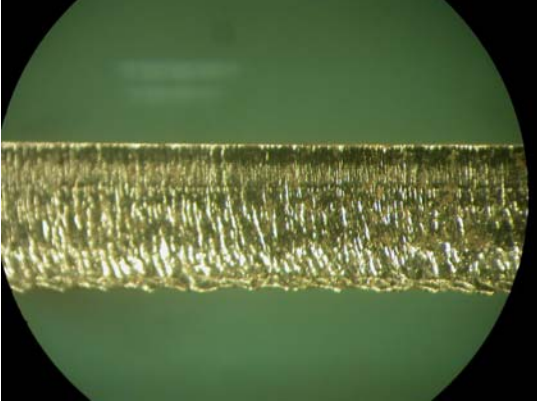


Numune 3.6

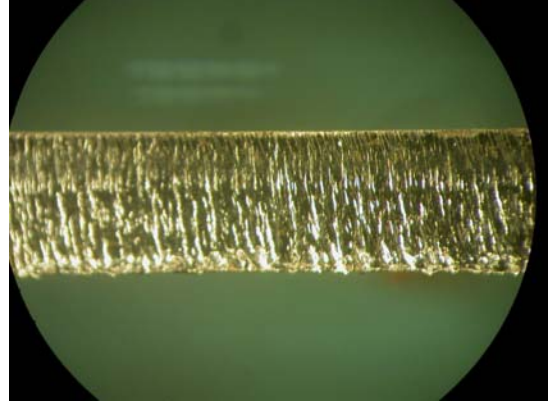


Numune 3.7

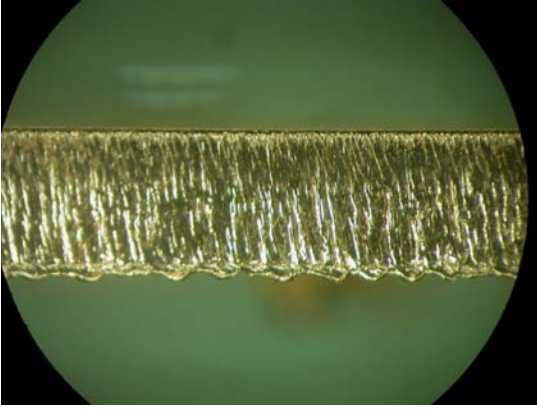
Şekil 7.65 Laserle kesilmiş numunelerin dikey kesitte alınan stereo mikroskop görüntüleri



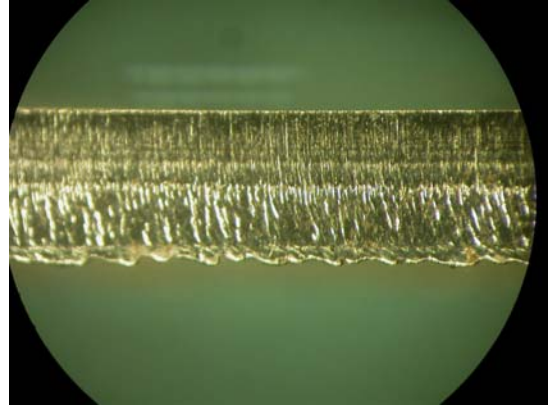
Numune 3.8



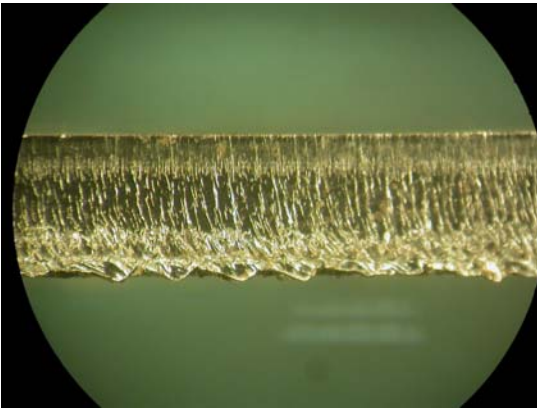
Numune 3.9



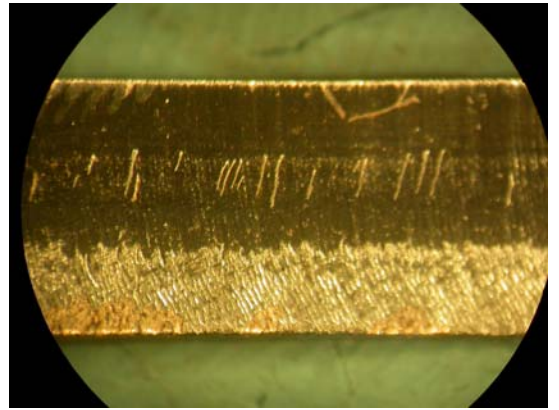
Numune 3.10



Numune 3.11

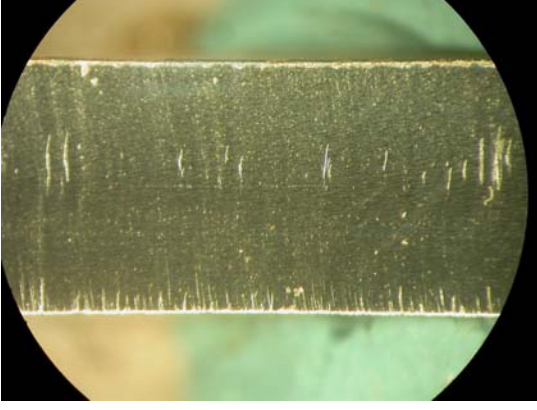


Numune 3.12

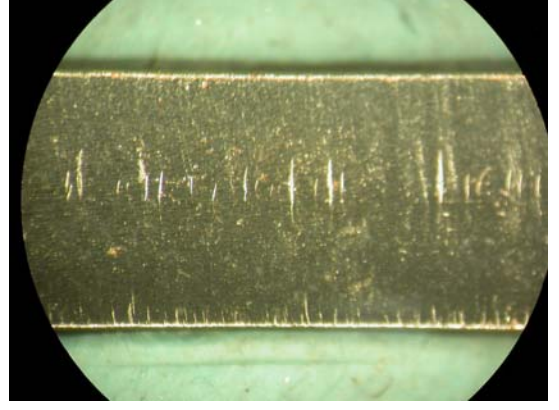


Numune 5.1

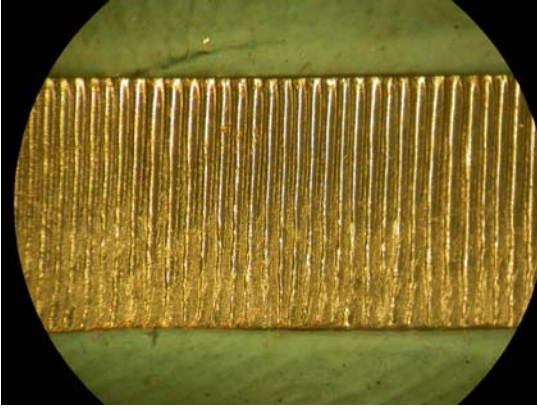
Şekil 7.66 Laserle kesilmiş numunelerin dikey kesitte alınan stereo mikroskop görüntüleri



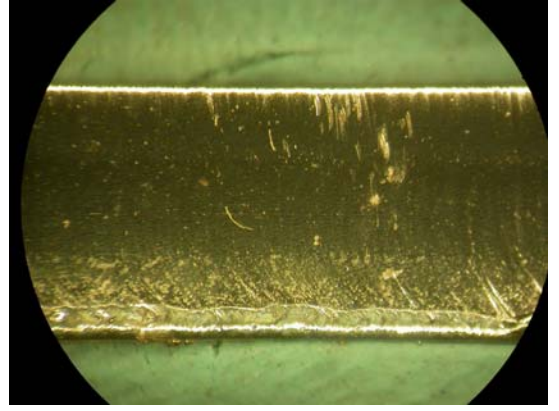
Numune 5.2



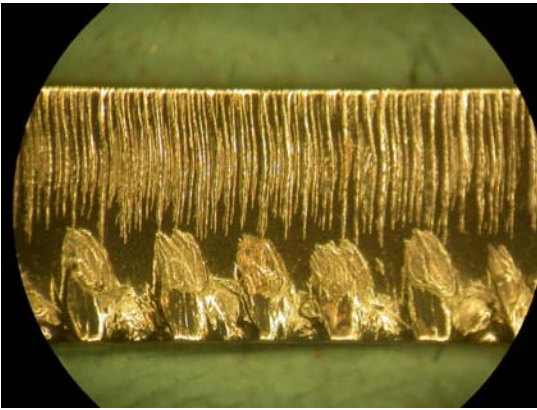
Numune 5.3



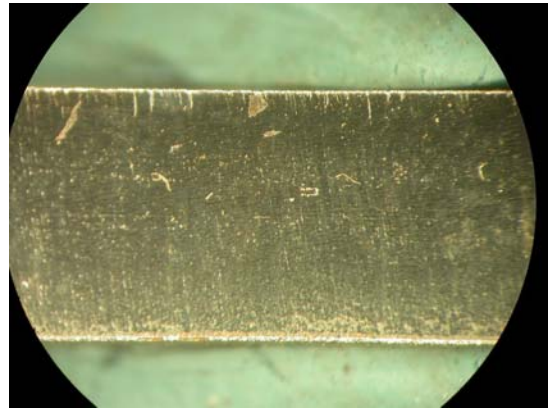
Numune 5.4



Numune 5.5



Numune 5.6



Numune 5.7

Şekil 7.67 Laserle kesilmiş numunelerin dikey kesitte alınan stereo mikroskop görüntüleri

7.5 Sertlik İncelemeleri

Bir adet örnek numune alınarak laser ışını etkisinde kalan bölgenin sertliğinin değişimine bakılmıştır. Numunenin ısı tesiri altında kalan bölgesinden ve laser ışını tesir etmeyen bölgesinden 5'er adet Vickers sertliği ölçülmüştür. Buna göre sertlik ölçümleri ;

Çizelge 7.16 Isı etkisinde kalan ve ısı etkisinde kalmayan bölgelerin sertlik karşılaştırması

| Isı tesiri etkisinde kalmayan bölgenin sertliği | Isı tesiri etkisinde kalan bölgenin sertliği |
|---|--|
| 119 HV | 235 HV |
| 121 HV | 226 HV |
| 120 HV | 250 HV |
| 123 HV | 310 HV |
| 119 HV | 262 HV |

Daha sonra bulunan bu değerlerin aritmetik ortalaması alınarak ısıdan etkilenmeyen bölgenin sertliği 120,4 HV ve ısıdan etkilenen bölgenin sertliği 256,6 HV olarak bulunmuştur.

Numunenin laser ile kesilmesinden sonra kesim bölgesinden elde edilen sertlik değerinin, kesilmeden önceki elde edilen sertlik değerinin 2 katı kadar olduğu tespit edilmiştir.

8. SONUÇLAR

- 1) 3 mm kalınlığındaki çelik sac, oksijen ortamında 900 W, 1500 W ve 3600 W laser gücünde kesildiğinde en düşük yüzey pürüzlülük değerine 1500 W'lık laser gücünde ulaşılmıştır.
- 2) 3 mm kalınlığındaki çelik sac, oksijen ortamında 1500 W'lık laser gücü ile kesildiğinde kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı görülmüştür. Optimum kesme hızı 3,9 m/dk olarak bulunmuştur.
- 3) 3 mm'lik sacda oksijen ortamındaki kesme gazı basıncı, 1500 W laser gücü kullanılarak yapılan kesimde en düşük yüzey pürüzlülüğüne 0,8 bar kesme gaz basıncı değerinde ulaşılmıştır.
- 4) 3 mm'lik çelik sacda basınçlı hava ile kesimde 3000 W, 3500 W ve 4000 W laser gücü kullanılarak yapılan kesimde en düşük yüzey pürüzlülüğüne 4000 W laser gücünde erişilmiştir.
- 5) 3 mm'lik çelik sacda basınçlı hava ile kesimde 3500 W laser gücünde en düşük yüzey pürüzlülük değerine 5,5 m/dk kesme hızında ulaşılmıştır.
- 6) 3mm'lik çelik sac oksijen ortamında 900 W, 1500 W ve 3500 W'lık laser gücünde kesildiğinde ısıdan etkilenen bölge kalınlığı laserin gücü arttıkça artmıştır. (16,85 μm ' den 92,66 μm 'a artmıştır.)
- 7) 3 mm çelik sacda oksijen ortamında kesme hızı arttıkça ısıdan etkilenen bölge kalınlığı düşmüştür. (50,54 μm 'den 6,88 μm 'a azalmıştır)
- 8) 3 mm'lik çelik sacda oksijen atmosferinde en düşük ısıdan etkilenen bölge kalınlığına 0,8 bar gaz basıncında ulaşılmıştır.
- 9) 3mm'lik çelik sac hava ortamında 3000 W, 3500 W ve 4000 W'lık laser gücünde kesildiğinde ısıdan etkilenen bölge kalınlığı laserin gücü arttıkça azalmıştır. (109,51 μm ' den 71,60 μm 'a azalmıştır.)
- 10) 3 mm çelik sacda hava ortamında kesme hızı arttıkça ısıdan etkilenen bölge kalınlığı düşmüştür. (103,19 μm 'den 90,56 μm 'a azalmıştır.)

- 11) 5 mm kalınlığındaki çelik sac, oksijen ortamında 1500 W, 3600 W ve 4000 W laser gücünde kesildiğinde en düşük yüzey pürüzlülük değerine 1500 W'lık laser gücünde ulaşılmıştır.
- 12) 5 mm kalınlığındaki çelik sac, oksijen ortamında 3600 W'lık laser gücü ile kesildiğinde kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı görülmüştür. Optimum kesme hızı 5,4 m/dk olarak bulunmuştur.
- 13) 5 mm'lik sacda oksijen ortamındaki kesme gazı basıncı, 3600 W laser gücü kullanılarak yapılan kesimde en düşük yüzey pürüzlülüğüne 5 bar kesme gaz basıncı değerinde ulaşılmıştır.
- 14) 5 mm'lik çelik sac oksijen ortamında 1500 W, 3600 W ve 4000 W'lık laser gücünde kesildiğinde en düşük ısıdan etkilenen bölge kalınlığı 3600 W güçte bulunmuştur.
- 15) 5 mm'lik çelik sac oksijen ortamında kesildiğinde en düşük ısıdan etkilenen bölge kalınlığı 21,06 µm olarak 3,4 m/dk kesme hızında bulunmuştur.
- 16) 5 mm'lik çelik sacda oksijen atmosferinde en düşük ısıdan etkilenen bölge kalınlığına 0,8 bar gaz basıncında ulaşılmıştır.

GENEL SONUÇLAR

- 1) Sistem Reklamcılık A.Ş. 'den temin edilen 3 mm kalınlığında % 0,082 C' lu çelik sac için oksijen ortamı için belirlenen optimum değerler 1500 W laser gücü, 3,9 m/dak kesme hızı, 0,8 bar kesme basıncı olarak bulunmuştur.
- 2) 3 mm kalınlığında % 0,082 C' lu çelik sac için hava ortamı için belirlenen optimum değerler 4000 W laser gücü, 5,5 m/dak kesme hızı, 5 bar kesme basıncı olarak bulunmuştur.
- 3) Sistem Reklamcılık A.Ş. 'den temin edilen 5 mm kalınlığında % 0,1 C' lu çelik sac için oksijen ortamı için belirlenen optimum değerler 3600 W laser gücü, 3,4 m/dak kesme hızı, 0,8 bar kesme basıncı olarak bulunmuştur.
- 4) Hava ortamında 5 mm'lik çelik sacda kesme için gerekli laser güç yoğunluğuna ulaşılamadığından kesme işlemi gerçekleştirilememiştir.

KAYNAKLAR

- Chen, S. (1997) "The effects of high-pressure assistant-gas flow on high-power CO₂ laser cutting" Institute of Manufacturing Engineering, National Cheng-Kung University, Taiwan
- Ekşi, A. (1988) Endüstriyel Laser ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Gupta, Dr. S.C., Optoelectronic devices and systems, Google e-book, Northern India Engineering College Guru Gobind Singh Indraprastha University Delhi, India
- Karaaslan, A. (2009), Laser ile Malzeme İşlemleri, Literatür Yayıncılık, İstanbul
- Manohar, M., Bodnar, N.R., Asfahani, R.I., Chen, N. ve Huang, C (2004), "Successful Laser Cutting of Steel Sheets" Fabricated Steel Structures Symposium, USA
- Miralles, M., (2003) Laser Hardning of Cutting Tools, Master Thesis, Luleå University of Technology, Sweden
- Mungan, M.C., (2006), Laser ile Kesme ve Endüstriyel Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü
- Sheikh-Ahmad, J., Rajaram, N., ve Cheraghi, S.H. (2002) "CO₂ laser cut quality of 4130 steel" Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Wichita State University, USA
- Şentürk, H., (2002), Karbondioksit Laserlerinin Uygulama Alanlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
- Tanrıverdi, M.A., (2001), Çelik Malzemelerin Lazer ile Kesilmesinde Kesme Bölgesinin Yapı ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü
- Trumph Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG Technische Dokumentation (2007) Ditzingen, Germany
- Yilbas, B. S. (2007) "Laser cutting of thick sheet metals: Effects of cutting parameters on kerf size variations" ME Department, KFUPM, Dhahran, Saudi Arabia

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 26.09.1982

Doğum yeri Sakarya

Lise 1996-2000 Adapazarı Atatürk Lisesi (YDA)

Lisans 2001-2006 Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Metalurji Fak.
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2006-2009 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Müh. Anabilim Dalı, Üretim Programı

Çalıştığı kurumlar

2006-2009 Sistem Reklamcılık A.Ş