



T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

LAZER İLE KESME VE ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARI

MEHMET CEMAL MUNGAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANTAKYA
HAZİRAN -2006



**T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

LAZER İLE KESME VE ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARI

MEHMET CEMAL MUNGAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ANTAKYA
HAZİRAN -2006**

Mustafa Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne,

Prof. Dr. Gürel ÇAM danışmanlığında, M. Cemal MUNGAN tarafından hazırlanan bu çalışma 09/06/2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Gürel ÇAM	İmza
Üye : Yrd. Doç. Ali Naci ÇELİK	İmza
Üye : Doç. Dr. Ali Osman ATAHAN	İmza

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum.

Kod No:

İmza
09/06/2006
Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Abdurrahman YİĞİT

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	IV
ÖNSÖZ.....	V
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	2
2.1. Lazerin Tarihçesi ve Gelişimi.....	2
2.1.1. Lazerin Temel Prensipleri.....	3
2.1.2. Lazer Işığının Özellikleri.....	5
2.2. Endüstriyel Alanda Kullanılan Lazerler.....	5
2.2.1. Karbondioksit (CO ₂) Lazeri.....	5
2.2.2. Nd:YAG Lazeri.....	6
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	8
3.1. Lazer ile Kesme.....	8
3.1.1. Lazer Işınımı İle Kesme Metotları	9
3.1.1.1. Lazer İle Fizyon Kesim	9
3.1.1.2. Lazer İle Yakarak Kesim.....	9
3.1.1.2. Lazer İle Buharlaştırarak Kesim.....	10
3.1.2. Kesme Metotlarının Kıyaslanması.....	10
3.1.3. Lazer ile Kesimin Avantajları.....	11
3.2. Yöntem.....	12
3.2.1. Lazer Kesme Tezgahlarının Genel Yapısı.....	12
3.2.1.1. CO ₂ Lazer Kesme Tezgahlarında Gaz Basınçları.....	18
3.2.1.2. Lazer Kesim Tezgahlarında İmalat Akışının Planlanması.....	18
3.2.1.3. Lazer Kesim Tezgahlarında Oluşabilecek Hatalar ve	
Çözümleri.....	20
3.2.2. Lazer Işını İle Kesim Değişkenleri.....	21
3.2.2.1. Lazer Değişkenleri.....	22

3.2.2.2. İşlem Değişkenleri.....	26
3.2.2.3. Malzeme Değişkenleri.....	29
3.2.2.4. Makine Değişkenleri.....	30
3.2.3. Lazer ile Kesimde Farklı Malzeme İşlenebilirliği.....	32
3.2.3.1. Endüstriyel Çelikler.....	33
3.2.3.2. Paslanmaz Çelikler	35
3.2.3.3. Alüminyum ve Al - Alaşımları	35
3.2.3.4. Titanyum.....	36
3.2.3.5. Bakır ve Pirinç.....	36
3.2.3.6. Sentetik Malzemeler.....	36
3.2.3.7. Organik Malzemeler.....	37
3.2.4. Lazer Kesim Sonuçlarının Saptanması.....	37
3.2.4.1. Kesme Yarığı	37
3.2.4.2. Pürüzlülük.....	40
3.2.4.3. Diklik.....	41
3.2.4.4. Kesme Hattı Bölgesi Çizgileri.....	42
3.2.4.5. Cüruf Oluşumu.....	43
3.2.4.6. Isıdan Etkilenen Bölge.....	43
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	45
4.1. Lazer Kesim Makinelerinde Metallerin Kesim Sonuçları.....	45
4.1.1. Yumuşak Çelik.....	45
4.1.2. Paslanmaz Çelik.....	48
4.1.3. Alüminyum.....	52
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	91
KAYNAKLAR.....	92
ÖZGEÇMİŞ.....	93

ÖZET

Günümüzde lazer teknolojisinde meydana gelen gelişmelere paralel olarak, lazer ışınımı endüstride geniş bir uygulama alanı bulmaya başlamıştır.

Bu çalışmada, öncelikli olarak lazerin temel prensipleri hakkında genel bir bilgi verilmiş ve endüstride uygulama alanı olan lazer çeşitleri anlatılmış olup, lazer ile kesim metotlarına değinilmiştir.

Lazer kesme tezgahlarının, genel yapısı ve teknik özelliklerinden bahsedilip, bu tezgahlardaki kesim değişkenleri ve kullanılan malzeme çeşitleri geniş bir yelpazede anlatılmıştır.

Değişik lazer kesme sistemlerinde karşılaşılan kesim tolerans değerleri; yumuşak çelik, paslanmaz çelik ve alüminyum malzemeleri için değerlendirilmiştir. Bu malzemelerin, lazer kesme tezgahlarındaki, kesim tolerans değerleri lazer çıkış gücüne bağlı olarak tablolar şeklinde sunulmuştur.

2006, 106 sayfa

Anahtar Kelimeler: Lazer ile kesme, lazer kesme tezgahları

ABSTRACT

The practical application of laser is steadily increasing in industry owing to the recent developments in laser technology.

In this study the fundamental principles of laser is introduced. Furthermore, the types of industrial laser systems and the various methods of laser cutting operations are discussed.

Moreover, the general structural aspects of laser cutting equipments and their technical properties are investigated in addition to the cutting parameters and the cutting performance in various structural materials.

The cutting tolerances for mild steels, stainless steels and aluminium alloys are evaluated with respect to the laser power output. These values are represented for various laser cutting systems in tables.

2006, 106 pages

Key Words: Laser cutting, laser cutting engines

ÖNSÖZ

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

Yapılan bu çalışmada, lazer kesme tezgahları incelenmiş olup, işlenebilir metallerin kesim parametreleri tablolar şeklinde sunulup, karşılaştırılmıştır.

Yüksek Lisans tez konumun belirlenmesinde ve çalışmalarımın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, değerli fikir ve katkıları ile bu çalışmaya ışık tutan ve yönlendiren danışman hocam Prof. Dr. Gürel ÇAM'a, maddi manevi her konuda desteğini esirgemeyen aileme, çalışmalarımda yine desteğini esirgemeyen tüm hocalarıma, arkadaşlarım M. Cengiz ARSLAN ve Arş. Gör. Serkan GÜLER'e çok teşekkür ederim.

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. CO ₂ ve Nd: YAG lazer sistemlerinin karşılaştırılması.....	7
Çizelge 3.1. Gaz basınçları.....	18
Çizelge 3.2. Malzemelerin optik, termofiziksel ve işlenebilme özellikleri.....	33
Çizelge 3.3. Malzeme tipi ve kalınlıklarına göre kesme yarık değerleri.....	39
Çizelge 4.1. Yumuşak çeliğin oksijen ve TLF 2000 ile geniş hatlı kesim sonuçları.....	57
Çizelge 4.2. Yumuşak çeliğin oksijen TLF 2000 normal hatlı kesim sonuçları.....	58
Çizelge 4.3. Yumuşak çeliğin oksijen ve TLF 2000 küçük hatlı kesim sonuçları.....	59
Çizelge 4.4. Paslanmaz çeliğin yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 2000 ile geniş hatlı kesim sonuçları.....	60
Çizelge 4.5. Paslanmaz çeliğin yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 2000 ile küçük hatlı kesim sonuçları.....	61
Çizelge 4.6. Alüminyumun yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 2000 ile geniş hatlı kesim sonuçları.....	62
Çizelge 4.7. Alüminyumun yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 2000 ile küçük hatlı kesim sonuçları.....	63
Çizelge 4.8. Yumuşak çeliğin oksijen ve TLF 2700 ile geniş hatlı kesim sonuçları.....	64
Çizelge 4.9. Yumuşak çeliğin oksijen ve TLF 2700 ile orta hatlı kesim sonuçları.....	65
Çizelge 4.10. Yumuşak çeliğin oksijen ve TLF 2700 ile küçük hatlı kesim sonuçları.....	66
Çizelge 4.11. Paslanmaz çeliğin yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 2700 ile geniş hatlı kesim sonuçları.....	67
Çizelge 4.12. Paslanmaz çeliğin yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 2700 ile küçük hatlı kesim sonuçları.....	68
Çizelge 4.13. Alüminyumun yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 2700 ile geniş hatlı kesim sonuçları.....	69
Çizelge 4.14. Alüminyumun yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 2700 ile küçük hatlı kesim sonuçları.....	70
Çizelge 4.15. Yumuşak çeliğin oksijen ve TLF 3200 ile geniş hatlı kesim sonuçları (5"lik mercekle kullanılmıştır).....	71
Çizelge 4.16. Yumuşak çeliğin oksijen ve TLF 3200 ile küçük hatlı kesim sonuçları (5"lik mercekle kullanılmıştır).....	72

Çizelge 4.17. Paslanmaz çeliğin yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 3200 ile geniş hatlı kesim sonuçları (5"lik mercektir).....	73
Çizelge 4.18. Paslanmaz çeliğin yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 3200 ile küçük hatlı kesim sonuçları (5"lik mercektir).....	74
Çizelge 4.19. Alüminyumun yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 3200 ile geniş hatlı kesim sonuçları (5"lik mercektir).....	75
Çizelge 4.20. Alüminyumun yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 3200 ile küçük hatlı kesim sonuçları (5"lik mercektir).....	76
Çizelge 4.21. Yumuşak çeliğin oksijen ve TLF 3200 ile geniş hatlı kesim sonuçları (7.5"lik mercektir).....	77
Çizelge 4.22. Yumuşak çeliğin oksijen ve TLF 3200 ile normal hatlı kesim sonuçları (7.5"lik mercektir).....	78
Çizelge 4.23. Yumuşak çeliğin oksijen ve TLF 3200 ile küçük hatlı kesim sonuçları (7.5"lik mercektir).....	79
Çizelge 4.24. Paslanmaz çeliğin yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 3200 ile geniş hatlı kesim sonuçları (7.5"lik mercektir).....	80
Çizelge 4.25. Paslanmaz çeliğin yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 3200 ile küçük hatlı kesim sonuçları (7.5"lik mercektir).....	81
Çizelge 4.26. Alüminyumun yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 3200 ile geniş hatlı kesim sonuçları (7.5"lik mercektir).....	82
Çizelge 4.27. Alüminyumun yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 3200 ile küçük hatlı kesim sonuçları (7.5"lik mercektir).....	83
Çizelge 4.28. Yumuşak çeliğin oksijen ve TLF 4000 ile geniş hatlı kesim sonuçları...	84
Çizelge 4.29. Yumuşak çeliğin oksijen ve TLF 4000 ile normal hatlı kesim sonuçları	85
Çizelge 4.30. Yumuşak çeliğin oksijen ve TLF 4000 ile küçük hatlı kesim sonuçları..	86
Çizelge 4.31. Paslanmaz çeliğin yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 4000 ile geniş hatlı kesim sonuçları.....	87
Çizelge 4.32. Paslanmaz çeliğin yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 4000 ile küçük hatlı kesim sonuçları.....	88
Çizelge 4.33. Alüminyumun yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 4000 ile geniş hatlı kesim sonuçları.....	89

Çizelge 4.34. Alüminyumun yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 4000 ile küçük hatlı sonuçları.....90

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kendiliğinden ışıma ve soğurma.....	3
Şekil 2.2. Uyarılmış ışıma.....	4
Şekil 2.3. Lazer tüpünün yapısı.....	4
Şekil 3.1. Lazer ile kesim prensibi.....	8
Şekil 3.2. Örnek bir, CO ₂ lazer kesim tezgahının genel görünüşü.....	12
Şekil 3.3. Örnek bir, CO ₂ lazer kesim tezgahının yandan görünüşü.....	13
Şekil 3.4. Örnek bir, CO ₂ lazer kesim tezgahının üstten görünüşü.....	13
Şekil 3.5. Boyuna tahrikli lazer üretici.....	15
Şekil 3.6. Enine tahrikli lazer üretici.....	16
Şekil 3.7. Değişik çıkış gücündeki lazer kesme sistemlerinde (1200 W,1500W, 2200 W, 2600 W) kesim yapılabilecek malzeme kalınlıkları.....	22
Şekil 3.8. Gaussian şeklindeki lazer ışını güç dağılımı (TEM ₀₀ modu).....	23
Şekil 3.9. Güç sabitliği.....	23
Şekil 3.10. Güç sabitliğinin zamanla değişimi.....	24
Şekil 3.11. Odak çapının merceklerle göre değişimi.....	25
Şekil 3.12. Sapma açısı.....	25
Şekil 3.13. CO ₂ lazeri için değişik malzemelerde kalınlık ile kesme hızının değişimi (Lazer çıkış gücü 1500 W).....	27
Şekil 3.14. CO ₂ lazeri için değişik malzemelerde kalınlık ile kesme hızının değişimi (Lazer çıkış gücü 2600 W).....	28
Şekil 3.15. Odaklanma noktası pozisyonları.....	29
Şekil 3.16. Odak merceklerinin montajı.....	31
Şekil 3.17. Merkezlenmiş ve merkezden uzak lazer ışını.....	32
Şekil 3.18. Kesme yarığı.....	38
Şekil 3.19. Kesme yarığının tespiti.....	38
Şekil 3.20. Pürüzlülük.....	40
Şekil 3.21. Pürüzlülük değerinin tespiti.....	41
Şekil 3.22. Diklik toleransı.....	41
Şekil 3.23. Kesme hattı bölgesi çizgileri.....	42
Şekil 3.24. Isıdan etkilenen bölge.....	43

Şekil 4.1. Çizelge 4.1’den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak lazer çıkış gücü değişimi (geniş hatlı kesim).....	46
Şekil 4.2. Çizelge 4.1’den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak kesme hızının değişimi (geniş hatlı kesim).....	46
Şekil 4.3. Çizelge 4.21’den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak lazer çıkış gücünün değişimi (geniş hatlı kesim).....	47
Şekil 4.4. Çizelge 4.21’den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak kesme hızının değişimi (geniş hatlı kesim).....	47
Şekil 4.5. Çizelge 4.30’dan elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak lazer çıkış gücünün değişimi (küçük hatlı kesim).....	48
Şekil 4.6. Çizelge 4.30’dan elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak kesme hızının değişimi (küçük hatlı kesim).....	48
Şekil 4.7. Çizelge 4.4’den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak lazer çıkış gücünün değişimi (geniş hatlı kesim).....	49
Şekil 4.8. Çizelge 4.4.den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak kesme hızının değişimi (geniş hatlı kesim).....	49
Şekil 4.9. Çizelge 4.18’den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak lazer çıkış gücünün değişimi (küçük hatlı kesim).....	50
Şekil 4.10. Çizelge 4.18’den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak kesme hızının değişimi (küçük hatlı kesim).....	50
Şekil 4.11. Çizelge 4.24’den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak lazer çıkış gücünün değişimi (geniş hatlı kesim).....	51
Şekil 4.12. Çizelge 4.24’den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak kesme hızının değişimi (geniş hatlı kesim).....	51
Şekil 4.13. Çizelge 4.32’den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak lazer çıkış gücünün değişimi (küçük hatlı kesim).....	52
Şekil 4.14. Çizelge 4.24’den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak kesme hızının değişimi (küçük hatlı kesim).....	52
Şekil 4.15. Çizelge 4.6’dan elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak lazer çıkış gücünün değişimi (geniş hatlı kesim).....	53
Şekil 4.16. Çizelge 4.6’dan elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak kesme hızının değişimi (geniş hatlı kesim).....	53

Şekil 4.17. Çizelge 4.14'den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak lazer çıkış gücünün değişimi (küçük hatlı kesim).....	54
Şekil 4.18. Çizelge 4.14'den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak kesme hızının değişimi (küçük hatlı kesim).....	54
Şekil 4.19. Çizelge 4.20'den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak lazer çıkış gücünün değişimi (küçük hatlı kesim).....	55
Şekil 4.20. Çizelge 4.20'den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak kesme hızının değişimi (küçük hatlı kesim).....	55
Şekil 4.21. Çizelge 4.33'den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak lazer çıkış gücünün değişimi (geniş hatlı kesim).....	56
Şekil 4.21. Çizelge 4.33'den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak kesme hızının değişimi (geniş hatlı kesim).....	56

1.GİRİŞ

Lazer teknolojisi son yıllarda önemli gelişmeler göstermiş olup, bir çok önemli sektörde karşımıza çıkmaktadır. Lazer teknolojisi başlıca; askeri alanlarda, elektronik ve bilgisayar sektöründe, havacılık sektöründe, tıp biliminde, imalat endüstrisinde yaygın bir kullanım alanına sahiptir.

Mühendislik açısından incelendiğinde lazer ışınımı kaynak, kesme ve delme işlemlerinde önemli bir uygulama alanına sahiptir.

Lazer ile kesme yönteminde enerji kaynağı olarak lazer ışınımı kullanılır. Bu yöntemle kesme işlemi lazer ışınımının, kesilecek olan metal yüzeyinin kesim bölgesine yoğunlaşması şeklinde gerçekleşir. En yaygın kullanılan lazer türü karbondioksit lazeridir. Bu kesme yöntemini ince ve kalın saçlarda uygulamak mümkün olup, kalıp maliyetleri ortadan kaldırılmış, minimum fire oranı ile maliyetler aşağı çekilmiştir.

Çevre dostu olan lazer kesme teknolojisi ABD’de ve Avrupa ülkelerinde son yıllarda yaygın olarak kullanılmakta olup ülkemizde hala çok yaygın olarak kullanılmamaktadır.

Bu çalışmada, lazer kesme tezgahlarının genel özellikleri, bu tezgahların kullanılmasıyla sağlanan avantajlar, kullanılan malzeme çeşitlerine göre hangi toleranslara kadar kesme işleminin yapılabileceği ve mühendislikte bulunduğu uygulama alanları ele alınıp bahsedilip tartışılacaktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Lazerin Tarihçesi ve Gelişimi

Lazerin temeli 1916 yılında Albert Einstein tarafından önerilen uyarılmış ışınım teorisi ilkesine dayanmaktadır. Einstein'ın bu teorisine göre uyarılmış ışınım enerji seviyesindeki bir atom düşük enerji seviyesine indiğinde foton yayması gerekir. Bunun sonucu olarak enerji meydana gelir (HECHT, 1992).

Albert Einstein tarafından ortaya atılan bu teoriye dayanarak 1950'li yıllarda Columbia Üniversitesin'den Charles H. Townes tarafından amonyak kullanılarak mikrodalgaların yükseltilmesi prensibine dayanan MAZER bulunmuştur (O'SHEA ve ark., 1978).

MAZER "Microwave Amplication by Stimulated Emission of Radiation" İngilizce kelimelerinin ilk harflerinin alınmasından türetilmiş olup, ışınım yayımının uyarılmasıyla yükseltilmiş mikrodalga anlamına gelmektedir.

Mazer'in bulunmasından sonra bilim adamları bunun optik bölgelere uygulanabilirliği üzerinde çalışmalara başlamışlar ve bunun sonucu olarak lazerle ilgili çalışmaların temelini atmışlardır.

İlk olarak 1958 yılında C. Townes ve A. L. Schowlow tarafından lazerin elde edilmesi için gerekli prosesler ve fiziksel koşullar öne sürülmüştür (WILLETT, 1974). Bunun sonucunda lazer teknolojisi oldukça hızlı bir şekilde gelişmeye başlamıştır.

Theodore H. Maiman tarafından, 16 Mayıs 1960 yılında yakutla çalışan ilk lazer bulunmuştur. Aynı yılın Kasım ayında P. P. Sorokin ve M. J. Stevenson ilk uranyum lazerini geliştirmiş olup, yine 1960 yılının 12 Aralığında Ali Javan, William R. Bennett ve Donald Herriot, Bell Laboratuvarlarında helyum-neon lazerini bulmuşlardır (KUHN,1998).

1963 yılında C. Kumar ve N. Patel tarafından karbondioksit lazeri bulunmuştur (KUHN,1998).

1964 Yılına girildiğinde Joseph Geusic, H. M. Marcos ve Le Grand Van Uilert tarafından Nd:YAG lazeri bulunmuş olup, aynı yıl William Bridges tarafından argon-iyon lazeri bulunmuştur (KUHN,1998).

Hızla gelişen lazer teknolojileri sonucunda, günümüze kadar birçok lazer çeşidi geliştirilmiş olup, bu lazerler kullandıkları dalga boylarına göre, kullanılan aktif

maddenin cinsine göre, enerjinin etkinliğine göre ve enerjinin uygulama şekline göre uygulama alanlarında birbirleri arasında farklılık gösterirler.

2.1.1. Lazerin Temel Prensipleri

Lazer “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation” İngilizce kelimelerinin ilk harflerinin alınmasından türetilmiş olup, uyarılmış ışın neşriyle ışık kuvvetlendirilmesi anlamına gelmektedir.

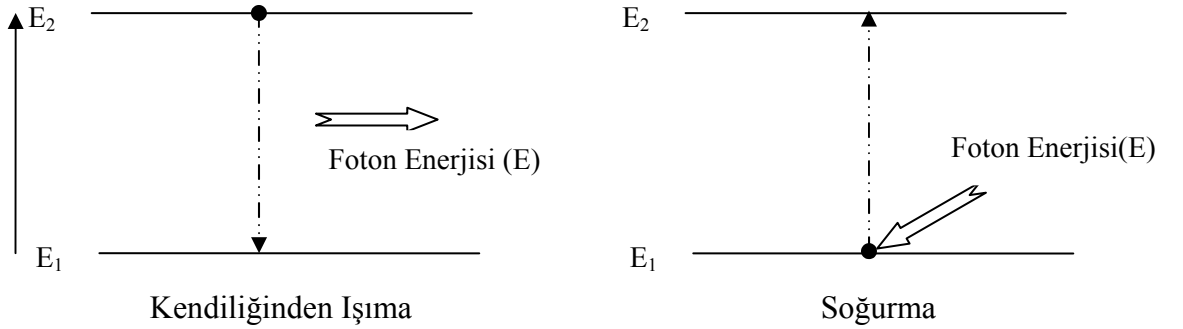
Lazerler, Einstein tarafından geliştirilen uyarılmış ışımaya prensibine dayanarak çalışır. Bu prensip; kendiliğinden ışımaya, soğurma ve uyarılmış ışımaya olmak üzere 3 temel esasa dayanır. Buna göre;

E_1 = Düşük seviyeli atomun enerjisi

E_2 = Yüksek seviyeli atomun enerjisi

$E = E_2 - E_1$

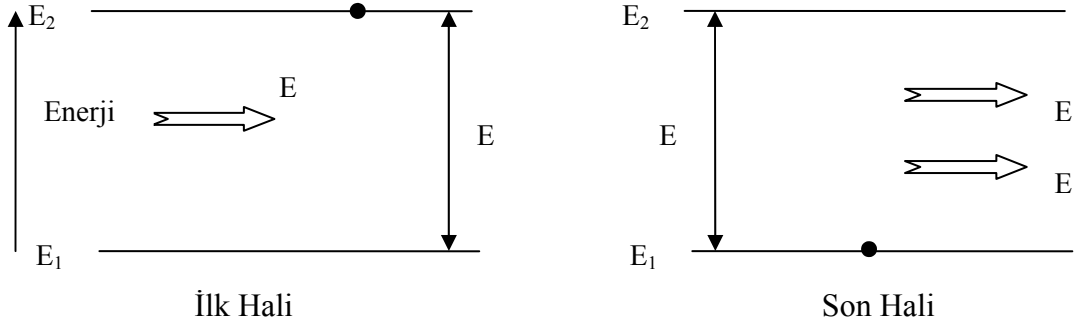
E = Foton enerjisi



Şekil 2.1. Kendiliğinden ışımaya ve soğurma

Şekil 2.1’den de anlaşılacağı gibi kendiliğinden ışımaya olayı yüksek seviyede bulunan atomun, kendiliğinden foton yayarak düşük seviyeli atom haline geçmesidir.

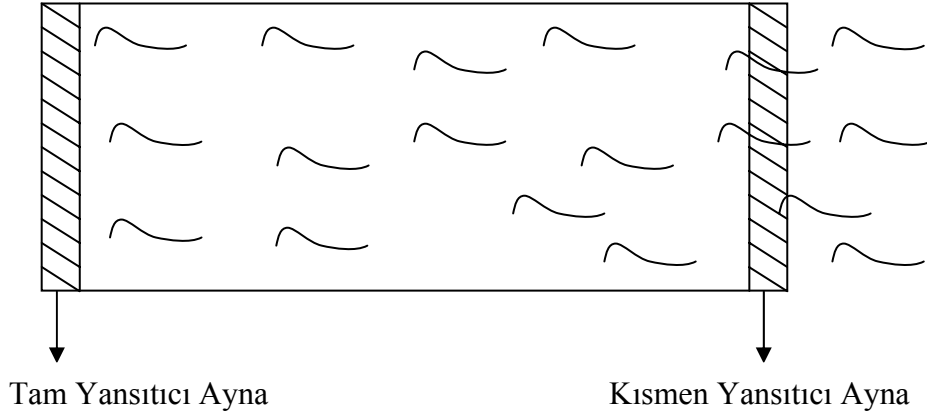
Soğurma olayı ise; düşük seviyedeki atomun foton soğurarak yüksek seviyeli atomun enerji seviyesine geçmesidir.



Şekil 2.2. Uyarılmış ışımaya

Şekil 2.2'deki uyarılmış ışımaya ise; yüksek seviyede bulunan atomun foton zorlanması ile düşük seviyeli atom seviyesine iner. Buradaki foton enerjisi iki seviye arasındaki enerji farkına eşittir. Bunun sonucu olarak atomdan iki foton uzaklaşır. İki fotonun hareketi eşzamanlı olduğundan ışık güçlenir (BEESLEY,1976).

İşte lazerin elde edilmesi de bu prensibe dayanarak optik olarak saydam bir lazer tüpü içerisinde gerçekleşir. Lazer tüpünün bir ucunda tam yansıtıcı ayna, diğer bir ucunda ise kısmen yansıtıcı ayna mevcuttur.



Şekil 2.3. Lazer tüpünün yapısı

Lazer tüpünün içerisi katı veya sıvı bir madde ile doldurulur. Lazer tüpüne dışardan enerji verilerek ortamda bulunan atomlara ulaştırılır. Lazer tüpüne dışardan enerji verme olayı, ortamdan elektrik akımı geçirme veya dışardan ışık geçirme şeklinde gerçekleştirilebilir. Atomların bir kısmı bu enerjiyi absorbe ederler. Fazla enerji atomları kararsız bir hale getirir. Kararsız ve uyarılmış haldeki atomlara çarpan fotonlar sonucu bu atomlar da foton yayarlar ve kararlı hale geçmeye çalışırlar. Yayılan bu

fotonlar tüpün içersindeki aynalardan yansiyarak döner ve reaksiyonu hızlandırır. Uyarılmalar sonucu ortamdaki fotonlar artar. Atomların büyük çoğunluğunun foton yaymasıyla kuvvetlenen ışık kısmen yansıtıcı aynalı uçtan dışarı çıkar. Foton enerjisi ile kuvvetlenip dışarıya çıkan bu ışık lazer ışınıdır (SMITH,1970).

2.1.2. Lazer Işığının zellikleri

- 1) Lazer ışığı normal bir ışık kaynağına göre çok yoğun ve şiddetlidir.
- 2) Normal ışık her yöne dağılırken, lazer ışını dağılmaz ve odaklanabilir, sapma toleransı yok denecek kadar azdır. Oldukça düzgün bir ışıktır.
- 3) Lazer ışını tek dalga boyuna sahiptir. Bu özelliğinden dolayı monokromatik bir özellik taşır.
- 4) Lazer ışını, tek renkli ve aynı fazlı paralel dalgalar halinde genliği yüksek bir ışık demetidir.
- 5) Lazer ışını ile yüksek enerjilerde çok hassas işlemler yapılabilir.

2.2. Endüstriyel Alanda Kullanılan Lazerler

Endüstriyel alanda en çok kullanılan lazer, bir gaz lazeri olan karbondioksit (CO₂) lazeridir. Gaz lazerlerinde, lazer ışınımının elde edilebilmesi için birtakım özel gazların kullanılması gerekmektedir. Fakat bu gazların belirli oranlarda karıştırılması gerekir. Ayrıca bu özel gazların saflıkları oldukça yüksektir.

Karbondioksit lazerinden sonra en çok kullanılan lazer, bir katı hal lazeri olan Nd:YAG lazeridir.

2.2.1. Karbondioksit (CO₂) Lazeri

Bu lazer türü endüstride kesme, markalama ve kaynak işlemlerinde oldukça fazla kullanılmaktadır.

Karbondioksit lazeri, endüstrideki en yüksek çıkış gücüne sahiptir. Elektrodların gerilime maruz kalmasıyla yüksek olmayan basıncılı bir gaz boşalımı tutuşur. Elektron

darbeleri sonucu inversiyon olayı meydana gelir. İversiyon için karbondioksit gazı dışında azot ve helyum gazları gereklidir.

Elektron darbeleri ile karbondioksitin uyarılması; karbondioksit moleküllerinin üst seviyeye doğrudan uyarılması ya da azot ve karbondioksit molekülleri arasındaki darbelerle meydana gelir. Azot'la karbondioksit molekülleri arasındaki, darbelerle uyarma daha çok kullanılır. Azotun yüksek konsantrasyonu ve uzun ömürlü olmasından dolayı enerji bakımından, karbondioksit üst bir lazer seviyesine ulaştırılabilir. Bu moleküllerin darbelenmesiyle enerji transferi meydana gelir.

Diğer bir gaz olan helyum gazı ise; darbe boşalması esnasında alt lazer seviyesini hızla boşaltıp, yüksek ısı iletkenliğiyle gaz karışımını soğutup, alt seviyenin de termik bir yüklemeye maruz kalmasını sağlar (KARAÖREN, 1999).

Karbondioksite, azot ve helyum katılarak, düşük verimde olan karbondioksit gazının veriminin artması sağlanır.

2.2.2. Nd:YAG Lazeri

YAG; Yttrium- Aluminium-Granat kelimelerinin baş harflerinden meydana gelmiştir. Bir katı hal lazeri olan Nd:YAG lazeri endüstride kaynak işlemlerinde, delme işlemlerinde, ve genellikle metallerin mikro işleme uygulamalarında başarılı bir şekilde uygulanmaktadır.

Neodim, bu lazer çeşidinde lazer yayan elemandır. Neodim'in yüksek güçlü ark lambalarının ışığı ile uyarılması sonucu YAG kristali ışığa maruz kalır. Neodim bu ışığı absorbe ederek uyarılmış olur. YAG kristalinde iyon hızla üst lazer seviyesinin biraz daha üstüne çıkar. Bunun sonucu olarak serbest kalan enerji, ısı enerjisi şeklinde kristale geçer (KARAÖREN, 1999).

Çizelge 2.1'de CO₂ ve Nd: YAG lazer sistemleri karşılaştırılmaktadır.

Bir çok lazer çeşidi olmasına rağmen endüstride kullanılabilecek lazerler sınırlıdır. Bunlar dışında

- He-Ne lazeri
- Excimer lazeri
- Argon lazeri
- Karbonik oksit lazeri

- Azot lazeri

Çok fazla uygulama alanı olmamasına rağmen bazı uygulamalarda kullanılmaktadır.

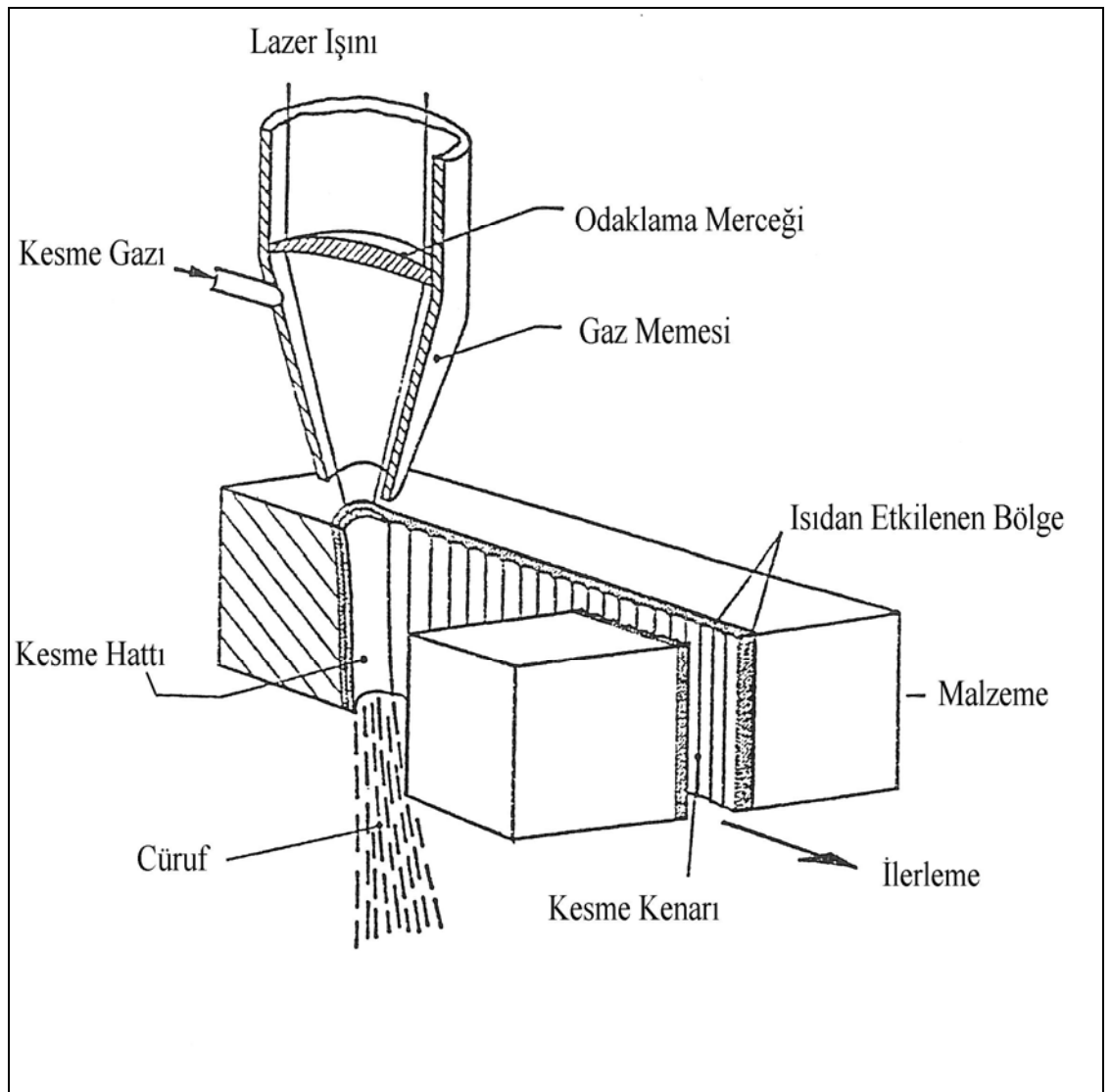
Çizelge 2.1. CO₂ ve Nd: YAG lazer sistemlerinin karşılaştırılması (ANONİM, 2001)

	CO₂ Lazeri	Nd: YAG Lazeri
Dalga Boyu	10,6	10,6
Çalışma Şekli [CW (Sürekli), P (Darbeli)]	CW/P	P/ CW
Maksimum Güç Pav (kW)	25	2
Darbe Gücü(kW)	10 kW'a Kadar	100 kW'a Kadar
Işın Kalitesi	Maksimum	Düşük
Verimlilik (%)	5-10	2-5
Kullanım Yerleri	Termik Prosesler Makro İşleme	Termik Prosesler Mikro İşleme

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Lazer İle Kesme

Lazer ile kesim aslında bir ısıtma işlemidir. Bu kesimde lazer ışını, ısı kaynağı yani kesici görevini yapmaktadır. İyi bir kesimin elde edilebilmesi için lazer ışınının malzemeye tam olarak nüfuz etmesi gerekir. Böylece eriyen malzeme dışarı atılarak yapışması engellenir.



Şekil 3.1. Lazer ile kesim prensibi

Şekil 3.1'den de anlaşılacağı gibi lazer ışınımı iş parçası üzerine odaklanır, böylece iş parçası yüksek yoğunluktaki enerji sayesinde ergime sıcaklığına kadar ısıtılır. Kesme bölgesinde oluşan cüruflar uygun bir gaz ile ortamdan uzaklaştırılır (ANIK, 1996).

3.1.1. Lazer Işınımı İle Kesme Metotları

Lazer ışınımı ile kesme metotlarını üç ana başlık altında toplamamız mümkündür. Bunlar;

- Lazer ile Fizyon (Eriterek) Kesim
- Lazer ile Yakarak (Alevli) Kesim
- Lazer ile Süblimleşme (Arıtarak) Kesim

3.1.1.1. Lazer İle Fizyon (Eriterek) Kesim

Bu kesme yönteminde iş parçası lazer ışınımı ile kesme bölgesinde eritilir.

Eriyen malzeme inert bir gaz yoluyla dışarı atılır. Inert gazlar lazer ışınımı içerisinde bulunan yüksek saflıktaki gazlardır. Genellikle azot ve argon inert gaz olarak kullanılır.

Bu kesmede, kesme hızı malzeme kalınlığı ve malzemenin erime sıcaklığıyla ters orantılı olup, lazerin gücü ile doğru orantılıdır (ANONYMOUS, 1996)

3.1.1.2. Lazer İle Yakarak (Alevli) Kesim

Lazer ile yakarak kesimde, fizyon kesimde olduğu gibi iş parçası lazer ışınımı ile ısıtılır.

Fizyon kesimden farklı olarak oksijen gazı kullanılır. Oksijen ile iş parçası ekzotermik bir reaksiyona girer. Bu reaksiyonla birlikte daha yüksek bir enerji yoğunluğu elde edilir. Ve kesme bölgesinden de malzeme uzaklaştırılmış olur.

Kesme hızı lazer gücüyle orantılıdır. Lazer gücüne bağlı olarak oksijen ve enerji iletimi de kesme hızını etkiler.

3.1.1.3. Lazer İle Buharlaştırarak (Aritarak) Kesim

Bu kesim işleminde kesme bölgesi yüksek yoğunluktaki lazer ışınımı ile buharlaştırılır.

Eriyen malzemenin atılmasını önlemek için, malzeme kesme bölgesinde yoğunlaşmamalıdır. Bu nedenle malzemenin kalınlığının, lazer ışınımının çapından büyük olmaması uygundur. Metal olmayan malzemelerde de (tahta, seramik, kağıt, plastik) uygulanabilmektedir. Malzeme kalınlığı ışın çapından büyük olsa da kesme işlemi yapılabilir. Çünkü malzeme yoğuşmaz.

Enerji yoğunluğu odaklanmanın düzgün olmasına, malzeme ve kesme bölgesi derinliğine bağlıdır.

Kesme hızı malzeme kalınlığına ve lazer gücüne bağlıdır (ANONYMOUS, 1996).

3.1.2. Kesme Metotlarının Kıyaslanması

Süblimleşme kesimde yüksek lazer yoğunluğuna ihtiyaç olduğundan yüksek kesme hızlarına ulaşamaz. Lazer ile fizyon kesmeyle, lazer ile süblimleşme kesimden daha yüksek kesme hızı sağlamak mümkündür. Çünkü malzemeyi eritmek için gerekli olan enerji, buharlaştırmak için gerekli olan enerjiden daha azdır. Bundan dolayı fizyon kesim, süblimleşme kesime göre daha ekonomiktir.

Fakat lazer ile alevle kesimde oksijenle iş parçası ekzotermik reaksiyona girdiğinden dolayı yüksek enerji elde edilebilir. Bu da kesme hızının fizyon kesime göre daha yüksek olmasını sağlar. Alevle kesim, fizyon kesime oranla daha geniş bir kesim aralığına ihtiyaç duyar. Alevle kesim fizyon kesim ile kıyaslandığında daha kalitesiz bir kesimin meydana gelmesi ve yüzey pürüzlülüğü gibi dezavantajları vardır.

Fakat alevle kesimi kalın malzemelere uygulanabilmesi ve yüksek kesme hızı avantajlarından dolayı metal işlemede en çok kullanılan kesim yöntemidir (ANONYMOUS, 1996).

3.1.3. Lazer ile Kesimin Avantajları

- Üretim esnasında hızlı kesim yapılabilir.
- Düşük maliyetlidir.
- Kalıp gerektirmeden üretim yapılabilmesi sonucu kalıp maliyetleri ortadan kalkar.
- Minimum fire oranı ile maliyetler aşağı çekilir.
- Lazer çok fonksiyonlu bir ayıraç olduğundan kesme aralığı çok küçüktür.
- Malzemede ısıdan etkilenen bölge az olduğundan malzeme bozulması pek olmaz.
- İşleme esnasında malzemeye temas olmadığından çiziksiz ürün elde edilmesi mümkündür.
- Montaja hazır üretimler yapılabilir.
- Sacın üzerine markalama yapılabilir, yazı yazılabilmektedir.
- Lazer kesim tezgahlarının stabil yapısı, modern işletimi ve ölçüm tekniği sonucunda yüksek hassasiyet sağlanır.
- Levha malzemelerden üretim, talaşlı üretime göre daha ekonomiktir.
- Farklı geometrideki malzemelerin ve üç boyutlu malzemelerin kesilmesi mümkündür.
- 0.4 x sac kalınlığına kadar deliklerin açılmasına olanak sağlar (ANONİM, 2005).

Lazer ışınımı ile kesme endüstride genellikle , aşağıdaki metallerin kesilmesinde uygulanır. Bunlar ;

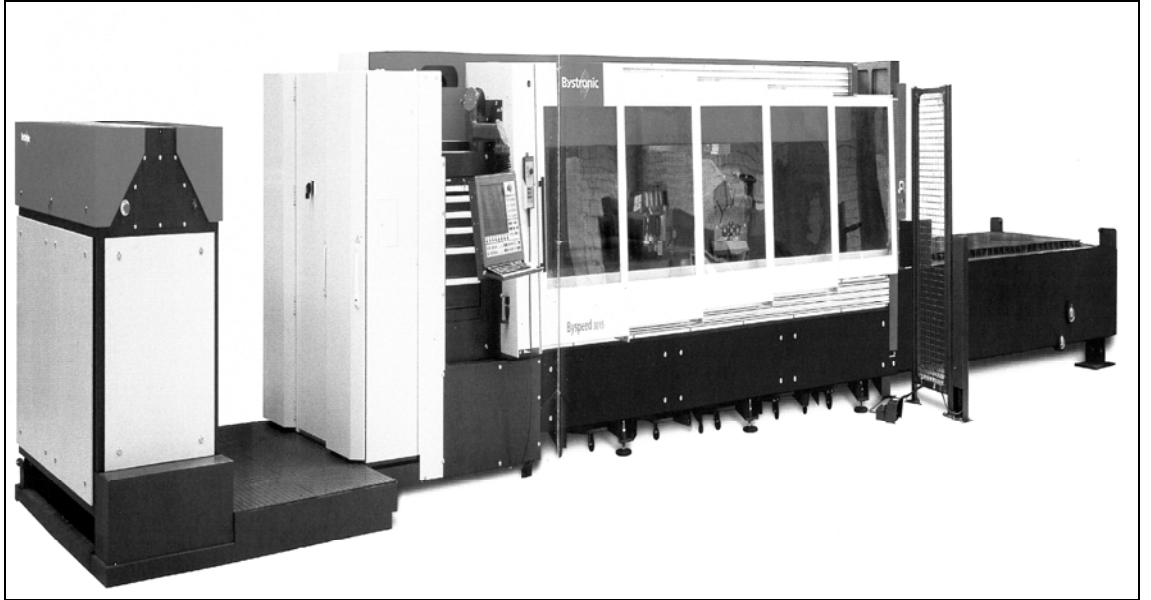
- Çelik (Takım çelikleri, yumuşak çelikler, yay çelikleri, silisyumlu çelikler)
- Paslanmaz çelikler
- Alüminyum ve alaşımları
- Galvanizli saclar
- Titanyum ve alaşımları (ANONİM, 2005).

3.2. Yöntem

3.2.1. Lazer Kesme Tezgahlarının Genel Yapısı

Günümüzde en çok kullanılan lazer kesme tezgahları karbondioksit (CO_2) lazer tezgahlarıdır. Bu tezgahlar endüstriyel alanda en yüksek çıkış gücüne sahiptirler. Dalga boyu $10,6\mu\text{m}$ olan ve 25 kW 'a kadar çıkış gücüne sahip bir lazer sistemidir.

Şekil 3.2'de örnek bir CO_2 lazer kesim tezgahının genel görünüşü verilmiştir (ANONİM, 2005).

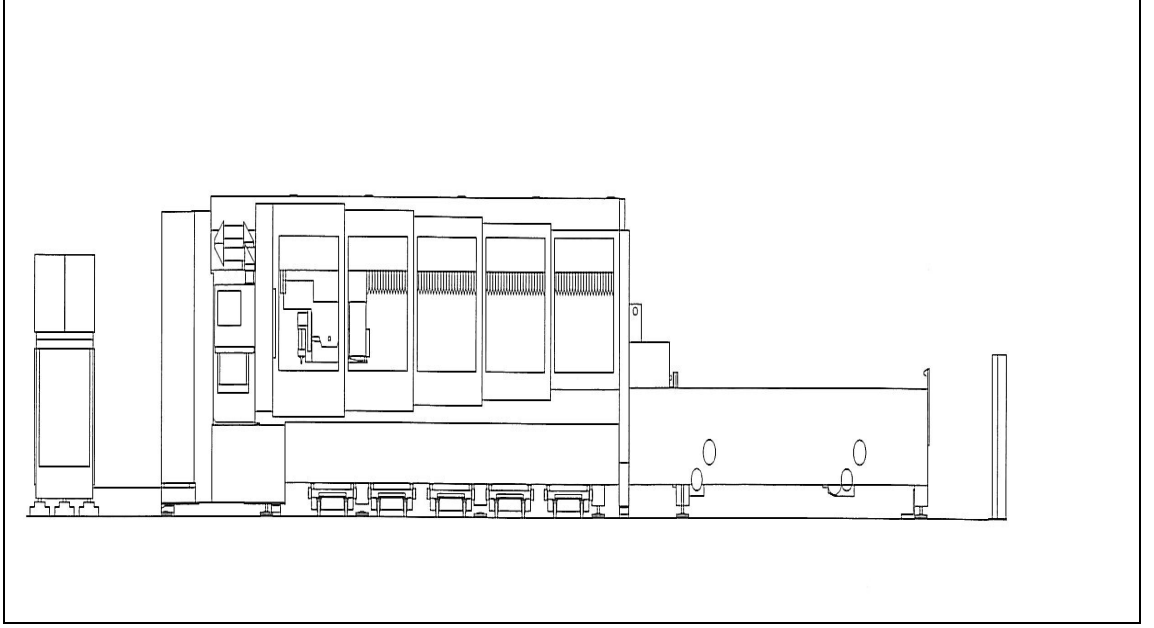


Şekil 3.2. Örnek bir, CO_2 lazer kesim tezgahının genel görünüşü

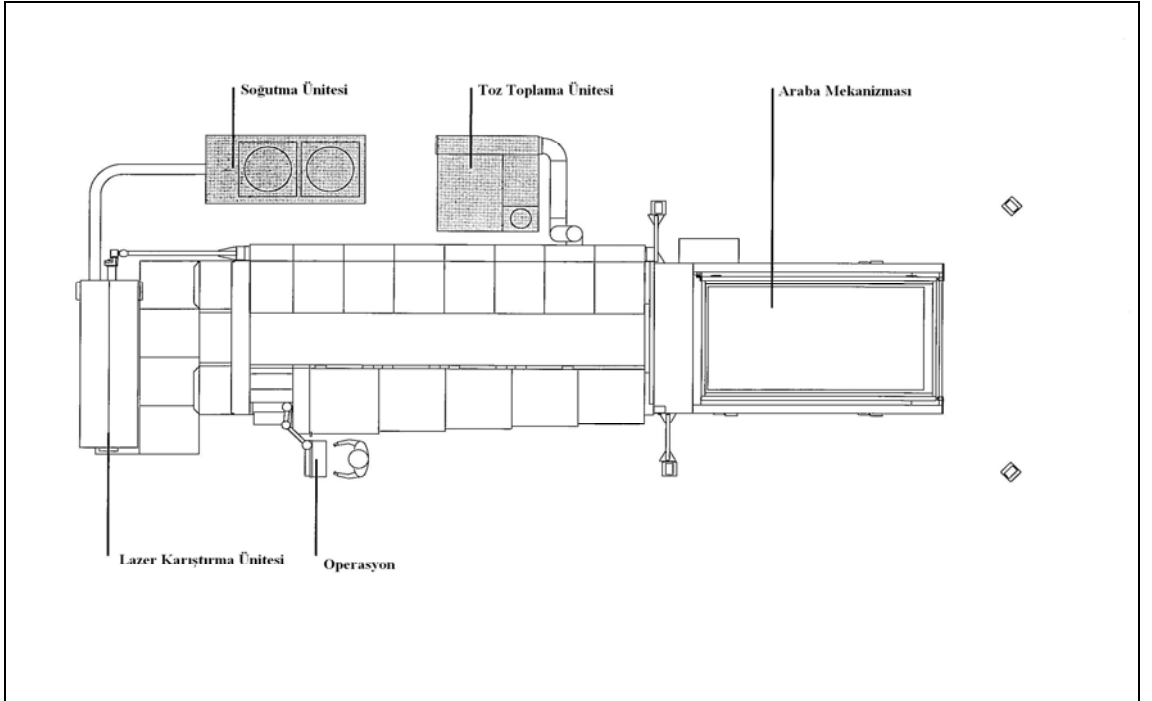
Bu tezgahlarda lazer oluşturan ana gaz CO_2 'dir. Yardımcı gazlar ise helyum ve azottur. Bu gazlar yüksek saflıkta özel gazlardır.

Bu tezgahlarda kullanılan kesme gazları ise oksijen ve azottur

Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'de bir CO_2 lazer kesim tezgahının yandan ve üstten görünüşleri verilmiştir (ANONİM, 2005).



Şekil 3.3. Örnek bir, CO₂ lazer kesim tezgahının yandan görünüşü



Şekil 3.4. Örnek bir, CO₂ lazer kesim tezgahının üstten görünüşü

Lazer kesim tezgahları genel olarak aşağıdaki ünitelerden oluşmaktadır.

- 1) Lazer Ünitesi
- 2) Üreteç (Rezenatör)
- 3) Terminal
- 4) Kesim Ünitesi
- 5) Soğutma Ünitesi
- 6) Toz Toplama Ünitesi

1) Lazer Ünitesi

Buna lazer gazlarının karıştırma ünitesi de denilebilir. Lazerin elde edilebilmesi için, kesme tezgahının yakınında bulunan yüksek saflıktaki CO_2 , He ve N_2 tüplerinden dışarı çıkan gazların bu üniteye karışımı yapılır.

Helyum ve azot gazları CO_2 içine karıştırılarak verimin yaklaşık %30 oranında artmasını sağlar. Yani lazer için kesim gazlarının karışımının yapıldığı kısımdır. Üretici yönetir.

2) Üreteç (Rezenatör)

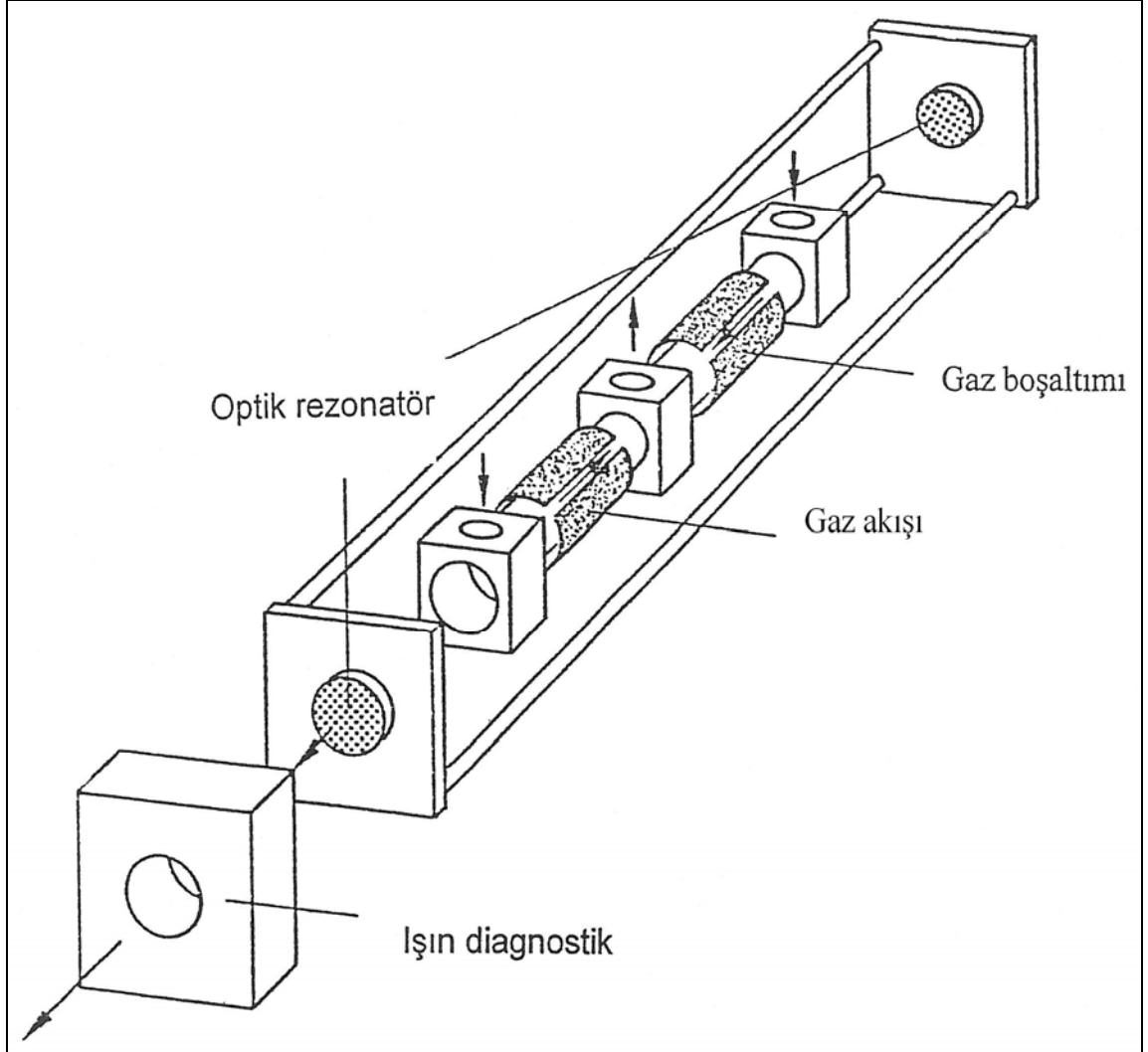
Lazer ünitesi tarafından karışımı yapılan gaz, üretece gelir. Tezgah için gerekli lazer kesim ışını bu üniteye elde edilir. Üretcin içersinde bir ucu kısmi yansıtıcılı diğer ucu tam yansıtıcılı iki ayna mevcuttur.

Üretcin içersinde bulunan cam tüplerden geçen gaza yüksek voltajda elektrik akımı verilerek lazerin elde edilimi sağlanır. Elde edilen lazer, aynalar vasıtasıyla kesim ünitesine gönderilir. Yani kesme kafasına kadar lazer ışınımı gider. Bu ünite makinenin en hassas ünitesidir. Yüksek gerilim tehlikesi sebebiyle yanında bulunulmaması tavsiye edilir.

CO_2 lazer üreteçleri iki tiptir. Bunlar;

- a) Boyuna Tahrikli Lazer Üretci
- b) Enine Tahrikli Lazer Üretci

a) Boyuna Tahrikli Lazer Üreteci



Şekil 3.5. Boyuna tahrikli lazer üreteci

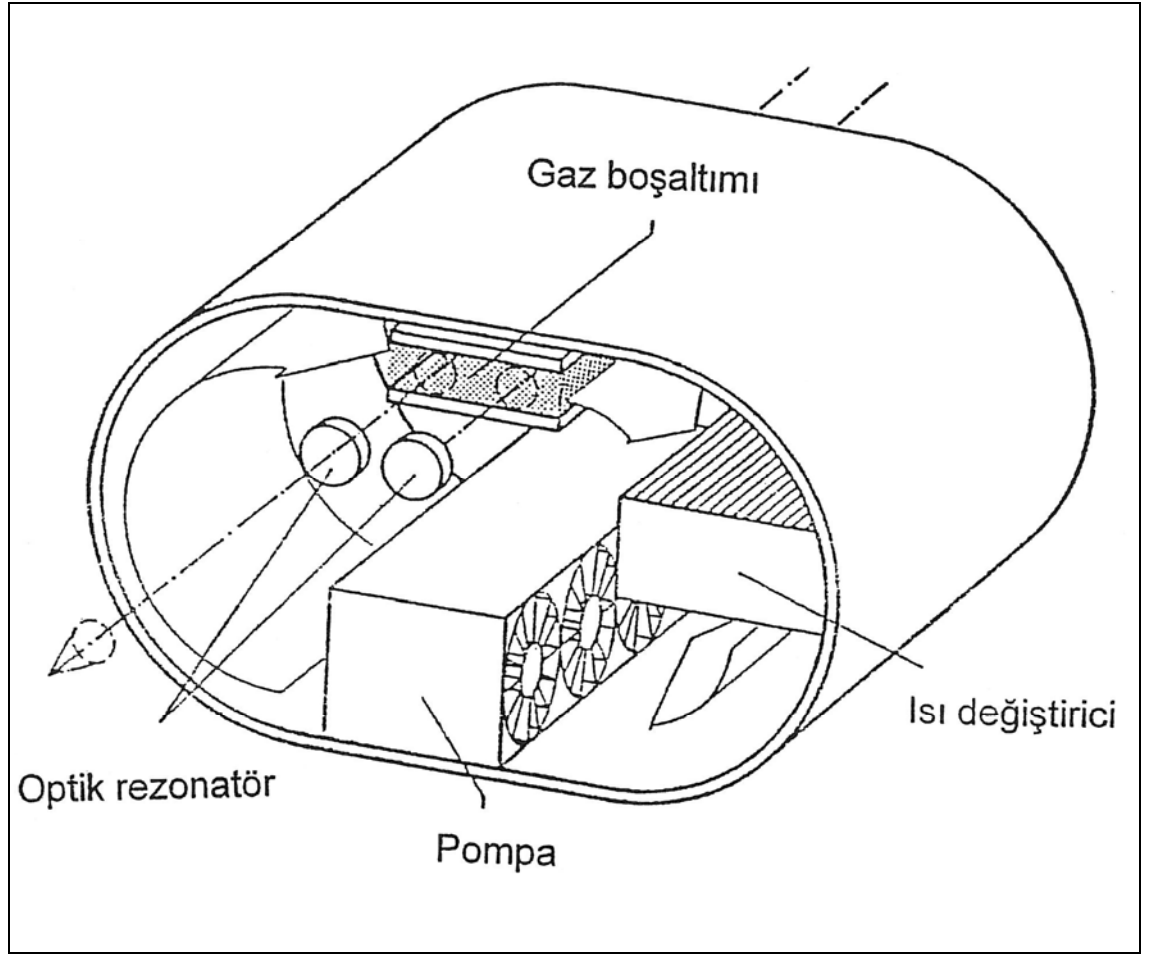
Şekil 3.5’de görülen boyuna tahrikli lazer üretetine gelen gaz karışımı, yüksek güçte çalışan pompalar vasıtasıyla yüksek hızlarda küçük kesitteki lazer borularına sevk edilir. Gazın boşaltımı cam borular içerisinde gerçekleşir.

Cam boruların çapı ortalama 1-5 cm arasında olmakla beraber gazın akış hızı 100 m/s civarındadır (KARAÖREN, 1999).

b) Enine Tahrikli Lazer Üretici

Enine tahrikli lazer üretçilerinde, üretç hacminin maksimum kullanılması için U şeklinde dizayn edilmiştir.

Bu üretçlerde, boyuna tahrikli lazer üretçlerinin aksine gaz karışımı optik rezonatörün eksenine dik olarak akmaktadır (KARAÖREN, 1999).



Şekil 3.6. Enine tahrikli lazer üretci

3) Terminal

Terminal ünitesi tüm bilgilerin toplandığı ünedir. Ana elektrik girişi ve dağıtım yapıldığı kısım STL kabinesi olarak adlandırılır.

Servo sürücülerin bulunduğu kısma CNC kabinesi denilir. Soldan sağa sırasıyla X, Y, Z yönetici kartları burada bulunur. Gerekli olduğu durumlarda bu kartları resetlemek gerekir.

Oksijen, azot gibi kesme gazları ve havanın girişinin yapıldığı kısım hava kabini olarak adlandırılır.

Bilgisayarın bulunduğu otomasyon ünitesi de terminalin içerisinde.

4) Kesim Ünitesi

Kesimin yapıldığı ünedir. Temel olarak ana elemanları Bridge (X eksen), Carrier (Y eksen), Z eksen olarak adlandırılır.

Bridge yani X eksen, kesim kafasını ileri (X+), geri (X-) boyunca hareket ettirmektedir.

Carrier yani Y eksen, kesim kafasını sola (Y+), sağa (Y-) boyunca hareket ettirmektedir.

Z eksen ise kesim kafasını aşağı (Z+) ve yukarı (Z-) olarak hareket ettirmektedir.

CO₂ lazer tezgahlarında, endüstride genellikle kesim kafasında 5" ve 7.5" mercekler kullanılır. Bu kesim kafasının büyüklüğüyle değil, merceğin yüksekliğiyle alakalıdır. Genel olarak ince parçalar için 5", kalın parçalar için 7.5" lik kesim kafası tercih edilir.

5) Soğutma Ünitesi

Bu tezgahlarda soğutma için saf su kullanılır. Saf suyun soğutulması bu üniteye yapılır.

Tezgahta oluşacak ısınma problemlerine karşı, soğutma ünitesindeki saf su tezgah içersinde devir daim yaptırılır. Kısaca gerekli durumlarda tezgahı soğutmak için kullanılır.

6) Toz Toplama Ünitesi

Kesim sırasında oluşan toz zerrecikleri, pnömatik bir sistem olan toz toplama ünitesi vasıtasıyla ortamdaki emilerek toz toplama ünitesinde toplanır. Böylece çalışma ortamının temiz kalması sağlanır. Bu üniteye toplanan tozlar, ünitenin altında bulunan tekne vasıtasıyla dışarı atılır. Bu ünite jet filtre sistemiyle çalışır.

3.2.1.1.CO₂ Lazer Kesme Tezgahlarında Gaz Basınçları

Çizelge 3.1. Gaz basınçları

	Gaz Türü	Basınç (Bar)
Lazer Gazları Çıkış	Karbondiyoksit (CO ₂)	5-6
	Azot (N ₂)	5-6
	Helyum (He)	5-6
Kesme Gazları Çıkış	Oksijen (O ₂)	30
	Azot (N ₂)	30
Terminal Giriş	Oksijen (O ₂)	18
	Azot (N ₂)	25
Toz Toplama Giriş	Hava	6

3.2.1.2. Lazer Kesim Tezgahlarında İmalat Akışının Planlanması

Öncelikli olarak, lazer kesim tezgahlarında yerleşim yerinin ve yüklemenin uygun bir şekilde yapılması gerekmektedir.

Bu tezgahlarda iyi sonuçlar almak için, sac malzemelerin kaliteli olması gerekmektedir. Düzgün olmayan yüzeyler ve oksitlenmiş malzemeler kesim kalitesini düşürmekte olup, kaynaklanmaya sebebiyet verirler. Tezgaha yerleştirilen malzemeler arası mesafe en az sac kalınlılığı kadar olmalıdır.

Lazer tezgahlarında dairesel kesimlerde, kesilecek deliğin delik çapı en az 8 mm olmalıdır. Eğer lazerle direk delme işlemi yapılacaksa, delik çapının sac kalınlığının yarısı olması gerekir.. Büyük olduğu durumlarda yalnızca markalama işlemi yapılabilmektedir.

Tezgahta gerekli bilgisayar programları kullanılarak imal edilecek iş parçasının, imalat resimleri yapılır. Kesimi yapılacak olan malzemelerin tezgah üzerinde yerleşim planları yapılır. Malzemelerin kalınlıkları eşit olması kaydıyla birden fazla sayıda malzeme tezgaha yerleştirilebilir. Bu da, takım halinde kesilen malzemeler için avantajlıdır. Lazerin kesme kafasının hareketleri monitörde izlenebilmekte ve değişiklikler yapılabilmektedir. Kesme kafasının hareketlerinin ayarlanmasında dikkat edilmesi gereken husus malzeme üzerindeki lokal ısınmalardır.

Kesim işlemi yapacak olan operatörün, kesimi yapması ve oluşabilecek bir soruna müdahalede bulunabilmesi için operatör uygulama sayfası ve kesme kafasının hareket şekli sayfa üzerinde operatöre verilmesi gerekir. Operatör bu sayfada, program numarasını, tarihini, malzemenin cinsini, ağırlığını, boyutlarını, kaç tane sac kesileceğini, kesme uzunluğu ve zamanını gibi önemli bilgileri görebilmektedir. İşlenecek malzemeye göre gerekli olan lensin boyutu belirlenmelidir.

Lazer tezgahıyla yapılan bir kesme işleminde, aynı işlemin birden fazla uygulanması program tekrar çağırılarak mümkündür.

Lazer kesim tezgahlarında, sac plaka vakumlu kollar, forklift veya el yardımıyla yerleştirilebilir. Bu tezgahlarda iki adet araba mekanizması mevcuttur. Bu arabalarda bir tanesine konulan sac plaka kesim işlemine maruz kalırken, diğer arabaya kesim işlemine maruz kalacak sac plaka yerleştirilir.

Kesim işlemi biten araba dışarı alınırken, kesim işlemine maruz kalacak sac plaka diğer arabayla beraber kesim işlemi için içeri alınır.

Bunun sonucu olarak zamandan tasarruf edilmiş olunur. Araba değiştirme işlemindeki zaman kaybı yaklaşık %20 mertebesinde dir. Dışarı çıkan arabadaki parçalar toplanırken, içeri alınan arabadaki sac plaka kesim işlemine başlar.

Lazer kesim tezgahlarında, kesim işlemi başladıktan sonra kesinlikle cam bölmeler açılmamalıdır. Bu cam bölmeler, lazer ışınının göze ve cilde karşı tehlikelerden korumakta olup, radyasyondan koruyucu malzemelerden yapılmıştır.

Lazer kesim tezgahlarının bulunduğu yerin temiz olması gerekir. Tezgahların hava gereksinimi kompresör vasıtasıyla sağlanır (ANONİM, 2002).

3.2.1.3. Lazer Kesim Tezgahlarında Oluşabilecek Hatalar ve Çözümleri

- Lazer ışının tezgaha gelmemesi yani kesim kafasının aşağıya inip, kesim yapmadan sac plaka üzerinde gezmesi;

Böyle durumlarda arızanın kapak açılıp kapandıktan sonra meydana gelmiş olma olasılığı yüksektir. Lazer ünitesi kapağın kapandığını görmemiştir. Lazer ünitesinin arka kapağı açılarak K2.1 rölesinin yumuşak bir şekilde tıklanarak atması sağlanır.

- Lazer kesim tezgahı Gas-Jet Error uyarısı veriyorsa;
Gazın bittiği veya kapalı olduğu yani gazın gelmediği anlaşılır.

- Lazer ünitesinde kırmızı ışık yanıp sönerse;

Tezgahtaki kapaklardan birisinin açık olduğu veya üreteçteki kapağının açık olduğu anlamına gelir. Lamba eğer sürekli olarak yanıyor kesimle ilgili herhangi bir sorun yoktur ve kesim işlemi yapılıyor anlamındadır.

- Lazer ünitesinde beyaz ışık yanarsa;

Lazer gazlarından herhangi birisinin bittiğini veya gazların geldiği tüplerin kapalı olduğu sonucuna varılır. Bu durumda bilgisayar ekranında “Gas-Mix-Error” yazar.

- Su soğutma ünitesinden alarm gelmesi ile en çok rastlanan alarmlar şunlardır;

Air Filter; hava filtresinde sorun vardır, bu gibi durumlarda hava filtresi değiştirilir veya temizlenir.

Water Fill; su azalması anlamındadır. Saf su azaldığından depoya ekleme yapılır.

Water Shortgage; su azalıyor.

Conductivity; iletkenlikte sorun var, reçinesi değiştirilir.

3.2.2. Lazer Işını İle Kesim Değişkenleri

Kesimin kaliteli bir şekilde yapılabilmesi için, lazer ışını ile kesimde bazı değişkenlerin optimize edilmesi gerekir. Bu bağlamda, lazer kesimde dört temel parametre büyük önem arz etmektedir. Bunlar;

Lazer Değişkenleri

- Lazer Işınının Gücü
- Güç Yoğunluk Dağılımı
- Güç Sabitliği
- Işın Kesiti
- Sapma Açısı
- Polarizasyon

İşlem değişkenleri

- Kesim Hızı
- Kesme Gazının Çeşidi
- Gaz Basıncı
- Odaklama Noktası

Malzeme değişkenleri

- Malzeme kalınlığı
- Malzeme özellikleri
- Malzeme yüzeyinin kalitesi
- Malzemenin geometrisi

Makine değişkenleri

- Lazer Çıkış Aynası

- Işın Ayarlanması
- Işını Yönlendiren Aynalar
- Odak Mercekleri
- Lazer Işınının Nozul Deliğiyle Birleşmesi
- Nozul Deliği

3.2.2.1. Lazer Değişkenleri

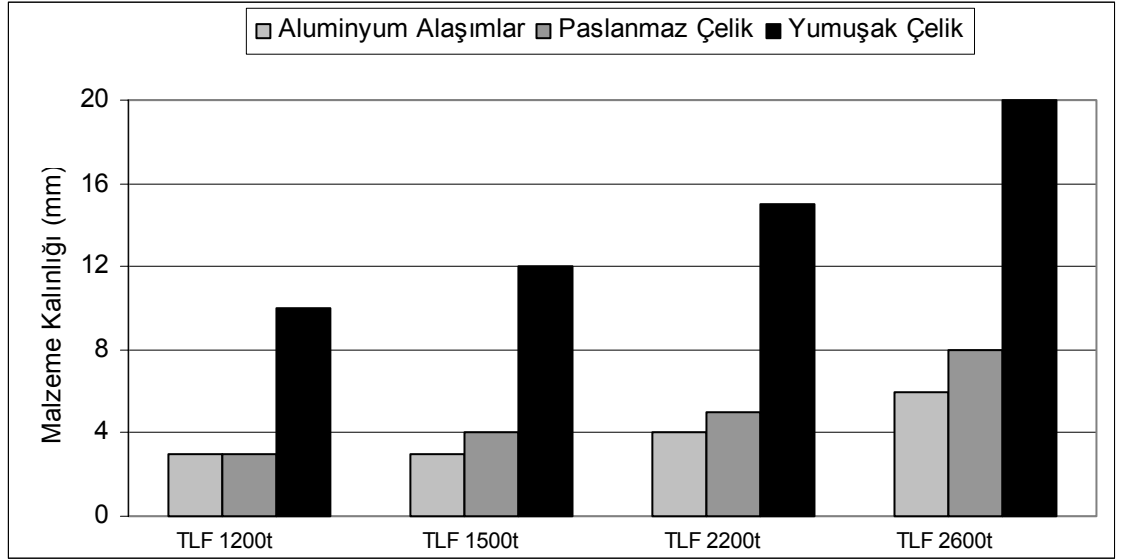
1) Lazer Işınının Gücü

Lazer ışının gücü önemli iki parametreye bağlı olarak ayarlanır. Bunlar;

1. Malzeme Cinsi
2. Malzeme Kalınlığı

Lazer ışınının gücü bu iki değişkene göre ayarlanmalıdır. Kesimi yapılacak malzemenin, maksimum kalınlıkta kesilebilmesi lazer çeşidine bağlıdır. Lazerin gücünün bilgisayar (otomasyon) ünitesi panelinden yüzde olarak ve Watt değerlerine göre ayarlanması mümkündür (STRABE, 1994).

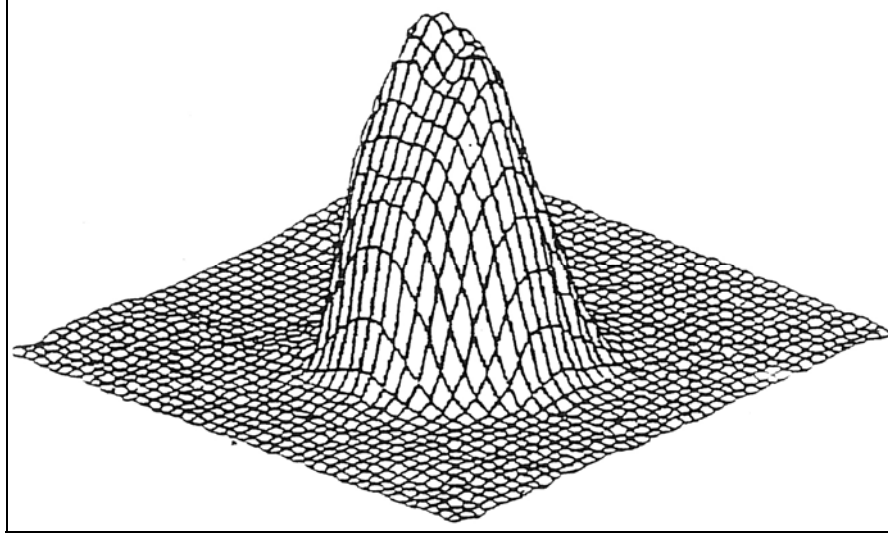
Şekil3.7’de farklı lazer sistemleri ile kesilebilecek bazı metalik malzeme kalınlıkları gösterilmiştir (STRABE, 1994).



Şekil 3.7. Değişik çıkış gücündeki lazer kesme sistemlerinde (1200W, 1500W, 2200W ve 2600W) kesim yapılabilecek malzeme kalınlıkları

2) Güç Yoğunluk Dağılımı

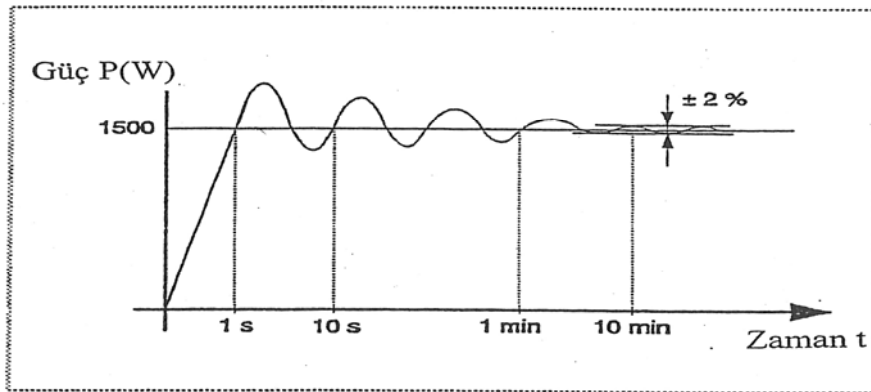
Bir kesim işleminde genelde, güç yoğunluk dağılımı Şekil 3.8'deki gibi Gauss eğrisine benziyorsa en iyi kesim sonucu elde edilir (STRABE, 1994).



Şekil 3.8. Gaussian şeklindeki lazer ışını güç dağılımı (TEM₀₀ modu)

3) Güç Sabitliği

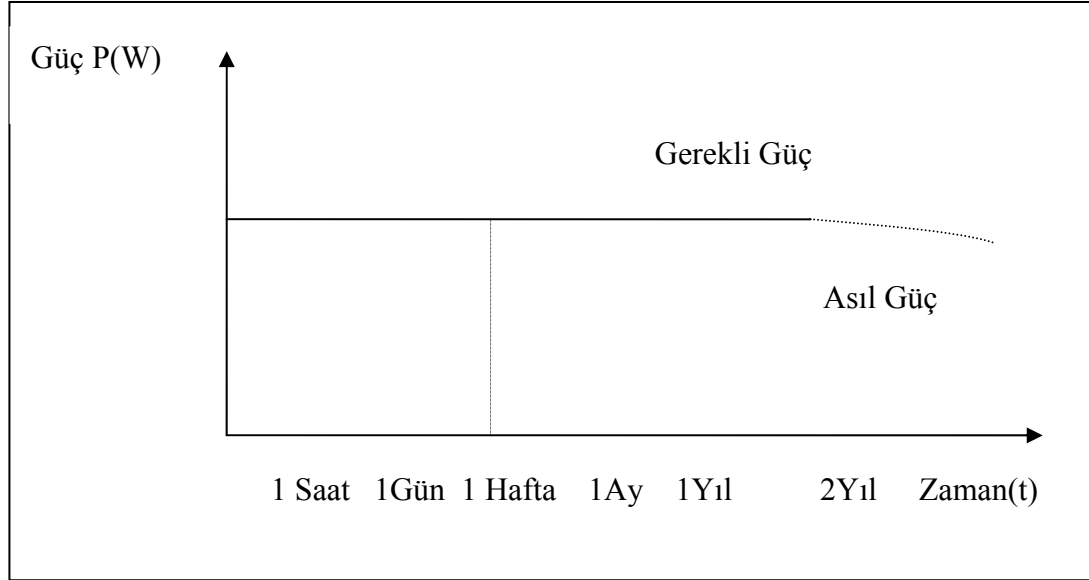
İyi bir kesim yapılabilmesi ve kesim işleminden iyi sonuçlar alınabilmesi için, kesim esnasında lazer gücünün sabit olması şarttır. Lazer ışını istenilen değere ulaştıktan beş veya on dakika sonrası sabit bir çıkışa olanak sağlar.



Şekil 3.9. Güç sabitliği

Şekil 3.9'dan da anlaşılacağı gibi lazer ışını güç sabitliği $\pm \% 2$ toleranslarda kabul edilebilir değerlerdir.

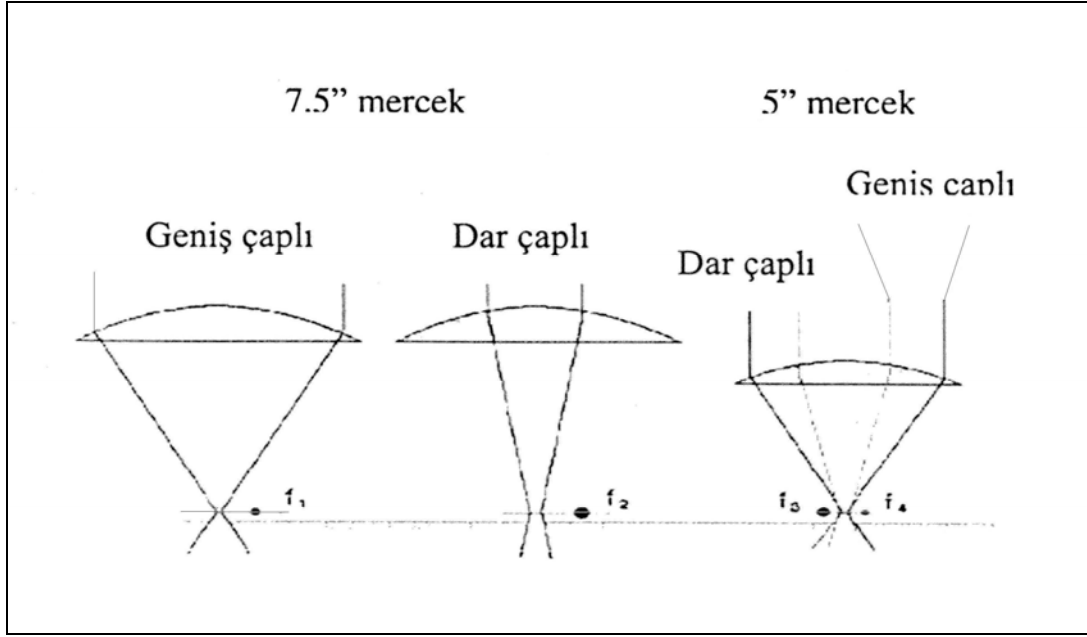
Fakat lazer gücü, belirli bir zamandan sonra düşüşe geçer. Bundan dolayı düzenli periyotlarla kontrolün yapılması gerekir (STRABE, 1994).



Şekil 3.10. Güç sabitliğinin zamanla değişimi

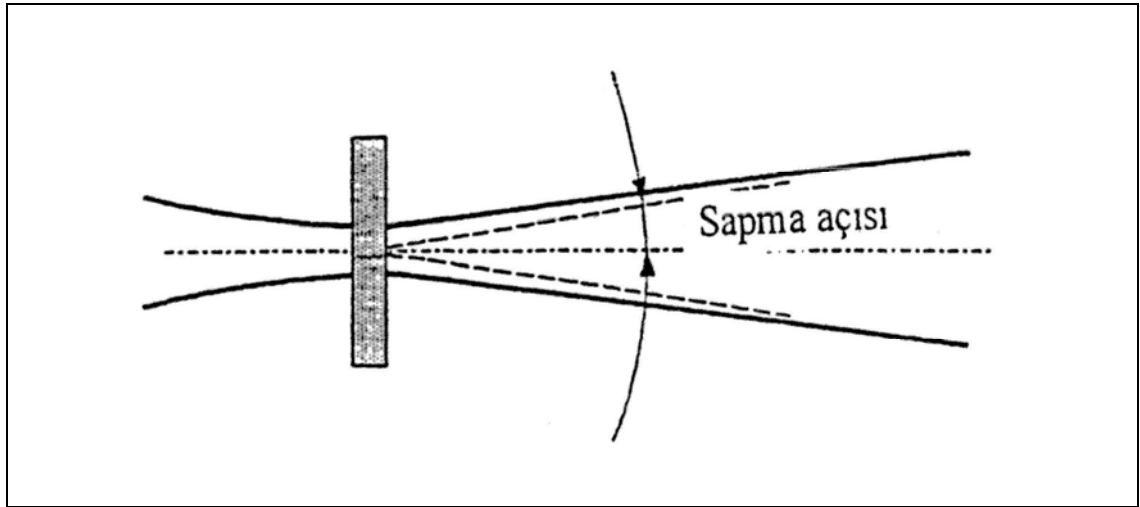
4) Işın Kesiti

Kesim aralığının dar olabilmesi için, lazer ışını kesitinin çapının büyük olması bunun sonucu olarak da odak çapının küçük olması gerekmektedir. Odak çapı merceğin odaklanma uzunluğuna bağlıdır. 5" odak mesafesinin ışın odak çapı 0.2 mm den küçükken, 2,5" odak mesafesinin ışın odak çapı 0.12 mm den küçüktür (STRABE, 1994).



Şekil 3.11. Odak çapının merceklere göre değişimi

5) Sapma Açısı



Şekil 3.12. Sapma açısı

Şekil 3.12'den anlaşılacağı gibi mercekten geçen lazer ışınının merkez hattı ile sapan ışın arasındaki açıya sapma açısı denilmektedir. Sapma açısının küçük olması, ışın çapı ve özelliklerin sabit kalabilmesi için gereklidir. Sapma açısı, malzemenin sabit olduğu fakat işlem ekipmanlarının hareketli olduğu tezgahlarda önemli bir etkidir (STRABE, 1994).

6) Polarizasyon

Polarize edilmiş dairesel lazer ışınımına kesim esnasında gereksinim vardır. Doğrusal veya eliptik polarizasyon kesim bölgesinin dikliğinin bozulmasına ve kesme bölgesinde hatalara sebep olur (STRABE, 1994).

3.2.2.2. İşlem Değişkenleri

1) Kesim Hızı

Kesim hızı iki önemli faktöre bağlıdır.

1. Malzeme kalınlığına ve
2. Malzeme çeşidine

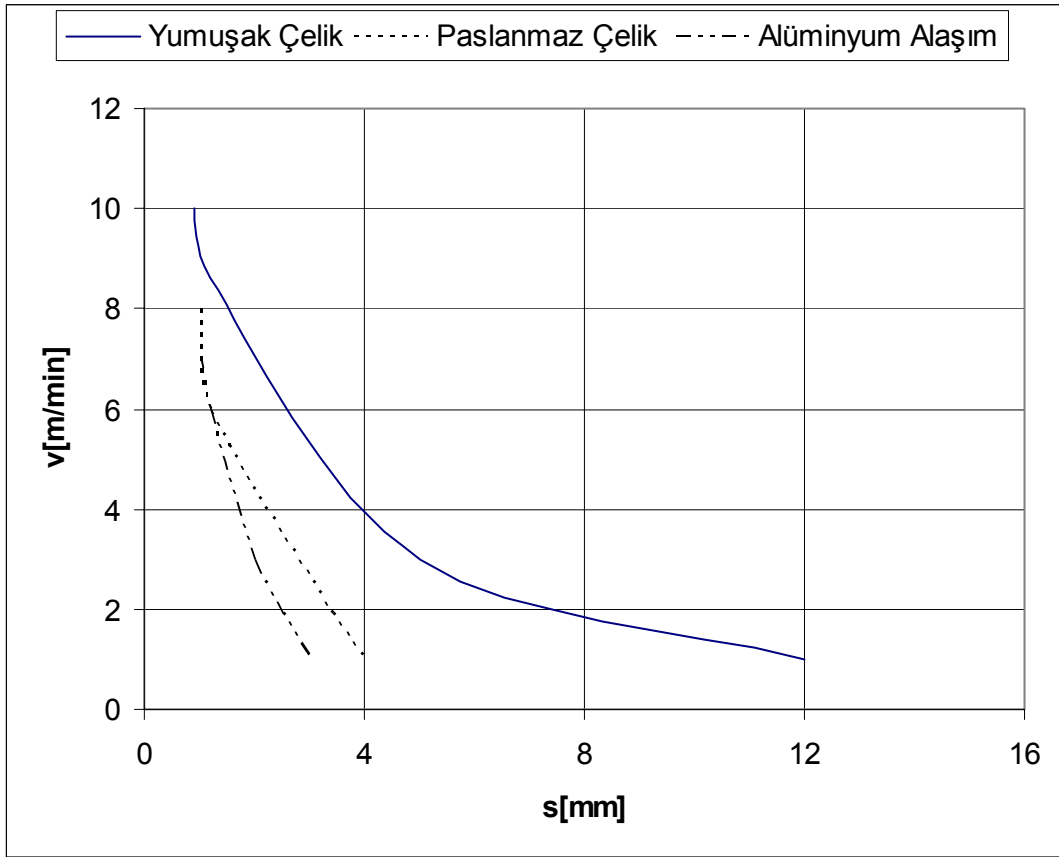
Kesme hızının iyi ayarlanabilmesi gerekmektedir. Yüksek kesme hızı veya düşük kesme hızları malzemenin kesme bölgesinde ısınma, cürufaların fazlalaşmasına ve pürüzlülüğe sebebiyet verebilir. Malzeme kalınlığıyla kesme hızı ters orantılıdır. Yani kalınlık azaldıkça hız artar, kalınlık arttıkça hız düşer.

Farklı güçlerde CO₂ lazer, ile kesilen değişik malzemelerin, kesme hızı ile malzeme kalınlıkları arasındaki ilişkiler aşağıdaki Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'de gösterilmektedir.

V (m/min) : Kesme hızı

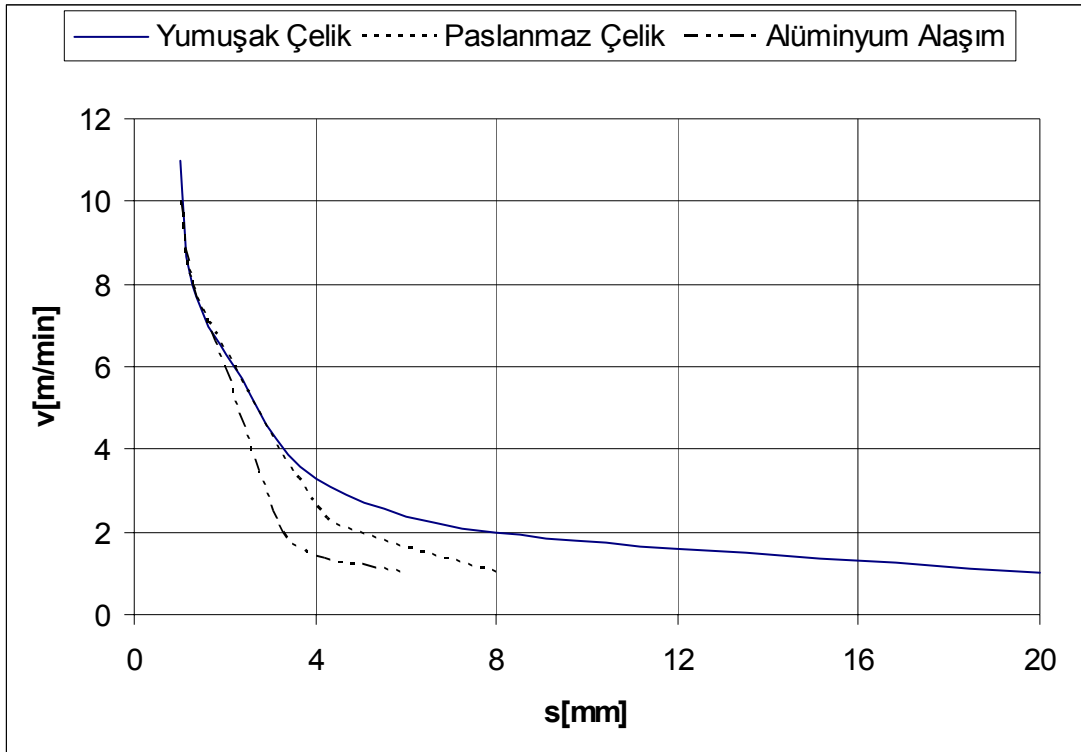
s (mm) : Malzeme kalınlığı

Şekil 3.13'de 1500 W gücündeki CO₂ lazeri (TLF1500 Turbo) ile kesilebilecek maksimum malzeme kalınlığının al-alışımalarında 3 mm, paslanmaz çeliklerde 4mm ve yapı çeliğinde 12 mm olduğunu göstermektedir (STRABE, 1994).



Şekil 3.13. CO₂ lazeri için değişik malzemelerde kalınlık ile kesme hızının değişimi
(Lazer çıkış gücü 1500 W)

Şekil 3.14'de 2600 W gücündeki CO₂ lazeri (TLF2600 Turbo) ile kesilebilecek maksimum malzeme kalınlığının al-alışımalarında 6 mm, paslanmaz çeliklerde 8 mm ve yapı çeliğinde 20 mm olduğunu göstermektedir (STRABE, 1994).



Şekil 3.14. CO₂ lazeri için değişik malzemelerde kalınlık ile kesme hızının değişimi
(Lazer çıkış gücü 2600 W)

2) Kesme Gazının Çeşidi

Kesme gazının çeşidi, hangi kesme yönteminin kullanılacağı ve malzemenin özelliklerine göre değişkenlik gösterir. Kullanılan kesme gazlarının saflığının en az %99,95 olması istenir.

Alevli kesim yönteminde kesme gazı olarak oksijen kullanılmaktadır. Metal malzemelerde kesme bölgesinde oksitlenme istenmediğinde ve yanıcı malzemelerde oksijen kullanılmaz.

Fizyon kesimde kesme gazı olarak azot, süblimleşme kesimde ise argon veya azot kullanılır (STRABE, 1994).

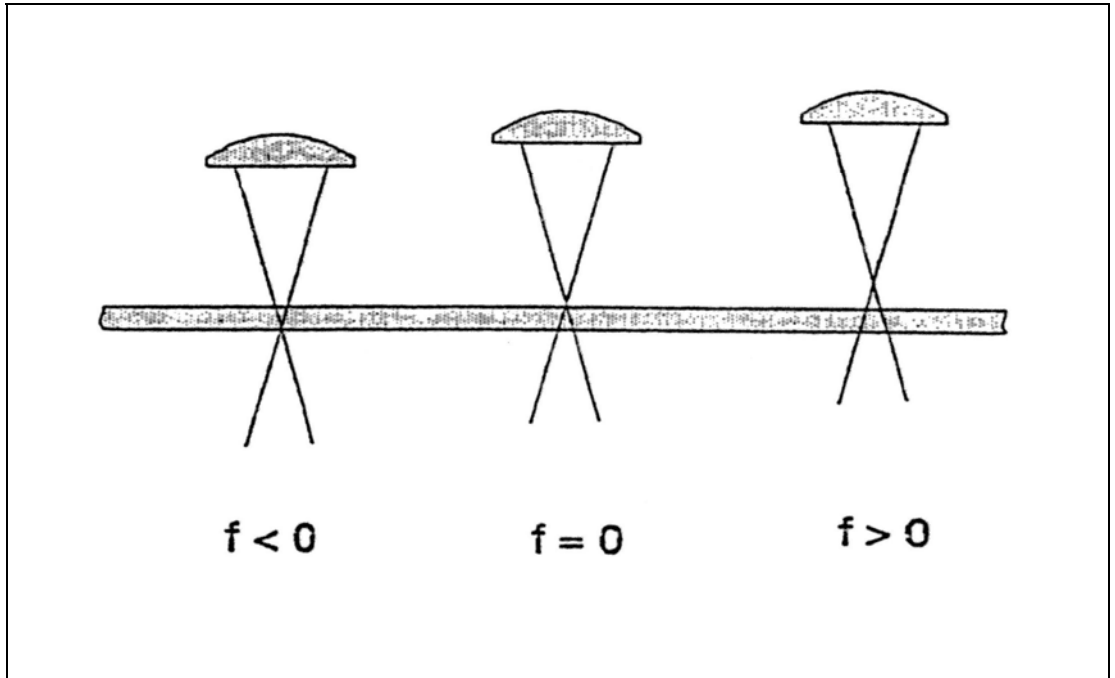
3) Gaz Basıncı

Kesilecek olan malzemenin kalınlığına göre gaz basıncı ayarlanır. Temel olarak kalın malzemeler için gerekli gaz basıncı ince malzemelere göre daha düşüktür (STRABE, 1994).

4) Odaklanma Noktası

Odaklanma noktasının, malzeme üzerindeki yeri kesimin kaliteli sonuçlar vermesi için önemlidir.

Yumuşak çeliğin (St37) kesiminde (6mm kalınlıktaki) odaklanma noktası malzemenin yüzeyinin üstünde seçilir (STRABE, 1994).



Şekil 3.15. Odaklanma noktası pozisyonları

3.2.2.3. Malzeme Değişkenleri

1) Malzeme Kalınlığı

Malzeme kalınlığı arttıkça kesme hızı azaldığı gibi, gerekli olan lazer gücü artış gösterir.

2) Malzeme Özellikleri

Malzemelerin lazerle işlenebilmesi malzemelerin karakteristik fiziksel (yansıtma gibi) özelliklerine bağlıdır.

3) Malzeme Yüzeyinin Kalitesi

Malzeme yüzeyinin, düzgün ve parlak olması kesme hızını artırırken pürüzlü ve parlak yüzeyler kesme hızını düşürür.

4) Malzeme Geometrisi

Malzeme geometrisi, ufak delikler, homojen olmayan yüzeyler lazer kesim işleminde bazı engellere sebebiyet verirler. Böyle durumlarda kesme hızı veya lazer gücünün düşürülmesi tavsiye edilir (STRABE, 1994).

3.2.2.4. Makine Değişkenleri

1) Lazer Çıkış Aynası

Lazer kesim tezgahlarında, lazer çıkış aynasının temiz olması gerekmektedir. Temiz olmayan lazer çıkış aynaları, lazer gücünü absorbe eder ve zamana göre soğuması ve ısınmasına sebebiyet verir. Böylece lazer ışınında, küçük zaman aralıklarında daralma gözlenir. Lazer ışınımının daralması sapma açısının dolayısıyla odaklanmanın değişmesine sebebiyet verir.

2) Işın Ayarlanması

Optik ekipmanların hareketli olduğu lazer tezgahlarında önemli bir özelliktir. Lazer ışınımı, kesme hattının dikey doğrultusuna paralel ve merkezlenmiş olmalıdır. İnce ayar ve kontrolü yapılması gerekir.

3) Işını Yönlendiren Aynalar

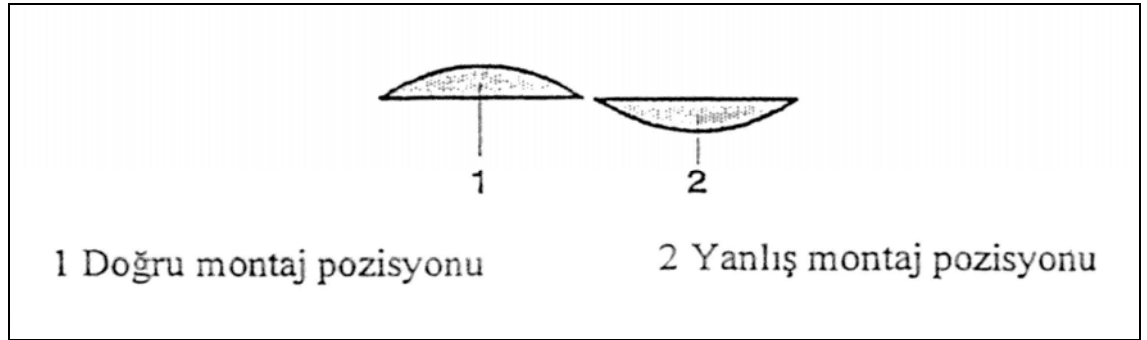
Lazer ışını yönlendiren aynaların, temiz olması gerekmektedir. Temiz olmayan ışın yönlendirme aynaları, kesimin kalitesini düşürür. Kirli olan aynalar, cüruf oluşumuna ve pürüzlülüğün artması gibi sonuçlara sebebiyet verebilir.

4) Odak Mercekleri

Odak merceklerinin kirli olması, ısının artmasına ve odak noktasının değişmesine sebebiyet verir. Bunun neticesinde;

1. Yumuşak çeliklerde ufak çukurlar oluşur.
2. Kesme genişliği ve pürüzlülük artar.
3. Kesme işlemi cüruf oluşmadan başlar, belirli bir süre sonra kesim boyutu arttıkça cüruf oluşumu meydana gelir.

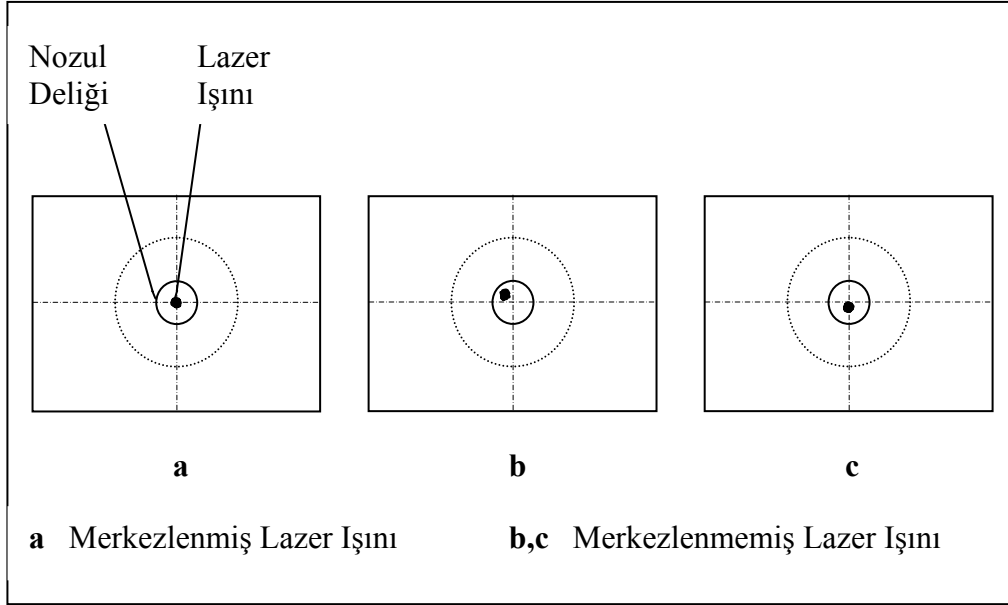
Odak mercekleri, kesim tezgahlarına yanlış montaj edilirse kesim olayı meydana gelmez. Bu yüzden doğru montajın yapılması lazımdır.



Şekil 3.16. Odak merceklerinin montajı

5) Lazer Işınının Nozul Deliğiyle Birleşmesi

Kaliteli bir kesim için lazer ışınının nozul deliğine merkezlenmiş olması gerekmektedir. Lazer ışını nozul deliğinin merkezine ± 0.05 toleranslarından daha uzakta olmamalıdır.



Şekil 3.17. Merkezlenmiş ve merkezden uzak lazer ışını

6) Nozul Deliği

Uygun nozul deliğinin tespiti kesim için önemlidir. Standart kesimden daha yüksek basınçla kesim yapıldığında nozul deliğinin çapının daha büyük olması gerekir (STRABE, 1994).

3.2.3.Lazer İle Kesimde Farklı Malzeme İşlenebilirliği

Çizelge 3.2'de bazı malzemelerin refleksiyon (Rfl) derecesi, absorpsiyon derecesi, ısı iletim katsayısı, yoğunluk, erime sıcaklığı ve işleme katsayıları değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.2. Malzemelerin optik, termofiziksel ve işlenebilme özellikleri

Element	Rfl. derecesi R	Absorbsiyon derecesi A	Isı iletim katsayısı W/cm K	Yoğunluk g/cm ³	Erime sıcaklığı K	İşleme katsayısı S
Alüminyum	0.98	0.02	2.2	2.7	933	12.5
Demir	0.96	0.04	0.8	7.86	1808	3.19
Bakır	0.985	0.015	3.9	8.92	1356	7.96
Molibden	0.97	0.03	1.3	10.2	2893	10.6
Nikel	0.97	0.03	0.81	8.9	1726	6.2
Gümüş	0.99	0.01	4.2	10.5	1234	125.16
Tantalum	0.95	0.05	0.56	16.6	3273	1.7
Titanyum	0.92	0.08	0.22	4.5	1943	0.15
Tungsten	0.97	0.03	1.8	19.3	3653	18.3
Çinko	0.97	0.03	1.1	7.14	693	2.29
Altın	0.985	0.015	3.1	19.3	1336	46.18

3.2.3.1 Endüstriyel Çelikler

Endüstriyel çeliklerde, kesme gazı olarak oksijen kullanılmaktadır. Lazer tezgahı sürekli ışın (CW) modunda kullanılır.

Bu çeliklerde karbon yüzdesi arttıkça, kesme kenarlarında malzemenin sertleşme özelliği artar ve köşelerde yanık izlerinin oluşumuna sebebiyet verir. Sertleşmenin kesim hızıyla bir alakası yoktur. Alaşım oranı fazla malzemelerin kesimi düşük alaşım oranına sahip malzemeleri kesmekten zordur.

Oksijen, kesme gazı olarak kullanıldığından dolayı kesme hattında çok az oksitlenme oluşur. Kesme gazı olarak yüksek basınçlı azot kullanılırsa, 4 mm'ye kadar kesim yapmak mümkündür. Bunun sonucu olarak kesim hattında oksitlenme görülmez. Fakat kesim hızı; oksijenle kesim hızıyla kıyaslandığında oldukça yavaştır. Oksijenle kesme hızının %10 ile %30'una ulaşılabilir. Oksitli malzemeler ve temiz olmayan malzeme yüzeyleri düşük kesim kalitesine sebebiyet verir.

Geometrisi zor olan malzemeler için lazer ünitesi darbeli modunda çalıştırılır. Böylece ince kesitlerdeki bağlantılar ve küçük açılı malzemelerin yanması önlenir.

Malzeme yüzeyinde kalan sıcaklık kesim kalitesini olumsuz yönde etkiler. Gerilmelerin giderilmesi gerekmektedir.

15-20 mm kalınlıklarına sahip küçük ebatlı çelik malzemelerde ince tane yapıları çeliklerin lazerle kesimi daha uygundur.

Bu çeliklerin içerisindeki alaşım elementlerinin etkisi önemlidir. Alaşım elementlerinin en önemlisi karbondur. Karbonun dışında silisyum, manganez, kükürt içerebilirler. Krom- nikel ve molibden ilavesiyle korozyon direnci artırılabilir.

Çelikleri ihtiva ettikleri alaşımlara göre sınıflandırabiliriz. Bunlar;

- Yüksek alaşımlı çelikler
- Düşük alaşımlı çelikler
- Alaşımsız çelikler (ANONYMOUS, 1996)

Çelikteki Alaşım Elementlerinin Kesim Sonuçlarına Etkisi

Karbon

Negatif bir etkinin olamaması için kesim sonunda karbon içeriğinin %1'in altında olması istenir. Oksijen gazının alevli kesimde %1 ile %2 oranında karbon içeriği kabul edilebilir.

Kükürt

%0.02 ile %0.05 arasındaki kükürt oranı kesim sonucunda olumsuz etkiye sahiptir.

Silisyum

Silisyum oranının yüksek olması kesimi olumsuz yönde etkiler. Silisyum oranının %0.04'ten düşük ve eşit olması lazer kesimi için en uygun orandır. Silisyum

oranı %0.25'ten düşükse kesilebilir, ancak kesim kalitesi düşüktür. Silisyum oranı %0.25'ten büyükse lazer kesim için pek uyumlu değildir. Ve iyi sonuçlar alınamaz.

Manganez

Çelikte normal seviyede manganez ihtivası lazer kesim sonucunda olumsuz etkiler yaratmaz

3.2.3.2. Paslanmaz Çelikler

Bu çeliklerde, oksijen kesme gazı olarak kullanılabilmesi gibi, yüksek basınçlı azot ile de kesim yapılabilir. Eşit kalınlıktaki paslanmaz çelikte; yüksek basınçlı azot, oksijene göre daha hızlı bir kesim sonucu verir.

Azotla kesimde, 5 mm'den kalın paslanmaz çeliklerde çapaklı kesim yapılabilmesi için, odak pozisyonunun ayarlanması gereklidir. Odak pozisyonunun ayarlanması ve kesim hızının düşürülmesi düzgün kesimi sağlar.

Oksijen ile kesimde 5 mm saç kalınlığına sahip paslanmaz çeliklerde düşük hızda ve darbeli kesim yapılması gerekmektedir.

Bu çeliklerde de alaşım elementlerinin ihtivası kesim sonuçlarını etkilemektedir (ANONYMOUS, 1996).

3.2.3.3. Alüminyum ve Al - Alaşımları

Alüminyum alaşımları, yüksek yansıtma özelliği ve ısı iletkenliğine sahip olmasına rağmen 6 mm kalınlığa kadar kesim işlemi yapılabilir. Alüminyum ve alaşımlarının lazer ile kesiminin sürekli modda yapılması tavsiye edilmektedir.

Alüminyum alaşımlarının, paslanmaz çelik gibi oksijen ve yüksek basınçlı azot ile kesimi mümkündür. Fakat azot gazının, endüstride kullanımı oksijene göre daha avantajlıdır.

Kesme gazı olarak oksijen olarak kullanılması kesim yüzeyinde pürüzlülüğün oluşumuna ve az da olsa çapak oluşumuna sebebiyet verir.

Kesimin azot ile yapılmasıyla, kesim yüzeyinde oksijene göre daha temiz bir yüzey elde edilir. 4 mm'ye kadar çapaksız kesim elde edilmektedir. Fakat daha kalın parçalarda çapaklara sebebiyet verir. Bu çapakların temizlenmesi zordur.

Saf alüminyumun yüksek yansıtma özelliği nedeniyle 4 mm'ye kadar lazer kesimi mümkündür. Fakat kesmek daha zordur (ANONYMOUS, 1996).

3.2.3.4. Titanyum

Titanyumda en uygun kesme gazı bir soygaz olan argondur. Fakat azotta kullanılabilir.

Kesim gazı olarak oksijen kullanılmaz. Oksijen ile yapılmak istenirse titanyum yüksek sıcaklıkta yanar (ANONYMOUS, 1996).

3.2.3.5. Bakır ve Pirinç

Bakır ve pirinç yüksek ısı iletkenliği ve yüksek ısı yansıtma özelliklerine sahip olduklarından 3 mm'ye kadar kesimleri mümkündür.

Bakırın 3 mm'ye kadar kesilmesinde kesme gazı olarak oksijen kullanılır. Azot, yüksek yansımaya sebep olmakla beraber ekipmanlara zarar verebilir.

Pirinçlerin, 3 mm'ye kadar kesimde, azot ve oksijen kesme gazı olarak kullanılarak yüksek basınçla işlem yapılır. Oksijen ile yapılan kesimler daha kaliteli olduğundan dolayı avantajlıdır (ANONYMOUS, 1996).

3.2.3.6. Sentetik Malzemeler

PVC ve polietilen gibi sentetik malzemelerin lazer kesimi tavsiye edilmez. Bu gibi malzemeler kesim esnasında yoğun duman çıkarmasından dolayı su jeti ile kesim tavsiye edilir.

Sentetik malzemelerden, termoplastik, termoset ve sentetik kauçuklu malzemelerin lazer kesim ile işlenmesi mümkündür (ANONYMOUS, 1996).

3.2.3.7. Organik Malzemeler

Tahta, kağıt, deri gibi organik malzemeler lazer ile kesimi mümkün olmakla beraber kesim hattında karbonlaşma meydana gelir (ANONYMOUS, 1996).

Bunlar dışında optik camında lazerle kesimi mümkündür. Gümüş ve altının lazer ile kesimi mümkün değildir.

3.2.4. Lazer Kesim Sonuçlarının Saptanması

Lazer kesim sonuçlarını aşağıdaki kriterlere göre saptamamız mümkün olmaktadır. Bunlar;

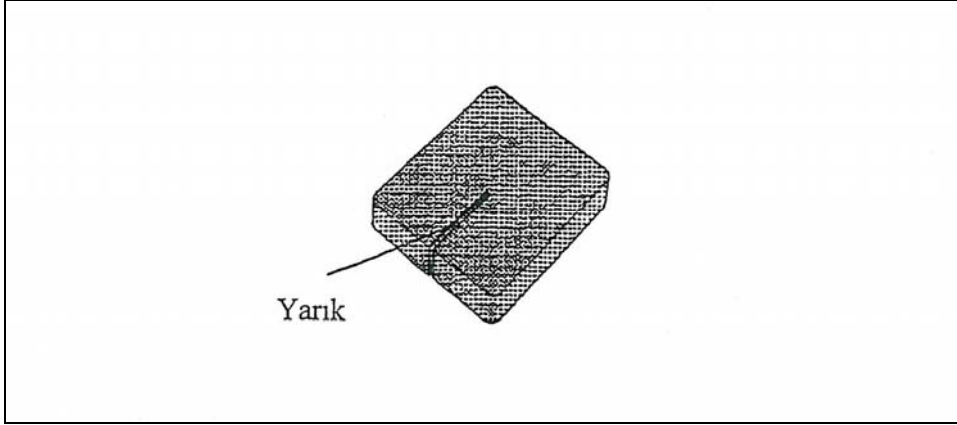
- Kesme yarığı
- Pürüzlülük
- Diklik
- Kesme hattı bölgesi çizgileri
- Cüruf oluşumu
- Isıdan etkilenen bölge

3.2.4.1. Kesme yarığı

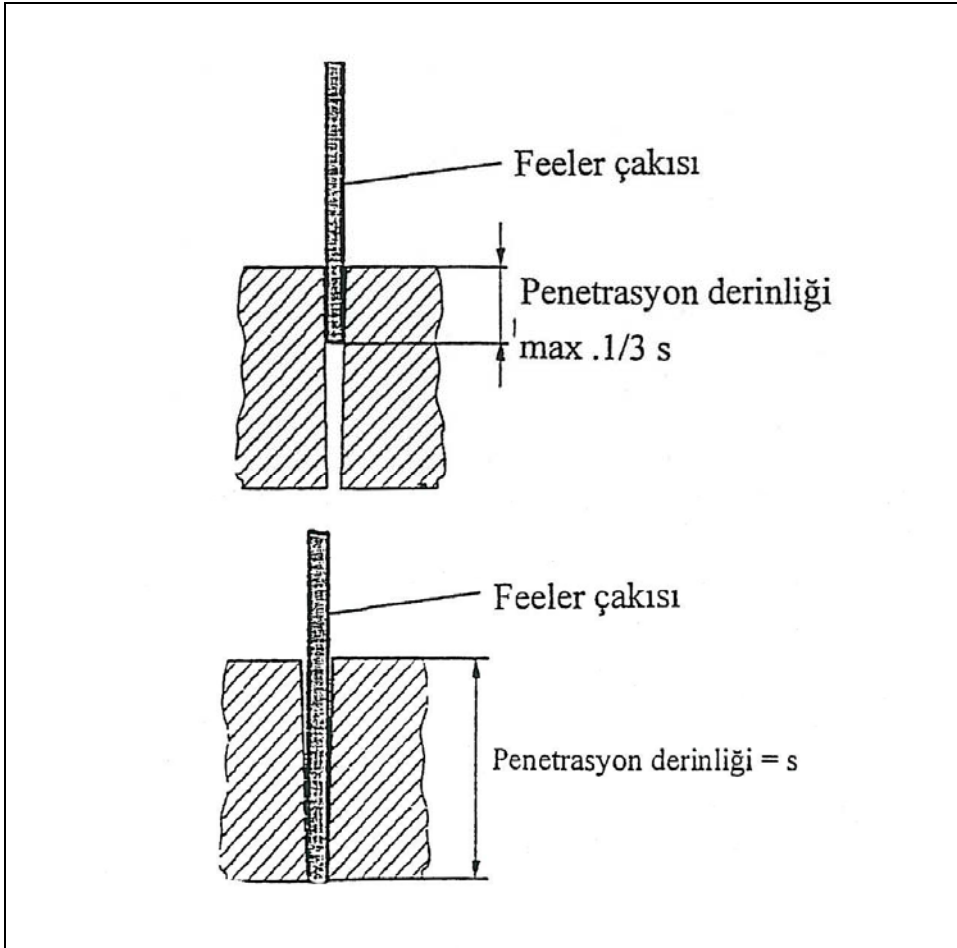
Lazer kesimi sonucunda, kesim işlemine maruz kalan materyalin üst yüzeyinin kesim yarığı, alt yüzeyin kesim yarığından daha fazladır. Kesme yarığı Şekil 3.19'da şematik olarak verilmiştir.

Genellikle kalınlığı 3 mm' ye kadar olan malzemeler feeler çakısı denilen dikdörtgen şeklindeki materyal ile ölçülür. Bu materyal ile;

- Penetrasyon derinliği (s/3)
- Penetrasyon derinliği (s) değerlerine ulaşılabilir. (s: malzeme kalınlığı)



Şekil 3.18. Kesme yarığı



Şekil 3.19. Kesme yarığının tespiti

Odak noktasının ayarlanamaması, temiz olmayan mercek, mercek tabakasının bozulması, temiz olmayan rezonans optiği, lazerin ısısal etkisi gibi nedenler, kesme yarığının problemleri sonuçlar vermesine sebebiyet verir (STRABE, 1994).

Çizelge 3.3. Malzeme tipi ve kalınlıklarına göre kesme yarık değerleri

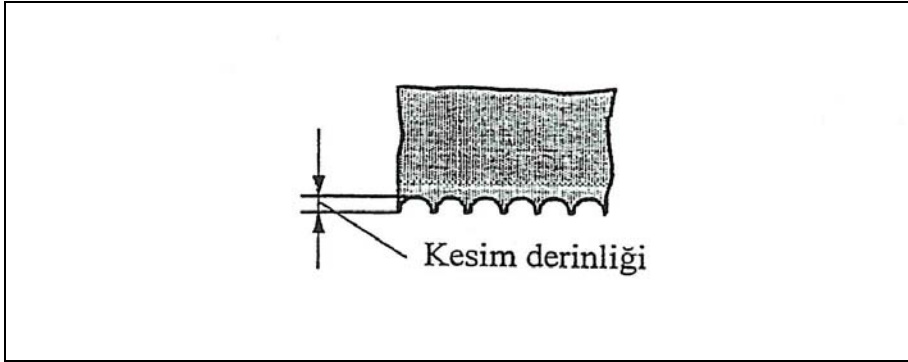
Malzeme	Malzeme Kalınlığı (mm)	Yarık aralığı (mm)
Yapı Çeliği (St 37)	1-6	0.15-0.2
	8-12	0.3-0.35
	-15	0-4
Paslanmaz Çelik Oksijen ile standart kesme	1-3	0.15-0.2
	4-6	0.3-0.35
Paslanmaz Çelik Azot ile yüksek basınçlı kesme	1	0.15 alt yüzey
		0.2 üst yüzey
	2	0.15 alt yüzey
		0.3 üst yüzey
	3	0.15 alt yüzey
		0.38 üst yüzey
	4	0.15 alt yüzey
		0.45 üst yüzey
Al-alaşımlarının Azot ile yüksek basınçlı kesme	1-3	0.15 alt yüzey
		0.2 üst yüzey

3.2.4.2. Pürüzlülük

Ortalama pürüzlülük değeri, malzemenin kesime maruz kalan yüzeyinin farklı bölgelerinden belli sayılarda alınan değerlerin aritmetik ortalamasının alınması ile elde edilir.

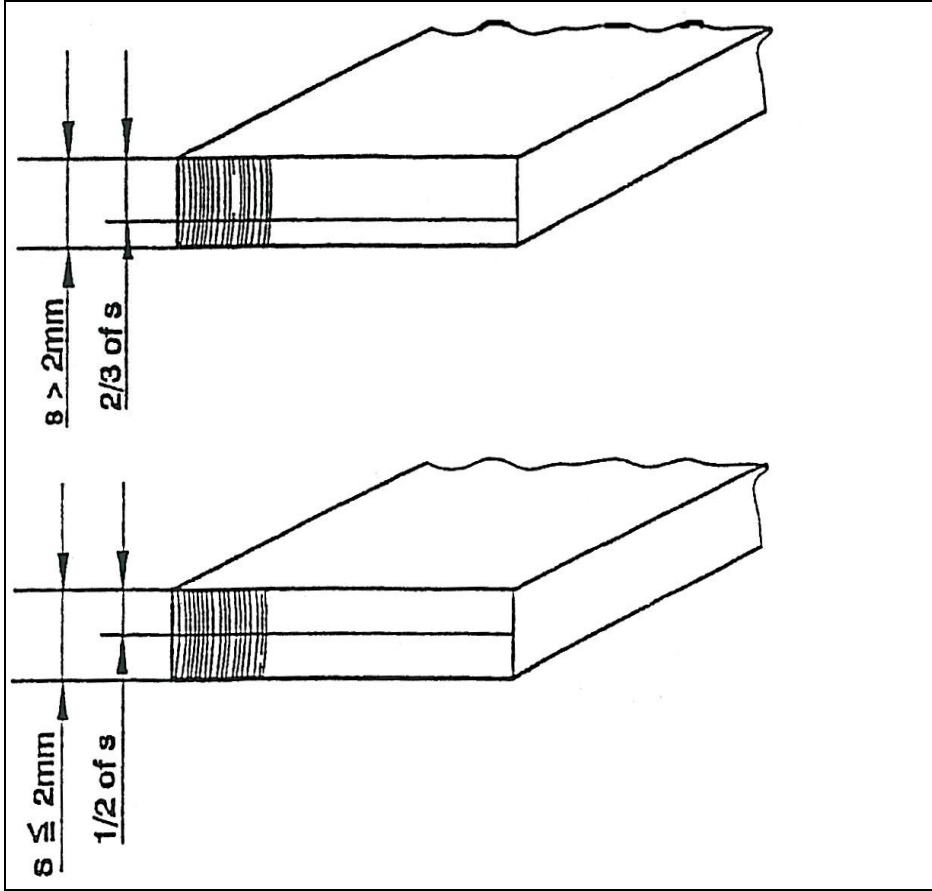
Ortalama Pürüzlülük= Kesim Derinliği + Muhtemel Çukur Derinliği

Malzeme kalınlığı 2 mm'ye kadar olursa; pürüzlülük kesim bölgesinin ortasından alınır. 2mm'den kalın malzemelerde kesim bölgesinin üst yüzeyinden 2/3 derinlikte alınır.



Şekil 3.20. Pürüzlülük

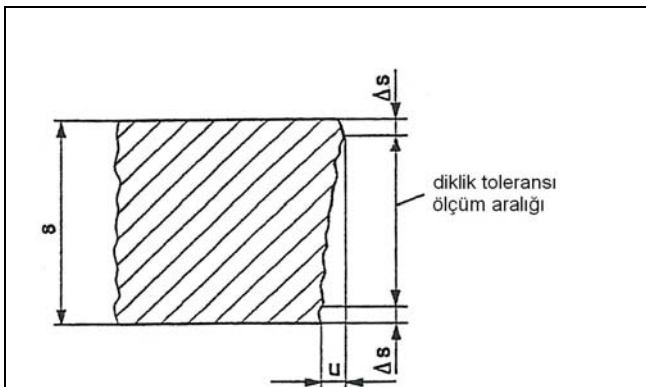
Pürüzlülük, kesme hızının, lazer gücünün ve gaz basıncının doğru ayarlanamaması sonucu değişkenlik gösterir (STRABE, 1994).



Şekil 3.21. Pürüzlülük değerinin tespiti

3.2.4.3. Diklik

Diklik toleransı “U” olarak adlandırılır. Diklik toleransı kesime maruz kalan bölgenin alt ve üst yüzeyinin arasındaki mesafedir.



Şekil 3.22. Diklik toleransı

s = Sac Kalınlığı

U = Diklik Toleransı

Δs = Malzeme Kalınlığına Bağlı Olarak Ölçülen Aralık Farkı

$\Delta s = 0.1s$ ise $s < 2\text{mm}$

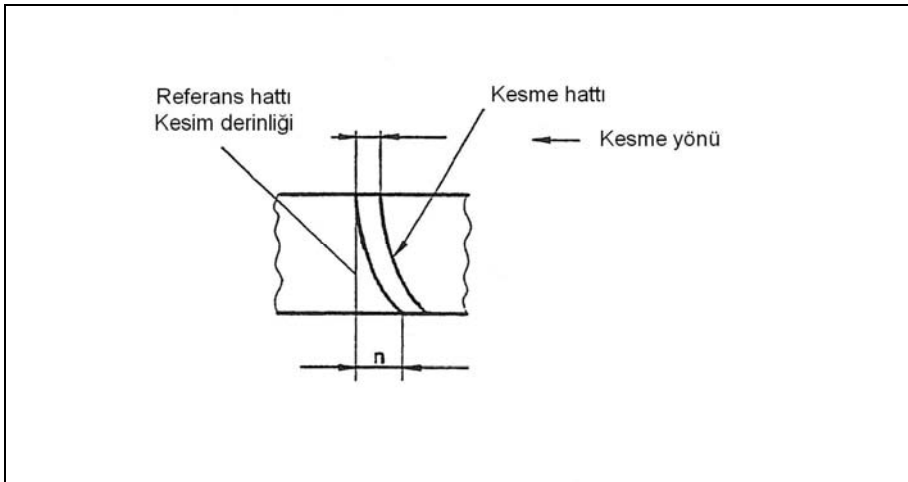
$\Delta s = 0.2s$ ise $s > 2\text{mm}$

Diklik; kesim hızının, gaz basıncının, odaklanma pozisyonunun doğru seçilmemesi ve elipsel polarizasyona bağlıdır (STRABE, 1994).

3.2.4.4. Kesme Hattı Bölgesi Çizgileri

Malzemenin lazer kesime maruz kalması esnasında malzemenin kesme hattında çizgiler oluşur.

Yüksek olmayan kesim hızlarında oluşan çizgiler lazer ışınımına paralellik gösterir. Yüksek kesim hızlarında oluşan çizgiler ise lazer ışınımının kesim yönünün tersi tarafına doğru kıvrılmıştır.



Şekil 3.23. Kesme hattı bölgesi çizgileri

3.2.4.5. Cüruf Oluşumu (Çapaklanma)

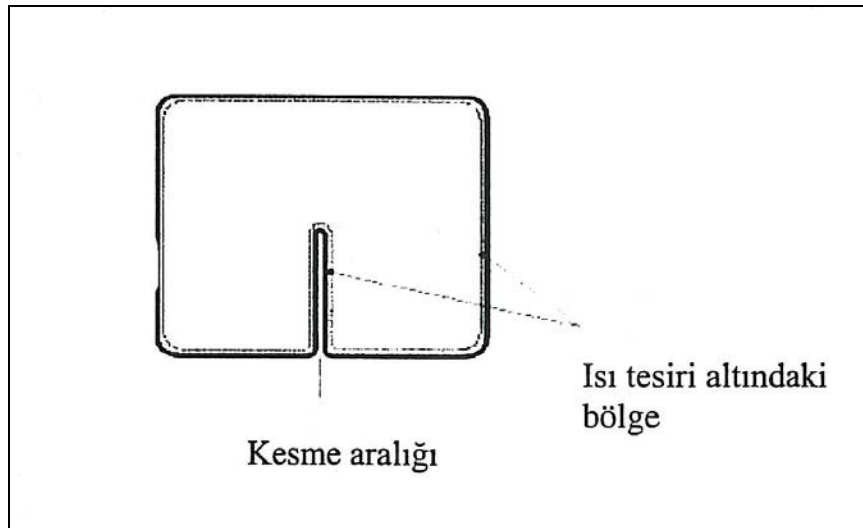
Kesim işlemi sonrasında meydana gelen çapaklanma yapışkan bir cüruftan ibarettir. Çapak oluşumu kesim bölgesinin altında oluşabilmektedir. Çapağın kaldırılması malzemelere göre farklılıklar gösterebilir.

Çapak oluşumu olası nedenleri şunlar olabilir;

- Kesim hızının doğru seçilmemiş olması
- Lazer gücünün doğru seçilmemiş olması
- Odak noktasının doğru seçilmemiş olması
- Gaz basıncının doğru seçilmemiş olması (STRABE, 1994).

3.2.4.6. Isıdan Etkilenen Bölge

Lazer kesimi sonucu malzemenin ısınmasıyla yapısında bazı değişimler oluşabilmektedir. Malzeme yapısında olan bu değişikliğin uzunluğu mikroskop veya cilalı bölge uygulaması ile tespit edilebilir.



Şekil 3.24. Isıdan etkilenen bölge

Malzemenin aşırı derecede ısınmasının belirtileri malzemedeki renk bozukluğu ve geometrik parçaların yanmasıyla anlaşılabilir. Sebepleri şunlar olabilir;

- Lazer ışınımının gücünün olması gereken değerden çok daha yüksek olması

- Kesim hızının olması gereken değerden çok daha düşük olması
- Gaz basıncının olması gereken değerden çok daha düşük olması

Yanma olayı; malzemenin lazer kesiminde lazer gücünün az veya fazla olması sonucunda oluşabilir (STRABE, 1994).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Lazer Kesim Makinelerinde Metallerin Kesim Sonuçları

TLF; (Trumpf Lazer Frequency Excited) harflerinin açılımından oluşmaktadır. TLF lazerleri CO₂ lazer kesme makineleridir. Bunların avantajları;

- Lazer, yüksek çıkış gücüne sahiptir.
- Hızlı ve aksenel akışlıdır.
- Bu makinelerde lazerin devamlılığı yüksek orandadır.
- Yüksek kararlılığa sahiptirler.
- Yüksek etkinlik derecesi ve frekansa sahiptir.

Lazer kesme makineleri olarak; TCL 2530, TCL 3020, TCL3030, TCL 4030, ve TCL6030 trumpf lazer kesme makinelerine uygun olan sayısal kesim sonuçları verilmiştir.

Dört farklı TLF lazeri belirlenmiştir. Bunlar TLF 2000, TLF2700, TLF 3200, TLF 4000'dir. TLF 2000'den maksimum lazer çıkış gücünün 2000 W olduğu, TLF 4000'den maksimum lazer çıkış gücünün 4000 W olduğu anlaşılır.

Kesim sonuçları için 3 çeşit materyal belirlenmiştir. Bunlar;

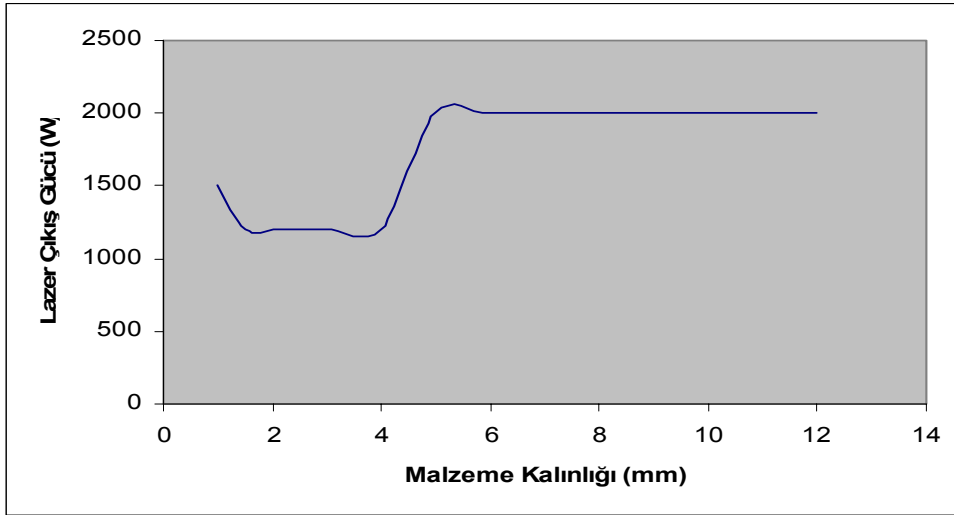
- Yumuşak çelik (QSt-2)
- Paslanmaz çelik (1.4301 X5 CrNi1810)
- Alüminyum (AlMg3)

Aşağıdaki çizelgelerde bu materyallerin lazer ile kesim parametreleri verilmiştir.

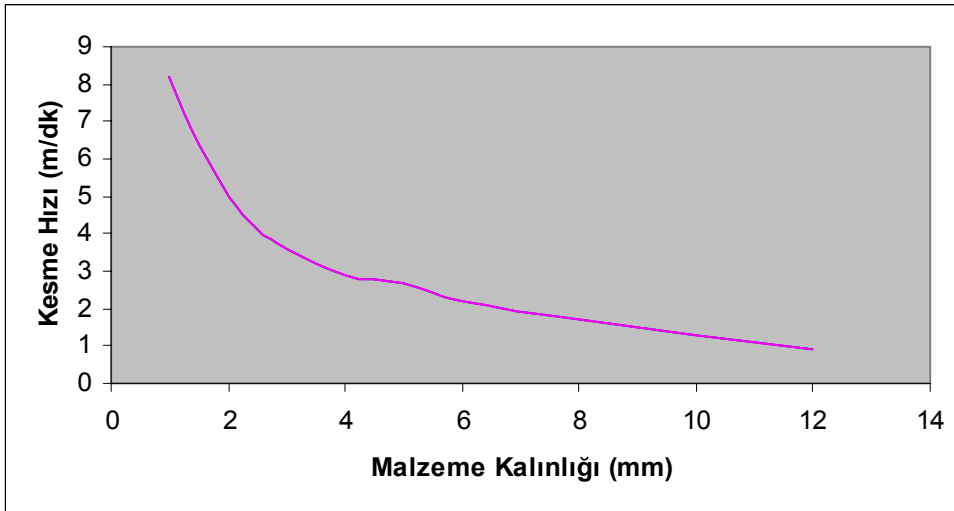
4.1.1. Yumuşak Çelik

Genel olarak kalın yumuşak çeliklerin, lazer çıkış gücü, ince kalınlığa sahip yumuşak çeliklere göre daha yüksektir. Kesme hızı ise; ince kalınlığa sahip yumuşak çeliklerde, kalın olan yumuşak çeliklere göre daha yüksektir. Örnek olarak;

Çizelge 4.1'den görüleceği üzere 1 mm kalınlığa sahip yumuşak çeliğin lazer çıkış gücü 1500 W, kesim hızı ise 8.2 m/dk'dır. Fakat 12 mm kalınlığa sahip yumuşak çeliğin lazer çıkış gücü 2000 W, kesim hızı ise 0.9 m/dk'dır.

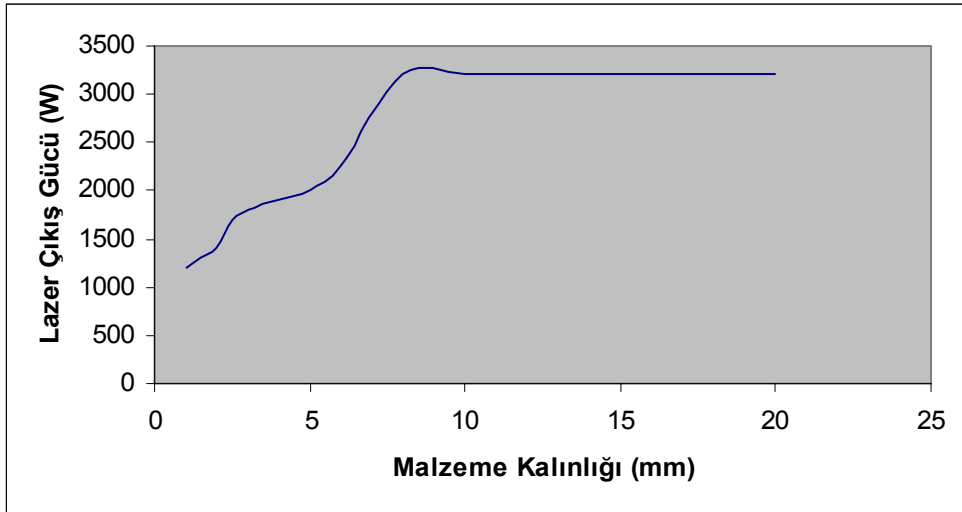


Şekil 4.1. Çizelge 4.1'den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak lazer çıkış gücü değişimi (geniş hatlı kesim)

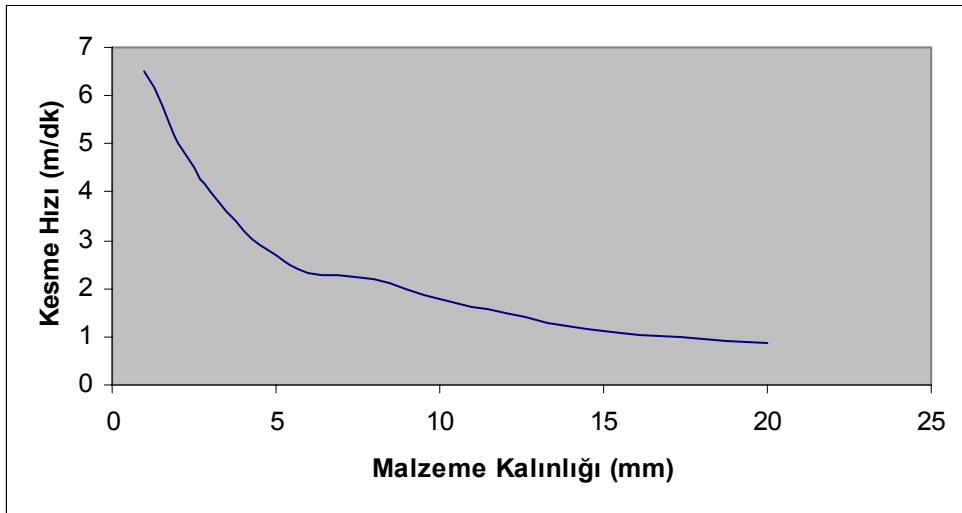


Şekil 4.2. Çizelge 4.1'den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak kesme hızının değişimi (geniş hatlı kesim)

Çizelge 4.21'den görüleceği üzere 2 mm kalınlığa sahip yumuşak çeliğin lazer çıkış gücü 1400 W, kesim hızı ise 5 m/dk'dır. 15 mm kalınlığa sahip yumuşak çeliğin lazer çıkış gücü 3200 W, kesim hızı ise 1.5 m/dk'dır.

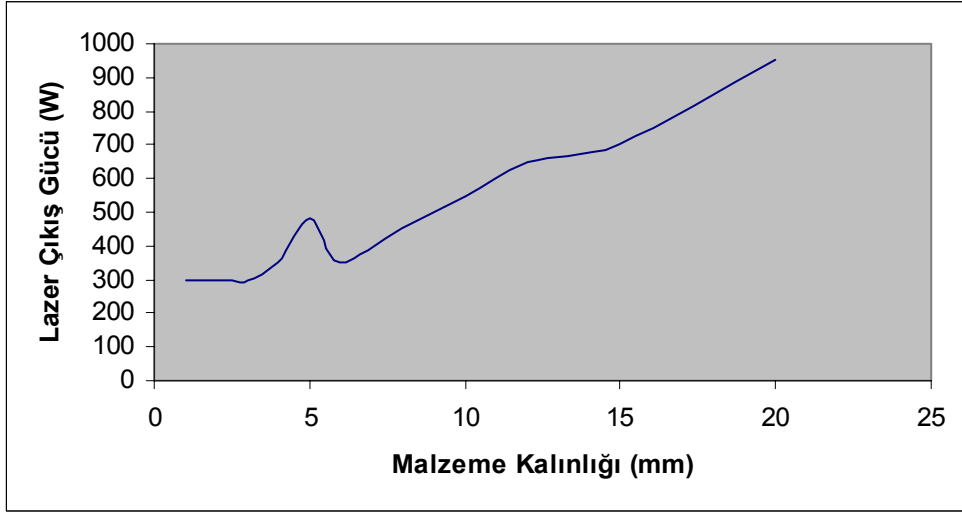


Şekil 4.3. Çizelge 4.21'den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak lazer çıkış gücünün değişimi (geniş hatlı kesim)

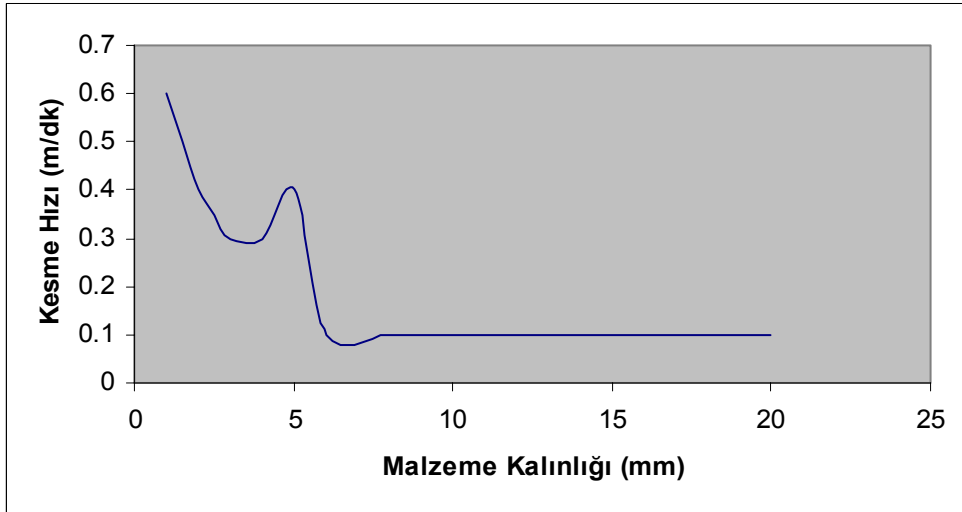


Şekil 4.4. Çizelge 4.21'den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak kesme hızının değişimi (geniş hatlı kesim)

Çizelge 4.30'dan görüleceği üzere 1.5 mm kalınlığa sahip yumuşak çeliğin lazer çıkış gücü 300 W, kesim hızı ise 0.5 m/dk'dır. 12 mm kalınlığa sahip yumuşak çeliğin lazer çıkış gücü 650 W, kesim hızı ise 0.1 m/dk'dır.



Şekil 4.5. Çizelge 4.30'dan elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak lazer çıkış gücünün değişimi (küçük hatlı kesim)



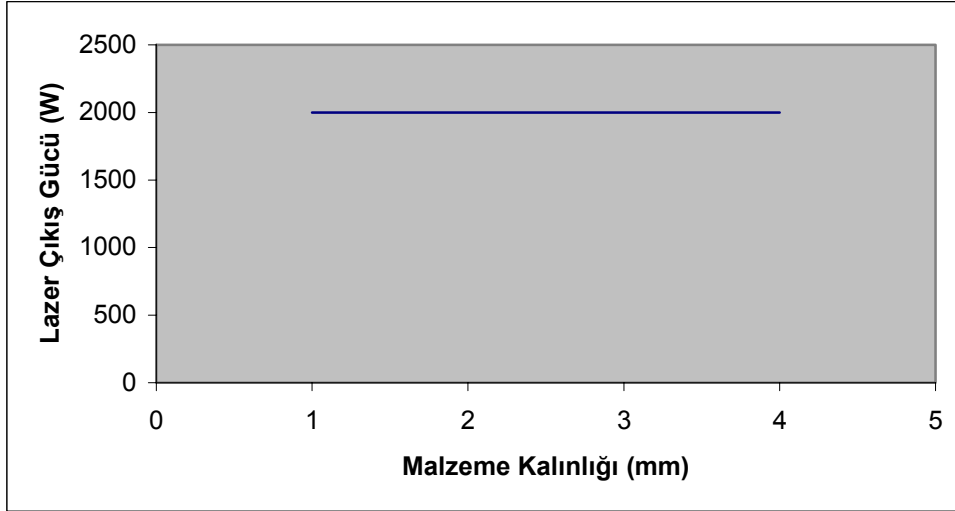
Şekil 4.6. Çizelge 4.30'dan elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak kesme hızının değişimi (geniş hatlı kesim)

4.1.2. Paslanmaz Çelik

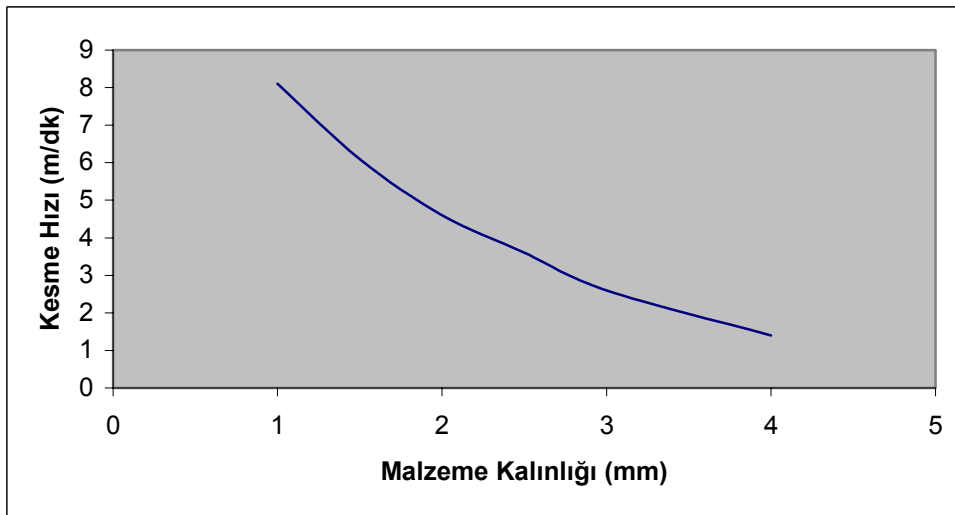
Genel olarak geniş hatlı kesimde, ince ve kalın paslanmaz çeliklerde lazer çıkış gücü sabit kalırken, ince kalınlığa sahip paslanmaz çeliklerin kesim hızı, kalın olan paslanmaz çeliklere göre daha yüksektir.

Küçük hatlı kesimlerde ise, kalın olan paslanmaz çeliklerin lazer çıkış gücü ince kalınlığa sahip paslanmaz çeliklere göre daha yüksektir. Fakat kesim hızı daha düşüktür. Örnek olarak;

Çizelge 4.4'den görüleceği üzere geniş hatlı kesimde, 1 mm kalınlığa sahip paslanmaz çeliğin lazer çıkış gücü 2000 W, kesim hızı ise 8.1 m/dk'dır. 4 mm kalınlığa sahip paslanmaz çeliğin lazer çıkış gücü 2000 W iken kesim hızı 1.4 m/min'dir.

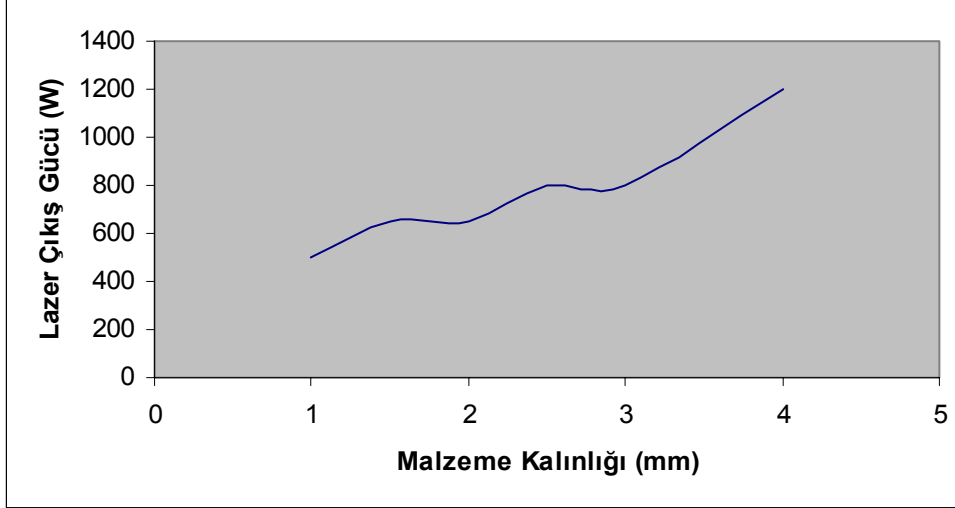


Şekil 4.7. Çizelge 4.4'den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak lazer çıkış gücünün değişimi (geniş hatlı kesim)

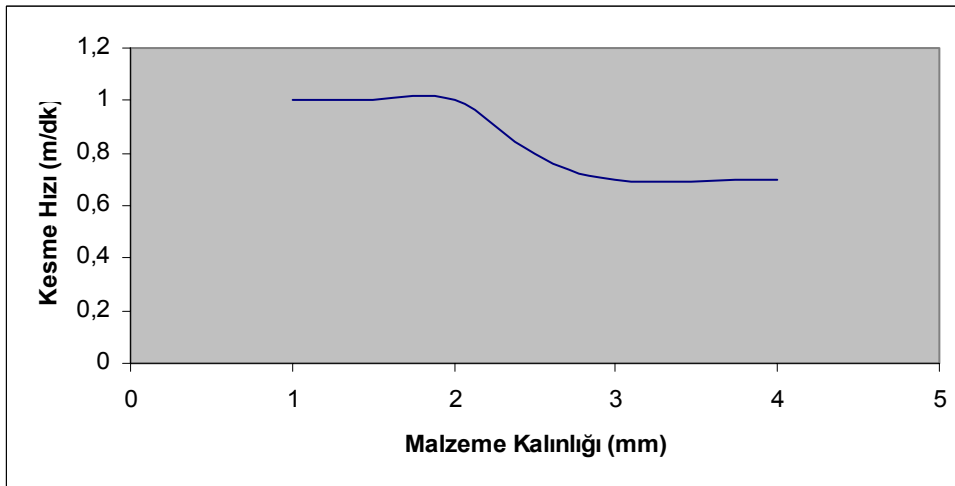


Şekil 4.8. Çizelge 4.4.den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak kesme hızının değişimi (geniş hatlı kesim)

Çizelge 4.18'den görüleceği üzere küçük hatlı kesimde, 1 mm kalınlığa sahip paslanmaz çeliğin lazer çıkış gücü 500 W, kesim hızı ise 1 m/dk'dır. 4 mm kalınlığa sahip paslanmaz çeliğin lazer çıkış gücü 1200 W iken kesim hızı 0.7 m/dk'dır.

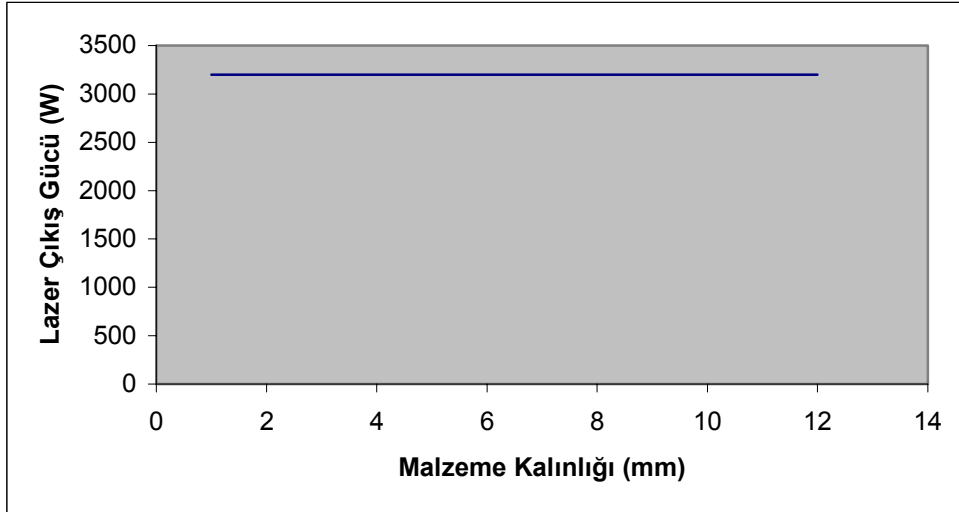


Şekil 4.9. Çizelge 4.18'den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak lazer çıkış gücünün değişimi (küçük hatlı kesim)

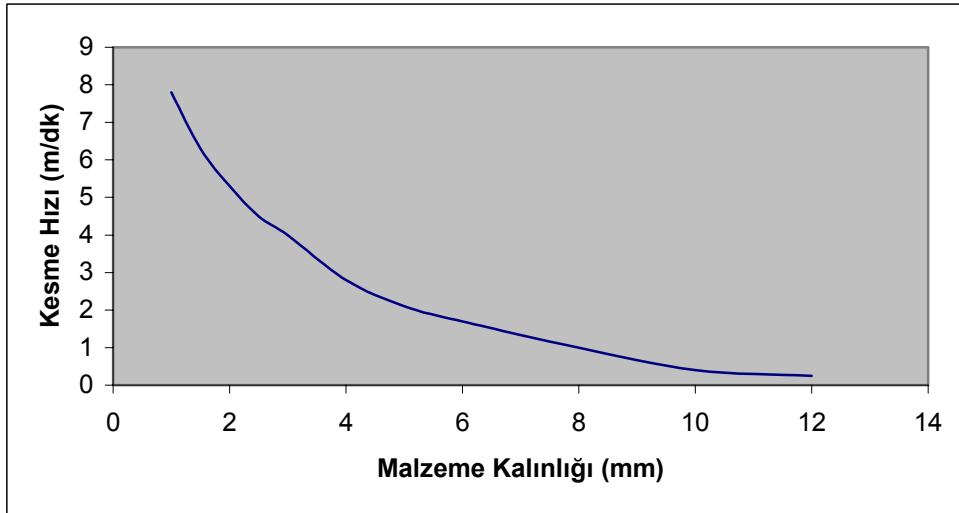


Şekil 4.10. Çizelge 4.18'den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak kesme hızının değişimi (küçük hatlı kesim)

Çizelge 4.24'den görüleceği üzere geniş hatlı kesimde, 2.5 mm kalınlığa sahip paslanmaz çeliğin lazer çıkış gücü 3200 W, kesim hızı ise 4.5 m/dk'dır. 10 mm kalınlığa sahip paslanmaz çeliğin lazer çıkış gücü 3200 W iken kesim hızı 0.4 m/dk'dır.

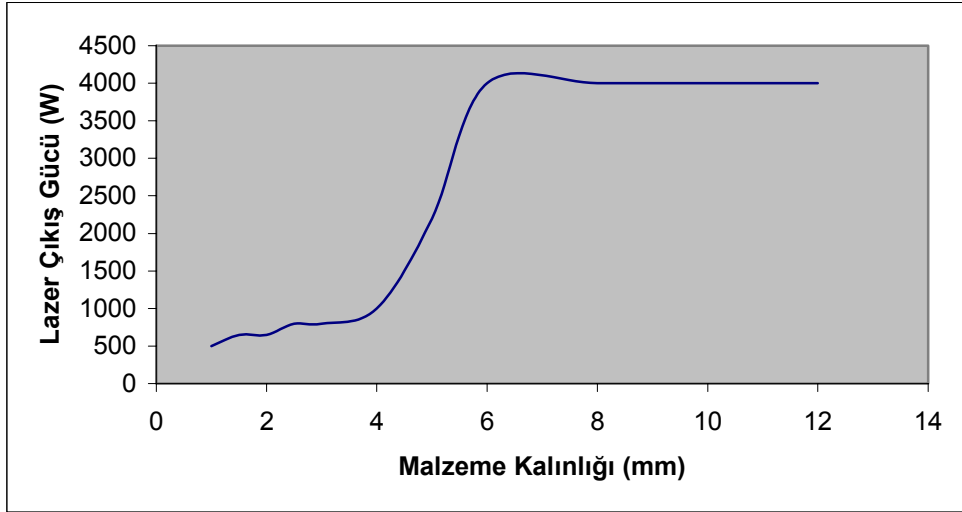


Şekil 4.11. Çizelge 4.24'den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak lazer çıkış gücünün değişimi (geniş hatlı kesim)

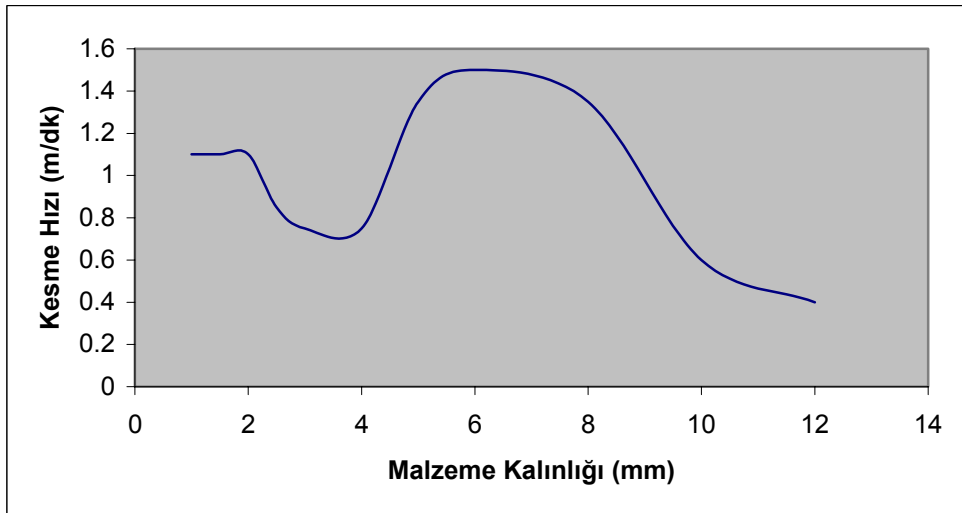


Şekil 4.12. Çizelge 4.24'den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak kesme hızının değişimi (geniş hatlı kesim)

Çizelge 4.32'den görüleceği üzere küçük hatlı kesimde, 1.5 mm kalınlığa sahip paslanmaz çeliğin lazer çıkış gücü 650 W, kesim hızı ise 1.1 m/dk'dır. 12 mm kalınlığa sahip paslanmaz çeliğin lazer çıkış gücü 4000 W iken kesim hızı 0.4 m/dk'dır.



Şekil 4.13. Çizelge 4.32'den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak lazer çıkış gücünün değişimi (küçük hatlı kesim)



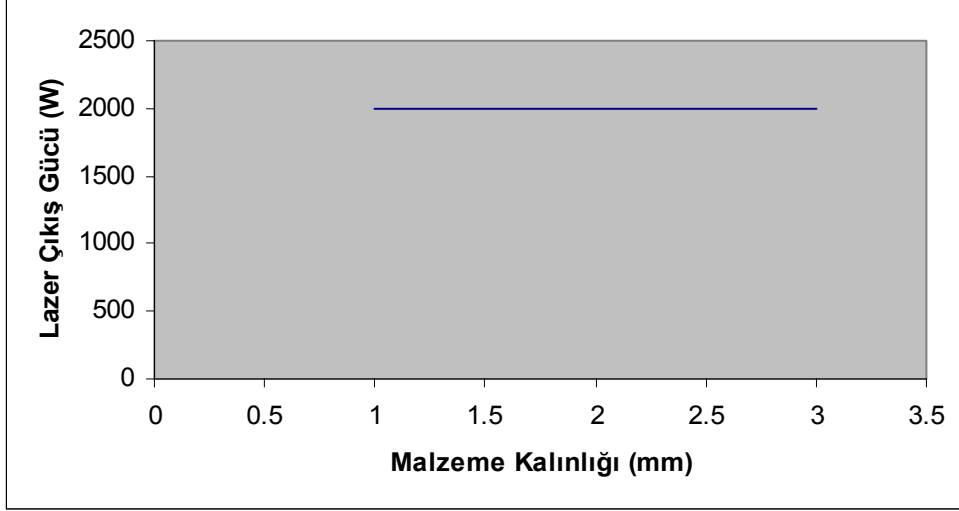
Şekil 4.14. Çizelge 4.24'den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak kesme hızının değişimi (küçük hatlı kesim)

4.1.3. Alüminyum

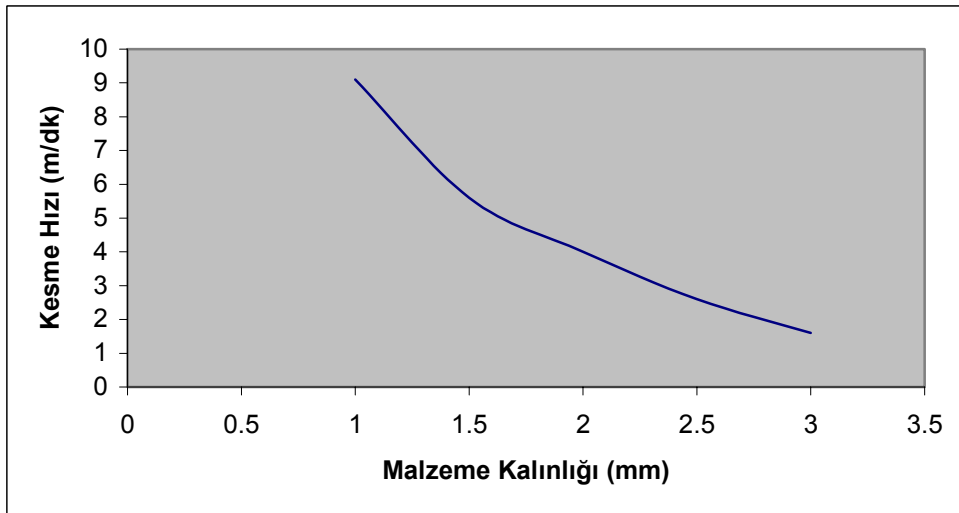
Genel olarak geniş hatlı kesimlerde, ince ve kalın alüminyumda lazer çıkış gücü sabit kalırken, ince kalınlığa sahip alüminyumda kesim hızı, kalın olan alüminyumlara göre daha yüksektir.

Küçük hatlı kesimlerde genellikle 3 mm'ye kadar lazer çıkış gücü sabit kalırken, 3 mm'den kalın alüminyumlarda lazer çıkış gücü artar. Kesim hızı ise ince alüminyumlarda genellikle daha yüksektir.

Çizelge 4.6'dan görüleceği üzere geniş hatlı kesimde, 1 mm kalınlığa sahip alüminyumun lazer çıkış gücü 2000 W, kesim hızı ise 9.1 m/dk'dır. 3 mm kalınlığa sahip alüminyumun lazer çıkış gücü 2000 W iken kesim hızı 1.6 m/dk'dır.

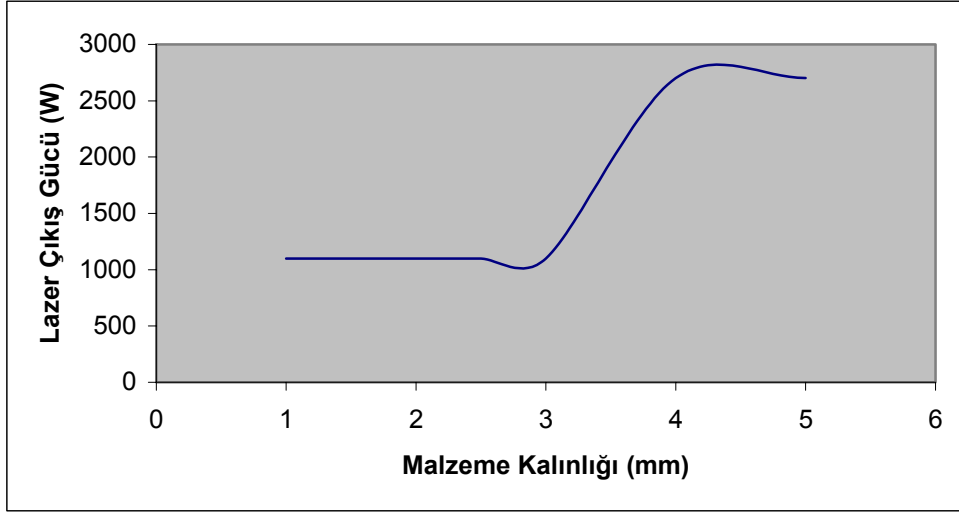


Şekil 4.15. Çizelge 4.6'dan elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak lazer çıkış gücünün değişimi (geniş hatlı kesim)

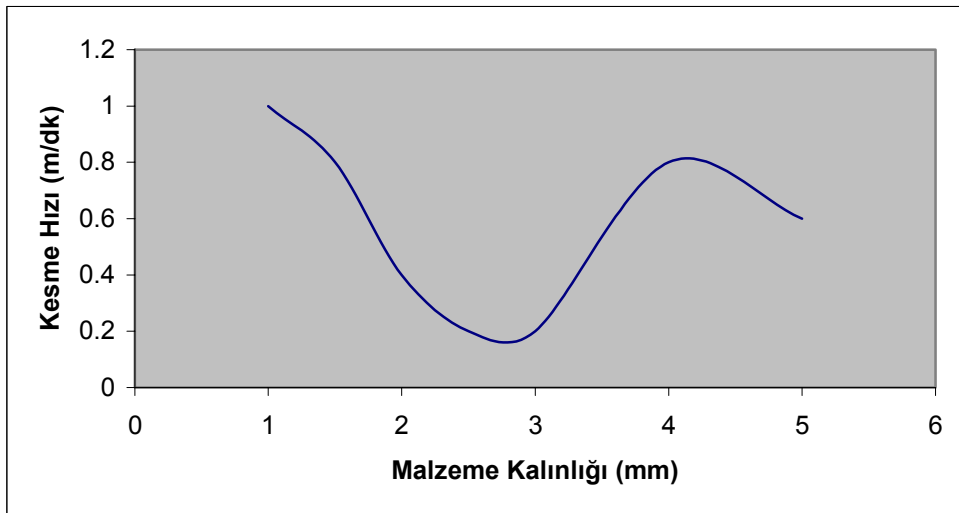


Şekil 4.16. Çizelge 4.6'dan elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak kesme hızının değişimi (geniş hatlı kesim)

Çizelge 4.14'den görüleceği üzere küçük hatlı kesimde, 1.5 mm kalınlığa sahip alüminyumun lazer çıkış gücü 1100 W, kesim hızı ise 0.8 m/dk' dır. 3 mm kalınlığa sahip alüminyumun lazer çıkış gücü 1100 W iken kesim hızı 0.2 m/dk' dır. Fakat 5 mm kalınlığındaki alüminyumun lazer çıkış gücü 2700 W'dır.

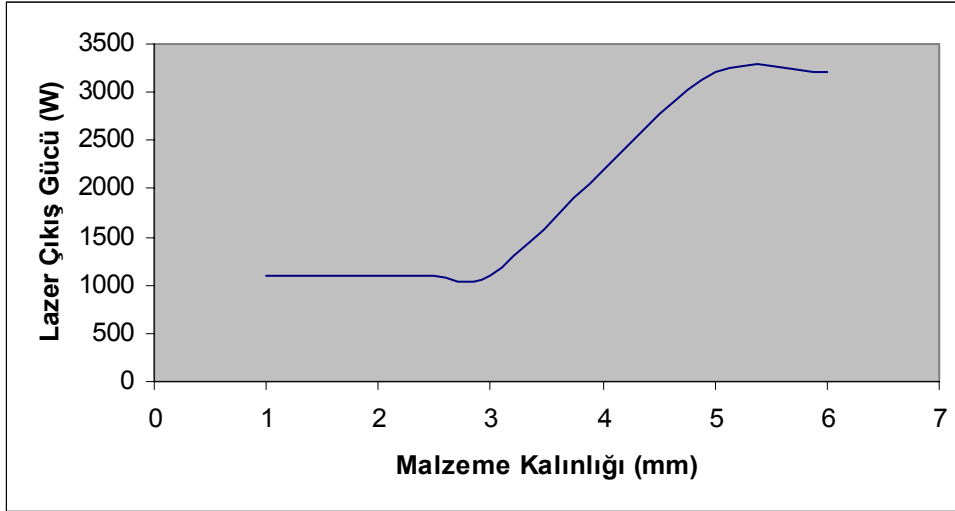


Şekil 4.17. Çizelge 4.14'den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak lazer çıkış gücünün değişimi (küçük hatlı kesim)

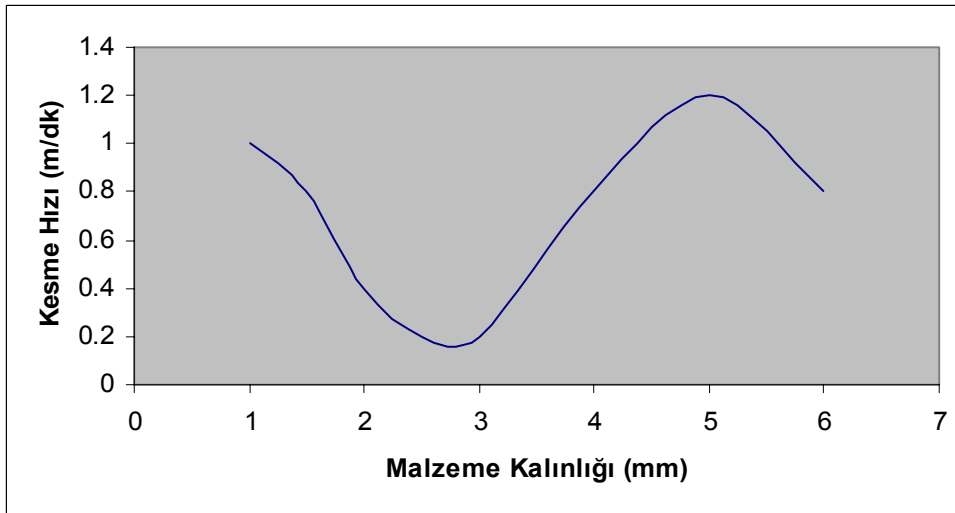


Şekil 4.18. Çizelge 4.14'den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak kesme hızının değişimi (küçük hatlı kesim)

Çizelge 4.20'den görüleceği üzere küçük hatlı kesimde, 2 mm kalınlığa sahip alüminyumun lazer çıkış gücü 1100 W, kesim hızı ise 0.4 m/dk'dır. 3 mm kalınlığa sahip alüminyumun lazer çıkış gücü 1100 W iken kesim hızı 0.2 m/dk'dır. Fakat 5 mm kalınlığındaki alüminyumun lazer çıkış gücü 32000 W'dır.



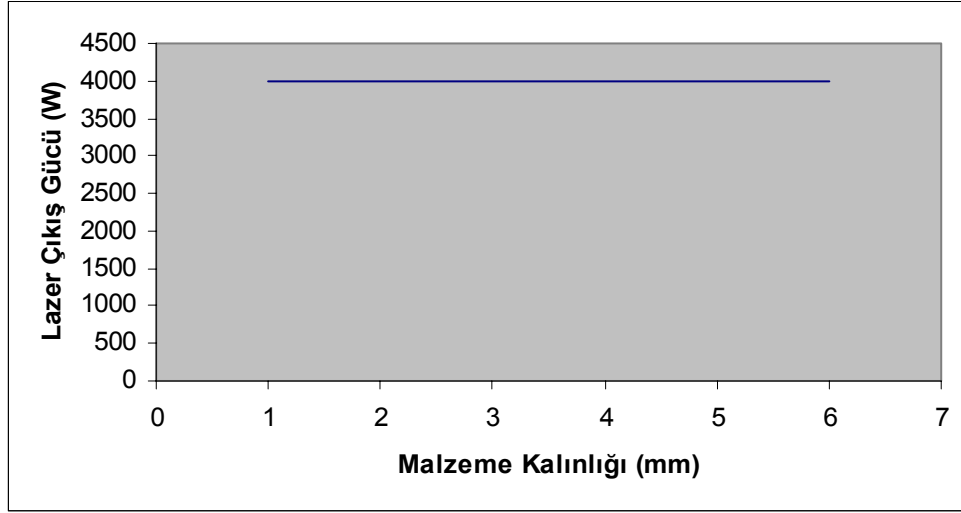
Şekil 4.19. Çizelge 4.20'den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak lazer çıkış gücünün değişimi (küçük hatlı kesim)



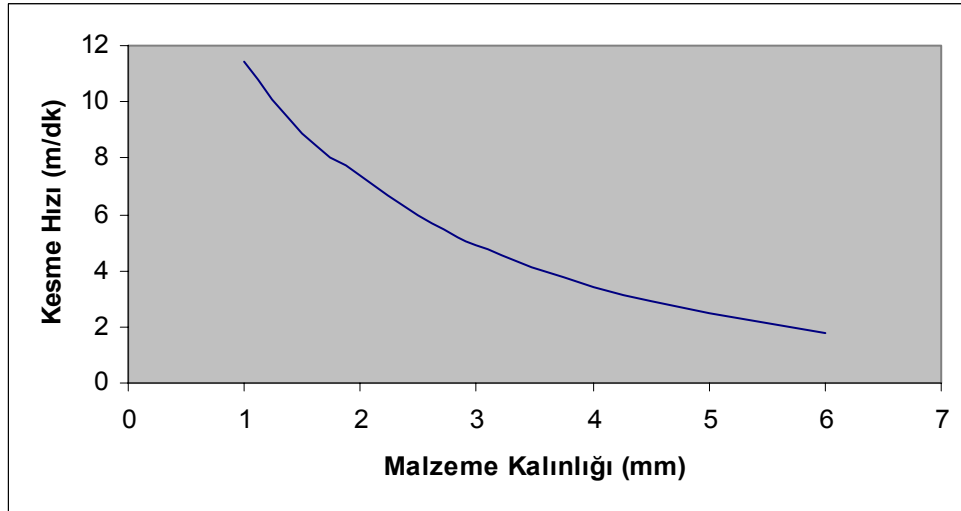
Şekil 4.20. Çizelge 4.20'den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak kesme hızının değişimi (küçük hatlı kesim)

Çizelge 4.33'den görüleceği üzere geniş hatlı kesimde, 2 mm kalınlığa sahip alüminyumun lazer çıkış gücü 4000 W, kesim hızı ise 7.4 m/dk'dır. 6 mm kalınlığa

sahip alüminyumun lazer çıkış gücü 4000 W iken kesim hızı 2.5 m/dk'dır. (STRABE, 2003).



Şekil 4.21. Çizelge 4.33'den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak lazer çıkış gücünün değişimi (geniş hatlı kesim)



Şekil 4.21. Çizelge 4.33'den elde edilen verilere göre malzeme kalınlığına bağlı olarak kesme hızının değişimi (geniş hatlı kesim)

Çizelge 4.1. Yumuşak çeliğin, oksijen ve TLF 2000 (2000 W çıkış gücü) ile geniş hatlı kesim sonuçları

Genel Parametreler											
Malzeme Kalınlığı (mm)	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12
Odak mesafesi (inch)	5	5	5	5	5	5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Meme Çapı (mm)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.4	1.4	1.4
Kesme Sınırları											
Ayar değerleri (mm)	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	0	0	1	1	2	2	2
Gaz	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂
Kesme genişliği (mm)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3
Makine Parametreleri											
Lazer Çıkış Gücü (W)	1500	1200	1200	1200	1200	1200	2000	2000	2000	2000	2000
Giriş frekansı (Hz)	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Kesme Hızı (m/dk)	8.2	6.4	5	4.1	3.6	2.9	2.7	2.2	1.7	1.3	0.9
Meme periyodu (mm)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1	1	1	1.5	1.5	1.5
Gaz basıncı (bar)	4.5	4.5	4.5	4	2.5	2	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6

Çizelge 4.2. Yumuşak çeliğin, oksijen ve TLF 2000 (2000 W çıkış gücü) ile normal hatlı kesim sonuçları

Genel Parametreler				
Malzeme Kalınlığı (mm)	6	8	10	12
Kesme Sınırları				
Ayar değerleri (mm)	1	2	2	2
Gaz	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂
Kesme genişliği (mm)	0.2	0.3	0.3	0.3
Makine Parametreleri				
Lazer Çıkış Gücü (W)	1000	1000	1200	1800
Giriş frekansı (Hz)	10000	10000	10000	10000
Kesme Hızı (m/dk)	1.4	0.9	0.8	0.8
Meme periyodu (mm)	1	1.5	1.5	1.5
Gaz basıncı (bar)	0.6	0.6	0.6	0.6

Çizelge 4.3. Yumuşak çeliğin, oksijen ve TLF 2000 (2000 W çıkış gücü) ile küçük hatlı kesim sonuçları

Genel Parametreler											
Malzeme Kalınlığı (mm)	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12
Kesme Sınırları											
Ayar değerleri (mm)	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	0	0	1	1	2	2	2
Gaz	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂
Kesme genişliği (mm)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.2	0.2	0.2	0.25	0.25
Makine Parametreleri											
Lazer Çıkış Gücü (W)	200	200	200	250	300	350	400	350	450	550	600
Giriş frekansı (Hz)	300	300	300	300	100	100	100	10	10	10	10
Kesme Hızı (m/dk)	0.6	0.5	0.4	0.35	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1
Meme periyodu (mm)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1	1	1.5	1.5	1.5	1.5
Gaz basıncı (bar)	4	4	4	4	4	5	1.5	0.6	0.6	0.6	0.6

Çizelge 4.4. Paslanmaz çeliğin, yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 2000 (2000 W çıkış gücü) ile geniş hatlı kesim sonuçları

Genel Parametreler						
Malzeme Kalınlığı (mm)	1	1.5	2	2.5	3	4
Odak mesafesi (inch)	5	5	5	5	5	5
Meme Çapı (mm)	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.7
Kesme Sınırları						
Ayar değerleri (mm)	-1	-1.5	-1.5	-2	-2.5	-3.5
Gaz	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂
Kesme genişliği (mm)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Makine Parametreleri						
Lazer Çıkış Gücü (W)	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Giriş frekansı (Hz)	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Kesme Hızı (m/dk)	8.1	6.1	4.6	3.6	2.6	1.4
Meme periyodu (mm)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1
Gaz basıncı (bar)	10	10	10	14	14	15

Çizelge 4.5. Paslanmaz çeliğin, yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 2000 (2000 W çıkış gücü) ile küçük hatlı kesim sonuçları

Genel Parametreler						
Malzeme Kalınlığı (mm)	1	1.5	2	2.5	3	4
Kesme Sınırları						
Ayar değerleri (mm)	-1	-1.5	-1.5	-2	-2.5	-3.5
Gaz	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂
Kesme genişliği (mm)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Makine Parametreleri						
Lazer Çıkış Gücü (W)	500	650	650	800	800	1200
Giriş frekansı (Hz)	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Kesme Hızı (m/dk)	1	1	1	0.8	0.8	0.8
Meme periyodu (mm)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1
Gaz basıncı (bar)	10	10	10	12	12	12

Çizelge 4.6. Alüminyumun, yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 2000 (2000 W çıkış gücü) ile geniş hatlı kesim sonuçları

Genel Parametreler					
Malzeme Kalınlığı (mm)	1	1.5	2	2.5	3
Odak mesafesi (inch)	5	5	5	5	5
Meme Çapı (mm)	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
Kesme Sınırları					
Ayar değerleri (mm)	-1	-1.5	-2	-3	-4
Gaz	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂
Kesme genişliği (mm)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Makine Parametreleri					
Lazer Çıkış Gücü (W)	2000	2000	2000	2000	2000
Giriş frekansı (Hz)	10000	10000	10000	10000	10000
Kesme Hızı (m/dk)	9.1	5.6	4	2.6	1.6
Meme periyodu (mm)	1	1	1	1	1
Gaz basıncı (bar)	12	14	14	14	14

Çizelge 4.7. Alüminyumun, yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 2000 (2000 W çıkış gücü) ile küçük hatlı kesim sonuçları

Genel Parametreler					
Malzeme Kalınlığı (mm)	1	1.5	2	2.5	3
Kesme Sınırları					
Ayar değerleri (mm)	-1	-1.5	-2	-3	-4
Gaz	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂
Kesme genişliği (mm)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Makine Parametreleri					
Lazer Çıkış Gücü (W)	1100	1100	1100	1100	1100
Giriş frekansı (Hz)	100	100	100	100	100
Kesme Hızı (m/dk)	1	0.8	0.7	0.4	0.3
Meme periyodu (mm)	1	1	1	1	1
Gaz basıncı (bar)	12	14	14	14	14

Çizelge 4.8. Yumuşak çeliğin, oksijen ve TLF 2700 (2700 W çıkış gücü) ile geniş hatlı kesim sonuçları

Genel Parametreler												
Malzeme Kalınlığı (mm)	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	15
Odak mesafesi (inch)	5	5	5	5	5	5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Meme Çapı (mm)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.4	1.4	1.4	1.4
Kesme Sınırları												
Ayar değerleri (mm)	-05	-1	-1	-1	-0.5	-0.5	1	1	1.5	2	2	3
Gaz	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂
Kesme genişliği (mm)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
Makine Parametreleri												
Lazer Çıkış Gücü (W)	1500	1300	1200	1000	1000	1200	2700	2700	2700	2700	2700	2700
Giriş frekansı (Hz)	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Kesme Hızı (m/dk)	8.2	6.4	5	4.1	3.6	2.9	3	2.6	1.9	1.7	1.2	0.9
Meme periyodu (mm)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1	1	1	1.5	1.5	1.5	1.5
Gaz basıncı (bar)	4.5	4	4.5	4	2.5	3	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6

Çizelge 4.9. Yumuşak çeliğin, oksijen ve TLF 2700 (2700 W çıkış gücü) ile normal hatlı kesim sonuçları

Genel Parametreler					
Malzeme Kalınlığı (mm)	6	8	10	12	15
Kesme Sınırları					
Ayar değerleri (mm)	1	1.5	2	2	3
Gaz	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂
Kesme genişliği (mm)	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
Makine Parametreleri					
Lazer Çıkış Gücü (W)	1000	1000	1200	1500	2400
Giriş frekansı (Hz)	10000	10000	10000	10000	10000
Kesme Hızı (m/dk)	1.4	0.9	0.8	0.8	0.6
Meme periyodu (mm)	1	1.5	1.5	1.5	1.5
Gaz basıncı (bar)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6

Çizelge 4.10. Yumuşak çeliğin, oksijen ve TLF 2700 (2700 W çıkış gücü) ile küçük hatlı kesim sonuçları

Genel Parametreler												
Malzeme Kalınlığı (mm)	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	15
Kesme Sınırları												
Ayar değerleri (mm)	-0.5	-1	-1	-1	-0.5	-0.5	1	1	1.5	2	2	3
Gaz	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂
Kesme genişliği (mm)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
Makine Parametreleri												
Lazer Çıkış Gücü (W)	200	200	200	200	300	350	500	350	450	550	600	750
Giriş frekansı (Hz)	300	300	300	300	100	100	100	10	10	10	10	10
Kesme Hızı (m/dk)	0.6	0.5	0.4	0.35	0.3	0.3	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Meme periyodu (mm)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1	1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Gaz basıncı (bar)	5	5	5	5	5	5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6

Çizelge 4.11. Paslanmaz çeliğin, yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 2700 (2700 W çıkış gücü) ile geniş hatlı kesim sonuçları

Genel Parametreler								
Malzeme Kalınlığı (mm)	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6
Odak mesafesi (inch)	5	5	5	5	5	5	7.5	7.5
Meme Çapı (mm)	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.7	1.7	1.7
Kesme Sınırları								
Ayar değerleri (mm)	-1.5	-1.5	-1.5	-2	-2.5	-3	-4	-5
Gaz	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂
Kesme genişliği (mm)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.2	0.2
Makine Parametreleri								
Lazer Çıkış Gücü (W)	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700
Giriş frekansı (Hz)	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Kesme Hızı (m/dk)	9.2	7.2	5.6	4.1	3	2.4	1.9	1.4
Meme periyodu (mm)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1	1	1
Gaz basıncı (bar)	12	14	15	15	16	18	18	16

Çizelge 4.12. Paslanmaz çeliğin, yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 2700 (2700 W çıkış gücü) ile küçük hatlı kesim sonuçları

Genel Parametreler								
Malzeme Kalınlığı (mm)	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6
Kesme Sınırları								
Ayar değerleri (mm)	-1.5	-1.5	-1.5	-2	-2.5	-3	-4	-5
Gaz	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂
Kesme genişliği (mm)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.2	0.2	0.2
Makine Parametreleri								
Lazer Çıkış Gücü (W)	500	650	650	800	800	1200	2700	2700
Giriş frekansı (Hz)	2000	2000	2000	2000	2000	2000	10000	10000
Kesme Hızı (m/dk)	1	1	1	0.8	0.7	0.7	1.4	1
Meme periyodu (mm)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1	1	1
Gaz basıncı (bar)	12	13	14	14	14	14	14	12

Çizelge 4.13. Alüminyumun, yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 2700 (2700 W çıkış gücü) ile geniş hatlı kesim sonuçları

Genel Parametreler							
Malzeme Kalınlığı (mm)	1	1.5	2	2.5	3	4	5
Odak mesafesi (inch)	5	5	5	5	5	5	5
Meme Çapı (mm)	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	2.3	2.3
Kesme Sınırları							
Ayar değerleri (mm)	-2.5	-2.5	-2.5	-3	-4	-5	-6
Gaz	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂
Kesme genişliği (mm)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Makine Parametreleri							
Lazer Çıkış Gücü (W)	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700
Giriş frekansı (Hz)	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Kesme Hızı (m/dk)	10.2	7.2	5.1	3.6	2.4	1.6	1
Meme periyodu (mm)	1	1	1	1	1	1	1
Gaz basıncı (bar)	10	12	16	16	16	16	16

Çizelge 4.14. Alüminyumun, yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 2700 (2700 W çıkış gücü) ile küçük hatlı kesim sonuçları

Genel Parametreler							
Malzeme Kalınlığı (mm)	1	1.5	2	2.5	3	4	5
Kesme Sınırları							
Ayar değerleri (mm)	-2.5	-2.5	-2.5	-3	-4	-5	-6
Gaz	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂
Kesme genişliği (mm)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Makine Parametreleri							
Lazer Çıkış Gücü (W)	1100	1100	1100	1100	1100	2700	2700
Giriş frekansı (Hz)	100	100	100	100	100	10000	10000
Kesme Hızı (m/dk)	1	0.8	0.4	0.2	0.2	0.8	0.6
Meme periyodu (mm)	1	1	1	1	1	1	1
Gaz basıncı (bar)	10	12	14	14	14	16	10

Çizelge 4.15. Yumuşak çeliğin, oksijen ve TLF 3200 (3200 W çıkış gücü) ile geniş hatlı kesim sonuçları (5” ‘lik mercek kullanılmıştır).

Genel Parametreler						
Malzeme Kalınlığı (mm)	1	1.5	2	2.5	3	4
Odak mesafesi (inch)	5	5	5	5	5	5
Meme Çapı (mm)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Kesme Sınırları						
Ayar değerleri (mm)	-0.5	-1	-1	-1	-0.5	-0.5
Gaz	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂
Kesme genişliği (mm)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.2
Makine Parametreleri						
Lazer Çıkış Gücü (W)	1200	1200	1200	1000	1000	1900
Giriş frekansı (Hz)	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Kesme Hızı (m/dk)	8.2	6.4	5	4.1	3.6	2.9
Meme periyodu (mm)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1
Gaz basıncı (bar)	4.5	4	4.5	4	2.5	0.7

Çizelge 4.16. Yumuşak çeliğin, oksijen ve TLF 3200 (3200 W çıkış gücü) ile küçük hatlı kesim sonuçları (5” ‘lik mercek kullanılmıştır).

Genel Parametreler						
Malzeme Kalınlığı (mm)	1	1.5	2	2.5	3	4
Kesme Sınırları						
Ayar değerleri (mm)	-0.5	-1	-1	-1	-0.5	-0.5
Gaz	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂
Kesme genişliği (mm)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.2
Makine Parametreleri						
Lazer Çıkış Gücü (W)	200	200	200	200	300	350
Giriş frekansı (Hz)	300	300	300	300	100	100
Kesme Hızı (m/dk)	0.6	0.5	0.4	0.35	0.3	0.3
Meme periyodu (mm)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1
Gaz basıncı (bar)	5	5	5	5	5	5

Çizelge 4.17. Paslanmaz çeliğin, yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 3200 (3200 W çıkış gücü) ile geniş hatlı kesim sonuçları (5” ‘lik mercek kullanılmıştır).

Genel Parametreler						
Malzeme Kalınlığı (mm)	1	1.5	2	2.5	3	4
Odak mesafesi (inch)	5	5	5	5	5	5
Meme Çapı (mm)	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.7
Kesme Sınırları						
Ayar değerleri (mm)	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5
Gaz	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂
Kesme genişliği (mm)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.2
Makine Parametreleri						
Lazer Çıkış Gücü (W)	3200	3200	3200	3200	3200	3200
Giriş frekansı (Hz)	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Kesme Hızı (m/dk)	10.5	8.3	6.8	5.3	3.8	2.7
Meme periyodu (mm)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1
Gaz basıncı (bar)	13	14	15	16	17	17

Çizelge 4.18. Paslanmaz çeliğin, yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 3200 (3200 W çıkış gücü) ile küçük hatlı kesim sonuçları (5” ‘lik mercek kullanılmıştır).

Genel Parametreler						
Malzeme Kalınlığı (mm)	1	1.5	2	2.5	3	4
Kesme Sınırları						
Ayar değerleri (mm)	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5
Gaz	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂
Kesme genişliği (mm)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.2
Makine Parametreleri						
Lazer Çıkış Gücü (W)	500	650	650	800	800	1200
Giriş frekansı (Hz)	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Kesme Hızı (m/dk)	1	1	1	0.8	0.7	0.7
Meme periyodu (mm)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1
Gaz basıncı (bar)	12	13	15	16	14	10

Çizelge 4.19. Alüminyumun, yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 3200 (3200 W çıkış gücü) ile geniş hatlı kesim sonuçları (5” ‘lik mercek kullanılmıştır).

Genel Parametreler								
Malzeme Kalınlığı (mm)	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6
Odak mesafesi (inch)	5	5	5	5	5	5	5	5
Meme Çapı (mm)	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	2.3	2.3	2.3
Kesme Sınırları								
Ayar değerleri (mm)	-2	-2	-2.5	-3	-3.5	-4.5	-5.5	-6.5
Gaz	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂
Kesme genişliği (mm)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.2	0.3	0.3
Makine Parametreleri								
Lazer Çıkış Gücü (W)	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200
Giriş frekansı (Hz)	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Kesme Hızı (m/dk)	11.5	8.1	5.9	4.1	2.7	1.9	1.4	1
Meme periyodu (mm)	1	1	1	1	1	1	1	1
Gaz basıncı (bar)	8	10	14	14	14	14	16	18

Çizelge 4.20. Alüminyumun, yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 3200 (3200 W çıkış gücü) ile küçük hatlı kesim sonuçları (5” ‘lik mercek kullanılmıştır).

Genel Parametreler								
Malzeme Kalınlığı (mm)	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6
Kesme Sınırları								
Ayar değerleri (mm)	-2	-2	-2.5	-3	-3.5	-4.5	-5.5	-6.5
Gaz	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂
Kesme genişliği (mm)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.2	0.3	0.3
Makine Parametreleri								
Lazer Çıkış Gücü (W)	1100	1100	1100	1100	1100	2200	3200	3200
Giriş frekansı (Hz)	100	100	100	100	100	10000	10000	10000
Kesme Hızı (m/dk)	1	0.8	0.4	0.2	0.2	0.8	1.2	0.8
Meme periyodu (mm)	1	1	1	1	1	1	1	1
Gaz basıncı (bar)	10	14	14	14	14	10	16	18

Çizelge 4.21. Yumuşak çeliğin, oksijen ve TLF 3200 (3200 W çıkış gücü) ile geniş hatlı kesim sonuçları (7.5” ‘lik mercekle kullanılmıştır).

Genel Parametreler													
Malzeme Kalınlığı (mm)	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	15	20
Odak mesafesi (inch)	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Meme Çapı (mm)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.4	1.4	1.4	1.4	1.7
Kesme Sınırları													
Ayar değerleri (mm)	-1.5	-1.5	-1.5	-0.5	-0.5	0	1	1	1	1.5	1.5	2	2.5
Gaz	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂
Kesme genişliği (mm)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.3	0.3	0.3	0.35	0.4	0.4	0.4	0.5
Makine Parametreleri													
Lazer Çıkış Gücü (W)	1200	1300	1400	1700	1800	1900	2000	2250	3200	3200	3200	3200	3200
Giriş frekansı (Hz)	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Kesme Hızı (m/dk)	6.5	5.8	5	4.5	4	3.2	2.7	2.3	2.2	1.8	1.5	1.1	0.85
Meme periyodu (mm)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1	1	1	1.5	1.5	1.5	1.5	1
Gaz basıncı (bar)	1.5	1.5	1.2	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5

Çizelge 4.22. Yumuşak çeliğin, oksijen ve TLF 3200 (3200 W çıkış gücü) ile normal hatlı kesim sonuçları (7.5” ‘lik mercek kullanılmıştır).

Genel Parametreler						
Malzeme Kalınlığı (mm)	6	8	10	12	15	20
Kesme Sınırları						
Ayar değerleri (mm)	1	1	1.5	1.5	0.5	2.5
Gaz	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂
Kesme genişliği (mm)	0.3	0.35	0.4	0.4	0.4	0.5
Makine Parametreleri						
Lazer Çıkış Gücü (W)	1000	1000	1200	1500	3000	3000
Giriş frekansı (Hz)	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Kesme Hızı (m/dk)	1.4	0.9	0.8	0.8	0.9	0.6
Meme periyodu (mm)	1	1.5	1.5	1.5	1.5	1
Gaz basıncı (bar)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5

Çizelge 4.23. Yumuşak çeliğin, oksijen ve TLF 3200 (3200 W çıkış gücü) ile küçük hatlı kesim sonuçları (7.5” ‘lik mercek kullanılmıştır).

Genel Parametreler													
Malzeme Kalınlığı (mm)	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	15	20
Kesme Sınırları													
Ayar değerleri (mm)	-1.5	-1.5	-1.5	-0.5	-0.5	0	1	1	1	1.5	1.5	2	2.5
Gaz	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂
Kesme genişliği (mm)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.2	0.25	0.3	0.3	0.35	0.4	0.4	0.4	0.5
Makine Parametreleri													
Lazer Çıkış Gücü (W)	200	250	250	300	400	400	480	350	450	550	650	700	950
Giriş frekansı (Hz)	300	300	300	300	100	100	100	10	10	10	10	10	10
Kesme Hızı (m/dk)	0.5	0.45	0.4	0.35	0.3	0.3	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Meme periyodu (mm)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1	1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1
Gaz basıncı (bar)	4	4	4	3.5	3.5	2	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5

Çizelge 4.24. Paslanmaz çeliğin, yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 3200 (3200 W çıkış gücü) ile geniş hatlı kesim sonuçları (7.5” ‘lik mercek kullanılmıştır).

Genel Parametreler											
Malzeme Kalınlığı (mm)	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12
Odak mesafesi (inch)	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Meme Çapı (mm)	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.7	1.7	2.3	2.3	2.3	2.3
Kesme Sınırları											
Ayar değerleri (mm)	0	-0.5	-0.5	-0.5	-1	-2.5	-4	-4.5	-7	-10	-13
Gaz	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂
Kesme genişliği (mm)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.5
Makine Parametreleri											
Lazer Çıkış Gücü (W)	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200
Giriş frekansı (Hz)	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Kesme Hızı (m/dk)	7.8	6.3	5.3	4.5	4	2.8	2.1	1.7	1	0.4	0.25
Meme periyodu (mm)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1	1	1	1	1	1
Gaz basıncı (bar)	13	14	15	16	16	17	17	16	18	19	20

Çizelge 4.25. Paslanmaz çeliğin, yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 3200 (3200 W çıkış gücü) ile küçük hatlı kesim sonuçları (7.5” ‘lik mercek kullanılmıştır).

Genel Parametreler											
Malzeme Kalınlığı (mm)	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12
Kesme Sınırları											
Ayar değerleri (mm)	0	-0.5	-0.5	-0.5	-1	-2.5	-4	-4.5	-7	-10	-13
Gaz	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂
Kesme genişliği (mm)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5
Makine Parametreleri											
Lazer Çıkış Gücü (W)	500	650	800	1000	1200	1500	2200	3200	3200	3200	3200
Giriş frekansı (Hz)	2000	2000	2000	2000	2000	2000	10000	10000	10000	10000	10000
Kesme Hızı (m/dk)	1	1	1	1	1	1	1.3	1.2	0.85	0.2	0.15
Meme periyodu (mm)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1	1	1	1	1	1
Gaz basıncı (bar)	12	13	15	15	15	15	10	10	18	19	20

Çizelge 4.26. Alüminyumun, yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 3200 (3200 W çıkış gücü) ile geniş hatlı kesim sonuçları (7.5” ‘lik mercek kullanılmıştır).

Genel Parametreler								
Malzeme Kalınlığı (mm)	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6
Odak mesafesi (inch)	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Meme Çapı (mm)	1.4	1.4	1.4	1.4	1.7	1.7	2.3	2.3
Kesme Sınırları								
Ayar değerleri (mm)	0	-1	-1	-1	-1	-4	-7	-8
Gaz	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂
Kesme genişliği (mm)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.25	0.3
Makine Parametreleri								
Lazer Çıkış Gücü (W)	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200
Giriş frekansı (Hz)	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Kesme Hızı (m/dk)	8.2	6.6	5.4	4.7	3.7	2.1	1.6	1
Meme periyodu (mm)	1	1	1	1	1	11	1	1
Gaz basıncı (bar)	10	10	10	11	12	14	15	17

Çizelge 4.27. Alüminyumun, yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 3200 (3200 W çıkış gücü) ile küçük hatlı kesim sonuçları (7.5” ‘lik mercek kullanılmıştır).

Genel Parametreler								
Malzeme Kalınlığı (mm)	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6
Kesme Sınırları								
Ayar değerleri (mm)	-2	-2	-3	-3	-3	-6	-8	-9.5
Gaz	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂
Kesme genişliği (mm)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.25	0.3
Makine Parametreleri								
Lazer Çıkış Gücü (W)	1000	1200	1400	1700	2000	2400	3000	3200
Giriş frekansı (Hz)	100	100	100	100	100	10000	10000	10000
Kesme Hızı (m/dk)	1	1	1	1	1	1	0.8	0.3
Meme periyodu (mm)	1	1	1	1	1	1	1	1
Gaz basıncı (bar)	10	10	10	10	10	12	12	12

Çizelge 4.28. Yumuşak çeliğin, oksijen ve TLF 4000 (4000 W çıkış gücü) ile geniş hatlı kesim sonuçları

Genel Parametreler													
Malzeme Kalınlığı (mm)	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	15	20
Odak mesafesi (inch)	5	5	5	5	5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Meme Çapı (mm)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.2	1.2	1.4	1.4	1.7
Kesme Sınırları													
Ayar değerleri (mm)	-0.5	-0.5	0	0	-0.5	-1	-1.2	-0.7	0	0.5	1	1	1.5
Gaz	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂
Kesme genişliği (mm)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.35	0.35	0.35	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5
Makine Parametreleri													
Lazer Çıkış Gücü (W)	1500	1500	900	1200	1500	2200	3600	3600	3600	4000	4000	4000	4000
Giriş frekansı (Hz)	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Kesme Hızı (m/dk)	8.2	6.4	5	4.1	3.9	3.5	3.4	3	2.4	2	1.6	1.3	0.9
Meme periyodu (mm)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1	1.2	1.2	1.5	1.5	1.5	1.5	1
Gaz basıncı (bar)	4	6	5	0.7	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6	0.6	0.6

Çizelge 4.29. Yumuşak çeliğin, oksijen ve TLF 4000 (4000 W çıkış gücü) ile normal hatlı kesim sonuçları

Genel Parametreler						
Malzeme Kalınlığı (mm)	6	8	10	12	15	20
Kesme Sınırları						
Ayar değerleri (mm)	-0.7	0	0.5	1	1	1.5
Gaz	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂
Kesme genişliği (mm)	0.35	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5
Makine Parametreleri						
Lazer Çıkış Gücü (W)	2000	2000	3000	3000	4000	4000
Giriş frekansı (Hz)	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Kesme Hızı (m/dk)	1.8	1.3	1.5	1.2	1	0.7
Meme periyodu (mm)	1.2	1.5	1.5	1.5	1.5	1
Gaz basıncı (bar)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6	0.6

Çizelge 4.30. Yumuşak çeliğin, oksijen ve TLF 4000 (4000 W çıkış gücü) ile küçük hatlı kesim sonuçları

Genel Parametreler													
Malzeme Kalınlığı (mm)	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	15	20
Kesme Sınırları													
Ayar değerleri (mm)	-0.5	-0.5	0	0	-0.5	-1	-1.2	-0.7	0	0.5	1	1	1.5
Gaz	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂
Kesme genişliği (mm)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.35	0.35	0.35	0.35	0.4	0.4	0.5	0.5
Makine Parametreleri													
Lazer Çıkış Gücü (W)	300	300	300	300	300	350	480	350	450	550	650	700	950
Giriş frekansı (Hz)	300	300	300	300	300	300	100	10	10	10	10	10	10
Kesme Hızı (m/dk)	0.6	0.5	0.4	0.35	0.3	0.3	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Meme periyodu (mm)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1	1.2	1.2	1.5	1.5	1.5	1.5	1
Gaz basıncı (bar)	5	5	5	5	5	5	0.6	0.6	0.8	0.8	0.6	0.6	0.6

Çizelge 4.31. Paslanmaz çeliğin, yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 4000 (4000 W çıkış gücü) ile geniş hatlı kesim sonuçları

Genel Parametreler												
Malzeme Kalınlığı (mm)	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	15
Odak mesafesi (inch)	5	5	5	5	5	5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Meme Çapı (mm)	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.7	1.7	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
Kesme Sınırları												
Ayar değerleri (mm)	-1.5	1.5	-1.8	-2	-2.2	-3.3	-2.5	-2.5	-3	-7.5	-0.5	-1.5
Gaz	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂
Kesme genişliği (mm)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
Makine Parametreleri												
Lazer Çıkış Gücü (W)	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
Giriş frekansı (Hz)	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Kesme Hızı (m/dk)	10.5	8.2	6.7	5.4	4.1	2.9	2.5	2.2	1.4	0.84	0.7	0.45
Meme periyodu (mm)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1	1	1	1	1	0.7	0.7
Gaz basıncı (bar)	13	14	15	15	15	16	17	17	19	20	16	22

Çizelge 4.32. Paslanmaz çeliğin, yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 4000 (4000 W çıkış gücü) ile küçük hatlı kesim sonuçları

Genel Parametreler											
Malzeme Kalınlığı (mm)	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12
Kesme Sınırları											
Ayar değerleri (mm)	-1.5	-1.5	-1.8	-2	-2.2	-3.3	-2.5	-2.5	-3	-7.5	-12
Gaz	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂
Kesme genişliği (mm)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.3	0.3	0.3	0.3	0.35
Makine Parametreleri											
Lazer Çıkış Gücü (W)	500	650	650	800	800	1000	2200	4000	4000	4000	4000
Giriş frekansı (Hz)	2000	2000	2000	2000	2000	2000	10000	10000	10000	10000	10000
Kesme Hızı (m/dk)	1.1	1.1	1.1	0.85	0.75	0.75	1.35	1.5	1.35	0.6	0.4
Meme periyodu (mm)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1	1	1	1	1	1
Gaz basıncı (bar)	13	14	15	15	16	10	10	10	19	20	20

Çizelge 4.33. Alüminyumun, yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 4000 (4000 W çıkış gücü) ile geniş hatlı kesim sonuçları

Genel Parametreler								
Malzeme Kalınlığı (mm)	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6
Odak mesafesi (inch)	5	5	5	5	5	5	5	5
Meme Çapı (mm)	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.7	1.7
Kesme Sınırları								
Ayar değerleri (mm)	-2.5	-2.8	-3	-3.3	-3.6	-4.5	-5.5	-6.5
Gaz	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂
Kesme genişliği (mm)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.25
Makine Parametreleri								
Lazer Çıkış Gücü (W)	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
Giriş frekansı (Hz)	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Kesme Hızı (m/dk)	11.4	8.9	7.4	6	4.9	3.4	2.5	1.8
Meme periyodu (mm)	1.3	1.3	1.3	1.3	1	1	1.5	1.5
Gaz basıncı (bar)	8	10	12	13	14	15	15	16

Çizelge 4.34. Alüminyumun, yüksek basınçlı nitrojen ve TLF 4000 (4000 W çıkış gücü) ile küçük hatlı kesim sonuçları

Genel Parametreler								
Malzeme Kalınlığı (mm)	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6
Kesme Sınırları								
Ayar değerleri (mm)	-2.5	-2.8	-3	-3.3	-3.6	-4.5	-5.5	-6.5
Gaz	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂
Kesme genişliği (mm)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.25
Makine Parametreleri								
Lazer Çıkış Gücü (W)	1000	1000	1000	1500	2200	2200	3000	4000
Giriş frekansı (Hz)	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Kesme Hızı (m/dk)	1.05	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	1.3	1.8
Meme periyodu (mm)	1.3	1.3	1.3	1.3	1	1	1.5	1.5
Gaz basıncı (bar)	10	14	14	14	14	15	16	18

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Lazer ile kesme temel olarak; yüksek miktarda ısı ihtiva eden lazer ışınının aynalar vasıtasıyla malzemeye yönlendirilmesi ve mercekle tarafından malzeme üzerine odaklanması prensibine dayanmaktadır.

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.

Yapılan bu çalışmada lazer ile kesme yöntemleri ve avantajlarından bahsedilip, lazer kesme tezgahlarının genel özelliklerinden, kesim değişkenlerinden ve kullanılabilen malzemelerin hangi toleranslara kadar kesiminin yapılabileceği belirtilmiştir.

Ülkemizde yeni bir teknoloji olarak sayılabilecek lazer kesme tezgahları, endüstride en çok otomotiv sektöründe büyük kolaylıklar getirmiştir. Otomotiv yan sanayisinde lazer kesme tezgahlarını kullanan firmalar, rakip firmaların önüne geçmiş bulunmaktadır.

Lazer kesme tezgahlarında kesme işlemi yapılırken ortamın mümkün olduğunca temiz olması istenmektedir. Kesme işlemine maruz kalan materyalin, kesme sonuçları için kabul edilen değerleri verecek saflıkta olması gerekmektedir. Ayrıca lazer kesme tezgahlarında iyi kesim sonuçlarına ulaşabilmek için, düzgün bir yüzeye montajının yapılması ve titreşimsiz bir mekanın seçilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak lazer ile kesim, modern ve güvenilir işleme ile düşük maliyeti avantajlarından dolayı endüstride büyük bir kazanç olarak karşımıza çıkar.

Yapılan bu çalışmada lazer ile kesme konusu anlatılmış olup ileride bu konuda yapılacak olan çalışmalara bir kaynak olmuştur.

KAYNAKLAR

ANIK, S., OĞUR, A. ve VURAL, M., 1996. **Termik Kesme Teknolojisi**. Gedik Eğitim Vakfı Yayını, 2 No' lu yayın.

ANONİM, 2001. Lazer Işının Otomotiv Endüstrisinde Kullanım Alanları ve Bu Sektörün Gelişime Katkısı. http://www.lasertech.8m.com/3_1_1.htm.

ANONİM, 2002. Lazer Kesme. <http://www.mmo.org.tr/muhendismakina/arsiv/2002/nisan/atolyeden.htm>.

ANONİM, 2005. <http://dograr.com/alt/lazer.htm>.

ANONYMOUS, 1996. **Laser Processing**. Operators Manual. 2-14 p, Bystronic Laser AG Niedreönz/Switzerland.

ANONYMOUS, 2005. **Flexibility in Laser Cutting**. Operators Manual, Bystronic Laser AG Niedreönz/Switzerland

BEESELEY, M. J., 1976. **Lasers and Their Applications**. Taylor & Francis Ltd, 2, 7-9, London

HECHT, J., 1992. **The Laser Guidebook**. Mc Graw Hill, 2, 14s, United States of America

KARAÖREN, K., 1999. **Lazer ile Kesim Parametrelerinin Tespiti**. Yüksek Lisans Tezi (Basılmamış),. İstanbul Teknik Üniversitesi, 9- 23 s, İstanbul.

KUHN, K., 1998. **Laser Engineering**. Prentice - Hall, 4-5 p, United States of America.

O'SHEA, D.C., CALLEN, W.R. and RHODES, W.T., 1978. **Introduction to Lasers and Their Applications**, Addison - Wesley Publishing Company, Second Printing, 2, California, USA.

SMITH, W. V., 1970. **Laser Applications**. Artech House Inc, 1- 3, United States of America.

STRABE, J. M., 1994. **Technical Information on Laser Applications**, Laser Cutting Edition Trumpf GmbH + Co, 02 – 94 p, Germany.

STRABE, J. M., 2003. Data Collection, Trumpf Werkzeugmaschinen GmbH + Co.KG, 58 – 104 p, Germany.

WILLETT, C. S., 1974. Introduction to Gas Lasers: Population Inversion Mechanisims, Pergamon Press, 1, 2, New York, USA.

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Ankara' da doğdum. İlköğrenimimi Ankara' da orta ve lise öğrenimimi İzmir' de tamamladım. 1997 yılında girdiğim Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi' nden, 2002 yılında, Makine Mühendisi ünvanıyla mezun oldum. 2003 yılında, Devlet Hava Meydanları İşletmesinde Hava Trafik Kontrolörü olarak göreve başladım. 2004 yılında, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisansa başladım. Halen Devlet Hava Meydanları İşletmesinde Hava Trafik Kontrolörü olarak görev yapmaktayım.