

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Bilgisayar Kontrollü Laserler
ile Malzeme İşletme**

Hilal Dokuzcan

Yüksek Lisans Tezi

2000 R

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

R 152
139

BİLGİSAYAR KONTROLLÜ
LASERLER İLE MALZEME İŞLEME

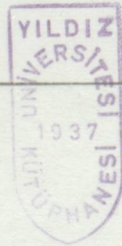
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MÜH. HİLAL DOKUZCAN

İSTANBUL 1989

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Kot : R 152
139
Alındığı Yer : FEN BİL. ENS.
Tarih : 20.04.1992
Fatura : - - - - -
Fiyatı : 20.000. TL.
Ayniyat No : 1/2
Kayıt No : 48350
UDC : 621.3 378.242
Ek :

X



YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



BİLGİSAYAR KONTROLLÜ
LASERLER İLE MALZEME İŞLEME

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MÜH. HİLAL DOKUZCAN



İSTANBUL 1989

Değerli hocam Doç.Dr. HALİT PASTACI'ya, istediğim konu üzerinde çalışma yapmam için gösterdiği ilgi ve çalışmalarındaki yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

ÖZET.....	
SUMMARY.....	
1. GİRİŞ.....	1
2. LASER IŞIĞI (YAPISI VE ÖZELLİKLERİ)	2
2.1. Laserin Temeli.....	4
2.2. Laser çeşitleri.....	8
2.2.1. Katı laserler.....	8
2.2.2. Gaz laserler.....	8
2.2.3. Yarı iletken laserler.....	9
2.2.4. Sıvı laserler.....	9
3. LASER İLE MALZEME İŞLEME.....	10
3.1. Laser ışınının odaklanması.....	10
3.2. Laser ile malzeme işlemeye ait koşullar	13
3.3. Laser ile malzeme işleme ve diğer yöntemlerin karşılaştırılması.....	14
3.3.1. Malzeme kalınlığının işleme etkisi.....	18
3.3.2. Malzemenin ısı etkilenmesi.....	20
3.4. Gaz püskürtme.....	22
3.5. Optik rezonatör.....	22
3.6. Laser ile işlenebilen malzemeler.....	25
4. BİLGİSAYAR KONTROLLÜ LASERLER İLE MALZEME İŞLEME - ŞEKİLLENDİRME.....	26
4.1. Hareketli ayna teknolojisi.....	28
4.2. Laser çalışma seti.....	29
4.2.1. CO ₂ Laser.....	35
4.3. Laser görüntü seti.....	39
4.4. Yansıtma sistemi modülleri.....	44
4.4.1. x-y yansıtıcı kafaları.....	44
4.4.2. Step motorlar.....	47
4.4.3. Dinamik odak birimi	54
4.4.4. Sistemin elektronik donanımı.....	56
4.5. CAD/CAM destekli laser sistemi.....	61

5. BİLGİSAYAR KONTROLLÜ LASER TEKNOLOJİSİ.....66
5.1. Üç boyutlu sistemler (3D).....67
5.2. Malzeme işleme karşılaşılan temel sorunlar.....71
5.3. Laserlerin farklı kullanım alanları.....73
6. SONUÇ-LASERLER ve YENİ UFUKLAR.....78

ÖZET

Laser teknolojisi 1950'ler den beri katettiği hızlı gelişim süreci sayesinde, bugün özellikle kesme, delme, kaynak ve markalama alanlarında yüksek performans ve hassaslığıyla mekanik sistemlere alternatif olabilecek güce ulaşmıştır.

Öte yandan hem yazılım hemde donanım açısından bilgisayar bilimleri, seksenli yıllar da bilgi-işlem olanaklarını endüstriye sunmada üstün bir yetkinlik düzeyine ulaşmıştır. Laser teknolojisinin bu fırsatı kaçırmaması söz konusu olamazdı.

Bu tezde, laser, laser ile malzeme işleme koşulları ve bilgisayar donanımın CAD/CAM sistemleriyle etkin bir şekilde kullanımını sonucunda ortaya çıkan tümleşik endüstriyel sistemler ve bileşenleri incelenmiştir.

SUMMARY

The laser technology has become a very serious alternative to the mechanic systems specially in cutting, drilling, welding and marking fields in the industry with its high performance and accuracy since 50's.

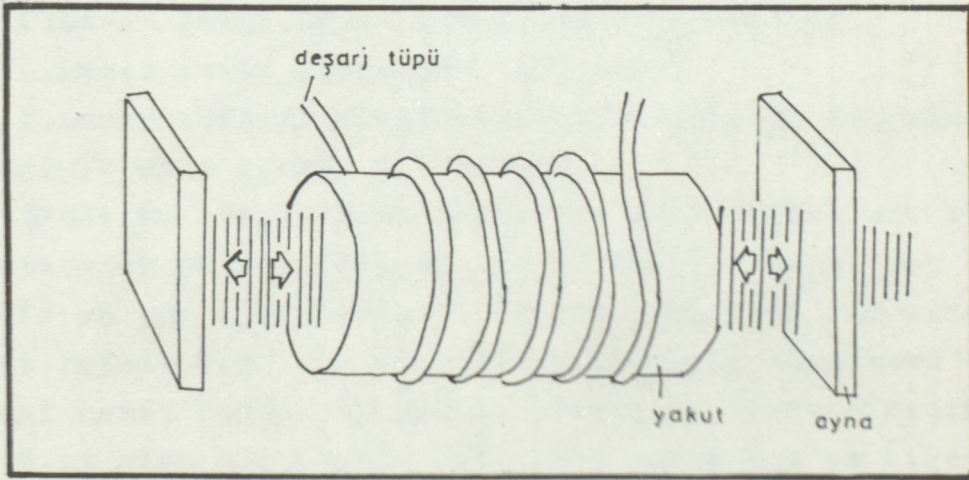
On the other hand the computer sciences have reached very high standard in adopting the possibilities of data processing both in the case of software and hardware to the industry in the 80's. Surely the laser technology has never ignored that bright opportunity.

In this thesis, laser, the requirements of material processing with laser and the integrated industrial systems as a result of using hardware with CAD/CAM systems effectively and its components have been searched.

I.GİRİŞ:

Bulunuşundan bu yana 28 yıllık bir zaman geçmesine karşın laserler, birçok yeni bulunuşu olanaklı kıldığı gibi günlük yaşantımızda girmiş ve birçok endüstri kolunda yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

1917 yılında Albert Einstein, belirli koşullarda atom ve moleküllerinin ışık veya diğer çeşit radyasyonu soğurabildiklerini, daha sonra borç aldıkları bu enerjiyi çoğaltarak geriye verebileceklerini ortaya attı. 1950'lerde Amerikalı ve sovyet fizikçiler borç alınan bu enerjinin nasıl güçlendiğini açıklayan kuramlar önerdiler. Theodore H. Maiman, 1960'da yapay yakut çubuk kullanarak dünya üzerindeki ilk kırmızı laser ışığını elde etmeye başardı. Kullandığı cihaz: bir kıvılcım boşaltma tübü ile silindirik bir yakut taşından oluşmaktaydı. Bu cihazın temel şeması aşağıda gösterilmiştir. (Şekil I)



1960'dan bu yana pekçok laser çeşidi yapılmıştır. Bunların hepsinde ortak olan yönler: homojen bir ortam, enerjinin bir kısmını laser ışınımına çeviren enerji nakli için bir pompa düzeni ve ışının ortama birçok kereler katetmesi için aynalardır.

Bugün laser spektrumu, kırmızı ve mor ötesi görünmez

bölgeden başlamak üzere gökkuşağının tüm renklerini kapsamaktadır.Laser ışığı çok küçük bir noktaya odaklandığında enerjisini yoğunlaştırarak o noktada nükleer patlama etkisinden milyon kez daha hızlı ve şiddetli bir etkiyle en sert metaller bile buharlaştırılabilir,kesilebilir,kaynak yapılabilir. İşte , işleme yöntemi laserlerin bu özelliklerinden hareket edilerek geliştirilmiştir.

Bilgisayar kontrollü laser ile malzeme işleme yöntemi- ne geçilmeden önce laserlerin yapısı,özellikleri,çeşitleri ve laserle malzemenin işlenmesine ait koşullar anlatılmıştır.

2. LASER IŞIĞI (YAPISI,ÖZELLİKLERİ)

Laserışık üretir,bir anlamda elektrik enerjisini insanlarca görülebilen veya görülemeyen frekanstaki elektromagnetik ışınım enerjisine dönüştürür.Bu işlemi yapan diğer aygıtlara göre laserleri üstün kılan özellikler şunlardır.

1.Laser ışığı,çok az dağılan bir ışın halindedir.

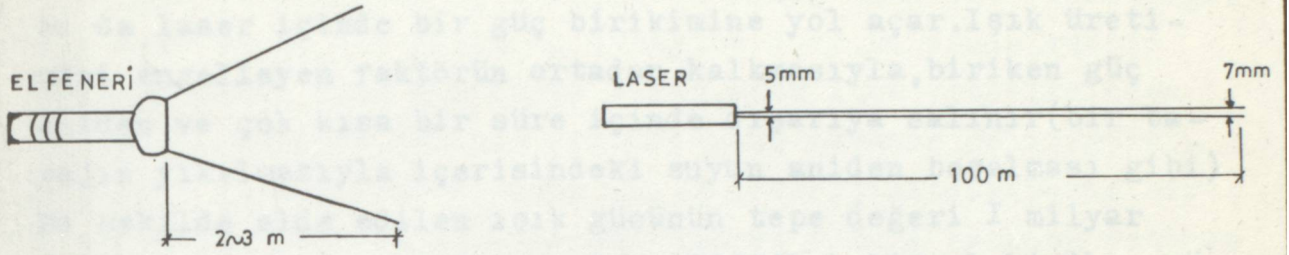
2.Laser ışığı,hemen hemen tek frekanslıdır.

3.Laser ışığı,olağanüstü güçlüdür.

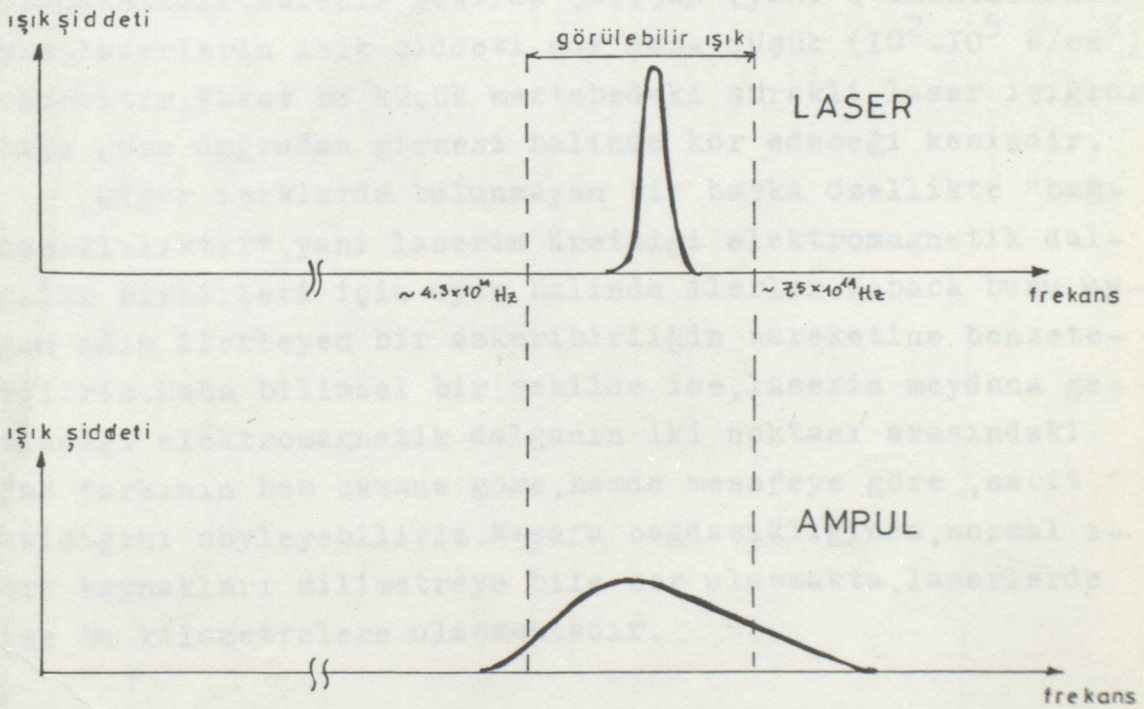
4.Laser ışığını oluşturan elektromagnetik dalgalar birbirleriyle uyum içinde ilerlerler.

Şimdi bu özellikleri alışılmış ışık kaynakları ile karşılaştırarak görelim.Normal ışığın dağılma açısı çok büyüktür Örneğin en yönlendirilmiş el feneri çapı bile çok kısa bir mesafe içinde dağılmaktadır.Laser ışınının dağılması ve yayılması hemen hemen yok gibidir.Örneğin ,laser çıkışında çapı 5 mm olan bir ışının çapı 100m sonra 7mm'ye bile ulaşamaz.Bunu sağlamak için yönlendirici bir merceğin kullanılmasında gerekmez.(şekil 2)

Laser ışığının kapladığı frekans bandı merkez frekansına oranla çok dardır.Bu nedenle , laser ışığı tek renktedir.(yeşil veya kırmızı gibi).Halbuki normal ışık kaynakları görülebilen her frekansta ışık yayarlar ve buna beyaz ışık denir.Bir lasertayfı ile bir elektrik ampulünün tayfı şekil 3'de karşılaştırılmıştır



Şekil-2-Laser ışığının dağılımı.



— lazer tayfı ile ampul tayfının karşılaştırılması —

Şekil-3-Laser tayfı ile ampul tayfının karşılaştırılması

Laser ışığını üstün kılan en önemli özelliklerinden biride çok güçlü olmasıdır.Q-anahtarlaması diye bilin en bir teknikle , laserin ışık üretmesi bir süre engellenir, bu da laser içinde bir güç birikimine yol açar.Işık üretimi engelleyen faktörün ortadan kalkmasıyla,biriken güç aniden ve çok kısa bir süre içinde dışarıya salınır(bir barajın yıkılmasıyla içerisindeki suyun aniden boşalması gibi) Bu şekilde elde edilen ışık gücünün tepe değeri 1 milyar watt'ı aşabilir.Bu değeri sadece 100W'lık bir elektrik ampülünün verdiği ışıkla karşılaştıracak olursak ne kadar olağanüstü olduğu anlaşılır.Daha çarpıcı bir örnek ise,güneş ışığının dünya yüzeyindeki şiddeti ile laser ışığının şiddetini karşılaştırmaktır.Laser ışığının kapladığı alan tipik olarak 10^{-3}cm^2 civarındadır.Böyleısıyla Q-anahtarlanmış bir laserin ışık şiddeti yaklaşık 10^{12}W/cm^2 dir.Güneş ışığının dünya yüzeyindeki şiddeti ise sadece 0.1W/cm^2 dir. Buna rağmen,bulutsuzbir havada çıplak gözle güneşe bakmak olanaksızdır.Sürekli şekilde çalışan (yani Q-anahtarlanmamış)laserlerin ışık şiddeti çok daha düşük (10^2-10^5W/cm^2) olacaktır.Fakat bu küçük mertebedeki sürekli laser ışığının bile göze doğrudan girmesi halinde kör edeceği kesindir.

Diğer ışıklarda bulunmayan bir başka özellikte "bağdaşıklılıktır",yani laserin ürettiği elektromagnetik dalgalar birbirleri için uyum halinde ilerler.Kabaca bunu uygun adım ilerleyen bir askeribirliğin hareketine benzetebiliriz.Daha bilimsel bir şekilde ise,laserin meydana getirdiği elektromagnetik dalganın iki noktası arasındaki faz farkının hem zamana göre,hemde mesafeye göre ,sabit kaldığını söyleyebiliriz.Mesafa bağdaşıklığında,normal ışık kaynakları milimetreye bile zor ulaşmakta,laserlerde ise bu kilometrelere ulaşmaktadır.

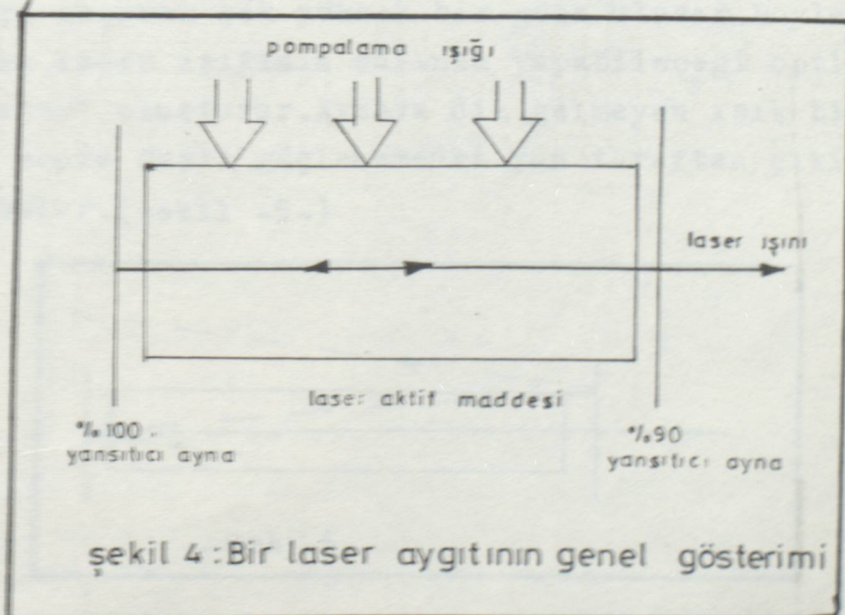
2.1. LASERİN TEMELİ

Laserin temeli atom veya moleküllerin enerji düzeyleri arasındaki elektromanyetik geçişlere dayanır.Bir atomun iki enerji düzeyi E_2 ve E_3 olsun ve E_3 düzeyinin enerjisi-

nin E_2 'ye göre daha büyük olduğunu varsayalım. Atom ve moleküller daima daha düşük enerji düzeyinde bulunmak istediklerinden, başlangıçta E_3 enerjisine sahip olan atom, kendiliğinden veya başka bir yolla E_2 düzeyine iner. Bu arada, enerji ($E_3 - E_2$) kadar olan bir foton salar. Eğer atom kendiliğinden bu geçişi yaparsa, salınan fotonun yönü tamamen gelişigüzeldir. Eğer E_3 düzeyindeki atom ($E_3 - E_2$) enerjisindeki başka bir fotonla etkileşerek E_2 düzeyine inerse burada salınan fotonun yönü ve fazı, geçişe etki eden fotonla aynıdır. Bu ikinci geçiş biçimine, uyartılmış salım (stimulated emission) denir. Laserin çalışma ilkesi uyartılmış salınımaya dayanır.

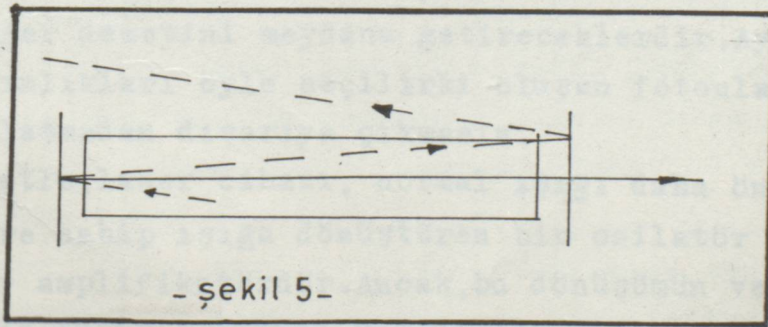
Şimdi çok sayıda aynı atomlardan oluşan bir sistem alalım. Başlangıçta atomlar en alt enerji düzeylerinde bulduğundan, herhangi bir yolla atomların büyük çoğunluğunun E_3 düzeyine çıkarılması gereklidir. Buna pompalama işlemi denilmektedir.

E_3 ve E_2 enerji düzeyleri arasındaki geçişten bir laser ışığı elde edebilmek için, atomların E_3 düzeyinde kalma süresi, E_2 düzeyinde kalma süresinden çok daha uzun olmalıdır. Böylece pompalama sonunda E_3 düzeyinde bulunan atomların sayısı daima artacaktır.



şekil 4 : Bir laser aygıtının genel gösterimi

Pompalama ışığı, hergün kullanılan ve görülebilir her frekansı içeren normal bir ışık kaynağından elde edilen ve tek özellik olarak yüksek güce sahip olan bir ışıktır. (örneğin, film çekimi esnasında aydınlatma amacıyla kullanılan 1000 W'lık bir ampulün verdiği ışık). Bu pompalama ışığı sayesinde laser aktif maddesi sadece tek frekansta olan "özel" bir ışın üretmeye başlar. Bu ışık her yönde dağılabilir, fakat sadece aynalardan birinendik olarak gelen ışık gerisin geriye yansıtılır ve laser aktif maddesi içinden tekrar geçmesi sağlanır. Birbirlerine tam paralel olarak yerleştirilen aynalardan biri, üzerine düşen ışığı %100 yansıtırken diğerinin yansıtma oranı daha düşük olur, yani bu ayna üzerine düşen ışığın bir kısmını diğer tarafa geçirir; buda laserin çıkışı olur. (Eğer her iki aynada %100 yansıtıcı olsa, laserin ürettiği ışığın bir kısmını alıp yararlanmak mümkün olmaz). Yine pompalama ışığı sayesinde, laser aktif maddesi güçlendirici bir konuma gelmiştir; yani aynadan geri yansıyan ve aktif madde içinden tekrar geçen ışık, laser maddesinin içinden güçlenmiş olarak çıkar ve diğer aynaya gider, bu aynadan da tam veya kısmen yansıyarak geldiği yoldan geri döner ve aktif maddenin içinden tekrar geçerek daha da güçlenir. Böylece bu ışık laserin aktif maddesi içinden birçok kere geçerek çok yüksek bir güce ulaşır. Böylece, bu iki ayna, laser ışığının salınım yapabileceği optik bir "rezonatör" oluşturur. Aynaya dik gelmeyen ışık birkaç geçisten sonra fazla güçlenmeden yan taraftan çıkış yapar ve kaybolur. (şekil -5-)



Sadece aynalara dik gelen ışık sürekli olarak güçlendirilir;laser ışığının tek yönde ilerlemesi ve son derece az yayılması bu nedenledir.ve sadece bazı maddelerin(örneğin bir kristal içine yerleştirilmiş neodimium atomları,yakut kristali,helyum-neon veya karbondioksit gazı,galyum arsenid yarı iletkeni , v.s.)laser aktif maddesi olarak kullanılmaya elverişli olduklarını özellikle vurgulayalım.Bu maddelerin atomik yapıları , pompalama ışığını soğurarak tek frekansta ışık üretmeye ve bu ışığı güçlendirmeye elverişlidir.

Bir laserin genel çalışma ilkesini daha iyi anlamak için gereken ortamı hazırlayalım.Silindir biçiminde bir kap alıp,kap içinde laser için gereken ortam hazırlandıktan sonra silindir tabanlarına yarı gümüşlenmiş aynalar koyalım. Herhangi bir kaynakla pompalama işleminin yapılmış olduğunu ve ortamdaki atomların çoğunluğunun E_3 düzeyine çıktığını varsayalım. E_3 düzeyindeki atomlardan birinin,aynaların eksenleri doğrultusunda kendiliğinden bir foton salarak E_2 E_2 düzeyine geçiş yaptığını düşünelim. ($E_3 - E_2$) enerjili bu foton,yolu üzerinde bulunan E_3 enerjisine sahip başka bir atomla etkileşecek ve kendisiyle aynı yönlü ikinci fotonun oluşmasına neden olacaktır.Bu iki foton,eksen boyunca yollarına devam ederken, silindirin tabanlarına çarpsalar bile aynalardan yansıyarak tekrar ortam içine gireceklerdir.Yolları üstündeki diğer atomlarla etkileşerek , uyartılmış salınım yolu ile kendi doğrultularında yeni fotonlar oluşturacaklardır.Aynalardan devamlı yansıyarak çığ gibi artacak olan bu fotonlar,en sonunda aynalardan birinden dışarıya çıkarak laser demetini meydana getireceklerdir.Aynaların kaplama kalınlıkları öyle seçilirki oluşan fotonlar belirli bir sayıya ulaşmadan dışarıya çıkmasın.

Özetle,laser cihazı, normal ışığı daha önce sayılan özelliklere sahip ışığa dönüştüren bir osilatör veya bir anlamda,bir amplifikatördür.Ancak,bu dönüşümün verimliliğinin son derece düşük olduğunu vurgulamak gerekir.Laserin çıktı

enerjisinin girdi enerjisine oranı normal olarak %1 mertebesinde dir. En yüksek verimliliğe sahip olan karbondioksit ve galyum arsenid laserlerinde bu oran, sırasıyla %20 ve %50 ye kadar çıkmakta ve yapılan araştırmalar gelecekte verimlilik açısından daha başarılı sonuçlar elde edilebileceğini göstermektedir.

2.2. LASER ÇEŞİTLERİ

Laserler kullanılan maddeye göre katı, gaz, yarı iletken ve sıvı laserler olmak üzere dört grupta toplanabilir. Şimdi bunları genel bir bakış açısıyla gözden geçirelim. Gaz laser grubuna giren karbondioksit laserler, bilgisayar kontrollü laserler bölümünde ayrıca incelenmiştir.

2.2.1. KATI LASERLER

Katı laserlere en güzel örnek, ilk laser olan, içine Cr^{3+} katılmış yakut kristalinden elde edilen laserdir ve kırmızı ışık verir. Başka bir örnek ise, içine neodmilyum katılmış YAG (yitriyum-alüminyum-garnet) laseridir. Elmas taklidi olan bu maddenin saldıdığı ışık, kırmızı ile kızılötesi bölge arasındadır. Katı laserler, genellikle flaş tüpleri ile pompalanırlar. Birçok yerde dış aynalar yerine, kristalin iki yüzeyi parlatılarak laser kavuğu elde edilir. Kırmızı laserler 0.69 m'lik çok kısa dalga uzunluğu nedeniyle sınırlı olarak uygulanır. YAG laserleri ise 1.06 m'lik yaklaşık bir kızılötesi dalga uzunluğuna sahiptir. Elektronik laserler olarakta adlandırılır.

2.2.2. GAZ LASERLER

Gaz laserler, atom, iyon ve molekül laserler olmak üzere üç bölümde incelenir. Helyum-neon laserini atom laserlerine argon laserini iyon laserlerine, CO_2 laserini ise molekül laserlerine örnek gösterebiliriz.

Argon laseri, mavi ve yeşil ışığı aynı anda çıkarabilmekte, sürekli ve atmalı olarak çalışabilmektedir. Molekül

laserler ise, çoğunlukla kızılötesi ışın salarlar. Çok yüksek güçlerde ışın saldığı için CO₂ laserini laserler arasında önemli bir yeri vardır. Gaz laserlerinde pompalama işlemi deşarj tüpleri ile yapılmaktadır.

2.2.3. YARI İLETKEN LASERLER

Yarı iletken laserlerin üstünlüğü, boyutlarının küçük oluşu, verdikleri ışınının genlik ve atma genişliklerinin çok iyi denetlenabilir oluşudur.

Elektronik atma devreleri yardımıyla pompalanan bu tip laserlerle AVRUPA ve AMERİKA arasında, cam lifleri kullanılarak deniz dibinden iletişim düşünülmektedir.

2.2.4. SIVI LASERLER

Bu türdeki en önemli laserler, boya laserleridir. Bu laserlerin en önemli özelliği, parıldama salın tayflarının genişliğinden dolayı, çıkış dalga boylarının bu aralıkta ayarlanabilir olmasıdır. Parıldamalı boyaların çokluğu nedeniyle, boya laserleriyle bütün görünür bölgeyi kapsayan, ayarlanabilir bir ışık kaynağı elde edilebilmektedir.

Malzeme işlemede elektronik ve gaz laserler tercih edilmektedir. İlerki bölümlerde bu laser çeşitleri ayrıntılı olarak incelenmiştir.



3 .LASER İLE MALZEME İŞLEME

Endüstriyel laserler mikro işleme sınıfına girerler ve seri üretim işlerinde çok kullanılırlar.Özellikle delme işlerinde bu işlem tercih edilir.Plastik bebe emziklerindeki delikler,elektrolitik kalıplardaki basınç delikleri,ince duvarlı fiberglas tüplerdeki delikler,maylon düğmelerdeki delikler,prnç somunlardaki delikler ve Bircalay-4 nükleer yakıt çubuklarındaki deliklerde tercih nedeni olmuştur.

Kesim işleri,kullanımda yaygın diğer bir alanı oluşturmaktadır.Kurşun alaşımılı pil plakaları dakikada 500 mm'lik bir hızla kesilmektedir.Değerli taşlar laser ile kesilip biçimlendirilmektedir.Konfeksiyon endüstrisinde tek katlı ya da çok katlı kumaş yığınlarından kalıp kesimi tümüyle otomatik hale getirilip dakikada 61 m'lik bir hızla gerçekleştirilmektedir.

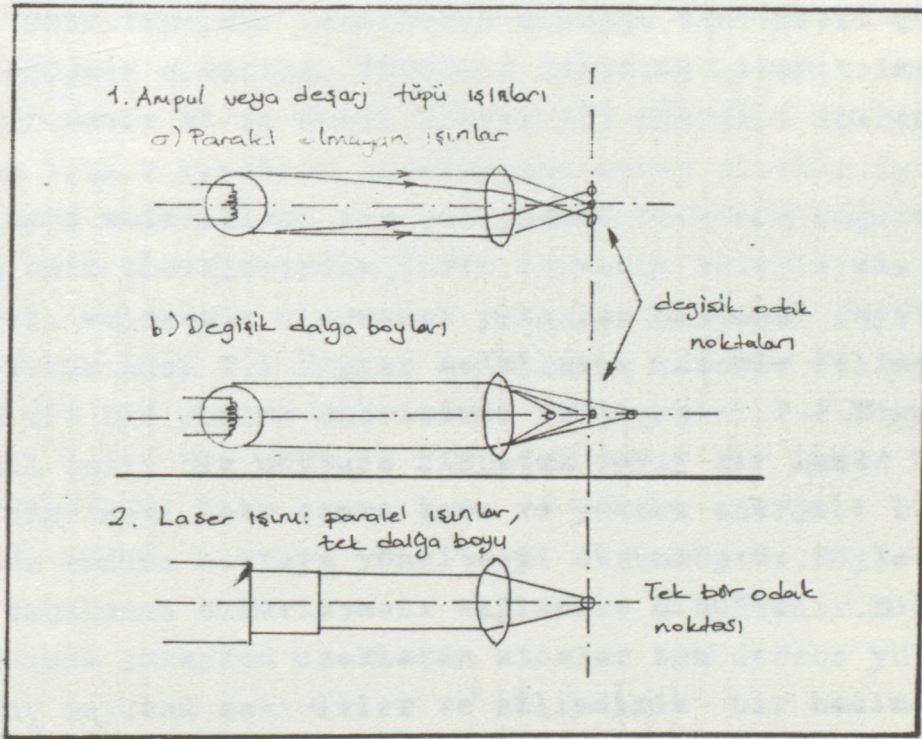
Laser ile plastik şekillendirme yapılabilmekte,kalıp çıkarılabilmektedir.Bunların gerçekleştirilmesinde ortak olan yön laser ışınının malzeme üzerinde odaklanmasıdır.Şimdi bu özelliği inceliyelim.

3.1. LASER IŞININ ODAKLANMASI

Laser,bir elektromanyetik ışınım kaynağıdır.Elde edilen monokromatik(tek dalga boylu) ışık laser üreticini paralel bir demet halinde terkeder.Diğer tüm bilinen ışınım kaynaklarından elde edilen bir ışık polikromatik (çok dalga boylu) olup paralel bir hüzme özelliği göstermez.Bu durum tel demetli ampullerde ve tüm boşaltma tüplerinde söz konusu olur.

İki değişik tip ışınımın odaklanmasında farklı sonuçlar elde edilir.Şekil 6 da görülebileceği gibi,parelel bir hüzme halinde olmayan ve polikromatik özellik gösteren ışıklar odaklanacak olursa (dışbükey mercek yardımıyla)değişik odak noktaları elde edilir.Diğer bir deyişle uzayın belli bir hacmi içinde pek çok odak noktaları ortaya çıkar.Işık hüzmesinin paralel olmasından dolayı odak düzleminde bir odaklar dizisi elde edilirken,ışığın polikromatik özelliğinin

den dolayı, odak eksenini üzerinde diğer bir odaklar dizisi elde edilir. Halbuki monokromatik paralel bir ışın demeti veren laser odaklanacak olursa uzayın sadece bir noktasında odaklama gerçekleşebilir. Böylece enerjinin çok iyi paketlenmesi, başka bir deyişle güç yoğunluğunun yüksek değerlere çıkarılabilmesi mümkün olur. Şekil 6 da, polikromatik bir ışık kaynağı ile laser arasındaki karşılaştırma verilmiştir.



	Isının malzemeye giriş koridorunun kesit alanı (cm ²)	max. güç yoğunluğu (W/cm ²)
Polikromatik ışık kaynağı	10 ⁻¹	10 ³
Laser	2.10 ⁻⁵	10 ⁹

Bu nedenle gelişigüzel ışın kaynaklarıyla yapılan işlemlerde, malzemede ısıtılan yüzey büyük olur. Küçük parçaların yumuşak ve sert lehiminde, metalsel malzemelerin tavlama sırasında, yapıştırıcıların sertleştirilmesinde ve 1600°C 'a kadar olan termik işlemler için değişik dalga boylu ışın kaynakları uygunluk gösterilebilirler. Diğer yünden laserin odaklanmasıyla, malzeme yüzeyi üzerindeki, çapları milimetrenin kesirleriyle ifade edilen çok küçük alanlara ısı verilerek bu bölgelerin erimesi ve hatta buharlaşması rahatlıkla sağlanabilir.

Maxi-impulsu laserlerde malzeme üzerindeki çok küçük bir bölgede sıcaklığı 100000°C değerine çıkarabilmek mümkündür. Nevar ki bu denli yüksek bir enerjiyi içeren ışınlar ortam içinde elektrik boşalmasına neden olurlar. İyonize olan hava molekülleri ise çok yüksek derecede soğurma özelliğine haiz olduklarından, laser ışınının enerjisinin büyük bir kısmını malzemeye ulaşmadan yutarlar. National Physical laboratuvarından T.P.Hugnes metallerin laserle delinebilirliğine ait bir yöntem önerisinde bulunmuştur. T.P.Hugnes önce metali belli bir noktada nispeten zayıf bir laser impulsu ile eritmeyi, daha sonra kısa ve yüksek enerjili bir impulsu söz konusu noktaya yöneltmeyi düşünmüştür. Böylece ince bir tabakanın buharlaşması sağlanmış olmaktadır. Buharlaşma sırasında yüzeyden uzaklaşan atomlar son derece yüksek bir basınç meydana getirirler ve silindirik bir hacim içinde erimiş olan metali birlikte sürüklerler. Bir maxi impulsun metal yüzeyine çarpması anında duyulan ses de bu denli yüksek bir buharlaşma basıncının oluşumuna kanıttır.

Laser'in odaklanmasıyla elde edilen enerji paketinde ki güç yoğunluğunun etkinliğini bir örnekle verelim. Tel çekmede kullanılan elmas matrisleri bugün artık laser sayesinde 2 dakikadan az bir süre içinde delinebilmektedir. Aynı işlemin klasik yöntemlerle 2-3 gün içinde yapılabildiği hatırlanacak olursa güç yoğunluğunun yükseklik mertebesi daha iyi anlaşılabilir olur.

3.2. LASER İLE MALZEME İŞLEMENE AİT KOŞULLAR

Laser ile malzeme işlemenin temel prensibi, malzeme içinde ısıl bir etki yaratabilmektir. Bunun içinse iki ön şart söz konusudur.

- a) Işınım malzemeye nüfuz edebilmelidir.
- b) Laser ışınının malzemeye giriş koridorundan belli bir bölgeye giren ısı miktarı, malzemenin ısı iletim kabiliyeti, konveksiyon ve radyasyon nedeni ile o bölgeden atılan ısı miktarından fazla olmalıdır.

Genel olarak bir iş parçası üzerine düşen ışınlar kısmen yansıtılır ve kısmen soğurulur. Ayrıca malzeme gelen ışınlarla geçiren davranarak ışınların bir kısmının kendisini kat etmelerine izin verir. Malzeme içinde ancak soğurma yolu ile ısı üretilebilir. Bu nedenle malzemelerin soğurma kabiliyeti (soğurucu tutumu) burada önem kazanmaktadır. Laserle işlenilebilen malzemelerin sayısı oldukça çok olduğundan soğurma kabiliyetini etkileyen faktörlerden genel nitelikte olanları şunlardır. Malzemenin yoğunluğu, alaşım durumu ve alaşım elemanlarının cinsi, yüzey durumu (oksitli, parlak, mat v.b.), katı fazdan sıvıya veya gaz fazına geçiş halleri v.b. görüldüğü gibi bir malzemenin veya bir malzeme grubunun soğurma tayfını etkileyen faktörler pek çoktur. Metal malzemeler (demir, nikel, molibden) görünür ışık tayfından kızılötesine yakın bir dalga uzunluğuna kadar ($\lambda = 1 \mu m$) ışınların %40'ı ile %60'ını soğururlar. Kızılötesi dalga boyunun ortalarında ise metal malzemelerin %10 ile %5 arasında soğurma kabiliyetine haizdirler.

Ametal malzemeler ise (cam, kâvarz, hemen hemen tüm yapay malzemeler) farklı bir tutum gösterirler. Zira ametaller görünür ışık tayfında hemen hemen tamamen geçirgen davranırlar. 2-10 μm dalga uzunluklarına ametaller %80-96 oranında soğururlar.

Laser yöntemi ile bu optimum bir çalışma yapabilmek için önemli olan diğer bir noktada, üreteçten elde edilen laser deneti içindeki ışın yoğunluğunun dağılımıdır. Bu dağılımın "Gauss Dağılımına" uyması zorunluluğu vardır. Laser

ile çalışmada önemli olan demetteki toplam enerji değil, odaklama sonunda elde edilen enerji yoğunluğudur.

Değişik amaçlar için pekçok laser tipleri geliştirilmiş olmasına rağmen malzeme işleme tekniğini ilgilendiren tipler birkaç tanedir. Yakut laseri, YAG laseri, CO_2-N_2 -He laseri veya kısaca CO_2 - Gaz laseri

Kullanım amacına uygun olarak laserin seçimi oldukça önemli olmaktadır. Söz konusu laser tipleri esas olarak birbirinden dalga boyu, verim ve çalışma şekli (sürekli veya impulsu) bakımından farklılık göstermektedirler. Katı laserlerin ışınım dalga boyu $\lambda=0.694\mu m$ ile $\lambda=1.06\mu m$ arasında değişirken CO_2 -Gaz laserinin dalga boyu $\lambda=1.06\mu m$ civarındadır.

Bilgisayar kontrollü laser ile malzeme işlemede, CO_2 laser tercih edilmiştir. Bunun nedenleri bir sonraki bölümde açıklanmıştır.

3.3. LASER İLE MALZEME İŞLEME ve DİĞER YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Laser ışınının bir mercekle odaklanması sonucu, çapı milimetrenin kesirleri mertebesinde olan bir odak noktası oluşur. Her geçen gün gelişen teknik ile odak noktasının çapı küçülmektedir. Bu odak noktası içinde o denli yüksek bir yoğunluğa erişilirse malzeme buharlaştırılabilir.

Bu özellikten yararlanılarak malzeme kesilebilmekte, delinebilmekte, şekillendirilebilmekte kısaca işlenebilmektedir. Laser ortamına bağlı olarak iki enerji türü oluşmaktadır. Titreşimli ve sürekli. Kırmızı ve neodim cam laserlerde sadece titreşimli enerji türü oluşmaktadır. Burada iş parçası üzerinde farklı delik yada çizgi üretmek için saniyede 1000-10000 titreşim oluşturmakta ve yontma yapılabilir. Daha öncede gördüğümüz Q anahtarlaması denen bu titreşim özelliği birçok laser donanımında bir alt sistem malzemesi olarak bulunur. Bir radyo frekansı sinyalinin harekete geçirdiği laser rezonatörünün Q (kalite faktörü)'nü geçici olarak azaltarak işlem gerçekleştirilir.

Bir optik rezonatörün çalışma presibi III5: bölümde incelenmiştir.

Laser yöntemi ile malzeme işleminin temel koşulunun malzeme içinde ısıl bir etki yaratmak olduğunu söylemiştik. Burada önemli olan ışınının malzeme içinde soğurulması, konveksiyon ve radyasyon yoluyla dışarıya iletilen ısı miktarından yüksek olmamasıdır. Tüm metalik malzemeler, gelen laser enerjisinin bir kısmını yüzeylerinden yansıtırlar ve bir kısmında yüzeyin hemen altındaki tabakada soğururlar. Isının malzeme bünyesi içine doğru akışı, söz konusu malzemenin ısıl iletim kabiliyeti oranında gerçekleşebilir.

Laser yöntemi ile işleminin karakteristik özelliklerini şöyle sıralayabiliriz.

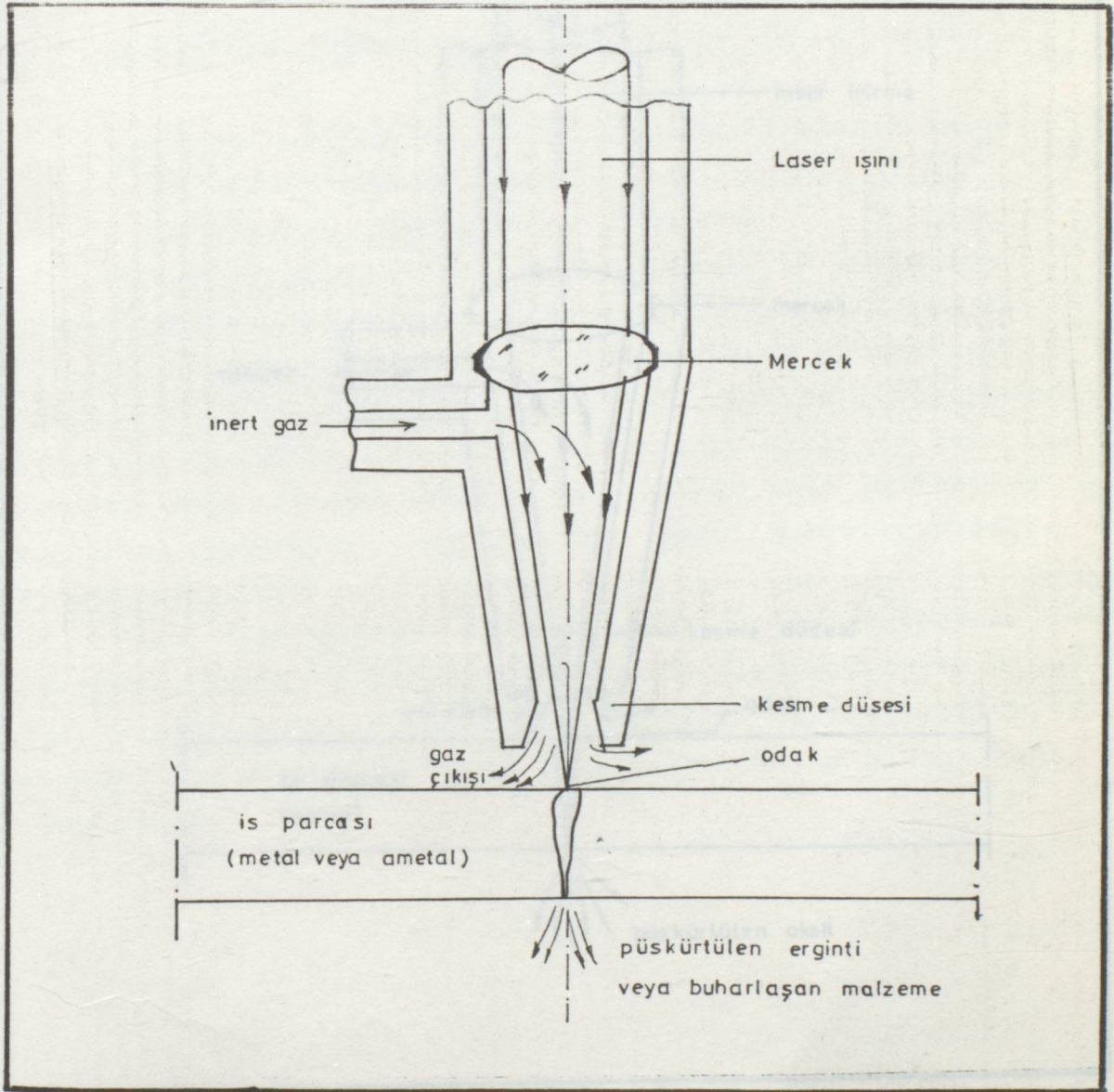
- Isıdan etkilinen bölge çok dardır.
- Yüksek kesme hızına sahiptir.
- Distorsiyonlar çok azdır. Laser makina aletlerinin çalışılan alet basıncından oluşacak, iş parçasının deformesi hiç bir zaman söz konusu değildir. Isı nedeniyle distorsiyon en az düzeydedir, ihmal edilebilir.
- Çok dar kesme ağızlarına sahiptir, laser ile delme de çapak yoktur.
- Temas olmaksızın enerji nakli yapılabilir.
- Kontrollü atmosferde çalışma olanağı vardır. (oksitleyici, redükleyici veya vakum ortam)
- Yüksek üretim kabiliyetine sahiptir. Üretim hızı faktörü fazladır. Uygulamada üretimin her alanında milyonlarca parçayı işleyen üniteler vardır.
- Dar kesme toleransları içinde kalınabilir.
- Otomasyona elverişlidir. (foto-elektrik, nümerik kontrol gibi)

Kesim kalitesini etkileyen en önemli parametreler ise laserin gücü, besleme hızı, meme dizaynı, gaz püskütmenin tipi ve koşullarıdır. Köşe radüsleri minimum 0.01 mm/mm'lik bir köşe radüsleri olmalıdır. Bu işlemle tüm metal ve ammetaller buharlaştırılabilmektedir. Inconel, Rene-41, Hastelloy,

Tantal, Zirkonyum ve Titanyum gibi yüksek güçlü dayanıklı alaşımlar işlenebilmektedir. Ametaller arasında elmas, seramik, vinileks, lastik, plastik, kumaş ve kağıtta vardır.

Laser ışının yoğun enerjisi ile malzeme ergitilir ve oluşan ergenti ve curuf, bölgeye püskürtülen bir gaz akışı ile kesme ağzından dışarı atılır veya buharlaştırılır. (Şekil 7 - Laser ışını ile ergiterek kesme)

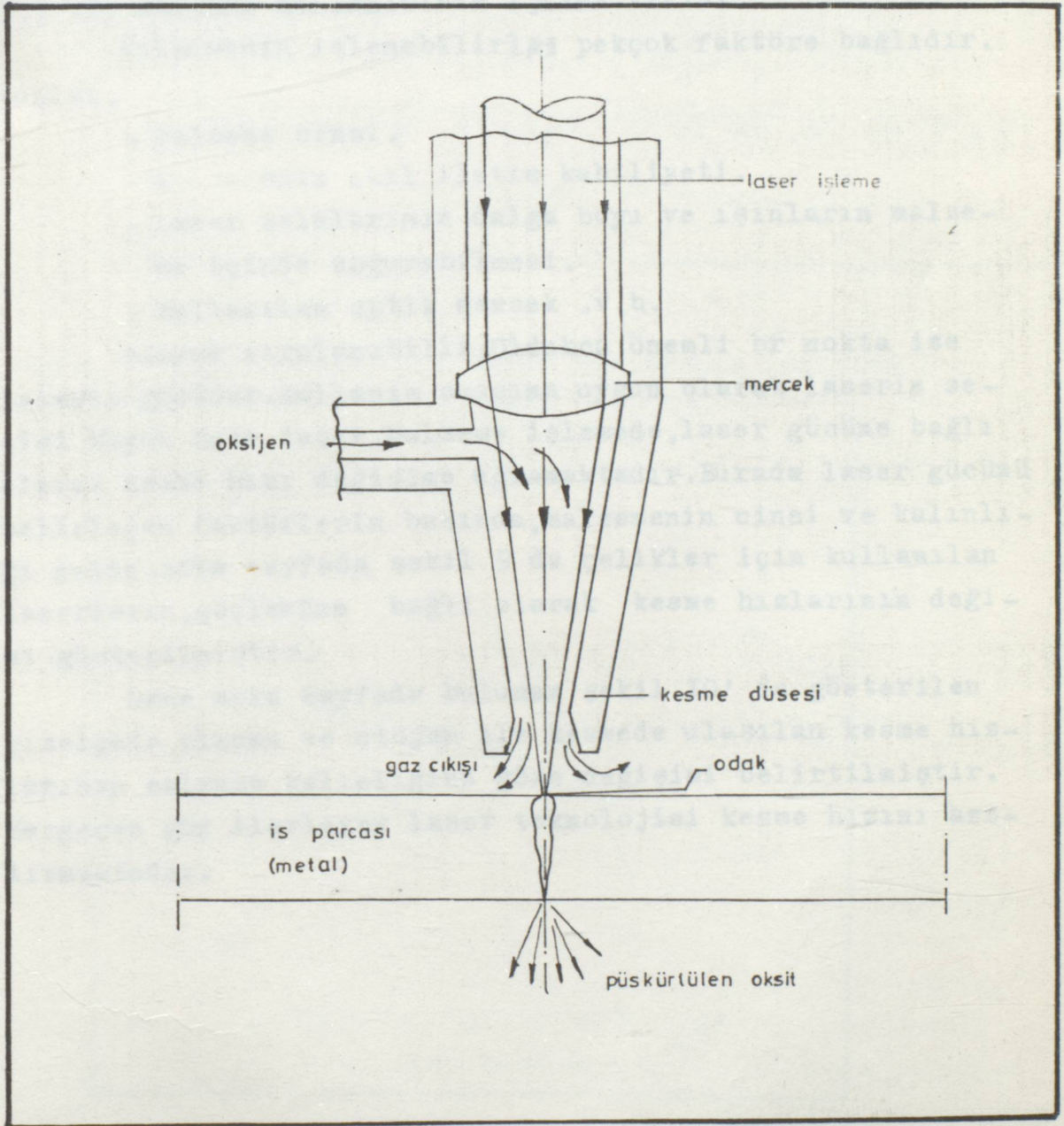
—LASER IŞINI İLE ERGİTEREK KESME—



Yanabilir malzemelerin kesilmesinde ve metallerin paslanmaksızın kesilebilmesinde inert veya reaksiyona girmeyen bir koruyucu gaz kullanılır.

Metalik malzeme, laser enerjisi ile yanma sıcaklığına kadar ısıtılır ve bölgeye püskürtülen oksijen ile yakılır. Şekil 8 Laser ışını ile yakarak kesme.

—LASER IŞINI İLE YAKARAK KESME—



Oksijen termik aralıktadır.Yanma sonucu oluşan ince ve akıcı curuf oksijen hüzmesi ile kesme ağzından dışarı sürülür.Exotermik reaksiyon,ilave bir enerjinin açığa çıkmasına neden olurki,kesme hızı bu nedenle daha da yükselir.Okside olan malzemelerde kesme hızının bu nedenle 10 misli yükseldiği görülür.Kesme ağzlarının paralelliği kesme ışını ile sağlanır.

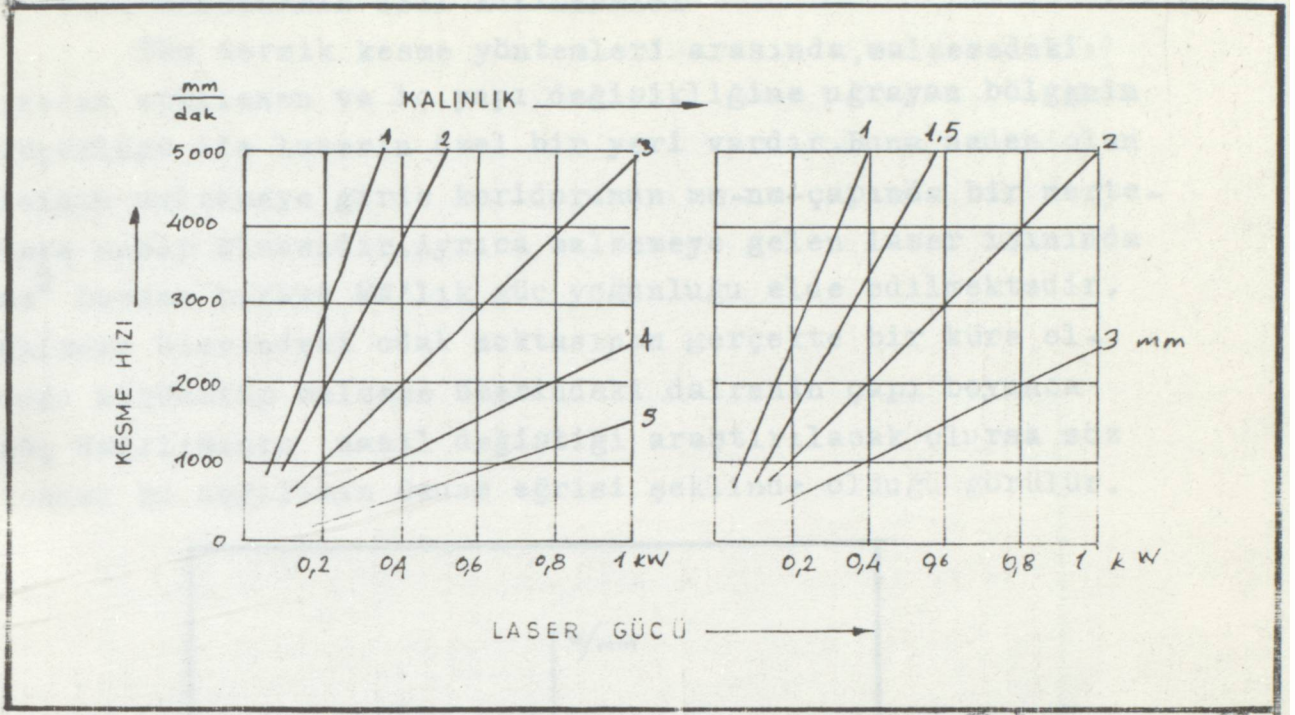
3.3 .I. MALZEME KALINLIĞININ İŞLEME ETKİSİ

Malzemenin işlenebilirliği pekçok faktöre bağlıdır. bunlar,

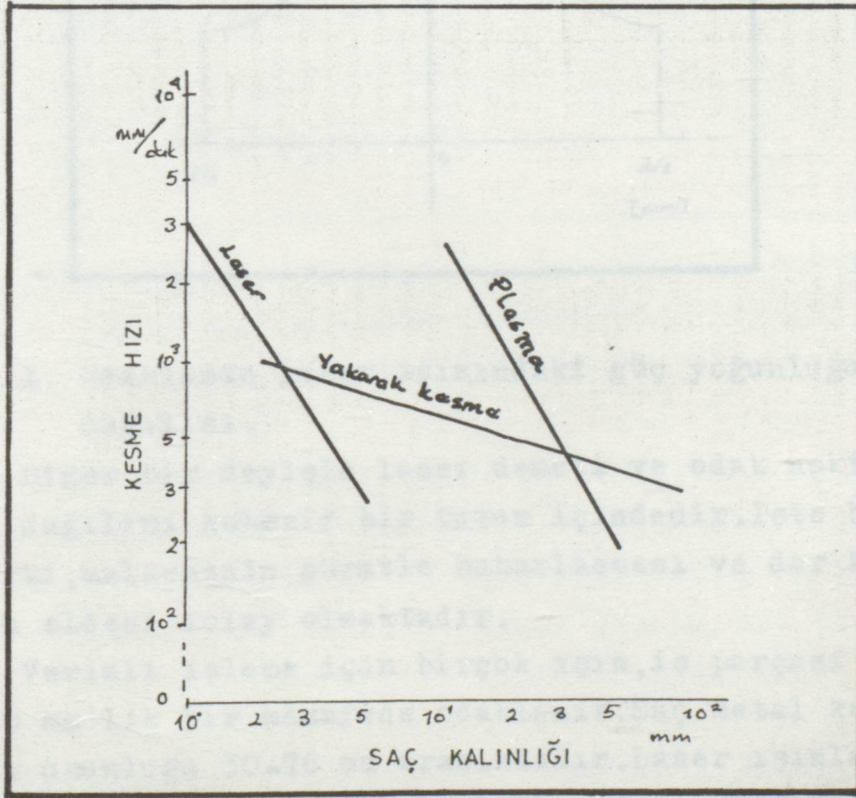
- Malzeme cinsi.
- Malzemenin ısı iletim kabiliyeti.
- Laser ışınlarının dalga boyu ve ışınların malzeme içinde soğurabilmesi.
- Kullanılan optik merceğ .v.b.

olarak sıralanabilir.Oldukca önemli bir nokta ise laserin gücüdür.Kullanım amacına uygun olarak laserin seçimi büyük önem taşır.Malzeme işlemede,laser gücüne bağlı olarak kesme hızı değişime uğramaktadır.Burada laser gücünü belirleyen faktörlerin başında,malzemenin cinsi ve kalınlığı gelir.Arka sayfada şekil 9 da çelikler için kullanılan laserlerin,güçlerine bağlı olarak kesme hızlarının değişimi gösterilmiştir.

Gene arka sayfada bulunan şekil 10' da gösterilen çizelgede,plasma ve otojen ile kesmede ulaşılan kesme hızlarının malzeme kalınlığına göre değişimi belirtilmiştir. Hergeçen gün ilerleyen laser teknolojisi kesme hızını arttırmaktadır.



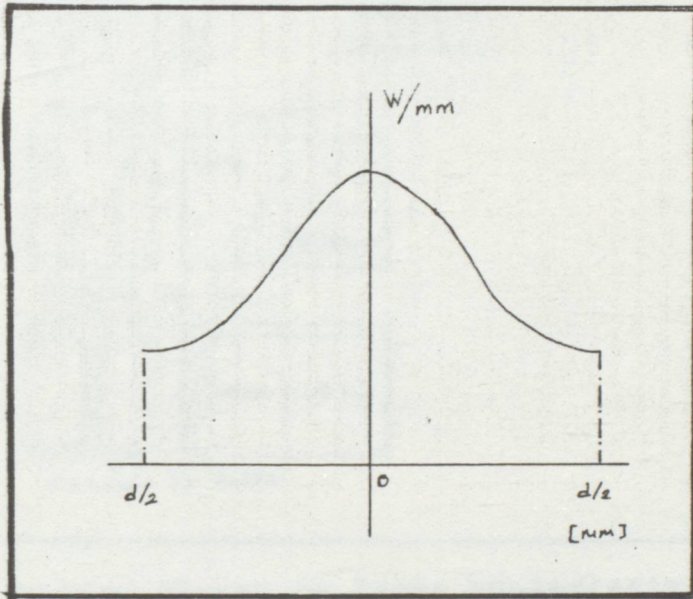
Şekil 9 Laser gücüne göre kesme hızlarının değişimi



Şekil 10 Saç kalınlığının değişik yöntemlere göre kesme hızına etkisi

3.3.2. MALZEMENİN ISIL ETKİLENMESİ

Tüm termik kesme yöntemleri arasında, malzemedeki ısıdan etkilenen ve iç yapı değişikliğine uğrayan bölgenin küçüklüğü ile laserin özel bir yeri vardır. Buna neden olan ısının malzemeye giriş koridorunun mm-nm çapında bir mertebeye sahip olmasıdır. Ayrıca malzemeye gelen laser ışınında mm^2 başına birkaç MW'lık güç yoğunluğu elde edilmektedir. Malzeme üzerindeki odak noktasının gerçekte bir küre olduğu düşünülüp malzeme üzerindeki dairenin çapı boyunca güç dağılımının nasıl değiştiği araştırılacak olursa söz konusu bu dağılımın Gauss eğrisi şeklinde olduğu görülür.

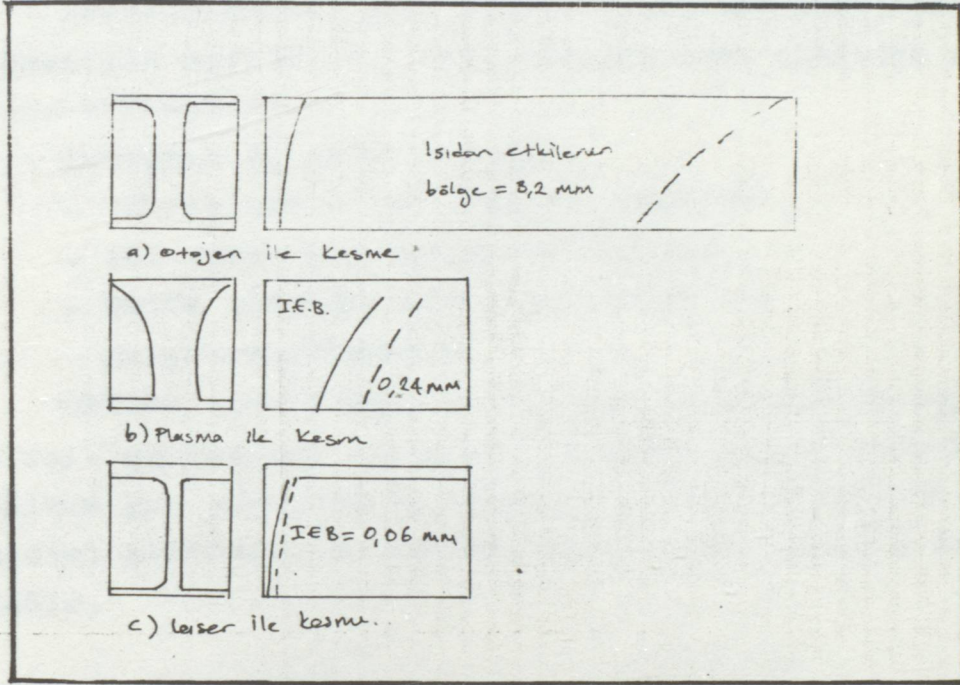


Şekil II. Odaklanan laser ışınındaki güç yoğunluğu dağılımı.

Diğer bir deyişle laser demeti ve odak noktası içinde de güç dağılımı koherzif bir tutum içindedir. İşte bundan dolayıdır ki, malzemenin süratle buharlaşması ve dar kesme ağızlarının eldesi kolay olmaktadır.

Verimli işleme için birçok ışın, iş parçası üzerinde 125-150 mm'lik bir mesafede odaklanır. Saç metal kesimlerinde odak uzunluğu 30-76 mm arasındadır. Laser ışınları 0.03 mm çapındaki bir noktayı kolaylıkla odaklamaktadır.

Laser ile kesme sonucu, kesme ağız genişliği düşük kesme yüzeyleri tam paralel olmakta, distorsiyonlar kesinlikle oluşmamaktadır. Otojen ile kesmede, kesme ağız genişliği, plasma ile kesmeye oranla daha düşük, paralel yakın kesme yüzeyleri yüksek derecede distorsiyonlar oluşmaktadır. Plasmada ise distorsiyon az, kesme yüzeyi paralel değildir. Şekil I2'de bu üç yöntemin karşılaştırılması gösterilmiştir.



Şekil I2. Otojen, plasma ve laser yöntemleriyle kesme işlemlerinde ısıdan etkilenen bölge (IEB) ve kesme ağız genişliklerinin karşılaştırılması ölçek: 50/1

Belirtildiği gibi laser kullanımı sonucu distorsiyonlar algılanamayacak mertebededir. Yüksek kesme hızların da dahi kesme yüzeylerinede kanal teşekkülü ve pürüzlülük görülmez. Enerjinin malzemeye temas olmaksızın transferi ise takım aşınmasını önleyen bir nedendir. Aynı neden yumuşak veya kırılğan malzemelerin yüksek bir kesme yüzeyi kalitesi ile işlenmelerine olanak sağlar. (Göz ameliyatlarında laser kullanımı)

Laser ile kesilen metal yüzeleri metalik parlaklıktadır. Kesimlerde kullanıldığında laser ile işleme yöntemi genellikle iş parçası kenarında bir dizi ince çizgilere neden olur. Bu durum ısı kaynağı geçerken metal donanımın sonucudur ve az miktarda curuf vardır. Ancak bu, gazla püskürtülür. ince çizgilerin derinliği besleme hızına bağlıdır.

3.4. GAZ PÜSKÜRTME

Laser işleminde yeni geliştirilen bir alet, işleme yardımcı amacıyla sürekli bir hava, oksijen yada nitrojen gibi soy gaz vermektedir.

Gazların üç görevi vardır.

- Okside olmuş bir atmosfer yaratmak,
- Isı veren bir tepkimeyi sağlamak,
- Madde sökümünü gaz püskürtmesi ile gerçekleştirmekdir.

Okside olan yüzey yansıtmayı azaltır. Buda büyük ölçüde ışık emilmesine yol açar. İş parçası laser ışınından ısındıkça gaz püskürtmesi erimeş bir oksit üretir ve sonrasında kesimi arttırır. Bu noktada laser ışını 42000°C dolaylarındadır.

3.5. OPTİK REZONATÖR

Laserlerin kontinü veya impulzif çalışma prensipleri onları birbirinden ayıran önemli bir karakteristiktir. Katı laserler uzun süre sadece impulzif olarak çalışmışlardır. Ne var ki, artık YAG-katı laserini kontinü çalıştırmak mümkün olmuştur. CO₂-gaz laserleri impulslu ve kontinü çalışma şekillerinden her ikisi için de uygundur. Aşağıdaki resimde görülen bir CO₂-gaz laserinin çalışma prensibi kısaca şöyledir.

Laser ışınımı, laser ortamı (He-N₂-CO₂ karışımı) içinde 13-40 mbar basınçta yanan bir kıvılcım-boşaltması yardımı ile elde edilir. Boşaltma tübündeki elektrodlar arasına birkaç bin volt değerinde doğru akım uygulanmıştır.

Bu elektrodlar arasında amaca uygun olarak kontinü veya impulsif bir boşaltma prosesi meydana gelir. Laser ortamı, birbirine tam paralel olan iki ayna arasında bulunmaktadır. Bunlardan biri %100 yansıtma özelliğini haizken diğeri kısmen gümüşlenmiş olduğundan geçirgendir. Bu geçirgen aynadan laser ışını ($\lambda=10,6\mu\text{m}$) parmak kalınlığında paralel bir demet halinde çıkar. Ayna, boşaltma tübü ve laser ortamından oluşan düzene "optik rezonatör" denir. Yer tasarrufu düşüncesiyle bu rezonatör ikiye katlanmıştır. Bu katlanma, sisteme ilâve iki saptırma aynasını gerekli kılmıştır. Her iki ayna ışın eksenine 45° açıyla yerleştirilmiştir. Bir laserde üç adet beslenme ünitesi vardır:

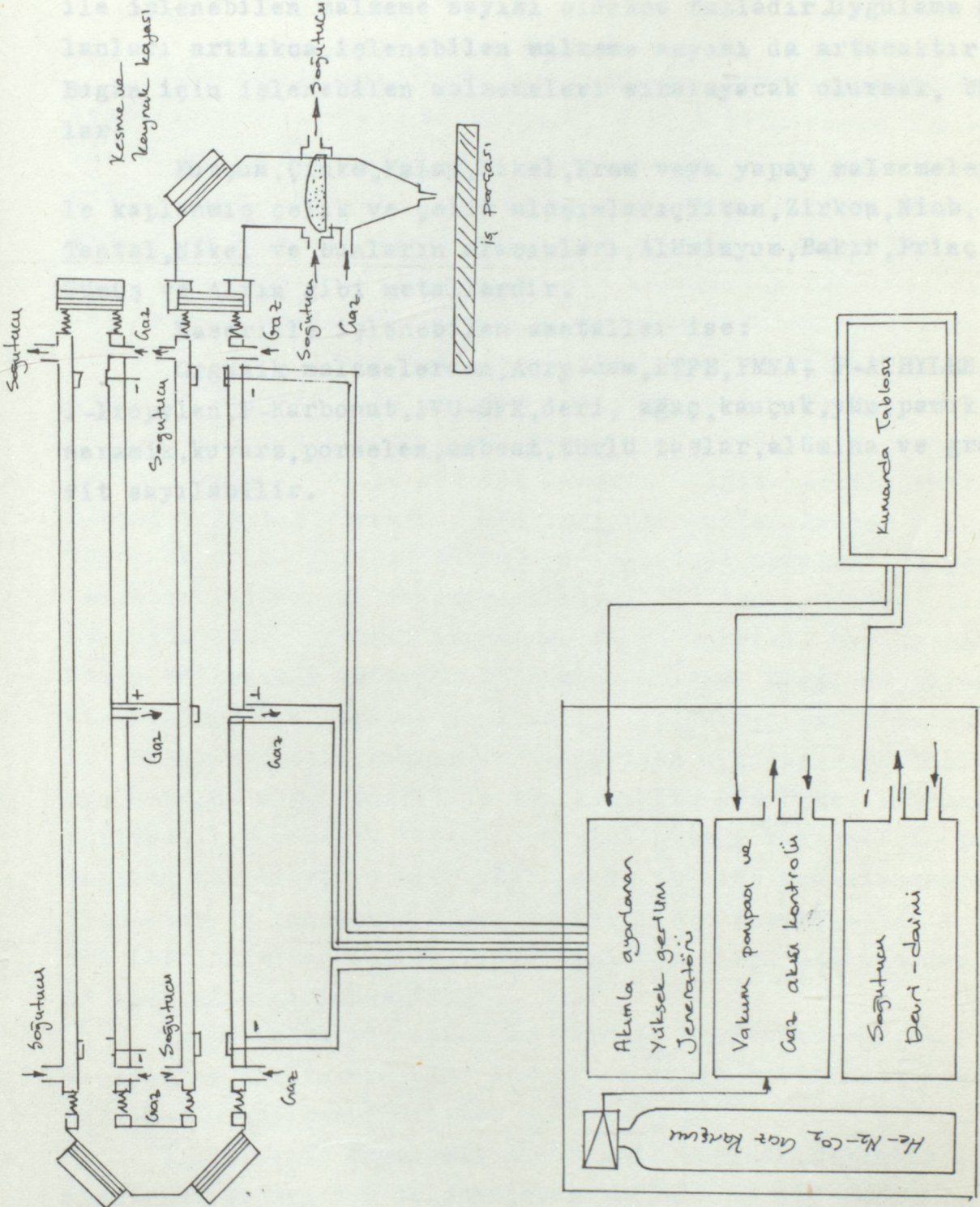
- a) Akımla ayarlanan yüksek gerilim jeneratörü
- b) Vakum pompası ve gaz akışı kontrolü
- c) Soğutma sistemi

Akımla ayarlanan yüksek gerilim jeneratörü, boşaltma borusu için gerekli elektrik enerjisini üretir. Vakum pompası, boşaltma borusu içinde gerekli vakum ortamını yaratır. Gaz akışına ait kontrol sistemi ise sürekli gaz akışını ve boşaltma basıncını kumanda eder. Soğutma sistemi de, boşaltma tübü, laser aynası, kaynak ve kesme kafası gibi termik yük altında bulunan tüm parçaları uygun bir soğutucu ile korur.

Parmak kalınlığındaki ışın demeti içindeki güç yoğunluğu malzeme işlemeye yeterli değildir. Bu nedenle, tercihan Gallium-Arsenid yarı iletkeninden yapılmış optik bir mercek ile demeti tek bir nokta halinde odaklamak gerekir. Böylece 10^9 Watt/cm² lik güç yoğunluklarına erişirken, odak noktası çapı sadece 0,1 mm olur.

Yukarıda çalışma prensibi açıklanan optik rezonatör, metal ve ametallerin işlenmesinde kullanılabilir. Mercleklerin odak mesafeleri ise 30-250 mm olabilir.

3.6. LASER YÖNÜMLÜ İLK İŞLENİMLERİN KONTROLÜ



Şekil 3.6 - Bir optik rezonatörün genel şeması -

3.6. LASER YÖNTEMİ İLE İŞLENEBİLEN MALZEMELER

Gelişen laser teknolojisi ile birlikte, laser yöntemi ile işlenebilen malzeme sayısı oldukça fazladır. Uygulama alanları arttıkça, işlenebilen malzeme sayısı da artacaktır. Bugün için işlenebilen malzemeleri sıralayacak olursak, bunlar:

Kurşun, Çinko, Kalay, Nikel, Krom veya yapay malzemelerle kaplanmış çelik ve çelik alaşımları, Titan, Zirkon, Niob, Tantal, Nikel ve bunların alaşımları, Alüminyum, Bakır, Princi Gümüş, ve Altın gibi metallerdir.

Laser ile işlenebilen ametaller ise:

Organik malzemelerden, ACRY-CAM, PTFE, PMMA, P-ATHYLEN, P-Propylen, P-Karbonat, PVC-GFK, deri, ağaç, kağıt, yün, pamuk, seramik, kuvarz, porselen, asbest, türlü taşlar, alümina ve grafit sayılabilir.

4. BİLGİSAYAR KONTROLLÜ LASERLER İLE MALZEME İŞLEME ŞEKİLLENDİRME.

Laserlerin yapısı ve laserlerle malzemenin işlenmesi araştırıldıktan sonra, bu bölümde, laserin bilgisayar ile kullanımı sonucunda malzemenin işlenmesi ve şekillendirilmesi incelenmiştir. Bilgisayar kullanımı sırasında yer alan basamaklar ve uygulama sonuçları ayrı ayrı ele alınmıştır.

Bir önceki bölümde laser ile malzemenin kesilmesini, delinmesini, şekillendirilmesini ve diğer yöntemlerle karşılaştırılması işlenmişti. Özellikle kesme ve kaynak işlemlerin de laserin bilgisayar donanımına sahip olmadan kullanımı mümkün olmaktadır. Çünkü laser geniş otomasyon olanaklarına sahiptir ve bu özellik laserin bilgisayar ile kullanımını kolaylaştırmaktadır. Başlangıçta kullanılmayan bilgisayar donanımı, gelişen teknoloji sayesinde uygulama da yer almıştır. Bilgisayar donanımı olmayan bir laser ünitesi ile işlemede: laser ünitesi koordinat (x,y) tahrikli bir tezgaha monte edilebilir ve laser işlenecek malzeme üzerinde hareket ettirilir. Bunun terside yapılabilir. İşlenecek parça hareketli, laser sabittir. Bunlardan hangisinin uygulanacağı kullanım amacına uygun olarak ve tüm koşullar göz önüne alınarak saptanabilir. Örneğin laserin hareket ettiği sistemde, iş parçasının boyutları ve ağırlığı hiçbir şekilde sınırlanmamıştır. Ancak iş parçasını kesme kafası altında hareket ettirmek istediğimizde ise, iş parçasının boyutları doğrultusunda hareket sınırlanmaktadır.

Laser kesme kafasının iş parçası üzerindeki gerekli mesafesini dar toleranslar içersinde sabit tutabilmek için iki yöntem geliştirilmiştir.

I. kapasitif duyargalı elektronik kumanda: Bu yöntem elektriği ileten tüm malzemelerde kullanılabilir. Dar toleranslar içinde çalışabilme olanakları çok iyi kesme sonuçlarını hazırlar. Bu kumanda yönteminde, güç, akım, gerilim, devir sayısı ve ölçü amplifikatörleri, hız jeneratörleri

rü ve şebeke gerilimi kullanılmıştır. Kullanılan merceklerin odak mesafeleri, $f=60$ mm dir.

II.Reflax memeli pnömatik kumanda: bu yöntem, düzgün ve pürüzlü olmayan yüzeylere haiz tüm malzemeler için uygun olmaktadır. Kullanılabilir en küçük odak mesafesi yaklaşık $f=120$ mm dir. Tolerans değeri 0.3- 0.5 civarındadır.

Heriki yöntemdede hacimsel iş parçaları kesilebilir. Bu özellik laserlerin otomotiv endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanımını mümkün kılmıştır. Yetmişli yıllarda uygulanan bu yöntemler ,bilgisayar ve laser teknolojisi ile robotik biliminin gelişmesi sonucunda yerini bilgisayarla kontrol edilen laserlere bırakmıştır.

Özellikle, kalıp işleme ve plastik şekillendirmenin laser ile yapılması bilgisayar donanımını zorunlu kılmaktadır.

Bazı iş parçalarının ölçü ve boyutlarına göre sürekli özdeş olarak üretmek için yapılan aparatlara kalıp denmektedir. Kalıpcılık günümüzde önem kazanan ve gelişen bir konudur. Kalıpcılık,

- meslek resim ve konstrüksiyon bilgisini,
 - tüm talaşlı ve talaşsız takım tezgahlarını kullanabilme yeteneğini,
 - teknoloji ve malzeme bilgisini
- gerektirmektedir. Bilgisayar kullanımı ile uygun laser i ve program seçimi bu bilgilere sahip olmadan kalıbın işlenmesini olanaklı kılacaktır. Uzman sistemlerin gelişmesi ile birlikte sadece bu cihazların satın alınmasından başka bize yapacak birşey düşmeyecektir.

Çevremizde kalıpla üretilen ihtiyaç maddeleri aparatları saat, elektrik, elektronik, ev aletleri, gözlük, makina sanayiinde görebiliriz. Kalıpcılık,

- metal kalıpcılığı,
- plastik kalıpcılığı,
- pres döküm kalıpcılığı,
- kauçuk veya lastik kalıpcılığı,
- sıcak şekillendirme kalıpcılığı

gibi bölümlere ayrılmıştır ve oldukça geniş bir alandır.

Bu alanda bilgisayar donanımlı laser kullanımı, kesme, delme, kaynak v.b. işlemlerde de kullanımını olanaklı kılacaktır. Bugünkü teknoloji, bilgisayar ile laserin ortak kullanılmasından ortaya çıkan bir yöntem sunmaktadır. "Moving Mirror Imaging Technology", Hareketli ayna imaj teknolojisi şimdi bu yöntemi inceleyelim.

4.1. HAREKETLİ AYNA TEKNOLOJİSİ TEKNOLOJİSİ:

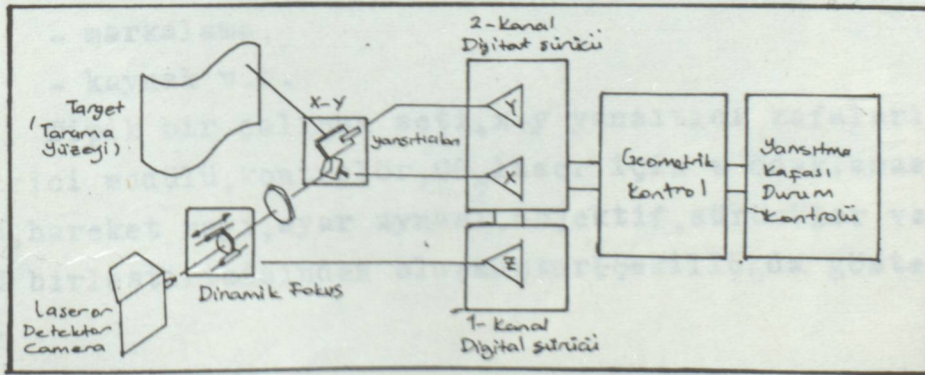
OPTİK YANSITICI SİSTEM(OPTICAL SCANNING SYSTEM):

Bu teknoloji hareket eden bir çift galvonemetere ile optik görüntüyü hassas şekilde gerçekleştiren aynalar (bu aynaların x, y. eksenini boyunca laser ışınlarının hareketini sağlayacaktır.) z eksenini boyunca odaklama için hareket eden bir mercek, digital-analog çeviriciler (DAC) ve sistemi kontrol eden bilgisayar donanımından oluşmuştur.

Yöntem, laser kullanımına ilişkin uygulamalarda iki alternatif sunmaktadır.

- Laser çalışma seti (LASER WORKING KITS)
- Görüntü seti (VISION KITS)

Bunlarla ilgili blok diagram aşağıda şekil I4'de verilmiştir. Her iki sette geniş kullanım olanaklarına sahiptir.



Şekil I4-Optik yansıtıcı sistemlerin blok diagramı

4.2. LASER ÇALIŞMA SETİ:(Şekil 15)

Değişik laser tiplerine göre farklı sistemler geliştirilmiştir.Kullanılan laser tipleri genellikle,CO₂ ,YAG veya HeNe laserleridir.Malzeme işleme açısından en uygun laser olarak CO₂ laser seçilmiştir.Bu laser tipine uygun olarak bir çalışma seti bugün General Scanning şirketi tarafından üretilmektedir.(Şekil 16)

Her bir laser düzeneği,tarama yüzeyinde nokta alanlarında olduğu gibi laser parametrelerinin geniş bir şekilde dizilmesini sağlar .Bu esneklik donanım değişiklikleriyle minimize edilmiştir.

Bu laser seti iki çeşit yansıtıcıdan oluşmuştur.

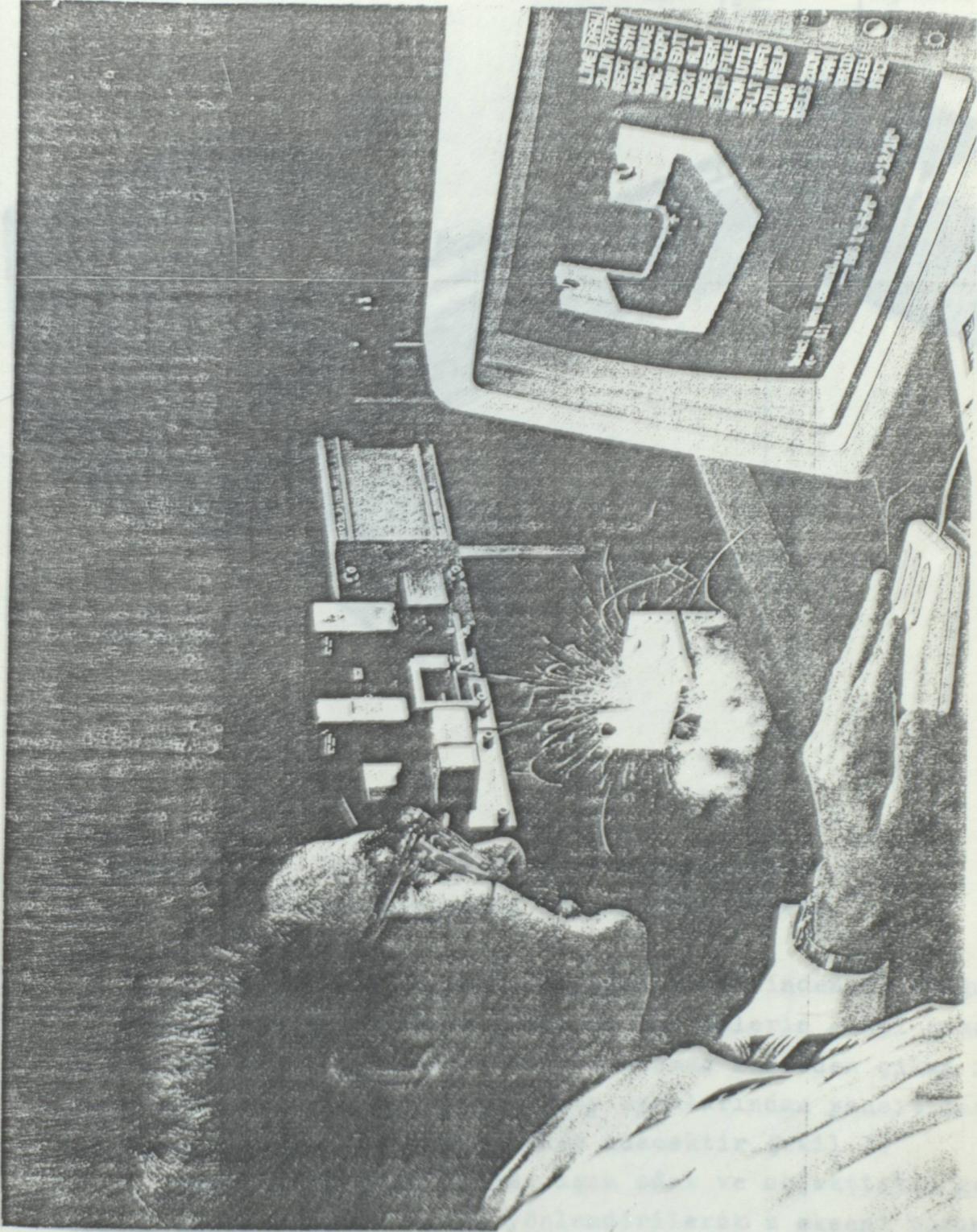
- Sabit odaklı (fixed focus)
- Dinamik odak (dynamic focus)

Her iki odak sisteminde de vektör veya raster hareketi x,y tarama yüzeyinde gerçekleşir.Uygulama için doğru düzensizlik,güç,dalga,uzunluğu ve adreslenebilir iki nokta arasında ki uzaklık laser ve bilgisayar tarafından düzenlenir.

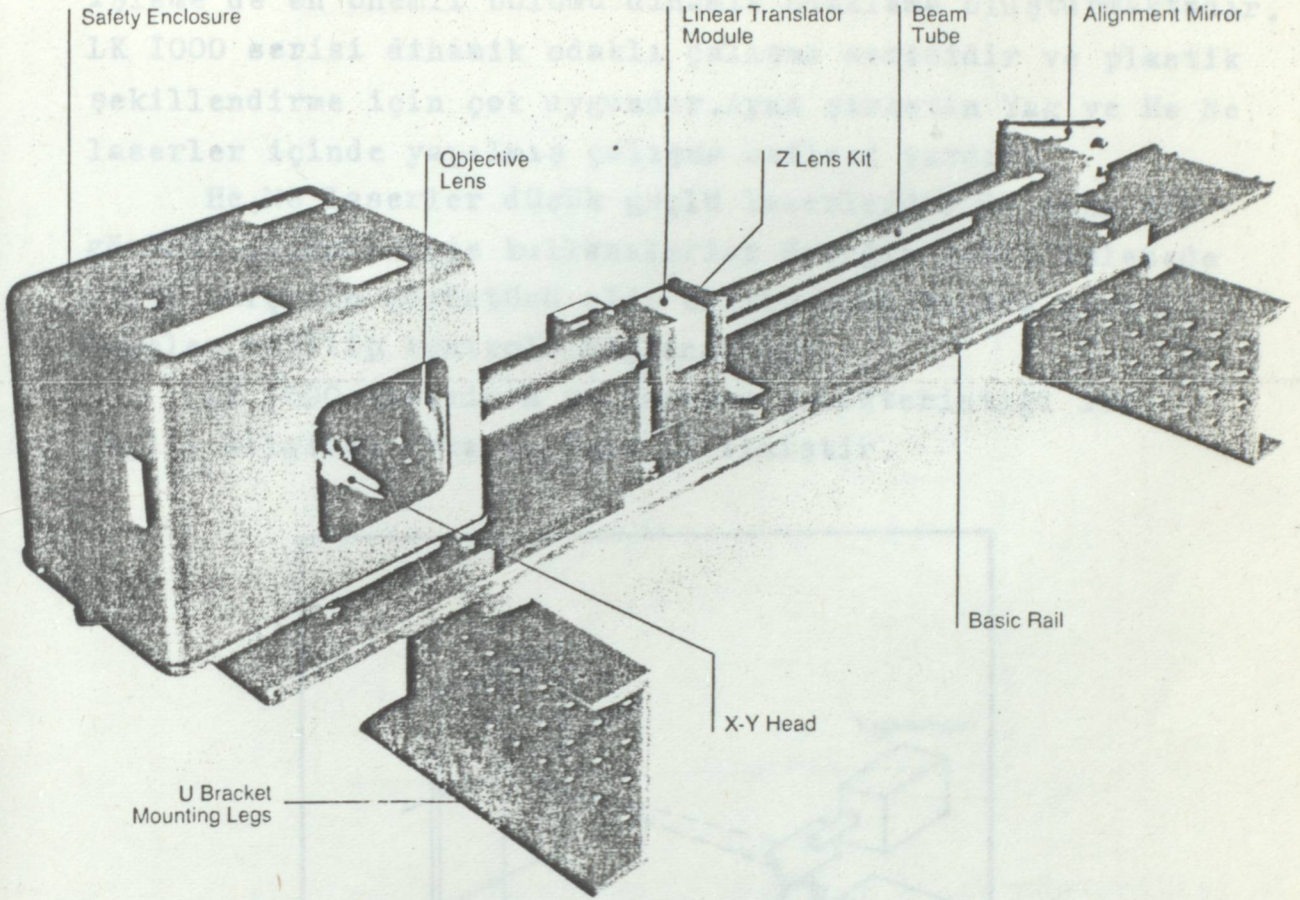
Bu çalışma seti ile aşağıdaki işlemler kolaylıkla yapılabilir.

- mühürleme,
- ısıtma işlemi,
- plastik şekillendirme,
- çerçeveleme,
- delme,sondaj işleme,
- markalama,
- kaynak v.b.

Tipik bir çalışma seti,x-y yansıtıcı kafaları,linear çevirici modülü,kontrolör,CO₂ laser için z odaklaması,ışın tüpü,hareket rayı,ayar aynası,objektif,sürücüler ve ışın tüpü birleştiricisinden oluşmuştur.Şekil 16'da gösterilmiştir.



Şekil 15- Laser çalışma seti-



Şekil-16-CO₂ laser çalışma seti elemanları
General Scanning Inc. LK1000 serisi

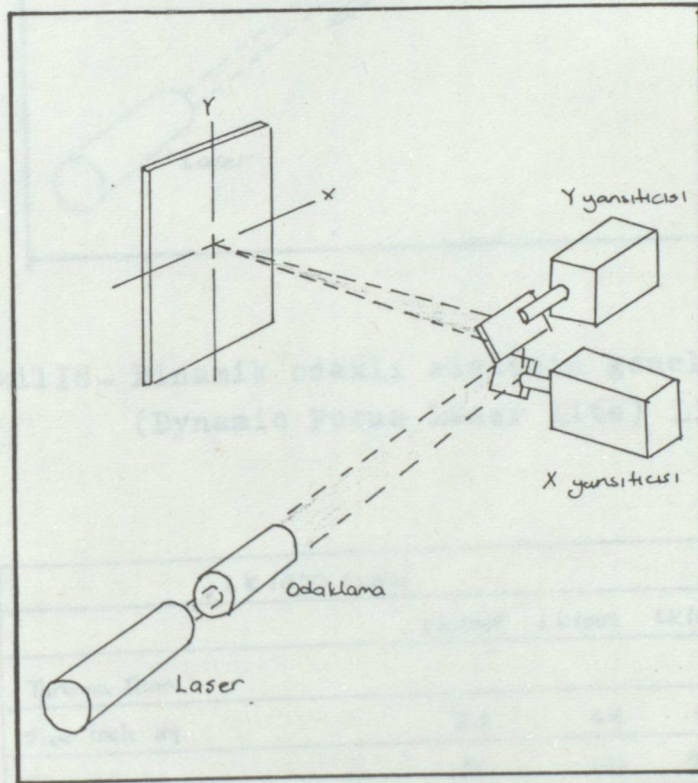
Laser çalışma setinin iki odak sisteminden oluştuğunu söylemiştik. Şekil 17 ve 18'de bu sistemlerin genel şemaları gösterilmiştir. Sabit odaklı sistemde laserden çıkan ışın kuvvetlendirildikten sonra x-y aynalarından yansıtılarak x-y tarama yüzeyi boyunca hareket edecektir. Şekil 17

Dinamik odaklama da ise ışın odak ve objektiften geçtikten sonra yansıtıcılarla yönlendirilerek z eksenini boyunca hareket edecektir. Şekil 18. Sabit odaklı sistemle noktalama ve tarama işlemleri yapılabilirken, dinamik odaklı sistemle kesme, delme, işleme, şekillendirme yapılmaktadır. Kısaca kalıp

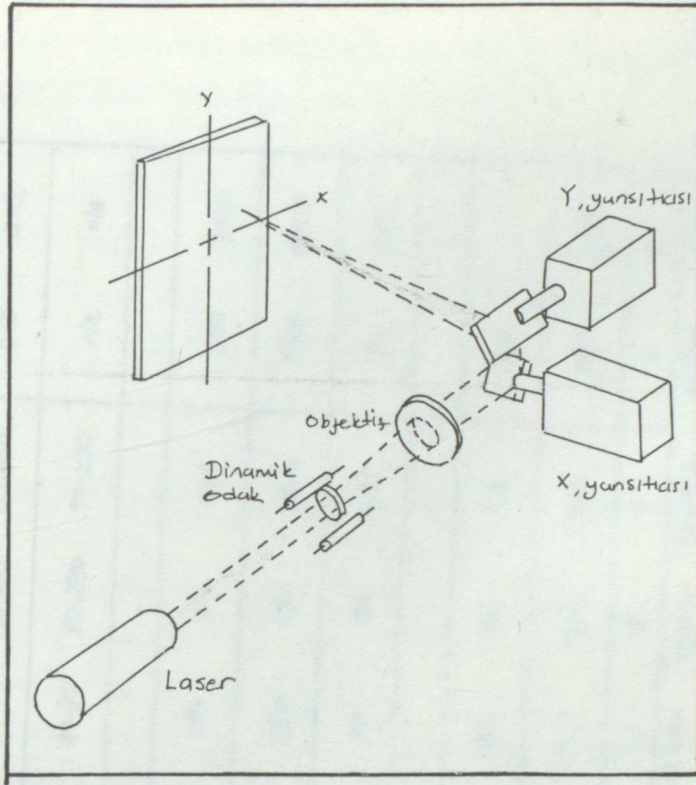
işleme de en önemli bölümü dinamik odaklama oluşturmaktadır. LK 1000 serisi dinamik odaklı çalışma serisidir ve plastik şekillendirme için çok uygundur. Aynı şirketin Yag ve He Ne laserler içinde yapılmış çalışma setleri vardır.

He, Ne laserler düşük güçlü laserlerdir ve daha çok görüntü işlemlerinde kullanılırlar örneğin kalıp işlemede örnek parçanın görüntüsü elde edilip bilgisayara gerekli doneler verilip kontrolü sağlanabilir.

LK 1000 serisinin performans karakteristiği ile ilgili bilgiler arka sayfada verilmiştir.



Şekil 17-Sabit odaklı sistemin genel gösterilişi
(Fixed Focus Laser Kit)
General Scanning LK "3002"serisi



Şekil 18- Dinamik odaklı sistemin genel gösterilişi
(Dynamic Focus Laser Kits) LK 1000

LK 1000 Serisi			
	LK1001	LK1002	LK1003
Tarama Alanı			
Size inch sq.	2.2	4.4	11
Size mm sq	56	112	279
Tarama Radiusü mm "D"	78	154	383
Odak noktası			
Spot çapı mm (odaknok.)	68	103	206

Şekil 19-LK 1000 serisinin tarama alanı karakteristiği.

LASER TİPİ	CO ₂		YAG			HeNe		
	Dalgabınlınlığı 10.6 μm	Dalgabınlınlığı 1.06 μm	Dalgabınlınlığı 6.0	Dalgabınlınlığı 6.0	Dalgabınlınlığı 6.0	Dalgabınlınlığı 1.0	Dalgabınlınlığı 0,632 μm	
Gınlı ıslın ağıklığı MM	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	1.0	1.0	
Max. Gıđ W	250	400	50-125	80-280	125-450	0.05	0.05	
Max Gıđ Pulse, MW	200	320	40-90	60-280	90-250	n/a	n/a	
Dınamlık Performans								
Vector hızı mm/s	150	300	150	300	750	300	3000	
Vector hızı mm/s (normal)	390	730	390	730	1900	1500	75000	
Düz ağığı (hat dığınlığı) ± μm	20	50	20	50	110	30	460	
Statik Performans								
Durum hassaslığı ± mm	0.3	0.6	0.3	0.6	1.4	1.1		
Tekrarlanma ± μm	11.0	22.0	11.0	22.0	54.0	54.0	200	
Resolution μm (minimum or kısıtlı ıslın hızı)	1.5	3	1.5	3	7	6	30	
	LK1001	LK1002	LK1003	LK2001	LK2002	LK2003	LK3001	LK3002

Şekil -20- Çalışma seti performans karakteristiği
LK SERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Şekil 20'de yer alan çizelgeyi incelediğimizde, CO₂ laser ile YAG laseri arasında Dinamik ve Statik performans karakteristikleri açısından bir fark olmadığı görülür. Dalga uzunlukları 10.6 m olan iki laser tipi arasındaki fark ışın gücünde ortaya çıkmaktadır ve bu fark malzeme işleme işleme açısından CO₂ laseri daha kullanışlı ve verimli kılmaktadır. Şimdi malzeme işleme açısından, günümüzde en önemli laserlerden biri olan CO₂ laser'in özelliklerini inceleyelim.

4.2.1. CO₂ LASER:ÖZELLİKLERİ ve MALZEME İŞLEMESİ-

Daha öncede belirttiğim gibi CO₂ laser, gazlı laserler sınıfına girmekte ve günümüzde en çok kullanılan laserler arasında yerini almaktadır.

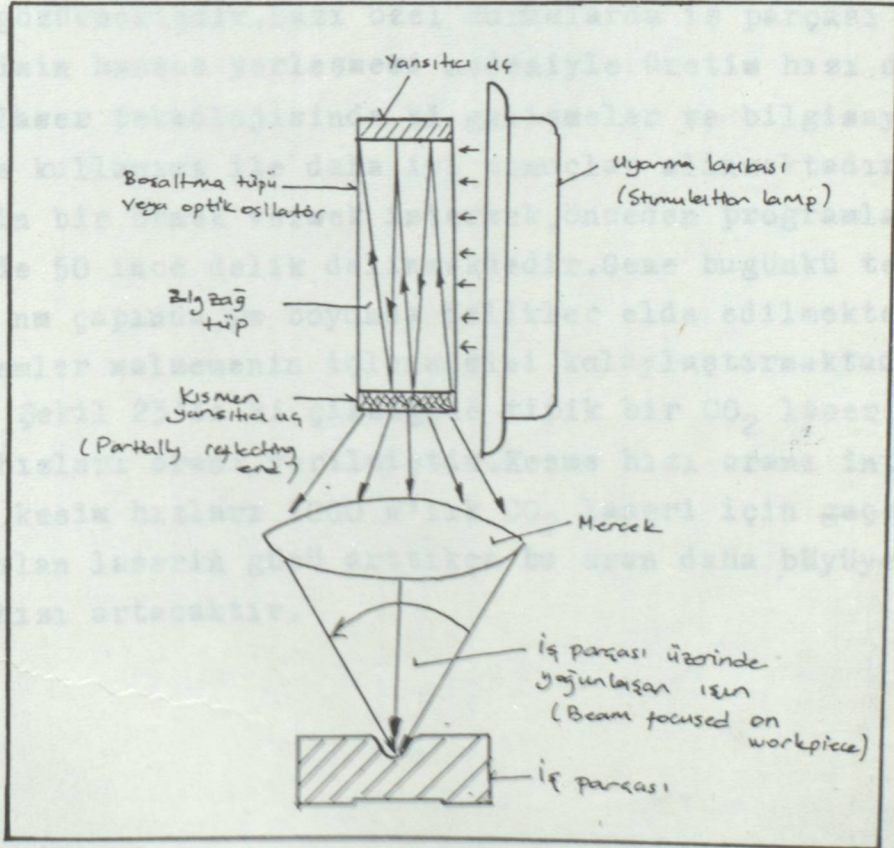
İlk CO₂ laser C.K.N. Patel tarafından " Bell Telefonları Laboratuvarı"nda gerçekleştirilmiştir. Patel, gaz akımı sistemiyle karbondioksit, karbonmonoksit, azotoksitül ve karbonsülfid'ten laser ışınları elde etmeyi başardı. En yüksek verimi ise CO₂ ile elde etti. Hatta karbondioksidin laser ortamı olarak kullanılması halinde direkt enerji pompalamanın mümkün olduğunu da gördü. Zira bu halde CO₂ molekülleri, moleküler düzenlerini bozup atomar hale gelmek sizin uyarılabilmıştırler. 1967 yılında piyasa için CO₂ laserlerin seri halde üretimine başlanmıştır. Bu laserler, 1200w gücünde % 17 verimle çalışan ve iki adet 10m'lik paralel uzun borudan oluşan ve dolayısıyla faydalı laser uzunluğu 20 m olan laserlerdir. Günümüzde kullanılan laser boyutları oldukça küçülmüş ve çeşitlendirilmiştir.

CO₂ laserin yaydıkları ışının dalga uzunluğu 106000Å'dur. Bu dalga uzunluğu elektromanyetik tayfın görünür kısmında değil kızılötesi bölgenin çok aşağılarında bulunur, ayrıca atmosferi çok iyi katettiğinden haberleşme tekniğinden de çok önemlidir.

CO₂ laseri farklı birçok metali işlemek için kulla-

nılır.Özellikle aynı yada ona yakın dalga uzunluktaki çok yüksek enerji emişine sahip olan ametalleri işlemeye elverişlidir.Ametal malzemelerin işlenmesinde özellikle uygunluk gösterirler.Çünkü $\lambda = 10.6$ olan ışınım dalga boyu ametallerce daha iyi soğurulabilir.Diğer yönden CO₂ gaz laseri metal malzemelerin işlenmesinde de çok iyi sonuçlar vermektedir.Nedeni ise CO₂ gaz laserlerinin veriminin (%15-18 katı) laser verimine göre (%1)yüksek oluşudur.Böylece metal malzemelerin $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$ olan dalga boyunu iyice soğurmamasından ortaya çıkan olumsuz yön dengelenmiş olur.

Şekil 2I'de yüksek güçlü bir CO₂ laserden laser ışını ile malzeme işlemesi için oluşturulan tipik bir yapı gösterilmiştir.



Şekil 2I -Tipik bir CO₂ yapısı-

Şekilde de görüldüğü gibi, laserden çıkan ışın mercek ile odaklanarak iş parçası üzerinde yoğunlaştırılmak da ve malzeme yüzeyine nüfuz etmektedir. İş parçasının işlenmesi bu esasa dayandırılmaktadır.

CO₂ dalga uzunluğunda metallerin yüksek yansıtma özellikleri nedeniyle boşalan enerjinin çoğu yansıtılır ve kaybolur, bu yüzden kesim verimi düşüktür. Yüksek güçlü CO₂ laser ışınlarını sürekli ateşleyerek, küçük bir miktar da radyasyon emilmesine rağmen metal yüzeyinin içine geçilmenin mümkün olduğu ortaya çıkarılmıştır. Dahası yüzey buharlaşmaya başladığında yansıtma düşmekte ve enerji daha etkili biçimde emilmektedir.

Şekil 22'de tipik bir CO₂ laser için delme hızları verilmiştir. Bu deliklerin her biri ms-den daha az bir zamanda delinmektedir. Gelecekte bu sürenin çok daha azalacağı kesin gözükmektedir. Bazı özel durumlarda iş parçası üzerinde ki kesimin hassas yerleşmesi nedeniyle üretim hızı düşüktür. Ancak laser teknolojisinde ki gelişmeler ve bilgisayar donanımının kullanımı ile daha iyi sonuçlar alınmaktadır. Delme işi için bir örnek vermek istersek, önceden programlanarak saniyede 50 ince delik delinmektedir. Gene bugünkü teknoloji ile nm çapında, µm boyunda delikler elde edilmektedir ve bu işlemler malzemenin işlenmesini kolaylaştırmaktadır.

Şekil 23'de ki çizelgede tipik bir CO₂ laser için kesim hızları oranı verilmiştir. Kesme hızı oranı in./dak dır. Bu kesim hızları 1000 W'lık CO₂ laseri için geçerlidir. Kullanılan laserin gücü arttıkça bu oran daha büyüyecek, kesim hızı artacaktır.

4.3. LASER GÖRÜNTÜ BEZİ (VISİBİLİTE)

Şekil 24 ve 25'de tipik bir lazer görüntü bezi görülmektedir. Şekil 24'de Laser

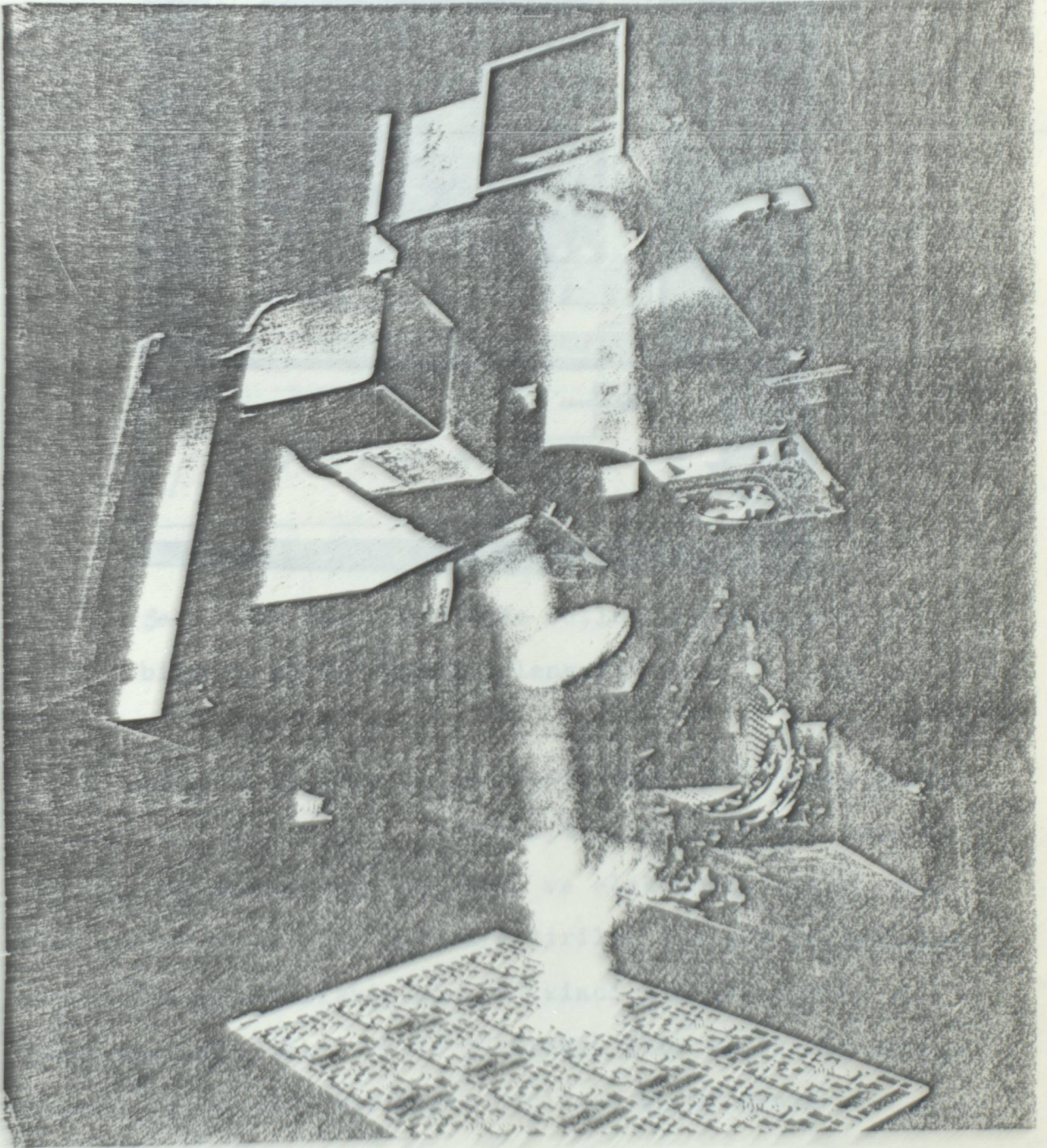
Malzeme	Kalınlık (inç, mm)	Delik Çapı (inç, mm)
Tungsten	0,020" 0,51 mm	0,020" 0,51 mm
Seramik	0,101" 2,57 mm	0,050" 1,27 mm
Pratik	0,010" 0,25 mm	0,250" 6,35 mm

Metal Kalınlığı (inç)	Paslanmaz Çelik	Alüminyum	Galvaniz	Titanyum
0,020"	750	800	250	-
0,032"	650	-	-	-
0,040"	550	350	100	250
0,062"	450	200	50	150
0,080"	325	100	-	100
0,125"	200	-	-	-

Şekil 22 ve Şekil 23 Delme ve kesme hızları

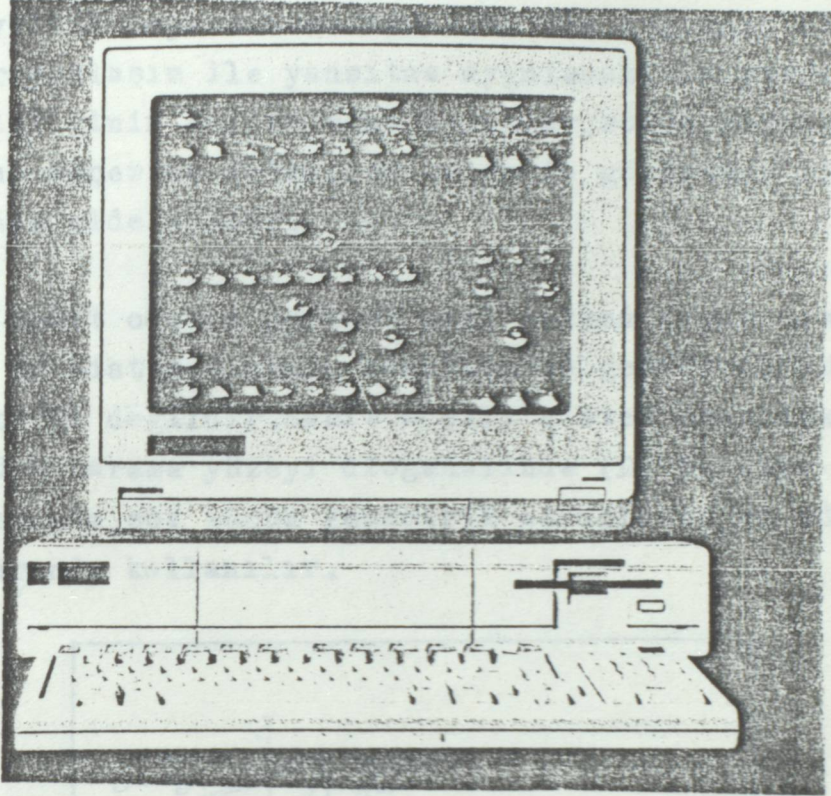
4.3. LASER GÖRÜNTÜ SETİ: (VISION KITS)

Şekil 24 ve 25'de tipik bir laser görüntü seti görülmektedir. Şekil 24'de laser görüntü seti ile elde edilen



Şekil 24- Laser görüntü seti.

görüntünün bilgisayar ekranında elde edilmesi şekil 25'de gösterilmiştir.



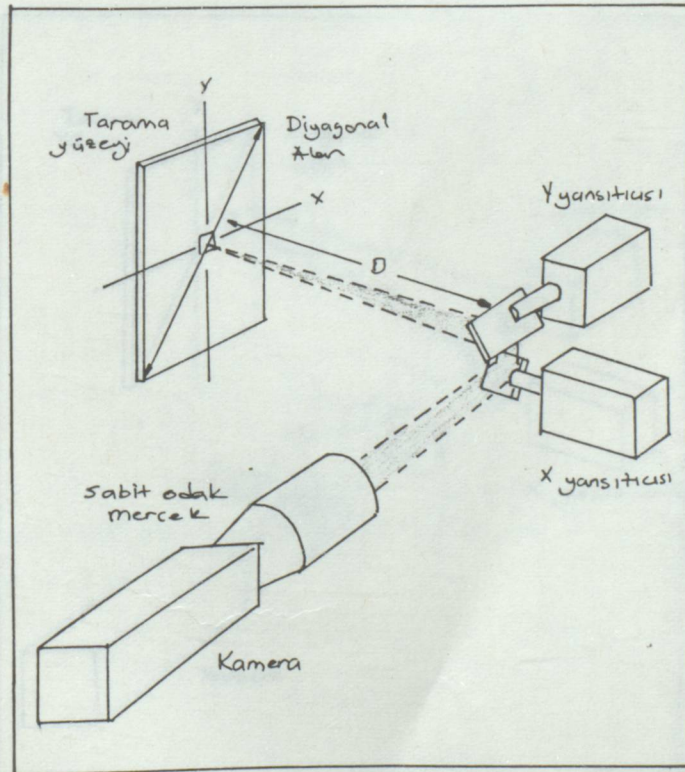
Şekil 25- laser ile elde edilen görüntünün bilgisayar ekranında izlenmesi.

Her iki şekilde de görülebileceği gibi, laser görüntü seti x-y yansıtıcı kafaları, optik mercekle, optik hareket rayı, kamera, bilgisayar donanımı ve elektronik cihazlardan oluşmuştur. Bu set ile gerçekleştirilen çalışma yöntemi, laser kullanımına ilişkin olarak ikinci bir alternatif oluşturmaktadır. Şekil 25'de görüldüğü gibi küçük bir entegre devreden, normal bir resim seçiciye kadar geniş bir alana hizmet etmektedir.

Laser görüntü seti hem sabit odak sistemi hemde dinamik odak sistemi ile tarama ve görüntü problemlerinin çözümüne olanak sağlar. Her iki tip yansıtma, x-y tarama yüzeyinde vektör veya raster hareketi ile sağlanır. Sistem önce modüler yaklaşım ile yansıtma uygulamasının performans karakteristiğinin kullanımını tanımlar, sonra yoğunlaştırma modülünü seçer ve istenilen bölgenin görüntüsü bilgisayar ekranında elde edilir.

Sabit odaklı görüntü seti (fixed focus vision) :

Bu sistem dinamik odaklama ve geometrik düzeltme için yeterli değildir. Sabit odaklı sistem genellikle yansıtma radüsü tarama yüzeyi diogonalinde (D) üç veya daha fazla olduğunda, çok küçük geometrik sonuçlarda ve odak distorsiyonlarında kullanılır.



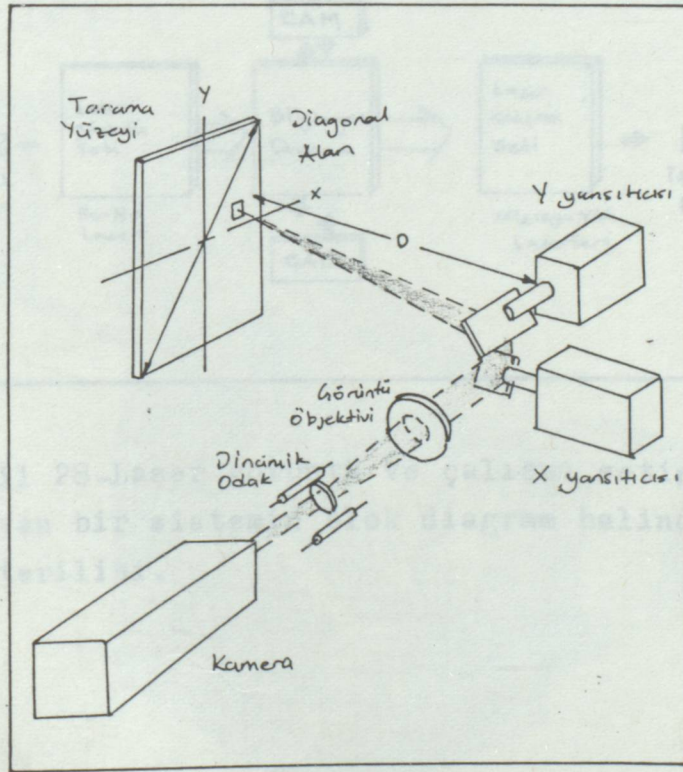
Şekil 26- Sabit odaklı görüntü sistemi.

Şekil 26'da görüldüğü gibi sistem, x-y yansıtıcıları, kamera ve sabit odaklı mercekten oluşmuştur.

Dinamik odaklı sistem (dynamic focus vision):

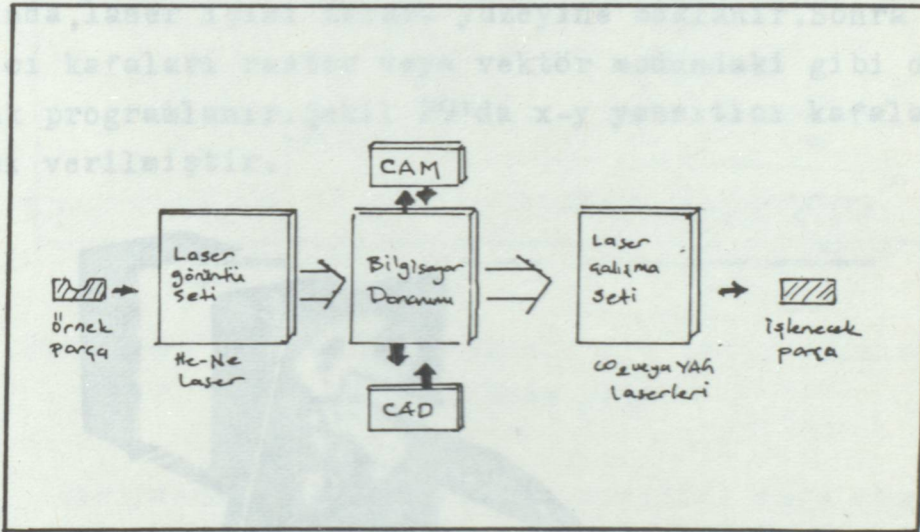
Bu sistem x,y,z sürücü sinyallerine göre, görüntüsü istenen nesne üzerinde tarama yaparak üç boyutlu görüntüsünün elde edilmesini sağlar

Laser görüntü setine bu sistem ilave edildiğinde yansıma radüsü "D" diogonal alan üzerindeki tarama yüzeyi kadar küçülecektir. Böylece ışık toplama gücü ve olası en küçük ışın hareketi çoğalacaktır. Şekil 27'de görüldüğü gibi bu sistem, x-y yansıtıcıları ,dinamik odak, kamera ve görüntü objektifinden oluşmuştur.



Şekil 27. Dinamik odaklı görüntü sistemi

4. Laser görüntü seti, laser ile malzeme işleme de direk olarak bir fonksiyona sahip değildir ancak işlenecek malzemenin görüntüsünün en ince noktasına kadar elde edilmesi ile oldukça önemli olabilmektedir. Bu özellik kalıp işleme konusunda ayrıca bir önem kazanmakta ve işlenecek malzeme için bir nevi şablon görevi üstlenmektedir. Ancak oluşacak sistem yeni yazılım olanaklarına ihtiyaç duyacak ve ekonomik açıdan maliyet faktörünü büyütecektir. Bugün için kullanılması pek uygun olmayan bu sistem ve benzerlerinin gelecekte önümüze yeni ufuklar açacağı bir gerçektir. Böyle bir sistemin genel bir blok diagramı aşağıda verilmiştir.



Şekil 28-Laser görüntü ve çalışma setinden oluşan bir sistemin blok diagram halinde gösterilişi.

4.4. YANSITMA SİSTEMİ MODÜLLERİ

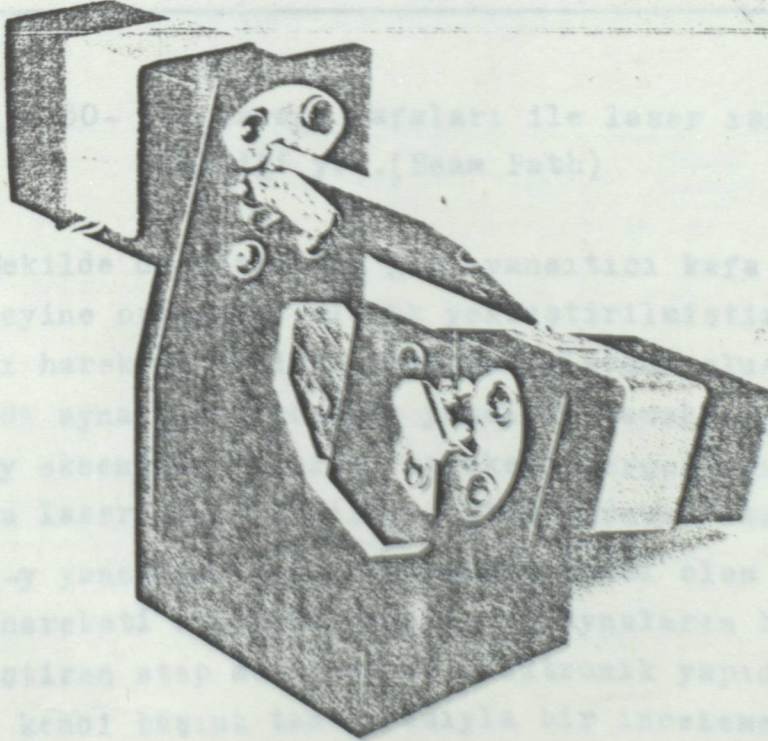
Bilgisayar kontrollü laser ile malzeme işleme de ve görüntü elde etmede kullanılan temel birimler vardır. bu birimleri sıralamak istersek şöyle yazabiliriz.

- x-y yansıtıcı kafaları
- z ekseninde hareketi sağlayan,dinamik odaklama
- ve elektronik cihazlar

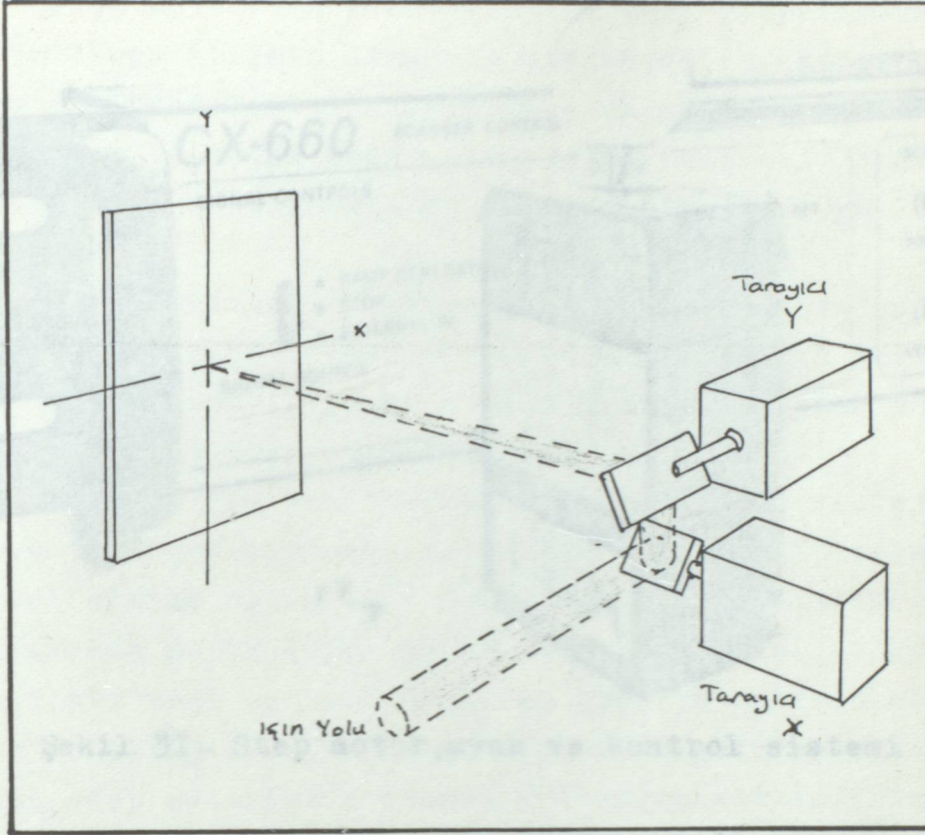
şimdi bu başlıklar altında sırasıyla birimleri inceleyelim.

4.4.1.X-Y YANSITICI KAFALARI:

Laser ile malzeme işleme de,bilgisayar yazılımı sonucunda,laser ışını tarama yüzeyine odaklanır.Sonra x-y yansıtıcı kafaları raster veya vektör modundaki gibi direk olarak programlanır.Şekil 29'da x-y yansıtıcı kafalarının resmi verilmiştir.



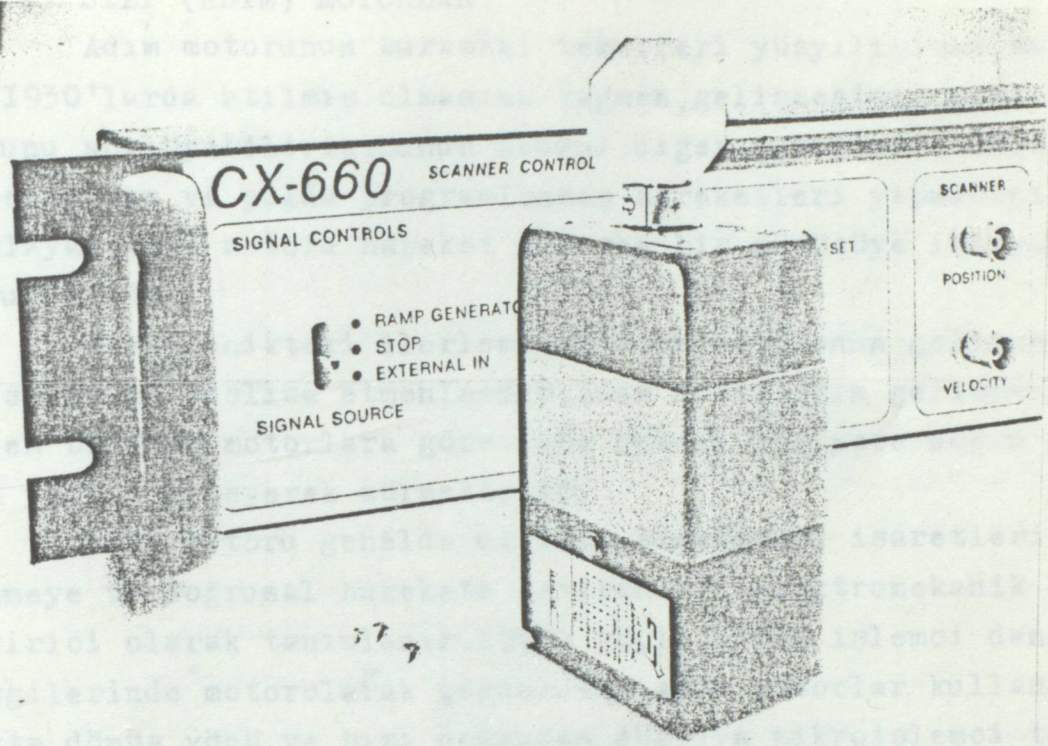
Şekil 29- x-y laser yansıtıcı kafaları.



Şekil 30- x-y tarama kafaları ile laser ışınının izlediği yol.(Beam Path)

Şekilde de görüldüğü gibi yansıtıcı kafa sistemi, tarama yüzeyine ortagonal olarak yenleştirilmiştir ve aynalarla onları harekete geçiren step motorlardan oluşmuştur. Alttaki küçük ayna ile x yönünde yansıtma hareketi, büyük ayna ile ise y ekseninde yansıtma hareketi gerçekleşmektedir. Uygulama da laser ışını şekildedeki gibi hareket etmektedir.

x-y yansıtıcı kafa sisteminde temel olan ışının hareketi, bu hareketi sağlayan aynalar ve aynaların hareketini gerçekleştiren step motorlar ve elektronik yapıdır. Step motorlar kendi başına tam anlamıyla bir inceleme konusu olmasına rağmen bu bölümdeki önemi nedeniyle genel olarak incelenmiştir.



Şekil 31- Step motor, ayna ve kontrol sistemi

X-Y Kafalı tipleri	Lineerlik	Tekrarlama	Max. Galınlık aralığı	Max. optik sapma	Hız		Mekanik Boyutlar	Dijital sürücü tipi	Uygulama	
					Random	Vektör			Galınlık	Görüntü
XY5067	±0.3%	±0.01%	196" 50 mm	±20°	100ms	0-50°/s	10"L x 8"W x 6"H	DX2001		X
XY3037	±0.3%	±0.01%	1.18" 30 mm	±20°	75ms	0-300°/s	7"L x 6"W x 4 1/2"H	DX2002	X	X
XY2026	±0.3%	±0.01%	0.79" 20 mm	±20°	50ms	0-400°/s	6"L x 6"W x 4"H	DX2003	X	X
XY1013	±0.3%	±0.01%	0.39" 10 mm	±20°	30ms	0-600°/s	5"L x 5"W x 4"H	DX2004	X	X
XY0507	±0.5%	±0.01%	0.20" 5 mm	±20°	8ms	0-3000°/s	3"L x 3 1/2"W x 3"H	DX2005	X	

Şekil 32- x-y kafaları karakteristikleri.

4.4.2. STEP (ADIM) MOTORLAR

Adım motorunun kuramsal temelleri yüzyılımızın başında 1930'larda atılmış olmasına rağmen, gelişmesinin yeni olduğunu söyleyebiliriz. Bunun nedeni diğer motorların tersine istenen hız ve yolda programlanmış hareketleri yapmasını sağlayan yani motoru hareket ettiren bir sürücüye ihtiyaç duyulmasıdır.

Elektronikteki ilerlemeler adım motorunun gelişmesini sağlayan başlıca etmenlerdir. Adım motorların gelişmesi halen bilinen motorlara göre daha önemli bir yere doğru yıldan yıla ilerleyerek sürmektedir.

Adım motoru genelde dijital elektronik işaretleri, dönmeye ve doğrusal harekete çeviren bir elektromekanik bir çevirici olarak tanımlanır. Düşük güçlü mikro işlemci denetim dizgilerinde motor olarak çoğunlukla adım motorlar kullanılmakta, dönüş yönü ve hızı doğrudan doğruya mikro işlemci tarafından denetliğinden yazılım ve donanım sadeleşmektedir. Bu özellik step motorların otomatik kontrol sistemlerinde uygun bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır.

Adım motorların diğer avantajları ise yüksek çıkış momentlerine sahip olması, adım doğruluğu, işlevsel alanda sınırsız değişken hıza sahip olması, open loop modunda işlev yapabilmesi ve uzun bir zaman boyunca sağlıklı olarak çalışabilmesidir.

Günümüzde birçok şirket çeşitli tiplerde adım motor üretimini gerçekleştirmektedir. Örneğin Moore-Reed adlı İngiliz şirket adım motorları üretimi yapmakta ve çeşitli boyalarda step motor üretmektedir. Bu motorların boyları 19 mm ile 108 mm arasında değişmektedir. Bu da bize step motorların geniş bir alanda kullanımını sağlamaktadır. Küçük boyutlarda ki motorlar senkron tip daha büyükleri flenç tip motorlardır.

Step motor çeşitleri:

Yapılarına göre temelde üç tip adım motoru vardır,

bunlar:

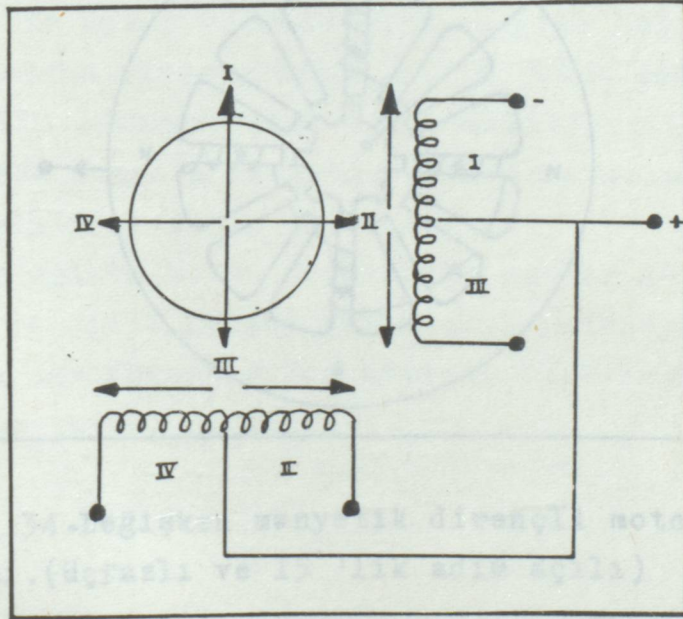
- Sabit mıknatıslı (Permanent Magnet)
- Değişken manyetik dirençli (Variable Reluktan)
- Melez (Hybrid)

Her motor grubunun kendine ait özellikleri vardır. Bu özellikler iyi bilinmeli, değerlendirilmeli ve uygulama alanına göre en verimli, en uygun özellikleri taşıyan motorun seçimi gerçekleştirilmelidir. Bu bize daha verimli bir çalışma ortamı yaratacaktır.

Sabit mıknatıslı ve değişken manyetik dirençli step motorlar normalde üç yada dört fazlı sarma formu, melez tipler ise dört fazlı form için uygundur. Şimdi bu üç motorun özelliklerini inceleyelim.

Sabit Mıknatıslı Step Motorlar

Bu tip motorlarda radyal mıknatıslı sabit rotor ve sarı stator kullanılır. Her faz sırasıyla enerjilendiğinden sonuçta stator akısı rotor akısıyla reaksiyona girmekte buna bağlı olarak minimum manyetik direnç doğrultusunda



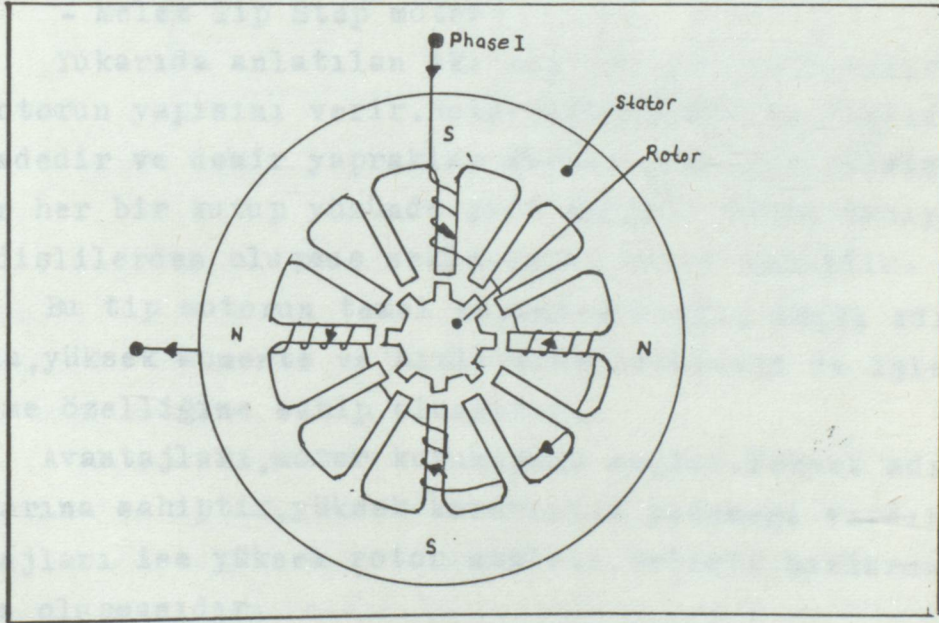
Şekil 32- Sabit mıknatıslı step motor 4 faz şematik diagramı.

iki alan oluşmaktadır. Her stator fazı enerjilenirken bu işlem rotorun step-adım hareketlerine dönüşerek sonuçlanmaktadır. Sabit mıknatıslı motorlar 90° ve 120° temeladamlar için uygundur. Bu motorlar iyi bir söndürme karakteristiği ve belli bir miktarda moment tutmak için yeterli ve oldukça etkilidirler.

Avantajları, momentin korunumu ve iyi söndürme, dezavantajları ise, yüksek rotor ataleti, mıknatısın gücüne göre işlevin etkilenmesi sayılabilir.

-Değişken Manyetik Dirençli Step Motorlar:

Bu motor radyal dişli silindirik bir rotor ile sarıllı statorlardan oluşur. Stator dişleri ile rotor dişi sayısı farklıdır. Stator dişlerinin arasında sarıllı bobinler vardır.



Şekil 34-Değişken manyetik dirençli motor bir faz sarıllı. (üçfazlı ve 15° 'lik adım açılı)

Bir motor fazı çalışmaya başladığında rotor öyle bir pozisyona gelirki onun dört dişi sırasıyla stator dişleriyle enerjilenir. Rotorun bu pozisyonunun değişimi momentin oluşumunu engeller. Yumuşak demir rotor pratikte mıknatısiyet kalıntısına sahip olmamasına rağmen motor enerjilize edilmediği durumlarda da hiç bir şekilde moment geliştirmez.

Değişken manyetik dirençli adım motorlar 15° 'lik temel adım açılarıyla çalışırlar ve bu küçük yüklerde hızlı adım oranlarını elde etmemizi sağlar ve bu motorlar düşük rotor ataletlerine karşın daha iyi yanıt verebilirler.

Bu motorlar rezonans ve osilasyona eğilimli olmalarına rağmen doğal söndürme birikimine neden olurlar.

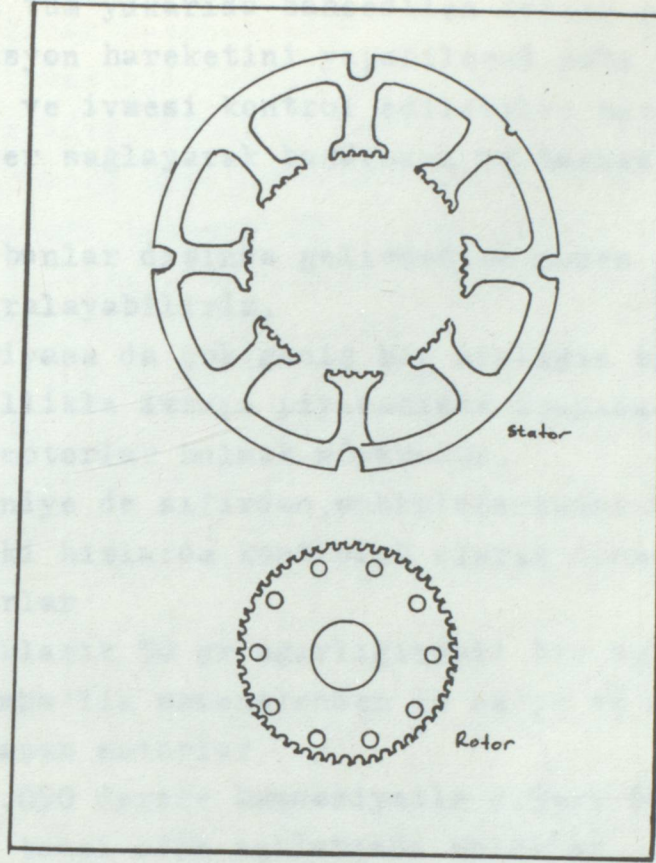
Avantajları, atalet için yüksek moment, dezavantajları ise, moment korunumunun olmaması ve rezonansa uygun olmasıdır

- Melez Tip Step motor:

Yukarıda anlatılan iki tip motorun kombinasyonu bize bu motorun yapısını verir. Rotor mıknatıslı silindirik bir biçimdedir ve demir yapraklar arasına yerleştirilmiştir. Stator her bir kutup yüzünde çift sargılı bobin taşıyan radyal dişlilerden oluşmuş sekiz çıkık kutba sahiptir.

Bu tip motorun temel karakteristiği; küçük adım açılarına, yüksek moment ve hızlı adım oranların da işlem yapabilme özelliğine sahip olmasıdır.

Avantajları, motor korunumunu sağlar. Yüksek adımlama oranlarına sahiptir, yüksek kararlılık yeteneği vardır. Dezavantajları ise yüksek rotor ataleti, belirli hızlarda rezonans oluşmasıdır.



Şekil 35- Melez tip motor konstrüksiyonu.

Değişken mıknatıslı motorlar yetmişli yıllarda gelişimini tamamlayarak yerini ekonomik nedenlerle sabit mıknatıslı ve daha iyi bir performansa sahip hibrid motorlara bırakmıştır.

Yapısal açıdan bakıldığında adım motoru statorunda aynı bobine ilişkin ve bobinin içinden geçen akıma göre kuzey ve güney olarak kutuplanan yumuşak demirden yapılmış dişler bulunmaktadır. Rotor ile değişken mıknatıslı tipler dışında temel olarak sabit mıknatıslı yapıya sahiptirler. Bundan dolayı rotorda hiçbir sarım fırça ve komatator bulunmaz bu yüzden fırçasız DC motor olarak adlandırılır. Bu gücünü ve güvenilirliğini açıklar aksa yan birçok tarafı ile yerini aldığı mekanik birimler (kamalar, valfler, frenler v.b.) ile de bunu kanıtlanmıştır. Şüphesiz bu son derece önemli bir faktördür. Fakat onun

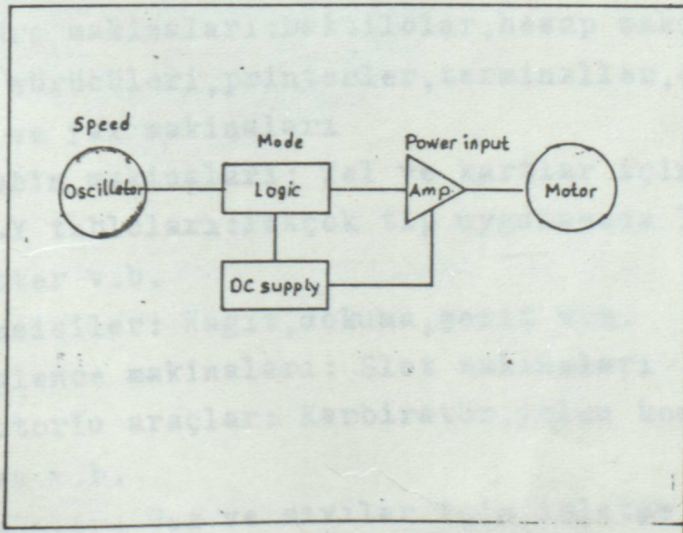
başarısında tüm yukarıda bahsedilen teknik performansından ziyade rotasyon hareketini yapabilmesi daha genel bir ifade ile hızı ve ivmesi kontrol edilebilen hareketleri yüksek momentler sağlayarak başarması ve hassas olarak durmasıdır.

Tüm bunlar dışında gelişmesine neden olan dört faktör daha sıralayabiliriz.

I. Piyasa da çok geniş bir aralığın bulunması.Uygulama da,özellikle Avrupa piyasasında aşağıdaki yeteneklere sahip step motorlar bulmak mümkündür.

- saniye de sıfırdan,onbinlereekadar adım motorların daki hızlarda kontrollü olarak dönmeyi başaran motorlar
- yaklaşık 30 gr ağırlığındaki bir motorun sağladığı I mNm'lik momentlenden IO Nm'ye ve daha fazlasına ulaşan motorlar
- +0.050 derece hassasiyetle 0.9-15 derece aralığında temel adım açılarında motorlar

II. Ucuzluğu.Son IO yıldır adım motorunun teknoloji-deki değeri artarken fiatı da değişmektedir.Ancak standart üretim nedeniyle daha da düşük fiatlarla satılması gerçekleşmektedir.Aynı şekilde özel amaçlı entegre devre ve komponentlerin kullanıma girmesi ile birlikte sürücülerinde fiatları düşürülebilir



Şekil 36- Motor sürücü devresi

4.4.3. III. Zaman kazancı. Adım motorunun en çok sözü edilmesi gereken avantajı bir ürünün geliştirilmesi sırasında ortaya çıkmaktadır. Günümüzde yalnızca kompleks makinalarda değil, görece basit ürünlerde bile programlanabilir, otomatik işlemleri yapması istenir. Tüm bu nedenlerle step motor bir kaç birimde de olsa, seri üretimde de olsa fiyatıyla, tasarım geliştirme, prototip üretimi, takımların hazırlanması, mühendislik ve üretime başlama süresini kesin bir biçimde azaltması ile eşsiz bir hale gelir. Bu genellikle bir ürünün piyasaya girişi için ucuzluğu kadar önem taşır. Bunlardan başka elektrik enerjisinde tasarruf sağladığı unutulmamalıdır.

IV. Elektronik cihazlarla doğrudan digital palsler alabilme yeteneği. Kontrol veya kumanda etmede en etkili biçim digital sistemdir ve elektronik işlemden gelen pulsları doğrudan harekete çeviren tek elektromekanik tahrik elemanıdır.

Tüm bu özellikleri ile karşılaştığımızda adım motorların bugüne kadar neden daha geniş bir alana yayılmadığını düşünebiliriz. Burada en önemli faktör potansiyel kullanılcıların derinliğine bilgi, teknik data ve ayrıntılı literatür bulma zorunluluğudur. Bu ülkemizde en belirgin şekilde hissedilmektedir. Bununla birlikte adım motoru aşağıda sıralandığı gibi temel alanlarda kullanılarak yaygın bir hale gelmiştir. Bu alanlar

- Büro makinaları: Daktilolar, hesap makinaları, magnetik disk sürücüleri, printerler, terminaller, çevre elemanları, telex ve fax makinaları

- Bobin makinaları: Tel ve kartlar için

- X-Y tabloları: Pekçok tip uygulamada laser kesici kaynak, plotter v.b.

- Kesiciler: Kağıt, dokuma, şerit v.b.

- Eglence makinaları: Slot makinaları

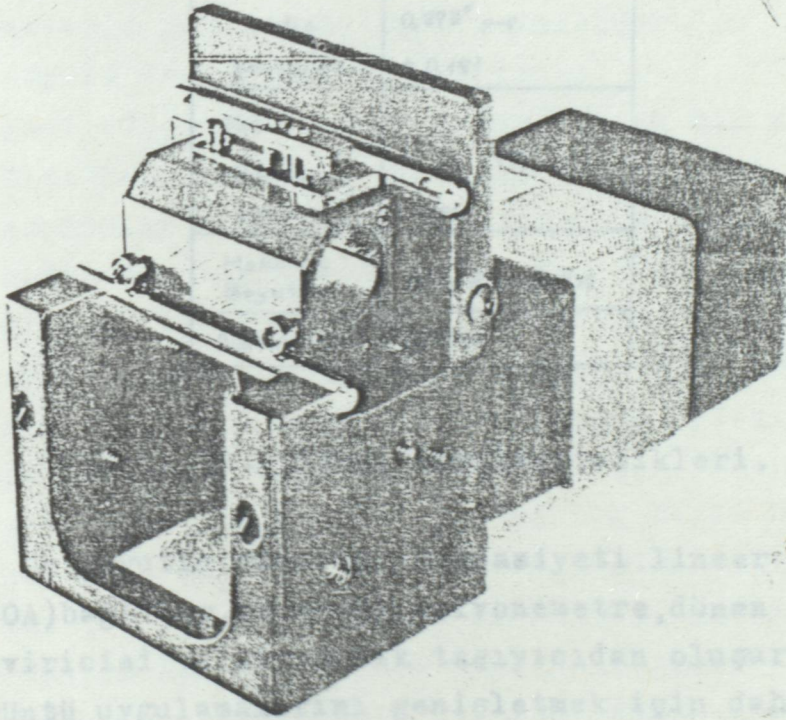
- Motorlu araçlar: Karbiratör, yolcu kompartımanı şartlandırma v.b.

- valfler: Gaz ve sıvılar için işletme, regüle valfleri

4.4.3. Dinamik odak birimi (lineer çevirici):

Z ekseninde yansıma yaparak malzemenin işlenmesini, üç boyutlu görüntünün elde edilmesini sağlayan birimdir. Bir z ekseninin, genel tarama noktası için yoğunlaşma hassasiyeti, çeşitli odak kotlarında hayali dinamik tarama yüzeyi göstermesidir. Aynı zamanda düz bir tarama alanında mümkün olan odak düzeltmelerini de yapar.

Şekil 37'de dinamik odak'ın resmi (lineer çevirici) verilmiştir. Resimdeki lineer çevirici General Scanning şirketi tarafından üretilmekte ve LTI320A olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 37-Dinamik odak, lineer çevirici
(DYNAMIC FOCUS/LINEAR TRANSLATOR)

Bu birimin özelliklerini şöyle sıralayabiliriz.

- Tamamlanmış sağlam tertibat,
- 13 mm serbest açıklık,
- Hızlı galeri girişi (random),
- Programlanabilir odaklama fonksiyonu,
- Düz doğru eksen hareketi.

Performans karakteristikleri ise aşağıda verilmiştir.

Lineerlik	$\pm 0.0015''$
Sınırlılık	$\pm 0.0015''$
Takrarlama	$\pm 0.0005''$
Açıklık	13 mm
Baslama	
Aktif	0,393" p-p
statik Ek.	$\pm 0,19''$
Hız	
Random	15 ms 1%
Çevirme	15 ips
Mekanik Boyutlar	2" L x 5" W x 3" H
Dijital Sınır	0x1000

Şekil 38 -LT1320A karakteristikleri.

Üç boyutlu odaklama hassasiyeti lineer doğrultucuya (LT1320A) bağlıdır. Bu modül galvanometre, dönen lineer hareket çeviricisi ve bir optik taşıyıcıdan oluşur. Laser işleme ve görüntü uygulamalarını genişletmek için daha hızlı ve yüksek değerlerde adapte olabilir. Yer değiştirici sistemi ise şöyle çalışır. Bir lens taşıyıcı tertibatının lineer hareketi için bir galvanometrenin etkisini dönüştürür. Optik bir yol boyunca hareket eden lens z eksenindeki odak

noktasını düzenler. Bir taşıyıcı üzerinde birleşen lensler tracking boyunca ölçülen hassasiyeti ayarlar. Yeniden yüklenen ölçümler sigortaların maksimum uygulama ömürlerinin minimumu eden ölçümlerdir. LİNEER (doğrusal) hareketi dönüştürmek için dönen tek bir gergin sürücü kullanılır.

Elektronikte işlem yapmayı sağlayan, ve kalıp işlemede en önemli modüllerden biri olan bu birimi inceledikten sonra şimdi elektronik aksamı inceleyelim.

4.4.4. SİSTEMİN ELEKTRONİK DONANIMI:

Elektronik donanım, amplifikatör, sürücü devreleri ve kontrol aygıtlarından oluşmuştur. Amplifikatör ve kontrol aygıtları bilgisayar ile galvanometre (step motor) yansıtıcı sistemlerin bağlantısı için gereklidir.

Sürücü devrelerin özellikleri:

İncelediğimiz sisteme uygun olarak bir seri dijital giriş sürücüleri kullanım amacına uygun olarak üretilmektedir. Bu sürücüler, dijital çevrilmeyi ve z dinamik odağının tarama kafasının x-y serisi için akım geçiş yüzeyinin gücünü sağlar. Ayrıca bu serideki sürücüler aynı zamanda tek bir tarayıcı olarak kullanabilirler. (DX 1000 serisi)

Her DX sürücü amplifikatörü uygun bir x-y tarama kafasının elverişli dijital kontrolü için tasarımı yapılmış ve ayarlanmıştır. 16 bit dijital bir hızda her bir birim analog çevirici ve yüksek çözüm durumundaki otomatik ayarlayıcı ile bir amplifikatör birleşmiş durumdadır. DX 2000 serisinde her iki frekans bandında yaygın bir dijital giriş kütüsünden uygulanmıştır. Termik kontrol ve AGC devresinin korunum hassasiyeti otomatik ayarlayıcı işaret dedektörünün durumunda olduğu gibidir. İlaveli devreler tekrar diğer pozisyonlarını ve aşırı akımlarını korurlar. kontrol devreleri hata kazanma durumlarını, sönmeleri ve hata hızını ayarlarlar.

Dijital Sürücü Tipi (2 Kanal)	Yansıtma Sürücü Tipi	Volt (AC)	Watt	Frekans (Hz)	X-Y Kağıt Tipi
DX2001	DX2101	115/220	120	50/60	XY5067
DX2002	DX2102	115/220	120	50/60	XY3037
DX2003	DX2103	115/220	120	50/60	XY2026
DX2004	DX2104	115/220	120	50/60	XY1013
DX2005	DX2105	115/220	120	50/60	XY0507

Sürücü Tipi (1 Kanal)	Volt (AC)	Watt	Frekans (Hz)	Çalıştırılan çihazın tipi	Atalet
DX1000	115/220	60	50/60	LT1820A	—
DX1001	115/220	60	50/60	G300 Serisi	100-200 g-cm ²
DX1002	115/220	60	50/60	G300 Serisi	25-100 g-cm ²
DX1003	115/220	60	50/60	G300 Serisi	5-25 g-cm ²
DX1004	115/220	60	50/60	G300 Serisi	0.10-5 g-cm ²
DX1005	115/220	60	50/60	G100 Serisi	0.025-0.10 g-cm ²

Şekil 39 : GENERAL SCANNING DX1000 ve DX2000 serilerinin karşılaştırılması

Şekil 39'daki çizelgede DX1000 ve DX2000 serilerinin çalışma değerleri verilmiştir. Her iki serinin belirgin özelliklerini şöyle sıralıyabiliriz.

- Hızlı digital analog çevirici
- 16 bitlik digital veri çevirici
- Servo kontrol devresi
- Mercek çevirici veya yansıtıcı sürücüsü
- Optik yansıtıcı durumunun belirlenmesi
- x-y yansıtıcı kafaları veya mercek çeviriciler ile birlikte alındığında birlikte çalışabilmeleri için gerekli ayarlamaların kolayca yapılabilmesi v.b.

DX1000 sürücüsü merceklerle veya diğer optik araçlara yer sağlayan LTI320A ile kullanıldığında üç boyutlu tarama etkisi için hız ve hassasiyeti sağlamaktadır.

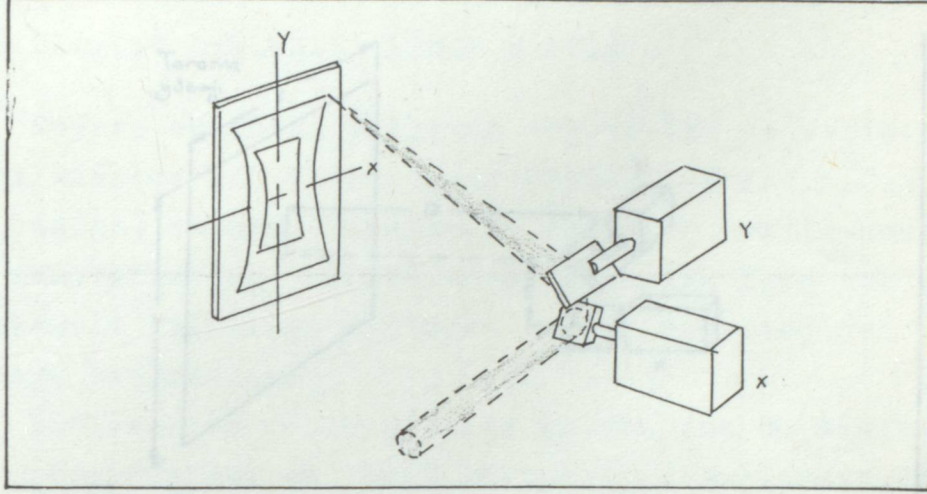
GEOMETRİK DÜZELTME KONTROL DEVRESİ (Geometric Correction Controller Circuit Board-HRGC):

Basit iki aynalı sistem x vey ekseni boyunca taramayı sağlar. Buna rağmen odaklama hataları olmakta ve tarama yüzeyinde de geometrik hatalar oluşmaktadır. Bu hataları ortadan kaldırmak için DGI002 olarak adlandırılan bir devre geliştirilmiştir.

Bu devre geometrik şekil değiştirmelerinin ve odak noktası hatalarının tam olarak (hassas bir şekilde) düzelmesini sağlar. Çok daha büyük ışık biriktirme özelliğini geliştirmek için daha küçük x-y açıklıklarında hassasiyet göstermeden arıtıcı optikal radii sistemlerinin sınırlı cıplarında daha kısa kullanılmasını sağlar

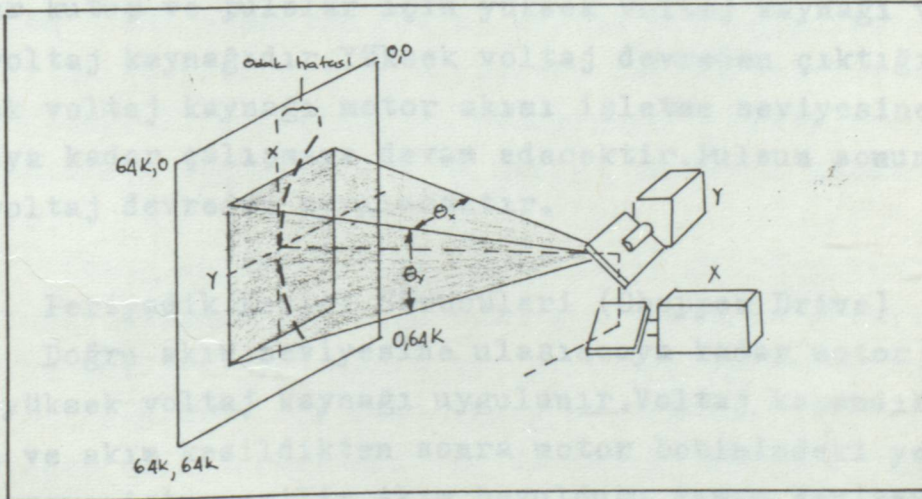
DGI002 sistemi yüksek olarak sınırlayıcı ve geometrik olarak kontrol edebilme yapısında olan bir hızlı aritmetik ünite de geometrik olarak hesap edebilmek için x,y kar-tezyen koordinatları 16 bitlik x-y-z sürücü işaretlerine dönüştürülür.

Şekil 41'de DG serisi ile Kartezyen koordinat alanı-yönelendirilmesi gösterilmiştir. Aynı zamanda diğeri edile-
me kullanılması için uygun bir yapı gösterilmiştir.



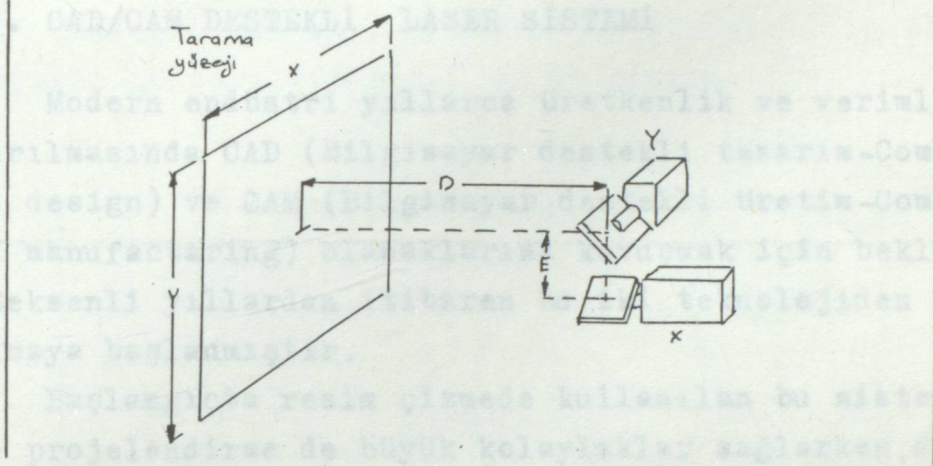
Şekil 40- tarama eksenleri.

Şekil 40 ile tarama eksenlerinin iki ayna ile elde edilmesi ve distorsiyon karakteristiği gösterilmiştir.



Şekil 41- Kartezyen koordinat kullanım alanı.

Şekil 41'de DG serisi ile kartezyen koordinat alanı yönlendirilmesi gösterilmiştir. Aynı zamanda dinamik odaklama kullanılmadığı zaman oluşan hata gösterilmektedir.



Şekil 42- Ayna sisteminin kesin parametreleri.

D, tarama yüzeyi ile ayna merkezi arasındaki uzaklık E iki ayna merkezi arasındaki uzaklık olarak tanımlanmıştır. Uygulama da aynaların kesin parametrelerinin bilinmesi gereklidir.

Çift seviyeli sürücü (Bi-level Drive)

Bu tip sürücü iki kaynağın kullanımını gerektirir. Bunlar kutup ve pulslar için yüksek voltaj kaynağı ve düşük voltaj kaynağıdır. Yüksek voltaj devreden çıktığında yüksek voltaj kaynağı motor akımı işletme seviyesine ulaşınca kadar çalışmaya devam edecektir. Pulsun sonunda düşük voltaj devreden ayrılacaktır.

Periyodik Kesici Sürücüleri (Chopper Drive)

Doğru akım seviyesine ulaşınca kadar motor bobini için yüksek voltaj kaynağı uygulanır. Voltaj kapandıktan sonra ve akım kesildikten sonra motor bobinindeki yer değiştirmeye izin verilir. Akım bozulduğu zaman seviyeyi önceden belirleyebilmek için voltaj, akım gerisi seviyeleri için tekrar uygulanır. Bu devir işaret sürücüleri içinde devam eder. Yüksek voltaj rotorun hızlanmasını mümkün ol-

duğunca sağlayabildiği için tekrar uygulanır. Bu doğal olarak işletme veriminin artmasını sağlar.

4.5. CAD/CAM DESTEKLİ LASER SİSTEMİ

Modern endüstri yıllarca üretkenlik ve verimliliğin arttırılmasında CAD (Bilgisayar destekli tasarım-Computer aided design) ve CAM (Bilgisayar destekli üretim-Computer aided manufacturing) olanaklarına kavuşmak için beklenmiştir. Seksenli yıllardan itibaren bu iki teknolojiye yararlanılmaya başlanmıştır.

Başlangıçta resim çizmede kullanılan bu sistem, özellikle projelendirme de büyük kolaylıklar sağlarken, daha sonra resim çizmeden üretime yardımcı olabilecek hale gelmiştir. Bilgisayar yardımıyla kontrol edilen çizimler freze, torna v.b. gibi makinalara talimat verilerek şekillendirilmektedir. Bu tezde incelenen konuda ise gene bilgisayar sistemi, CAD/CAM sistemleri vardır ancak malzemenin işlenmesini sağlayan cihaz laser sistemidir.

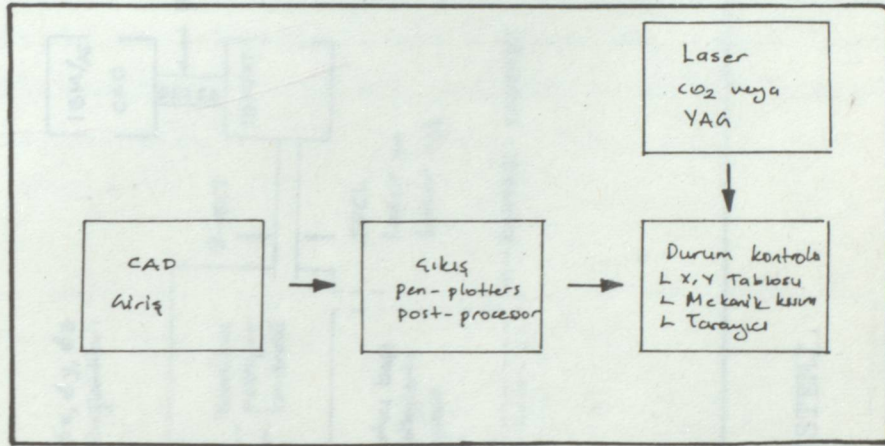
CAD programları şekil tasarlayıcı veya tasarımcıya bütün çalışması boyunca yardım etmektedir. Tasarımı gerçekleştiren bölüm otomatik olarak anahatları belirlemekle kalmaz çizimi gerçekleştirir, ölçümleri değiştirebilir, ayrıntılar büyütülebilir, kullanılan malzemenin özellikleri, dirençleri, tasarıya uygunlukları ve imalat şartları gözden geçirilebilir.

Laser endüstrisinde de tümleşik CAD/CAM veri tabanları, laser ekipmanları için araştırılmakta ve geliştirilmektedir. Bu çalışmalarda fazla bir zorlukla karşılaşılmamıştır çünkü CAD/CAM ürünleri, çoğu laser uygulamalarına kolaylıkla entegre edilebilmektedir. Bu da laser kullanım olanaklarını olabildiğince arttırmaktadır. Markalama, delme, kesme, işleme v.b. gibi uygulamalar için tümleşik bir veri tabanı dört ana bileşene sahiptir. Bunlar

- giriş

- çıkış,
- konumlandırma tekniği,
- ve laserdir.

Tümleşik bir veri tabanının bileşenlerinin blok di-
agramlarla gösterilimi şekil 43'de verilmiştir.

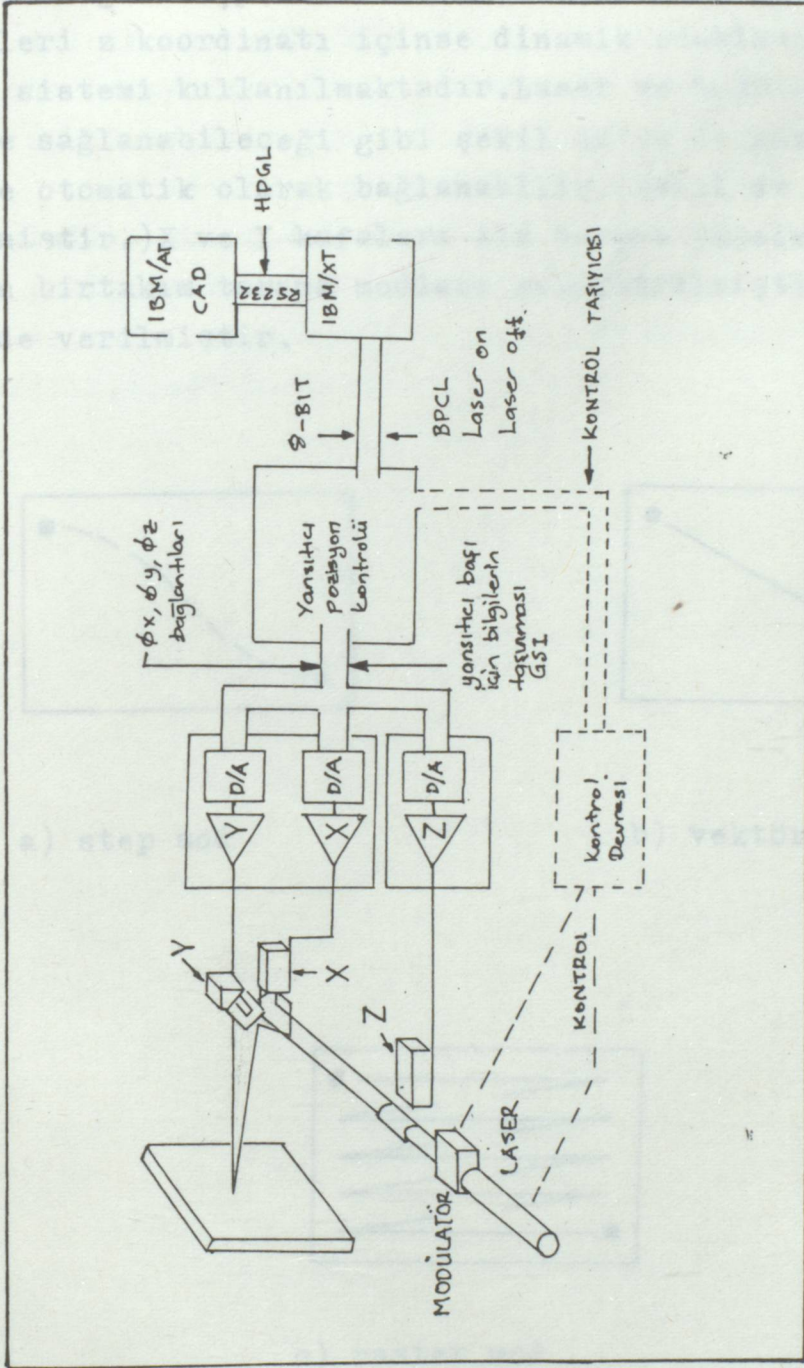


Şekil 43- Tümleşik bir veri tabanının bileşenleri

Laser ve konumlandırma sistemleri daha önceki bölümlerde incelenmiştir.

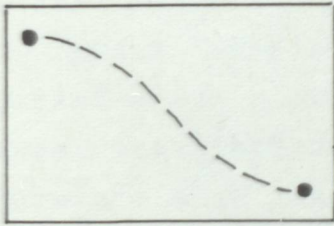
Laser için CAD/CAM ekipmanları şekil 44'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi tanımlarsak ;

IBM/AT ve IBM/XT kişisel bilgisayarlardır. AT XT'ye göre daha çok gelişmiş bilgisayardır. IBM/AT yüksek çizim performansı elde etmek için kullanılmaktadır. HPGL (Hewlett Packard's Graphics Language-Hewlett-Packard's grafik dili) CAD'de oluşturulan vektör dosyasıdır. Gerekli veriler IBM/AT den IBM/XT'ye RS232 ile aktarılmaktadır. IBM/XT'de vektörel bilgiler okunup karşılığında gerekli komutlar hazırlanıp tarama kafası konumlandırma denetleyicisine iletilmektedir. Sekiz bit paralel ile IBM/XT'den denetleyiciye uzanan bilgi taşıma hattı gösterilmektedir. Veriler yansıtıcı pozisyon

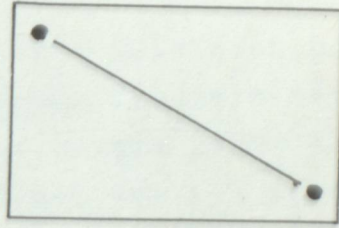


ŞEKİL 44: CAD/ÇAM DESTEKLİ LASER SİSTEMİ.

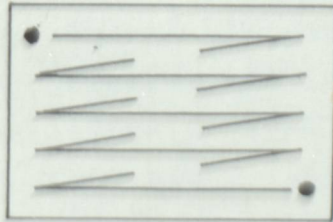
denetleyicisinden DAC'a (digital analog converter, digital analog çevirici) gelerek sinyalleri dönüştürmekte ve x,y,z koordinatlarına ilişkin sürücülere gitmektedir. Daha öncede gördüğümüz gibi x,y koordinatları için step motor ve ayna sistemleri z koordinatı içinse dinamik odaklamayı sağlayan mercekle sistemi kullanılmaktadır. Laser ve modülatörün kullanımı elle sağlanabileceği gibi şekil 44'de de görüldüğü gibi sisteme otomatik olarak bağlanabilir. (Şekil de ---- ile gösterilmiştir.) X ve Y kafaları ile tarama yapılmaktadır. Bunun için birtakım tarama modları geliştirilmiştir. Bunlar şekil 45'de verilmiştir.



a) step mod



b) vektör modü



c) raster mod

Şekil 45 tarama modları

Nokta sayısı görece az olan sistemlerde step mod veya vektör mod daha elverişlidir. Çok sayıda nokta içeren sistemlerde ise raster mod tercih edilir. Step mod da ışın optimum hızda atlıyarak A'dan B'ye hareket eder (45-a). Vektör mod da ışın düz bir çizgi halinde hareket eder (45-b) ışının tarayarak hareket etmesi ise raster modunda gerçekleşir. Mod seçimi uygulama özelliklerine göre seçilmektedir.

lenen CAD ve CAM uygulamaları ile 3D olarak adlandırılan ve şimdiye kadar işlediğim tüm birimleri kapsayan bir sistem geliştirilmiştir. Bir sonraki bölümde bu sistem, laser ile malzeme işleminin sorunları ve laserlerin geleceği yer almıştır. Şimdi bunları inceleyelim. Her birçok ülkede yerli teknolojilerin yaygınlaşmasında önemli bir rol oynayabilmektedir.

Laser teknolojisi de bu gelişme açısından bakıldığında da yerini almış görünmektedir. 1917 yılında Einstein tarafından kuramsal temelleri atılan lazerin 1960 yılında ilk kez yapılabildiği ve lazer teknolojisi son 20 yıl içerisinde de elektronikte gerçekleştirilen devrimsel bir değişim geçirmiştir.

Laser teknolojisi bilgisayar, elektronik modüller, kullandığı otomasyon ve yazılım teknolojilerinde ki tekniğin ilerlemeleriyle bu sektördeki rekabetin yoğunlaşması, pazarlık güçlerini artırarak içine girilen pazar paylarını teknolojinin gelişmesiyle önemli bir etken olmaktadır. Bu alanda yapılan yatırımlarla önemli bir özelliğe büyük ölçüde araştırmaya gelmiştir, personel eğitimi, pazarlama tanıtım tekniği gibi lazerin özelliğine dayanan pazarlardan oluşmaktadır. Bu noktada ülkemizde henüz lazer teknolojisiyle tam anlamıyla tanışmamızın en büyük nedeni ortaya çıkmaktadır. Henüz Üretim alanlarında olduğu gibi, ülkelerde, var olan sistemlerin kullanılması mümkün ve elverişli bakılmamakta ve kullanımının gerçekleştirilmesinde gerekli eleman temini gerekse yetersiz bulunmaktadır. Özellikle bu teknoloji ile ilgili temel sorunları ortaya çıkarmaktadır.

5. BİLGİSAYAR KONTROLLÜ LASER TEKNOLOJİSİ GELİŞİMİ, SORUNLARI VE ÜLKEMİZDEKİ DURUMU :

Bilgisayarlar ile bilgisayarların kullanım ve gelişme süreçlerinde ortaya çıkan bilgisayar teknolojileri gelişmiş ülkelerin içinde bulunduğu bilimsel ve ekonomik yenilenme sürecinin itici gücünü oluşturmaktadır. Mekanik, elektrik ve kimya teknolojileri üzerine kurulu XX. yüzyıl da yüzyılın büyümesinin bugün girmiş olduğu aşama bu nedenle yeni bir sanayi devrimi olarak değerlendirilmekte bunlara dayandırılarak geliştirilmiş sistemler birçok ülkede yeni teknolojilerin yaygınlaşmasında önemli bir rol oynayabilmektedir.

Laser teknolojisi de bu gelişme açısından bakıldığında yerini almış gözüküyor. 1917 yılında Einstein tarafından kuramsal temelleri atılmış olmasına karşın henüz 30 yaşını doldurmamış olan laser teknolojisi son beş yıl içerisinde de elektronikte gerçekleşen yeniliklerle büyük bir aşama geçirmiş durumdadır.

Laser teknolojisi bilgisayar, elektronik modüller, kullanım otomasyonu ve yazılım hizmetlerinde ki teknik yeniliklerle bu sektördeki rekabetin yoğunlaşması, şirket güçlerini arttırmak için azami çaba sarfetmeleri teknolojinin gelişmesinde önemli bir etken oluşturmaktadır. Bu alanda yapılan yatırımların önemli bir özelliğide büyük ölçüde araştırma geliştirme, personel eğitimi, pazarlama-tanıtma tekniği gibi insan özelliğine dayanan çalışmalardan oluşmasıdır. Bu noktada ülkemizde henüz laser teknolojisiyle tam anlamıyla tanışmamızın en büyük nedeni ortaya çıkmaktadır. Henüz üretim olanığının olmadığı ülkemizde, var olabilen sistemlerin kullanılması mekanik ve elektronik bakım, onarım ve kullanımının gerçekleştirilmesinde gerek eleman temini, gerekse yedek parça bulunmasının güçlüğü bu teknoloji ile ilgili temel sorunları ortaya çıkarmaktadır.

Ülkemizde henüz parmakla sayılabilecek kadar az olan laser uygulamalarını (ki bunların büyük bir çoğunluğu tıp alanında kullanılmaktadır.) göz önüne alırsak bu teknolojiyi tanımadığımızı söyleyebiliriz. Bunun belirti nedenleri oldukça açık, sistemin pahalılığı ve teknik eleman yetersizliği. Çeşitli alanlarda ki bilgisayar uygulamalarının yerleştiği ülkemizde bu teknolojiye son yıllardaki gelişmelerle bir kapı aralandığı da bir gerçek.

5.1. ÜÇ BOYUTLU SİSTEMLER (3D-Three Dimension)

Bugün laser teknolojisinde "3D" (three dimension) olarak nitelendirilen ve III. bölümde anlatılan birimlerden oluşan bir sistem geliştirilmiştir.

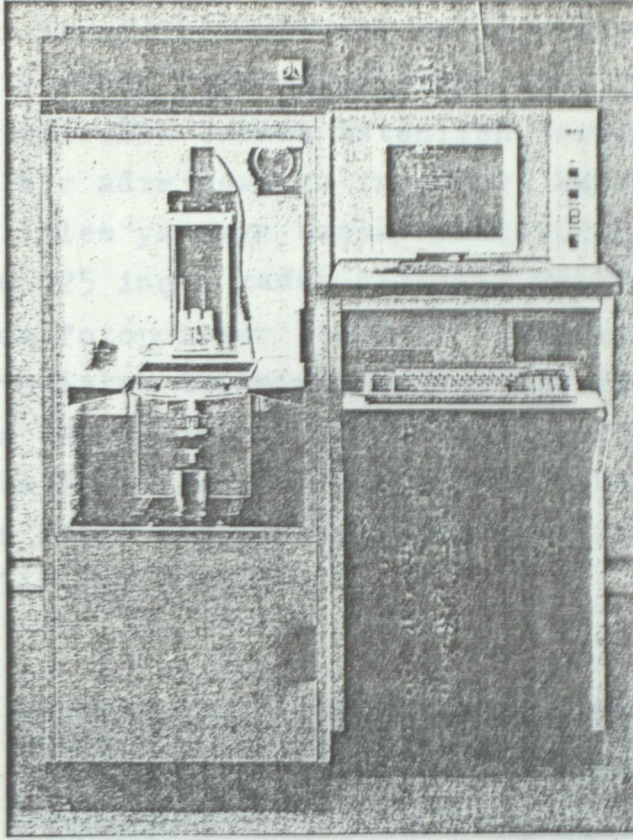
Bu sistem radyasyon kimyası, CAD, laser ışığı ve laser görüntü formasyonu olmak üzere dört teknolojiye dayanmaktadır. Komple bir hâlde bulunan bu sistem SLA/I olarak (Stereo Lithographic Apparatus) adlandırılmakta ve en gelişmiş laser sistemlerinden biri olmaktadır.

SLA/I laser, yansıtıcılar, sürücü ve devrelerinden, fotopolimer vat, kontrol bilgisayarı, CAD sistemi, laseri hareket ettiren taşıyıcı ve elektronik sistemlerin birleşiminden oluşmuştur. Komple olarak bu sistemin resmi şekil 46 da verilmiştir.

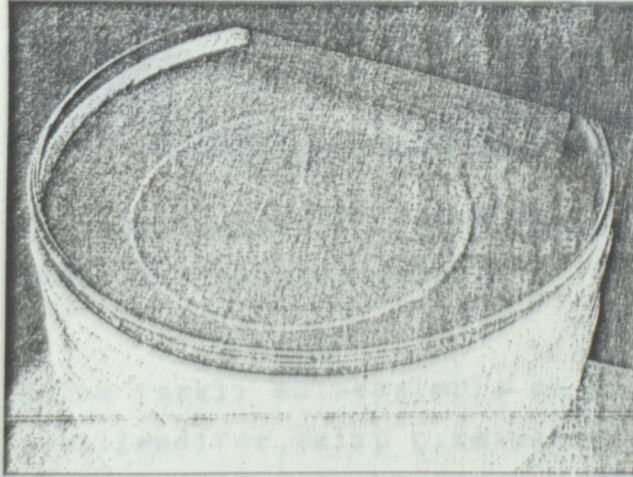
SLA/I model işleyici programa göre tasarlanmış bilgisayar ile kullanılır. Sistem hazır CAD sistemi ile hem düz, hemde bombeli yüzeyleri işlemeye uygundur.

Şimdi SLA/I ile gerçekleştirilmiş bir uygulamayı inceleyelim. Model işleme sonucunda likit plastikten bir türbin modeli elde edilmiştir.

İlk önce toplu iğne ucu kalınlığındaki ultraviyole laser ışını ile likit plastik kabının en üstüne yani en üst tabakasına istenilen türbinin model kesitine uygun olarak kesit izi çıkarılır. Şekil 47.

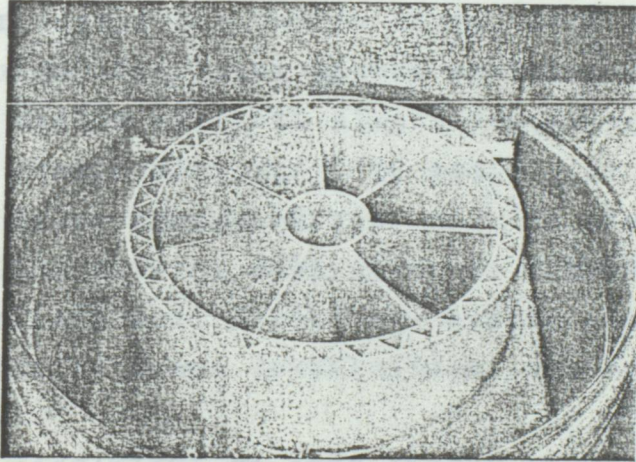


Şekil 46- "3D", SLA/I sistemi.



Şekil 47-Lazer ile istenilen modele göre kesitin çizilmesi.

Laser ışını ile noktasal halde plastik, işlenmeye başlar, ilk tabakada işlem yapılırken mini taşıyıcı hareket etmemektedir. İlk tabaka istenilen forma geldikten sonra taşıyıcı, bir adım aşağıya inecek ve laser bir sonraki tabaka için işlem yapmaya başlayacaktır. Tabaka kalınlığı 0.0025'den 0.025 inç'e kadar olabilir. Tabaka tabaka her işlem sonucunda fotopolimer kesitler birbirleriyle bağlantılı hale gelir ve işlem tamamlanıncaya kadar devam eder. Sonuçta istenilen kesite uygun düzgün bir örnek elde edilecektir. Tabaka tabaka işlem sona erdiğinde her tabakada bir basamak aşağıya inen laser taşıyıcısı yukarı kaldırılır ve işlem sona erdirilir. Şekil 48.



Şekil48- Laser ile işleme sonucunda elde edilen model.

Aynı işlem farklı malzemelerle de gerçekleştirilebilirler ve şekillendirme, kalıp çıkarma işlemleri yüksek verimle elde edilebilirler. Renklendirme, sağlamlık ve aşınma direnci mümkün olduğu kadar iyidir.

Üretim hızı açısından bakıldığında haftalarca veya aylarca süren üretim zamanları bu sistem ile saatlere hatta bazı durumlar da dakikalara inmektedir. Örneğimizi biraz

SLA/I sistemi için en büyük potansiyel, önce işlediğimiz modelden verecek olursak; aynı türbin modeli klasik yöntemlerle hazırlandığında üç aydan altı aya kadar süren bir dönemi kapsamaktadır. Aynı türbin modeli SLA/I ile CAD temel bilgileri ve laser sayesinde dört saat içinde ortaya çıkarılmaktadır. Oldukça belirgin bir fark, Sistemi en çekici kılan taraflardan biri budur. Diğer çekici yan ise sistemin komple bir halde olmasıdır.

Teknolojinin bu denli gelişmesinin toplumsal yaşamda büyük değişimler yaratacağı şüphesizdir. Uygarlıkta büyük dönüşümler genellikle teknolojik gelişmelerle ortaya çıkmış ürünlerin, fikirlerin, kültürlerin birbirlerine ulaşmaları insanların toplumsal faaliyetleri üzerinde itici bir güç oluşturmuşlardır. Böyle bir teknolojinin de bu değişim de pay alacağı bir gerçektir.

Diğer önemli bir farkta sistemlerin satış fiyatların da ortaya çıkmaktadır. Aynı sistem gözönüne alınırsa türbin modeli için üretim maliyeti klasik yöntemlerle 5000 ile 10000 dolar arasındadır. SLA/I'in satış fiyat ise 150.000 ile 200.000 dolar arasındadır. Bu fark da sistemin yaygın bir şekilde kullanımını etkileyen bir faktördür. Ancak bu fark büyük olsada seri üretim ile kendini amorti edebileceği gerçektir. ve zaman teknoloji den yana hareket etmektedir.

"3D" sistemleri şu anda birçok iç ve dış otomobil parçalarının üretiminde kullanılmaktadır. SLA/I'in uygulama alanlarını geliştirmek ve başarılarına yenilerini katmak için pek çok araştırma yapılmaktadır. Molekül modüller yazılımının uzantısı olarak kullanılmasını örnek verebiliriz. Hazır yazılım gerekli bilgiyi bilgisayar yardımıyla tam anlamıyla doğru olarak çözecek, böylece klasik yöntemler gelecekte kalacaktır. Yapı değişiklikleri yapılarak bu sistem hem organik malzemelerin işlenmesini hemde metallerin işlenmesi için uygulanabilecektir. SLA/I sistemi fotopolimer mikrokompozit polimerlerin kullanımı için aynı zamanda bir potansiyele sahiptir.

SLA/I sistemi için en büyük potansiyel otomatik endüstrisidir. Örneğin her yıl G.M. tarafından 250.000'den daha fazla model ve prototip ihtiyacı duyulmaktadır. SLA/I'in bu alanda kullanımının zaman açısından büyük değişiklikler getireceği muhakkaktır.

5.2. MALZEME İŞLEMEDE KARŞILAŞILAN TEMEL SORUNLAR:

LASER ile malzeme işleme de pek çok sorunla karşılaşacağımız bir gerçektir. Ancak laser teknolojisi her geçen gün ilerlemekte dün sorun olan bir konu bugün çözümüne ulaşmış duruma gelmektedir. Kesme, delme, kaynak v.b. gibi işlemlerin yanı sıra şekillendirme, kalıp çıkarma, modellendirme v.b. gibi işlemlerde belli sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bunları şöyle sıralayabiliriz.

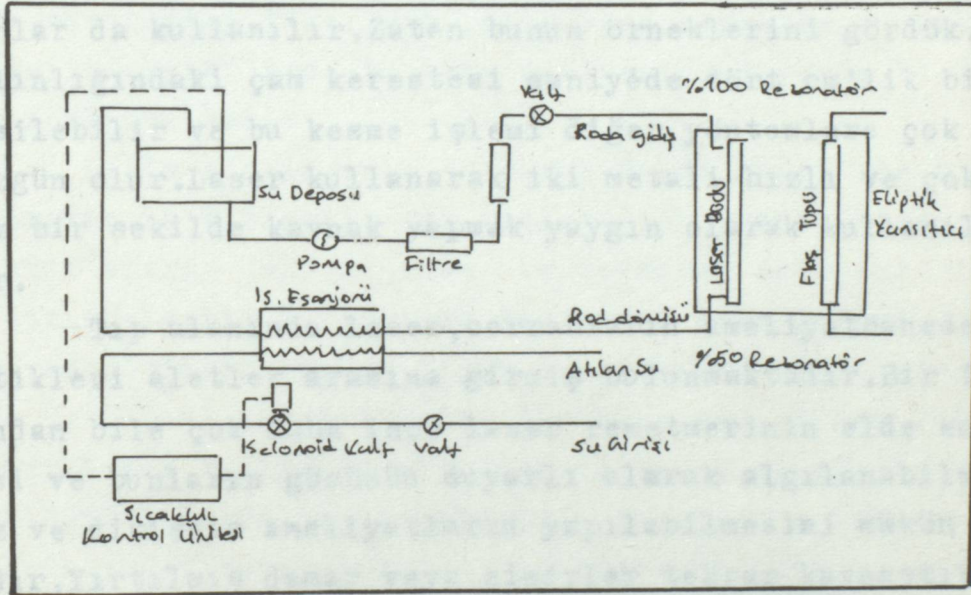
- derinlik ayarı,
- farklı malzemelerde kalibrasyon,
- işleme geçilirken neyin referans alınacağı
- takım tezgahı olarak kullanılan laserlerde laser başının soğutulması v.b.

Bilgisayar donanımının kullanıma geçmesi ile bu sorunların çözüldüğü bir gerçektir. SLA/I sisteminde derinlik ayarı laser taşıyıcısının tabaka tabaka maddenin erimesine göre hareket etmekte ve derinlik ayarı bu şekilde gerçekleşmektedir. Farklı malzemeler de sistem uygunluğu bugün içinde temel bir sorun olmaktadır. Bu sorun CAD ve CAM uygulamalarıyla bir ölçüde aşılmış ancak henüz tam anlamıyla çözülememiştir. Çok yakın bir gelecekte uzman sistemlerin kullanımının bu konuyu çözebileceği düşünülmektedir.

Burada ortaya çıkan başka bir sorun maliyetin daha fazlalaşmasıdır. Ancak şuda unutulmamalıdır, tümleşik devrelerin sürekli olarak büyümesi sonucu bellek elemanlarının fiatları devamlı bir şekilde düşmektedir. Örnek olarak son onbeş yıl içerisinde bellek fiatları ikibinde birine inmiştir. Bugün yaşanan sorunların çözümü teknolojik geliş-

meyle paralel gitmektedir.

Laser başı soğutma sistemi ise bilgisayar yardımıyla çözümleri gerçekleştirilmiştir. Bilgisayar kontrollü takım tezgahları hem ekonomik oldukları için hemde işletme hassasiyetlerinin yüksek oluşları nedeniyle kullanımda öncelikle tercih edilen tezgahlar olmuşlardır. Takım tezgahı olarak kullanılan laserlerde, laser başının soğutulması önemlidir. çünkü verilen enerjinin ancak %11'i laser ışını olarak kullanılmakta % 47 si ısı enerjisine dönüşmektedir. Soğutma sistemi kullanılarak bu sorun çözüme ulaştırılmıştır. Şekil 49'da bu soğutma sistemi gösterilmiştir.



Şekil 49-Laser kafası soğutma sistemi

Laser kafasında soğutulması gereken bölümler: laser rodu ve laser flas tüpüdür. Kullanılan soğutma infraruj ışınını soğururlar ve ışınları laser roduna gelmeden yok olurlar,

5.3. LASERLERİN FARKLI KULLANIM ALANLARI:

Son yıllardaki teknolojik gelişmeden payını alan laserler, son derece değişik ve akla gelmeyen dallarda kullanılmaya başlanmıştır. Bu kullanım alanlarına her geçen gün yenileri eklenmektedir.

Gazeteler, fotoğraflarını ve haritaları baskı levhalarına geçirmek için laser kullanmakta, laser ile kırk yıl önce bırakılan ve başka yöntemlerle belirlenemeyen parmak izleri ortaya çıkarılmakta, fıstık kabukları soyulabilmekte, bebek biberonlarına delikler açılabilir.

Laser erdüstrede en çok ısısından yararlanıldığı alanlar da kullanılır. Zaten bunun örneklerini gördük. Beş cm kalınlığındaki çam kerestesi saniyede dört cm'lik bir hızla kesilebilir ve bu kesme işlemi diğer yöntemlere çok daha düzgün olur. Laser kullanarak iki metali hızlı ve çok sağlam bir şekilde kaynak yapmak yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tıp alanında laser, cerrahların ameliyathanede tercih ettikleri aletler arasına girmiş bulunmaktadır. Bir iğne ucundan bile çok daha ince laser remetmerinin elde edilebilmesi ve bunların gücünün duyarlı olarak algılanabilmesi, kansız ve dikişsiz ameliyatlara yapılabilmesini mümkün kılmaktadır. Yırtılmış damar veya sinirler tekrar kaynaştırılmakta üstelik diğer dokulara hiç zarar verilmemektedir. Yine zararsız bir biçimde kötü huylu tümörler tamamen buharlaştırılmakta, kalp krizlerine neden olan damar tıkanıklıkları yok edilebilmektedir. Birkaç yıl önce kadınlarda pelvis enfeksiyonlarında veya durmayan kanamalarda histerektomi (uterusun alınması) uygulanıyordu. Bugün laser tedavisi ile iç organlar korunarak, çocuk sahibi olma şansı devam etmektedir. Bazı kanser tiplerinin erken teşhisi için, hücreler özel bir boya ile renklendirilip, laser tarayıcısı ile incelenir. Anormal hücreler daha çok boya yutarak daha parlak görülür. Kansersiz hücreler diğer yöntemlerle saptanamayacak kadar az

bile olsa, laser tarayıcısı bunu algılayabilir. Özellikle akciğer ve deri kanserinin tedavisinde, inek kanından hazırlanan laser ışığına duyarlı başka bir boya ile kullanılır. HPD (Hemotoporphyrin türevi) adı verilen bu madde vücuda verildiğinde kanserli ve normal hücreler tarafından yutulur. HPD kötü huylu hücrelerde daha uzun süre kaldığından, diğer dokulara zarar vermeden bunları yok etmek mümkündür. Böylece x ışınları ve kemoterapinin etkileri ortadan kalkmış olur.

Göz ameliyatlarında kullanılan dört değişik enerjili laser türü vardır. Bunlar aydınlatma, kurutma, buharlaştırma ve delme işlemlerinde kullanılmaktadır. Alçak enerjili kırmızı aydınlatma laserinin poz süresi yarım saate çıktığı gibi, delici laserlerde bu süre saniyenin milyarda birine kadar inebilmektedir.

Bilim adamlarının en büyük ümidi, laser ile hidrojen izotoplarını birleştirerek, patlama tehlikesi olmayan ve radyoaktif artığı daha az olan bir kaynaşma enerjisi elde etmektir. Böyle bir reaksiyonu başlatmak için dünyadaki tüm güç reaktörlerin toplam çıkış enerjisinden daha fazla enerjiye ve bir yıldızdaki kadar sıcaklık ve basınca ihtiyaç vardır. Laser kullanılarak elde edilen bu enerji, toplu iğne başı büyüklüğünde içinde döteryum ve trityum bulunan bir damlada yoğunlaştırılmaktadır. Üstelik bu enerji, saniyenin milyonda biri kadarlık bir süre içinde oluşmaktadır. Bu kadar yüksek enerjiyi verebilecek laser laboratuvarları Amerika Birleşik Devletlerinde, Rochester Üniversitesinde 12 trilyon watt gücünde neodyum-cam laseri OMEGA, Livermore'de NOVETTE ve başka bir laser-kaynaşma araştırma merkezi olan Ulusal Los Alamos laboratuvarındaki CO₂ laseri ANTERES dir. Laser kaynaşmasının 2000'li yıllarda ticarete girmesi beklenmektedir.

Mod-kiltleme adı verilen yöntem laserden 1 pikosaniye (10^{-12} s) süreli ve 10^{-14} W/cm² şiddetinde ışık darbeleri elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu laser darbeleri

rinin hidrojen ile etkileşmeleri sonucu çok ani olarak büyük bir sıcaklık ve basınç artışı sağlanır. Bu da hidrojen atomlarının elektronlarından arınarak çekirdeklerin birbirlerine yaklaşmalarını sağlar. Sıcaklık ve basınç yeterince arttırılabilirse iki hidrojen çekirdeği birbirine kaynarak bir helyum çekirdeği oluşturur. Bu olaya füzyon denir. Helyum çekirdeğinin ağırlığı birleşmeden önceki hidrojen çekirdeklerinin toplam ağırlığından daha azdır yani füzyon esnasında kütle kaybı olur ve buda enerji oluşturur (kütle-enerji eşdeğerliği $E=mc^2$ dir.

m, yitirilen kütle

E, bu nedenle kazanılan enerji

c, ışık hızıdır.)

Ancak, laser ile elde edilen füzyon enerjisi henüz patikte kullanılmaya uygun değildir. Çünkü bu şekilde çalışan bir nükleer santral yapmak için yeterli güçte çalışan bir laserin geliştirilmesi sürmektedir.

Mod-kilitlenmiş bir laserden elde edilen çok kısa süreli ve çok şiddetli ışık darbeleri telekomünikasyon alanında kullanmaya oldukça uygundur. Telekomünikasyon alanının da laserin kullanılması ile bilgi kapasitesini olağanüstü bir şekilde arttıracaktır. Sadece bir laser ışını ile 100 milyon telefon konuşmasını veya 100 bin televizyon kanalını iletmek mümkündür. Ancak burada bir sorun ortaya çıkmaktadır. Laser ışığı bulut veya sis içinde kayıba uğramadan geçmemektedir. Bu nedenle laserin şimdilik dünya üzerinde telekomünikasyon amaçlı kullanımını engellemektedir. Buna karşılık, uzayda böyle bir sorun yoktur ve laserin, diğer haberleşme cihazlarına oranla çok daha hafif olması nedeniyle de uzay haberleşmesinde (örneğin uydudan uyduya) kullanılmasına başlanmıştır.

Laser ışığının bağdaşıklık özelliğinden holografide de yararlanılır. Holografi, cisimlerin üç boyutlu olarak gerçeğe çok yakın görüntülerini yaratma tekniğidir. Laser ışını kullanan üç boyutlu televizyon cihazının önümüzdeki yıl-

larda gerçekleştirilmesi yolunda çabalar sürmektedir.

Laser ile çok hassas olarak mesafe ve hız ölçmek yaygın olarak kullanılan yöntemlerdendir. Müzik ile gürültü arasındaki fark da öyledir. Seste olduğu gibi, ışıkta dalgalar halinde yayılır, rengi ise frekans ve dalga boyuna bağlıdır. Bir elektrik ampulünden, yanan bir ateşten veya güneşten gelen ışıklar uyumsuzdur (incoherent), yani çeşitli dalga boylarından oluşup her yöne yayılmaktadır. Güneş ışığı prizmadan geçirildiğinde, dalga boylarına göre sıralanarak kendini oluşturan renklere ayrılır. Laser ışığı uyumludur tek renkten oluşup, tüm dalgalar aynı yöne hareket ederler. Laser ışığı dalgaları o kadar tekdüzedir ki, eğer bir laser demetini ses dalgaları gibi işitebiyseydik son derece saf tek bir müzik tonu duyardık. Üstelik laserin paralel ışık dalgaları tıpkı korodan çıkan sesler gibi birbirlerini sürekli güçlendirecek bir uyum içinde hareket ederler. Böyle bir demet aya kadar gönderilip tekrar dünyaya yansıtılabilir veya böylece bir demet ile saniyede bir trilyon derecelik sıcaklık elde edilebilir. Nitekim, laser kullanarak ay ile dünya arasındaki mesafe en fazla 15 cm. yayılmayla ölçülebilmistir. Başka yöntemlerle aynı ölçümlerdeki hata payı, 1 km'yi aşmaktadır. Laser ışığının düz bir çizgi halinde ilerlemesi, hizalama amacıyla kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bu şekilde tünel inşaatlarında ve köprü yapımında kullanılmakta ve hizalamada ki 1 mikrondan az kaymayı bile saptayabilmektedir. Aynı yöntemle bir barajın gövdesindeki deformasyonu ölçmek mümkündür.

Kıtalaradaki kaymaları ölçmek için jeofizikçiler belirli yörüngelerde dolanan uydulara laser ışığı gönderip tekrar dünyaya yansımalarını sağlamaktadırlar. Bu arada geçen zaman aradaki uzaklığın çok duyarlı bir ölçüsüdür. Bu tip taramalar sırasında ölçümlerdeki bağıl değişme, kıta kaymalarının izlenmesi ve yersarsıntılarının önceden tahmin edilmesinde en etkin yoldur.

Atmosferde veya okyonoslarda sürüklenen her madde farklı dalga boylarındaki ışığı yansıtıp veya yutarak kendini belli eder.Kullanılan ışığın dalga boyu nekadar saf olursa aranılan maddenin teşhisi o kadar kesin olur.Laser ışığının saflığı sayesinde,havada sürüklenen zararlı gaz moleküllerini,nükleer santrallerin oluşturduğu kirlilikleri ve kaçak yapan doğal gazları kilometrelerce uzaktan algılamak mümkündür.Gelecekte,meteoroloji uydularından laser ile yapılacak atmosfer basıncı taramaları sonucunda,30 günlük hava raporunun doğru ve incelikle tahmini gerçekleşecektir.

Bilgisayarlarda da,laserin bilgidepolama işlemlerinde kullanılması yaygınlaşmaktadır.Laser ışınının kapladığı alan çok küçük olduğu için büyük miktarda bilgi küçük alanlara sığdırılabilmektedir.

Laserin askeri amaçlı kullanımı içinde,yoğun araştırmalar yapılmaktadır.Uçaklarda bulunan laser cihazları ile uçağın yerden veya hedeften uzaklığı hassas bir şekilde saptanmaktadır.Başka bir uygulamada ise hedef yerden bir laser ışığı ile işaretlenmekte,uçağın bu işarete göre hedef tahrip etmesi kesinlik kazanmaktadır.Laserin kendisinin bir tahrip aracı olarak kullanılmasına ilişkin çalışmalar da da başarıya ulaşılmaktadır.Ancak yine atmosferin etkisi ile laserin etkisi kaybolmakta bu nedenle laserin dünya üzerinde uzun mesafe silahı olarak kullanılması olanaksızlaşmaktadır.Ancak,uzayda bu sorun yoktur.Laser ışığının herhangi bir füzeden çok daha hızlı yol alması ve hemen hemen her maddeyi eritip delecek güçlere sahip olması laseri geleceğin uzay silahı olmaya en kuvvetli aday yapmaktadır.

6. SONUÇ-LASERLER ve YENİ UFUKLAR

Laserlerle volkanik gazlar izlenebilmekte, fırtınalar haber alınmakta ve Mars'ın üzerindeki doğal laserlerin varlığı ispatlanmakta, cam lifleri yardımıyla yeraltından uzaklara ulaşabilmekte ve birçok alanda önümüze yeni ufuklar açmaktadır.

Laserin basit bir buluş olmadığı, teknoloji ve temel bilimlerden çok daha umut verici temel görevleri olduğu ortaya çıkmıştır. Bu yeni görevleri sayesinde açıklığa kavuşması gereken bazı konular şunlardır.

- DNA moleküllerinin davranışı ile kalıtımı sağlayan genel bilgilerin çözülmesi
- Hidrojen izotoplarının yapay kaynaşması (fusion) ile gelecekte enerji sorununun çözülmesi,
- Kanseri yenecek yolların bulunması ve tıkanmış damarların vücuda zarar vermeden açılması,
- Milyarlarca molekül içinden sadece birinin hareketleri hakkında bilgi edinip, ilaç yapımında maksimum yararın elde edilmesi,
- Daha küçük boyutlarda daha hızlı bilgisayarların yapımı,
- Nükleer silahlara karşı savunma tekniğinin geliştirilmesi
- Malzeme işleme de uzman sistemlerle birlikte yaygın bir şekilde kullanılması v.b.

Einstein tarafından ortaya atılan görecelik kuramına göre, herhangi bir noktadaki kütle hareketi, evrende kütle çekim dalgaları oluşturmaktadır. Uzayda ışık hızı ile yayılan bu dalgalar, rastladıkları her şeyi titreştirmektedirler. Fakat dalgalardan etkilenen cisimlerdeki titreşimin genliği bir atom çekirdiğinin genişliğinden daha küçük olabilir ve süresi de çok kısa olabilir. Bu nedenle, çok şiddetli patlamalardan doğan kütle çekim dalgalarının algılanması ümit edilmektedir. Eğer kütle çekim dalgalarının algılanması başarılabılırsa, kendi galaksimizdeki yoğun bir yıldızın kendi i

çine ani çökmesinden oluşan süpernova olaylarının incelenmesi yeni bir boyut kazanacaktır.Laser kütle çekim dalga algılayıcılarının bunu başarması beklenmektedir.

Görüldüğü gibi laserden beklenen pekçok şey var ve laserlerinde bunları başaracağı en azından bir çoğunu yerine getireceğine inancım büyük.

4. ve 5. bölümlerde bilgisayar ve bilgisayar birimlerinin laserler ile etkin bir şekilde kullanımı incelenmiştir.Bu etkin kullanım sonucunda laserlerin,diğer uygulamaya alanlarında olduğu gibi bu tezde incelenen konu açısından bakıldığında da yeni ufuklara doğru yol aldığı ve bize çok yeni,çok geniş olanaklar sunduğu açıkça görülmektedir.Özellikle 4. bölüm de incelenen görüntü ve çalışma setlerinden oluşacak ve "on-line" sistemi olarak adlandırabileceğimiz sistem malzeme işleme alanında bir devrim niteliğine dönüşecektir.

Laser teknolojisi sürekli gelişme içindedir.Gelişmesinin kaynağı,farklı bilimsel çalışmalar sonucunda ortaya çıkan başarılar ve bu başarıların ortak bir noktada toplanması ile oluşan,kullanılmaya hazır bilgi birikimidir.Laser teknolojisi elektrik,elektronik,kimya ,makina gibi temel mühendislik konularının bütünleşmesinden oluşmuştur.İşte bu yüzden kendini oluşturan konuların her alanda gelişmelerinden etkilenererek sürekli kendini aşan bir duruma gelmiştir.Buna örnek olarak step motorların gelişmesini ve bunun sonucunda x,y koordinatları boyunca laser ışınının hareketini sağlayan yansıtıcı kafaların gerçekleştirilmesini verebiliriz.Bu elektrik mühendisliği alanının da meydana gelen bir gelişmedir ve direk olarak laser teknolojisini etkilemiştir.

Laser teknolojisinin gelişmesini sağlayan her bilimsel çalışmanın farklı uygulama alanlarına göre,özgün bir yeri vardır.Unutulması gereken nokta böyle bir teknolojinin ekip çalışmasına dayandığıdır ve bu paylaşımda elektrik mühendisliğine düşen görev çok büyüktür.

FAYDALANILAN KAYNAKLAR

1. TARASOV L. Laser phisic and applications
2. RYKALIN N.,UGLOV A.,
KOKARA A. Laser machining and welding
3. SÖNMEZ NİŞAN Laser ışınları,laser fiziği,kesme
ve kaynak işlemlerinin incelenmesi.
4. GENERAL SCANNING
INC. Optical scanning systems 1988.
5. PHOTONICS SPECTRA March 1986
6. LASER REVIEW January 1988
7. MOORE REED Stepping motor catalogue 1978
8. İNSAN VE KAINAT Haziran 1988
9. BİLİM VE TEKNİK Muhtelif sayıları
- 10.LASER FOCUS January, march,June 1988
İndüstriyel laser advances
Advances in commercial lasers 1987-
1988
- 11.FERRY D. FANNIN R. Physical Electronics.
- 12.SINCLAIR C.
BELL E. Gas laser technology



ÖZGEÇMİŞ

1964 Ankara doğumluyum. İlk öğrenimimi, Kartal Sabri Taşkın İlkokulunda, orta ve lise öğrenimimi de Kartal Lisesinde tamamladım. 1982 yılında Yıldız Üniversitesi Elektrik Müh. Bölümüne kaydoldum. 1986 yılında lisans öğrenimimi tamamlayarak aynı yıl Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde lisansüstü öğrenimime başladım. Halen özel bir şirkette çalışmaktayım, evliyim.

