

**T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK MUKAVEMETLİ DÜŞÜK ALAŞIMLI (HSLA)
ÇELİKLERİN LAZERLE KESİLEBİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Khaled Saleh Aldoukali MATOUG

**Danışman
Jüri Üyesi
Jüri Üyesi**

**Prof. Dr. Cihan KARATAŞ
Doç. Dr. Serkan ISLAK
Dr. Öğr. Üyesi Erkan KOÇ**

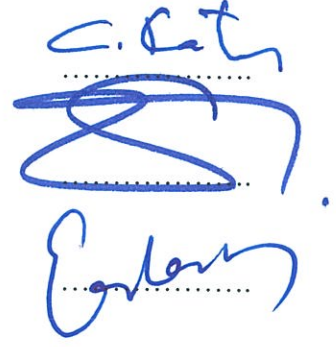
**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

KASTAMONU – 2019

TEZ ONAYI

Khaled Saleh Aldoukali MATOUG tarafından hazırlanan “**Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımlı (HSLA) Çeliklerin Lazerle Kesilebilirliğinin Araştırılması**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve oy birliği ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Prof. Dr. Cihan KARATAŞ Türk Hava Kurumu Üniversitesi
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Serkan ISLAK Kastamonu Üniversitesi
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Erkan KOÇ Karabük Üniversitesi



04/03/2019

Enstitü Müdürü Prof. Dr. Hasbi YAPRAK



TAAHHÜTNAME

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildirir ve taahhüt ederim.

İmza

Khaled Saleh Aldoukali MATOUG



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YÜKSEK MUKAVEMETLİ DÜŞÜK ALAŞIMLI (HSLA) ÇELİKLERİN LAZERLE KESİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Khaled Saleh Aldoukali MATOUG

Kastamonu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Cihan KARATAŞ

Lazer kesim, lazer işleme sürecinin önemli uygulamalarından biridir. Lazer gaz destekli kesme işleminde, yardımcı gaz, işlem gerekliliklerine bağlı olarak reaktif veya inert olabilir. Gaz destekli metal kesme işleminde, genel olarak oksijen (reaktif gaz) kullanılırken, argon veya helyum (inert gazlar) ahşap ve plastik kesim için kullanılmaktadır. Oksijen kullanımı kesme işinde mevcut olan enerjiyi artıran egzotermik reaksiyon sağlar. Diğer taraftan, argon veya helyum, yüksek sıcaklıklı egzotermik reaksiyonları önler. Yanıklardan ve kesme çentiklerinden malzeme kaybını önler. Kalın levhaları kesmek için farklı plazma teknolojileri, oksijenli lazer kesimi ve su jeti kesimi kullanılır.

Bu çalışmada, CO₂ gazı lazer sistemi HSLA çeliğinin kesilmesi için kullanılmıştır. CO₂ lazerle sac-metal kesimiyle iyi kalite, verimlilik, doğruluk, işlenmiş yüzeylerin kalitesinde artış, malzeme ve enerji tüketiminde ise tasarruf sağladığı gözlenmiştir. Lazer kesim, yüksek kalite ve daha düzgün kesim yüzeyi nedeniyle bilinen diğer kesme işlemlerine göre avantajlara sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Lazer kesim, HSLA çelikler, CO₂ gaz lazer.

2019, 61 sayfa
Bilim Kodu: 91

ABSTRACT

MSc. Thesis

LASER CUTTING OF HIGH STRENGTH LOW ALLOY STEEL (HSLA) BY CARBON DIOXIDE LASERS

Khaled Saleh Aldoukali MATOUG

Kastamonu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Materials Science and Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Cihan KARATAŞ

Abstract: Laser cutting is one of the important applications of laser machining process. In laser gas assisted cutting operation, assisting gas can be reactive or inert depending on the process requirements. In metal gas assisting cutting process, in general, oxygen (reactive gas) is used while argon or helium (inert gasses) is used for wood and plastic cutting. Use of oxygen provides exothermic reaction in the cutting section enhancing the energy available for the cutting process. On the other hand, argon or helium prevents high temperature exothermic reactions and avoids the sideways burning and excessive mass removal from the cutting kerfs. Different technologies of plasma, oxygen cutting laser and water jet cutting used for cutting thicker sheets.

In this study we used CO₂ gas laser because is very effective in (HSLA) steel and is suitable for cutting with CNC method. We found that cutting Sheet-metal by CO₂ laser provide good quality, increased productivity, accuracy, quality of machined surfaces, and reducing the consumption of materials and energy. Laser cutting has good advantages over other known thermal processes due to the high quality and smoother cut surface.

Key Words: Laser cutting, HSLA steels, CO₂ carbon dioxide gas laser.

2019, 61 pages

Science Code: 91

TEŞEKKÜR

Öncelikle tez süresince bana tavsiyelerde bulunan ve ortaya çıkan tüm sorunları çözen Prof. Dr. Cihan KARATAŞ'a en derin şükranlarımı sunmak istiyorum.

Ayrıca, çalışmalarım sırasında bana ilham veren aileme ve bana yardımcı olan tüm arkadaşlarıma da teşekkürlerimi sunarım.

Khaled Saleh Aldoukali MATOUG
Kastamonu, Mart, 2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ ONAYI.....	ii
TAAHHÜTNAME	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı.....	4
1.2. Literatür Taraması	4
1.3. Tezin Yapısı	6
2. LAZER	8
2.1. Lazer Işığın Özellikleri	8
2.2. Lazerin Temel Bileşenleri.....	10
2.3. Lazer Oluşum Kavramları.....	12
2.3.1. Genel Tasarım	12
2.3.2. Oyuk Ayna Tasarımı.....	13
2.4. Lazer Türleri.....	13
2.4.1. Gazlı Lazer	14
2.4.2. Katı Haldeki Lazerler.....	14
2.5. Lazer Uygulamaları	14
2.6. Lazer Kesim	16
2.6.1. Neden Lazerler Kesim için Kullanılır?	17
2.6.2. Kesme İşlemi	18
2.6.3. Yüksek Güçlü CO ₂ Lazeri.....	19
2.6.4. Lazer Işınıyla Kesme	20
2.6.5. Lazer Kafası ve Toleransı	23
2.6.6. Farklı Malzemelerin Lazerle Kesilmesi	24
2.6.7. Lazer Kesim Parametreleri.....	24
2.6.8. Karbon Dioksit (CO ₂) Lazeri	25
2.6.9. Lazer Oksijen Kesim.....	28
2.6.10. Isıdan Etkilenen Bölge (ITAB).....	28
2.6.11. Lazer Kesimin Genel Fayda ve Sakıncaları	30
2.7. Lazer ve Plazma Kesim ile Su Jeti ile Metal Kesiminin Karşılaştırılması	32
2.7.1. Lazer Kesim	32
2.7.2. Su Jeti ile Kesim	33
2.7.3. Plazma Kesim	35
2.8. Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Çelik	41
2.8.1. HSLA Çelik Kategorileri	41
2.8.2. HSLA Çelik Uygulamaları.....	42
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	44
3.1. (AMADA) FANCU- AF2000E- LC 2415 ALPHA III	44

3.1.1. AMADA FANCU- AF2000E- LC 2415 ALPHA III Özellikleri.....	45
3.1.2. AMADA FANCU- AF2000E- LC 2415 ALPHA III Avantajları.....	46
3.2. HSLA Çeliğın Amada Makinesi ile Kesilmesi	46
3.3. AMADA Fanuc Makinesinin CNC Programı.....	47
3.3.1. HSLA Çeliğın CO ₂ Lazer ile Kesilmesinin Adımları.....	48
3.3.2. Darbeli Lazer Kesimi	49
4. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	50
4.1. Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Çelik	50
4.2. HSLA Çeliğın CO ₂ ile Kesilmesi	51
4.3. Lazer Kesimin Avantajları.....	52
4.4. Hassasiyet ve Güvenlik	53
5. GENEL SONUÇLAR	56
6. ÖNERİLER	57
7.KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ.....	61

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

C	Karbon
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım
CNC	Bilgisayarlı Sayısal Denetim
CO ₂	Karbon Dioksit
DC	Doğru Akım
E	Foton Enerjisi
E1	Düşük Düzeyde Atom Enerjisi
E2	Yüksek Düzeyde Atom Enerjisi
h	PlankSabiti
He-Ne	Helyum-Neon Lazer
HSLA	Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli
KW	Kilo Vat
λ	Dalga Boyu
LBC	Lazer Işınli Kesme
LBM	Lazerli İşleme
LED	Işık Yayan Diyot
mm	Milimetre
MPa	Mega Pascal
N ₂	Nitrojen
Nd	Neodimim
O ₂	Oksijen
RF	RadyoFrekanslı
rpm	Dakikadaki Devir Sayısı
v	Frekans
YAG	Yttrium-Alüminyum-Garnet
µm	Mikrometre

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

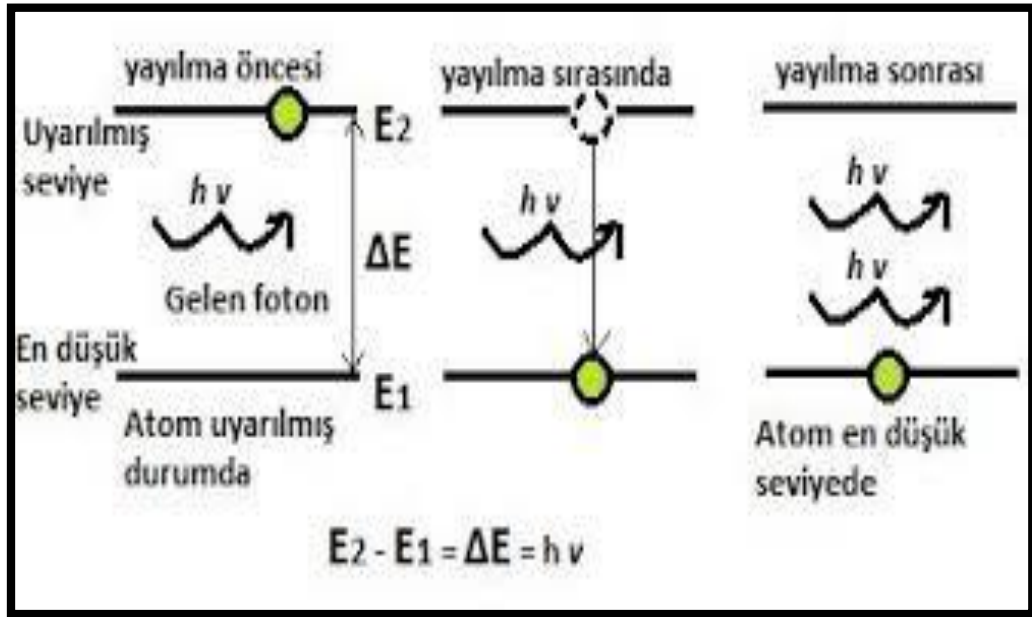
Şekil 1.1. Uyarılmış atomun bir alt enerji seviyesine foton yayarak geçişi	1
Şekil 2.1. Lazer, LED ve Güneş Işığı Farkları	9
Şekil 2.2. Tutarsız Dalga Biçimleri ve Tutarlı Dalga Biçimleri Arasındaki Fark	9
Şekil 2.3. Paralel Lazer Işığı	10
Şekil 2.4. Dört Seviyeli Lazer Sistemi İçin Enerji Seviyesi Şeması	11
Şekil 2.5. Elektrikli Gazlı Lazer Türleri	12
Şekil 2.6. Lazer Oyuğunun Basit Yapısı	13
Şekil 2.7. Lazer Kesici İşİ	17
Şekil 2.8. Lazer Kesim Şeması	19
Şekil 2.9. Aksiyal Akışlı CO ₂ Lazer Yapılandırması	20
Şekil 2.10. Lazer Füzyon Kesme İşlemi Prensibi	21
Şekil 2.11. Lazer Kesim	22
Şekil 2.12. Lazer Makinesi Kafası	24
Şekil 2.13. Sıcaktan Etkilenmiş Bölge	29
Şekil 2.14. Garnet İle Sujeti Kesimi	34
Şekil 2.15. Plazma Ark Kesme Meşalesi	36
Şekil 3.1. AMADA FANUC- AF2000E- LC 2415 ALPHA III	45
Şekil 3.2. HSLA Çeliğinin farklı kalınlıklarının CO ₂ Lazer ile Kesilmesi	46
Şekil 3.3. HSLA Çeliğinde CO ₂ Lazer ile Oyuk Yapılması	47
Şekil 3.4. AMADA Fanuc Makinesinin CNC Programı	47
Şekil 3.5. HSLA Çelik için CNC Programındaki Kesme Verileri.	48
Şekil 3.6. Darbeli Lazer Kesimi	49
Şekil 4.1. HSLA çeliğinin lazer ile kesilmesi	50

TABLÖLAR DİZİNİ

	Sayfa
<i>Tablo 2.1. Bazı Önemli Ticari Lazerler</i>	8
<i>Tablo 2.2. Genel Lazer Uygulamaları</i>	15
<i>Tablo 2.3. İşleme Kabiliyetinin Özeti</i>	23
<i>Tablo 2.4. Kesme Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....</i>	37
<i>Tablo 2.5. Temel İşlem Farklılıkları</i>	38
<i>Tablo 2.6. Tipik Proses Uygulamaları ve Kullanımları.....</i>	39
<i>Tablo 2.7. Sürecin Kesinliği</i>	40
<i>Tablo 3.1. AMADA LC 2415 Alpha III Özellikleri</i>	45
<i>Tablo 4.1. HSLA Çelik'in Farklı Kalınlıklarda Kesme Parametreleri</i>	50

1. GİRİŞ

Lazer, radyasyon emisyonu uyarılmasına dayanan ışık amplifikasyonu olarak bilinmektedir. Uyarılmış emisyon, Einstein tarafından bulunan bir teoridir. Işık, uyarılmış emisyon adı verilen bir işlemle güçlendirilir, bu sebeple de lazer, uyarılmış emisyon prensibine dayanır. Başka bir deyişle, yüksek yoğunluklu monokromatik bir ışın ve $E_2 - E_1 = \Delta E = h\nu$ enerjisine sahip bir ışık fotonu olduğunda kovalent ışın demetinin uyarılmış emilimini sağlayan bir cihazdır. Bu, ν 'nin temel durumdaki bir atomda radyasyon sıklığını, E_2 'nin üst enerji seviyesini, E_1 'in alt enerji seviyesini, h 'nin de genel sabit sayıyı teşkil ettiği lazer temellerinin başında gelmektedir. Şekil 1.1 'de Uyarılma sonrası atomun bir alt enerji seviyesine foton yayarak geçişi verilmiştir. Bu yapı ilk olarak Schawlow ve Townes tarafından önerilmiştir (Datta and Munshi 2016). Son zamanlarda, lazerler karmaşık toplulukların önemli bir parçası haline gelmiştir.



Bu farklı dalga yayımları arasında bir frekans tek genlik, sabit genlik sürekliliği ve sabit ilk faz farkı vardır. Burada asıl nokta, mevcut ışın demetinin fotonların uyarılmış emisyonundan elde edilmesidir. Bunlar lazer ışığını oluşturan önemli işlemler olup, temel olarak üç lazer enerji seviyesine ayrılmaktadır: Bunlardan birincisine absorpsiyon, ikincisine kendiliğinden emisyon, üçüncüsüne ise uyarılmış emisyon adı

verilmektedir. Temel haldeki atom dahi fotonu emebilmekte olup, daha üst enerji durumuna geçiş sağlayabilir. Bu işleme uyarılmış absorpsiyon veya endüklenmiş absorpsiyon denir. Uyarıcı foton, enerjiiyi emmesi için atomu uyarır. Harici enerji uyguladığımız zaman bu harici enerji temel haldeki atom tarafından emilir ve absorpsiyon yardımı ile üst enerji durumuna geçiş yapar. Bu uyarılmış absorpsiyon işlemine kendiliğinden emisyon denilmekte olup, üst enerji durumuna geçiş yapmış olan atom foton enerjisi ile karşılaşır otomatik olarak kendiliğinden emisyon işlemi ile temel haline döner. Uyarılan atom kararsız halden kararlı hale yani temel hale geçmek ister. Bu yüzden alt enerji seviyelerine geçmek için 10^{-8} saniye gibi süre içinde ışımaya yapar. Uyarılmış bir atom veya molekül 10^{-8} saniye kadar yaşayabilir. Absorpladığı enerjiiyi geri vererek tekrar eski hale döner. Bu ışımaya zorlamadan, atomun kendiliğinden yaptığı ışımadır. Üst enerji seviyesine uyarılmış atomun temel hale geçerken foton yayınlamasına kendiliğinden emisyon denir. Enerjinin yayılan fotonu herhangi bir rasgele yönde hareket edebilir.

Atomdaki elektron, iki kararlılık durumu E2 ve E1 arasında bir geçiş yaptığında, bu geçiş çift alana sahip bir halde olur ve küçük elektrikli bir çift gibi hareket eder. Söz konusu çift özel bir frekansta salınır. Bu frekanstaki harici elektrik alanına karşılık, elektronun bu geçiş durumuna girme olasılığı büyük ölçüde artmaktadır. Bu nedenle, iki kararlılık durumu arasındaki geçiş oranı, kendiliğinden emisyon doğrultusunda artış göstermektedir. Yüksek enerjiden daha düşük bir enerji durumuna geçiş, uyarıcı foton ile aynı faz ve yönde başka bir foton üretmekte olup, buna uyarılmış emisyon denmektedir. Başka bir deyişle atom, uyarıcı foton ile olan etkileşimi vasıtasıyla başka bir foton üretir.

Süpermarket kasalarındaki lazer tarayıcı artık insanları şaşırtmıyor. Lazerle göz ameliyatının yapılması birçok kişinin gözlükten kurtulmasını sağladı. Artık renkli lazer yazıcıların dijital görüntü kalitesi o kadar yüksek ki, fotoğraf karanlık oda sanatından bilgisayar sanatına dönüştü. Otomobiller, çeşitli delikler ve boşlukların kesilmesiyle kişiselleştirilmiş ve isteğe bağlı aksesuarlar ile donatılabilir. Motor ve şanzımandaki parçalar daha iyi performans ve daha uzun servis ömrü sağlamak için lazerle temperlenmektedir.

Buna ek olarak, lazerin ışığı artıran ve genellikle çok saf bir frekansa veya dalga boyuna sahip olan yüksek ölçüde yönlendirilmiş, oldukça yoğun bir ışın üreten bir cihaz olduğunu söyleyebiliriz (Silfvast 2008). Lazer, hassasiyet, kalite ve hızın sloganı haline gelmiştir (Ion 2005). Güneşli bir günde büyüteç yardımıyla kağıdın yakılması lazerin temellerini atmış ve bu ışıkla kesme fikri birçok insanı etkilemiştir. İlk gaz lazeri 1961'de Bell Telephone Laboratories'de bir He-Ne lazeri geliştirildiğinde ortaya çıkmıştır. O zamandan beri, daha güçlü ve güvenilir yeni lazerler geliştirilmiştir. Bununla birlikte, malzeme işleme için nispeten küçük bir sayı kullanılır. Karbon Dioksit CO₂ ve Nd-YAG lazerleri tüm uygulamalarda en uzun ve sık kullanımlar için tercih edilir. Son zamanlarda, malzeme işleme amacıyla diğer bazı lazerler de geliştirilmiştir (Ion, 2005).

CO₂ lazerleri, malzeme işlemleri için en yüksek ortalama gücü sağlar. 1 KW veya daha düşük çıkış gücüne sahip CO₂ lazerler, düşük güçlü lazerler olarak kabul edilir. Ortalama kapasitesi 45 KW' tan yüksek olan güçlü lazerler de mevcuttur, ancak çoğu endüstriyel uygulamadaki lazer gücü, çoğunlukla 3 KW ila 15 KW arasındadır. Diğer lazerlere kıyasla, CO₂ modelinin yüksek gücü birçok endüstriyel uygulamada büyük ölçekli üretimde çeşitli malzemelerin işlenmesine izin verir. Bu nedenle, genellikle otomobillerin ve diğer çelik parçaların üretimi için tercih edilirler (Farsonve Ready vd., 2001).

Teknik olarak lazer kesim, üretim ve üretim maliyetlerini düşürmenin etkili bir yoludur. Bu teknik, yüksek performansın avantajları ve lazerin mekanize edilebilmesi ile bilgisayarın kontrol edilip montaj hattına entegre edilmesinin bir sonucudur. Lazer ekipmanlarının üretim hattında kullanılması birçok endüstride devrim yaratmıştır. Bunun nedeni, kesme işleminin yüksek kalitede gerçekleşmesi ve düşük distorsiyon oranıyla yapmanın mümkün olmasıdır. Malzemelerin büyük bir kısmı (metaller, ahşap, plastikler, lastikler ve kompozitler vb.) bir işleme kesilebilirken, bazı malzemeler güvenlik nedenleriyle kesilemez (Powell, 2012). Lazer kesim bugün lazerlerin en yaygın kullanılan endüstriyel uygulamasıdır ve Japonya'da endüstriyel lazerlerin yaklaşık % 90'ı bu alanda kullanılmaktadır. Sert malzemeli endüstrilerde çalışkan bir yatırımcı olmak zor olmakla birlikte, bunun nedeni muhtemelen kesme

işlemi sırasında olgun bir piyasanın doğrudan değişmesidir. Çoğu durumda, lazer daha hızlı kesebilir ve rekabet açısından daha kaliteli üretebilir (Steen, 2013).

1.1. Tezin Amacı

Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çeliğin atmosferik korozyona karşı geleneksel karbon çeliklere göre daha fazla dirençli olmak ve 275 MPa'dan daha fazla akma dayanımına sahip olmak gibi birçok uygulaması ve iyi mekanik özellikleri vardır. Hali hazırda çok sayıda imalat şirketi farklı kalınlıklarda levha kesmeye odaklanmıştır. Çünkü HSLA çeliğinin bu özellikleri verimli kesme tekniklerinin en iyi kullanımını seçmeyi gerektirmektedir.

Yarı- römork üreticileri de dahil olmak üzere otomotiv endüstrisi tarafından yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelik de dahil olmak üzere yeni malzemelerin kullanılması, verimli kesme tekniklerinin kullanılmasını gerektirmektedir. Lazer çok etkili bir yöntem olduğundan ve HSLA çeliğinin plazma, su jeti ve diğer kesici takımlarla karşılaştırıldığında daha iyi avantajlar sağlamasından dolayı tercih edilmektedir. Bu çalışmada HSLA çeliği CO₂ lazeri ile kesilmiş, ayrıca HSLA çeliğinin bu şekilde kesilmesinin özellikle kesim yapılan bölge için ne gibi avantajlar sağlayacağı araştırılmıştır. Lazer pratik, ekonomik ve CNC yöntemlerine uygun olmasının yanında, lazer kesicilerin de güç ve sınırlı olduğu durumlar vardır. Örneğin tüm gün boyunca aynı şekli kesebilir ve inanılmaz tekrarlanabilirlik ile bunu başarabilirsiniz. Kesin ve net kesimin yanında, karmaşık şekilleri kesebilme olanağını da verir. Bütün lazer kesimlerinden genellikle daha hızlıdır ve günümüzde bu tekniğe diğer tekniklerden daha fazla ihtiyacımız vardır.

1.2. Literatür Taraması

Lazerler, çok küçük nokta boyutlarına odaklanabilen ve dolayısıyla bir malzemenin küçük alanlarına yüksek enerji yoğunlukları sağlayabilen ışıktan oluşan tutarlı, tek renkli ve yüksek yönlü ışıklardır. Bu lokalize yüksek enerji, malzemeyi kesmek amacıyla eritmek veya buharlaştırmak için kullanılabilir (Eltawahni 2011). Günümüzde lazer kesim, endüstriyel imalat uygulamaları için daha önemli hale gelmiştir ve endüstriyel lazer kesiciler, düz levha malzemelerin yanı sıra yapı ve boru

malzemelerini kesmek için kullanılmaktadır. Üç tür lazer kesim vardır. Bunlar; CO₂ lazer, neodimyum (Nd) ve itriyum- alüminyum- granat (Nd: YAG) şeklindedir. CO₂ lazerler, hafif çelik, alüminyum, paslanmaz çelik, titanyum, iş tahtası, kağıt, balmumu, plastik, ahşap ve kumaşlar dahil olmak üzere birçok malzemenin endüstriyel olarak kesilmesinde kullanılır, ancak bazı çalışmalarda kesme bölgesinin etrafında yüksek sıcaklık ve yüksek Vonmises baskısı olduğu ortaya konulmuştur.

A.F.M. Arif, B.S.Yilbas, B.J.AbdulAleem çalışmalarında kalın bir çelik sacdan özel kesilmiş parçaların lazerle kesilmesi sırasındaki morfolojik ve yapısal değişiklikleri incelemişlerdir. VonMisses stres ve sıcaklığın kesme bölümünde şiddetli bir şekilde yükseldiğini ortaya koymuştur. Bu bulgu artık gerilimin kesme bölümüne bitişik bölgelerde yüksek olduğu anlamına gelmektedir (Arif ve Yilbas vd., 2009).

B.S. Yilbas ve A.F.M arif çalışmalarında metal levhaların kesilen kısımlarındaki lazer kesiminde geliştirilen termal gerilimi incelemişlerdir. Sonuçlar, VonMisses'ın zamansal varyasyonunun, kesme doğrultusu boyunca sıcaklık zamansal değişiminden, gerilme değişkenlerinin, alt malzemedeki yüksek sıcaklık gradyanının elde edilmesine bağlı olarak artan tarama hızıyla arttığını göstermiştir (Yilbas ve Arif, 2011).

B.S. Yilbas, A.F.M. Arif ve B.J.AbdulAleem çalışmalarında kesim bölümündeki artık gerilimi değerlendirmek için, çelik kalın sac metalde deliğin lazerle kesilmesi konusunda deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda kesim bölgesinde yüksek sıcaklık gradyanının, kesik kenarların etrafında yüksek stres seviyelerinin gelişmesine neden olduğu gözlemlenmiştir (Yilbas ve Arif vd., 2009).

B.S. Yilbas, S.S. Akhtar ve C. Karatas çalışmalarında dairesel lazer kesme tekniği ile kesilen bir Kevlar laminatın iki farklı çaptaki deliğinin kesme bölümünü incelemişler ve değerlendirmişlerdir. Büyük çaplı bir delikte sıcaklık ve VonMisses stresinin kesme çevreleri boyunca küçük çaptan daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır (Yilbas ve Akhtar vd., 2017).

Omer Ozgur Kardas, Omer Keles, SohailAkhtar ve Bekir Sami Yilbas çalışmalarında 2024 alüminyum levhada dikdörtgen şeklindeki lazerle kesimi sırasında kesim kenarının bitişindeki yüzey sıcaklık artışını ölçmüşler ve muadilleri ile

karşılaştırmışlardır. Lazer kesim bölümünün büyük boyutlardan bağımsız olduğunu, oysa VonMisses stresinin yüksek değerlerinin kesik kenarların köşelerine yakın bir yerde ulaştığını ortaya koymuşlardır (Kardas ve Keles vd., 2014).

Bekir Sami Yilbas, Mian Mobeen Shaukat ve Farhan Ashraf çalışmalarında kesim boyunca kesiklerin genişliğini ölçmek için, Ti-6Al-4V alaşım, çelik 304, Inconel 625 ve alümina gibi çeşitli malzemeler açısından lazer kesimin çevresel etkisini belirlemeye çalışmışlardır. Yaşam döngüsü değerlendirmesinin, lazer kesimi için malzeme seçiminin, çevre koruma açısından kritik öneme sahip olduğu ve lazer kesim atıklarının geri dönüşümünün bu katkıyı azalttığı sonucuna varılmıştır (Yilbas ve Shaukat vd., 2017).

Amit Sharma ve Vinod Yadava çalışmalarında çeşitli lazer ışını levha kesme işlemleri için Nd-YAG lazer tekniği kullanmışlar ve bunun genel olarak karmaşık geometrileri ve özellikle yansıtıcı tabaka malzemelerini kesmek için geçerli olduğu sonucuna varmışlardır (Sharma ve Yadava, 2018).

A.Riveiro, A.Mejías, R.Soto, F.Quintero, J.del Val, M. Boutinguiza, F.Lusquiños, J. Pardo ve J.Pou çalışmalarında süpersonik nozulda 10 mm kalınlığında kesme granit levhalar üzerinde çalışmışlar ve 3,5 kW'lık CO₂ lazer kesim makinesini kullanmışlardır. Araştırma sonucunda hiçbir kimyasal modifikasyon tespit edilmemiştir (Riveiro ve Mejías vd., 2016).

1.3.Tezin Yapısı

Bölüm 1, problem cümlesi, literatür taraması ve tezin amacı dahil olmak üzere genel bir giriş niteliğindedir. Bölüm 2 lazer ve lazer uygulamaları, lazer kesim süreçleri ve avantajları, yüksek-güçlü CO₂ lazerler, yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler ve uygulamaları hakkında bilgi vermektedir. Ayrıca bu çalışmada kullanılan çelik türü ve CO₂ kesim işlemi sırasında ihtiyacımız olan CO₂ ve güvenlikten bahsedilecektir. Bölüm 3, HSLA çeliğinin kesilmesinde kullanılan yöntem ve teknikleri, (AMADA) FANCU-AF2000E -LC 2415 ALPHA III CO₂ lazer kesim makinesinin kullanılmasını ve bu makinenin özelliklerini ve avantajlarını, ayrıca kesimden önce ihtiyaç duyulan parametreleri vermektedir. Bölüm 4, deneysel çalışmadan sonra elde ettiğimiz

sonuçlar üzerine kuruludur. Bölüm 5, genel sonuçlar ve deneysel çalışmanın özetini sunmaktadır. Bölüm 6'da gelecek çalışmalar için öneriler bulunmakta ve tez kaynakça ile sonlanmaktadır.

2. LAZER

Lazer, radyasyonun uyarılmasıyla ışığın yükseltilmesinin kısaltmasıdır. Ve CO₂ lazerleri ve neodimyum lazerlerin ürettiği bu ışık, fantomun kızılötesi kısmında olduğu için gözle görülmeyi imkansız kılmaktadır. Helyum-neon ya da yakıt lazerin kırmızı ışığı ve argon lazerin mavi ve yeşil ışığı, insan gözüyle görülebilir. Aşağıda Tablo 2.1’de lazerlerin ışık rengi üzerindeki dalga boyu kontrolleri ve dalga uzunluklarına sahip bazı önemli ticari lazerleri göstermektedir (Hitz ve Ewing vd., 2012).

Tablo 2.1. Bazı Önemli Ticari Lazerler

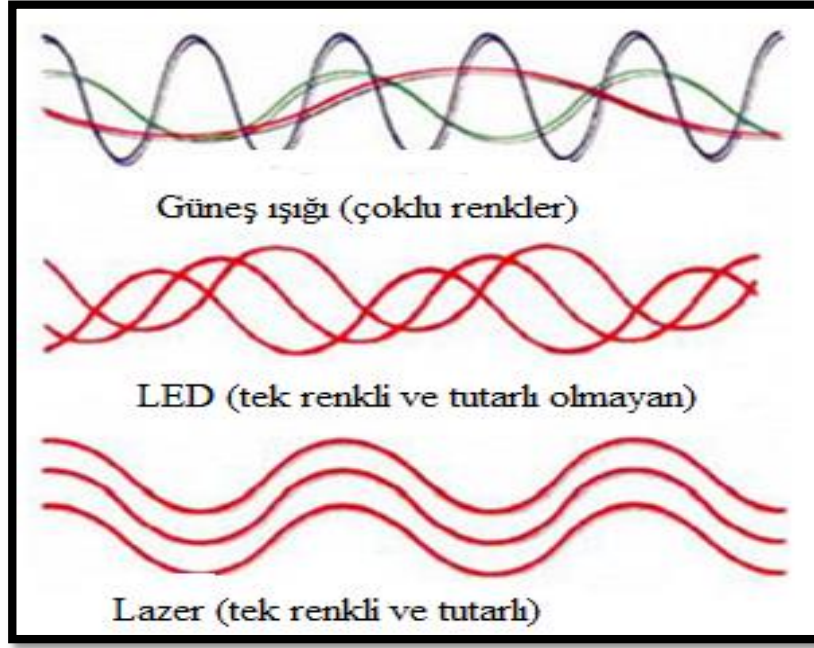
Lazer	Dalga boyu	Ortalama gücü
Karbon dioksit	10.6 µm	Milliwatt ile onlarca kilovat arası
Nd:YAG	1.06 µm 532 nm	Milliwatt ile yüzlerce kilovat arası Milliwattwatt arası
Nd:cam	1.05µm	Watts1
Diyotlu	Görülebilirve IR	Milliwattkilovat arası
Argon-ion	514.5 nm 488.0 nm	Milliwatt ile onlarca watt arası Milliwattswatt arası
Fiber	IR	Wattkilowatt arası
Eksimer	Mor ötesi	Watt onlarca kilowatt arası ²

2.1. Lazer Işığın Özellikleri

Lazer ışığının üç temel özelliği vardır:

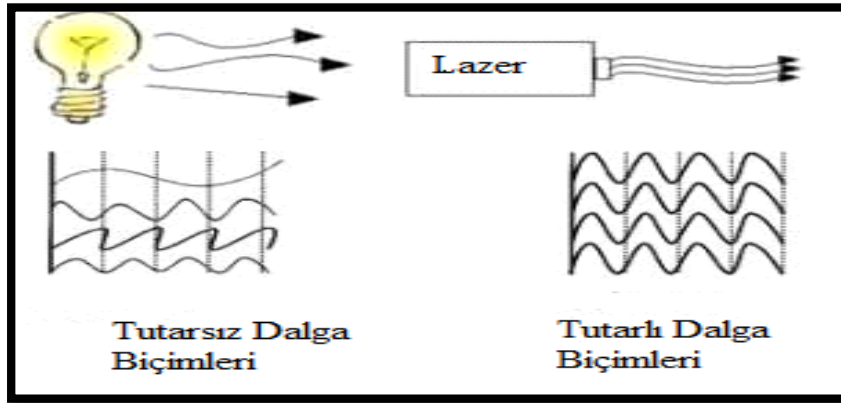
1. Tek renklilik

Bu dalga boyu (λ) sabit olduğu anlamına gelir. Bu, ışığın sadece bir dalga boyuna sahip olduğu anlamına gelir (antik Yunancada, mono “tek başına” ve kromatik ise renk anlamına gelmektedir). Işık ışığın sadece bir dalga boyundan oluştuğunda, tek renklilik oluşur ve bu olay Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



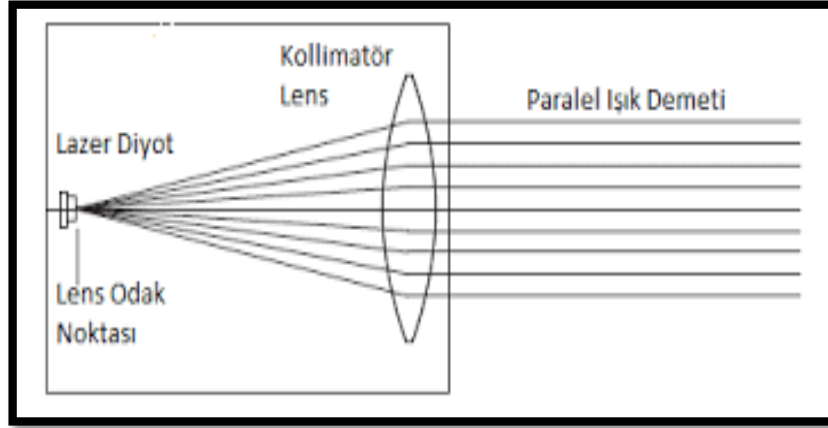
Şekil 2.1. Lazer, LED ve Güneş Işığı Farkları

Tüm ışık dalgaları aynı zamanda boşlukta birlikte hareket ettiğinden lazer ışığı tutarlıdır. Bir lazerin güçlü ve konsantre olan çok yoğun bir ışık hüzmesi vardır. Fakat bir lamba birçok yöne ışık yayar, ışık dağılır ve zayıf olur (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Tutarsız Dalga Biçimleri ve Tutarlı Dalga Biçimleri Arasındaki Fark

Dalgalar, birbirine paralel olarak, bir doğrultuda, biraz sapma ile hareket ettiğinde, burada bir lazer ışını toplanır. Bu, lazer ışığının çok yüksek bir yoğunluğa odaklanmasını sağlar (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Paralel Lazer Işığı

2.2.Lazerin Temel Bileşenleri

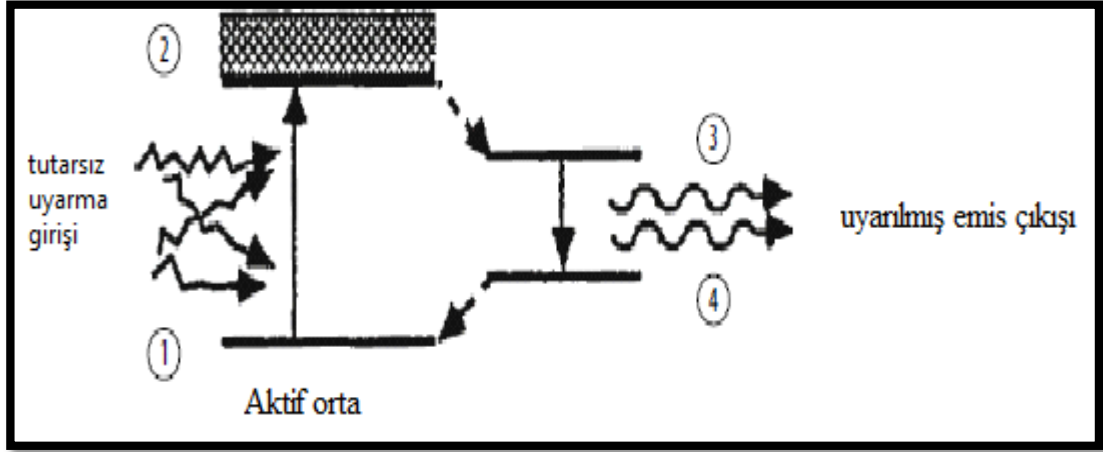
Lazerin aşağıdaki gibi üç temel bileşeni vardır:

1. Işığı yükseltmek için bir araç olarak kullanılan aktif ortam.
2. Aktif ortamı amplifikasyon haline getirme aracı olarak pompa kaynağı.
3. Optik geri besleme sağlama aracı olarak optik rezonatör.

Aktif ortam katı, sıvı, gaz veya plazma olan herhangi bir materyal olabilir (Mudassar 2015). Malzeme iyi vurulursa, havaya uçurulursa, her şeyin ortadan yok olacağı iyi bilinmektedir. Aslında Hänsch vd. yenilenebilir bir lazeri bile ortaya çıkarmıştır.

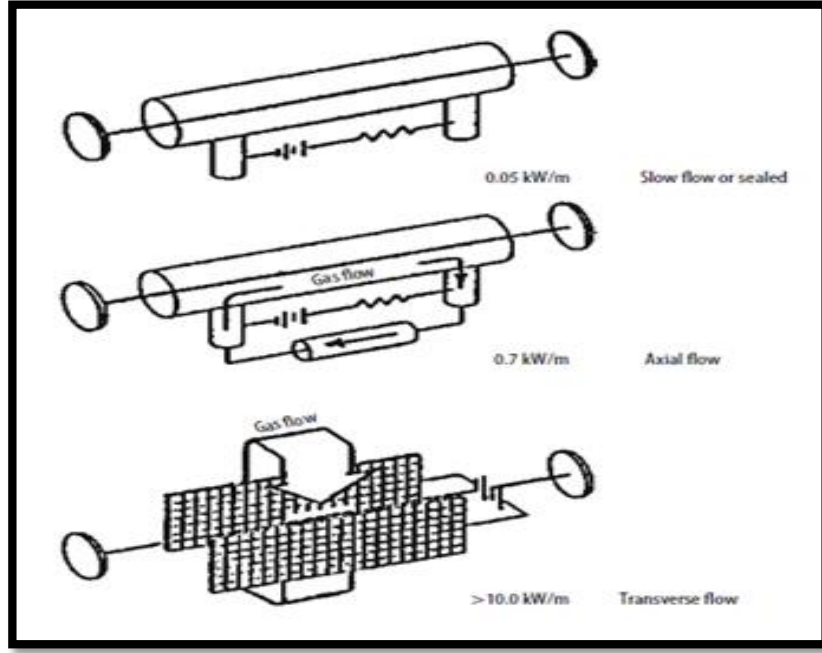
Çoğunlukla, tüm enerji kaynakları bir pompa kaynağı olarak kullanılabilir. Yaygın pompa kaynakları arasında flaş (tutarsız ışık), lazer (tutarlı ışık), elektronik (DC, RF veya darbeli gaz deşarjı, elektron ışını), kimyasal reaksiyon, iyon ışını ve X-ışını kaynakları bulunur (Steen, 2013).

Çıkış gücü, pompa gücü ve etkili kütle ile ilgilidir. Bu nedenle, güç, pompa kaynağını veya aktif ortamı yönlendirerek yönlendirilebilir (Şekil 2.4). Örneğin, hızlı aksenal akım CO_2 $0,7 \text{ kW m}^{-1}$ ve yavaş akım veya salmastra tasarımı $0,05 \text{ KWm}^{-1}$ verir.



Şekil 2.4. Dört Seviyeli Lazer Sistemi İçin Enerji Seviyesi Şeması

Optik rezonatör, aktif ortam tarafından üretilen ekseni ortama doğru ileri geri yansıtılmak üzere paralel ışık sağlar. Işık bu etki nedeniyle büyütüldüğünde ve fayda rezonatördeki gidiş-dönüş kaybına eşitse, amplifikatör ve rezonatör kombinasyonu lazerin eşliğindedir. Eksene paralel olarak hareket eden uyarma rezonatörü içindeki ışık birkaç kez büyütülür. Bunun tek kısmı, lazer ışınının her salınımı için kısmen aktarıcı bir pencereden geçmektedir (Şekil 2.5). Bu nedenle, optik rezonatör, " bir uçlu" % 100 ayna ve diğer uç kısmi aktarma aynası olarak ifade edilen bir oyuktur. Lazerler için bu oyuk aktif bir ortam ile doldurulur ve aktif ortamı uyarmak için bir elektromanyetik alan gibi bir pompa kaynağı sağlanır. Optik rezonatör ayrıca lazeri monokromatik ve yönsüz hale getirmekten ve aynı zamanda mekansal dağılımı uygulamaktan sorumludur (Steen, 2013). Şekil 2.5 amplifikatör ortamının metre başına lazer çıkış gücünün pratik sınırlarını göstermenin yanında, elektrikli gaz lazerin türlerini vermektedir.

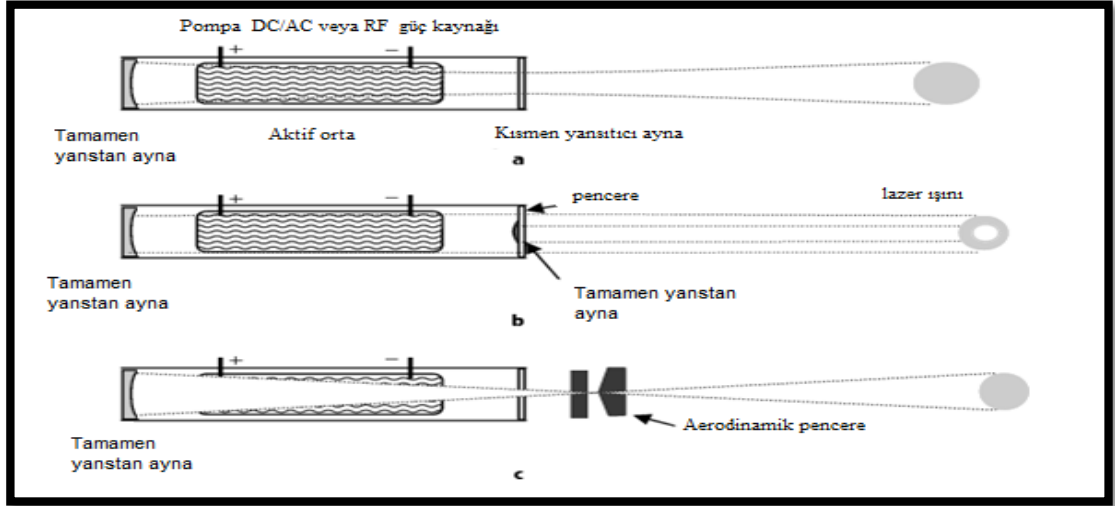


Şekil 2.5. Elektrikli Gazlı Lazer Türleri

2.3.Lazer Oluşum Kavramları

2.3.1.Genel Tasarım

Basit lazerler, optik osilatör formunda birbirine bağlanan iki aynanın birleşimidir ve bu ışık, aynalar arasındaki eksende yer alan odalar arasında gidip gelir ama bu hareket aynalar arasında sonsuza kadar sürmez. Ayna arasındaki aktif ortam, daha önce tarif edilen indüksiyon mekanizması ile ışık emisyonunun dalgalanmasını artırabilir. Aktif hale getirilmiş bazı aktif pompalama ortamı enerjileri de vardır. Bu genellikle eksimer lazer ve CO₂ (HE-NE) veya Nd: YAG gibi gaz lazerleri veya iyot lazerde olduğu gibi kimyasal reaksiyon katı hal lazerleri için odaklanmış ışık veya serbest elektron lazeri veya yarı iletken elektrik akımı için (DC veya RF) güç kaynağıdır. Şekil 2.6 'da bir optik düzenleme gösterilmektedir. Işığın bir miktar sallanma gücüne sahip iki aynasından biri, kısmen şeffaf çalışmayı sağlar. Diğer aynalar, elde edilebilecek en iyi sonucu verir (% 99.911 veya bu formlardan bazıları). Bu aynalar da yaygın olarak kırılma kayıplarını azaltır, enerji eğrisi sallanır ve her iki aynaya da olanak sağlar. Lazer oyuk aynalarının katlama sistemi şeklindeki tasarımı, diğerleri deliğin boyutları dahil olmak üzere ve ortamlara bağlı olarak yeryüzünde aktif bir soğuma durumuna hızlı bir şekilde dönebilir (Steen, 2013).



Şekil 2.6. Lazer Oyuğunun Basit Yapısı

2.3.2. Oyuk Ayna Tasarımı

2 kW güce kadar sürdürülebilir tasarımlara daha fazla lazer delikleri kullanılır (Şekil 2.6 a) çünkü kırılma riski olmadan çıkış aynasından güç aktarımı için güvenlidir. CO₂ lazer çıktı penceresinden çıktıyı dikkatlice istenen yansıtma düzeyine (tipik olarak % 35) yansıtmak deliklerin iç kısmına geri bildirim sağlar. Bu durum daha yüksek güçlü lazerler için olağandışı değildir. Yaklaşık 4 atmosferlik yüksek basınç, oyuktan oyuğa farklılaşacak şekilde değişir (Şekil 2.6 b). Çıkış aynasının kenar çevresindeki gücün, bu durumda metalin ışığı tamamen yansıttığı anlaşılmıştır. CO₂ lazer gibi aerodinamik bir pencerenin sistemlerine bir alternatif olarak, bu sayede girişim, yüksek hızlı gaz geçişli ışık huzmesi, düşük basınçlı gaz kafasının atmosfere çekilmesi sırasında vakumun tutulmasını sağlar (Şekil 2.6 c) (Steen, 2013).

2.4. Lazer Türleri

Aşağıda gösterilen birçok lazer çeşidi vardır ve bu çalışmada yüksek mukavemetli düşük alaşımli çeliklerin kesilmesi için CO₂ lazeri kullanılmıştır. Lazerlerin dalga boyu boyunca görünür lazer radyasyonu için yüzey elektron devresine ve işleme materyalleri için iyonizasyon etkilerine kadar genel ultraviyole lazerler ile moleküler titreşim seviyesine olan miktarları belirleyicidir. CO₂, Nd: YAG ve fiber lazer, hızlı diyotlar için kullanılan en popüler sistemlerdir ve bu noktada eksimer lazer de karşımıza çıkmaktadır (Steen, 2013).

2.4.1. Gazlı Lazer

Bu çalışmada kullanılan Karbon Dioksitli Lazerler CO₂ gibi birçok türde gazlı lazer vardır: CO₂ lazerleri, 10.6 µm dalga boyunda kızılötesi lazer radyasyonu yayar ve yaklaşık % 10 ila 13'lük bir genel etkiye sahiptir. Aktif lazer CO₂ lazer karma ortamı CO₂, N₂ ve He gazlarından oluşur. CO₂ lazer aktif molekülleri aktive eder ve gazlı lazerler elektrik deşarjı ile aktif ortamı uyarır. CO₂ molekülleri için elektron etkisinden enerji transferi sırasında azot moleküllerinin uyarılması gerçekleşir. Uyarılmış CO₂ moleküllerinin enerjisinden (yüksek titreşim seviyeleri) daha düşük enerji seviyelerine (düşük titreşim seviyesi) geçiş, fotonların salınması ile birlikte lazer ışınının serbest kalmasına yol açar. Helyum atomlarını CO₂ molekülleri ile çarpıştırarak gaz karışımının önemli bir payının temel durumuna geri dönmesi sağlanır. CO₂ molekülleri temel durumlarına döndüklerinde başka bir döngü ortaya çıkar. Gaz karışımı veya radyo frekans uyarımı gaz için elektrik deşarj uyarılması yapar (Laser, 2000). Diğer gazlı lazer türleri karbon monoksit lazerler ve eksimer lazerler olarak sıralanabilir.

2.4.2. Katı Haldeki Lazerler

Neodimyum-Doped Yitrium Alüminyum Granat Lazerler, Neodimyum Cam Lazerler, Diyot Pompalı Katı-Hal Lazerleri ve Yarıiletken Lazerler bunlar arasındadır. Bu tezde belirtilmeyen diğer birçok türü de vardır: Boya Lazerleri, Serbest Elektronlu Lazerler ve Fiber lazer şeklindedir.

2.5. Lazer Uygulamaları

Metal ve diğer malzemelerin kesilmesi ve delinmesi gibi endüstri kollarında, bilimsel araştırmalarda, haberleşmede ve cerrahi tıp uygulamalarında kullanılmaktadır (Badoniya, 2018).

Uygulamalar üç gruba ayrılır: optik kullanımlar, güç kullanımı, malzeme işlemede olduğu gibi ve atomik füzyon için ultra yüksek güç kullanımlarıdır (Steen, 2013). Tablo 2.2 lazer uygulama alanlarının çoğunu göstermektedir.

Tablo 2.2. Genel Lazer Uygulamaları

Özellik							Uygulama
Lazer	Etki	Tekil Mod	Yüksek Güç	Tutarlılık	Sapma Hatası	Tek Renklilik	
He-Ne, Ar			**		***		Güçlü ışık
He-Ne					***	*	Hizalama
He-Ne, ruby, Nd:cam		*		***	**	***	Uzunluk Ölçümü
He-Ne, Nd:cam				***		***	Hız ölçümü
Tümü görünür		***	**	***	**	***	Holografi
He-Ne				***		***	Nokta interferometre
He-Ne, ruby			**	**		***	Denetim
Dye, GaAs			**	***		***	Kirlilik algılama
Nd:YAG			*		**	***	Analitik Teknikler
GaAs, GaAsP		*		**	***	***	Kayıt
He-Ne, GaAs, I2				***	***	***	İletişim
CO ₂ , Nd:YAG veya Nd:cam, eksimer	** *	**	***		**	*	Isı Kaynağı
CO ₂ , ruby, Ar, eksimer					***	***	Tıbbi Kullanım
He-Ne, Ar			**		***	***	Baskı Uygulamaları
Dye, Ar, Cu			***		***	***	İzotop ayrımı
CO ₂ , Nd:cam			***		***	***	Atomik füzyon

➤Lazer Uygulamaları

1- Düşük güç uygulaması

- İletişim
- Metroloji
- reprografi
- Eğlence

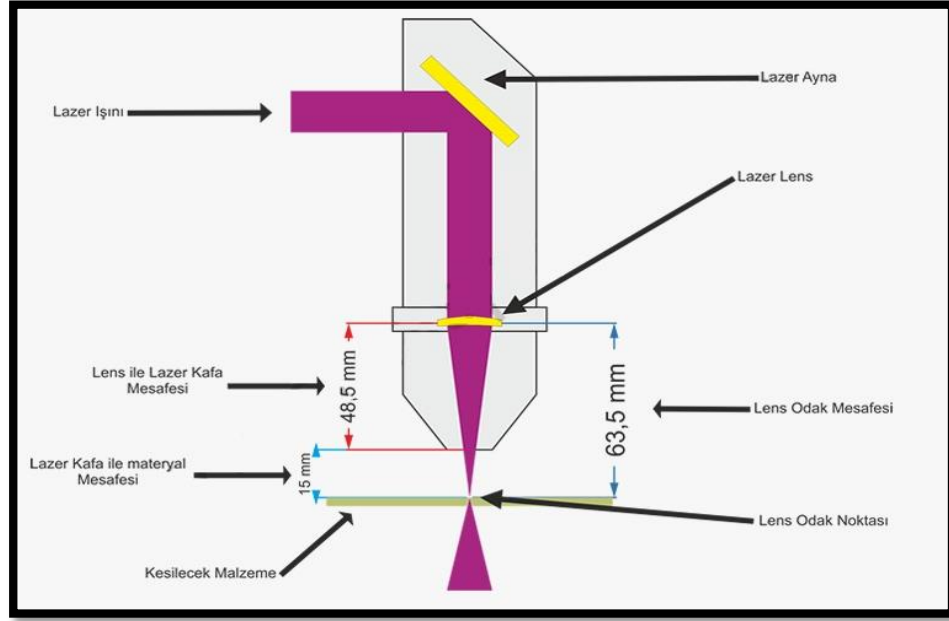
2- Yüksek güç uygulaması

- Askeri

- Kimyasal
- Tıbbi
- Lazer malzeme işleme

2.6. Lazer Kesim

Lazer kesim, çeşitli üretim endüstrilerinde geniş bir uygulama alanı bulan ve rağbette olan bir imalat kesim prosesidir (Sharma, 2017). Lazer alanındaki ana uygulamalardan biri olan lazer kesim, proses endüstrisinden, beyaz eşya sektörüne ve hatta yüksek mukavemetli çelikten yapılmış boruların karbon dioksit lazerleri ile ustaca kesildiği otomobil imalat sektörüne kadar uzanmaktadır (Thombansen ve Hermanns vd., 2014). Lazer kesim işlemi, odaklanmış lazer ışını ile hassas levha üzerinde gerçekleştirilmektedir (Miroslav, 2011). Lazer kesim, faz dahilinde ışık dalgalarının aynı anda ve aynı yönde birlikte hareket etmesi ile bir ışıktan doğan foton akışı olup, uzun mesafelerde tek ve tutarlı bir frekansa ve güçlü ve yoğun oldukça kompakt bir ışına sahiptir. Malzemeyi erime veya buharlaşma sıcaklığına ulaştıran bir prosesdir. Isıtma işlemi, enerjiyi oldukça küçük bir alana yoğunlaştırmak suretiyle gerçekleştirilir (şekil 2.7). Bu proses, birçok malzeme türünün daha az enerji ile 20 mm kesilebilmesini sağlar (Patel, 2011). Son 20 yılda, lazer kesim işlemi geliştirmek ve iyileştirmek amacıyla birçok deneysel araştırma gerçekleştirilmiştir (Miroslav, 2011). Lazer kesim prosesinde nihai ürün kalitesini birçok faktör etkilemektedir. Bu faktörlerden bazıları, merceğin odak ayarı ve iş parçası kalınlığıdır (Oner, 2010).



Şekil 2.7. Lazer Kesici İşİ

Lazer kesimi, enerji ve teknik gazı azaltmak için kesme malzemesinin yüksek saflığı ile farklı malzemeleri kesmeye imkan veren bir teknolojidir. Lazer radyasyonu karakteristiği nedeniyle diğer yöntemlerle neredeyse kıyaslanamaz özelliktedir (Krajcarz, 2014). En net kesim yöntemi lazer kesimdir. Bir CAD dosyasının kullanımı ile belirli bir malzemenin tasarımında kullanılır. Üç temel lazer türü vardır: CO₂ lazer, Nd lazer ve Nd-YAG lazer. Bunlar, lazer gücü ile malzemelerin yanması, eritilmesi veya buharlaştırılmasının sağlanmasını içerir. Metallerin ve malzemelerin CO₂ lazer ile kesilmesinin zor olmadığını akılda tutularak, geniş bir malzeme yelpazesi kesiminde ince iş elde edilebilir, ancak lazer bunları oyabilmektedir.

2.6.1. Neden Lazerler Kesim için Kullanılır?

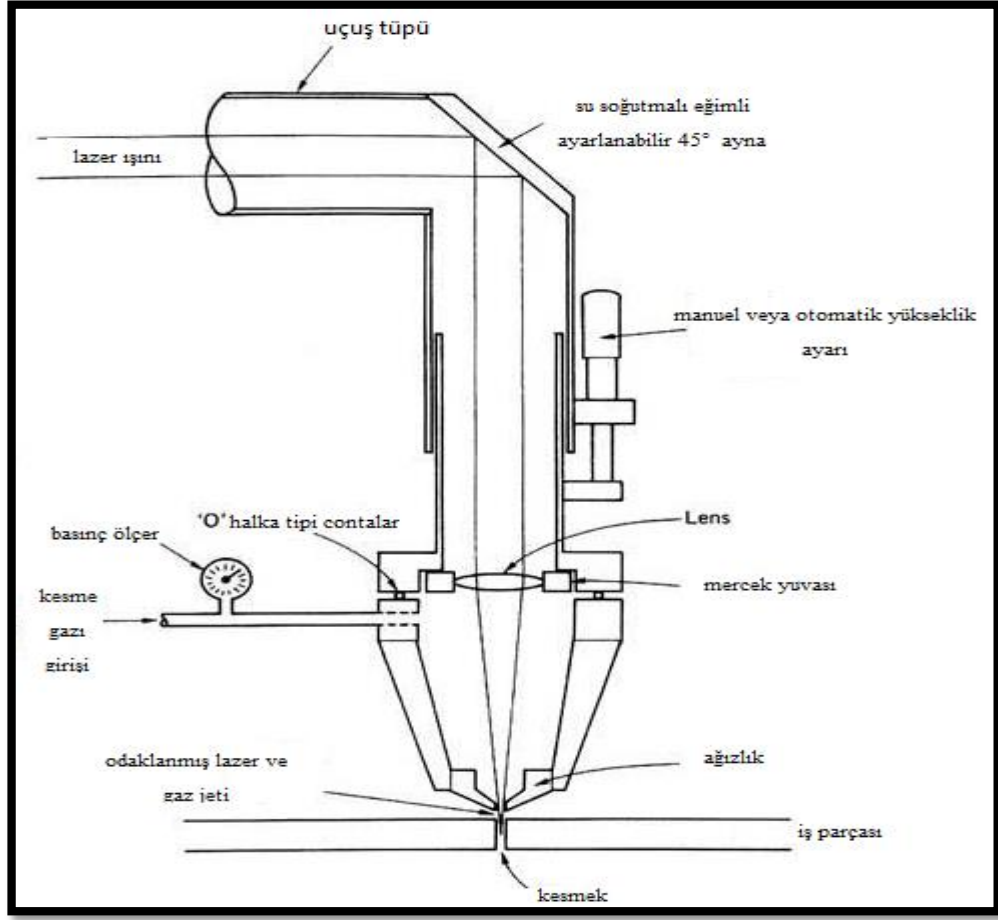
Lazerler birçok amaç için kullanılmaktadır. Öncelikle birçok endüstriyel alanda farklı malzemeleri, özellikle de kesilmesi zor malzemeleri kesmek veya işlemek amacıyla kullanılmaktadır. İkinci olarak ise, lazer kesim prosesi, oldukça küçük bir kerf genişliği istendiğinde bunu sağlaması ve küçük ısı etki bölgesi ile geleneksel kesim proseslerine göre avantajlara sahip olup, diğer kesim aletleri ile kıyaslandığında yüksek doğruluk ve kusursuz kesim kalitesi sağlar (Supri, 2012). Bunun yanında proses sonucunda küçük bir metal deformasyonu, kesik kenar köşeler ve hafif oksit tabakası bırakmaktadır (Patel, 2011).

2.6.2. Kesme İşlemi

Lazer kesiminin temel mekanizması son derece basittir ve aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Lazerler yüksek yoğunluklu kızılötesi ışın demeti üretir.
2. Bu ışın, iş parçasının yüzeyine bir mercekle odaklanır.
3. Odaklanan ışın, malzemeyi ısıtır ve erimiş malzemenin derinlikleri levhaya bağlıyken çok lokal erime (genellikle 0.5 mm çapından küçük) gerçekleştirilir.
4. Lazer ışını ile eş eksenli olarak etki eden bir basınçlı gaz jeti erimiş materyali çıkarır (Şekil 2.8). NB, belirli malzemelere sahip gaz jetleri, kesme işlemi ve kimyasalın yanı sıra fiziksel çalışmayı hızlandırabilir. Örneğin, çelikler çoğunlukla saf bir oksijen jeti ile kesilir. Oksidasyon işlemi, lazer ısıyla üretime başlar ve bu büyük ölçüde işlemin verimliliğine katkıda bulunur.
5. Bu lokal alanda materyalin uzaklaştırılmasıyla sonuç olarak levha kesme işlemi yüzeyi boyunca hareket ettirilir. Hareket, lazerli odak noktası manipülasyonu (CNC ayna ile) el ile veya CNC X, Y tablosunda mekanik hareketle gerçekleşir, ayrıca malzemenin bir ekseninde hareket ettiği ve lazeri işaret ettiği "Hibrit" sistem de mevcuttur.

CO₂ lazer kesiminin ilk endüstriyel kullanımı ambalaj endüstrisi için renklendirme amaçlı kontrplak levhaların kesilmesinde gerçekleşmiştir. 1971 yılının başlarından beri, hemen hemen her türlü malzeme için büyük ticari ve teknik başarısı ile kullanılan bir süper lazer teknolojisi ve lazerler geliştirilmiştir (Powell, 2012).

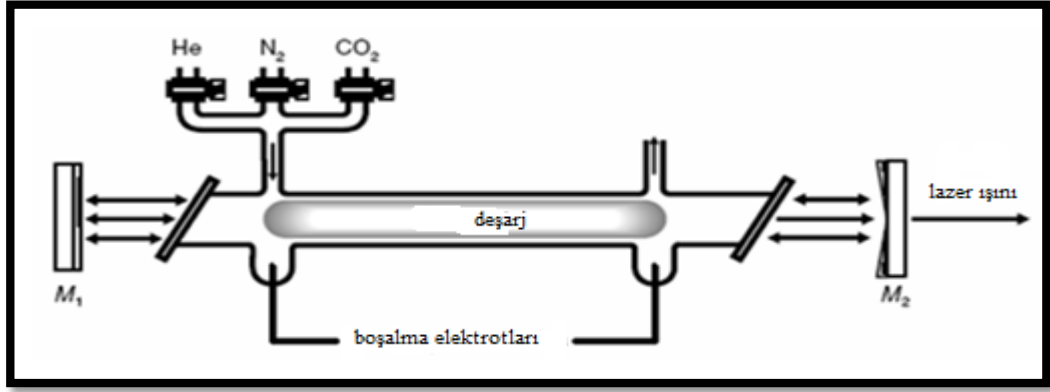


Şekil 2.8. Lazer Kesim Şeması

Soldan sağa veya hem düzlem projeksiyonunun içinde hem de dışında lens veya nozul veya her ikisinin miktarı ayarlanabilir. Bu, ışının nozul üzerine odaklanmasını sağlar. Nozul ve lens arasındaki dikey mesafe de yeniden ayarlanabilir.

2.6.3. Yüksek Güçlü CO₂ Lazeri

Lazer elemanlarının üç ana unsuru: aktif ortam (ışık üretiminin lazerlenmesi), güç kaynağı (aktif ortamı uyarmak için enerji kaynağı) ve rezonant boşluğu (ışığı büyüten iki paralel ayna içeren optik rezonatör) şeklindedir. Şekil 2.9 'da aksiyal CO₂ lazerin yapılandırması örneği gösterilmektedir (Kannatey-Asibu, 2009).



Şekil 2.9. Aksiyal Akışlı CO₂ Lazer Yapılandırması

Bir CO₂ lazerin aktif ortamı gazların bir karışımıdır. Aktif ortamda bulunan CO₂ miktarı % 1 ila % 10 arasındadır. Kalan hacim helyum (% 55-80), azot (% 14-40) ve az miktarda diğer gazlardan oluşur. Tam kompozisyon, optik kavitenin tasarımına, gaz akış oranına ve çıkış konektörüne bağlıdır. Gaz karışımı, yüksek elektrik potansiyeli oluşturan bu güç kaynağı ile uyarılmış moda saklanır (Chryssolouris, 2013). Rezonantkavitesi, iki ayna arasında uyarılan bir gaz karışımı içeren bir tahliye borusundan oluşur. Arka ayna tamamen % 99.9 oranında yansıtıcı şekilde iken ön ayna % 65 yansıtıcı ve % 35 şeffaf oranlarda çıkış ışımına izin verecek şeffaflıktadır. İstenen istikrarlı ışın demetinin elde edilebilmesi için kabul edilebilir ve yüksek verimli, ayna konfigürasyon tipleri rezonans kavitesinde kullanılabilir.

2.6.4. Lazer Işınıyla Kesme

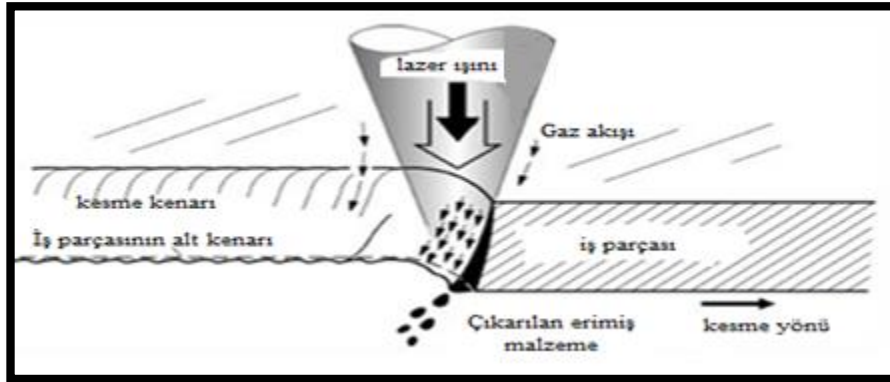
Lazer kesim, LBM'nin (Lazerli İşleme) ana uygulamalarından biridir. Yüksek hızı, hızlı kurulumu, düşük maliyeti ve çalışma hassasiyetinden dolayı birçok imalat endüstrisinde kendisine geniş uygulama alanı bulmaktadır (H. A. Eltawahni 2011). Son yıllarda lazer geliştirme teknoloji biliminde oldukça hız kazanmıştır. Lazerli işleme (LBM) prosesinde enerji kaynağının lazer olması halinde, söz konusu lazer, iş parçasının yüzeyindeki optik enerjiye odaklanır. Yüksek odaklı ve yoğunluklu enerji kaynağı, metalleri ve iş parçasının kısımlarını kontrollü bir şekilde buharlaştırır (Supri, 2012).

Lazerle işleme, günümüzde kesme, delme, yüzey işleme gibi birçok alanın yanı sıra frezeleme işlemlerinde de kullanılır. Buna ek olarak, lazerle işleme oldukça verimli ve

uygun maliyetli bir prosestir. Tıbbi uygulamalarda da lazerle işleme prosesi kullanılmaktadır (Supri, 2012).

Çok katmanlı malzemenin kesilmesi sırasında, lazer ışını malzemenin diğer katmanlarını kesmeden önce üst katmanı kesmesi için özel olarak kontrol edilebilmektedir.

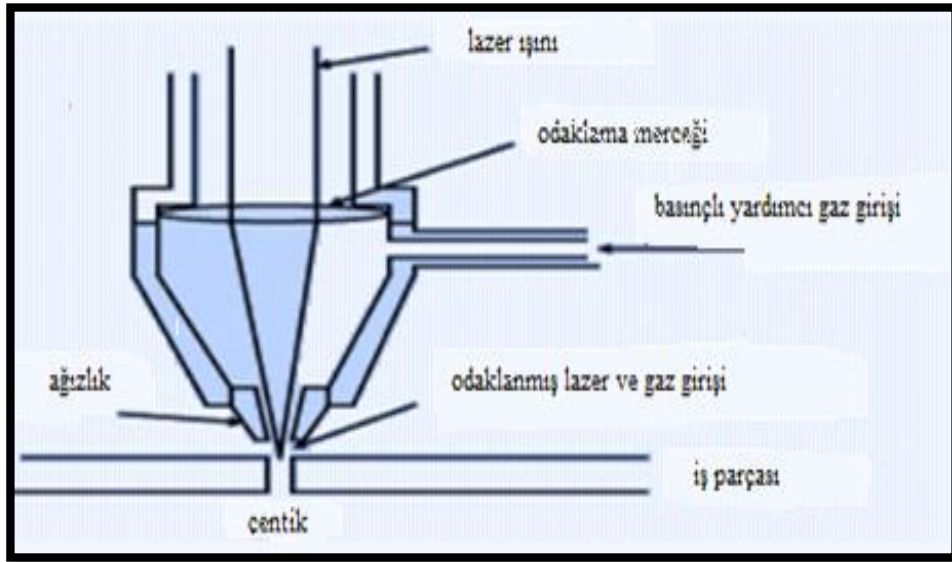
Termal enerji işleme işlemini kullanmaya bağımlı olmayan en yaygın işlemlerden biri, neredeyse tüm malzeme yelpazesi için uygulanabilir olabilen Lazer ışını ile işlemdir (LBM). 1960'lı yıllarda, lazerlerin keşfedildiği dönemden sonra, özellikle yüksek hacim yoğunluğu ve hassasiyeti nedeniyle mühendislik yapılarının kesilmesi gibi, malzeme işleme endüstrilerinde birçok uygulama geliştirilmiştir. Kesmek için gereken güç yoğunluğu tipik olarak yaklaşık $106-107 \text{ W / cm}^2$ 'dir. LBC' de, lazer ışını, ışığın ve malzeme özelliklerine bağlı olarak, hızlı bir şekilde eritmek ve buharlaştırmak için ısınarak kesilecek malzemenin yüzeyine odaklanır (Şekil 2.10). Erimiş metal ve buhar yardım gazı kullanarak dağıtılır. Farklı tipte yardımcı gazlar, nötr veya negatif olarak, kesme işlemi sırasında kimyasal reaksiyonlara pozitif bir reaksiyona katkıda bulunurlar (Kheloufi ve Amara, 2013). LBC'deki kesme işlemi, ilgili mekanizmaya bağlı olarak farklı kategorilere ayrılabilir.



Şekil 2.10. Lazer Füzyon Kesme İşlemi Prensipleri

Lazer, yaklaşık 10 cm'ye kadar kalın metal saçları kesmek için etkili bir şekilde kullanılabilir. Bununla birlikte, kesim için gerekli toplam ısı girişi nispeten küçüktür. Bu, kesimin kenarlarında yaklaşık 0.1 mm'lik küçük boyutlu ısıdan etkilenen bir bölge olmasına yol açar. Ek olarak, ışının küçük boyutu (ortalama 0.05-1 mm) çok dar bir kerf boyutuna odaklanır (Şekil 2.11). Aslında, ıraksak lazer ışınının doğası hafifçe

sivriltiilmiş bir kesim yüzeyi ile sonuçlanır. Odak derinliği tarafından kurulan paralel kenarları kesebilen iş parçasının kalınlığı belirlenir. Odak derinliğinden daha kalın olan levhalar tipik olarak kapalı yüzeylere yol açar (Kannatey-Asibu 2009). LBC düz ve kavisli kesimi, geniş bir yelpazede levha ve plaka stoku kullanılabilmesini sağlar. Kullanılabilen malzemeler arasında, plastik, kauçuk, seramik, ahşap, metaller ve kompozitler bulunur. Günümüzde malzemelerin kesilmesi için endüstriyel uygulamalarda kullanılan iki tip lazer bulunmaktadır. CO₂ gazlı lazer ve Nd-YAG katı hal lazeridir. Metal olmayan malzemelerin çoğu CO₂ lazerleri tarafından kesilebilir, çünkü bunlar 10,6 µm CO₂ dalga boyunda yüksek oranda asimile edilir.



Şekil 2.11. Lazer Kesim

Tablo 2.3 CO₂ ve Nd-YAG lazerin farklı materyalleri kesebilme kapasitesinin karşılaştırılmasını göstermektedir (Eltawahni, 2011). Lazer kesim, metalik, plastik ve ince seramik parçaların kesimi için yüksek hassasiyetli CNC kontrollü bir yöntem sunar (Powell, 2012).

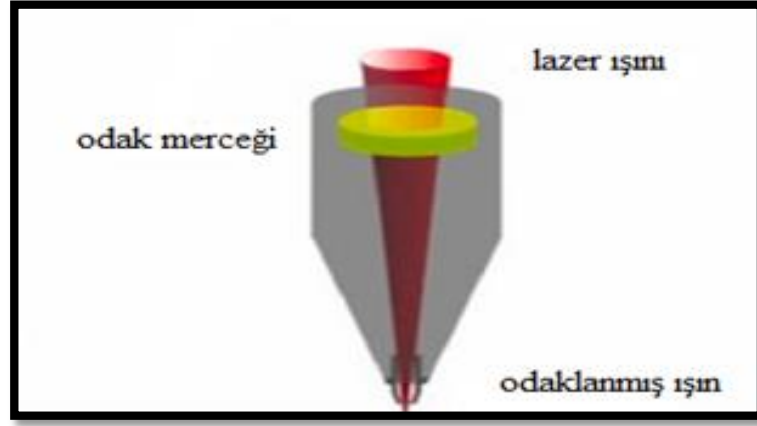
Tablo 2.3. İşleme Kabiliyetinin Özeti

Materyal	CO ₂ Lazeri	Nd-YAG lazeri
Metaller		
Yumuşak Çelik	Mükemmel	Mükemmel
Paslanmaz Çelik	Mükemmel	Mükemmel
Alaşımli Çelik	Mükemmel	Mükemmel
Takım Çeliği	Mükemmel	Mükemmel
Alüminyum & Alüminyum alaşım	İyi	İyi
Bakır & Bakır alaşım	Zor	İyi
Titanyum	İyi	İyi
Altın & Gümüş	Kötü	Zor
Ametaller, Organikle		
Kompozitler	Kötü- mükemmel	Kötü-İyi
Kauçuk	İyi	Kötü
Ahşap	Mükemmel	Kötü
Kağıt ve mukavva	Mükemmel	Kötü-İyi
Deri	Mükemmel	Kötü-İyi
Sentetik Kumaş	Mükemmel	Kötü-İyi
Ametal-inorganikler		
Kuartz	İyi- Mükemmel	Uygulanamaz
Cam	Zor	Uygulanamaz
Seramik	İyi	İyi
Taş ve Kaya	Kötü	Kötü

2.6.5. Lazer Kafası ve Toleransı

Işın lazer tüpünden yayılmakta olup, birçok ayna vasıtasıyla ‘lazer kafasına’ yansıtılır. Kafanın içinde ışını kesim veya kazıma prosesi için malzeme yüzeyine hassas bir şekilde odaklayan bir mercek mevcuttur (şekil 2.12).

Kerf, kesim prosesinde lazerin malzemenin ne kadarlık bir kısmını aldığını belirtmektedir (kesim sırasında oluşan yivin genişliği). Bu, malzemedan malzemeye değişmekte olup, ışın demeti toleransına, başka bir deyişle ışın genişliğine bağlı olmaktadır. Makineler oldukça iyi bir tolerans ve iyi bir hassasiyet özelliğine sahiptir.



Şekil 2.12. Lazer Makinesi Kafası

2.6.6. Farklı Malzemelerin Lazerle Kesilmesi

Malzeme çeşitliliği, alet değişikliğinin olmaması, ağır malzemelerde uygulanması, üretim esnekliği, dar kerfli hassas kesim, daha hızlı kesim prosesi, daha iyi hassasiyet ve iyi kesim kalitesi ile en iyi kesim yöntemi olan lazer ışını ile kesim, çeşitli malzemelerin kesilmesinde kullanılır.

Seramik ve kompozit malzemeler ile ileri mühendislik malzemeleri ve lazerle kesilmesi zor malzemeler gibi çeşitli malzemelerin lazerle kesilmesi konusunda birçok deneysel ve teorik araştırma yapılmıştır (Badoniya, 2018).

Lazer ışını, çeşitli kalınlıktaki malzemeleri hassas şekilde kesmek için kolayca programlanabilmektedir. Delme gibi alternatif yöntemlerle karşılaştırıldığında, lazer kesim çok küçük ölçekli üretimlerde bile ekonomik olarak kullanılabilir.

2.6.7. Lazer Kesim Parametreleri

Lazer kesim parametreleri, ışın özelliklerine bağlı olup, söz konusu özellikler şunlardır:

- Kesme oranı gereklidir.
- Kesilecek malzemenin türü ve kalınlığı.
- Arzu edilen kesim kalitesi.

Lazer kesim prosesi ve kesim kalitesi, lazer ve iş parçası parametrelerinin doğru seçilmesi ile doğru orantılıdır (Veli Kujanpää, 2006).

Lazer kesimi prosesinde malzeme kalınlığı ve yoğunluğu gibi önemli faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. İnce malzemelerin kesilmesi, aynı malzemenin daha kalın bir şekilde kesilmesinden daha az lazer enerjisi gerektirmektedir.

2.6.8. Karbon Dioksit (CO₂) Lazeri

Karbon dioksit lazeri, lazerli malzeme işleme uygulamalarında en yaygın kullanılan lazer teknolojisi haline gelmiştir. Bu tür lazerlerin keşfi 1964 yılına kadar uzanmakta olup, o tarihten beri birçok endüstriyel alanda başarıyla kullanılmaktadır.

Bununla birlikte, karbondioksit lazeri yoğun olarak kullanılmasına rağmen lazerin nasıl kullanılabileceği hakkında hala akıllarda olan birçok soru mevcuttur. Karbondioksit lazeri ile hangi malzemeler kesilebilir? Karbondioksit lazeri ahşabı kesebilir mi? Karbondioksit lazeri plastiği kesebilir mi? Karbondioksit lazerinin potansiyel uygulama alanları nelerdir? vb. sorular şeklindedir.

Karbon dioksit lazerleri, 10.6 µm dalga boyuna sahip kızılötesi lazer radyasyonu yaymakta olup, toplam verimleri %10 ila 13'tür. Karbondioksit lazerindeki lazer aktif ortam, karbondioksitin lazer aktif molekül olduğu CO₂, N₂ ve He gazlarının bir karışımıdır.

Karbon dioksit lazeri bir tür gaz lazeridir. Bu makinede elektrik, gaz üreten bir tüpten geçer ve ışık çıkar. Borunun uçlarındaki aynalar için ise, bu aynalardan biri %99'a kadar yansıtma özelliğine sahip olup, diğeri ise ışık geçirimini sağlamaktadır. Gazların karışımı genellikle CO₂, N₂, hidrojen ve He'den oluşmaktadır. Karbon dioksit lazerlerin ürettiği ışık, ışık spektrumunun uzak kızılötesi alanına düşmektedir ve görünmez. Bir karbondioksit lazerinden gelen ışık, kumaş, ahşap ve kağıt gibi çoğu malzemeyi kesebilecek kadar güçlü olup, en güçlü karbondioksit lazerleri çelik ve diğer metallerin işlenmesinde kullanılır (Badoniya, 2018).

Genel olarak, metalleri kesmek için kullanılan karbondioksit lazerleri metal olmayan malzemelere göre çok daha yüksek güç seviyeleri gerektirir. Karbondioksit lazeri ile kesilebilen malzemeler üç ana gruba ayrılmaktadır:

1. Demirli metaller

- Hafif çelik

2. Demir olmayan metaller

- Alüminyum, titanyum ve diğer metal alaşımları

3. Metal olmayan

- Ahşap ve türevleri
- Kağıt ve türevleri
- Akrilik plastikler
- Deri, kumaş, duvar kağıdı ve benzeri ürünler
- Yiyecek ve bitkiler

Endüstriyel alana göre sipariş edilen karbondioksit lazerlerinin ana uygulama alanları aşağıdaki listede gösterilmektedir:

1. Kağıt yapımı endüstrisi

- Kesim karton kutular
- Kağıt ve karton kesimi
- Şablon kesim
- Dekorasyonlar

2. Ağaç işleri endüstrisi

- Her çeşit ve kalınlıkta ahşabın, özellikle Kontrplak ve MDF'nin kesilmesi
- İnce Ahşap Kakma
- Her türlü gravür

3. Gravürler ve kakmalar

- Lazer işleme
- Lazer oyma ve deri eşya kesme
- Lazer gravür adı ve plakaları
- Lazer kazıma ve kesme tekstilleri
- Lazer gravür elektronik bileşenleri
- Lazer kazıma anodize edilmiş alüminyum ve vernikli
- Cam, mermer ve taştan gravürler
- Fildişi üzerine kakma

4. Yaratma ve Özelleştirme

- Lazer kesim oyuk zımbaları
- Mimari modeller için lazer kesim
- Lazerle kesme plastik, karton veya ahşap göstergeler.
- Etiketleri kontur ve kes
- Gadget'ları kişiselleştirme
- Kişiselleştirme düğmeleri

Model yapımı için malzeme işleme yukarıda yer alan liste, karbon dioksit lazerleri tarafından işlenebilen birçok malzemenin özet bir listesi olup, karbon dioksit lazeri ile kesilebilecek birçok farklı malzeme mevcuttur. Karbon dioksit lazeri uygulamaları üzerine yapılan araştırmalar halihazırda deneyimlerin önemli bir rol oynadığı devam

eden bir süreç olup, yalnızca deneyimler olası uygulamalar hakkında bizlere kesin bilgiler sağlar.

2.6.9. Lazer Oksijen Kesim

Lazer oksijen kesim prosesinin temeli, odaklanmış lazer ışınının malzemeyi oksitleyici bir atmosferde ısıtması ve oksijenin maddeyi ekzotermik bir oksidasyon reaksiyonunda tutuşturmasıdır. Ekzotermik reaksiyon, kesim bölgesinde ekstra ısı girişi ve inert gazlı lazerle kesime kıyasla daha yüksek kesim hızı sağlamakta olup, lazerle kesim işlemini hızlandırmaktadır. Lazer ışını kerf içindeki yakma prosesinin başlatılmasından ve dengelenmesinden sorumludur. Yardımcı gaz ise erimiş malzemeyi kesim bölgesinden dışarı üfler ve lazer optiğini korur. Lazer oksijen kesim, yumuşak çelik ve düşük alaşımlı çeliklerde ayrıca kullanılabilir. Kesim cephesinde oksit tabakasının oluşumu, saf metalik bir eriyiğin absorpsiyonuna kıyasla lazer radyasyonunun absorpsiyonunu artırır. Oksitler eriyik viskozitesini ve yüzey gerilimini azaltarak eriyiğin atılmasını kolaylaştırır. Buna ilaveten, ortaya çıkan kesim kenarları oksitlenir (Veli Kujanpää, 2006). Lazer oksijen kesim prosesinde, metalin oksidasyonu absorbe edilen lazer gücüne ayrıca ekzotermal enerji salmaktadır (Ahmadi, 2009).

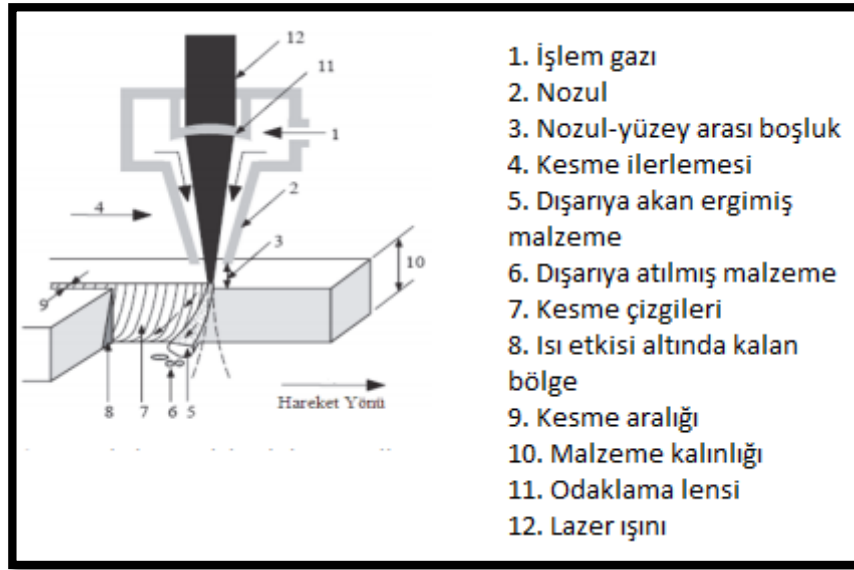
Lazer gücünün ve oksijen gazı basıncının artırılması, kesim bölümünün etrafında termal erozyonun artmasına neden olmakta olup, bu durumda striya derinliği belirgin şekilde artış gösterir. Ayrıca, kesim hızını yavaşlatmak ve oksijen gazı basıncını azaltmak, kesim yüzeyinde erkenden cürufun oluşmasına neden olur. Bu durumda, kesim yüzeyinde eriyik metal akışı gözlenir (Yilbas, 2008). Oksijen kesim prosesinde, malzeme lazer ışını vasıtasıyla tutuşma sıcaklığına kadar ısıtılır ve buharlaştırılır. Eriyik kaldırma prosesinin iyileştirilmesi için oksijen basıncı uygulanabilir. Yüksek oksijen konsantrasyonundan dolayı yana doğru yanmaların artmasından kaynaklanan kayda değer cüruf veya kötü kesiklerin neden olduğu soğutma etkisi sınırlıdır.

2.6.10. Isıdan Etkilenen Bölge (ITAB)

Isıdan etkilenen bölge, metalurjik yapısı ısıdan etkilenen ve erimeyen malzemenin bir parçasıdır. Lazer kesimin termal ısı ile kesme kenarında ısıdan etkilenen bir bölge

oluşur. Isıdan etkilenen bölgedeki mikro yapısal değişim, lazer kesim kalitesini belirleyen özelliklerden biridir. Isıdan etkilenen bölge genişliği, birim uzunluk başına enerji girişi ve kesim kalınlığı arttıkça artış gösterir. Isıdan etkilenen bölge genişliği, ısıya duyarlı bileşenlere yakın kesimlerin yapılacağı durumlarda önem kazanmaktadır(Veli Kujanpää, 2006).

Lazer kesim prosesinde, madde ile lazer kesim parametreleri arasında termal ve mekanik bir etkileşim mevcuttur. Isıdan etkilenen bölge, lazer kesim sırasında meydana gelen ısıdan mikroyapı ve mekanik özelliklerin etkilendiği yanmış ve erimeyen (şekil 2.13), temel malzeme alanıdır. Lazer gücü ve kesim hızı en önemli noktalar olup, lazer ışını çapı, ısıdan etkilenen bölgeyi etkileyen en düşük öneme sahip kesim parametreleridir (Miraoui ve Boujelbene vd., 2016).



Şekil 2.13. Sıcaktan Etkilenmiş Bölge

Isıdan etkilenen bölge, sıcak eriyikten kesim çevresindeki malzemeye iletilen ısı ile meydana gelir. Kalın malzemelerin kesilmesi halinde, kesim bölgesinden dışarı daha çok eriyik akması gerekir, bu da eriyikten çevredeki malzemeye uygulanacak ısı miktarını artırarak ısıdan etkilenen bölgenin genişliğini artıracaktır (Al-Mashikhi, 2011).

Isıdan Etkilenen Bölge, lehimleme, kesim veya kaynaklama sırasında yanmış, erimemiş, ancak mikroyapısı ve mekanik özellikleri ısıyla değiştirilen ana metalin bir

parçasıdır. Bu değişim, temel malzemenin gücünü azaltan ve feci sonuçlara yol açan hasarlara neden olabilir. Isıdan etkilenen bölge metalin içinde oluşur ve insan gözüyle görülmesi imkansızdır. Malzemenin kullanımı öncesinde ısıdan etkilenen bölgenin kısmen veya tamamen çıkarılması (taşlama gibi farklı bir proses ile) gerekebilir. Lazer kesim, tüm termal kesim teknikleri arasında en küçük ısıdan etkilenen bölgeyi oluşturur. Çünkü çok küçük bir bölgeye ısı uygular.

2.6.11. Lazer Kesimin Genel Fayda ve Sakıncaları

Lazer kesim imalat prosesine birçok önemli fayda sağlamaktadır:

1. Lazer kesim teknolojisi, ahşap, seramik, plastik, kauçuk ve bazı metaller gibi çok çeşitli malzemeleri kesmek için kullanılabilir.
2. Hızlı, doğru ve pazarın değişen ihtiyaçlarını karşılamak adına hızlı ve kolay bir şekilde ayarlanabilir.
3. İkincil temizleme işleminin çok az gerekmesi veya hiç gerekmemesi nedeniyle, birçok kesim seçeneğine kıyasla daha temiz bir prosestir.
4. İş parçasını doğru pozisyonda tutmak daha kolaydır.
5. Lazer kesim süreleri kısa olup, son derece hassastır. Kesme işleminin tamamı, geleneksel makaslara kıyasla daha kısa sürede ve kolay bir şekilde gerçekleştirilir.
6. Kesit parça çıkarıldığında, iş parçasının kesici bir aletle doğrudan teması olmamaktadır.
7. Kontaminasyon riskini azaltmaktadır.
8. Geleneksel ayırma işleminde, kesim prosesi sırasında oluşan ısı genellikle malzemeyi eritmektedir. Lazer kesimde ise, ısı alanı çok küçük olduğundan malzemenin deformasyon olasılığı azalmaktadır.

9. Lazer kesim makineleri sac levha kesimi için daha az enerji gerektirmektedir.
10. Lazer kesim şaşırtıcı bir şekilde çok yönlü bir teknoloji olup, tek parça halindeki daha karmaşık yapıları basitçe kesmek veya yakmak için kullanılabilir.
11. Bir veya iki kesim makinesi, diğer birkaç kesim makinesinin çalışmasında kullanılabilir.
12. Lazer kesim prosesi bilgisayar programları ile kolayca kontrol edilmekte olup, bu sayede kayda değer bir iş yükünden kurtarır.
13. Lazer kesim makinesi muayene ve onarımlar dışında insan müdahalesi gerektirmediğinden yaralanma ve kaza olasılığı ve sıklığı çok düşüktür.
14. Lazer kesim makinesi yüksek verim seviyesine sahip olup, talep edilen tasarım kopyaları birbirlerinin aynısıdır.
15. Maliyet ve kalite, herhangi bir ürünün pazarlanabilirliği açısından iki ana etkidir. Lazer kesim ise daha düşük maliyetle yüksek kaliteli bileşenlerin kullanılmasını sağlamaktadır.
16. Yalnızca maliyetlerine veya mevcudiyetlerine göre malzeme seçmek zorunda olan üreticiler, iş için en uygun olan malzemeleri seçebilirler.

Lazer Kesimin Sakıncaları:

1. Diğer kesicilere kıyasla daha fazla güç kullanır ve düzgün ayarlanmamış lazerlerin malzemeleri yakabileceği veya temiz kesemeyeceği için söz konusu lazerin düzgün çalışması konusunda daha fazla eğitim gerektirir.
2. Lazer kesim tipik olarak ıslak kesim gibi diğer proses türlerinden daha pahalıya mal olurken, faydaları genellikle bu maliyetlerden daha ağır basmaktadır.

3. Isıya maruz kaldığı takdirde plastiğin gaz yayması nedeniyle plastik parçaların lazer kesimi pahalı olabilir. Bu nedenle, lazer kesim hizmeti sağlayıcısı, oldukça pahalı olan havalandırma odasına sahip olmalıdır. Buna ek olarak, plastik kesim işlemi sırasında salınan gazlar zararlı ve zehirli olabilir.
4. Lazer kesim ile her türlü metal kesilemez.
5. Üretim hızı stabil değildir. Bu hususların her biri kullanılan malzemenin türüne, iş parçasının kalınlığına ve lazer kesimin türüne bağlıdır.
6. Sıcaklık ayarı ve lazer mesafesi bazı malzemelerin yanmasına neden olabilir.
7. Onarım ve deneme çalışmasında insan müdahalesi gerekmektedir. Söz konusu eylemler süresince, işçi yanıklara neden olabilecek lazer ışını ile yakın temas halindedir.

2.7. Lazer ve Plazma Kesim ile Su Jeti ile Metal Kesiminin Karşılaştırılması

Üretimde kullanılan ve sırasıyla daha karmaşık veya daha az karmaşık olan kesim prosesleriyle oluşturulan birçok farklı malzeme mevcuttur. Bu tez çalışmasında lazer kesim, su jeti ile kesim ve plazma kesim gibi üç farklı kesim türü arasında bir karşılaştırma ortaya koyulacaktır.

2.7.1. Lazer Kesim

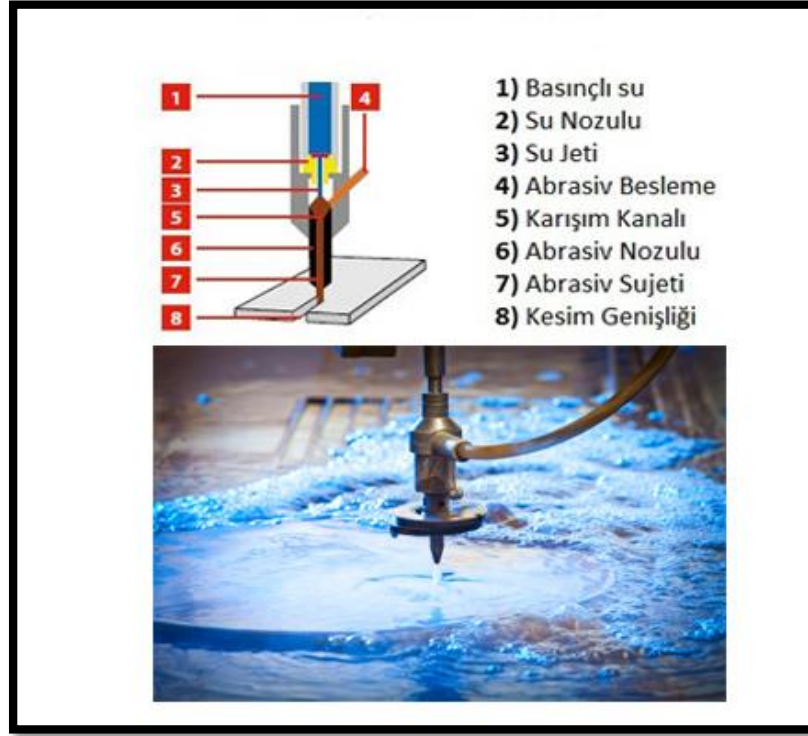
Lazer kesici, enerji için karbondioksit kullanan bir tür gaz lazeridir. Karbon dioksit aynalar vasıtasıyla malzemeye yönlendirilen bir ışın yoluyla iletilmektedir. Karbon dioksit lazerlerinde lazer kaynağı makinenin içinde bulunmakta olup, ışın 1500 ila 2600 Watt arasında bir güç sağlayabilir. Hassasiyet ve güvenlik, kesim malzemesinde dikkat edilmesi gereken önemli faktörlerdendir. Bu lazere, farklı malzemeleri kesmek için kullanılan bir teknoloji olduğu için enerji ve yüksek saflıkta teknik gaz ile kesim

jetinin yüksek noktası kullanılarak plastik, cam, ahşap ve tüm metallerin (yansıtıcı metaller hariç) kesicisi gibi başka bir tanım verebiliriz.

Lazer, radyasyon emisyonu uyarılmasına dayanan ışık amplifikasyonudur ve bu ışık, spektrumun çok dar bir alanından ışın vasıtasıyla iletilmektedir (odaklanmış bölümün en dar kısmı, 0.32 mm'den küçüktür). Özellikleri zaman ve yer radyasyonunda tutarlı ve düşük sapma ile en polarize ışını içermektedir. Kesim makinesine bağlı olarak proses üç şekilde gerçekleştirilir. Bunlar yanma, erime veya buharlaşma şeklindedir (Krajcarz, 2014). Lazer imalat faaliyetleri günümüzde kesim, kaynak, kaplama, ısıl işlem, oyma, tavlama, tıraşlama vb. kapsamaktadır. Bu çalışmada daha önce avantaj ve dezavantajlardan bahsedilmiştir.

2.7.2. Su Jeti ile Kesim

Su jeti ile kesim prosesinde, hedef malzemeyi erozyonla kesmek için, yüksek basınç altında ilave aşındırıcılı (çok sert malzemelerin kesilmesini sağlayan garnet) ince su jetleri kullanılmaktadır. Kesim malzemeleri için yüksek basınçlı su kullanma tekniği (aşındırıcı su jeti), ilk defa 1968 yılında ABD'de yaşayan bir Araştırmacı tarafından keşfedilmiştir. Aşağıda yer alan şekil 2.14 aşındırıcı su jeti kesim sistemini göstermektedir.



Şekil 2.14. Garnet İle Sujeti Kesimi

80'lerin başında ise su jeti ile kesim yönteminin evrimi başlamıştır. Günümüzde endüstride çeşitli mühendislik malzemelerinin işlenmesi için kullanılan ve geleneksel olmayan diğer kesim teknolojilerine kıyasla birçok avantaja sahip olup, hızla gelişen bir teknolojidir.

Su jeti kesicileri, malzemeyi kesmek için basınçlı su kullanır. Yüksek basınçlı bir pompa, suyu sert hortumlardan geçirir ve bu da güçlü bir su jeti oluşturur. Genellikle 4 ila 7 kW çıkış gücüne sahip su jetlerinin kesim kabiliyetini arttırmak adına söz konusu jetlere garnet ve alüminyum oksit gibi aşındırıcılar ilave edilmektedir. Su jeti ile kesim, 60,000 psi gibi yüksek basınçlı su jeti kullanarak malzemelerin kesiminde kullanılan bir prosestir.

Su jeti ile kesim makinesi ısı bölgeleri oluşturmaz. Bu özellik, söz konusu jetin çatlayabilecek, bükülebilecek veya eriyebilecek yumuşak malzemelerin kesiminde fayda sağlayacağı anlamına gelmektedir. Ayrıca soğuk kesim metodu nedeniyle deformasyon meydana gelmez. Su jeti, en yumuşağından en sertine kadar geniş bir yelpaze içinde yer alan malzemelerin kesilmesine olanak tanır. Tehlikeli atık oluşturmadan kusursuz bir hassasiyet sağlar (Krajcarz, 2014).

Su Jeti ile Kesimin Avantajları

- Hemen hemen her türlü malzemeyi kesebilir.
- Kesim prosesinin yakınında bulunan malzemeyi fazla ısıtmaz ve bu şekilde söz konusu malzemenin şeklini korur.
- Tehlikeli atık oluşturmaz
- Bertaraf maliyetlerini azaltır
- Büyük oranda kesin sonuç verir
- Kalın malzemeleri kesebilir

Su Jeti ile Kesimin Dezavantajları

- Proses, makine parçalarındaki hareketi engelleyebilecek aşındırıcı toz üretir.
- Çoğu metal için yavaş kesim hızına sahiptir.
- Kesim su altında olmazsa, gürültülüdür.
- Aşındırıcı malzemeler pahalı olabilmektedir.

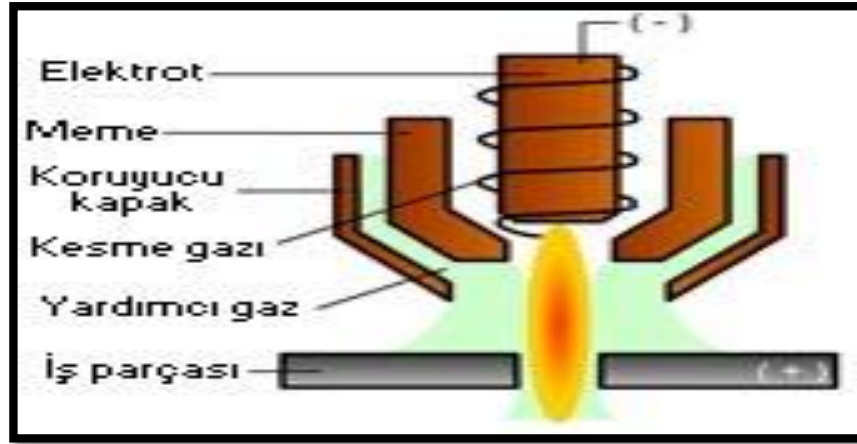
2.7.3. Plazma Kesim

Plazma kesim teknolojisi, hızlandırılmış bir sıcak plazma jeti kullanarak elektriksel olarak iletken malzemeleri keser. Eriterek metali keser ve çalışma alanından uzağa üfler. Plazma teknolojisi metal kesiminde kusursuzdur.

Plazma kesim teknolojisi, hızlandırılmış bir sıcak plazma jeti kullanarak elektriksel olarak iletken malzemeleri, çeliği ve muhtelif kalınlıklarda çeşitli metalleri keser. Bu proses, metal eritmeyi ve buna müteakip kesilmiş metalin yarıktan atılmasını

kapsamaktadır. Yüksek kinetik enerjiye sahip konsantre bir plazma arkı ile bu proses gerçekleştirilir.

Plazma kesim, çekirdek plazma arkında ve yüksek hızlı plazma akışında etkili olan yüksek bir sıcaklık kullanır. Tungsten elektrotu ile kesilecek malzeme arasında elektrik arkı oluşturulup, gaz akışı arkın sıkıştırılmış formundan geçirilerek çalışmaktadır. Genellikle gaz plazma kesimi olarak kullanılan hava ve oldukça güçlü cihazlar için kullanılan argon, N₂, hidrojen ve CO₂'deki yüksek güç yoğunluğu bir plazma akımı üretebilir (Şekil 2.15). Plazma arkları oldukça sıcak olup, yaklaşık 25.000 °C'dir. Genellikle metal kesim plazma kalınlığı 50 ila 150 mm arasındadır (Krajcarz, 2014).



Şekil 2.15. Plazma Ark Kesme Meşalesi

Avantajları

- Çok çeşitli metalleri keser
- 0.008'den daha iyi oranda doğruluk sağlar
- Etkileyici delik kalitesi
- Ekonomik
- Hızlı kesim hızları

Plazma Kesimin Dezavantajları

- Su ve lazerden daha az oranda doğruluk sağlar.
- Farklı malzemelerle yapılan işlemlerde kesim kenarını değiştirmeniz gerekir.
- Kesim işleminde duman çıkarır.
- Bazı malzemelerde düşük kenar kalitesi oluşturur.

Aşağıdaki tablolarda, CO₂ lazer kesim işlemi ve su jeti kesim işlemi kullanılarak metal malzemenin endüstriyel malzemede işlenmesinde kullanılan metal kesiminin karşılaştırılması yer almaktadır. Tablo 2.4 Kesme Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Tablo 2.5 Temel İşlem Farklılıkları, Tablo 2.6 Tipik Proses Uygulamaları ve Kullanımları, Tablo 2.7 Sürecin Kesinliği verilmiştir.

Tablo 2.4. Kesme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Kesme yöntemi	Aşındırıcı su jeti	Lazer ışını
Hız	yavaş	hızlı
Malzeme kalınlığı	kalın ve ince	ince ve orta
Boyut detayları	küçük ve büyük karmaşık	küçük ve büyük karmaşık
Kavşak için uygun malzemeler	çoğu katı	yansıtıcı gövdesi olmayan homojen
Pas kaplı malzemeler	çok iyi	iyi
Kompozitler	Evet	Evet
Malzeme sertleştirme	yok hayır	Evet
Termal deformasyon	eksiklik	evet, küçük alan
Tehlikeli buharlar	yok hayır	genellikle

Tablo 2.5. Temel İşlem Farklılıkları

Konu	CO₂ lazer	Su jeti kesim
Enerji verme yöntemi	Hafif 10.6 µm (uzak kızılötesi aralık)	Su
Enerji kaynağı	Gaz lazer	Yüksek basınç pompası
Enerji nasıl iletilir?	Aynaların yönlendirdiği giriş (uçan optikler); CO ₂ lazer için fiber iletimi mümkün değil	Sert yüksek basınçlı hortumlar enerji iletir
Kesilen malzeme nasıl atılır?	Gaz jeti, artı ilave gaz malzemeyi dışarı atar	Yüksek basınçlı su jeti atık maddeleri dışarı atıyor
Meme ve malzeme arasındaki mesafe ve izin verilen maksimum tolerans	Yaklaşık 0,2 ± 0,004, mesafe sensörü, düzenleme ve Z ekseni gerekli	Yaklaşık 0.12 ± 0.04, mesafe sensörü, düzenleme ve Z ekseni gerekli
Fiziksel makine kurulumu	Lazer kaynağı daima makinenin içinde bulunur	Lazer kaynağı daima makinenin içinde bulunur
Masa boyutları aralığı	8 'x 4' ila 20 'x 6.5'	8 'x 4' ila 13 'x 6.5'
İş parçasında tipik ışın çıkışı	1500 - 2600 Watt	4 ila 17 kilovat (4000 bar)
Enerji verme yöntemi		Su

Tablo 2.6. Tipik Proses Uygulamaları ve Kullanımları

konu	CO₂ lazer	Su jeti kesim
Tipik işlem kullanımları	Kesme, delme, kazıma, ablasyon, yapılandırma, kaynak	Kesme, ablasyon, yapılandırma
3D malzeme kesimi	Sert ışın kılavuzluğu ve mesafenin düzenlenmesi nedeniyle zor	İş parçasının arkasında kalan enerji yok edildiğinden kısmen mümkün
İşlem ile kesilebilecek malzemeler	Tüm metaller (yüksek oranda yansıtıcı metaller hariç), tüm plastikler, camlar ve ahşap kesilebilir	Tüm malzemeler bu işlemle kesilebilir
Malzeme kombinasyonları	Farklı erime noktalarına sahip malzemeler zar zor kesilebilir	Mümkün, ancak bir delaminasyon tehlikesi var
Boşluklu sandviç yapılar	CO ₂ lazerle bu mümkün değildir	Sınırlı yetenek
Sınırlı veya engelsiz erişimli kesme malzemeleri	Küçük mesafe ve büyük lazer kesim kafası sayesinde nadiren mümkündür	Meme ve malzeme arasındaki küçük mesafe nedeniyle sınırlıdır
İşlemeyi etkileyen kesim malzemesinin özellikleri	µm'de malzemenin 10.6 emme özellikleri	Malzeme sertliği kilit bir faktördür
Kesme veya işleminin ekonomik olduğu malzeme kalınlığı	Malzemeye bağlı olarak ~ 0,12 - 0,4	~0.4 - 2.0
Bu işlem için ortak uygulamalar	Sac işleme için orta kalınlıkta yassı çelik sac kesimi	

Tablo 2.7. Sürecin Kesinliği

konu	CO₂ lazer	Su jeti kesim
Kesme yarığının minimum boyutu	0,006 kesme hızına bağlı olarak	0.02
Yüzey görünümü kesmek	Kesim yüzeyi çizgili bir yapı gösterecektir	Kesim yüzeyinin kesim hızına bağlı olarak kumlanmış olduğu görülecektir
Tamamen paralel olacak şekilde kesme kenarlarının derecesi	İyi, bazen konik kenarları gösterecektir	İyi, kalın malzemeler durumunda eğrilerde "kuyruklu" bir etki vardır
İşleme toleransı	Yaklaşık 0.002	Yaklaşık 0.008
Kesimde çapak derecesi	Sadece kısmi çapak oluşumu meydana gelir	Çapak oluşmaz
Malzemenin termal gerilmesi	Malzemede deformasyon, temperleme ve yapısal değişiklikler meydana gelebilir	Termal gerilim oluşmaz
İşleme sırasında malzemeye gaz veya su jeti yönünde etki eden kuvvetler	Gaz basıncı ince iş parçalarında sorunlara neden olur, mesafe korunamaz	Yüksek: ince, küçük parçalar sadece sınırlı derecede işlenebilir

Kesim teknolojisi, kesim endüstrisinde hem verimliliği hem de kaliteyi arttırmıştır. Lazer, su jeti ve plazma kesim, kesim endüstrisi için mevcut en iyi teknolojilerdir. Yukarıda yer alan bulgulara ilişkin yaptığım karşılaştırmadan yola çıkarak, lazer kesim tekniği metal kesim prosesinde en uygun yöntemdir. Sonuçları aşağıda yer alan noktalar ile özetleyecek olursak:

1. Her iki teknik de çoğunlukla 2 boyutlu nesnelere kesmek için kullanılır ve lazerle kesim prosesinde gravür işlemi de gerçekleştirilebilir.
2. Su jeti ile kesim, lazer kesimden daha risklidir.
3. Lazer kesim, su jeti ile kesimden çok daha doğru sonuç vermektedir.
4. Lazer kesim, su jeti ile kesimden çok daha ucuzdur.

5. Lazer kesim hızlı, doğru ve pazarın değişen ihtiyaçlarını karşılamak adına hızlı ve kolay bir şekilde ayarlanabilir.

2.8. Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Çelik

Yüksek mukavemetli düşük alaşımli çelik, kimyasal bileşimine ilave edilmiş az miktarda alaşım elementi içeren bir tür karbon çeliğidir. Alaşım elementlerinin kullanım amacı çeliğin korozyon direncini ve mukavemetini arttırmaktır. Bununla birlikte, karbon çeliğinden daha fazla mukavemet sağlayabilmesi için, yüksek mukavemetli düşük alaşımli çeliğin daha yüksek dayanıklılığa sahip olması ve ısı işleme daha duyarlı olarak üretilmesi de mümkündür.

Yüksek mukavemetli düşük alaşımli çelik, geleneksel karbon çeliklere göre iyi mekanik özelliklere ve korozyona karşı dayanıklılığa sahiptir ve HSLA çelikler 275 MPa'dan daha güçlüdür. HSLA çeliğinin kimyasal bileşimi, mekanik özelliklerin ihtiyaç duyduğu şeyi vermek için ürünün farklı kalınlıktaki mekanik özellikleri açısından farklı olabilir. Biçimlendirilebilirliği ve kaynak kabiliyetini koruma düşük karbon içeriği (% 0.05 ila % 0.25 C) ile sağlanır. Alaşım yapıcının diğer elemanları arasında, % 2.0'a kadar manganez ve küçük miktarlarda bakır, nikel, azot, kalsiyum, zirkonyum, titanyum, niyobyum ve molibden kombinasyonları bulunur (Davis, 2001).

2.8.1. HSLA Çelik Kategorileri

HSLA çelik altı kategoriye ayrılır:

- Siper çeliği: Atmosferik korozyon direnci ve katı çözültü güçlendirmesi için bakır, fosfor gibi birkaç alaşım elementi içerir.
- Ferrit ve perlitli mikro alaşımli çelikler: çökelmeyle güçlendirme, tane inceltme ve muhtemel dönüşüm sıcaklık kontrolü için çok az (çoğunlukla % 0.10'dan daha az), kuvvetlendirici karbür veya karbonitrür oluşturan öğelerin vanadyum, niyobyum, titanyum içerir.

- Haddelenmiş perlitli çelikler: karbon manganlı çelikler içerebilir, ancak aynı zamanda dayanıklılık, kaynak, şekillendirilebilirlik ve kaynak kabiliyetini arttırmak için diğer tabaka elemanlarından da az miktarda olabilir.
- Asikülerferrit (düşük karbonlu bainit) çeliği: düşük akımlı (% 0,05' ten az), yüksek akma dayanımları (690 MPa veya 100 ksi kadar yüksek) ile mükemmel kaynak, şekillendirilebilirlik ve iyi dayanıklılık kombinasyonlarına sahiptir.
- Çift fazlı çelikler: çeliklerin ferritik matriksinde martenzit mikroyapısına sahip olup, yüksek gerilme mukavemeti ve esneklik özelliklerinin mükemmel bir kombinasyonunu sunar.
- Kalıntı biçim denetimi: geliştirilmiş bir esneklik sunar ve titanyum veya zirkonyum, kalsiyum veya belki de nadir toprakların elementlerinin küçük eklemelerle kalınlık dayanıklılığı sunar, böylece sülfür deformasyonu, uzamış kırışlerden küçük, dağılmış formlara değişir.
- HSLA çeliği birden fazla grubun özelliklerine sahip olabilir. Bu kategoriler mutlak gruplandırmalar değildir. Örneğin, yüksek çelik tipleri form kontrolleri içerebilir. Ferrit perlitli mikro alaşımlı çelik, korozyona ve katı çözeltili sağlamlaştırmaya direnmek için ekstra alaşımlara sahip olabilir (Davis, 2001).

2.8.2. HSLA Çelik Uygulamaları

HSLA çeliğinin iyi özellikleri nedeniyle birçok uygulaması vardır, örneğin:

1. Petrol ve gaz boru hatları.
2. Ağır hizmet tipi ve depolama tankları.
3. Maden ve demiryolu araçları, otoyol ve off-road araçları.
4. Endüstriyel ekipmanlar

5. Güç iletim kuleleri.
6. İnşaat ve tarım makinaları.
7. Filika ve taraklı makinalar
8. Köprüler ve ışık direkleri.
9. Yapı ışınları ve panelleri.
10. Kar motosikletleri.
11. Çim biçme makineleri.
12. Yolcu aracı parçaları.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Lazer kesiciler, ışığın bir kısmını özümseyen bir malzeme yüzeyinde bir ışık emisyonunu merkezleyerek çalışır. Prensip olarak, bu ışık malzemeyi bir seferde küçük bir bölgede ısıtır. Bu ışığın enerjisi yakabilir, eritebilir, buharlaştırabilir ve alanı baskılayabilir. Bu projede CO₂ lazer için 10.6 µm dalgaboyu kullanılmıştır. Bu da lazer spotunun daha yüksek bir yoğunluğuna ve daha küçük odağına sahip olması demektir. Kullanılan lazer ışığının dalga boyu, kesilebilecek teorik minimum boyuttur. Kesimdeki kenarların düzgünlüğünü arttırmak için genellikle düşük güçte düşük hız gerekmiştir.

Bu deneysel çalışmada HSLA çeliği gücü 1500w gücünde AMADA FANCU-AF2000E- LC 2415 ALPHA III Lazer Makinesi ile 1000 devir / dakika kesme hızında kesilmiştir. Bu makine iyi avantajlara sahip ve modern bir makinedir.

3.1. (AMADA) FANCU- AF2000E- LC 2415 ALPHA III

LC ALPHA III lazer kesim makinesi iyi kalitede parçalar üretmesini sağlayan tek bir hareketli ayna üzerine tasarlanmıştır (Şekil 3.1). LC- ALPHA III serisi, üçüncü nesil ALPHA lazer kesim sistemleridir. LC- ALPHA III, çok düşük maliyet ile kesim yapılmasını vaat ettiğinden, yeniden işlenmenin tüketilmesi de ortadan kaldırılmakta, iş parçaları da daha fazla işlem için doğrudan sağlanabilmektedir. Bu makine çeşitli görevler için iyi sonuçlar üretebilmekte ve otomatik yeniden konumlandırma olasılığı, problemsiz uzun levhalar sağlamakta, yani daha büyük bir makinenin satın alınmasından kurtarmaktadır. ALPHA lazer makinelerinin özel avantajları, düşük çizik ve sıçrama oranıdır. Lazer kesim işlemi ve kesme gazları ve cüruf parçacıklarının emilmesi, tahrik edilen malzeme destek silindirleri arasında kesin olarak tanımlanmış bir alanda meydana gelmektedir.



Şekil 3.1. AMADA FANUC- AF2000E- LC 2415 ALPHA III

3.1.1. AMADA FANUC- AF2000E- LC 2415 ALPHA III Özellikleri

Aşağıdaki tablo 3.1' de bu lazer makinesinin özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.1. AMADA LC 2415 Alpha III Özellikleri

Parametreler	Detaylar
Üretim	Amada
Lazer Türü	CO ₂
Model	LC 2415 Alpha III
Üretim	Japan
Lazer çalışma modu	Pulse
Üretim Tarihi	2001
Makine Türü	CNC Lazer Kesme Makinesi
Kesme Yönü	X ve Y
Dalga Boyu	10.6 µm
Lazer Gücü	2000 W
Güç Kaynağı	200 V /220 V - 110 A - 33 KVA
Çalışma Aralığı X-Y-Z	2520 X &1550 Y & 300 Z & 15.8 B (mm)
Lazer prensibi	Hybrid lazer
Osilatör	FANUC C-2000B
Kesme Hızı	0 - 20 mm/min
Genişlik (W)	3608 mm
Uzunluk(L)	5614 mm
Ağırlık	6600 kg
Boy	2070 mm
Maksimum Levha Kalınlığı	12/6/3 mm

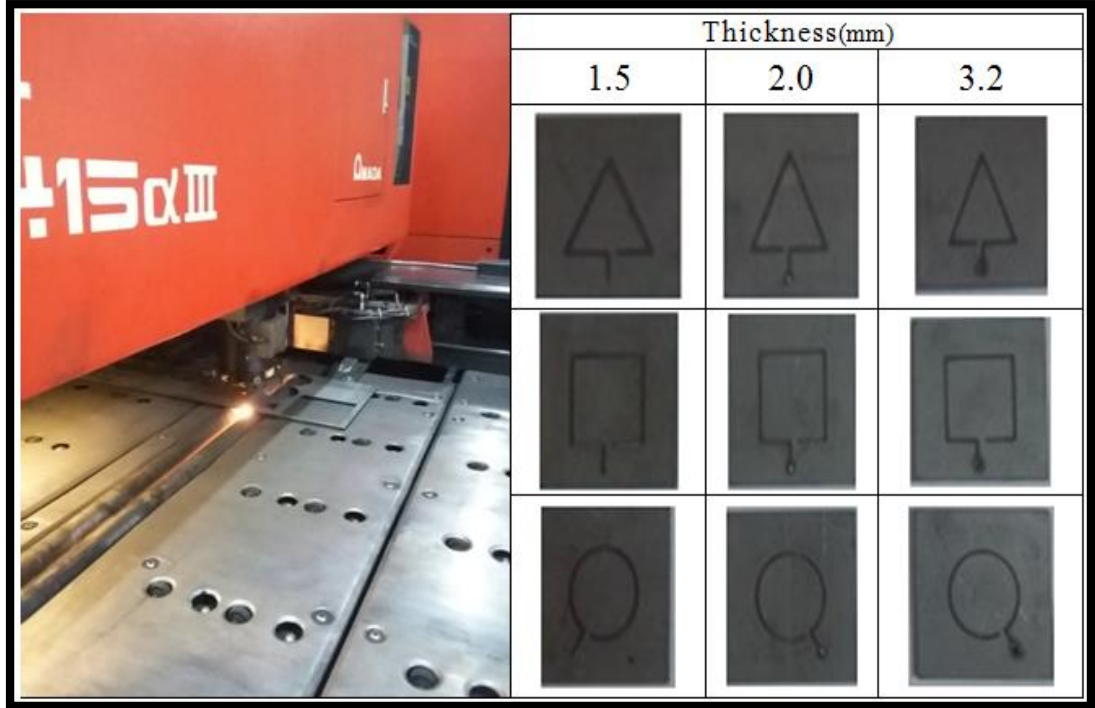
3.1.2. AMADA FANCU- AF2000E- LC 2415 ALPHA III Avantajları

AMADA lazer makinesinin kullanılması, aşağıdaki gibi avantajlar sağlar:

- Yüksek hızda işlem.
- Yüksek kalitede kesim.
- Stabil işleme sağlayan işlev
- Enerji tasarrufu ve daha az bakım gereksinimi

3.2. HSLA Çeliğın Amada Makinesi ile Kesilmesi

HSLA çeliğının kesilmesi Şekil 3.2' de gösterildiği gibi, farklı kalınlıklarda 1.5, 2.0 ve 3.2 mm basınç altında 1.0 bar oksijen gazıyla gerçekleştirilmiştir. Kontrollü kesme işlemi için gaz basıncının düzenlenmesi ve uygun nozul seçimi gerekmiştir (Karatas ve Keles vd., 2006).



Şekil 3.2. HSLA Çeliğının farklı kalınlıklarının CO₂ Lazer ile Kesilmesi

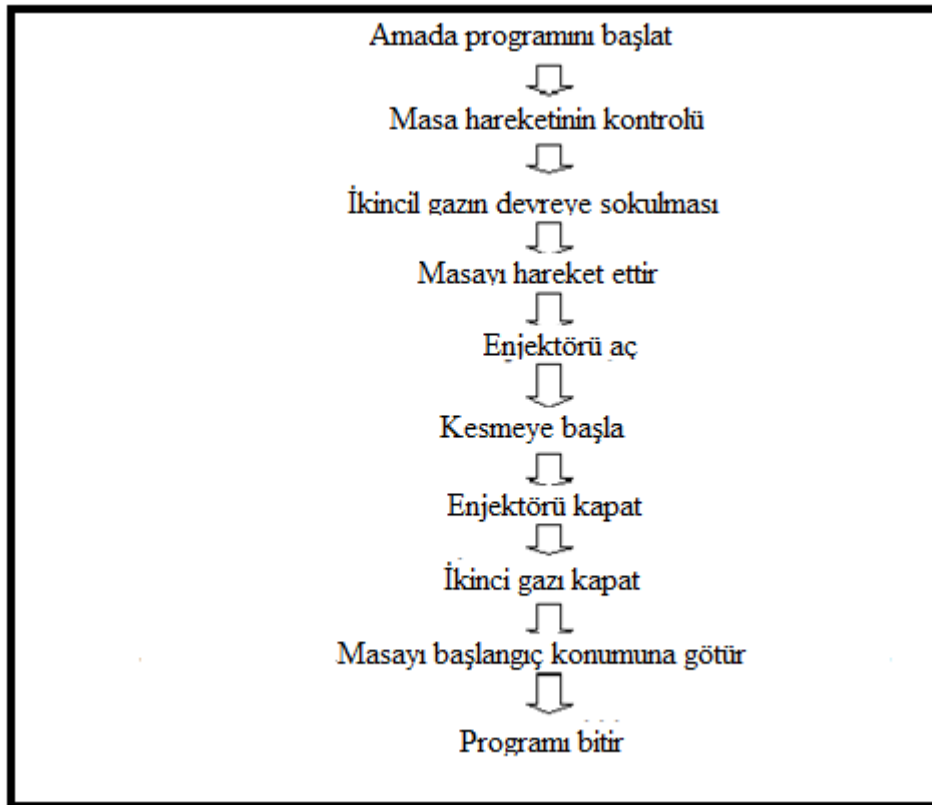
Ayrıca Şekil 3.3' de gösterildiği gibi 1,0 mm kalınlığında HSLA çeliğinde oyuk yapmak için oksijen gazı kullanılmıştır.



Şekil 3.3. HSLA Çeliğinde CO₂ Lazer ile Oyuk Yapılması

3.3. AMADA Fanuc Makinesinin CNC Programı

Aşağıdaki şekil 3.4 AMADA lazer makinesi programının nasıl çalıştığını göstermektedir.



Şekil 3.4. AMADA Fanuc Makinesinin CNC Programı

3.3.1. HSLA Çeliğin CO₂ Lazer ile Kesilmesinin Adımları

1. Lazer kesicinin temin edilmesi

Bu çalışmada AMADA FANUC- AF2000E- LC 2415 ALPHA III CO₂ lazer kesme makinesi kullanılmıştır.

2. Kesilecek materyalin seçilmesi

1mm, 2mm, 3mm olmak üç farklı kalınlıkta HSLA çeliği kullanılmıştır.

3. Lenslerin temiz olduğunun kontrol edilmesi.

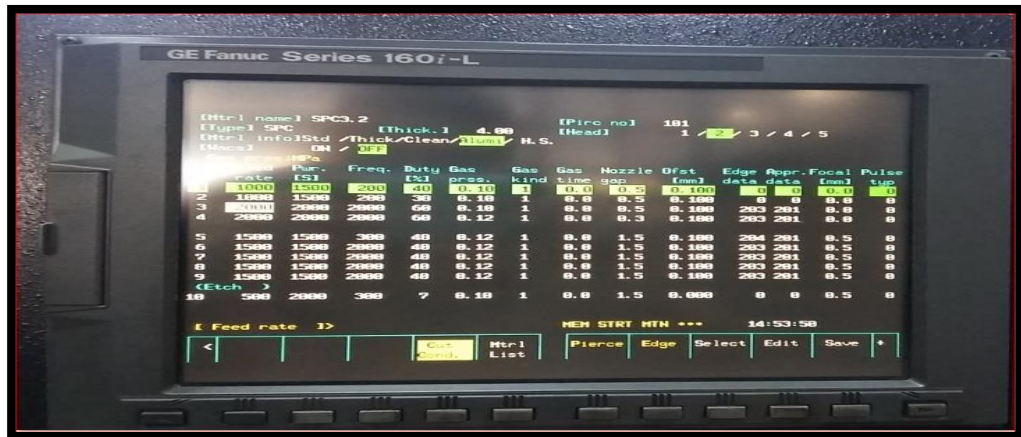
Kesilecek olan lensin ve malzemenin, iyi kesme kenarları elde etmek ve herhangi bir kısa kesimi önlemek için temiz olduğundan emin olunmuştur.

4. Makinenin açılarak kesime hazır hale getirilmesi

Lazer makinesini açılıp ve başlamadan önce ısınması beklenmiştir.

5. Kesim verilerinin CNC programında yazdırılması

Bu durumda, besleme oranı, güç, frekans, görev devri, gaz basıncı ve gaz türünü bilmemiz gerekmektedir. Şekil 3.5' te 3.2 mm kalınlık için gösterilen verilerdeki gibi.



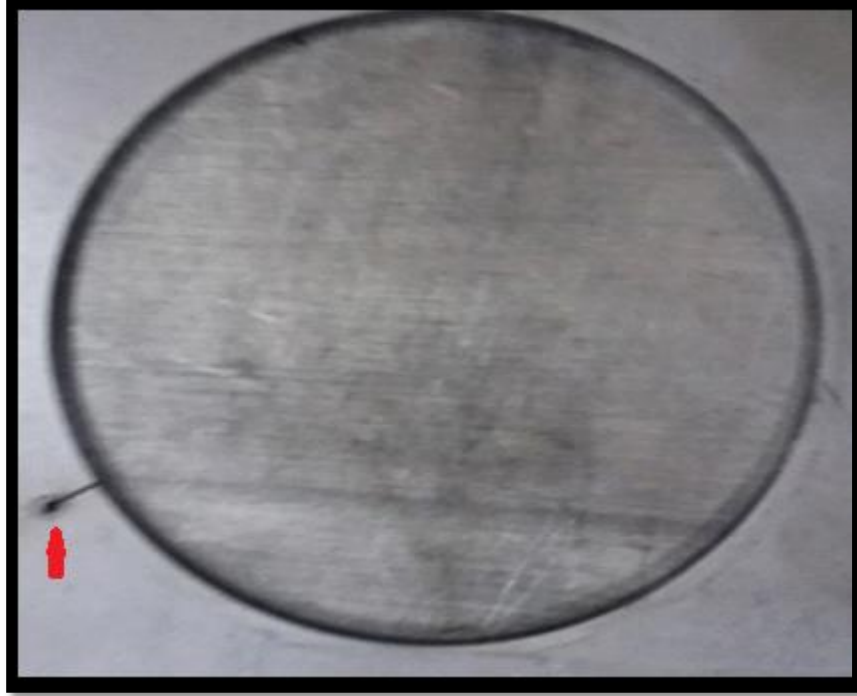
Şekil 3.5. HSLA Çelik için CNC Programındaki Kesme Verileri.

6.Lazer kesicinin çizgi genişliği ve kesme hızının ayarlanması ve ardından malzemenin kesilmesi

Program tamamlandıktan sonra materyal kesilmeye başlanır. CO₂ lazeri ile kesmeye başlanıldığında işimize yakın küçük delikler yapmak gerekir, bu deliklere ise darbe adı verilir.

3.3.2. Darbeli Lazer Kesimi

Darbe tekniği, çalışma alanındaki yanmayı azaltmak ve bir kesimin yüzey kalitesini arttırmak için kullanılır. Darbeli mod kullanılmıştır çünkü bu modda lazer materyal geliştirme çerçevesine göre herhangi bir yavaşlama için işlenen parçaya güç girişini değiştirmek son derece basittir. Kesme işleminde, lazer enerjisinin darbeye neden olduğu çizgilerin üretilmesi için malzemeyi delmek suretiyle bir delik açmamız gerekir (Şekil 3.6). Doğru darbe parametrelerini kullanmak, birbirine yakın olan kesikli çizgiler sunmak için düşünülebilir, yani pürüzlülük azaldığı için kesilen yüzey kalitesi artar (Powell, 2012).



Şekil 3.6. Darbeli Lazer Kesimi

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Aşağıdaki tablo 4.1 farklı kalınlıklarda HSLA çeliğinin kesilmesinin, kesme işlemlerinde kullanılan parametrelerin sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 4.1. HSLA Çelik'in Farklı Kalınlıklarda Kesme Parametreleri

Kalınlık(mm)	İlerleme(rpm)	Güç(watt)	Frekans(HZ)	Görev devri(%)
1.5	1000	1500	300	31
2.0	1000	1500	300	32
3.2	1000	1500	200	40

4.1. Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Çelik

Bu çalışmada Ferrit Perlit Mikro alaşımlı çelikler kullanılmıştır. Çeliğin içeriğinde vanadyum, niyobyum, titanyum gibi elementler bulunmaktadır. Şekil 4.1'de HSLA çeliğinin lazer ile kesimi gösterilmiştir.



Şekil 4.1. HSLA çeliğinin lazer ile kesilmesi

Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Çeliğin Mekanik Özellikleri

Yüksek mukavemetli düşük alaşımli çeliğin üç ana gerekliliği mevcuttur (Skobir, 2011);

- Yüksek akma mukavemeti
- Düşük çarpma geçiş sıcaklığı
- İyi kaynaklama kabiliyeti

Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Çeliğin Kimyasal Bileşenleri

Yüksek mukavemetli düşük alaşımli çeliğin kimyasal bileşenleri şöyledir:

- Yeterli şekillendirilebilirlik için % 0.05-% 0.25 arasında düşük karbon miktarı
- Kaynaklama kabiliyeti ve % 2'ye kadar manganez miktarı
- Farklı kombinasyonlarda az miktarda krom, molibden, nikel, bakır, vanadyum, niyobyum, azot, zirkonyum ve titrasyon kullanılabilir
- Kalan kimyasal bileşenler ürün kalınlığına ve mekanik özellik gerekliliklerine bağlı olarak değişebilir.

Yüksek mukavemetli düşük alaşımli çeliğe silikon, bakır, krom ve fosfor eklenmesi korozyon direncini artırır. Sülfür inklüzyon şekil kontrolü sağladıkları için zirkonyum, kalsiyum ve diğer nadir bulunan toprak elementlerinin dahil edilmesi ile şekillendirilebilirlik geliştirilir.

4.2. HSLA Çeliğin CO₂ ile Kesilmesi

Sac levha kesimi, satış açısından endüstriyel alanda en iyi lazer uygulamasıdır. Bu uygulama, yüksek çıkış gücüne kombine edilmiş iyi kalitede ışın vermek için CO₂

tarafından kontrol edilir. Artık dünyada CO₂ lazer kullanan 30.000'den fazla kesme makinesi bulunmaktadır. Metal işleme endüstrisinde, artan üretkenlik, doğruluk, işlenmiş yüzeylerin kalitesi, malzeme ve enerjinin tüketimini azaltma arayışı vardır. Lazer kesimi, yüksek kaliteli ve daha düzgün kesim yüzeyi nedeniyle bilinen diğer termal işlemlere kıyasla iyi avantajlara sahip tipik bir termal işlem olarak kategorize edilir. CO₂ lazer kesiminin avantajlarından yararlanmak için, çeşitli termik ve farklı özelliklere sahip tüm malzeme ve kalınlıklarda ve lazer radyasyon parametrelerinin farklı yeteneklerini üretkenlik açısından daha iyi bir süreç olarak tanımlamak ve istenen sonucu elde etmek için gereklidir (Inamdar 2015). Daha kalın tabakalar için şu anda oksijen kesme, plazma, lazer ve su jeti kesim gibi farklı teknolojiler kullanılmaktadır (Davis, 2001). Bu çalışmada, HSLA çeliğinde çok etkili olduğu ve CNC yöntemiyle kesim yapmaya uygun olduğu için CO₂ gazlı lazer kullanılmıştır. Karbon dioksit lazerleri ile yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliği keserken, lazer güç yoğunluğu kerf genişliği boyutunu artıracaktır. Bu, kesim hızı düştüğünde daha belirgin hale gelmekte, yani lazer gücündeki küçük farklılıklar, kerf boyutunda büyük farklılıklar ile sonuçlanmaktadır (Badoniya, 2018).

4.3. Lazer Kesimin Avantajları

Lazer kesimin ana avantajları: temassız bir proses olduğu için malzemenin yıpranma sorunu veya vibrasyon yoktur. Düşük ısı girişi çok az bozulmaya neden olur ve kesim işlemi sayısal olarak kontrol edilebilmektedir (Suprı, 2012).

1. Yüksek verimlilik Düşük güç tüketimi

Lazer kesim makinesinin farklı şekillerde bileşenlere göre ayarlanabilmesi için sadece CNC programının değiştirilmesi yeterlidir, ayrıca iki boyutlu ve üç boyutlu kesim yapılabilmektedir.

2. Yüksek Hız

Malzemenin lazer kesim işleminde sabitleme ihtiyacı yoktur ve lazer malzemeleri keserken yüksek hıza sahiptir.

3. Yüksek Kalitede Kesim

Kesme hassasiyeti $\pm 0,05$ mm'ye kadar ulaşır, ayrıca kesim yüzeyi temiz ve güzel olmakla birlikte lazer kesimden sonra ısıdan etkilenen alan çok küçüktür.

4. Temassız kesme

Araç aşınması sorunu yoktur, alet değiştirmeye gerek yoktur, düşük gürültüye, az titreşime ve az kirliliğe neden olur.

5. Çeşitli malzeme kesimi

Lazer kesim ile metal ve metal olmayan, metal matriks ve metalik olmayan matris kompozit, deri, ahşap dahil olmak üzere daha fazla malzeme kesebilir.

6. Az bakım gereksinimi

Bir lazerin sadece programları değiştirilerek yenilenme şansı vardır ve lensler ve nozullar gibi ucuz parçaların değişimi yeterlidir.

7. Gelişmiş kenar kalitesi

Lazer, ayna benzeri bir yüzeye sahip bir kenarı kesebilir, üst kenar karedir ve alt kenar dokunulduğunda pürüzsüzdür.

4.4. Hassasiyet ve Güvenlik

- Hassasiyet, lazer kesiminde bir sorun değildir çünkü lazerin hızına bağlı olarak 0,006 değerine ulaşır.
- Uygun havalandırma gereklidir.
- Güvenlik gözlükleri her zaman gerekli değildir.
- Lazer kesim, duman ve toz üretir.

- Bazı plastikler ve metaller zehirli duman üretebilir.

Bu çalışmada ulaşılan sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- CO₂ lazer kesim iyi kabul görmüş bir endüstriyel işlemdir ve herhangi bir malzemeyi kesebilir.
- CO₂ lazer daha kalın malzemede daha iyi kesim kalitesi sağlar.
- Oksijen gazı 1 bar basınçta malzemeyi oksitlemek ve cürufu kesilen malzemeden uzaklaştırmak için kullanılır.
- Gaz, odaklama optiklerini sıçramalardan korur.
- Kalınlığı arttırırken kesik kenarların pürüzlülüğü metalik malzemeler için artar.
- Kullanılan malzemeler üzerinde herhangi bir termal ve mekanik gerilme tespit edilmemiştir.
- Mikro alaşımlı çelikler daha yüksek oranda yumuşaklık veya mekanik mukavemet elde etmek için soğuk veya sıcak olarak işlenmiş olabilir.
- Mikro alaşımlı çelikler su vererek soğutma tavlama nedeniyle çatlamaya eğilimli değildir ve düzeltilmeleri de gerekmez.
- Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler, yüksek akma mukavemeti ve iyi kaynaklama kabiliyeti nedeniyle yapısal uygulamalarda kullanılır.
- Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler, üretim sırasında alınan ısı işleme ve proses bağlı olarak, çoğunlukla ferrit, perlit, az miktarda karbür, karbonitrid ve nitridlerden oluşan mikro yapılara sahiptir.

- Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklerin akma mukavemeti 275 ila 550 MPa arasında değişmektedir.
- Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklerin çekme mukavemeti 380 ila 620 MPa arasında değişmektedir.

5. GENEL SONUÇLAR

Çok büyük kalınlıklarda farklı metal sacların kesilmesi, imalat şirketlerinin çoğunluğu için büyük bir sorundur. Mekanik kesim, muhtemelen çizerek, ince metal tabakalar için iyidir ve çoğunlukla düz kenar kesimlerinde uygulanabilir. Daha kalın levhalar için şu anda farklı termal veya su teknolojileri kullanılmaktadır. Bunlar; oksijenle kesme, plazma kesme ve su jeti ile kesme (hidro aşındırıcı) şeklindedir.

Bu teknolojilerin her birinin kendi özellikleri ve en ekonomik olduğu uygulama alanları vardır. Bu nedenle, spesifik kesme teknolojisine karar vermek için, çelik kaliteleri, muhtemelen diğer malzeme tipleri, kalınlıkları ve varsayılan kesme hassasiyeti göz önüne alınmalıdır. CO₂ lazerlerle oksijen kesimi, düşük alaşımlı çelik ve yumuşak çeliğin kesilmesi için en iyi tekniktir. Otomobil endüstrisinde kullanılanlar gibi içi boş profiller ve boru biçimli yapılar genellikle robotlar tarafından kontrol edilen CO₂ lazerlerle kesilir. Oksijenle kesmenin temel avantajları, çok geniş malzeme kalınlıklarına ve dik yüzeylere uygulanabilir olması, çok yüksek hassasiyete, dar kesme aralığına ve yüksek kesme hızlarına sahip olmasıdır. Lazer gücünü yükselterek ve gaz basıncına yardımcı olarak ve iş parçasının kalınlığını azaltarak maksimum kesme hızını artırır. Kesme hızını azaltarak oksidasyon gücünü yükseltir.

Metal levhaların CO₂ lazeri ile kesilmesi, iyi kalite, artan verimlilik, doğruluk sağlamakta, işlenmiş yüzeylerin kalitesini artırmakta, malzeme ve enerjinin tüketimini azaltmaktadır.

6. ÖNERİLER

Bu çalışma, CO₂ lazer kesim sistemiyle HSLA çeliğinin kesilmiştir. Bu malzemenin kesilmesinde yüzey pürüzlülüğü, kesim kalitesi açısından iyi sonuçlar alınmıştır. Farklı çeliklerin kesilmesi ya da farklı malzemelerin kesilmesinde ısı tesiri altındaki bölge ve yüzey kalitesi incelenebilir.

7.KAYNAKLAR

- Arif, A. F. M., B. S. Yilbas and B. J. A. Aleem (2009). "Laser cutting of thick sheet metals: Residual stress analysis." *Optics & Laser Technology* **41**(3): 224-232.
- B. Ahmadi, M. J. T., B. Jaleh, and J. Sabaghzade (2009). "Theoretical Comparison of Oxygen Assisted Cutting by CO₂ and Yb:YAG Fiber Lasers."
- Badoniya, P. (2018). "CO₂ Laser Cutting of Different Materials – A Review."
- Chryssolouris, G. (2013). *Laser Machining: Theory and Practice*, Springer New York.
- Datta, A. K. and S. Munshi (2016). *Information Photonics: Fundamentals, Technologies, and Applications*, CRC Press.
- Davis, J. R. (2001). *Alloying: Understanding the Basics*, ASM International.
- Eltawahni, H. (2011). "Optimisation of process parameters of high power CO₂ Laser cutting for advanced materials."
- Farson, D. F., J. F. Ready and T. Feeley (2001). *LIA Handbook of Laser Materials Processing*, Springer Berlin Heidelberg.
- H. A. Eltawahni, M. H., K. Y. Benyounis, T. Inoue and A. G. Olabi (2011). "Effect_of_CO₂_laser_cutting_process_parameters_on_edge_quality_and_operating_cost_of_AISI316L."
- Hitz, C. B., J. J. Ewing and J. Hecht (2012). *Introduction to Laser Technology*, Wiley.
- Inamdar, Y. D. K. H. (2015). "Optimization of Quality Characteristics of Laser Cutting." *Open Access* **2**(6).
- Ion, J. (2005). *Laser Processing of Engineering Materials: Principles, Procedure and Industrial Application*, Elsevier Science.
- J. M. Patel, D. M. P. (2011). "Parametric investigation in co₂ laser cutting Quality of hardox-400 materials."
- Kannatey-Asibu, E. (2009). *Principles of Laser Materials Processing*, Wiley.
- Karatas, C., O. Keles, I. Uslan and Y. Usta (2006). "Laser cutting of steel sheets: Influence of workpiece thickness and beam waist position on kerf size and stria formation." *Journal of Materials Processing Technology* **172**(1): 22-29.
- Kardas, O. O., O. Keles, S. Akhtar and B. S. Yilbas (2014). "Laser cutting of rectangular geometry in 2024 aluminum alloy: Thermal stress analysis." *Optics & Laser Technology* **64**: 247-256.

- Kheloufi, K. and E.-H. Amara (2013). CFD Study on the Role of Gas Friction on the Molten Layer Shape and Melt Removal Mechanism in Laser Cutting Process of Steel.
- Krajcarz, D. (2014). "Comparison Metal Water Jet Cutting with Laser and Plasma Cutting." *Procedia Engineering* **69**: 838-843.
- Laser, R.-S. (2000). *Introduction to Industrial Laser Materials Processing*, Rofin-Sinar Laser.
- Miraoui, I., M. Boujelbene and M. Zaied (2016). High-Power Laser Cutting of Steel Plates: Heat Affected Zone Analysis.
- Miroslav RADOVANOVIC, M. M. (2011). "EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF CO2 LASER CUT QUALITY: A REVIEW."
- Mudassar, A. (2015). *Laser Physics*.
- Oner, O. K. a. U. (2010). "A Study of the Laser Cutting Process: Influence of Laser Power and Cutting Speed on Cut Quality."
- Powell, J. (2012). *CO2 Laser Cutting*, Springer London.
- Riveiro, A., A. Mejías, R. Soto, F. Quintero, J. del Val, M. Boutinguiza, F. Lusquiños, J. Pardo and J. Pou (2016). "CO2 laser cutting of natural granite." *Optics & Laser Technology* **76**: 19-28.
- S.O. Al-Mashikhi, J. P., A. Kaplan and K.T. Voisey (2011). "Heat affected zones and oxidation marks in fibre laser-oxygen cutting of mild steel."
- Sharma, A. and V. Yadava (2018). "Experimental analysis of Nd-YAG laser cutting of sheet materials – A review." *Optics & Laser Technology* **98**: 264-280.
- Sharma, B. B. a. V. (2017). "OPTIMIZATION OF CO2 LASER CUTTING PARAMETERS FOR MINIMUM KERF WIDTH DURING THE CUTTING OF AISI 304L STEEL."
- Silfvast, W. T. (2008). *Laser Fundamentals*, Cambridge University Press.
- Skobir, D. A. (2011). "HIGH-STRENGTH LOW-ALLOY (HSLA) STEELS."
- Steen, W. (2013). *Laser Material Processing*, Springer London.
- SUPRI, A. S. A. B. M. (2012). "THE STUDY ON THE EFFECT OF LASER POWER ON KERF WIDTH FOR CARBON DIOXIDE LASER CUTTING PROCESS."
- Thombansen, U., T. Hermanns and S. Stoyanov (2014). "Setup and Maintenance of Manufacturing Quality in CO2 Laser Cutting." *Procedia CIRP* **20**: 98-102.
- Veli Kujanpää, F. O. O. a. A. S. (2006). "LASER CUTTING OF AUSTENITIC STAINLESS STEEL WITH A HIGH QUALITY LASER BEAM."

- Yilbas, B. S. (2008). "Laser cutting of thick sheet metals: Effects of cutting parameters on kerf size variations." *Journal of Materials Processing Technology* **201**(1-3): 285-290.
- Yilbas, B. S., S. S. Akhtar and C. Karatas (2017). "Laser circular cutting of Kevlar sheets: Analysis of thermal stress field and assessment of cutting geometry." *Optics & Laser Technology* **96**: 180-189.
- Yilbas, B. S. and A. F. M. Arif (2011). "Laser cutting of steel and thermal stress development." *Optics & Laser Technology* **43**(4): 830-837.
- Yilbas, B. S., A. F. M. Arif and B. J. A. Aleem (2009). "Laser cutting of holes in thick sheet metals: Development of stress field." *Optics and Lasers in Engineering* **47**(9): 909-916.
- Yilbas, B. S., M. M. Shaukat and F. Ashraf (2017). "Laser cutting of various materials: Kerf width size analysis and life cycle assessment of cutting process." *Optics & Laser Technology* **93**: 67-73.

ÖZGEÇMİŞ

Ad, Soyad : Khaled Saleh Aldoukali MATOUG
Doğum Tarihi ve Doğum Yeri: 21.02.1977 Tarhounah- Libya
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dil : Arapça ve İngilizce
E-mail :khaled.matoug77@gmail.com



Eğitim

Lise : Sede Alsaid – Tarhounah.
Lisans : Engineering Academy, Tajoura.

İş Deneyimi

İş Yeri : Tripoli, Airport.