

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FENBİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LAZER IŞINI İLE METALLERİN KESİLMESİNE
ETKİ EDEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

Akın ARCAN

Mart, 2011

İZMİR

LAZER IŞINI İLE METALLERİN KESİLMESİNE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Bölümü, Konstrüksiyon-İmalat Anabilim Dalı

Akın ARCAN

Mart, 2011

İZMİR

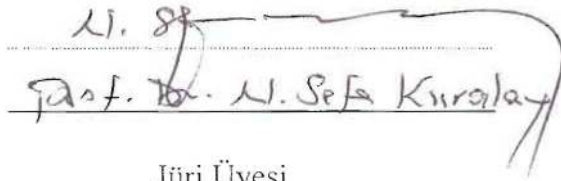
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

AKIN ARCAN, tarafından PROF. DR. SÜLEYMAN KARADENİZ yönetiminde hazırlanan “LAZER IŞINI İLE METALLERİN KESİLMESİNE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

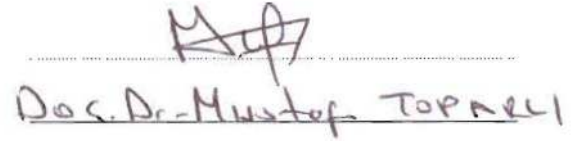


Prof. Dr. SÜLEYMAN KARADENİZ

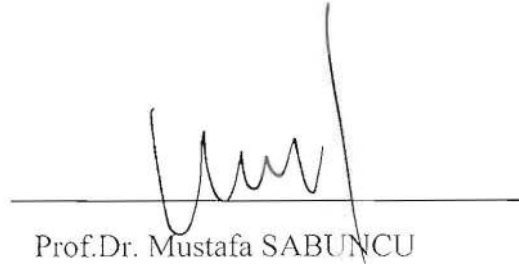
Danışman



Jüri Üyesi



Jüri Üyesi



Prof. Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜRLER

Örnek alınacak disiplinli çalışma azmi ve geniş bilgi ve becerilere sahip değerli hocam Prof. Dr. Süleyman KARADENİZ 'e tez çalışmalarımındaki yardımlarından ötürü teşekkür ederim.

Lazerle kesme işleminde bize yardımcı olan ve cihazlarını bizlere kullandıran TERBAY makineye teşekkür ederim.

Deney numunelerini incelemem esnasında yardımını ve desteğini esirgemeyen Araş. Gör. Gökçe Mehmet Gencer'e teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım esnasında maddi ve manevi desteklerini hep hissettiğim babam Mustafa ARCAN 'a, annem Azize ARCAN 'a, ağabeyim İskender ARCAN 'a ve kardeşim Alev ARCAN 'a teşekkürlerimi sunarım.

Akın ARCAN

LAZER IŞINI İLE METALLERİN KESİLMESİNE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

ÖZ

Parçaların üretilmelerinde birçok termik kesme yöntemleri mevcuttur. Termik kesme yöntemlerinin her birinin birbirine göre avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Bu çalışmada, termik kesme yöntemlerinden biri olan lazer yönteminde, lazer ışını elde edilme yöntemleri, kesme yönteminde kullanılan CO2 lazer sistemi yapısı, lazer ışını ile kesme çeşitleri ve bunların etkilerinin neler olduğu hakkında bilgiler verilmiştir. CO2 lazeri kesme yönteminde kesme işlemini etkileyen parametreler vardır. Bu parametreler; lazer ışını odak noktası, kesme hızı, kesme gazı basıncıdır. Bu parametrelerin değiştirilmesi ile elde edilen numuneler kesim yüzeyleri, içyapıları ve sertlikleri bakımlarından karşılaştırılarak, parametrelerdeki değişimlerin etkileri analiz edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Lazer kesim, lazer ışını, termal kesim, CO2 lazer sistemi, lazerlerin çeşitleri.

EXAMINATION OF PARAMETERS EFFECTED ON METAL MATERIALS BY LASER CUTTING

ABSTRACT

There are a lot of thermal cutting methods while producing materials. Each cutting method has advantages and disadvantages to the each other. In this study one of the thermal cutting methods, the processes of getting the laser beam which is used for cutting CO2 laser system, laser beam cutting methods and factors affecting the cutting processes is explained. During CO2 laser beam cutting method; there are parameters affecting the cutting processes. These parameters are focus spot of the laser beam, cutting speed and cutting gas pressure. These samples which are produced by changing these parameters their cutting surface, internal structures and hardness by comparing the effect of changes in parameters were analyzed.

Keywords: Laser cutting, laser beam, thermal cutting, CO2 laser system, types of lasers.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜRLER.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v

BÖLÜM BİR - LAZER IŞINI VE LAZER SİSTEMLERİ 1

1.1 Lazer Nedir.....	1
1.1.1 Katı Cisim Lazerleri	3
1.1.2 Gaz Lazerleri	5
1.1.2.1 Elektrik Boşalması ile Gaz Atomlarının ya da Moleküllerinin Uyarılması.....	5
1.1.2.2 Optik Uyarma Yöntemi ile Gaz Atomlarının ya da Moleküllerinin Uyarılması.....	6
1.1.3 Sıvı Lazerleri	7
1.1.4 Yarı İletken Lazerler.....	7
1.2 Lazer Işını Özellikleri.....	8
1.2.1 Monochromatic (Tek renkli) Özelliği.....	8
1.2.2 Koherent (Coherent) Özelliği (Uyumluluk özelliği)	9
1.2.3 Lazer Işınının Dalga Boyu.....	10
1.2.4 Yayınım Özelliği ve Odaklanabilirlik	11
1.2.5 Işığın En Kesitindeki Yoğunluk Dağılımı	13
1.2.6 Polarizasyon.....	15

1.2.6.1 Lineer Polarize Işın.....	16
1.2.6.2 Dairesel Polarize Işın.....	18
1.3 Lazerle Kesme Prensipleri.....	19
1.4 CO ₂ Lazeri.....	22
1.4.1 Çalıştırma Türleri.....	26
1.4.1.1 Sürekli Çizgi (cw-çalıştırma).....	27
1.4.1.2 Darbeli Çalıştırma.....	27
1.4.2 Lazer Işını ile Kesme Yöntemleri.....	28
1.4.2.1 Lazer Işını ile Yakarak Kesme	29
1.4.2.2 Lazer ile Ergiterek Kesme	31
1.4.2.3 Lazer Işını ile Buharlaştırarak Kesme	33
1.4.3 Kesme Hızı	33
1.4.4 Kesme Gazları	34
1.4.4.1 Oksijen.....	35
1.4.4.2 Azot ve Argon.....	35
1.4.4.3. Basıncı Hava.....	35
1.4.5 Kesme Gazı Türü ve Kalitesi.....	36
1.4.6 Kesme Gazı Basıncı.....	36
1.5 Lazer Kesimini Etkileyen Değişkenler	38
1.5.1 Güç Sabitliği	38
1.5.2 Işın Profili	39
1.5.3 Uzaklaşma Açısı	40
1.5.4 Gaz Türü	41
1.5.5 Gaz Basıncı.....	42

1.5.6 Fokuslama Noktası (Odaklama Noktası).....	42
1.5.7 İş Parçası Yüzeyi	43
1.5.8 Bükme Aynaları.....	43
1.5.9 Odaklama merceği	44
1.5.10 Nozül Ayarı	44
1.5.11 Nozul Ağzı.....	44
 BÖLÜM İKİ-MALZEME BİLGİSİ.....	46
 BÖLÜM ÜÇ-DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	52
 3.1 Lazerle Kesim Ekipmanları.....	52
3.2 Numuneler.....	53
3.2.1 A Grubu Numuneler	53
3.2.2 B Grubu Numuneler	57
3.2.3 C Grubu Numuneler	61
3.2.4 D Grubu Numuneler	64
 BÖLÜM DÖRT-SONUÇLAR	69
 BÖLÜM BEŞ- GENEL SONUÇLAR	70
 KAYNAKLAR.....	73

BÖLÜM BİR

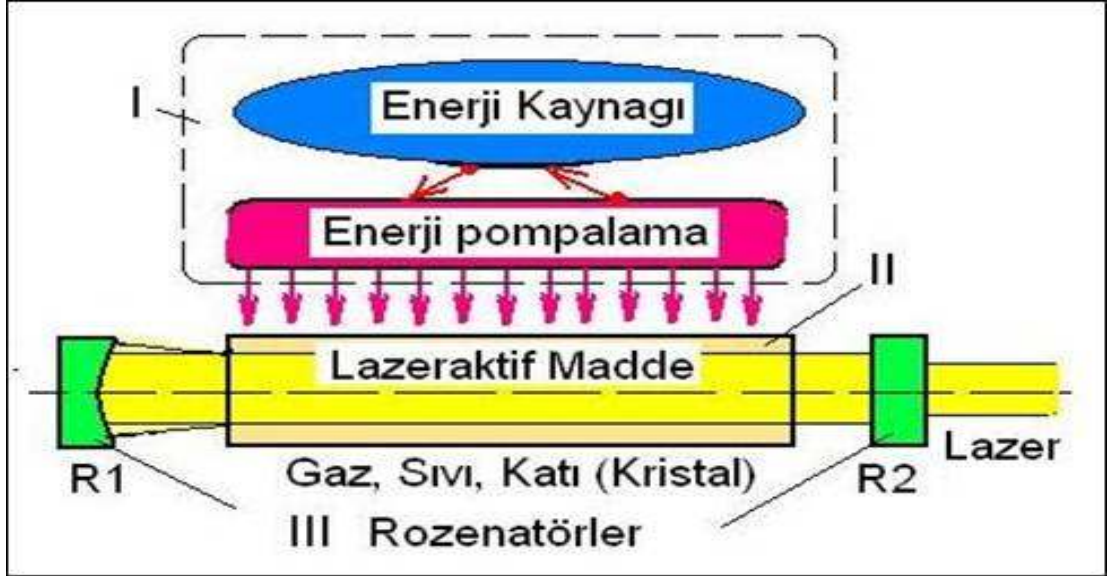
LAZER IŞINI VE LAZER SİSTEMLERİ

1.1 Lazer Nedir

Light
Amplification by
Stimulated
Emission of
Radiation

Cümlelerinin baş harflerinden oluşmakta ve anlamı; “Uyarılmış Radyasyon Yayınlanması Yoluyla Işığın Kuvvetlendirilmesi”dir.

Lazer cihazı; yüksek genlikli, aynı fazda, birbirine paralel, tek renkli, hemen hemen aynı frekanslı dalga boyuna sahip ışık üreticisidir (Edubilim 2008). Lazer sisteminin esas elemanı rezonans hücresidir; rezonans hücresinin bir tarafında tam yansıtımlı diğer tarafında kısmi yansıtımlı (%96) iki ayna bulunur. Rezonans hücresi içersinde lazer aktif madde olarak; gaz ve sıvı maddelerle doldurulmuş kılcal bir boru olabildiği gibi çeşitli kristal veya cam gibi katı maddelerden de oluşabilir (Genceli, F.O. 1985) (Şekil 1.1). Lazer aktif ortamın uyarılmasıyla bu ortam içindeki maddenin atomlarının, moleküllerinin uyarılmasıyla, aktif madde olarak kullanılan gaz, katı veya sıvı maddelerin atomlarının ya da moleküllerinin alt enerji seviyesinden (E_1), üst enerji seviyesine ($E_2, E_3...$) çıkmaları sağlanır. Enerji alan ve üst enerji seviyesine çıkan atomlar, moleküller kararsız hale geçerler, bu kararsız halden kararlı hale yani alt enerji seviyesine geçişte (E_1) adlıkları enerjiyi ısı ve ışık (photon) olarak yayarlar. Yayılan bu fotonlar sırlı aynalardan yansıyarak diğer fotonların çıkmalarına neden olur ve foton sayısı yani ışık şiddeti belirli bir seviyeye ulaşınca kısmi geçirgen aynaya dik olarak gelen fotonlar kısmi aynadan geçerek lazer ışınını oluştururlar.



Şekil 1.1 Lazer sistemi şematik gösterimi

Lazer aktif ortamın uyarılması için değişik metodlar mevcuttur; elektrik pompalama yöntemi (elektriksel boşalma), optik pompalama (bir yansıtıcı ile çevrili, helis biçiminde ya da doğrusal flaş) yöntemi ya da kimyasal tepkimeyle pompalama (örneğin döteryum fluorür molekülleri veren fluor+döteryum) yöntemiyle yapılabilmektedir. Elektrik pompalama yönteminde – gaz lazerlerinin uyarılmasında yaygın olarak – rezonans boşluğunun iki ucunda yer alan anot ve katot arasında elektrik boşalımı ile aktif maddenin atomlarının, moleküllerinin elektrik enerjisiyle uyarılmasıdır. Optik enerji ile uyarma yönteminde – katı ve sıvı lazerlerde yaygın olarak - ise lazer aktif maddenin atomları, molekülleri ışıkla, ışınlı uyarılmaktadır. Burada uyarma güçlü bir optik lamba (kripton lambası), tüplü lamba, deşarj lambası veya diyotlu-lazer ile gerçekleştirilmektedir. Kimyasal pompalama ise kimyasal reaksiyonla elde edilen enerjinin aktif maddenin atomlarını, moleküllerini üst enerji seviyesine çıkartmasıyla gerçekleştirilir (Özden, H. b.t. ve Çelik, S. 1998).

Lazer aktif madde katı, sıvı ve gaz olabilir. Lazer aktif maddelerin uyarılmasıyla lazer ışını elde edilir. Lazer aktif madde olarak; - katı kristal (Nd: YAG), - gaz (CO₂), veya - sıvı halde, (renkli bir eriyik) kullanılabilir. Seçilen lazer aktif maddesine göre; yakut lazeri, helyum-neon lazeri, karbon dioksit lazeri, eksimer (excimer) lazeri, kripton lazeri, neodyum lazeri gibi farklı kullanım amaçları için çok sayıda lazer çeşitleri bulunmaktadır. Katı, sıvı veya gaz fazındaki lazer aktif

kaynak ortamına göre de ışın; morötesi, yeşil, mavi, kırmızı veya kızılötesi gibi farklı renkleri bulundurur (Özden, H. b.t.)

Lazer aktif madde çeşitleri (katı, sıvı, gaz ve yarı iletken) ve bunlardan lazer ışığının elde edilme yöntemleri;

- 1) Katı cisim lazeri
- 2) Gaz lazeri
- 3) Sıvı lazeri
- 4) Yarı iletken lazeri

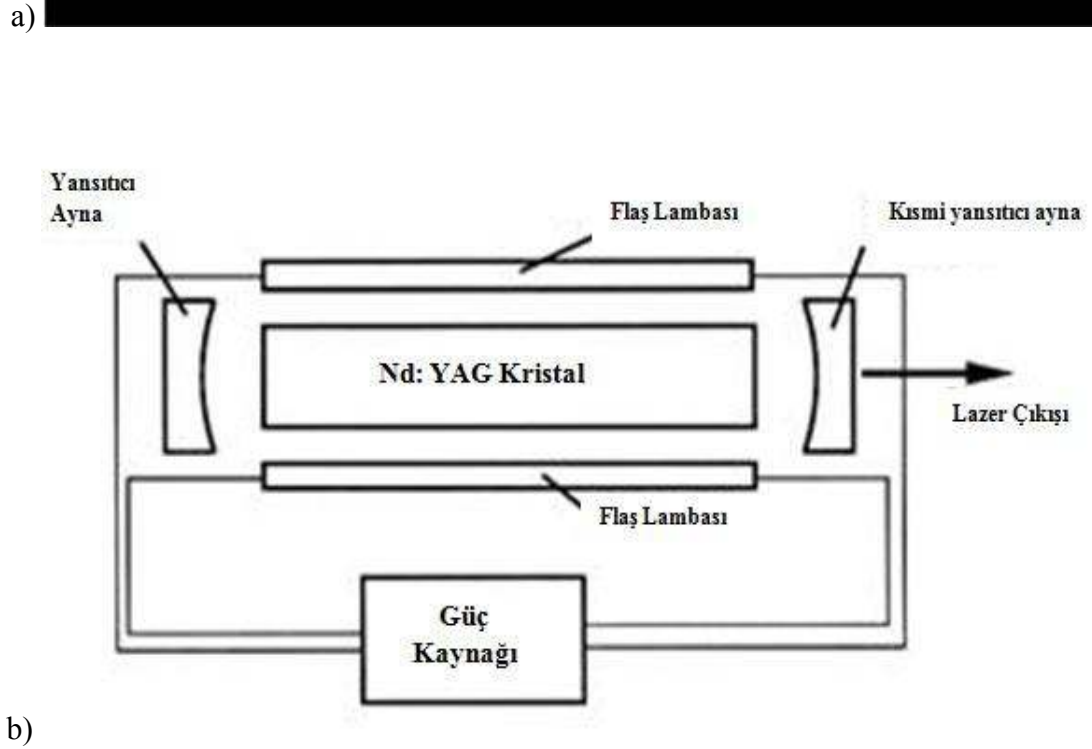
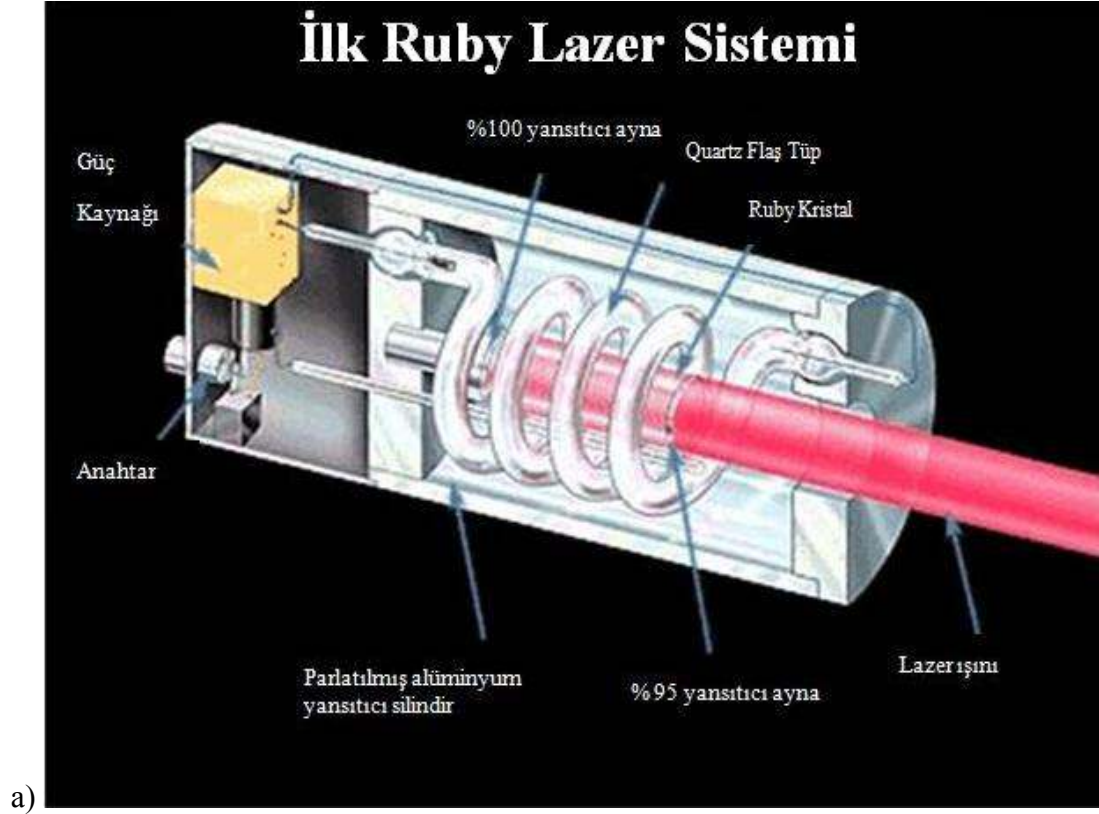
1.1.1 Katı Cisim Lazerleri

Katı cisim lazerlerinde aktif ortam (madde) çevresine sarılmış ya da paralel olarak yerleştirilmiş flaş tüpü kullanılarak aktif maddenin uyarılması sağlanır, (Şekil 1.2). İlk bulunan lazer yakut lazeridir (az miktarda krom iyonu içeren Al_2O_3 kristali). Bu lazer çeşidi optik olarak mor ve yeşil ışıkla uyarılır ve kırmızı renkte lazer ışını yayar. Aktif madde olarak neodimli cam, neodim iyonları içeren cam sayesinde lazer ışını üretilebilir. Nd-YAG lazerlerinde (Şekil 1.2) - sanayide YAG lazeri olarak bilinir - bu lazer aktif madde de Yttrium-Alüminyum granülat (YAG) ve Neodyum-iyonları bulunan yapay bir kristalden oluşmaktadır. Nd-YAG-katı lazer ışını, kısa dalga boyutludur ve metaller tarafından iyi absorbe (emilme) edilmektedir.

Bir gaza göre katı bir cismin atomları çok daha yoğun şekilde dizildiklerinden, birim hacimde daha çok atom bulundurlar. Bu nedenle katı cisim lazerinin amplifikasyonu ve çıkış yoğunluğu daha yüksektir. Katı hal lazerinin yüksek titreşim kapasitesi, kısa dalga boyu ve enerji modülasyonunun daha iyi olması nedeniyle bakır, gümüş ve altın gibi lazer ışığını yansıtan metallerin de kesilmesi mümkün hale gelmektedir. Katı lazerler nokta kaynağında, ölçme işlemlerinde elmas kalıpların işlenmesinde ve tıp alanında büyük kolaylık ve olanak sağlamaktadır.

Lazer aktif kristal çubuğunun ve yapı elemanların yüksek ısıdan korunmaları için lazer aktif madde fan ve veya sıvı soğutucu sistemleri kullanılarak soğutulur.

Genelde soğuk su devir daimi ile soğutmada verimliliğin en yüksek olacağı sıcaklık değerlerinde tutulmaktadır. (Özden, H. b.t. ve Çelik, S. 1998).



Şekil 1.2 a) Ruby lazer sistemi b) Nd: YAG Lazer sistemi şematik gösterimleri

1.1.2 Gaz Lazerleri

Gaz halinde bulunan birçok elementten lazer ışığı elde edilebilir. Ayrıca birçok moleküler gazda lazer ışığı elde etmek için kullanılabilir. Gaz lazerlerinde aktif madde tüp içerisinde yer alan düşük basınçlı gazdır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3 Gaz lazer sistemi yapısı

Gaz lazerlerinde lazer aktif madde olarak kullanılan gaz veya gaz karışımının uyarılması için iki yöntem kullanılır;

- 1- Elektrik boşalması ile gaz atomlarının ya da moleküllerinin uyarılması
- 2- Optik uyarma yöntemi ile gaz atomlarının ya da moleküllerinin uyarılması

1.1.2.1 Elektrik Boşalması ile Gaz Atomlarının ya da Moleküllerinin Uyarılması

Gaz içeren tüpün her iki kısmında yer alan elektrotlara yüksek voltaj uygulanması gaz içinde elektrik boşalmasına neden olur. Katottan çıkan elektronlar, anoda doğru hızlanarak ilerlerken yolları boyunca gaz moleküllerine çarparlar. Çarpışma sırasında, elektronların kinetik enerjileri gaz moleküllerine geçer ve onları uyarır (enerji transferinin bu metodu florasan ışıklarında yaygın olarak kullanılır).

1.1.2.2 Optik Uyarma Yöntemi ile Gaz Atomlarının ya da Moleküllerinin Uyarılması

Optik pompalama ile lazer aktif maddenin uyarılmasında ışının büyük miktarlarının absorbe edilebilmesi için aktif maddenin absorpsiyon spektrumunun (Birçok madde tarafından gösterilen farklı dalga boylarındaki ışığın emilme modeli) ve pompalama kaynağının yayınma spektrumları benzer olmalıdır. Geniş yayınma spektrumuna sahip geleneksel ışık üreticileri optik pompalama için kullanılır, ışığın sadece çok küçük bir bölümü uyarma işleminde kullanılır.

Katıların absorpsiyon spektrumları, gazların absorpsiyon spektrumlarından daha geniştir, böylece geleneksel ışık kaynaklarıyla katı cisim lazerlerinin pompalanma etkinliği gaz lazerlerinkinden daha yüksektir. Gaz lazerlerinin uyarılması için optik pompalama genelde etkin bir metod değildir çünkü gaz atomları ışın spektrumunun küçük bir bölümünü absorbe ederler, bu nedenle gaz lazerleri genelde elektrik boşalımı sayesinde uyarılır. Optik pompalama ile gaz lazerlerini uyarmak istediğimizde; gazın dar absorpsiyon spektralına uyan çok dar bant genişliğindeki optik kaynak bulmamız gerekir. Bundan dolayı gaz lazerlerinin optik pompalanmaları için en iyi optik pompalama kaynağı başka bir lazerdir.

Gaz lazerlerinde lazer aktif madde olarak helyum-neon gaz karışımı kullanımında, güç kaynağından akım verildiğinde tüp içinde elektron akımı deşarj olarak helyum atomlarını harekete geçirip, onların enerji düzeylerini yükseltir. Helyum atomları da Neon atomlarına çarparak onların enerji düzeylerini yükseltirler. Enerji alan ve kararsız hale gelen Neon atomları tekrar düşük enerji düzeyine dönerken aldıkları bu enerjiyi ısı ve kırmızı lazer fotonları olarak yayarlar. Lazer aktif ortama verilen enerji kesilene kadar gaz atomları veya molekülleri düşük enerji seviyesinden (E_1), kararsız oldukları yüksek enerji seviyesine ($E_2, E_3, \dots$) ve kararlı oldukları düşük enerji seviyesine (E_1) dönmeleri (rekombinasyon) devam eder ve neon atomlarının düşük enerji seviyesine (E_1) dönerken yaydıkları ışınların kısmi yansıtıcı aynaya dik gelenleri geçerek lazer ışını olarak çıkar.

Helyum-Neon lazerleri, düşük çıkış güçlerinde ve küçük ebatlı, göreceli olarak ucuz ve emniyetlidirler. Bu nedenlerden dolayı helyum-neon lazerleri gösterilerde, laboratuvar ve okullarda lazer deneylerinde kullanılırlar (Gülbüz, R. b.t.).

Diğer bir gaz lazeri çeşidi de CO₂ lazeridir. Burada korumalı tüp içersinde lazer aktif ortam olarak CO₂, N₂ ve He gaz karışımı (%4,5 karbondioksit, %13,5 Azot ve %82 Helyum) kullanılmaktadır. N₂-, ve He gazları karışımında lazer ışını üretiminde katkı, destek amaçlı bulundurulmaktadır. N₂-gazı CO₂-moleküllerinin üst enerji seviyelerine tahrikini kuvvetlendirmektedir, burada N₂-gazı CO₂-moleküllerinin daha fazla yoğunlaşmalarına katkı sağlamaktadır. Yüksek ısı iletkenliği nedeniyle He-gazı karışımında soğutucu olarak devreye sokulmaktadır (Özden, H. b.t.).

1.1.3 Sıvı Lazerleri

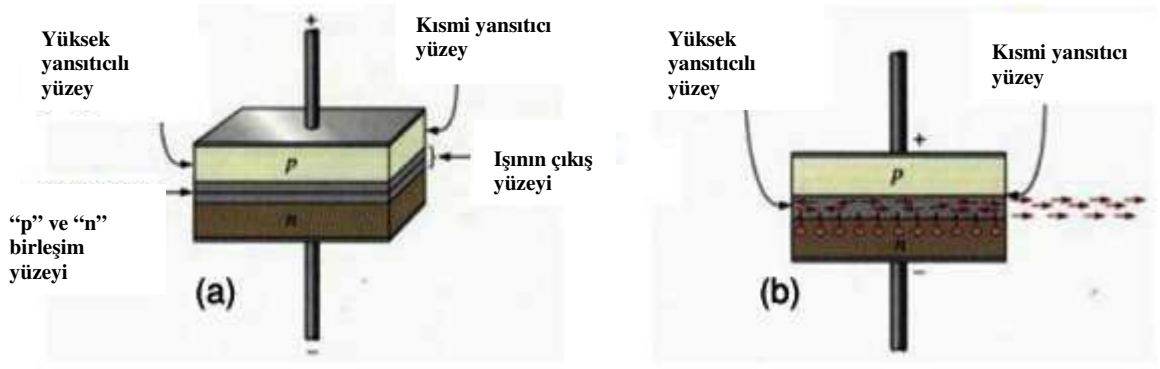
Katı lazerlerin sakıncası yüksek güçte çalışırken malzeme içinde oluşan ya da pompalama lambasından kaynaklanan çok büyük ısının etkisiyle zaman zaman lazer aktif maddenin kırılması veya hasara uğraması gibi olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır. Sıvı lazerlerde, kristal ya da camsı çubuk yerine saydam bir bölme içine konmuş uygun bir sıvı (örn. neodim oksit ya da neodim klorürün selenyum oksiklorürdeki eriyiği) kullanılır. Sıvının içine konduğu bölme istenildiği kadar büyük yapılabilir, böylece yüksek güçlerin elde edilmesi olanaklı olur.

Sıvı lazerlerde sıvı aktif maddeye optik pompalama yolu ile sıvı molekülleri harekete geçirilir. Enerji alan sıvı molekülleri foton üretimine başlarlar ve bu foton üretimi aynalar tarafından geri beslenir, belirli bir değere ulaştığında kısmi yansıtıcı aynaya dik gelen ışın demeti kısmi aynadan geçerek lazer ışığı üretilir. Sıvı lazerleri, ayarlanabilen prizması nedeniyle özellikle kimyasal analiz işlemleri için uygundur. Ayarlanabilen prizma aracılığıyla, ayarlanan prizma açısına göre değişik renk ve dalga boyları elde edilir (Gülbüz, R. b.t. ve Çelik, S. 1998).

1.1.4 Yarı İletken Lazerler

Yarı iletken malzemelerden elde edilen kristallerle de lazer ışını elde edilmiştir. Galyum arsenik kristali yarı iletken lazere örnektir. Yarı iletken lazer yarı iletken diyot gibi, pozitif (p) ve negatif (n) tip yarı iletkenin yapııştırılmasıyla meydana gelmiştir, p-n malzemenin birleştiği yüzey yakut lazerindeki aynaların görevini yapar (Şekil 1.4). Birleşim yüzeyinde pozitif voltaj “p” tarafına ve negatif voltaj “n”

tarafına verildiği zaman elektronlar “n” malzemesinden “p” malzemesine geçerken enerjilerini kaybeder ve foton yayarlar. Bu fotonlar tekrar elektronlara çarparak bu elektronların daha çok foton üretmesine sebep olurlar. Neticede yeterli seviyeye ulaşan foton yayılımı, lazer ışınını meydana getirmiş olur. Bu tür lazerler verimli ışık kaynaklarıdır. Genellikle boyları bir milimetreden büyük değildir.



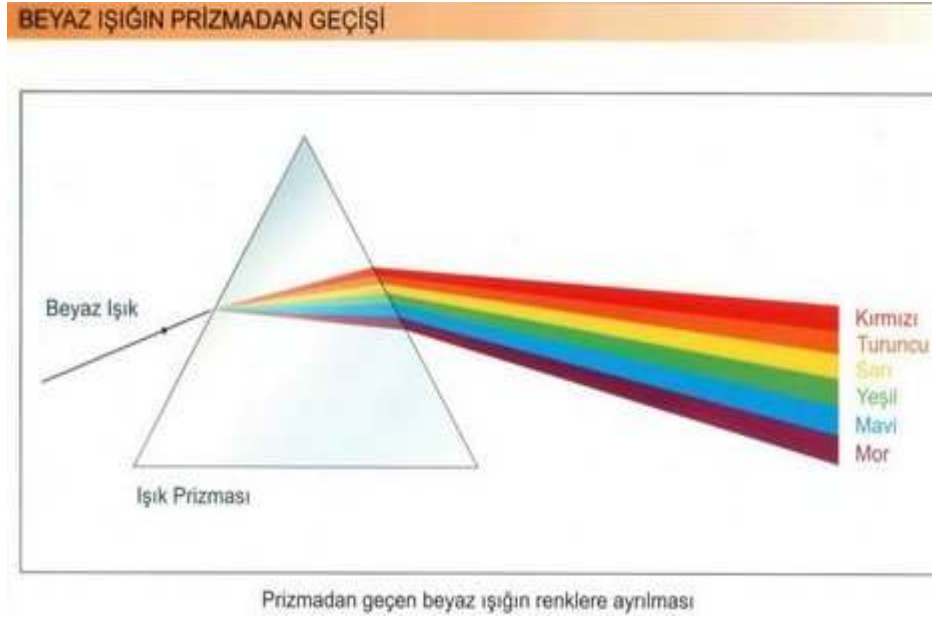
Şekil 1.4 Yarı iletken lazer sistemi

1.2 Lazer Işını Özellikleri

Rezanatör ve lazer aktif maddeden oluşturulan bir lazer ışınının dalga boyu ($\nu = \lambda \cdot f$, “ ν ” hız, “ λ ” dalga boyu, “ f ” frekans) uzaklaşma açısı, polarizasyon ve güç yoğunluğunun dağılımı özellikleri nedeniyle işlem kalitesine doğrudan etki yapar.

1.2.1 Monochromatic (Tek renkli) Özelliği

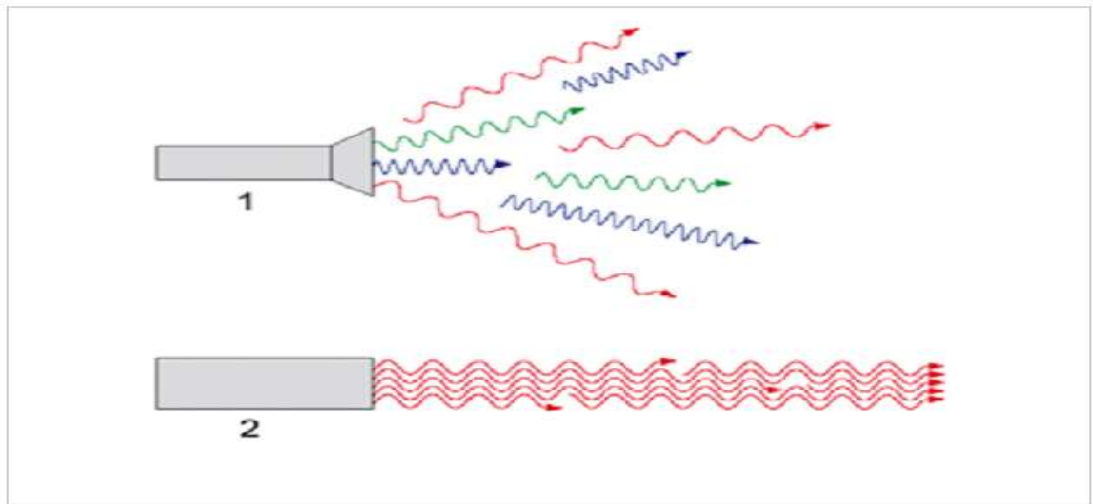
Lazer ışığının en belirgin özelliklerinden bir tanesi tek renkli oluşudur. Bir mumun ya da ampulün yaydığı ışık tek renkli değildir, bu kaynakların yaydığı ışıklar bir prizmadan geçirilirse birçok renge ayrıldığı görülür (Şekil 1.5). Bir grup fotonun tek bir frekansa sahip olması özelliğine tek renklilik (Monochromaticity) denir ve lazer ışınındaki bütün fotonların aynı dalga boyuna sahip olmasından dolayı lazer ışığı tekrenklidir. Dalganın kendisini tekrarladığı mesafeye dalga boyu “ λ ” denir. Görülebilir her ışığın kendine has bir dalga boyu vardır.



Şekil 1.5 Beyaz ışığın prizmadan geçişi ve renklere ayrılması

1.2.2 Koherent (Coherent) Özelliği (Uyumluluk özelliği)

Lazer ışığı hariç diğer ışık kaynaklarından elde edilen ışık aynı fazda (bağdaşık) değildir. Lazer ışınları tabiatında bir birleri ile uyumludur (Şekil 1.6). Frekansı, fazı ve doğrultusu aynı olan iki dalga birbiriyle uyumlu (coherece) olan dalgalar olarak tanımlanır. Uyumlu olan tüm dalgalar sinüzoidal olup, belirli bir dalga boyuna ve genliğe sahiptir.



Şekil 1.6 Normal ışığın (1) ; Tek renkli ve Koherent lazer ışığın (2) yayılma şekli

1.2.3 Lazer Işınının Dalga Boyu

Lazer ışınının dalga boyu, lazer aktif madde tarafından oluşturulur. Dalga boyunun küçük olması dağılmayı büyük ölçüde azaltır (Şekil 1.7), lazer ışığının dağılımının az olması sayesinde küçük bir yere büyük bir enerji transferi gerçekleştirilebilir. Uyarılan atomlar her yön yerine belli yönlerde hareket ederler. Bu, lazerin çok parlak olmasını sağlar. Işının dalga boyunun küçülmesi ile ışının odaklanması kolaylaşmaktadır, ayrıca düşük dalga boylu ışık metaller tarafından daha iyi absorbe edilirler bu nedenle lazer ile kesme işleminde lazer ışınının dalga boyu çok büyük önem taşımaktadır (Anık, S., Öğür, A. ve Vural, M. 1996).

Lazer ışının frekans, dalga boyu ve enerji arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir;

$$v = \lambda.f \quad (1)$$

Elektromanyetik radyasyon için hız ışık hızına eşittir bu durumda;

$$c = \lambda.f \text{ yazılabilir.} \quad (2)$$

Işığın enerjisi;

$$E = h.f \text{ olarak tanımlanır.} \quad (3)$$

Ve buradan

$$\lambda = E/h \text{ yazılır.} \quad (4)$$

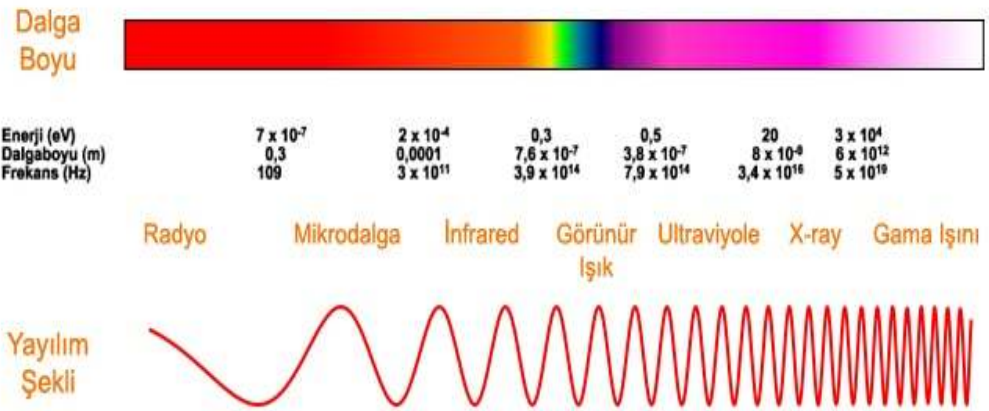
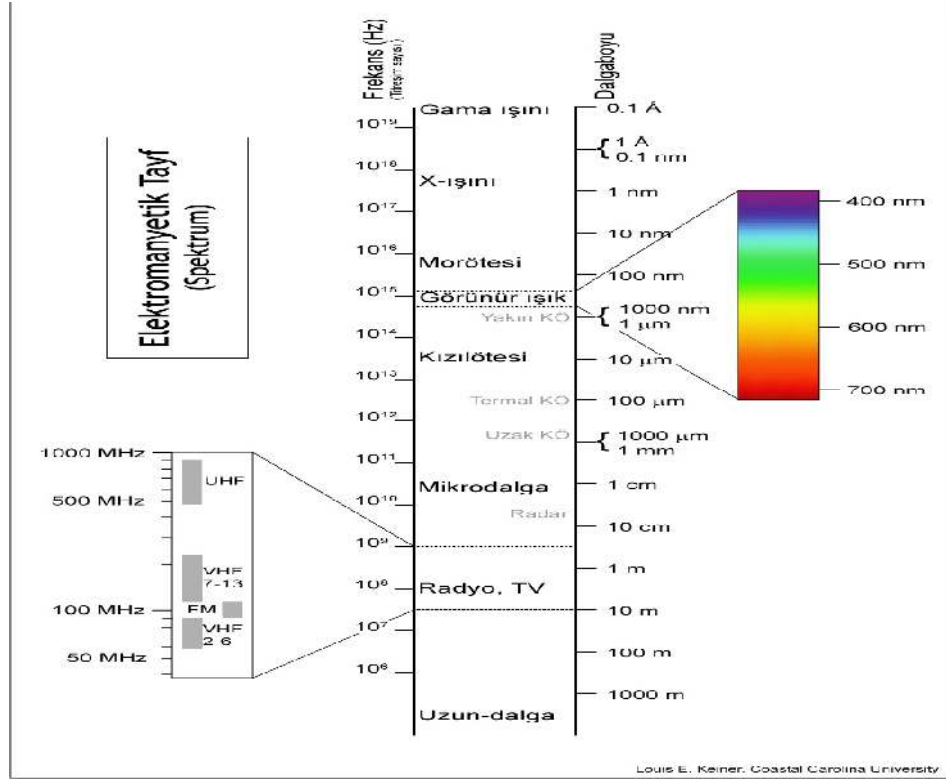
Burada; “c” ışık hızı, “f” frekans, “h” Planck sabiti

Planck sabiti değerleri;

$$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s (Joule x Saniye)}$$

$$= 4,14 \times 10^{-15} \text{ eV.s (Elektron volt x Saniye)}$$

$$= 1,58 \times 10^{-34} \text{ cal.s (Kalori x Saniye)}$$



Şekil 1.7 Elektromanyetik spektrum

1.2.4 Yayınım Özelliği ve Odaklanabilirlik

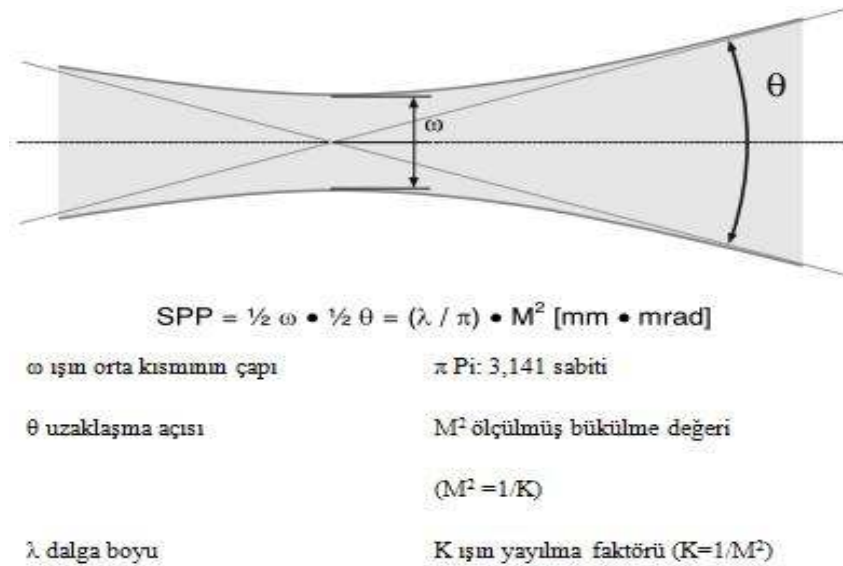
Lazer ışığının seyahat yolu mercekler sayesinde artırılır ve aldığı mesafe boyunca normal ışık üreticilerinden çıkan ışığın genişlemesine oranla çok küçük bir genişleme meydana gelir. Çünkü lazer ışığını bir birine paralel demetler üretir. Fakat bu yinede kesin bir paralellik anlamına gelmez. Her zaman az da olsa bir eğilmeye (genişleme)

söz konusudur, bu eğilmeye (genişleme) difraksiyon (kırınım) denir. Genelde lazer ışığının genişlemesi mili radyan olarak ölçülür.

Işığın orta kısmının çapı (ışının enine kesitinin en dar olduğu yer, Şekil 1.8) ve uzaklaşma açısı, lazer ışınının yayılım davranışını belirler. Küçük orta kısmı ve küçük uzaklaşma açılı ışın oldukça küçük bir noktaya odaklanabilir ve bu sayede yüksek kesme derinliği sağlanır. Lazeri kullanan ve imalatçı tarafından mercek ve parça arasındaki istenilen çalışma aralığı büyük tutulabilir.

Daha küçük uzaklaşma açısı daha iyi ışın kalitesi demektir. Mümkün olan en düşük uzaklaşma açısı temel moda sahip (Şekil 1.10) lazer ışını ile elde edilebilir ve dalga boyutuna bağlıdır.

Işın parametreleri çarpımı (SPP) ve M^2 değeri; ışın parametreleri çarpımı (SPP) ya da M^2 değeri ışın kalitesini belirler. Bu iki karakteristik sayı DIN EN ISO 11145 den hesaplanır (Trumpf 2007)



Şekil 1.8 Işın uzaklaşma açısı

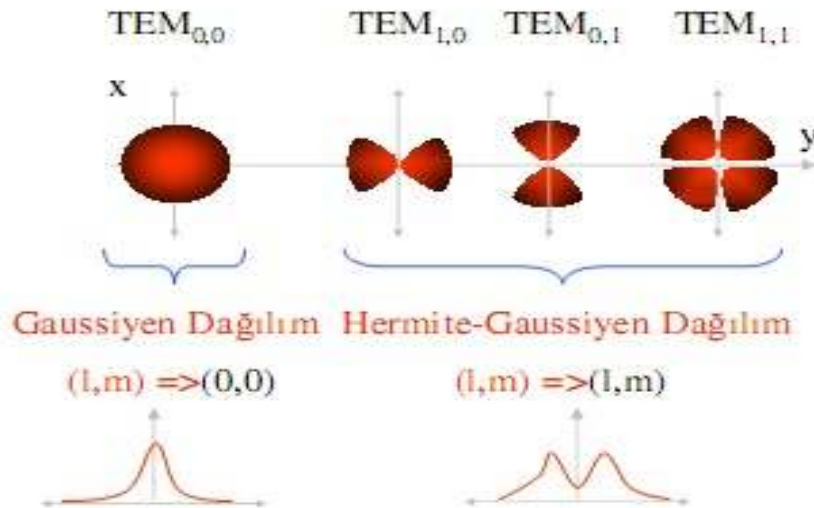
Işın parametreleri çarpımında, iki çok önemli ve kolayca hesaplanabilen ışın parametreleri birbirleriyle çarpılmıştır, bu parametreler; orta kısmın yarıçapı ve yayılma(genişleme) açısının yarısıdır. Burada ışın kalitesi için en uygun olanı en

küçük ışın parametresi çarpımıdır. CO₂ lazeri için elde edilebilir ışın parametreleri çarpımı minimum 3,4 milimetre mili radyandır (1 mili radyan 0,057 derece açığa karşılık gelir) (Trumpf 2007).

Ölçülmüş olan M^2 sapma değeri, gözlenen ışının, ışın parametresi ürününün optimum olandan yani temel moda sahip lazerden sapmasının ne kadar büyük olduğunu gösterir. M^2 değerinin bir'e eşitliğinde lazer ışını en uygun şekilde odaklanır. M^2 ve ışın parametreleri bileşimi birbirlerine dönüştürülebilir (Trumpf 2007).

1.2.5 Işığın En Kesitindeki Yoğunluk Dağılımı

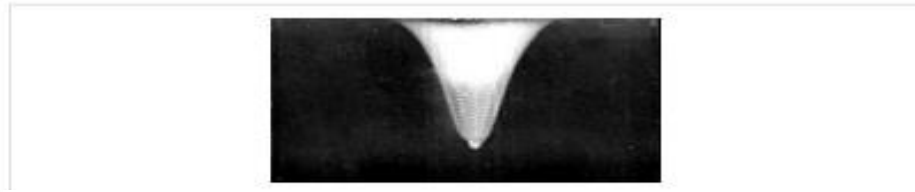
Lazer ışığı ışın eksenine göre enine ve boyuna kesitte karakteristik yoğunluk dağılımına sahiptir. Boylamasına mod (ışığın elektrik alanının zaman içersindeki salınımı), enlemesine mod (ışığın yayılma doğrultusunda dik düzlemdeki elektrik alan dağılımı, TEM= Transverse Electromagnetic Mode). Rezanatör yapısı ve lazer aktif madde tarafından belirlenen mod, lazer ışınının yayılma ve odaklanma özelliğini doğrudan etkiler. Örneğin TEM₀₀ temel modu normal dağılıma sahip bir Gauss dağılımı (Şekil 1.9) göstermektedir (Anık, S., Öğür, A. ve Vural, M. 1996).



Şekil 1.9 Lazer ışığının dağılımı

Bir lazer ışınının en küçük odak noktasına ve dolayısıyla en yüksek enerji yoğunluğuna sahip olabilmesi için lazer ışınının temel moda mümkün olduğu kadar yaklaşması gerekir. Mod değeri ne kadar yüksek olursa, ışın da o derece zor odaklanmaktadır. Mod değerinin çok yüksek olmaması halinde, bu durum kesme işlemini pek fazla etkilemez. Yapı çeliği üzerinde yapılan araştırmalar, TEM₀₀ (Şekil 1.10) ve TEM₀₁ (Şekil 1.11) mod değerlerindeki ışınlarla ulaşılan kesme hızlarının aynı mertebede olduğunu göstermiştir (Anık, S., Öğür, A. ve Vural, M. 1996).

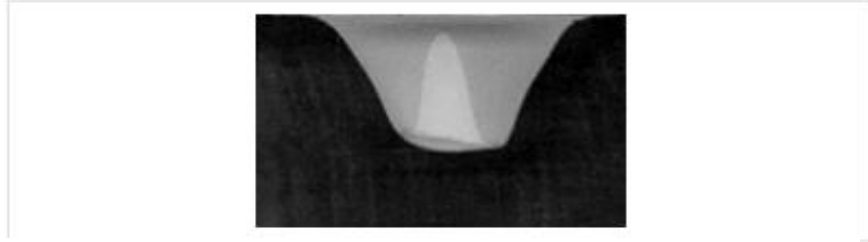
Temel mod TEM₀₀; Gauss dağılımı olarak ta bilinen temel mod TEM₀₀ (Şekil 1.10) durumunda ışınım yoğunluğu ışın ekseninde yüksektir ve ışın ekseninden uzaklaştıkça azalır. Yoğunluk dağılımı, gauss normal dağılımıyla aynıdır. Temel mod değerindeki lazer ışığı en düşük genişleme açısına sahiptir. Bu mod şekline 700 W – 3500 W lazer gücündeki CO₂ lazerleriyle yaklaşılr. Daha çok lazer kesim için kullanım alanına sahiptir (Trumpf 2007).



Plastik cam küp içindeki temel mod şekli. TEM₀₀ ($K \approx 0.9$, $M^2 \approx 1.1$)

Şekil 1.10 TEM₀₀ (Temel mod) ışın profili

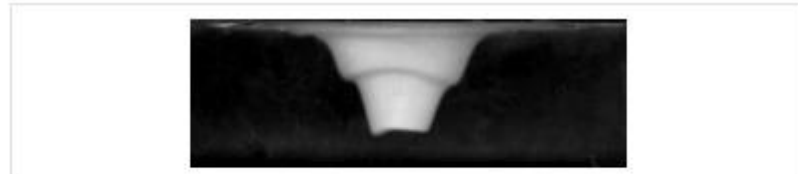
Ring mod TEM₀₁; ring mod olarak ta bilinen TEM₀₁ mod (Şekil 1.11) şekli durumunda; ışın ekseninde yoğunluk noktası yoktur, yoğunluk artışı dışarıda maksimumdur ve sonra düşer. Bu lazer modu optik aynalı lazerler ve lazer gücünün 3000 W-7000 W arasında olduğu durumlarda kesme ve delme için kullanılır (Trumpf 2007).



Plastik cam küp içindeki ring mod şekli. TEM_{01} ($K \approx 0.6$, $M^2 \approx 1.8$)

Şekil 1.11 TEM_{01} (Ring mod) ışın profili

Multi mod; multi mod yüksek seviyeli moddur (Şekil 1.12). Birkaç mod formunun üst üste çakıştırılmasıyla meydana gelir, bu sayede lazer gücünün 8000 W tan 20 000 W a çıkarılması sağlanır. CO_2 lazerinde bu mod formu ağırlıklı olarak kaynak ve yüzey işlemlerinde kullanılır (Trumpf 2007).



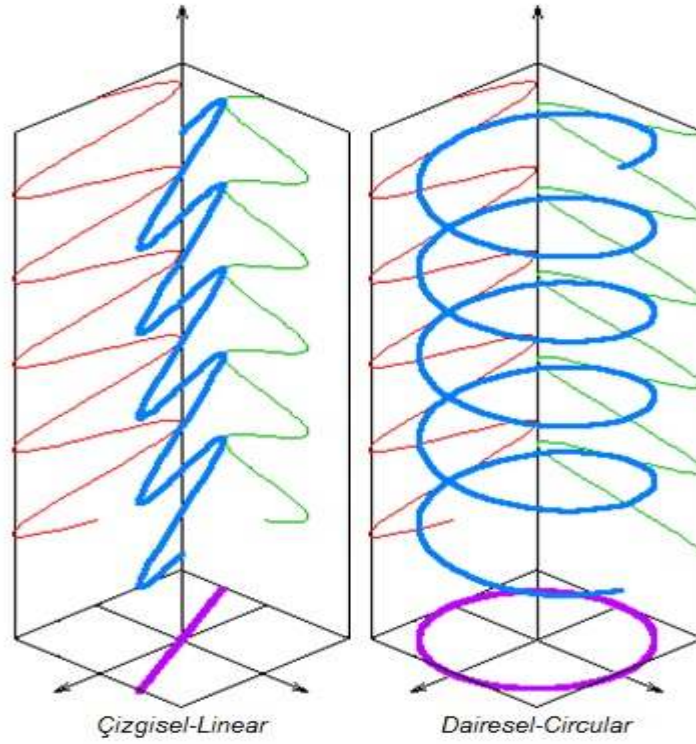
Plastik cam küp içindeki multi mod şekli ($K \approx 0.25$, $M^2 \approx 4$)

Şekil 1.12 Multi mod ışın profili

1.2.6 Polarizasyon

Polarizasyon (kutuplama); elektromanyetik dalganın elektrik alan vektörünün doğrultusudur. Lineer(doğrusal) ve Sirküler(dairesel) olmak üzere iki tür polarizasyon vardır (Şekil 1.13)

Lazer ışınıyla kesme cihazları, kesme yönüne bağlı olmadan eş ölçülü ve yüksek kesme kalitelerine ulaşabilmek için bir polarizatörle donatılmıştır. Polarizatörün görevi, lazer ışınının polarizasyonunu değiştirerek tüm yönlerde aynı özelliklere sahip olmasını sağlamaktır (Anık, S., Ögür, A. ve Vural, M. 1996).



Şekil 1.13 Polarizasyon Çeşitleri

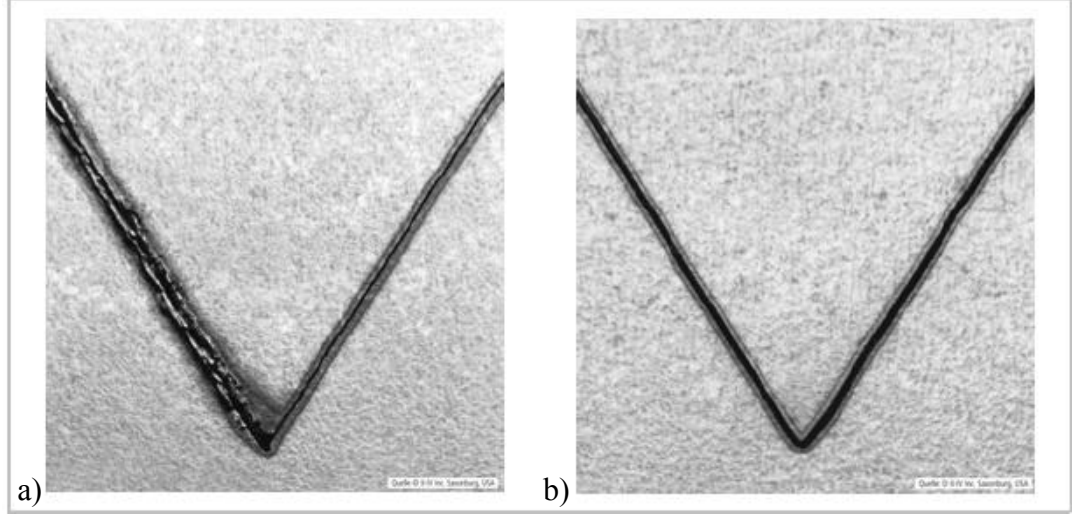
Günümüz lazerleri, lineer veya dairesel polarizasyonla ışınlar oluşturur. Lineer polarizasyonlu lazer ışınıyla kesme işleminde, kesme yönüne bağlı olarak polarizasyon yönüne paralel veya dik doğrultuda değişik etkiler görülmektedir (Anık, S., Öğür, A. ve Vural, M. 1996).

- 1) Lineer polarize ışın
- 2) Dairesel polarize ışın

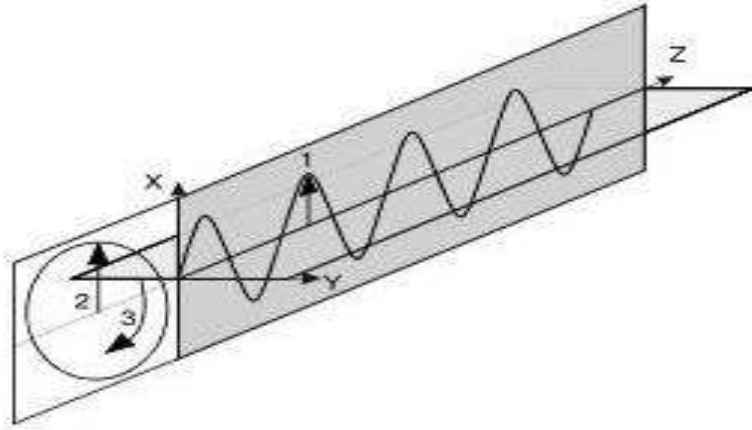
1.2.6.1 Lineer Polarize Işın

Eğer kesme işlemi lineer polarize (Şekil 1.15) edilmiş lazer ışını ile yapılırsa, kesme sonucu polarizasyon yönüne bağımlı olur. Lineer (doğrusal) polarizasyonda polarizasyon yönü kesme doğrultusuna paralel ise kesim üniform ve çapaksız olur. Kesme hızı çok yüksek olabilir. Lineer (doğrusal) polarizasyonda polarizasyon yönü,

kesme doğrultusuna dik ise kesme yarığında çapak oluşur ve kesim kalitesi kötüleşir (Şekil 1.14) (Trumpf 2007).



Şekil 1.14 Lazer kesim çizgisi, polarizasyon yönü kesim yönüne dik (a), polarizasyon yönü kesim yönüne paralel (b)



1 Vektör alanı

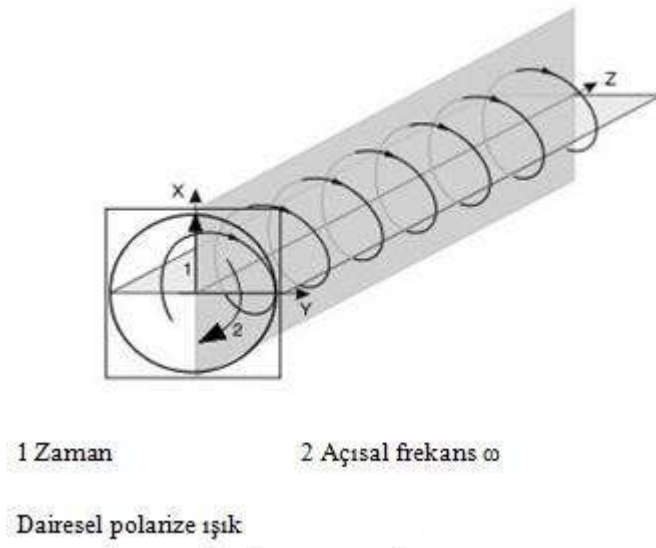
3 Açısal frekans ω

2 Zaman

Doğrusal polarize ışık

Şekil 1.15 Lineer Polarize ışık

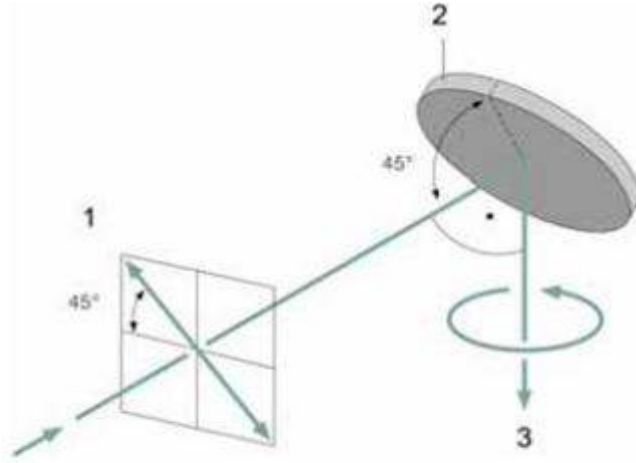
1.2.6.2 Dairesel Polarize Işın



Şekil 1.16 Dairesel Polarize Işık

Lazerle kesme işleminde kesme işleminin polarizasyon yönünden etkilenmemesi için daha çok dairesel polarizasyonlu (Şekil 1.16) ışın kullanılmaktadır. Son zamanlarda yapılan araştırmalar, dairesel polarizasyonlu ışının ile lineer polarizasyonluya oranla daha yüksek kesme hızlarına çıkılabildiğini göstermektedir.

Lazer ışını ile kesmede en önemli gelişmelerden birisi, lineer polarizasyonu dairesel polarizasyona dönüştüren yansıtıcı optik elemanlar olmuştur (Şekil 1.17) Lineer polarizasyonda kesme yönü ile polarizasyon birbirine dik olduğunda çapak oluşumu engellenememektedir. Bu yüzden ideal çözüm, lineer polarizasyonlu lazerlerde ilave bir dairesel polarizatör konmasıdır. Işının polarizasyonu yönlendirmeyi çok etkileyebildiğinden bunun özellikle çalışma noktasına yakın olması gerekir (Anık, S., Öğür, A. ve Vural, M. 1996).



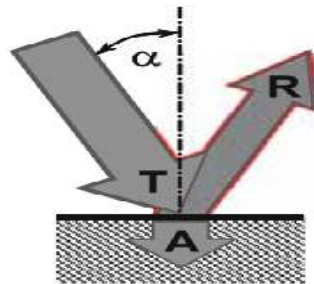
1 Lazer ışını, doğrusal polarize 2 Faz değıştirci ayna

3 Yansıtılmış lazer ışını, dairesel polarize

Şekil 1.17 Polarizasyonun (linear polarizasyondan dairesel polarizasyona) değıştirilmesi

1.3 Lazerle Kesme Prensibi

Lazer kesim işlemi termik kesme işlemidir, temassız, titreşimsiz ve esnek bir işlemdir. Kesme işleminde lazer ışını, su ile soğutulmuş bir mercek vasıtasıyla odaklanır. Kesme yarığına giren odaklanmış elektromanyetik ışınım, kesme yüzeyinin normali ve ışın eksenini arasındaki açığa, malzeme yüzeyine ve kesme yarığının sıcaklığına bağlı olarak absorbe edilir, ışının absorbe edilmeyen kısmı yansır (Şekil 1.18). Bu odaklama neticesinde oluşan yüksek yoğunluktaki enerji sayesinde malzemenin tutuşma, ergime ve/veya buharlaştırma sıcaklığı için gerekli yüksek enerji yoğunluğuna erişmek mümkün olur.



T; Lazer ışığı

A; Absorbe edilen ışık

R; Yansıyan ışık

α ; diklikten sapma oranı (açı)

Şekil 1.18 Lazer ışının absorbesi ve yansıması

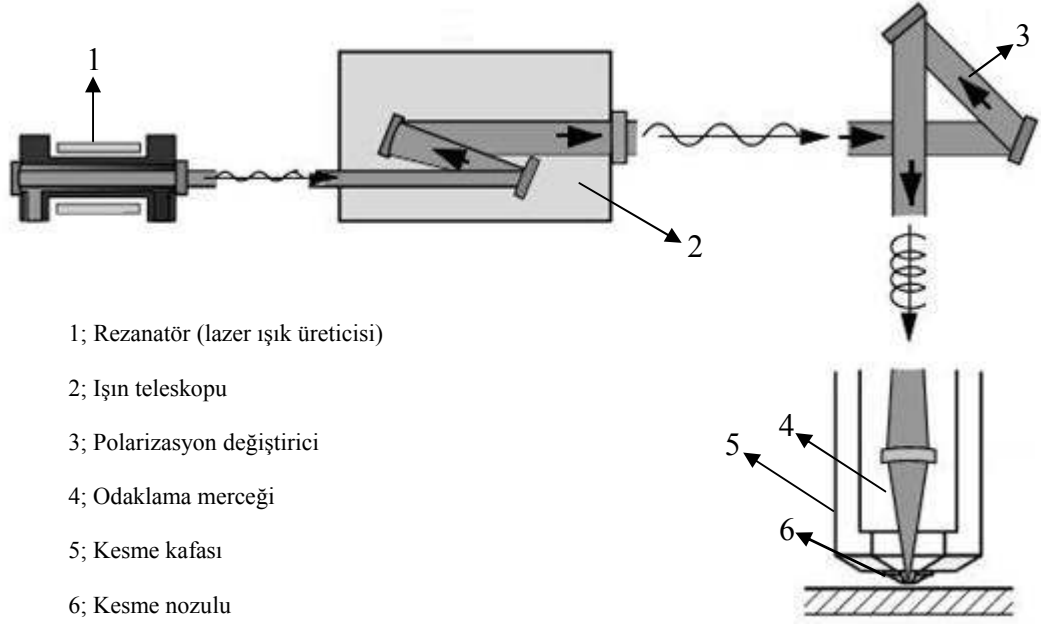
Lazer ışının absorpsiyon derecesi aşağıdaki etkilere bağlıdır;

- Dalga boyuna,
- Polarizasyona,
- Lazer ışığının geliş açısına
- Malzemeye ve sıcaklığına
- Maddenin hallerine (katı, sıvı, gaz)
- İş parçasının geometrisine,
- İş parçasının yüzeyine

Lazer ışını ile buharlaştırarak, ergiterek ve yakarak kesme işlemlerinin verimliliğinin yüksek olması ya da kesme kalitesinin yüksek olması; lazer dalga boyuna (dalga boyu $\lambda = c.f$, foton enerjisi; $E = h.f$) (“ λ ” dalga boyu, “ c ” ışık hızı, “ f ” ışığın frekansı, “ h ” Planck sabiti), lazer darbe sistemine (nano-, micro- or milliseconds) ve malzeme tipine (optik ve termoplastik (ısıtıldıklarında yumuşayan soğutulduklarında tekrar sertleşen plastikler özelliklerine) bağlıdır (Kjlaser b.t.). Kesme işlemi esnasında, malzemenin kesilen yüzeylerinde devamlı olarak ergiyik malzeme bulunur ve bu ergiyik, kesme gazı huzmesiyle üflenip püskürtülür. Düşük karbonlu ve alaşım elementleri oranı az olan çeliklerde kesme gazı olarak oksijen tercih edilir. Kesme esnasında oksijen yanma (oksitlenme) sürecini başlatır ve yanan (oksitlenen) demirin çıkardığı ilave ısı (ekzotermik reaksiyon sonucu çıkan ısı, demir oksit oluşumu ve ısı; $2Fe(k) + 3/2O_2(g) \rightarrow Fe_2O_3 + ısı$) kesmeyi kolaylaştırır. Eğer yanıcı malzemelerin (tekstil gibi) kesilmesi söz konusu ise, kesme gazı olarak soy gaz (Helyum “He”, neon “Ne”, argon “Ar”, kripton “Kr”) veya ucuzluk açısından azot gazı kullanılması daha uygun olur (Yüksel, M., Konig, R. 1995).

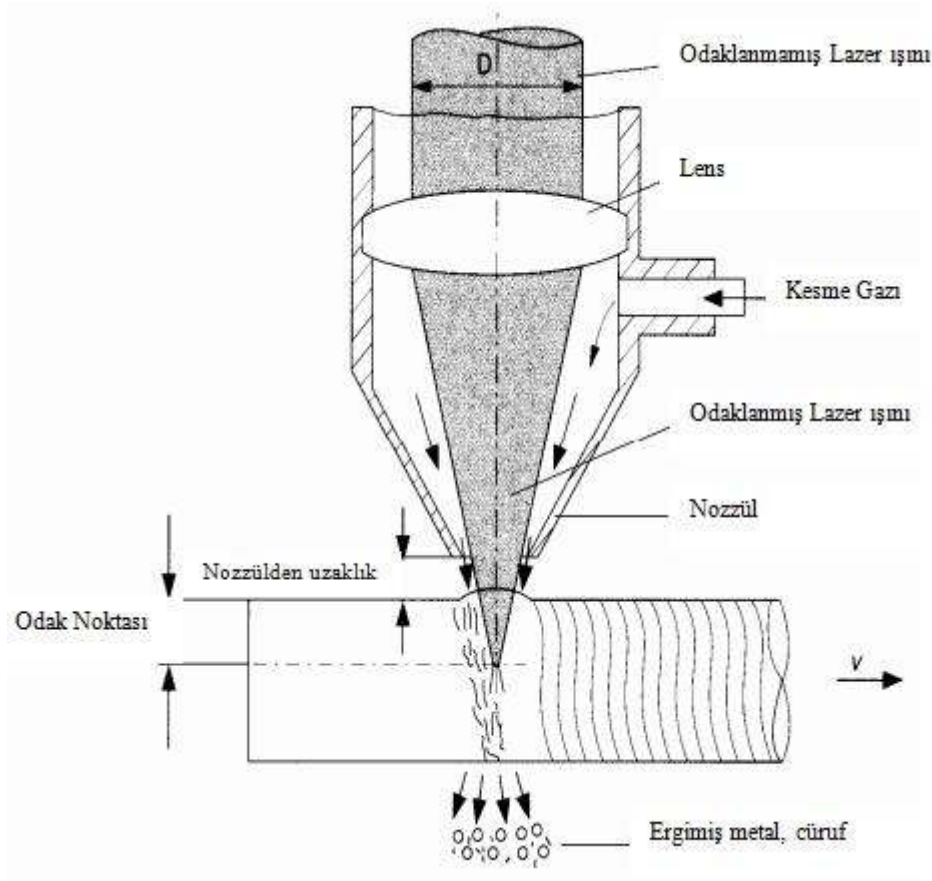
Optik hatalardan dolayı (bu hatalar; optik parçanın yapımından, bu parçaların dizaynından ya da her ikisinden kaynaklanır) lazer ışınının cihazı terk ettiği nozul ile kesilecek malzeme arasındaki uzaklığın hep sabit tutulması gerekir (Yüksel, M., Konig, R. 1995).

Günümüzde lazerle kesmede kullanılan lazer kesme tekniği CO₂-lazeri olduğundan, burada esas olarak bu yöntem ele alınmıştır.



Şekil 1.19 Lazer Kesme Sistemi

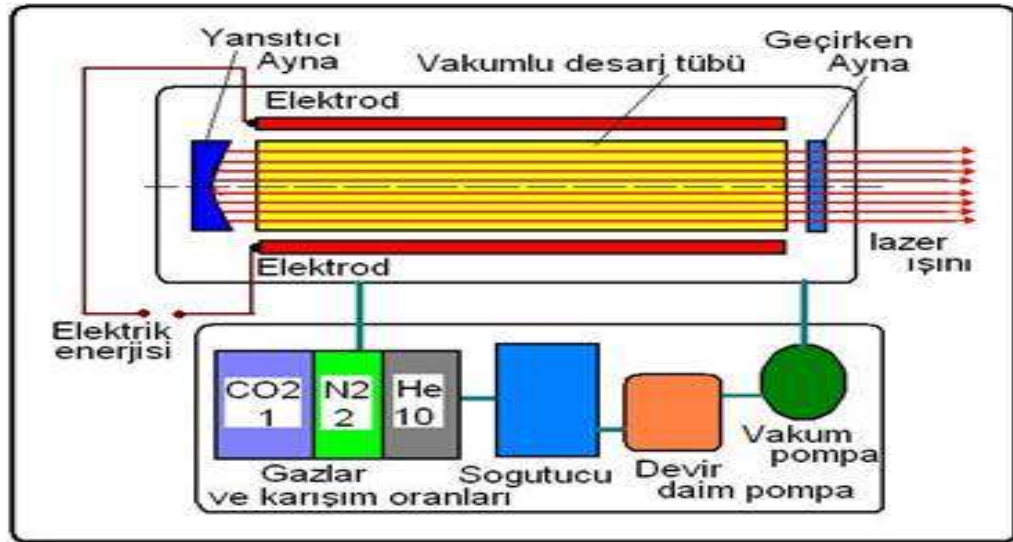
Şekil 1.19’da görüldüğü gibi; Lazer üretecinde yüksek paralellikte bir lazer ışını üretilir. Teleskopta aynalara zarar vermesin diye genişletilir. Gerekli sayıda ayna ile ışın kesme kafasına yönlendirilir ve kafadaki mercek sayesinde ışın meme ucuna odaklanır. Şekil 1.20’de lazer ışının malzeme üzerine odaklanması ve nozul konumu gösterilmiştir. Odak noktasının konumu kesimi yapılacak malzeme cinsine göre kesimin düzgün yapılabilmesi için ayarlanmalıdır (malzeme yüzeyinde, malzeme yüzeyinden belirli mesafede (+ veya -) gibi).



Şekil 1.20 Lazer kesme işlemi, nozul konumu ve lazer ışını odak konumu

1.4 CO₂ Lazeri

Karbondiyoksit lazerleri madde işleme uygulamalarında gittikçe yaygınlaşmaktadır. Kesme, ergitme, zımparalama, delme ve madde üzerindeki birçok diğer fiziksel modifikasyonlar daha geleneksel aletler yerine CO₂ lazerler kullanılarak daha ekonomik olarak yapılabilir. Bu tür lazerler kompakt, güvenilir, güçlü aletlerdir, bu nedenle kullanıcıya yeni ve zor uygulamalar için kullanım kolaylığı sağlarlar (Başoğlu, T. 2002). Ağırlık, boyut ve servis ömrü nedeniyle geçmişte kullanılmayan alanlarda dahi günümüzde kullanılabilir.



Şekil 1.21 CO₂ lazer sistemi şematik gösterimi

Şekil 1.21 'de CO₂ lazer sisteminin şematik gösterimi verilmiştir, burada lazer aktif madde için CO₂, N₂ ve He gaz karışımı, (karışım oranı, genellikle %4,5 CO₂, %13,5 N₂, % 82 He) kullanılmaktadır. Bu gaz karışımının bir pompa sistemi ile deşarj tüpü içinde devridaimi sağlanmaktadır. Vakum tüpü içerisinde bulunan elektrotlar doğru akım veya yüksek frekanslı alternatif akıma, (13,56 MHz) bağlanarak sağlanan elektrikli deşarj ile gaz molekülleri uyarılmaktadır, bu suretle CO₂-gaz molekülleri üst enerji seviyelerine (E₂, E₃, ...) pompalanmaktadır. N₂ ve He gazları karışımda lazer ışını üretimi işleminde katkı, destek amaçlı bulundurulmaktadır. N₂-gazı CO₂-moleküllerin üst enerji seviyelerine tahrikini kuvvetlendirmektedir, daha fazla yoğunlaşmalarına katkı sağlamaktadır. Yüksek ısı iletkenliğinden dolayı He-gazı karışımda soğutucu olarak devreye sokulmaktadır. Bilindiği gibi elektrikli deşarj sırasında, enerji pompalama ile vakum tüpü içerisindeki gazların sıcaklığı yükselmektedir Bu sıcaklığın lazer tipine göre 200° C ile 300° C 'i geçmemesi istenilmektedir. Bu sıcaklık aralığında CO₂-lazer sistemleri en uygun randımana ulaşmaktadır. Lazer bu nedenlerle lazer işlevi süresince deşarj tüpünün soğutulma işlemi deşarj tüpü içerisindeki gaz karışımının sürekli olarak devir daimi ile gerçekleşmektedir. Deşarj tüpünün boyutları, bilhassa uzunluğu lazer gücünü belirlemektedir. Yani tüp ne kadar uzunsa lazerin gücü o nispette büyüktür. Bu

nedenle çeşitli yapısal müdahalelerle örneğin, deşarj tüplerin çokgenli diziliş ile aktif madde boyu büyük tutularak lazer gücü artırılabilir. (Özden, H. b.t.).

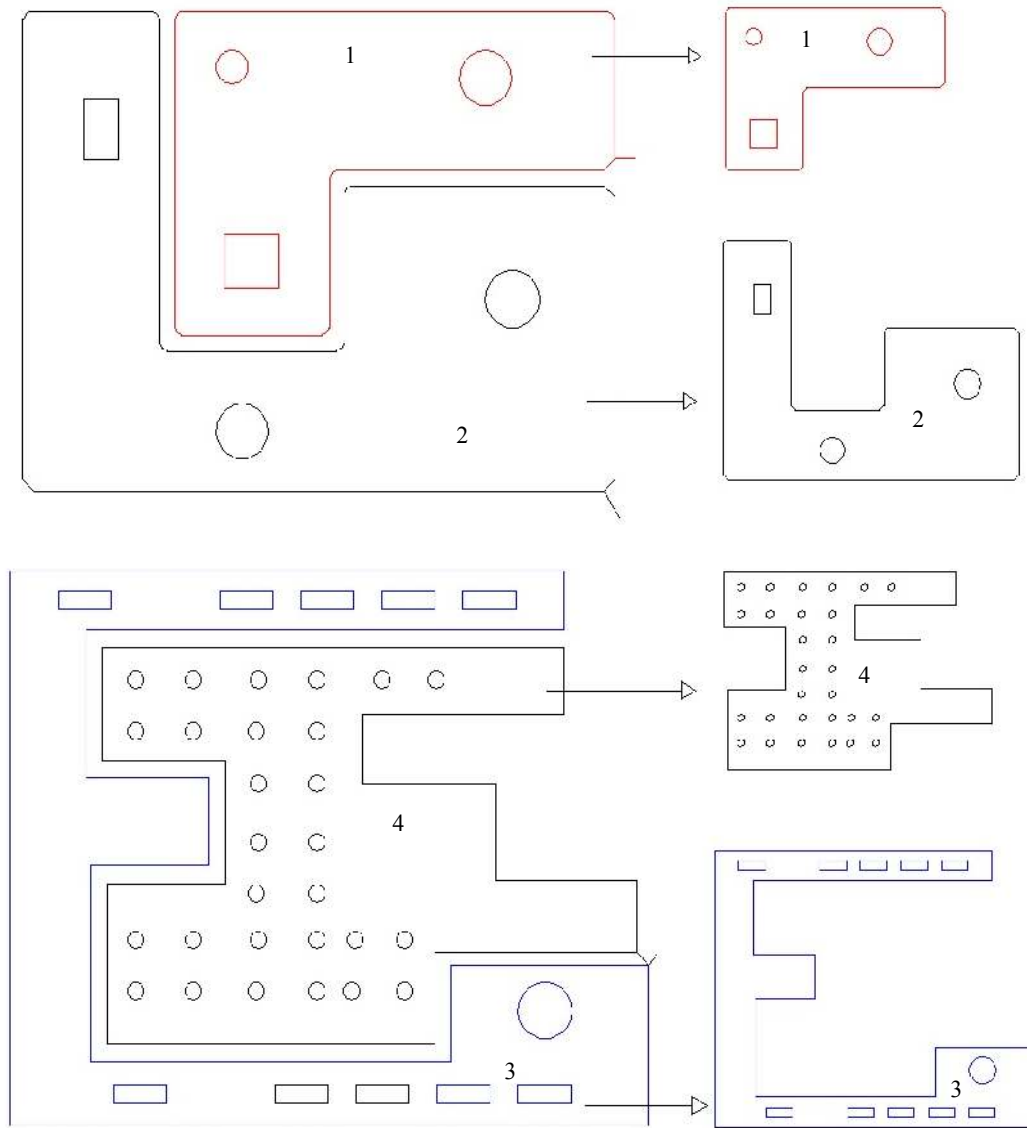
CO₂-lazeri önceleri yüksek gücü nedeniyle (P=60kW) kesme işlerinde daha sonraları ise kaynak işlerinde de kullanım alanı bulmuştur. CO₂-lazer yönteminde ışın uzak mesafelerden bir kayba uğramadan ayna sistemleri aracılığıyla parça yüzeylerine ulaştırılmaktadır. Bu yöntemde, lazer kafası, yani lazer ışın penceri veya daha kısa tanımı ile lazer kafası hareketli olabileceği gibi sabit olup parçalar genelde üç boyutlu hareketli bir tabla üzerinde hareket ettirilebilir. Kesimi yapılacak parçaların hareket ettiği cihazların, üretimlerinin karmaşık ve ağır yapısı, imalat işlemi sırasında ortaya çıkan titreşimlerin kesim kalitesine olan olumsuz etkisi gibi bazı sakıncaları bulunmaktadır. Makine ve ekipmanın pahalı oluşu nedeniyle CO₂-lazer makinelerin kullanımları sınırlı kalmıştır. Yüksek gücü ve büyük dalga boyu ($\lambda=10,6 \mu\text{m}$) nedeniyle CO₂-lazeri sanayide sac levhaların kesiminde tercih edilmektedir (Özden, H. b.t.).

Karbondioksit Lazerleri çok çeşitli maddelerin işlenmesinde geleneksel aletlere kıyasla bazı avantajlar sağlar. Kesme, delme, kaynaklama, zımparalama, eritme hepsi de alet teması ya da alet eskimesi olmadan hızlı ve tam olarak yapılır. Ayrıca alet asla maddenin yakınına uğramadığından alet aşınması ile ilgili sorunlarda ortadan kalkar. Sıçrantı izleri, maddesel sürtünme, değişen yüklerden ve termal değer ölçülerinden dolayı pozisyonel hatalar, değişik yüklemelerin gürültüsü - alet temasının engellenmesi ile ortadan kalkar (Başoğlu, T., 2002).

Çelikler (kurşun, kalay, çinko ve krom kaplı), titanyum, zirkonyum, tantal, nikel ve bunların alaşımları lazer ışını ile kesilebilmektedir. Alüminyum, pirinç, bakır, gümüş ve altın gibi yüksek yansıtımlı malzemeler hiçbir şekilde CO₂-lazeri ile kesilemezler. Ayrıca organik ve anorganik malzemelerin de lazer ışını ile kesilmesi mümkündür. Bunlara örnek olarak akrilik cam, polietilen, polipropilen, deri, ahşap, lastik, yün ve pamuk gibi organik maddeler; cam, seramik, kuvars, porselen, asbest, mika gibi anorganik maddeler verilebilir (Başoğlu, T., 2002).

❖ Teknik yönden CO₂ lazerlerinde görünen avantajlar şöyle sıralanabilir:

- Kesme aralığı dar tutulabilir.
- Kesme hızı diğer termik kesme işlemlerine göre yüksektir.
- Plazma ile kesmeye kıyasla kesme yüzeyleri birbirine yaklaşık paraleldir.
- Kesici takımında, yani lazer ışınında aşınma (mekanik kesme takımlarında görüldüğü gibi) söz konusu değil.
- Konstrüktif olarak karmaşık parçalarda lazerle kesme, mekanik kesmeye oranla daha uygundur.
- Yüksek enerji yoğunluğundan ve düşük sıcaklık etkisinden (ısıdan etkilenen bölgenin dar olması nedeniyle) dolayı kesilen parçalarda çarpılma çok az veya hiç yoktur.
- Çok ince ve esnek parçalarda çarpılma olmaksızın kesim yapılabilir (0,025 mm kalınlık gibi).
- Kesim yüzeyi düz ve genelde paraleldir, sonraki işlemler için (kaynak gibi) yeniden bir hazırlık veya temizleme işlemine çoğu kez gerek duyulmaz.
- Kesme aralığının ve ısıdan etkilenmiş bölgenin (ITAB) dar olması sayesinde üretilecek parçalar iç içe geçirilebilir (Şekil 1.22), buda malzeme kaybını önler.
- Kesimi zor malzemeler, sünger gibi çok yumuşak malzemeler dahil olmak üzere seramik gibi çok sert malzemeler kesilebilir.
- İmalathanede oluşan gürültü çok azdır.



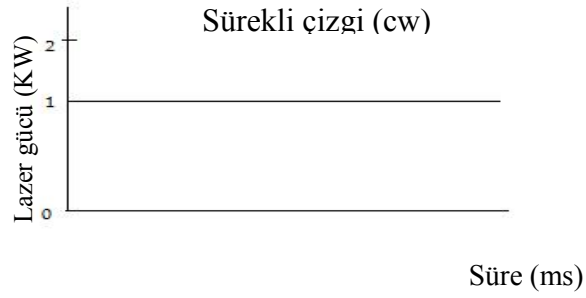
Şekil 1.22 Malzeme kaybını önlemek için parçaların iç içe geçirilmesi

1.4.1 Çalıştırma Türleri

Lazer ışınıyla kesme işlemi için gereken enerjinin iletimi, ya bir "sürekli çizgi" yani cw-çalışma (continuous wave = sürekli dalga) veya bir darbeli çalıştırma formunda yapılabilir. Her bir çalıştırma türünde lazer parametrelerinin seçiminin ve ayarının kendiliğinden sağlanması için, işletme ekipmanlarının CNC komutlarının lazer komutları ile uyumlu olması gerekir (Anık, S., Öğür, A., Vural, M. 1996).

1.4.1.1 Sürekli Çizgi (cw-çalıştırma)

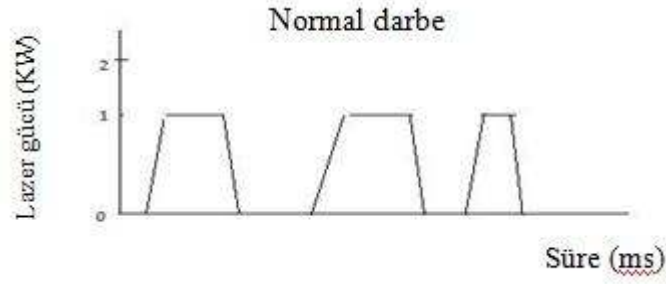
Bu çalıştırma türünde lazer kapasitesi kesme işlemi sırasında sabit kalır (Şekil 1.23) ve her zaman diliminde yüksek bir enerji çıkışı sağlar. Bu sayede darbeli çalıştırma türüne göre daha hızlı bir kesme olanağı verir. Dolayısıyla düz kesmeler cw-çalıştırma türüyle, zor kesilebilen kenarlar ise darbeli çalıştırma türüyle gerçekleştirilir (Anık, S., Öğür, A., Vural, M. 1996).



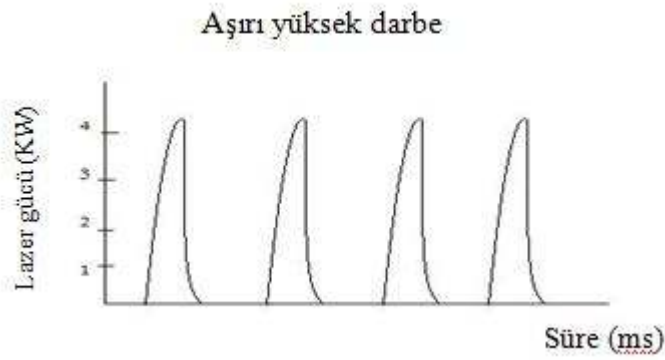
Şekil 1.23 sürekli dalga (CW)

1.4.1.2 Darbeli Çalıştırma

Keskin köşeler, geniş açılar, ince göbekler ve dar kesimler gibi yüksek sıcaklığa duyarlı hatların kesilmesinde cw-çalıştırma kullanılması halinde, bu bölgeler ergiyerek zarar görmektedir. Dolayısıyla bu tür yerlerde cw-çalıştırma şekli kullanılamamaktadır. Darbeli çalışma türünde sıcaklık dengelenebilmektedir. Darbeli çalıştırmada pratikte iki farklı darbe türü mevcuttur. Bunlar normal darbe ve yüksek darbe (süper darbe) dir (Şekil 1.24- ve Şekil 1.25). cw-lazeriyle darbe lazerini işleme kapasitesinin optimizasyonu bakımından karşılaştırırken, darbenin etki süresi, darbe enerjisi, darbe tepe güçleri ve soğuma etkisi faktörlerinin de göz önüne alınması gerekir (Anık, S., Öğür, A., Vural, M. 1996).



Şekil 1.24 Normal darbeli çalışma



Şekil 1.25 Aşırı yüksek darbeli çalışma

1.4.2 Lazer Işını ile Kesme Yöntemleri

Lazer ışını ile kesmede üç ayrı yöntem mevcuttur, bunlar;

1. Lazer ışını ile yakarak kesme,
2. Lazer ışını ile ergiterek kesme,
3. Lazer ışını ile buharlaştırarak kesme.

Kesme işlemi; malzemenin kesme esnasında eritilmesi, oksidasyon (yakarak) ürününe dönüştürülerek ergitilmesi veya buharlaştırılmasıyla yapılır. Kesme gazına bağlı olarak (inert veya oksit etkili) faz dönüşümü ortaya çıkar.

Lazer ışını ile eriterek kesmede ön koşul olarak herhangi bir kimyasal reaksiyonun oluşmaması istenir. Eriterek kesmede malzeme kesme ağzında eritilir ve oluşan eriyik, inert kesme gazıyla kesim ağzından uzaklaştırılır. Bu yöntemle metaller oksit oluşturmada kesilir.

1.4.2.1 Lazer Işını ile Yakarak Kesme

Lazer ile yakarak kesme işleminin önemi büyüktür. Kesme gazı olarak bu yöntemde oksijen (gaz saflığı %99,5) gazı kullanılır ve yumuşak çelik kesiminde kullanılan gaz basıncı maksimum 6 bar'dır. Oksijen gazı belli bir sıcaklığa erişildiğinde malzeme ile ekzotermik bir reaksiyona girer. Böylece kesme işlemine ilave bir ısı enerjisi kazandırılmış olur. Bu yöntemle inert gaz ile kesmeye göre daha yüksek kesme hızlarına ulaşılır. Bu yöntemin dezavantajı ise kesim yüzeylerinde bir oksit tabakası bırakmasıdır (Şekil 1.26) (Trumpf 2007).

Lazerle yakarak kesmede malzemenin kesilebilmesi için aşağıdaki şartları sağlaması gerekir.

- a-) Malzeme oksitlenebilmelidir.
- b-) Yanma sonunda ekzotermik reaksiyon meydana gelmelidir,
- c-) Malzemenin tutuşma (yanma) sıcaklığı, erime sıcaklığının altında olmalıdır,
- d-) Malzeme, yüksek sıcaklıkta eriyen oksitler meydana getirmemelidir.



Şekil 1.26 Oksijen kullanılan kesimde kesme yüzeyi ve oksit tabakası

Enerji katkısının yanında düşük alaşımlı çeliklerde metalin oksidi, metalin kendi eriyiğine göre daha akıcı hale getirilir, bu da çapaksız bir kesmeyi mümkün kılar. Ancak bu durum yüksek alaşımlı CrNi çeliklerinde geçerli değildir, çünkü bu

metallerin oksitlerinin erime sıcaklıkları çeliğin erime sıcaklığından daha yüksek olduğundan oksit eriyikleri kesme yarığında daha zor akar. Bu nedenle 3 mm'den daha kalın CrNi çeliklerinin çapaksız kesilmesi mümkün olmaz. Ayrıca bu çelikler, ısı iletkenlikleri düşük olduğundan aşırı ısı biriktirme eğilimindedir, iyi kesim sonuçları elde etmek için lazer gücünün darbeli çalıştırma şeklinde kullanılması gerekir. Darbeler arasındaki sürelerde malzeme biraz soğur böylece yanma ısısının etkisi kontrol altında tutulmuş olur (Anık, S., Öğür, A., Vural, M. 1996).

Lazer ışını ile yakarak kesmede diğer bir sınır, çelik içerisinde bulunan karbon miktarıdır. Örneğin dökme demirlerde iyi bir kesme kalitesi elde edilemez. Bunun sebebi tutuşma sıcaklığının erime sıcaklığının üzerinde olmasıdır (Anık, S., Öğür, A., Vural, M. 1996).

Yüksek saflıktaki oksijen ile standart kalitedeki oksijene göre daha hızlı kesme işlemi gerçekleştirmek mümkündür. Oksijenin içine yabancı bir gaz karıştığında (örneğin kesme işlemi sırasında yanma gazları) kesme hızında önemli oranda düşme ortaya çıkmaktadır.

Az alaşımlı çelikler iyi kesilebilir. Çeliğin mekanik özelliklerinin (sertlik, vb.) kesime bir etkisi yoktur. Bu çeliklerde 8 mm kalınlığa kadar kaliteli kesme yapılabilir.

Daha önce de söz edildiği gibi, paslanmaz çeliklerde çapak oluşumu ve yanma eğilimi mevcuttur. Ayrıca kesme yüzeyine yapışan sert oksit tabakasının bu çeliklerde paslanmazlık özelliğini ortadan kaldırdığına dikkat etmek gerekir. Bu yüzden birçok uygulamada oksit tabakası güçlü asitlerle temizlenmelidir. Bu da çevre bakımından sakınca yaratır. 2000 W'lık bir lazerde darbeli ışınlarla kesilebilen maksimum çelik sac kalınlığı 10 mm'dir.

Alüminyum esaslı malzemeler lazerle yakarak kesmeye pek uygun değildir. Oluşan çok sert Al_2O_3 tabakası çapak olarak kesim kenarlarına yapışarak çiziklere sebep olmakta ve kesim kenarları düzgün çıkmamaktadır. Ancak 10 bar 'in üzerindeki oksijen basınçları patlama şeklinde yanarak oyuk oluşumunu engellemekte, bu şekilde 2000 W'lık lazerle 6 mm (laboratuarda 10 mm) kalınlıklara kadar kesim yapmak mümkün olmaktadır.

Pirinç malzemelerde de çapak oluşumu sebebiyle lazerle yakarak kesme tavsiye edilmez.

Bakırın lazerle yakarak kesilmesinde oluşan oksitlenmenin yansımayı azaltması sayesinde 2000 W'lık bir lazerle kesilebilmesi mümkün olmaktadır. Oksitlenmenin olmaması durumunda Cu (bakır) ayna gibi davranmakta ve bütün ışın gücünü ışın yoluna geri yansıtmaktadır. Bu durumun 3 – 5 sn sürmesi halinde özellikle mercek zarar görebilmektedir. Bakırın yüksek ısı iletkenliği sebebiyle ancak 2 mm (laboratuarda 3 mm) kalınlığa kadar kesim yapmak mümkündür.

Ahşap ve termoplastik malzeme lazer ile oldukça iyi ve hızlı kesilebilmektedir. Ahşapta tek sorun kesim kenarının kararmasıdır. Plastiklerde zehirli gazların oluştuğu bilinmektedir.

Malzemeye bağlı özellikler dışında geometrik sınırlar, sadece en önemli malzeme olan yapı çeliği için incelenecektir.

Yakarak kesme karakteristiği;

- a- Ergiterek ve buharlaştırarak kesimden daha ince malzemelerin kesiminde kullanılır
- b- Kesme hızı yüksektir
- c- Kesme kenarında oksidasyona sebep olabilir. Paslanmaz çeliklerde kesim boyunca korozyona neden olur.
- d- Krom-nikeli malzemelerde kesme yarığındaki oksit tabaka uzaklaştırılmaz ise daha sonra yapılacak kaynak işleminde kaynak bölgesi gözenekli olur.
- e- Kesme işleminden sonra ek işleme gerek vardır (kimyasal ya da mekanik işlemler).

1.4.2.2 Lazer ile Ergiterek Kesme

Ergiterek kesmede, kesme gazı olarak azot ya da argon gazları kullanılır. Bu metod da malzeme ilkönce ergitilir ve kesme gazı ile kesme yarığında (çoğunlukla Azot gazı ile) uzaklaştırılır (Şekil 1.27). Ergimiş metalde bir reaksiyon oluşmaz. Titanyum bu konuda bir istisnadır, titanyumun reaksiyona girme eğilimi yüksek olduğundan (gaz saflığı %99,996'dır) titanyum kesiminde argon gazı kullanılması

gerekmektedir. Gaz basıncı 2-20 bar arasındadır (yüksek basınçlı kesme) (Trumpf 2007).

Tablo.1.1 Azot kullanımının oksijenle karşılaştırılması (ergiterek ve yüksek basınçlı kesmede)

	O ₂	N ₂
Kalınlık “t”	1.2 mm nozzle	2.3 mm nozzle
1 - 3 mm	4 bar	20 bar
5 - 30 mm	0.3 bar	20 bar



Şekil 1.27 Azot gazı ile kesilmiş parça

Metalik eriyiği oksit eriyiğine göre kesme ağzından daha zor aktığından 2 mm’nin üzerindeki kalınlıklarda sakal şeklinde çapak oluşumu oluşmaktadır. Bu çapaklar merkezlerinde metal bulundurdıklarından uzaklaştırılmaları zor olmaktadır. Bu sorunu gidermek için yüksek basınçlı kesim kullanılır.

Yüksek basınçlı kesmenin gerçekleştirilebilmesi için normal oksijen ile kesmeye göre bazı modifikasyonlar gerekmektedir. 1 mm meme-saç mesafesinde gaz akışının düzgün olabilmesi için püskürtme memelerinin optimize edilmesi gerekmektedir.

- Yüksek basınçlı (ergiterek) kesmenin avantajları;
 - a- Paslanmaz çelikte çapaksız kesme kenarı
 - b- 3 mm den kalın alüminyum alaşımlarında minimum çapak oluşumu

- c- Kesme sonrası ek işlemlere gerek yoktur
- Yüksek basınçlı (ergiterek) kesmenin dezavantajları;
 - a- Yüksek gaz tüketimi
 - b- Yakarak kesimden düşük kesme hızı

1.4.2.3 Lazer Işını ile Buharlaştırarak Kesme

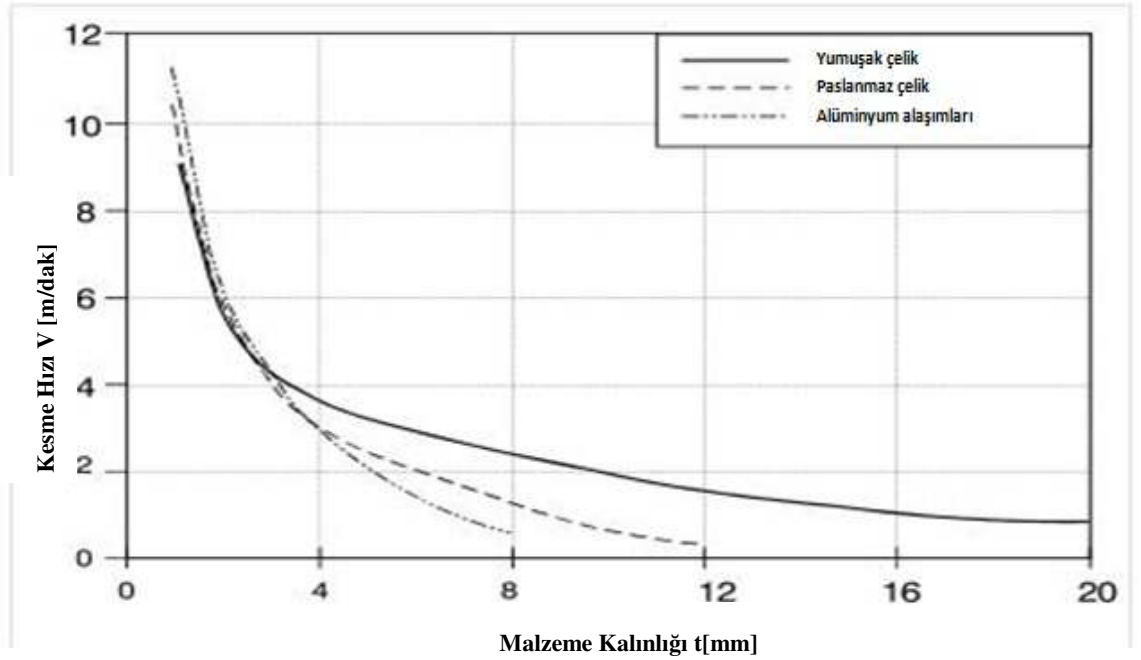
Üçüncü kesme yöntemi olan buharlaştırmak kesme yönteminde ise malzeme lazer enerjisi etkisiyle yerel olarak buharlaştırılır ve kesme bölgesinden uzaklaştırılması sağlanır. Yüksek lazer gücü yoğunluğu ($10\text{W}/\text{cm}^2$ üzerinde) altında malzeme sıcaklığı hızlı bir şekilde buharlaşma sıcaklığına yükselir ve buharlaşan metal öncelikle tepki basıncı ile uzaklaşır. Isı tesiri altındaki bölgenin darlığı ve temiz bir kesim bu yöntemin en önemli avantajıdır. Kesimin kalitesi, yüzey üzerinde yanan ve değişen ergiyik miktarı ile tayin edilir. Çok kısa darbeler, çok yüksek darbe gücünü ve malzemenin kaynama süresini çok kısaltır. Sonuç olarak, buharlaştırma ile ergitmeden daha fazla malzeme kaldırılır. Buharlaştırarak kesme aynı zamanda akrilik, bazı termoplastik polimerler, kauçuklar, ahşap, kâğıt, deri, bazı seramikler ve ince metal levhaların kesimi için kullanılır. Kesme gazı ise burada sadece bir koruyucu atmosfer oluşturur ve buharlaşan malzemeyi uzaklaştırır. Elde edilen kesme yarığı odaklama çapından genellikle çok az büyüktür. Isı iletimi ile enerjinin bir kısmı malzemeye dağılabilir. Verimli bir kesme işlemi gerçekleştirmek için yüksek güç yoğunlukları gerekmektedir.

1.4.3 Kesme Hızı

Lazer gücü gibi lazer hızı da, malzeme cinsi ve malzeme kalınlığına bağlı olarak değiştirilmelidir. Yanlış kesim hızı kesim çizgisinde sertliğe, çapak oluşumuna ya da çukurluklara neden olabilir. Artan kesim hızıyla kesme yarığına komşu metaldeki ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) küçülür. Eğer kesme çizgisi boyunca kesim çok hızlı yapılırsa malzeme kesilemez (Trumpf 2007).

Genelde, malzemenin kalınlığının artmasıyla kesimin yapılabilmesi için kesim hızının düşürülmesi gerekir. Şekil 1.28 de 4000 w gücündeki lazer cihazı ile yapılan

kesimde değişik malzemelerin kalınlığındaki artışla beraber kesme hızındaki dūřüm görülmektedir. Paslanmaz  elik ve alüminyum alaşımlarının belirli bir kalınlığından sonra kesiminin mümkün olmadığı şekil 1.28 de açıkça görülmektedir. Yumuřak  eliklerin kalınlığının artması kesim hızı düşük kalınlıklardaki malzemelere oranla yüksek bir hız düşümü gerçekleşmiştir.



şekil 1.28 Kesme hızının malzeme kalınlığına bağlılığı (4000 W lazer gücündeki makinenin malzeme kalınlığına bağlı olarak kesme hızı)

1.4.4 Kesme Gazları

Lazer ışınıyla kesmenin etkin şekilde yapılabilmesi için lazerle yakarak, eriterek ve buharlaştırarak kesme işlemlerinin her birinin özelliğine uygun kesme gazlarının kullanılması gerekir. Bir kesme gazının görevi, oluşan cürufları, eriyikleri veya metal buharını kesme yarığından uzaklaştırmak ve odaklama merceğinin kirlenmesini önlemektir (Anık, S.,  g r, A., Vural, M. 1996).

1.4.4.1 Oksijen

Lazerle yakarak kesme işleminde kullanılan oksijen, kesilen malzeme ile ekzotermik reaksiyona girer ve bu reaksiyonun ürettiği ek ısı, kesme hızını artırır. Oksijenin saflığı kesme kalitesine, cüruf birikimine ve çapak oluşumuna büyük etki yapar. Oksijenin saflığındaki örneğin % 99,97'den % 99,5'e bir azalma, lazer ışınlı yakarak kesme işleminde kesme hızında önemli oranda bir düşüşe neden olur. Oksijen ne kadar saf ise, kesme de o derece hızlı olur. Ancak oksijenin saflığı % 99,5'tan fazla olsa bile, kesme işlemi sırasında kesme bölgesindeki havadaki azotun veya nemin difüzyonu, uygun şartlarda olmayan hortumların veya armatürlerin kullanımı nedeniyle saflık düşebilmekte bu da kesme kalitesini düşürerek cüruf birikimine neden olmaktadır (Anık, S., Öğür, A., Vural, M. 1996).

1.4.4.2 Azot ve Argon

Lazerle eriterek veya buharlaştırarak kesmede, erimiş veya buharlaşmış malzemenin kesme yarığında uzaklaştırabilmesi için, soy veya düşük reaksiyon hızına sahip gazların kullanılması gerekir. Bu gazlar için en uygunları argon ve azottur. Bu gazlar, kesme yarığında yanma oluşumunu engellemekte ve kesme yüzeylerinin oksit içermemesini sağlamaktadır. Dolayısıyla lazerle yakarak kesmedeki gibi kesme yüzeylerinin sonradan işlenmesine gerek olmamaktadır (Anık, S., Öğür, A., Vural, M. 1996).

1.4.4.3 Basınçlı Hava

İnce sac malzemelerin kesiminde basınçlı hava kullanılabilir. Kesme yarığında ergimiş metali uzaklaştırabilmesi için hava basıncının 5-6 bar olması gerekir. Hava %80 oranında azot içerdiğinden hava ile kesme işlemi ergiterek kesme işlemidir. Basınçlı havanın kuru ve yağsız olması gerekir, bu işlem pek uygun bir sonuç vermez. Kesilecek olan sacın kalınlığı, hava basıncına ve lazer gücüne bağlıdır. 5 kW lazer gücü ve 6 bar basınçta, 2 mm sac çapaksız olarak kesilebilir. En iyi kesme sonucu alüminyumda elde edilmiştir (Anık, S., Öğür, A., Vural, M. 1996).

1.4.5 Kesme Gazı Türü ve Kalitesi

Yakarak kesmede oksijenin saflığı çok önemlidir. Yüksek saflıktaki oksijen ile teknik oksijene göre daha yüksek kesme hızları ve daha kaliteli kesim mümkün olmaktadır. Örneğin oksijen saflığının % 98,8 den % 99.97'ye çıkması kesme hızını % 20 - % 100 arttırmakla birlikte kesim kalitesi de artmaktadır.

Kesme noktasında reaktif gaz konsantrasyonunu azaltmak için gaz karışımlarıyla çalışılır. Bu işlem için reaktif gaza inert gaz karıştırılır. Eriyiğin süpürülmesini engelleyen reaksiyon ürünlerinin (örneğin yüksek sıcaklıklarda eriyen krom oksitleri) oluşmasını engellemek için inert gazların kullanılması zorunludur. Birçok çelik malzeme için ise daha ucuz olması bakımından azot kullanılabilir, nitrür oluşumu ile kırılgan yapıya kavuşan veya çatlaklar oluşan çelik türleri için ise Argon kullanılması tavsiye edilir (Anık, S., Öğür, A., Vural, M. 1996).

1.4.6 Kesme Gazı Basıncı

Donanımına ek olarak kullanılan kesme gazının basıncı da kesme kalitesini belirleyen bir parametredir. Lazerle yakarak kesme işleminde genel olarak 6 bar basınca sahip oksijen kullanılmaktadır. Ticari olarak mevcut odaklama mercekleri, daha yüksek basınçta oksijenin kullanımına izin vermemektedir. Saç kalınlığına ve oksijenin basıncına uygun meme kullanmak gerekir. Oksijen basıncının ve meme çapının optimizasyonu ile, kesme hızını yükseltmek mümkündür. Oksijen basıncının çok yüksek olması durumunda kesme yüzeylerinde oyuklaşma meydana gelmektedir ve ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) genişliği artmaktadır.

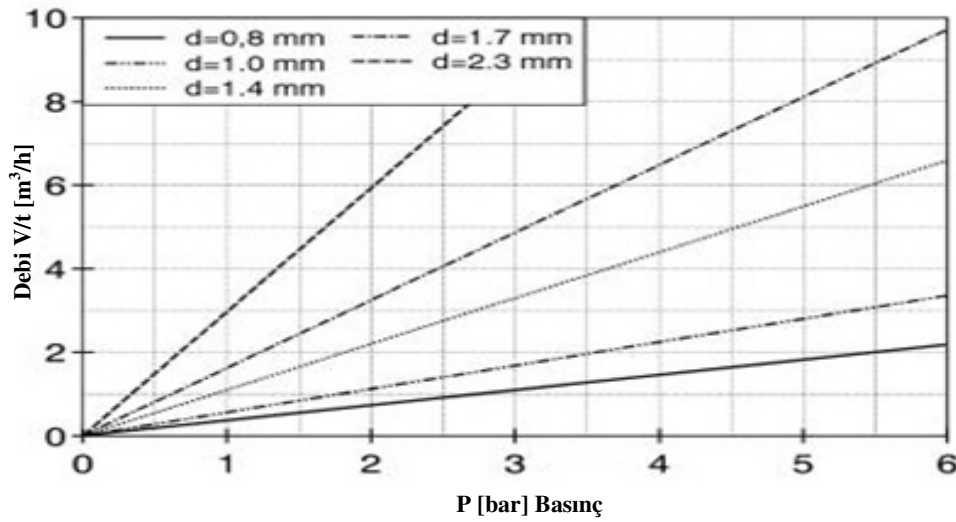
Ayarlanacak gaz basıncı malzemeye ve kesme türüne bağlıdır, inert gaz ile çelik kesildiğinde kural olarak basıncın yüksek olması gerekir. Artan malzeme kalınlığına rağmen aynı kesme kalitesinin elde edilebilmesi için daha yüksek gaz basınçları gerekmektedir.

Çelik kesiminde bazı kalınlıklardan itibaren sadece oksijen ile yakarak kesme ile kesim yapılabilir. Oksijen basıncı etkisiyle hız artışı sınırlıdır, artan gaz hızı ile izoterm reaksiyon engellenmekte ve düzgün kesim mümkün olmamaktadır. Oksijen basıncı malzemeye bağlı olarak seçilir. Örneğin alaşımsız ve düşük alaşımlı yapı

eliklerinde 1 bar ile kesim gerçekleştirilir. Buna karşın yüksek alaşımlı çeliklerde 10 bar ile kesim yapılır. Eğer eriyiğin kesme ağzından uzaklaştırılması için oksijene ilave olarak inert gaz kullanılırsa, bu gaz yüksek basınçta olmalıdır (Anık, S., ğr, A., Vural, M. 1996).

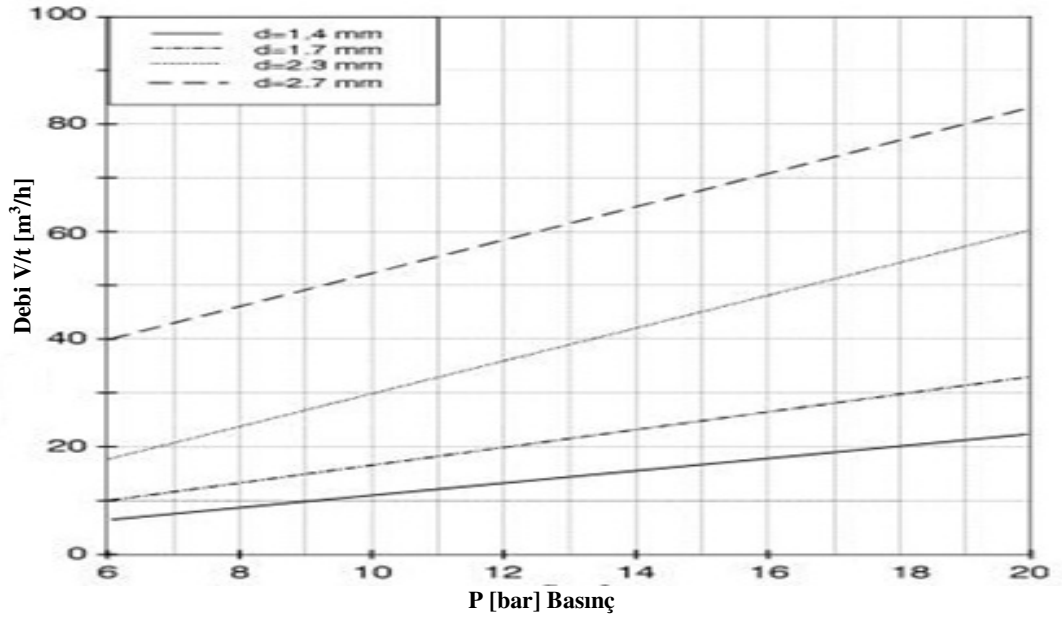
Ergiterek kesme ve yakarak kesmedeki gaz tknetimi; gaz basıncına ve nozul delik çapına bağlıdır (şekil 1.29) (Trumpf 2007).

Esasında; yüksek gaz basıncı ve büyük nozul delik çapında, kesme gazı tknetimi yüksek olur (Trumpf 2007).



şekil 1.29 6 bar'a kadar oksijenle kesimde kesme gazı tknetimi [d nozul çapı]

şekil 1.29 da 6 bar basına kadar oksijenli kesimde nozul çapına bağlı olarak gaz tknetiminin değişimi verilmiştir. Nozul delik çapının artmasıyla kesme gazı oksijenin tknetim miktarı artış göstermiştir. Örneğin; 2 bar basınçta $d=0,8$ mm de gaz tknetimi yaklaşık $1 \text{ m}^3/\text{h}$ değerinde iken, aynı basınçta $d=2,3$ mm çapındaki nozul de gaz tknetimi $6 \text{ m}^3/\text{h}$ değerindedir. Nozul delik çapına bağlı olarak burada gaz tknetimi yaklaşık 6 kat fazlalaşmıştır.

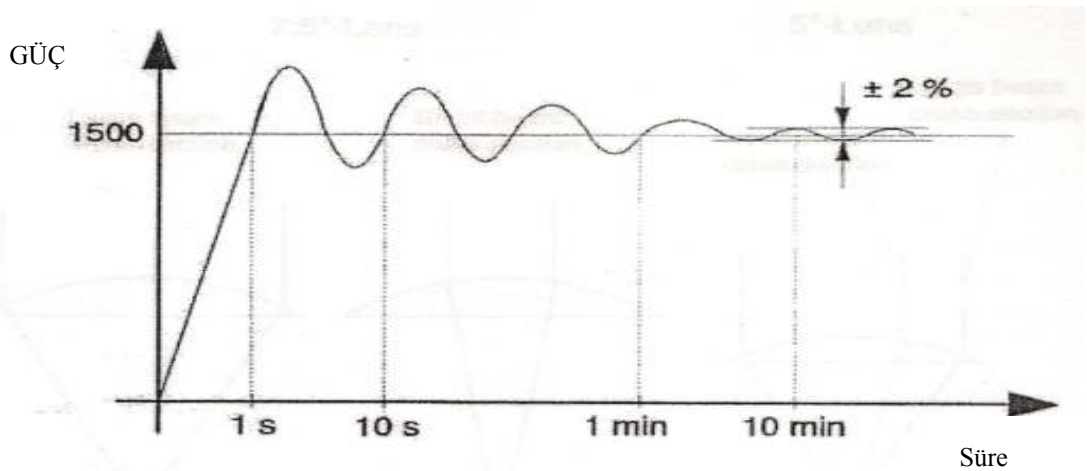


Şekil 1.30 20 bar'a kadar nitrojen kullanarak lazer kesimde gaz tüketimi [d nozul delik çapı]

1.5 Lazer Kesimini Etkileyen Değişkinler

1.5.1 Güç Sabitliği

Güç sabitliği makine çalışma süresince sabit güç sağlamasını ve uniform kesim kalitesinin elde edilmesini sağlar. Lazer oluşumuna başlandıktan sonra sabit bir çıkış gücü elde edebilmek için 5-10 dakikaya ihtiyaç vardır. Bu olaya geçici güç değişmezliği denir, sıcaklıktan ve gaz basıncından bağımsızdır (Şekil 1.31).



Şekil 1.31 Lazer güç değişimi

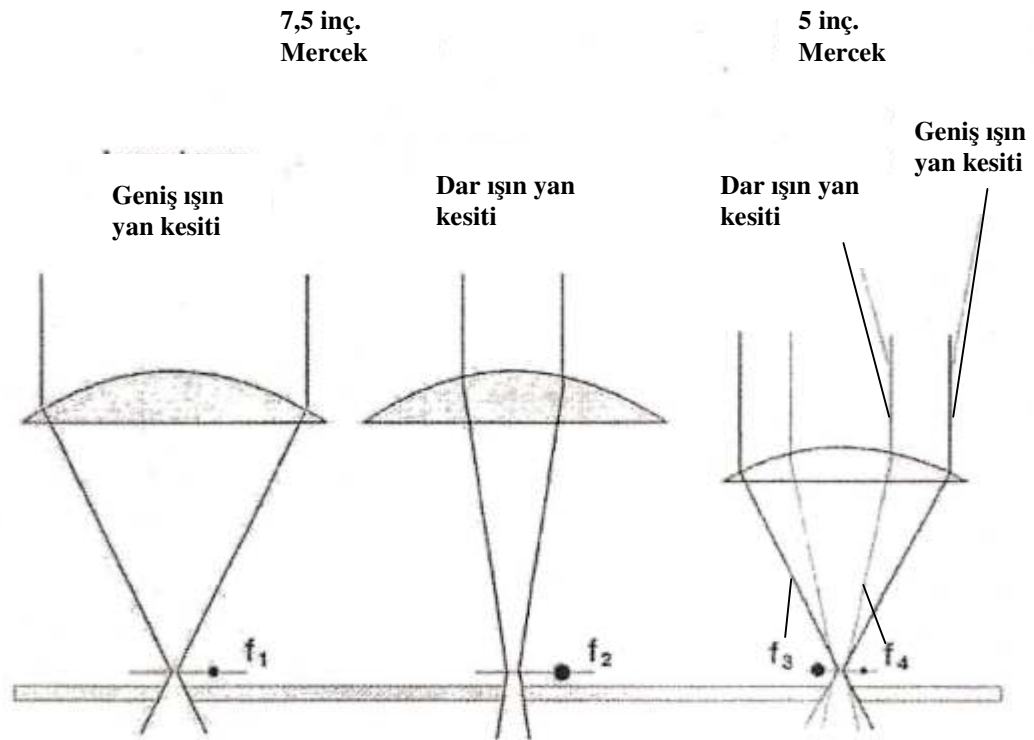
Kesim boyunca lazer güç düşümü olmamasına "güç sabitliği" denir. Lazer gücü düzenli olarak belirli aralıklarla kontrol edilmelidir. Güçteki düşüş şu nedenlerle olabilir.

- Jeneratör pabuçlarındaki yıpranma
- Dış ve iç optik sistemlerin kirlenmesi
- Soğutma suyu niteliği

1.5.2 Işın Profili

Lazer ışınının büyük ve küçük odaklanmalarında birbirine yakın kesme boşluklarına ulaşılabilir (Şekil 1.32). Elde edilebilir odak çapı lensin odaklama mesafesine bağlıdır.

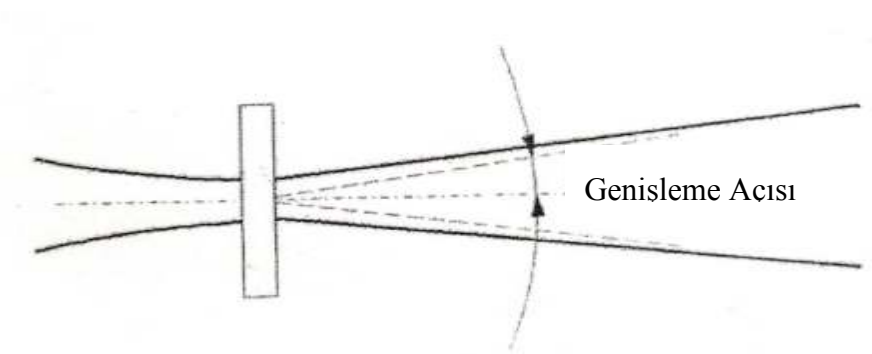
Lazer ışını için; 2,5 inç. mercekte odaklama çapı $< 0,12$ mm ve 5 inç. mercekte odaklama çapı $< 0,2$ mm ye müsaade edilebilir.



Şekil 1.32 Odak çapı ve merceğin fonksiyonu olarak odaklanma çapları

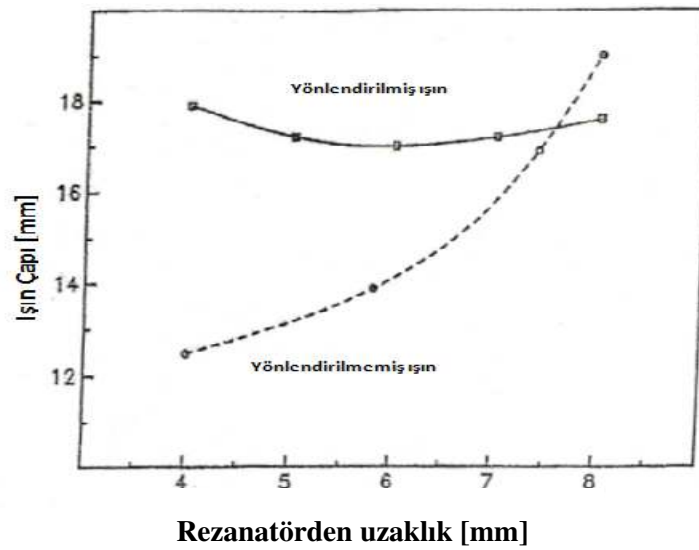
1.5.3 Uzaklaşma Açısı

Lazer üreticisi bir birine paralel demetlerden oluşan bir ışık üreticisidir ancak bu yinede kesin bir paralellik değildir bu yüzden lazer ışını normal ışık üreticilerine oranla çok küçük olsa da genişler (Şekil 1.33). Lazer ışığının genişlemesi mili radyan olarak ölçülür. 1 mm 'lik genişleme (kırılma) bir metre uzunluğundaki ışında 1 mm 'lik genişlemeye neden olur.



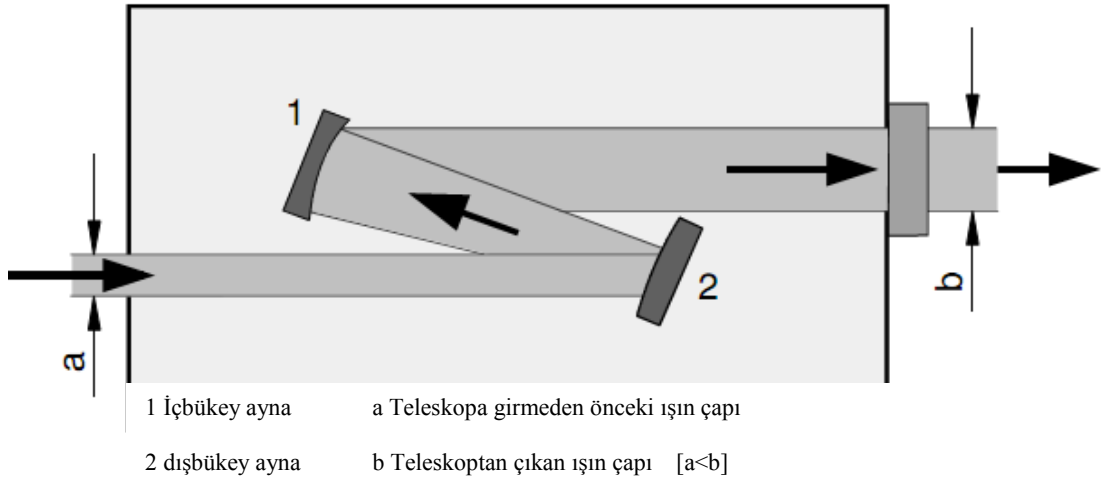
Şekil 1.33 Uzaklaşma açısı

Işığın kırılma açısı sabit bir ışın çapı ve sabit ışın özellikleri sağlayabilmek için mümkün olduğu kadar küçük tutulmalıdır.



Şekil 1.33 Rezanatör çıkış mesafesi ile ışın çapı ilişkisi

Rezanatör den çıkan yönlendirilmemiş lazer ışını rezanatör den uzaklaştıkça genişler (Şekil 1.33). Rezanatörde oluşturulan lazer ışını aynalar yardımıyla ve/veya mercekler yardımıyla yönlendirilebilir, bu yönlendirme sırasında lazer ışın çapı aynalar ve/veya mercekler yardımı ile değiştirilerek belli değerler arasında tutulabilir (şekil 1.34).



Şekil 1.34 ışın teleskopu içerisinde ışığın genişlemesinin şematik gösterimi

1.5.4 Gaz Türü

Malzemenin doğasına ve istenilen kesim sonucuna uygun olarak doğru gaz seçimi yapılır.

Kesim kalitesi teriminden bahsedebilmek için metal malzemenin lazerle yakarak kesiminde kullanılan gazın niteliği kesinlikle çok önemlidir. Aksi halde bozuk kesim yüzeyleriyle karşılaşılır.

Kesme gazlarının saflığını etkileyen nedenler gaz silindirlerinin değiştirilmesi ya da kirlenmiş silindirlerin sonucudur. Kesim yüzeylerinin bozuk olmaması için %99.95 saflıktaki oksijen kullanımı gereklidir. Paslanmaz çeliğin yüksek basınçlı kesimde kullanılan azotun niteliği de çok kritiktir. Burada da % 99.95'lik saflık gereklidir.

1.5.5 Gaz Basıncı

Gaz basıncı malzeme kalınlığına göre ayarlanır. Oksijenle kesimde gaz basıncı azotlu kesime göre daha kritiktir.

Lazerle yakarak kesimde ince metalik iş parçaları, kalın olanlarına göre daha yüksek basınçla kesilirler. Artan gaz tüketimi oksijendeki düşüşü karşılamak için gereklidir ve sonuç olarak daha yüksek kesme hızları elde edilir.

Diğer taraftan yüksek basınçlı kesimde, yüksek gaz basıncı, kalın malzemelerde, kesme boşluğu dışındaki yapışkan cüruf tabakasının daha kolay dışarı atılmasını sağlar.

Temel kural olarak oksijenli kesimde gaz basıncı azaldıkça malzeme kalınlığı artarken, azotlu kesimde (oksijenle paslanmaz çelik kesimi hariç) ise tam tersi şeklindedir.

1.5.6 Fokuslama Noktası (Odaklama Noktası)

İyi bir kesim kalitesi elde etmenin ön şartlarından biride doğru odaklama noktası tayin edebilmektir.

Odaklama noktası şu şekilde olmalıdır;

Siyah saçın yakarak kesiminde;

- 6 mm ye kadar olan saç kalınlıklarında uygun odaklama noktası sac yüzeyde olmalı,
- 8 mm ve üzerindeki saç kalınlıklarında odaklama noktası sac yüzeyinin üzerinde olmalı,

Yüksek basınçlı kesimde;

- Odaklama noktası sacın içersinde hareket ettirilmeli
- Genel düşünce, odaklama noktasının sac kalınlığına göre değiştirilmesi, odaklama noktasının malzeme yüzeyinde ya da malzeme içersinde olması.

1.5.7 İş Parçası Yüzeyi

Saf alüminyum gibi parlak yüzeye sahip malzemeler büyük yansıtma potansiyeline sahiptir ve bu nedenle kötü kesim sonuçları verirler. Yüzeyin boyalı olması, cilalı olması ya da plastik malzeme ile kaplı olması ters yönde etki yapar. Kaba ve sönük yüzeyler yüksek kesim hızlarına müsaade ederler. Yüksek lazer gücüyle yapılan kesimlerde yüzeyin yağ filmiyle kaplı olması olumlu yönde katkı yapar ve bunun sonucu olarak kesme yüzeyindeki cüruf tabakası miktarı azalır.

Yüzeyin pas tabakasıyla kaplı olması yüzeyde yanmalara neden olur ve gaz tüketimi artar bu suretle enerji tüketimi de artmış olur.

Aşağıdaki yüzey özelliklerine sahip saçları kesmek daha kolaydır.

- Soğuk haddelenmiş
- Yüzey yansıtıcılığının azaltılması (örneğin; rengi ağartılmış, yüzeyi plastik kaplanmış vb.)
- Kumlanmış

3 mm kalınlığa kadar kalınlıktaki ve yüzeyi plastik malzeme kaplı yüksek basınçla kesilen paslanmaz saç kesimlerinde, kaplı kısmın yukarı gelmesi şartıyla kesim yapılabilir.

Galvaniz kaplı 4 mm kalınlığa kadar saçlarda oksijen ya da azot kullanılarak zorda olsa kesim yapılabilir.

Elkto-galvanizli ya da sıcak galvanizli saçlarda zorluk çıkmaksızın kesim yapılır.

1.5.8 Bükme Aynaları

Kirli aynalar kesim uzunluğuna bakılmaksızın zayıf kesim kalitesine neden olurlar.

Etkileri:

- Yanma
- Pürüzlülüğün artması
- Siyah saç kesiminde kraterli yüzey oluşma ihtimali

1.5.9 Odaklama merceği

Kirli mercek, ısı absorbesini artırır deformasyon oluşur ve odaklama noktasını yukarı kaydırır.

Etkileri;

- Kesim çapaklı başlar bununla birlikte kesim uzunluğu boyunca oluşan çapak miktarı fazlalaşır
- Kesme yarığı ve pürüzlülük artar
- Siyah saç kesiminde krater oluşma riski artar
- Ekstrem bir sonuç olarak; kesimde süreksizlik

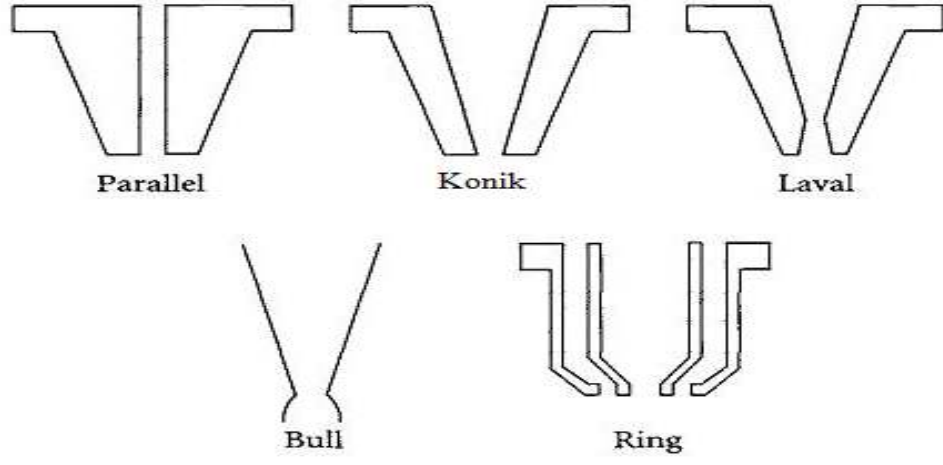
1.5.10 Nozül Ayarı

Lens tarafından odaklanan lazer ışını tam olarak nozül merkezine denk gelmelidir.

Lazer ışını 0,05 mm' den daha fazla kaçık olamaz. Kaçık merkezli ışın, yakarak kesiminde siyah sacın kesiminde yüzeyde kıvılcımlanma oluşturur.

1.5.11 Nozul Ağzı

Lazer kesimde farklı nozul çaplarından yararlanılır. Saç yüzeyi ile nozul arasındaki mesafede değişkendir. Doğru nozul seçimi kaliteli kesim için çok önemlidir. Yüksek basınçlı kesimde daha büyük çaplı lüle seçilmelidir. Çarpma sonucu nozul ağzının ovallik alması gibi durumlarda hatalı kesim sonuçlarına neden olur. Şekil 1.35'te değişik nozul çeşitleri verilmiştir.



Şekil 1.35 Nozul Çeşitleri

BÖLÜM İKİ

MALZEME BİLGİSİ

Numunelerin irdelenmesinden önce; lazer kesim ısı (termik) kesme yöntemi olduğundan malzemeye etkisinin iyi anlaşılması için malzeme içyapısının (kristal yapı, tane boyutları) ve faz değişiminin bilinmesi yararlı olur.

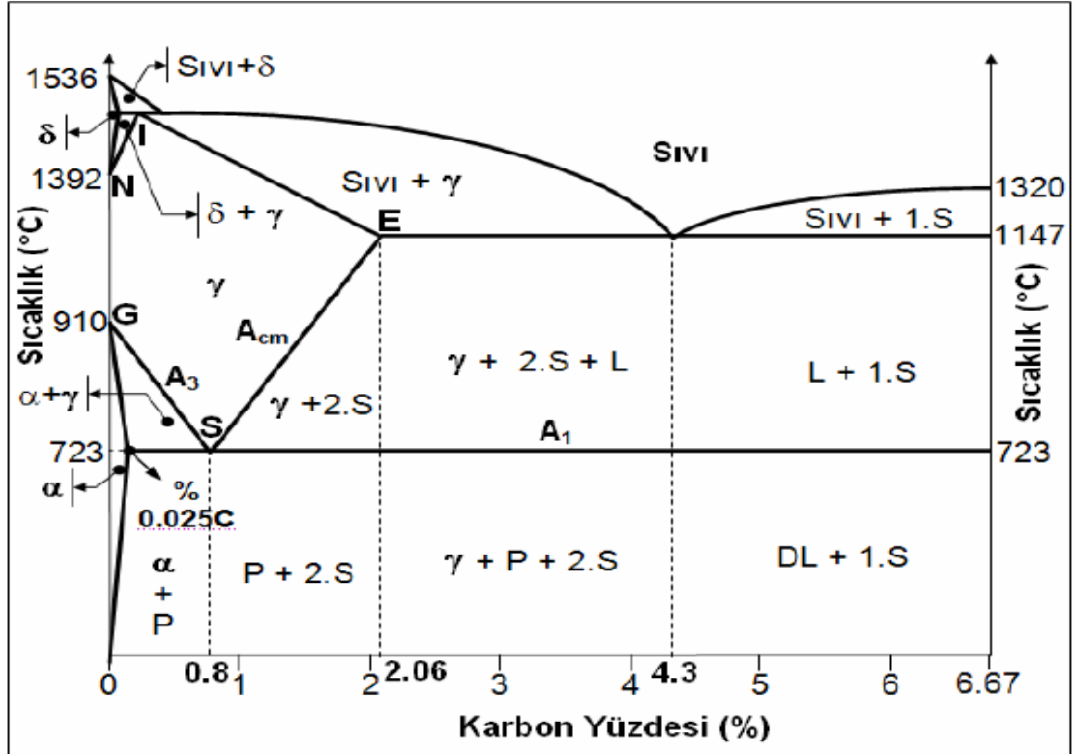
Kristal yapı; atomların düzenlerin uzaydaki halleridir. Malzeme bir veya birçok kristalden oluşur. Her bir kristalde atomlar veya iyonlar uzun periyodik düzen sergilerler. Metaller, yarı iletkenler, seramikler ve polimerler oldukça düzgün atomik düzenlere sahiptirler. Kristal yapı mekanik özellikleri etkiler. Diğer seramikler ve polimerler düzgün atomik düzene sahip değildirler. Bunlar amorf veya camı malzemeler olarak adlandırılırlar.

Tane; Tane aynı özellikte kristal yapıya sahip bölgeye denir. Tane yapısı metaller, seramikler, yarı iletkenler ve zaman zamanda polimerlerde görülürler. Tanenin yapısı şekli malzemelerin birçok fiziksel ve mekanik özelliklerinde etkilidirler.

Tane sınırı; taneler arası bölgedir.

Faz; uniform fiziksel ve kimyasal özellikler gösteren bir sistemin homojen bir parçasıdır. Uygun sıcaklıklarda, gaz ve sıvı çözeltilerinde olduğu gibi, katı cisimler de homojen bir eriyik olan çözelti haline dönüşebilirler. Katı eriyikler sıcaklık ve içeriklerine göre değişik fazlarda bulunabilirler. Çoğu malzeme birden fazla faz içerir. Her faz kendine özgü atomik düzene ve özelliklere sahiptir. Bu fazların boyutlarının dağılımlarının kontrolü ile temel malzemenin özellikleri (mukavemet, sertlik, korozyon gibi) değişebilir. (Ün, H. 2007).

St-44 yapı çeliğindeki ısı etkilerinin içyapıdaki değişimlerinin iyi anlaşılabilmesi için, demir-karbon denge diyagramındaki fazların özelliklerinin ve faz değişimlerinin nasıl oluştuğunun bilinmesi gerekir (Şekil 2.1).



1.S: Birincil sementit

L: Ledeburit

1.S: ikincil Sementit

DL: Dönüştürmüş Ledeburit

[GS]: A_3 Sıcaklığı

P: Perlit

[SE]: A_{cm} Sıcaklığı

723°C: A_1 Sıcaklığı

A_1 : ısıtırken ostenitin oluşmaya başladığı sıcaklık

A_3 : ötektoit altı çeliklerde, ısıtırken ferritin ostenite dönüşümün tamamlandığı sıcaklık

A_{cm} : ötektoit üstü çeliklerde, ısıtırken sementitin ostenite dönüşümün tamamlandığı sıcaklık

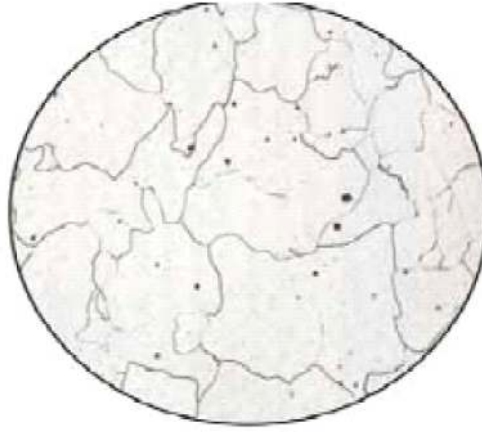
Şekil 2.1 Demir-karbon denge diyagramı

Denge diyagramları aslında alaşım bünyesinde oluşan oldukça karmaşık olayları açıklamaya yarar. Sıvı halden soğuyup katılaşmaya kadar geçen süre içinde alaşımın bünyesinde önemli değişiklikler olur. Polimorfik veya allotropik reaksiyonlar şeklinde gelişen bu değişiklikleri faz diyagramları üzerindeki eğriler yardımıyla izlemek mümkün olabilir.

Katı cisim içinde meydana gelen bu reaksiyonlarda kristal yapıda değişimler olduğundan, cismin hacmi ve yoğunluğu da değişir.

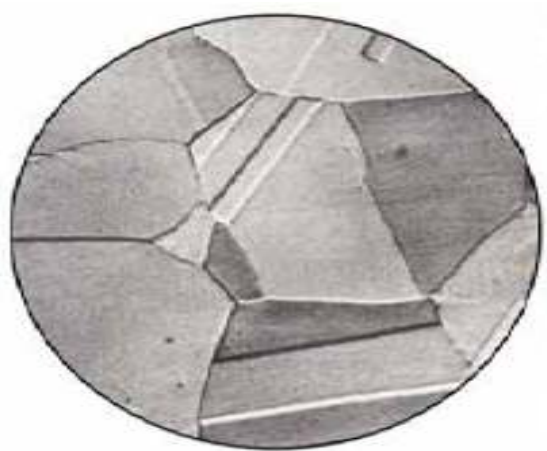
Ferrit: Karbonun α demiri içinde erimesi sonucu oluşan katı eriyiğe ferrit (Şekil 2.2) adı verilir. Karbon bu eriyik içinde en fazla 723 °C'de (A_1 sıcaklığı) %

0.025 kadar eriyebilir. Sıcaklık derecesinin düşmesine bağlı olarak bu oranda azalır. Oda sıcaklığında ise bu oran % 0.005'tir. Ferritin çözemediği karbon kristalin dışına atılır ve sementit oluşur. Ferritten ayrılan sementite tersiyer sementit denilir (Ün, H., 2007).



Şekil 2.2 Ferritin mikroskop altındaki yapısı

Ostenit: Karbonun γ demiri içinde erimesi sonucu ostenit (Şekil 2.3) oluşur. Karbon bu eriyik içinde ötektik sıcaklık olan 1147 °C'de en fazla % 2.06 oranında eriyebilir. Çeliğin sıcak şekillendirme ve ısıtım işlemlerin pek çoğu ostenit fazında yapılır. Ostenit fazından, soğuma hızına bağlı olarak çok değişik mikroyapılar meydana gelir. Kristalin dışına atılan karbon sementit oluşturur. Ostenitten oluşan bu sementite, 2. sementit (sekonder sementit) denilir.



Şekil 2.3 Ostenitin mikroskop altındaki yapısı

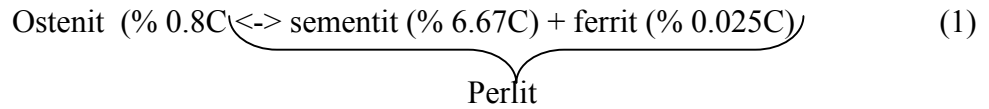
δ demiri: Özel bir adı ve teknik bir önemi yoktur; en çok 1493°C de % 0.08 karbon eritebilir.

Diyagramdan görülebileceği gibi (Şekil 2.1), “NIE” eğrisinin üst kısmında alaşım sıvı haldedir.

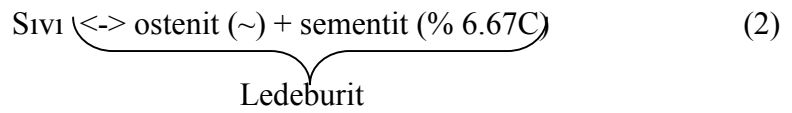
En düşük derecesi 1147°C olan bu eğriye ulaşan değerlerde alaşım katılaşmaya başlamaktadır. Soğumanın devamı halinde allotropik değişimler baş gösterir.

Katılaşmanın başlama eğrisinin 723 °C ve % 0.83 C oranı için “S” ile gösterilen en düşük ordinatına ötektoid noktası adı verilir. Ötektoid en az iki fazın belirli bir sıcaklıkta katı cisim içinde, mekanik olarak gayet homojen bir şekilde karışabildiği sınır noktası olmaktadır. Örneğin, bu noktada ferrit ve sementitin karışmasıyla elde edilen bileşime inci görünümünden perlit (pearlite) adı verilir.

Perlit: A1 sıcaklığındaki karbon çözünürlük sınırı % 0.025, oda sıcaklığında % 0.005’dir. Karbon oranları bu değeri aştığında perlit adı verilen bileşen oluşur. Perlit, çeliğin ötektoid sıcaklığından (723°C) soğutulması sonucu aşağıdaki reaksiyona göre oluşur.



Ledeburit: Demir karbon denge diyagramındaki ötektik alaşıma (1147°C, % 4,3 C) ledeburit denilir. Sıvıdan ayrılan sementite 1. Sementit (primer sementit) denilir. Ledeburit, ostenit ve 1.sementitten meydana gelir. Ötektik ayrışma aşağıdaki reaksiyondaki gibi sıvıdan iki ayrı katının oluşması şeklinde gelişir. (Ün, H. 2007).



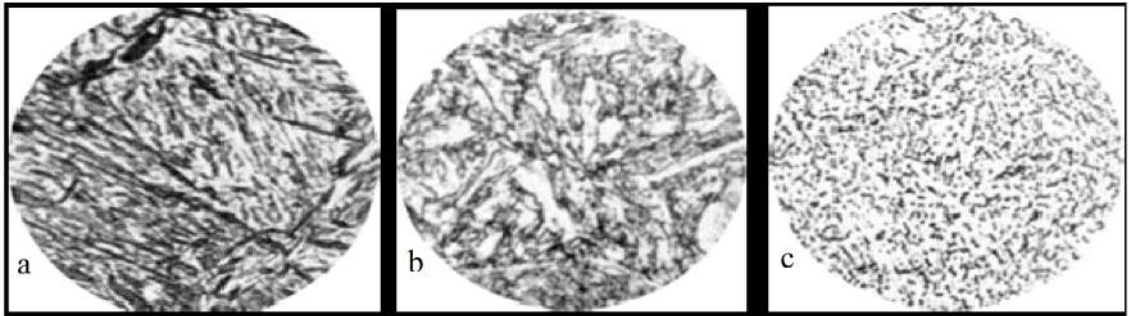
Ledeburit içindeki ostenitin karbon oranı, sıcaklık düştükçe azalır (“ES” eğrisi boyunca, Şekil 2.1). Ostenitin içinde ötektoid oran olan % 0,8C kalınca, perlit olarak dönüşür.

- Bundan dolayı 723°C’nin altındaki ledeburite dönüşmüş ledeburit denilir.

- Karbon oranı % 0,2 den az olan Fe–Fe₃C alaşımlarına yumuşak demir adı verilir.
- Karbon oranı % 0,2 - % 1,7 arasında olan Fe–Fe₃C alaşımlarına çelik denir.
- Karbon oranı % 1,7’den büyük olanlarına ise dökme demir (Font) denilir.

Demir–karbon denge diyagramı (Şekil 2.1) çok yavaş soğutma ile elde edilir. Soğuma hızının artması ile mikro yapılar ve denge diyagramı değişir ve farklı faz dönüşümleri ve mikro yapılar meydana gelir.

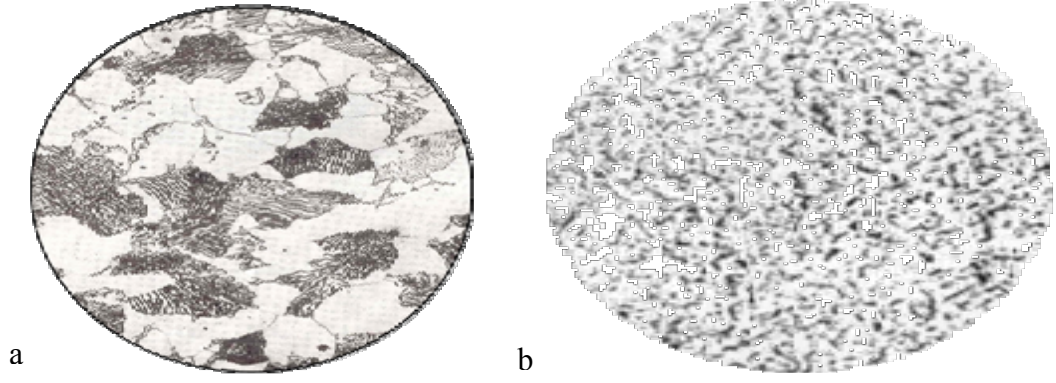
Isıl işlem neticesinde çeliğin çelik yapısında hızlı soğuma nedeniyle martenzit (Şekil 2.4), beynit (ostenitin martensit ile perlit oluşum bölgeleri arasındaki bir sıcaklık aralığında ayrışmasından meydana gelen bir fazdır. Beynit yapısı ferrit içerisinde ince bir biçimde dağılmış karbürden ibarettir) temperlenmiş martenzit mikro yapıları oluşur. Bu mikro yapılar çeliklerin dayanımının artmasına neden olur. (Ün, H. 2007).



Şekil 2.4 Martenzit (a), temperlenmiş martenzit (b), yüksek temperlenmiş martenzit(c)

Martenzit: yani çözelti halinde bulunmayan karbon içeren α demiri. Martenzit homojen bir kütledir ve ostenite kıyasla çok daha serttir.

Aynı bileşimdeki alaşım daha yavaş soğutulacak olursa, süreye bağlı olarak ferrit ve perlit kısmen veya tamamen oluşur (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Ferrit+perlit (a), Temperlenmiş martenzit (b)

BÖLÜM ÜÇ

DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışmada kesimi yapılan malzeme 5mm kalınlıktaki St-44 yapı çeliğidir.

Kesme işlemi TRUMPF CO₂ marka lazer kesim makinesi ile oksijenle kesim yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

3.1 Lazerle Kesim Ekipmanları

Kesim için kullanılan TRUMPF marka lazer kesim makinesinin 5 mm kalınlıktaki st-44 yapı çeliği için standartlaştırdığı değerler;

- Nozzle çapı: 1,2 mm;
- Makinenin gücü: 2000 Watt;
- Kesme gazı basıncı: 2 bar
- Maksimum kesme hızı: 2,7 m/dak

dır.

Deneysel çalışmada kesimde kullanılan cihazın st-44 5 mm kalınlıktaki sac için verdiği standart değerler değiştirilerek (kesme gazı basıncı, kesme hızı, odak noktası) 4 farklı grupta numuneler elde edilmiştir.

Bunlar;

1. **A grubu numuneler;** Lazer ışını odak noktası ve kesme gazı basıncı kesme makinesi üzerinde sabit tutulup, kesme hızı kademeli olarak arttırılmasıyla yapılan kesim.
2. **B grubu numuneler;** Kesme hızı ve kesme gazı basıncı sabit tutulmuş, lazer odak noktası malzeme içine doğru hareket ettirilmesi ile yapılan kesim.
3. **C grubu numuneler;** Kesme hızı ve kesme gazı basıncı sabit tutulmuş, lazer ışının odak noktası malzeme yüzeyinden uzaklaştırılması ile yapılan kesim.
4. **D grubu numuneler;** Kesme hızı ve lazer ışının odak noktası sabit tutulmuş, kesme gazı basıncı değiştirilmesi ile yapılan kesim.

3.2 Numuneler

3.2.1 A Grubu Numuneler

A gurubundaki numunelerde; lazer ışını odak noktası ve kesme gazı basıncı kesme makinesi üzerinde sabit tutulup, kesme hızı kademeli olarak arttırılmıştır.

Tablo.3.1 A Grubu; Kesme hızının kademeli artışı

	Lazer Odak Konumu	Kesme Hızı 2,7 m/dak	Kesme Gaz Basıncı 2 bar
A ₁	(+) 1 mm	%60	%90
A ₂	(+) 1 mm	%70	%90
A ₃	(+) 1 mm	%80	%90
A ₄	(+) 1 mm	%90	%90



A1. Numune



A2. Numune

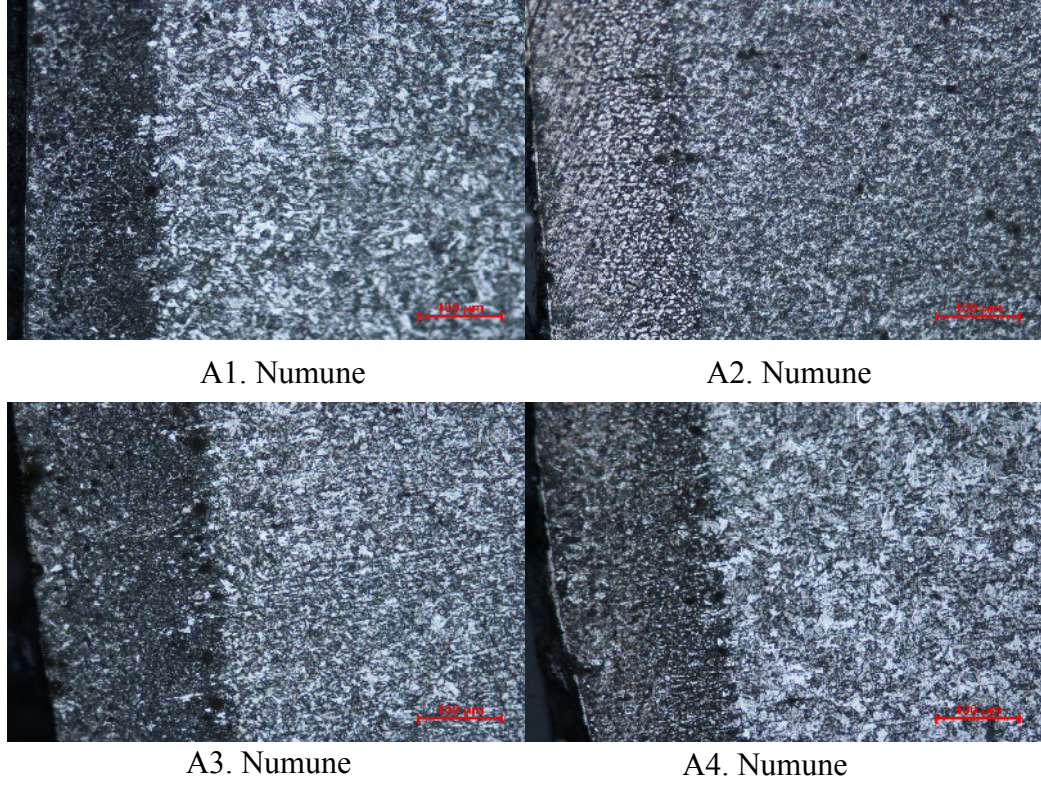


A3. Numune



A4. Numune

Şekil 3.1 A grubu numuneler; kesme basıncı ve lazer ışını odak noktası sabit, hız kademeli olarak arttırılmış numunelerin kesim yüzeyleri



Şekil 3.2 A grubu numuneler; kesme basıncı ve lazer ışını odak noktası sabit, hız kademeli olarak arttırılmış numunelerin içyapıları

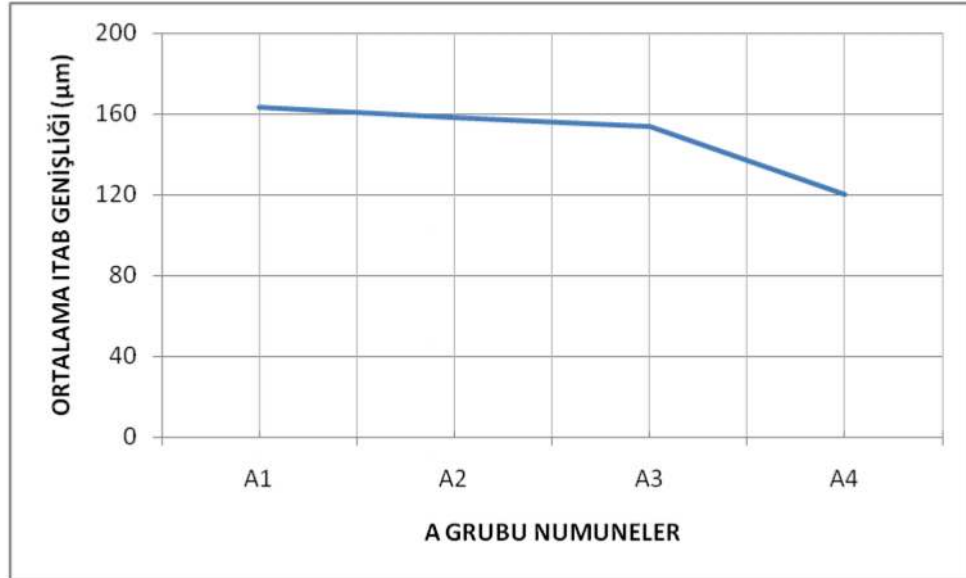
Kesme gazı basıncı ve lazer ışın odak noktasının sabit tutularak, kesme hızının arttırdığımızda Şekil 3.1 da görülmektedir ki kesim yüzeyi kalitesi kesme hızının arttırılmasıyla kötüleşmektedir. Kesim hızının uygun seçilmesiyle kesim yüzeyinin düzgün elde edilmesi sağlanabilir.

Şekil 3.2 incelendiğinde lazer kesimle elde edilen numunelerin içyapılarındaki değişim gözlenmektedir. Kesim yüzeyine yakın bölgelerdeki ısı etkisi nedeniyle bu bölgenin tane yapısındaki küçülme ve faz değişimi nedeniyle bu bölgenin yani ITAB'nin sertliği ısı tesiri altında kalmamış malzemenin sertliğinden yüksek değerlere çıkmıştır. Ferrit+perlit fazındaki malzemenin kesim bölgesine yakın bölgelerdeki ısı etkisi sonucu ve kesme gazı ile hızlı soğumanın sonucunda martenzit yapı oluşur. Şekil 3.2 den görülmektedir ki ITAB (ısı tesiri altındaki bölge) sertliği malzemenin sertliğinden (ısı tesiri altında kalmamış bölgeler) daha yüksektir, ancak ITAB genişliği (Tablo.3.2) incelendiğinde dar bir bölge olması nedeniyle malzemenin genel özellikleri olumsuz olarak etkilenmez. Kesme hızı değişimi sertlik değerlerini fazla etkilememektedir. Kesim hızının değiştirilmesiyle kesim yüzeyine

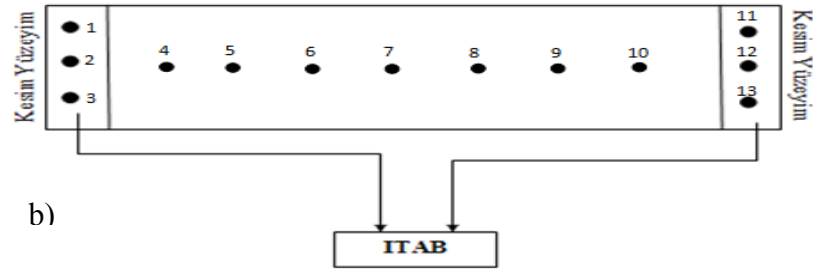
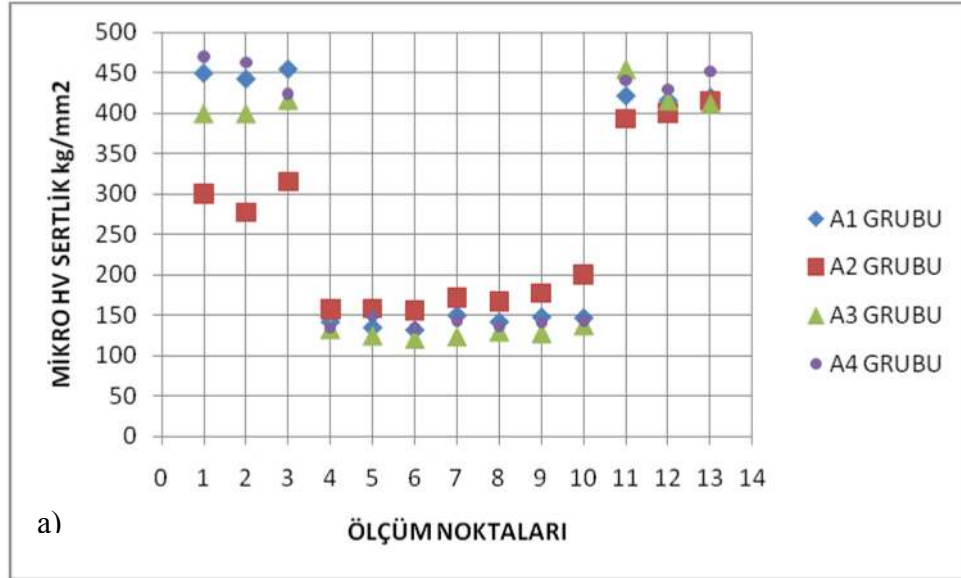
komşu bölgelerdeki ısının etkisi değişmektedir, Tablo 3.2 ve Şekil 3.3 incelendiğinde kesim hızının artmasıyla ITAB genişliği düşüş göstermiştir.

Tablo 3.2 A grubu numune ITAB genişliği

A grubu Numuneler	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
Ortalama ITAB Genişliği (µm)	163	158	154	120



Şekil 3.3 A grubu numuneler; kesme basıncı ve lazer ışını odak noktası sabit, hız kademeli olarak arttırılmış numunelerin hız artışına bağlı olarak ITAB değişimi



Şekil 3.4 Mikro Hv Sertlik (a), Ölçüm Noktaları (b), [parça ölçüleri 20x5 mm]

Şekil 3.4 (a) lazer kesimde hızların değişimi ile elde edilen numunelerin kesim yüzeyine komşu bölgelerdeki ısı tesiri altında kalan bölgelerin (ITAB) ve malzemenin ısı tesiri altında kalmamış bölgelerindeki mikro Hv sertlik ölçümlerinin değişimini göstermektedir. ITAB ta martenzit fazına dönüşüm nedeniyle bu bölgeden alınan değerler ısı etkisi altında kalmamış bölgeden – ferrit+perlit fazındaki – alınan değerlere oranla yüksektir. Şekil 3.4 (b) numune üzerinde mikro sertliğin ölçüm noktalarının kabaca hangi bölgelerden alındığını (ısı tesiri altında kalan bölge ve ısı tesiri altında kalmayan bölge) göstermektedir.

3.2.2 B Grubu Numuneler

B gurubundaki numunelerde; kesme hızı ve kesme gazı basıncı sabit tutulmuş, lazer odak noktası malzeme içine doğru hareket ettirilmiştir.

Tablo 3.3 B grubu; Lazer odak noktasının değişimi

	Lazer Odak Konumu	Kesme Hızı 2,7 m/dak	Kesme Gaz Basıncı 2 bar
B₁	0 mm	%60	%90
B₂	(-) 1 mm	%60	%90
B₃	(-) 2 mm	%60	%90
B₄	(-) 3 mm	%60	%90



B1. Numune

B2. Numune

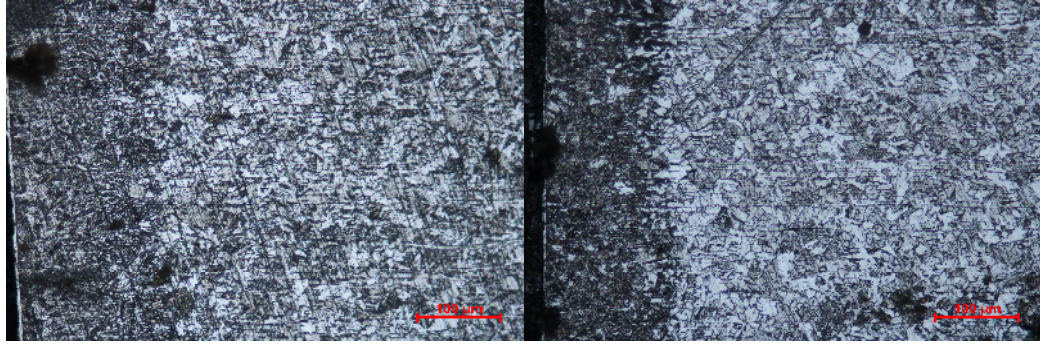


B3. Numune

B4. Numune

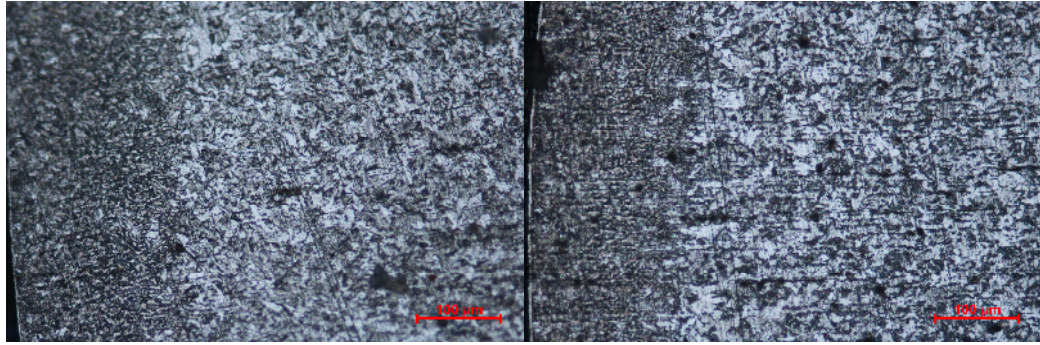
Şekil 3.5 B grubu; kesme hızı ve kesme basıncı sabit tutulmuş, odak noktası konumunun değişimindeki numunelerin kesim yüzeyleri

Kesme hızının ve kesme gaz basıncının sabit tutulup, odak noktasının konumunun değiştirilmesinde (malzeme yüzeyinden içeri doğru hareket ettirildiği) Şekil 3.5 da görülmektedir lazer ışının odak noktasının konumu kesim yüzey kalitesini etkilediği görülmektedir.



B1. Numune

B2. Numune



B3. Numune

B4. Numune

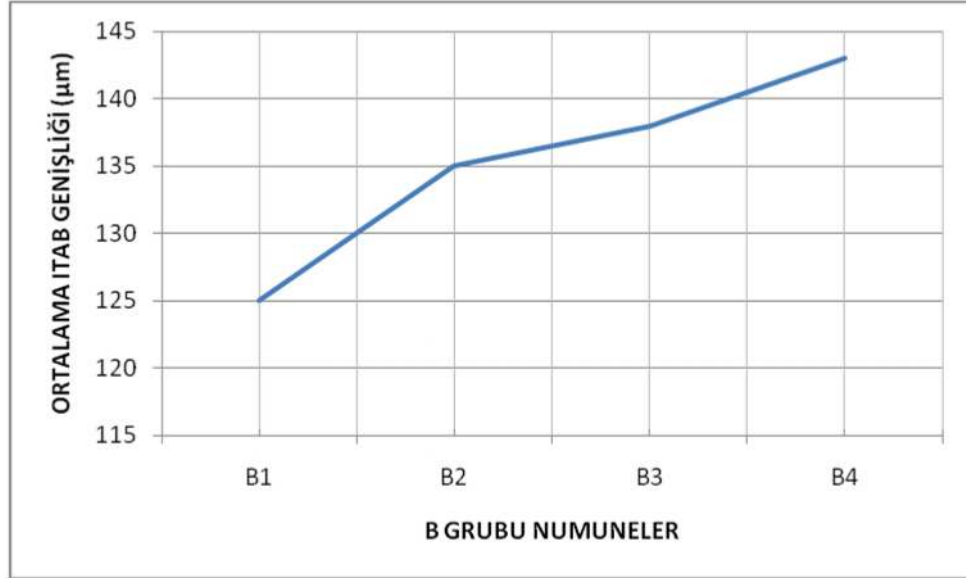
Şekil 3.6 B grubu; kesme hızı ve kesme basıncı sabit tutulmuş, odak noktası konumunun değişimindeki numunelerin içyapıları

Şekil 3.6 de kesimi yapılmış numunelerin içyapıları görülmektedir. Lazer kesimin termik bir kesim olmasından dolayı ısı tesiri altında kalan bölgelerdeki tane yapıları ısı tesiri altında kalmamış bölgelerin tane yapılarından farklıdır. Malzeme tane yapısının boyutları malzemenin mekanik özelliklerini etkilemektedir. Tane yapısının küçülmesiyle bu bölgede sertlik artışı olmuştur, Şekil 3.5 lazer ışığının odak noktasının değiştirilmesinin sertlik üzerinde etkisi olmamıştır, ancak lazer ışının odak konumunun değiştirilmesi kesime yarığına komşu bölgelerdeki ısı etkisinin

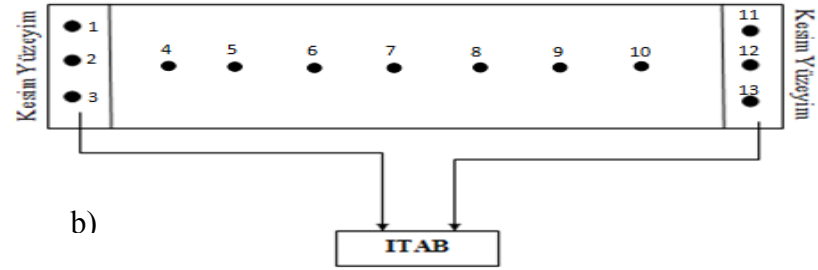
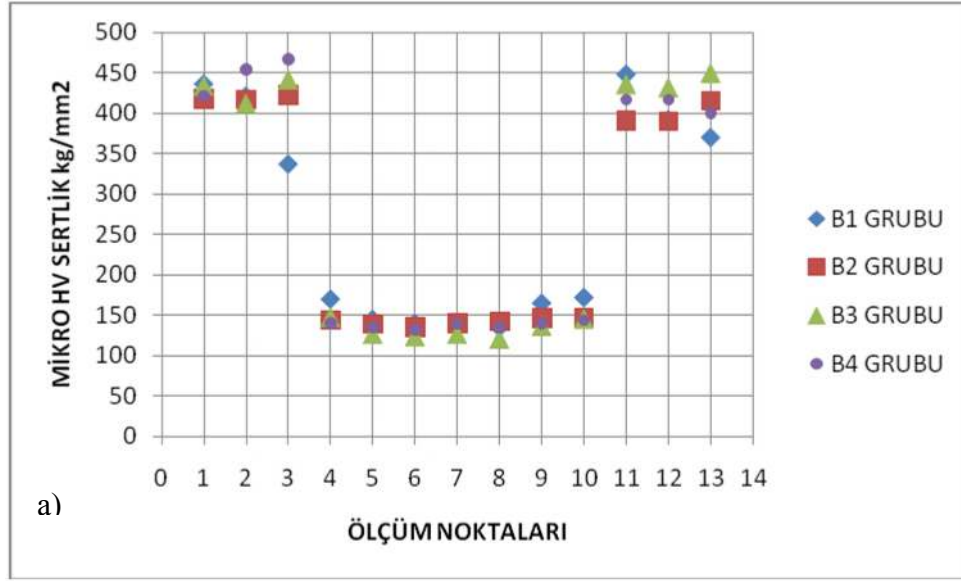
artmasına ve bu da ITAB genişliğinin artmasına neden olmaktadır, Tablo 3.4 ve şekil 3.7.

Tablo 3.4 B grubu numune ITAB genişliği

B grubu Numuneler	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄
Ortalama ITAB Genişliği (μm)	125	135	138	143



Şekil 3.7 B grubu numuneler; kesme basıncı ve lazer ışını odak noktası sabit, hız kademeli olarak arttırılmış numunelerin hız artışına bağlı olarak ITAB değişimi



Şekil 3.8 B grubu numune sertlik değerleri (a), ölçüm noktaları (b) (malzeme boyutları 20x5 mm)

Şekil 3.8 (a) lazer kesimde odak konumunun değişimi ile elde edilen numunelerin kesim yüzeyine komşu bölgelerdeki ısı tesiri altında kalan bölgelerin (ITAB) ve malzemenin ısı tesiri altında kalmamış bölgelerindeki mikro Hv sertlik ölçümlerinin değişimi görülmektedir. Şekil 3.8 (b) numune üzerinde mikro sertliğin ölçüm noktalarının kabaca hangi bölgelerden alındığını (ısı tesiri altında kalan bölge ve ısı tesiri altında kalmayan bölge) görülmektedir.

3.2.3 C Grubu Numuneler

C grubu numunelerde; kesme hızı ve kesme gazı basıncı sabit tutulmuş, lazer ışının odak noktası malzeme yüzeyinden uzaklaştırılmıştır.

Tablo 3.5 C Grubu; lazer odak noktası mesafesinin arttırılması

	Lazer Odak Konumu	Kesme Hızı 2,7 m/dak	Kesme Gaz Basıncı 2 bar
C ₁	(-) 1 mm	%80	%80
C ₂	0 mm	%80	%80
C ₃	(+) 2 mm	%80	%80
C ₄	(+) 3 mm	%80	%80



C1. Numune

C2. Numune

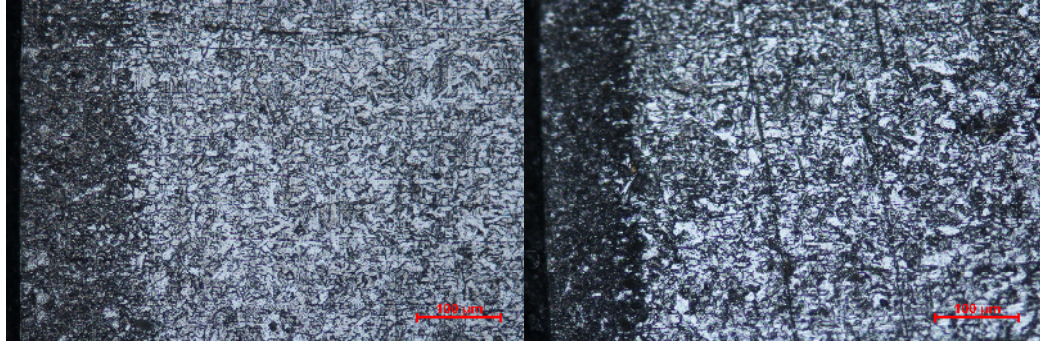


C3. Numune

C4. Numune

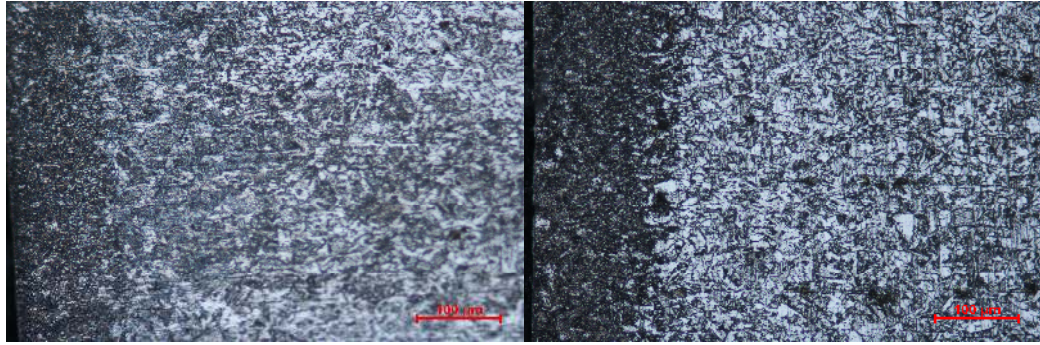
Şekil 3.9 C Grubu; kesme hızı ve kesme gazı basıncı sabit, lazer ışın odak noktasının konumunun değiştirildiği numunelerin kesim yüzeyleri

Kesme hızı ve kesme gazı basıncının sabit, lazer ışının odak noktasının konumunun değiştirilmesi (malzeme yüzeyinden uzaklaştırma) ile lazer kesimle elde edilmiş. Şekil 3.9 görülen numunelerde incelendiğinde odak noktası konumunun malzeme yüzeyinden uzaklaştırılması kesim yüzeyinin düzgünlüğünü etkilemektedir.



C1. Numune

C2. Numune



C3. Numune

C4. Numune

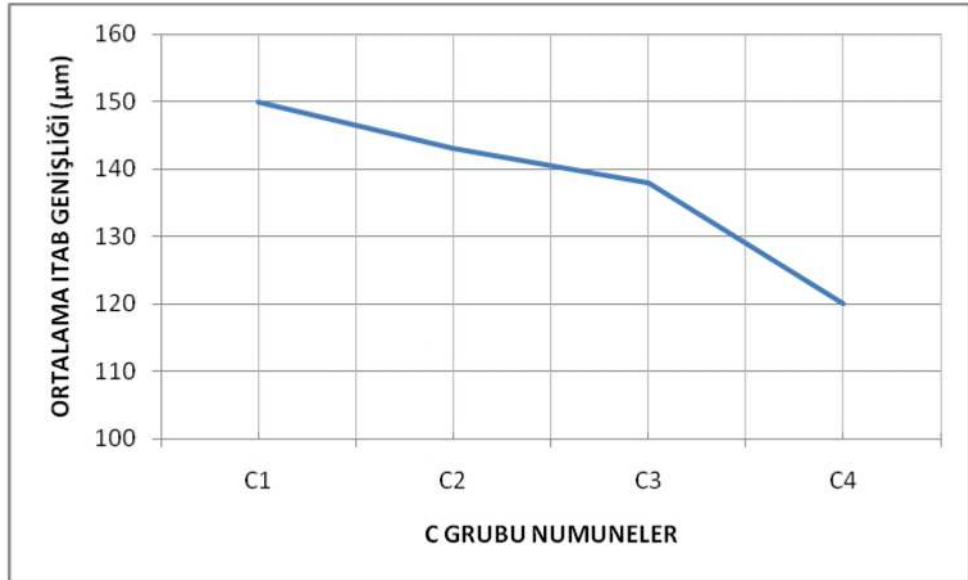
Şekil 3.10 C Grubu; kesme hızı ve kesme gazı basıncı sabit, lazer ışın odak noktasının konumunun değiştirildiği numunelerin içyapıları

Lazer ışını ile kesilmiş numunelerin Şekil 3.10 da içyapıları incelendiğinde ısı tesiri altında kalan bölgelerde tane yapısının küçüldüğü ve bu değişim nedeniyle bu bölgelerin sertliğinin arttığı Şekil 3.10 görülmektedir.

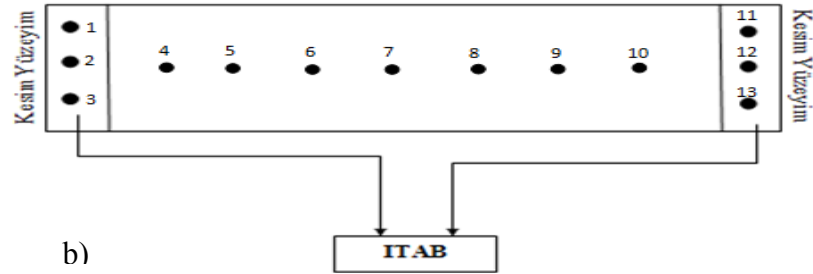
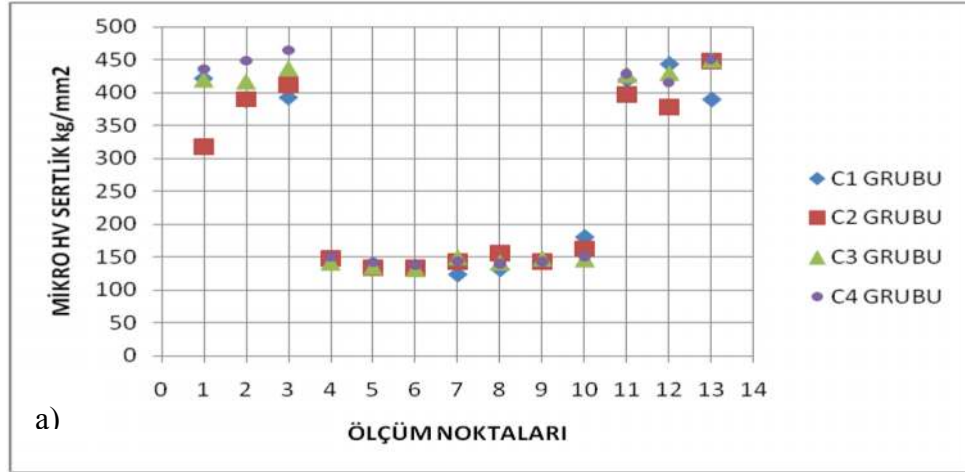
Odak noktasının uzaklaştırılmasıyla tablo incelendiğinde ITAB genişliğinin azaldığı görülmektedir, Tablo 3.6 ve şekil 3.11.

Tablo 3.6 C grubu numune ITAB genişliği

C grubu Numuneler	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
Ortalama ITAB Genişliği (μm)	150	143	138	120



Şekil 3.11 B grubu numuneler; kesme basıncı ve lazer ışını odak noktası sabit, hız kademeli olarak artırılmış numunelerin hız artışına bağlı olarak ITAB değişimi



Şekil 3.12 C grubu numune sertlik değerleri (a), ölçüm noktaları (b)

Şekil 3.12 (a) lazer kesimde odak konumunun değişimi ile elde edilen numunelerin kesim yüzeyine komşu bölgelerdeki ısı tesiri altında kalan bölgelerin (ITAB) ve malzemenin ısı tesiri altında kalmamış bölgelerindeki mikro Hv sertlik ölçümlerinin değişimi görülmektedir. Şekil 3.12 (b) numune üzerinde mikro sertliğin ölçüm noktalarının kabaca hangi bölgelerden alındığını (ısı tesiri altında kalan bölge ve ısı tesiri altında kalmayan bölge) görülmektedir.

3.2.4 D Grubu Numuneler

D grubu numunelerde; kesme hızı ve lazer ışının odak noktası sabit tutulmuş, kesme gazı basıncı değiştirilmiştir.

Kesim işleminin gerçekleştirildiği TRUMPF marka kesme cihazında kesme gazı basıncı değişimine fazla müdahale edilememektedir. Kesme gazı basıncının

minimum düşürüleceği miktarı, kesimi yapılacak malzeme için standart kesme gazı basıncının % 80 dir. Yapılan çalışmada minimum ve 5 mm kalınlıktaki st-44 yapı çeliği için verilen standart kesme gazı basıncı (%100) değerlerinde iki numune elde edilmiştir.

Tablo 3.7 D Grubu; Kesme gazı basıncı değişimi

	Lazer Odak Konumu	Kesme Hızı 2,7 m/dak	Kesme Gaz Basıncı 2 bar
D ₁	(+) 1 mm	%60	%80
D ₂	(+) 1 mm	%60	%100



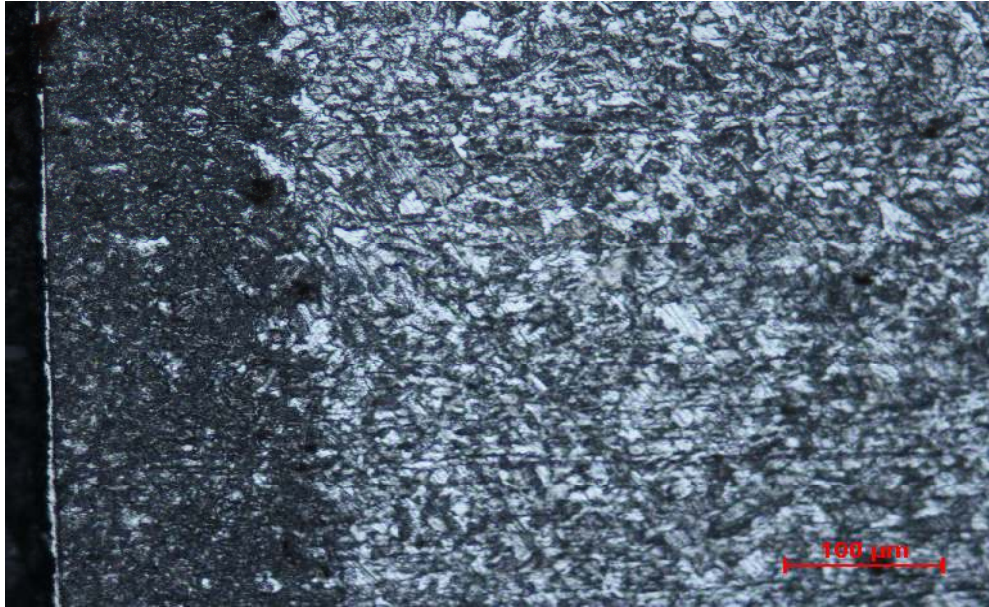
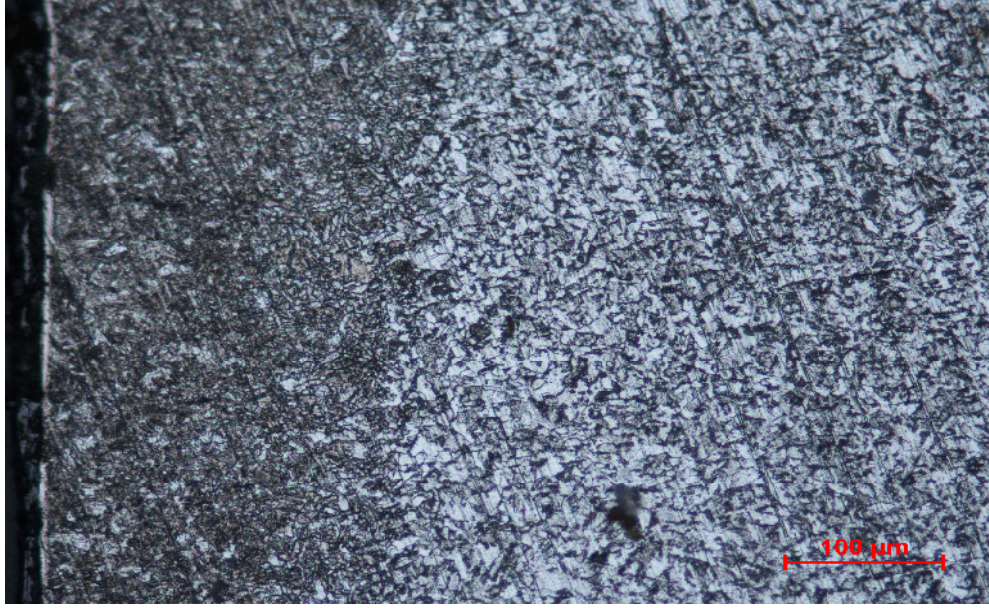
D1. Numune



D2. Numune

Şekil 3.13 D grubu; kesme hızı ve lazer ışını odak noktası sabit, kesme gazı basınç arttırıldığı numunelerin kesim yüzeyleri

Şekil 3.13 incelendiğinde kesme gazı basıncının değişiminin kesim yüzeyine olan etkileri görülmektedir.

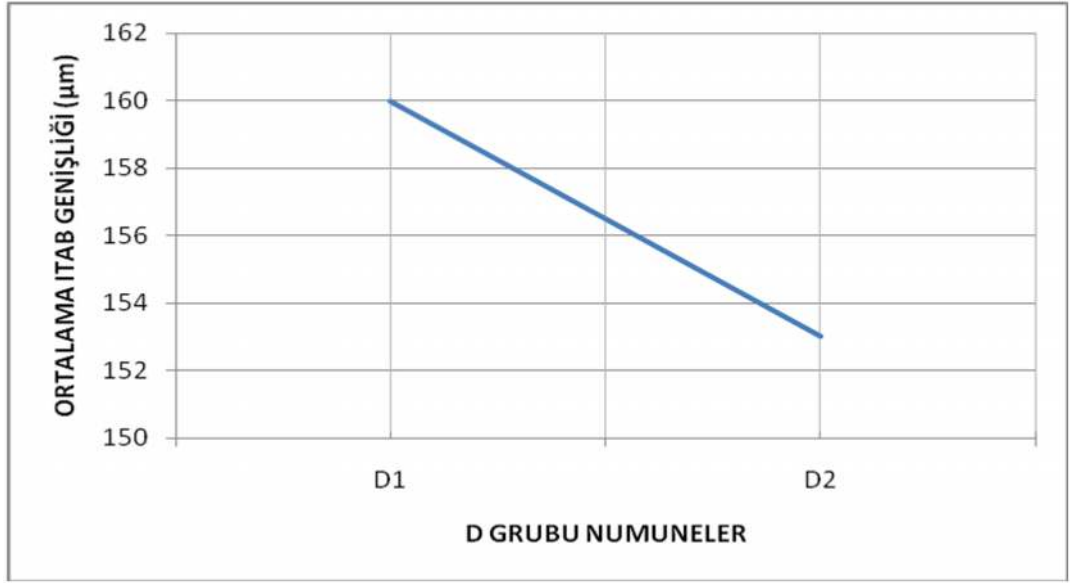


Şekil 3.14 D grubu; kesme hızı ve lazer ışını odak noktası sabit, kesme gazı basınç arttırıldığı numunelerin kesim yüzeyleri

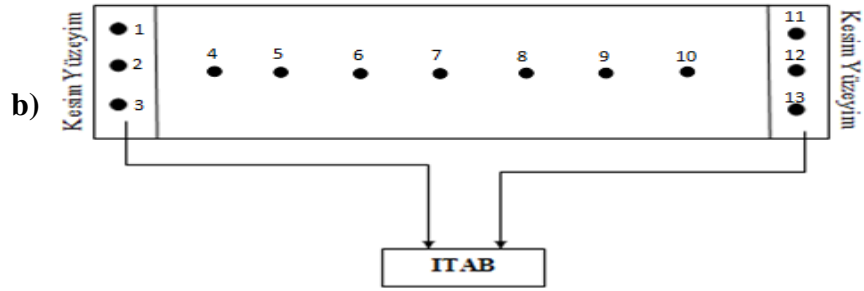
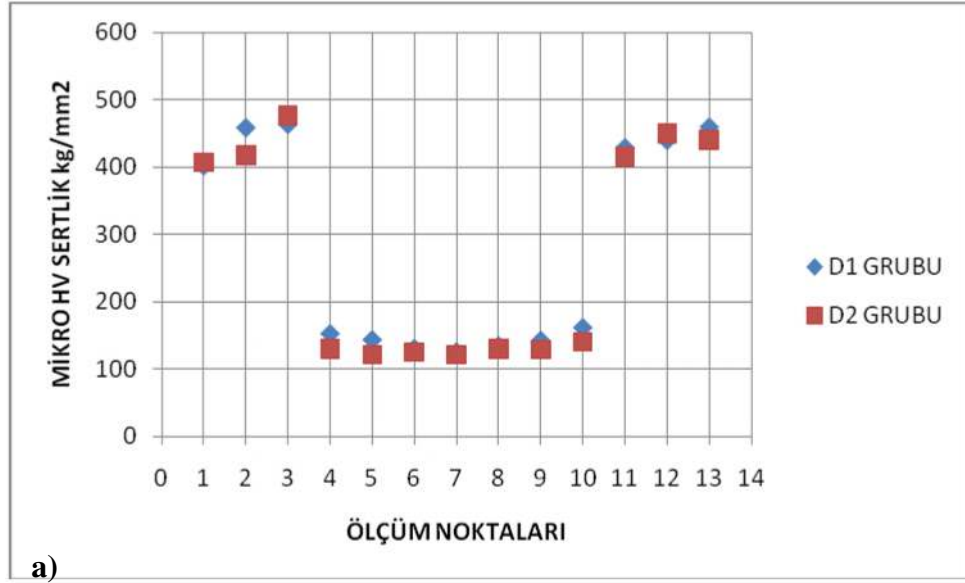
Şekil 3.14 de kesme gazı basınç artışıyla lazer kesimle elde edilmiş numunelerin içyapılarındaki değişim görülmektedir. Kesme gazı basıncının artırılmasıyla ısı tesiri altındaki bölge genişliği tablo 3.8 incelendiğinde düştüğü görülmektedir. Kesme basıncının artmasıyla yüksek miktardaki gaz akışı nedeniyle kesme yarığının daha çabuk soğuması sağlanmaktadır.

Tablo 3.8 D grubu numune ITAB genişliği

D grubu	D ₁	D ₂
Ortalama ITAB Genişliği (μm)	160	153



Şekil 3.15 B grubu numuneler; kesme basıncı ve lazer ışını odak noktası sabit, hız kademeli olarak arttırılmış numunelerin hız artışına bağlı olarak ITAB değişimi



Şekil 3.16 D grubu numune sertlik değerleri (a), ölçüm noktaları (b)

Şekil 3.16 (a) lazer kesimde kesme gazı basıncı değişimi ile elde edilen numunelerin kesim yüzeyine komşu bölgelerdeki ısı tesiri altında kalan bölgelerin (ITAB) ve malzemenin ısı tesiri altında kalmamış bölgelerindeki mikro Hv sertlik ölçümlerinin değişimi görülmektedir. Şekil 3.16 (b) numune üzerinde mikro sertliğin ölçüm noktalarının kabaca hangi bölgelerden alındığını (ısı tesiri altında kalan bölge ve ısı tesiri altında kalmayan bölge) görülmektedir.

BÖLÜM DÖRT

SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada CO₂ lazeri ile kesmede parametrelerin (odak konumu, kesme hızı, kesme gazı basıncı) değiştirilmesi ile elde edilen numunelerde farklı parametrelerdeki sertliklerin birbirlerine yakın oldukları görülmektedir, bunun sebebi malzeme içindeki faz değişiminin aynı olmasındandır. Faz değişimlerinin aynı olmasıyla farklı parametrelerdeki kesimlerin soğuma hızlarının aynı olmasından kaynaklanmaktadır. Lazerle kesme işleminde parametrelerin ayarlanması ile kesme yüzeyi düzgün ve ITAB genişliği düşük tutulabilir.

Lazer kesimde kesme parametrelerinin (kesme hızı, lazer ışını odak noktası konumu, kesme gazı basıncı) bir birleriyle uygun olarak ayarlanmasıyla iyi bir kesme yüzeyi kalitesi elde edilebilir ve ITAB genişliğinin minimum olması sağlanır.

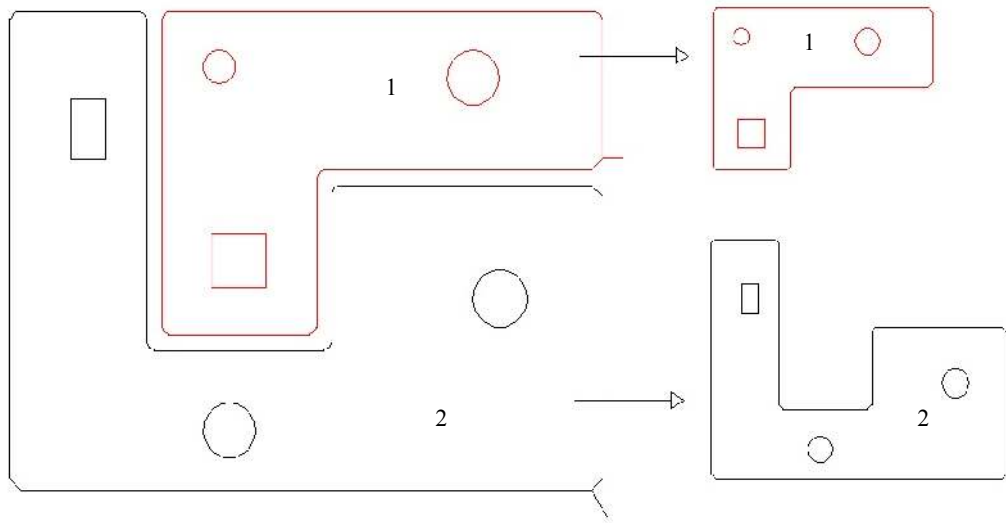
BÖLÜM BEŞ

GENEL SONUÇLAR

Lazer kesim teknolojisi gelişmekte olan bir teknolojidir. Diğer termik kesme yöntemlerine göre kesimi yapılan malzeme üzerinde bıraktığı olumsuz etkiler daha azdır. Kesim yüzeyi diğer termik kesme yöntemlerine göre daha düzgün olarak elde edilebilir, kesim yüzeyine komşu bölgelerdeki ITAB genişlikleri diğer termik kesme işlemlerindekinden daha küçüktür ve bu sayede üretimi yapılacak parçalar iç içe (Şekil 5.1 ve şekil 5.2) konumlandırılarak malzeme kaybının en aza indirgenmesi mümkündür.

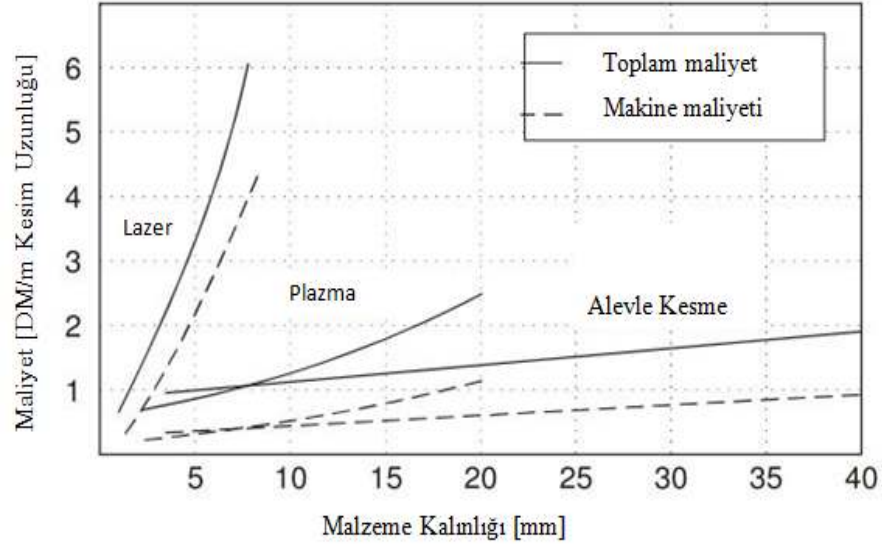
Termik kesme usulleri	Oksijenle kesme	Ptozma kesmesi	CO ² -Laseri ile kesme
Kesme aralığı	1.0 mm	1,5 mm	0,4 mm
Isının tesiri altındaki bölge	3,2 mm	0.24 mm	0,06 mm

Şekil 5.1 Termik kesme yöntemlerinin kesme aralıkları ve ITAB genişlikleri

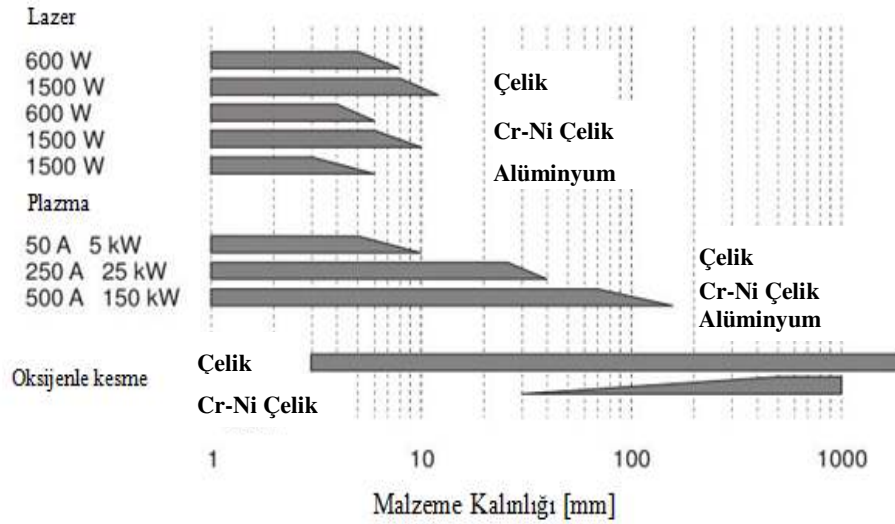


Şekil 5.2 Lazer kesimde parça konumları

Lazer kesim cihazları ilk yatırım maliyetlerinin diğer termik kesme sistemlerine kıyasla yüksek oluşu (Şekil 5.3) bu yöntemin dezavantajlarından biridir.



Şekil 5.3 Termik kesme yöntemleri makine maliyeti ve toplam maliyeti



Şekil 5.4 Termik kesme yöntemleri malzeme kalınlıkları

Lazerle kesme işleminde kesilebilecek malzeme kalınlığı diğer termik kesme yöntemlerine kıyasla düşüktür (Şekil 5.4), bu sistemin dezavantajlarından biridir ancak diğer termik yöntemlerin kesmeyeceği çok ince kalınlıkların kesilmesindeki

başarısı ve diğer termik yöntemlere göre dar ITAB genişliği bu yöntemin avantajıdır. Plazma ile kesmenin belirli bir kalınlıktan sonra mümkün olmamasının sebebi (şekil 5.4) akım her zaman kısa yolu seçmesinden dolayı malzeme kalınlığının belirli bir değeri aşmasından sonra plazma ile kesme mümkün değildir. Oksi-asetilenle kesme ise belirli bir kalınlıktan sonra iyi sonuçlar vermektedir bunun nedeni ise ısı etki nedeniyle parçalarda çarpılmaların çok olmasıdır.

KAYNAKLAR

- Anık, S., Öğür, A., Vural, M. (1996). *Termik kesme teknolojisi*, Lazer ışını ile kesme. İstanbul: Gedik Eğitim Vakfı.
- Anık, S. (1991). *Kaynak tekniği elkitabı*, lazer ışını ile kaynak ve kesme işlemi. İstanbul: Gedik Eğitim Vakfı.
- Başoğlu, T. (2002). *Lazer kesim teknolojisi ve lazer kesim tezgâhları*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Bitirme Projesi.
- Çelik, S. (1998). *Lazerler, tıpta ve özellikle göz tedavisindeki uygulamaları*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü projesi.
- Edubilim (2008). (2009) Lazer nedir, lazer çeşitleri ve kullanım alanları. www.edubilim.com_fenbilgisi1-35-9.doc
- Gürbüz, R. (b.t). *Makine Mühendisliği El kitabı*, Lazer ve uygulama alanları. Ankara: Makine Mühendisleri Odası (MMO), , Üretim ve Tasarım, Cilt 2, Yayın No:170.
- Genceli, F.O. (1985). *Mühendis ve Makine*, lazerin mühendislikteki uygulama alanları. İstanbul: Makine Mühendisleri Odası (MMO), Cilt: 26 Sayı: 308.
- Kj laser (b.t) (2010). Laser Cutting http://www.kjlasermicromachining.com/Capabilities_-_Laser_Precision_and_Micro_Cutting_Services.aspx
- Özden, H. (b.t). *Sanayide kullanılan yüksek güçlü lazer makineleri ve lazer imalat yöntemleri*. İzmir: Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü.

Trumpf (2007) (2009). *Technical information*, laser processing CO₂-laser.
<http://www.trumpf-machines.com/en/about-trumpf/media-center/library/laser-and-laser-processing.html>

Ün, H. (2007). Mühendislik metal ve alaşımları. Denizli: Pamukkale Üniversitesi, ders notları

Yüksel, M., Konig, R. (1995). *Mühendis ve Makine*, lazer kaynak ve kesme. İstanbul: Makine Mühendisleri Odası (MMO), Cilt: 34 Sayı: 428.