

**FARKLI ÖZELLİKLERDEKİ ÇELİK MALZEMELERİN LAZER İLE
KESİLMESİNDE ELDE EDİLEN KESME ARALIĞININ
KAREKTERİZASYONU**

Mehmet Emin İLOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİYEL TEKNOLOJİ EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2010
ANKARA**

Mehmet Emin İloğlu tarafından hazırlanan FARKLI ÖZELLİKLERDEKİ ÇELİK MALZEMELERİN LAZER İLE KESİLMESİNDE ELDE EDİLEN KESME ARALIĞININ KAREKTERİZASYONU adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Adnan Akkurt

.....

Tez Danışmanı, Endüstriyel Teknoloji Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Endüstriyel Teknoloji Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Abdullah Kurt

.....

Makine Eğitimi Anabilimdalı, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Adnan Akkurt

.....

Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Anabilimdalı, Gazi Üniversitesi

Yrd.Doç.Dr. Abdullah Togay

.....

Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Anabilimdalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 20.05.2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Mehmet Emin İloğlu

**FARKLI ÖZELLİKLERDEKİ ÇELİK MALZEMELERİN LAZER İLE
KESİLMESİNDE ELDE EDİLEN KESME ARALIĞININ
KAREKTERİZASYONU
(Yüksek Lisans Tezi)**

MEHMET EMİN İLOĞLU

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2010**

ÖZET

Teknolojik alanda, her geçen gün yeni icatlar yapılmakta, yapılan alet ve makinelerde gelişmeler kaydedilmektedir. Kısaca teknoloji kendi kendisi ile sürekli bir yarış halinde. Son yirmi yıl içerisindeki teknolojik gelişmeler, eskiden “uzay çağı” diye tabir edilen seviyeye ulaşmıştır.

Bu gelişmelerden en önemlisi ise lazer teknolojisi alanında kaydedilmiştir. Lazer ışığının bulunması çok eskilere dayanmakla beraber, kullanım alanlarında çok büyük gelişmeler kaydetmesi, çok çeşitli konularda kullanılması son yıllarda büyük gelişmeler gösterdi.

Günümüzde, neredeyse hemen her alanda lazer teknolojisinde istifade edilmektedir. Lazer kullanım alanlarında hassas, parametrik değerler içerisinde kullanılmakta dolayısıyla, olumlu sonuçlar elde edilebilmektedir.

Bu tezimizde lazerin endüstrideki kullanım yerlerinden, lazer ile metal malzemelerin kesilmesini inceledik, bu konuda daha önce yapılan çok çeşitli çalışmalardan istifade ettik. Endüstride kullanılan 10 mm kalınlığındaki sekiz farklı özellikteki çelik malzemelerden kullanarak deneylerimizi gerçekleştirmeye çalıştık. Yapılan deneyler sonucunda, malzeme kesme

boşlukları, cüruf oluşumu, sertlik değişimleri, kesme hızı gibi parametrelerin çeşitli malzemelerdeki farklılık incelenmiştir.

Gazi Mustafa Kemal Atatürk ün de söylediği gibi; muhasır medeniyetler seviyesine ulaşmak ilim ve fen de ilerlemekle mümkündür. İlerleme için ise; birey olarak hepimizin, elimizden gelebilen her şeyin en iyisini yapmamız gerekmektedir.

Bilim Kodu : 705.3.014
Anahtar Kelimeler : Lazer, Kesme, Kesme Geometrisi, Kesme Aralığı
Sayfa Adedi : 150
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Adnan Akkurt

**STEEL MATERIALS IN DIFFERENT PROPERTIES OBTAINED CUTTING
INTERVALS CHARACTERIZATION OF
CUTTING WITH LASER**

(M. Sc. Thesis)

Mehmet Emin İLOĞLU

**GAZI UNIVERSITY
SCIENCE INSTITUTE AND TECHNOLOGY**

June 2010

ABSTRACT

We see constant innovation in technology and major improvements in our daily tools and machines. Technology is in constant race to get better than yesterday. It has been amazing upwards trend in technology over last 20 years to the level of "space time".

One of the major technology development area is in the laser field. Although laser technology has been out there for many years, We have seen tremendous new laser applications recently.

We are taking advantage of laser technology in all aspects of our life. As long as we we use its precise and right parametric range, we get very valuable results.

We have studied the use of laser in cutting metals in indutry and leveraged various studies in this field.

We have performed our experiments by using 10mm thick steel with 8 different properties. We have analyzed the kerf depth, perpendicularity, surface roughness and cutting speeds parameters in different materials in our experiment.

As our great leader Ataturk has said we need to focus on science and technology to be in the highly civilized nation level. Each of us should do our best to get this goal.

Science Code	: 705.3.014
Keywords	: Laser, Cutting, Cutting Geometry, Kerf Width
Page Number	: 150
Supervisor	: Assoc. Dr. Adnan Akkurt

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım sırasında her zaman büyük yardım ve desteğini gördüğüm, değerli danışmanım Sayın Doç. Dr. Adnan Akkurt' a ve numunelerin hazırlanmasında desteklerini esirgemeyen FORM MAKİNA' çalışanlarından Oben Erdoğan ve Ersan Bozkurt' a ayrıca emekleri geçen bütün hocalarıma, teşekkürlerimi borç bilirim. Beni bugünlere kadar yetiştiren ve maddi manevi olarak desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
RESİMLER LİSTESİ	xv
ÇİZELGELER LİSTESİ	xvii
1. GİRİŞ	1
2. LAZER NEDİR?	3
2.1. Lazer Işığının Özellikleri.....	4
2.1.1. Tek renklilik.....	5
2.1.2. Bağdaşıklık	5
2.1.3. Şiddet yüksekliği.....	6
2.1.4. Yöneltilbilirlik.....	6
2.2. Lazer Işığının Oluşmasında Ne Tür Gereksinimler Vardır?	8
2.3. Lazerin Çalışma Prensibi.....	9
2.4. Lazer Makinaları ve Çeşitleri	15
3. LAZER KESME İŞLEMİNDE KARAKTERİSTİK YAPI	25
3.1. Kesme Başlığı - Kesme İlerlemesi - Yardımcı Gazlar	26
3.2. Lazerle Kesme İşleminde Cüruf - Yüzey Pürüzlülüğü	27
3.3. Süprüntü Yüksekliğini Etkileyen Parametreler	28
3.3.1. Lazer gücü.....	28
3.3.2. Odak konumu.....	28
3.3.3. Yardımcı gaz basıncı	29
3.3.4. Nozul çapı	30
3.3.5. Stand-off mesafe	30
3.3.6. Isı tesiri altında kalan bölge	30
3.4. Kesme Genişliği	31
3.5. Lazer Kesim İşlemlerinde Lens Odaklanması.....	33
3.6. Lazer ile Kesme İşlemi Oluşumu	34
3.7. Lazer Kesme İşleminde Soğurma (ışık emilimleri)	35

Sayfa

3.8. Lazer Kesim İşleminde Malzemelerin Karakterizasyonu	36
3.8.1. Karbon çelik.....	36
3.8.2. Alaşımlı çelik.....	37
3.8.3. Paslanmaz çelik.....	37
3.8.4. Alüminyum	38
3.8.5. Titanyum.....	38
3.8.6. İnorganik.....	39
3.8.7. Cam.....	39
3.8.8. Organik	39
3.8.9. Ahşap	39
3.8.10. Bez	40
3.8.11. Plastik.....	40
3.8.12. Kompozitler	40
3.9. Lazerlerin Kullanım Alanları	40
3.9.1. Endüstri.....	41
3.9.2. Yol güvenliği	42
3.9.3. Haberleşme	42
3.9.4. Askeri.....	42
3.9.5. Tıp.....	43
3.10. Lazer Hakkında Kısa Kısa.....	43
3.11. Lazerle Kesme İşleminin Avantajları ve Dezavantajları.....	45
4. KESME İŞLEMİNDE FARKLI YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	46
4.1. Kesme Kalitesi	46
4.2. Kesme Yönteminin Karşılaştırılması	46
4.3. Kesme Yöntemlerinin Genel Mukayesesi.....	48
4.4. Lazer ile AWJ'nin Karşılaştırılması.....	49
4.4.1. Awj ile işleminin CO ₂ lazer ile işlemeye göre avantajları	49
4.4.2.CO ₂ lazer ile işleminin AWJ'ye göre avantajları	50
4.5. Diğer Metotları da Kapsayan Değerlendirmeler	57
4.6. Literatür Araştırmasının Genel Değerlendirmesi	58
4.7. Kesik Yüzey Özellikleri	59

Sayfa

4.8. Kesme Metotlarını Kapsayan Genel Bir Değerlendirmeler	60
5. ÇELİK MALZEMELER.....	65
5.1. Çeliklerin Temel Özellikleri.....	67
5.2. Çeliklerin Sınıflandırılması	68
5.3. Nitelikli Çelikler.....	68
5.3.1. Nikelli çelikler	68
5.3.2. Nikel kromlu çelikler	68
5.3.3. Kromlu çelikler	69
5.3.4. Molibdenli çelikler.....	69
5.4. Karbon (C).....	69
5.4.1. Karbonlu çelikler	70
5.4.2 Demir karbon alaşımlarının isimlendirilmesi	71
5.5. Alaşım	73
5.5.1. Düşük alaşımlı çelikler	74
5.5.2. Yüksek alaşımlı çelikler.....	74
5.5.3. Alaşım elementlerinin çelik yapısına etkisi	75
5.5.4. Alaşım elementlerinin genel etkileri.....	82
5.5.5. Alaşım elementlerinin çeliğin özelliklerine genel faydalı etkileri.....	88
5.6. Metallerin Mekanik Özelliklerini Değiştirme Yöntemleri.....	89
5.6.1. Yüzey sertleştirme işlem çeşitleri ve özellikleri	95
5.6.2. Termomekanik işlemler	95
6. MATERYAL VE METOD	96
6.1. Deneysel Bölüm	96
6.1.2. Deney ekipmanı ve test yöntemi.....	97
6.2. Deneylerde Kullanılan Malzeme ve Donanım	97
6.2.1. Malzemeler	97
6.3. Takım Tezgâhları ve İlgili Parametreler	99
6.4. Kullanılan Ölçü Aletleri ve Görüntüleme Cihazları.....	101
6.4.1. Yapılan ölçümler.....	101
6.5. Deneysel Sonuçlar	106
6.5.1. Maksimum kesme hızları.....	106

	Sayfa
6.5.2. Oluk genişliği.....	107
6.5.3. Kesme uçlarındaki dikeylik sapması	109
6.5.4. Yüzey sertliği	110
6.6. Tartışma.....	112
6.6.1. Maksimum kesme hızları.....	112
6.6.2. Kesme genişliği.....	112
6.6.3. Dikeylik sapması.....	114
6.6.4. Yüzey sertliği	115
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	116
7.1. Sonuç	116
7.2. Öneriler.....	120
KAYNAKLAR	122
EKLER.....	128
EK-1. Farklı İmalat Yöntemleri	129
EK-2. Farklı İmalat Yöntemleri Karşılaştırmaları	131
EK-3. Çelik Malzemelerin Isıl İşlemleri ve Metalorjik Özellikleri	139
EK-4. Lazer Kesme Makinesine Ait Görünüşler	146
EK-5. Lazer Tezgâhı ile İlgili Teknik Bilgiler İmalat Örnekleri	148
EK-6. Sertlik Ölçüm Cihazı Resmi ve Uc Yapıları.....	149
ÖZGEÇMİŞ	150

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekiller	Sayfa
Şekil 1.1. Koherent saçılma	1
Şekil 1.2. Lazer ışığının iletilmesi	2
Şekil 2.1. Lazer ışığının nozulda çıkışı şema ve fotoğrafı	4
Şekil 2.2. Atom çekirdeğinin yapısı	7
Şekil 2.3. Lazer Kesim	8
Şekil 2.4. Basitleştirilmiş tipik bir lazer şeması	9
Şekil 2.5. lazer ışığının ilk oluşumu şematik	10
Şekil 2.6. Kendiliğinden ışıma ve soğurma	12
Şekil 2.7. Uyarılmış ışıma	12
Şekil 2.8. Bohr Atom Modeli	13
Şekil 2.9. Co2 Lazer makinasının şematik görünümü	17
Şekil 2.10. Nd: YAG Lazer makinasının şematik görünümü	20
Şekil 2.11. Moleküller parçalarının atmosferde lazer ile hareketi	22
Şekil 3.1. Lazer kesme işleminde karakteristik özellikler	25
Şekil 3.2. Lazer kesim işleminde kesme yüzeylerindeki, yapıları	27
Şekil 3.3. Kesme yüzey kesit oluşumları karakterizasyonu şematik ve fotoğrafı	27
Şekil 3.4. Lazer nozulu malzeme üzerinde odaklanması şematik	29
Şekil 3.5. Lazer kesilmiş yüzeylerin yan ve kesit görüntüleri	29
Şekil 3.6. Lazer kesim işlemi sırasında ısı tesiri altındaki bölge	31
Şekil 3.7. Farklı kesme yöntemleri ile oluşan kesme boşlukları	33
Şekil 3.8. Kesme yüzeylerinde doğrultu sapması ve bozuk yapı	33
Şekil 3.9. Lazer ışını ve malzeme etkileşimi	34
Şekil 3.10. Lazer ışığının malzeme üzerinde yansıma ve ergitmesi	35
Şekil 3.11. Lazer ışığının yansımasını şematik olarak görüntülenmesi	36
Şekil 3.12. Yardımcı gaz oksijenin demir elementi ile reaksiyonu	38
Şekil 4.1. Farklı işleme metodlarının güç seviyelerine bağlı	49
Şekil 4.2. AWJ YAG ve CO2 lazer ile farklı malzemeler için her birim	51
Şekil 4.3. Su jeti ile kesme sisteminin diğer kesme yöntemleri ile karşılaştırılması	57
Şekil 4.4. İşleme metodlarının güç seviyelerine bağlı hacimsel talaş	61
Şekil 4.5. Malzeme kalınlıklarına göre kesme yöntemlerinin karşılaştırılması	61

Şekiller	Sayfa
Şekil 5.1. Hacim merkezli ve yüzey merkezli kübik yapılar	65
Şekil 5.2. Demir-karbon denge diyagramı çelik bölgesi.....	66
Şekil 5.3. Çelik-karbon diyagramı	72
Şekil 5.4. Demir, karbon ve sıcaklığa bağlı faz değişimleri	75
Şekil 5.5. Demir, karbon ve sıcaklığa bağlı faz değişimleri	83
Şekil 5.6. Tane yapısında dislokasyon hareketine etki eden yapı	90
Şekil 5.7. Soğuk işlemin çelik sertliğine etkisi	91
Şekil 5.8. Çeliklere uygulanan ısıtıl işlem sıcaklık aralıkları.....	94
Şekil 5.9. Malzeme mekanik özelliklerinin değişmesi	94
Şekil 5.10. Haddeme ile mikroyapıdaki değişim	95
Şekil 6.1. Deney malzemelerinin kesim şekilleri.....	98
Şekil 6.2. Test Yöntemlerinin Şematik Diyagramı	99
Şekil 6.3. Vickers sertlik ölçümünün şematik gösterilmesi	103
Şekil 6.4. A, B, C, D Oluk Genişliği Ölçüm Konumları	104
Şekil 6.5. Kesğin En Alt Kısımından En Üst Kısımına Kadar Kesik Oluğu	105
Şekil 6.6. Kesğin Oluk Genişliğini Gösteren Kesiti	106
Şekil 6.7. 1300–1500 lazer gücü ile malzeme kesme hızları	107
Şekil 6.8. 1300–1500 lazer gücü ile malzeme kesme hızları	107
Şekil 6.9. CO ₂ Lazerle Oluşturulan Oluk Genişlikleri	108
Şekil 6.10. Ç 1010–1040’ a ait dikeylik sapması.....	109
Şekil 6.11. Ç 2080–2344-2379’a ait dikeylik sapması	109
Şekil 6.12. Ç 4140–8620-304’e ait dikeylik sapması	110
Şekil 6.13. CO ₂ Lazerle Oluşturulan kesik yüzeylerindeki yüzey sertliği	111
Şekil 6.14. CO ₂ Lazerle Oluşturulan kesik yüzeylerindeki yüzey sertliği	111
Şekil 6.15. Kesme uçlarının dikeylik sınıflandırması	114

RESİMLER LİSTESİ

Resimler	Sayfa
Resim 2.1. Lazer nozulundan ışık çıkışı	3
Resim 2.2. Renkli lazer ışıkları	5
Resim 2.3. Lazer ışığı	11
Resim 2.4. Pompalama işlemi ile lazer ışığı oluşması	14
Resim 2.5. Yarı iletken diyot	16
Resim 2.6. Kızılaltı diyotlar	16
Resim 2.7. CO ₂ Lazer İşleme Merkezi	18
Resim 2.8. Femtosaniye lazer ile işlenmiş nano yapılar	21
Resim 2.9. Trumpf disk lazer HLD 4002	23
Resim 2.10. (a) Fiber lazer 4000W (b) 1,5" HP kesme başlığı	24
Resim 2.11. Fiber Lazerlerin tercih edildiği malzeme işleme yöntemleri	24
Resim 3.1. Lazer kesimi ve kesim boşluğunun	26
Resim 3.2. Farklı tutuculuk özelliklerine sahip malzemelerde oluşan cüruf yapısı ..	28
Resim 3.3. Farklı gaz basınçları ile kesme yapılmış yüzeylerde pürüzlülük	28
Resim 3.4. Kesme başlangıcında yapılan odaklama hataları	34
Resim 3.5. Lazer ile yapılmış tahta işleme ve kakma işlemleri	41
Resim 3.6. Lazer polimer ile üretilen diş köprüleri ve türbin bileşenleri	41
Resim 3.7. Lazerle uzay ince kafes (0,3 mm) duvar oluşturma	42
Resim 3.8. Lazer ışığının hedef tayin etmede kullanılması	43
Resim 3.9. Lazerle işlenerek yapılmış stent	43
Resim 3.10. Lazer ile yapılan imalatlardan bazı örnekler	45
Resim 4.1. Her iki yöntemle kesilmiş farklı malzemelerin kesilen yüzey dokuları ..	52
Resim 4.2. Lazer temiz kesme ile elde edilen Ti-6Al-4V	53
Resim 4.3. Ti-6Al-4V numunenin lazerle kesilmesinden sonra	54
Resim 4.4. Ti-6Al-4V numunede tanecik saplanması	55
Resim 4.5. Ti-6Al-4V numunelerin işlenmesinden sonra HCF'	55
Resim 4.6. A286 çelik matriste aşındırıcı parçacık	56
Resim 4.7. Kesme ile elde edilen bir yüzeyin kalite bölgeleri	64
Resim 5.1. Ostenitik yapının mikroskobik görüntüsü	87
Resim 5.2. Ferritik yapının mikroskobik görüntüsü	88

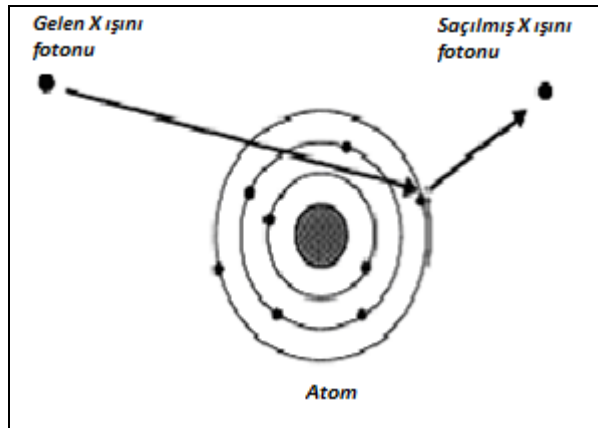
Resimler	Sayfa
Resim 5.3. Çeliklerde su verme sonucunda oluşan martenzitik yapı.....	92
Resim 6.1. Numunelerin kesildiği Mazak X 48S Lazer makinesi	100
Resim 6.2. Vickers sertlik ölçme cihazı.....	102
Resim 6.3. Numune üzerinde meydana gelen iz	102
Resim 6.4. Lazer ile kesilen ve delik açılmış numuneler.....	104
Resim 6.5. Lazer ile kesilen ve delik açılmış numuneler.....	105
Resim 6.6. Aşırı ısınma neticesinde kesme boşluklarında aşırı genişleme.....	113

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Kesme hızı ve makine gücüne göre kesme genişlikleri	32
Çizelge 4.1. Kesme yöntemlerinin genel karşılaştırılması.....	62
Çizelge 5.1. Demir karbon bileşimi	67
Çizelge 6.1. Malzemelerin kesilmesinde uygulanan kesim parametreleri	98

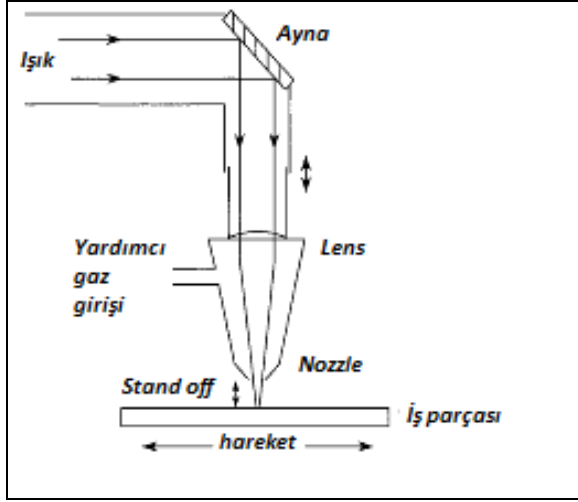
1. GİRİŞ

Yeni enerji kaynakları arasında en modern ve en hızlı gelişmiş olanı lazer ışınıdır. Lazer, ışığın çok özel bir çeşididir. Bilim adamları bu ışına şaşılacak kadar çok sayıda kullanma yeri buldular. Lazer ışığının özelliği, ışındaki bütün ışık dalgalarının koherent (yani dalga boylarının tümüyle aynı) olmasından ileri gelmektedir (Şekil 1.1.). Bunun sonucu olarak ışık dalgaları birbirlerine o kadar paralel olurlar ki, birbirlerinden hissedilir derecede ayrılarak, dağılma yapmadan kilometrelerce uzağa gidebilirler. Buna karşılık, bir cep fenerinin süzmesindeki ışık dalgalarının frekansları çok değişiktir. Bunun için birbirleriyle yaptıkları girişim sonunda dağılıp yaygın hale gelmiştir.



Şekil 1.1. Koherent saçılma [Kybic, 2006].

Lazer ışınının koherent oluşu, onun uzak mesafelere gittiği halde azalmadan, çok büyük enerji taşıyıcısı olarak kullanma düşüncesini doğurdu. Bu, elektrik gücünün önce lazer ışığı haline getirilmesi, sonra enerji alınan uçta işlerinin tersinin yapılmasıdır. Sis ya da yağmur bu iletme etki edeceğinden güç kaybının önlenmesi için havasız borular içinde iletilmesi ve bu boruların da dosdoğru olması gerekir. Doğrultu değişimleri, ışını saptırmak için köşelere aynalar konulmasını gerektirir (Şekil 1. 2.) [Teknoloji. 2008].



Şekil 1.2. Lazer ışığının iletilmesi [Keilmann ve ark., 1992].

Lazer, insan yaşamında çok geniş bir alanı kapsar. Lazerle yapılan göz ameliyatları sayesinde insanları gözlük takma zorunluluğunda kurtarmıştır. Benzer şekilde, cd çalar, dvd oynatıcılarla evlerimize, lazer yazıcıları, sayesinde fotoğrafçılık karanlık odadan bilgisayar dünyasına taşınmıştır [Elsevier, 2005].

Lazer, artık hayatımızda günlük kullandığımız eşyalar gibi, yerleşmiştir, örneğin; bir öğretmen cetveli işaret aracı olarak kullanırken artık mini lazer ışıkları kullanmaktadır, eskiden filmlerde izlediğimiz, lazer ışıkları, çocukların oyuncakları arasında yer almaya başlamıştır. Tabii bu bahsettiklerimiz lazer ışıklarının çok zayıf derecelerde olanlarıdır

Endüstride kesme işlemlerinde kullanılan lazerler ise bunların milyonlar hatta daha da fazla güçte olanlarıdır. Biz bu çalışmalarımızda (CO₂) Lazer makinası ile dört ayrı parametre kullanarak deney çalışmalarımızı gerçekleştirmeye çalıştık, bu deneylerdeki amacımız 10 mm çelik türevleri ile kesme işlemlerini gerçekleştirip, deney malzemelerinin, kesme aralıklarında meydana gelen kesim aralık farkı. İTAB bölgelerindeki sertlik değişimleri, kesme başlangıcından kesim bitiminde olan sertlik değişimleri, deney malzemesi üzerine delik açma süresi ve kerf bölgesinde meydana gelen yüzey farklılıkları gibi özellikleri incelemeye çalıştık.

2. LAZER NEDİR?

Lazer, ışık demetlerini uyumlu bir küme olarak yayan optik bir kaynaktır ve atomların ışık yaymaya başlayıncaya kadar enerjiyle pompalanması sonucu ortaya çıkar. Bu ışık, daha sonra ayna hileleriyle iyice güçlendirilir [www.ilmiarastirma.net]

Laser sözcüğü Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation sözcüklerinin baş harflerinden oluşan bir akronimdir. Bir laser, uyarılmış elektronik veya moleküler geçişlerle yüksek enerji seviyelerinde yoğun ve koheran bir ışık ışını üreten bir cihazdır. Buradaki koherent sözcüğü, tüm ışık dalgalarının aynı fazda olmaları anlamını taşır. Pratikte bir laser cihazı, bir optik resonatör boşluğunun uç aynaları arasına yerleştirilmiş bir ortamdan oluşur. Bu ortam, içindeki aktif atomların (veya moleküllerin) çoğunluğunu normal enerji seviyelerinden daha yüksek bir seviyeye çıkaracak bir yerleşim dönüşümü oluşacak tarzda pompalandığında yani uyarıldığında, boşluğun uç aynaları arasında ileri ve geri yansıyabilen bir koheran ışık meydana gelir. Bu durum, bu koheran ışığın seviyesinin bir eşik noktasına ulaşmasına (yani ışık amplifikasyonu ile üretilen kazancın, eşzamanlı olarak oluşabilen tüm kayıpları aşmaya başladığı nokta) yol açar. Bu şekilde cihaz, laser ışığı ışığını yaymaya başlar (Resim 2. 1. ve Şekil 2. 1) [Anık ve ark., 1996].



Resim 2.1. Lazer nozulundan ışık çıkışı [GuidedLaser, 2005].

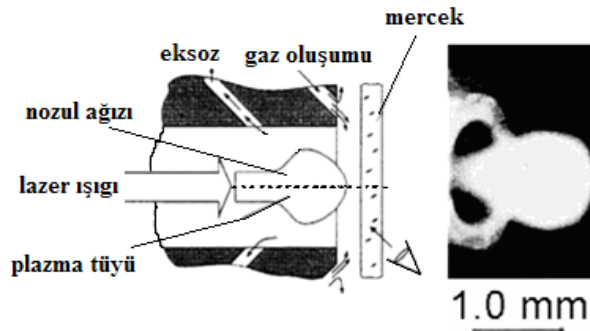
Lazer kelimesi, (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) ışınmanın uyarılmış yayınımları ile ışığın kuvvetlendirilmesi anlamına gelmektedir, uyarılmış yayımlar kavramı ile 1917 yılında Albert EINSTEIN tarafından ortaya konulmuş olan ışık yayınımları teorisidir. Einstein'ın bu teorisine göre uyarılmış ışınım enerji seviyesindeki bir atom düşük enerji seviyesine indiğinde foton yayması gerekir. Bunun sonucu olarak enerji meydana gelir [Hecht, 1992].

Albert Einstein tarafından ortaya atılan bu teoriye dayanarak 1950'li yıllarda Columbia Üniversitesin'de amonyak kullanılarak mikrodalgaların yükseltilmesi prensibine dayanan MAZER bulunmuştur [O'Shea ve ark., 1978].

MAZER "Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation" ışınım yayınımlarının uyarılmasıyla yükseltilmiş mikrodalga anlamına gelmektedir. Mazer'in bulunmasından sonra bilim adamları bunun optik bölgelere uygulanabilirliği üzerinde çalışmalara başlamışlar ve bunun sonucu olarak lazerle ilgili çalışmaların temelini atmışlar lazer teknolojisi gelişmeye başlamıştır [Mungan, 2006].

1960 yılında yakutla çalışan ilk lazer bulunmuştur. Aynı yılın Kasım ayında ilk uranyum lazeri geliştirilmiş, yine 1960 yılında helyum-neon lazerini bulunmuştur. 1963 yılında karbondioksit lazeri bulunmuştur 1964 Yılına girildiğinde Nd: YAG lazeri bulunmuş, aynı yıl argoniyon lazeri bulunmuştur [Kuhn, 1998].

2.1. Lazer Işığının Özellikleri



Şekil 2.1. Lazer ışığının nozulda çıkışı şema ve fotoğrafı, [Kappel ve ark.,1998].

Günümüze kadar birçok lazer çeşidi geliştirilmiş, bu lazerler kullandıkları dalga boylarına göre, kullanılan aktif maddenin cinsine, enerjinin etkinliğine göre ve enerjinin uygulama şekline göre uygulama alanlarında birbirleri arasında farklılık gösterirler. [www.ilmiarastirma.net] Lazerlerin 4 önemli özelliği vardır.

2.1.1. Tek renklilik

Bir mumun veya akkor telli elektrik ampulünün yaydığı ışık tek renkli değildir. Bu kaynaklarda çıkan ışınlar bir prizmadan geçirilirse birçok renge ayrıldığı görülür (Resim 2. 2.) [http://www.latarum. 2009].



Resim 2.2. Renkli lazer ışıkları [http://www.latarum. 2009].

Lazer ışını dağılmaz olduğundan kısa darbeler halinde yayınlanabilmesi mümkündür. Kayıpsız yüksek enerji nakli yapılması bu özelliği ile sağlanabilir. Lazer ışını tek dalga boyuna sahip olduğu için lazer cinsine göre çeşitli renkte ışınlar elde etmek mümkündür [www.ilmiarastirma.net].

2.1.2. Bağdaşıklık

Lazer hariç diğer ışık kaynaklarının verdiği ışık aynı fazda (bağdaşık) değildir. Yani demet içinde bütün ışınlar aynı fazda bulunmazlar [Emrah, 2008]. Lazer ışınını oluşturan dalgalar tamamen birbirlerine paralel ilerlerler. Yani bir el feneri ve bir "laserpointer" (lazer feneri) ile bir duvar aydınlatılıp sonra yavaş yavaş arkaya doğru gidildiğinde, lazer ışınının normal ışıktan farkı kolayca seçilebilir. El fenerinin duvarda bıraktığı ışık lekesi, duvardan uzaklaştıkça büyür, lazerin aydınlattığı nokta

ise hep aynı büyüklükte kalır. Lazer ışığı dağılmadığı için çok hassas işlemlerde rahatlıkla kullanılabilir. Cerrahlar, lazerle beyin ameliyatlarında küçük hücreleri dokulardan ayırabilirler [www.ilmiarastirma.net].

2.1.3. Şiddet yüksekliği

Bir ışık kaynağının şiddeti, bir yüzeye birim zamanda ulaştırdığı enerji ile ölçülür. Lazerin haricindeki ışınlar bağdaşık olmadıklarından lazere göre oldukça zayıftır [http://www.latarum. 2009].

Normal ışık, dalga boyları muhtelif, rengârenk, yani farklı faz ve frekansa sahip dalgalardan meydana gelir. Lazer ışığı ise yüksek genlikli, aynı fazda, birbirine paralel, tek renkli, hemen hemen aynı frekanslı dalgalardan ibarettir. Optik frekans bölgesi yaklaşık olarak bir trilyon hertz ile üç bin trilyon hertz arasında yer alır. Bu bölge, kırmızı ötesi ışınları, görülebilen ışınları ve elektromanyetik spektrumun morötesi ışınlarını kapsar. Buna karşılık mikro dalga frekans bölgesi yaklaşık olarak 300 milyon hertzden 300 milyar hertze kadar uzanır. Yani, laser çok yüksek frekanslarda çalışır [www.ilmiarastirma.net].

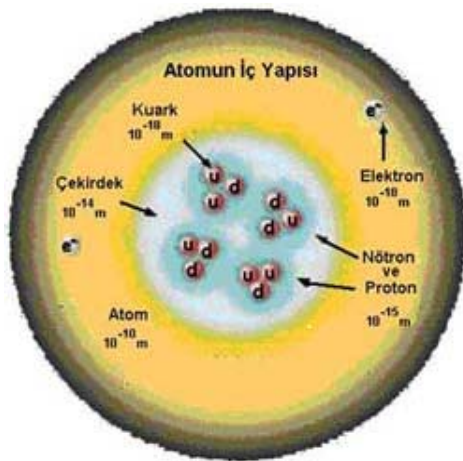
2.1.4. Yöneltilirlik

Lazer ışınının en büyük özelliği dağılmaz olması ve yön verilebilmesidir. Bu özelliğinden faydalanılarak mesafe ölçme ve fiber optik teknolojisi geliştirilmiştir. Dalga boyunun küçük olması dağılmayı büyük ölçüde azaltır. Uyarılan atomlar her yön yerine belli yönlerde hareket ederler. Bu, lazerin çok parlak olmasını sağlar. Lazer ışınının tek bir ışın olarak dağılmadan yol alabilmesiyle haberleşmede iyi bir sinyal jeneratörü elde edilmiş olur ve aynı anda birçok bilgi bir yerden başka bir yere gönderilebilir [www.ilmiarastirma.net].Lazer ışınları oldukça uzun bir mesafeyi sabit genişlikte bir ışın demeti olarak alır, bu mesafeden sonra genişlemeye başlar. [http://www.latarum. 2009].

Laser dalgalarını, uygun adım giden aynı üniforma ve şekle sahip askerlere, normal ışığı ise rasgele karakteri bozuk bir orduya benzetmişlerdir. Normal ışıktaki dalgalar, birbirini zayıflatıcı karakterde olmasına rağmen, laserde birbirini kuvvetlendirici olurlar. Laser ışınları yüksek frekanslı olduklarından güneş ışını özelliklerine sahiptir. Ancak laser ışınları tek frekanslı olduğu için kayıpları azdır. Ayrıca laser ışınları aynı fazda yapılan ışık dalgaları olduğu için şiddeti büyük olur. Bu yüzden laser ışınlarının şiddeti güneş ışınlarının şiddetinin bir milyon katıdır. [www.ilmiarastirma.net].

Lazer tek bir dalga boyuna sahip yapışık ve yüksek bir ışıktır, atomik enerjiyi elektromanyetik enerjiye dönüştürür [ÖNER, 2008].

Lazer ışığının diğer bir özelliği de süper kısa dalga boylu olmasıdır. Yüzlerce metre ile ölçülen radyo dalgaları, santimetrelerle ölçülen televizyon dalgalarından farklı olarak lazer dalga boyları santimetrenin 10 milyonda 1'i ile ölçülür. Bu özellik, lazerin hayli dar bir frekans bandında çok sayıda haber taşıyabilen bir haberleşme aracı olarak kullanılmasına yol açmaktadır. Yüzyılımızın hiçbir başarısı atom çekirdeğinden enerji alınması kadar dramatik sonuç taşımamıştır (Şekil 2. 2.) [Teknoloji, 2008].

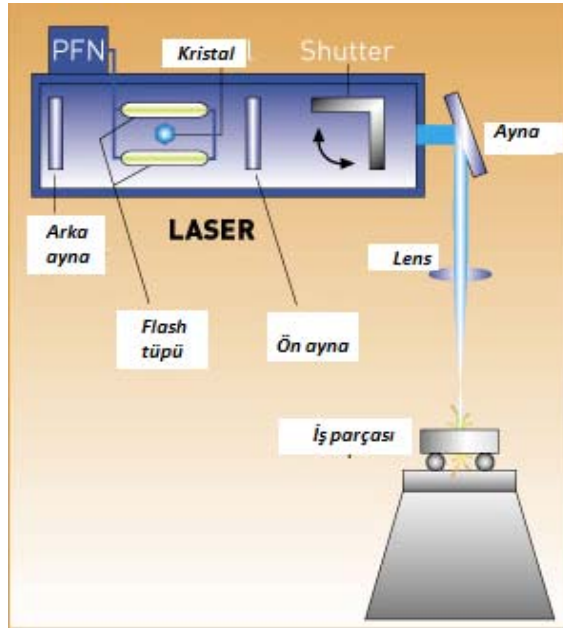


Şekil 2.2. Atom çekirdeğinin yapısı [www.biltek.tubitak.gov.tr atom.html, 2010].

Temel olarak yalnızca güçlendirilmiş bir ışık demeti olan lazerin en önemli özelliği ise insan hayatında oldukça farklı alanlarda verimli bir şekilde kullanılabilmesidir [www.ilmiarastirma.net, 2006].

2.2. Lazer Işığının Oluşmasında Ne Tür Gereksinimler Vardır?

Endüstriyel lazerlerin birçoğunda, lazer ışınının oluşabilmesi için özel gazların kullanılması gereklidir. Gazın kalitesi ve seçimi, lazerin güvenilirliğini ve işlemin verimliliğini doğrudan etkilemektedir. Lazer gazları genellikle, yüksek saflıkta özel gazlardır. Lazer gazları, makineye ayrı ayrı tüplerde ya da önceden belli oranlarda karıştırılmış tek tüpten verilmektedir. Bu ön karıştırma ya da gazların ayrı tüplerde verilmesindeki işlem parametreleri (gaz debisi, basınç saflığı vb.) her lazer makinesi üreticisi tarafından belirlenir ve o şartlarda makineye verilir.



Şekil 2.3. Lazer Kesim [http://www.latarum, 2009].

Karbondiyoksit lazer tezgâhlarında lazer, karbondiyoksit gazına elektrik akımı verilerek oluşturulur. Bunun yanında kullanılan azot ve helyum gazı düşük verimde olan karbondiyoksit lazerine eklenerek verim %30 artırılmaktadır. Lazer ışını tezgâhın rezonatör bölümünde cam tüpler içinde 10 m ye yakın bir mesafe ilerler. Bu

tüplerden gaz geçerken iki ucu arasından elektrik akımı verilerek lazer ışını oluşturulur. Lazerin bir ışın olması sebebiyle aynalar sayesinde yönleri değiştirilebilmektedir. En son olarak lazer ışını aynalar vasıtası ile kesme kafasına gelmekte burada kesme işlemi yapılmaktadır (Şekil 2. 3.) [www.cncteknik.net/lazer-teknolojisi, 2007].

2.3. Lazerin Çalışma Prensibi

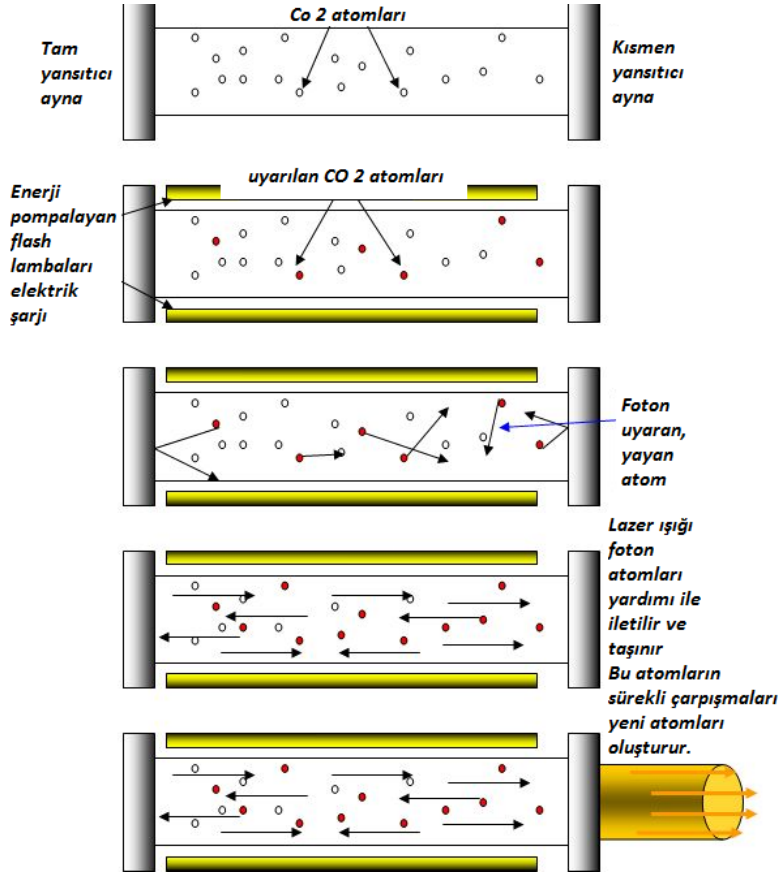
Optik bakımdan saydam, bir ucunda tam sırlı ve yansıtıcı, diğer ucunda yarı sırlı kısmen yansıtıcı iki ayna bulunan bir tüp alınır. Buna gaz, sıvı ve katı bir madde doldurulur. Dışarıdan ışık verme, elektrik akımı geçirmek suretiyle veya kimyasal bir yolla elde edilen enerji, ortamdaki atomlara ulaşır. Bunların bazıları bu enerjiyi emerler. Fazla enerji, atomları kararsız hale getirir. Kendisine bir foton çarpan, uyarılmış ve kararsız atom, fazla enerjiyi foton neşrederek verir. Fotonlar, benzer şekilde diğer fotonların neşrini sağlar. Uçlara ulaşan fotonlar, aynalardan yansiyarak geri dönerler ve olay devam eder.



Şekil 2.4. Basitleştirilmiş tipik bir lazer şeması [Kaçar, 2007]

Uyarma ve tahriklerde ortamdaki fotonlar artar. Atomların hemen hemen hepsi, foton yaymaya başlayınca kuvvetlenen ışık, yarı sırlı uçtan dışarı çıkar. Bu, lazer ışınıdır. Bir atom, alabileceği enerjiyle tamamen dolunca bünyesine daha fazla enerji alamaz. Böyle bir atom kendi enerjisine eşit enerjide bir ışık dalgasıyla çarpışınca, zorunlu olarak enerjisini ışık dalgası olarak verir ve çarpıştığı dalga ile aynı frekans ve seviyede iki ışık dalgası yayar. Çarpışmaların sayısını yükseltebilmek için, yani daha

çok ışık kazanabilmek için, lazerin karşılıklı iki kenarına paralel iki ayna yerleştirilir (şekil 2.4.- şekil 2.5.).



Şekil 2.5. lazer ışığının ilk oluşumu şematik

Bu aynalardan birine rastlantısal olarak dik bir açıyla çarpan ışık dalgası, karşıdaki aynaya yansıtılır ve ardından ışık sürekli iki ayna arasında gidip gelir, dışarıya çıkamaz. Işık parçacıkları, lazerin yapımında kullanılan malzemenin içinden geçerken, yolunun üzerinde enerji dolu diğer atomlarla karşılaşır ve onları da, depolamış oldukları enerjiyi ışık olarak açığa çıkarmaları için zorlarlar. Böylece "parlayan" (ışıldayan) atomların sayısı ve bununla birlikte ışığın miktarı sürekli artar. İki ayna arasında tutsak olduğu sürece giderek yoğunlaşan ışınla bir şey yapmaksa mümkün değildir. O nedenle, bu iki yansıtıcıdan biri yarı geçirgen özelliğe sahiptir. Işığın bir bölümü onun aracılığıyla dışarıya çıkar, işte buna lazer ışığı denir (Resim 2.3.). Elektromanyetik dalga paketçisi de denen foton, güneş ışığı füzyon

reaksiyonuyla meydana gelip, bu şekilde yayılan foton enerjisidir. Laser ışında foton yayılmasından ibarettir. Laserde foton üretimini anlayabilmek için atomların değişik seviyelerinde ne gibi hadiseler olduğunu bilmek gerekir [www.ilmiarastirma.net, 2009].



Resim 2.3. Lazer ışığı [www.Fizik Portalı 2008].

Bir atomun uyarılmış durumda bulunduğu kısa zaman aralığında üzerine belli bir dalga boyunda foton düşürülürse, atom aynı fazda foton yayar. Bu işlem peş peşe tekrarlanırsa, tamamen aynı fazda bir ışın demeti elde edilir. En düşük enerji seviyesinde bulunan bir atoma dışarıdan bir foton verilirse, atom enerjisi kazanarak E_1 enerji seviyesinden E_2 enerji seviyesine uyarılmış olur. Bu atom kendi halinde bırakılırsa, uyarılmış bulunduğu E_2 enerjisinden bir foton vererek tekrar E_1 enerji seviyesine döner. Uyarılarak enerji seviyesi E_1 'den E_2 'ye yükseltilen atom enerjisini geriye foton olarak yaymaya başlarken bir foton daha çarptırılırsa atomu birbiri ile aynı özellikte iki foton terk eder. Bu şekilde atom kat kat enerji seviyelerine çıkarılırsa bu seviyelerden düşerken de katlar halinde foton ürer. Lazerler, Einstein tarafından geliştirilen uyarılmış ışımaya prensibine dayanarak çalışır. Bu prensip; kendiliğinden ışımaya, soğurma ve uyarılmış ışımaya olmak üzere 3 temel esasa dayanır.

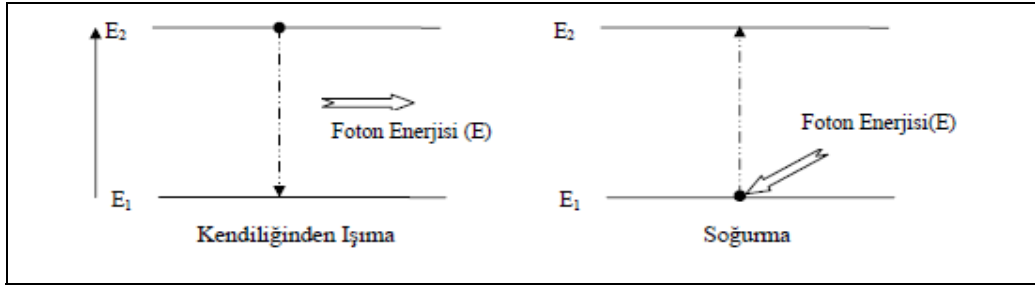
Buna göre;

E_1 = Düşük seviyeli atomun enerjisi

E_2 = Yüksek seviyeli atomun enerjisi

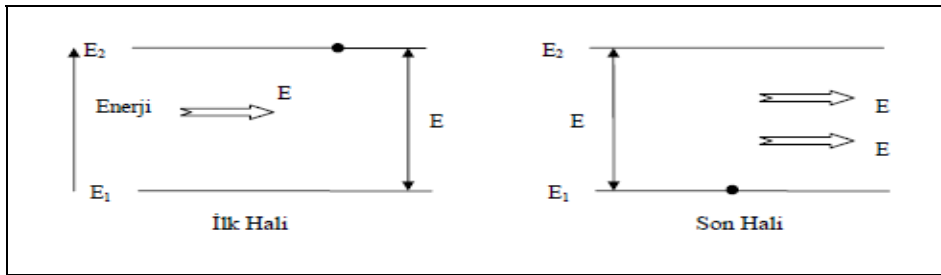
$E = E_2 - E_1$

E = Foton enerjisi



Şekil 2.6. Kendiliğinden ışıma ve soğurma [Mungan, 2006].

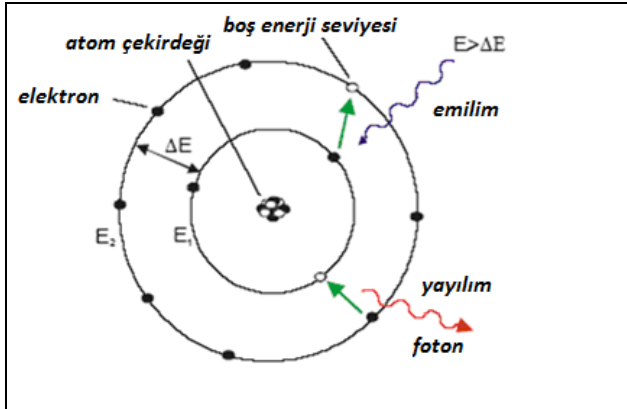
Şekil 2. 6. den de anlaşılabileceği gibi kendiliğinden ışıma olayı yüksek seviyede bulunan atomun, kendiliğinden foton yayarak düşük seviyeli atom haline geçmesidir. Soğurma olayı ise; düşük seviyedeki atomun foton soğurarak yüksek seviyeli atomun enerji seviyesine geçmesidir [Mungan, 2006].



Şekil 2.7. Uyarılmış ışıma [Mungan, 2006].

Şekil 2.7.'deki uyarılmış ışıma ise; yüksek seviyede bulunan atomun foton zorlanması ile düşük seviyeli atom seviyesine iner. Buradaki foton enerjisi iki seviye arasındaki enerji farkına eşittir. Bunun sonucu olarak atomdan iki foton uzaklaşır. İki fotonun hareketi eşzamanlı olduğundan ışık güçlenir [Beesley,1976].

Yörüngelerinde kararlı olarak bulunan elektronların, dışarıdan gelen bir enerji ile uyarılıp bir üst yörüngeye çıkarak tekrar eski kararlı konumuna dönmesi sırasında aldığı enerjiyi dışarı salma işlemi lazerin ana prensibini oluşturmaktadır. Atomların yörüngelerindeki elektronlar uygun enerjili fotonları emerek veya yayarak daha yüksek veya daha düşük enerjili yörüngelere atlayabilirler (Şekil 2. 8.) [Durmuş, 2006].

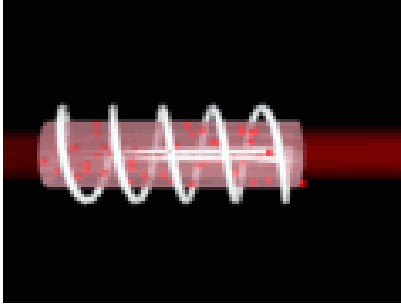


Sekil 2.8. Bohr Atom Modeli [Durmuş, 2006].

Bu işlem iki paralel ayna arasında aynı fazda olan fotonların toplanması şeklinde devam eder. Laser ışını dalgasının dalga boyu aynalar arasındaki mesafe ile uyumludur. Aynı frekansta yani, aynı dalga boyunda yapılan foton üretimine uyarılmış yayılma işlemi denir. Milyonlarca atom için bu işlem yapılırsa aynı yöne doğru milyonlarca foton paralel ışınlar halinde bir noktadan yayılır. Bu ışınlar aynı fazda, aynı frekansta, aynı yönde olduklarından adeta birbirine yan yana yapışıktır. Paralel aynalar arasında şiddeti bu şekilde çığ gibi artan ışınlar, ışık frekansına eş bir frekansta, darbeler halinde oldukça parlak ışık huzmesi olarak yayılır. Laser ışınındaki enerjisinin büyümesinin esası işte bu milyonlarca küçük enerji kaynaklarının çok dar bir hüzme halinde aynı yönde ham yanyana hem de ard arda birleşmesi neticesidir. Laserin çalışması için enerji seviyesi düşen atomlarda daha fazla sayıdaki atomların uyarılacak enerji seviyelerine yükseltilmesi gerekir. Bu durum ise normal olarak atomların enerji seviyesi dağılımının tersidir. Bu sebepten laserin çalışması için gerekli durum tersine çevrilmiş dağılım olarak isimlendirilir. Tersine çevrilmiş dağılımı ortaya çıkarmak için pompalama işlemi kullanılır [www.ilmiarastirma.net, 2009] (Resim 2. 4).

Optik (elektriksel) pompalama

Optik pompalama, yüksek frekanslı yoğun ışınların neşriyle yapılabilir. Yarı iletkenli laserlerde pompalama elektrik akımı yardımı ile gerçekleştirilir ve işlem elektriksel pompalama olarak isimlendirilir.



Resim 2.4. Pompalama işlemi ile lazer ışığı oluşması [Alsaran, 2008].

Çarpışma pompalaması

Gaz laserlerinde ise pompalama işlemi elektron-atom veya atom-atom çarpıştırılmasıyla ortaya çıkarılır ve çarpışma pompalaması olarak bilinir.

Kimyasal pompalama

Kimyasal pompalama işleminde ise kimyasal laserlerde kimyasal reaksiyonlarla atom ve moleküller uyarılır.

Gaz genişleme pompalaması

Gaz-dinamik laserlerde de pompalama ses hızı üstü gaz genişlemesi yoluyla gerçekleştirilir ve gaz genişleme pompalaması olarak isimlendirilir. Laserin önemi uygulamasının yaygın olmasında ve onun daha da genişlemesinin beklenmesinde yatmaktadır.

Özellikle uygulamanın genişliği, ışınların frekansların hassas bir şekilde kontrolünden, yayılan ışının yayılma düzeninden veya ışınların olağanüstü yoğunluğundan kaynaklanmaktadır. Laser dolayısıyla, holografide, opektraskopide çok önemli gelişmeler ortaya çıkmıştır. Bunlar yoluyla laser diğer bilimsel ve teknolojik alanlarda da etkisini göstermektedir [www.ilmiarastirma.net, 2009].

2.4. Lazer Makinaları ve Çeşitleri

Lazer makinaları yoğun ışık demeti kullanılarak erime, yakma ve buharlaştırma yöntemleri ile kesim yaptıklarından hemen hemen her türlü malzeme üzerinde kullanılarak hassas kesimler yapmak mümkündür. Lazer ışığının yoğunluğu kolaylıkla değiştirilerek sert seramik ve yumuşak kauçuk malzemelerin kesimi, ayarların basit bir şekilde değiştirilebildiği için, kolaylıkla yapılabilir. Kesim esnasında ısıdan etkilenen bölgenin çok az olması en büyük avantajlarından, bu nedenle malzemelerde hemen hemen hiç bozulma olmamaktadır.

Endüstriyel lazerler, günde 24 saat, haftada 7 gün çalıştırmak için geliştirilmiştir, lazer makinaları en az bakım ve neredeyse sıfır kesinti ile çalışmaktadır. Lazer makinelerinde artık bir grafik kullanıcı arayüzü, aynı zamanda yüksek hızlı tetikleme ve eşleme olayların etkinleştirme sağlayan hızlı makine arayüzü. İletişim arayüzleri USB ve Ethernet bağlantı soketleri mevcuttur [www.Laserage.com, 2009].

Lazerler, yarı-iletken lazerler, gaz lazerler, katı lazerler, sıvı lazerler olmak üzere dört gruba ayrılabilirler [Kaçar, 2007]

Düşük güçlü CO₂ lazerler düz levha kesimlerinde kullanılırken, Nd: YAG lazerler veya diyot lazerler üç boyutlu kesim için kullanılırlar [Ion, 2005].

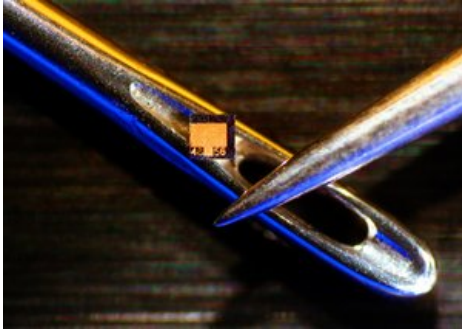
Yarı-iletken lazer

Bir enjeksiyon lazer diyodudur. Çıkan ışığın miktarını kontrol etmek için, uyarma mekanizması olarak diyottan DC akım geçirilir [Kaçar, 2007]

Yarı-iletken Diyot Lazeri

Yarı iletken lazerlerdir ve p-n ekleminden (p-n junction) elektrik akımı geçirilmesi ile elde edilen bir aktif ortama sahiptir. Yarı-iletken diyotlar önemli elektronik parçalardır (Resim 2.5.). Yaklaşık 0,5 W gücündeki yarı iletken diyotlar,

Telekomünikasyonda kolay monte edilebilir olması ve fiber optik iletişim ile kolaylıkla etkileşebilen ışık kaynakları olduğundan dolayı tercih edilirler. Rangefinder gibi ölçü aletlerinde, Barkot okuyucularda kullanılır [http://www.latarum, 2009].



Resim 2.5. Yarı iletken diyot [Kaçar, 2007]

Kızılaltı diyotlar

Görülebilir lazerler özellikle kırmızı ve yeşil lazer pointer olarak kullanılır. CD çalıcı, CD-ROMS ve DVD teknolojilerinde kızıl-altı ve kırmızı lazer diyotlar kullanılır (Resim 2. 6).



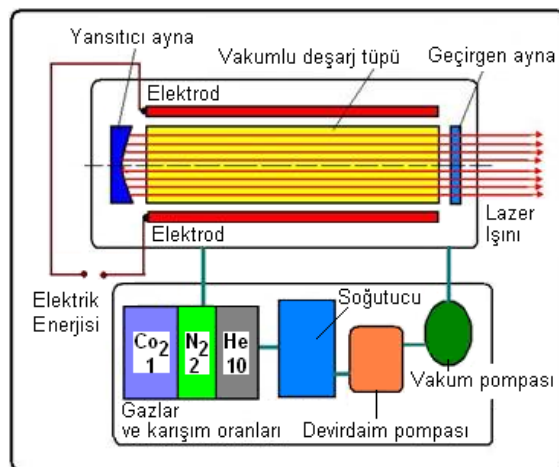
Resim 2 6. Kızılaltı diyotlar [Kaçar, 2007]

Mavi lazerler, HD-DVD ve Blu-Işın teknolojilerinde kullanılır. Yüksek güçlü lazer diyotlar (yaklaşık 100 W ile 2 kW arasında), ısıtma, kaplama, dikiş kaynak gibi endüstriyel uygulamalarda geniş olarak kullanılır. Yüksek hız ve düşük maliyet nedeniyle tercih edilirler [Kaçar, 2007]

Gaz Lazerleri

Gaz lazerler ise aktif ortam olarak Helyum veya Neon gazını kullanır ve uyarma için gaza bir akım deşarjı prensibine göre çalışırlar. Gaz lazer çeşitleri başlıca şunlardır, ancak içlerinde en çok kullanılanları CO₂ lazerdir (Şekil 2.7). Mevcut lazer çeşitlerinin en güçlüsü olarak bilinen karbondioksit lazer aynı zamanda nitrojen lazeri olarak da bilinmektedir. Bu lazerin çalışma prensibi He-Ne lazerinkine oldukça benzemektedir. Burada karbondioksit molekülleri lazer ışınının oluşmasını sağlarken nitrojen de karbondioksitin tersine birikmesini sağlamaktadır. Yani helyum atomlarının görevi karbondioksit atomlarının göreviyle, neon atomlarının görevi de nitrojen atomlarının göreviyle eşleşmektedir. Bu tip lazerlerde 10 Kw değerinde enerjiler sürekli olarak sağlanabilmektedir. Buna rağmen çok kısa şoklarda bile bu değerin kat kat üstünde değerlerle enerji üretilebilmektedir. Bu lazerlerin en büyük tehlikelerinden biri görünmez oluşudur. Bu lazer türünün ışınlarının elektromanyetik spektrumunun kızılötesi bölgesinde yer aldığından dolayı bunlar ısı ışınları diye de adlandırılır.

Kullanım alanları; En çok otomotiv sanayinde, makine imalat sanayinde elektrik ve elektronik sanayinde, tıbbi ve gıda sektöründe kullanılan malzemelerin birleştirilmesinde v.b gibi alanlarda kullanılmaktadır [Alsaran, 2008].



Şekil 2.9. Co₂ Lazer makinasının şematik görünümü [Özden, 2009].



Resim 2.7. CO2 Lazer İşleme Merkezi çıktı gücü 6000W [Olsen ve Veli, 2006].

Atom Lazerleri

Atom lazer çeşitleri; Helyum-Neon Lazeri (632.8nm) (0,5-100mW) güce sahip lazerlerdir.

Molekül Lazerleri

Molekül lazer çeşitleri; CO2 Lazeri (10,6 μ m) (1–10000 W), Nitrojen Lazeri (337nm) (250 kW-1MW) Uzak kızıl-altı Lazeri (99–373 μ m) (1kW ve 100mW) Excimer Lazeri (KrF, XeF, ArF) İyon Lazerleri: Argon İyon Lazeri (488nm) (50mW-50W), Kripton İyon Lazeri

Metal Buharı Lazerleri:

Altın Buharı Lazeri ve Bakır Buharı Lazeri (510.5nm) (1MW) güce sahip lazerlerdir.

Neodim Lazeri

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

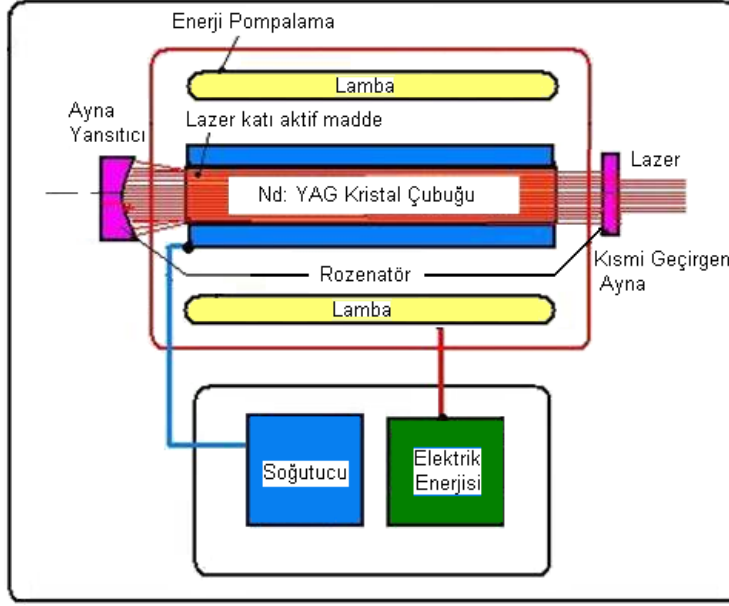
Katı-hal Lazerleri

Katı lazer genellikle az katkılanmış kromlu bir yakut alüminyum oksid çubuğudur. Çubuğun uçları mükemmel paraleldir ve altın gibi yansıtıcı bir malzeme ile kaplanmıştır [<http://www.latarum>, 2009].

Yakut Lazeri

Nd-YAG Lazer; Nd- YAG lazer; Neodyum katkılı Yitrium-Aluminyum-Garnet ortama sahip bir katı hal lazeridir. Flaş lambası veya diyotlar ile uyarılır. Lazer ışığının dalga boyu 1.06µm (kızılaltı bölge) ve oluşan demet optik fiber kullanılarak istenilen noktaya taşınır [Kaçar, 2007]

- Dc ark lambaları ile uyarılan Nd-YAG lazerler, 5kW'a kadar güce sahip sürekli dalga boylu lazer ışığı üretebilir
- Flaş lambaları ile uyarılan atımlı Nd-YAG lazerleri, ortalama gücü yaklaşık 600 W olan ve atım süresi 1ms ile 50 ms arasında değişen lazer atımları üretebilir.
- Metal yüzeyler tarafından soğurulması CO₂ lazerden daha iyi olduğu için Nd: YAG lazerlerin kullanılması daha uygundur.
- Nd- YAG lazerin ışıması optik fiber yoluyla çalışılacak parça üzerine taşınabilir. Bu kullanmayı kolaylaştırır ve demet anahtarlama, bölüştürülmesi ve şekillendirilmesi için olasılıkları oluşturur. Sanayide metalleri özellikle de yansıtıcı metalleri kesme, delme işlemlerinde tercih edilir. Seramik gibi metal olmayan materyalleri işlemede de kullanılır.
- Nd- YAG lazerler küçük parçaların veya ince malzemelerin kaynak işlemlerinde kullanım avantajına sahiptir (Şekil 2. 9.).



Şekil 2.10. Nd: YAG Lazer makinasının şematik görünümü [ÖZDEN, 2009].

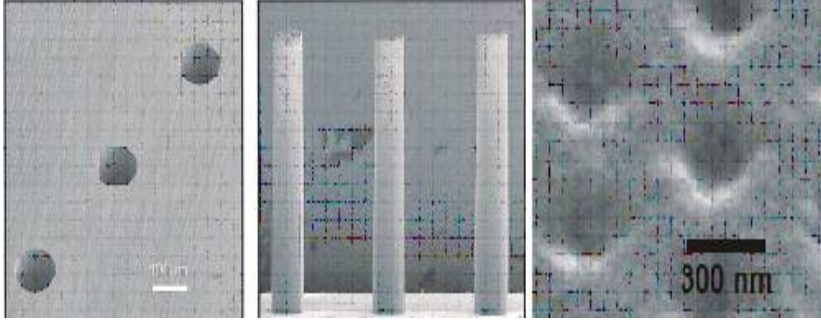
Ti-Safir Titanyum safir (Ti-Saphire) Lazeri

Femtosaniye (10^{-15}) atım süresine sahip lazerlerdir. Femtosaniye lazerlerin malzeme işlemede kullanılması ile üretimi yapılan Malzemelerin boyutları nanometre (nm) mertebelerine kadar indirilmiştir. Fotolitografi tekniği kullanılarak sadece düzlemsel yüzeyler işlenebilirken femtosaniye lazerler kullanılarak 100 nm mertebelerinde 3 boyutlu metal ve dielektrik malzemeler işlenebilmektedir. 100 fs süreli bir atım insan saçının küçük bir bölümünü kat ederken, ışık bir saniyede dünyanın çevresini 7,5 kez dolaşır [Kaçar, 2007].

Femtosaniye lazer atımları ile malzeme işlemenin temel avantajları

- Verim, hızlı ve yerel enerji aktarımı
- İyi tanımlanmış deformasyon ve aşındırma.
- Minimum ısısal ve mekanik zarar

Femtosaniye lazerler ile femtosaniye mertebelerinde gerçekleşen olayları incelemek mümkün olmuş bu durum ultrahızlı kimya, biyoloji ve fizik dallarının doğmasına olanak sağlamıştır

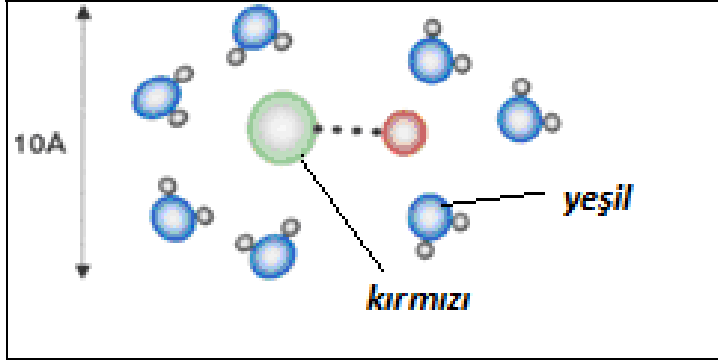


Resim 2.8. Femtosaniye lazer ile işlenmiş nano yapılar [Kaçar, 2007].

Yukarıdaki şekilde femtosaniye atımlar kullanılarak işlenmiş safir kristalindeki periyodik nano yapılar görülmektedir. Her delik için 10 tane atım kullanılmış ve tüm yapının işlenmesi 30 saniye sürmüştür (Resim 2. 10). [Kaçar, 2007].

Kocaeli Üniversitesi (KOÜ) Lazer Teknolojileri Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde bilim adamları, metal yüzeylere femtosaniye lazerle işleyerek süper hidrofobik (su tutmaz) özellik kazandırmayı başardı. [<http://www.latarum>, 2009].

Yeşil ve kırmızı moleküller arasındaki kimyasal bağlar koptuğunda molekül parçaları yaklaşık 1 km/s hızla birbirlerinden uzaklaşırlar. Femtosaniye lazer kullanılarak bu hareketi görüntüleyebilir moleküllerin nasıl ve ne sıklıkta komşu moleküllerle çarpıştığını ve hareketin detayları hakkında bilgi edinebiliriz (Şekil.2.11) [Kaçar, 2007].



Şekil 2.11. Moleküller parçalarının femtosaniye lazer ile hareketi [Kaçar, 2007]

Dalga boyu aralığı, güvenilirlik, yoğunluk, verim ve benzersiz performans parametreleri nedeniyle lazer teknolojilerinde geniş bir alanda uygulanabilir ve kullanılabilir olmaya adaydır. Yeni üretilen fiber lazerlerinin gücü 20W'a kadar ulaşmıştır. Lazer başlığının, deflector (saptırma) biriminin ve tedarik biriminin boyutlarının küçüklüğü, küçük makinelerin uyumunu ve çizgilerin üretimini kolaylaştırır. Markalama kalitesi ve pek çok sayıdaki uygulama için daha kısa süre sağlayan, yüksek seviyede frekans kararlılığı ve mükemmel ışın kalitesine sahiptir. Tüm malzemelerin markalanmasında kullanılabilir. 100.000 saat diyot ömrü Az yer kaplar. Yüksek verim (CO₂–10%, Nd-YAG–2%, Fiber25%) [www.metaldunyasi., 2010].

Sıvı Lazerler (Boya lazerleri)

Sıvı lazerler ise aktif ortam olarak metanolde, rodamin 6G gibi organik boya kullanır. Bu madde kapalı bir gaz tüpüne pompalanır ve yüksek şiddetli ışık darbelerine maruz bırakıldığında parıldayacaktır [http://www.latarum, 2009].

Sıvı lazerleri, ayarlanabilen prizması nedeniyle özellikle kimyasal analiz işlemleri için uygundur. Ayarlanabilen prizma aracılığıyla, ayarlanan prizma açısına göre değişik renk ve dalga boyları elde edilir [Gürbüz, 2001].

X-Işını Lazerler

Bu lazerler (40-400Å) güce sahip lazerlerdir. Serbest Elektron Lazerleri (248nm-8mm) (1GW ve 10 W). güce sahiptirler.

Disk Lazeri

Resim 2. 12. de gösterilen HLD 4002 modelindeki Trumpf disk lazeri, Bu sistem, işlenilen parça üzerinde maksimum 4kW lazer gücü üretimiyle 8 mm.rad'lık ışın kalitesine sahiptir ve ışını dağıtmak için 200µm'luk çekirdek çapı olan bir fiberden yararlanmaktadır.

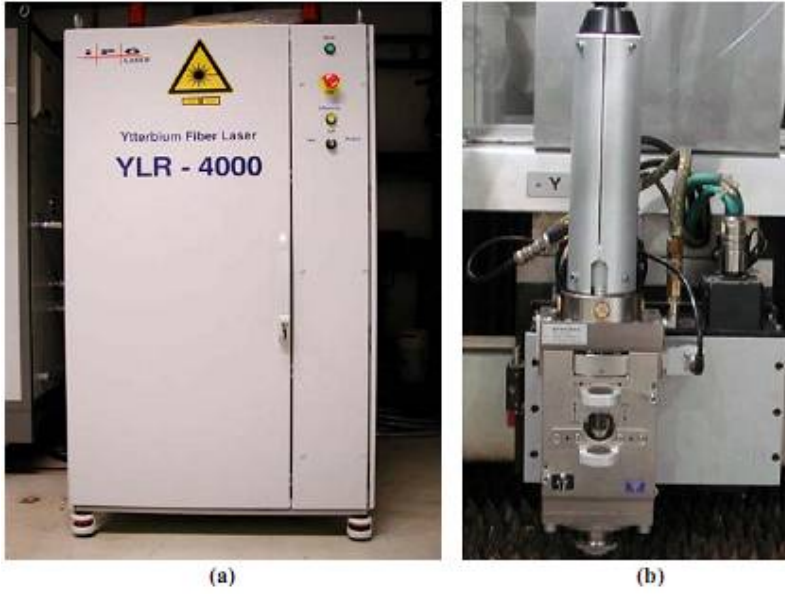


Resim 2.9. Trumpf disk laser HLD 4002 [Olsen veVeli, 2006].

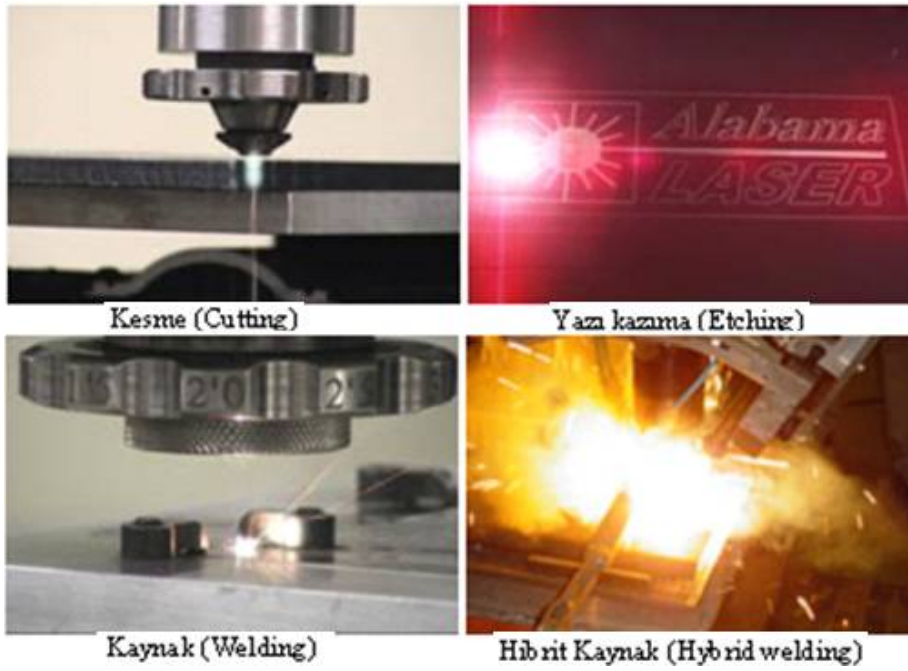
Fiber Lazerler

Fiber Lazerler, halen yoğun bir şekilde kullanılmakta olan CO₂ ve Nd-YAG malzeme işleme lazerlerine etkin bir alternatif oluşturmaktadır (Resim 2. 13).

Resim.2.10'da gösterilen lazer kaynağı YLR4000W (IPG Lazer GmbH, Burbach), 4000W ıktılı maksimum lazer gücüne ve 2.5 mm.rad'lık ışın kalitesine sahip bir fiber lazerdir. 50 µm'luk fiber çaplı hafif iletken bir kablo lazer ışının kesme optiklerine taşınmasını sağlar. [Olsen veVeli, 2006].



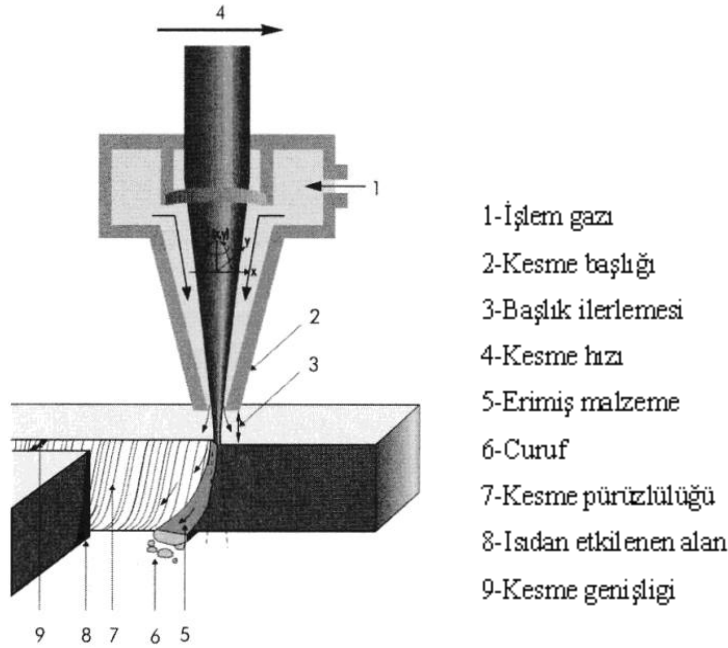
Resim 2.10. (a) Fiber lazer 4000W (b) 1,5" HP kesme başlığı[Olsen veVeli, 2006].



Resim 2.11. Fiber Lazerlerin tercih edildiği malzeme işleme yöntemleri [Kaçar 2007]

3. LAZER KESME İŞLEMİNDE KARAKTERİSTİK YAPI

Lazerle kesim işleminde yapılan kesme işleminin kalitesi; lazer etkisi ile kaldırılan malzemeden sonra kalan yüzeylerdeki parametrelerle yani lazerle kesmenin karakteristik özellikleri ile belirlenmektedir. Bu parametreler; çentik genişliği, kesim kenarlarının yüzey pürüzlülüğü, tolerans kontrolü, düzlemsellik, diklik kesme işlemi esnasında oluşan cüruf miktarı, ısı tesiri altında kalarak etkilenen bölgenin büyüklüğü vb. gibi özelliklerin ölçülmesiyle belirlenebilir. (Şekil; 3,1.) Farklı yöntemlerle elde edilen kesik yüzeyleri karşılaştırılırken bu parametreler mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Gelişen teknoloji ile birlikte geleneksel kesme yöntemlerinin yetersizlikleri (kesme kalitesi, kesme hassasiyeti, işlemin tekrar edilebilirliği, zaman vb.) bilinmektedir. Bu yüzden en hızlı, en kaliteli ve en düşük yüzey deformasyonunu en az maliyetle elde edebilmek için sürekli yeni yöntemler araştırılmaktadır [Akkurt, 2002].



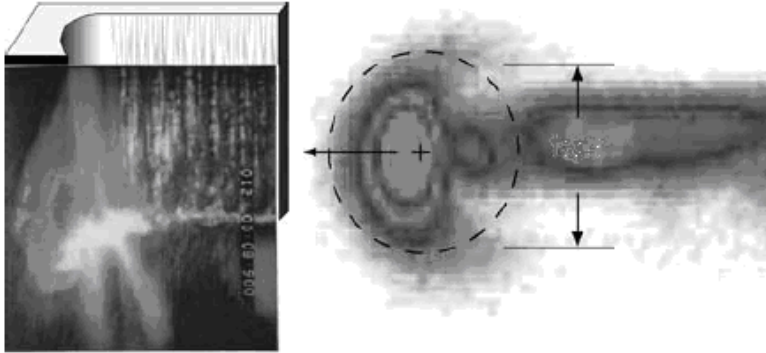
Şekil 3.1. Lazer kesme işleminde karakteristik özellikler [Olsen ve Veli, 2006].

Bu işlem parametreleri, lazer kesim kalitesinin anlaşılmasının yanı sıra uygulamanın da doğru bir şekilde yapılıp yapılmadığını belirlemekte yardımcı olan faktörlerdir. Saydığımız bu parametrelerin ve lazerle kesme işleminin doğru bir şekilde

uygulanmasını sağlayan diğer faktörler ise; kesme işlemi esnasında kullanılan yardımcı gazlar, kesme başlığının doğru seçimi, yanal kesme hız ayarlarının doğru bir şekilde uygulanmasıdır. Sayılan parametrelerin seçimi; kesme işlemi yapılacak materyalin cinsi, malzemenin kimyasal yapı özellikleri, malzeme lazerle kesim yapılacak kesitin kalınlığı ve en önemlisi, kesme işleminin gerçekleştirileceği makinanın kapasitesi dikkate alınarak yapılmalı.

3.1. Kesme Başlığı - Kesme İlerlemesi - Yardımcı Gazlar

Lazer ışını kesim yapılacak parça üzerine bir lens tarafından çizim yapılacak şekilde, kesilecek malzemenin yatay eksenine dik gelecek şekilde odaklanmıştır. Lazer başlığındaki odak merceği ile kesim yapılacak parça arasında bulunan kesme başlığından yardımcı gaz verilir. Kesme başlığının memesinden parça yüzeyine lazer ışığı yardımcı gaz ile koaksiyel olarak çıkar ve malzemeye odaklanan çizgisel bölgedeki kısmı eritip akıtarak kesme işlemi gerçekleşir. (Şekil:3. 2.)

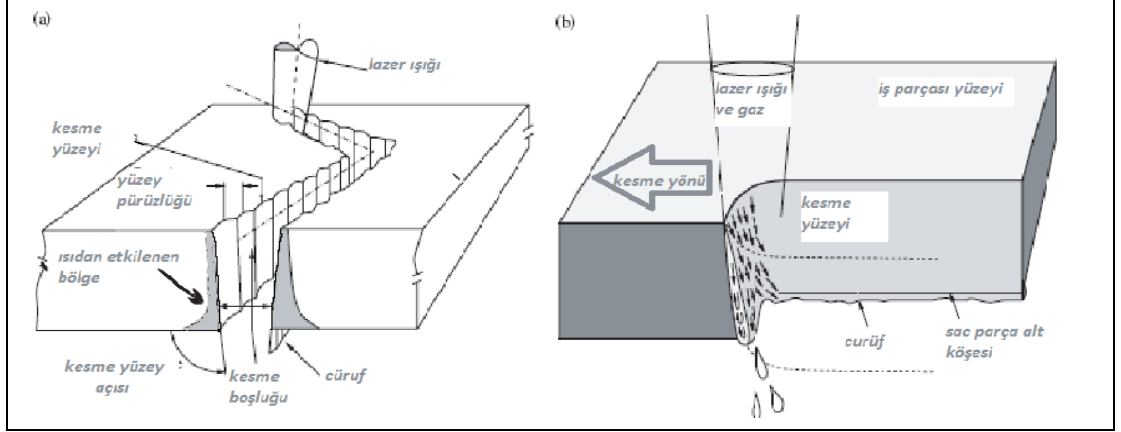


Resim 3.1. Lazer kesimi ve kesim boşluğunun video ve termal kamera altında görüntülenmesi [Schulz, W. ve ark., 1999].

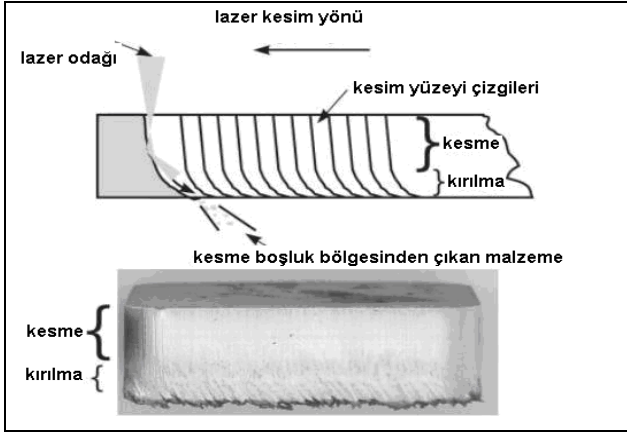
Bu sürecin önemli özellikleri şunlardır:

Kesim esnasında kesilen malzeme ergiyik haldedir, bu ergime işlemi lazer ile kesim demektir. Erimiş malzemenin boşluktan (kerf) atılması ise yardımcı gaz marifeti ile yapılır. Lazer ışığı kesme esnasında sadece ısı kaynağı görevi yapar. Kesim sırasında işlem ayarları genellikle lazer ışığı ile ilgilidir.

Malzeme kalınlığı arttıkça lazer kırı (lazer ışığının malzeme üzerine diklik açısı) polarizasyonu kırılma bölgesinde duyarlılığını kaybederek hafif eğimli olacaktır.



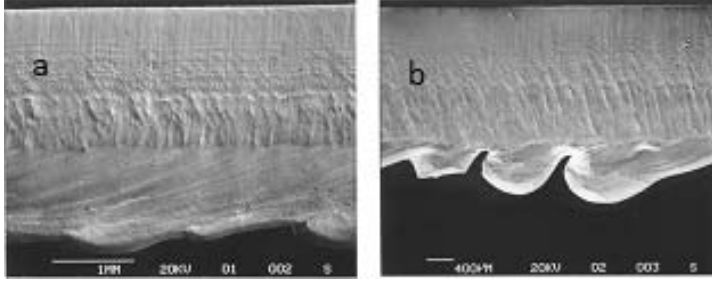
Şekil 3.2. Lazer kesim işleminde kesme yüzeylerindeki yapıların şematik olarak belirtirilmesi, [Kar ve Migliore, 1991].



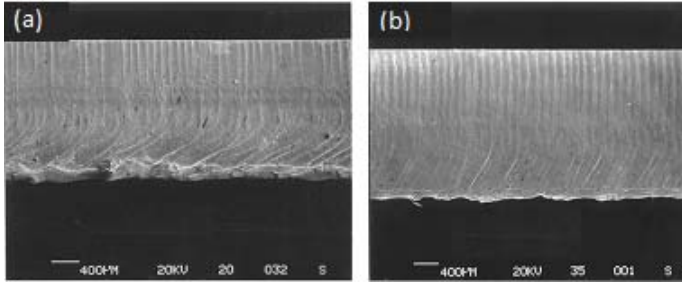
Şekil 3.3. Kesme yüzey kesit oluşumları karakterizasyonu şematik ve fotoğrafı

3.2. Lazerle Kesme İşleminde Cüruf - Yüzey Pürüzlülüğü

Lazer kesim yüzeylerinde cüruf ve yüzey pürüzlülüğünün kalitesi, malzeme yapısıyla ve kesim işlemi esnasında seçilen parametrelerin değişkenliği ile doğru orantılıdır. (Resim 3.3.-Resim 3.4.). Bu parametrelerdeki değişkenlerden kısaca bahsedeceğiz.



Resim 3.2. Farklı tutuculuk özelliklerine sahip malzemelerde oluşan cüruf yapısı
Kesme parametre değerleri; $P_e = 363$ kPa (lazer gücü: 800 W; kesme hızı: 35 mm/s; malzeme kalınlığı: 1.6 mm; yardımcı gaz-incomplete cuts for $H = 2.0$ and 2.5 mm) [K. Chen ve ark., 1998].



Resim 3.3. Farklı gaz basınçları ile kesme yapılmış yüzeylerde pürüzlülük
(a) $P_e = 162$ kPa (b) $P_e = 283$ kPa¹
Kesme parametre değerleri; (laser power: 200 W; kesme hızı: 40 mm/s; malzeme kalınlığı: 1.6 mm; yardımcı oksijen; incomplete cuts at $P_e = 323$ kPa, $P_e = 363$ kPa) [K. Chen ve ark., 1998].

3.3. Süprüntü Yüksekliğini Etkileyen Parametreler

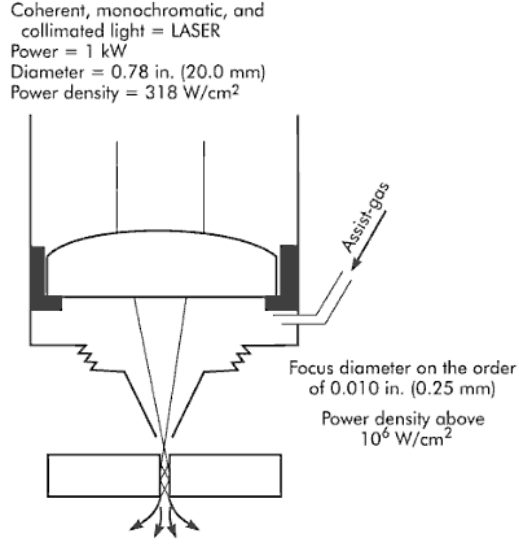
3.3.1. Lazer gücü

Lazer gücünü artırmak, erimiş malzemenin akıcılığını artırmak suretiyle, kesme boşluk bölgesinden dışarı atılmasını kolaylaştırır

3.3.2. Odak konumu

Odak konum değişkenliği kesme yüzeyine yakınlığı ve uzaklığı cüruf yüksekliğini etkilemektedir. Ayarın uygun olarak yapılması cüruf yüksekliğini azaltmaktadır.

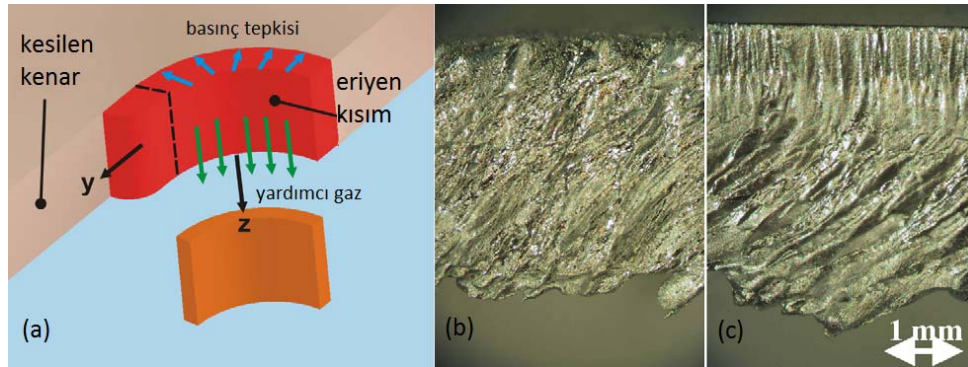
¹ lazer gaz basınç gücü



Şekil 3.4. Lazer nozulu malzeme üzerinde odaklanması şematik

3.3.3. Yardımcı gaz basıncı

Yardımcı gaz basıncının artması yüzey pürüzlülüğünü azaltmaktadır Yardımcı gaz basıncının verimli olması cüruf yüksekliğini azaltmasına karşın, gaz basıncı makine gücü ile alakalıdır. 2500W civarında makinelerde neredeyse cüruf bırakmaksızın kesim yapılabilir. Yardımcı gaz basıncı ise 8 bar, üzerinde olmalıdır. Çapı 2,5 mm olan nozul için gaz basıncı 1,5/2 bar, aşağısında olmamalıdır. Nozul çapı ve gaz basıncı, süprüntünün atılmasında ve pürüzlülükte etkili olabilmesi için birbirleri ile parametrelerinin uyumlu olması gerekmektedir (Resim; 3.5.).



Şekil 3.5. Lazer kesilmiş yüzeylerin yan ve kesit görünüşleri, yüzey pürüzlülüğü ve cüruf oluşumu mm (x; kerf, A; bozuk yüzey ve cüruf) [Yılbas, 1997].

3.3.4. Nozul çapı

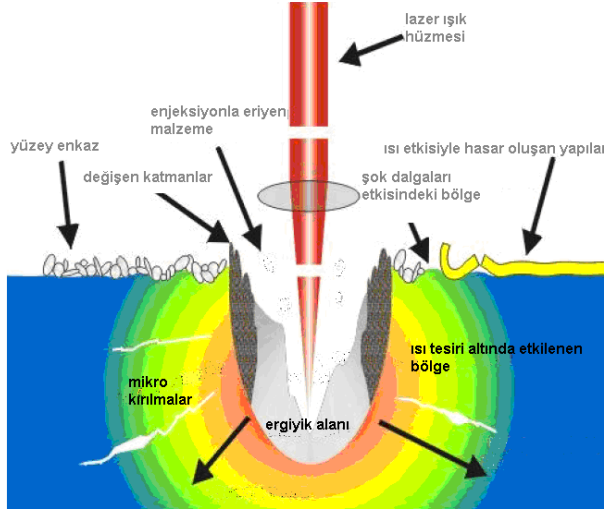
Çapı minimum 2-2,5 mm olan nozullarda süprüntü temiz kesim yapılabilmekte, fakat yardımcı gaz, parça ile meme arasındaki mesafe, odak mesafesi gibi parametrelerin değişmesiyle, cüruf miktarında değişimler olmaktadır. Yüzey pürüzlülüğünü en etkileyen parametre ise yardımcı gaz ile ilgili olan parametre ayarlarıdır.

3.3.5. Stand-off mesafe

İş parçası kesme yüzeyi ile nozul arasındaki mesafe 1,5 mm civarında olmalıdır. Bu parametre ayarının artması ile birlikte pürüzlülük miktarı, aerodinamik etkileşimle artacaktır. Yapılan deneylerde kesme yapılan parçalar üzerinde mikroyapı incelemesi sonucunda, bu değişim açıkça görülmektedir. Lazer kesim sırasında, eriyen malzemeler, tam olarak atılamadığında iş parçası yüzeyine soğuma ile birlikte yeni yüzeyler oluşturarak pürüzlülüğü artırıcı olumsuzluklar meydana gelmesine neden olacaktır.

3.3.6. Isı tesiri altında kalan bölge

Isı tesiri altında kalan bölge ise malzemenin mekanik özelliklerini azaltan bir yan etki görevi yapar. Isı tesirindeki bölgenin özelliklerini ayarlamak için seçilen parametrelerin uygun olarak seçilmesi çok önemlidir. (Şekil 3,6)



Şekil 3.6. Lazer kesim işlemi sırasında ısı tesiri altındaki bölge [Uslan ve ark., 2005].

En iyi çalışma koşullarının seçilmesi kesim kalitesini en iyi seviyelere yükseltmek için gereklidir. Bazı materyallerde deneme yanılma yöntemleri ile en iyi çalışma koşullarına ulaşılabilmektedir.

Lazer kesme işlemi metal malzemenin ergitilmesi ile gerçekleşmektedir. Kesilen bölgenin malzemedan çıkartıp atılması malzemede ergime işlemi oluştuktan sonra meydana gelmektedir. Karbon seviyesi %0,3 ün üzerinde ki çelik malzemelerde; 900 °C den fazla ısıtılıp hızlı soğuma yapılırsa, malzeme östenitik yapıdan martenzitik yapıya dönüşür, yani malzemede sert bir yapı oluşur. Bu özellikteki malzemelerin ergime işlemleri ise 1540°C ye yakın olmaktadır. Sertleşen çelik malzemelerde kesme işleminden sonra kesme kenarlarındaki form yapıları düzgün olsa bile, aşırı gerilmelerden dolayı çatlamlar olabilir, [Kar ve Migliore, 1991].

3.4. Kesme Genişliği

Kesme genişliği; lazer ışınının parça üzerinde ısıtma suretiyle erittiği bölgenin, yardımcı gaz basıncı vasıtasıyla, basınç uygulayarak parça üzerinden dışarı atıldıktan sonra, kesim yapılan materyal üzerinde kalan boşluktaki iki yüzey arasındaki genişlik mesafesidir. Çizelge 3.1 bazı materyallerin kesme hızı ve makine gücüne göre oluşan kesme genişliklerin verilmiştir. Bu çizelgeden anlaşılacağı gibi malzeme üzerinde

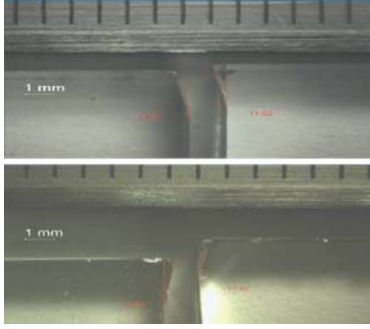
kalan kesme boşluğu, hız ve güç ile alakalıdır. Hız ve gücün yanında yardımcı gaz basıncı, nozul mesafesi, odak noktasında kesme boşluğuna etkileri vardır.

Çizelge 3.1. Kesme hızı ve makine gücüne göre kesme genişlikleri [Akkurt, 2002].

Malzeme	Kalınlık (inch)	İlerleme (inch/dak)	Güç (kW)
Alüminyum	0.005	32	3.0
Alüminyum	0.250	78	3.0
Alüminyum	0.125	40	1.0
Alüminyum	0.050	50	2.0
Paslanmaz Çelik	0.063	75	0.5
Paslanmaz Çelik	0.375	85	3.0
Paslanmaz Çelik	0.250	100	2.0
301 Paslanmaz Çelik	0.125	630	1.0
410 Paslanmaz Çelik	0.025	60	0.5
Hastalloy	0.250	360	1.2
Titanium	0.060	20	1.0
Titanium	0.140	120	23.0
Nikel Alaşımı	0.250	125	0.5
Invar	0.125	162	4.0
Zinc	0.030	160	2.0
Rene 41	0.020	330	1.0
17 - 4 Ph	0.060	100	0.6
Inconel	0.180	45	2.0
Inconel	0.016	530	1.0
Yardımcı gaz argon			

Lazer, plazma arkı ve oksiasetilen kesim yöntemlerinden her birinde kesme işlemini gerçekleştirmek, malzemeyi eritmek ve boşluktan çıkarma işlemleri için ısı kullanılmaktadır. Her üç işlemde çentik genişliği ve ısı tesiri altında etkilenmiş bölgeler mevcuttur. Bu saydığımız nitelikler içerisinde en avantajlı olanı ise lazer kesim işlemi sunmaktadır (Şekil 3.7.).

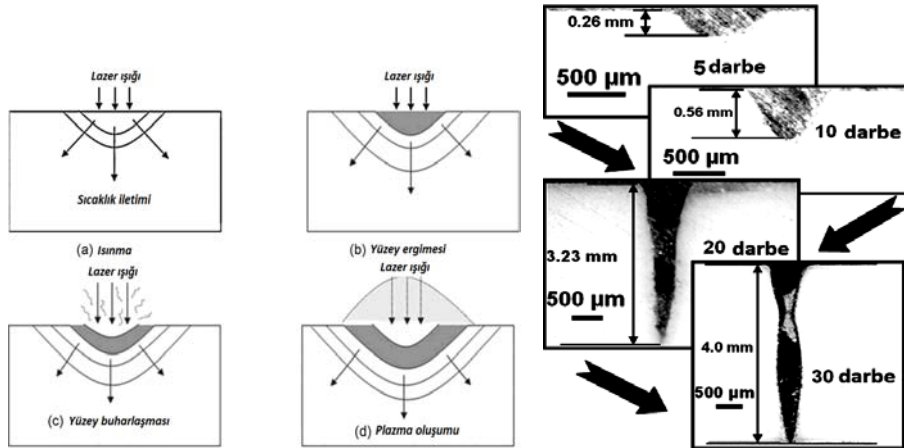
geniş bir kesğin oluşturulabilmesi için daha geniş odak derinliğine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durumda daha uzun bir odak uzaklığının kullanılması daha geniş bir kesğin ve daha geniş bir odak derinliğinin oluşmasını sağlar. Daha geniş bir kesik elde edebilmek için odak konumu da uygun bir biçimde ayarlanabilir. (Resim 3.6.) [O.Olsen, 2006].



Resim 3.4. Kesme başlangıcında yapılan odaklama hatalarının kesme boşluğunda görüntüsü [Salman N. ve ark., 2008]

3.6. Lazer ile Kesme İşlemi Oluşumu

Lazer kesme işleminde kesme aşamaları şematik olarak şekil 3.9.da gösterilmiştir,



Şekil 3.9. Lazer ışını ve malzeme etkileşimi [Samant, 2008].

(a); lazer ışığı malzeme üzerine ilk teması, malzemede ön ısınma meydana gelmektedir. (b); Malzeme ısınması kütük içine doğru yayılma gösterir ve malzemenin üst kısımlarında ergimeler oluşur. (c); Ergiyen kısımlar, malzeme

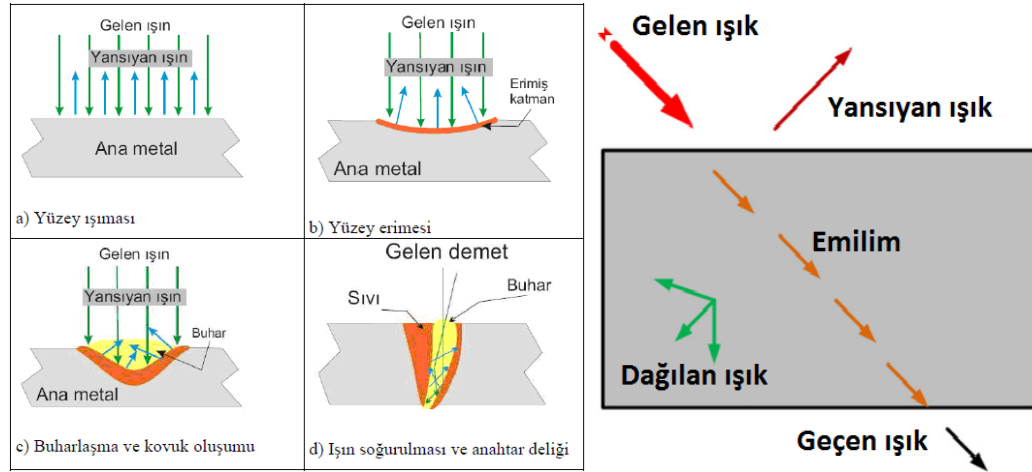
üzerinden akışkan hale geldiğinde malzeme üzerinden atılmaya başlar. (d); Malzeme atılımı ile birlikte malzeme üzerinde cüruf oluşumu başlamaktadır. [Samant, 2008].

3.7. Lazer Kesme İşleminde Soğurma (ışık emilimleri)

Lazer kesim işleminde, seramik yüzeylerdeki gibi, fiziksel olay olan yansımalar, “observe” yutma / emilim, saçılma olayları, transmisyon; ışın aktarma olayları gerçekleşmektedir. Bu fiziksel olayları, elektromanyetik, radyasyon etkileşimi, malzemenin elektron yapısı gibi malzemenin özelliklerine bağlı olarak değişiklikler göstermektedir.

Seramik özellikleri kırış yönüne saygı gösterdiğinde yani lazer ışını ile tam paralellik yaptığında yansıma en üst düzeyde olur.

Lazer ile kesme işlemine başlanırken ve işleme boşluğunda lazer ışığının yansıması şematik olarak görüntülenmiştir. (Şekil 3. 10 – Şekil 3. 11).



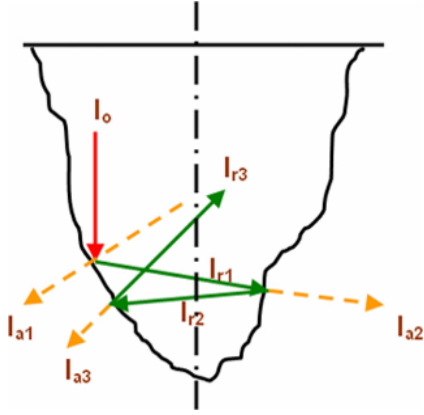
Şekil 3.10. Lazer ışığının malzeme üzerinde yansıma ve ergitmesi [Zhao, 1999].

Aşağıdaki şekilde ise tek ışın huzmesinin malzeme kesme boşluğu üzerinde yansıma ve absorbe etkilerinin temsili görüntülenmesi; lazer ışınlarının malzeme içine soğurma yapılan kısmı malzemeye ısı tesiri olarak etki etmektedir. (şekil, 3. 11).

I_o = nozuldan gelen lazer ışını

I_{r1} - I_{r2} = yansıyan lazer ışınları

I_{a1} - I_{a2} - I_{a3} = malzeme tarafından emilim yapılmış, (soğurulmuş) ışınlar



Şekil 3.11. Lazer ışığının yansımalarını şematik olarak görüntülenmesi [Zhao, 1999.].

3.8. Lazer Kesim İşleminde Malzemelerin Karakterizasyonu

Lazerle sac parçalar kesmek kısa zamanda popüler hale gelmiştir. Lazerler sertlik veya elektriksel iletkenlik bakılmaksızın malzeme son derece geniş kesebilir Lazer kesim büyük çoğunluğu metal gerçekleştirilir iken süreç iletken malzemeler ile sınırlı değildir. Lazer kesimler bilgisayar üzerinden takım yolları çıkarmak suretiyle malzemelere kolayca şekil vermek mümkün olmaktadır. Bu sistemle kesim işlemleri son derece hassas ve seri bir şekilde gerçekleşmektedir. Lazer kesim işlemlerinde malzemeler açısından bazıları için kritik noktalar vardır. Biz belli başlı malzemelerin lazerle kesimindeki özelliklerinden bahsetmeye çalışacağız. Uygulama esnasında bu özelliklerin göz ardı edilmemesi kullanıcılar ve malzeme açısından yararlı olacaktır.

3.8.1. Karbon çelik

Lazerle sac kesme işleminde, yardımcı gaz olarak genellikle oksijen kullanılır. Oksijen demir elementi ile reaksiyon yaparak verimi artırmaktadır ($2Fe + O_2 \rightarrow 2FeO$). Oksijen soy gaz ile karıştırıldığında eritme gücü iki katına çıkar. Kerf bölgesindeki erimiş malzemenin daha akıcı ve kolay çıkmasını (atılmasını) sağlar.

Demir malzemelerin kesilmesinde, ince bir tabaka da olsa demiroksit oluşturması daha sonra yapılacak kaynak, kaplama gibi işlemleri için olumsuz etkilemektedir.

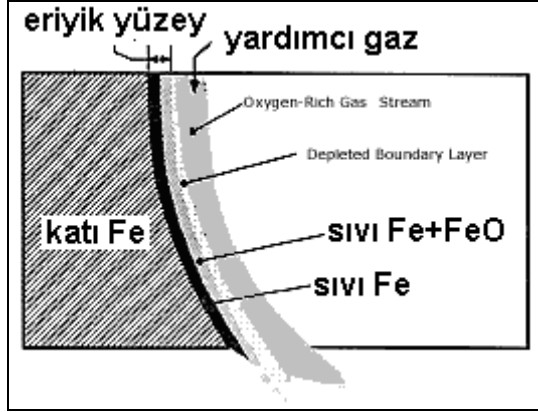
Oksijenin saflığının yardımcı gaz olarak kullanılmasında belli bir etkisi olmaktadır. Testlerde saflığı, % 99,5–99,98 olan oksijenin kesme hızını %20 civarında dūřurdūęu grlmūřtur, nedeni kesin olmamakla beraber demir ve oksijenin yaptığı reaksiyonu neticesidir. [Kar ve Migliore. 1991].

3.8.2. Alaşımlı elik

Dūřuk alaşımlı çelikler lazer kesimde iyi tepki vermektedirler, alaşım ilave edilmiş çelikler ve takım çelikleri gibi yükse seviyedeki çelikler, alaşım çelikleri gibi işlevse değillerdir. Krom ve birçok alaşım elementleri, ergiyik haldeyken yapışılma özellikleri göstererek, erimiş malzemenin asışkanlığını azaltmaktadır. Ayrıca karbon seviyesi yüksek bir alaşımlı çelikte ise ısınma sonucunda martenzitik bir yapı dolayısıyla sertleşme oluşacaktır. Sertleřen bu yapı ise kesme yüzeylerinde pürüzlü yapı meydana getirir.

3.8.3. Paslanmaz elik

Paslanmaz eliklerin kasilmesinde yardımcı gaz olarak oksijen kullanılması, kesim kenarlarında krom-oksit tabakasının oluşmasına yol açar. Bu oksit tabakası ise sonraki yapılacak işlemlerde kullanım açısından zararlı olmaktadır. Yardımcı gaz olarak azot kullanılması oksit tabakasının oluşumuna mani olur (şekil 3. 12) .



Şekil 3.12. Yardımcı gaz oksijenin demir elementi ile reaksiyonu [Ivarson, 1993].

Paslanmaz çeliklerin bir diğer özellikleri ise, erimiş malzemelerin vizkozitesinin yüksek olması sebebiyle cüruf oluşumları artacaktır. Cüruf oluşumunu asgari seviyelerde tutmak için, gaz basıncının yüksek olması gerekmektedir.

3.8.4. Alüminyum

Alüminyum ve alaşımları ısı iletkenlikleri yüksek malzemelerdir. Bu özelliklerinden dolayı lazerle kesme işlemleri güçleşmektedir. Lazer ile ince kesitli malzemelerin kesiminde kaliteli sonuç alabilmek için iyi odaklanmış mercekle, yüksek güçlü makinelerle mümkün olabilir. Malzeme deformasyonlarını mikro seviyelere indirmek ısı tedavileri ile mümkün olabilir. Bu işlemin olumsuz tarafı ise malzemelerde yorulma ömrünü azaltmaktadır. Bu olumsuzluklardan dolayı havacılık sektöründe, alüminyum ve alaşımlarının kesilmesinde su jeti ile kesim tercih edilmektedir. [Kar ve Migliore. 1991].

3.8.5. Titanyum

Titanyum ve alaşımları için oksijen yardımcı gaz olarak kullanıldığında, şiddetli yanması ve kesme kenarlarında, sert ve kırılgan tabakalar oluşturmaktadır. Bu olumsuz sebeplerden dolayı titanyum kesiilelerinde yardımcı gaz olarak helyum gibi asal gazların kullanılması uygun olmaktadır. Argon gazı helyuma göre daha ucuz olduğundan tercih edilebilir, fakat argon gazının da kesme kenarlarında faz dengesini

değiştirebileceğinden havacılık sektöründe pek tercih edilmemektedir. Kesme esnasında soğutma sağlamak amacıyla helyum argon karışımı kullanılabilir, karışımda argon %25'i geçmemesi uygun olur.

3.8.6. İnorganik

Bazı inorganik maddeler düşük iletkenliklerinin ve basınca dayanıksız olmaları ve soğurma yeteneklerinin yüksek olması sebeplerinden dolayı, lazer kesim için uygun değiller. Pek çok seramik ve camların yüksek erime derecelerinin olmasına karşın, çok düşük termal şok etkilerine sahip olmalarından dolayı, bu malzemelerin kesim süreçleri metalden daha zor olmaktadır.

3.8.7. Cam

Cam lazer kesimi termal şok direnci ile sınırlıdır en kötü kompozisyon cam kesiminde oluşur. Cam malzemenin kesim kenarında iyi tanımlanmış bir erime noktası yoktur.

3.8.8. Organik

Organik malzemelerin lazerle kesme işlemlerin esnasında toksit malzeme yaydıklarından dolayı sağlık açısından lazer kesim organik malzemeler için uygun bir yöntem olarak düşünülmemelidir. Ayrıca büyük boyutlu malzemelerde bazı sorunların oluşabilme ihtimalleri vardır. Kesme işlemi esnasında yüksek enerjiye ve hızlara ihtiyaç duyulmaktadır. Kesme boşluklarından kaçan gazlar ise kesme sürecinin uzamasına neden olmaktadır.

3.8.9. Ahşap

Çelik malzemeler için geçerli olan kurallar, lazer ile ahşap malzemelerin kesilmesinde geçerli olmamaktadır (kerf boşluk özellikleri v.b.) ahşap malzemedeki kesme boşluğu ergime ile değil yanma neticesinde buharlaşma ile oluşmaktadır.

3.8.10. Bez

Bez malzemeler çok ince olması sebebiyle lazer kesim işleminde bazı sorunlar oluşturmakta. Kesim işlemi yapan makinanın işletim sisteminin, taramanın hızlı yapılıp, lazer ışığını iletilmesi ve başlık hareketini hızlı yaptırabilmesi, dolayısıyla lazer kesme kafasının çok hızlı hareket yeteneğine sahip olması gerekmektedir,

3.8.11. Plastik

Polimer malzemelerin birçok çeşitlerinin lazer ile kesilmesi mümkündür. Polimerlerdeki kesme olayı genellikle ahşap malzemedeki gibi lazer ışığının kesme boşluğundaki malzemeyi buharlaştırması neticesi ile oluşur. Polipropilen ve polistiren gibi termoplastik malzemeler, lazer kirişi tarafından eritilir, bu malzemelerde, kesme kenarlarında karbon artıkları oluşur. Plastik malzemelerin kesilmesi sağlık açısından tehlike oluşturur, bu sebeple plastiklerin lazer ile kesimi tavsiye edilmez. [Kar ve Migliore, 1991].

3.8.12. Kompozitler

Kompozit malzemeler en az iki farklı malzemenin bir araya gelerek, birleşen malzemelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirmeden yeni bir malzeme oluşturmastır. Bu özelliklerinden dolayı kompozitlerin kesilmesinde kesme parametrelerinin iki farklı malzemenin kesim özelliklerinin hesaplanıp ayarlanması gerekmektedir, bu ise her zaman sağlıklı sonuçlar vermeyebilir [Ivarson, 1993].

3.9. Lazerlerin Kullanım Alanları

Günümüzde lazer, hemen her alanda kullandığımız, teknolojinin en önemli unsuru olmuştur. Farkında olarak ya da olmadan günlük yaşantımızda lazer teknolojisinden istifade etmekteyiz. Başlıca; endüstri, güvenlik, haberleşme, askeri ve tıp alanlarında, kullanılmaktadır.

3.9.1. Endüstri

Metal ya da diğer maddeleri kesmede, Uçaklara iniş ve kalkışlarında yol göstermede kullanılır. Lazer yazıcılar ise yüksek çözünürlükte dokümanların baskısını almada kullanılan cihazlardır (Resim 3. 7) [www.ilmiarastirma.net].



Resim 3.5. Lazer ile yapılmış tahta işleme ve kakma işlemleri

Kaplama

Lazer ışınına akan toz veya dışarıdan eritilen bir tel ile malzeme üzerine kaplama uygulaması yapılmaktadır (Resim 3,8).

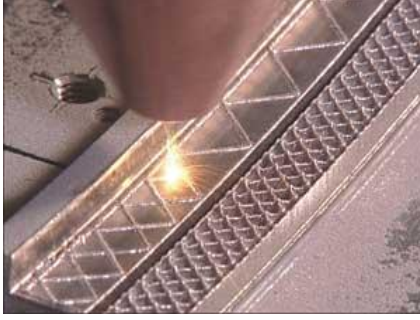


Resim 3.6. Lazer polimer ile üretilen diş köprüleri ve türbin bileşenleri
[Laser Institute of America's 2009].

Doğrudan metal lazer sinterleme diş laboratuvarları tarafından copings ve köprüler oluşturmak için kullanılır. İnce yapı için pahalı malzemelerle özellikli yapılar, lazer metal birikimi ve imalat zaman ve maliyetini azaltır [www.laserinstitute.org/2009].

Onarım ve yenileme

Havacılık, sektöründe uçak motorları onarım ve yenileme işlemleri için, lazer uygulamalarında artan bir talep olmuştur. uçak motor üreticilerinden Rolls-Royce de bu uygulamalara katılmıştır (Resim 3.9) [Laser Institute of America's 2009].



Resim 3.7. Lazerle uzay ince kafes (0,3 mm) duvar oluşturma [Laser Institute of America's 2009].

3.9.2. Yol güvenliği

Lazer sinyallerinden radar olarak yol güvenliğini sağlamada faydalanılır. [www.ilmiarastirma.net].

3.9.3. Haberleşme

Yeryüzü ile uydular arası haberleşme sistemleri. Haberleşme ağında fiber-optik sistemlerle birlikte kullanılması. Yüksek yoğunlukta ses ve görüntü bilgileri depolanması [Öner, 2008].

3.9.4. Askeri

Askeriyede lazerden silahlara hedef göstermede faydalanılır. Lazer silahları yapımı ise üzerinde halen çalışılmakta olan bir konudur (Resim 3. 10) [www.ilmiarastirma.net].



Resim 3.8. Lazer ışığının hedef tayin etmede kullanılması

3.9.5. Tıp

Tıbbi cihazlar (stent) lazer teknolojisi özelliği sayesinde ulaşılabilir boyutu az “0.05mm” kadar inmiştir (Şekil 3.11) [www.laserage.com, 2009].



Resim 3.9. Lazerle işlenerek yapılmış stent [www.laserage.com, 2009].

3.10. Lazer Hakkında Kısa Kısa

Lazer ışığının gücü kilometrelerce uzağa hiç kaybolmadan gidebilir. Örneğin lazer ışığı Dünya'dan Ay'a kadar ulaştırılabilir. Dünya ile Ay arasındaki mesafenin 384.400 km olduğu düşünülürse lazer ışınının kuvveti daha iyi kavranacaktır. [www.ilmiarastirma.net, 2009].

Dünyanın en ince lazer ışını

Bilim adamları, insanın saç telinin binde biri kalınlığında, dünyanın en ince lazer ışını laboratuvar ortamında geliştirdi. California Üniversitesi bilim adamlarının Science dergisinde yayımlanan araştırmasına göre, dünyanın en ince lazer ışını, "epitaxy" olarak adlandırılan standart bir teknik kullanılarak, saf çinko kristallerinden elde edildi. Mini lazerlerin, kimyasalları tanımlayan aletlerle bilgisayar disklerindeki bilgi yükünü artırmada kullanılabileceği belirtildi. [www.ilmiarastirma.net, 2009]

Lazer kalp ağrısını geçiriyor

Amerikalı doktorlar, kalbe lazerle kılcal delikler açarak by-pass görevi görmelerini sağlıyor. Böylece yeni damarlar oluşuyor ve hasta iyileşiyor. Lazer ışını, hastanın bacağındaki bir atardamara kan dolaşımı yönünde karnın sol kısmına doğru çıkarak uygulanıyor. Kalbe gelindiğinde, uygulanan lazer ışını, kaslara doğru on veya daha fazla kılcal delikler açıyor. Kalpte by-pass ameliyatı etkisi yaratan bu kılcal delikler, yeni damarlar oluşmasını sağlayarak yanma ve ağrılar ortadan kaldırılıyor. [www.ilmiarastirma.net, 2009].

Lazer işleme ve faydaları

Lazer açıkça eski takım yüzyıl teknolojisi artık hem ürün ve aracı tasarımcılarının kullanabileceği yeni kabul edilebilir alternatifler biridir. Makul bir alternatif üretim için lazer sırasında Gelişen yirmi beş yıl, lazer sonraki yüzyıl için güvenilir yeni üretim yöntemidir. [www.laserage.com, 2009].

Lazer, küçük bir alanın içinde şiddetli bir enerjiyle aydınlatma, eritme, kaynak yapma, delme veya yakma, kimyasal hareketlere neden olma eylemlerini gerçekleştirmektedir. Yansıyan radar sinyalleriyle uzak bir cismin boyutu ve şeklini gösterecek kadar iyi derecede yön, hız ve uzaklık tayini sağlamaktadır.

3.11. Lazerle Kesme İşleminin Avantajları ve Dezavantajları

Avantajlar

- Malzemenin mekanik özelliklerinden bağımsız olması:
- Kısa işleme zamanı: Yüksek hızlarda kesim yapabilmektedir.
- Hassas işleme: Mikron derecesinde hatalarla kesme yapabilmektedir.
- Kesme takımı ve iş parçası arasında temas yoktur.
- İşlemler bütünüyle düşünüldüğünde maliyetlerin az olması.
- Esnek kablolar vasıtasıyla elde edilen ışının taşınabilmesi mümkündür.
- Kalıpsız imalat

Dezavantajlar

- Bakım ve ilk yatırım maliyetinin yüksek olması.
- Isıl işlemde kaynaklanabilecek malzemedeki kimyasal değişimler, bozulmalar.
- Sınırlı kalınlık/çap oranı ($H/D=12$) [Öner, 2008].



Resim 3.10. Lazer ile yapılan imalatlardan bazı örnekler [Lasera Technology Corporation, 2007].

4. KESME İŞLEMİNDE FARKLI YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

4.1. Kesme Kalitesi

Kesme kalitesi; yüzey pürüzlülüğü, tolerans kontrolü, düzlemsellik, diklik gibi özelliklerin istenilen ölçü ve kalitede olması ile belirlenir. Farklı malzemelerin kesilmesinde elde edilen yüzeylerin genel makro-morfolojik özelliklerinde büyük farklılık yoktur. Örneğin camın kesilmesiyle elde edilen yüzey; metal, seramik ve kompozitlerle aynıdır. Jet esasına (akışa) dayalı kesme işlemlerinin hepsinde (aşındırıcı su jeti, lazer, plazma ark) elde edilen yüzeyler paralel hatlar şeklindedir. Ancak yüzey mikro düzeyde incelendiğinde, her bir yöntemde etkin olan kesme mekanizması farklı olduğundan, yüzeyin mikro özellikleri birbirinden farklılık gösterir. [Akkurt, 2002].

Yapılan araştırmaların sonunda yeni birçok yöntem bulunmuş ve uygulanmaktadır. Bu yöntemlerden her geçen gün yaygın bir kullanıma sahip olan jet esasına (akışa) dayalı kesme yöntemleri en fazla tercih edilen yöntemlerin başında gelmektedir. Jet akışına dayalı bu yöntemlerin hepsinde (aşındırıcı su jeti, lazer, plazma ark, elektron ışını vb.) elde edilen yüzeyler paralel hatlar şeklindedir. Ancak yüzey mikro düzeyde incelendiğinde, her bir yöntemde etkin olan kesme mekanizması farklı olduğundan, yüzeyin mikro özellikleri birbirinden farklılık gösterir.

4.2. Kesme Yönteminin Karşılaştırılması

İmalat sektörü her zaman maliyeti düşürmenin yollarını ararken, kaliteyi muhafaza ederek ürün miktarını artırmayı hedeflemektedir. Bu gelişmenin temelinde, sektörün kendi kendini kontrolünün ötesinde piyasadaki hakim güçlerin tahrik ettiği müşteri talepleri de etkili olmaktadır.

Bütün bu etkiler dikkate alındığında ve imalat sektörü açısından küresel anlamda bakıldığında, imalat sürecinde “tasarımdan – teslimata” büyük bir ivmelenme söz konusu olduğu açıkça görülmektedir. Müşteri kaynaklı bu talepleri karşılamanın

yollarını arayan araştırmacılar imalat atölyelerini, mevcut geleneksel metal işleme teknolojisinde düşünebileceklerinin çok ötesine götürmektedir [www.Smacna.org, 1998].

Modern bir kesme sistemi aşağıda sözü edilen zor şartları karşılamak zorundadır [Momber ve Kovacevic, 1997].

- Takım asla körlenmemeli,
- Her türlü malzemeyi kesmek mümkün olmalı,
- Kesilen çevrelerde ve malzemelerde değişiklik söz konusu olduğunda esneklik olmalı,
- Karmaşık çevrelerin kesilmesi mümkün olmalı,
- Kesilen yüzeylerin kalitesi çok yüksek olmalı,
- Parça geometrisinin hassasiyeti yüksek seviyede olmalı,
- Malzeme kaybı en az olmalı,
- Üretim (işlem) sırasının otomasyonu mümkün olmalı,
- Çevre kirliliğine sebep olmamalı,
- Şimdiye kadar olan yöntemlere göre verimliliği yüksek, maliyeti düşük olmalıdır.

Diğer önemli bir faktör ise uzay teknolojisi ile gündeme gelen ve özellikle de plastik sektöründeki yeni malzemeler konusunda gözlenen büyük gelişmelerdir. Bu yeni malzemelerin, geleneksel metotlar kullanılarak işlenmesi ya mümkün değil veya çok zordur [Momber ve Kovacevic, 1997].

Bu amaçla alışılmamış imalat yöntemlerinden faydalanılması gündeme gelmiştir. Uygulamada mevcut 80 farklı, alışılmamış imalat yönteminden 56 adedi diğerlerine göre yaygın kullanıma sahip olup bu yöntemler EK-1’de listelenmiştir

Kesme sistemlerindeki verimliliği maksimize etmek, pek çok değişkenin rol oynaması sebebiyle oldukça güçtür. Kaç farklı malzeme kesilebilir? Kesme işlemi ne

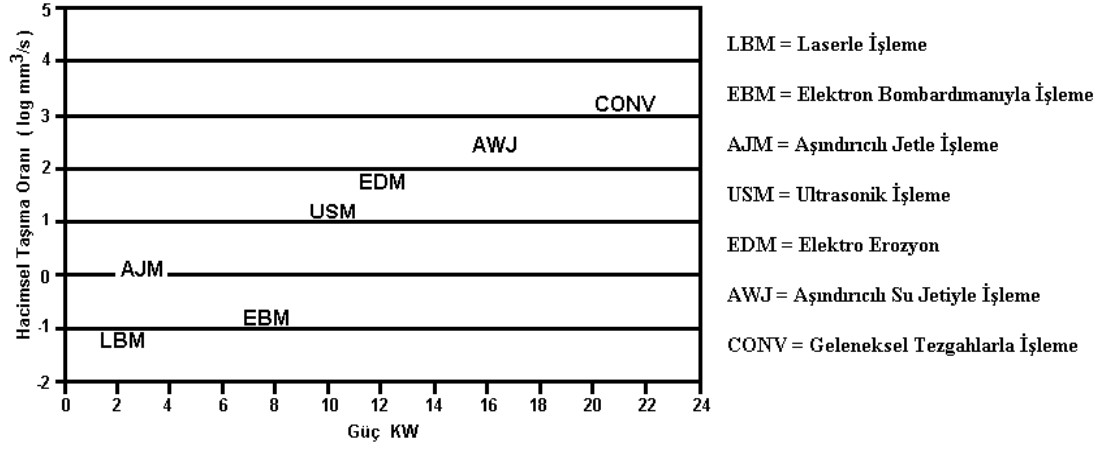
kadar süratle yapılabilir? Kesilen yüzeylerde ne kadar dar toleranslar elde edilebilir? Kesilen kenarlar yeterince temiz midir veya uygulama için ısıdan etkilenmiş bölgedeki kabul edilebilir cüruf miktarı ve büyüklüğü ne kadardır? Bu ve bunun gibi pek çok sorunun cevaplanma ihtiyacı, son yıllarda kullanılan kesme metotlarının geleneksel yöntemlerle ve birbirleri ile karşılaştırılması ihtiyacını da beraberinde getirmiştir. Bazı durumlarda işleme için en iyi sistem, bu kesme teknolojilerinin bir kombinasyonun beraber kullanılmasını da gerektirebilir [www.Wj.net/waterjet, 2000].

4.3. Kesme Yöntemlerinin Genel Mukayesesi

Plaka ve levha şeklindeki malzemelerin kesilmesinde çeşitli teknikler mevcuttur. Bu teknikler, bu tip malzemeleri mekanik olarak (talaşlı imalat) kesmenin yanı sıra oksijen alevi ile kesmeden aşındırıcılı su jeti (AWJ) ile kesmeye kadar çok geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Yaygın kullanılan diğer işleme teknikleri, Hashish [Hashish, 1988].tarafından;

- Katı takımlarla (geleneksel metotlarla) işleme
- Lazer ile işleme,
- Su jeti ile işleme
- Ultrasonik işleme
- Elektro erozyon ile işleme,
- Plazma ark ile işleme

Elektron hüzmesi (ışını) ile işleme metotları olarak ele alınmış ve bu metotlar AWJ ile karşılaştırılmıştır. Bu farklı işleme metotlarının, güç seviyeleri ve tipik talaş kaldırma oranları dikkate alınarak yapılmış bir karşılaştırılması Şekil 4,1’de verilmiştir. Elektron hüzmesi ile işleme (EBM), Lazer ile işleme (LBM) ve plazma-arkı ile işleme (PAM) gibi bu metotların çoğu ile birlikte endüstriyel uygulamalarda kullanılması 1950’li yıllara dayanmaktadır [Akkurt, 2002].



Şekil 4.1. Farklı işleme metotlarının güç seviyelerine bağlı olarak hacimsel talaş kaldırma oranları [Öjmertz, 1997].

Geleneksel metotlarla karşılaştırıldığında oldukça düşük enerji miktarları ile kesme yapabilecek bir jet oluşturan enerji dağılımı çok yoğundur ve enerjinin önemli bir bölümü sürtünme ile kaybedilmektedir. Diğer tek uçlu, hüzme ile kesme süreçlerinde olduğu gibi, manipülatör üzerine uygulanan çok küçük kuvvetler ile mükemmel bir şekilde yönlendirilmekte, her yönde kesme yapabilmekte ve oldukça dar kesikler oluşturabilmektedir. Özellikle de kesilen malzeme üzerinde termal etkileri olmaması sebebiyle de, rekabet ettiği diğer metotlara göre çok daha etkili hale gelmektedir. Ancak WJ ve AWJ ile işleme teknolojisi pek çok avantajı beraberinde getirmekle beraber dezavantajları da mevcuttur [Öjmertz, 1997].

4.4. Lazer ile AWJ'nin Karşılaştırılması

4.4.1. Awj ile işlemenin CO₂ lazer ile işlemeye göre avantajları

- Kesilecek maksimum malzeme kalınlığı, CO₂ lazer ile kesilebilenden önemli ölçüde daha fazladır. Çeliğin 100 mm'ye kadar kesilmesi mümkündür. Aynı şekilde pek çok malzemenin de, oldukça kalın kesitlerde kesilmesi mümkündür.
- Erime noktası ve termal iletkenlik gibi bazı fiziksel özelliklere bağlı olmaksızın tüm malzemeler kesilebilmektedir. Termal metotlarla, lazerle kesim için pratik

olmayan mermer, beton gibi malzemeler oldukça verimli bir şekilde kesilebilmektedir.

- Kesme süreci non-termal (ısıl olmayan) bir süreç olduğundan kesilen kenarda ısıdan etkilenmiş bölge (Heat Affected Zone –HAZ) yoktur. Bu özellik, titanyum alaşımı gibi, bu duruma duyarlı malzemeler söz konusu olduğunda oldukça cazip hale gelmektedir.
- Bazı metaller için kesilen kenarın kalitesi mükemmeldir ve cüruf yoktur.
- AWJ ile kesme tezgâhı bir kez tesis edildikten sonra, nispeten düşük ilave masraflarla, bir dizi ilave kesme başlığı sağlanmak suretiyle üretim kapasitesini artırmak kolaydır (bu durum, su pompası yeterli kapasiteye sahip olduğunda mümkündür).

4.4.2.CO₂ lazer ile işlemenin AWJ'ye göre avantajları

- CO₂ lazer kullanılıyorsa kesik genişlikleri önemli ölçüde daha küçüktür (örneğin; 0,2 mm, 2 mm'den çok daha küçüktür) Bu, daha ince detayların kesilebilmesi anlamını taşır.
- İki yöntem karşılaştırıldığında, belli kalınlık aralıklarında (örneğin 16 mm'ye kadar yumuşak çeliklerde) metallerin kesilmesi için CO₂ lazer genellikle daha hızlıdır.
- Her iki yöntemin yatırım ve işletme maliyetleri genellikle aynı olmakla beraber yüksek yanıl hızının bir sonucu olarak kesilen her birim boyun maliyeti, CO₂ lazer için daha düşüktür.
- Lazer kesme işlemi genellikle AWJ'den daha sessiz ve daha temizdir.

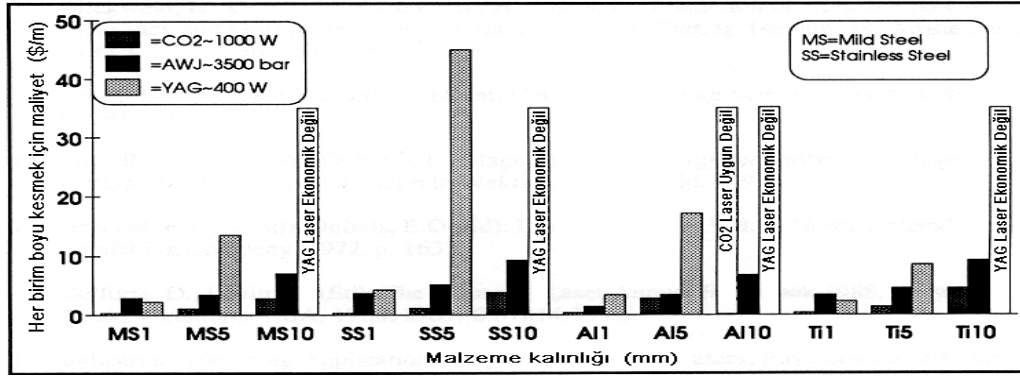
Bu çalışma, uygulama alanına bağlı olarak, her iki yöntemin de oldukça etkili ve verimli işleme yöntemleri olduğunu ortaya koymaktadır.

Ohlsson ve arkadaşlarının [Powell ve ark. 1995] diğer bir çalışmada CO₂ lazer, Nd: YAG Lazer ve AWJ ile işleme yöntemleri karşılaştırılmıştır. Öncelikle her üç yöntemin teknik yönlerinin ele alındığı bu çalışmada, her üç yöntemin yatırım ve

işletme maliyetleri değerlendirilmiştir. AWJ ile kesme için basınç, aşındırıcı debisi ve yanıl hızın, çelik ve gri dökme demir için, kesme derinliği ve yüzey özellikleri üzerindeki etkileri esas alınmıştır. Çalışmanın neticesinde AWJ nin diğer iki lazerle kesme yöntemine göre üstünlüğü;

- AWJ ile kesilebilecek malzeme çeşidi sınırsız ve oldukça kalın malzemelerin kesilmesinin mümkün olması,
- Bir ısııl işleme yöntemi olmaması sebebi ile malzemelerde; ısıdan etkilenmiş bir bölge olmaması, olarak özetlenmiştir.
- Lazer ile kesmede küçük bir ısıdan etkilenmiş bölge (HAZ) söz konusu iken, su jetinde söz konusu değildir.

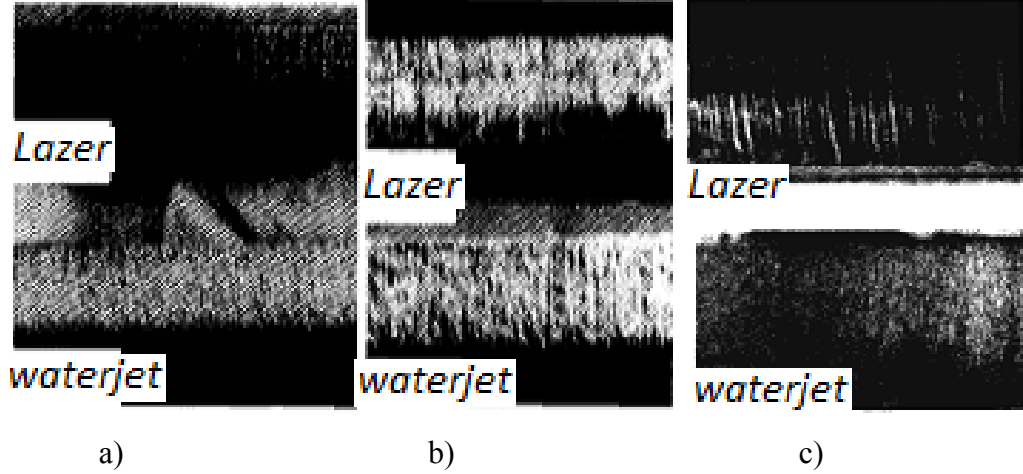
Aynı çalışmada AWJ ve CO₂ lazer ile farklı malzemelerin her birim boyunun kesilmesi için maliyetler karşılaştırılmış sonuçlar Şekil 4.2’de özetlenmiştir.



Şekil 4.2. AWJ YAG ve CO₂ lazer ile farklı malzemeler için her birim boyun kesme maliyetlerinin karşılaştırılması [Powell ve ark., 1995].

Yumuşak çelik ve paslanmaz çelik gibi yansıtma özelliği düşük ve ince malzemelerin kesilmesi için lazer ile kesme yöntemi daha hızlı iken hayli yüksek yansıtma özelliğine sahip ve daha kalın malzemelerin kesilmesinde su jeti nispeten daha hızlı bir yöntem olarak görülmektedir. Termal bir süreç olması nedeni ile malzemelerin lazer ile kesilmesinde kalınlıkta bir sınırlama söz konusudur. Bununla beraber, su jeti ile yavaş hızlarda olsa bile, oldukça kalın malzemelerin kesilmesi mümkündür. Bu çalışmada kullanılan malzeme aralığı için lazer ve su jeti arasındaki yanıl hızı oranı

0,76 ~ 0,86 arasındadır. Bu durum maliyet açısından, lazer ile kesme yönteminin daha verimli olduğunu göstermektedir.

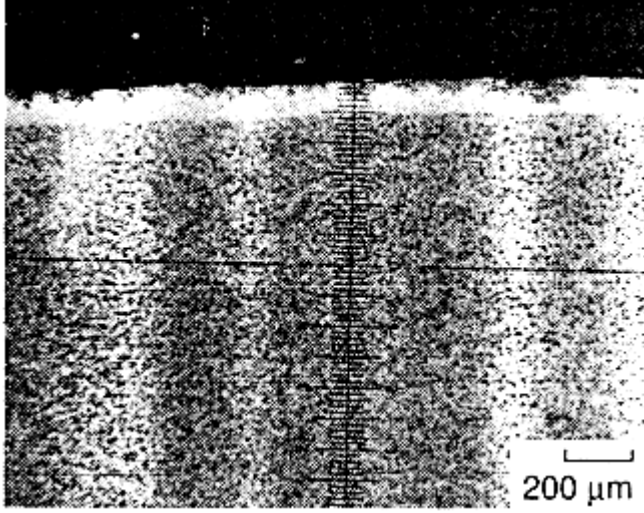


Resim 4.1. Her iki yöntemle kesilmiş farklı malzemelerin kesilen yüzey dokuları
a) 2 mm kalınlıkta paslanmaz çelik, b) 2 mm kalınlıkta alüminyum
c) 6 mm kalınlıkta yumuşak çelik [McGeough, 2008]

Hashish'in ve Schreiber'in [Hashish 1991], lazer ve AWJ ile kesmenin mekanik özelliklerini tartıştıkları çalışmalarda, her iki yöntemin de eşsiz kesme kabiliyetlerini ve karakteristiklerini tartışmışlardır. Her iki yöntemden birini seçmeden önce, kullanıcıların her iki tekniğin performansına olduğu kadar bitmiş ürünü nasıl etkilediğine de dikkat etmesi gerektiğine dikkat çeken araştırmacılar, titanyum alaşımı (Ti-6Al-4U) ile çelik (A286) malzeme üzerinde her iki metodun mekanik etkilerini değerlendirmişlerdir.

Öncelikle her iki yöntemin temel özelliklerin tartışıldığı çalışmada mekanik etkiler, ısıdan etkilenmiş bölge ve yüksek çevrimli yorulma (High-cycle fatigue-HCF) dikkate alınarak değerlendirilmiştir. İşletme maliyetleri ve diğer özellikler açısından lazer ve AWJ nispeten benzerdir. Bununla beraber yanal hızı açısından, 3 mm kalınlığında bir titanyum levhanın kesilmesi için, lazer önemli ölçüde daha hızlı görülmektedir (Lazer için 300 – 400 cm/min ve AWJ için 70 – 100 cm/min). Diğer yandan, işlenen malzeme kalınlığı açısından bakıldığında, AWJ ile çok daha kalın parçaların kesilmesi mümkün olmaktadır (malzemeye bağlı ve ekonomik olarak 10 –

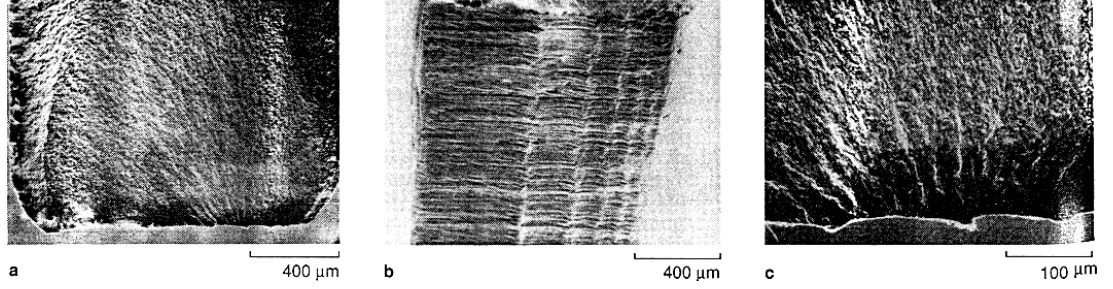
50 mm AWJ için, 3 – 10 mm lazer için). Lazer ile kesmeyle ilgili en temel metalürjik özellik malzemedeki HAZ oluşumudur.



Resim 4.2. Lazer temiz kesme ile elde edilen Ti-6Al-4V plakadaki HAZ mevcudiyetini gösteren optik mikrograf [Schreiber, 1992].

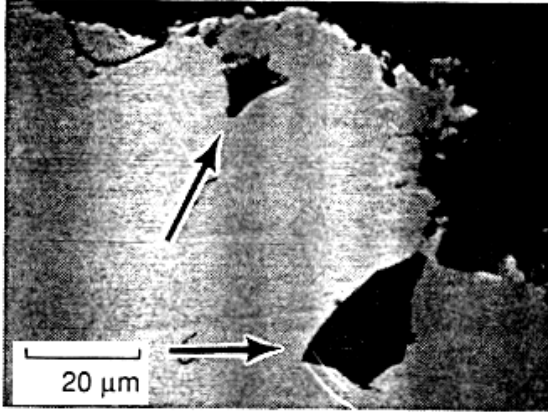
Genellikle, titanyum gibi reaktif malzemeler HAZ'a diğer malzemelerden daha duyarlıdır. Tekrar işleme tabi tutularak ortadan kaldırılmamış HAZ, aynı zamanda HCF ve diğer özellikleri de etkileyebilir. Bu esaslara dayanarak, Singh çalışmalarında lazer'in teşvik ettiği HAZ ve AWJ'de aşındırıcı parçacık çarpmasının parçaların nihai mekanik özellikler üzerindeki etkilerin değerlendirmişlerdir. Bitmiş parçalar üzerindeki HCF etkilerini değerlendirmek için kesilen bazı numuneler, tamburda parlatma, kimyasal frezeleme (Chemical Milling – CM) ve yüzey parlatma gibi ikincil işlemlere tabi tutulmuş ve bu işlemlerle yüzeyden 150~200 μm talaş kaldırılmıştır. Resim 4.4.'de, lazer ile kesilmiş 2 mm kalınlığındaki Ti-6Al-4V numunesindeki HAZ mevcudiyetini gösteren, optik mikroskopla alınmış mikro yapı fotoğrafları görülmektedir. HAZ genişliği yaklaşık 100 μm olup lazer işleme şartlarına bağlı olarak 25~100 μm arasında değişmektedir. İkincil işlemlerden sonra bu bölgenin kaybolduğu gözlenmiştir. Ti-6Al-4V numunelerin HCF deneylerinde kırılmış yüzeyleri elektron tarama mikroskobu (SEM) ile alınmış. Şekil 4. 5'de gösterilen yüzey topografyaları görüntüleri üzerinden değerlendiren araştırmacılar; resim 4,5.a ve 4,5.c'de görüldüğü gibi, HCF çizgilerinin lazerle kesilen kenara doğru

olduğunu ve çatlak başlangıçlarının lazer ile kesme sürecinde şekillenen dalgali izlerden başladığını (Şekil 4,5.b) gözlemlemişlerdir.



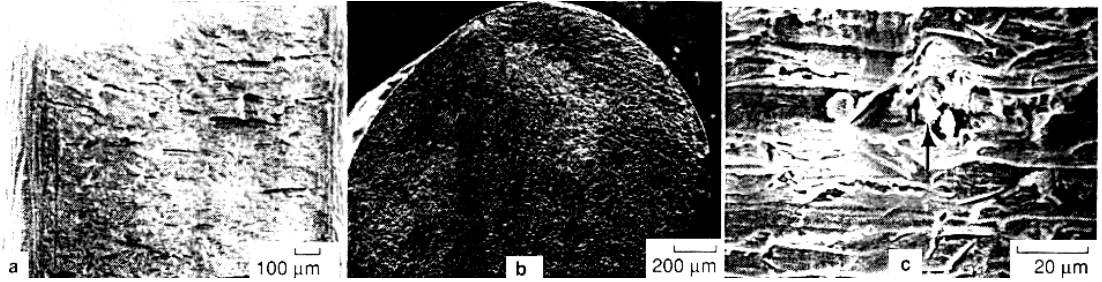
Resim 4.3. Ti-6Al-4V numunenin lazerle kesilmesinden sonra HCF'nin SEM kırılma fotoğrafları [Schreiber, 1992].

A286 çelik numuneler üzerinde gerçekleştirilen paralel bir araştırma, ihmal edilebilir bir seviyede bir HAZ mevcudiyetini ortaya koymuştur. Bu durum, lazerin yüksek yanıl hızı ve malzemenin düşük reaktif özelliklerine atfedilmiştir. AWJ ile kesilen Ti-6Al-4V numunelerin resim 4.6,'da ki SEM mikrografları, aşındırıcı parçacıkların ana alaşım içine çarparak saplandığını göstermektedir. İlâveten kesilen yüzeyde tanecik sınır yırtılmalarının olduğu da görülmektedir. AWJ'de yaygın kullanılan ve Si, Al, Ca ve Fe tanecikler ihtiva eden garnet aşındırıcı parçacıkların, ikincil işlemler neticesinde ana malzeme içine daha da gömüldüğü ve ikincil işlemler neticesinde bu parçacıkların ana malzeme ile iyice kuşatıldığı gözlenmiştir. Bu parçacıkların sözü edildiği gibi kuşatılmasından sonra, bir kimyasal frezeleme işlemiyle bile uzaklaştırılması çok zordur. (Resim 4.7.a), derin-kanal oluşumları ihtiva eden AWJ ile kesilmiş yüzeyin bir üst görünüşünü göstermektedir. Bu izler, aşındırıcı parçacıkların matrisi taşıma etkisiyle oluşmuştur. Bu durum tane sınırlarındaki yırtılmanın temel sebebi olarak yorumlanmıştır.



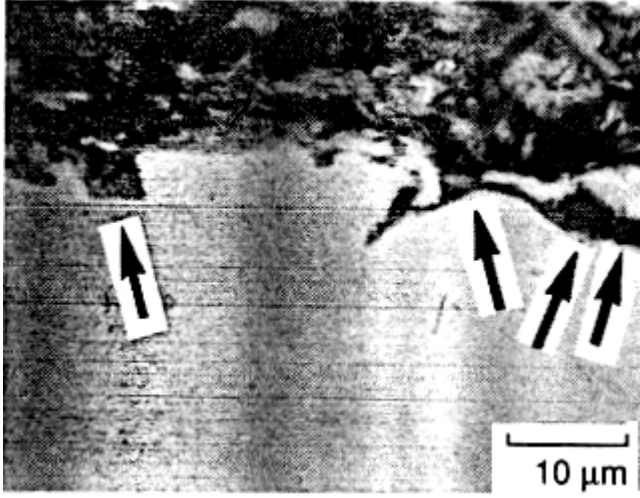
Resim 4.4. Ti-6Al-4V numunede tanecik saplanması [Schreiber, 1992].

Aşındırıcı parçacıklar, oluşan bu kanallarda hapsolarak matris içine gömülmektedir. Gömülen bu parçacıklar uygun şekilde ortadan kaldırılmazsa, bir çentik etkisi yaratmak suretiyle, parçanın yorulma ömrünü kısaltacaktır. HCF ile kırılmış numunelerin mikrografları HCF izlerinin kesme kenarına doğru olduğunu göstermiştir (resim 4.7.b). HCF çatlaklarının başlangıcı ve yayılmasının matrise gömülen aşındırıcı taneciklerin yakınından olduğu görülmüştür (resim 4.7.c).



Resim 4.5. Ti-6Al-4V numunelerin işlenmesinden sonra HCF'nin SEM kırılma fotoğrafları [Schreiber, 1992].

A286 çelik numuneler üzerinde yapılan araştırmalar da benzer sonuçlar sergilemiş olup çelik matrise saplanan aşındırıcı parçacıkların sebep olduğu tane sınırlarındaki yırtılma Resim 4.8.de gösterilmiştir.



Resim 4.6. A286 çelik matriste aşındırıcı parçacık çarpma/saplanması ile oluşan yırtılmaları gösteren SEM mikrografı [Schreiber, 1992].

En büyük aşındırıcılı su jeti tezgâh üreticisi firmalarından biri olan “FLOW” firmasından, Johanne, Schulte Beckhausen, sistemin en önemli rakibi gibi görünen “lazerle kesme” ile WJ ve AWJ’yi karşılaştırdığı raporunda (Hypertherm Inc) kesilen malzemede termal yüklerin oluşmamasını en büyük avantaj olarak vurgulamıştır. Ayrıca sistemin, çok yakın bir gelecekte frezeleme ve taşlama işlemlerinin yerini alması için kaydedilen gelişmeleri, hâlihazırda uzay teknolojisinde titanyum malzemelerin frezelenmesini örnek göstererek sunmuştur. Her iki yöntemin kendine has özelliklerinin ve birbirine göre bazı avantajlarının olduğunu vurgulayan rapor, değerlendirmenin sınırlı bir tarzda yapılabildiğini ifade etmektedir.

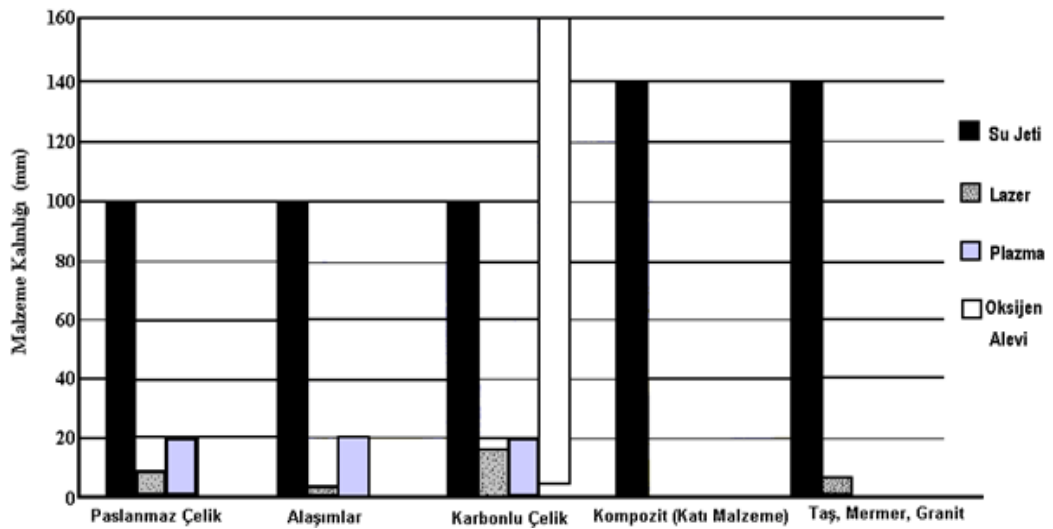
Alışılmamış imalat yöntemleri arasında birbirine rakip olabilecek özellikte görünen lazer ile AWJ’nin son yıllarda birlikte kullanıldığı uygulamalar da söz konusudur. Bu amaçla, AWJ, CO₂ lazer ve lazer-mikrojet uygulamalarının; temel farklılıklar, tezgah, uygulamalar, maliyetler, işleme hassasiyeti ve çalışma ortamı açısından bir karşılaştırması EK-1’de Çizelge 4.1.’de bir arada detaylı bir şekilde sunulmuştur [Munoz, 1993].

4.5. Diğer Metotları da Kapsayan Değerlendirmeler

Su jeti, plazma ve lazerin alternatif gösterdiği çalışmada, aşındırıcı su jeti ile kesmenin temel prensiplerini ortaya koyarak, bu yöntemin endüstride kullanılan plazma ve lazer ile kesme yöntemlerinin en büyük rakibi olduğunu Harvey [H, Steve] vurgulamıştır. AWJ ile kesmenin sağladığı esnekliğini vurgulayarak, oldukça geniş bir aralıkta ve farklı malzemelerin kesilebilirliği üzerinde durmuştur.

Kesme yolunun basit olarak elle kontrolünden karmaşık CNC kontrollü sistemlere kadar değişebilmesini, çok yönlü kesme yapılabilmesini ve çoklu kesme kafalarının kullanılması ile kesme kabiliyetinin artırılabilmesini, yöntemin esnekliğine kanıt olarak değerlendiren yazar, aşındırma sürecinin kaba kenarlar ve çapak oluşmadan gerçekleşmesini de yöntemin üstünlüğü olarak ön plana çıkarmıştır [H, Steve]. Şekil 4.3 su jeti ile kesme teknolojisinin diğer kesme yöntemleri ile karşılaştırılması.

Uygulamada kullanılan alternatif kesme yöntemlerini değerlendirdikleri çalışmada; plazma arkı ile lazer ile su jeti ve aşındırıcı su jeti ile kesme, elektro erozyon (EDM) ile işleme ve kimyasal frezeleme yöntemlerinin temel özelliklerini ortaya koymuşlardır [Vijay 1993].



Şekil 4.3. Su jeti ile kesme sisteminin diğer kesme yöntemleri ile karşılaştırılması [Vijay, 1993].

Kesme yöntemlerinin malzemelerin kalınlıklarına göre mukayesesi, EK-1 Çizelge 1,2’de karşılaştırılarak gösterilmiştir.

Gelişmiş mekanik özelliklerinden dolayı geleceğin malzemesi olarak kabul edilen amorf malzemelerin sadece aşındırıcı su jeti ile kesilebilmesi, uzay ve havacılık sanayiinde yaygın kullanılan kompozit malzemelerin kesilmesi, daha önce de bahsettiğimiz gibi lazer yönteminin zorluğun sebebiyle su jetinin tercih edilmektedir. Lazer ile kesmedeki yüksek güç sarfıyatı ve düşük verimlilik, YAG tipi lazer için 50 kW’lık girdiye karşılık sadece 1 kW’lık çıktı alınabilmesi vurgulanarak açıklanmıştır. Malzemelerin mekanik ve kimyasal özelliklerinde herhangi bir değişimin söz konusu olmaması, su jetinin lazer’e göre bir üstünlüğü olarak değerlendiren araştırmacılar çalışmalarında maliyet açısından da bir değerlendirme sunmuşlardır.

EDM, Lazer ve Su jeti ile kesmenin değişik yönlerden diğer bir karşılaştırması EK-1 Çizelge 1,3’de verilmiştir [Miller, D. S]. İmalatta yaygın kullanım alanlarına sahip olan çeşitli kalınlıklardaki malzemelerin su jeti, lazer ve plazma ile işlenmesinde seçilebilecek kesme hızları EK-1 Çizelge 1,4’de kesme yöntemlerinin karşılaştırılması EK-1’de Çizelge 1,5’da verilmiştir.

4.6. Literatür Araştırmasının Genel Değerlendirmesi

Aşındırıcı su jeti (AWJ) ile kesilen yüzeyde paralel hatlar şeklinde meydana gelen yüzey pürüzlüğü, yöntemdeki yüksek jet hızı ve karmaşık türbülanslı akış sebebiyle tam olarak izah edilememektedir. Elde edilen yüzey topografisi, su jetine katılan aşındırıcı taneciklerin oluşturduğu iki aşamalı mekanizmaya bağlı olarak;

- Kesme-aşınma mekanizmasının etkili olduğu üst tarafta daha düzgün
- Deformasyon – aşınma mekanizmasının etkili olduğu alt tarafta ise birbirine paralel çizgiler şeklinde daha pürüzlü bir yapı sergilemektedir.

Jet hüzmesinin ihtiva ettiği enerjinin büyük bir bölümünün kaybedildiği üst bölgede daha düzgün yüzey özellikleri elde edilirken, daha sonra hüzmenin sapması ve malzemeye çarpma açısının büyümesiyle kesme mekanizması, deformasyon mekanizmasına dönüşmekte ve yüzey özellikleri de bozulmaktadır.

AWJ ile kesmenin diğer kesme metotlarıyla karşılaştırılmasını esas alan çalışmalar değerlendirildiğinde;

- Kesilecek malzeme kalınlığının, diğer metotlara göre oldukça fazla olması
- Her türlü malzemenin kesilebilmesi (özellikle diğer metotlarla kesilmesi mümkün olmayan malzemeler)
- Kesilen kenarlarda ısıdan etkilenmiş bölge (HAZ) oluşmaması ve malzemenin metalürjik özelliklerinin değişmemesi
- Kesilen yüzey kalitesinin çok iyi özellikler sergilemesi en önemli avantajlar olarak ön plana çıkmaktadır. Bununla beraber;
- Kesme boşluğunun, lazer’le kesmeye göre, bir miktar daha geniş olması,
- Çarpma ile malzemeye nüfuz eden, sert aşındırıcı parçacık
- Mevcudiyeti ve bunların yarattığı yüksek çevrimli yorulma
- Gürültü problemi [Akkurt, 2002].

4.7. Kesik Yüzey Özellikleri

Yüzey kalitesini belirleyebilmek için kesilen yüzeyler incelendiğinde, akışa dayalı farklı yöntemlerle (aşındırıcılı su jeti ile kesme, oksijen alevi ile kesme, lazer kesme, plazma ark ile kesme ve su altı plazma ile kesme) elde edilen yüzeylerin benzedikleri görülür. Yüzey pürüzlülüğü, yüzeydeki dalgalanma ile tanımlanır ve dalganın büyüklüğü ise jet çapı ile orantılıdır [Louis ve ark., 1993].

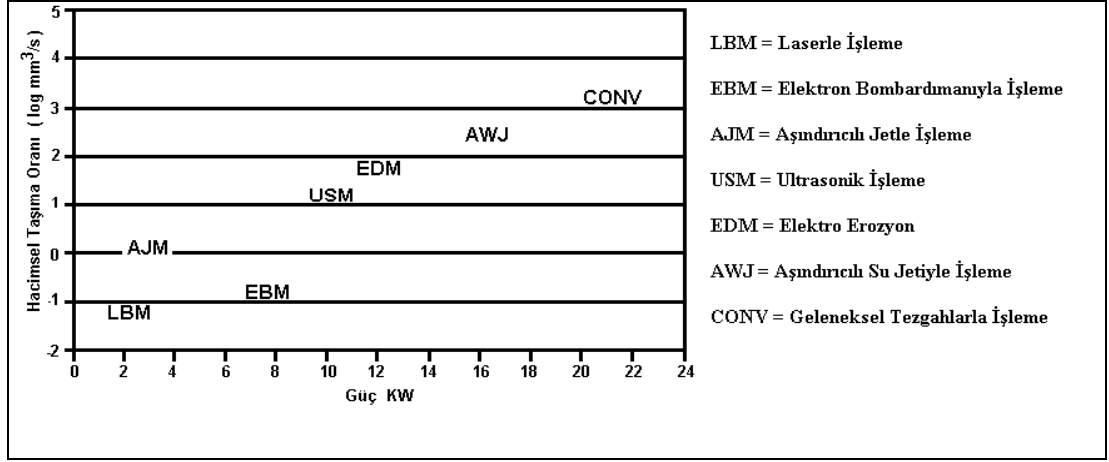
4.8. Kesme Metotlarını Kapsayan Genel Bir Değerlendirmeler

Levha şeklindeki malzemelerin kesilmesinde çeşitli teknikler mevcuttur. Bu teknikler Hashish tarafından Şekil 4,4’de ki grafikte görüldüğü kesme yöntemleri karşılaştırılmıştır. Bu farklı işleme metotlarının, güç seviyeleri ve tipik talaş kaldırma oranları dikkate alınarak yapılmış bir karşılaştırmadır.

Kesme metotlarının mukayeseni yapan pek çok çalışma mevcuttur. Bunlar incelendiğinde malzemeye göre farklı sonuçlar ortaya çıkmıştır. Powell ve arkadaşları, Lazer ve AWJ nin ekonomik boyutunu karşılaştıran bir araştırma yapmışlardır. Çalışmalarında, her iki metodun teknik ve ticari avantajları ile dezavantajlarını tartışarak iki işleme sürecinin bağıl verimliliği üzerinde yoğunlaşmışlardır [Akkurt, 2002].

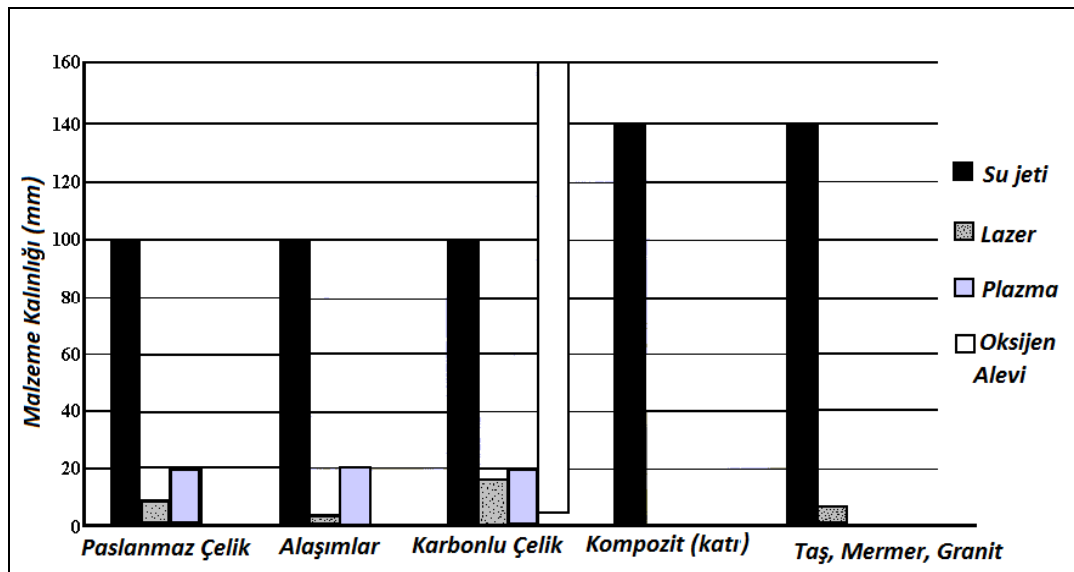
Ohlsson ve arkadaşlarının, AWJ ile kesmede; basınç, aşındırıcı debisi ve yanal hızın, çelik ve gri dökme demir için, kesme derinliği ve yüzey özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır [Öjmertz, 1997].

Zheng ve arkadaşları, Kalite ve işletme maliyeti temeline dayanan karşılaştırmalar yaparak, hangi tip uygulamalar için hangi yöntemin daha uygun olduğu konusunda, kullanıcıların bir yargıya varabilmelerini hedeflemişlerdir. Farklı kalınlıklarda paslanmaz çelik, yumuşak çelik ve alüminyumun kesilmesiyle bir karşılaştırma yapılmasını hedeflemişlerdir [Powell ve ark., 1995].



Şekil 4.4. İşleme metotlarının güç seviyelerine bağlı hacimsel talaş kaldırma oranları [Hashish, 1991].

Hashish'in ve Schreiber'in, lazer ve aşındırıcılı su jeti ile kesmenin mekanik özelliklerini tartıştıkları çalışmalarda, her iki yöntemin de eşsiz kesme kabiliyetlerini ve karakteristiklerini tartışmışlardır. Her iki yöntemden birini seçmeden önce, kullanıcıların her iki tekniğin performansına olduğu kadar bitmiş ürünü nasıl etkilediğine de dikkat etmesi gerektiğine dikkat çeken araştırmacılar, titanyum alaşımı (Ti-6Al-4U) ile çelik (A286) malzeme üzerinde her iki metodun mekanik etkilerini değerlendirmişlerdir [Zeng ve ark., 1991].



Şekil 4.5. Malzeme kalınlıklarına göre kesme yöntemlerinin karşılaştırılması [Hashish, 1988].

Bunlar gibi birçok araştırma yapılmış, halende yapılmaktadır. Çünkü bu yöntemlerin birçoğunda uygun değer parametreler halen tam olarak tespit edilememiştir. Aşındırıcılı su jetinin üstünlüğünü ortaya koyacak en iyi veri aşağıda verilen grafiklerde olsa gerek. Şekil 4.5. de kesme işleminde en yoğun kullanılan yöntemlerin genel bir karşılaştırması verilmiştir. Ayrıca malzeme kalınlıklarına göre yöntem kabiliyetlerini gösteren grafik Şekil 4.5. de, genel bir karşılaştırma ise Çizelge 4.1. de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kesme yöntemlerinin genel karşılaştırılması [Öjmertz, 1997]

Farklı Kesme Yöntemlerinin Karşılaştırılması								
Karşılaştırma Faktörü	Aşındırıcılı Su Jeti	Lazer Kesim	Plazma Kesim	Su Altı Plazma Kesim	Tel Erozyon	Freze de Kesme	Hidrolik Testere	Oksijenle Kesme
Malzeme Kalınlığı	A	C	B	B	A	B	B	A
Kesme Kalitesi	A	A	C	B	A	B	B	C
Yanal İlerleme Hızı	B	A	B	B	B	B	A	B
Çok Amaçlı Kullanım	A	D	B	B	B	B	B	C
Hassas Kesme	A	A	B	B	A	A	C	D
İkinci İşlem Gereksinimi	A	B	B	B	B	B	C	C
Çapak (Cüruf) Oluşumu	B	C	C	C	A	B	D	B
Üretim Esnekliği	A	B	C	C	B	A	C	D
Toplam İşleme Zamanı	B	B	D	D	B	B	A	C
A : Mükemmel B : İyi Edilemez C: Kabul Edilebilir D : Kabul								

Kesme teknolojisindeki gelişmelerle birlikte, imalata hazırlık ve özellikle son işlem uygulamalarında elde edilen yüzey özellikleri büyük öneme sahiptir. Kesme yöntemlerindeki işleme kalitesi genel olarak; malzeme özelliklerindeki değişim, kesme kenar deformasyonu, elde edilen yüzey özellikleri ve kesilen kanalın geometrisi ile karakterize edilmektedir. Kesme işleminde birçok yöntemin yaygın kullanımı, beraberinde hangi malzemenin hangi yöntemle kesilmesi daha verimli olmaktadır vb. sorulara gündeme getirmektedir. Burada temel hedef, yöntemler farklı da olsa en hızlı, en kaliteli, en ucuz ve kesme kenarları ile çevresini en az deforme

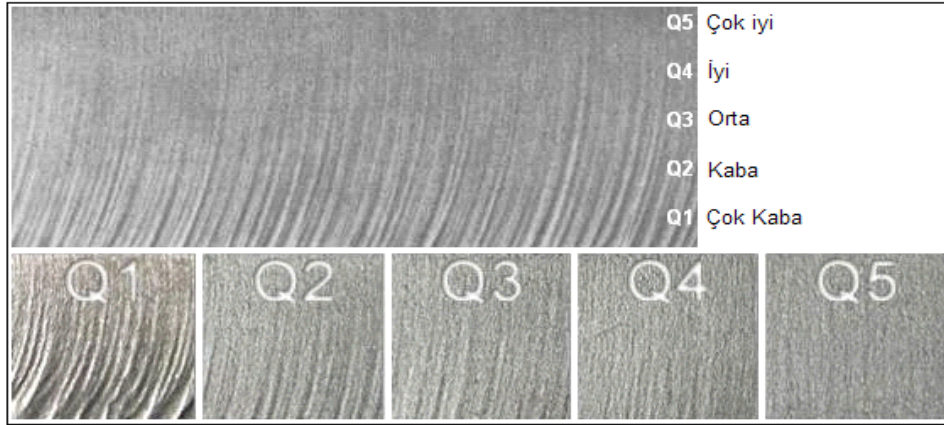
edecek yöntemi bulmaktır. Çoğu zaman bu kriterlerden biri veya bir kaç göz ardı edilebilir [Akkurt, 2002].

Kesme yöntemlerinin yüzyılı aşan gelişim süreçlerine karşın bilinen bazı uygulama sınırlamaları ve zayıflıkları yeni yöntem arayışlarını kaçınılmaz kılmıştır. Geleneksel kesme sistemleri olarak bilinen (oksijen alevi, testere ve frezede kesme vb.) yöntemlerin dışında bulunmuş olan yeni kesme yöntemlerinin (aşındırıcılı su jeti, lazer, plazma, su altı plazma, tel erozyon vb.) de birçok sınırlamaları ve uygulama içindeki zayıflıkları mevcuttur. Söz konusu olumsuzlukları tümüyle ortadan kaldırmak mümkün görülmemektedir. Bu yöntemler işleme ilkelerinin farklı olması ve tasarım mühendisliğine sağladıkları olanaklar ile günümüz ekonomisinde çok önemli etkisi olan minyatürleşme, olağanüstü malzemeleri kullanabilme ve esnek üretim olanakları sağlamışlardır [Josef, 1996].

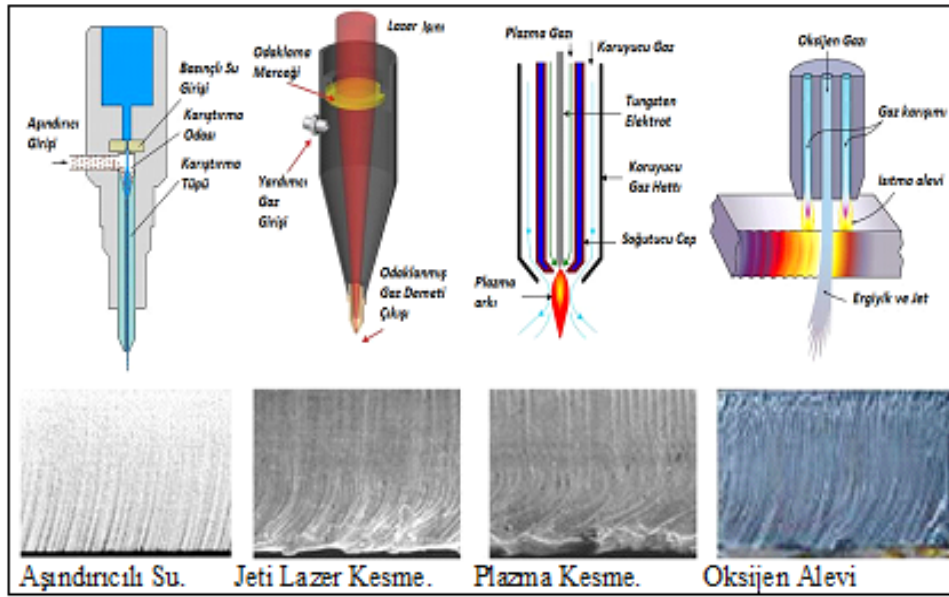
Herhangi bir yöntemle yapılan kesme işleminin kalitesi; yüzey pürüzlülüğü, tolerans kontrolü, düzlemsellik, diklik vb. gibi özelliklerin ölçülmesiyle belirlenebilir. Farklı yöntemlerle elde edilen kesik yüzeyleri karşılaştırılırken bu parametreler mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Gelişen teknoloji ile birlikte geleneksel kesme yöntemlerinin yetersizlikleri (kesme kalitesi, kesme hassasiyeti, işlemin tekrar edilebilirliği, zaman vb) bilinmektedir. Bu yüzden en hızlı, en kaliteli ve en düşük yüzey deformasyonunu en az maliyetle elde edebilmek için sürekli yeni yöntemler araştırılmaktadır. Bu araştırmaların sonunda yeni birçok yöntem bulunmuş ve uygulanmaktadır. Bu yöntemlerden her geçen gün yaygın bir kullanıma sahip olan jet esasına (akışa) dayalı kesme yöntemleri (Şekil 4.6) en fazla tercih edilen yöntemlerin başında gelmektedir. Jet akışına dayalı bu yöntemlerin hepsinde (aşındırıcılı su jeti, lazer, plazma ark, elektron ışını vb.) elde edilen yüzeyler paralel hatlar şeklindedir. Ancak yüzey mikro düzeyde incelendiğinde, her bir yöntemde etkin olan kesme mekanizması farklı olduğundan, yüzeyin mikro özellikleri birbirinden farklılık gösterir [Josef, 1996].

Jet akışına dayalı bu yöntemlerde elde edilen yüzeyin kalitesi, kesme uzunluğunun her bir birimi için harcanan gücün artırılmasıyla geliştirilebilir. Jet basıncının

arttırılması, yanıl ilerleme hızının düşürölmesi ile daha kaliteli yüzey elde edilir [Hashish, 1991]. Jet akışına dayalı kesme ile elde edilen bir yüzeyin kalite bölgeleri Resim 4.7. da görölmemektedir.



Resim 4.7. Kesme ile elde edilen bir yüzeyin kalite bölgeleri [Akkurt 2002].



Şekil 4.6. Kesilerek elde edilen yüzey ve kalite bölgeleri [Schreiber, 1992].

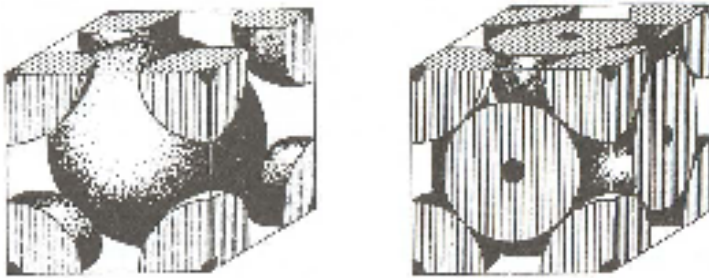
Jet akışına dayalı bu yöntemlerde elde edilen yüzeyin kalitesi, kesme uzunluğunun her bir birimi için harcanan gücün arttırılmasıyla geliştirilebilir. Jet basıncının arttırılması, yanıl ilerleme hızının düşürölmesi ile daha kaliteli yüzey elde edilir [Öjmertz, 1997].

5. ÇELİK MALZEMELER

Günümüz endüstrisinde en geniş kullanım alanı bulan mühendislik malzemeleri, demir esaslı alaşımlardır. Demir, üretim şekli itibariyle yapısında daima karbon bulundurur. Ayrıca mangan ve silisyum da bulunur. Bu elementler kullanılacak malzemenin özelliğine göre azaltılır veya dışarıdan ilave edilebilir. İhtiva ettikleri karbon miktarına göre demirler üç gruba ayrılır:

%0.02'den az karbon ihtiva eden saf demir, % 0.02 - % 2.06 karbon ihtiva eden çelik ve % 2.06 - % 4,5 karbon ihtiva eden dökme demir. Demir, içerisinde ağırlık olarak en çok % 6.67 oranında karbon bulundurabilmekte ise de % 4,5'ten fazla karbon ihtiva eden bir malzemenin kullanım alanı hemen hemen yoktur.

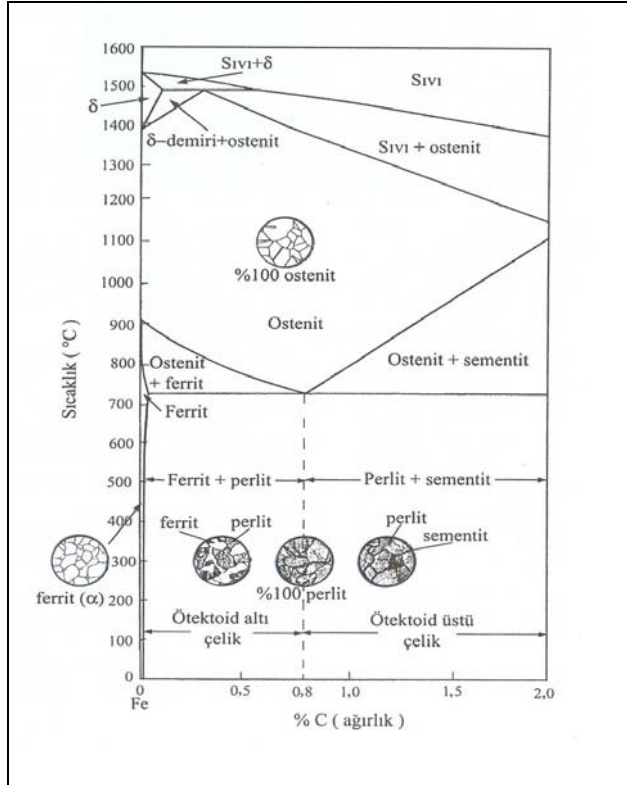
Saf demir belirli sıcaklık aralıklarında farklı kristal yapıları fazlarda bulunur. Buna allotropi denir. Demir alaşımlandırıldığında bu allotropik yapısını muhafaza eder, ancak dönüşüm sıcaklıkları alaşımlandırma durumuna göre değişir. Saf demirin kristal yapısı üzerinde yapılan çalışmalar, 910–1400 °C arasındaki sıcaklıklarda hacim merkezli kübik, bunun altındaki ve üstündeki sıcaklıklarda ise yüzey merkezli kübik yapıları olduğunu göstermiştir (Şekil 5.1). Demir ayrıca 768 C'nin üstündeki sıcaklıklarda manyetik özelliğini kaybeder.



Şekil 5.1. Hacim merkezli ve yüzey merkezli kübik yapılar [Megep Yayınları, 2006].

Demirin en önemli ve en geniş uygulama alanına sahip alaşımı karbonla yaptığı alaşımdır. Alaşımdaki karbon miktarının alaşım cinsi ve yapısına etkisi denge diyagramı olarak adlandırılan bir diyagramdan izlenebilir. Bu diyagramlar her alaşım

cinsi için farklıdır. Alaşımı oluşturan elementlerin belli ağırlıklarda karıştırılıp eritildikten sonra, oda sıcaklığına ininceye kadar yavaş olarak soğutulması sırasında oluşan içyapıları (Şekil 5.2)’de göstermektedir. Aynı durum oda sıcaklığından ergimeye kadar da incelenebilir. Fakat bu durumda bazı noktalarda farklılıklar görülmektedir



Şekil 5.2. Demir-karbon denge diyagramı çelik bölgesi [Megep Yayınları, 2006].

Çeliğin poliformluk ve alaşımlandırma özelliğinden faydalanılarak çok çeşitli mekanik, fizikî, elektrikî, elektro-kimyevî özellikte çelik malzeme üretilmiştir. Dünyada kullanılan 2000'den fazla çelik çeşidi vardır. Bu çelikler sahip oldukları özelliklere göre makinaların ve yapıların farklı yerlerinde kullanılmaktadır. Bütün bunlar, demire verilmiş olan kristal yapısını değiştirebilme özelliği sayesinde olmaktadır [http://www.sizinti.com. 2009].

Çelik, bir Demir (Fe) Karbon (C) alaşımıdır. C'dan başka farklı oranlarda alaşım elementleri ve empürite (saf olmayan, kirlilik yaratan) elementler bulunur. Çeliğe

farklı özellikler kazandıran içerdiği elementlerin kimyasal bileşimi ve çeliğin içyapısıdır. Çeliğe değişik oranlarda alaşım elementleri katılabileceği gibi, çeşitli işlemler ısı işlemler (ıslah, normalizasyon vb.) ile içyapı da kontrol edilerek kullanım amacına göre değişik özelliklerde çelik elde edilir. Ham demirin içerisinde bulunan %4 ağırlıktaki karbonun çeşitli yöntemlerle %2'nin altına düşürülmesiyle çelikler elde edilir. Çelikler içerisinde $0,1 < C$ Maksimum %2,06 karbon içeren demir karbon alaşımları çelik olarak adlandırılır (Tablo 5.1).

Çizelge 5.1. Demir karbon bileşimi [Ün, 2007].

Demir (Fe) + Karbon (C) = Çelik
$\sum \text{Fe} (\approx 99,7) + \text{C} (0,25-0,4) = \text{Çelik}$

Çelikler halen günümüzde en yaygın kullanılan malzeme grubunu oluşturmaktadır. Çelikler yalın karbonlu olabileceği gibi, çeşitli özelliklerin geliştirilebilmesi için bazı alaşım elementleri içerebilirler [http:www.akçelik. 2009].

5.1. Çeliklerin Temel Özellikleri

Çeliklerin büyük çoğunluğu ısı işlemlere karşı duyarlıdır. Kimyasal bileşimin yanı sıra uygulanan ısı işlemler sonucunda istenen sertlik, mekanik ve fiziksel özellik, elektriksel özellik, korozyona ve yüksek sıcaklığa dayanım özelliklerine tam olarak kavuşturulabilir. Çelikler yapılarının gerektirdiği sıcaklıklara kadar ısıtıldıklarında şekillenme özelliğine kavuşur (haddeleme, baskı, dövme). Ayrıca kimyasal bileşim ve içyapı olarak uygun olan çelikler haddeleme, baskı gibi yöntemlerle soğuk olarak da şekillendirilebilir. Talaş kaldırıcı tezgâhlarda işlenerek, istenilen şekil ve yüzey düzgünlüğüne getirilebilir. Kimyasal bileşim olarak uygun olan çelikler kaynak işlemi ile birleştirilebilir. Çeliklerin büyük bir bölümü çeşitli yöntemler ile metal ile kaplanmaya, emaye yapılmaya, boyanmaya ve plastik maddeler ile kaplanmaya elverişlidir [http:www.akçelik. 2009].

5.2. Çeliklerin Sınıflandırılması

Karbon ve alaşımlı çelik olarak bileşimlerine göre, üretim yöntemlerine göre, son üretim yöntemine göre, ürün şekline göre, kullanım yerleri, üretim programları ve deoksidasyon durumlarına göre, çelik malzemeleri genel sınıflandırma yapmak mümkündür.

5.3. Nitelikli Çelikler

Çeliklere nikel, mangan, silisyum, tungsten, krom gibi maddeler eklenerek alaşımın özellikleri değiştirilir. Sayıları gün geçtikçe artan bu tür çeliklerin en önemlileri şunlardır

5.3.1. Nikelli çelikler

% 2 - % 46 arasında nikel içeren çelikler en çok kullanılan özel çeliklerdir. Alaşımda nikelin varlığı çeliğin dayanımını, sertliğini, düktilitesini ve korozyona dayanıklılığını olumlu yönde etkiler. Motorlarda, kama çivilerinde, türbin, savaş aletlerinde yüksek dayanımı nedeniyle bu tip çelik kullanılır % 36 oranında nikel içeren türü piyasada “*invar*” adı ile satılır ve ölçü aletleri yapımında kullanılır. Yüksek oranda nikel aynı zamanda alaşımın termik genleşme katsayısını düşürdüğünden, bu tür alaşımlar platin yerine teknik işlerde kullanılırlar [Ün, 2007].

5.3.2. Nikel kromlu çelikler

% 1.5 – 2 oranında krom varlığı nikelli alaşımın sertlik ve çekme dayanımını artırır. Mermi, zırh, bilya ve bilya yatakları, köprü askı zincirleri ve değişik aletlerin yapımında bu tür alaşımlar kullanılır. Daha yüksek oranlarda krom varlığı alaşımın korozyona dayanıklılığını artırır. % 18 Cr, % 8 Ni ve % 15 C içeren *paslanmaz çelik* denilen bu tür çelik, mimari uygulamalarda mobilyacılıkta, kaplama işlerinde her tür korozyon ortamında ve yüksek sıcaklıklarda ($T > 300\text{ }^{\circ}\text{C}$) bozulmadıklarından sık kullanılır [Ün, 2007].

5.3.3. Kromlu çelikler

Krom alaşımın korozyona dayanıklılığını artırır. Bu arada çekme dayanımı ve sertlikte artar, ancak düktilite azalır. Krom oranı % 12–15 arasındaki kromlu çeliklerin Brinell sayısı 750 mertebesinde bulunur. Ayrıca kesme, delme aletlerinde kullanılan sert ve keskin olan tungstenli çelikler; yay, zemberek yapımında kullanılan silisyumlu çelikler (silisyum metalin elastisite özelliğini artırır) ve ray yapımında kullanılan aşınmaya dayanıklı manganlı çelikler vardır. % 12 - % 15 Mn varlığı çarpmalara karşı dayanımı büyük ölçüde arttırdığından, tren parçaları, kırıcı ve ezici makine parçaları yapımında manganlı çelik alaşımları kullanılır [Ün, 2007].

5.3.4. Molibdenli çelikler

Mo az oranda Ni ve Cr gibi elementlerin yardımıyla tanelerin incelmeye yaradığından alaşımın kırılabilirliğini azaltır. Bu tür çelikler sıcakta bile sertliklerini ve keskinliklerini korurlar. Perçin ve kaynak işlerinde kullanılırlar. Aynı özellik krom-vanadyumlu çeliklerde de vardır. Bu tip çeliklere çok keskin çelikler “ekstra çelik” adı verilir [Ün, 2007].

5.4. Karbon (C)

Çeliklerin temel alaşım elementi olan karbon, çeliklerin üretim işlemleri sırasında yapıdaki yerini alır. Karbon miktarı, çeliklerin mekanik özelliklerini en çok etkileyen faktördür. Karbon, çeliğin akma ve çekme mukavemetini artırır, yüzde uzamayı, şekillenebilirliği ve kaynak kabiliyetini azaltır. İşlenebilirliğin ön planda olduğu çeliklerde karbon miktarı düşük tutulmalı, dayanım değerlerinin yüksek olması gerektiği durumlarda ise çeliğin karbon içeriği yüksek olmalıdır [www.akçelik.2009].

Çelikler içerisindeki karbon bileşimine göre farklı özellikler gösterirler. Az karbonlu çelikler genel amaçlar için kullanılan en ucuz çelik türüdür. Sünekliği yüksektir, kolay işlenir ve su verme ile sertleşmez. Orta karbonlu çelikler genellikle daha

yüksek mukavemetli olup su verme ile sertleşebilirler. Yüksek karbonlu çelikler çok sert olup işlenmesi zordur. Genellikle takım ve kalıp üretimine elverişlidir. Çeliğin bünyesinde karbonun haricinde çeşitli alaşım elementlerinden belirli oranlarda katarak daha yüksek dayanımlara ve ısıya, soğuğa, korozyona daha dayanıklı yapılar elde edilebilir [<http://www.kucuklercelik.2009>].

Karbon çelikte başlıca sertleştirici etkisi olan elementtir. Karbon miktarındaki her artış, çeliğin sıcak haddeleme ve normalize edilmiş halindeki sertlik ve çekme dayanımını artırır. Fakat esnekliğini, dövülme, kaynak edilme ve kesilme özelliğini zayıflatır. [<http://www.celikmil.2009>]

5.4.1. Karbonlu çelikler

Mn, Si gibi alaşım elementlerinin bir veya ikisinin çeliğin içindeki değerleri, en az Mn %1,65 – Si %0,60 geçmiyor ve kimyasal bileşiminde başka herhangi bir alaşım elementinin belirli bir miktarda (en az) bulunması istenmiyorsa bu çelikler, karbonlu çelikler sınıfına girer [<http://www.celikmil.2009>]

Düşük karbonlu çelikler

Düşük karbonlu çelikler en fazla % 0.25 mertebelerinde karbon içerirler. Bunlar diğer türlere kıyasla en fazla duktıl, buna karşın en düşük dayanım ve sertliktedirler. Bu tip çelikler, büyük duktilite ve işlenebilirlik gerektiren yerlerde kullanılırlar. Örneğin, otomobil gövdesi, ince saç levha, çivi, perçin, betonarme donatısı, profil eleman malzemesi üretiminde kullanılırlar [Ün, 2007].

Orta karbonlu çelikler

% 0.3 - % 0,5 oranında karbon içeren orta karbonlu çelikler ise; demiryolu rayları, tren ve tekerlekleri, dingil şaftları ve yüksek nitelikli betonarme donatısı gibi sertlik ve yüksek dayanım gerektiren yerlerde kullanılır. Karbon içerikleri martensit

oluşumuna izin vermesi nedeniyle ısıtma işlem ve tavlama yoluyla özellikleri düzeltililebilir [Ün, 2007].

Yüksek karbonlu çelikler

% 0.55 - % 0.95 arasında karbon içeren yüksek karbonlu çelikler, en sert, en dayanıklı ancak en az duktıl olan türdür. Isıl işlemlere en iyi bu tür yanıt verip, gereken işlemlere tabi tutulduktan sonra istenen niteliğe getirilebilir. Bu tür çelikler, değişik özellikli tellerin, savaş araçlarının, keskin bıçakların vb. yapımında kullanılır. Kaynak işlemi bu tip çeliklerde yerel sertleşme ve düktilite kaybına yol açabildiğinden kaynaklama sırasında dikkatli olunması gerekir. Çeliklerin içinde doğal olarak bazı yabancı maddeler bulunabilir (En çok Mn % 0,6-% 0,7, Si % 0.05 - % 0.45, S % 0.02 - % 0.04, P % 0.011–0.032 oranlarında bulunabilir). Bunlar yukarıda belirtilen sınırlar içinde kalırsa, alaşımın mekanik davranışını pek etkilemezler. Ayrıca Mn oranının artması dayanımı olumlu yönde etkiler. Ancak kükürt çeliğin kırılganlığını artırır, bu nedenle iyi bir çelikte oranı % 0.04'ü geçmemelidir [Ün, 2007].

5.4.2 Demir karbon alaşımlarının isimlendirilmesi

Karbon oranı % 0,2 den az olan Fe–Fe₃C alaşımlarına yumuşak demir adı verilir. Karbon oranı % 0,2 - % 1,7 arasında olan Fe–Fe₃C alaşımlarına çelik denir. Karbon oranı % 1,7'den büyük olanlarına ise dökme demir (Font) denilir [Ün, 2007].

Font

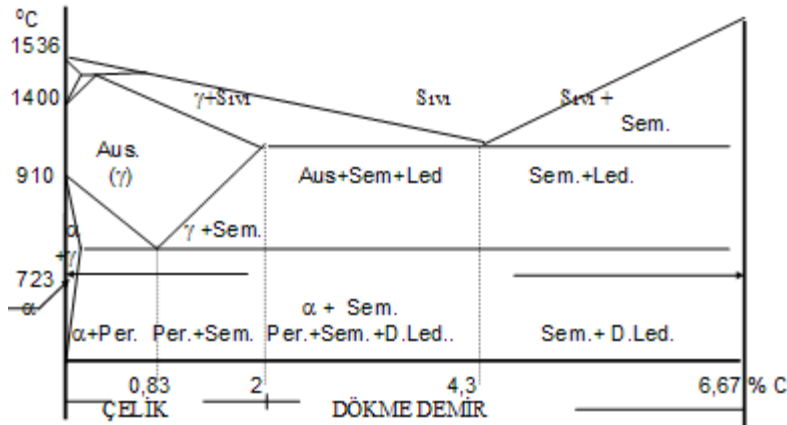
% 1.7 - % 5 karbon içeren demir alaşımlarına font veya dökme (pik) demir denir. Bu doğrudan doğruya yüksek fırın ürünü olan ham demirden başka bir şey değildir. Bu tür alaşımlar genelde fazla sert olduklarından yapılarda kullanılmaya uygun değildir. [Ün, 2007].

Beyaz font

Kömür (kok) oranı ve dolayısıyla fırının sıcaklığı düşük olup (1300°C) metal çabuk soğursa adi beyaz font elde edilir. Sementit ve perlitten oluşan içyapısında birleşik halde % 3–3,5 C ve % 0,5–1 Si vardır. Adi fontların sertliği ve basınç dayanımları fazladır. Ancak darbelere karşı dayanıksız ve kırılgandır. İşlenmeğe, döküm, kalıp işlerine uygun değildir. Bu nedenle daha çok arıtılarak demir ve çelik elde edilmesinde kullanılır [Ün, 2007].

Esmer font

Kok miktarı fazla olursa buna bağlı olarak fırının altındaki sıcaklık artar (1900°C). Yavaş soğuma sağlanırsa karbonun önemli bir kısmı sementitten grafitte dönüşerek pul pul ince yapraklar şeklinde kütlenin içine yayılır ve esmer font elde edilir. Bu font beyaz fonta kıyasla daha hafif, darbeye çok daha dayanıklı ve yumuşaktır. Yüksek fırından çıkarken kalıplara dökülür ve işlenmeğe elverişlidir. Beyaz font 770°C civarında bir sıcaklıkta bir süre ısıtılarak yani bir tür tavlama işlemine sokularak yumuşatılabilir. Bu işlem sonucunda yapıda grafit oluşur ve font esmerleşir. Ancak bu grafit adi esmer fontun yapısındaki pul pul olan grafitten farklı olarak ince tanecikler halindedir. Bu nedenle bu tür font en az kırılgandır ve işlenmeğe en elverişlidir (Şekil 5.3) [Ün, 2007].



Şekil 5.3. Çelik-karbon diyagramı [Megep Yayınları, 2006].

Mavi gevreklik

Yumuşak çelikler 270–350 0C arasında şekillendirilirlerse küçük çaplı atomlar hızlı bir şekilde yayılır. Yayınan atomlar dislokasyonları kilitleyerek malzemenin akma sınırı noktasını yükseltir. Dolayısıyla malzeme daha gevrek davranır. Sözü edilen sıcaklıklar arasında çeliğin aldığı renk mavi olduğu için bu olaya mavi gevreklik denir. Düşük karbonlu yumuşak çeliklerin şekillendirilmesi sırasında meydana gelebilecek en önemli problem mavi gevrekliktir. Bu olay karbon (ve/veya azot) atomlarının küçük çaplı olması nedeniyle kolay yayılmalarından kaynaklanır ve işleme sırasında kırılabilirlik yaratır [<http://www.akcelik.2009>].

5.5. Alaşım

Karbonlu çeliklerin normal olarak sağlanamayan kendine has özellikleri kazanmak için, bir veya birden fazla alaşım elementi katmak suretiyle yapılan çelikler alaşımlı çeliklerdir. Alaşımlı çeliğin, alaşım elementlerinin alt ve üst limit değerleri arasındaki fark çok az olup, alaşım elementi sayısı arttıkça, alınacak dökümlerde uygun olmayanların sayısı fazlasıyla artar. Alaşımlı çelik ingot ve kütüklerin gerek yüzünde gerekse içinde meydana gelmesi muhtemel çatlamalara neden olmaması için, özel kuyu ocaklarında ağır ağır soğutulur. Ayrıca haddeleme ve dövme işlemlerinden önce son olarak hatalar giderilir. Bu nedenlerden ötürü alaşımlı çelik yapımı, karbonlu çeliklere kıyasla daha zordur [<http://www.celikmil.2009>]

Bir metale belirli özellik sağlamak için en az bir başka elementin (metal veya ametal) kasıtlı olarak eklenmesi ile elde edilen metal karakterli bir malzemedir. Örneğin, çelik (demir ve karbon) metal olmayan bir elemanı içeren bir alaşımdır. İlave edilen element, kristal içinde ya katı çözeltili veya ara bileşikler halinde bulunur. Alaşımda fazla miktarda olan metale asıl metal adı verilir. Alaşımı elde etmek için bu metale karıştırılanlara da alaşım elemanları denir [Ün, 2007].

Makina parçaları, genellikle yüksek sıcaklık ve korozyon özelliği olan ortamlarda çalışırlar. Alaşımsız çelikler, özelliklerini yüksek sıcaklıklarda kaybederler. Bu

olumsuzluk, çeliğe katılan alaşım elementleri ile asgari seviyelere indirilmeye çalışılır. Özelliklerin iyileştirilmesi veya istenen özelliklerde malzeme elde etme amacıyla alaşımlar geliştirilmiştir. Alaşımlar saf metallere göre daha iyi mekanik özelliklere sahiptirler. Uygulamada çoğunlukla mekanik özelliklerinin düşüklüğü nedeniyle saf metaller kullanılmaz [Ün, 2007].

5.5.1. Düşük alaşımlı çelikler

Alaşım elemanlarının ağırlık olarak toplam miktarı %5 veya %5' ten az çeliklerdir. Bu çeliklerin kısa işaretindeki ilk rakam Karbon miktarının 100 katı olup, bu sayıdan sonra alaşım elementi veya elementlerinin sembolleri ile daha sonraki sayı ve sayılarla da alaşım elementinin yüzde olarak ağırlıkları verilmektedir. Bu sayılar aşağıdaki alaşım elementi çarpanına bölünerek o elementin yüzde ağırlığı bulunur

Cr, Mn, Si, Ni, Co, W için "4"

Al, Cu, Pb, Mo, V, Ti, Zr, T için "10"

Örnek: 41Cr4

41 sayısı; $41/100 = 0,41$ ortalama % C miktarını,

4 sayısı; $4/4 = 1$ ortalama % Cr miktarını ifade eder [www.Akçelik]

5.5.2. Yüksek alaşımlı çelikler

Alaşım elementlerinin ağırlık olarak toplam miktarı %5'ten fazla olan çeliklerdir. Yüksek alaşımı belirlemek için tüm ifadenin başına bir "X" işareti konulmuştur. "X" harfinden sonra gelen sayı ortalama C miktarının 100 katıdır. Bu sayıdan sonra alaşım elementlerinin sembolleri ile bunların yüzde olarak ağırlıklarının miktarları verilir. Tüm alaşım elementlerinin çarpanları "1" olarak kabul edilir

Örnek: X20Cr13;

20 sayısı; $20/100 = 0,20$ ortalama % C miktarını,

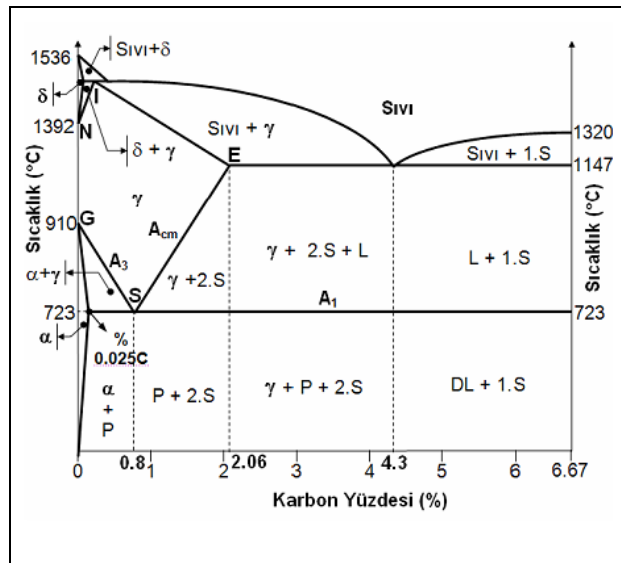
13 sayısı; $13/1 = 13$ ortalama % Cr miktarını ifade eder.

5.5.3. Alaşım elementlerinin çelik yapısına etkisi

Alaşım elementlerinin çeliklere iki önemli etkisi vardır; bunlar;

- A. Alaşım elementleri esas metalle katı bir çözelti oluşturabilirler ve bu çözelti genelde tok fakat sünektir.
- B. Ana metalle (birbirleri ile) bileşim oluştururlar, bileşim kırılganlığı, sertliği iyileştirir.

Alaşımli çeliklerde kullanılan elementlerin çoğu birbirinin yerine geçecek katı çözeltiler oluştururlar. Yani kafes hücreesindeki bir veya daha fazla atom yer değiştirebilir. Bu durum alaşımın vuruş ve çekme dayanımını artırır. Düşük karbonlu çelikler ferrit fazında ise, malzemenin sünekliğinde hiçbir azalma olmaksızın dayanımı artar. Süneklikte kayıp olmadan dayanım ve toklukta iyileştirme imkânları vermesi alaşım elementlerinin, çeliklere ilavelerinin en önemli etkilerinden biridir. Alaşım elementleri, demir-karbon termal denge diyagramında dönüşüm sıcaklıklarını da değiştirir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Demir, karbon ve sıcaklığa bağlı faz değişimleri [Ün, 2007].

Elementlerin çoğu oda sıcaklığında östenit olduklarından, yüzey merkezli kübik kristalleri etkilemektedirler. Elementler birbiri içinde çözünerek, yüzey merkezli kafes yapısına sahip olurlar. Böylece alaşım elementleri F.C.C. (gama) fazından, B.C.C. (ferrit) fazına ters yönde dönüşüm yaparlar. Alaşım elementleri östeniti dengeleyip, mevcut sıcaklık aralığını arttıracaklardır. Bundan dolayı elementlerin çoğunda denge oluştuğundan, östenit karbid oluşturmak için mevcut karbon ile reaksiyona girmez. Karbon östenit içinde katı çözelti olarak kalmaya meyillidir. Bu durum A3 dönüşüm sıcaklığındaki baskıyı daha ileri seviyeye götürmeye yardım eder. Alaşımlarda yeterli miktarda alaşım elementleri mevcut olduğu takdirde, gama fazı oda sıcaklığında dengeli hale gelebilir [www. Vikipedi.2009].

Alaşımli çeliklerin büyük bir kısmı sadece bir tek alaşım elementi değil, iki veya daha fazlasını içerirler. Burada karbon alaşım elementi olarak sayılmaz. Si ve Mn'da her çelikte bulunduğu için miktarları % 0,5 Si ve % 0,8 Mn 'ı geçerse alaşım elementi sayılırlar [http:www.celikmil.2009]

Alüminyum (Al)

Oksijen gidermek için kullanılır. Akma dayanımını ve darbe tokluğunu arttırıcı etki gösterir. Yüksek alüminyum miktarı sürekli dökümlerde nozul tıkanmalarına sebep olur. Ayrıca alüminyumun tane küçültücü etkisi vardır, nitrasyon çeliklerinin temel alaşım elementidir. Bazı mikro alaşımli çeliklerde de nitrür ve karbonitrür oluşturan mikro alaşım elementi olarak da kullanılır [http:www.akçelik.2009].

Azot (N)

İstenmeyen bir elementtir. Azot kırılganlığına neden olur, eğme özelliklerini çok kötüleştirir [http:www.akçelik.2009].

Bakır (Cu)

Alaşıma % 0,5'e kadar bakır ilavesi, alaşım çeliklerinin korozyon direncini geliştirmektedir [[www. Vikipedi.2009](http://www.Vikipedi.2009)].

Fosfor (P)

Fosfor çeliğin akma ve çekme dayanımını artırır, yüzde uzamayı ve eğme özelliklerini çok fazla kötüleştirir, soğuk kırılmalık yaratır, talaşlı şekillendirme kabiliyetini artırır. Fosfor çelik içinde üretim işlemlerinden kalan bir elementtir ve istenmeyen özellikleri nedeniyle mümkün mertebe yapıdan uzaklaştırılır. Kaliteli ıslah çeliklerinde maksimum fosfor miktarı %0.045, asal ıslah çeliklerinde ise %0,035 dir [[http:www.akcelik.2009](http://www.akcelik.2009)].

Krom (Cr)

Krom, çeliğin dayanım özelliğini arttıran fakat buna karşılık, esnekliğini çok az bir dereceye kadar eksi yönde etkileyen bir alaşım elementidir. Krom, çeliğin sıcağa dayanımını artırır. Kabuk –tufal- yapmayı önler. İçinde yüksek oranda krom bulunması; çeliğin paslanmaya karşı dayanımını artırır. Kromlu paslanmaz çeliklerde krom oranı arttıkça, kaynak edilebilme yeteneği azalır. Krom, dengesi çabuk bozulmayan karbürü meydana getirir. Çelikte beher %1 oranındaki krom yüzdesi artışına karşılık, çekme dayanımında yaklaşık olarak 8–10 kg/mm²'lik bir artış görülür. Aynı oran içinde olmamakla beraber, akma dayanımı yükselirse de çentik dayanımı düşer [[http:www.celikmil.2009](http://www.celikmil.2009)].

Kromun çeliğe sertlik ve aşınma dayanımı kazandırdığı söylenirken şüphesiz %2 C ve %12 Cr'lu takım çeliği göz önünde tutulmuştur. Çünkü bu çelik sertleştirme işleminden sonra gerçekten sert ve aşınmaya dayanıklı bir yapıdadır. Bununla beraber eğer %0.10 C ve %12 Cr'lu çelik seçilirse elde edilen sertlik çok yüksek olmaz.

Nikel (Ni)

Nikelin darbe tokluğunu ve tavlı çeliklerde dayanımı artırır. Nikel östenitik paslanmaz çeliklerin kromdan sonra ikinci en önemli alaşım elementidir. Östenitik paslanmaz çeliklerde ki nikel miktarı %7–20 arasındadır. Nikel östenit kararlaştırıcı bir elementtir ve östenitik paslanmaz çeliklerin, adından da anlaşılacağı gibi oda sıcaklığında bile kafes yapısı KYM dir. KYM kafes yapısı östenitik paslanmaz çeliklere yüksek şekillendirilebilme özelliği kazandırır. (akçelik) Nikel; çeliğin dayanımını silisyum ve mangana kıyasla daha az artırır. Çelikte nikel, özellikle kromla birlikte bulunduğu zaman, sertliğin derinliklere inmesini sağlar. Krom nikelli çelikler paslanmaz, kabuklaşmaya ve ısıya dayanımlıdır. Özellikle düşük sıcaklıklarda, makine yapım çeliklerinin çentik dayanımını artırır. Nikel, ıslah ve sementasyon çeliklerinin dayanımını arttırdığı gibi, istenen yapıdaki çelikler, paslanmaya ve kabuklaşmaya dayanımlı çelikler için, uygun bir alaşım elementidir. [http:www.celikmil.2009].

Kobalt (Co)

Çeliğin ısı-ışıl işlem dönüşümünün yavaşlamasına neden olurken, takım çeliklerinin yumuşatma olmaksızın yüksek sıcaklıklarda çalışabilme kabiliyetini geliştirir. Kobalt süper hava çelikleri için çok önemli bir alaşım elementidir [www. Vikipedi.2009].

Kurşun (Pb)

Haddelenebilirliği azaltır. Haddeme esnasında kopmalara neden olur, yüzey kalitesini olumsuz yönde etkiler. Sürekli dökümlerde sorunlara sebebiyet verir. Kurşun çeliklerin talaşlı şekillendirme kabiliyetine artırır, bu yüzden otomat çeliklerinde alaşım elementi olarak kullanılır [http:www.akçelik.2009].

Kükürt (S)

Kükürt çeliğin üretiminden kalan bir elementtir ve akma ve çekme mukavemetine etkisi yok denecek kadar azdır. Kükürt malzemenin tokluğunu ve sünekliğini önemli ölçüde azaltır. Ayrıca kaynak kabiliyetini kötü yönde etkiler [[www.Akçelik](http://www.akcelik.com)].

Kükürt, çeliği kırılgan yapar ve haddelenmesini güçleştirir. Çeliğin işlenebilme özelliğinin artırılması söz konusu olmadığı hallerde, fosfor gibi istenmeyen yabancı maddeler olarak kabul edilen bir elementtir. Normal olarak müsaade edilen miktar en çok %0,025–0,050 arasında sınırlandırılır [[http:www.celikmil.2009](http://www.celikmil.2009)].

Vanadyum (V)

Vanadyum; çok düşük miktarda kullanıldığında çeliğin ısıya dayanımını artırır. Vanadyum, alaşımlı makine yapı çelikleri tane yapısının ince olmasını ve fiziksel özelliklerinin gelişmesini sağlar. Aynı zamanda çelik kesici uçlarının, daha uzun zaman keskin kalmasını sağlar. Genellikle alaşımlı makine yapım çeliklerinde bulunan vanadyum miktarı %0,03–0,25 arasında değişir. Karbür yapmaya karşı kuvvetli bir eğilimi vardır. Çeliğin çekme ve akma dayanımını artırır. Makine yapım ve sıcak iş çeliklerinde özellikle vanadyum krom, hava ve makine yapım çeliklerinde volframla birlikte kullanılır [[http:www.celikmil.2009](http://www.celikmil.2009)].

Kalay (Sn)

Akma ve çekme dayanımlarını pek etkilemez, fakat sıcak haddelemelerde sorunlar yaratır. Kalay düşük ergime sıcaklığına sahip bileşikler yaparak haddeleme sırasında kopmalara neden olur [[http:www.akcelik.2009](http://www.akcelik.2009)].

Mangan (Mn)

Mangan da karbon gibi üretim işlemlerinde çelik yapısında yer alan bir elementtir ve çeliğin dayanımını arttıran etki gösterir. Bunun yanında sertleşebilme ve kaynak

kabiliyetini de artırır, östenit kararlaştırıcı bir elementtir. Manganın en önemli özelliği kükürtle MnS bileşiği yapması ve demir kükürt FeS bileşiği oluşumunu engellemesidir. FeS sıcak kırılmalığa neden olur [<http://www.akcelik.2009>].

Mangan, çeliğin dayanımını geliştirici bir alaşım elementidir. Esnekliğini az miktarda azaltır. Dövmeye ve kaynak edilme özelliğine olumlu etkide bulunur. Manganın, sertlik ve dayanımını arttıran özelliği, karbon miktarına bağlıdır. Manganın yüksek karbonlu çeliklerdeki etkisi, düşük karbonlu çeliklere oranla daha fazladır, paslanmaya (korozyona) olan dayanımını geliştirir [<http://www.celikmil.2009>].

Niyobyum (Nb)

Mikro alaşımlı çeliklerde tane küçültme etkisi en yüksek olan mikro alaşım elementidir. Paslanmaz çeliklerde titanyumun yaptığı etkiye yapar ve titanyumla birlikte veya tek başına kullanılır [<http://www.akcelik.2009>].

Molibden (Mo)

Tane büyümesini önler, sertleşebilme kabiliyetini artırır. Meneviş gevrekliğini giderir. Meneviş sıcaklığından yavaş soğumalarda bazı alaşımların tane sınırlarında karbür çökmesi meydana gelir, bu da kırılmalığa neden olur. Molibden bu olumsuz etkiyi ortadan kaldırır. Ayrıca molibden çeliklerin sürünme dayancına ve aşınma direncini yükseltir. Alaşımlı takım çeliklerinde önemli bir alaşım elementidir. Paslanmaz çeliklerde özellikle oyuklanma korozyonunu engellediği için korozyon direncini önemli ölçüde artırır. Bazı mikro alaşımlı çeliklerde nitrür veya karbonitrür oluşturan alaşım elementi olarak molibden kullanılır [<http://www.akcelik.2009>].

Molibden; çeliğin çekme dayanımını özellikle ısıya dayanımıyla kaynak edilme özelliğini artırır. Yüksek miktarda molibden, çeliklerin dövülebilmesini güçleştirir. Molibden, kromla birlikte daha çok kullanılır. Molibdenin etkisi volframa benzer. Alaşımlı çeliklerde molibden; krom nikelle birlikte kullanıldığında, akma ve çekme

dayanımını arttırır. Molibden kuvvetli karbür meydana getirdiğinden, hava ve sıcaklık çeliklerinde, ostenitik pası dayanımlı çeliklerde, sementasyon, makine yapım çelikleriyle ısıya dayanımlı çeliklerin yapımında kullanılır [<http://www.celikmil.2009>].

Hidrojen (H)

Hidrojen gevrekliğine neden olur. Azottan daha tehlikelidir. Malzemenin elastikiyetini azaltır [<http://www.akcelik.2009>].

Silisyum (Si)

Silisyum oksijen giderici olarak kullanıldığı için çelik içinde yer alır. Çeliğin akma, çekme dayanımını ve elastikiyetini artırır. Çelik yapısındaki silisyum miktarı azaldıkça tufal yapma oranı artar, yaygın olarak yüksek elastikiyet gerektiren yay çeliklerinde kullanılır, elektriksel akım zaiyatını önleyen bir elementtir, silisyum, malzeme tel haline getirilirken teli sertleştirir ve kopmalara neden olur. Filmaşinlerde bu yüzden düşük silisyum tercih edilir [<http://www.akcelik.2009>].

Silisyum çelik dökümlerde fiziksel dayanımı ve özgül ağırlığı arttırır. Silisyum, mangan gibi bütün çeliklerde bulunan bir elementtir. Çelik yapımında demir cevherinden veya ocak astarı olan tuğlalardan da bir miktar silis, çeliğin bünyesine kendiliğinden girer, bileşiminde %0,4'dan fazla silisyum olan çeliklere silisyumlu denir. Çelikte silisyumun bulunması esnekliği eksi yönde etkilese de her %1 artış için çekme dayanımını 10 kg/mm², akma dayanımını da benzer oranda arttırır. %14 arasında silisyum bulunan çelikler, kimyasal tepkilere karşı dayanımlı olduklarından, bu durumdaki çelikler dövülemezler [<http://www.celikmil.2009>].

Titanyum (Ti)

Vanadyum gibi tane küçültücü etkisi vardır. Ancak bu etkisi vanadyumun etkisinden daha yüksektir. Ayrıca paslanmaz çeliklerde krom karbürün olumsuz etkisini giderebilmek için karbür oluşturuçu olarak kullanılır [<http://www.akcelik.2009>].

Volfram

Volfram; çeliğin dayanımını arttıran bir alaşım elementidir. Takım çeliklerinde, kesici kenarlar sertliğin artmasını kullanılma ömrünün uzamasını ve yüksek ısıya dayanımını sağlar. Bu yönden hava çeliklerinde, takım çeliklerinde ve ıslah çeliklerinde, alaşım elementi olarak yaygın bir şekilde kullanılır. Çelikte volframın bulunması belirli yüzdelere kadar kaynak edilebilme özelliğine geliştirici etkiler yapar. Volframın karbür meydana getirmeye karşı kuvvetli bir eğilimi olup, yüksek çalışma sıcaklığında, çeliğin menevişlenip sertliğini kaybetmemesini sağladığından, sıcağa dayanımlı çeliklerin yapımında tercih edilir [<http://www.celikmil.2009>]

Tungsten (W)

Aşınma direncini artıran, sıcakta sertliğin muhafazasını sağlayan bir alaşım elementidir. Özellikle hız çeliklerinde olmak üzere alaşımlı takım çeliklerinde yaygın olarak kullanılan bir alaşım elementidir [<http://www.akcelik.2009>].

5.5.4. Alaşım elementlerinin genel etkileri

Alaşım elementlerinin çelikler üzerinde genel etkileri 8 farklı grupta toplanabilir bunun yanı sıra alaşım elementlerinin faydalı etkileride vardır.

Tane büyümesine etkileri

Tane büyümesini sınırlandırılmasında en önemli element vanadyumdur. Vanadyum sertleştirme sıcaklıklarında homojen dağılmış karbürler ve nitrürler şeklinde bulunduğu (%0,1) kullanımı bile sertleştirme işlemi sırasında tane büyümesini durdurmak için yeterlidir.

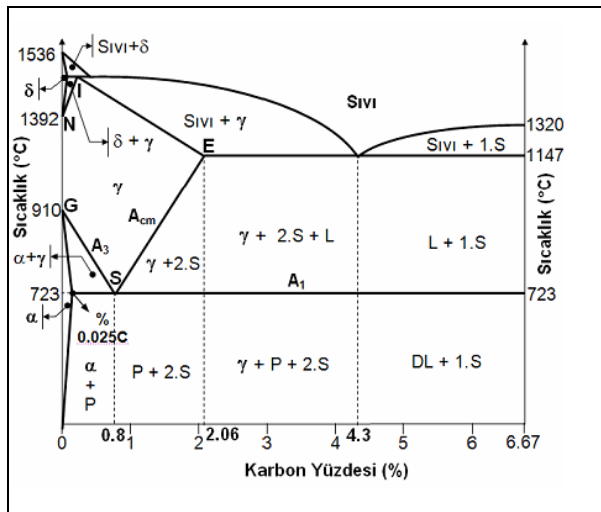
Alışlagelmiş sertleşme sıcaklıklarında vanadyum bileşikleri tane büyümesi için bir engel teşkil eder. Eğer sıcaklık normalinden daha yüksek değere çıkartılırsa vanadyum bileşikleri çözünebilir ve çeliğin tane boyutunda büyüme olabilir,

dolayısıyla çeliğin mekanik özelliklerinde düşme görülür. *Ti* ve *Nb* da etkileri vanadyuma benzer.

Yüksek hız ve diğer alaşımlı çeliklerde *W*, *Mo* çift karbürleri de tane büyümesini engeller. Yüzey sertleştirmede kullanılan ince taneli çeliklerin imalinde istenilen sertlik ergimiş metale *Al* ilavesi ile sağlanır. Çelik soğuk iken *Al-N* parçacıklarının dağılımı sağlanır ve çeliğin normal sertleştirme sıcaklığında tane büyümesi bu partiküller tarafından engellenir [http://www.kucuklercelik. 2009].

Ötektoid noktasına etkileri

Ostenit oluşturu elementler *A1* sıcaklığını düşürücü, ferrit oluşturu elementler ise yükseltici etki gösterirler. Örneğin % 12 Cr ve % 0,4 C içeren ötektoid bileşiminde bir krom çeliği için ötektoid karbon sıcaklığından daha yüksek ostenitleme sıcaklığı gerekirken % 3 Ni içeren çelik 700°C ‘nin altında ostenitik hale geçer. Bu hususların *A1* sıcaklığı civarında kullanılan çelikler için büyük önemi vardır. Ötektoid nokta, % 0,8 C oranında ve 723°C sıcaklıkta oluşur. Örneğin % 5 Cr ‘lu çeliğin ötektoid noktası %0,5 C içeriğindedir. Tüm alaşım elementleri bu noktanın karbon yoğunlaşmasını düşürür (Şekil 5.5) [http://www.kucuklercelik. 2009].



Şekil 5.5. Demir, karbon ve sıcaklığa bağlı faz değişimleri [Ün, 2007].

Martenzitin oluştuğu sıcaklığa (Ms) etkisi

Co dışındaki tüm elementler Ms ^[1] ve Mf ^[2] değerlerini düşürürler. % 0.5 ‘den daha yüksek karbon içeren çeliklerin büyük bir çoğunluğunun Mf ‘i oda sıcaklığının altındadır. Bu durum, çeliklerin sertleştirme sonrası pratik olarak bir miktar dönüşmemiş ostenit içerdikleri anlamına gelir [<http://www.kucuklercelik>. 2009].

İzotermal dönüşümde perlit ve beynit dönüşümüne etkileri

Co dışındaki bütün alaşım elementleri ferrit ve sementit oluşumunu geciktirirler. Bazı elementlerin diğerlerine oranla beynitik dönüşümleri daha fazla etkiledikleri, diğerlerinin de bu konuda ters davrandıkları tespit edilmiştir. Fazla etkiler ancak alaşım elementlerinin birleşimiyle sağlanır.

Kaynak kabiliyetine etkisi

Bir çeliğin ergitme kaynağına uygun olması, büyük ölçüde içerdiği karbon miktarına bağlıdır. Ayrıca alaşım elementleri de mevcut ise kaynak dikişinin soğuması sırasında havanın ve parçanın soğuk kısımlarının etkisi ile sertleşme yani kaynak bölgesinde kısmen martenzit oluşur. Bundan dolayı gevrekleşen malzeme, soğuma sırasında oluşan kendini çekme sonucu çatlar. Krom ve silisyum elementleri kaynak işlemi sırasında yanarlar ve yüksek sıcaklıklarda ergiyen oksitler oluştururlar. Bu oksitler kaynak dikişinin kenarlarının akarak birleşmesini önler. Aynı şekilde birlikte yanan Manganezin oluşan oksidi diğer oksitlerin ergime noktalarını düşürür. Böylece Mn diğer elementlerin olumsuz etkisini telafi eder [<http://www.kucuklercelik2009>].

Alaşım elementlerinin sertleşme derinliğine etkisi

Alaşımlı çeliklerin sertleşme derinlikleri, alaşımsız çeliklerinkinden fazladır ve daha fazla sertleşirler [<http://www.kucuklercelik>. 2009].

¹ martenzit dönüşümünün başladığı sıcaklık

² martenzit dönüşümünün bittiği sıcaklık

Uçtan su verme eğrileri ile alaşım elementlerinin sertleşme derinliğine etkisi çok iyi takip edilebilmektedir. Bu eğriler Jominy deneyi olarak bilinen uçtan su verme deneyi ile tespit edilir.

Örnek olarak % 0,6 C 'lu C 60 yüksek sertliğe sahip olmasına rağmen sertleşme derinliği düşüktür. % 0,3 C, 5 2,5 Cr ve % 0,2 Mo içeren alaşımlı çeliğin (30 Cr Mo V 9) sertliği daha düşük olmasına rağmen sertlik uçtan uzaklaştıkça düşük miktarda azalır. Yani sertleşme derinliği daha fazladır. Bir diğer çelik türü; 42 Cr Mo 4 özellikleri bakımından bu iki çeliğin arasında kalır. Ancak %

1 Cr ve % 0,2 Mo içermektedir. Bu sebepten dolayı, daha yüksek alaşımlı olan 30 Cr Mo V 9 ' a göre sertleşme derinliği daha düşüktür. Fakat karbon miktarı daha yüksek olduğundan yüzey sertliği daha yüksektir [<http://www.kucuklercelik. 2009>].

Alaşım elementlerinin ostenit dönüşüm hızına etkisi

Demir-karbon denge diyagramı konusunda ostenitin PSK eğrisi (723°C) altında perlit haline dönüştüğü söylenmişti. Dönüşüm sıcaklığı ve hızı ile ilgili daha kesin değerlerin verilmesi, demir karbon diyagramında mümkün değildir, çünkü bu denge diyagramı diğer bütün diyagramlar gibi çok yavaş soğuma için geçerlidir [<http://www.kucuklercelik. 2009>].

Alaşım elementleri çeliğin farklı bir içyapıya ulaşmasını sağlayarak pratikte istenilen çekme mukavemeti, akma sınırı, çentik darbe sünekliği, gibi mekanik özellikler ile kaynak edilebilme kabiliyeti, sertleşme kabiliyeti gibi işlenebilme özelliklerinin iyileştirilmesinde etkili olur Bir içyapı genellikle bir ısıtıl işlem sonucunda elde edilir. Bunun sonucu olarak alaşımlı çeliklerin hemen hemen tamamının ısıtıl işleminden sonra kullanıldığını söylemek mümkündür.

Alaşım elementlerinin en önemli özelliği belli bir fazın oluşumunu geliştirmek veya onu kararlı hale getirmektir [<http://www.kucuklercelik. 2009>]. Bu özelliği veren alaşım elementleri:

- a)Ostenit oluşturucu
- b)Ferrit oluşturucu
- c)Nitrür oluşturucu, elementler olarak sınıflandırılır.

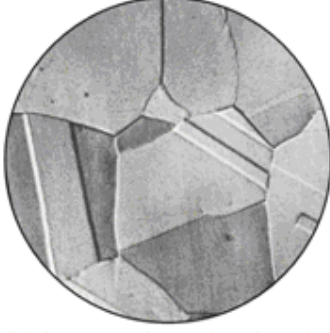
Ostenit oluşturucu elementler

Manganez, nikel, kobalt, azot, çinko bu gruba ait olan elementlerdir. Bu elementler yüksek oranlarda bulunurlarsa, ostenit alanını genişleterek oda sıcaklığına ve daha aşağılara indirirler. Böylece oda sıcaklığında bile kübik yüzey merkezli kristal kafesine sahip olan ostenitik çelikler meydana gelir [<http://www.kucuklercelik2009>].

Ostenit

Yaklaşık olarak %1,2 C ve %12 Mn içeren X120Mn12 Manganez sert çelikleri bu yapıya sahiptir. Su verilmiş durumda üretimden çıktıkları için tamamen ostenitik yani sünek fakat sert olmayan bir yapıya sahiptirler. Çelik böylece kuvvetli olarak soğuk sertleştirilir. Merkez ise değışmez ve sünek kalır. Sürtünme şeklindeki aşınmalara karşı uygun değışildir. Sadece basma şeklindeki bölgesel darbelerin çeliğı akma sınırına kadar etkilediğı durumlar için bu çelik kullanılır [<http://www.kucuklercelik.2009>].

Karbonun γ demiri içinde erimesi sonucu ostenit oluşur. Karbon bu eriyik içinde ötektik sıcaklık olan 1147 °C'de en fazla % 2.06 oranında eriyebilir. Çeliğın sıcak şekillendirme ve ısıl işlemlerin pek çoğı ostenit fazında yapılır. Ostenit fazından, soğuma hızına bağılı olarak çok değışik mikroyapılar meydana gelir (Resim 5. 1). Kristalin dışına atılan karbon sementit oluşturur. Ostenitten oluşan bu sementite, 2. sementit “sekonder sementit” denilir [Ün, 2007].



Resim 5.1. Ostenitik yapının mikroskobik görüntüsü [Megep Yayınları, 2006].

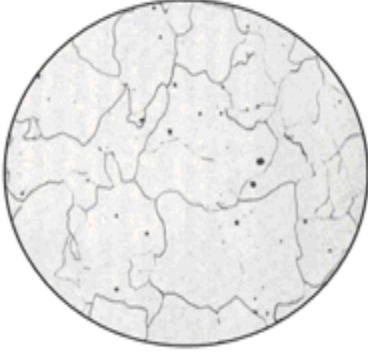
Ferrit oluşturan elementler

Bu grubun en önemli elementleri Krom (Cr), Silisyum (Si), Molibden (Mo), Vanadyum(V), Titanyum (Ti), ve Alüminyum (Al) 'dur. Bu alaşım elementlerinin büyük bir kısmı kübik hacim merkezli sistemde kristalleşir. Eğer yüksek oranlarda bulunurlarsa demiri de kübik merkezli olarak kalmaya zorlarlar. Bu çelikler katılaşma sırasında dönüşmeye uğramadan soğudukları için ferritik çelikler olarak adlandırılırlar [<http://www.kucuklercelik. 2009>].

Ferrit

Karbonun α demiri içinde erimesi sonucu oluşan katı eriyiğe ferrit adı verilir. Karbon bu eriyik içinde en fazla 723 °C'de (A1 sıcaklığı) % 0.025 kadar eriyebilir. Sıcaklık derecesinin düşmesine bağlı olarak bu oranda azalır. Oda sıcaklığında ise bu oran % 0.005'tir. Ferritin çözemediği karbon kristalin dışına atılır ve sementit oluşur. Ferritten ayrılan sementite tersiyer sementit denilir [Ün, 2007].

Sadece düşük krom oranlarına sahip çelikler soğuma sırasında kübik yüzey merkezli olabilirler. Ostenit alanının altında tekrar kübik hacim merkezli hale dönerek ferritik olurlar. Ferritik çeliğe bir örnek olarak transformatör saçlarını malzemesini verebiliriz. Bu malzeme %3 Si içeren düşük karbonlu bir çeliktir (Resim 5. 2) [<http://www.kucuklercelik. 2009>].



Resim 5.2. Ferritik yapının mikroskopik görüntüsü [Ün, 2007].

Ferrit içinde katı eriyik oluşturan tüm alaşım elementleri ferritin sertliğine etki ederler. Çeliklerde en çok bulunan alaşım elementlerinden Si ve Mn ferritin sertliğine en fazla etkide bulunan iki elementtir. Cr ise en az etkiyi gösterir. Bu nedenle Cr soğuk işlem görecekt çeliklerde kullanılan en uygun alaşım elementidir. [http://www.kucuklercelik. 2009].

Karbürler

Krom gibi ferrit oluşturan elementler (krom) aynı zamanda karbür yapıcıdır. Karbür yapıcıların çoğunluğu da demire bağlı olarak ferrit oluşturuıcı özelliktedirler.

Nitrür oluşturuıcılar

Tüm karbon oluşturuıcılar aynı zamanda nitrür yapıcı elementlerdir. Azot, çeliğin yüzeyine nitrürleme yoluyla sokulabilir. Farklı alaşım elementlerinin sert nitrürler oluşturuarak veya çökelme sertleşmesi yoluyla çeliğin sertliğini arttırma eğilimleri incelendiğinde; Cr, Ti, Mo, Al ve V gibi nitrür oluşturuıcı elementlerin sertlikte artışa neden olduğu gözlenmiştir. Buna karşılık Ni gibi nitrür oluşturuamayan elementlerin sertlikte önemli bir artışa neden olmadığı görölmüştür.

5.5.5. Alaşım elementlerinin çeliğin özelliklerine genel faydalı etkileri

- *Karbon*: Mukavemet ve sertleşme kabiliyeti sağlar

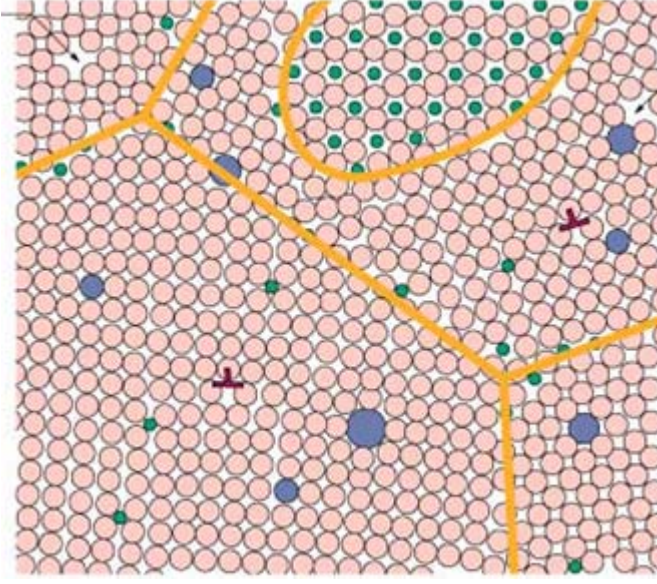
- *Krom*: Sertleşme derinliği, ısı mukavemet, korozyona dayanıklılık sağlar
- *Nikel*: Sertleşme derinliği, süneklik, ısı genleşme
- *Manganez*: Sertleşme derinliği, süneklik, sementit oluşumu
- *Silisyum*: Yüksek sıcaklığa dayanıklılık, manyetik özellikler, grafit oluşturma
- *Vanadyum*: Isı mukavemet, temperlenmeye dayanıklılık
- *Tungsten*: Isı sertlik, temperlenmeye dayanıklılık, aşınma mukavemeti
- *Alüminyum*: Kavlanmaya karşı dayanıklılık [<http://www.kucuklircelik.com>. 2009].

5.6. Metallerin Mekanik Özelliklerini Değiştirme Yöntemleri

Metallerin mekanik özellikleri kullanım amacına göre yeterli olmayabilir. Bu amaca yönelik olarak bazı yöntemleri kullanarak metallerin mekanik özellikleri geliştirilebilir [Ün, 2007].

- Tane ufaltma
- Katı eriyik alaşımlandırılması
- Deformasyon sertleştirilmesi

Bu yöntemler daha çok metalurji mühendislerinin uğraşı alanında kalmaktadır. Ancak bir fikir verebilmek açısından bu yöntemlerden kısaca söz etmekte yarar vardır. Malzeme kopmadan önce belirli bir kopma uzaması (bazı edebiyat % 5 kabul etmektedir) gösteriyor ise böyle malzemelere sünek malzeme, belirgin bir uzama göstermeden koparsa (plastik şekil değiştirmeden) gevrek malzeme denir. Sünek malzemeler dislokasyon hareketleri ile şekil değiştirdikleri için, dislokasyon hareketini zorlaştıran her etki malzemenin dayanımını artırır (Şekil 5.6) [Ün, 2007].



Şekil 5.6. Tane yapısında dislokasyon hareketine etki eden yapılar [Megep Yayınları, 2006].

Isıl işlem tane ufaltma

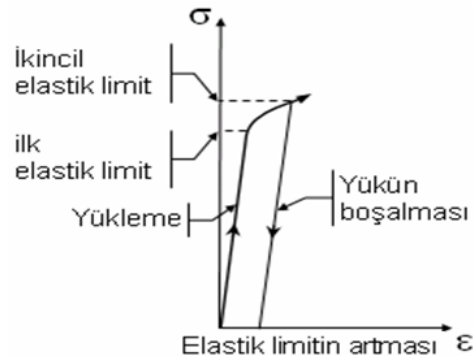
Kristal kaymasının tane sınırları ile engellendiğinden söz edilmişti. Tane boyutu daha küçük olunca daha büyük oranda sınır malzemesi çıkacağından, malzemenin tane boyutu küçülürken, mukavemeti artar. Bu nedenle malzemenin tane çaplarını incelten işlemler aynı zamanda o malzemenin dayanımını arttırır. Bu işlemler daha ziyade eriyiklerin dondurulması ile gerçekleşir. Eğer sıvı daha hızla donduruluyorsa ince yapılı taneler, yavaş donarsa daha kaba yapılı taneler oluşur. Donma hızı genellikle dökümün yapıldığı kalıbın cinsine göre değişir. Metal kalıplarda, kum kalıplardan daha hızlı donma oluşur. Metal kalıpları su ve yağ ile soğutmak bu işlemi daha da hızlandırır. Özellikle iri taneli yapı istenirse sıcak kum kalıplar kullanılır. Tane boyutları mekanik işlemlerle (form ve şekil verme) ve ısı işlemler (tavlama) ile ayarlanabilir. Gelişen metalurji teknikleri ile bu işlemler değişik şekillerde düzenlenebilir [Ün, 2007].

Basit alaşım etkileri

Alaşımı oluşturan atomlar yarıçapları farklı olduğu için kristal hatası oluştururlar. Elementlerden biri diğetine göre ya arayer atomu ya da yeralan atomu oluşturur. Her iki halde de dislokasyon hareketi zorlaşır. Dislokasyon hareket ederken bu nokta hatalarına ulaşırsa veya nokta hataları yayınma ile dislokasyon bölgesine ulaşırlarsa, dislokasyon bölgesinin enerjisini azaltarak hareketini zorlaştırır [n, 2007].

Deformasyon sertleştirilmesi

Bir malzemeye elastik limitin üzerinde bir statik gerilme uygulanıp sonra kaldırılırsa ve bu işlem aynı şekilde tekrarlanırsa, orijinal elastik limitten büyük yeni bir elastik limit belirir. Bu işleme soğuk işlem adı da verilir (şekil 5.7.) [n, 2007].



şekil 5.7. Soğuk işlemin elik sertliğine etkisi [n, 2007].

Isıl işlem

Çeliğin tipik bir ısı işlemi şöyle özetlenebilir:

- Uygun bir dereceye kadar ısıtma (rneğin 845°C),
- Su veya yağa ani daldırıp soğutma,
- Tekrar 650°C altındaki bir dereceye kadar ısıtmak.

Alüminyum'un buna benzer daha düşük derecede ısıt işlemleri vardır. Saf metallere ısıt işlemin bir yararı yoktur. Ancak alaşımlara büyük yararı vardır. Uygulamada su verme, daldırma terimi ile adlandırılan soğutma işlemi, çeliğin içyapısını etkilemek amacıyla yapılır. Bu işlem yalnızca metali suya daldırmak suretiyle yapılmaz. Yağa hatta erimiş kurşuna batırmak suretiyle yapıldığı gibi, adi sıcaklıklarda havanın etkisine bırakarak da yapılabilir. Yağda soğutulan çeliklere yağ çeliği, havada soğutulanlara hava çeliği adı verilir. Daldırma işlemi daha çok % 0,2'den fazla karbon içeren çeliklere uygulanan bir termik işlem olup, amacı genellikle sertliği arttırmaktır. Bunun için, alaşım uygun bir daldırma sıcaklığına kadar ısıtılır ve sonra yine elde edilmek istenen mekanik özelliklere göre, uygun bir şekilde ağır ağır veya hızla soğutulur. Bu işlemlerin amacı çeliklerin yüksek sıcaklıklarda edindikleri içyapıyı kısmen veya tamamen adi sıcaklıklarda tutabilmelerini sağlamaktır. Örneğin, % 0,5 C içeren bir çelik 800°C yi geçen bir sıcaklığa kadar ısıtıldığında yalnızca ostenitten oluşan homojen bir sistemdir. Bu çelik ara duraklardan (ferrit, perlit) geçmeye vakit bulamadan ani olarak soğutulursa homojenliğini korur. Sıcaklığın ani düşüşü nedeniyle karbonun eriyebilirliğinin azalması sonucu demir aşırı doymun hale dönüşür. Böylece martenzit yani çözelti halinde bulunmayan karbon içeren α demiri oluşur. Martenzit homojen bir kütledir ve ostenite kıyasla çok daha serttir. Aynı bileşimdeki alaşım daha yavaş soğutulacak olursa, süreye bağlı olarak ferrit ve perlit kısmen veya tamamen oluşur (Resim 5.3) [Ün, 2007].



Resim 5.3. Çeliklerde su verme sonucunda oluşan martenzitik yapı [Megep Yayınları, 2006].

Soğuma olayını hızlandırmak için, % 10 tuz ve nişadır içerikli banyolar kullanılır.

Daha az hızlı soğutmalar için tatlı su veya % 2'lik H₂SO₄ ve HCl çözeltileri, ağır soğutmalar için gazyağı, kolza yağı, madeni yağlar, iç yağı ve yoğun kireç banyoları kullanılır. Soğuk işlemde taneler yassılaşır. Sıcak işlemde ise tanelerde ani düzensizlik olur, sonra tekrar düzene girerler. Sıcak işlem ısısının kontrolü, tane boyutu ve dayanımı etkiler. Örneğin, çelik ve alüminyum alaşımları bu işleme şaşılacak derecede cevap verirler [Ün, 2007].

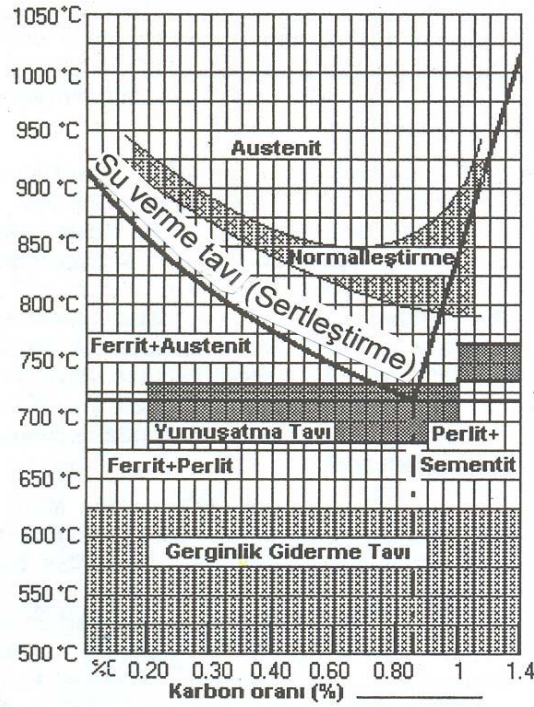
İstenilen mikroyapı ve özellikleri elde etmek için çelik katı fazda iken ısıtılıp, soğutulma işlemlerine ısıl işlem denir. Isıl işlemler tavlama ve sertleştirme olarak iki grupta incelenebilir [Ün, 2007].

Tavlama

Çeliklerin ısıtılıp soğutulma işlemlerine tavlama denilir. Soğuk işlemin etkileri (iç gerilmeler) tavlama denilen metal işlendikten sonra yapılan bir ısıtma işlemi ile giderilir. Tavlama sonucu, elastik dayanım biraz azalabilir ancak enerji yutma kapasitesi ve düktilite büyük ölçüde artar ve yassılaştıran taneler birbirleri ile kaynaşırlar (Bkz. EK-3 Çizelge 3 2) [Ün, 2007].

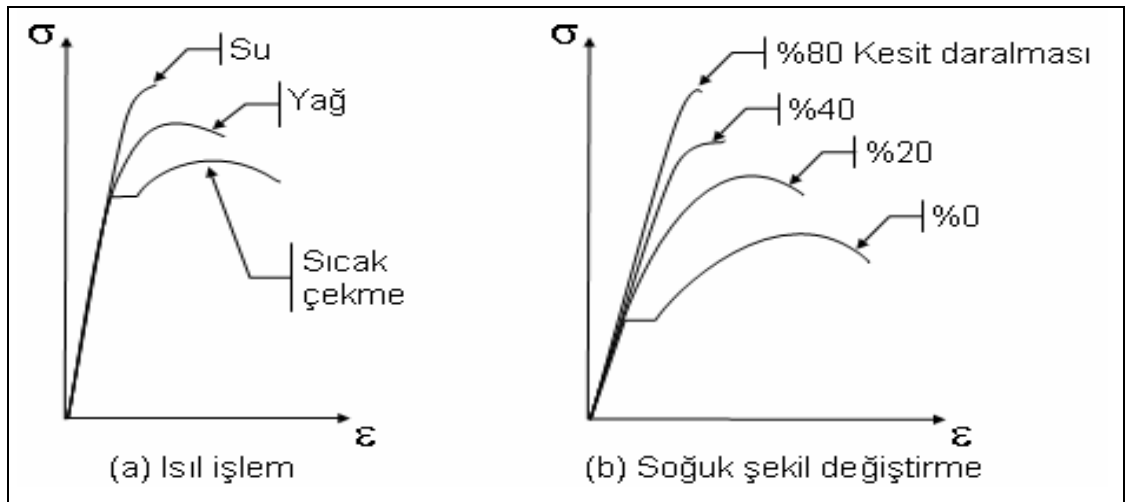
Sertleştirme

Çeliğin ostenitleme sıcaklığından martenzit oluşacak şekilde hızlı bir şekilde soğutulmasına sertleştirme (su verme) denilir. Demir-karbon denge diyagramı çok yavaş soğutma ile elde edilir (Şekil 5.8.). Soğuma hızının artması ile mikroyapılar ve denge diyagramı değişir ve farklı faz dönüşümleri ve mikroyapılar meydana gelir. Mekanik şekil verme işlemi her zaman deformasyon sertleştirilmesi sonucunda olmaz. Yapı metal ve alaşımları genellikle soğuk işleme cevap verirler ancak düşük sıcaklıkta eriyebilen kurşun gibi metaller soğuk işleme cevap vermezler. Isıl işlemler neticesi meydana gelen martenzit, beynit, temperlenmiş martenzit mikroyapıları veya oluşturulan çökelti, dislokasyon hareketini zorlaştırır [Ün, 2007].



Şekil 5.8. Çeliklere uygulanan ısıtıl işlem sıcaklık aralıkları [Megep Yayınları, 2006].

Bu yöntem özellikle çeliklerin dayanım artırma işlemleri için sıkça uygulanmaktadır. Bu işlemler sonucu malzemenin mekanik özelliklerini istenen yönde değiştirmek mümkündür. Isıl işlemin ve soğuk şekil değiştirmenin aynı malzemenin mekanik özelliklerine etkisi görülmektedir (Şekil 5.9.).



Şekil 5.9. Malzeme mekanik özelliklerinin değişmesi [Ün, 2007].

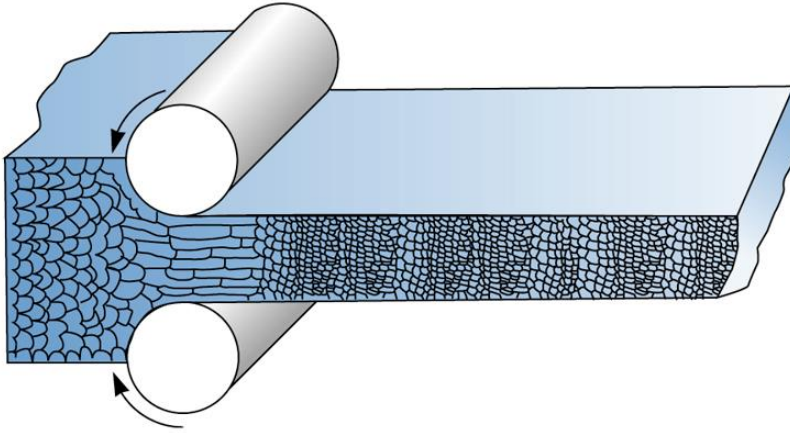
5.6.1. Yüzey sertleştirme işlem çeşitleri ve özellikleri

EK-3'de Çizelge 3. 2. deki yüzey sertleştirme işlemlerinde malzemenin içyapı özellikleri aynı kalmakta ve sadece yüzeyinde belli kalınlıktaki bölge sertleşmektedir. Bu işlem malzemenin tokluk direncini artırmaktadır.

5.6.2. Termomekanik işlemler

Çeliğin haddelenmesi esnasında, plastik deformasyon ve hemen ardından yeniden kristalleştirme olayının meydana gelmesinden dolayı tane boyutu küçülür (Şekil.5.10).

Şayet haddelemenin hemen ardından sertleştirme işlemi yapılırsa; metalde dislokasyon yoğunluğu fazla, tane boyutu küçük ve hızlı soğuma neticesi daha dayanıklı mikroyapılar elde edilir. Bu şekilde üç çeşit dayanım artırma yöntemi olan plastik deformasyon, tane boyutunu küçültme ve ısıtım işlem uygulanmış olur [Ün, 2007].



Şekil 5.10. Haddeleme ile mikroyapıdaki değişim [Ün, 2007].

6. MATERYAL VE METOD

6.1. Deneysel Bölüm

Bu çalışmada, CO2 lazer kesim tezgâhı işlem yapılmıştır. Güç seviyeleriyle ilgili birkaç ön deneyden sonra her bir materyal kalınlığı için 1kW ve 2kW, ılık güç seviyelerinden oluşan bir maksimum kesme hızı belirlenmiştir. 60 mm uzunluğunda doğrusal kesiklerin oluşturulmasında özel bir kesme işleminin uygulandığı sonradan yapılan tüm deneylerde, 1,5kW'lık güç seviyesi tercih edilmiştir. Kesme hızı, şekil 6.2'de gösterilen makine üreticisinin tavsiye ettiği normal işletim seviyesinin %5 ve %10 üzerinde veya altında değişmiştir. Kesiklerin birbirine karışmaması için, birbirlerinden ve işlenilen parçanın köşelerinden yeterli mesafede uzak tutulmuştur. Basınç 80, 90, 100kg/cm² 350 Hz, 450 Hz, 500 Hz ve 620 Hz lazer darbe frekans gerçekleştirilmiştir çalışmada kesme aralıklarında inceleme yapılmıştır. Kesme aralıklarının parametrelerdeki farklılıklardan kaynaklanan sertlik değişimleri (ITAB bölgenin) kesme sonucunda kesme yüzeyleri ve aralıkları incelenmiştir. Deney malzemesi olarak 10 mm kalınlığında örnekler kullanıldı.

6.1.1. Deneysel çalışmanın amacı

Bu çalışmada farklı özelliklerdeki çelik malzemeler kullanılarak CO 2 lazer ile kesim işlemi uygulanmıştır. Deneyde kullanılan malzemelerin farklı değerlerde parametreler ile ayarlanan her parametre ayarı ile dört ayrı kesim yapılarak kesimlerdeki farklılıklar göz önünde tutularak malzemelerin gösterdikleri tepkiler ölçülmüş, parametrelerin uygunsuz olması ile malzemelerdeki olumsuz sonuçlar değerlendirilmiş. Ç 1010 çelik malzemedeki başarılı bir kesim alaşım malzemedeki (ör,4140–2379) başarısız olmuş, kesme işleminde uygun değerler elde edilememiş, kesme kalitesi istenilen ölçülerde olmamıştır. Malzeme için uygun değerler seçildiğinde kesim işlemlerinde istenilen kalitelere yaklaşmak mümkün olmuştur.

6.1.2. Deney ekipmanı ve test yöntemi

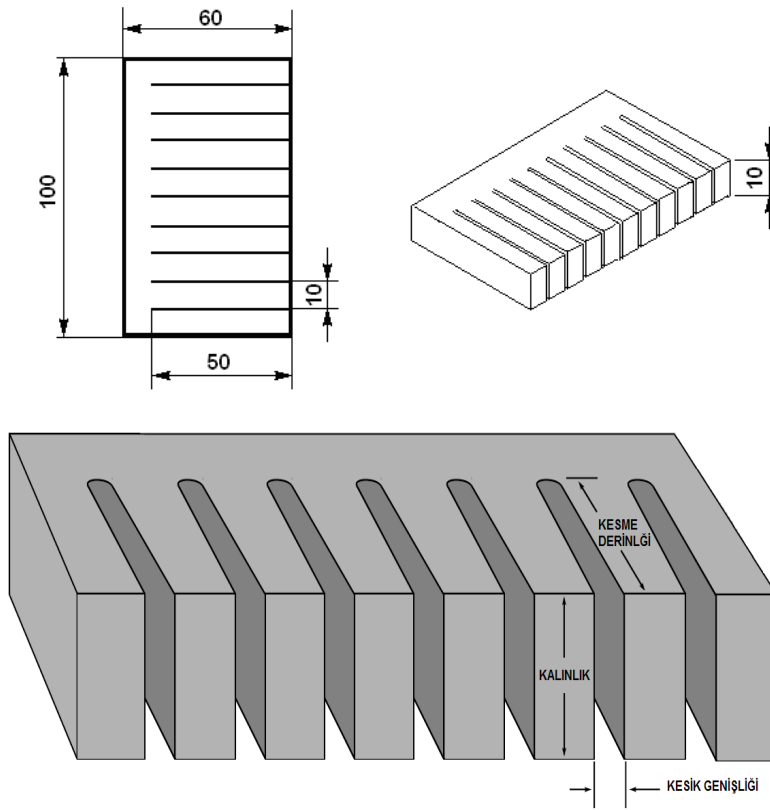
Tek lazer türüyle yapılan bu çalışmada, sadece malzemeler gruplandırılmış, malzemelerin ortak kesileceği en uygun değerler seçilmek suretiyle çalışma yapılmış, seçenek sayılarının çok fazla artma nedeniyle malzeme kalınlıkları tek ölçüde kullanılmıştır.

6.2. Deneylerde Kullanılan Malzeme ve Donanım

6.2.1. Malzemeler

Yapılan deneysel çalışmalarda, üretimin her aşamasında yaygın olarak kullanılan malzemelerden;

1. Ç 1010 Düşük Karbonlu Çelik
 2. Ç 1040 Orta Karbonlu Çelik.
 3. Ç 2080 Yağ ve Hava Çeliği.
 4. Ç 2344 Orta Karbonlu Çelik.
 5. Ç 2379 Soğuk İş Takım Çeliği
 6. Ç 4140 Orta Karbonlu Islah Çeliği
 7. Ç 8620 Düşük Karbonlu Nikel-Krom-Molibden Çelik
 8. AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çelik
- Her bir kesme grubu için 100 x 60 ebatlarında numuneler hazırlanmış.
 - Malzemeler, 10 mm, kesme aralıkları ile 50 mm derinlik oluşacak şekilde kesme işlemine tabii tutulmuşlardır.
 - Bazı numunelerde 100 mm olan boy uzun tutulmuş bu numunelerde ise son kesimlerde malzemede ön ısınma meydana gelmiştir (Şekil 6.1.).
 - Malzemeler, CO2 Lazer kesim tezgâhında, Çizelge 6.2.'de belirtilen yanal hızlar ile kesilmiştir.



Şekil 6.1. Deney malzemelerinin kesim şekilleri

Çizelge 6.1. Malzemelerin kesilmesinde uygulanan kesim parametreleri

	Güç “P”	Frekans “Q”	Duty (Çarpma şiddeti) “R”	Hız “F”	Kesmeye yard. Gaz “A”
1	1300	620	100	1000	O ₂ -0,6
2	1300	500	90	900	O ₂ -0,6
3	1300	450	80	850	O ₂ -0,6
4	1300	350	80	800	O ₂ -0,5
Delik	1300	20	80	80	O ₂ -0,5

(304 paslanmaz çelik kesiminde yardımcı gaz “N₂” 8 bar olarak kullanılmıştır)

ihtiyaç olmadan, tek bir kafa ile çok değişik kalınlıklardaki, değişik tür malzemeleri ayar yapmadan, durmaksızın kesebilirsiniz. Tabla üzerinde pnömatik iş parça tutucu clamp'ler mevcuttur. Bu sistem ince sac'ların kesiminde yüksek basınçlı gaz sayesinde sac'da meydana gelen pozisyon kayıplarını önler. Super Turbo – X serisi tezgâhlarda sabit ışın teknolojisi mevcuttur. Bu sayede ışın hareket etmemekte, saçılıp toplanmamaktadır. Bu özellik sayesinde, tablanın her yerinde aynı kalitede kesimi sürekli elde edebilirsiniz. Ayrıca, yine bu sistem sayesinde ışın iletim hattında, pahalı ve fazla sayıda odaklayıcı sistemler yerine olabildiğince az sayıda ve tüm piyasada rahatlıkla bulunabilen aynalar kullanılmaktadır (Resim 6.1.).

Mazak tezgâhlarında, ışın iletim hattı tamamen temiz kuru hava ile soğutulmaktadır. Bu sistem pahalı bir gaz olan azot ile soğutma sistemlerine göre oldukça düşük maliyetli bir uygulamadır. Serinin sahip olduğu döküm gövde, Champion modellerinde kullanılan Mazak patentli yüksek titreşim sönümleyici Takumi gövde ve her eksendeki vibrasyon önleyici anti-servo motorları sayesinde, dış vibrasyonlara karşı en etkili ve güvenli tezgâhlardır.



Resim 6.1. Numunelerin kesildiği Mazak X 48S Lazer makinesi

Rezenatör ve tezgâh aynı gövde üzerine oturmaktadır. Rezenatör ve gövdenin farklı zeminlere oturduğu sistemlere kıyasla, oldukça güvenilir bir yapıdır. Çünkü tüm sistem zemin hareketlerine karşı birlikte ve yekpare hareket etmektedir. Lazer gazı,

tüm lazer gaz sağlayıcılardan temin edebileceğiniz, premix-tek tüp karışım gazdır. Bu sayede; manuel vanalar ile sökölüp takılan 3 ayrı tüp ve elektrik ile çalışan karıştırıcı bir Ünite ile uğraşmak yerine tek bir tüpü direk rezenatör'e bağlayabilirsiniz. Bu sistem, kullanıcılar adına oldukça büyük bir rahatlıktır. Bahsedilen tüm sistemlerin sayesinde, Super Turbo – X serisi olabildiğince az ekipman kullanılması sonucu işletim ve bakım maliyetleri oldukça düşük ve sorunsuz çalışan bir tezgahdır.

Kesme testleri için 50mm'lik odaksal kolimasyonlu 1.5" HP kesme başlığı (şekil 42b) ve 5" (127mm) ila 7.5" (190.5mm) odaklama merceği kullanılmıştır.

Kesme deneylerinde materyal kalınlığı, kesme hızı ve odak noktası gibi değişkenler yer almaktadır. Yardımcı gaz olarak kullanılan oksijen gazının basıncı, malzemenin kalınlığına bağlı olarak, kesme sürecinde eriyen materyalin etkili bir biçimde atılmasını sağlamak amacıyla 2 bar'dan 6 bar'a kadar değişiklik gösterir.

Kesme deneylerinde malzeme kalınlığı sabit (10 mm) olarak belirlenmiş, deney malzemesi olarak kullanılan materyaller farklı özellikteki malzemelerden seçilmiştir.

6.4. Kullanılan Ölçü Aletleri ve Görüntüleme Cihazları

Yapılan bu deneyde kesilen malzemelerin, oluk genişlikleri, kerf bölgesi dikeylik sapmaları, kesme bölgelerinde yüzey sertleşme farklılıkları ölçümleri yapılmıştır.

6.4.1. Yapılan ölçümler

Yüzey Sertliği Ölçümü

Sertlik; sürtünmeye, çizmeğe, kesmeğe ve plastik deformasyona karşı direnç olarak tarif edilir. Laboratuarlarda özel cihazlarla yapılan sertlik ölçümlerindeki değer, malzemenin plastik deformasyona karşı gösterdiği dirençtir.

Vickers sertlik ölçme yöntemi, sertliği ölçülecek malzeme yüzeyine, tabanı kare olan piramit şeklindeki bir ucun belirli bir yük altında batırılması ve yük kaldırıldıktan sonra meydana gelen izin köşegenlerinin ölçülmesinden ibarettir. Bu yöntem, sert malzemelerin veya hassas ölçümler için tercih edilir (Resim 6.2.).



Resim 6.2.Vickers sertlik ölçme cihazı

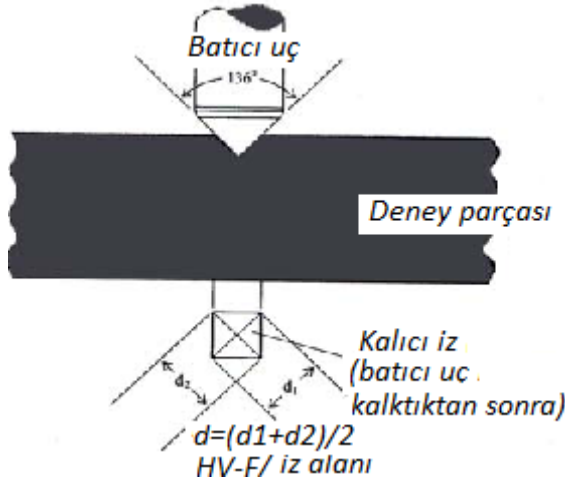
Vickers sertlik ölçme yönteminde tepe açısı 136° olan elmas kare piramit uç kullanılır. Bu yöntemde sertliği ölçülecek parçanın cins ve boyutlarına göre 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 62.5 ve 125 kg yükleme kuvvetlerinden biri kullanılır. Pratikte genel olarak 10-30 ve 50 kg yükleme kuvvetleri uygulanır. Deney yükünün uygulama süresi normal şartlarda 10-15 saniye kadardır. Malzeme cinsine göre bu süre artabilir. [Megep yayınları, 2006].



Resim 6.3.Numune üzerinde meydana gelen izin metalurji mikroskobu yardımı ile ekrana aktarılması [Megep yayınları, 2006].

Vickers sertlik değerini bulmak için;

- Numune yüzeyindeki yükün kaldırılmasından sonra numune üzerinde meydana getirilen izin görüntüsü metal mikroskobu yardımı ile ölçme ekranına aktarılır.



Şekil 6.3. Vickers sertlik ölçümünün şematik gösterilmesi [Megep yayınları, 2006].

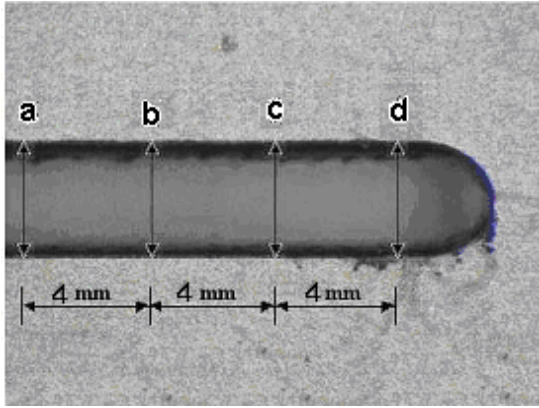
- Ölçme ekranındaki hareketli cetvel yardımı ile izin köşegen uzunlukları ölçülerek ortalaması alınır $d = (d1 + d2) / 2$.

Bu tezde, lazer kesme kalitesi kesik genişliğinin, kesme kenarlarının dikeyliğinin ve yüzey sertliğinin ölçülmesiyle denetlenmiştir. Test malzemesi, kesit yapısı kalın ve farklı çelik malzemelerden oluştuğu için malzemedeki (HAZ) genişlikleri ve sertlik yapıları dikkate alınmıştır. Isı ölçümü süresince büyük ölçüde mikroyapısal faz dönüşümü sergilemeyen ve bu nedenle ısı uygulanması durumunda sertleşmediği düşünülen ostenit paslanmaz çelik olduğu için ısıdan etkilenen bölgenin (HAZ) genişliği ölçülmemiştir.

Oluk genişliği ölçümü

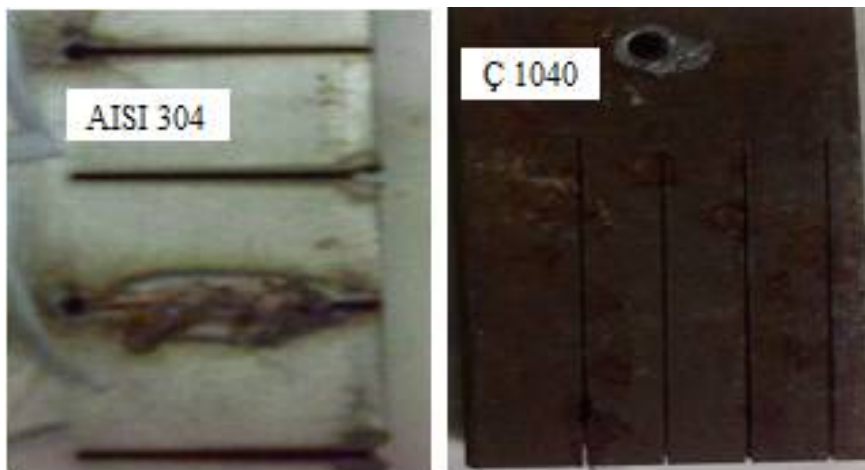
Kesme oluklarının dijital olarak görüntülenmesi, Leica M25 mikroskop ve dijital fotoğraf makinesi kullanılarak yapılmaktadır. Dijital fotoğraf makinesi bu fotoğrafları, fotoğraf makinesinin merceğine bağlı olan Leica M25 mikroskobu

aracılığıyla çekmiştir. Her bir kesme oluğunun başlangıç ve bitiş noktalarında alt ve üst kesik oluklarının net fotoğraflarını elde edebilmek için, ışıklandırma ve büyütme her bir malzemeye göre farklılık göstermiştir.



Şekil 6.4. A, B, C, D Oluk Genişliği Ölçüm Konumları [Olsen ve Veli, 2006].

Oluk genişliği ölçümleri Şekil 6.4.'te gösterildiği gibi A, B, C ve D konumlarından yapılmış ve bu ölçümlerin ortalama değerleri söz konusu kesik oluk genişliği olarak kabul edilmiştir. Oluk genişliği kesik uzunluğuna ve kesik üzerindeki başlama ve bitiş konumu ölçümlerine göre farklılık göstermiştir. Oluk genişliğinin hem alt hem de üst yüzeyleri ölçülmüştür.



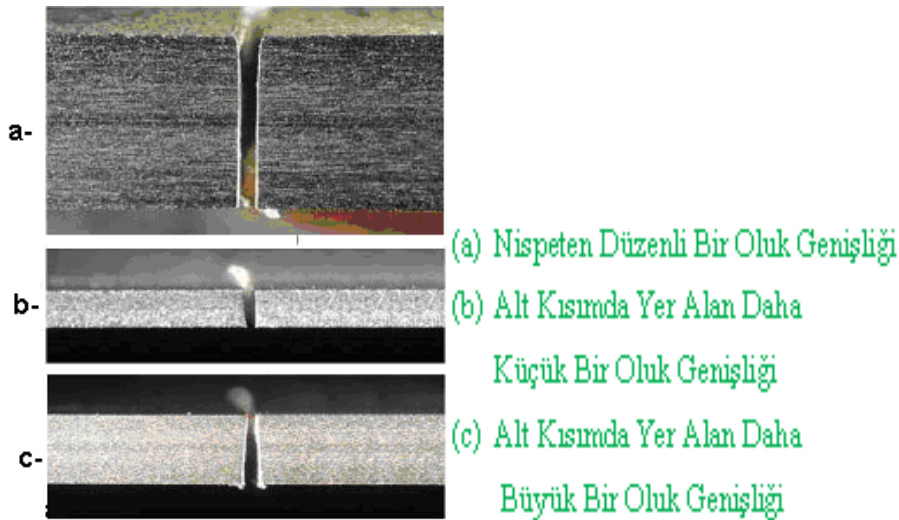
Resim 6.4. Lazer ile kesilen ve delik açılmış numuneler



Resim 6.5. Lazer ile kesilen ve delik açılmış numuneler (Kesme numunelerinde ısınma neticesinde kerf bölgesindeki aşırı genişlemeler ve kesme yüzey bozuklukları)

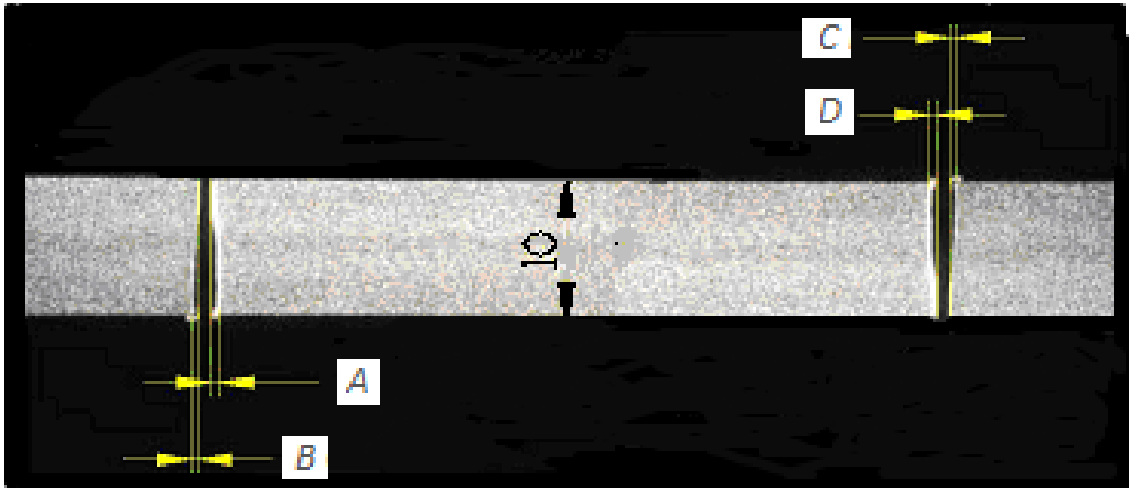
Dikeylik ölçümü

Oluk genişliği ölçümleri yapıldıktan sonra, işlenilen parça, oluk genişliğinin değişim derecesini kesğin en üst kısmından en alt kısmına kadar gösterebilmek amacıyla kesğin enine kesitini ortaya çıkaracak şekilde ikiye ayrılmıştır. Kesğin enine kesitinin yüzeyi düz ve cilalanmış ve fotoğrafları çekilmiştir. Gözlemlenen kesik oluklarının farklı şekilleri, Şekil 6.5.'de gösterilmiştir. Malzeme özelliklerindeki farklılıklardan dolayı malzemelerdeki oluk genişlikleri her malzeme özelliğine göre değişiklik göstermiştir.



Şekil 6.5. Kesğin En Alt Kısmından En Üst Kısmına Kadar Kesik Oluğu Farklılıkları [Olsen ve Veli, 2006].

Kesik ucunun gerçek yüzeyi ile hedeflenen yüzeyi arasındaki en uzun dikeylik mesafesi, her kesik oluşunun her iki kesme ucundan Şekil 6.6.'da gösterildiği gibi ölçülmüştür.



Şekil 6.6. Kesik Oluk Genişliğini Gösteren Kesiti [Olsen ve Veli, 2006].

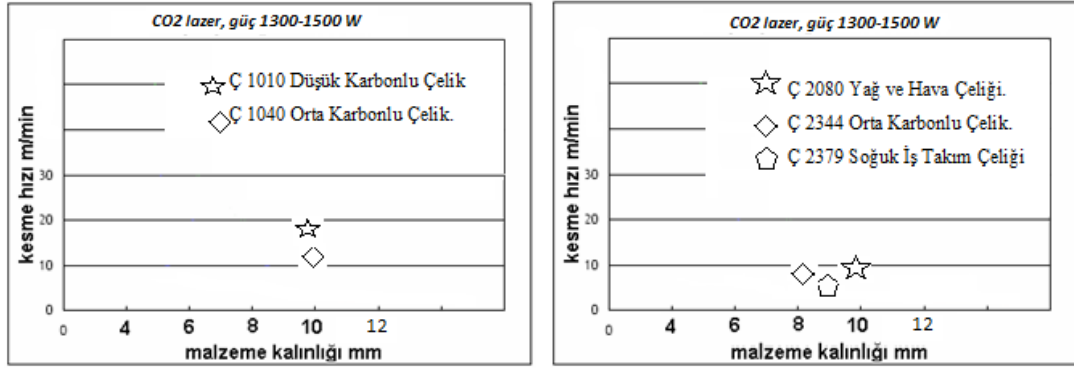
6.5. Deneysel Sonuçlar

Oluk genişliği, kesik kenarı dikeyliği ve yüzey sertliğinin (Hv) maksimum kesme hızları ve ölçülmüş değerleri sunulmuştur.

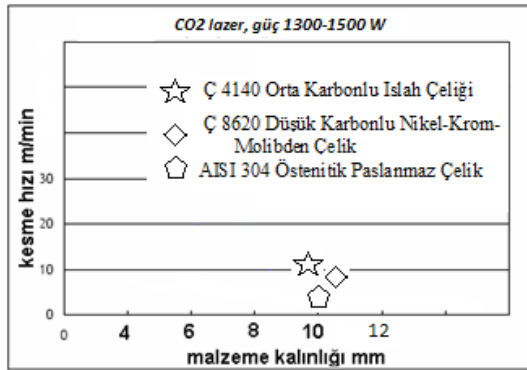
6.5.1. Maksimum kesme hızları

CO₂ lazerleri için 1,3–1,5 kW'lık güç seviyesindeki kesme hızları Şekil 6,7 ve Şekil 6,8'de verilmiştir. Düşük alaşımlı çeliklerin kesilmesinde kullanılan kesme hızları, yüksek alaşımlı çelikler, soğuk iş takım çelikleri için kullanılan kesme hızından daha yüksektir.

Literatür araştırması değerlendirildiğinde, aynı kalınlıktaki levhaların kesiminde CO₂ lazerle kıyaslandığında kalın levhaların kesiminde fiber ve disk lazerlerinin kesme hızlarında gözle görülür ölçüde yüzde artışı vardır. Fiber ve disk lazerlerindeki çok yüksek kesme hızları, sahip oldukları daha iyi ışın kalitelerine bağlanabilir.



Şekil 6.7. 1300–1500 lazer gücü ile malzeme kesme hızları

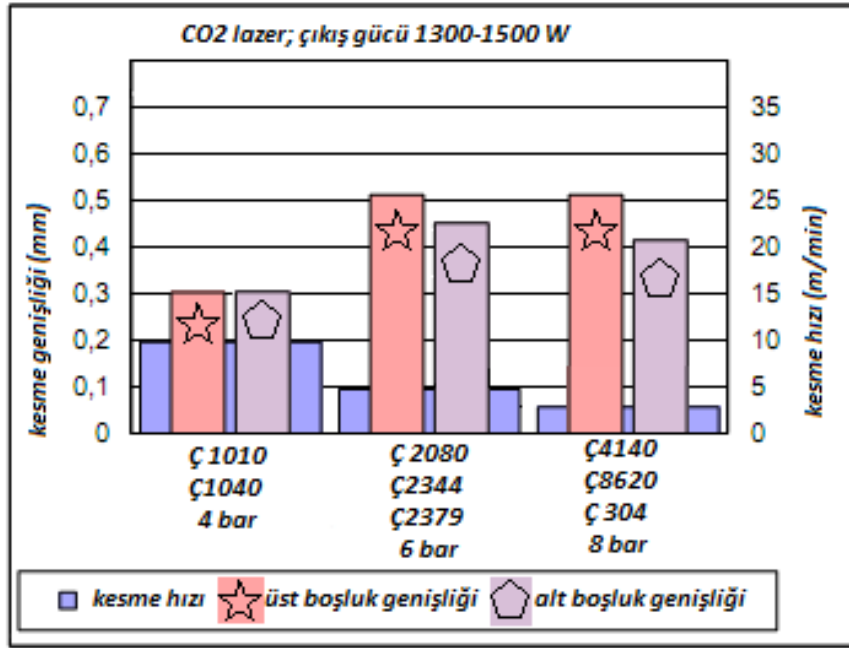


Şekil 6.8. 1300–1500 lazer gücü ile malzeme kesme hızları

6.5.2. Oluk genişliği

Genellikle, oluk genişliği kesitin uzunluğuna göre değişiklik gösterir ve üst ve alt yüzeylerinde aynı değildir. Kesme işlemi, bitiş noktasında başlangıç noktasına nazaran daha sabittir çünkü sistemin hızlanarak istenilen kesme hızına ulaşması zaman alır. Bundan dolayı, yalnızca kesiğin bitiş noktasındaki oluk genişlikleri dikkate alınır.

CO₂ lazerle kesilen oluklarda da, malzeme yapısı değişikçe üst ve alt oluk genişlikleri arasında daha büyük farklılık olduğu Şekil 6,9'da gösterilmiştir. Bu eğilim, lazer ışınının odaklanılan noktadan sonra genişlemesine ve kesme işlemi süresince işlenen parça üzerinde oluşan ısı artışına bağlanılabilir.



Şekil 6.9. CO2 Lazerle Oluşturulan Oluk Genişlikleri

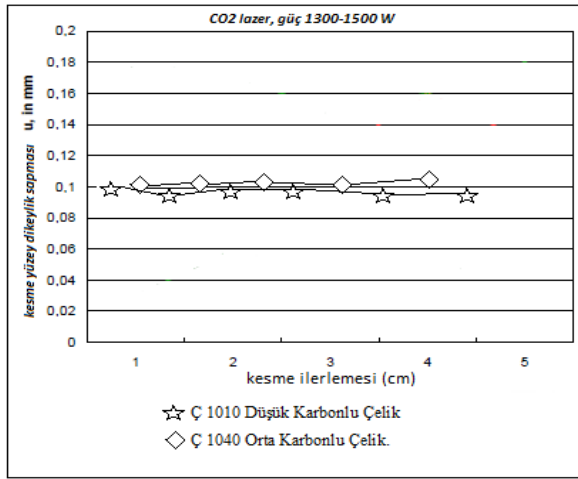
Odak konumunun oluk genişliği üzerindeki etkisi

Farklı odaklanmış ışın çapları veren lazer ışınlarını odaklarken farklı odak uzaklıkları kullanılmıştır. Daha kısa bir odak uzaklığı daha küçük bir odaklanmış ışın çapı verir ve oluk genişliği direkt olarak odaklanmış ışın çapıyla ilgilidir. Küçük bir odaklanmış çapı daha küçük bir oluk genişliği oluşturur. 200mm'lik odak uzaklığı kullanıldığında, 400mm'lik ve 600mm'lik odak uzaklıklarına nazaran daha küçük oluk genişliği elde edilmiştir. Bunun nedeni 200mm'lik odak uzaklığının, 400mm'lik ve 600mm'lik odak uzaklıklarından daha küçük odaklanmış ışın çapı vermesidir.

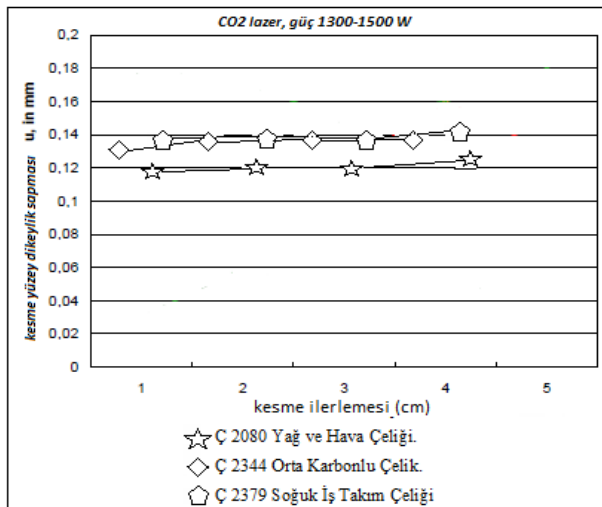
Üst oluk genişliği genellikle alt oluk genişliğinden daha büyüktür. Yine de, özellikle alt oluk genişliğinin üst oluk genişliğinden daha büyük olduğu birkaç durum gözlemlenmiştir. Yumuşak malzemelerde (Ç 1010) odak pozisyonu ayarı ile kesilebilen, malzemelerde, dişli imalatı için alınan numunelerde (Ç 4140) aynı kesim kalitesi gerçekleştirilememiştir.

6.5.3. Kesme uçlarındaki dikeylik sapması

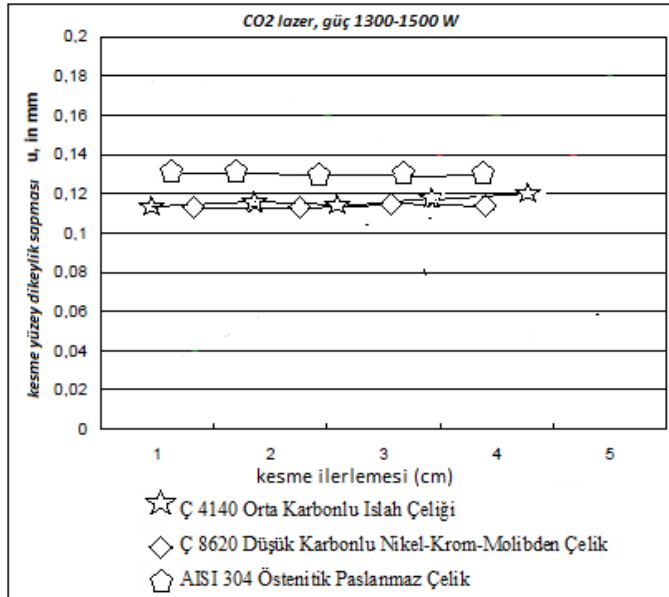
Dikeylik sapması, elde edilen gerçek kesme ucuyla, kesme ucunun konumu ve belirtilen şekli arasındaki dikey mesafedir. Sapmaların hem düzgünlüğünü hem de sabitliğini tanımlar. Kesme uçlarındaki dikeylik sapması sonuçları Şekil 6: 10, Şekil 6: 11 ve Şekil 6: 12’de gösterilmiştir. Dikeylik ölçümleri, her bir kesik oluşunun her iki ucundan da alınmış ve bu şekillerdeki her veri noktası, her bir kesik oluşunun uçlarındaki dikeylik sapması için ölçülen en yüksek değer olarak kabul edilmiştir.



Şekil 6.10. Ç 1010–1040’ a ait dikeylik sapması



Şekil 6.11. Ç 2080–2344-2379’a ait dikeylik sapması

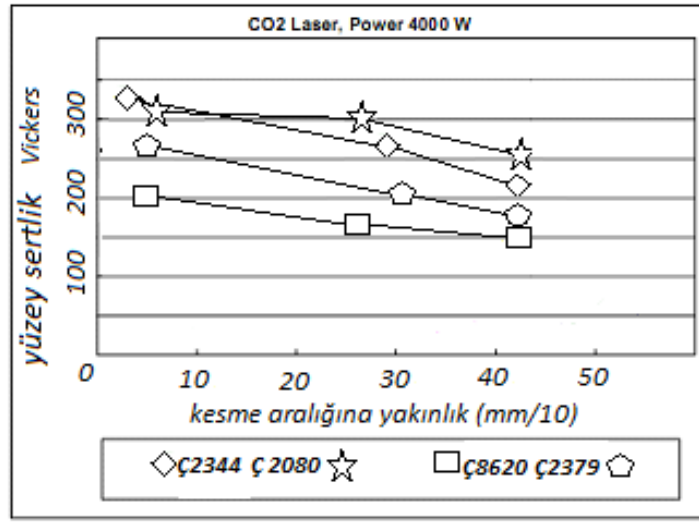


Şekil 6.12. Ç 4140–8620-304’e ait dikeylik sapması

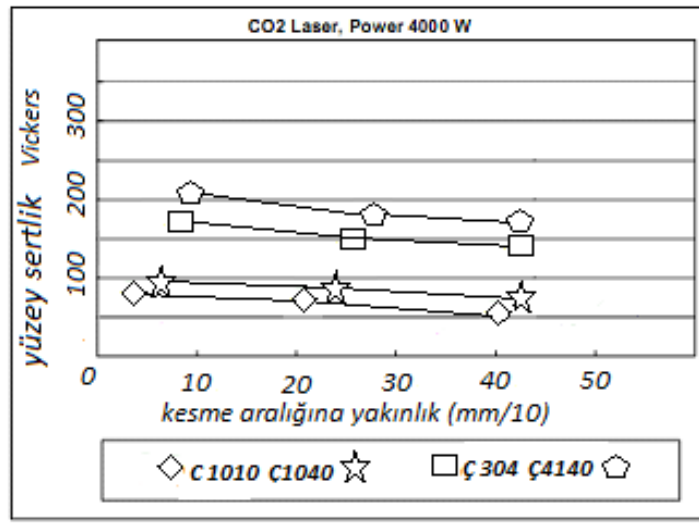
Benzer bir kesme hızında ve Ç 1010 Düşük Karbonlu Çelik Ç 1040 Orta Karbonlu Çelikte, CO₂ lazerinin kesme ucundaki dikeylik sapması (0.02mm), Ç 2080 Yağ ve Hava Çeliğinin kesme ucundaki dikeylik sapmasından daha düşüktür (0.06mm). Genellikle, CO₂ lazerinin kesme uçları kullanılan malzeme çeşitlerinin hepsinde de Ç 2344 Orta Karbonlu Çelik Ç 2379 Soğuk İş Takım Çeliği Ç 4140 Orta Karbonlu Islah Çeliği AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çelik (1.3mm, 1.85mm, 4.4mm, 6.4mm) düşük bir dikeylik sapması göstermiştir. En fazla dikeylik sapmasının görüldüğü Ç 8620 Düşük Karbonlu Nikel-Krom-Molibden Çelik 0.16mm’den daha azdır.

6.5.4. Yüzey sertliği

Yüzey sertliği, kesik yüzeylerinin farklı konumlarından rastgele bir biçimde ölçülmüştür ve ölçüm noktaları, kesik kalınlığında maksimum ölçme değerlerinin beklendiği yerlere yerleştirilmiştir. Ölçümler neticesinde alaşımlı malzemelerin yüzey sertlik değerlerinde artmalar görülmektedir. Bu sertlik değerlerinin sonraki işlemlerdeki olumsuzlukları yok etmek için malzemelere normleştirme tavlı uygulanmalıdır.



Şekil 6.13. CO2 Lazerle Oluşturulan kesik yüzeylerindeki yüzey sertliği



Şekil 6.14. CO2 Lazerle Oluşturulan kesik yüzeylerindeki yüzey sertliği

CO₂ lazerle oluşturulan kesik yüzeyleri, Şekil 6.16 ve Şekil 6.17’de gösterilen sekiz farklı malzemenin hepsinde de genellikle düşük yüzey sertliği sergiler. Kesme kalınlığının en üst ve alt kısmında çok büyük bir fark gözlemlenmediğinden, kesme kalınlığı boyunca nispeten tek biçimli bir yüzey sertliği göstermiştir. Yüzey sertliği (Hv) sonuçları gösterilmiştir. Kesik yüzeylerinin kesitleri kalın olması nedeniyle yüzey sertliği kesit üzerlerinde değişkenlik göstermektedir.

6.6. Tartışma

Sekiz farklı malzemeden elde edilen kesme kalitesi, kesik genişliği, kesme uçlarındaki dikeylik ve yüzey sertliği bağlamında kıyaslanmıştır. Kesme uçlarındaki dikeylik ve yüzey sertliği, yüksek ölçüde dayanıklılık gösteren otojen lazer kaynak gibi bazı sonradan yapılan işleme uygulamaları için oldukça önemlidir. Kesik genişliği bu sınıflandırmada dikkate alınmamıştır çünkü kullanılan kesme standardı kesik genişliği dayanıklılığını içermemektedir.

6.6.1. Maksimum kesme hızları

Bu master tezinde yapılan kesme deneylerinde CO₂ lazerleri için düzgün kesme kalitesiyle elde edilebilir maksimum kesme hızları araştırılmıştır. Yüksek ışın kalitesi ve dalga boyu, lazer ışınının daha yüksek güç yoğunluğuyla ve dolayısıyla daha yüksek kesme hızıyla sonuçlanan daha küçük bir noktaya odaklanmasını sağlamaktadır. Yüksek dalga boyları lazerlerde soğurma etkisini yükseltir. Yüksek ışın kalitesi aynı zamanda çalışma mesafesini arttıran daha uzun odaklama merceklerinin kullanılmasına olanak tanır ki bu da serpintilerin odak merceğine zarar verme riskini azaltmaktadır. Daha geniş bir çalışma mesafesi, kolayca ulaşılamayan bölgelerde kesme işlemi yapılırken de avantaj sağlamaktadır.

Bazı CO₂ ile kesme deneyleri yardımcı gaz olarak basınçlı hava kullanılarak yapılmış ve nitrojenle kesme işlemleriyle kıyaslandığında daha yüksek kesme hızları gözlemlenmiştir (Bkz. EK 2). Fakat basınçlı hava içerisindeki oksijen ve nitrojen oranları birbirine yakın olmasına rağmen oksijen oranı nitrojen oranından daha düşük olduğu için basınçlı hava kullanıldığında kesme uçlarının oksitlendiği görülmüştür.

6.6.2. Kesme genişliği

Kesme genişliği, kesme süresince eriyen materyal miktarını göstermektedir ve odaklanılmış nokta büyüklüğüyle bağlantılıdır. Keskin köşeleri kesme işleminde olduğu gibi ince detaylar yapılırken küçük kesme genişliği avantajlı olabilir. Kesme

genişliği temel olarak odaklanmış nokta büyüklüğüne dayalıdır. Odak noktasının büyüklüğü, lazer ışını kalitesi ve odaklama merceğine göre belirlenir. Işın konumunun işlenilen parçanın yüzeyine göre değiştirilmesi işlenilen parça yüzeyindeki güç yoğunluğunu değiştirir ve kesiğin boyutunu etkiler. Daha kısa bir odak uzaklığı daha küçük bir kesme genişliğiyle sonuçlanmaktadır. Odak uzaklığı da direkt olarak odak noktası büyüklüğüyle ilgili olduğundan, bu beklenen bir durumdur. Daha kısa odak uzaklığı, daha küçük odak noktası büyüklüğü verdiğinden kesme genişliği de daha küçük olur.

Kesme koşullarının çoğunda, üst kesik genişliği alt kesik genişliğinden daha büyüktür. Bu da özellikle alaşımlı malzemelerde ( r; 8620–304) kesiğin kalınlığı boyunca oluşan gaz basıncı kaybı ve odak noktası ebadının odak noktasının altında genişlemesiyle ortaya çıkan ışın yoğunluğu kaybından kaynaklanan lazerle kesmenin konik özelliğini gösterir.

Daha düşük kesme hızlarında, işlenilen parçanın lazer ışını etrafındaki nispeten daha büyük bir alanı ısınır ve erir, bu da daha büyük bir kesme genişliğiyle sonuçlanır (Resim 6.6.). Isıl iletkenliğe bağlı olarak, kesme genişliği odaklanmış lazer ışınının çapıyla eşit hale gelene kadar, kesme hızındaki artış üst kesme genişliğinde düşüşe neden olur



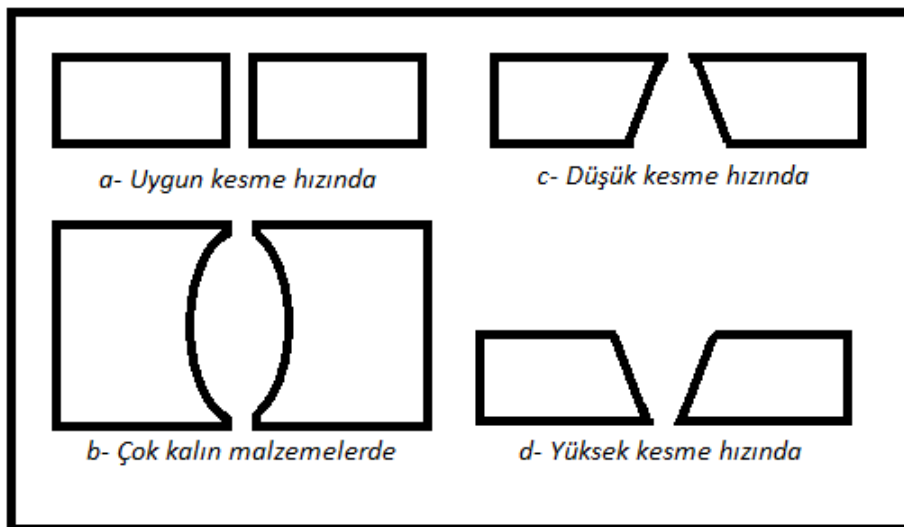
Resim 6.6. Aşırı ısınma neticesinde kesme boşluklarında aşırı genişleme

6.6.3. Dikeylik sapması

Genellikle CO₂ lazerle oluşturulan kesik yüzeyleri en düşük kesme hızıyla yapıldığından, kesme hızlarının kesme ucu dikeyliği üzerinde muhtemelen önemli bir etkisi yoktur. Yine de bu özel kesme deneylerindeki yardımcı gaz basıncı, odak uzaklığı ve odak konumunda olduğu gibi kesme hızında da değişiklik görülmüştür. Bu nedenle gaz basıncının, odak uzaklığının ve odak konumunun kesme uçlarındaki dikeylik sapması belirlenememiştir. Bu durum, yalnızca kesme hızı değiştirilip diğer işleme koşulları sabit tutularak araştırılmalıdır.

Her bir kesme oluğu için ölçülen maksimum dikeylik sapması değerleri, termik kesme işlemlerinde EN ISO 9013:2000 dayanıklılık alanı standardına göre kesme uçlarının sınıflandırılmasında kullanılmışlardır. Bu standarda göre dikeylik dayanma limitlerinin 1. grubu en iyi ve 20. grubu en kötü kaliteye karşılık gelmektedir.

Şekil 6.15'te gösterilen kesme uçlarının dikeylik sınıflandırması, düşük alaşımlı çelik malzemelerde değerlerinin "a" gruba denk geldiğini ortaya koymuştur. Orta karbonlu çelik malzemelerde dikeylik değerleri "d" gruba alaşımlı çelik, paslanmaz çelik grubunda "b" gruba denk gelmiştir.



Şekil 6.15. Kesme uçlarının dikeylik sınıflandırması [Ramulu ve Arola, 1993].

Literatür araştırmaları değerlendirildiğinde;

- Lülenin malzemeden uzaklığı; Lüle malzemeye ne kadar yakın olursa koniklik azalır.
- Malzeme sertliği; Daha sert malzemelerin islenmesi sırasında daha az koniklik oluşturur.
- Kesim hızı. Hızlı işleme sırasında koniklik bir yönde olurken yavaş işleme sırasında koniklik diğer yönde olur.
- Jet odaklanması. Odaklanma arttıkça koniklik azalır.
- Kullanılan asındırıcının kalitesi.
- Malzeme kalınlığı. Malzeme kalınlığı arttıkça koniklik artar. [Ramulu ve Arola, 1993].

6.6.4. Yüzey sertliği

Kesme kalitesi, alaşımlı malzemelerde daha yüksek yüzey sertliği oluştuğunu ve sertliğin kesik kalınlığı boyunca değişkenlik gösterdiğini ortaya koymuştur. Düşük karbon oranına ve alaşım malzemesine sahip levhalar daha düşük yüzey sertliği sergilemiştir ve sertlik kesik kalınlığı boyunca hemen hemen aynı kalmıştır. Daha önceki çalışmalar, yüzey sertliğinin artış gösterdiği durumlarda kritik bir kesme hızının olduğunu ve bu hızın güç seviyesine bağlı olduğunu ortaya koymuştur.

Odak uzaklığının 20 mm olduğu ve kesme işleminde, yüzey sertliğinde artış gözlemlenmiştir. 25mm gibi daha uzun odak uzaklığı kullanılarak daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Bu sorun daha detaylı araştırılmalıdır.

Literatür araştırması yapıldığında genellikle CO₂ lazerle oluşturulan kesik yüzeyleri, disk ve fiber lazerle oluşturulanlardan daha düşük yüzey sertliği sergilemektedir. Minimum yüzey sertliğinin elde edilebilmesi için odak uzaklığın, odak konumu, kesme hızları ve yardımcı gaz basınçlarının uygun kombinasyonu sağlanması gerekmektedir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. Sonuç

Büyüyen ve gelişen ülkemizde, teknolojinin gelişmesi ve büyümesi ülke gelişimi ile birlikte paralel ilerlemektedir. Bu gelişimi daha da ileri seviyelere taşımak teknolojik imkânların geliştirilmesi, bu gelişen imkânların bizlere sağlamış olduğu makine ve cihazların doğru kullanımı, yeterli personel, doğru materyal seçimi, kullanılan cihaz, makinalara uygun işlenebilecek malzemelerin seçilmesi ile sağlanacaktır. Aksi takdirde teknolojik imkanlar ne kadar ileri seviyelerde olursa olsun, doğru parametrelerin seçilmediği düşünülecek olursa, istenilen verimlilik elde edilemeyecek, dolayısıyla teknoloji bizlerin hedeflerimize ulaşmamızı veya yeterli ölçüde istenilen seviyedeki hedeflerimize ulaşmamızı sağlayamayacak yada bu hedeflere ulaşma sürelerimizin çok uzun olmasına neden olacaktır.

Çalışmada, geniş bir malzeme grubunun ele alınmasının yanı sıra, kesmede kullanılan klasik yöntemlerden, termal yöntemlere ve lazer, plazma, tel erozyon gibi araştırılmamış imal usullerine kadar farklı yöntemlerde elde edilen yüzeylerin metalürjik özellikleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Bu çalışmamızda başlangıç, paslanmaz; (östenitik, ferritik, martenzitik ve dublex yapı) 10 mm kalınlığındaki çeliklerin lazerle kesilmesi neticesinde karakterizasyonlarının incelenmesi idi. Araştırmalarımız neticesinde bizim istediğimiz malzemelerin, piyasada çok kullanılan cins ve yapıda malzemeler olmadığı için temini çok zor bazılarının ise sadece özel siparişlerle imal edilen malzemeler olduğunu gördük. Neticelerin malzemelerin kullanıcılarına daha somut fikir vermesi açısından piyasada genelde kullanılan çelik malzemeleri deneylerimizde kullandık. Yapmış olduğumuz çalışmada biz bu verimliliğin en doğrusunu elde etmek amacı ile bazı malzemelerle değişik parametrelerdeki sonuçları görmek ve bu parametrelerin içinde kullandığımız malzemeler için en doğru olanını seçmeyi hedefledik. Parametrelerin, yapılan işlem üzerinde etkisi olmakla beraber makina ve malzemenin doğru seçimi yani birbirine uyumu, bir

başka deyişle kapasitesinin etkisinin daha çok olduğunu gördük. Kullanılan materyallerde bazılarında bu sebepten dolayı kesme işleminde zorlanmalar meydana geldi ve bu yüzden malzeme yüzeyinde curuf oluşumu artış meydana geldi. Kesme aralıklarında (kerf) aşırı büyümeler oluştu. Daha sonra yapılan doğru uygulamalarda ise daha düzgün kesim yüzeyi ve daha az curuf oluşumu gözlenmiştir. Kesme aralıklarına en fazla etkinin ise malzemedeki ön ısınma olmuştur. Sık aralıklarla kesilen malzemelerde ısınma fazla olduğu için kesme aralıkları (kerf) bölgelerinde aşırı miktarda büyüme oluştu. Eğer sık aralıklarla kesme işlemi yapılacaksa malzemenin aşırı ısınmaması için gerekli tedbirler alınarak, kesme işlemlerine devam edilmelidir. Aynı kalınlıkta alaşımsız çeliği rahatlıkla kesebilen makina, su verilmemiş dahi olsa takım çeliklerini kesmekte zorlanmakta hatta kesme işlemini gerçekleştirememektedir. Malzeme israf edilmemesi açısından test numunesi kullanmak, doğru bir davranış olacaktır.

Literatürdeki çalışmalarda, optik ölçme cihazlarıyla belirlenen bu yüzey özellikleri, bu çalışmada endüstriyel olarak yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesinde yaygın kullanılan temaslı ölçme yapan cihazlarla da doğrulanmıştır.

Özellikle literatürde geniş anlamda çalışma alanı bulmuş olan yüzey özellikleri, çok daha geniş bir malzeme grubu ele alınarak değerlendirilmiştir. Literatürde ki deneysel çalışmalarda, yüzey özelliklerinin tespiti için genellikle temassız ölçüm yapan “optik lazer cihazı” kullanılmıştır. Oysaki makine imalat sektöründe “temaslı ölçüm yapan” yüzey pürüzlülük ölçüm cihazları yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, kesilen yüzeyler, temaslı ölçüm yapan ölçme aleti kullanılarak değerlendirilmiş ve böylece araştırmaya literatürden farklı bir boyut kazandırılarak elde edilen sonuçların önceki deneysel çalışmalarla benzerlik sergileyip sergilemediği tartışılmıştır.

Farklı kullanım alanlarına sahip çelik malzemelerin tamamında benzer özellikler elde edilmiştir. Isıdan etkilenen bölgenin genişliği, kesme yönteminin dışında, kesilen malzemenin ısı iletim katsayısına bağlı olarak da değişmektedir.

Klasik işleme yöntemleri ile işlemede, işlenmesi zor malzemeler grubunda yer alan ve olumsuz işlenebilirlik özellikleri sergileyen AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çelik, belli kalınlıklarda bu çalışmada lazer ışını ile kesilen malzemeler arasında da, bu özellikleriyle ön plana çıkmaktadır. Diğer malzemelerde, yüzey özellikleri üzerinde oldukça düşük etkilere sahip yanal hız, Östenitik Paslanmaz Çelik üzerinde daha etkili bir parametre olarak görülmektedir. Bu sebeple, işlenmesi zor bu tür malzemeler üzerinde parametre seçimi ve parametrelerin kombinasyonu çok daha dikkatli yapılmalıdır.

Eskilerin söylemiş olduğu gibi, “*alet işler, el övünür*”, uygulamalarda teknolojik imkânlar; araştırmaların neticeleri açısından yüzde yüz derecesinde önemli bir unsurdur. Teknolojiniz, yani kullanacağınız, takım makine, alet, materyallerinizin kalitesi, üretimin kalitesi ile doğru orantılıdır. Kullanılan makine ve teçhizatlar da eğitim kurumlarımızda sınırlı ölçülerde olduğu için deneylerin çoğunluğunu özel kurumlarda gerçekleştirmek zorunluluğu olmaktadır. Bu kurumlarda ise çalışmaları, hem materyal, hem de diğer şartlardan dolayı çalışmaların her zaman istenilen seviyelerde yapılması mümkün olmamakta, ya da istenilen çalışmaların tamamı yapılamamaktadır. İmkânlarımızın elverdiği ölçülerde deneylerimizi gerçekleştirmeye çalıştık, fakat elde edebildiğimiz, makine ve donanımlar sınırlı olduğu için, neticelerde istediğimiz ve yeterli seviyelerde ulaşamadık ve biz yaptığımız deneylere ilave olarak yurt içi ve yurt dışı çalışmaları araştırmak suretiyle literatürümüzü kullanıcılar açısından daha faydalı hale getirmeye çalıştık.

Araştırma ve deneylere başlanmadan önce yapacağınız iş ile ilgili önceden yapılan çalışmalar incelenip, bu konular üzerinde dikkatli davranılması, deneyde yapılan uygulamaların başarısı kadar, ön çalışmalarında yeterli seviyelerde yapılarak tespit edilen olumlu, olumsuz unsurlar dikkate alınarak çalışılması, başarı oranını büyük ölçüde etkileyecektir.

Bunun yanı sıra ciddi olarak çalışılmış bütün çalışmaların, mutlaka ciddi sonuçları elde edilecektir. Bu neticeler ise ilim açısından mutlaka faydalar sağlayacaktır. Bu faydalar üst üste eklendiğinde ise ilim basamaklarını oluşturacaklar ve göze

görünmeyen fakat global olarak hesaplandığında, çok büyük emek, zaman, materyal kayıplarını önlenecek ve ilave olarak, yapılan ve başarı ile neticelenen işler ise, ilim ve teknoloji açısından ilerleme, dolayısıyla yaşam seviyesini artırıcı unsur olacaktır.

Şunu da unutmamak gereklidir ki başarıdan öğrenilenler kadar, başarısızlıklardan da öğrenilecek, mutlaka bir şeyler vardır, söylediğimiz gibi ciddi yapılan bütün çalışmalarda, netice; başarı ya da başarısızlık ne olursa olsun, alınacak dersi görmek ve işin başarısızlığından dolayı umutsuzlaşmak yerine, başarısızlığı, başarıya basamak olarak kullanmayı bilmek gerekmektedir.

Bu yaptığımız çalışma ve diğer araştırmaların hepsi; teknolojinin sınırsız denilebilecek kulvarında birer mesafedir. Her araştırmacı çalışmasıyla belli mesafeler kaydetmek suretiyle, bütün dünyanın hiç durmadan, yorulmadan yarışmakta olduğu, neredeyse sonu olmayan bu süreçte diğer yarışmacılardan geri kalmamamızı sağlamakta, ödülü ise; maddi olarak ödüllendirilemeyecek, yani paha biçilemeyen bir değer olarak işi başarabilmektir.

Bizlerden önce bilim ve teknik açısından, çalışma yaparak endüstrimize, teknolojimize ve araştırmalarımıza faydaları, emekleri geçen kaynaklarımızda isimlerini zikrettiğimiz bütün araştırmacılara, şahsım ve bütün endüstriyel araştırmacılar ve çalışanlar olarak teşekkürlerimi borç bilir ve bizden sonra da yapılacak çalışmacı arkadaşlara başarılar dilerim. Bu nitelikli çalışmalardaki ana hedef, *karnı aç bir insana balık vermek değil, balık tutmayı öğretmektir*. O insan öğrendiği bilgilere kendi bilgi ve becerilerini ilave etmek suretiyle, bilgiyi aldığı insandan, teknoloji ve fen konularında daha ileri seviyelere ulaşarak, memleket ve insanlık için büyük adımlar atacağına inanmaktayız.

Bu hedeflerle gerçekleştirmeye çalıştığımız, bu çalışmamızda, eğer endüstrimize ve teknolojimize bir harf, bir kelime dahi faydalı olabilirsek bu bizim için en büyük ödül olacaktır.

7.2. Öneriler

Güncel, yeni ve alternatif bir işleme metodu olarak endüstriyel uygulamalarda kendine yer bulan lazer ışını ile işleme yönteminin, farklı çelik malzemelerinin kesilmesindeki etkinliğini değerlendirmeyi amaçlayan bu çalışma, üretimde henüz yoğun kullanılmayan bu metodun tanınmasına ve anlaşılmasına ışık tutacak bir hüviyettir. Araştırmanın esasını oluşturan deneysel çalışmalar, akademik kurumlarda böyle bir kesim tezgâhının mevcut olmaması sebebi ile ticari olarak faaliyet gösteren bir kuruluştaki yapılmıştır. İlgili kuruluşun ticari bakış açısı, deneysel çalışmalarda, daha farklı yaklaşımların getirilmesini sınırlamıştır. Oldukça yeni sayılabilecek bu alanda, literatürde pek çok akademik araştırmanın yapılmış ve yapılıyor olması, konunun güncelliğini göstermektedir. Yöntemin karmaşıklığı ve işleme parametrelerinin sayısının çok fazla olması, yapılan pek çok çalışmaya rağmen, yöntemin henüz tam olarak anlaşılmasının temel sebebidir. Bu anlamda, değişik parametrelerin etkinliği değiştirilerek birçok parametre değiştirilerek bilimsel çalışmalar yapılabilir. Elde edilen sonuçlar sanayiciye aktararak, yöntemin yoğun kullanımı ile ekonomik kazanımlar artırılarak ülke ekonomisine katkı sağlanacağı düşüncesi etkin olacaktır.

Kesilen yüzeylerde, jet hüzmesinin temas ettiği ilk yüzeye yakın üst bölgede daha iyi yüzey özellikleri elde edilirken, kesme derinliğindeki artışa bağlı olarak, alt bölgede paralel çizgiler halinde oluşan eğrisel izler şeklinde yüzey özellikleri bozulmaktadır. Bu özellikleri sergileyen lazer ışını ile kesilmiş bir yüzeyin kalitesi, alt kısımda oluşan bu çizgili ve dalgalı yüzey özelliklerine göre belirlenmelidir.

Lazerle çeliğin kesilmesi üzerine yapılacak olan gelecekteki çalışmalar, minimum yüzey sertliğine ve minimum dikeylik sapmasına imkân sağlayarak kesme kalitesinin artırılması konusunu kapsayabilir. Çalışmanın odağı daha kalın levhaların yüzey kalitesini geliştirmek üzerine olabilir.

Literatür incelendiğinde farklı kesme yöntemlerinin, kesilen yüzeyin metalurjik özellikleri üzerindeki etkisi dikkate alındığında, en olumlu sonuçların elde edildiği AWJ ile kesme yönteminin ön plana çıktığı görülmektedir.

Sonuç olarak yukarıda da belirttiğimiz gibi, işlemlerin kaliteli, başarılı olması için sadece teknolojinin en üst seviyelerde olmasının yanında; doğru makine, doğru malzeme, yeterli personel ve uygun işlem yöntemlerinin hep birlikte kombine olarak kullanılabilmesi, istenilen sonuçların elde edilebilmesini sağlayacak. Aksi takdirde ise, emek, zaman, malzeme ve enerjinin israf olmasına neden olacaktır.

Lazer ışını ile çalışırken unutulmaması gereken önemli bir husus ise çalışılan malzemelerden yayılan ısı ve ışınların sağlık açısından zararlar teşkil edip etmediği konusunda dikkatli davranmak gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Akkurt, A., “Çeşitli Malzemelerin Aşındırıcı Su Jeti İle Kesilmesinde Yüzey Özellikleri, Sertlik ve Mikro yapı Değişimlerinin Farklı Kesme Yöntemleriyle Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 211-252-302 (2002).

Alsaran, A., “Lazer ile şekil verme”. **Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Konst. ve İmalat Anabilim Dalı** Erzurum 2. (2008).

Anık, S. Öğür, A. Vural, M., “Termik Kesme Teknolojisi” **Gedik Eğitim.Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü** İstanbul Yayın No: 2 (1996).

Anonymous;, "High pressure jetting: are you ready for the move up?",**Pressure Concepts**, 1: 7 (1993).

Beesley, M. J., “Lasers and Their Applications”. **Taylor & Francis Ltd** London, 2: 7 9, (1976).

Chen, K. Yao Y.L., and Modi, V., “Numerical Simulation of the Gas Jet Effects in Laser Machining” **Proc. of ICALEO’98**, Orlando, FL Section B, (1998).

Demirhan, H., “Malzeme Teknolojisi” **Balıkesir Üniversitesi Edremit Meslek Yüksekokulu Makine Programı** Balıkesir 1: (1997).

Durmuş, H.; “CO2 Lazer Kaynağıyla Birleştirilmiş AL. Matriksli Komp. Kaynak Böl. Mekanik Öz. İncelenmesi” Doktora Tezi **Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** Manisa 56 (2006).

Deü Dergisi “Metal Malzemelerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri” **Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi** İzmir 3: 65-73 (2001). 6: 95-100 Mayıs (2004).

Fowell, RJ. Johnson S.T., “Waterjet assisted drog tool cutting; parameters for success”, **University of Newcastle upon Tyne, Plymouth Polytechnic**, U.K (1989).

Gökkaya, H. Habalı, K. Özçatalbaş, Y., **Politeknik Dergisi**, Ankara Cilt 7, Sayı 1, (2004).

Gürbüz, R., “Lazer ve Uygulama Alanları” **Ankara Üniversitesi, Çankırı Meslek Yüksekokulu** Çankırı 3 (2001).

Hashish, M., "Applications of metal cutting with abrasive-waterjets", **Proceedings: Conference of Nontraditional Machining**, USA 1: 11 (1988).

Hashish, M., "Optimization factors in abrasive-waterjet machining," *Journal of Engineering for Industry*, 113: 132-139 (1991).

Hashish, M., "Precision machining with abrasive waterjets", *Proceedings of the 6 American Water Jet Conference*, Houston, Texas, USA (1991).

Haylock, R., "Waterjet cutting" - *A Technology Afloat On a Sea of Potential Manufacturing Engineering*, 99: 37-41 (1987).

Hecht, J., "Mc Graw Hill", *The Laser Guidebook* United States of America 2: 14 (1992).

Hypertherm, Inc., "A history of plazma cutting - milestones in the development of a new technology", *Brochure from Hypertherm Inc. Hanover*, NH, USA, (1991).

Ion. J. C., "Laser Processing of Engineering Materials, Principles, Procedure and Industrial Application", *Elsevier 2005* 347-360 (2005).

Ivarson A. "On the Physics and Chemical Thermodynamics of Laser cutting", *Thecknska Hogskolan Lulea*, 69-132. (1993).

Jeff, D., "Waterjet cutting system s" *Ingersoll-Rand Company* (1999).

Josef, RV. "The Fascinating World of sheet Metal". *TRUMPF GmbH Co. KG, Oitzingen* (1996).

Juo, N. S. Louis, H. Meier, G., "Surface structure and kerf geometry in abrasive water jet cutting: formation and optimization", *Proceedings of the 7th American Waterjet Conference*, Seattle WA, USA, 1: 26. (1993).

Kaçar, E., "Nd-YAG Lazeri ile Plazma Oluşturularak X-Işınlarının Üretilmesi ve Bu Işınların Ölçülerek Dönüşüm Verimliliklerinin Hesaplanması". *Kocaeli Üniversitesi Araştırma Fonu./34* (2007).

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

Keilmann, R. Hack, R. and Dausinger, R. "Polarisation gives lasers a new cutting edge" *Optoand Laser Europe*, (September), 20-24 (1992).

Kovacevic, R. Mohan, R. Zhang, Y.M., "Cutting force dynamics AWJ", *Journal of Engineering for Industry*, 15: 20-32 (1995).

Kovacevic, R. Mohan, R. Beardsley, H. E., "Monitoring of thermal energy distribution in abrasive waterjet cutting using infrared thermography", *ASME Transactions Journal of Engineering for Industry*, (1994).

Louis, St., Antti Salminen Lappeenranta “The 6th American Water Jet Conference”, *Water Jet Technology Association*, (16 May 71): 163-177 (2006).

McGeough, J.A., 1988, “Advanced methods of machining”, *Chapman & Hall, ISBN 0-412-31970-5, Materials. Springer*, New York, NY, (2008).

Megep Yayınları; “T.C. Milli Eğitim Bakanlığı Metal Teknolojisi Isıl İşlemler” *Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi* Ankara S; 5-8-13-14, (2006).

Megep Yayınları; “T.C. Milli Eğitim Bakanlığı Metal Teknolojisi Sertlik Ölçme Yöntemleri” *Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi* Ankara S; 22-23-24, (2006).

Miller, D. S., "Expanding the market for abrasive jet cutting systems", *Proceedings of the 7th American Waterjet Conference*, Seattle, WA, USA, August (28-31): 899-905. (1993).

Momber, A, Kovacevic, R, "Calculation of exit jet energy in abrasive water jet cutting", *ASME, Manufacturing Science and Engineering*, New York, 361-366 (1994).

Momber, A, Kovacevic, R, "Schneidversuche an tahibeton mit dem abrasivdruckwasserstrahlen", *Beton-und Stahlbetonbau*, 89: 132-134, (1994).

Momber, A. W. Kovacevic, R. Schüneman, R., “The influence of abrasive grain size distribution parameters on the abrasive water jet machining process” *North American Manuf. Engrs*, (Proc. 25): 21-26 (1996).

Momber, A. W. Kwak, H. Kovacevic., An alternative method for the evalution of the abrasive water jet cutting process in gray cast iron. *J. of Mater. Process. Technol.* 65: 65-72 (1997).

Momber, A., "A simplified mathematical energy dissipation model water jet and abrasive water jet cutting processes", *8th Amer. water Jet Conference*, Houston (August) (26-29): 829-843 (1995).

Mungan M. C., “Lazer ile Kesme ve End. Uygulamaları” Yüksek Lisans Tezi *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Antakya 3-4 (2006).

Kar N. and Migliore L., “Metallurgical Characteristics of Laser Cut Aerospace Alloys”, *Laser Material Processing Laser Institute of America*, USA (90).71: 167-168. (1991).

Olsen, O. Veli, K. F. “Laser Cutting Of Austenic Stainless Steel With a High Quality Laser Beam” *Lappeenranta University of Technology Department of Mechanical Engineering* Finland (16 May 52): 61-67 (2006).

Öjmertz, C., “A Study on abrasive waterjet milling, Department of Production Engineering”, *Thesis for Degree of Doctor of Philosophy*, Sweden March- 91:96 (1997).

Öner, U., “Lazerle Kesme Aralığı ve Yüzey Kalitesinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* Ankara 12 (2008).

Özden, H., “Lazer makineleri ve Lazer yöntemleri”, Yüksek lisans ders notları, *Ege Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü*. İzmir (laser. Jpg) 7-15 (2007).

Poprawel, R., “Modeling Monitoring and Control in High Quality Laser Cutting” *Fraunhofer Institut für Lasertechnik ILT, Aachen*, Germany Submitted by W. König (I), Aachen, Germany (2007).

Powell, J. Ohlsson L. Olofsson E. M., “An economic comparison of lazer and abrasive water jet cutting”, *Lulea University of Technology Division of Materials Processing*, Sweden (1995).

Ramulu, M. Arola, D., “Water Jet and Abrasive Water Jet Cutting of Unidirectional Graphite/Epoxy Composite”. *Composites, University of Washington*, USA, (24) No. 4. Miller, F. K., “Waterjet Cutting”: *Technology and Industrial Applications*, London, U.K., 154. (1993).

Salman Nisar ^a, M.A.Sheikh ^a, LinLi ^a, Shakeel Safdar ^b, “Effect of thermal stresses on chip-free diode laser cutting of glass a Manufacturing and Laser Processing Research Group Schoolof” *Mechanical Aerospace and Civil Engineering, The University of Manchester*, Manchester, M60 1QD, UK ^b *College of Aeronautical Engineering, Department of Aerospace Engineering*, Pakistan 320 (2008).

Samant, A. N. and Dahotre, N. B., “Ab initio physical analysis of single dimensional laser machining of silicon nitride”. *Department of Materials Science Engineering, The University of Tennessee*, USA. (10), 974-975-978-981. (2008).

Samant, A. N. and Dahotre, N. B., “Computational predictions in single dimensional laser machining of alumina”. *Department of Materials Science Engineering, The University of Tennessee*, USA. (48), 1345-1353. (2008).

Schulz, W. Kostykin, NielJen, M. Michel, J. Petring, D. Kreutz, E.W. Poprawe, R., “Dynamics of Ripple Formation and Melt Flow in Laser Beam Cutting”, *Fraunhofer Institut für Lasertechnik ILT*, Aachen, Germany 1.(1999).

Singh, P.J. Munoz, J., "Cost optimization of abrasive waterjet cutting systems", *Proceedings of the 7th. American Water Jet Conference*. USA. (28-31) 191-204 (1993).

The Laser Institute of America's (LIA; Orlando, FL) "Laser Additive Manufacturing Workshop and the Association of Industrial Laser User's" (AILU; Abingdon, England) *Additive Layer Manufacturing Workshop* USA (Jun 1), (2009).

Uslan, I^b. Karatas, C^a. Keles, O^b. Usta, Y^b., "Laser cutting of steel sheets" a; *Nuclear Engineering, Hacettepe University*, Ankara, b; *Mechanical Engineering, Gazi University, Muhendislik Mimarlik Fakultesi* Ankara, (2005).

ÜN, H.; "Mühendislik Metal ve Alaşımları" *Pamukkale Üniversitesi* Denizli S33 34 38 50 58 (2007).

Vijay, M., "Waterjet cutting of a peach to remove the stone prior to canning", *WJTA Jet News, St. Louis*, USA (1993).

Wolgamott, J., "Plant/construction applications", *Fluid Jet Technology Fundamentals and Applications*, (ISBN 1-880342-01-4, Publ. by the WJTA, St Louis, MO), USA, (1991).

www.laserinstitute.org/ "Laser Institute of America". (LIA) Dept. of *Mechanical Engineering, Columbia University*, New York, New York, USA. 120-129 (2009).

WWJ.Smacna.org/council/asm/arch_metal/Spring98/waterjet.htm "Alternative to plazma and lazer cutting", *SMACNA Architectural Metal*, (Spring 4) N-1 (1998).

<http://www.fizikportali.com> "Fizik, Eğitim, Bilim ve Teknoloji" *Haber Portalı* (2008/12 laser.jpg) (2009).

[www. Vikipedi](http://www.Vikipedi) <http://en.wikipedia.org> "Malzeme Alaşımları" *Metalworking* (2009).

[www. wj.net/waterjet/waterjet_faq.html](http://www.wj.net/waterjet/waterjet_faq.html), "FAQ's" *Frequently Asked Questions Waterjet* (2000).

Gürsoy, H., (<http://www.bilgiustam.com/>) "(Lazer/Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) Nedir?" *Elektronik, Nasıl Çalışır?* 16 Mart 2008.(2009).

Sachioğlu, V., (<http://www.biltek.tubitak.gov.tr/bilgi/paket/madde/atom.html>) "Altın, C" *Bilim ve Teknik Dergisi* 2009 (2010).

[http://www.cncteknik.net/lazer_teknolojisi/2134-\"lazer-tezgâhları\".html](http://www.cncteknik.net/lazer_teknolojisi/2134-\) *Tekno 2000 Paz. ve İnşaat Tic. Ltd. Şti* 09.Aralık.2007 (2010).

<http://www.akcelik.com.tr/akcelik>; "Dökümanlar" *Demir Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş* 2009

<http://www.kucuklercelik.com/dokumanlar2.htm> "Alaşım Elementlerinin Çeliklere Etkileri" *Küçükler Demir ve Çelik San. Tic. Ltd. Şti.* (2009).

<http://www.celikmil.com.tr>. “Alaşım Elementleri” **Çelikoğlu Demir Çelik Sanayii Tic. Ltd. şti** (2009).

<http://www.malzemebilimi.org/> “Demir karbon diagram” (*görseller.jpg*) (2010).

<http://www.ilmiarastirma.net> “u makale”, **İlmi Araştırma Dergisi** (30. sayı Aralık 2006).32 (2009).

<http://www.sizinti.com.tr/> “(konular/ayrinti/sekil-hafızali-metaller.html)” **Sızıntı Dergisi** (Sayı: 167-367) (2009).

<http://www.metaldunyasi.com> “Malzeme, Metalurji, Otomasyon ve Üretim” (Teknolojisi Dergisi Teknik Yazılar) **Prestij Yayıncılık** (2009).

www.laserage.com/ “Lazer Makinaları ve Özellikleri” **Laserage Technology Corporation** (2009).

<http://www.kocaeli.edu.tr> “Latarum”.**Lazer Teknolojileri Araştırma ve Uygulama Merkezi** (jpg) (2009).

www.laserinstitute.org/ “Laser Applications and Safety Education Industry” **Laser Institute of America** (jpg) (2009).

<http://www.teknoloji.tc> “Teknoloji, Tasarım, Bilim Teknik, Robot, İcat, Keşif, Buluş” **Teknoloji Tarihi** (22 Kasım 2008), (2010).

Yilbas, B.S. Nickel, J. Coban, A., “Effect of oxygen in laser cutting process” **King Fahd University Mechanical Engineering Department** Saudi Arabia 5. 12 (1997)

Zeng, J. Hines. R. Kim. T. J., “Characterization of energy dissipation Pphenomena in abrasive water jet cutting”, **Proceeding of the 6th American Water Jet Conference, Water Jet Technology Association**, St. Louis. 163–177, (1991).

Zhao, J., “Numerical Simulation of High Intensity Laser Drilling of Metals”. Masters Thesis. **The University of Tennessee, Knoxville**, USA (1999).

EKLER

EK-1. Farklı İmalat Yöntemleri

Çizelge 1.1. Çeşitli işleme yöntemleri listesi [Akkurt, 2002].

	Ahşılınmamış imalat yöntemi ismi	Non-Traditional machining Pocess name	Simge
1	Aşındırıcı akış ile işleme	Abrasive flow machining	AFM
2	Aşındırıcı jet ile işleme	Abrasive jet machining	AJM
3	Basınçlı su jeti ile işleme	Water jet machining	WJM
4	Hidrodinamik işleme	Abrasive water jet turning	HDM
5	Aşındırıcı su jeti ile işleme	Abrasive water jet machining	AWJM
6	Aşındırıcı su jeti ile tornalama	Abrasive water jet turning	AWJT
7	Düşük gerilmeli taşlama	Low stresgrinding	LSG
8	Sünek ilerlemeli taşlama	Creep feed grinding	CFG
9	Isıl yardımcı işleme	Thermally assisted machining	TAM
10	Tümünden şekil işleme	Total form machining	TFM
11	Ultrasonik (ses ötesi) işleme	Ultrasonic abrasive machining	USM
12	Dönel ultrasonik işleme	Rotary ultrasonic machining	RUM
13	Toz parçacıkları ile işleme	Powder particle machining	PPM
14	Elastik emisyon ile işleme	Elastic emission machining	EEM
15	Manyetik aşındırıcı toz ile parlatma	Magnetic abrasive polishing	MAP
16	Elektro kimyasal işleme	Electrochemical machining	ECM
17	Elektro kimyasal çapak temizleme	Electrochemical deburring	ECDS
18	Elektro kimyasal delik delme	Electrochemical drilling	ECD
19	Elektro kimyasal taşlama	Electrochemica grinding	ECG
20	Elektro kimyasal erozyon taşlama	Electrochemical discharge grinding	ECDG
21	Elektro kimyasal honlama	Elektrochemical honing	ECH
22	Elektro kimyesel lepleme	Electrochemical lapping	ECL
23	Elektro kimyasal parlatma	Electrochemical polishing	ECP
24	Elektro kimyasal bileme	Electrochemical sharpening	ECS
25	Elektro kimyasal dilme	Electrochemical slitting	ECT
26	Elektro kimyasal tornalama	Electrochemical turning	ECT
27	Elektro kimyasal sıvı jeti	Electrochemical stream	ES
28	Şekilli boru ile eletrolitik işleme	Shaped Tube Electrolytic Machining	STEM

EK-1. (Devam) Farklı İmalat Yöntemleri

Çizelge 1.1. (Devam) Çeşitli işleme yöntemleri listesi [Akkurt, 2002].

29	Telli eletro kimyasal işleme	Wire Electrochemical Machining	WECM
30	Vurumlu Elektro Kimyasal	Pulsed Electrochemical Machining	PECM
31	Telli elektro kimyasal erozyon işleme	Wire Electrochemical Discharge Machining	WECDM
32	Elektro parlatma	Electro-Polishing	ELP
33	Kimyasal işleme (frezeleme)	Chemical Machining (Milling)	CHM
34	Fotokimyasal işleme	Photochemical Machining	PCM
35	Kimyasal boşaltma	Chemical Blanking	CHB
36	Kimyasal dağlama	Chemical Etching	CHE
37	Isıl kimyasal işleme	Thermo Chemical Machining	TCM
38	Lazer yüklemeli kimyasal işleme	Laser Loaded Chemical Machining	LCP
39	Patlatma kimyasal işleme	Combustion Machining	CM
40	Isıl enerji yöntemi	Thermal Energy Method	TEM
41	Elektron ışını ile işleme	Electron Beam Machining	EBM
42	Elektro erozyon ile işleme	Electric Discharge Machining	EDM
43	Eletro erozyon ile taşlama	Electric Discharge Grinding	EDG
44	Elektro erozyon testere	Electric Discharge Sawing	EDS
45	Telli elektro erozyon ile kesme	Electric Discharge Wire Cutting	WEDM
46	Dönel elektro erozyon	Rotary Electric Discharge Machining	RED M
47	Lazer ışını ile işleme	Laser Beam Machining	LBM
48	Lazerli Hamlaç	Laser Beam Torch	LBT
49	Lazer Yüklemeli Kimyasal İşleme	Laser Induced Chemical Processing	LCP
50	Plazma ile işleme	Plasma Beam (Arc) Machining	PAM
51	Plazma Yardımlı işleme	Plasma Assisted Machining	PaM
52	Elektro Temas ile işleme	Electro Contact Machining	EcM
53	iyon ışını ile İşleme	Ion Beam Machining	IBM
54	Iyon ışını ile Sıçratma İşleme	Ion Beam Sputter Machining	IBSM
55	Tepkimeli Iyon ışını ile İşleme	Reactive Ion Beam Etching	RIBE
56	Iyon ışını ile Tohumlama	Ion Beam Implantation Process	IBIP

EK-2. Farklı İmalat Yöntemleri Karşılaştırmaları

Çizelge 1.1. Su jeti, CO₂ lazer ve lazer-mikrojet ile kesme yöntemlerinin karşılaştırılması [Singh ve Munoz, 1993].

Faktörler	TEMEL FARKLILIKLAR		
	Aşındırıcı Su Jeti	CO ₂ lazer	Lazer – mikrojet
Enerji ortamı	Su	Işık 10,6 µm (uzak infrared)	Işık 1,06 µm (yakın infrared), lazer hüzmesi ile kılavuzlanmış su jeti
Enerji kaynağı	Yüksek basınçlı pompa	Gaz lazer	Katı haldeki lazer
Enerji iletimi	Rijit, yüksek basınç hortumları	Aynalarla (hareketli-optikler) kılavuzlanmış hüzme, fiber iletim mümkün değildir.	Yüksek seviyede esneklik sağlayan fiber iletimle yönlendirilmiş ışın
Malzemenin uzaklaştırılması	Yüksek basınçlı su jeti	Hava gaz kullanımı gerektiren gaz jeti	Su jeti, sistem gaz olmaksızın çalışır
Nozul ve malzeme arasındaki mesafe ve müsaade edilebilir maksimum tolerans	Yaklaşık 3 mm ±1 mm, mesafe sensörü, düzenleme ve Z ekseninde hareket gereklidir	Yaklaşık 3 mm ±1 mm, mesafe sensörü, düzenleme ve Z ekseninde hareket gereklidir	0-60 mm, mesafe sensörü, düzenleme ve Z ekseninde hareket olmaksızın

EK-2. (Devam) Farklı İmalat Yöntemleri Karşılaştırmaları

Çizelge 2.1. (Devam) Su jeti, CO₂ lazer ve lazer-mikrojet ile kesme yöntemlerinin karşılaştırılması [Singh ve Munoz, 1993].

Faktörler	TEZGAH		
	Aşındırıcılı Su Jeti	CO ₂ lazer	Lazer – mikrojet
Tezgah Kurulumu	Çalışma alanı ve pompa birbirinden ayrı olarak yerleştirilebilir	Lazer kaynağı daima tezgahın içine yerleştirilir	Fiber iletim sebebiyle çalışma alanı ve lazer ve/veya pompa birbirinden ayrı olarak yerleştirilebilir
Normal Tabla Ölçüleri	2500X1250 mm den 4000X2000 mm'ye kadar	2500X1250 mm den 6000X2000 mm'ye kadar	300X300 mm'den 1000X600 mm'ye kadar
İş parçasında tipik hüzme gücü	4 kW – 17 kW (4000bar)	1500 W – 2600 W	100 W – 500 W

EK-2. (Devam) Farklı İmalat Yöntemleri Karşılaştırmaları

Çizelge 2.1. (Devam) Su jeti, CO₂ lazer ve lazer-mikrojet ile kesme yöntemlerinin karşılaştırılması [Singh ve Munoz, 1993].

Faktörler	UYGULAMALAR		
	Aşındırıcı Su Jeti	CO ₂ lazer	Lazer – mikrojet
Genel Uygulamalar	Kesme Yüzey temizleme Biçimlendirme	Kesme Delme Oyma Yüzey temizleme Biçimlendirme Kaynak	Kesme Delme Oyma Yüzey temizleme Biçimlendirme
3-Boyutlu Kesme	İş parçasının gerisinde kalıntı enerjinin tahribatı sebebi ile sadece kısmen mümkündür	Rijit hüzme kılavuzlaması ve mesafe düzenlemesi nedeni ile zordur.	Fiber iletim ve uzun çalışma aralığı mesafesi sebebiyle problem yoktur.
Kesilebilecek Malzemeler	Tüm malzemeler	Tüm metaller (yüksek yansıtma özelliği olan metaller hariç), tüm plastikler, cam ve ahşap	Tüm metaller (yüksek yansıtma özelliği olan metaller hariç), çeşitli plastikler, seramikler
Malzeme Kombinasyonları	Mümkündür fakat tabakalaşma tehlikesi vardır	Sadece farklı ergime noktalarına sahip malzemeler kesilebilir	Absorbsiyon yeterli ise mümkündür
Boşluklar ihtiva eden sandviç (kat-kat) yapılı	Sınırlı	Mümkün değil	60 mm'ye kadar mümkün
Bozulmuş girişle malzemeleri kesme	Nozul ve malzeme arasındaki kısa mesafe sebebi ile sınırlı	Çok kısa mesafe ve büyük kesme başlığı sebebi ile nadiren mümkün	Uzun çalışma aralığı sebebi ile pek çok durumda mümkün
Süreci etkileyen malzeme özellikleri	Malzemenin sertliği	10.6 µm'de malzemenin absorbsiyon özellikleri	1.06 µm'de malzemenin absorbsiyon özellikleri
Ekonomik olarak işlenebilecek malzeme kalınlıkları	Malzemeye bağlı olarak, 10 ~ 50 mm	Malzemeye bağlı olarak, 3 ~ 10 mm	Malzemeye bağlı olarak, 0 ~ 3 mm
En yaygın uygulamaları	Seramiklerin, taşın ve daha kalın metallerin kesilmesi	Sac metal levhaların işlenmesinde orta kalınlıktaki düz çelik sac levhaların kesilmesi	İhmal edilebilir, termal etkilerle ince malzemelerin, düzensizliklerin hassas olarak kesilmesi

EK-2. (Devam) Farklı İmalat Yöntemleri Karşılaştırmaları

Çizelge 2.1. (Devam) Su jeti, CO₂ lazer ve lazer-mikrojet ile kesme yöntemlerinin karşılaştırılması [Singh ve Munoz, 1993].

Faktörler	İŞLEME HASSASİYETİ VE DİĞER ÖZELLİKLER		
	Aşındırıcı Su Jeti	CO ₂ lazer	Lazer – mikrojet
Minimum kesme yanğı genişliği	0,5 mm	0,15 mm, Yanal hızına bağlı	0,05 mm, Yanal hızından bağımsız
Kesilen yüzeylerin görünümü	Kumlanmış gibi, Yanal hızına bağlı	Çizgisel izlerden oluşan yapı	Kumlanmış gibi, Yanal hızından bağımsız
Kesilen kenarların paralellliği	İyi, daha kalın malzemelerin kesilmesinde eğrilerde “kuyruk oluşma” etkisi	İyi, nadiren konik kenarlar	Mükemmel
İşleme hassasiyeti	Yaklaşık 0,2 mm	Yaklaşık 0,05 mm	< 0,01 mm mümkün
Çapak oluşumu	Çapak oluşumu yok	Kısmen çapak oluşumu	Hiç çapak oluşması yok
Malzemede Termal (ısı) gerilmeler	Yok (hiç)	Deformasyon, temperlenme ve yapısal değişiklikler olabilir	Çok hafif. Deformasyon, temperlenme ve yapısal değişiklik yok
İşleme sırasında jet yönünde malzeme üzerindeki kuvvet etkileri	Yüksek: Bu sebeple ince ve küçük parçalar sınırlı seviyede işlenebilir.	İnce parçalarda gaz basıncı problem yaratır, mesafe korunamayabilir	Çok hafif. Çok ince iş parçaları problem olmaksızın işlenebilir
Personel için güvenlik özellikleri	Koruyucu camlar, kulaklık, su jeti ile temasa karşılık koruma	Lazer koruyucu camlar mutlaka gerekli değildir.	Özel lazer koruyucu camlar gereklidir (gün ışığının yüksek iletimi: <%80), su jeti tehlikeli değildir.
Duman ve toz oluşumu	Oluşmaz	Oluşur, plastik ve bazı metal alaşımları zehirli gazlar oluşturur.	Hafif, kesme gazı kullanılmadığından ve büyük bir bölümünün su tarafından absorbe edilmesinden dolayı
Gürültü kirliliği	Yüksek	Düşük	Düşük
Tezgah kirlenmesi	Yüksek	Düşük	Düşük
Kesme atıkları	Aşındırıcılarda kaşınım sebebiyle büyük miktarda kesme atığı oluşur.	Kesme atığı; çoğunlukla, vakumla emilmesi ve filtre edilmesi gereken toz şeklinde	Kesme atıkları genelde su tarafından absorbe edilir.

EK-2. (Devam) Farklı İmalat Yöntemleri Karşılaştırmaları

Çizelge 2.1. (Devam) Su jeti, CO₂ lazer ve lazer-mikrojet ile kesme yöntemlerinin karşılaştırılması [Singh ve Munoz, 1993].

Faktörler	MALİYETLER		
	Aşındırıcı Su Jeti	CO ₂ lazer	Lazer – mikrojet
İlk yatırım	520 000 SFr (20 kW pompa ve 2X1,25 m tabla için)	520 000 SFr (1500W lazer, 2X1,25 m tabla için)	480 000 SFr (500W lazer, 1X0,6 m tabla için)
Aşınan parçalar	Su jeti nozulu, Odaklama nozulu, Yüksek basınçlı parçalar (valfler, hortumlar, keçeler)	Koruyucu cam, gaz nozulları, toz ve aşındırıcı parçacık filtreleri	Flaş lambası, su jeti nozulu, kesme suyu için filtre
Komple sistemin ortalama tüketimi	20 kW pompa Elektrik: 22–35 kW Su: 150 l/h Aşındırıcı: 36 kg/h Kesme atıklarının imhası	1500 W CO ₂ lazer Elektrik: 24–40 kW Lazer gas (CO ₂ , N ₂ Hc) Kesme gazı (O ₂ , N ₂): 500 - 2000 l/h	500 W Nd: YAG lazer Elektrik: 25–30 kW Su: 6 l/h

Çizelge 2.2. Yöntemlerin, kesilebilen malzeme cinsi ve kalınlığına göre karşılaştırılması [Wolgamott, 1991].

Kesme Sistemleri	Maksimum Malzeme Kalınlıkları [mm]				
	Paslanmaz Çelik	Alaşımlı Çeliği	Karbon Çeliği	Kompozitler	Taş, Granit Mermer,
Su jeti ile kesme	100	100	100	140	140
Lazer ile kesme	10	5	16	–	5
Plazma ile kesme	20	20	20	–	–
Oksijen ile kesme	–	–	160	–	–

EK-2. (Devam) Farklı İmalat Yöntemleri Karşılaştırmaları

Çizelge 2.3. EDM, Lazer ve Su jeti ile kesmenin değişik yönlerden karşılaştırması [Miller, 1993].

FAKTÖRLER	YONTEM		
	EDM	LAZER	SU JETİ
Kesilen malzeme tipleri	Sadece metalik malzeme	Genelde metalik malzeme (yansıtmayan)	Her çeşit malzeme
Kesilen malzeme kalınlıkları	25.4 mm ve üstü	6.35 mm ve altı	0.0 mm ve üstü
Hassasiyet	0.00254 mm (onda)	0.0254 mm (binde)	0.0254 mm (binde)
Kesme için ilerleme değerleri	Aşırı yavaş (mm/hr)	Hızlı (mm/min)	Orta hızlı (mm/min)
HAZ – Isıdan etkilenmiş bölge	Evet	Evet	Hayır
Kesilen kenar kalitesi	Yüksek 0.13 μ m ~ 1.3 μ m	Düşük 3.204 μ m ve üstü	Orta 1.3 μ m ve üstü
Ön işlem	. Her boşluk için ön delik delme . Telin yeniden takılması	Yok	Yok
Son işlem	HAZ'ın kaldırılması	HAZ'ın kaldırılması	Yok
Kullanıcı güvenliğine uygunluk	Hayır	Hayır	Evet
Tezgâh maliyeti	Düşük	Yüksek	Orta

EK-2. (Devam) Farklı İmalat Yöntemleri Karşılaştırmaları

Çizelge 2.4. Farklı malzemelerin işlenmesinde seçilebilecek kesme hızları [Miller, 1993].

Malzeme	Kalınlık	İlerleme (mm/min)		
		Plazma (500 A)	Lazer (1500 W)	Su Jeti (3500 bar)
37 Çeliği	0.05	0.004500	0.002200	0.200
37 Çeliği	0.20	0.002000	0.00000-	0.050
Dökme demir	0.10	0.003000	0.001000	0.150
Dökme demir	0.28	0.002100	0.000300	0.040
Paslanmaz çelik	0.02	>0.06000	>0.06000	0.450
Paslanmaz çelik	0.40	0.000500	0.00000-	0.015
Bakır	0.05	0.002000	0.00000-	0.300
Alüminyum	0.02	>0.06000	0.001000	0.800
Alüminyum	0.40	0.001200	0.00000-	0.080
Alüminyum	1.30	0.00000-	0.00000-	0.010
Titanyum	0.01	>0.06000	>0.06000	0.850
Titanyum	0.30	0.002000	0.00000-	0.045
Mermer	0.19	0.00000-	0.00000-	0.700
Kevlar	0.03	0.00000-	0.00000-	2.000

EK-2. (Devam) Farklı İmalat Yöntemleri Karşılaştırmaları

Çizelge 2.5. Kesme yöntemlerinin karşılaştırılması [Akkurt, 2002].

Kesme Yöntemlerinin Karşılaştırılması				
Karşılaştırma Faktörü	Aşındırıcı Su Jeti	Lazerle Kesme	Plazma ile Kesme	Oksijenle Kesme
Malzeme Kalınlığı	++	-	+	++
Kesme Kalitesi	++	++	-	-
Yanal hızı	+	++	+	+
Çok Amaçlı Kullanım	++	0	+	-
Hassas Kesme	++	++	+	0
İkinci Bir İşlem Gereksinimi	++	+	+	-
Çapak (Cüruf) Oluşumu	+	-	-	+
Üretim Esnekliği	++	+	-	0
Toplam İşleme Zamanı	+	+	0	-
++ : Mükemmel + : İyi - : Kabul edilebilir 0: Kabul Edilemez				

EK-3. Çelik Malzemelerin Isıl İşlemleri ve Metalorjik Özellikleri

Çizelge 3.1. Yüzey sertleştirme işlem çeşitleri ve özellikleri [Metaldunyasi, 2009].

Tavlama adı	Uygulanması ve Elde edilen özellik
Karbonlama (sementasyon)	Yüzey karbon oranı yaklaşık %0,8 civarında olan bir Parça ostenitlenip su verilir ise yüzeyi sert iç kısmı Sertleşmemiş bir yapı elde edilir ki bu yapı hem Aşınmaya, hem de darbeye dayanıklı hale gelir. Çeliğin, karbonlama ve sertleştirme işlemlerine sementasyon denilir
Azotlama	Karbonlamaya benzer şekilde çeliğin yüzeyine azot Difüzyonu yapılır. Azot, nitrürasyon çeliklerinde bulunan Al, Cr, Ti gibi Elementlerle sert nitrürleri oluşturur. Nitrürleme işlemi 500 570°C'ler arasındaki Sıcaklıklarda gerçekleştirilir. Sertlik derinliği sementasyona göre daha azdır; fakat Sertlik değeri fazladır. Sementasyon ile elde edilen yüzey sertliği 850 900 VSD ise Nitrürasyon ile 1200 VSD'ne ulaşılır ki bu da Daha iyi aşınma dayanımı oluşturur
Borlama	Karbonlama ve azotlamaya benzer bir termokimyasal Isıl işlemdir. Çeliğe bor elementinin difüzyonu sağlanır. Oluşan FeB ve bileşikler çok sert (2000 VSD) ve Kararlı bileşiklerdir. 900–1000°C'ler arasında bor verici katı, sıvı ve gaz Ortamlarında tutularak yapılır
Alevle ve İndüksiyonla Sertleştirme	Sertleşme kabiliyeti olan bir çelikten yapılmış olan Parçanın sadece yüzeyi ostenitlenir ve su verilir ise Yüzeyi sert içi yumuşak bir yapı elde edilir. Yüzeyin ısıtılma işlemi alevle sertleştirmede oksijen– Yanıcı gaz üfleci ile indüksiyonla sertleştirmede ise İndüksiyon akımı ile sağlanır. Alev ve indüksiyon ile sertleştirilmiş parçanın yorulma Özellikleri sementasyondaki gibidir

EK-3. (Devam) Çelik Malzemelerin Isıl İşlemleri ve Metalorjik Özellikleri

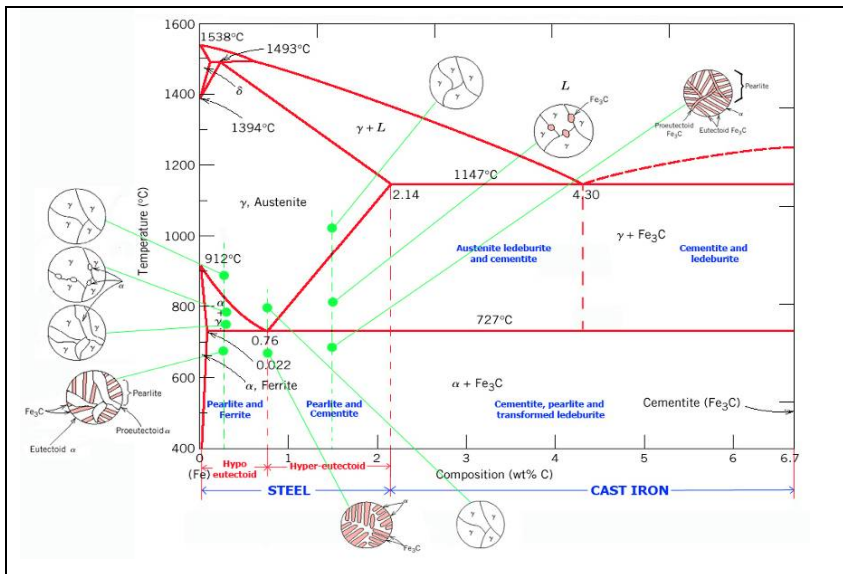
Çizelge 3.2. Çeliklerin başlıca ısııl işlemleri ve etkileri [Metaldunyasi, 2009].

Tavlama adı	Uygulanması	Elde edilen özellik
Homojenleştirme (Yayınma)	Çelik 1100–1300°C'ler Arasında 50 saat gibi Uzun bir süre Bekletilir.	Tane sınırlarında biriken ve Gevrekleşmeye neden olan katışkılar ve kalıntılar tane içine doğru yayılır. Yayınamayanlar ise küreleşerek tokluk artar
Tane irileştirme	Çelik 950–1100°C'ler arasında bekletilir	Taneler irileşerek çeliğin Talaşlı işleme özelliği artar
Tam	Ötektoid altı Çeliklerde A3, ötektoid üstü çeliklerde A1 sıcaklığının Yaklaşık 30°C Üstünde tutularak Genellikle fırında, en az A1 sıcaklığının 30...°C altına kadar Yavaşça soğutularak Yapılır	İnce taneli yapı elde edilir, Aynı zamanda yumuşama Meydana gelir, elektrik ve Manyetik özellikler ve İşlenebilirlik iyileşir. Soğuma kontrollü yapıldığı için homojen bir mikro yapı Elde edilir.
Normalizasyon	Bozulan tane yapısının normal hale getirilmesi için ötektoid altı çeliklerde A3 sıcaklığının, ötektoid üstü çeliklerde ise Ac _m veya A1 sıcaklığının yaklaşık 55°C üstünde tavlama yapılır. Soğutma oda sıcaklığında, havada yapılır	Çelik döküm parçaları Genellikle çentik darbe Mukavemetini artırmak için normalizasyon işlemine tabi tutulur. Parça havada Soğutulduğu için, soğuma Homojen olmaz. Parçanın Kalınlığı, ortam sıcaklığının Farklılığı mikroyapıyı Değiştirir. Kalın parçalarda Yüzey mikro-yapısı ile iç Kısımın mikroyapısı farklı olur. Normalizasyon tavlamasında Soğuma daha hızlı olduğu için mikroyapı daha sert ve Daha dayanıklı olur.

EK-3. (Devam) Çelik Malzemelerin Isıl İşlemleri ve Metalorjik Özellikleri

Çizelge 3.2. Çeliklerin başlıca ısııl işlemleri ve etkileri [Metaldunyasi, 2009].

Küreselleştirme (Yumuşatma)	Sementitleri parçalamak için, ötektoit altı çelikler Al'in altında tutulur, ötektoit üstü çeliklerde Al sıcaklığının altında ve üstünde salınım yaptırılır.	Ötektoit üstü çeliklerdeki sementit lamellerinin parçalanması çeliğin işlenmesini kolaylaştırır, tokluğu artırır. Çelik içindeki sementitlerin küreselleştirilmesi çeliğin sünekliği, yorulma dayanımı gibi mekanik özelliklerinin iyileşmesine neden olur.
Yeniden kristalleştirme	Çelik 650°C'ye ısıtılıp 1-2 saat bu sıcaklıkta bekletildikten sonra Soğumaya bırakılır.	Soğuk şekillendirme neticesi kristal yapısı bozulan çeliği yeniden kristal yapıya hale getirmek için yapılır. Soğuk şekillendirme işlemi genellikle karbon oranı % 0.25 ve daha küçük olan çeliklere uygulandığı için yeniden kristalleştirme tavlama bu çelikler için söz konusudur.
Gerilme Giderme	Malzeme 550-650°C'ler arasında ısıtılıp bir süre bu sıcaklıkta bekletildikten sonra soğumaya bırakılır.	Makine parçalarının farklı bölgelerinin farklı zamanlarda soğuması veya farklı plastik deformasyona uğramasından dolayı iç gerilmeler meydana gelir. Bu tavlama sayesinde iç gerilmeler iyice azalır



Şekil 3.1. Demir karbon denge diagramı faz dönüşümleri [www.malzemebilimi.org 2010].

EK-3. (Devam) Çelik Malzemelerin Isıl İşlemleri ve Metalorjik Özellikleri

Çizelge 3.3. Ç 2345 çeliğin mekaniksel özellikleri [Deü Dergisi 2001].

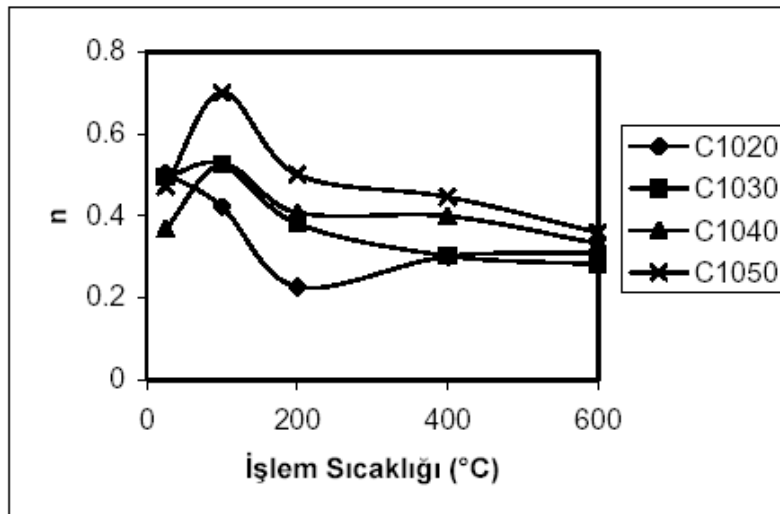
Ç 2345 çelik	C: 0.43 – 0.48 Mn: 0.40 – 0.60 Si: 0.20 -0.35 Ni: 3.25 – 3.75
FİZİKSEL ÖZELLİKLER	
Özgül Ağırlık (Gm/Cm ³)	7.833
Ergime Noktası (OC)	1413
Isı iletkenliği (500C) (KCal/SalCm/CO)	57.0
Genleşme Katsayısı (OC ⁻¹)X10 ⁻⁶	
0-95°C	11.2
0-650°C	14.4
Isınma ısısı (20-1000C) (KCal/Kg/oC)	0.11-0.12
500C	28.4
800C	46.8
MEKANİK ÖZELLİKLER	
Gerilmeye Elastik Modül (Kg/Cm ²) x 10 ⁴	2040-2110
Çekme dayanıklılığı, (Kg/Cm ²)	
Sıcak Hadde	8085
Tavlama	7310
Soğuk Çekme	—
Su Verilmiş ve menevişlenmiş (540OC)t ¹	9845
Akma dayanıklılığı (Kg/Cm ²)	

EK-3. (Devam) Çelik Malzemelerin Isıl İşlemleri ve Metalorjik Özellikleri

Çizelge 3.4. Ç 1040 çeliğin mekaniksel özellikleri [Gökkaya H ve ark., 2004].

Çelik	C	Mn	Si	P	S
Ç1040	0,42	0,80	0,20	0,035	0,035
Normalizasyon Sıcaklığı (°C)	Sertleştirme Sıcaklığı(°C)	Soğutma	*Reh (N/mm2)	**Rm (N/mm ²)	
900	860	Su	406	654	

Transmisyon milleri, raylar, dişliler vs. yapımında kullanılır. İndüksiyon ve alevle sertleştirilebilir



Şekil 3.2. İşlem sıcaklığı-deformasyon sertleşmesi üssü (n) [Deü Dergisi 2004].

*(Reh), çekme dayanımı

** (Rm) ve sertlik değerleri (HV)

EK-3. (Devam) Çelik Malzemelerin Isıl İşlemleri ve Metalorjik Özellikleri

Çizelge 3.5. Ç 4140 çeliğin mekaniksel özellikleri [www.celikmil. http, 2009].

TURU	: Islah Çeliği							
MARKASI	: Asil Çelik Ç 4140							
ALAŞIM ELEMANLARI %	C	Si	Mn	P<	S<	Cr	Mo	Ni
	0.38	0.15	0.50			0.90	0.15	
	0.45	0.40	0.80	0.035	0.035	1.20	0.30	-
Kullanım Yerleri	: Yüksek özlülük isteyen otomobil inşaat ve ziraat makineleri, takım tezgâhları, uçak parçaları, akslar, krank kolları, krank milleri, dişliler, bandajlar, 12K şartlarına uygun civata, somun, saplama vb parçalar. Aynı zamanda alev veya endüksiyonla yüzeyden sertleşebilir.							

Çizelge 3.6. Ç 2080 çeliğin mekaniksel özellikleri[www.celikmil. http, 2009].

TÜRÜ	Islah Çeliği						
MARKASI	Ç 2080 Yağ ve Hava Çeliği						
Özellikleri:	Deforme olmaması, kesme kabiliyetinin yüksek oluşu, sürtünmeye dayanıklılığı yüksek olan bir takım çeliğidir						
Kullanım Alanları	Aşınmaya dayanıklı olması gereken plastik kalıplarda, darbe olmayan her nevi kesme, bükme ve şekillendirme işlerinde kullanılmaktadır						
C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W
2.00	0.20	0.30	11.5	-	-	-	-

Çizelge 3.7. Kullanılan malzemeler

Ç 1010	Düşük Karbonlu Çelik
Ç 1040	Orta Karbonlu Çelik.
Ç 2080	Yağ ve Hava Çeliği.
Ç 2344	Orta Karbonlu Çelik.
Ç 2379	Soğuk İş Takım Çeliği
Ç 4140	Orta Karbonlu Islah Çeliği
Ç 8620	Düşük Karbonlu Nikel-Krom-Molibden Çelik
AISI 304	Östenitik Paslanmaz Çelik

EK-3. (Devam) Çelik Malzemelerin Isıl İşlemleri ve Metalorjik Özellikleri

Çizelge 3.8. Ç 1010 çeliğin mekaniksel özellikleri [Deü Dergisi 2001].

MALZEME	Ç 1010
FİZİKSEL ÖZELLİKLER	
S	(maks) 0.050
Mn	(maks) 0.45
C	(maks) 0.10
Özgül ağırlık, (Gm/Cm ³)	7.833
Ergime sıcaklığı, (°C)	1510-1525
Isı iletkenliği (1 OD°C) (KCal/Cm)	40.2
Genleşme katsayısı (21-650°C),	15.1
Isınma ısısı, (KCal/Kg/CO)	0.10-0.11
Özdirenç, (200°C), (i! Q - Cm)	14.3
Genilmede elast parça, (Kg/Cm ²) x .10 ⁴	2040-2110

Cıvata, somun, konstrüksiyonda gövde olarak kullanılır, ıslah edilebilir. Makine parçaları imalatında kullanılır.

Çizelge 3.9. Çeşitli çelik malzemelerin özellikleri [Demirhan, 1997].

Norm	A1 C	A3 C	Ms C	Norm	A1 C	A3 C	Ms C	Norm	A1 C	A3 C	Ms C
1010	723	875	484	3240	721	760	293	5045	704	788	315
1020	723	846	447	3310	721	780	346	5120	765	838	404
1030	727	813	400	4023	732	838	413	5130	743	810	360
1040	727	793	366	4037	727	813	366	6120	765	832	404
1050	727	768	321	4042	727	793	343	6150	749	788	285
1060	727	746	290	4130	757	810	363	7140	788	860	299
1070	727	732	254	4150	743	765	277	8620	732	829	396
1080	729	735	213	4320	723	810	382	8640	732	780	321
1090	729	743	185	4340	723	774	285	8650	732	771	285
1095	732	768	177	4422	732	843	415	8750	727	768	282
1320	724	821	393	4520	710	846	429	9620	743	815	288
1340	715	777	321	4608	710	854	454	9440	721	771	321
2330	693	746	329	4620	721	802	402	9763	721	743	252
2515	677	760	366	4640	713	777	318	9840	727	779	302
3120	732	802	388	4718	696	821	393	9850	721	763	265
3150	735	748	265	4815	690	788	385	9310	715	821	363

EK-4. Lazer Kesme Makinesine Ait Görünüşler



Resim 4.1. Lazer makinesi kumanda panosu

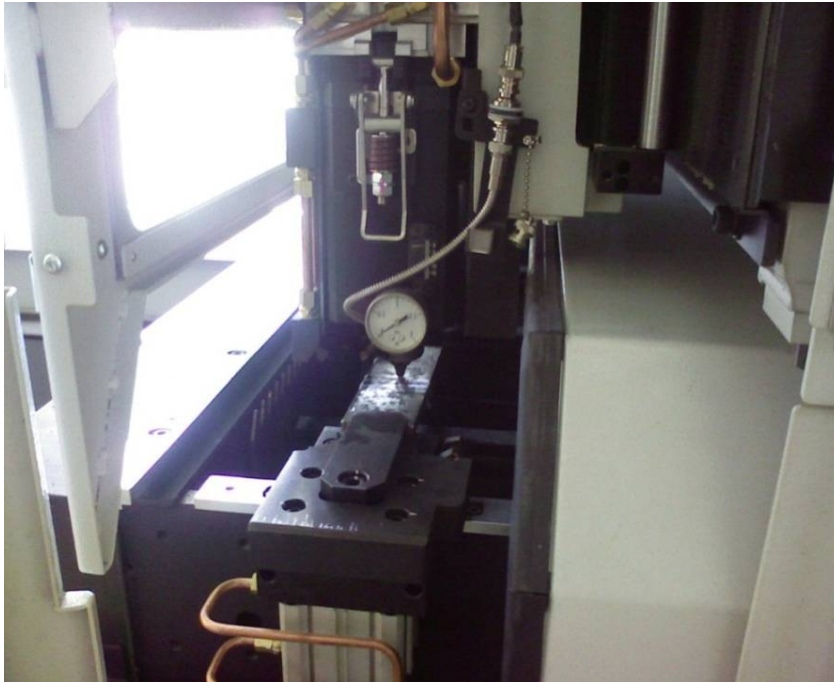


Resim 4.2. Lazer makinesi kesme işlemi yapılırken

EK-4. (Devam) Lazer Kesme Makinesine Ait Görünüşler



Resim 4.3. Lazer makinasına ait bilgi etiketi



Resim 4.4. CO2 Lazer makinesi lazer başlığı ve nozulu

EK-5. Lazer Tezgâhı ile İlgili Teknik Bilgiler İmalat Örnekleri



Mazak Super Turbo - X 48 Mark II

CNC CO2 Laser Processing Machine

Ultra high speed and high accuracy based on Mazak's integration of advanced electronic and mechanical technologies.

- Light and rigid table construction and the use of advanced vibration damping analysis technology for ultra high speed performance.
- Shock less, high gain servo technology for high cutting accuracy.
- New generation built in laser oscillator with turbo blower for high performance and low maintenance.
- Exclusive constant beam length for uniform cutting performance anywhere on the machine table.
- Optional Non-contact auto-focusing torch provides NC automatic change of focal point and nozzle gap for non stop cutting of different materials and material thickness.

Mazak Super Turbo X 48 Mark II Specifications

Max. workpiece size	1250 x 2500mm (49.2' x 98.4')
Table height	900mm(35.4')
Max.load capacity	300kg, 400kg, 550kg, 630kg(660lbs, 880lbs, 1210lbs, 1386lbs)
Stroke(X/Y/Z)	2685 / 1270 / 100mm(105.71' / 50' / 3.9')
Rapid traverse rate	24m/min, (945IPM)
Laser continuous rated output	1500W, 1800W, 2500W, 4000W
Machine weight	12500kg (27500lbs)



Resim 5.1. Lazer tezgâhına ait teknik bilgiler genel görünüş elektrik sistem panosu.



Resim 5.2. - Lazer kesme makinesi ile yapılmış imalat örnekleri

EK-6. Sertlik Ölçüm Cihazı Resmi ve Uc Yapıları



Resim 7.1. Vickers sertlik ölçüm cihazı

Deney	Uç	İz Şekli		Yük	Sertlik numarası için denklem
		Yan görünüş	Üst görünüş		
Brinell	10-mm çelik veya tungsten küre			P	$HB = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Vickers mikrosertlik	Elmas Piramit			P	$HV = 1.854P/d_1^2$
Knoop mikrosertlik	Elmas Piramit			P	$HK = 14.2P/l^2$
Rockwell ve Superficial Rockwell	{ Elmas koni $\frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}$ in. Çapta çelik küreler			$\left. \begin{array}{l} 60 \text{ kg} \\ 100 \text{ kg} \\ 150 \text{ kg} \end{array} \right\}$ Rockwell $\left. \begin{array}{l} 15 \text{ kg} \\ 30 \text{ kg} \\ 45 \text{ kg} \end{array} \right\}$ Superficial Rockwell	

Şekil 7.1 Sertlik ölçümünde kullanılan uc yapıları

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı adı: İLOĞLU Mehmet Emin
 Uyuğu: T.C.
 Doğum tarihi ve yeri: 09.01.1967
 Telefon: 0.312.425 30 30

Eğitim

Derece	Bölüm	Mezuniyet
Yük. Lisans;	Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri	2010
Lisans;	Gazi Ün.,Endüstriyel Sanatlar Eğ. Fak. Teknoloji Eğ.	1995
Lise;	Kayseri Merkez Endüstri Meslek Lisesi Metal Bölümü	1983

İş Deneyimi

Yıl	Çalıştığı Alan	Görev
1983-1986.	Asansör Firması	Montör
1986-1991.	İş Makinaları	Formen
1995-1996.	İlköğretim İş ve Teknik Dersleri	Öğretmen
1996-1998.	Çelik Kalıp Fabrikası	Atölye Şefi
1998-2010.	İnşaat Firması	Atölye Şefi-Teknik Koor.
2010-.....	Öz. Eğt. Kur. (Autocad, Makine)	Öğretmen

Yabancı Dil

İngilizce

Bilgisayar

Autocad 2010,/ Catia R18,/ MasterCamX,/ World,/ Excel