

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**304 OSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİK İLE ST37
MALZEMENİN GAZ ERGİTME VE LAZER
YÖNTEMLERİYLE KESİLMESİNDE İŞLEM
PARAMETRELERİNİN ETKİLERİ**

Makine Mühendisi Serter PINARCIOĞLU

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ÖNSÖZ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜRDE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	2
3. LASER İLE KESME	5
3.1 Laserin Tarihçesi ve Tanımı.....	5
3.2 Lazer Işığının Üstünlükleri.....	10
3.3 Mod	11
3.4 Polarizasyon	12
3.5 Sürekli Lazerler	13
3.6 Darbeli Lazerler.....	14
3.7 Q Şalteri.....	14
3.8 Laser Türleri	15
3.8.1 Katı Laserleri.....	15
3.8.2 Gaz Laserleri	16
3.8.3 Boyar Madde Laserleri.....	16
3.8.4 Yarı İletkenli Laserler	17
3.8.5 Serbest Elektronlu Laserler	17
3.9 Endüstriyel Laser Türleri	17
3.9.1 Nd:YAG Laseri	18
3.9.1.1 Nd:YAG Laser Üretici.....	18
3.9.1.2 Nd:YAG Laserinde Işının Taşınımı	19
3.9.2 Karbondioksit Laseri	20
3.9.2.1 Karbondioksit Laser Tezgahının Genel Yapısı	20
3.9.2.2 Karbondioksit Laser Üretici	21
3.9.2.2.1 Sürekli Gaz Dolaşımı ile Soğutulan CO ₂ Laser Üretici	22
3.9.2.2.2 Difüzyon Soğutmalı CO ₂ Laser Üretici.....	23
3.9.2.3 CO ₂ Laserinde Laser Işınının Taşınımı ve Odaklanması	24
3.9.2.3.1 Laser Tüpleri	24
3.9.2.3.2 Teleskop	24
3.9.2.3.3 Körükler	24
3.9.2.3.4 Odak Değiştirici Ayna.....	24
3.10 Laser ile Kesme	26
3.10.1 Laser ile Kesmenin Prensibi.....	26
3.10.2 Laser ile Kesme Yöntemleri.....	26
3.10.2.1 Laser ile Alevli Kesme	26
3.10.2.2 Laser ile Ergiterek Kesme	27
3.10.2.3 Laser ile Süblimleştirerek Kesme	28
3.10.2.4 Mikrojet ile Kesme.....	28

3.10.3	Malzemelerin Laser ile Kesilebilme Kabiliyetleri	30
3.10.3.1	Çelikler	30
3.10.3.2	Paslanmaz çelikler	30
3.10.3.3	Aluminyum alaşımları	30
3.10.3.4	Bakır ,Bronz ve Pirinç	31
3.10.3.5	Titanyum	31
3.10.3.6	Metal Dışı Malzemeler	31
3.10.4	Laser ile Kesme Parametreleri	31
3.10.4.1	Lazer Gücü	32
3.10.4.2	Kesme Hızı	33
3.10.4.3	Odak Çapı	33
3.10.4.4	Odaklama Noktası	34
3.10.4.5	Gaz Saflığı ve Gaz Basıncı	35
3.10.4.6	Nozul Delik Çapı	35
3.10.4.6.1	Lazer Işını ile Nozul Deliğinin Merkezlenmesi	36
4.	GAZ ERGİTME İLE KESME	37
4.1	Gaz Ergitme ile Kesme Prensibi	37
4.2	Malzemelerin O ₂ ile Kesilebilme Kabiliyetleri	38
4.3	O ₂ ile Kesmede Sıcaklık Dağılımı	40
4.4	Sürüklenme	42
4.5	O ₂ ile Kesmede Kullanılan Gazların Özellikleri	42
4.5.1	Yanıcı Gaz	42
4.5.1.1	Asetilen	43
4.5.1.2	Stabilize Metilasetilen - Propadien	44
4.5.1.3	Doğalgaz	45
4.5.1.4	Propan	45
4.5.1.5	Propilen	45
4.5.2	Yakıcı Gaz	46
4.5.2.1	Oksijen	46
4.6	Kesme Üfleci	47
4.7	Kesme Memeleri	47
4.8	Kesme Oksijeni Kanalı	49
4.9	O ₂ ile Kesmenin Uygulaması	49
5.	DENEYSEL ÇALIŞMA	51
5.1	Kesme Tezgahları	51
5.2	Kullanılan Malzeme	52
5.3	Yöntem	53
5.4	Numunelerin Değerlendirilmesi	54
5.4.1	Numune S6O1	54
5.4.2	Numune S6O3	55
5.4.3	Numune S6O5	56
5.4.4	Numune S6O6	57
5.4.5	Numune S6O10	58
5.4.6	Numune S6O11	58
5.4.7	Numune S6O15	59
5.4.8	Numune S6N1	60
5.4.9	Numune S6N3	61
5.4.10	Numune S6N5	61

5.4.11	Numune S6N6	62
5.4.12	Numune S6N10	63
5.4.13	Numune S6N11	64
5.4.14	Numune S6N15	65
5.4.15	Numune P6N1	65
5.4.16	Numune P6N3	66
5.4.17	Numune P6N5	67
5.4.18	Numune P6N6	68
5.4.19	Numune P6N10	69
5.4.20	Numune P6N11	69
5.4.21	Numune P6N15	70
5.4.22	Numune S6OP1	71
5.4.23	Numune S6OP2	71
5.4.24	Numune S6OP3	72
5.4.25	Numune S6OP4	72
5.4.26	Numune S6OP5	73
5.5	Deneysel Çalışma Sonuçlarının Değerlendirilmesi	73
5.5.1	Laser ile Kesmede Laser Gücünün ITAB Genişliğine ve Sertliğe Etkisi	73
5.5.2	Laser ile Kesmede Kesme Hızının ITAB Genişliğine ve Sertliğe Etkisi	75
5.5.3	Laser ile Kesmede Gaz Basıncının ITAB Genişliğine ve Sertliğe Etkisi	77
5.5.4	Gaz Ergitme ile Kesmede Gaz Basıncının ITAB Genişliğine ve Sertliğe Etkisi	79
5.5.5	Gaz Ergitme ile Kesmede Kesme Hızının ITAB Genişliğine ve Sertliğe Etkisi	79
6.	SONUÇLAR	81
	KAYNAKLAR	83
	ÖZGEÇMİŞ	84

KISALTMA LİSTESİ

ITAB	Isı Tesiri Altındaki Bölge
Laser	Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Uyarılmış Işınım Yayımıyla Işığın Yükseltilmesi)
YAG	Yttrium Alüminyum Granat
SEM	Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1	a-Soğurma, b- kendiliğinden ışıma, c-uyarılmış ışıma	6
Şekil 3.2	Lazer ışınının oluşum şeması	7
Şekil 3.3	Üç düzeyli lazer enerji şeması	8
Şekil 3.4	Dört düzeyli lazer enerji şeması	8
Şekil 3.5	Yansımaz foton hareketleri	9
Şekil 3.6	İki yansıma için foton hareketleri	9
Şekil 3.7	Lazer ışını ile konvensiyonel ışığın farkları	10
Şekil 3.8	Gaussian modu	11
Şekil 3.9	Halka modu	11
Şekil 3.10	Çoklu mod	11
Şekil 3.11	Mode Shot ile mod un görüntülenmesi	12
Şekil 3.12	Polarizasyon (solda doğal ışık, sağda polarize ışık)	12
Şekil 3.13	Polarizasyon şeklinin yarık profiline etkisi	13
Şekil 3.14	Sürekli çalışma	14
Şekil 3.15	Darbeleri çalışma	14
Şekil 3.16	Darbeleri katı hal laserlarında güç – zaman grafiği	15
Şekil 3.17	Dev darbeleri katı hal laserı güç – zaman grafiği	15
Şekil 3.18	Nd:YAG lazer resonatörü	19
Şekil 3.19	Nd:YAG lazer tezgahının şematik gösterimi	20
Şekil 3.20	CO ₂ lazer tezgahının genel görünüşü	20
Şekil 3.21	CO ₂ lazer tezgahının şematik gösterimi	21
Şekil 3.22	Kare dizaynli sürekli hava soğutmalı CO ₂ lazer üretici	22
Şekil 3.23	Difüzyon soğutmalı lazer üretici	23
Şekil 3.24	CO ₂ lazer tezgahında ışının taşınımı ve odaklanması	25
Şekil 3.25	Odaklanmış ışın geometrisi	25
Şekil 3.26	Lazer ışını ile alevli kesme	27
Şekil 3.27	Lazer ışını ile süblimleştirerek kesme	28
Şekil 3.28	Lazer ışını ile su jeti kesme	29
Şekil 3.29	Lazer ışınının su jeti içersindeki hareketi	29
Şekil 3.30	Farklı lazer güçlerinde kesilebilen maksimum malzeme kalınlıkları	32
Şekil 3.31	4000W lık lazer tezgahında kesme hızı – malzeme kalınlığı grafiği	33
Şekil 3.32	Odaklama çapının değişimi	34
Şekil 3.33	Lazer ışınının iş parçası üzerinde odaklanma noktaları	35
Şekil 3.34	Merkezlenmiş ve merkezlenmemiş ışıma	36
Şekil 4.1	Kesme yangındaki eşsıcaklık eğrileri	40
Şekil 4.2	Oksijenle kesme işleminde sürüklenme	42
Şekil 4.3	Oksijen ile kesmede kullanılan üfleçler	47
Şekil 4.4	Kesme meme tipleri	48
Şekil 4.5	Oksijenle kesme işleminde kullanılan kesme memeleri	48
Şekil 4.6	Kesme oksijeni için çıkış kanalı profilleri	49
Şekil 5.1	Trumpf TruLaser 3030 lazer kesme tezgahının görünümü	51
Şekil 5.2	Esab Ultrarex Uxd-p 2500 plazma kesme tezgahının görünümü	52
Şekil 5.3	Numune S6O1	54
Şekil 5.4	S6O1 kodlu numunenin ITAB görüntüsü ve yüzey sertlik değişim grafiği	55
Şekil 5.5	Numune S6O3	55
Şekil 5.6	S6O3 kodlu numunenin ITAB görüntüsü ve yüzey sertlik değişim grafiği	56
Şekil 5.7	Numune S6O5	56
Şekil 5.8	S6O5 kodlu numunenin ITAB görüntüsü ve yüzey sertlik değişim grafiği	57

Şekil 5.9	Numune S6O6	57
Şekil 5.10	S6O6 kodlu numunenin ITAB görüntüsü ve yüzey sertlik değişim grafiği.....	57
Şekil 5.11	Numune S6O10	58
Şekil 5.12	S6O10 kodlu numunenin ITAB görüntüsü ve yüzey sertlik değişim grafiği	58
Şekil 5.13	Numune S6O11	58
Şekil 5.14	S6O11 kodlu numunenin ITAB görüntüsü ve yüzey sertlik değişim grafiği	59
Şekil 5.15	Numune S6O15	59
Şekil 5.16	S6O15 kodlu numunenin ITAB görüntüsü ve yüzey sertlik değişim grafiği	60
Şekil 5.17	Numune S6N1.....	60
Şekil 5.18	S6N1 kodlu numunenin ITAB görüntüsü ve yüzey sertlik değişim grafiği.....	60
Şekil 5.19	Numune S6N3.....	61
Şekil 5.20	S6N3 kodlu numunenin ITAB görüntüsü ve yüzey sertlik değişim grafiği.....	61
Şekil 5.21	Numune S6N5	61
Şekil 5.22	Numune S6N5	62
Şekil 5.23	Numune S6N6	62
Şekil 5.24	Numune S6N6.....	63
Şekil 5.25	Numune S6N10.....	63
Şekil 5.26	Numune S6N10	63
Şekil 5.27	Numune S6N11.....	64
Şekil 5.28	Numune S6N11	64
Şekil 5.29	Numune S6N15	65
Şekil 5.30	Numune S6N15	65
Şekil 5.31	Numune P6N1.....	65
Şekil 5.32	Numune P6N1.....	66
Şekil 5.33	Numune P6N3.....	66
Şekil 5.34	Numune P6N3.....	67
Şekil 5.35	Numune P6N5.....	67
Şekil 5.36	Numune P6N5.....	67
Şekil 5.37	Numune P6N6.....	68
Şekil 5.38	Numune P6N6.....	68
Şekil 5.39	Numune P6N10.....	68
Şekil 5.40	Numune P6N10.....	69
Şekil 5.41	Numune P6N11.....	69
Şekil 5.42	Numune P6N11.....	70
Şekil 5.43	Numune P6N15.....	70
Şekil 5.44	Numune P6N15.....	71
Şekil 5.45	Numune S6OP1.....	71
Şekil 5.46	Numune S6OP2.....	71
Şekil 5.47	Numune S6OP3.....	72
Şekil 5.48	Numune S6OP4.....	72
Şekil 5.49	Numune S6OP5.....	73
Şekil 5.50	St37 çeliğinin oksijen ile farklı laser güçlerinde kesilmesi sonucu görülen ITAB mesafesindeki ve sertlik değerlerindeki değişim grafikleri.....	74
Şekil 5.51	St37 çeliğinin azot ile farklı laser güçlerinde kesilmesi sonucu görülen ITAB mesafesindeki ve sertlik değerlerindeki değişim grafikleri.....	74
Şekil 5.52	304 paslanmaz çeliğinin azot ile farklı laser güçlerinde kesilmesi sonucu görülen ITAB mesafesindeki ve sertlik değerlerindeki değişim grafikleri	75
Şekil 5.53	St37 çeliğinin oksijen ile farklı kesme hızlarında kesilmesi sonucu görülen ITAB mesafesindeki ve sertlik değerlerindeki değişim grafikleri.....	76

Şekil 5.54	St37 çeliğinin azot ile farklı kesme hızlarında kesilmesi sonucu görülen ITAB mesafesindeki ve sertlik değerlerindeki değişim grafikleri.....	76
Şekil 5.55	304 paslanmaz çeliğinin azot ile farklı kesme hızlarında kesilmesi sonucu görülen ITAB mesafesindeki ve sertlik değerlerindeki değişim grafikleri	76
Şekil 5.56	St37 çeliğinin oksijen ile farklı gaz basınçlarında kesilmesi sonucu ITAB mesafesindeki ve sertlik değerlerindeki değişim grafikleri.....	78
Şekil 5.57	St37 çeliğinin azot ile farklı gaz basınçlarında kesilmesi sonucu görülen ITAB mesafesindeki ve sertlik değerlerindeki değişim grafikleri.....	78
Şekil 5.58	304 paslanmaz çeliğinin oksijen ile farklı gaz basınçlarında kesilmesi sonucu görülen ITAB mesafesindeki ve sertlik değerlerindeki değişim grafikleri	78
Şekil 5.59	St37 çeliğin gaz ergitme ile farklı gaz basınçlarında kesilmesi sonucu görülen ITAB mesafesindeki ve sertlik değerlerindeki değişim grafikleri	79
Şekil 5.60	St37 çeliğin gaz ergitme ile farklı kesme hızlarında kesilmesi sonucu görülen ITAB mesafesindeki ve sertlik değerlerindeki değişim grafiği	80

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1	Termik kesme işlemlerinde kesme aralığı ve ITAB genişliği.....	26
Çizelge 3.2	Farklı laser güçleri ile kesilebilecek maksimum kalınlıklar	32
Çizelge 3.3	1mm kalınlık için maksimum kesme hızları	33
Çizelge 4.1	Alaşım elementlerinin oksijenle kesme işlemine etkileri.....	39
Çizelge 4.2	Çeliklerin O ₂ ile kesilmesinde ITAB genişlikleri	41
Çizelge 4.3	Çeşitli yanıcı gazların özellikleri	46
Çizelge 5.1	Trumpf TruLaser 3030 laser kesme tezgahına ait teknik veriler	51
Çizelge 5.2	Esab Ultrarex Uxb 15/20 tezgah özellikleri	52
Çizelge 5.3	St37 ve 304 kalite paslanmaz çeliğin kimyasal analiz sonuçları	52
Çizelge 5.4	Oksijen yardımcı gazı ile kesilen St37 çeliğinin kesme parametreleri	53
Çizelge 5.5	Azot yardımcı gazı ile kesilen St37 çeliğinin kesme parametreleri	54
Çizelge 5.6	Azot yardımcı gazı ile kesilen 304 kalite paslanmaz çeliğin kesme parametreleri	54
Çizelge 5.7	Oksipropan ile kesilen St37 çeliğin kesme parametreleri	54
Çizelge 5.8	Numune S6O1 hakkında teknik veriler	55
Çizelge 5.9	Numune S6O3 hakkında teknik veriler	55
Çizelge 5.10	Numune S6O5 hakkında teknik veriler	56
Çizelge 5.11	Numune S6O6 hakkında teknik veriler	57
Çizelge 5.12	Numune S6O10 hakkında teknik veriler	58
Çizelge 5.13	Numune S6O11 hakkında teknik veriler	59
Çizelge 5.14	Numune S6O15 hakkında teknik veriler	59
Çizelge 5.15	Numune S6N1 hakkında teknik veriler	60
Çizelge 5.16	Numune S6N3 hakkında teknik veriler	61
Çizelge 5.17	Numune S6N5 hakkında teknik veriler	62
Çizelge 5.18	Numune S6N6 hakkında teknik veriler	62
Çizelge 5.19	Numune S6N10 hakkında teknik veriler	63
Çizelge 5.20	Numune S6N11 hakkında teknik veriler	64
Çizelge 5.21	Numune S6N15 hakkında teknik veriler	65
Çizelge 5.22	Numune P6N1 hakkında teknik veriler	66
Çizelge 5.23	Numune P6N3 hakkında teknik veriler	66
Çizelge 5.24	Numune P6N5 hakkında teknik veriler	67
Çizelge 5.25	Numune P6N6 hakkında teknik veriler	68
Çizelge 5.26	Numune P6N10 hakkında teknik veriler	69
Çizelge 5.27	Numune P6N11 hakkında teknik veriler	70
Çizelge 5.28	Numune P6N15 hakkında teknik veriler	70
Çizelge 5.29	Numune S6OP1 hakkında teknik veriler	71
Çizelge 5.30	Numune S6OP2 hakkında teknik veriler	72
Çizelge 5.31	Numune S6OP3 hakkında teknik veriler	72
Çizelge 5.32	Numune S6OP4 hakkında teknik veriler	73
Çizelge 5.33	Numune S6OP5 hakkında teknik veriler	73
Çizelge 5.34	Laser gücü değiştirilerek kesilen numunelerin deney sonuçları	73
Çizelge 5.35	Kesme hızı değiştirilerek kesilen numunelerin deney sonuçları	75
Çizelge 5.36	Gaz basıncı değiştirilerek kesilen numunelerin deney sonuçları	77
Çizelge 5.37	Gaz basıncı değiştirilerek kesilen numunelerin deney sonuçları	79
Çizelge 5.38	Kesme hızı değiştirilerek kesilen numunelerin deney sonuçları	79

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamı derin bilgi ve tecrübesiyle yönlendiren, desteğini ve sabrını esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. Selahattin Yumurtacı'ya sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim süresince desteğini ve hoşgörüsünü benden esirgemeyen, KBS Ltd. Şti. Genel Müdürü Sayın Abdullah AYDIN' a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Numunelerimin yapısal incelemelerinin yapılmasına olanak sağlayan YTÜ Metalurji Malzeme Mühendisliği Bölümü Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Ahmet Ekerim'e ve numunelerimin sertlik ölçümlerinin yapılmasına olanak sağlayan değerli arkadaşım Malzeme ve Metalurji Yüksek Mühendisi Harika Ekşioğlu Yıldız'a yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez çalışmam süresince desteğini benden esirgemeyen değerli arkadaşım Makina Yüksek Mühendisi Tufan Taşkın'a teşekkür ederim.

Hayatımın tüm aşamalarında her zaman yanımda olan, her türlü maddi ve manevi desteği sağlayan aileme teşekkür etmeyi borç bilirim.

Serter PINARCIOĞLU

ÖZET

Paslanmaz çelikler içersinde gerek kullanım gerekse alaşım kalitelerinin çokluğu açısından en zengin grubu “ostenitik çelikler” oluşturmaktadır. Ferritik çelikler grubunda yer alan St37 malzeme ise düşük maliyet ve dayanım özellikleri ile endüstride kullanım açısından çok büyük bir paya sahiptir.

Bu çalışmada, mükemmel biçimlendirilebilirliği sünekliği ve yeterli korozyon dayanımı ile öne çıkan 304 kalite ostenitik çelik ile St37 malzemenin gaz ergitme ve laser yöntemleriyle kesilmesinde işlem parametrelerinin etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

İşlem parametreleri olarak laser kesme için kesme hızı, laser gücü ve yardımcı gaz basıncı ; gaz ergitme ile kesme için ise kesme hızı ve gaz basıncı seçilmiş ve bu parametrelerin kesme bölgesinde ısı tesiri altında kalan bölge genişliğine ve yine bu bölgedeki sertlik değerlerine etkileri araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Laser ile kesme, gaz ergitme ile kesme, kesme hızı, gaz basıncı, laser gücü, işlem parametreleri, St37, 304 kalite ostenitik çelik

ABSTRACT

Austenitic Steels constitutes the richest group among stainless steels in terms of both usage and plenty of alloy qualities. St37 material which participates in ferritic steels is very useful in industry with low cost and resistance properties.

Effects of operation parameters on cutting of 304 austenitic stainless steels, which have great form taking, ductility and plenty of corrosion resistance properties, and St37 material with oxygen and laser cutting methods are examined in this research work.

Cutting speed, gas pressure and laser power were chosen as laser cutting operation parameters and cutting speed and gas pressure were chosen as oxygen cutting operation parameters. Effects of these parameters on the heat effected zone width and hardness values at the cutting zone were investigated.

Keywords: Laser cutting, oxygen cutting, operation parameters, heat effected zone, hardness

1. GİRİŞ

İmalat prosesinde ilk işlem adımı olarak düşünebileceğimiz kesme işlemi önemli bir konumda bulunmaktadır. Bu işlem mekanik yollar ile yapılabileceği gibi termik yöntemler ile de gerçekleştirilebilir. Kesme işleminin önemi dolayısıyla, kesme hassasiyetinin artırılması ve kesme işleminin kolaylaştırılması adına yapılan çalışmalar ile ilk kullanılmaya başlanan termik kesme yöntemi oksii-asetilen alevi ile gerçekleştirilen kesme işlemidir. Bu konuda yapılan çalışmalar ile günümüzde geline nokta laser ışını ile kesme işlemidir. Bu çalışmada gaz ergitme ve laser kesme işleminde işlem parametrelerinin etkileri incelenmiştir.

Elektromanyetik enerjinin toplanarak yönlendirilmiş bir şekli olarak tanımlanan laser teknolojisi son yıllarda önemli gelişmeler göstermiş olup, bir çok önemli sektörde karşımıza çıkmaktadır. Laser teknolojisi başlıca; askeri alanlarda, elektronik ve bilgisayar sektöründe, havacılık sektöründe, tıp bilminde, imalat endüstrisinde yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Uydu, bilgisayar ve entegre devre ile birlikte yüksek teknolojinin sembolü olan laser 20. yüzyılın ikinci yarısında, en büyük icatlar listesinde zirveye yakın bir yere sahip olmuştur. (Ion,2005)

Mühendislik açısından incelendiğinde laser ışınımı kaynak, kesme ve delme işlemlerinde önemli bir uygulama alanına sahiptir. Laser ile kesme yönteminde enerji kaynağı olarak laser ışınımı kullanılır. Bu yöntemle kesme işlemi laser ışınımının, kesilecek olan metal yüzeyinin kesme bölgesine yoğunlaşması şeklinde gerçekleşir. En yaygın kullanılan laser türü karbondioksit laseridir. Bu kesme yöntemini ince ve kalın saçlarda uygulamak mümkün olup, kalıp maliyetleri ortadan kaldırılmış, minimum fire oranı ile maliyetler aşağı çekilmiştir. Endüstride kullanılan bir diğer laser türü ise nd:YAG laserleridir fakat kesme işlemlerinde CO₂ laserleri kadar yaygın değildir.

1900'lü yılların başında kullanılmaya başlanan oksiiasetilen alevi, I. Dünya Savaşı yıllarında savaş araç ve teçizatlarının yapımında, kaynakla kesme uygulamalarında kullanılmıştır. Zaman içerisinde bir çok alternatif kaynak yöntemi geliştirilerek endüstrinin hizmetine sunulduğundan, günümüzde gaz ergetme kaynağı bir üretim yönteminden daha çok tamir yöntemi olarak geniş bir uygulama alanına sahiptir. Çünkü seri üretime yatkın olmayacak derecede yavaştır ve sadece el ile kaynak uygulamalarına yatkındır. Fakat günümüzde gaz ergitme kaynağının aleviyle yapılan kesme işlemlerinin atölye yada şantiye gibi seyyar uygulama alanlarında kolaylıkla yapılabilmesi yöntemi vazgeçilmez kılmıştır. (Tülbentçi ve Kaluç, 2001).

2. LİTERATÜRDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Yılbaş (1995) çalışmasında kesme parametrelerinin kesme kalitesi ve malzeme üst yüzeyinde meydana gelen çatlakların oluşumundaki etkilerini deneysel olarak gözlemlemiştir. Bunun için 500W gücünde CO₂ laseri ile kesme yapmıştır. Deney sırasında değişken olarak kesme hızı, gaz basıncı ve laser gücünü seçmiştir. Çalışma sonucunda sabit bir kesme hızında kesme yüzeyinde meydana gelen oksidasyonun oksijen basıncıyla doğru orantılı olduğunu görmüş, kesme hızının artışıyla ITAB bölgesinin küçüldüğünü ve oksidasyonun azaldığını gözlemlemiştir. Yüzeye yakın bölgelerde kavisli çatlakların kesme hızının artışı ve kritik seviyeye yaklaşımı ile oluştuğunu gözlemlemiş ve bunların katılaştıran oksit tabakası yüzünden olduğunu çıkarmıştır. Ayrıca gaz basıncının artışıyla kritik kesme hız limitinin de arttığını gözlemlemiştir. Bir noktadan sonra artan oksijen basıncı oksidasyon miktarını arttırmayıp, ergiyik malzemenin ortamdan uzaklaştırılmasına yardımcı olduğunu saptamıştır.

Cadorette ve Walker, (2006) bu çalışmalarında 4kW'lık bir laser tezgahının performansını, kalite ve verimlilik çalışmalarına temel oluşturması için bir karakterize etmiş ve kabul edilebilir kalite şartlarını maksimize edecek kontrol edilebilir şartlar üzerinde çalışmalarını yapmışlardır. Yaptıkları deneyler sonucunda çoğu numunenin sonucu şaşırtıcı derecede yüzey pürüzlülüğü bakımından kabul edilebilir sınırlar içersinde çıkmıştır. Üreticiler tarafından önerilen değerlerin tamamen doğru olmadığı şartlar dolayısıyla farklı parametrelerde kesme yapılmasının daha olumlu sonuçlar ortaya çıkardığı anlaşılmıştır. Kesme kalitesinde kullanılan gazın saflığının en önemli faktörlerden biri olduğunu görmüşlerdir.

Yılbas ve Kar (1997) çalışmalarında kesme esnasında malzemenin üst yüzeyinin absorbe ettiği ısıyı ve oluşan akışkan ergiyik bölgenin kalınlığını incelemişlerdir. Bu bilgiye ulaşmak için ısı transferi ve akışkanlar mekaniği formüllerini de kullanarak matematiksel bir model geliştirmiş, bu modeli deneysel çalışma ile karşılaştırmışlardır. Deneysel çalışma için seçtikleri değişkenler kesme hızı, gaz basıncı ve malzeme kalınlığıdır. Deney sonucunda artan gaz basıncının ergiyik tabakanın kalınlığının gaz – ergiyik bölge arasındaki kayma gerilmesinin artışı dolayısıyla arttığını görmüşlerdir. Ayrıca kesme hızındaki artışın da ergiyik yüzey kalınlığıyla arttığını ortaya çıkarmışlardır. Artan malzeme kalınlıkları için ve artan kesme hızları için gerekli olan güç yoğunluğunun artışı da ulaştıkları bir başka sonuçtur.

Tani, Tomesani, ve Campana, (2003) çalışmalarında çeliklerin laser ile kesilmesinde ergiyik metal filminin yapısını analitik olarak modellemişlerdir ve ergiyik film kalınlığının kesme bölgesi genişliğinin fonksiyonu olarak tespit etmişlerdir. Çalışma sonunda, laser kesme

sonucu malzeme alt yüzeyinde meydana gelen çapak yüksekliklerini tahmin edebilecek, kerf geometrisi ve ITAB genişliği üzerinden hareketle yeni bir analitik model yaratmışlardır.

Golnabi ve Bahar (2008) optimum kesme genişliğini saptayabilmek için Nd:YAG laseri ile kesme gücü ve gaz basıncı üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Kesme genişliğini saptayabilmek için çelikler ve yumuşak çelikler üzerinde 50 – 170 W arası laser gücü ve 1 – 6 bar arası gaz basıncı ile deneylerini gerçekleştirmişler. Elde edilen sonuçlarda parametrelerin etkilerini gözlemlemiş ve 1 – 2 mm lik çelik malzemeler için minimum ortalama kesme genişliğini 0,2mm, kesme hızını 7,1mm /sn, gaz basıncını 4 bar ve kesme gücünü 67 W olarak; yumuşak çelikler için ise ortalama kesme genişliğini 0,3mm, kesme hızını 9,5mm/sn, kesme gücünü yine 67 W ve gaz basıncını 1 bar olarak saptamışlardır.

Yılbaş (1998) paslanmaz çelik levhaların CO₂ laser ile kesilmesinde kesme hızı, yardımcı gaz basıncı, levha kalınlığı ve laser frekansını kesme parametreleri olarak kullanmış ve çeşitli kombinasyonlarda kesme yapmıştır. Genel kesme kalitesinde ölçülebilir değişkenler olarak dalgalanma (oyuklaşma), düzlemsellik ve metalürjik değişimleri göz önüne almıştır. Elde edilen sonuçlar seçilen her parametrenin laser ile kesilmesine etkisinin belirgin olduğunu göstermiştir. Yılbaş, kesme hızı ve yardımcı gaz basıncının, kesme kalitesine en belirgin etkiyi yaptığını gözlemlemiştir. Bu durumda kesme hızı ve yardımcı gaz basıncı tek başlarına genel kesme kalitesini etkilemektedir. Parametrelerin, kesme hızı - yardımcı gaz basıncı, malzeme kalınlığı - yardımcı gaz basıncı ve laser puls frekansı - kalınlık gibi birinci derece etkileşimlerinin dalgalanma, düzlemsellik ve genel kesme kalitesi üzerinde belirgin etkisi olduğu gören Yılbaş, sonuç olarak yardımcı gaz basıncının, kesme kalitesini laser puls frekansı, levha kalınlığı ve kesme hızı ile birlikte etkilediğini belirlemiştir. İkinci derece etkileşimleri incelediğinde sadece kesme hızı - yardımcı gaz basıncı - laser puls frekansının dalgalanma ve genel kesme kalitesinde etkisini görmüştür. Bu çalışmayla Yılbaş, kesme hızı, yardımcı gaz basıncı ve laser puls frekansının laser ile kesmede en önemli parametreler olduğunu belirlemiş, ek olarak malzeme kalınlığının da kesme kalitesini etkilediğini, birinci derece etkileşimlerinin sonuçlarından ortaya çıkarmıştır.

Yılbaş (2004) laser ile kesme kalitesi ve ısı etki analizi çalışmasında, kesme aralığı lump parametre metodu ile modellemiştir. Deneysel olarak güç yoğunluğunu, kesme hızını, oksijen gaz basıncını ve malzeme kalınlığını değiştirerek, laser ile kesme gerçekleştirmiştir. Kesme işleminin ardından kesme aralığı, düzlemsellik ve dalgalanmayı mikroskop yardımıyla ölçmüştür. Yılbaş, kesme kalitesinin kesme hızı ve laser gücünün artışı ile arttığını bulmuştur. Ayrıca kesme aralığının kesme hızının artmasıyla azaldığını, laser gücünün artmasıyla kesme

aralığının arttığını ve bunun düşük kesme hızlarında daha belirgin olduğunu görmüştür.

Bir başka çalışmasında Yılbas (2001) laser ile kesme esnasında kesme parametrelerinin kesme aralığına etkilerini incelemiştir. Bu çalışmada laser yoğunluğu 500 ve 1500W arasında değişirken kesme hızı 1-4 cm/s arasında değişmektedir. Kesme işlemi tamamlandıktan sonra kesme aralıkları ölçülmüş, SEM ile kesme yüzeyleri incelenmiştir. Çalışmada laser gücü, kesme hızı ve enerji çifti faktörünün kesme aralığına etkisi incelenmiş ve lump parametre metodu ile kesme aralığı ile oyuklaşma oluşumları modellenmiştir. Sonuç olarak güç ve enerji çifti faktörü artırılırken, hızı azaltmak, kesme aralığının artmasına sebep olmuştur. Enerji çifti faktörünü artırmak kesme aralığını arttırmıştır. Enerji faktöründeki %5'lik artış, kesme aralığında %10'luk bir artış göstermiştir. Laser gücündeki küçük artışlar, kesme aralığında büyük artışlara neden olmuştur. Ayrıca matematik modelleme ile deneysel sonuçların birbiri ile uyumlu olduğunu görmüştür. Yılbaş ve arkadaşları ise (2001) CO₂ laserin dalma hızının etkisini incelemişlerdir, incelemeleri sonucunda en iyi kesme kalitesinin en yüksek dalma hızında elde edildiği sonucuna varmışlardır.

Chen (1997), çalışmasında 3mm yumuşak çelik malzemenin 10 bar yardımcı gaz basıncında kesilmesini incelemiştir. Deneylerinde yardımcı gaz olarak oksijen, argon, azot ve yüksek basınçlı hava kullanmış, kesme işlemini 2kW lık laser tezgahında gerçekleştirmiştir. Çalışmaları sonucunda soy gaz kullanılarak yapılan kesme işlemlerinde kesme hızının yüksek gaz basıncı altında yapılan kesme işlemlerinde önemli oranda arttığını görmüştür. Yüksek basınçlı oksijen ve yüksek basınçlı hava ile kesilmesinin kesme sonuçlarının kötü olduğunu gözlemleyip oksijen ile kesmede 10 bar basınç altında yüzey yanıklarına bakarak optimum bir kesme durumu olmadığını tesbit etmiştir. 10 barlık argon basıncı altında 25mm/ sn kesme hızında tamamiyle temiz bir kesme yüzeyi elde etmiştir. Sonuç olarak En iyi yardımcı gazın oksijen olduğu ama argon ve azotun da iyi birer alternatif olduğunu belirtip havanın iyi bir alternatif olmadığını belirtmiştir.

3. LASER İLE KESME

3.1 Laserin Tarihçesi ve Tanımı

Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) kelimesi "uyarılmış ışınım yayımıyla ışığın yükseltilmesi", şeklinde ifade edilmektedir. Laser tek bir dalga boyuna sahip yapışık ve yüksek bir ışıktır, atomik enerjiyi elektro manyetik enerjiye dönüştürür. Bilim ve mühendislik tarihinde laserin gelişimi heyecan verici bir bölümdür. Alışılmamış çeşitlilikteki alanlarda kullanılan cihazların geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Laser tarihine 1917, Albert Einstein ile başlanabilir. Einstein teorik olarak uyarılmış ışınım kavramını geliştirmiştir. Uyarılmış ışınım kavramı laserde kullanılan bir fenomendir. Uyarılmış ışınım ışığın yükseltilmesini sağlayıp, yüksek yoğunluktaki laser ışığının elde edilmesini sağlar. Uyarılmış ışınım prosesinin esas doğası Einstein tarafından teorik olarak açıklanmıştır (Ready, 1997) İkinci Dünya Savaşı sırasında bilim dünyasının ilgisi ışık tayfının, mikrodalga kısmına yoğunlaşmıştır. 1954'de Maser (microwave amplification by stimulated emission of radiation) Charles Townes ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. 1950'lerde masere ilgi artmış ve geliştirme çabaları masere yönelmiştir. Fakat maser günümüzde çok yaygın kullanılmamakla beraber, sadece radyo astronomide alıcı olarak gözükmektedir. İlk defa Schawlow ve Townes tarafından 1958'de "Infrared and Optical Masers" adlı yayınlı maserin ışık tayfının görünebilir ve kızılötesi bölgelerinde kullanılabileceği tarif edilmiş ve ortaya çıkan cihaza "optik maser" denilmiştir. Daha sonra bu deyimini yerini laser almıştır. Yakut laseri ilk olarak Maiman tarafından 16 Mayıs 1960'da sonuç raporları olarak yayınlanmıştır. 1961 yılında Sorokin ve Stevenson U:CaF₂ laseri ile ilgili çalışmalarını yayınlamışlardır. Mathias 1963'de N₂ laserini 1964'de Geusic YAG laserini Bridges Ar-Ion laserini bulmuştur. Geçen yıllar sonunda 1970'de CO₂ ve H₂'nin O₂ ile yanarak CO₂ ve H₂O açığa çıkmasıyla ışımaya yapan ilk dinamik gaz laseri Gerry tarafından gerçekleştirilmiştir 1960'ların sonuna kadar endüstriyel alanda pek kullanılmayan laser, 1970'lerin ortalarında kesme, kaynak, delme ve markalama işlerinde, ölçme ve daha birçok alanda yerini almıştır. Daha sonraki yıllarda boya laserleri, excimer ve iyot laserleri bulunarak ve geliştirilerek laser teknolojisi bugün, savunma sanayinden endüstriye, tıp alanından, haberleşme, bilgisayar ve hatta eğlence sektörüne kadar birçok alanda kullanılır hale gelmiştir (Ready, 1997)

Laser ultraviyole ve kızılötesi dalga boyları arasındaki karakteristik elektromanyetik ışınımın kaynağıdır. Bu laserler tarafından iletilen her ışınımın insanlar tarafından görülemeyeceği anlamına gelir. Ama yinede laser ışınımından genel olarak ışık olarak bahsedilir. Fakat laser bir çok ışık kaynağından farklı olarak göze batar. Işık kelimesi atomların veya moleküllerin

kendiliğinden veya rastgele uyarılmasını ifade etmez. Bunun yerine atomlar ve moleküller yayılım için uyarılırlar. (Buchfink, 2007)

Uyarılma yayılım sırasında elektromanyetik ışının en küçük enerji parçası olan bir foton yüksek enerjili bir atom veya molekül ile karşılaşır ve elektronu uyararak düşük enerji seviyesine geçirir. Fakat burada gerekli önkoşul gelen fotonun bu proses için yeterli enerjiye sahip olmasıdır. Bu sözü edilen enerji , düşük enerji seviyesi ile yüksek enerji seviyesi arasındaki fark karşılan miktardaki enerjidir. Uyarılmış yayınımdan sonra oluşan yeni foton ilk fotonla tamamen aynı frekans ve fazda olup aynı doğrultuda ilerler. (Buchfink, 2007)

Bu durumda laser ışını gelişmiş durumdadır. Önceden tek bir foton varken şimdi aynı rotada iki foton hareket ediyor. Eğer bu fotonlar uyarılmış atom veya moleküllerle karşılaşılırsa daha fazla foton üretirler ve laser ışını daha da güçlenir. (Buchfink, 2007)

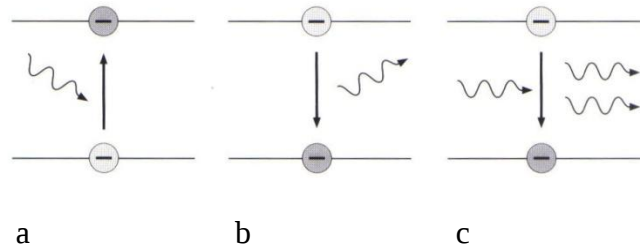
Laserler, Einstein tarafından geliştirilen uyarılmış ışımaya prensibine dayanarak çalışır. Bu prensip; kendiliğinden ışımaya, soğurma ve uyarılmış ışımaya olmak üzere 3 temel esasa dayanır. Buna göre;

E_1 = Düşük seviyeli atomun enerjisi

E_2 = Yüksek seviyeli atomun enerjisi

$E = E_2 - E_1$

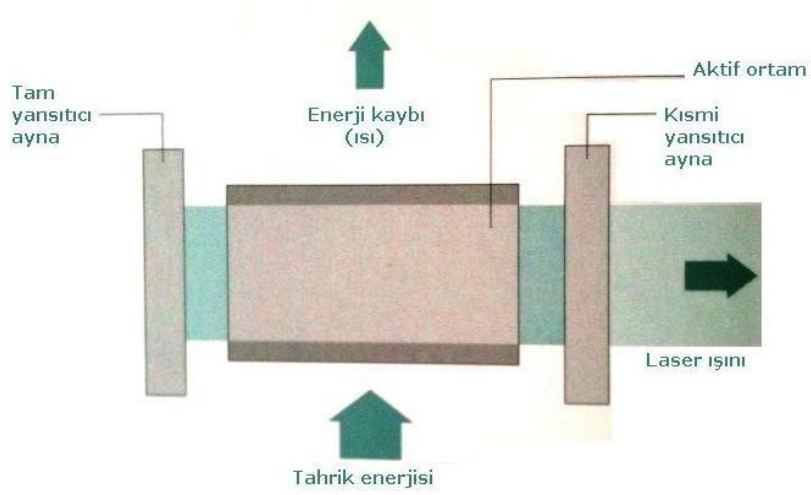
E = Foton enerjisi



Şekil 3.1 a-Soğurma, b- kendiliğinden ışımaya, c-uyarılmış ışımaya

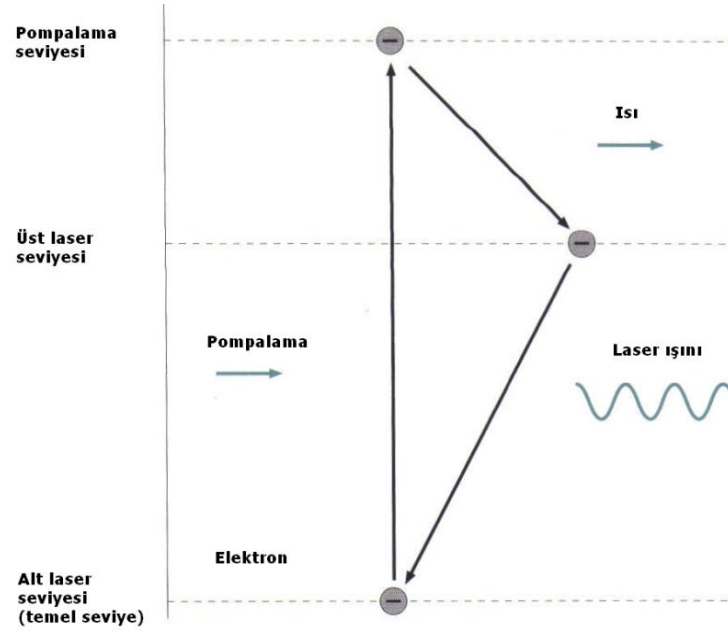
Şekil 3.1b'dan da anlaşılabileceği üzere kendiliğinden ışımaya yüksek enerji seviyesinde bulunan atomun, kendiliğinden düşük enerji seviyesine geçmesidir. Soğurma olayı ise; düşük seviyedeki atomun yüksek enerji seviyesine geçmesidir. Şekil 3.1c'deki uyarılmış ışımaya ise; yüksek seviyede bulunan atomun 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. (Buchfink, 2007) İşte laserin elde edilmesi de bu prensibe dayanarak optik olarak saydam bir

laser tüpü içerisinde gerçekleşir. Laser tüpünün bir ucunda tam yansıtıcı ayna, diğer bir ucunda ise kısmen yansıtıcı ayna mevcuttur.



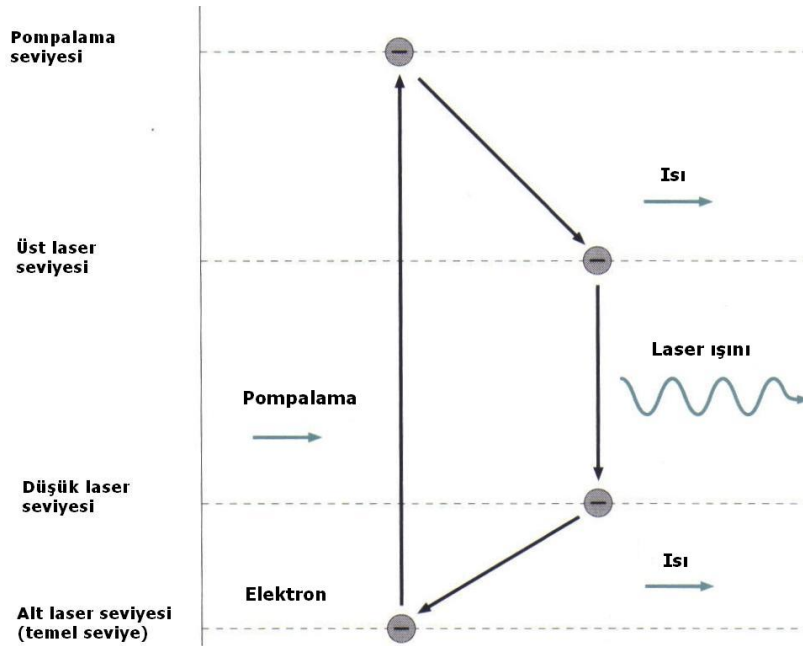
Şekil 3.2 Laser ışınının oluşum şeması

Laser tüpünün içerisi katı veya sıvı bir madde ile doldurulur. Laser tüpüne dışardan enerji verilerek ortamda bulunan atomlara ulaştırılır. Laser tüpüne dışarıdan enerji verme olayı, ortamdaki 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 yansıyarak 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 laser ışınıdır. (Karaarslan, 2009)



Şekil 3.3 Üç düzeyli laser enerji şeması

Şekil 3.3’ de yakut laseri gibi üç düzeyli bir laserin enerji şeması görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi uyarım, temel seviyesi ile pompalama seviyesi arasında gerçekleşmektedir. Pompalama seviyesinden üst laser seviyesine ışımsal olmayan geçişle boşalır. Kendiliğinden veya uyarılmış yayınım olan ışımsal geçiş ise üst laser seviyesinden alt laser seviyesine doğru oluşur. (Karaarslan, 2009)

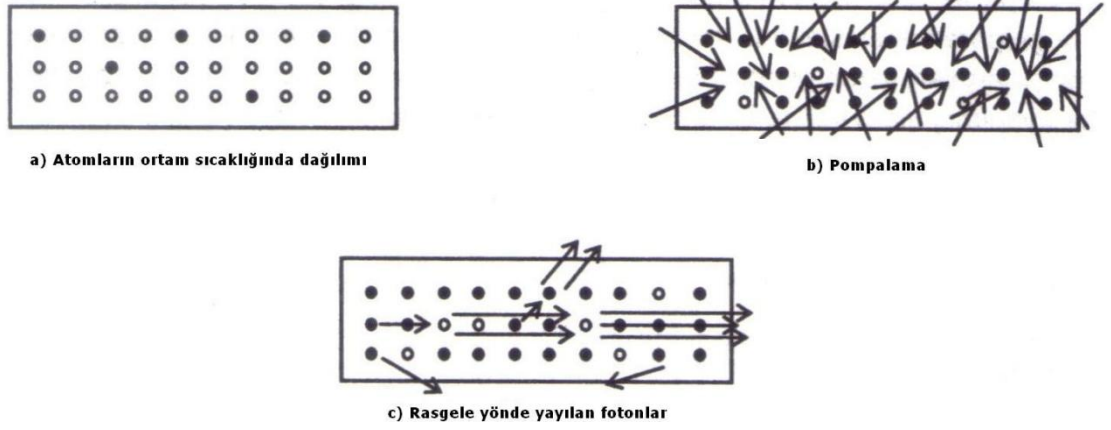


Şekil 3.4 Dört düzeyli laser enerji şeması

Şekil 3.4 ‘ de ise dört düzeyli bir laserin enerji şeması verilmiştir. Burada ışımsal geçiş üst

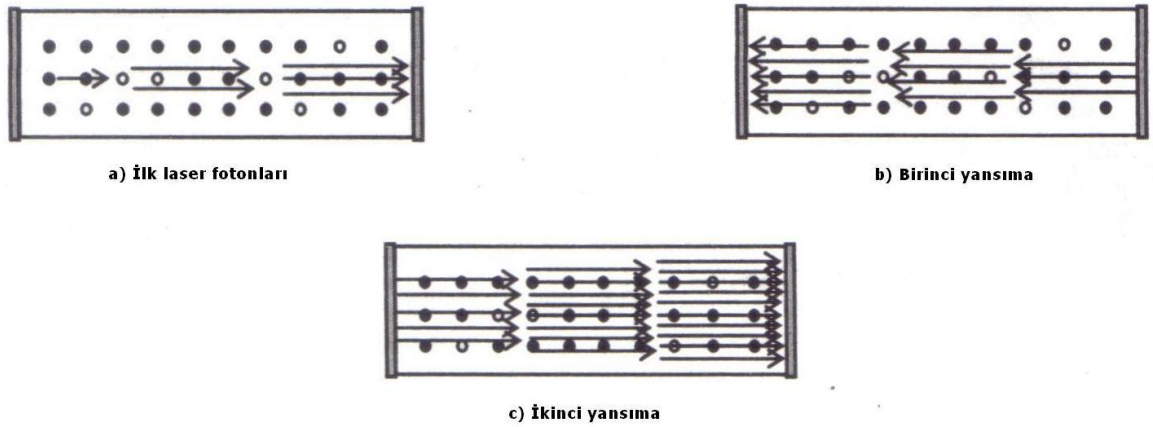
laser seviyesinden düşük laser seviyesine doğru olurken ışımsal olmayan geçişler pompalama seviyesinden üst laser seviyesine ve düşük laser seviyesinden temel seviyeye doğrudur. (Karaarslan, 2009)

Laser ışınının elde edilebilmesi için rezonans boşluğuna ihtiyaç vardır. Bu boşluk birbirine paralel bir yarı geçirgen ayna ve yansıtıcı ayna ile sınırlanır. Yarı geçirgen ayna oluşan laser ışınının geçişi içindir. Şekil 3.5’ te bu aynalar kullanılmadan elde edilen ışınlam adımları gösterilmiştir. (Tarakçıoğlu, ve Özcan, 2004)



Şekil 3.5 Yansımatsız foton hareketleri

Eğer Laser ortamının sağ ve sol taraflarına Şekil 3.6’ da gösterildiği gibi birer ayna (kalın koyu renkli çizgilerle gösterilmiştir) konulursa elde edilen fotonlar, bu iki ayna arasında tekrar tekrar sağa sola yansıtılıp, aktif ortamda bulunan atomlarla çarpması sağlanarak elde edilecek foton sayısı çoğaltılabilir. (Tarakçıoğlu ve Özcan, 2004)



Şekil 3.6 İki yansıma için foton hareketleri

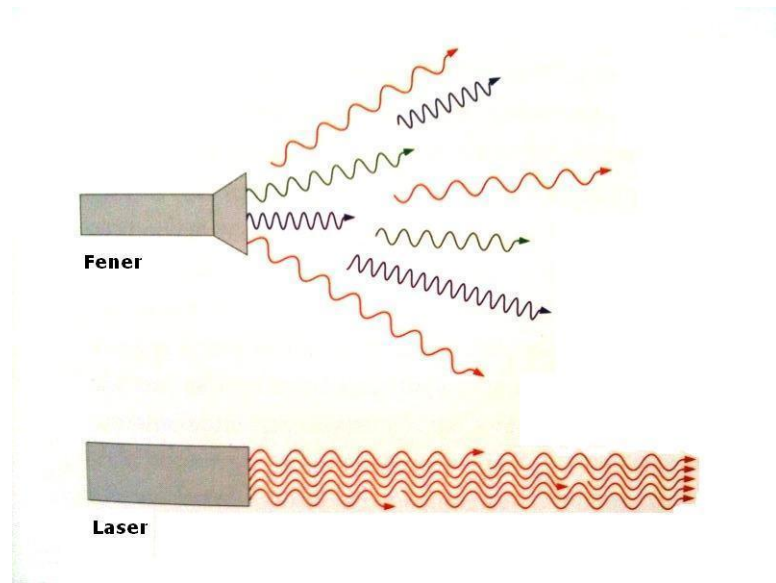
3.2 Laser Işığının Üstünlükleri

Laser ışığını konvansiyonel ışık kaynaklarından ayıran en önemli özellikleri tek renkli, uyumlu ve yönlendirilebilirdir oluşudur. Bu özellikler laser ışınının çok geniş bir kullanım alanına sahip olmasının sebebidir. (Buchfink, 2007)

Tek renklilik: Laser ışını içersindeki tüm fotonların aynı dalga boyuna sahiptir. Işık demetini oluşturan ışınlar uyum içersindedir. Işınların uyum içersinde bulunmaları aynı fazda, aynı genlikte ve aynı dalga boyunda olmasıyla anlaşılır. (Karaarslan, 2009)

Uyumluluk: Frekansı fazı ve doğrultusu aynı olan iki dalga birbirlerine uyumlu olan dalgalar olarak tanımlanır. Uyumlu olan dalgaların her biri sinüzoidal olup belli bir genliğe ve dalga boyuna sahiptir. Laser ortamından dışarıya çıkan dalgaların maksimum genliği ve dalga uzunluğu sabit kalmaktadır. Eğer tutarlı olan iki dalga formu dondurulmuş gibi düşünülürse onların sinüzoidal hareketlerinin aynı durumda oldukları gözükecektir. Mesela bu dalgalardan birisi durdurulduğu anda zirve noktasında ise diğeri de zirve noktasında olacaktır ve bu dalgalar arasındaki mesafe hep sabit olacaktır.

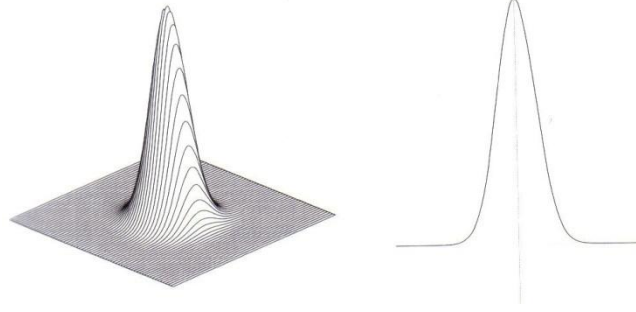
Yönlendirilebilirlik: ışık kaynağı olarak günlük hayatta kullandığımız lambalardan her yönde ışık yayılmaktadır. Laser ışınında ise dar bir hunide yayılım söz konusudur. Işığın yönlendirilebilirliğinin oldukça paralel olması, ışığın bir araya leke şeklinde toplanabilmesini sağlamaktadır. Laser ışınları oldukça uzun bir mesafeyi sabit genişlikte bir ışın demeti olarak alır, bu mesafeden sonra genişlemeye başlar. (Karaarslan, A. 2009)



Şekil 3.7 Laser ışını ile konvansiyonel ışığın farkları

3.3 Mod

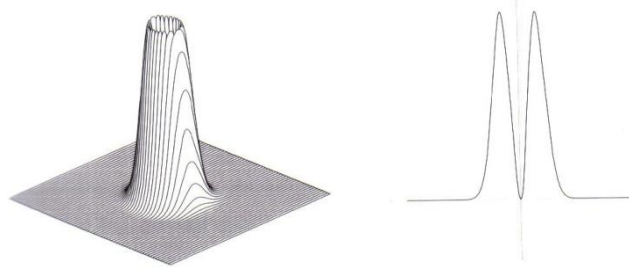
Mod, laser ışınının yoğunluk değişimi olarak adlandırılmaktadır. Bir laser ışınının en küçük odak çapına ve en küçük enerji yoğunluğuna sahip olabilmesi için Gaussian mod denen temel moda (Şekil 3.8) mümkün olduğu kadar yaklaşması gerekmektedir. Bu moda olan benzerlik azaldıkça laser ışınının odaklanma yarıçapı büyümekte ve ışın kalitesi azalmaktadır.



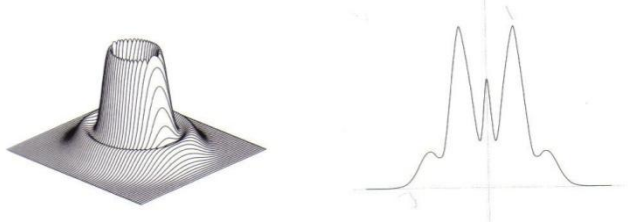
Şekil 3.8 Gaussian modu

Modlar rezonatörün farklı bölgelerindeki ve oluşan laser ışınındaki foton yoğunluğunu buna bağlı olarakta güç yoğunluğunu gösterir. Rezonatörün boyutları ve şekilleri hangi modların olası olduğunu belirler. (Buchfink, G. 2007)

Temel mod olan Gaussian mod en basit simetridir. Gaussian modun güç yoğunluk profili, tipik gaussian dağılımı gibi ışının merkezinde en yüksek seviyesinde iken kenarlara doğru azalır. Gaussian modu son derece küçük çaplara odaklanabilir. Ek olarak daha karmaşık dalgalı modlar da vardır. Halka mod buna iyi bir örnektir. (Şekil 3.9). Çoklu modlar ise çeşitli modların peşpeşe veya çakışacak şekilde oluşmasıyla meydana gelir. (Şekil 3.10)

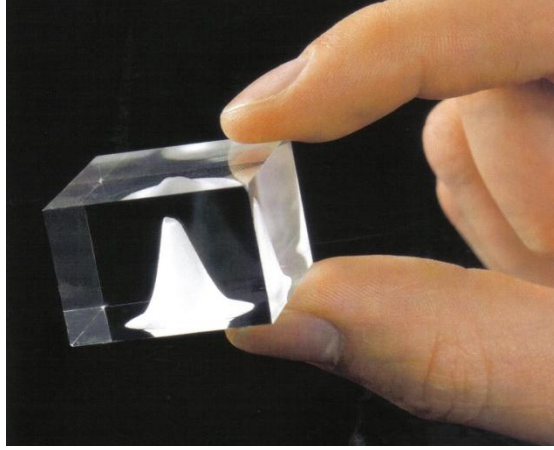


Şekil 3.9 Halka modu



Şekil 3.10 Çoklu mod

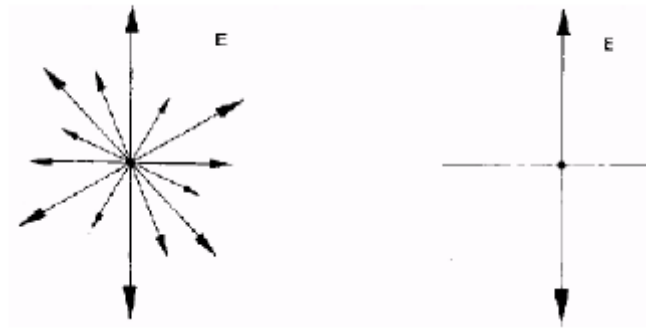
Güç yoğunluk dağılımını görüntülemenin çeşitli yolları vardır. Bunu yapmanın en kolay yolu mode shot yapmaktır. Bu yöntemle odaklanmamış CO₂ laser ışını pleksi üzerine ateşlenir ve yüksek yoğunluklu ışının geldiği yerler daha derin yanar. Bu sayede oluşan mod çukur olarak gözükür. (Şekil 3.11) Katı hal laserlarında ise bu yoğunluk özel bilgisayar programları ile kaydedilen kamera görüntüleriyle saptanabilir.



Şekil 3.11 Mode Shot ile modun görüntülenmesi

3.4. Polarizasyon

Laser ışınıyla kesme cihazları, kesme yönüne bağlı olmadan eşölçülü ve yüksek kesme kalitelerine ulaşabilmek için bir polarizatörle donatılmıştır. Polarizatörün görevi, laser ışınının polarizasyonunu değiştirerek tüm yönlerde aynı özelliklere sahip olmasını sağlamaktır



Şekil 3.12. Polarizasyon (solda doğal ışık, sağda polarize ışık)

Dolayısıyla günümüz laserleri, lineer veya dairesel polarizasyonla ışınlar oluşturur. Lineer polarizasyonlu laser ışınıyla kesme işleminde, kesme yönüne bağlı olarak polarizasyon önüne paralel veya dik doğrultuda değişik etkiler görülmektedir. Kesme yarıkları, kesme yönüne bağlı olarak değişik şekillerde oluşabilmektedir (Şekil 3.13)



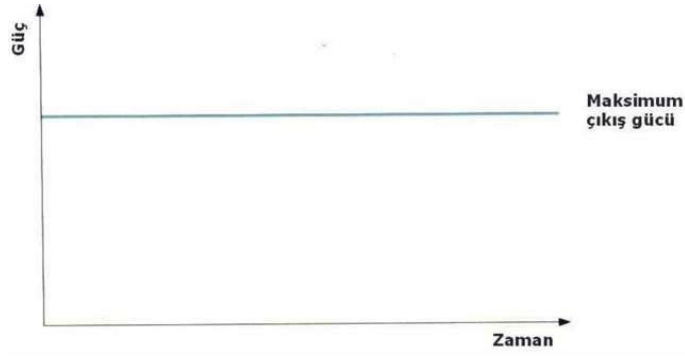
Şekil 3.13. Polarizasyon şeklinin yarık profiline etkisi.
(Polarizasyon yönüne 0° , 45° ve 90° açıyla; malzeme: St34; 1 kW CO₂)

Bu nedenle kontur kesme işlemlerinde de daha çok dairesel polarizasyonla ışın kullanılmaktadır. Son zamanlarda yapılan araştırmalar, dairesel polarizasyonla ışın ile lineer polarizasyona oranla daha yüksek kesme hızlarına çıkılabildiğini göstermektedir. Laser ışını ile kesmede en önemli gelişmelerden birisi, lineer polarizasyonu dairesel polarizasyona dönüştüren yansıtıcı optik elemanlar olmuştur. Lineer polarizasyonda kesme yönü ile polarizasyon birbirine dik olduğunda çapak oluşumu engellenememektedir. Bu yüzden optimum çözüm, lineer polarizasyonlu laserlerde ilave bir dairesel polarizatör konmasıdır. Işının polarizasyonu yönlendirmeyi çok etkileyebildiğinden bunun özellikle çalışma noktasına yakın olması gerekir. (Anık, Oğur ve Vural, 1996).

3.5 Sürekli Laserler

Yakut laseri darbeli ışın üretir. Bazı işlemler içinse sürekli ışın üreten laser türlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bunu sağlayabilmek için sürekli olarak enerji pompalanmalıdır; işgal edilme sayısının tersine çevrilmesi sürekli sabit olarak korunabilmelidir. Darbeli ışın üreten laserlerde atomlar, pompalama seviyesinden üst laser seviyesine düştüklerinde (Şekil 3.3) önemli bir miktarda ısı açığa çıkar. Böylesi bir durumu yenmek için Şekil 3.4'te verilen laser oluşum şemasına sahip elementlerin, etkin laser ortamları olarak kullanılması gerekmektedir. Böyle elementler kullanıldığı durumda, laser prosesi üst laser seviyesi ile alt laser seviyesi arasında oluşmaktadır. Herhangi bir foton laser ışınına katıldığında, bu fotonu yayan atom bir süre daha üst laser seviyesinde kalır ve daha sonra seviye alt laser seviyesine düşer. Uyarılmış yayını olası kılabilmek için alt ve üst laser seviyeleri arasında işgal edilme oranının tersine çevrilmesi gereklidir.

Çok atomlu sistemlerde (örneğin; boşaltma tüpündeki hidrojen atomlarında veya yakuttaki Cr atomlarında) işgal edilme sayısı normal olarak artan enerji ile azalır; yani temel enerji seviyesindeki atom sayısı diğer enerji seviyelerinden daha fazladır ve bir seviyenin işgal edilme sayısı, söz konusu seviyenin çıkış durumundan yüksekliği ile ters orantılıdır. Küçük bir enerji artışı bile işgal edilme sayısını fazlaca düşürür. (Karaarslan, 2009)



Şekil 3.14 Sürekli çalışma

3.6 Darbeli Laserler

Darbe ve durma zamanlı olarak iki bileşen ile çalışan laserlerdir. Darbe ve durma zamanları programlanmakta ve bunlar başlıca etkili parametreler olmaktadır. Bu parametrelerden, darbe frekansı ve ortalama laser gücü oluşmaktadır. Süper darbe çalışma türünde tek darbe gücü, sürekli dalga gücünün 4-5 katı değerine kadar artmaktadır. Uyanımın genliği her zaman %100'de kalmaktadır. (Karaarslan, 2009)



Şekil 3.15 Darbeli çalışma

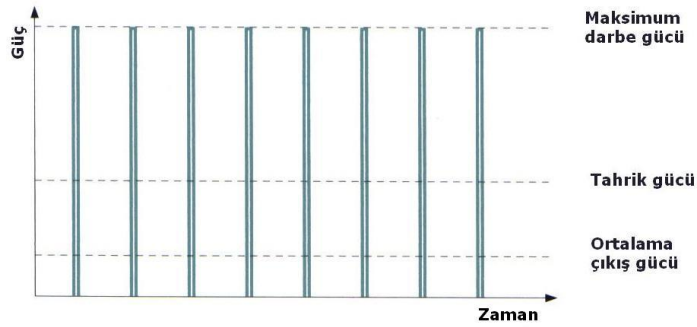
3.7 Q Şalteri

Q şalteri sayesinde endüstriyel malzeme işlemlerinde yüksek laser gücü elde edilebilmektedir. Olağandışı yüksek güç kısa sürelerde üretilebilirse (birkaç ns' de 10MW) kendiliğinden ve uyarılmış yayılım birlikte etkir. Böylesi bir durum Q şalteri ile sağlanabilmektedir. Q şalteri çalışma şekli, resonatörde ışın yolunun çok kısa süre ile engellenmesi sonucunda elde edilmektedir. Engellenen ışın daha sonra çok hızlı bir şekilde serbest bırakılmakta ve böylece olağan dışı kısa, yoğun ve 100kW' ın üzerinde bir darbe gücü oluşturmaktadır. (Karaarslan, 2009)



Şekil 3.16 Darbeli katı hal laserlarında güç – zaman grafiği

Şekil 3.16’ da görüldüğü gibi darbeli katı hal laserlarında maksimum darbe gücü, averaj çıkış gücünden çok daha fazla fakat tahrik gücünden azdır. (Buchfink, 2007)



Şekil 3.17 Dev darbeli katı hal laserı güç – zaman grafiği

Dev darbelerin yaratıldığı darbeli katı hal laserlarında maksimum darbe gücü tahrik gücünü aşar. (Buchfink, 2007)

3.8 Laser Türleri

3.8.1 Katı Laserler

Bu tür laserlerde uygun malzemeden yapılmış bir çubuk bulunur; bu çubugun uçları düz ve birbirine paralel olacak biçimde parlatılmış ve laser ışığının yansıyabilmesi için ayna ile kaplanmıştır. Çubugun yan çeperi saydamdır, böylece pompalayıcı lambadan gelen ışığın çubugun içine girmesi sağlanır. Pompalayıcı lamba darbeli çalışan bir gaz bosalmalı lamba (fotografçılıkta kullanılan elektronik flas lambasının benzeri) olabilir; bu lamba çubugun çevresine sarılmış olabileceği gibi, çubugun yanına boylamasına yerleştirilmiş ya da ışığının bir ayna aracılığıyla çubuga odaklanması sağlanmış olabilir. İlk laserda yapay bir gök yakut kristali (safir, alüminyum oksit) olan pembe yakut kullanılmıştır. Sonraları birçok toprak elementleri kullanılmıştır. En yaygın kullanılan element neodimdir. Bu tür laserden çok güçlü ışık çakımları biçiminde binlerce wattlık güçler elde edilebilir. (Çelik, 1998) Neodimli cam

laserleri yalnızca darbeli olarak çalışmaktadırlar. Bunların birbirlerinden oldukça farklı iki türü vardır;

- askeri uzaklık ölçümünde kullanılan küçük laserler ve plazmaları,
- çekirdek kaynaşmalarını incelemede kullanılan yüksek güçlü laserler. (Karaarslan, 2009)

YAG (Yttrium Alüminyum Garnet) neodime katkılanmış ve aynı dalga boyu üzerinden yayınım yapan bir yttriyum ve alüminyum grenasıdır. Bu cihaz sürekli ya da darbeli bir çalışmaya olanak sağlar. Erbiyum ya da holmiyum iyonları ile başka malzemeler üzerinde de çalışmalar yapılmıştır. (Karaarslan, 2009)

3.8.2 Gaz Laserler

Bu tür laserlerde etkin ortam çoğu kez bir gaz karışımından oluşur. Karışımındaki bileşenlerden biri, uyarımını çarpışmalarla diğerine aktarır. En yaygın olanları, güçleri zayıf (miliwatt düzeyinde) olmakla birlikte, helyum-neon laserleridir. Bu laserlerde yayınım çizgilerini veren neon gazıdır.

İyon laserleri, etkin malzemesi iyonlaştırılmış bir gaz olan gaz laserleridir. En yaygın olan argon laseridir. Argon atomları, bir elektrik boşalmasının elektronları ile çarpışarak iyonlaşır.

Karbondiyoksit (CO_2) laserinde CO_2 moleküllerinin temel elektron durumundaki titreşim - dönme geçişlerinden yararlanır. Gaz karışımı CO_2 , azot (N_2) ve helyumdan oluşur. Uyarma, azot moleküllerinden karbondiyoksit moleküllerine aktarılır. Sürekli ya da darbeli çalışabilir.

Karbondiyoksit laserlerinin %10 ila %15 arasında değişen yüksek bir verimi vardır. Maksimum güç. sürekli çalışmada 400 kW'dır. (Karaarslan, 2009)

Bazı kimyasal tepkimelerde laser etkisinin oluşmasına yeterli olacak sayıda yüksek enerjili atomlar ortaya çıkar. Örneğin, hidrojen ve flor elementleri hidrojen florür oluşturmak üzere tepkimeye girdiğinde ortamda bulunan CO_2 gazında laser etkisi oluşur. Bu tür laserlerde az miktarda kimyasal madde kullanılarak yüksek enerjiler elde etmek olanaklıdır. (Çelik, 1998)

3.8.3 Boyar Madde Laserler

Bazı organik boyarmaddeler florizma özelliği gösterir. Bir başka deyişle üzerlerine düşen ısıyı farklı bir renkte yeniden yayımlarlar. Atomlarının uyarılmış durumda bulunma süresinin çok kısa (saniyenin kesri kadar) olmasına ve yayımlanan ısıya dar bir bantta toplanmasının olanaklı olmamasına karşılık, boyarmaddelerin laserlerde kullanılmasının nedeni bunların

genis bir frekans bölmesi içinde ayarlanabilme özelliği göstermesidir. (Çelik, 1998)

Etkin ortam, sıvı çözelti halindeki organik moleküllerden oluşur. Bu moleküller görünür ya da morötesi ışıkla uyarıldıklarında 100 nm ya da daha büyük bir tayf oluştururlar. Özel düzenekler sayesinde (yansıtıcı Ag ve dağıtıcı prizma) yayılım dalga boyu seçilebilir ve ayarlanabilir laserler elde edilebilir. Bu tür laserlerde uyarılma kısa darbeleri flaş veya kısa dalga boyulu laser ışınması ile optik yolla yapılmaktadır. Her boyar maddeye özgü farklı bir alanın varlığı ve boyar maddenin kendi aralarında değişimlemleri sayesinde aynı cihaz 300mm' lik dalga boyundan büyük bir alanda yayılım yapabilir. (Karaarslan, 2009)

3.8.4 Yarı İletken Laserler

Yarı iletken laserde farklı türden katılanmış iki yarı iletken madde düz bir bitişim oluşturacak biçimde yan yana getirilmistir. Böyle bir aygıttan yüksek siddette bir elektrik akımı geçirilirse eklem bölgesinde laser ısıgı ortaya çıkar. Çıkış güçleri sınırlı olan yarı iletken laserler, maliyetlerinin düşüklüğü, boyutlarının küçük olması ve verimliliklerinin yüksekliği nedeniyle kısa erimli iletisimde (telefon, televizyon vb.) ve uzaklık ölçme aygıtlarında kullanılır. (Çelik, 1998)

3.8.5 Serbest Elektronlu Laserler

Bir hızlandırıcıdan çıkan yüksek enerjili elektron paketlerini evirici (bir manyetik alan üretmeye yarayan ve bir mıknatıs dizisinden oluşan düzenek) olarak adlandırılan bir dizi mıknatısın oluşturduğu sabit, yönü düzenli olarak değişen devinime sahip, elektromanyetik, bağdaşık, tek renkli ve şiddetli bir ışın kaynağı elde etmeye olanak verir. Elektron enerjileri ya da manyetik alanın dönemi değiştirilerek X ışınlarının dalga boylarından, uzak kızılötesinin boylarına kadar değişen dalga boyları elde edilebilir. (Karaarslan, 2009)

3.9 Endüstriyel Laser Türleri

Endüstriyel olarak kullanılan laser türleri, gaz laserleri ve katı laser olmak üzere genel olarak iki grupta toplanabilir. Özellikle malzeme işleminde (kaynak, kesme, kaplama, ısıl işlem, markalama vb.) kullanılan laser türleri, katı hal laser olan Nd:YAG ve gaz laserlerinden CO₂ laserleridir.

3.9.1 Nd:YAG Laseri

YAG, Yttrium Alüminyum Granat' ın kısaltılmış halidir. Bu laser türünde laser yayan eleman

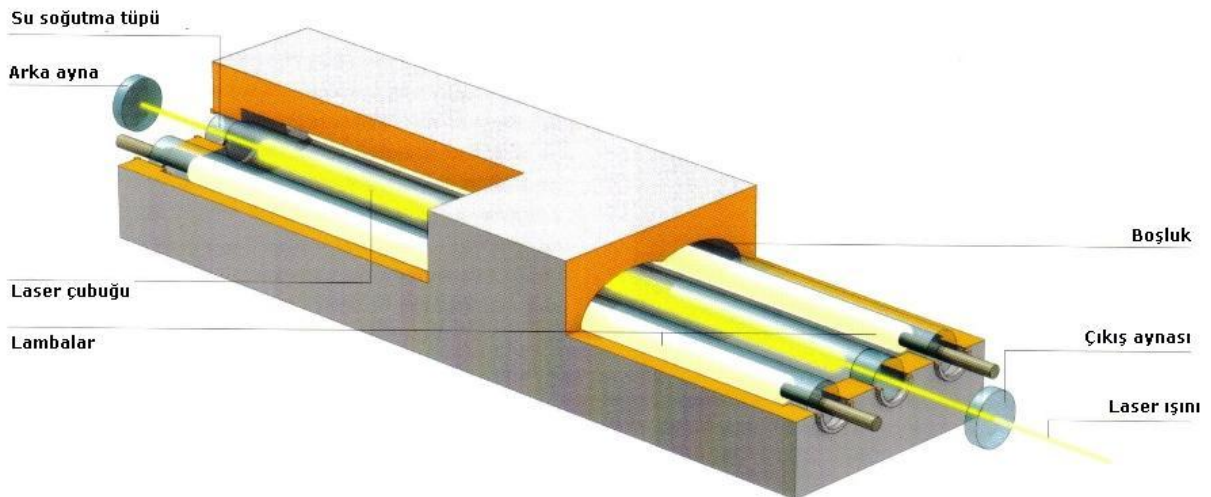
Neodimdir. Büyük güçlü (1 kW ve üzeri) Nd:YAG laserler, materyal işleme uygulamalarında en çok kullanılan katı hal laserleridir. Bu uygulamaların içine markalama, delik delme ve laser kaynak uygulamaları da dahildir. Bu laserlerin malzeme işleme uygulamalarında tercih edilme sebebi yüksek darbe tekrarlama hızlarına sahip olmalarındandır. Bu laser türünde, darbeli (impuls) laser üretmek için flaş lamba, sürekli laser üretmek içinse ark lambası ile uyarım yapılmaktadır. (Karaarslan, 2009)

Darbeli Nd:YAG laserlerin güç kaynakları sistemden maksimum ortalama gücü alabilecek şekilde tasarlanırlar. Düşük darbe tekrarlama hızında yüksek darbe enerjilerine sahiptirler. Yüksek darbe tekrarlama hızlarında aynı ortalama güç üretilebilir fakat darbe başına enerji daha düşüktür, örneğin, bir sistem, saniyede 20 darbe üreterek darbe başına 20 Joule veya 200 darbe üreterek darbe başına 2 joule verebilir. (Tarakçıoğlu ve Özcan, 2004)

Sürekli dalga Nd:YAG laserler ile birkaç miliwatt'dan oldukça yüksek kilowattlar mertebesinde güç değerlerini elde etmek mümkündür

3.9.1.1 Nd:YAG Laser Üretici

Nd:YAG laserinde bu malzemeden üretilmiş laser çubuk ile ışın elde edilir. Çubuğun boyu uzadıkça elde edilecek enerji artar. Çubuk boyları birkaç milimetre çapta ve 20 santimetre uzunlukta olabilir. 1kW lık laserde çubuk çapı 7mm iken 18cm uzunluğundadır. Rezonatörde laser çubuklarının uçlarında iki adet ayna bulunur. Çubuğun yan yüzeyleri de rezonatörün yan sınırlarını belirler. (Buchfink, 2007). Şekil 3.18' te örnek bir Nd:YAG laser üretici görülmektedir.



Şekil 3.18 Nd:YAG laser rezonatörü

Laser malzemesi iki yanda bulunan iki lamba ile uyarılır. Bu malzemeler yüksek yansıtma özelliği olan bir boşluk içinde bulunurlar. Lambalar her yönde ışık açığa çıkarır. Boşluğun kesiti lammbalardan gelen ışığı laser malzemesi üzerine en yoğun biçimde yansıtmak için iki elips şeklindedir. Elipsin 3 odak noktası bulunur. Dış iki odak noktasında lambalar dururken iç odak noktasında laser malzemesi bulunur. Bu sayede yansıyan ışık tekrardan malzeme üzerinden geçer.

Bu işlem sırasında lambalar ve laser çubuğu ısınır ve soğutulmaya ihtiyaç duyar. Bu malzemeler içersinden soğutucu suyun geçtiği borularla çevrilidir.

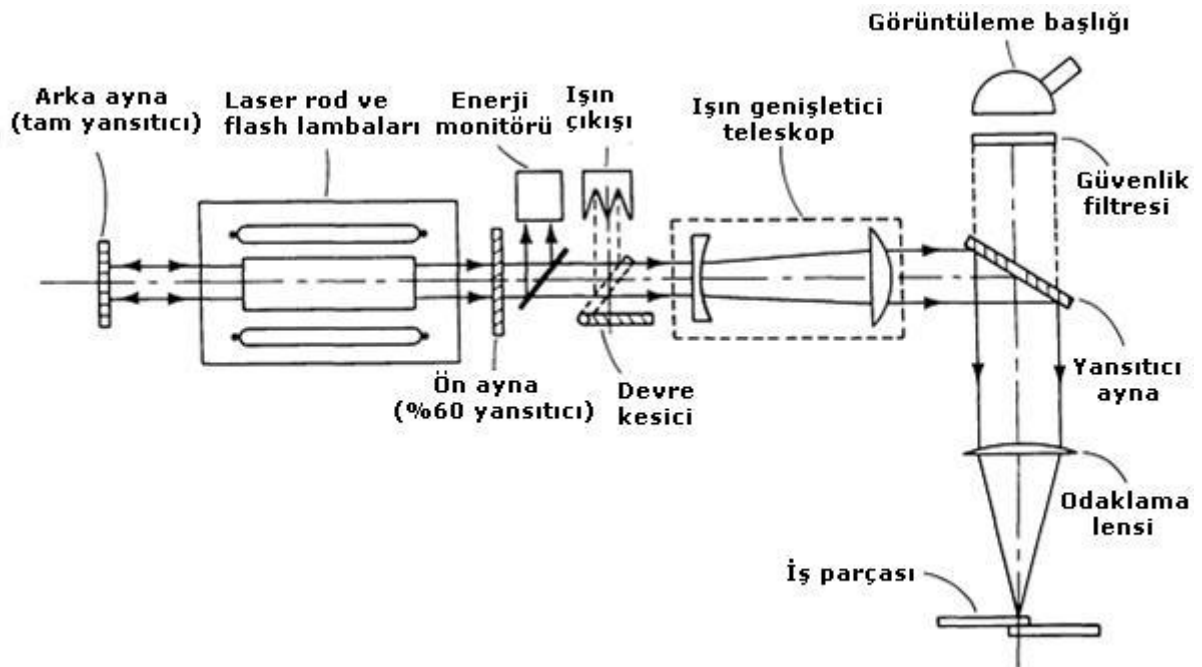
Nd: YAG laserleri darbeli ve sürekli olarak çalışabilirler. Oluşan laser ışını genellikle çoklu modda olur. (Buchfink, 2007)

3.9.1.2 Nd:YAG Laserında Işının Taşınımı

Nd:YAG laserlarında elde edilen laser ışını fiber optik kablolar ile kolayca taşınır.

Laser ışını rezonatörü terk eder etmez fiber optik kabloların içersine geçer. Bir kere kablo içersine geçtikten sonra hiç bir güç kaybı olmadan 100 metreden fazla mesafelere iletilebilir.

Fiber optik kablolar 3 katmandan meydana gelir. Laser ışığı çapı 100 ila 600 mikrometre aralığında değişen çekirdek üzerinden hareket eder. Bu çekirdeğin üzeri laserin dışarı çıkışını engelleyen bir kılıfla kaplıdır. Koruyucu plastik kaplama ise hassas ve kırılğan olan fiber çekirdeğin kırılmasını engelleyerek şekillendirilebilmesine yardımcı olur. Laser ışını fiber çekirdek üzerinde kılıf içersinde yansıyarak yoluna devam eder. (Buchfink, 2007)

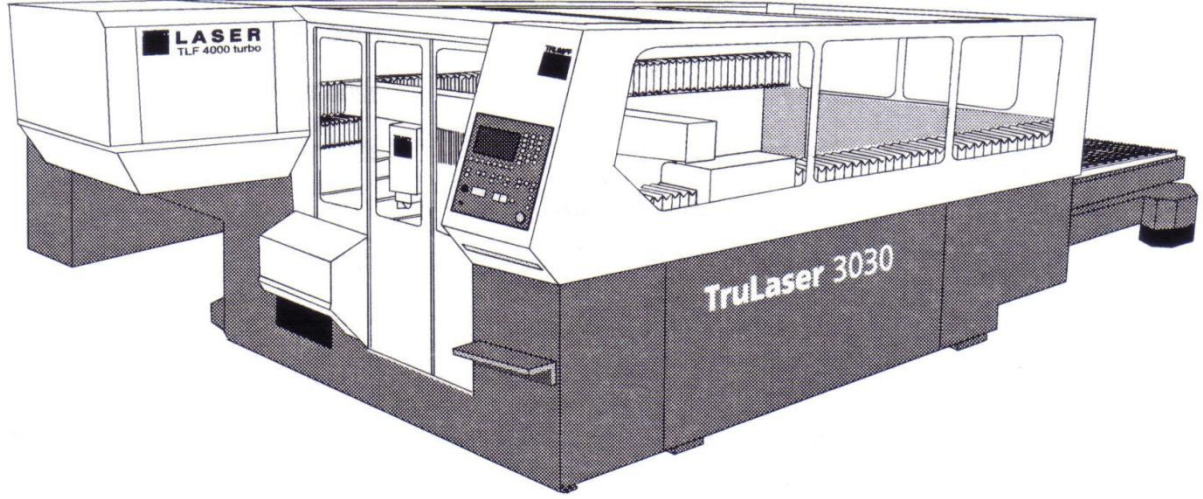


Şekil 3.19 Nd:YAG laser tezgahının şematik gösterimi

3.9.2 Karbondioksit Laseri

3.9.2.1 Karbondioksit Laser Tezgahının Genel Yapısı

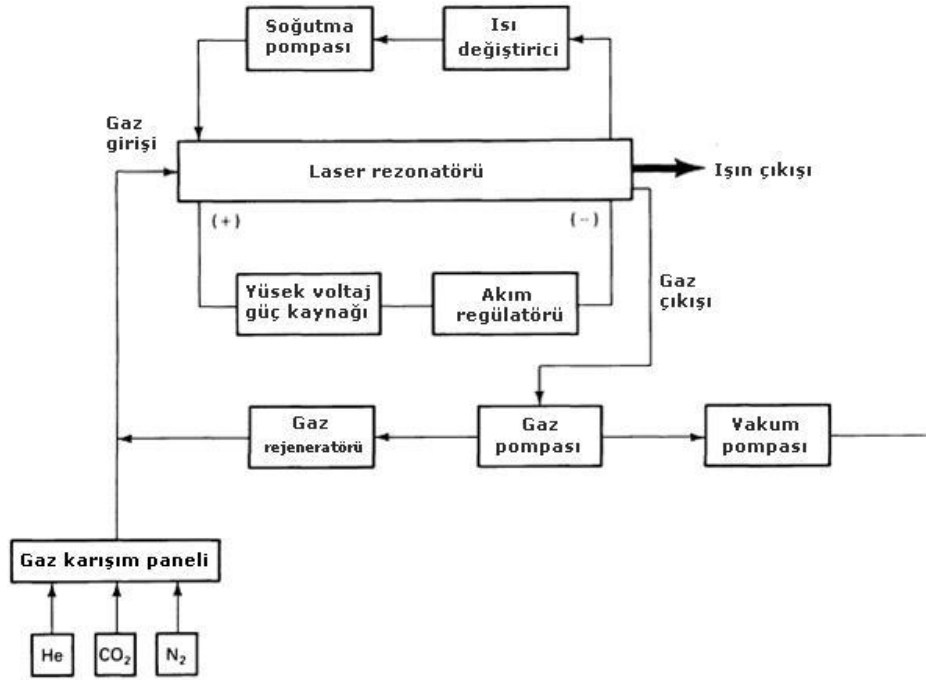
ŞEKİL 3.20’ de örnek bir laser tezgahının genel görünüşü görülmektedir.



Şekil 3.20 CO₂ laser tezgahının genel görünüşü

Laser ışını elektrik enerjisi, soğutma ve kesme gazı ünitesi bağlı olan laser ışını üreticinde (rezonatör) üretilir. Bu üreteçlerde elektrik, kimyasal, optik veya nükleer kaynaklardan elde edilen enerji, özel frekansta bir elektromanyetik ışına dönüştürülür.

CO₂ laseri endüstriyel uygulamalarda en yüksek ortalama çıkış gücüne sahip moleküler gaz laseri sistemidir.



Şekil 3.21 CO₂ laser tezgahının şematik gösterimi

3.9.2.2 CO₂ Laser Üretici

Laser tezgahının en önemli parçası kuşkusuz laser üretici, diğer adıyla resonatörüdür. Resonatör özetle her ikiside küresel yapıda olan, biri tam yansıtıcı diğeri kısmi geçirgen iki aynadan meydana gelir.

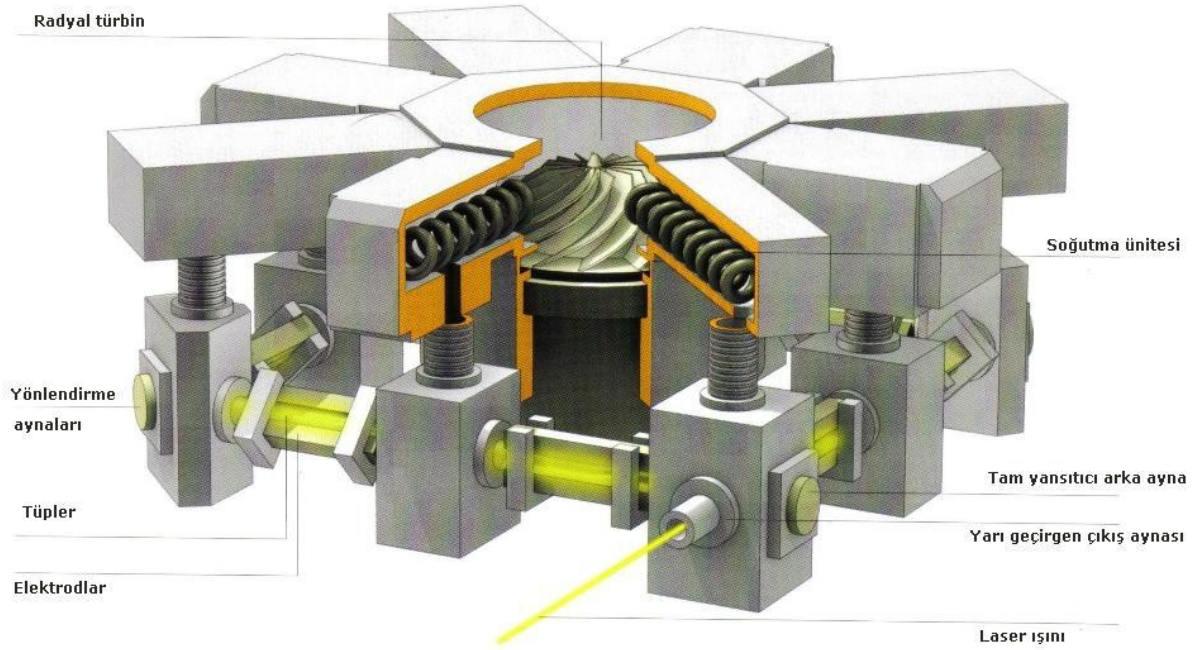
Tabiki bütün laser eşit şartlarda yaratılmamıştır. Bugün birçok farklı laser dizayn konseptleri vardır. Bir resonatör dizaynında en önemli 4 faktör şöyle özetlenebilir.

- Laser gaz karışımı: CO₂ He ve N₂ gazlarının karışımındaki oranları laser prosesi üzerinde etkindir. Etkin gaz karışımı %5,5 CO₂, %29 N₂ ve %65,5 He olarak tespit edilmiştir.
- Resonatörün şekli ve büyüklüğü: Resonatör laser gazını içeren bir boşluktur. Bu boşluğun hacminin artması elde edilecek laser gücünün büyüklüğünün artması anlamına gelir. Resonatörün şekli ise olası çalışma modlarını belirler.
- Pompa kaynağı: direk akım veya yüksek frekanslı alternatif akım laser gazını pompalamak için enerji kaynağı olarak kullanılabilir.
- Soğutma: Laser gazı etkili derecede soğutulmalıdır. Çünkü gaz işlem sırasında önemli derecede ısınır. Laser operasyonu 200 – 300 derece santigrad arasında gerçekleşemez. Bunun için laser gazı sürekli olarak akışkan gaz veya difüzyon ile soğutulur.

Soğutma tipine göre sınıflandırırsak 2 tür CO₂ laser üretici söyleyebiliriz. (Buchfink, 2007)

3.9.2.2.1 Sürekli Gaz Dolaşımı ile Soğutulan CO₂ Laser Üretci

Şekil 3.22’ de görülen kare dizaynlı kompakt rezonatör konfigirasyonuna bağlı olarak 20 kW gücünde laser ışını üretebilecek bir üretectir.



Şekil 3.22 Kare dizaynlı sürekli hava soğutmalı CO₂ laser üretci

Bu tip üretelerde laser gazı kuartz cam tüplerde bulunur. Elektrodlar cam tüplerin dışına temas olmaksızın laser gazını enerjilendirir. Bu tüplerin uzunluğu üretmek istenen güç ile doğru orantılı olarak artar. Kırma aynaları kare dizaynlı rezonatörde cam tüplerin oluşturduğu kare şekli ışını yönlendirerek optik olarak tamamlar. Arka ayna ve çıkış aynası ise rezonatörü tamamlar.

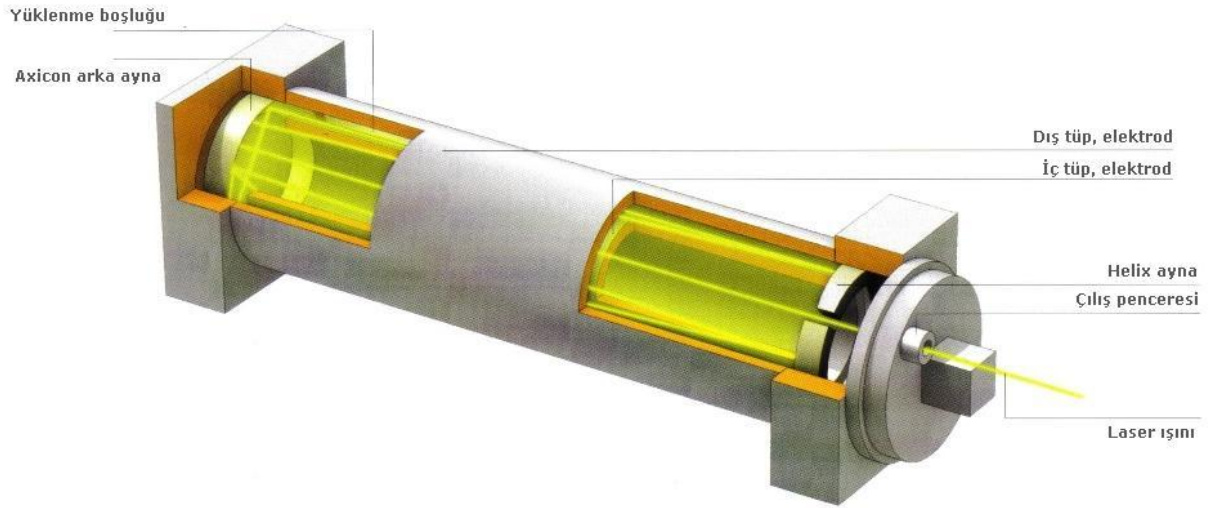
Üretcin ortasında düşey türbin devamlı olarak laser gazını sistemde çevirir. Gaz tüplerin içersine köşelerden girer ve orta bölümlerden sistemden çıkar. Bu sırada su soğutmalı ısı değıştiriciler vasıtasıyla gazın soğutma işlemi gerçekleşir.

Sistem içersindeki gaz karışımı gaz karıştırıcı düzenek ile sağlanır. Vakum pompası 100 hektopaskal olan çalışma basıncını sağlar

Bu tip üretelerde üretilen laser ışını dairesel bir kesite sahip olup yüksek kalitededir. Işın modu ise tüplerin boyu ve aynalar ile şekillenir. Gaussian modu, çember mod ve çoklu mod bu tip rezonatörler ile elde edilebilir. (Buchfink, 2007)

3.9.2.2.2 Difüzyon Soğutmalı CO₂ Laser Üretici

Bu tip rezonatörlerde laser gazının soğutulması, gazın ısınıpı direkt olarak rasonatör çerperlerine iletmesi ile sağlanır. Bu yöntemin etkili olabilmesi için rezonatör duvarları ile mesafenin mümkün olduğuna az olması, bu duvar yüzeyinin mümkün olduğunca geniş olması gereklidir. Bu esnada yüksek laser güçlerine ulaşabilmek için yüksek miktarda laser gazına ihtiyaç duyulur. (Buchfink, 2007)



Şekil 3.23 Difüzyon soğutmalı laser üretici

Rezonatör iç içe geçirilmiş su soğutmalı iki metal tüpten meydana gelir. Laser gazının pompalanması bu iki tüp arasındaki boşlukta gerçekleşir. Tüplerin çerperleri hem soğutma yüzeyleri olarak hem de elektrod olarak işlev görür. Tam yansıtıcı arka ayna rezonatörün sonunda bulunur. Bu ayna axicon adı verilen konik bir aynadır ve çarpan ışını dairesel kesite dönüştürür. Bunun sebebi gelen ışınları iki tüp arasındaki dairesel boşluğa yönlendirmektir. Diğer uçta bulunan heliks ayna ise gelen ışını kırarak ileri geri tekrar tekrar yansıtır. Bu sayede rezonatör içinde sabit bir radyasyon alanı oluşur. Heliks ayna üzerinde bulunan açıklık oluşan laser ışınının dışarı çıkışını sağlar.

Rezonatörü terk eden laser ışını çembersel bir kesite sahip olur. Bu tip laser ışını malzeme işleme için yeterli derecede odaklanamaz ve kontrol edilemez. Bu yüzden ışın hala rezonatör içindeyken yuvarlak bir kesit kazanmalıdır. Rezonatör içindeki silindirik aynalar ile bu işlem gerçekleştirilir.

Bu tip rezonatörler kompakt dizaynları, yeterli güç üretimleri ve yüksek ışın kaliteleri ile son yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. (Buchfink, 2007)

3.9.2.3 CO₂ Laserinde Laser Işınının Taşınım ve Odaklanması

3.9.2.3.1 Laser Tüpleri

Laser ışını oluştuktan sonra laser tüpleri içersinde kalarak yoluna devam eder. Borunun içersinden akan su örneğini göz önüne alırsak bundan farklı olarak laser ışını kendisini saran tüpün çeperlerine dokunmadan hareketine devam eder. Bu boruların temel 2 işlevi kullanıcıları laser ışınının zararlarından korumak ve oluşan laser ışını yağ, toz gibi tüm dış şartlardan uzak tutarak saflığını bozmadan kesme kafasına ulaştırmaktır. (Buchfink, 2007)

2.9.2.3.2 Teleskop

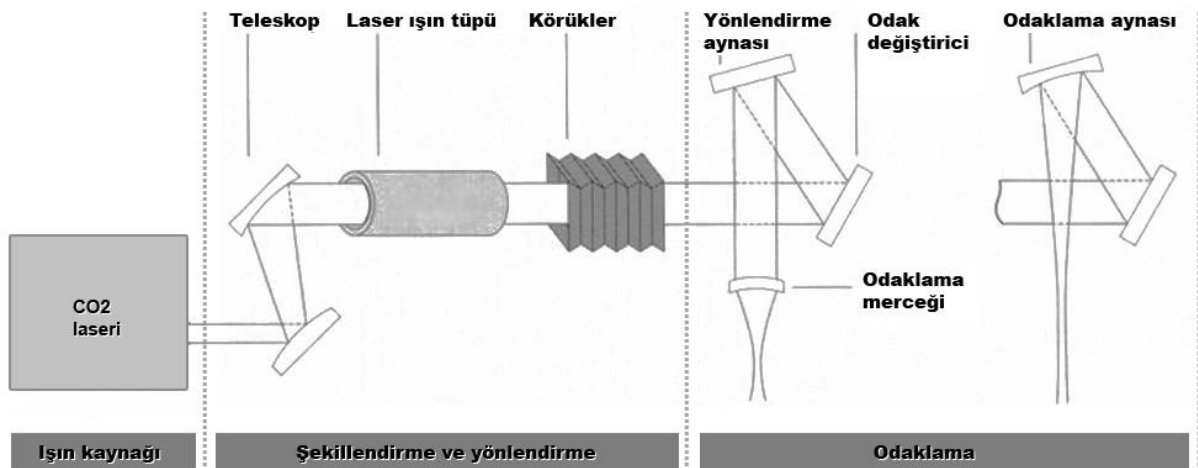
Işın teleskobunun görevi, içbükey ve dışbükey aynalarla yansıtarak, ışın çapını büyütmek ve bu sayede daha kolay yönlendirebilirliği sağlamaktır.

2.9.2.3.3 Körükler

Makina ekipmanları hareket halinde olduğu için laser ışınının katettiği yol değişir. Bu nedenle gerektiğinde uzayarak ve sıkışarak çalışan bu körükler, gerekli yerlerde rijit laser tüplerinin yerine kullanılır. (Buchfink, 2007)

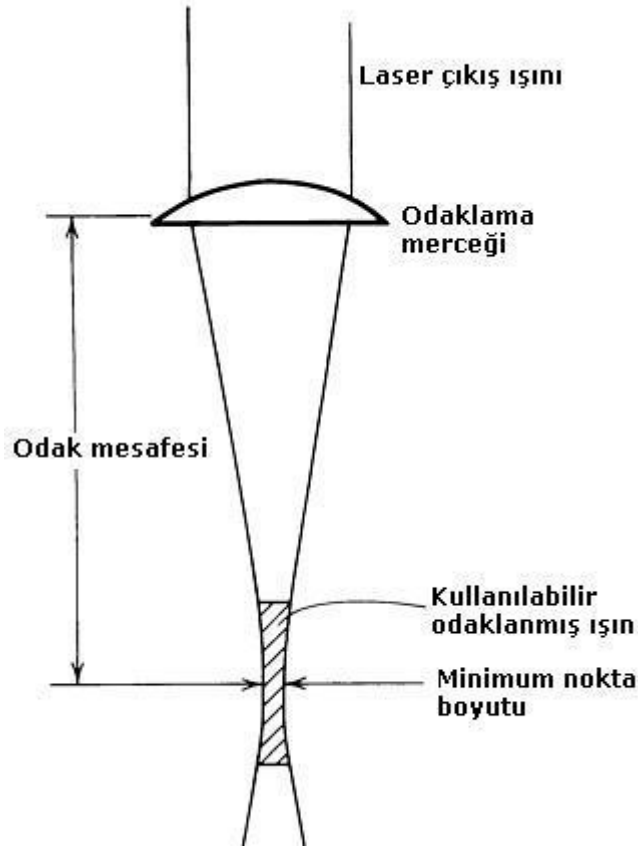
2.9.2.3.4 Odak Değiştirici Ayna

Işın taşınımında önemli sorunlardan biri işlem optikleri ile odak arasındaki mesafenin değişimini kontrol edebilmektir. Hareket halindeki parçalar sonucu ışın dağınık ve bu laser ışınının odak noktasının sabitliğini engeller. Bu sorun uyarlanabilir aynalar ile giderilmiştir. Bu aynaların içlerinden geçen soğutma suyunun basıncı değiştirilerek mikrometre derecelerinde şekil değiştirmesi sağlanır ve bu sayede hem bu sapmalar engellenir hemde iş parçası üzerinde odak noktasını 30mm ye varan mesafelerde değiştirebilir. (Buchfink, 2007)



Şekil 3.24 CO₂ laser tezgahında ışının taşınımı ve odaklanması

Laser ışını taşınımının sonunda işlem merceğine ulaşır. İşlem merceği, çeşitli parametreler ile laser ışını farklı işlemlerde kullanılabilir bir takıma dönüştürür. Odak çapı, kullanılabilir odaklanmış ışın ve odak mesafesi her bir işlemde farklılık gösterir.



Şekil 3.25 Odaklanmış ışın geometrisi

3.10 Laser ile Kesme

Kesme en bilinen laser uygulamalarından biridir. Laserler kesme uygulamalarında ilk olarak 1970 lerin başlarında kullanılmaya başlanmıştır. Bu laserlar 200W ile 500W arasında değişen CO₂ laserlarıdır. Takip eden yıllarda bu işlem endüstriyel üretimin önemli bir parçası haline gelmiştir.

Sac metal işleme bu uygulamanın en önemli alanıdır. Bunun yanında profil ve boruların işlenmesinde de klasik yöntemlere göre önemli avantajları vardır. Bunun yanında laserler plastik, cam, seramik, ahşap, kağıt gibi çok çeşitli malzemelerin kesilmesinde

kullanılmaktadır.

3.10.1 Laser ile Kesmenin Prensibi

Odaklanan laser ışınının parça üzerinde çarptığı bölge malzemenin erimesi veya buharlaşmasına sebep olur. Laser ışını parçayı deldikten sonra, kesme işlemi başlar. Laser ışını parça hatları boyunca malzemeyi eriterek ilerler. Bu işlem esnasında eriyen malzemeyi uzaklaştırmak için yardımcı basınçlı bir gaz jeti uygulanabilir. Laser ışını kesilen parça ile ana malzeme arasında yaklaşık olarak odaklanmış ışın çapı kadar bir boşluk yaratır. (Buchfink, 2007)

Laser ile kesme işlemi diğer kesme yöntemleriyle karşılaştırıldığında, kesme ağız genişliği ve ITAB bölgesinin genişliği arasında Çizelge 3.1’ de görüleceği gibi ciddi farklar vardır.

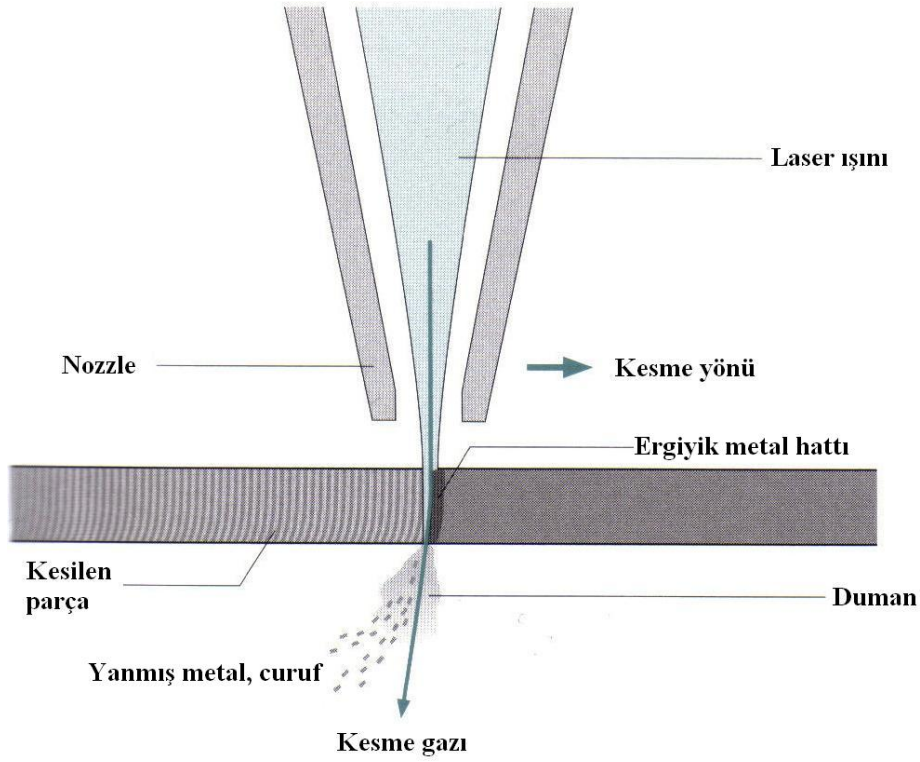
Çizelge 3.1– Termik kesme işlemlerinde kesme aralığı ve ITAB genişliği

	Oksijen ile kesme	Plasma ile kesme	Laser ile kesme
Kesme aralığı	1mm	1,5mm	0,4mm
ITAB genişliği	3,2mm	0,24mm	0,06mm

3.10.2 Laser ile Kesme Yöntemleri

3.10.2.1 Laser ile Alevli (Yakarak) Kesme

Yakarak kesme yumuşak çeliklerin kesilmesinde genel olarak standart işlemdir. Bu işlemde yüksek saflıkta oksijen kesme gazı olarak kullanılır. Oksijen yaklaşık 6 bar basınçta laser ışını ile birlikte malzeme üzerine üflenir. Burada ısınan metal oksijen ile reaksiyona girerek yanar ve oksitlenir. Buradaki reaksiyon yüksek miktarda (laserin enerjisinden yaklaşık olarak 5 kat fazla) enerji açığa çıkar ve bu enerji laser ışınına yardımcı olur. Yakarak kesme yüksek hızlarda kesme işlemine ve ince plakalardan 30mm kalınlığındaki sacların kesilmesine olanak sağlar. (Buchfink, 2007)



Şekil 3.26 Lazer ışını ile alevli kesme

Bu işlemin olumsuz yanı kesilen parçanın kesme yüzeylerinde meydana gelen oksit tabakasıdır. Parçanın boyama veya kaplama işlemine tabi tutulabilmesi için bu oksit tabakasının kaldırılması gereklidir.

3.10.2.2 Lazer ile Ergiterek Kesme

Ergiterek kesme metaller için bir diğer standart kesme yöntemidir. Bunun yanında seramik gibi diğer malzemelerin kesilmesinde de kullanılır. Bu yöntemde kesme gazı azot veya argondur. Bu gaz odaklanan ışın ile birlikte 2-20 bar arasında değişen basınçlarda malzeme yüzeyine gönderilir. Bu gazların inert yani tepkimeye girmeyen gazlar olması dolayısı ile eriyen metalle tepkimeye girmezler ve sadece ergiyik malzemeyi ortamdan uzaklaştırırlar. Bu esnada kesme yüzeyinin hava ile reaksiyona girmesine de engel olurlar.

Azot titanyum hariç tüm metallerin kesilmesinde kullanılabilir. Titanyumun yapısı gereği oksijen ve azotla tepkimeye girmesi dolayısı ile bu malzemenin kesilmesinde argon kullanılır.

Ergiterek kesmenin en büyük avantajı kesme yüzeylerinin oksit tabakasıyla kaplı olmaması ve dolayısıyla ek bir işleme gerek kalmamasıdır. Bunun aksine yöntemin dezavantajı ise kesme enerjisinin tümünün lazer ışını tarafından karşılanmasından dolayı yakarak kesme ile ulaşılan hızlara anca ince sacların işlenmesinde ulaşılabilir. (Buchfink, 2007)

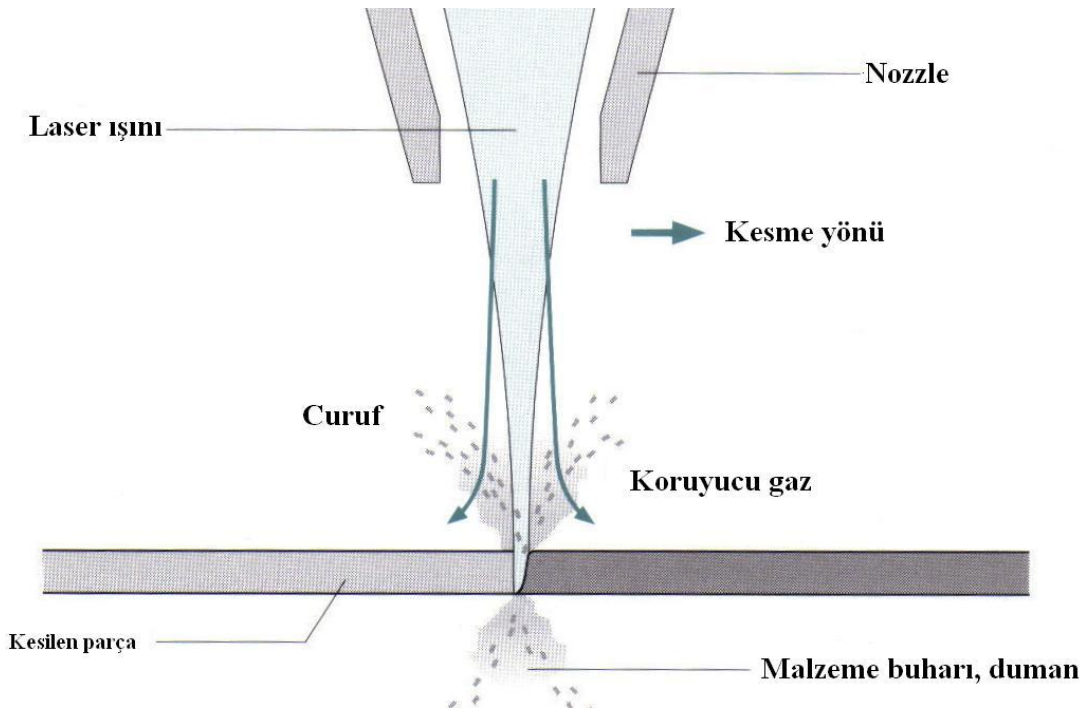
3.10.2.3 Laser ile Süblimleştirerek Kesme

Bu yöntem laserin işlenen malzemeyi mümkün olan en az miktarda eriterek doğrudan buharlaştırması temeline dayanır. Kesme bölgesinde oluşan malzeme buharı eriyik malzemeyi ortamdan uzaklaştırır.

Proses gazı olarak azot, argon veya helyum kullanılabilir. Bu gazlar kesme yüzeyini oksit tabakası oluşumundan korur. Bu sebeple genel olarak 1-3 bar arası gaz basıncı kullanılır.

Malzemeyi buharlaştırmak için eritmek için gerekli olandan daha fazla güce ihtiyaç vardır. Bu sebeple süblimleştirerek kesme işlemi için daha yüksek laser güçleri gerektirir ve diğer yöntemlere oranla daha yavaştır. Bunun yanında çok yüksek kesme yüzey kalitesi verir.

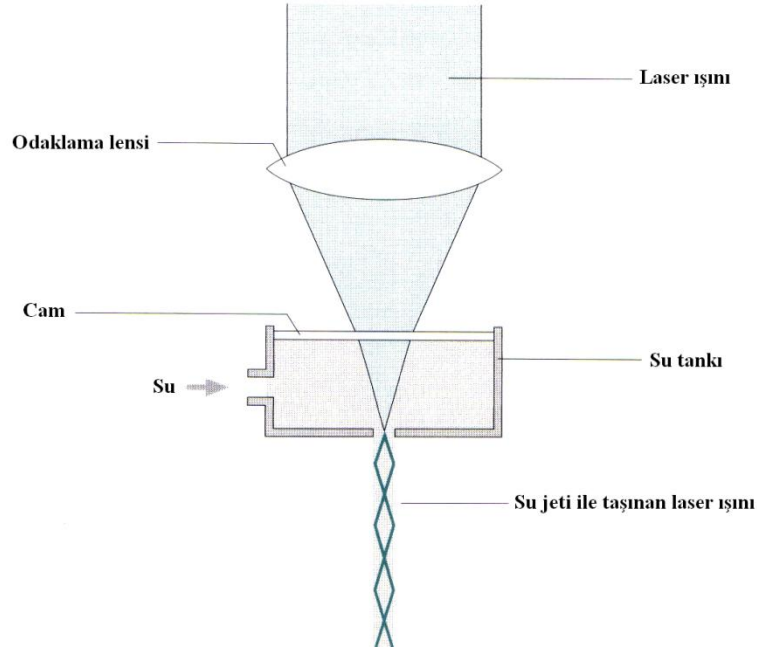
Bu kesme işlemi katı-ergiyik geçiş fazı tam belirgin olmayan veya ergiyik halde çok dar sınırlarda kalan tahta, kağıt, seramik ve plastik gibi malzemelerin kesilmesinde kullanılır. (Karaarslan, 2009)



Şekil 3.27 Laser ışını ile süblimleştirerek kesme

3.10.2.4 Mikrojet ile Kesme

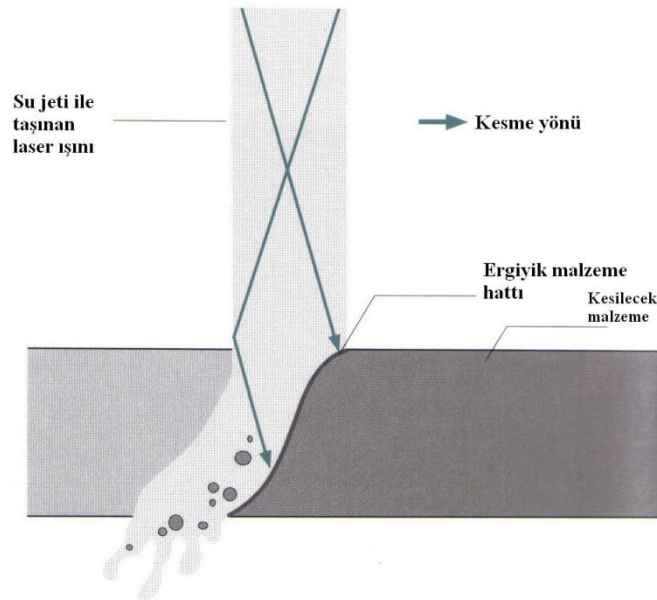
Mikrojet teknolojisi gaz yerine su kullanılan özel bir kesme teknolojisidir. Odaklanan laser ışını su jetiyle birlikte malzemeye gönderilir. Su jeti laser ışınını fiber optik kabloların laser ışınını yönlendirdiği gibi yönlendirir. Havayla temas ettiğinde laser ışını su jetinin içinde yansıyarak havaya karışmaz.



Şekil 3.28 Laser ışını ile su jeti kesme

Laser ışını parçaya temas ettiğinde parçayı eritir veya aşındırır. Bu noktada suyun birkaç görevi vardır. Suyun büyük bir bölümü kesme bölgesine girer ve ergiyük metali uzaklaştırır. Bu esnada su ayrıca kesme bölgesini soğutur. Böylece parçaya çok az ısı geçisi gerçekleşir. Suyun kesme bölgesine girmeyen diğer kısmı ise parça yüzeyine yayılarak sıçramalara karşı koruyucu bir tabaka olarak görev alır.

Su/laser ışınının çapı 20 ile 150 mikrometre arasında değişir. Bu değer çok iyi odaklanmış saf laser ışınının çapı kadar küçüktür. Bunun yanında ek avantajı laser ışınının sujetinin içerisinde olması dolayısıyla Şekil 3.29’ da görüldüğü gibi uzaklaşmamasıdır. (Buchfink, 2007)



Şekil 3.29 Laser ışınının su jeti içersindeki hareketi

Bu yöntemle kesme işlemi özellikle yarı iletkenlerde, bilgisayar çipleri, dokunmatik ekranlar, medikal implantlar gibi küçük ve karmaşık parçaların kesilmesinde kullanılır.

3.10.3 Malzemelerin Laser ile Kesilebilme Kabiliyetleri

Hemen hemen tüm metaller laser ile kesilebilir. Fakat bazı metallerin kesilebilme şartları diğerlerine oranla daha zordur.

3.10.3.1 Çelikler

Tüm karbonlu ve alaşımlı çelikler 20mm aşan kalınlıklarda oksijen yardımcı gazıyla kesilebilir. Bu malzemelerin kesilmesinde laser gücü iki kat arttırıldığında kesme hızları %50 oranında yükselir. Kesme bölgesinin genişliği 0,1mm ve ITAB genişliği yaklaşık olarak 0,1 – 0,3 mm aralığında değişir. Kesme yüzeyleri düz, pürüzsüz olur. Oksijen ile kesme sonucu kesme yüzeylerinde oksitlenme meydana gelir. 4mm' ye kadar olan kalınlıklarda kesme işlemi azot gazı ile de yapılabilir fakat bu işlem oksijen ile kesmeyle kıyaslandığında daha yavaş gerçekleşir.

Yüksek karbonlu çeliklerin kesilmesi daha geniş ve daha sert ITAB bölgesi meydana getirmesine rağmen iyi kesme sonuçları verir. Alaşım elementlerinin fazlalığı kesme bölgesinde yanmalara sebep olabilir.

Takım çeliklerinin laser ile kesilmesinde de benzer durumlar söz konusudur. (Handbook Committee, 1993)

3.10.3.2 Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çelik malzemeler laser ile kolayca kesilebilir. Fakat kesme hızları alaşım elementlerinin oksijenle etkili olarak reaksiyona girmemesi sebebiyle daha düşük olur. Kesme işleminde azot kullanımı kaynağa hazır yüzeyler, oksitlenmenin olmaması ve daha hızlı kesme sonuçları elde etme açısından önemlidir. Kesme işleminde ITAB genişliğinin çok dar olması sebebiyle paslanmaz çelikler korozyon dirençlerini kesme işlemi sonucunda korurlar. (Handbook Committee, 1993)

3.10.3.3 Alüminyum Alaşımları

Alüminyum alaşımları yüksek ısı iletkenlik ve kızılötesi dalga boylarındaki yüksek yansıtma özellikleri dolayısı ile 6mm kalınlıklara kadar laser ışını ile kesilebilirler. Bu özelliklerinden dolayı küçük odak noktası ve yüksek güç sağlayan gaussian mod ile kesilmeleri daha uygun olur. Ergiyen malzemenin uzaklaştırılması için yüksek basınçta azot gazı kullanılır. Kesme

hızları paslanmaz çeliğin kesilmesi ile kıyaslandığında %25 oranında daha yavaştır. Kesme işlemi sonucunda meydana gelen çapaklar kolayca temizlenebilir. (Handbook Committee, 1993)

3.10.3.4 Bakır , Bronz ve Pirinç

Bu malzemelerin ısı iletkenlik ve yansıtma özellikleri alüminyumdan daha fazla olduğu için laser ile kesilmelerinde limitli kalınlıklar ve hızlar ile işlem yapılabilir. 6mm kalınlık üst limittir ve kesme hızları son derece düşüktür. (Handbook Committee, 1993)

3.10.3.5 Titanyum

Titanyum 7mm kalınlığa kadar, oksitlenmeyi engellemek için azot gazı kullanılarak kolayca kesilebilir. Kesme işleminde oksijen de kullanılabilir fakat titanyumun oksijenle çok güçlü reaksiyona girmesi sebebiyle yüksek besleme hızlarında kullanılması uygundur. (Handbook Committee, 1993)

3.10.3.6 Metal Dışı Malzemeler

Çoğu metal dışı malzemenin kesilmesinde de aynı teknikler kullanılır. Malzemenin kesilebilmesi, kesilecek malzemenin laser ışını ne kadar absorbe ettiği ve bu ışın tarafından ne derece buharlaştırılabildiğine bağlı olarak belirlenir. Çeliklerin kesilmesinde olduğu gibi bir oksitlenme reaksiyonu gerçekleşmediği için, yardımcı gaz buharlaşan malzemeyi uzaklaştırmakta kullanılır.

Akrilikler 50mm' yi geçen kalınlıklarda kolayca kesilebilir ve kesme sonucu düzgün kesme yüzeyleri elde edilir.

Kuartz ve cam 5mm ye ulaşan kalınlıklarda laser ile kesilebilir.

Elektronik alanında yoğun olarak kullanılan seramiklerin kesilmesi içinde laser kesme tercih edilen bir yöntemdir. 1mm kalınlık için 0,5 m/dk hızında yapılan kesme işlemi ile çok düzgün yüzeyler elde edilebilir.

Ahşap malzemeler 25 mm' den fazla kalınlıklarda rahatça kesilebilir. Kesme bölgesi düz olur fakat siyah bir renk alır. (Handbook Committee, 1993)

3.10.4 Laser ile Kesme Parametreleri

Laser ışını ile kesme yönteminde kaliteli kesme elde edilebilmesi için birçok parametrenin optimize edilmiş olması çok önemlidir. Bunların bazıları laser ve makina teknik parametreleri

kimisi de değişkenlerdir.

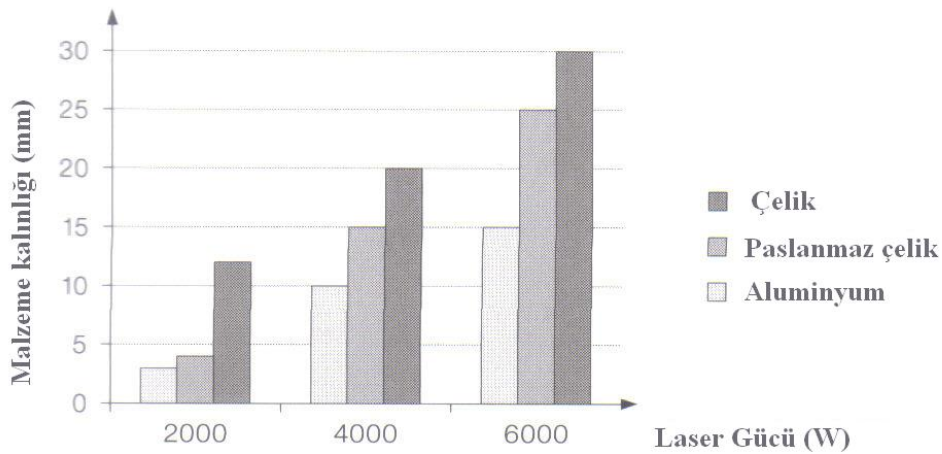
3.10.4.1 Laser Gücü

Laser ışınının gücü, malzeme cinsi ve kalınlığı göz önüne alınarak ayarlanır. Örneğin metal bir plakayı kesmek için gerekli enerji plastiği kesmek için gereken enerjiden çok daha fazladır. (Buchfink, 2007) Kesilebilecek maksimum malzeme kalınlıkları laserin gücüyle orantılıdır. Daha kalın malzemelerin kesilmesi daha fazla laser gücüne ihtiyaç duyar. Çizelge 3.2’ de farklı laser güçleri için kesilebilecek maksimum malzeme kalınlıkları gösterilmektedir. (Trumpf, 2006)

Çizelge 3.2 Farklı laser güçleri ile kesilebilecek maksimum kalınlıklar

		2000 W	2700 W	3200 W	4000 W
Malzeme	Kesme tipi	Max malzeme kalınlığı	Max malzeme kalınlığı	Max malzeme kalınlığı	Max malzeme kalınlığı
Yumuşak çelikler	Oksijen	12	15	20	20
	Basınçlı hava	2	3	3	3
Paslanmaz çelikler	Nitrojen	4	6	12	15
	Basınçlı hava	3	3	3	3
Aluminyum	Nitrojen	3	5	8	10
	Basınçlı hava	1	1	2	2

Şekil 3.30’ da alüminyum alaşımları, paslanmaz çelik ve yapı çeliğine bağlı olarak kesilebilecek malzeme kalınlığı ve gerekli laser gücü görülmektedir.

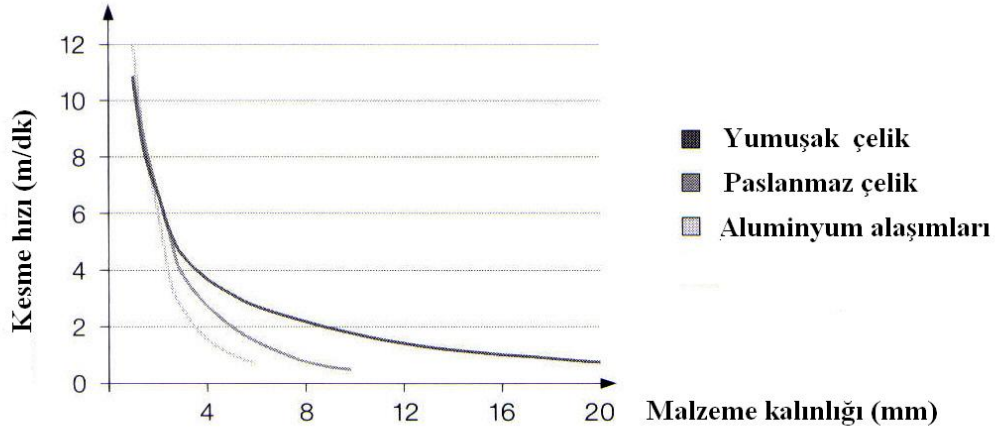


Şekil 3.30 Farklı laser güçlerinde kesilebilen maksimum malzeme kalınlıkları

Laser ışınının gücü, kesme esnasında kontrol ünitesinin panelinden % ve W olarak ayarlanabilir. (Trumpf, 2007)

3.10.4.2 Kesme Hızı

Kesme gücü ile kesme hızının etktam olarak birbirleriyle eşleşir. Çok yüksek veya çok alçak kesme hızları, kesme yüzeylerinde yüzey pürüzlülüğünü ve çapak oluşumunu arttırır. Genel olarak sabit laser gücünde malzeme kalınlığı arttıkça kesme hızı düşer. (Trumpf, 2007)



Şekil 3..31 4000W lık laser tezgahında kesme hızı – malzeme kalınlığı grafiği

Değişken laser güçlerinde ise artan laser gücüne bağlı olarak kesme hızları da artış gösterir. (Trumpf, 2006)

Çizelge 3.3 1mm kalınlık için maksimum kesme hızları

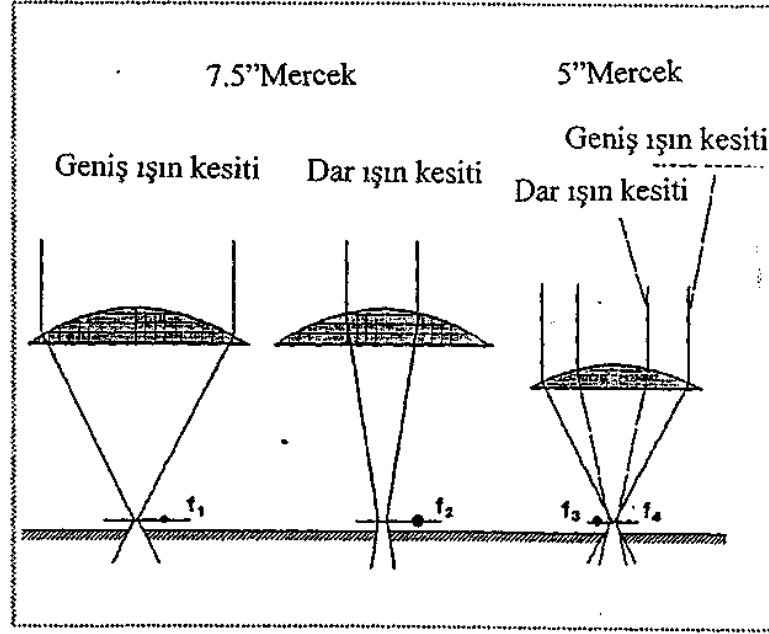
		2000 W	2700 W	3200 W	4000 W
Malzeme	Kesme tipi	Max. kesme hızı (m/dk)	Max. kesme hızı (m/dk)	Max. kesme hızı (m/dk)	Max. kesme hızı (m/dk)
Yumuşak çelikler	Oksijen	8,2	8,2	8,2	8,2
	Basınçlı hava	5,5	8	9,8	19
Paslanmaz çelikler	Nitrojen	8,1	9,2	10,5	10,5
	Basınçlı hava	6,5	8	9,5	20
Alüminyum	Nitrojen	9,1	10,2	11,5	11,4
	Basınçlı hava	10	14	15	18

3.10.4.3 Odak Çapı

Odak çapı kerf genişliğini etkiler ve kesme merceklerinin odak yüksekliği ayarlanılarak değiştirilebilir. Küçük odak çapları daha dar ışın genişliği anlamına gelir. Kalın malzemelerde kesme yüzeylerinde kesme çizgilerinin mümkün olduğunca dik olması ve erimiş malzemenin kesme bölgesinden daha kolay uzaklaştırılabilmesi için büyük odak çapları, uzun odak mesafesi kullanılır.

(Buchfink, 2007)

Şekil 3.32’ de ışın çapı ve merceğe bağlı olarak odaklama çapının değişimi görülmektedir.

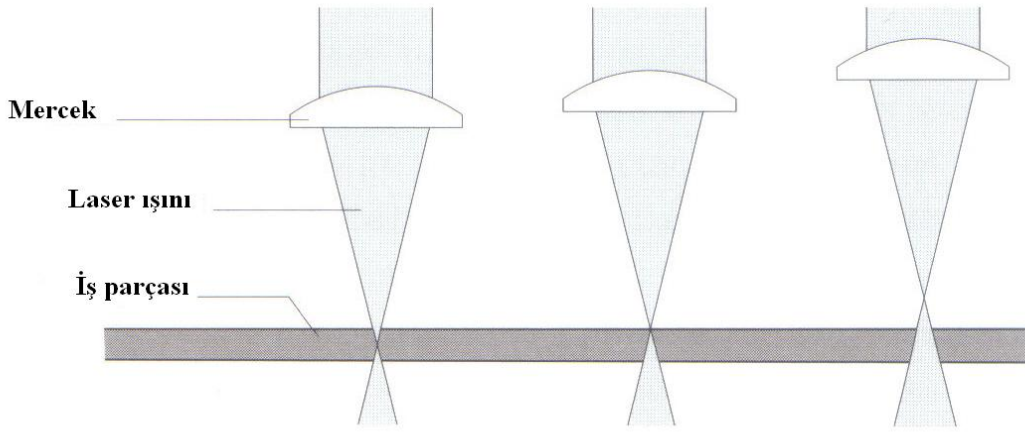


Şekil 3.32 Odaklama çapının değişimi

3.10.4.4 Odaklama Noktası

Odaklama noktası ışın çapını, kesme bölgesi şeklini ve iş parçası üzerindeki güç yoğunluğunu belirler. Optimum odak noktası işlem yöntemine göre belirlenir. Alevle kesme işleminde odak noktası malzeme yüzeyine yakın bir nokta olur. Diğer yandan azot ile ergiterek kesme yönteminde ergiyik malzemenin vizkozitesini azaltmak dolayısıyla da malzemenin alt yüzeyinde oluşan çapakları azaltmak için odak noktası malzemenin içersinde seçilir.

İyi kesme sonuçlarının elde edilebilmesi için ,malzeme kalınlığına göre odaklama noktasının olması gereken lokasyonunun bilinmesi gerekir. (Buchfink, 2007)



Şekil 3.33 Laser ışınının iş parçası üzerinde odaklanma noktaları

3.10.4.5 Gaz Saflığı ve Gaz Basıncı

Kullanılan kesme gazının saflığı ve basıncı kesme sonuçlarını etkiler.

Oksijen ile alevle kesme işlemi için gaz son derece saf olmalıdır. %0,4 gibi çok az bir nitrojen miktarı kesmenin çapaklı olmasına sebep olur. Piyasada laser ile kesme işlemlerinde kullanılmak üzere satılan gazların saflığı bu değerden daha iyi olan %99,95 mertebesindedir.

Bugün çoğunlukla kullanılan çeliklerin kesilmesinde kesilecek malzemenin kalınlığı arttıkça uygulanan gaz basıncı azalmaktadır. Bunun sebebi ince sacların yüksek hızda kesilmesi ve bu yüksek hızlarda ergiyen metalin kesme bölgesinden daha çabuk uzaklaştırma gerekliliğidir. Daha kalın saclarda ise kesme hatalarına sebep olacak oksidasyonu engellemek için daha düşük gaz basınçları kullanılır.

Azotla ergiterek kesme işleminde ise gaz daha saf olmalıdır. %99,995 saflık oranı (ideal olarak %99,999) kesme yüzeyinde oluşacak oksidasyonu engellemek için gereklidir. Bu işlemde alevle kesme işleminden farklı olarak kalın saclarda daha yüksek gaz basınçlarına, ergiyik metali kesme bölgesinden uzaklaştırmak için ihtiyaç duyulur. (Trumpf, 2007)

3.10.4.6 Nozul Delik Çapı

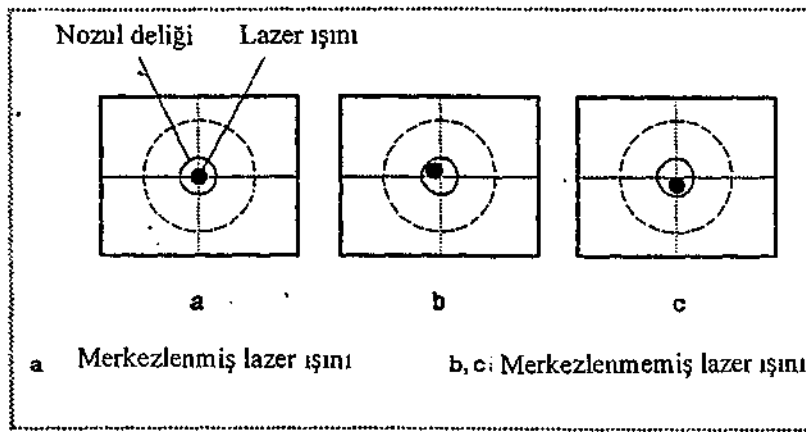
Alevle kesme ve ergiterek kesme işleminde, kesici gaz nozzleden çıkar. Nozzle çapı çıkan gaz miktarını ve gaz akışının şeklini belirler. İnce malzemelerin kesilmesinde az miktarda gaz ergiyik metali kesme bölgesinden uzaklaştırmaya yeterli olurken, kalınlık arttıkça daha yüksek miktarda gaza ihtiyaç olur ve dolayısıyla gerekli nozzle çapları da büyür. Bu nedenle kesme işleminde farklı ölçülerde nozzleler kullanılır. Çapları 0,6mm ile 3mm arasında

değişen noozle lar en çok kullanılan nozzle çeşitleridir. (Trumpf, 2007)

3.10.4.6.1 Laser Işını ile Nozul Deliğinin Merkezlenmesi

İyi kesme sonuçlarının elde edilebilmesi için; laser ışınının, nozul deliğini merkezlemesi gerekmektedir. Aksi taktirde; ışının, bakır nozula temas etmesi, nozulun ısınıp hasar görmesine ve uygun ışın kalitesinin elde edilememesi durumunu doğurur.

Laser ışını, nozul deliği merkezinden ± 0.05 mm'den fazla kaçık olmamalıdır. Şekil 6.13 de ışın ile nozul delik merkezlerinin durumu görülmektedir.



Şekil 3.34 Merkezlenmiş ve merkezlenmemiş ışını

4. GAZ ERGİTME İLE KESME

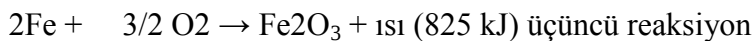
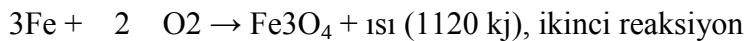
Uygulamada sadece oksijen ile kesme diye de adlandırılan bu yöntemde, kesilecek olan malzeme önce yerel olarak, tutuşma sıcaklığına kadar tavllanır ve tavlı halde bulunan bölgeye basınçlı oksijen gönderilerek malzeme yakılarak kesilir. Oksijen ile kesme işleminde öncelikle metali yanma (hızla oksitlenme) sıcaklığına kadar ısıtabilmek için bir oksi- gaz alevine gerek vardır. (Tülbentçi ve Kaluç, 2003) Bu tavlama alevinin aşağıdaki görevleri yerine getirmesi gerekir:

- Kesilecek malzemeyi, mümkün olduğu kadar hızlı bir şekilde tutuşma sıcaklığının üzerine kadar tavlmalıdır;
- Doğrultusu sapan ısıyı telafi etmeli ve kesme oksijenini ısıtmalıdır;
- Kesme oksijeni huzmesini kararlı hale getirmeli, mümkün olduğu kadar büyük bir silindirik şekle sokmalı ve havanın azotundan korumalıdır. (Anık, Ögür ve Vural, 1996)

Tutuşma sıcaklığına ulaşan bölgeye kesme oksijeni sevk edilir. Malzeme, oksijen huzmesi altında oksitlenir. Bu olay, ekzotermik bir reaksiyondur. Açığa çıkan enerji diğer kısımların hızla tavlınmasına yardımcı olur ve bu biçimde kesme işlemi hızlı bir biçimde ilerler. Bu reaksiyonlar sonucu bu kadar enerji açığa çıkmasaydı kesme işlemi bu denli hızlı olamazdı. (Tülbentçi ve Kaluç, 2003)

4.1 Gaz Ergitme ile Kesme Prensibi

Oksijenle kesme işlemi, tutuşturma sıcaklığına (870 °C'nin üzeri) kadar ısıtılmış demir ile yüksek saflıktaki oksijenin hızlı şekilde birleşebilme kabiliyetine dayanır. Demir, yüksek saflıktaki oksijenle hızlı bir şekilde oksitlenir ve çeşitli reaksiyonlarla, belirli miktarlarda ısı açığa çıkar. Bu reaksiyonlar için kimyasal denge denklemleri şunlardır:



İkinci reaksiyon sonucu oluşan büyük miktarda ısı, çoğu kesme uygulamalarında ilave bir reaksiyon olan birinci reaksiyonun oluşturduğu ısının üzerine çıkar. Üçüncü reaksiyon ise, belirli miktarlardan daha büyük kesme uygulamalarında oluşur. Fe₂O₃ oluşturmak üzere 1 kg demiri, stokyometrik olarak 0,29 m³ oksijen oksitler.

Gerçek işlemlerde birim demir kütlesi başına kesme oksijeni tüketimi, malzeme kalınlığına

bağlı olarak değişir. Yaklaşık 40 mm'den daha kalın metallerde, birim kütle başına oksijen tüketimi, ideal stokiyometrik reaksiyondan daha fazla olur. Bunun nedeni, demirin ancak belirli bir kısmının Fe_2O_3 'e dönüşmesidir. Kısmen oksitlenen ve bunun dışında kalan oksitlenmemiş demir, yüksek hızlı oksijen huzmesinin kinetik enerjisiyle kesme yarığında uzaklaştırılır. (Anık, Ögür ve Vural, 1996) Ayrıca kesme işlemi üzerine, kullanılan oksijenin safiyet derecesinin çok önemli etkisi vardır. Safiyetin düşmesi işlemin etkinliğini azaltır. Oksijen sarfiyatının %99.5'tan %98.5'e düşmesi kesme hızında %15'lik bir azalmaya ve oksijen sarfiyatında da %25'lik bir artmaya neden olmaktadır. (Tülbentçi ve Kaluç, 2003)

Yapılan kimyasal analizler göstermektedir ki, bazı durumlarda cürufun % 20'sinden fazlası oksitlenmemiş metalden oluşabilmektedir. Demirin hızlı reaksiyonu ile üretilen ısı, reaksiyon yüzeyine bitişik bir kısım demiri eritir. Bu erimiş demir, oksijen huzmesinin hareketiyle, demiroksitle birlikte kesme yarığında süpürülür. Eşzamanlı oksitlenme reaksiyonu, aktif kesme cephesindeki demir tabakasını ısıtır.

Kesme reaksiyonunun odak noktasındaki (sıcak nokta) demir-oksijen reaksiyonu sonucu oluşan ısı, malzemenin tutuşma sıcaklığına kadar sürekli şekilde öntavlanmasına yeterli olmalıdır. Işınım ve iletimle ısı kaybı olmasına rağmen reaksiyonun sürmesi için yeterli ısı kalır. Gerçek durumda malzemenin yüzeyi hadde cürufuyla veya pasla kaplıdır. Temiz bir metal yüzeyin oksijen huzmesine maruz kalabilmesi için bu tabakanın öntavlama alevleriyle eritilmesi gerekir. Öntavlama alevleri, yüzeye ısı sağlayarak kesme reaksiyonunun sürmesine yardımcı olur. Ayrıca öntavlama alevleri, kesme oksijeni huzmesinin havayla türbülans oluşturacak şekilde etkileşimine de engel olurlar. (Anık, Ögür ve Vural, 1996)

4.2 Malzemelerin Oksijen ile Kesilebilme Kabiliyetleri

Kesme sırasındaki fiziko-kimyasal oluşumlarda, kesilecek malzemelerin belirli şartları yerine getirmesi gerekir:

- a . Malzemenin tutuşma sıcaklığı, erime sıcaklığından daha düşük olmalıdır
- b. Kesme sırasında oluşan oksitlerin erime sıcaklığı, malzemenin erime sıcaklığından daha düşük olmalıdır
- c. Malzemenin ısı iletme kabiliyeti düşük olmalı, oksitleri de akıcı olmalıdır.

Saf demir, bu şartları optimum derecede yerine getirir. Alaşımsız ve düşük alaşımlı çelikler, alevle yakarak kesmeye uygundur. Artan karbon içeriğiyle, malzemenin tutuşma sıcaklığı da yükselir ve erime sıcaklığı düşer; bu nedenle % 1,6 ila % 1,8 karbonlu bir çelik, yukarıda belirtilen a şartını yerine getiremez.

Karbonun yanı sıra krom, tungsten, nikel gibi alaşım elemanları da çeliklerin oksijenle kesilebilme kabiliyetlerini etkiler. Bunun nedeni, bu elemanların oksitlerinin, nispeten daha yüksek erime sıcaklığına sahip olmasıdır. (Anık, Ögür ve Vural, 1996) Çizelge 4.1' de alaşım elementlerinin oksijen ile kesme işlemine etkileri verilmiştir.

Çizelge 4.1 Alaşım elementlerinin oksijenle kesme işlemine etkileri

Alaşım elementi	Oksijen ile kesmeye etkisi
Alüminyum	Alüminyum çelik üretiminde dezoksidan olarak yaygın biçimde kullanılır; Al içeriği %8 ila %10'u almadığı sürece oksijen ile kesme işlemine önemli bir etkisi yoktur.
Karbon	%0.25'e kadar karbon içeren çelikler oksijen ile çok kolay bir biçimde kesilebilirler; daha yüksek karbon içeriğine sahip çelikler, kesme kenarında sertleşme ve çatlak oluşumunu önlemek bakımından öntav uygulanarak kesilirler. Dökme demirlerdeki serbest grafit oksijen ile kesilmeyi zorlaştırır. % 4C içeren dökme demirler ancak özel yöntemler uygulanarak (toz, dekapan veya çubuk halinde ek oksitleyici maddeler kullanarak) oksijen ile kesilebilirler.
Kobalt	Çelikte normal sınırlar içinde bulunduğu zaman oksijen ile kesmeye olumsuz bir davranış göstermezler.
Krom	%5'e kadar Cr içeren çelikler büyük bir zorluk göstermeden oksijen ile kesilebilir. %10 veya daha fazla Cr içeren çelikler ancak metal tozları veya kimyasal maddeleri katkı olarak kullanarak oksijen ile kesilebilirler ve kesilen yüzeyler de oldukça kaba bir görünüme sahiptir.
Bakır	%3'e kadar Cu içeren çelikler hiçbir zorluk göstermeden oksijen ile kesilebilirler.
Fosfor	Çeliğin içeriğinde normal sınırlar arasında bulunduğu sürece oksijen ile kesmeye bir etkisi yoktur.
Kükürt	Çeliğin içeriğinde normal sınırlar arasında bulunduğu sürece oksijen ile kesmeye bir etkisi yoktur, yalnız otomat çeliği gibi yüksek kükürt içerikli çeliklerde kesme hızı yavaşlar ve SO ₂ emisyonu görülür.
Mangan	Normal olarak çeliklerde bulunma sınırları içinde oksijen ile kesmeye bir etkisi yoktur; yalnız %14 Mn ve %1.5 C içeren ostenitik sert Mn çeliği ancak öntav ile kesilebilir.
Nikel	%3'e kadar Ni ve %0.25C içeren çelikler normal yöntemler ile kesilebilirler. % 7'e kadar Ni içeren çelikler dekapan kullanılarak oksijen ile kesilebilirler. Ostenitik paslanmaz çelikler ise ek olarak demir tozlu veya özel dekapanlar kullanılarak kesilebilir.
Tungsten	%14'e kadar Tungsten içeren çelikler normal koşullar altında oksijen ile kesilebilirler.
Molibden	%5'e kadar Mo içeren çelikler oksijen ile özel bir önleme başvurmada kesilebilir. Daha yüksek miktarda Mo içeren çelikler için özel yöntemlere gereksinim vardır.
Vanadyum	Çelikte alaşım elementi olarak bulunduğu sınırlar içinde oksijen ile kesmeye bir etkisi yoktur.

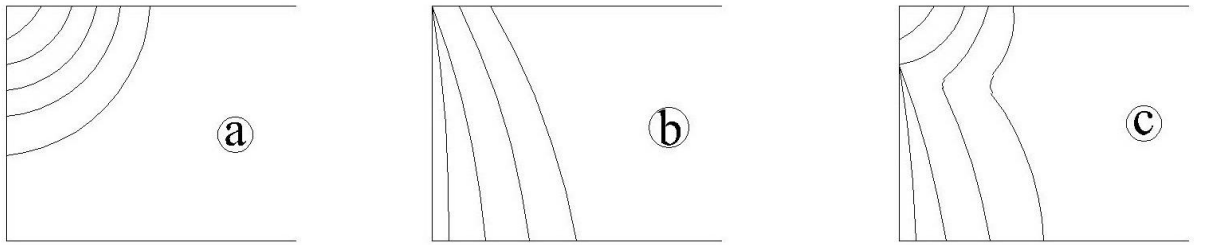
Çizelge 4.1' den de görüldüğü gibi, bu elementler içinde en önemli rolü karbon oynar, karbon içeriği az olan çeliklerin oksijen yardımı ile çok rahat bir biçimde kesilebilmelerine karşın, karbon içeriğinin %0.25'i aşması halinde kesilen parçanın, kesme ağızları sertleşir ve çatlama tehlikesi ortaya çıkar. Bu bakımdan bu sertleşmeyi önlemek için alaşımlı çelikler bir öntav altında kesilirler. Tavlama üfleci, parçaya yaklaşık 70 mm mesafede ve hafif bir eğimle tutulur. Kesme üflecinin alevi, püskürtecek şekilde ayarlanır. (Tülbentçi ve Kaluç, 2003)

4.3 Oksijen ile Kesmede Sıcaklık Dağılımı

Kesme işlemi sırasında metalin sıcaklığı, erime sıcaklığı ile işlem sıcaklığı arasındadır. Metaldeki sıcaklık dağılımı incelenirken, yarık alını göz önüne alınır. Metalin kesilmesi sırasında oluşan ısının kaynağı olan tavlama alevi ve metalin oksitlenme reaksiyonu, aşağıdaki gibi etkir.

Sadece tavlama alevinin etkidiği düşünülürse, eşsıcaklık eğrileri, merkezi, kesme yarığının üst kenarı olan yaylar şeklinde oluşur. Alevin yelpazesi, ortam havasının soğutma etkisini karşılar (Şekil 4.1a)

Sadece oksijen huzmesinin etkidiği düşünülürse, yanma bütün kesme yarığı boyunca meydana geldiğinden, metalde düzgün bir ısınma meydana gelir. Oluşan oksidin sıcaklığı, oksijen akışı sırasında artar ve eşsıcaklık eğrileri Şekil 4.1b ' deki gibi gerçekleşir. Hem tavlama alevinin ve hem de oksijen huzmesinin birlikte etkimesi durumunda eşsıcaklık eğrileri, Şekil Şekil 4.1c' deki durumu alırlar. (Anık, Ögür ve Vural, 1996)



Şekil 4.1 Kesme yangınındaki eşsıcaklık eğrileri

a) sadece tavlama alevinin etkimesi durumunda

b) sadece oksijen huzmesi etkilemesi durumunda

c) tavlama alevinin ve oksijen huzmesinin birlikte etkimesi durumunda

Çeliğin kesilmesi sırasında kesme yüzeyine komşu olan dar bir bölgede sıcaklık dönüşüm sınırının üstüne çıkar. Kesme prosesi boyunca bu hat boyunca soğur. Kesme hızı ısı malzemenin ısı taşınım katsayısı ve kesme hızı ile alakalıdır. Malzeme içersindeki karbon ve

alaşım elementlerinin oranı ve soğuma hızı perlitik çeliklerin, ferrite karbür çökmesinden daha sert bileşenlere dönüşmesine sebep olur. ITAB 9,5 ile 150mm kalınlığındaki çeliklerde 0,8 ila 6,4mm kadar olabilir. Çeliklerin oksijen ile kesmede meydana gelen yaklaşık ITAB genişlikleri Çizelge 4.2’ de verilmiştir. Genel olarak bütün çeliklerde sertlik ITAB ın dış sınırında artış gösterir. (Handbook Committee, 1993)

Çizelge 4.2 Çeliklerin O₂ ile kesilmesinde ITAB genişlikleri

Kalınlık (mm)	ITAB genişliği (mm)
Düşük karbonlu çelikler	
<13	<0,8
13	0,8
150	1,4
Yüksek karbonlu çelikler	
<13	<0,8
13	0,8 - 1,6
150	1,4 - 6

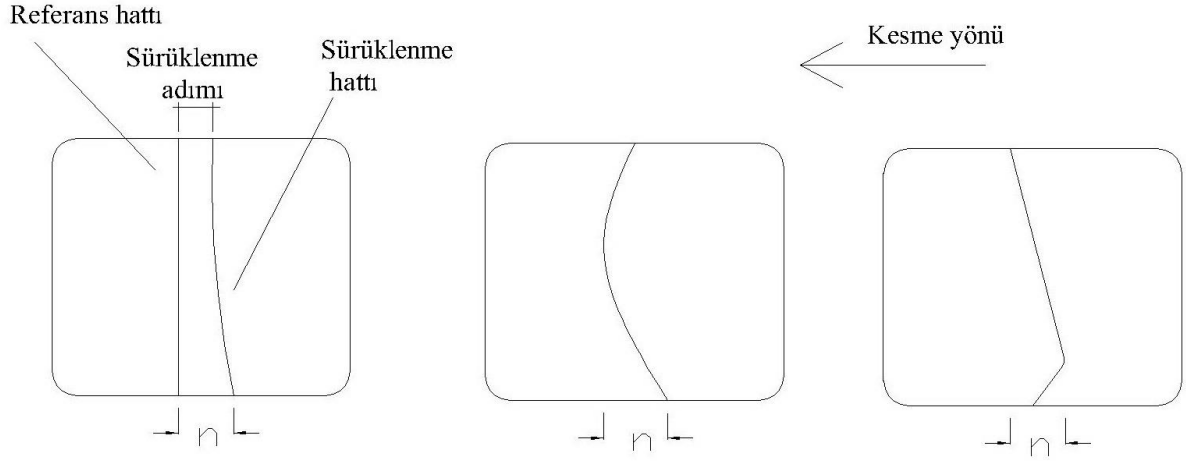
Düşük karbonlu çelikler: %0,25 ve daha az C içeren çeliklerin oda sıcaklığında kesilmesinde meydana gelen sertleşme ihmal edilebilir derecededir. Fakat üst karbon limitlerinde eğer daha sonra bir işlem yapılacak ise önemli olabilir. Bu sertleşme ön tavlama işlemi ile azaltılabilir. Düşük karbonlu çeliklerin mekanik özellikleri oksijen kesme ile genellikle olumsuz yönde etkilenmez.

Orta karbonlu çelikler: Karbon oranı %0,25 ile 0,45 arasında olan çelikler oksijen ile kesme sonucu az derecede sertleşme etkisine maruz kalırlar. Karbon oranı % 0,30 un üstünde olan çok düşük alaşımlı çeliklerin kesme sınırlarında sertleşmeler olabilir, fakat bu sertleşme çatlaklara yol açmaz. %0,35 karbon oranının üzerindeki çelikler de çatlamları önlemek için 260°C ile 310°C arasında ön tavlama gereklidir. Eğer malzeme talaşlı işleme tabi olacaksa tüm orta karbonlu çelikler tavlama işlemine gereksinim duyar.

Yüksek Karbonlu ve alaşımlı çelikler: %0,45 in üzerinde C içeren ve sertleşebilen alaşımlı çelikler oda sıcaklığında kesildiklerinde kesme yüzeyinde soğuma gerilmelerinden dolayı ince katman halinde sert, kırılgan bir yapı oluşur. Çatlaklara sebep olan soğuma gerilmesi distorsiyona sebep olan gerilmeye benzerdir. Mikroçatlaklar yüksek gerilmeler altında büyük kırıklara yol açacağından ötürü tehlikelidir. Bu tehlike tavlama işlemiyle azaltılabilir. (Handbook Committee, 1993)

4.4 Sürüklenme

Yüzeye dik olarak etkiyen oksijen huzmesinin parçaya girişi ve çıkışı arasında, kesme yönünde meydana gelen sapmaya sürüklenme adı verilir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Oksijenle kesme işleminde sürüklenme

Yüzeyden parça kalınlığı yönünde ilerledikçe, oksijenin saflığı ve miktarı azalır, malzeme yanma hızı düşer ve alt kısımda sürüklenme meydana gelir. Ayrıca bu bölgede sıvı oksit tabakası inceldiğinden dolayı yanma hızı artar, ilerleme hızı bu iki değişkene göre tespit edilir.

Sürüklenme bazen parça kalınlığının % 10'una ulaşabilir. Kaliteli ve hassas bir kesme yüzeyi için, çalışma hızının uygun seçilerek sürüklenmenin minimum seviyeye tutulması gerekir. (Anık, Ögür ve Vural, 1996)

4.5 Oksijen ile kesmede Kullanılan Gazların Özellikleri

4.5.1. Yanıcı Gaz

Kesme işleminde öntavlama alevinin fonksiyonları şunlardır:

- Çeliğin sıcaklığını tutuşturma sıcaklığının üzerine (yaklaşık 1200 0C civarına) yükseltmek
- Kesme reaksiyonunun sürmesi için parçaya ısı eklemek
- Kesme oksijeni huzmesi ile atmosfer arasında koruyucu bir kılıf oluşturmak
- Çeliğin üst yüzeyinde kesme işleminin normal ilerlemesini durdurabilecek veya geciktirebilecek pas, tufal boya vb. yabancı maddeleri uzaklaştırmak.

Çeliği hızlı şekilde tutuşturma sıcaklığına yükselten bir öntavlama yoğunluğu, yüksek işlem hızlarında kesme kalitesini sürdürmek için genellikle yeterlidir. Ancak kesme kalitesi en

yüksek seviyede olmaz. Yüksek kaliteli kesme, normal olarak hızlı öntavlama için gereken yoğunluğa göre önemli oranda düşük öntavlama yoğunluklarında yapılabilir. Çoğu büyük kesme makinalarında, çift kademeli gaz kontrolleri mevcuttur. Bunlar, başlatma işlemine göre yüksek yoğunluklu öntavlamayı sınırlarlar. Daha sonra öntavlama alevleri, yanıcı gaz ve oksijenden tasarruf sağlamak ve daha iyi bir kesme yüzeyi oluşturmak üzere düşük yoğunluğa indirilir.

Bir öntavlama yanıcı gazının seçiminde aşağıdaki hususların göz önünde bulundurulması gerekir:

- Keskin kenarlarda ve yuvarlak köşelerde kesmeyi başlatırken ve ayrıca parça ortasından kesme uygulamalarında delik oluştururken öntavlama için gereken süre;
- Doğrusal çizgi, şekil halinde veya kaynak ağzı kesme işlemleri için kesme hızlarına etkisi;
- Yukarıdaki faktörlerin parçanın işlenmesinde birlikte etkisi;
- Basınçlı kap, tüp veya boru hatları içindeki hacimde depolanabilirliği ve bunun maliyeti.
- Yanıcı gazı verimli şekilde yakabilmek için gerekli öntavlama oksijeninin maliyeti
- Gerektiğinde kaynak, tavlama ve lehimleme gibi diğer işlemler için yanıcı gazın verimli şekilde kullanılabilirliği

Yanıcı gaz tanklarında depolama ve taşımadaki emniyetliliği. Oksijenle yakarak kesme işleminde enerji taşıyıcı eleman, yanıcı gaz ve oksijen karışımıdır. (Anık, Ögür ve Vural, 1996)

4.5.1.1 Asetilen

Asetilen alevle kesme işlemleri için en yaygın kullanılan yanıcı gazdır. En önemli özellikleri, kolay üretilebilmesi, yüksek alev sıcaklığı ve alev karakteristiklerinin kullanıcılar tarafından geniş çapta bilinmesidir.

Asetilenin oksijenle yanması, kesme üflecindeki her bir öntavlama deliğinde, parlak bir alev konisine sahip, sıcak ve kısa bir alev oluşturur. Yanma, alev yelpazesinde tamamlanır.

Meme çıkışında iki alev arasındaki keskin sınır, istenen alev karakteristiklerine uygun oksijen/asetilen oranının ayarlanmasını sağlar. Bu orana bağlı olarak alev, nötr, oksitleyici veya redükleyici olarak ayarlanabilir. Yaklaşık olarak bir hacim oksijenin bir hacim asetilenle karışımıyla elde edilen nötr alev, elle kesme için kullanılır. Oksijen debisi azaldıkça parlak bir akış görülmeye başlar. Bu görüntü, bazen dökme demirin kaba kesimi için kullanılan

redükleyici aleve işaret eder.

Oksijen miktarı arttırıldığında iç alev konisi keskinleşir ve daha yoğun hale gelir. Alev sıcaklığı, 1,5: 1 değerindeki oksijen / asetilen oranında maksimuma ulaşır. Oksitleyici alev, kısa öntavlama süreleri için ve çok kalın parçaların kesilmesi için kullanılır.

Oksiasetilen alevinin yüksek alev sıcaklığı ve ısı transfer karakteristikleri, kaynak ağzı açmak için özellikle önemlidir. Ayrıca bu karakteristikler, kısa kesme işlemi gibi öntavlama süresinin toplam kesme süresinin küçük bir kısmı olması istenilen durumlarda üstünlük sağlar. (Anık, Ögür ve Vural, 1996)

4.5.1.2 Stabilize Metilasetilen-Propadien (MPS)

MPS, sıvı propan gibi depolanabilen ve taşınabilen, kararlı asetilen benzeri bir sıvılaştırılmış yakıttır. MPS, propadien (ailen), propan, bütan, bütadien ve metilasetilen gibi çeşitli hidrokarbonların bir karışımıdır. Tıpkı asetilen gibi metilasetilen de kararsız, yüksek enerjili, üçlü bağlı bir bileşiktir. MPS içindeki diğer bileşikler emniyetle taşınmaya uygun karışım oluşturmak amacıyla metilasetileni çözer. Karışım, hem propandan hem de doğalgazdan daha sıcak yanar. Ayrıca asetilende olduğu gibi primer alev bölgesindeki enerjinin yüksek oranda açığa çıkmasını sağlar. Alevdeki ortalama ısı dağılımı diğer gazlardaki gibidir.

Nötr aleve üfleçten gelen 2,5 hacim oksijenin 1 hacim MPS ile karışması halinde ulaşılır. Bunun maksimum alev sıcaklığı 3,5 hacim oksijenle 1 hacim MPS'nin karışması halinde meydana gelir.

Bu oranlar asetilen aleviyle aynı uygulamalar için kullanılır.

MPS gazı pek çok karakteristiği bakımından asetilene benzemesine rağmen nötr öntavlama alevi için birim yanıcı gaz hacmi başına yaklaşık iki kat oksijen gerektirir. Bu nedenle MPS gazının özel bir uygulama için asetilen gazı yerine kullanılması halinde oksijen maliyeti daha yüksek olur. MPS'nin asetilenle rekabet edebilmesi için kullanılacağı durumda asetilenden daha düşük maliyette olması gerekir.

MPS gazı derin sulardaki sualtı kesme uygulamalarında asetilene göre bir üstünlüğe sahiptir. Patlama tehlikesi nedeniyle asetilenin çıkış basıncı 2 bar ile sınırlı olduğundan, asetilen genellikle 6 metreden daha derin sularda kullanılamaz. Ancak MPS tıpkı hidrojen gibi, daha derin sularda kullanılabilir. Özel bir sualtı uygulaması için öntavlama alevinin yanıcı gazı olarak MPS asetilen ve hidrojenin birbiriyle karşılaştırması gerekir. (Anık, Ögür ve Vural, 1996)

4.5.1.3. Doğalgaz

Doğalgazın kimyasal bileşimi, elde edildiği yere bağlı olarak değişir. Doğal gazın ana bileşeni metan (CH_4) 'dır. Nötr alev için üfleçten sağlanan oksijen/doğalgaz oranı 1.5: 1 'dir. Doğalgazlı alev sıcaklığı asetileni aleve göre daha düşüktür. Ayrıca daha yayıngan ve daha az yoğundur. Alevin karbürleyici, oksitleyici veya nötr karakteristikleri asetilendeki kadar belirgin değildir.

Düşük alev sıcaklığı ve bundan kaynaklanan düşük ısı verimi nedeniyle, asetilen ve oksijen kullanımıyla elde edilen aynı ısı miktarına ulaşmak için önemli oranda daha fazla doğalgaz ve oksijen tüketmek gerekir. Asetilen yerine doğalgazın kullanılması düşünüldüğünde, doğalgazın ve oksijenin maliyeti ve bulunabilme kolaylığının, daha yüksek miktarda gaz tüketileceğinin ve daha uzun süre öntavlama alevi uygulanmasının gerekeceğinin göz önünde tutulması gerekir. Daha büyük bir öntavlama alevi oluşturmak üzere tasarlanan memelerin veya daha düşük öntavlama ayarıyla çalışmayı mümkün kılan kesme makinaların kullanımı, doğalgazın düşük ısı çıktısının yol açtığı dezavantajları dengeleyebilir.

Doğal gaz için kullanılan üfleç ve memelerin tasarımları, asetileninkine göre daha farklıdır. Doğalgazın teslim basıncı genellikle daha düşüktür ve yanma oranları da daha farklıdır. (Anık, Ögür ve Vural, 1996)

4.5.1.4 Propan

Propan, doğalgaza göre daha rahat bulunabildiğinden ve çok daha yüksek toplam ısı değerine (MJ/m^3) sahip olduğundan, çok sayıda şantiyede oksijenle kesme için düzenli olarak kullanılmaktadır. Kesme sırasında uygun yanma reaksiyonu için birim hacim oksijen başına 4 ila 4,5 hacim propan gerekir. Bu gereklilik, propanın yüksek ısı değeri sayesinde kısmen göze alınabilir. Propan sıvı halde depolanır ve çalışma sahasına kolaylıkla nakledilebilir. (Anık, Ögür ve Vural, 1996)

4.5.1.5 Propilen

Pek çok ticari ismi olan propilen, oksijenle kesme için yanıcı gaz olarak kullanılmaktadır. Nötr alev için birim hacim oksijen başına 2,5 hacim propilen tüketilir. Maksimum alev sıcaklığına ulaşabilmek için bu miktarın 3,6 hacme yükseltilmesi gerekir. Propilen için kullanılan kesme memeleri, MPS için kullanılanlara benzer. (Anık, Ögür ve Vural, 1996)

Endüstride en çok kullanılan çeşitli yanıcı gazları özellikleri Çizelge 4.3' te verilmiştir.

Çizelge 4.3 Çeşitli yanıcı gazların özellikleri

Gaz	Asetilen	Propan	Propilen	MPS	Doğalgaz
Simgesi	C ₂ H ₂	C ₃ H ₈	C ₃ H ₆	C ₃ H ₄	CH ₄
Nötr alev sıcaklığı (°C)	3100	2520	2870	2870	2540
Birincil alev ısı çıktısı (MJ/ m ³)	19	10	16	20	0,4
İkincil alev ısı çıktısı (MJ/ m ³)	36	94	72	70	37
Toplam ısı değeri (MJ f/ m ³)	55	104	88	90	37
Toplam ısı değeri (KJ/Kg)	50000	51000	49000	49000	56000
Nötr alev için üfleçten sağlanan oksijen miktarı	1,1	3,5	2,6	2,5	1,5
Hacim O ₂ / hacim yanıcı gaz m ³ O ₂ /kg (15.6 °C)	1	1,9	1,4	1,4	2,2
Maksimum manometre basıncı (bar)	1,03	10,3	10,3	10,3	hat basıncı
Hava içinde patlama sınırı yüzdesi	2,5 - 80	2,3 - 9,5	2 - 10	3,4 - 10,8	5,3 - 14
Hacim- ağırlık oranı (m ³ /kg)	0,91	0,54	0,55	0,55	1,4
Özgül ağırlık (15.6 °C)	0,906	1,52	1,48	1,48	0,62

4.5.2 Yakıcı Gaz

4.5.2.1 Oksijen

Oksijenle yakarak kesmede kullanılan kesme oksijeni, üç önemli görevi yerine getirir:

- Yanıcı gazla karışarak tavlama alevini oluşturur
- Malzemeyi oksitler (yakar)
- Oluşan cürufu kesme yarığında uzaklaştırır. Verimli ve ekonomik bir kesme yüzeyinin elde edilebilmesinde, oksijenin saflığının en az % 99,5 olması gerekir.

Oksijenin içinde azot veya argon gibi safiyetsizlik elemanlarının artması, kesme hızını büyük oranda düşürür. Kesme oksijenin saflığındaki azalma ayrıca malzemenin yanma davranışını kötüleştirir. Safiyetsizlik elemanlarının artışıyla oksijenin sadece % 99'luk bir saflık derecesine düşmesi, kesme hızının yaklaşık % 10 azalmasına yol açar. % 98,5 saflıktaki bir oksijen kullanılması halinde, bu hız yaklaşık % 20 oranında düşmektedir.

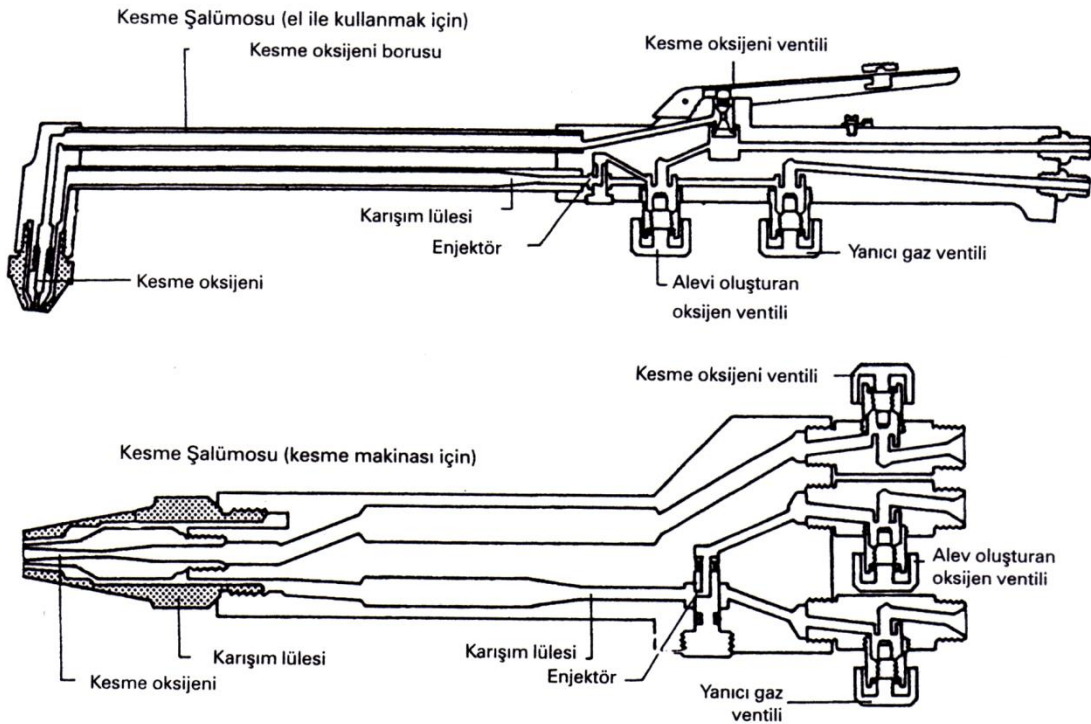
Oksijenin saflığındaki daha yüksek azalmalar, kesme yarığının genişlemesine yol açtığından cürufların uzaklaştırılması da zorlaşmaktadır.

Özellikle oksijenle kesmede makina büyüklüğüne göre (üfleç sayısının artmasıyla) yanıcı gaz

debisinin artması yanında, özellikle oksijen tüketimi daha fazla artmaktadır. Bu durum gaz dağıtım şebekesinin boyutlandırılmasında göz önüne alınmalıdır. Belirli bir gaz basıncı ve debisi sağlanamamışsa, düzgün bir alevle kesme işlemi de gerçekleştirilemez. (Anık, Ögür ve Vural, 1996)

4.6 Kesme Üfleci

Oksijen ile kesme işlerinde özel olarak geliştirilmiş üfleçler kullanılır (Şekil 4.3). Normal kaynak üfleçleri ile kesme yapabilme olanağı hemen hemen yoktur. Kesme üfleçleri hem tavlama için gerekli alevi oluşturan bir kısımları ve sonra da kesme için gereken basınçlı oksijeni püskürten bir kesme memeleri vardır. Bunlar konsantrik olarak yerleştirilmişlerdir ve de çevrelerinde alevi oluşturan meme ile merkezlerinde de basınçlı oksijen memesi bulunur. Genel olarak el ile kesme yapan üfleçlere gazlar iki hortum ile gelir ve üflecin kesit resminde görüldüğü gibi üflecin iç kısmında iki ayrı kanala ayrılır ve bunların birbirinden bağımsız olarak ayarları yapılabilir. (Tülbentçi ve Kaluç, 2003)

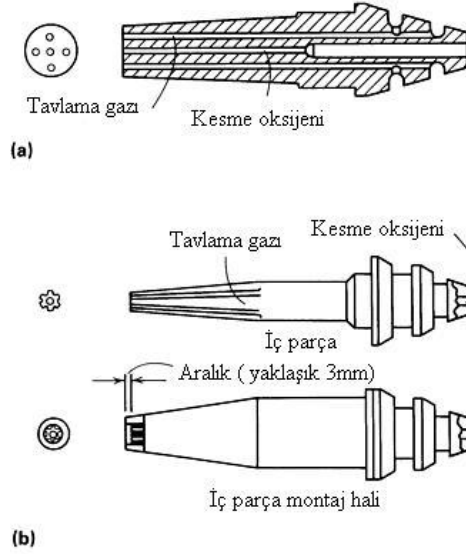


Şekil 4.3 Oksijen ile kesmede kullanılan üfleçler

4.7 Kesme Memeleri

Alevle kesme işleminin ekonomikliği, alevle kesme memelerine bağlıdır. Özellikle kesme oksijeni ve yanıcı gaz-tavlama oksijeni karışımı sağlamak için gaz kanallarının

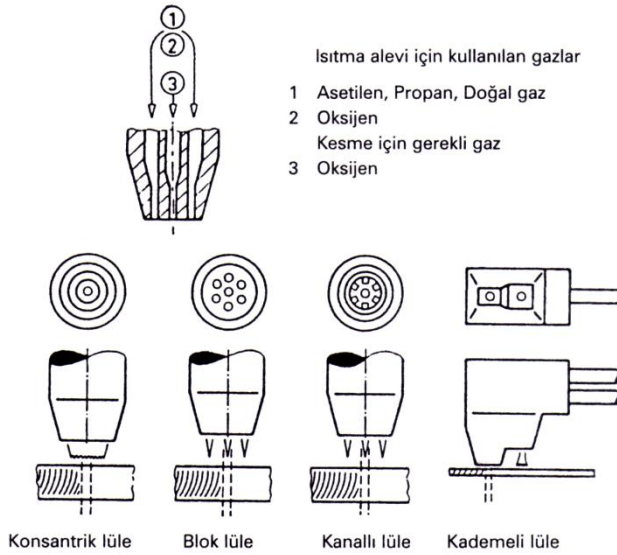
oluşturulmasında, tek parçalı veya çok parçalı yapı olarak önemli farklılıklar mevcuttur. Örneğin blok meme, tek parçalı bir memedir (Şekil 2.22). Modern yüksek güçlü üfleçler ise daha çok iki parçalıdır (Şekil 223). Bunlarda iç parça kesme memesi, dış parça ise tavlama memesi olarak görev yapar.



Şekil 4.4 Kesme meme tipleri

a) tek parçalı asetilen kesme memesi

b) iki parçalı doğalgaz veya LPG kesme memesi.

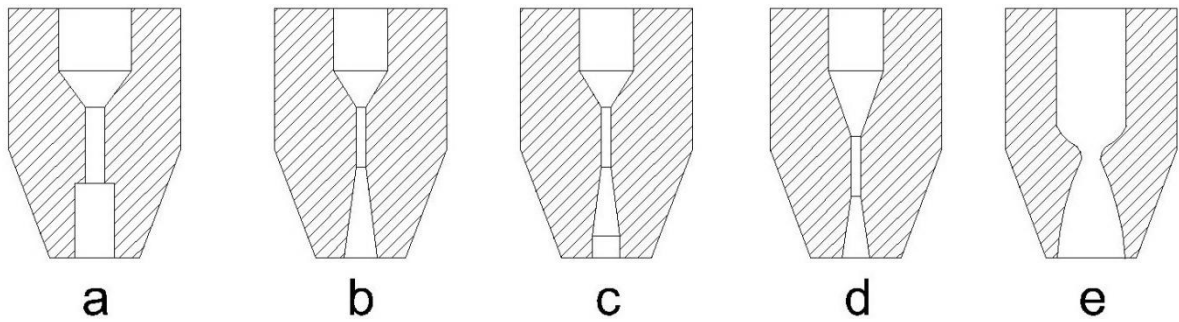


Şekil 4.5 Oksijenle kesme işleminde kullanılan kesme memeleri

4.8 Kesme Oksijeni Kanalı

Çok hassas ve önemli olan kesme oksijeni kanalı, tavlama oksijeni kanalınıninkine göre daha yüksek bir teknoloji gerektirir. Önceleri, kesme oksijeni kanalları meme içindeki 3-4 mm'lik bir delik ve farklı kalınlıklarda kesme yapabilmek amacıyla ayarlanabilen bir ağızlıktan ibaretken, günümüzde daha karmaşık ve hassas olarak imal edilebilmektedir.

Oksijen kesme kanalından yaklaşık 2 barlık bir basınç farkı ile geçer ve ses hızında çıkar. Burada, sıkıştırılamaz akışkan kanunları geçerli değildir. Belirli bir mesafe boyunca, kararlı ve türbülanssız bir gaz huzmesi elde etmek için, çıkış kanalının yakınsak-ıraksak bir lüle şeklinde olması gerekir. Bu nedenle imalat, maliyet ve bakım problemleri söz konusudur. (Anık, Ögür ve Vural, 1996)



Şekil 4.6 Kesme oksijeni için çıkış kanalı profilleri

- a- silindirik ağız
- b- 3-4 °C'lik ıraksak ağız
- c- ıraksak + silindirik ağız
- d- ıraksak + ıraksak ağız
- e- ideal form

4.9 Oksijen ile Kesme İşleminin Uygulaması

Parça kalınlığına uygun meme kesme üflecine takıldıktan sonra uygun gaz basınçları, basınç ayar tertibatından ayarlandıktan sonra önce üfleç üzerindeki oksijen ayar musluğu ve bunun ardından da asetilen musluğu hafifçe (1/4 tur kadar) açılır ve memeden çıkan gaz bir taşlı bir çakmak ile yakılır.

Üfleç memesi ucunda alev oluştuğundan sonra, asetilen musluğu alev is çıkartmaya başlayınca kadar açılır ve sonra oksijen musluğu ile oynayarak asetileni biraz fazla bir alev elde edildikten sonra oksijen mandalına basılarak kesme oksijeni ile alevin nötr bir hal alıp almadığı kontrol edilir. Bu durumda üfleç kesme işlemine hazır demektir.

Kesme işlemine, parçanın en dış kenarından başlanır, bu nokta ısıtma konumundaki üfleç alevi ile alevin yarısı parçanın kenarının dışına gelecek biçimde, diğer bir anlatım ile sanki alev parçanın dış noktasına asılmış gibi, ısıtmaya başlanır.

Bu durumda kesilecek parçanın kesmeye başlama noktasında parça tüm kesiti boyunca da ısınmış olur. Isıtma süresince alevin mızrağı parça yüzeyine olabildiğince yakın tutulmalı ama parça ile temas etmemelidir. Isıtılan nokta çok açık kırmızı rengini alınca kesme oksijeni mandalına basılarak kesmeye başlanır; o anda üfleç hafifçe sallanır ve parçanın arka yüzünden bir kıvılcım demeti akmaya başlar. Kesme işlemi başlamıştır, bundan sonra üfleç kesme öngörülen doğrultusunda uygun bir hız ile ilerletilir.

Her üfleç takımında kesme işlemlerinde yardımcı olarak kullanılmak üzere bir takım tekerlekli yardımcı donanımlar bulunur, bunları kullanarak iş parçası ve üfleç memesi arasındaki mesafe sabit tutulabildiği gibi pergel yardımı ile dairesel kesme veya bir master şablon parça yardımı ile daha düzgün kesme yapmak olanağı vardır. Ayrıca bu tekerlekli parçalar yardımı ile üflecın iş parçası yüzeyi ile yaptığı açığı da ayarlayarak kaynak ağzı hazırlanabilmektedir. Bu tür tertibatlarda ilerleme hareketi el ile operatör tarafından gerçekleştirilmektedir. (Tülbentçi ve Kaluç, 2003)

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1 Kesme Tezgahları

Bu çalışmada laser kesme tezgahı olarak TRUMPF marka 4kW' lık TruLaser 3030 tezgahı kullanılmıştır. Makinanın genel görünümü Şekil 5.1'de, spesifikasyonları ise Çizelge 5.1 de yer almaktadır.



Şekil 5.1 Trumpf TruLaser 3030 laser kesme tezgahının görünümü

Çizelge 5.1 Trumpf TruLaser 3030 laser kesme tezgahının teknik özellikleri

Laser üretici	CO ₂
Ağırlık	10500 g
Makina Ölçüleri	
en	4600 mm
boy	9300 mm
yükseklik	2000 mm
İşletme Alanı	
x eksen	3000 mm
y eksen	1500 mm
z eksen	115 mm
Max. İş parçası ağırlığı	710 kg
Max. Sac kalınlıkları	
imalat çeliği	20 mm
paslanmaz çelik	12 mm
alüminyum	8 mm

Oksijen ile kesme işleminde kullanılan tezgah ise Esab Ultrarex Uxd-p 2500' dir. Çizelge 5.2' de tezgahın fotoğrafı görülmektedir. Çizelge 5.2 de ise tezgah spesifikasyonları gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Esab Ultrarex Uxd-p 2500 plazma kesme tezgahının görünümü

Çizelge 5.2 Esab Ultrarex Uxd-p 2500 tezgah özellikleri

Kesme genişliği	2000 mm
Kesme uzunluğu	6700 mm
Azami daire kesme	1000 mm
Max. Sac kalınlığı	150 mm

5.2 Kullanılan Malzeme

Deneysel çalışmada laser kesmede St37 çeliği ve 304 paslanmaz çelik, oksijen ile kesme işleminde St37 çeliği kullanılmıştır. Malzemelerin kimyasal bileşenleri Çizelge 5.3' te görülebilir.

Çizelge 5.3 St37 ve 304 kalite paslanmaz çeliğin kimyasal analiz sonuçları

	St37	304 Paslanmaz Çelik
Fe	98,04	66,9
C	0,177	0,49
Si	0,117	0,701
Mn	1,11	1,7
P	0,0081	0,028
S	0,133	0,03
Cr	0,012	16,72
Mo	0,004	2,12
Ni	0,064	10,74
A	0,08	0,006
As	0,012	0
B	0,0002	0,0021
Co	0,015	0,128

Cu	0,054	0,42
Nb	0,007	0,002
Sn	0,017	0,011
Ti	0	0,007
V1	0	0,082
W	0,069	0,102

5.3 Yöntem

Laser kesme için gaz basıncı, kesme hızı ve laser gücü değişkenler olarak tespit edilmiş ve her seferinde üç değişkenden ikisi makina standart değerlerinde sabit bırakılarak kesme işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Oksijen kesme için ise gaz basıncı ve kesme hızı değişkenler olarak kabul edilmiş ve bir değişken standart değerinde tutularak diğer değişken üzerinde varyasyonlara gidilmiştir.

Kesilen numuneler üzerinde ışık mikroskobu ile ITAB mesafesi ölçülmüş ve sertlik ölçme cihazı ile sertlik taraması yapılarak değişkenlerin ölçülen bu değerlere etkileri değerlendirilmiştir. Ayrıca gözle muayene ile yüzey kalitesi hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

Kesilen numunelerin kesme parametreleri Çizelge 5.4 , Çizelge 5.5 Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7 de gösterilmektedir.

Çizelge 5.4 Oksijen yardımcı gazı ile kesilen St37 çeliğinin kesme parametreleri

Yardımcı gaz: Oksijen			Parametreler		
Numune	Malzeme	Kalınlık	Basıncı (bar)	Güç (W)	Hızı (m/dak)
S6O1	St37	6mm	0,8	3200	3
S6O3	St37	6mm	0,8	3600	3
S6O5	St37	6mm	0,8	4000	3
S6O6	St37	6mm	0,8	3600	2,6
S6O10	St37	6mm	0,8	3600	3,4
S6O811	St37	6mm	0,6	3600	3
S6O15	St37	6mm	1	3600	3

Çizelge 5.5 Azot yardımcı gazı ile kesilen St37 çeliğinin kesme parametreleri

Yardımcı gaz: Azot			Parametreler		
Numune	Malzeme	Kalınlık	Basınç (bar)	Güç (W)	Hızı (m/dak)
S6N1	St37	6mm	18	4000	2
S6N3	St37	6mm	18	3500	2
S6N5	St37	6mm	18	3000	2
S6N6	St37	6mm	12	4000	2
S6N10	St37	6mm	24	4000	2
S6N11	St37	6mm	18	4000	1,4
S6N15	St37	6mm	18	4000	2,6

Çizelge 5.6 Azot yardımcı gazı ile kesilen 304 kalite paslanmaz çeliğin kesme parametreleri

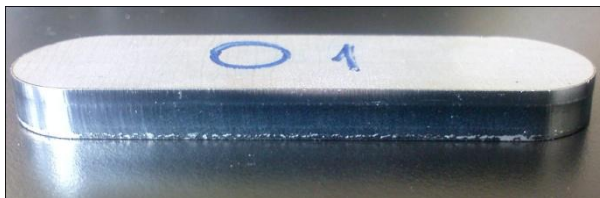
Yardımcı gaz: Azot			Parametreler		
Numune	Malzeme	Kalınlık	Basınç (bar)	Güç (W)	Hızı (m/dak)
P6N1	304 Paslanmaz Ç.	6mm	17	4000	2,2
P6N3	304 Paslanmaz Ç.	6mm	17	3500	2,2
P6N5	304 Paslanmaz Ç.	6mm	17	3000	2,2
P6N6	304 Paslanmaz Ç.	6mm	11	4000	2,2
P6N10	304 Paslanmaz Ç.	6mm	23	4000	2,2
P6N11	304 Paslanmaz Ç.	6mm	17	4000	1,8
P6N15	304 Paslanmaz Ç.	6mm	17	4000	2,6

Çizelge 5.7 Oksipropan ile kesilen St37 çeliğin kesme parametreleri

Oksi-Propan Kesme			Parametreler	
Numune	Malzeme	Kalınlık	Basınç (bar)	Hızı (mm/dak)
S6OP1	St37	6 mm	7	840
S6OP2	St37	6 mm	7	720
S6OP3	St37	6 mm	7	600
S6OP4	St37	6 mm	9	720
S6OP5	St37	6 mm	5	720

5.4 Numunelerin Değerlendirilmesi

5.4.1 Numune S6O1

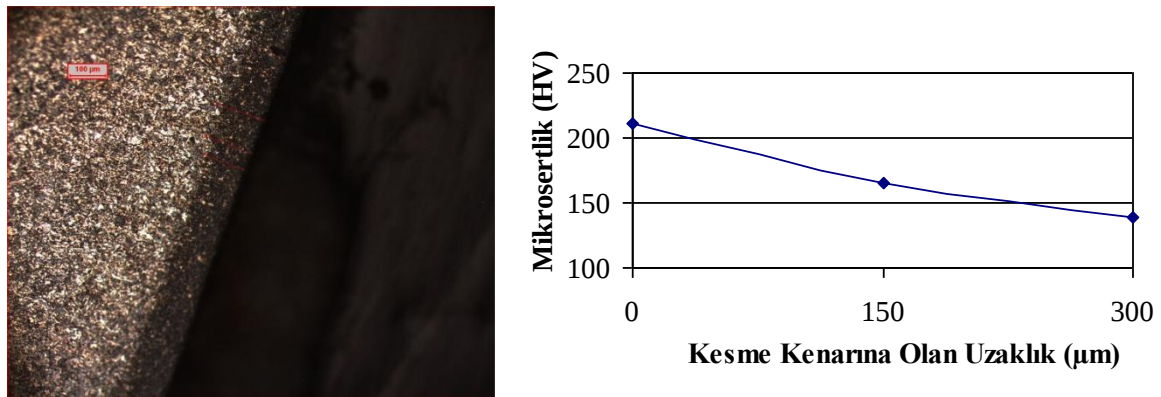


Şekil 5.3 Numune S6O1

Çizelge 5.8 Numune S6O1 hakkında teknik veriler

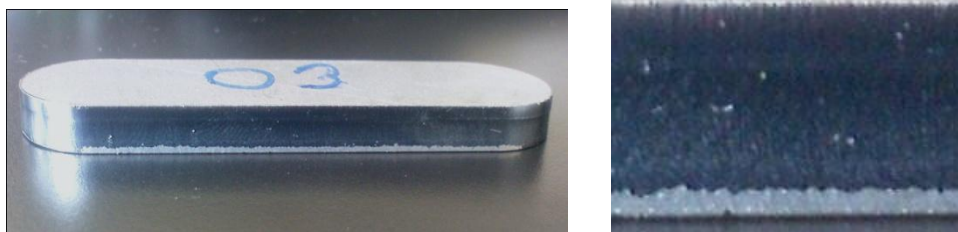
Numune	S6O1	Kesme Parametreleri			Sertlik Değeri (HV)		
Malzeme	St37	Gaz Basıncı	Güç	Hız	Ölçüm mesafesi		
Kalınlık	6mm	0,8 bar	3200 W	3 m/dak	0 µm	150 µm	300 µm
Kesme gazı	Oksijen	ITAB genişliği		119 µm	211,55	165,08	139,52

Bu numunenin kesilmesinde kesme hızı ve kesme basıncı makine standartlarında tutulmuş, laser gücü 6mm St37 çelik sacı kesebilecek en alt düzeye çekilmiştir. Buna rağmen oldukça pürüssüz bir yüzey elde edilmiştir. Alt yüzeyde çapak oluşumu yoktur. Oksijen ile kesme sonucu yüzeyde meydana gelen oksit tabakasının temizlenmesi gerekli bir ek işlem olarak düşünülebilir.



Şekil 5.4 S601 kodlu numunenin ITAB görüntüsü ve yüzey sertlik değişim grafiği

5.4.2 Numune S6O3



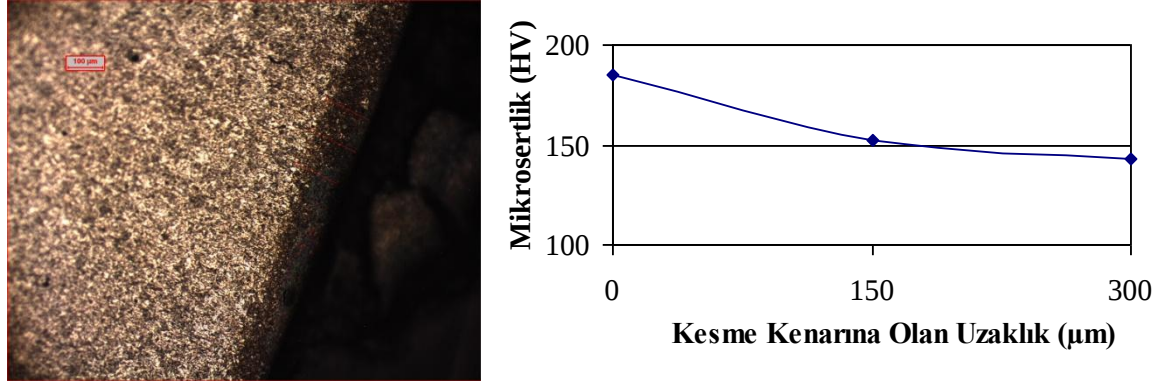
Şekil 5.5 Numune S6O3

Çizelge 5.9 Numune S6O3 hakkında teknik veriler

Numune	S603	Kesme Parametreleri			Sertlik Değeri (HV)		
Malzeme	St37	Gaz Basıncı	Güç	Hız	Ölçüm mesafesi		
Kalınlık	6mm	0,8 bar	3600 W	3 m/dak	0 µm	150 µm	300 µm
Kesme gazı	Oksijen	ITAB genişliği		122 µm	185,44	152,13	142,9

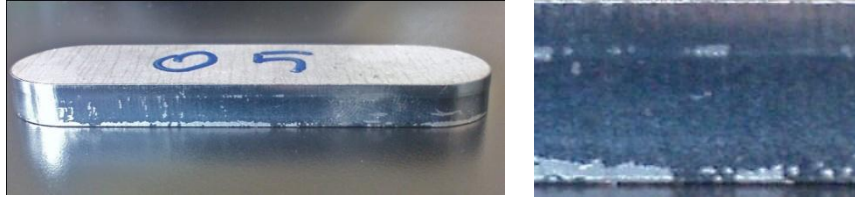
Makine standart parametreleri ile kesilen bu numune oldukça iyi kesme sonuçları vermiştir.

Çapak oluşumu yoktur ve kesme yüzeyi kalitesi üst düzeydedir. Oksit tabakası oluşumu oksijen ile kesmenin doğal sonucudur.



Şekil 5.6 S6O3 kodlu numunenin ITAB görüntüsü ve yüzey sertlik değişim grafiği

5.4.3 Numune S6O5

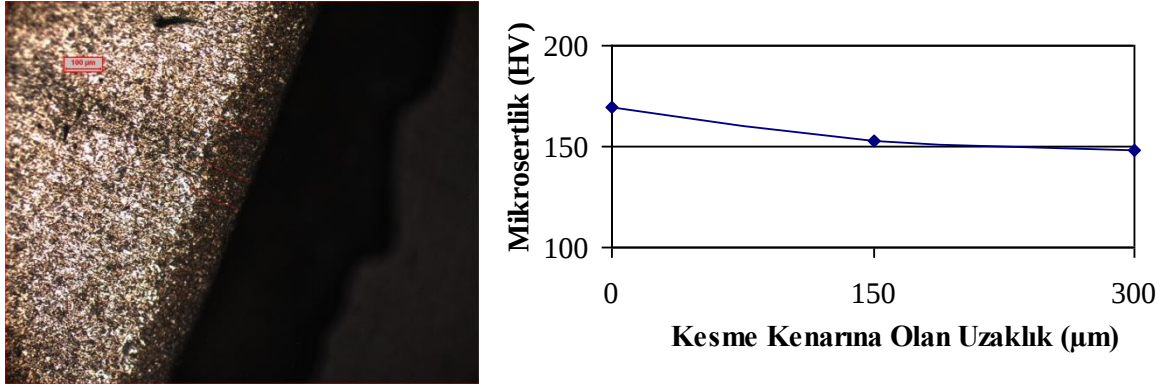


Şekil 5.7 Numune S6O5

Çizelge 5.10 Numune S6O5 hakkında teknik veriler

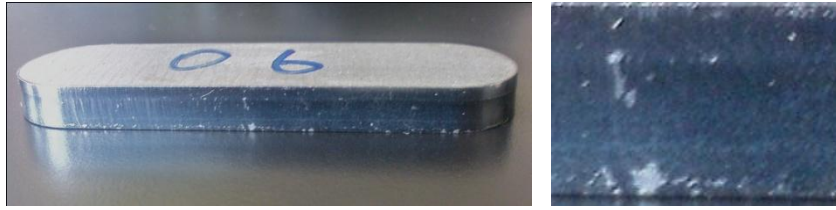
Numune	S6O5	Kesme Parametreleri			Sertlik Değeri (HV)		
Malzeme	St37	Gaz Basıncı	Güç	Hız	Ölçüm mesafesi		
Kalınlık	6mm	0,8 bar	4000 W	3 m/dak	0 µm	150 µm	300 µm
Kesme gazı	Oksijen	ITAB genişliği		134 µm	169,32	152,45	148,26

Laser gücü olarak makinanın üst limitinde kesilen bu numune de sürüklenme çizgileri bariz biçimde görülüyor olmasına rağmen yüzey kalitesi olarak kabul edilebilir sınırlar içersindedir. Çapak oluşumu yoktur. Laser gücünün artmasıyla sertlikte düşme ve ITAB mesafesinde artış görülmüştür.



Şekil 5.8 S6O5 kodlu numunenin ITAB görüntüsü ve yüzey sertlik değişim grafiği

5.4.4 Numune S6O6

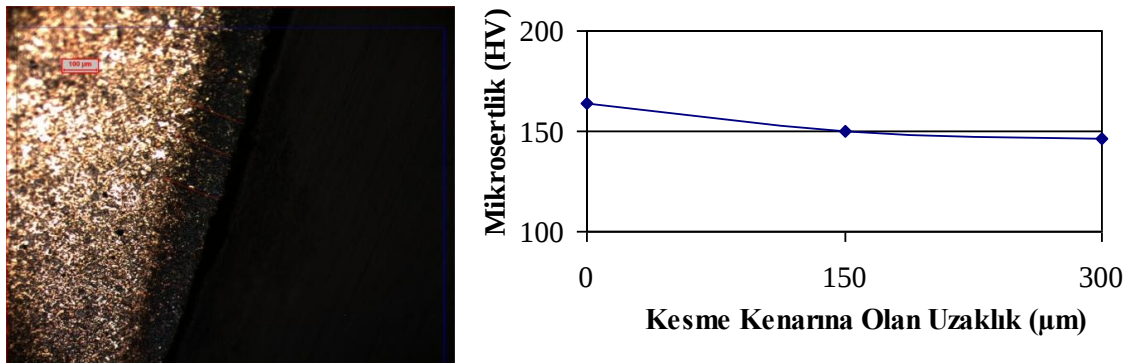


Şekil 5.9 Numune S6O6

Çizelge 5.11 Numune S6O6 hakkında teknik veriler

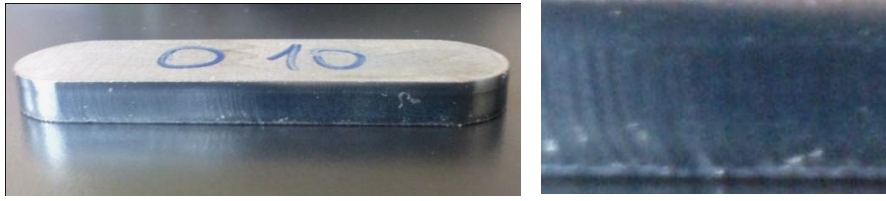
Numune	S6O6	Kesme Parametreleri			Sertlik Değeri (HV)		
Malzeme	St37	Gaz Basıncı	Güç	Hız	Ölçüm mesafesi		
Kalınlık	6mm	0,8 bar	3600 W	2,6 m/dak	0 µm	150 µm	300 µm
Kesme gazı	Oksijen	ITAB genişliği		163 µm	164,05	149,79	146,07

En düşük kesme hız ile kesilen bu numunede laser gücü ve kesme gazı basıncı makina standartlarında tutulmuştur. Yüzey kalitesi bakımından gayet iyi durumda olan numunede sürüklenme çizgileri belirgin değildir ve olabildiğince dik pozisyonudadır. Yüzeyde çapak oluşumu yoktur. Kesme yüzeyi ısı tesiri altında daha fazla bulunduğundan dolayı ITAB bölgesinin genişliği artmıştır.



Şekil 5.10 S6O6 kodlu numunenin ITAB görüntüsü ve yüzey sertlik değişim grafiği

5.4.5 Numune S6O10

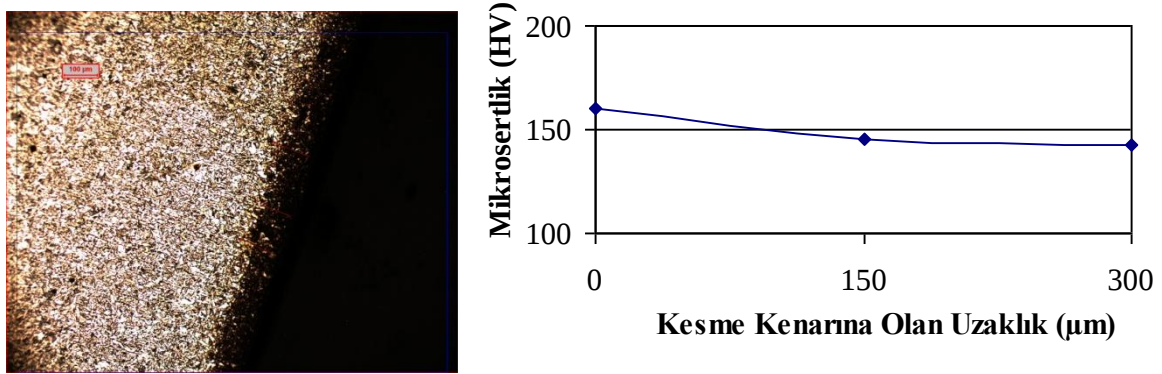


Şekil 5.11 Numune S6O10

Çizelge 5.12 Numune S6O10 hakkında teknik veriler

Numune	S6O10	Kesme parametreleri			Sertlik Değeri (HV)		
Malzeme	St37	Gaz Basıncı	Güç	Hız	Ölçüm mesafesi		
Kalınlık	6mm	0,8 bar	3600 W	3,4 m/dak	0 µm	150 µm	300 µm
Kesme gazı	Oksijen	ITAB genişliği		106 µm	160,02	145,31	142,7

Maksimum kesme hızıyla kesilen parçada sürüklenme çizgileri eğik biçimde konumlanmışlardır. Parça yüzeyi pürüzsüzdür ve alt yüzeyde çapak oluşumu olmamıştır. Yüzeydeki oksit tabakası oksijen kesmenin bir sonucudur. Kesme hızının yüksek olmasından dolayı ısı girdisi minimum düzeydedir ve ITAB mesafesi oldukça düşüktür.



Şekil 5.12 S6O10 kodlu numunenin ITAB görüntüsü ve yüzey sertlik değişim grafiği

5.4.6 Numune S6O11



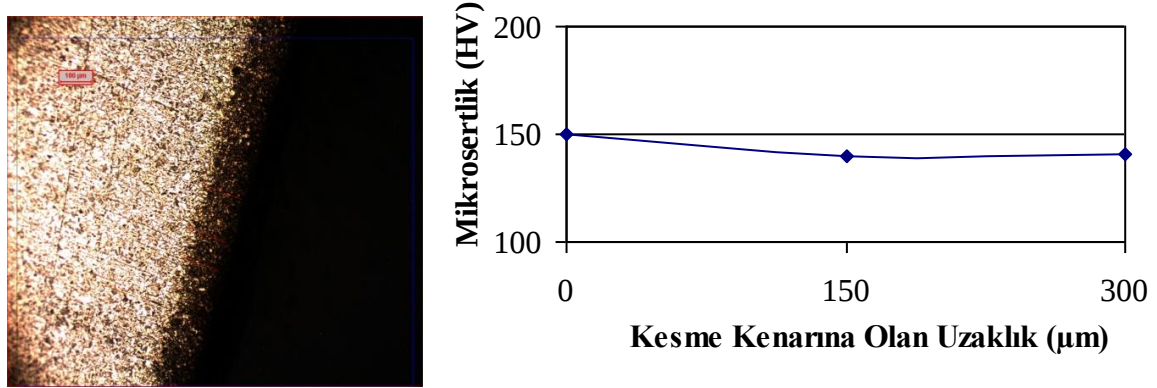
Şekil 5.13 Numune S6O11

Çizelge 5.13 Numune S6O11 hakkında teknik veriler

Numune	S6O11	Kesme parametreleri			Sertlik Değeri (HV)		
--------	-------	---------------------	--	--	---------------------	--	--

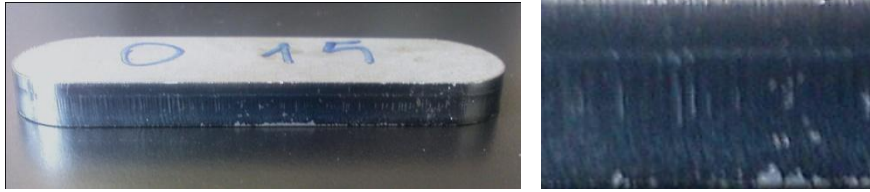
Malzeme	St37	Gaz Basıncı	Güç	Hız	Ölçüm mesafesi		
Kalınlık	6mm	0,6 bar	3600 W	3 m/dak	0 μm	150 μm	300 μm
Kesme gazı	Oksijen	ITAB genişliği		119 μm	150,12	139,5	140,52

Kesme gazı basıncının minimum olduğu bu numunede kesme yüzeyi gayet pürüzsüzdür ve çapak oluşumu yoktur. Sürüklenme çizgileri malzemenin üst yüzeyinde dik, en alt yüzeyinde yönlenmeye başlamıştır.



Şekil 5.14 S6O11 kodlu numunenin ITAB görüntüsü ve yüzey sertlik değişim grafiği

5.4.7 Numune S6O15

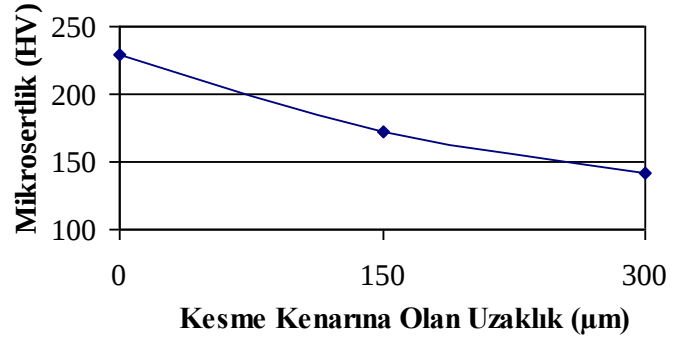
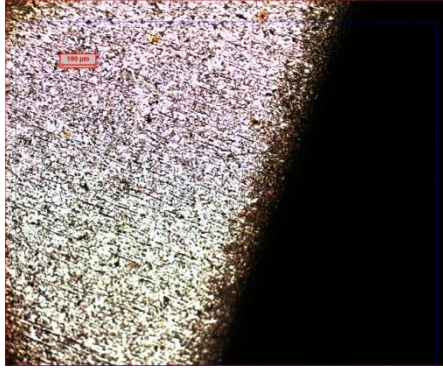


Şekil 5.15 Numune S6O15

Çizelge 5.14 Numune S6O15 hakkında teknik veriler

Numune	S6O15	Kesme parametreleri			Sertlik Değeri (HV)		
Malzeme	St37	Gaz Basıncı	Güç	Hız	Ölçüm mesafesi		
Kalınlık	6mm	1 bar	3600 W	3 m/dak	0 μm	150 μm	300 μm
Kesme gazı	Oksijen	ITAB genişliği		125 μm	228,8	172,62	141,9

En yüksek kesme gazı basıncı kullanılarak kesme işlemi gerçekleştirilen bu malzemenin yüzey pürüzlülüğü artmış, sürüklenme çizgileri malzemenin üst yüzeyinden eğilmeye başlamıştır. Fakat yüzey pürüzlülüğündeki artış kabul edilebilir düzeydedir.



Şekil 5.16 S6O15 kodlu numunenin ITAB görüntüsü ve yüzey sertlik değişim grafiği

5.4.8 Numune S6N1

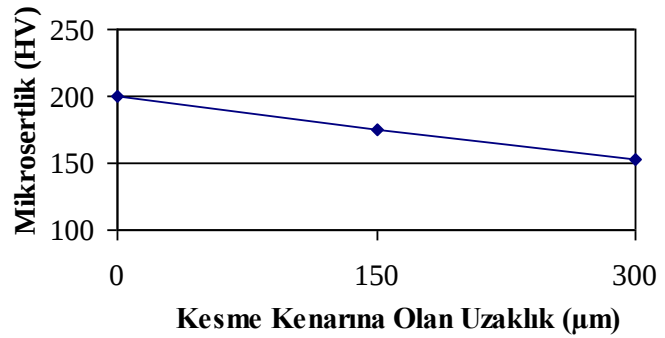
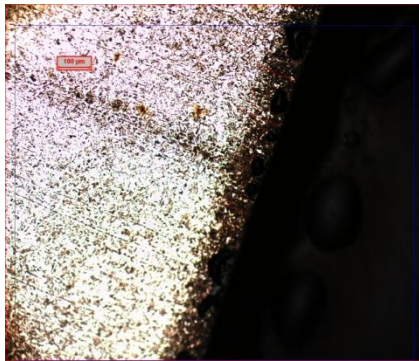


Şekil 5.17 Numune S6N1

Çizelge 5.15 Numune S6N1 hakkında teknik veriler

Numune	S6N1	Kesme parametreleri			Sertlik Değeri (HV)		
Malzeme	St37	Gaz Basıncı	Güç	Hız	Ölçüm mesafesi		
Kalınlık	6mm	18 bar	4000 W	2 m/dak	0 µm	150 µm	300 µm
Kesme gazı	Azot	ITAB genişliği		142,32 µm	199,73	174,86	152,42

Laser tezgahının 6mm St37 çelik malzeme için standart olarak belirlediği değerler ile yapılan numune kesme işleminde düzgün bir kesme yüzeyi elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü parçanın alt kesilmesinde bir miktar artış göstermiştir fakat çapak oluşumu gerçekleşmemiştir.



Şekil 5.18 S6N1 kodlu numunenin ITAB görüntüsü ve yüzey sertlik değişim grafiği

5.4.9 Numune S6N3

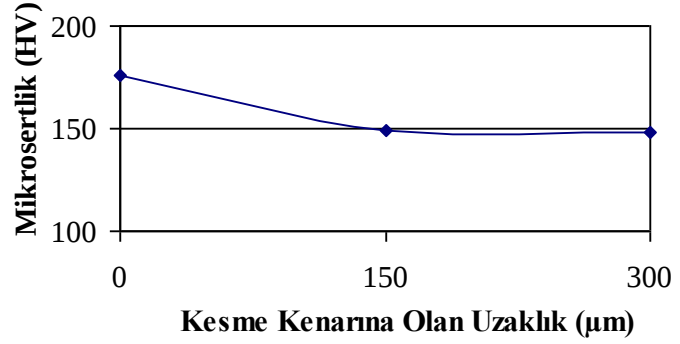


Şekil 5.19 Numune S6N3

Çizelge 5.16 Numune S6N3 hakkında teknik veriler

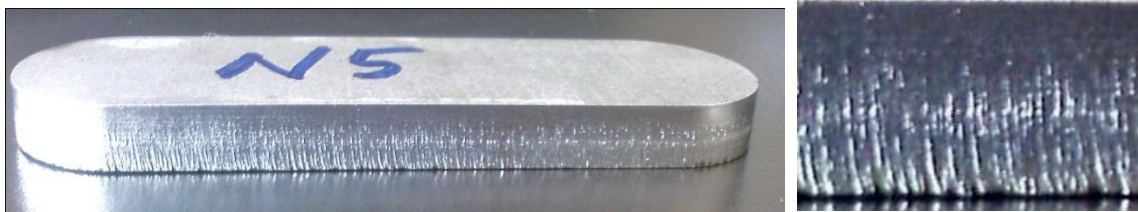
Numune	S6N3	Kesme parametreleri			Sertlik Değeri (HV)		
Malzeme	St37	Gaz Basıncı	Güç	Hız	Ölçüm mesafesi		
Kalınlık	6mm	18 bar	3500 W	2 m/dak	0 μm	150 μm	300 μm
Kesme gazı	Azot	ITAB genişliği		127,19 μm	176,01	148,98	147,92

Numunenin kesilmesinde laser gücünün azaltılmasıyla yüzey pürüzlülüğünde artış meydana gelmiştir. Malzeme alt yüzeyinde çapak oluşumu olmamıştır fakat en alt yüzeyde oksitlenme meydana gelmiştir.



Şekil 5.20 S6N3 kodlu numunenin ITAB görüntüsü ve yüzey sertlik değişim grafiği

5.4.10 Numune S6N5

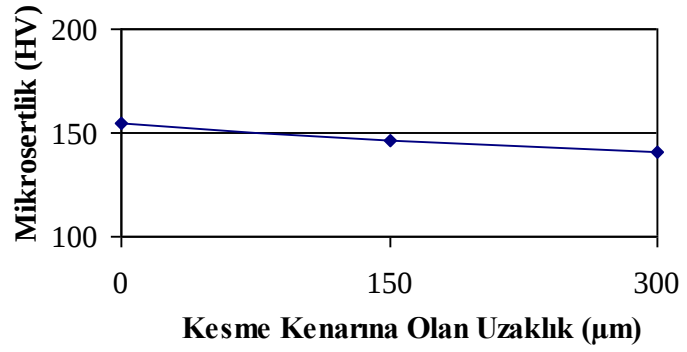
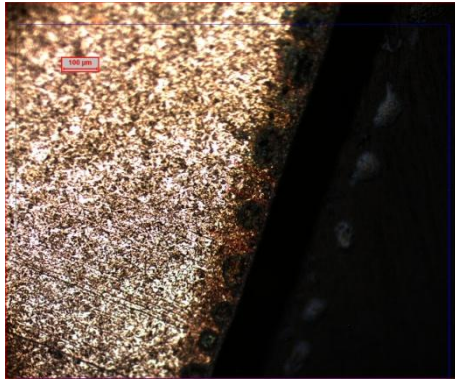


Şekil 5.21 Numune S6N5

Çizelge 5.17 Numune S6N5 hakkında teknik veriler

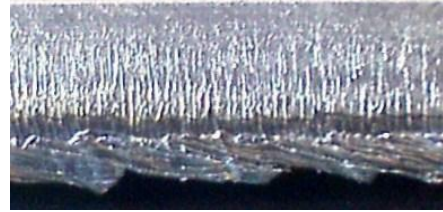
Numune	S6N5	Kesme Parametreleri			Sertlik Değeri (HV)		
Malzeme	St37	Gaz Basıncı	Güç	Hız	Ölçüm mesafesi		
Kalınlık	6mm	18 bar	3000 W	2 m/dak	0 μm	150 μm	300 μm
Kesme gazı	Azot	ITAB genişliği		124,56 μm	154,3	146,17	140,3

Azot gazı ile kesilebilecek en düşük laser gücü seviyesinde kesme işlemi gerçekleştirilen parçada yüzey kalitesi gayet iyi düzeydedir. Pürüzlülük özellikle alt yüzeyde bir miktar artmıştır. Herhangi bir çapak oluşumu görülmemiştir.



Şekil 5.22 Numune S6N5

5.4.11 Numune S6N6



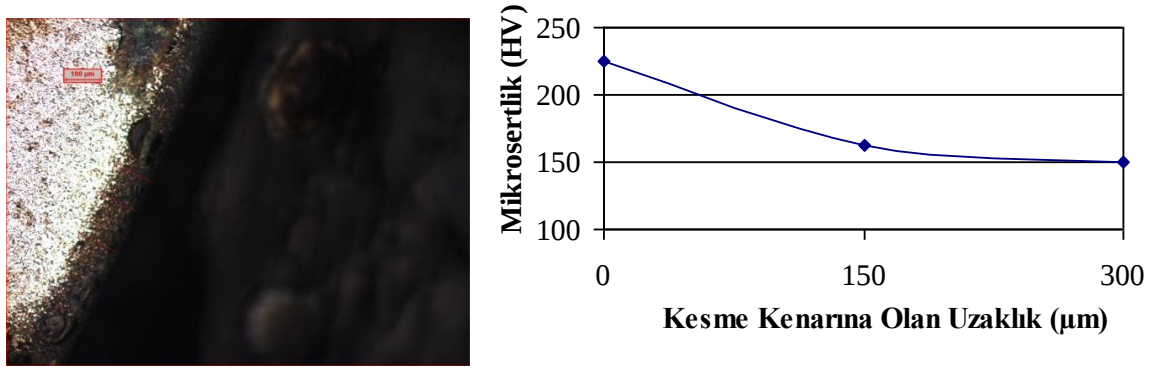
Şekil 5.23 Numune S6N6

Çizelge 5.18 Numune S6N6 hakkında teknik veriler

Numune	S6N6	Kesme Parametreleri			Sertlik Değeri (HV)		
Malzeme	St37	Gaz Basıncı	Güç	Hız	Ölçüm mesafesi		
Kalınlık	6mm	12 bar	4000 W	2 m/dak	0 μm	150 μm	300 μm
Kesme gazı	Azot	ITAB genişliği		122,87 μm	225,42	163,03	150,6

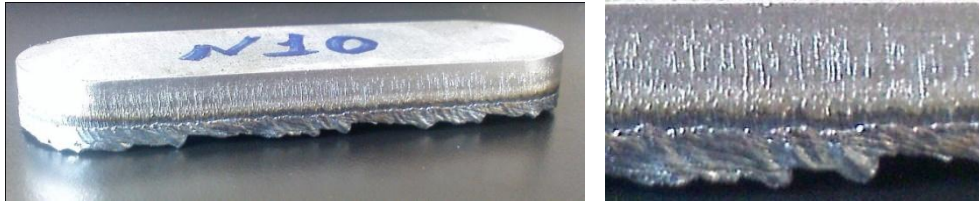
Laser gücü ve kesme hızı makine standart değerlerinde iken yardımcı gaz basıncı düşürüldüğünde parçanın alt yüzeyinde çok büyük çapak oluşumu gözlenmiştir. Yardımcı gaz basıncının ergiyen metali uzaklaştırmaya yetmemesi ve malzeme üzerinde koruyucu tabaka oluşturamaması sonucu oksit tabakası oluşmuştur. Kesme yüzeyi pürüzlü bir yapıya sahiptir.

Malzemenin kullanımı açısından çapak tabakasının temizlenmesi ek işlem olarak zorunludur.



Şekil 5.24 Numune S6N6

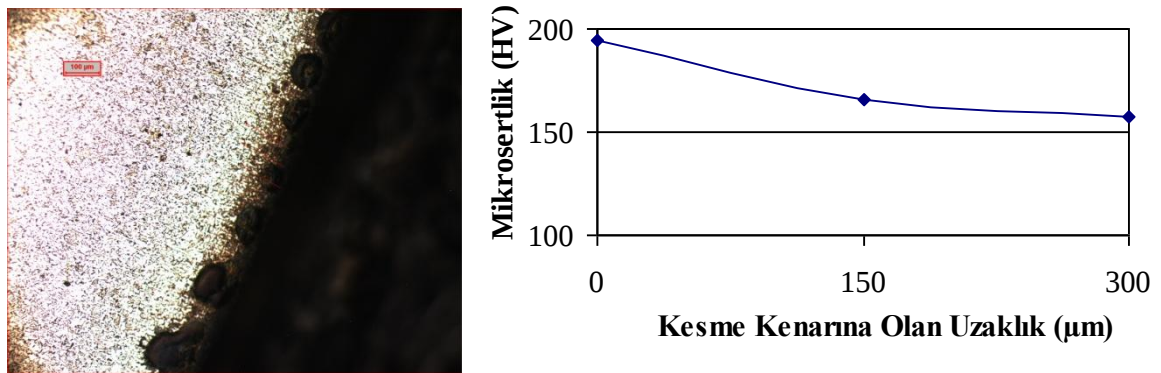
5.4.12 Numune S6N10



Şekil 5.25 Numune S6N10

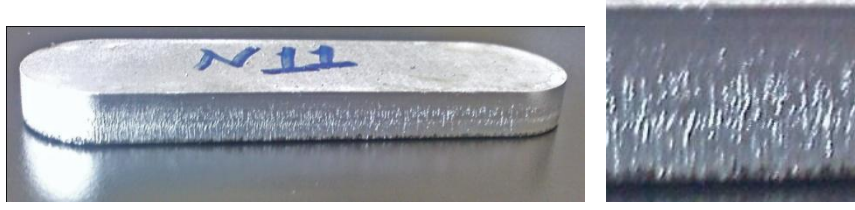
Çizelge 5.19 Numune S6N10 hakkında teknik veriler

Numune	S6N10	Kesme Parametreleri			Sertlik Değeri (HV)		
Malzeme	St37	Gaz Basıncı	Güç	Hız	Ölçüm mesafesi		
Kalınlık	6mm	24 bar	4000 W	2 m/dak	0 µm	150 µm	300 µm
Kesme gazı	Azot	ITAB genişliği		130,48 µm	194,34	166,12	157,09



Şekil 5.26 Numune S6N10

5.4.13 Numune S6N11



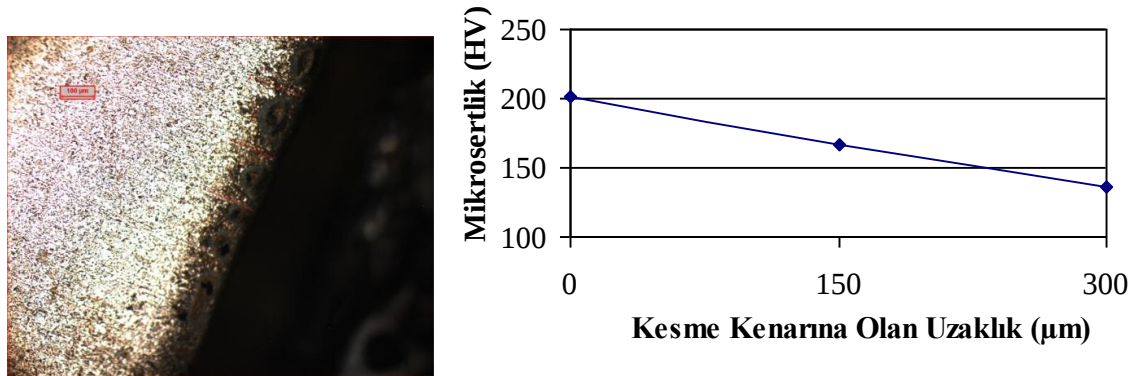
Şekil 5.27 Numune S6N11

Çizelge 5.20 Numune S6N11 hakkında teknik veriler

Numune	S6N11	Kesme Parametreleri			Sertlik Değeri (HV)		
Malzeme	St37	Gaz Basıncı	Güç	Hız	Ölçüm mesafesi		
Kalınlık	6mm	18 bar	4000 W	1,4 m/dak	0 µm	150 µm	300 µm
Kesme gazı	Azot	ITAB genişliği		159,25 µm	201,4	167,15	135,58

Numunenin kesilmesinde laser gücü ve gaz basıncı standart değerlerinde iken kesme hızının düşürülmesiyle çapaksız kesme gerçekleştirilebilmiştir. Kesme yüzeyi pürüzlü bir yapıya sahiptir. Malzeme alt yüzeyinde ince bir oksit tabakası meydana gelmiştir. Kesme hızının düşük olmasından dolayı, daha fazla ısı etkisine maruz kalmış ve ısı tesiri altındaki bölge genişlemiştir.

ITAB bölgesinde Şekil 5.28’ de de görüleceği gibi oyukluklar meydana gelmiştir. Bu oyukluklar bu bölgelerde ısının yoğunlaştığını ve ilave ergime bölgeleri meydana geldiğine işaret eder. Bu oluşum St37 çeliğinin azot gazı atmosferinde kendini hissettiren ısı kapasitesi ve ısıl iletkenli gibi özelliklerinin sonucu olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.28 Numune S6N11

5.4.14 Numune S6N15

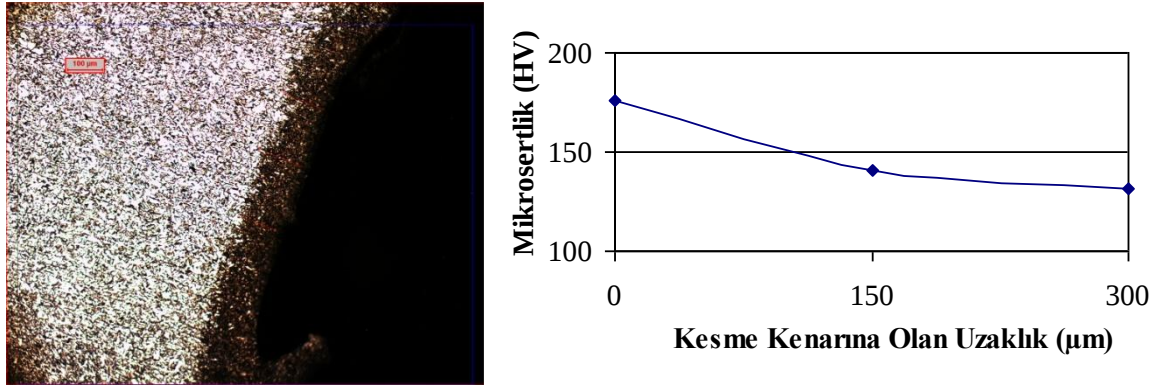


Şekil 5.29 Numune S6N15

Çizelge 5.21 Numune S6N15 hakkında teknik veriler

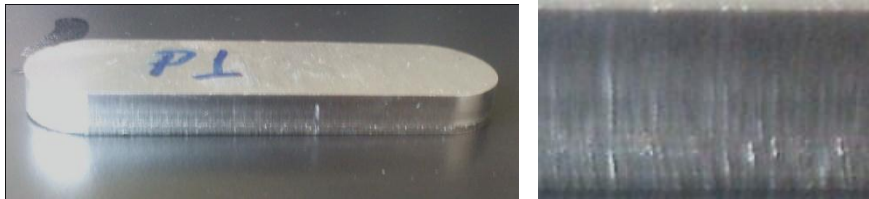
Numune	S6N15	Kesme Parametreleri			Sertlik Değeri (HV)		
Malzeme	St37	Gaz Basıncı	Güç	Hız	Ölçüm mesafesi		
Kalınlık	6mm	18 bar	4000 W	2,6 m/dak	0 µm	150 µm	300 µm
Kesme gazı	Azot	ITAB genişliği		117,72 µm	175,94	141,17	131,8

Numunenin laser gücü ve kesme gazı basıncı standart değerlerinde tutularak kesme hızının artırılmasıyla pürüzlü bir kesme yüzeyi elde edilmiştir. Alt yüzeyde çapak oluşumu gözlenmemiştir. Hızın artışıyla kesme yüzeyi ısıdan daha az süreyle etkilenmiş ve dolayısıyla ITAB mesafesi düşük olmuştur.



Şekil 5.30 Numune S6N15

5.4.15 Numune P6N1

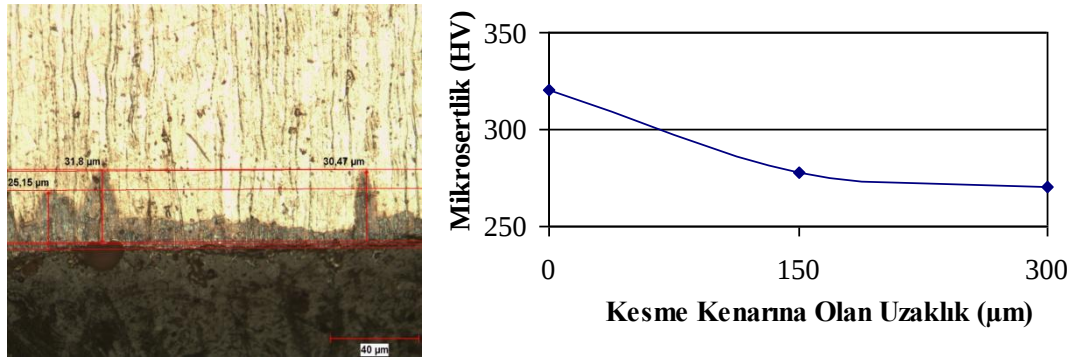


Şekil 5.31 Numune P6N1

Çizelge 5.22 Numune P6N1 hakkında teknik veriler

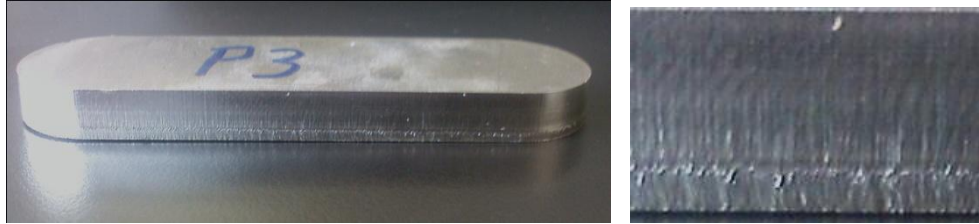
Numune	P6N1	Kesme Parametreleri			Sertlik Değeri (HV)		
Malzeme	304 P. Çelik	Gaz Basıncı	Güç	Hız	Ölçüm mesafesi		
Kalınlık	6mm	17 bar	4000 W	2,2 m/dak	0 μm	150 μm	300 μm
Kesme gazı	Azot	ITAB genişliği		29,15 μm	320,46	277,74	270,08

Numunenin kesilmesinde laser tezgahının paslanmaz çelik malzeme kesme işlemi için belirlemiş olduğu standart değerler kullanılmış ve son derece pürüzsüz bir kesme yüzeyi elde edilmiştir. Çapak oluşumu görülmemiştir.



Şekil 5.32 Numune P6N1

5.4.16 Numune P6N3



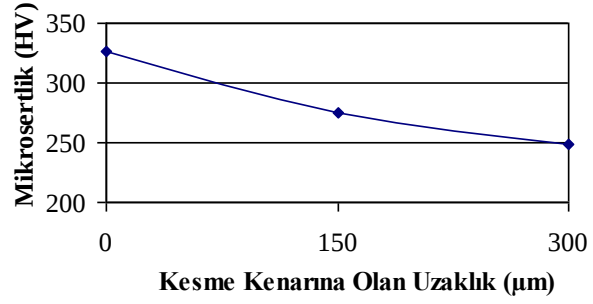
Şekil 5.33 Numune P6N3

Çizelge 5.23 Numune P6N3 hakkında teknik veriler

Numune	P6N3	Kesme Parametreleri			Sertlik Değeri (HV)		
Malzeme	304 P. Çelik	Gaz Basıncı	Güç	Hız	Ölçüm mesafesi		
Kalınlık	6mm	17 bar	3500 W	2,2 m/dak	0 μm	150 μm	300 μm
Kesme gazı	Azot	ITAB genişliği		28,65 μm	326,5	275,44	248,53

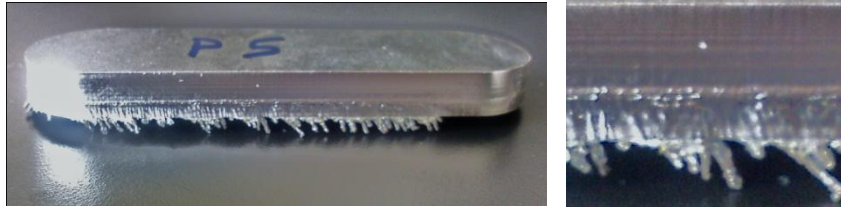
Kesme hızı ve kesme gazı basıncının sabit tutularak laser gücünün düşürülmesiyle gerçekleştirilen kesme işlemi sonucunda özellikle malzemenin alt yüzeyinde pürüzlülüğün bir miktar arttığı görülmüştür. Kesme işlemi başarıyla gerçekleştirilmiş ve çapak oluşumu

gözlenmemiştir. Laser gücünün düşürülmesiyle ITAB bölgesinin daraldığı gözlenmiştir.



Şekil 5.34 Numune P6N3

5.4.17 Numune P6N5

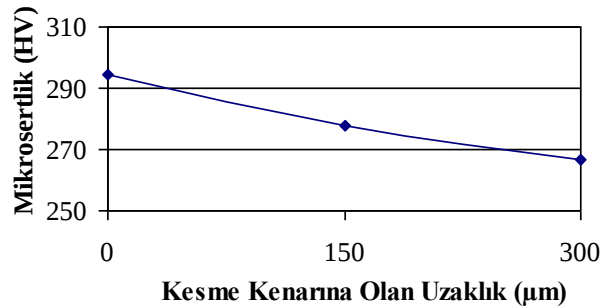


Şekil 5.35 Numune P6N5

Çizelge 5.24 Numune P6N5 hakkında teknik veriler

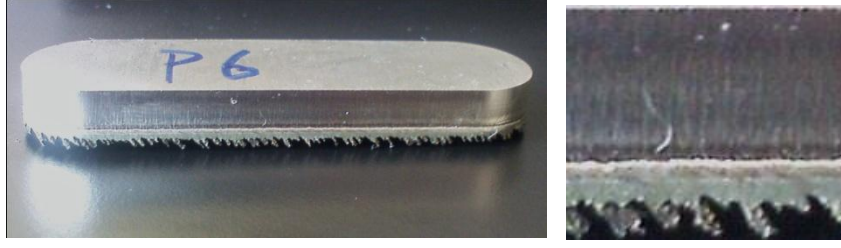
Numune	P6N5	Kesme Parametreleri			Sertlik Değeri (HV)		
Malzeme	304 P. Çelik	Gaz Basıncı	Güç	Hız	Ölçüm mesafesi		
Kalınlık	6mm	17 bar	3000 W	2,2 m/dak	0 µm	150 µm	300 µm
Kesme gazı	Azot	ITAB genişliği		15,65 µm	294,5	277,86	266,61

Gaz basıncı ve kesme hızı standart değerlerinde tutulmuş, laser gücü kesme işleminin yapılabileceği en düşük seviyeye indirilerek gerçekleştirilen kesme işlemi sonucunda malzemede yüksek oranda çapak oluşumu görülmüştür. Parçanın özellikle alt yarısında yüzey pürüzlülüğü üst seviyededir. Laser gücünün düşük olması dolayısıyla ITAB bölgesi en dar seviyesindedir.



Şekil 5.36 Numune P6N5

5.4.18 Numune P6N6

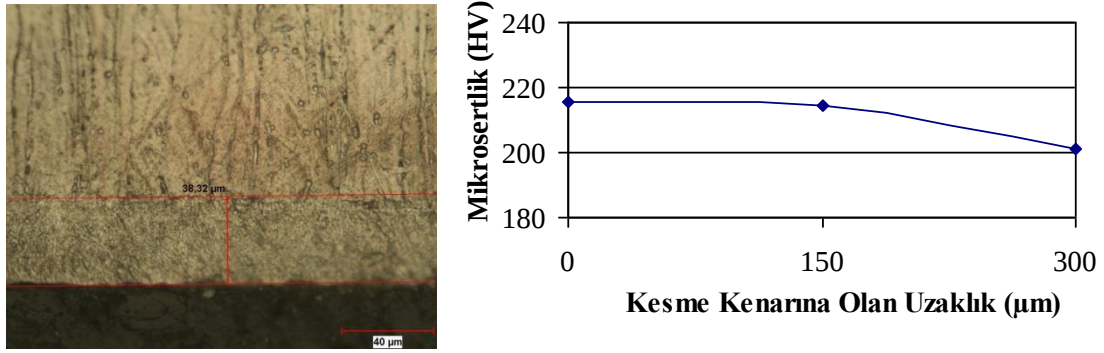


Şekil 5.37 Numune P6N6

Çizelge 5.25 Numune P6N6 hakkında teknik veriler

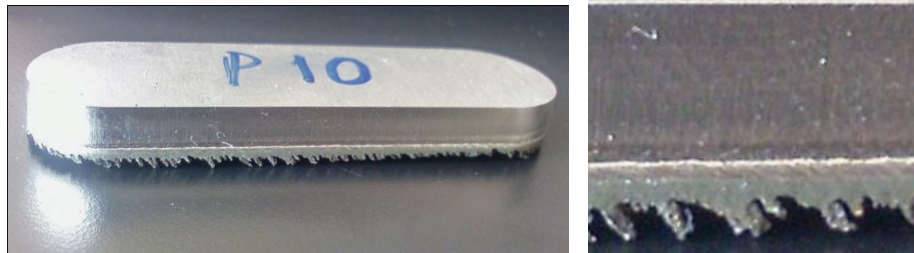
Numune	P6N6	Kesme Parametreleri			Sertlik Değeri (HV)		
Malzeme	304 P. Çelik	Gaz Basıncı	Güç	Hız	Ölçüm mesafesi		
Kalınlık	6mm	11 bar	4000 W	2,2 m/dak	0 µm	150 µm	300 µm
Kesme gazı	Azot	ITAB genişliği		38,32 µm	215,77	214,31	201,12

Standart laser gücü ve kesme hızında kesme gazının basıncının düşürülmesiyle zor bir kesme işlemi gerçekleştirilmiştir. Malzeme alt yüzeyinde yüksek oranda çapak meydana gelmiştir. Yüzey kalitesi kesme yüzeyinin büyük kesilmesinde pürüzsüz olarak değerlendirilebilir. Parçanın kullanımı için ek işleme gereksinim vardır.



Şekil 5.38 Numune P6N6

5.4.19 Numune P6N10

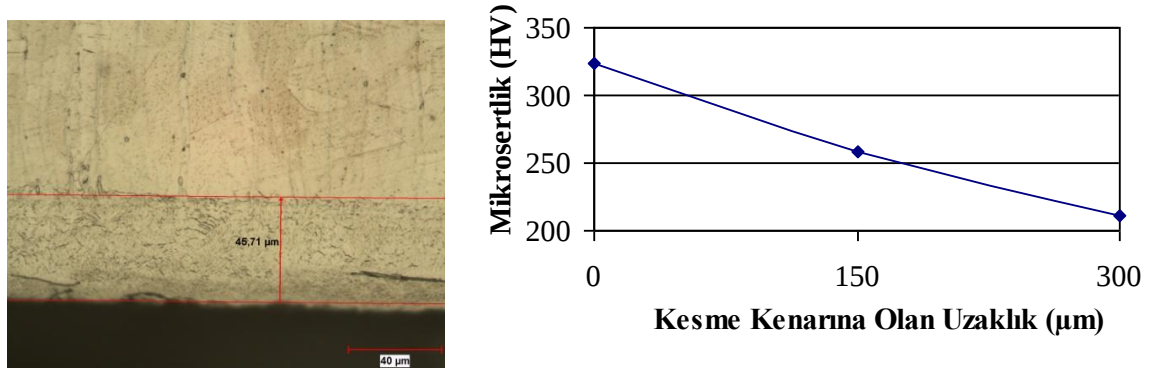


Şekil 5.39 Numune P6N10

Çizelge 5.26 Numune P6N10 hakkında teknik veriler

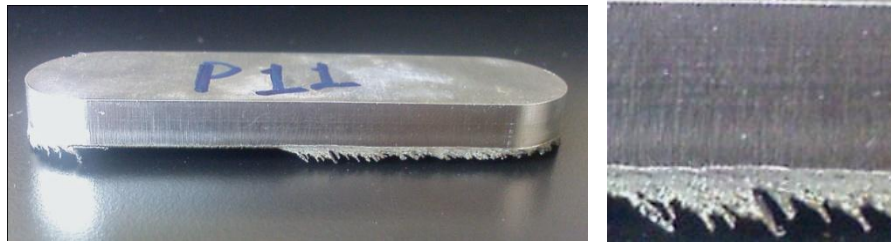
Numune	P6N10	Kesme Parametreleri			Sertlik Değeri (HV)		
Malzeme	304 P. Çelik	Gaz Basıncı	Güç	Hız	Ölçüm mesafesi		
Kalınlık	6mm	23 bar	4000 W	2,2 m/dak	0 μm	150 μm	300 μm
Kesme gazı	Azot	ITAB genişliği		46,71 μm	323,32	258,38	211,73

Gaz basıncının standart değerin üstüne çıkarılması kesme yüzeyinin son derece pürüzsüz çıkmasını sağlamıştır. Fakat hızlı soğuma sonucunda malzeme alt yüzeyinde çapak oluşumu görülmüştür ve kesme işlemi zor gerçekleşmiştir. Bunun sonucu olarak sertlik değerleri üst seviyededir.



Şekil 5.40 Numune P6N10

5.4.20 Numune P6N11



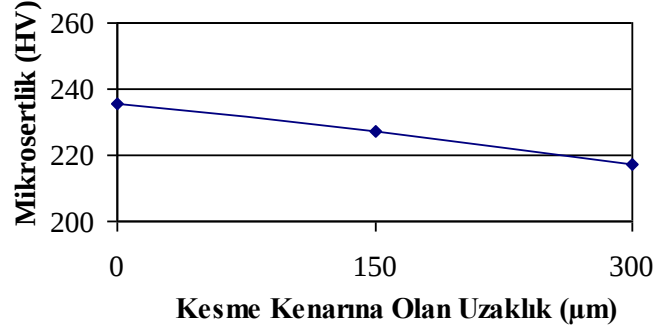
Şekil 5.41 Numune P6N11

Çizelge 5.27 Numune P6N11 hakkında teknik veriler

Numune	P6N11	Kesme Parametreleri			Sertlik Değeri (HV)		
Malzeme	304 P. Çelik	Gaz Basıncı	Güç	Hız	Ölçüm mesafesi		
Kalınlık	6mm	17 bar	4000 W	1,8 m/dak	0 μm	150 μm	300 μm
Kesme gazı	Azot	ITAB genişliği		37,75 μm	235,65	227,16	217,38

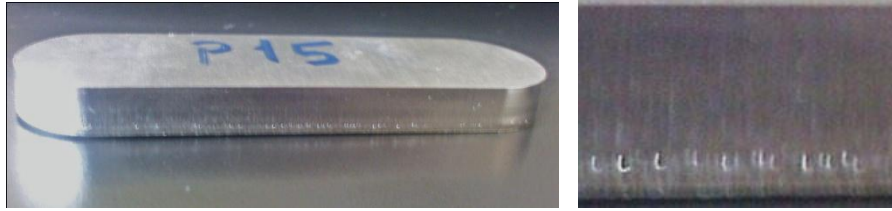
Kesme gazı basıncı ve laser gücü sabit tutularak kesme hızının düşürülmesiyle gerçekleştirilen kesme işlemi sonucu düzgün bir kesme bölgesi yüzeyi elde edilmiş fakat

malzeme alt yüzeyinde çapak oluşumu gözlenmiştir. Kesme hızının yavaşlığı kesme yüzeyinin pürüzsüzlüğünü sağlarken gaz basıncının bu hız için fazla olması soğumayı hızlandırmış ve çapak oluşumu meydana gelmiştir.



Şekil 5.42 Numune P6N11

5.4.21 Numune P6N15

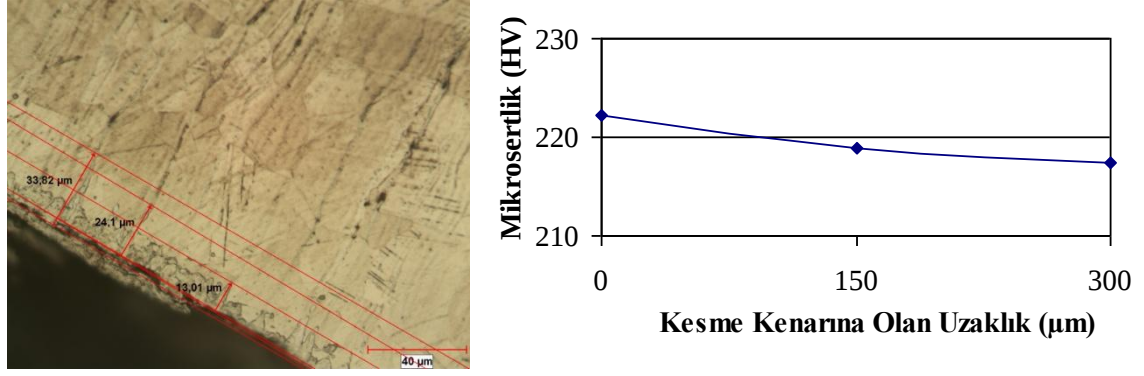


Şekil 5.43 Numune P6N15

Çizelge 5.28 Numune P6N15 hakkında teknik veriler

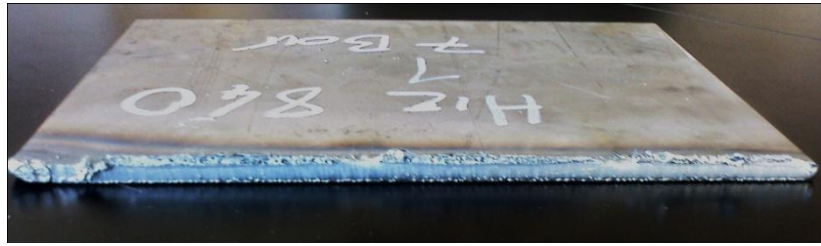
Numune	P6N15	Kesme Parametreleri			Sertlik Değeri (HV)		
Malzeme	304 P. Çelik	Gaz Basıncı	Güç	Hız	Ölçüm mesafesi		
Kalınlık	6mm	17 bar	4000 W	2,6 m/dak	0 μm	150 μm	300 μm
Kesme gazı	Azot	ITAB genişliği		23,52 μm	222,25	218,92	217,38

Standart kesme parametreleri kullanılırken kesme hızının arttırılması kesme yüzeyinin pürüzlü olmasına yol açmıştır. Malzeme alt bölgesinde çapak oluşumu gerçekleşmemiş, sertlik değerleri malzeme yüzeyinin ısı etkisinde daha kısa süre kalması dolayısı ile düşük seviyede kalmıştır.



Şekil 5.44 Numune P6N15

5.4.22 Numune S6OP1



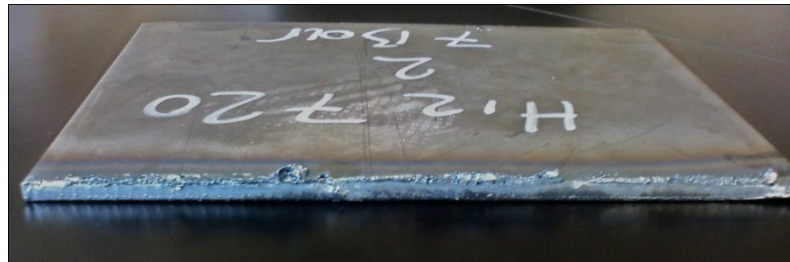
Şekil 5.45 Numune S6OP1

Çizelge 5.29 Numune S6OP1 hakkında teknik veriler

Numune	S6OP1	Kesme Parametreleri		Sertlik Değeri (HV)				
Malzeme	St37	Gaz Basıncı	Hız	Ölçüm mesafesi				
Kalınlık	6mm	7 bar	840 mm/dak	0 mm	3 mm	5 mm	8 mm	15 mm
Yanıcı Gaz	Propan	ITAB genişliği	1,63 mm	139,47	120,13	116,56	115,92	128,27

En yüksek kesme hızına sahip bu numunede malzeme alt yüzeyinde çapak oluşumu gözlenmiştir. Itab bölgesi en düşük değerindedir.

5.4.23 Numune S6OP2



Şekil 5.46 Numune S6OP2

Çizelge 5.30 Numune S6OP2 hakkında teknik veriler

Numune	S6OP2	Kesme Parametreleri		Sertlik Değeri (HV)				
Malzeme	St37	Gaz Basıncı	Hız	Ölçüm mesafesi				
Kalınlık	6mm	7 bar	720 mm/dak	0 mm	3 mm	5 mm	8 mm	15 mm
Yanıcı Gaz	Propan	ITAB genişliği	2,27 mm	142,91	132,67	126,52	122,81	113,83

Gaz basıncının ve kesme hızının ortalama değer kabul edildiği bu parçanın kesilmesinde daha düzgün bir kesme kalitesi elde edilmiştir. Malzeme alt yüzeyinde az miktarda curuf oluşumu meydana gelmiştir. Hızın azalmasıyla ITAB bölgesi de genişlemiştir.

5.4.24 Numune S6OP3



Şekil 5.47 Numune S6OP3

Çizelge 5.31 Numune S6OP3 hakkında teknik veriler

Numune	S6OP3	Kesme Parametreleri		Sertlik Değeri (HV)				
Malzeme	St37	Gaz Basıncı	Hız	Ölçüm mesafesi				
Kalınlık	6mm	7 bar	600 mm/dak	0 mm	3 mm	5 mm	8 mm	15 mm
Yanıcı Gaz	Propan	ITAB genişliği	3,14 mm	139,91	128,86	127,36	123,57	130,08

Kesme hızının en düşük olduğu bu numunenin kesilmesinde parçanın yüzey kalitesi düşmüş, alt yüzeyde çapak oluşumunun arttığı görülmüştür. ITAB genişliği en yüksek seviyesine gelmiştir.

5.4.25 Numune S6OP4



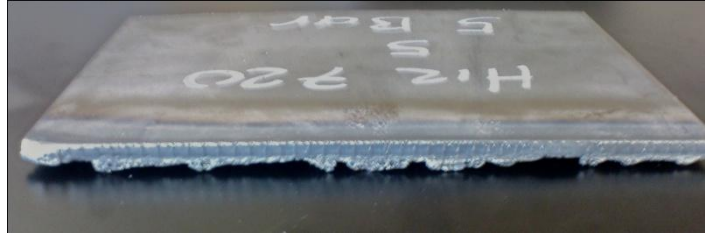
Şekil 5.48 Numune S6OP4

Çizelge 5.32 Numune S6OP4 hakkında teknik veriler

Numune	S6OP4	Kesme Parametreleri		Sertlik Değeri (HV)				
Malzeme	St37	Gaz Basıncı	Hız	Ölçüm mesafesi				
Kalınlık	6mm	9 bar	720 mm/dak	0 mm	3 mm	5 mm	8 mm	15 mm
Yanıcı Gaz	Propan	ITAB genişliği	2,69 mm	140,23	130,48	124,86	121,25	130,45

Gaz basıncının en üst düzeyde tutulduğu bu parçanın kesilmesinde yüksek çapak oluşumu gözlenmiştir. Gaz basıncının artması ITAB mesafesinin artmasına sebep olmuştur.

5.4.26 Numune S6OP5



Şekil 5.49 Numune S6OP5

Çizelge 5.33 Numune S6OP5 hakkında teknik veriler

Numune	S6OP5	Kesme Parametreleri		Sertlik Değeri (HV)				
Malzeme	St37	Gaz Basıncı	Hız	Ölçüm mesafesi				
Kalınlık	6mm	5 bar	720 mm/dak	0 mm	3 mm	5 mm	8 mm	15 mm
Yanıcı Gaz	Propan	ITAB genişliği	1,17 mm	146,38	131,77	118,35	123,49	131,33

Gaz basıncının en düşük olduğu bu parçanın kesilmesinde malzeme alt yüzeyinde önemli çapak oluşumu görülmüştür. ITAB mesafesi bir miktar azalmasına rağmen yüksek değerdedir.

5.5 Deneysel Çalışma Sonuçlarının Değerlendirilmesi

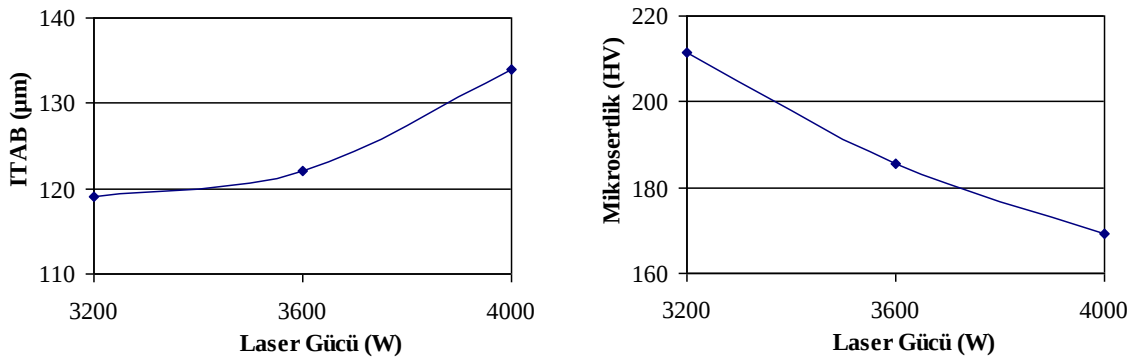
5.5.1 Laser ile Kesmede Laser Gücünün ITAB Genişliğine ve Sertliğe Etkisi

Çizelge 5.34 Laser gücü değiştirilerek kesilen numunelerin deney sonuçları

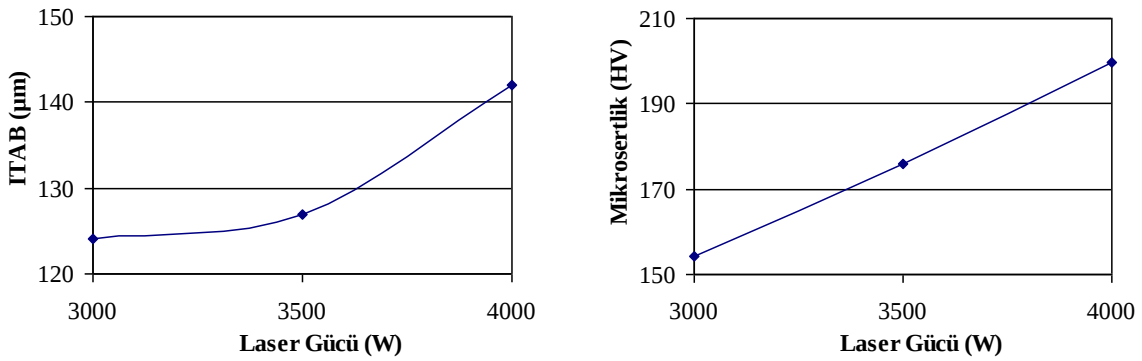
Numune	Malzeme	Yardımcı Gaz	Laser Gücü (W)	ITAB (μm)	Mikrosertlik (HV)
S6O1	St37	Oksijen	3200	119,52	211,55
S6O3	St37	Oksijen	3600	122,25	185,44
S6O5	St37	Oksijen	4000	134,89	169,32
S6N5	St37	Azot	3000	124,56	154,3

S6N3	St37	Azot	3500	127,19	176,01
S6N1	St37	Azot	4000	142,32	199,73
P6N5	304 Paslanmaz	Azot	3000	15,65	294,5
P6N3	304 Paslanmaz	Azot	3500	28,65	326,5
P6N1	304 Paslanmaz	Azot	4000	29,15	320,46

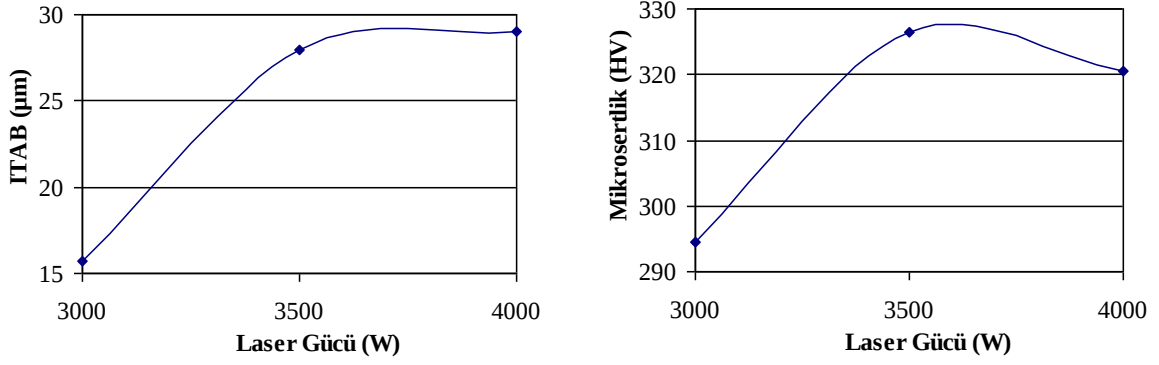
6mm kalınlığındaki St37 çeliğinin laser ile kesilmesi sonucu farklı laser güçlerinde numune yüzeylerinden ölçülen ITAB mesafeleri Çizelge 5.34 te görülmektedir. Şekil 5.50, Şekil 5.51 ve Şekil 5.52'den de anlaşılacağı gibi laser gücünün artışıyla beraber ITAB mesafesi de artmıştır. Bunun temel nedeni olarak malzeme yüzeyine etki eden enerji miktarındaki artışın olduğu söylenebilir.



Şekil 5.50 St37 çeliğinin oksijen ile farklı laser güçlerinde kesilmesi sonucu görülen ITAB mesafesindeki ve sertlik değerlerindeki değişim grafikleri



Şekil 5.51 St37 çeliğinin azot ile farklı laser güçlerinde kesilmesi sonucu görülen ITAB mesafesindeki ve sertlik değerlerindeki değişim grafikleri



Şekil 5.52 304 paslanmaz çeliğinin azot ile farklı laser güçlerinde kesilmesi sonucu görülen ITAB mesafesindeki ve sertlik değerlerindeki değişim grafikleri

St37 çeliğinde, kesme gazı olarak oksijen kullanılması durumunda laser gücünün artışı, kesme gazı olarak azot kullanılması durumu ile karşılaştırıldığında ITAB mesafesinin artışı daha düşük olmaktadır. Bunun yanında 304 paslanmaz çeliğin kesme gazı olarak azot kullanılarak kesilmesi durumunda laser artışı 3500 Wlık değerde hızlı yükseliş gösterdikten sonra gücün artışıyla değişim göstermemiştir.

Mikrosertlik değerleri incelendiğinde laser gücünün artmasıyla, yani malzemeye etkiyen enerjinin artışıyla oksijenle kesilen numunelerin sertlik değerlerinde düşme, azot ile kesilen St37 çelik ile 304 paslanmaz çelik numunelerin sertlik değerlerinde ise artma olduğu gözlenmiştir.

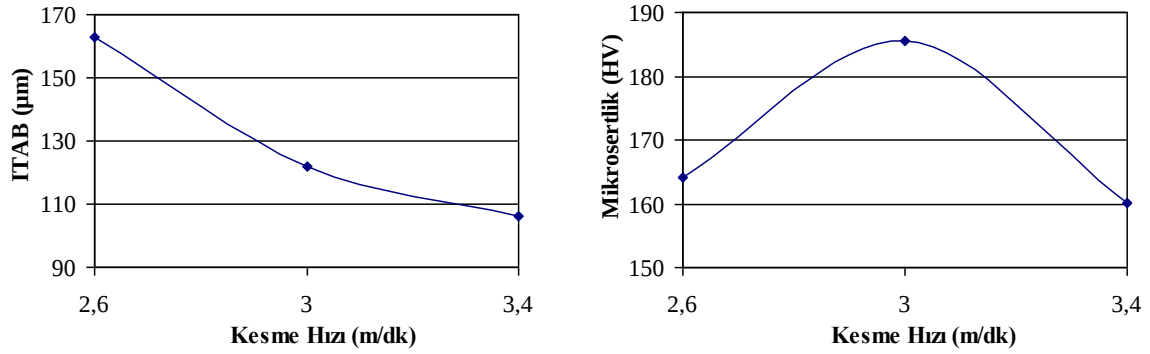
5.5.2 Laser ile Kesmede Kesme Hızının ITAB Genişliğine ve Sertliğe Etkisi

Çizelge 5.35 Kesme hızı değiştirilerek kesilen numunelerin deney sonuçları

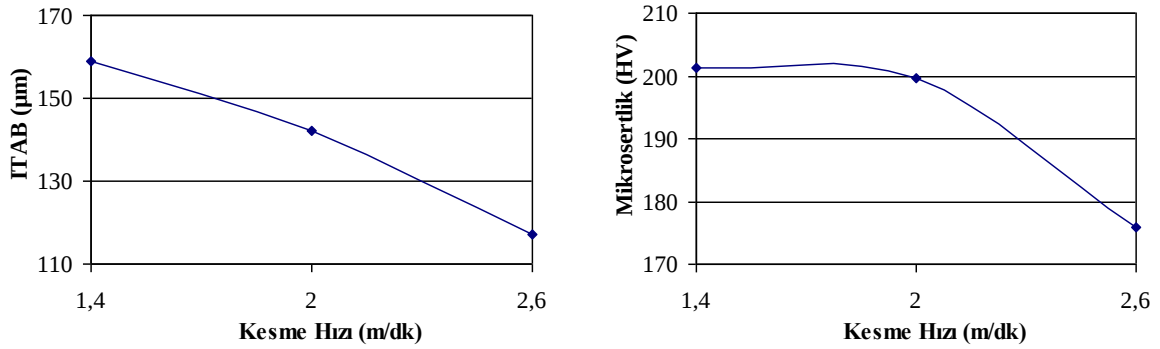
Numune	Malzeme	Yardımcı Gaz	Kesme Hızı (m/dk)	ITAB (µm)	Mikrosertlik (HV)
S6O6	St37	Oksijen	2,6	163,21	164,05
S6O3	St37	Oksijen	3	122,25	185,44
S6O10	St37	Oksijen	3,4	106,75	160,02
S6N11	St37	Azot	1,4	159,25	201,4
S6N1	St37	Azot	2	142,32	199,73
S6N15	St37	Azot	2,6	117,72	175,94
P6N11	304 Paslanmaz	Azot	1,8	37,75	235,65
P6N1	304 Paslanmaz	Azot	2,2	29,15	320,46
P6N15	304 Paslanmaz	Azot	2,6	23,52	222,25

6mm kalınlığındaki St37 çeliğinin laser ile kesilmesi sonucu farklı kesme hızlarında numune yüzeylerinden ölçülen ITAB mesafeleri Çizelge 5.35 te görülmektedir. Şekil 5.53, Şekil 5.54 ve Şekil 5.55'den de anlaşılacağı gibi kesme hızının artışıyla ITAB mesafesinde azalma

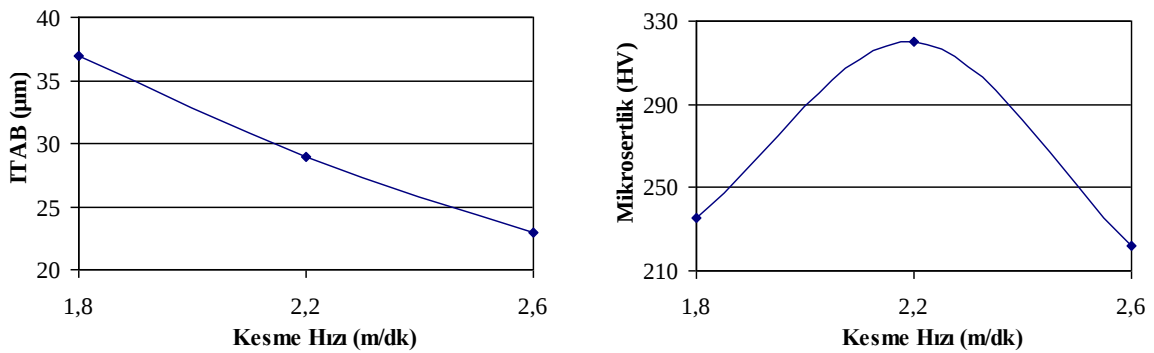
görülmüştür. Aynı şekilde paslanmaz çeliğin azot ile kesilmesinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bunun temel nedeni olarak malzemenin ısı etkisi altında kaldığı sürenin azalması ve dolayısıyla malzemeye etki eden ısı miktarının azalmış olması söylenebilir.



Şekil 5.53 St37 çeliğinin oksijen ile farklı kesme hızlarında kesilmesi sonucu görülen ITAB mesafesindeki ve sertlik değerlerindeki değişim grafikleri



Şekil 5.54 St37 çeliğinin azot ile farklı kesme hızlarında kesilmesi sonucu görülen ITAB mesafesindeki ve sertlik değerlerindeki değişim grafikleri



Şekil 5.55 304 paslanmaz çeliğinin azot ile farklı kesme hızlarında kesilmesi sonucu görülen ITAB mesafesindeki ve sertlik değerlerindeki değişim grafikleri

Kesme hızının değişimi incelendiğinde azot ile yapılan kesme işlemlerinde hızın artmasıyla meydana gelen değişim, oksijenle yapılan kesmede görülen değişimden daha fazladır. Kesme hızının ITAB üzerindeki etkisi azot ile yapılan kesmede daha belirleyici olmaktadır.

Paslanmaz çeliğin kesilmesinde ise bu etki daha fazla görülmektedir.

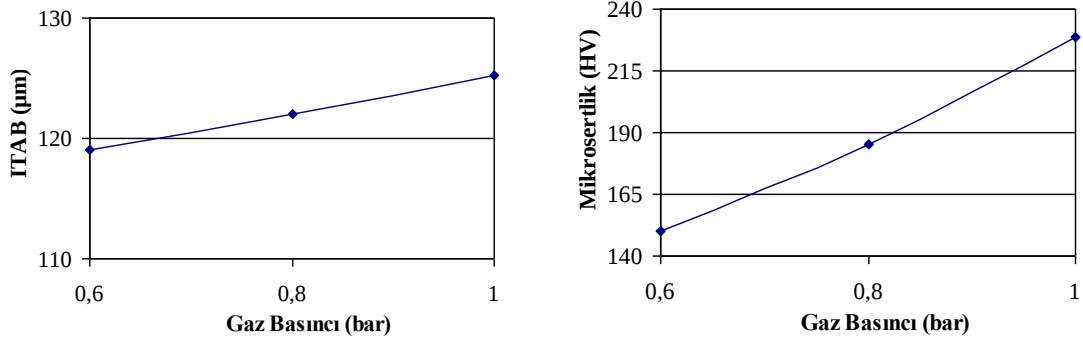
Kesme hızı artışının kesme yüzeyindeki sertlik üzerindeki etkisi St37 çelik ve 304 paslanmaz çelik için benzer olmuştur. Kesme hızının artışıyla sertlik bir miktar artış gösterip daha sonra azalmıştır. Bu artan kesme hızı ile birlikte malzemeye etkileyen ısı miktarının azalması ve soğuma hızının değişiminin sonucudur.

5.5.3 Laser ile Kesmede Gaz Basıncının ITAB Genişliğine ve Sertliğe Etkisi

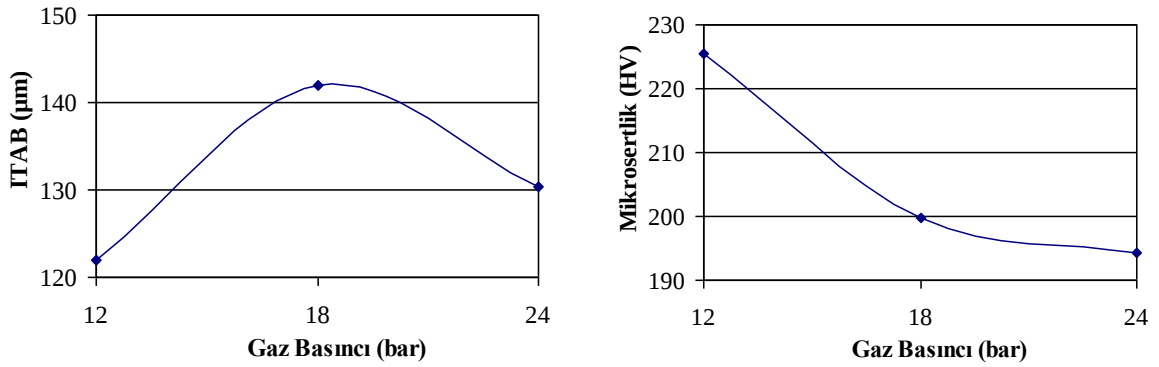
Çizelge 5.36 Gaz basıncı değiştirilerek kesilen numunelerin deney sonuçları

Numune	Malzeme	Yardımcı Gaz	Gaz Basıncı (bar)	ITAB (μm)	Mikrosertlik (HV)
S6O11	St37	Oksijen	0,6	119,14	150,12
S6O3	St37	Oksijen	0,8	122,25	185,44
S6O15	St37	Oksijen	1	125,46	228,8
S6N6	St37	Azot	12	122,87	225,42
S6N1	St37	Azot	18	142,32	199,73
S6N10	St37	Azot	24	130,48	194,34
P6N6	304 Paslanmaz	Azot	11	38,32	215,77
P6N1	304 Paslanmaz	Azot	17	29,15	320,46
P6N10	304 Paslanmaz	Azot	23	46,71	323,32

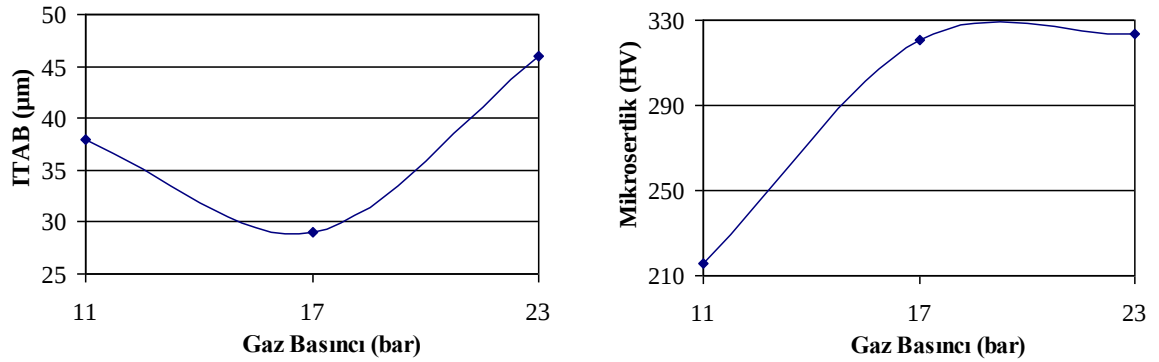
6mm kalınlığındaki St37 çeliğinin laser ile kesilmesi sonucu farklı gaz basınçlarında numune yüzeylerinden ölçülen ITAB mesafeleri Çizelge 5.36 da görülmektedir. Şekil 5.56, Şekil 5.57 ve Şekil 5.58'den de anlaşılacağı gibi gaz basınçlarının artışıyla ITAB mesafesindeki değişimler farklılık göstermiştir. Oksijen ile yapılan kesmelerde gaz basıncının artışı ITAB mesafesini arttırırken, azot ile yapılan kesmelerde bir süre artış göstermiş; 18 bar basınçta maksimum seviyesine ulaşmış ve gaz artışının devamıyla ITAB mesafesi düşüş göstermiştir. 304 paslanmaz çeliğin azot ile kesilmesinde ise gaz basıncının artması ITAB mesafesini düşürmüş; 17 bar basınçta en düşük seviyeye ulaşmıştır. Bu noktadan sonra artan gaz basıncıyla birlikte ITAB mesafesi artış göstermeye başlamıştır.



Şekil 5.56 St37 çeliğinin oksijen ile farklı gaz basınçlarında kesilmesi sonucu ITAB mesafesindeki ve sertlik değerlerindeki değişim grafikleri



Şekil 5.57 St37 çeliğinin azot ile farklı gaz basınçlarında kesilmesi sonucu görülen ITAB mesafesindeki ve sertlik değerlerindeki değişim grafikleri



Şekil 5.58 304 paslanmaz çeliğinin oksijen ile farklı gaz basınçlarında kesilmesi sonucu görülen ITAB mesafesindeki ve sertlik değerlerindeki değişim grafikleri

Gaz basıncının artışı kesme yüzeyindeki sertlik değerleri üzerine farklı etkiler yaratmıştır. Oksijen ile kesilen St37 çelik numunenin sertlik değeri gaz basıncının artışıyla yükselme gösterirken, azot ile kesilen St37 çelik numunenin sertliği artan gaz basıncıyla düşmüştür. 304 paslanmaz çelik numunenin sertliği de artan gaz basıncıyla yükselmiştir.

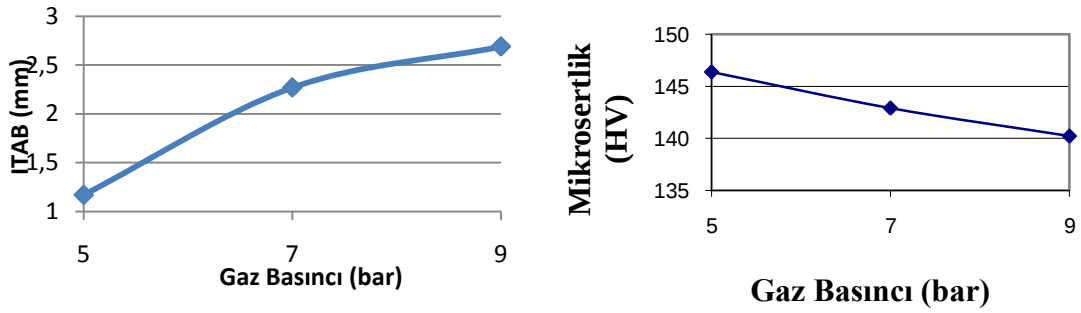
5.5.4 Gaz Ergitme ile Kesmede Gaz Basıncının ITAB Genişliğine ve Sertliğe Etkisi

Çizelge 5.37 Gaz basıncı değiştirilerek kesilen numunelerin deney sonuçları

Numune	Malzeme	Basınç (bar)	ITAB (mm)	Mikrosertlik (HV)
S6OP5	St37	5	1,17	146,38
S6OP2	St37	7	2,27	142,91
S6OP4	St37	9	2,69	140,23

Gaz ergitme yöntemi ile kesilen 6mm kalınlığında St37 çeliğinde, gaz basıncının arttırılması ile ITAB bölgesinin de kalınlığının doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür.

Kesme kenarında yapılan sertlik ölçümlerinde gaz basıncının arttırılması malzeme sertliğini düşüren yönde etki ettiği sonucuna ulaşılmıştır.



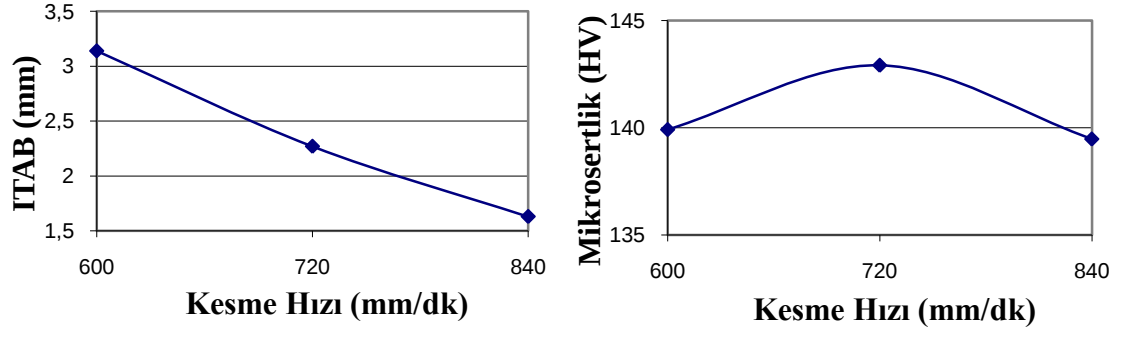
Şekil 5.59 St37 çeliğin gaz ergitme ile farklı gaz basınçlarında kesilmesi sonucu görülen ITAB mesafesindeki ve sertlik değerlerindeki değişim grafikleri

5.5.5 Gaz Ergitme ile Kesmede Kesme Hızının ITAB Genişliğine ve Sertliğe Etkisi

Çizelge 5.38 Kesme hızı değiştirilerek kesilen numunelerin deney sonuçları

Numune	Malzeme	Hızı (mm/dak)	ITAB (mm)	Mikrosertlik (HV)
S6OP3	St37	600	3,14	139,91
S6OP2	St37	720	2,27	142,91
S6OP1	St37	840	1,63	139,47

Gaz ergitme yöntemi ile kesilen 6mm kalınlığında St37 çeliğinde kesme hızının artışı ITAB genişliğine ters orantılı olarak yansımıştır. Kesme bölgesine etkiyen ısı miktarının azalmasıyla ITAB genişliği azalmıştır. Kesme yüzeyinin sertliği ise kesme hızından çok fazla etkilenmeyerek sabit değerlerde kalmıştır.



Şekil 5.60 St37 çeliğin gaz ergitme ile farklı kesme hızlarında kesilmesi sonucu görülen ITAB mesafesindeki ve sertlik değerlerindeki değişim grafiği

6. SONUÇLAR

Gerek laser ile kesmede, gerekse gaz ergitme ile kesmede işlem parametrelerinin seçimi kesme kalitesini etkileyen en önemli unsurlardan biridir. Bu çalışmada düşük maliyetli olması ve dayanım özellikleri ile endüstride çok büyük kullanım payına sahip St37 malzeme ile yine endüstride sıkça kullanılan, kullanım ve aşım kalitelerinin çokluğu açısından öne çıkan 304 paslanmaz çeliğin CO₂ laseri ve gaz ergitme yöntemleriyle kesilmesinde, kesme hızı, gaz basıncı ve güç değişkenleri kullanılarak kesme bölgesinde ITAB mesafesine ve sertlik değerlerine etkileri incelenmiştir.

Laser ve gaz ergitme yöntemi ile kesilen parçalarda yüzey kalitesi ve kesme bölgesindeki iç yapı kesme parametreleri ile doğrudan ilişkilidir. Deneysel çalışmada kesme parametrelerinde yapılan büyük değişiklikler ITAB mesafesi ve sertlik değerleri üzerinde parçanın kullanımını kısıtlayıcı etkiler yaratmamıştır. Deneysel çalışmada değiştirilen kesme parametrelerin yüzey kalitesine etkilerinin daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir. Uygun olmayan parametrelerin kullanılmasıyla parçaların kesilemediği, pürüzlü kesme yüzeyi ve yüksek miktarda çapak oluşumu gibi ciddi sıkıntılar yaşanabileceği tecrübeyle görülmüştür. Kesme gazı olarak oksijen kullanıldığı durumlarda, yakarak kesme işleminin bir sonucu olarak kesme yüzeyinde bir oksit tabakası meydana gelmektedir. Dolayısıyla bu durumun istenmediği hallerde azot gazı ile kesme işleminin yapılması gerekmektedir.

Deney sonuçları ele alındığında;

- Kesme hızındaki artışın, parçada ısı tesiri altında kalan bölgenin genişliğini düşürdüğü görülmüştür.
- Laser gücünün artışıyla ısı tesiri altında kalan bölgenin genişliğinin de arttığı gözlemlenmiştir.
- Gaz basıncının artması ile ısı tesiri altında kalan bölgenin genişliğini genel olarak arttırdığı görülmüş. Buna karşın St37 çeliğin azot ile kesilmesinde ise tersi bir durum ortaya çıkmıştır.
- St37 çeliğin oksijen ile kesilmesinde, limit değerlerde kesilen parçalarda çapak oluşumu gözlenmemiştir. Aynı malzemenin azot ile kesilmesinde ise düşük ve yüksek gaz basınçlarında çapaklı kesme gerçekleştiği görülmüştür.
- Kesme bölgesindeki sertlik değerleri, değişen parametrelere göre farklılıklar göstermiştir. Genel olarak laser gücünün artışı sertlik değerini yükseltmiş, buna karşılık oksijen ile kesilen St37 çelik numunede bu durumun tersi gözlenmiştir.

- Kesme hızının artışı ile kesme bölgesinde meydana gelen sertlik değişimleri azot ile kesilen numunelerde daha belirgin etki yaratmıştır ve sertlik değerleri artan kesme hızlarıyla yükselmiş ve sonrasında tekrar düşüş göstermiştir.
- Gaz basıncının artışı ile sertlik değerlerinde artış olduğu görülmüş, fakat St37 malzemenin azot ile kesilmesinde bu durumun tersi sonuçlar elde edilmiştir.
- Gaz ergitme ile kesme işleminde artan kesme hızlarıyla ısı tesiri altında kalan bölgenin genişliğinin azaldığı görülmüş, sertlik değerlerinde ise kesme hızı artışının sertlik üzerinde etkisi görülmemiştir.
- Gaz basıncındaki artışın kesme bölgesinde sertliği düşük oranda etkilediği ve sertlik değerini azalttığı görülmüş, ITAB üzerindeki etkisinin ise bu bölgenin genişliğini arttırdığı yönde olduğu gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Anık, S., Öğür, A. ve Vural, M., (1996). Termik Kesme Teknolojisi, Gedik Eğitim Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Buchfink, G. (2007), The Laser as a Tool, Vogel Buchverlag, Würzburg.
- Cadorete, M. ve Walker, F. (2006) “Characterizing productivity of a 4kW CO₂ Laser Cutting system for 1mm mild steel using central composite methodology”, Journal of industrial technology, 22:30-34.
- Chen, S.L. (1997), “The Effect of High Pressure Assistant Gas Flow on High Power CO₂ Laser Cutting”, Journal of Material Processing 88: 57-66.
- Çelik S. (1998) “ Lazerler, Tıpta ve Özellikle Göz Tedavisindeki Uygulamaları”, Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Golnabi, H. ve Bahar, M. (2008), “Investigation of Optimum Condition in Oxygen Gaz Assisted Laser Cutting”, Optics & Laser Technology 41: 454-460.
- Handbook Committee, (1993), ASM Metals Handbook Volume 14 Forming and Forging”, ASM International.
- Ion, J. C., (2005) “Laser Processing of Engineering Materials, Principles, Procedure and Industrial Application”, Elsevier.
- Kalunç E. (1993), Laser Işını ile Kaynak ve Kesme, Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli.
- Karaarslan, A. (2009), Laser ile Malzeme İşlemleri, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Ready, J. F., “Industrial Applications of Lasers (Second Edition)” Elsevier, 247-271(1997).
- Tani, G., Tomesani, L ve Campana, G. (2003), “Prediction of Melt Geometry in Laser Cutting”, Applied Surface Science 208-209:142-147.
- Tarakçıoğlu, N. ve Özcan, M. (2004), “Lazerler ve Materyal İşleme Uygulamaları”, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul.
- Trumpf, 2006, “Data collection”, Trumpf Werkzeugmaschinen GmbH, Ditzingen.
- Trumpf, 2007, “Technical Information” Trumpf Werkzeugmaschinen GmbH, Ditzingen.
- Tülbentçi, K. ve Kaluç, E. (2003), “Gaz Ergitme Kaynağı ve Oksijen ile Kesme”, TMMOB Yayınları, Ankara.
- Yilbas, B.S. (1995), “Experimental Investigation into CO₂ Laser Cutting Parameters”, Journal of Materials Processing Technology 58: 323-330.
- Yilbas, B. S. ve A. Kar, (1997), “Thermal and Efficiency Analysis of CO₂ Laser Cutting Process”, Optics and Lasers in Engineering 29: 17-32.
- Yilbas, B. S., (1998), “Study of Parameters for CO₂ Laser Cutting Process” , Materials and Manufacturing Processes, 13: 517-536.
- Yilbas, B. S., (2001), “Effect of process parameters on the kerf width during the laser cutting process”, Proc. Inst. Mech. Eng. Part C: J. Eng. Manuf., 215:1357–1365 .
- Yilbas, B. S., (2004), “Laser Cutting Quality Assessment and Thermal Efficiency Analysis.”, Journal of Material Processing Technology, 155/156: 2106–2115.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	16.03.1983	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1997-2001	Haydarpaşa Anadolu Lisesi
Lisans	2001-2005	Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fak. Makine Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurum

2005- devam ediyor KBS San. Tic. Ltd. Şti.