

GEV

Gedik Eğitim Vakfı

Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü

Yayın No: 2

TERMİK KESME TEKNOLOJİSİ

Prof. Selâhaddin ANIK

Doç.Dr. Ahmet ÖĞÜR

Doç.Dr. Murat VURAL

ÖNSÖZ

Termik kesme teknolojisi, günümüzde saç, levha, boru ve profiller gibi yarı-mamullerin gerek imalata hazırlık ve gerekse son işlemlerinde yaygın olarak başvurulmuş bir imalat teknolojisi haline gelmiştir. Termik kesme teknolojisindeki gelişmeler sayesinde malzemeler çok daha ekonomik şekilde kullanılabilir.

Günümüzde en yaygın olarak kullanılan termik kesme yöntemleri arasında başta oksijenle ve plazma ile kesme gelmektedir. Bunların dışında arkla kesme de oldukça yaygındır. Modern yöntemler arasında laserle kesme özellikle hassas kesme tekniği olarak gittikçe artan oranda kullanılmaktadır. Bunların dışında termik kesme teknolojisinde karşılaşılabilecek hatalar ve çözümleri de kitaba dahil edilmiştir.

Bu kitap, termik kesme teknolojisi konusunda, gerek üniversitelerde ve diğer ilgili okullarda iyi bir ders kitabı olarak kullanılabilir gibi, endüstride de yaygın şekilde başvurulabilecek bir el kitabı niteliğindedir.

Kitapta verilen kesme dataları yapılan araştırmaların sonuçlarına dayanmaktadır. Bu nedenle gerçek imalatta küçük bazı modifikasyonlara gidilebileceği göz önünde tutulmalıdır.

Kitaben bastırılması için her türlü desteği sağlayan Gedik Eğitim Vakfına teşekkür ederiz.

Yazarlar adına

Prof. Selâhaddin ANIK

Gedik Eğitim Vakfı -1996

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1. TERMİK KESME YÖNTEMLERİ

1.1. Genel	1
1.2. Termik Kesme Yöntemlerinin Gruplandırılması	1
1.2.1. Kesme İşleminin Fizikine Göre Gruplandırma	2
1.2.2. İmalatın Türüne Göre Gruplandırma	2
1.2.3. Enerji İletim Şekline Göre Gruplandırma	3
1.2.4. Işın Yardımıyla Termik Aşındırma	10

BÖLÜM 2. YANICI GAZ-OKSİJEN ALEVİYLE YAKARAK KESME

2.1. Genel	12
2.2. Alevle Yakarak Kesme İşleminin Esasları	13
2.3. Malzemelerin Alevle Kesilebilme Kabiliyetleri	16
2.3.1. Kesme Yarığının Yapısı ve Özellikleri	18
2.3.2. Çeliklerin Alevle Kesilmesinde Öntavlama	19
2.3.3. Sıcaklık Dağılımı	21
2.3.4. Sürüklenme	22
2.3.5. Kesilen Metalin Homojenliği	23
2.3.6. Parça Kalınlığının Etkisi	24
2.4. Yanıcı Gaz ve Oksijen'in Özellikleri	24
2.4.1. Yanıcı Gaz	24
2.4.1.1. Asetilen	25
2.4.1.2. Stabilize Metilasetilen-Propadien (MPS=MAPP)	26
2.4.1.3. Doğalgaz	26
2.4.1.4. Propan	27
2.4.1.5. Propilen	27
2.4.2. Oksijen	30
2.5. Kesme Üfleci (=Kesme Hamlacı veya Kesme Şalumosu)	30
2.5.1. Karışım Sistemine Göre Üfleçler	35
2.5.1.1. Emmeli Tip (Yüksek Basınçlı) Üfleçler	35
2.5.1.2. Basınçlı Tip (Düşük Basınçlı) Üfleçler	35
2.5.2. Kesme Memeleri (Bekleri)	36
2.5.3. Yanıcı Gaz Çeşidine Göre Kesme Memesi Türleri	38
2.5.4. Kesme Oksijeni Kanalı	39
2.5.5. Oksijen Perdeli Memeler	40
2.5.6. Kesme Memelerinin Güç Alanları	41

2.5.7. Kesme Parametreleri ve Kesme Değerleri	41
2.6. Bir Kesme Üflecinin Kullanımı	42
2.7. Alevle Yakarak Kesme İşleminin Yapılışı	43
2.7.1. Parça Kenarından Başlama	43
2.7.2. Parça Ortasından Başlama	44
2.8. Kaynak Ağızlarının Hazırlanması	44
2.9. Diğer Yöntemler	47
2.9.1. Tozaltında (Toz Yardımıyla) Oksijenle Yakarak Kesme	47
2.9.2. Oksijenle Mızrağıyla Yakarak Delik Açma	50
2.9.3. Oksijenle Yakarak Oyuk Açma (Rendeleme)	52
2.9.3.1. Oksijenle Oyuk Açmanın Prensibi	53
2.9.3.2. Oksijenle Oyuk Açma İşleminin Yapılışı	54
2.9.3.3. 2.10. Alevle Kesme Makinaları	55
2.10.1. Kontrol Tipleri	56
2.10.2. Kesme Makinası Türleri	56
BÖLÜM 3. ARKLA KESME YÖNTEMLERİ	
3.1. Giriş	58
3.2. Karbon Elektrod ile Kesme	58
3.3. Örtülü Elektrod ile Kesme	59
3.4. Oksi-ark Yöntemiyle Kesme	60
3.4.1. Yöntem Prensipleri	60
3.4.2. Oksi-Ark Yöntemiyle Kesilebilen Malzemeler	62
3.4.3. Sualtında Oksi-Ark Kesme	63
3.4.3.1 Tüp Elektrodlar	63
3.4.3.2. Ekzotermik Elektrodlar	64
3.5. Havalı Karbon Arkı ile Kesme (Arcair Yöntemi)	65
3.5.1.Prensibi	65
3.5.2. Elektrod Pensesi	67
3.5.3. Elektrodlar	67
3.5.3.1. Doğru Akımda Kullanılan Bakır Kaplı Elektrodlar	68
3.5.3.2. Doğru Akımda Kullanılan Düz Elektrodlar	68
3.5.3.3. Alternatif Akımda Kullanılan Bakır Kaplı Elektrodlar	68
3.5.4. Kullanma Şekli	69
3.5.5. Metalürjik Etkiler	69
3.5.6. Arcair Yönteminin Ekonomik Yönü	70
3.5.7. Akım Üretici, Akım Şekli ve Akım Şiddeti	71

3.5.8. Arcair Yönteminin Teknolojisi	72
3.5.9. Gerekli Havanın Sağlanması	73
3.5.9. Arcair Yönteminin Başlıca Uygulama Alanları	74
3.5.10. Arcair Yönteminin Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması	75
3.6. Gazaltı Ark Yöntemleriyle Termik Kesme	76
3.6.1. MIG (Metal Inert Gaz) Yöntemiyle Kesme	76
3.6.2. TIG (Tungsten Inert Gaz) Yöntemiyle Kesme	78
BÖLÜM 4. PLAZMA İLE KESME	
4.1. Giriş	80
4.2. Plazma Tekniğinin Esasları	80
4.3. Plazma Kesmenin Prensipleri	82
4.4. Plazma Yapıcı Ortamlar	85
4.5. Yöntem Teknikleri	90
4.5.1. Argon-Hidrojen-Azot Plazma Kesme	90
4.5.2. Basıncılı Havayla Plazma Kesme, Oksijenle Plazma Kesme	91
4.5.3. Su-Enjeksiyonlu Sualtında Plazma Kesme	92
4.6. Plazma Kesme Donanımları	96
4.6.1. Akım Üreteçleri	96
4.6.2. Torç	97
4.7. Malzemeler ve Kesme Değerleri	102
4.8. Plazma Kesmede İşgüvenliği	105
BÖLÜM 5. LASER IŞINI İLE KESME	
5.1. Giriş	112
5.2. Laser Işını Üreteçleri	113
5.2.1. CO ₂ -Laser Üreteçleri	113
5.2.2. Laseraktif Malzeme Olarak CO ₂	115
5.2.3. Nd: YAĞ Laser Üreteçleri	117
5.2.4. Darbeli Nd: YAG Laser Üreteçleri	117
5.2.5. Laseraktif Malzeme Olarak Nd: YAG	118
5.2.6. Diğer Gaz Laser Üreteçleri	121
5.3. Laser Işını	121
5.3.1. Laser Işınının Dalga Boyu	121
5.3.2. Mod (Yoğunluk Dağılımı)	121
5.3.3. Polarizasyon	124
5.3.4. Işın İşaret Sayısı	125
5.3.6. Çalıştırma Türleri	126

5.3.7. Işın Yönlendirme	127
5.3.8. Odaklama Elemanları	128
5.3.9 Odaklama	129
5.3.10. Odak Konumu	131
5.4. Kesme Gazları	132
5.4.1. Oksijen	132
5.4.2. Azot ve Argon	132
5.4.3. Basıncılı Kesme Gazı	133
5.4.4. Kesme Gazı Türü ve Kalitesi	133
5.4.5. Basınç	133
5.5. Kesme Memeleri	134
5.6. Laser Işınıyla Kesmenin Prensibi	135
5.7. Malzemelerin Laserle Kesilebilme Kabiliyetleri	136
5.7.1. Isı Oluşumu	136
5.7.2. Malzeme Yüzeyinin Etkisi	138
5.7.3. Malzemeye Uzaklık	138
5.8. Laser Işınıyla Kesme Yöntemleri	139
5.8.1. Laser ile Yakarak Kesme	140
5.8.2. Laser ile Eriterek Kesme	144
5.8.3. Laser Işınıyla Buharlaştırarak Kesme	148
5.9. Kesme Sistemi	149
5.9.1. Malzeme Bağlama ve Kinematik	149
5.9.2. Yardımcı Malzemeler ve Kesim Yerleri	150
5.9.3 Laserle Kesilmiş Parçaların Değerlendirilmesi	151
5.10. Laser Işını ile Kesmede İşgüvenliği	152
BÖLÜM 6. KESME TEKNOLOJİSİNDE KALİTE	
6.1. Kesme işleminde Oluşan Deformasyonlar	153
6.1.1. Deformasyonun Sonuçları	154
6.1.2. Deformasyona Karşı Alınabilecek Önlemler	155
6.2. Kesme Yüzeylerinin Kalitesi ve Ölçü Toleransları	156
6.2.1. DIN 2310 Kısım 3'e Göre Oksijenle Yakarak Kesmede Kesme Yüzeylerinin Kalitesi ve Ölçü Toleransları	157
(TS 11151 : Isıl Kesme - Oksijenle - İşlem Prensipleri: Kalite ve Boyut Toleransları)	
6.2.1.1. Diklik ve Eğiklik Toleransı "u"	157
6.2.1.2 Ortalama Pürüz Derinliği "R _z "	158

6.2.1.3. Kesme Yivinin Geriye Sürüklenmesi	159
6.2.1.4. Kenarların Erimesiyle Oluşan Yarıçap	160
6.2.1.5. Tek Üfleçle Doğrusal ve Eğrisel Kesmelerde Boyut Toleransları	160
6.2.1.6. Aynı Anda İki Üfleç Kullanılan Paralel ve Doğrusal Kesmelerde Boyut Toleransları	162
6.2.1.7. DIN 2310'dan Daha Dar Toleranslar	162
6.2.2. DIN 2310 Kısım 4'e Göre Plazma ile Kesmede Kesme Yüzeylerinin Kalitesi ve ölçü Toleransları	164
6.2.2.1. Diklik ve Eğiklik Toleransı "u"	164
6.2.2.2. Ortalama Pürüz Derinliği "R _z "	164
6.2.2.3. Kenarların Erimesiyle Oluşan Yarıçap "r"	165
6.2.2.4. Kesme Yivlerinin Geriye Sürüklenmesi	166
6.2.2.5. Tek Taraflı Isı Etkisi Altında Plazma ile Doğrusal ve Eğrisel Kesmede Boyut Toleransları	166
6.2.3. DIN 2310 Kısım 5'e Göre Laser Işınıyla Kesmede Kesme Yüzeylerinin Kalitesi ve Ölçü Toleransları	168
6.2.3.1. Diklik ve Eğiklik Toleransı	169
6.2.3.2. Ortalama Pürüz Derinliği	169
6.2.3.3. Kesme Kenarlarının Erimesiyle Oluşan Yarıçap ve Kesme Yivlerinin Geriye Sürüklenmesi	170
6.2.3.4. Laserle Kesilen Parçalarda Boyut Toleransları	170
6.2.4. Ortalama Pürüz Derinliğinin Saptandığı Bölge	173
6.2.5. Diklik ve Eğiklik Toleranslarının Saptandığı Bölge	173
6.2.6. Oksijenle ve Plazma ile Kesmede Kullanılan Kesme Mavnalarının Hassasiyeti	175
6.2.6.1. Doğrusal Hassasiyet	175
6.2.6.2. Biçimsel Hassasiyet	176
6.2.6.3. Kesmenin Başlatıldığı Noktanın Kesilen Parçanın Boyut Toleranslarına Etkisi	176
6.2.6.4. Isının Kesilen Parçaların Hassasiyetine Etkisi	177
6.2.7. Kesme Yüzeyi Kalite ve Toleranslarının Gösterimi	177
6.3. Alevle ve Plazma İle Kesmede Kesme Hataları	179
6.4. Alevle Kesmede Kalite Kontrolü	190
6.5. Yardımcı Tertibatlar	191
6.6. Alevle Kesmede Ekonomiklik	192
BÖLÜM 7. KESME DATALARI	194

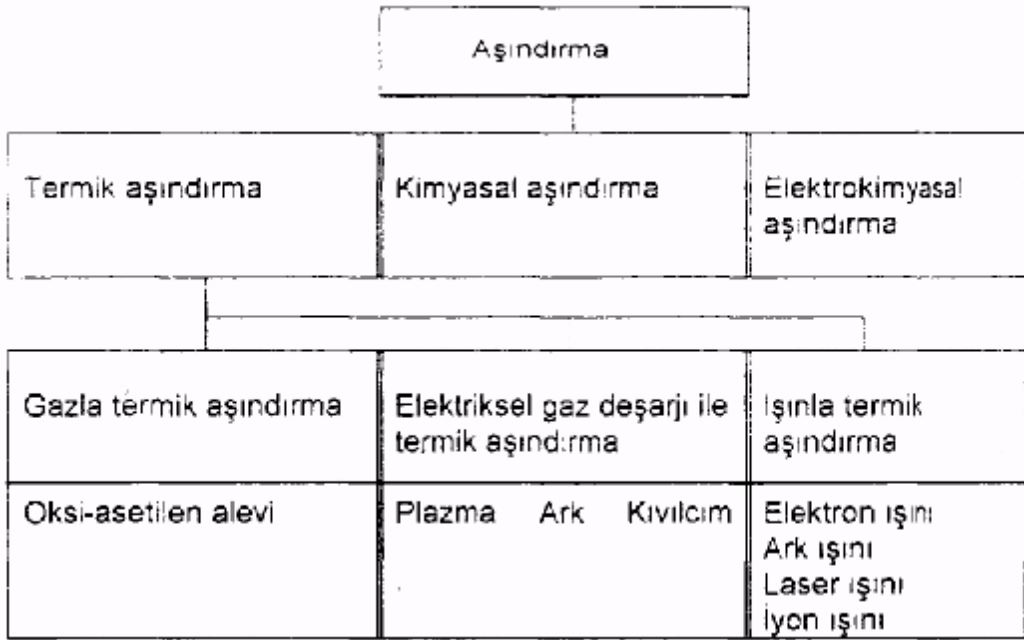
BÖLÜM 1

TERMİK KESME YÖNTEMLERİ

1.1. Genel

Termik kesme, esas olarak malzemelerin termik yöntemlerle aşındırılmasıdır. Bu nedenle termik kesme, genel aşındırma yöntemleri arasında yer alır (Tablo 1.1).

Tablo 1.1. Genel aşındırma yöntemleri



1.2. Termik Kesme Yöntemlerinin Gruplandırılması

Termik kesme yöntemleri, aşağıdaki bakış açlarına göre gruplandırılabilir:

- Kesme işleminin fiziğine göre
- İmalatın türüne göre
- Enerji iletim şekline göre
- Su banyosuna göre

1.2.1. Kesme İşleminin Fiziğine Göre Gruplandırma

Pratikte uygulanan tüm yöntemler, karışık formdadır Bunlar yakma, eritme veya buharlaştırma olarak ait gruplara ayrılabilir.

1.2.1.1. Yakarak Kesme

Yakarak termik kesme yönteminde:

Malzeme yerel olarak oksitlenir:

Oluşan yanma ürünleri, yüksek hızlı bir oksijen huzmesi ile üflenerek uzaklaştırılır.

1.2.1.2.Eriterek Kesme

Eriterek termik kesme yönteminde, kesme ağzında aşağıdaki olaylar meydana gelmektedir:

- malzeme yerel olarak eritilir:
- oluşan erime ürünleri, yüksek sıcaklıktaki ve yüksek hızdaki bir gaz huzmesi ile kesme ağzından uzaklaştırılır.

1.2.1.3.Buharlaştırarak Kesme

Buharlaştırarak termik kesmede kesme ağzında meydana gelen olaylar şunlardır.

- malzeme yerel olarak buharlaştırılır;
- oluşan buhar ürünleri genişletilerek ve/veya bir gaz huzmesi ile üflenerek kesme ağzından uzaklaştırılır.

1.2.2. İmalatın Türüne Göre Gruplandırma

1.2.2.1.Elle Kesme

Kesme işleminin elle yapılmasıdır.

1.2.2.2.Kısmen Mekanize Kesme

Kesme işleminin kısmen mekanize olarak yapılmasıdır.

1.2.2.3.Tam Mekanize Kesme

Kesme işleminin tamamen mekanikleştirilmiş olarak yapılmasıdır.

1.2.2.4. Otomatik Kesme

Kesme işleminin, örneğin parçanın değiştirilmesi gibi, farklı uygulamalara sahip programlara göre kendi kendine gerçekleşmesidir

1.2.3. Enerji İletim Şekline Göre Gruplandırma

1.2.3.1. Gazla Termik Aşındırma (Alev Kullanılan Yöntemler)

Oksi-yanıcı gaz aleviyle yakarak kesme ve yakarak delik delme ve rendeleme işlemleri, aşındırmada gerekli ısının oksitlenmeyle sağlandığı ve malzemenin bir oksijen huzmesi ile aşındırıldığı termik kesme yöntemleridir. Esas malzemeye göre farklı yoğunlukta olması nedeniyle yüzey tabakaları alevin yelpaze kısmında çözünür.

Aşındırma türüne göre bu yöntemler aşağıdaki gibi gruplandırılır:

Oksi-yanıcı gaz aleviyle yakarak kesme

Metal tozuyla yakarak kesme

Metal tozuyla eriterek kesme

Mineral tozuyla yakarak kesme

Oksi-yanıcı gaz aleviyle yakarak oluk açma

Oksi-yanıcı gaz aleviyle yakarak planyalama.

Oksi-yanıcı gaz aleviyle yakarak delik açma

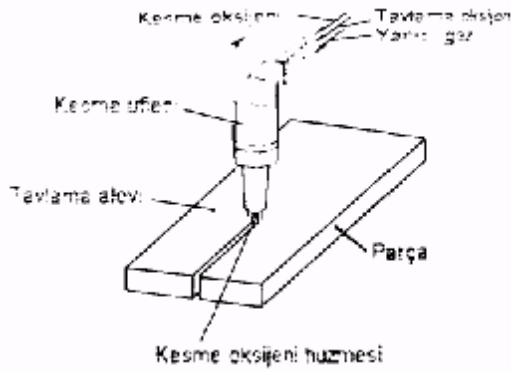
Alevle yüzey işleme

1.2.3.1.1. Alevle Yakarak Kesme

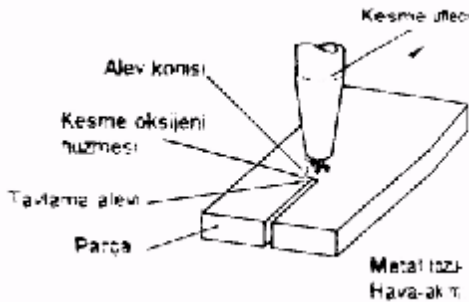
Alevle yakarak kesme, yanıcı gaz-oksijen alevi ve kesme oksijeni kullanılan termik kesme yöntemidir. Alevin etkimesi ve malzemenin yanmasıyla oluşan ısı kesme oksijeni ile ilerleyen yanmayı mümkün kılar. Reaksiyon derinlemesine ve kesme yönünde devam eder. Eriyikle karışan ve kesme cürufu olarak da bilinen oksitler, kesme oksijeni huzmesi yardımıyla kesme ağzından uzaklaştırılır. Aşınan malzemenin büyük bir kısmı yanar (Şekil 1.1).

1.2.3.1.2. Metal Tozuyla Yakarak Kesme

Metal tozuyla yakarak kesme, reaksiyon ortamına metal tozlarının iletilmesiyle gerçekleştirilen, bir alevle yakarak kesme yöntemidir. Metal tozlarının yanmasıyla oluşan ilave ısı ve oluşan metal oksitleri, kesme cüruflarını, kesme oksijeni huzmesi ile uzaklaştırılabilecek derecede ince ve akıcı bir hale getirir (Şekil 1.2).



Şekil 1.1. Alevle yakarak kesme



Şekil 1.2. Metal tozuyla yakarak kesme

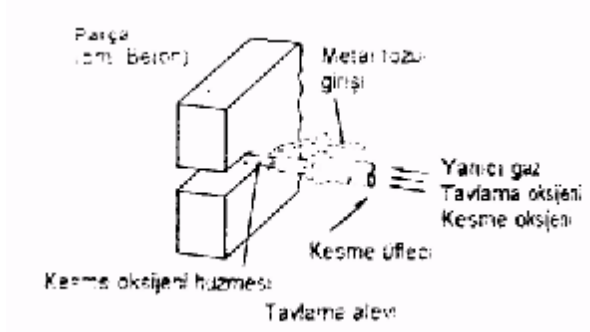
1.2.3.1.3. Metal Tozuyla Eriterek Kesme

Metal tozuyla eriterek kesme, yanıcı gaz-oksijen aleviyle kesme oksijeninin, metal tozu

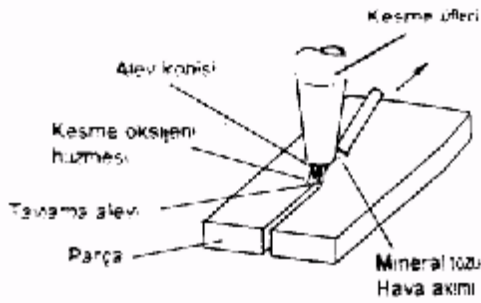
altında sevk edildiği bir termik kesme yöntemidir. Yanıcı gaz-oksijen alevi ve yanan metal tozlarının ısı malzemeyi eritir. Kesme oksijeni huzmesi içindeki metal tozlarının metal oksitlerine sevk edilmesi mineralize olmuş eriyiği ince ve akıcı bir cüruf (lava) haline getirir. Reaksiyon derinlemesine ve kesme yönünde devam eder. Bu şekilde bir kesme ağız ortaya çıkar (Şekil 1.3).

1.2.3.1.4. Mineral Tozuyla Yakarak Kesme

Mineral tozuyla yakarak kesme, reaksiyon bölgesine mineral tozlarının sevk edildiği bir termik kesme yöntemidir. Kesme oksijeniyle birlikte sevk edilen mineral tozu, kinetik enerjisiyle kesme cüruflarının kesme ağızından uzaklaşmasını sağlar (Şekil 1.4).



Şekil 1.3. Metal tozlarıyla eriterek kesme



Şekil 1.4. Mineral tozuyla yakarak kesme

Yakarak Rendeleme

Yakarak rendeleme, yanıcı gaz-oksijen alevi ve rendeleme oksijeniyle parça yüzeyinden malzeme uzaklaştırılan bir termik kesme yöntemidir. Tavlama aleviyle ve malzemenin yanmasıyla oluşan ısı, rendeleme oksijeni huzmesiyle devamlı bir erime ve yanma sağlar. Reaksiyon, kesme yönünde oluşur.

Uzaklaştırılan malzemenin bir kısmı yanmaktadır.

1.2.3.1.5. Yakarak Oluk Açma

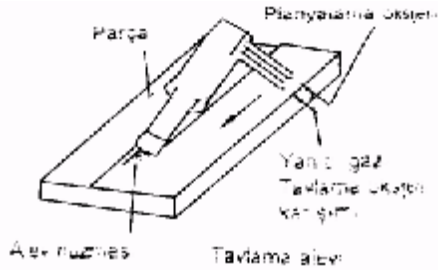
Yakarak oluk açma malzemede kanal şeklinde aşındırma yapılan bir yakarak renделе me yöntemidir (Şekil 1.5).



Şekil 1.5. Yakarak oluk açma

1.2.3.1.6. Yakarak Planyalama

Yakarak planyalama malzemede tabaka şeklinde aşındırma yapılan bir yakarak renделе me yöntemidir (Şekil 1.6).



Şekil 1.6. Yakarak planyalama

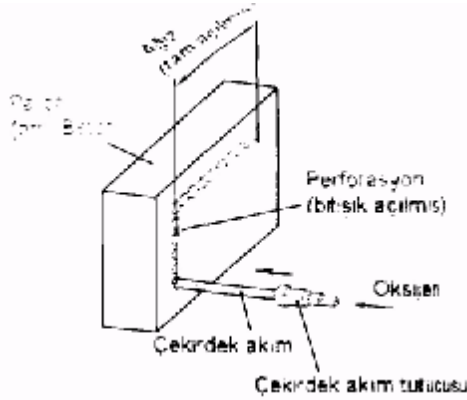
1.2.3.1.7. Yakarak Delik Açma

Mineral veya metelsel malzemede oksijen huzmesiyle yakarak delik açma termik bir delik açma yöntemidir. Oksijen huzmesinin serbest ucu malzemeyi tutuşma sıcaklığına getirir ve malzeme ilave oksijen altında yanar.

Mineral esaslı malzemelerde oksijen huzmesinin yakmasıyla oluşan metal oksitleri, mineral temasıyla tok mineral eriyiği silikat oluşumu ile de ince ve akıcı bir cüruf haline gelir ve aynı anda oksijen huzmesiyle uzaklaştırılır

Metelsel malzemelerde metal, oksijen akımında oksitlenir ve oksijen huzmesiyle uzaklaştırılır. Bu şekilde bir delik oluşur. Diğer deliklerin açılmasıyla bir perforasyon veya sürekli bir ayırma

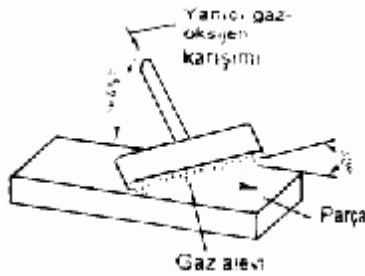
oluğu olur (Şekil 1.7).



Şekil 1.7. Yakarak delik açma

1.2.3.1.8. Alevle Yüzey İşleme

Alevle yüzey işleme, yanıcı gaz-oksijen aleviyle yüzeyden termik olarak tabaka kaldırılan bir yöntemdir. Metalsel veya mineral esaslı parçanın yüzeyi hızla ve kısa bir sürede tavllanır. Bu esnada boya yağ veya kauçuk gibi organik kaplamalar yanar. Anorganik kaplamalar veya tabakalar ise çullanır veya yapı değiştirir (Şekil 1.8).

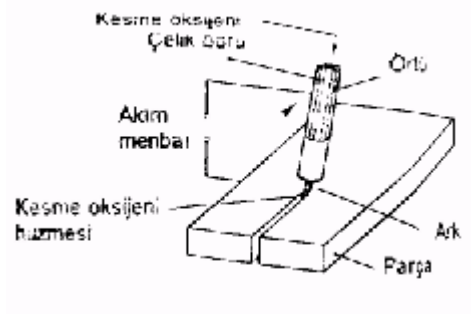


Şekil 1.8. Alevle yüzey işleme

1.2.3.2. Elektriksel Gaz Deşarjı İle Termik Aşındırma

1.2.3.2.1. Arkli-Oksijenle Kesme

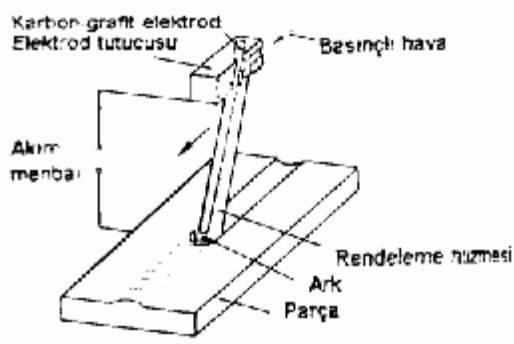
Arkli oksijenle kesme, kesme bölgesine elektrik arkı ve kesme oksijeni sevkedilen bir termik kesme yöntemidir. Ark, içi boş bir elektrod ile parça arasında oluşturulur. Ark etkisiyle ve malzemenin yanmasıyla oluşan ısı, kesme oksijeni yardımıyla ilerleyen bir yanma meydana getirir. Reaksiyon, derinlemesine ve kesme işlemi yönünde devam eder. Eriyikle karışık halde oluşan oksitler, kesme oksijeni huzmesiyle uzaklaştırılır. Bu şekilde bir kesme ağzı (yarığı) oluşur (Şekil 1.9).



Şekil 1.9. Arkli oksijenle kesme

1.2.3.2.2. Arkli-Basınçlı Hava İle Oyuk Açma (Rendeleme) (Arcair Yöntemi)

Arkli-basınçlı hava ile oyuk açma (rendeleme), arkla ve basınçlı hava ile yüzeylerde aşındırma oluşturarak yapılan bir termik kesme yöntemidir. Ark etkisiyle ve malzemenin yanmasıyla oluşan ısı, basınçlı hava yardımıyla yanma ve süren bir erime sağlar. Reaksiyon, derinlemesine ve hareket yönünde devam eder. Düzlemsel ilerleyen basınçlı hava hızması, eriyikleri ve cürufaları, kaldırıldığı yere bir öntavlama uygulayacak tarzda uzaklaştırır. Kaldırılan malzemenin bir kısmı yanmaktadır (Şekil 1.10).



Şekil 1.10. Arkli basınçlı hava (Arcair) ile oyuk açma (rendeleme)

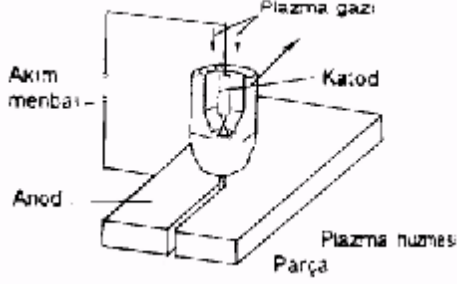
Plazma İle Eriterek Kesme

Plazma ile eriterek kesme, daraltılmış ve sıkıştırılmış bir arkla yapılan bir termik kesme yöntemidir. Bu ark içinde, çok atomlu gazlar dissosiyeye ve kısmen iyonize olur; tek atomlu gazlar ise kısmen iyonize hale

geçer. Bu şekilde oluşturulan plazma huzmesi, yüksek sıcaklığı ve büyük kinetik enerjisi ile malzemeyi eriterek ve kısmen de buhar haline getirerek uzaklaştırır. Plazma kesme üflecinin veya parçanın ilerlemesi ile bir kesme ağız meydana gelir.

1.2.3.3. Taşıyıcı Arklı Plazma İle Eriterek Kesme

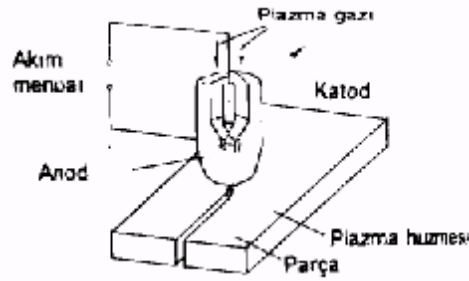
Taşıyıcı arklı plazma ile eriterek kesme işleminde kesilecek malzeme, kesme işlemi sırasında oluşacak bir akım devresini tamamlayacağından, elektrik iletkenliğine sahip olmalıdır (Şekil 1.11).



Şekil 1.11. Taşıyıcı arklı plazma ile eriterek kesme

1.2.3.4. Taşıyıcı Olmayan Arklı Plazma İle Eriterek Kesme

Taşıyıcı olmayan arklı plazma ile eriterek kesme işleminde, elektriği ileten ve iletmeyen tüm malzemeler kesilebilir (Şekil 1.12).



Şekil 1.12. Taşıyıcı olmayan arklı plazma ile eriterek kesme

1.2.4. Işın Yardımıyla Termik Aşındırma

Laserle Kesme

Laserle kesme, kesme için malzemeye aktarılması gerekli enerjinin laser ışınından sağlandığı termik kesme yöntemidir. Kesme, ilave bir gaz huzmesi altında yapılabilir.

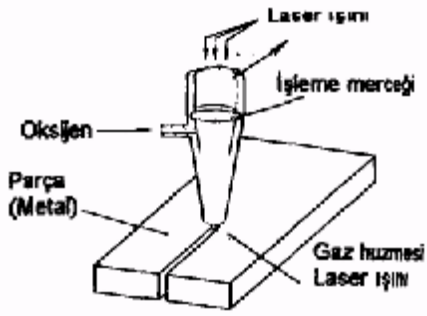
Yöntem, malzemenin dönüştürülme biçimine göre şu şekilde alt gruplara ayrılabilir:

- laserle yakarak kesme

- laserle eriterek kesme
- laserle buharlaştırarak kesme

1.2.4.1. Laserle Yakarak Kesme

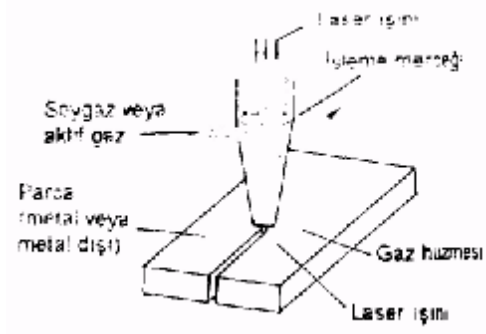
Laserle yakarak kesme, alevle yakarak kesmeye uygun bir malzemedен mamul bir parçada, laser ışınıyla yerel olarak yapılan hem tavlama ve hem de eşzamanlı oluşacak şekilde yapılan bir laserle kesme işlemidir. Tavlanan bölgede malzeme, gönderilen oksijen veya oksijen içeren ışınla yakılır. Reaksiyon, derinlemesine ve ilerleme yönünde devam eder. Oluşan oksitler, gaz huzmesiyle uzaklaştırılır. Bu şekilde bir kesme ağızı meydana gelir (Şekil 1.13).



Şekil 1.13. Laserle yakarak kesme

1.2.4.2. Laserle Eriterek Kesme

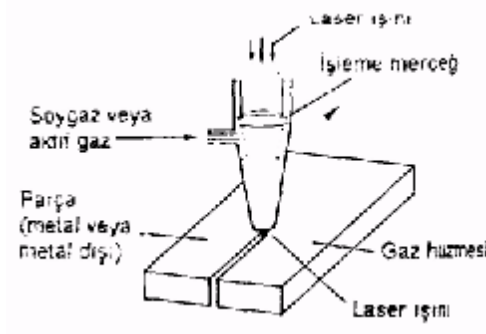
Laserle eriterek kesme, yanmadan önce eriyebilen bir malzemedен mamul parçanın, laser ışını yardımıyla yerel olarak eritildiği bir laserle kesme işlemidir. Eriyen malzeme, gaz huzmesi ile uzaklaştırılır. Üflecin veya parçanın ilerlemesiyle kesme ağızı oluşur (Şekil 1.14).



Şekil 1.14. Laserle eriterek kesme

1.2.4.3. Laserle Buharlaştırarak Kesme

Laserle buharlaştırarak kesme, parçanın yerel olarak, malzemesinin sürekli buharlaştırılmasına yetecek derecede tavlendiği laserle kesme yöntemidir. Buharlaşan malzeme, gaz ışını ve genleşme yardımıyla uzaklaştırılır. Üflecin veya parçanın ilerlemesiyle kesme ağzı meydana gelir (Şekil 1.15).



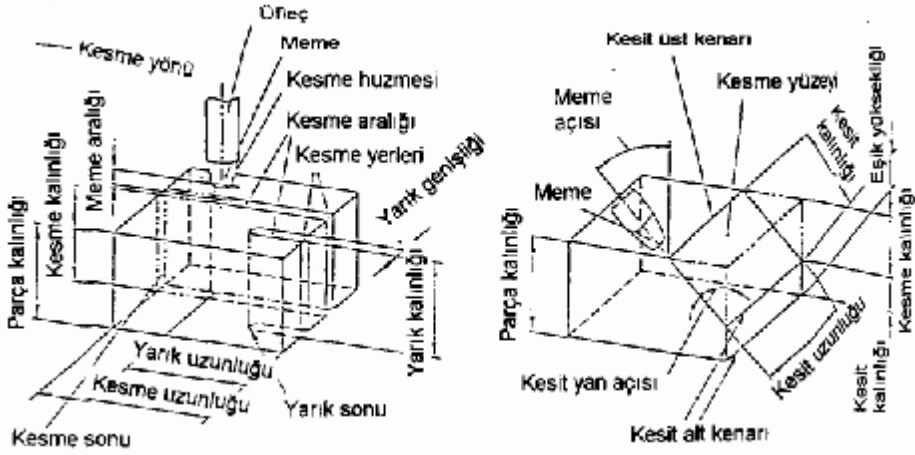
Şekil 1.15. Laserle buharlaştırarak kesme

BÖLÜM 2 YANICI GAZ – OKSİJEN ALEVİYLE YAKARAK KESME

2.1. Genel

Yanıcı gaz-oksijen aleviyle yakarak kesmenin geçmişi, 1902 yılına kadar uzanır. Kesme cihazları olarak alevle kesme makinalarında ve kesme üfleçlerinde son 25 yıl içindeki gelişme, klasik takım makinalarındaki gelişmeye göre kalite yönünden daha büyük olmuştur. Bugün yaklaşık 3000 mm'lik kalınlığa kadar alevle kesme yöntemi ile kesme yapılabilmektedir. Makinayla kesme ile, genel olarak 300 mm'lik kalınlığa kadar parçalar kesilebilmekte; özel hallerde belirli kesme kaliteleriyle 500 mm'ye kadar ulaşılabilmektedir. Bu kalınlığın üzerine, ancak özel kesme kalitesi talebi olmaksızın çıkılabilmektedir.

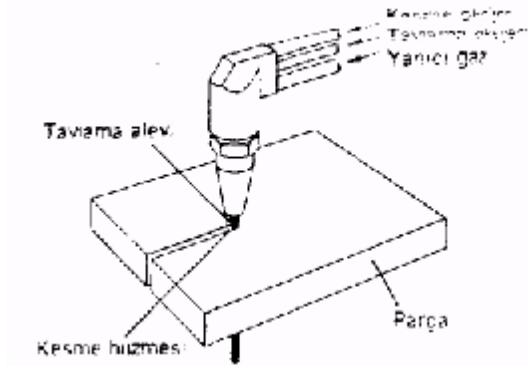
Bir alevle yakarak kesme işlemindeki temel kavramlar, en sık kullanılan kesme tipleri olan dik ve eğik kesme halleri için Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



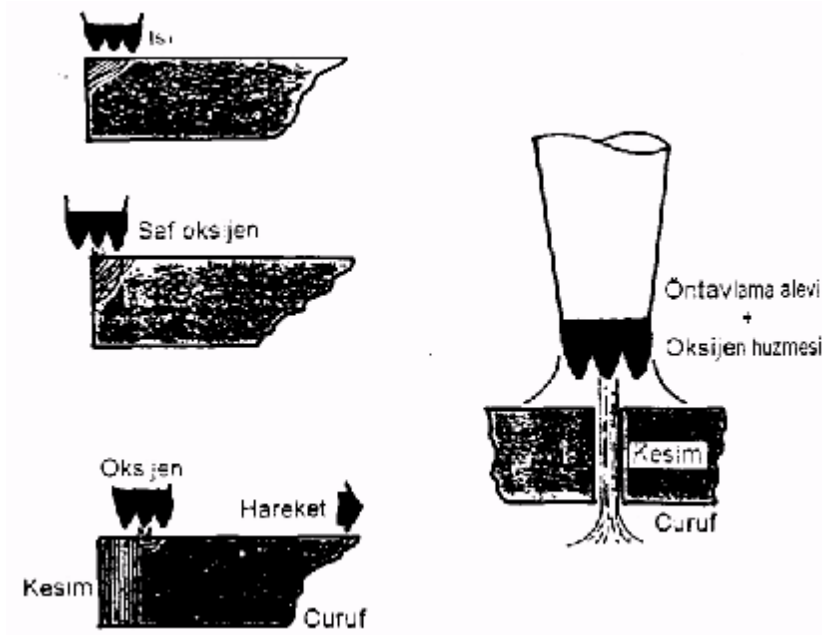
Şekil 2.1. Alevle yakarak kesme işlemindeki temel kavramlar

2.2. Alevle Yakarak Kesme İşleminin Esasları

Alevle yakarak kesme işleminde malzeme, enerji taşıyıcı bir yanıcı gaz-oksijen aleviyle, tutuşma sıcaklığına kadar tavlınır (Şekil 2.2). Alevle yakarak kesmenin prensibi ise Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Alevle yakarak kesme

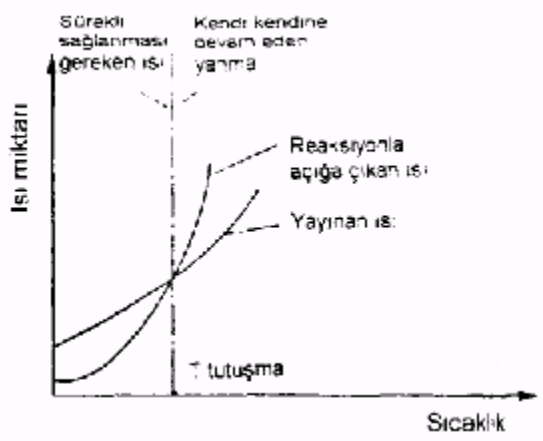


Şekil 2.3. Alevle yakarak kesmenin prensibi

Tavlama alevinin aşağıdaki görevleri yerine getirmesi gerekir:

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

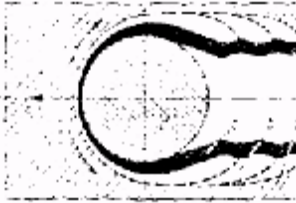
Tutuşma sıcaklığına ulaşan bölgeye kesme oksijeni sevk edilir. Malzeme, oksijen huzmesi altında oksitlenir. Bu olay, ekzotermik bir reaksiyondur. Tavlama alevinden gelen ısı ve demirin demiroksit oluşturmak üzere oksijenle reaksiyona girmesiyle oluşan ısının toplamı, yanmanın sürekli olmasını sağlar. Şekil 2.4. yanmanın sürekliliği için gerekli olan ısı şartı göstermektedir.



Şekil 2.4. Tutuşma sıcaklığının denge durumu

Reaksiyon malzemenin kalınlığı doğrultusunda ve işlemin ilerleme yönünde devam ederek kesme yarığını meydana getirir. Bu işlem, son derece büyük kalınlıkta parçaların dahi kesilebilmesini mümkün kılar. Eriyiklerle karışan -ve **kesme cürufu** da denilen- oksitler, oksijen huzmesi tarafından kesme yarığında uzaklaştırılır.

Şekil 2.5 alevle kesme işleminin ilerleyişinin üstten görünüşünü şematik olarak göstermektedir.



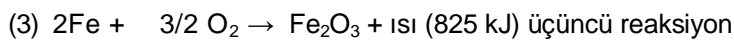
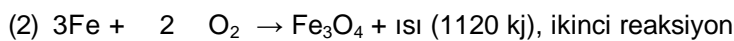
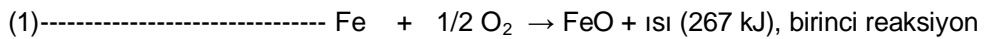
a: esas malzeme, b: Sıvı haldeki malzeme c: Oksit tabakası

d: Kesme oksijeni huzmesi, e: Kesme yönü

Şekil 2.5. Alevle kesme işleminde sıcak nokta (şematik)

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

Bu reaksiyonlar için kimyasal denge denklemleri şunlardır:



İkinci reaksiyon sonucu oluşan büyük miktarda ısı, çoğu kesme uygulamalarında ilave bir reaksiyon olan birinci reaksiyonun oluşturduğu ısının üzerine çıkar. Üçüncü reaksiyon ise, belirli miktarlardan daha büyük kesme uygulamalarında oluşur. Fe_2O_3 oluşturmak üzere 1 kg demiri, stokiyometrik olarak $0,29 m^3$ oksijen oksitler.

Gerçek işlemlerde birim demir kütlesi başına kesme oksijeni tüketimi, malzeme kalınlığına bağlı olarak değişir. Yaklaşık 40 mm'den daha kalın metallerde, birim kütle başına oksijen tüketimi, ideal stokiyometrik reaksiyondan daha fazla olur. Bunun nedeni, demirin ancak belirli bir kısmının Fe_2O_3 'e dönüşmesidir. Kısmen oksitlenen ve bunun dışında kalan oksitlenmemiş demir, yüksek hızlı oksijen huzmesinin kinetik enerjisiyle kesme yarığında uzaklaştırılır.

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

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

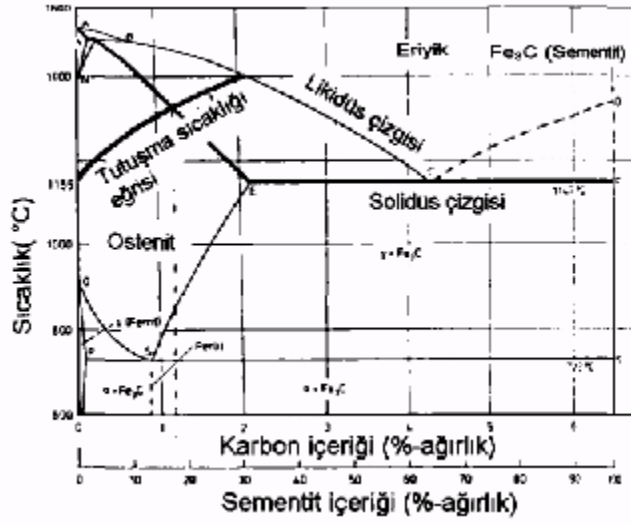
2.3. Malzemelerin Alevle Kesilebilme Kabiliyetleri

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

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

Saf demir, bu şartları optimum derecede yerine getirir. Alaşımsız ve düşük alaşımlı çelikler, alevle yakarak kesmeye uygundur. Artan karbon içeriğiyle, malzemenin tutuşma sıcaklığı da yükselir (Şekil 2.6) ve erime sıcaklığı düşer; bu nedenle % 1,6 ila % 1,8 karbonlu bir çelik, yukarıda belirtilen a şartını yerine getiremez.

Karbonun yanı sıra krom, tungsten, nikel gibi alaşım elemanları da çeliklerin oksijenle kesilebilme kabiliyetlerini etkiler. Bunun nedeni, bu elemanların oksitlerinin, nispeten daha yüksek erime sıcaklığına sahip olmasıdır. Tablo 2.1'de, bazı metal ve oksitlerinin erime sıcaklıkları verilmiştir.



Şekil 2.6. Çeliğin tutuşma sıcaklığının karbon içeriğiyle değişimi

Tablo 2.1. Bazı metal ve oksitlerinin erime sıcaklıkları

Metaller	Erime sıcaklığı (°C)	Oksidi	Oksidin erime sıcaklığı (°C)
Al	658	Al ₂ O ₃	2050
Co	1490	CoO	1810
Cr	1150	Cr ₂ O ₃	1990
Cu	1084	Cu ₂ O	1230
		CuO	1336
Fe	1533	FeO	1370
		Fe ₃ O ₄	1527
		Fe ₂ O ₃	1565
Mn	1250	MnO	1785
		Mn ₃ O ₄	1560
Mo	2655	MoO ₃	795
Ni	1452	NiO	1990
Si	1414	SiO ₂	1710
W	3370	WO ₂	1277
		WO ₃	1473
Ti	1727	TiO ₂	1775
V	1750	V ₂ O ₃	1970
		V ₂ O ₄	1277
		V ₂ O ₅	650

Bir malzemenin krom içeriğinin artması, ekşilinin erime sıcaklığı yükseltir ve bu durum yukarıda verilen kesilebilirliğin sağlanmasına yol açar. Tablo 2.2. bir çeliğin oksijenle kesilebilmeye uygunluğunun ortadan kalkmaması için alaşım elemanlarının üst sınırlarını vermektedir. Titanyum ve alaşımları istisnai bir duruma sahiptir. Bu malzemeler alevle (oksijenle) kesilebilmeye uygundur.

Tablo 2.2. Çeliğin alevle kesilebilirliği üzerine alaşım elemanlarının etkisi

Alaşım elemanı	İçeriğinin üst sınırı
Karbon	% 1,6'ya kadar
Silisyum	maksimum % 0,2 C'da % 2,5'a kadar
Mangan	% 13'e kadar (maksimum % 1,3 C'da)
Krom	% 1,5'a kadar
Tungsten	% 5,0 Cr, % 0,2 N, % 0,8 C'da % 10'a kadar
Nikel	% 7,0'a veya en az % 0,3 C'da % 35'e kadar
Molibden	% 0,8'e kadar; yüksek W, Cr ve C varsa kesilemez
Bakır	% 0,7'ye kadar

Bir çelik içerisindeki alaşım elemanları miktarı, sadece malzemenin alevle kesilmeye uygunluğunu belirlemekle kalmaz, aynı zamanda kesme yangında sertlik, iç gerilme ve çatlak oluşumu gibi istenmeyen problemlere de yol açabilir.

2.3.1. Kesme Yangınının Yapısı ve Özellikleri

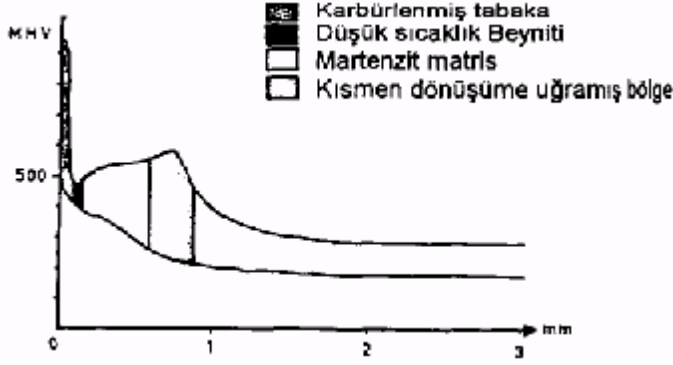
Kesme yangındaki sertleşme, esas olarak malzemenin karbon içeriğine, soğuma hızına ve malzemenin kalınlığına bağlıdır. Kesme yangında sertlik artışını oluşturan ve çok ince bir martenzite yol açan bir karbon zenginleşmesi meydana gelir. Bir St 52-3 çeliğinin kesme yangınının içyapısı Şekil 2.7'de görülmektedir.



Şekil 2.7. Bir St 52-3 çeliğinin kesme yangınının yapısı

Şekil 2.8'de ise, bir St 52-3 çeliğinin kesme yangındaki sertlik dağılımı görülmektedir. Oluşan sertliklere rağmen, kaynağa uygun yapı çelikleri, eğer metal oksit kalıntıları azsa ve yanma nedeniyle kuvvetli bir bileşen kaybı oluşmamışsa, alevle kesmede çatlak oluşturma eğilimi göstermezler. Ancak kesme işleminden sonra kritik bölgedeki içyapıda ortaya çıkacak içerilme

dağılımı, basınç içgerilmeleri oluşacak şekilde ayarlanmalıdır. Karbonca zenginleşmiş ve sertleşmiş kesme yarığı yüzeyindeki çatlakların ortadan kaldırılması, özellikle soğuk sertleştirilmiş saçların şekillendirilmesinde önemlidir. Bu bölgedeki basma gerilmeleri, düşük çekme gerilmelerine dönüşür.



Şekil 2.8. St 52-3 çeliğinin kesme yüzeyindeki sertlik dağılımı

İçgerilmeler -yarık yüzeyinde sınırlı bir bölgede çekme gerilmeleri oluşur-artan kesme hızıyla büyür. Çatlaklar, daha çok % 0,3 'den fazla karbon içeren çeliklerde meydana gelir.

2.3.2. Çeliklerin Alevle Kesilmesinde Öntavlama

Sertleşmeye eğilimli çeliklerin alevle kesilmesinde, ilave bir ısı girdisine ihtiyaç vardır. Bu durumda kesme üfleci, bir ön veya sonradan tavlama üfleci gibi ayarlanır. Tavlama üfleci, parçaya yaklaşık 70 mm mesafede ve hafif bir eğimle tutulur. Kesme üflecinin alevi, püskürtecek şekilde ayarlanır.

Öntavlama sıcaklığının seçimi, bir **karbon eşdeğeri** hesabına dayanır. Tablo 2.3, karbon eşdeğerine göre çeşitli malzeme kalınlıkları için Öntavlama sıcaklıklarını vermektedir.

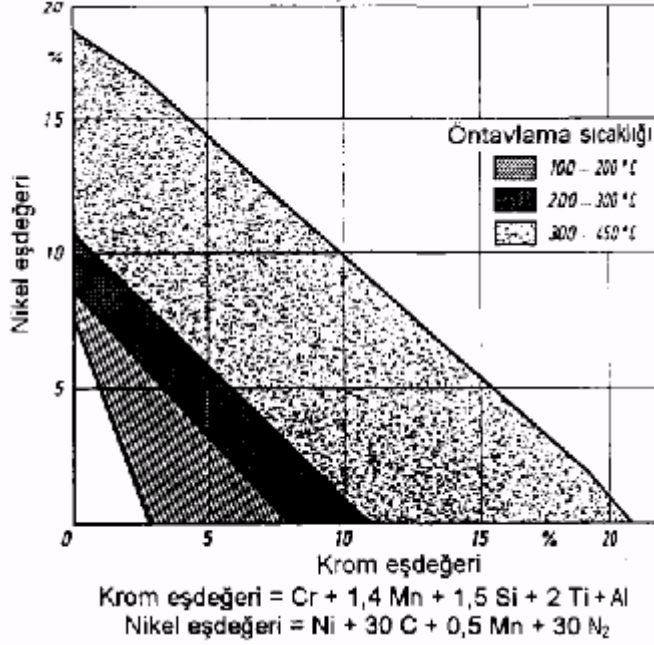
Tablo 2.3. Çeliklerin alevle kesilmesinde öntavlama sıcaklıkları

Karbon eşdeğeri (%)	Öntavlama sıcaklığı	
	Yaklaşık 50 mm kalınlığa kadar (°C)	50 mm'nin üzerindeki kalınlıklarda (°C)
0,3'ün altında	-	-
0,3 ... 0,4	-	en fazla 100
0,4 ... 0,5	en fazla 100	100 ... 200
0,5 ... 0,6	100 ... 200	200 ... 300
0,6 'nin üzerinde	200 ... 300	300 ... 400

Karbon eşdeğeri: $C + Mn/6 + Ni/15 + Cr/5 + Mo/4 + V/4$
Alaşımız ve düşük alaşımlı çelikler için geçerlidir.

Şekil 2.9'da ise, TESKE'ye göre yüksek alaşımlı çeliklerin alevle kesilmesinde öntavlama sıcaklıkları

verilmiştir.



Şekil 2.9. Yüksek alaşımlı çeliklerin alevle kesilmesinde öntavlama sıcaklıkları

St 34, St 37 ve St 52 gibi çok kullanılan yapı çeliklerinde, metalürjik bakımdan herhangi bir tehlike söz konusu olmaksızın alevle kesme yapılabilir.

Tablo 2.4, çeşitli çeliklerin oksijenle (alevle) yakarak kesmeye uygunluğunu vermektedir.

Tablo 2.4. Çeşitli çeliklerin alevle kesmeye uygunluğu

(Berlin SLV'nin araştırmalarına göre)

Çelik	Kimyasal bileşim (% ağırlık)								Alevle yakarak kesmeye uygunluk (öztavlama olmadan) ⁴⁾
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	Co	
St 37	0,2		0,6						+
St 52	0,2	0,3	0,6						+
St 70	0,5	0,2	0,4						+
H II	0,2	0,35	0,5						+
15 Mo 3	0,2	0,25	0,6			0,3			+
13 CrMo 4 4	0,15	0,25	0,55	0,85		0,45			+
10 CrMo 9 10	0,15	0,32	0,5	2,2		1,0			+
St 35 8	0,18	0,29	0,86	0,57	0,67	0,48			+
StE 70	0,20	0,35	1,5		0,58				+
HY 80	0,14	0,21	0,24	1,3	2,88	0,35	0,1		+
20MnCrSiMoZr 43	0,18	0,78	0,9	0,85		0,38			+
WTSt 37	0,12	0,5	0,3	0,6	0,65		0,4		+
StE 43	0,12	0,4	1,3		0,6		0,6		+
StE 36	0,2	0,3	1,3						+
17 MnMoV 6 4	0,19	0,3	1,5		1,0	0,3			+
17 MnCrMo 3 3	0,2	0,71	0,91	0,9	0,07	0,33			+
Düşük perlitli çelik	0,09	0,4	1,3						+
22 NiMoCr 3 7	0,2	0,3	0,8	0,4	0,8	0,7			+
20 MnMoNi 5 5	0,2	0,2	1,2	0,5	0,5	0,5			+
GS-C 25	0,2	0,41	0,59	0,05	0,04		0,08		+
Beton çeliği	0,2	0,5							+
X 8 Ni 9	0,06	0,24	0,64		9,08				+
X 2 NiCoMo 18 9 5	0,04	0,02	0,02		17,8	4,84		9	-
X 10 Cr 13	0,09	1,0	1,0	13					-
X 20 Cr 13	0,2			13					-
X 4CrNiMoNb 25 7	0,04			25	7				-
X 10CrNiTi 18 9	0,1	1,0	2,0	18	9				-
X 10CrNiMoTi 18 9	0,1	1,0	2,0	17,5	11,5	2,25			-
X 8 CrNiNb 19 9	0,06			19	9				-
X 15 CrNiSi 20 12	0,2	2,05	2,0	20	12				-
X 45 NiCrMo 4	0,45	0,25	0,4	1,3	4				-

⁴⁾ +: Alevle yakarak kesmeye uygun - : Alevle yakarak kesmeye uygun değil.

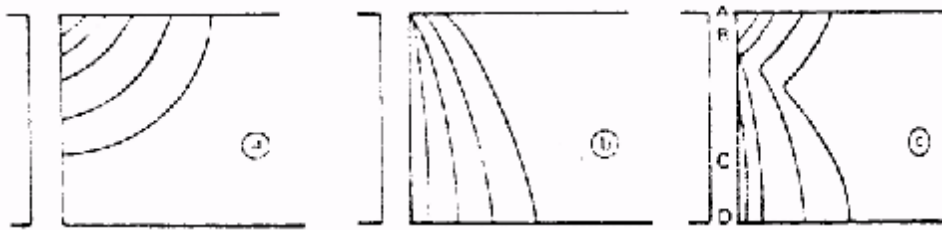
2.3.3. Sıcaklık Dağılımı

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

Sadece tavlama alevinin etkidiği düşünülürse, eşsıcaklık eğrileri, merkezi, kesme yarığının üst kenarı olan yaylar şeklinde oluşur. Alevin yelpazesi, ortam havasının soğutma etkisini karşılar (Şekil 2.10.a).

Sadece oksijen huzmesinin etkidiği düşünülürse, yanma bütün kesme yarığı boyunca meydana geldiğinden, metalde düzgün bir ısınma meydana gelir. Oluşan oksidin sıcaklığı, oksijen akışı sırasında artar ve eşsıcaklık eğrileri Şekil 2.10.b ' deki gibi gerçekleşir.

Hem tavlama alevinin ve hem de oksijen huzmesinin birlikte etkimesi durumunda eşsıcaklık eğrileri, Şekil 2.10.c'deki durumu alırlar.



Şekil 2.10. Kesme yangınındaki eşsıcaklık eğrileri

a) Sadece tavlama alevinin etkimesi durumundaki eşsıcaklık eğrileri

b) Sadece oksijen huzmesi etkidiğinde eşsıcaklık eğrileri

c) Tavlama alevinin ve oksijen huzmesinin birlikte oluşturduğu eşsıcaklık eğrileri

Şekil 2 10.c incelendiğinde, yarık alnındaki sıcaklığın sabit kalmadığı görülür Sıcaklık, yarığın A noktasında maksimum ve B'de ise minimum değerini alır. C'ye kadar artan sıcaklık D'ye doğru dış ortam sıcaklığının etkisiyle azalır.

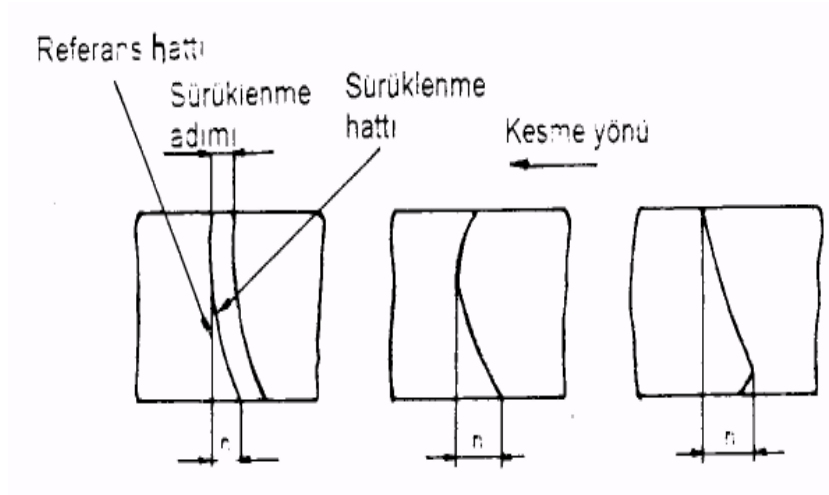
Eğer sıcaklık belirlenen sürenin dışına çıkarsa kesmede bazı hatalar meydana gelir Tavlama alevinin verdiği ısı metalin yanmasıyla meydana gelen ısıdan her zaman daha düşüktür Bu olayın parça kalınlığına (k) göre değişimi: Tablo 2.5'de verilmiştir.

Tablo 2.5. Tavlama alevinin ve metalin yanmasının sağladığı ısıların parça kalınlığı "k" ile değişimi

Kalınlık	k = 10 mm	k = 50 mm	k = 100 mm
Tavlama alevi	25 cal/dak	50 cal/dak	75 cal/dak
Metalin yanması	135 cal/dak	540 cal/dak	2030 cal/dak
İşlem için gerekli güç: 10 mm için 8-10 kW, 100 mm için 150 kW			

2.3.4. Sürüklenme

Yüze dik olarak etkiyen oksijen huzmesinin parçaya girişi ve çıkışı arasında, kesme yönünde meydana gelen sapmaya sürüklenme adı verilir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Oksijenle kesme işleminde sürüklenme

Yüzeyden parça kalınlığı yönünde ilerledikçe, oksijenin saflığı ve miktarı azalır, malzeme- - yanma

hızı düşer ve alt kısımda sürüklenme meydana gelir. Ayrıca bu be gede sıvı oksit tabakası incelendiğinden dolayı: yanma hızı artar, ilerleme hızı bu iki değişkene göre tespit edilir.

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

2.3.5. Kesilen Metalin Homojenliği

Oksijenle yakarak kesme işlemi, kesilecek metalin iç ve dış hatalarından etkilenir, iç hatalar olarak malzeme içindeki gaz kabarcıkları, yabancı maddeler, katılaşma hataları (segregasyonlar), içgerilmeler ve çatlaklar; dış hatalar olarak da parça yüzeyindeki düzgünsüzlükler, yağ, pas ve kirler sayılabilir.

Eğer parça üzerindeki oksitlenme, önemli derecede çok ise, kesme hızı düşebilmektedir. Ayrıca parçaya daha yüksek bir ön tavlama uygulanması da gerekir.

2.3.6. Parça Kalınlığının Etkisi

Kesilecek olan metalin kalınlığı, kesme işleminin ayar parametrelerini büyük ölçüde etkilemektedir. Endüstriyel üfleçlerle 200 mm'ye kadar kesme yapmak mümkündür. Elle kesmede bu kalınlıklara ulaşmak zordur. Elle, kalınlığı ancak 50 mm'ye kadar olan parçalar kesilebilir. Oksijenle kesme makinalarında ise daha büyük ve su soğutmalı üfleçler yardımıyla 600-800 mm. ye kadar levhalar kesilebilir.

2.4. Yanıcı Gaz ve Oksijen'in Özellikleri

2.4.1. Yanıcı Gaz

Kesme işleminde öntavlama alevinin fonksiyonları şunlardır:

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

Çeliği hızlı şekilde tutuşturma sıcaklığına yükseltilen bir öntavlama yoğunluğu, yüksek işlem hızlarında kesme kalitesini sürdürmek için genellikle yeterlidir. Ancak kesme kalitesi en yüksek seviyede olmaz. Yüksek kaliteli kesme, normal olarak hızlı öntavlama için gereken yoğunluğa göre önemli oranda düşük öntavlama yoğunluklarında yapılabilir. Çoğu büyük kesme makinalarında, çift kademeli gaz kontrolleri mevcuttur. Bunlar, başlatma işlemine göre yüksek yoğunluklu öntavlamayı sınırlarlar. Daha sonra öntavlama alevleri, yanıcı gaz ve oksijenden tasarruf sağlamak ve daha iyi bir kesme yüzeyi oluşturmak üzere düşük yoğunluğa indirilir.

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

- a) Keskin kenarlarda ve yuvarlak köşelerde kesmeyi başlatırken ve ayrıca parça ortasından kesme

uygulamalarında delik oluştururken öntavlama için gereken süre;

- b) Doğrusal çizgi, şekil halinde veya kaynak ağzı kesme işlemleri için kesme hızlarına etkisi;
- c) Yukarıdaki faktörlerin parçanın işlenmesinde birlikte etkisi;
- d) Basıncılı kap, tüp veya boru hatları içindeki hacimde depolanabilirliği ve bunun maliyeti.
- e) Yanıcı gazı verimli şekilde yakabilmek için gerekli öntavlama oksijeninin maliyeti
- f) Gerektiğinde kaynak, tavlama ve lehimleme gibi diğer işlemler için yanıcı gazın verimli şekilde

kullanılabilirliği

- g) Yanıcı gaz tanklarında depolama ve taşımadaki emniyetliliği.

Oksijenle yakarak kesme işleminde enerji taşıyıcı eleman, yanıcı gaz ve oksijen karışımıdır.

2.4.1.1. Asetilen

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

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

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

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

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

2.4.1.2. Stabilize Metilasetilen-Propadien (MPS=MAPP)

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

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

Bu oranlar asetilen aleviyle aynı uygulamalar için kullanılır.

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

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

2.4.1.3. Doğalgaz

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

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

Doğal gaz için kullanılan üfleç ve memelerin tasarımları, asetileninkine göre daha farklıdır. Doğalgazın teslim basıncı genellikle daha düşüktür ve yanma oranları da daha farklıdır.

2.4.1.4. Propan

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

2.4.1.5. Propilen

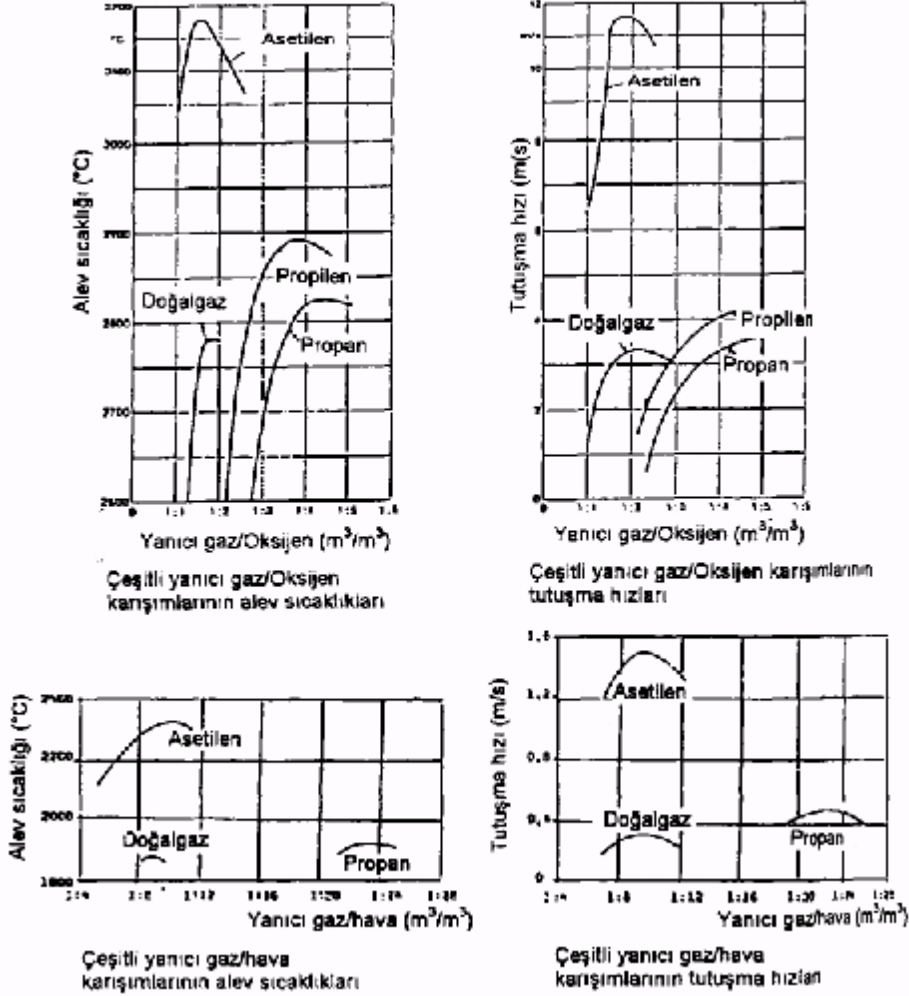
Pek çok ticari ismi olan propilen, oksijenle kesme için yanıcı gaz olarak kullanılmaktadır. Nötr alev için birim hacim oksijen başına 2,5 hacim propilen tüketilir. Maksimum alev sıcaklığına ulaşabilmek için bu miktarın 3,6 hacme yükseltilmesi gerekir. Propilen için kullanılan kesme memeleri, MPS için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

Endüstride en çok kullanılan çeşitli yanıcı gazları özellikleri Tablo 2.6'de verilmiştir.

Tablo 2.6. Çeşitli yanıcı gazların özellikleri

Ozellik	Asetilen	Propan	Propilen	MPS (MAPP)	Doğalgaz
Kimyasal formülü	C_2H_2	C_3H_8	C_3H_6	C_3H_6 (Metil-asetilen, propadien)	CH_4 (Metan)
Nötr alev sıcaklığı (°C)	3100	2520	2870	2870	2540
Primer alev ısı çıkışı (MJ / m ³)	19	10	16	20	0,4
Sekonder alev ısı çıkışı (MJ / m ³)	36	94	72	70	37
Toplam ısı değeri (buharlaştırmadan sonra) (MJ / m ³)	55	104	88	90	37
Toplam ısı değeri (buharlaştırmadan sonra) (KJ / kg)	50 000	51 000	49 000	49 000	56 000
Nötr alev için gerekli toplam oksijen miktarı hacim O ₂ / hacim yanıcı gaz	2,5	5	4,5	4	2
Nötr alev için Ofleçten sağlanan oksijen miktarı hacim O ₂ / hacim yanıcı gaz (m ³ O ₂ / kg) (15,6 °C'de)	1,1 1	3,5 1,9	2,6 1,4	2,5 1,4	1,5 2,2
Maksimum mücade edilen manometre basıncı (bar)	1,03	10,30	10,30	10,30	Hat basıncı
Hava içinde patlama sınırı yüzdesi	2,5 - 80	2,3 - 9,5	2,0 - 10	3,4 - 10,6	5,3 - 14
Hacim / ağırlık oranı (m ³ / kg) (15,6 °C'de)	0,91	0,54	0,55	0,55	1,4
Özgül ağırlığı (15,6 °C'de) (Hava=1)	0,906	1,52	1,48	1,48	0,62

Bir yanıcı gazın seçiminde, alev gücü dikkate alınır. Bu gücü, her şeyden önce maksimum alev sıcaklığı ve tutuşma hızı belirler. Şekil 2.12'de, çeşitli yanıcı gazların hava ve oksijenle karışımlarında alev sıcaklıkları ve tutuşma hızları verilmiştir.



Şekil 2.12. Çeşitli yanıcı gazların alev sıcaklıkları ve tutuşma hızları

2.4.2. Oksijen

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

- Yanıcı gazla karışarak tavlama alevini oluşturur
- Malzemeyi oksitler (yakar) ve
- Oluşan cürufu kesme yarığında uzaklaştırır.

Verimli ve ekonomik bir kesme yüzeyinin elde edilebilmesinde, oksijenin saflığının en az % 99,5

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

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

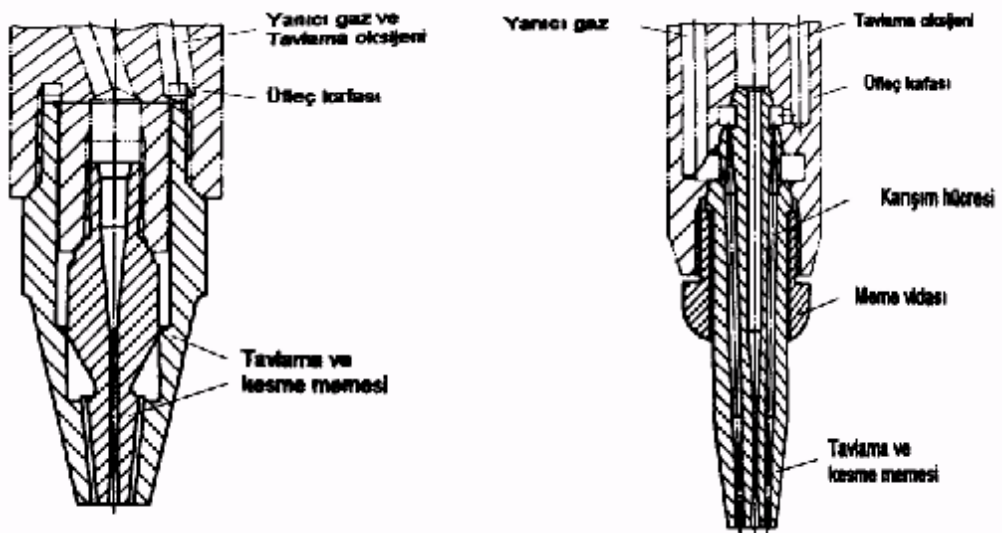
Özellikle oksijenle kesmede makina büyüklüğüne göre (üfleç sayısının artmasıyla) yanıcı gaz debisinin artması yanında, özellikle oksijen tüketimi daha fazla artmaktadır. Bu durum gaz dağıtım şebekesinin boyutlandırılmasında göz önüne alınmalıdır. Belirli bir gaz basıncı ve debisi sağlanamamışsa, düzgün bir alevle kesme işlemi de gerçekleştirilemez.

2.5. Kesme Üfleci (=Kesme Hamlacı veya Kesme Şalumosu)

Kesme üfleci, alevle kesme cihazlarının bir parçası olarak, yanıcı gazı tavlama ve kesme oksijenlerini sevkederek memeyi içeren önemli bir kesme aparatıdır. Kesme üfleçleri, yapıları ve tavlama alevi ile yanıcı gazın karışım yerleri bakımından birbirlerinden ayrılır. Elle kesme üfleçleri TS 3579'da standartlaştırılmıştır. Bu standart ile DIN 8543'ün 1.kısımı aynıdır. Makinayla kesme üfleçleri ise DIN 8543'ün 5.kısımında verilmektedir.

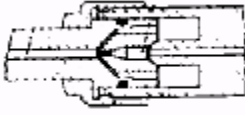
Kesme işleminde esas olarak emmeli tip üfleçler kullanılır. Yanıcı gaz ile tavlama oksijeninin karışım yeri -basıncılı tip meme veya enjektör tipi-, üfleçte veya kesme memesinde yer alır (Şekil 2.13). Şekil 2.14 'de ise bu üfleçlerin tutamak ile üfleç kısmının birleşme yeri kesit halinde gösterilmektedir.

Şekil 2.15'de, hem kaynak ve hem de kesme üfleci olarak kombine edilmiş bir üfleç görülmektedir.

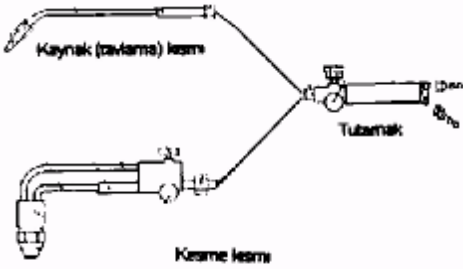


Şekil 2.13.a- Tavlama ve kesme memesi (Karışım yeri üfleçte)

Şekil 2.13.b- Gaz karışımı meme (Karışım yeri memede) TS 3579

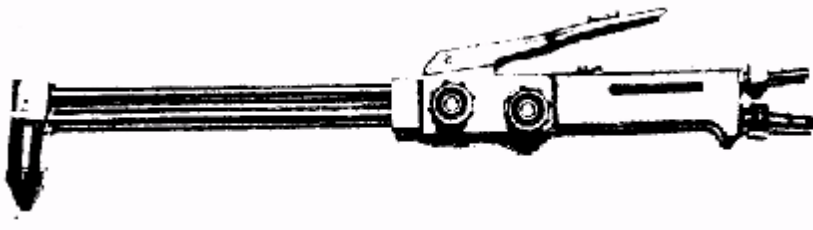


Şekil 2.14. Tutamak/üfleç tertibatı birleşme yeri

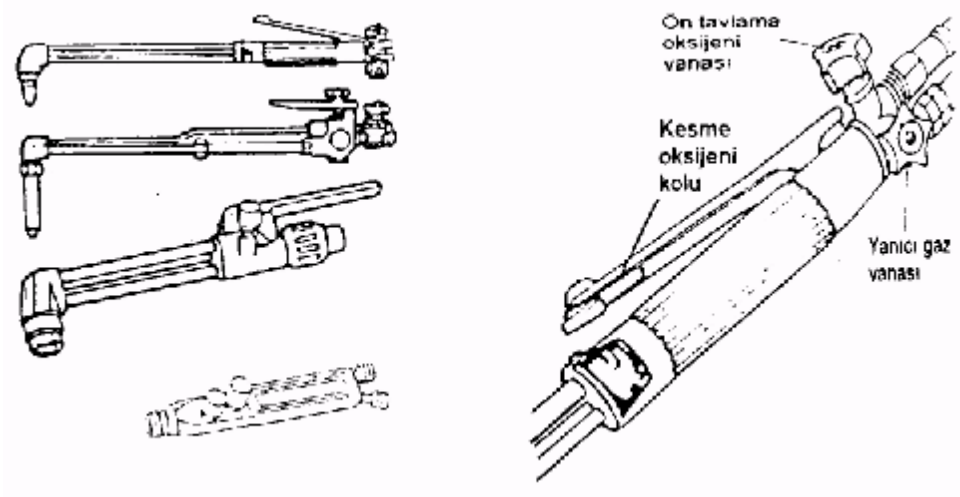


Şekil 2.15. Hem kaynak ve hem de kesme üfleci olarak kullanılabilen bir üfleç

Elle kesme aparatları, kaynak ve kesme üfleci olarak kombine edilmiştir. Bu tip aparatlarda, tutamak kısmında kaynak üfleci bir kesme üflecine bağlanır veya değişik yapı türlerinde, tamamen kesme tertibatları haline getirilir (Şekil 2.16 a ve b). Elle kesme aparatlarında, aparata iletilen oksijen, tavlama ve kesme oksijeni olarak ikiye bölünür. Kesme işleminde, önce tavlama yapılır. Daha sonra kesme oksijeni mandalının hareketiyle, gelen oksijen iki kısma ayrılarak kesme oksijeni tavlanan bölgeye sevk edilir.



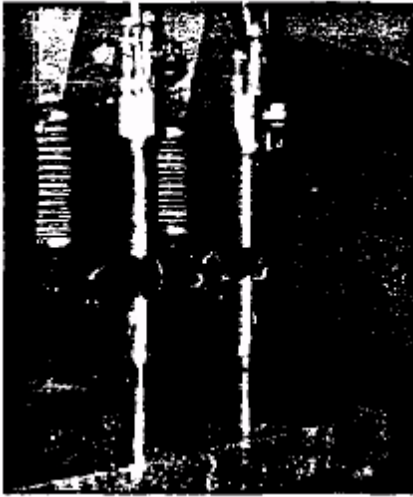
a. Tipik bir elle kesme üfleci



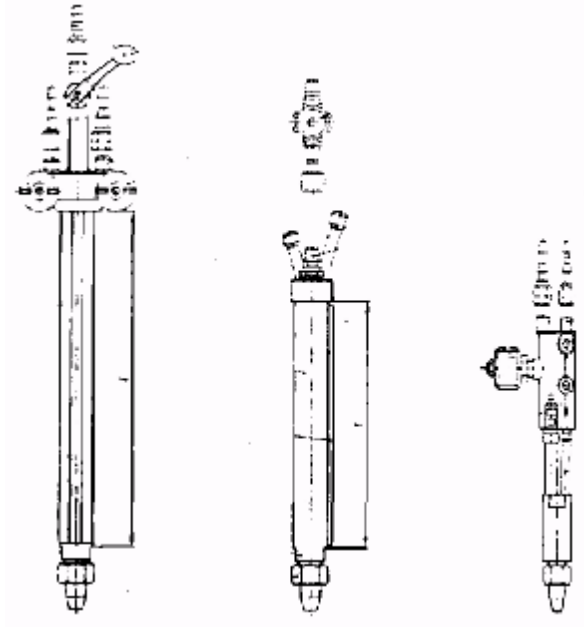
b. Elle kesme üfleç türleri.

Şekil 2.16. Elle kesme üfleçleri

Şekil 2.17'de makinayla kesme üfleci, Şekil 2.18 'de ise DIN 8543 Kısım 5'te makinayla kesme üfleçleri için verilen çeşitli hortum bağlantı örnekleri gösterilmektedir.



Şekil 2.17. Makina ile kesme üfleci



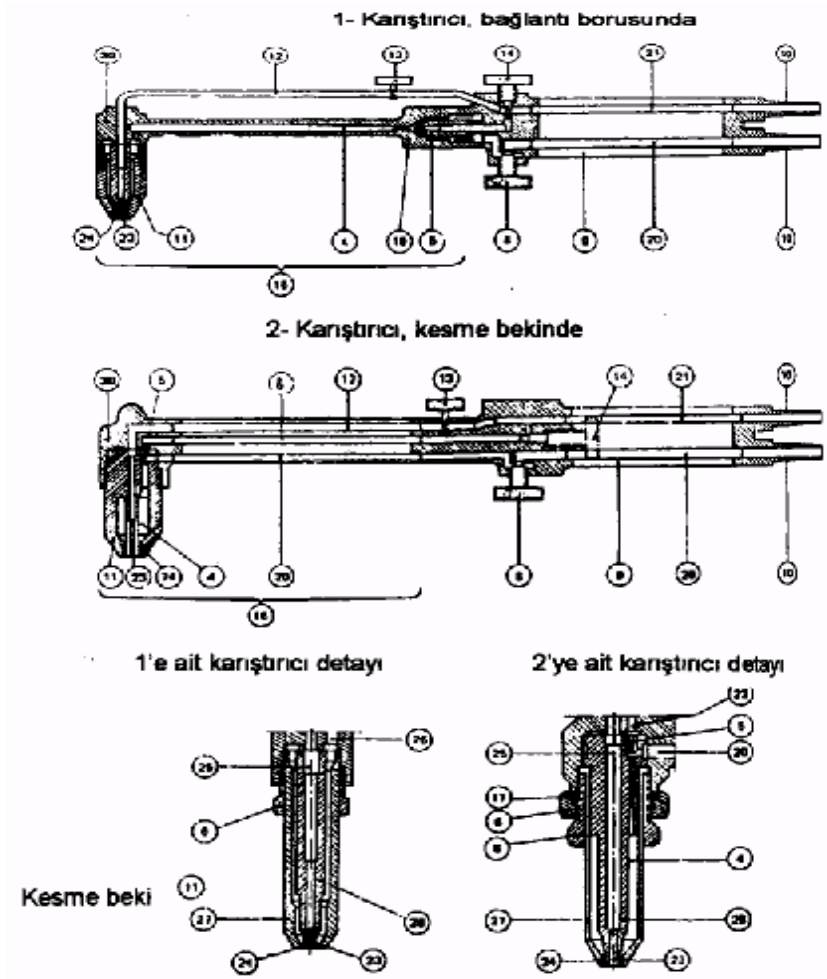
Gömme ventilli üfleç

Vidalı ventilli üfleç

İki hortumlu üfleç

Şekil 2.18. DIN 8543 Kısım 5'e göre çeşitli valfli üfleçler

Şekil 2.19 'da, TS 3579'da verilen kesme üfleçleri gösterilmektedir.



- | | | |
|----------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| 1. Kaynak beki (memesi) | 11. Kesme beki | 21. Oksijen yolu |
| 2. Bek (meme) borusu | 12. Kesme oksijeni borusu | 22. Tavlama oksijeni yolu |
| 3. Bek bağlantısı | 13. Kesme oksijeni valfi | 23. Kesme oksijeni deliği |
| 4. Karışım hücresi | 14. Tavlama oksijeni valfi | 24. öntavlama alev deliği |
| 5. Enjektör | 15. Kaynak bölümü | 25. Kesme oksijeni yolu |
| 6. Bek somunu | 16. Kesme bölümü | 26. Karışım yolu |
| 7. Oksijen valfi | 17. Conta | 27. Bek dış parçası |
| 8. Yanıcı gaz valfi | 18. İğne | 28. Bek iç parçası |
| 9. Gövde (tutamak) | 19. Karıştırıcı (karışım yeri) | 29. Bağlantı somunu |
| 10. Hortum bağlantı nipeli | 20. Yanıcı gaz yolu | 30. Bek bağlama başı |

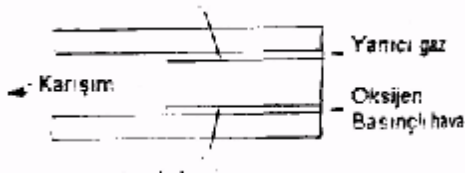
Şekil 2.19. TS 3579'a göre kesme üfleçleri (hamlaçları)

2.5.1. Karışım Sistemine Göre Üfleçler

2.5.1.1. Emmeli Tip (Yüksek Basıncılı) Üfleçler

Emmeli tip (yüksek basınçlı) Üfleçler oksijen veya yanıcı gazın, karışım noktasının hemen önünde ölçülen akış basıncının (P_i), karıştırıcı ile meme arasında ölçülen karışım gaz (P_m) basıncından daha

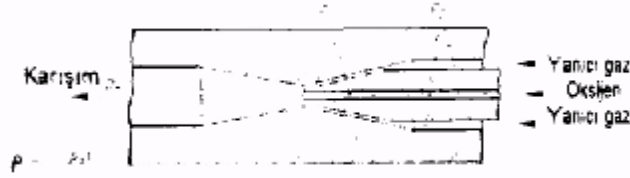
yüksek olduğu üfleç tipidir (Şekil 2.20).



Şekil 2.20. Emmeli tip (yüksek basınçlı) üfleç

2.5.1.2. Basıncılı Tip (Düşük Basıncılı) Üfleçler

Basıncılı tip (düşük basınçlı) üfleçler oksijen veya yanıcı gazın, karışım noktasının hemen önünde ölçülen akış basıncının (P_f), karıştırıcı ile meme arasında ölçülen karışım gaz (P_m) basıncından daha düşük olduğu üfleç tipidir (Şekil 2.21.).



Şekil 2.21. Basıncılı tip (düşük basınçlı) üfleç.

Özel hallerde karışım, üflecin dışında da ve ayrıca kesme memesinden önce de oluşturulabilir. Kesme üfleçleri, yapım şekli olarak standartlaştırılmamıştır. Bu nedenle piyasada

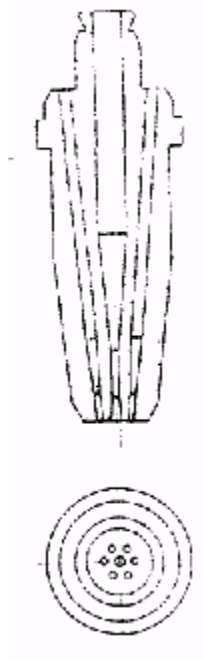
- vidalananlar
 - blok memeler için başlık somunu ile birleştirilenler
 - gaz karışimli memeler, ve
 - manşonlu memeler
- şeklinde çok çeşitli kesme üfleçleri bulunmaktadır

Makinayla kesme üfleçlerinde yapım uzunlukları ve shaft çapları bakımından büyük farklar bulunur.

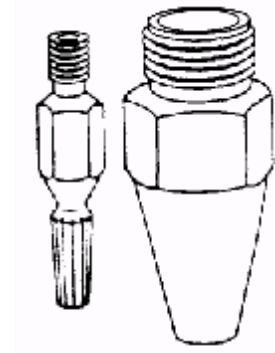
2.5.2. Kesme Memeleri (Bekleri)

Alevle kesme işleminin ekonomikliği, alevle kesme aparatına -kesme memelerine- bağlıdır. Optimum kesme yüzeyi kalitesi veren yüksek kesme hızlarına, özellikle son yıllarda geliştirilen üfleçlerle ulaşılabilmektedir. Kesme memeleri hakkında çok sayıda değişik konstrüksiyon kriteri bulunması, bunlar için tam bir tanımlama yapılabilmesine olanak sağlamamaktadır.

Özellikle kesme oksijeni ve yanıcı gaz-tavlama oksijeni karışımı sağlamak için gaz kanallarının oluşturulmasında, tek parçalı veya çok parçalı yapı olarak önemli farklılıklar mevcuttur. Örneğin blok meme, tek parçalı bir memedir (Şekil 2.22). Modern yüksek güçlü üfleçler ise daha çok iki parçalıdır (Şekil 223). Bunlarda iç parça kesme memesi, dış parça ise tavlama memesi olarak görev yapar.

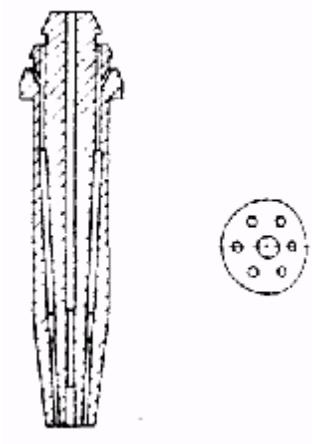


Şekil 2.22. Blok (tek parçalı) meme



Şekil 2.23. İki parçalı meme

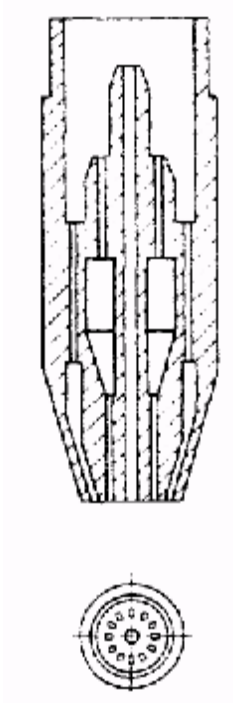
Yüksek güçlü memeler, özellikle akışa uygun imal edilmiş kesme kanalları sayesinde kesme oksijeni huzmesinin enerjisi tam olarak kullanılabilir şekilde tasarlanmıştır. Uygun şekillendirilmiş tavlama alevi kesiti ile. Yüksek bir tavlama etkisine ulaşılır. Bu memeler, yapılarının şekli nedeniyle yarıklı memeler olarak da adlandırılmaktadır. Halka memeler, yanıcı gaz-tavlama oksijeni karışımının çıkış deliğinin bir halka yarık şeklinde olduğu iki parçalı memelerdir. Blok memelerde ve iki parçalı memelerde, memeden, yanıcı gaz ve tavlama oksijeninden oluşan karışım çıkar. Bu tip gaz karışımlı memelerde (Şekil 2.24) yanıcı gaz, tavlama oksijeni ve kesme oksijeni, memeden ayrı ayrı çıkarlar. Yanıcı gazın tavlama oksijeniyle karışımı, ilk olarak meme içinde meydana gelir. Bu meme şekli, karışım mesafesinin kısa olması nedeniyle geri tepme oluşmaması avantajına sahiptir. Bu tip memeler, esas olarak memelerin yüksek ısı dayanımına sahip olmasının gerektiği çok kafalı üfleçlerde kullanılır.



Şekil 2.24. Gaz karışimli meme.

Çelik üretiminde, sıcak malzemelerin ve kalın kesitlerin kesilmesi gibi uygulamalarda, son derece yüksek ısı dayanım için dış karışimli memeler kullanılır (Şekil 2.25).

Burada gaz kanalının belirli bir şekilde düzenlenmesiyle, yanıcı gaz ve tavlama oksijeni, ilk olarak meme çıkış yüzeyinde birbirine karışır. Bu tip memeler, geri tepme olayına hassas değildir.



Şekil 2.25, Dış karışimli meme

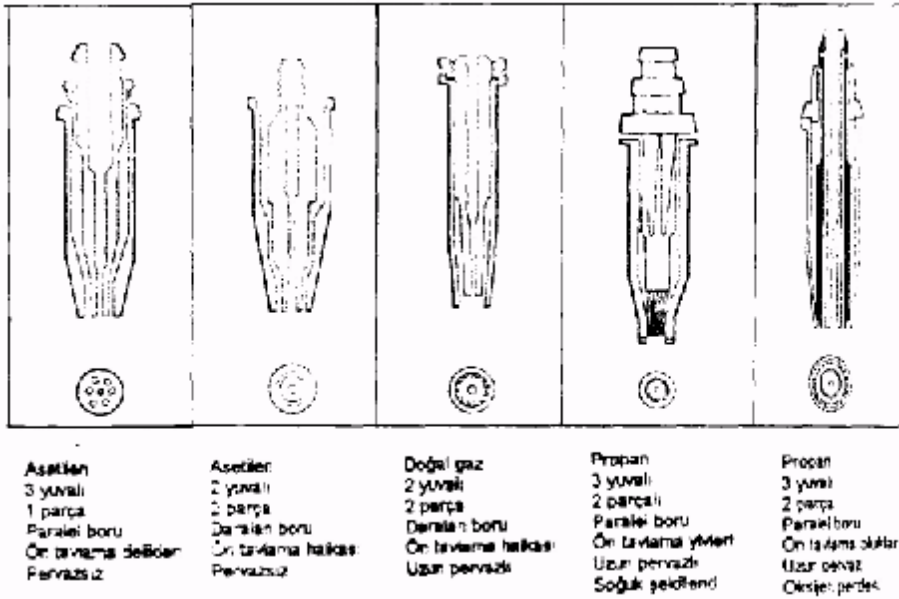
Gazların karışımı kötü şartlarda gerçekleştiğinden eş debili diğer memeler Kadar verimli değildirler iki ayrı ağız halkası bulunduğundan, meme içinde karışım olmamasına rağmen titiz bir imalat gerektirirler.

2.5.3. Yanıcı Gaz Çeşidine Göre Kesme Memesi Türleri

Tipik bir oksii-asetilen memesinde, merkezi kesme oksijeni çıkışı çevreleyen dairesel öntavlama delikleri bulunur. Tek parçadan oluşan (blok meme) bu memede gaz çıkışı için boylamasına delikler açılmıştır. Bakırdan yapılır ve genellikle kromla kaplanırlar.

Propan ve doğalgaz memeleri genellikle iki parçadan oluşur, içteki piring kısım, merkezi kesme oksijeni deliği oluşturmak üzere delinmiştir. Dış yüzeyi boyunca bulunan yarıklar, ön tavlama alevi için oksijen-yanıcı gaz karışımının geçeceği kanalları oluşturur. Memenin dış kısmı, genellikle krom kaplanmış bakırdır.

Memeler tek bir yanıcı gaz türü için imal edilir ve bir yanıcı gaz için imal edilen bir meme, diğer bir yanıcı gaz için kullanılmaz. Şekil 2.26'da çeşitli yanıcı gazlar için geliştirilmiş meme türleri gösterilmiştir.



Şekil 2.26. Çeşitli yanıcı gazlar için meme türleri

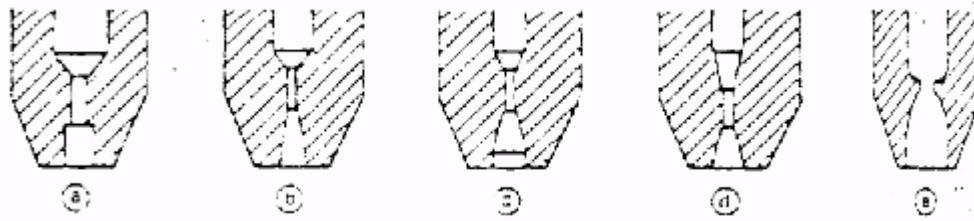
2.5.4. Kesme Oksijeni Kanalı

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

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

maliyet ve bakım problemleri söz konusudur.

Günümüzde kullanılan memelerde, ideal formu sağlamak çok pahalıya mal olduğundan konstrüktörler, imalatı kolay ve ideale yakın formları tercih etmektedir (Şekil 2.27).



Şekil 2.27. Kesme oksijeni için çıkış kanalı profilleri

a- silindirik ağız

b- 3-4 °C'lik ıraksak ağız

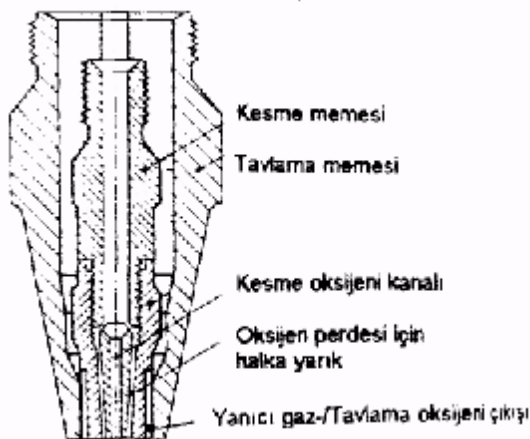
c- ıraksak + silindirik ağız

d- ıraksak + ıraksak ağız

e- ideal form

2.5.5. Oksijen Perdeli Memeler

Örtülü veya oksijen perdeli meme de denilen yüksek güçlü memelerden bir tanesinin formu Şekil 2.28'de gösterilmektedir.



Şekil 2.28. Örtülü veya oksijen perdeli meme

Bu memeler, kesme oksijeni huzmesinin çevresinde oksijenden silindirik bir perde oluşturmak üzere, kesme oksijeni kanalı etrafında ilave bir halka bulunacak tarzda tasarlanırlar. Bu oksijen akışı, saf kesme oksijenini tavlama alevinin gazlarından koruyan bir perde oluşturur.

Oksijen perdeli memelerin kesme işlemine faydaları ve sakıncaları şunlardır:

Faydaları:

- İşlem hızı yüksektir. Kesme hızı sabit tutulursa kesme kalitesi artar;
- Kesilebilen kalınlık artar.

Sakıncaları:

- Kesme parametreleri daha hassas aralıklara sahiptir;
- Özenli bakım gerektirir;
- Maliyeti yüksektir;
- meme-parça arası mesafe sınırları dardır (3-6 mm). Yansıma sonucu parçadan gelen ısı memeye zarar verebilir. Ayrıca aralık dar olduğundan, yüzeyi temiz olmayan saçların kesilmesi mümkün olmaz.

2.5.6. Kesme Memelerinin Güç Alanları

Kesme memelerinin güç alanları, özellikle kesme oksijeninin çalışma basıncı: tarafından belirlenir: bu nedenle tüm meme türleri, aşağıdaki şekilde gruplandırılır:

- Standart memeler : kesme oksijeni basıncı yaklaşık 5 bar
- Hızlı kesme memeleri : kesme oksijeni basıncı yaklaşık 8 bar
- Yüksek güçlü memeler : kesme oksijeni basıncı yaklaşık 11 bar

2.5.7. Kesme Parametreleri ve Kesme Değerleri

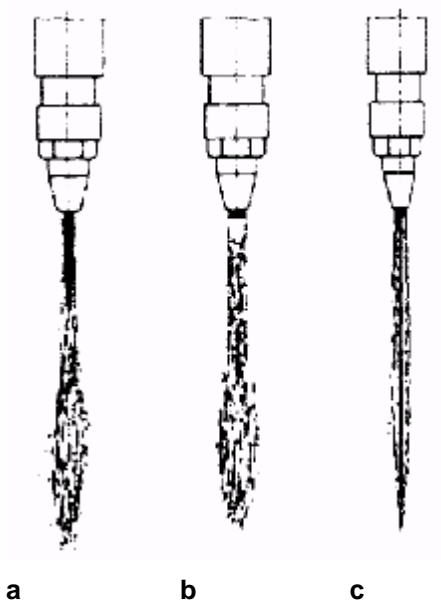
Standartlaştırılmayan kesme memeleri ve kesme üfleçleri yapılarının, her parçasının aynı kullanıcı tarafından kullanılabilir şekilde olması gerekir. Tablo 2.7'de her bir meme sistemi için memenin kesme kalınlığı bölgesi, gaz basıncı, kesme hızı vs. gibi tüm ayar parametreleri verilmektedir. Burada verilen gaz basıncının, her zaman için üflece giriş basıncı olduğuna, yani üfleç girişine kadar oluşacak basınç kayıplarına dikkat edilmelidir. Tabloda verilen kesme hızları, kural olarak kılavuz değerlerdir. Saç yüzeyinin kum püskürtülmüş olması, paslı veya pürüzlü olması durumları, kesme hızını etkiler. Özellikle açılı kesmelerde, verilen kesme hızları % 25 ila 45 oranında düşürülmelidir. Kesme memeleri teçhizatı için sadece temiz ve bozulmamış memeler kullanılmalıdır. Memeler kirlenince özel temizleyicilerle temizlenmelidir.

Tablo 2.7. Kesme değerleri

Yanıcı gaz kalınlığı mm	Kesme memesi	Tavlama ünitesi	Açılma basıncı bar	Tavlama oksijeni basıncı bar	Huzme hızı bal	Kesme hızı mm/dk	Kesme hızı mm/dk	Kesme hızı mm/dk	Açılma basıncı m ² /h	Tavlama oksijeni basıncı m ² /h	Kesme hızı mm/dk	Kesme hızı mm/dk
3	3-5	3-100	0,5	2,0	2,0	250	3-4	0,2	0,38	0,47	0,40	0,47
4				2,5	300	3-4	0,3	0,38	0,47	0,46	0,53	
5				3,0	350	3-4	0,35	0,47	0,52	0,59		
6	6-10			3,0	7,0	750	4-5	1,5	0,41	0,50	1,4	1,0
8				7,5	750	4-5	1,5	0,41	0,50	1,5	2,0	
10				8,0	725	4-5	1,5	0,41	0,50	1,6	2,3	
10	10-25			3,0	8,0	725	5-7	2,0	0,41	0,50	2,7	3,0
15				8,5	640	5-7	2,0	0,41	0,50	2,8	3,3	
20				10,0	560	5-7	2,1	0,41	0,50	3,1	3,8	
25	25-50			3,0	11,0	500	5-7	2,1	0,41	0,50	3,6	4,5
28				10,5	520	5-7	2,1	0,41	0,50	3,8	4,8	
30				10,0	510	5-7	2,1	0,41	0,50	3,8	4,8	
35	35-50			3,0	9,5	495	5-7	2,2	0,41	0,50	4,0	4,9
40				10,0	460	5-7	2,3	0,41	0,50	4,2	4,7	
50				11,0	415	5-7	2,3	0,41	0,50	4,6	5,3	
50	50-100			3,0	9,0	415	5-7	2,4	0,41	0,50	5,1	7,3
60				10,0	375	5-7	2,4	0,41	0,50	7,4	7,0	
80				12,0	300	5-7	2,4	0,41	0,50	8,6	8,7	
80	80-100			3,0	9,5	310	7-10	2,7	0,41	0,50	8,9	9,3
90				10,0	300	7-10	2,7	0,41	0,50	9,3	9,5	
100				11,0	285	7-10	2,7	0,41	0,50	10,1	10,6	
100	100-200			7,0	3,5	250	12	5,0	0,85	1,10	14,0	15,4
150				5,0	210	12	5,0	0,95	1,20	16,2	20,4	
200				5,0	170	12	5,0	1,15	1,51	18,2	25,7	
200	200-400			7,0	5,0	180	15	6,0	0,85	1,10	20,5	27,6
250				5,5	150	15	6,0	1,05	1,37	23,5	31,6	
300				6,5	140	15	6,0	1,18	1,51	25,0	34,0	

2.6. Bir Kesme Üflecinin Kullanımı

Tablo 2.7'de verildiği gibi, her bir saç kalınlığı için uygun kesme memesi seçilmelidir. Elle kesme cihazlarında kesme oksijeni ve yanıcı gazın basıncı, makinayla kesme cihazlarında ise, kesme oksijeni,, tavlama oksijeni ve yanıcı gaz basınçları olarak verilen gaz basıncı, basınç düşürme manometresindeki üfleç ventili açikken ayarlanır. Daha sonra tavlama alevinin ayarı gerçekleştirilir. Tavlama oksijeni ventili tam olarak, yanıcı gaz ventili ise kısmen açılır. Bu oksijen-yanıcı gaz karışımı tutuşturulur. Asetilen-oksijen alevi (Şekil 2.29), daha sonra nötr (a) ayarlanır. Tavlama alevi yanıyorken, kesme oksijeni huzmesi kontrol edilmelidir (c). Bu huzme, memeden boydan boya ve silindirik olarak çıkmalı ve türbülans oluşturmamalıdır; tavlama alevi kesme oksijeni huzmesini konsantre etmelidir. Çok üfleçli makinalarda her bir üfleçteki tavlama alevi, tam olarak ayarlanmalıdır. Ancak bu şekilde ekonomik ve keskin kesme yüzeyleri elde edilebilir.



Şekil 2.29. Tavlama alevinin ayarlanması

2.7. Alevle Yakarak Kesme İşleminin Yapılışı

Alevle kesme üfleçlerinin kullanımında, elle kullanım ile makinada kullanım arasında farklar bulunur. Elle kesmede, özel kesme kalitelerine ulaşılamaz. Yardımcı donanımlar olarak "sürme arabaları"nın kullanımıyla, meme ile saç yüzeyi arasında sabit bir meme aralığı ve hızlı bir ilerleme sağlanması mümkün hale gelebilir. Elle kesme üfleçleri için diğer yardımcı donanımlar olarak, örneğin yuvarlak kesmelerde kullanılacak pergeller mevcuttur. Makinayla kesme işleminde, başka yardımcı ve özel donanımların kullanımıyla, yüksek değerli kesme kalitelerine ulaşılabilmektedir.

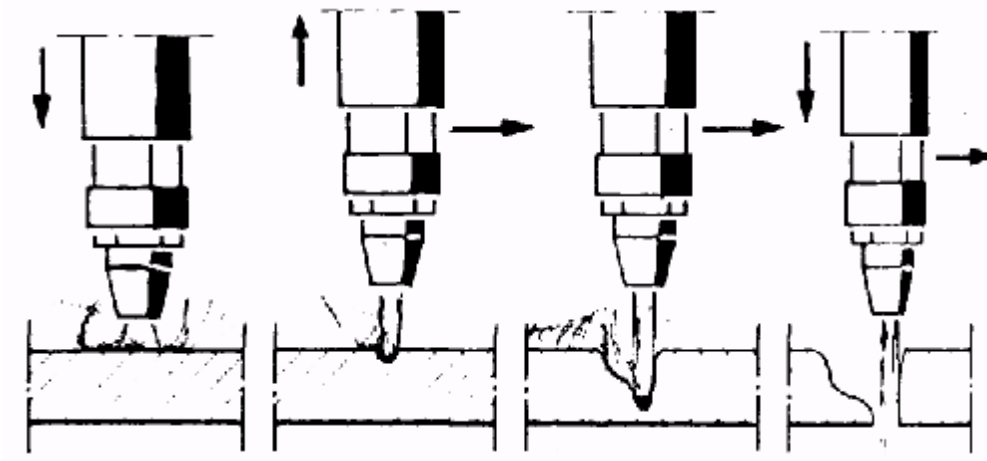
Bir kesme işlemine başlarken, parça kenarı ve parça ortası olmak üzere iki başlangıç yeri söz konusudur.

2.7.1. Parça Kenarından Başlama

Parça kenarından başlama durumunda, bu bölge tavlama aleviyle tutuşma sıcaklığına kadar tavllanır. Daha sonra kesme oksijeni sevk edilir ve üfleç sabit meme-saç mesafesiyle ve mümkün olduğu kadar sabit bir hızla kesme yönünde hareket ettirilir.

2.7.2. Parça Ortasından Başlama

Parça ortasından başlama halinde (Şekil 2,30) öncelikle aşağıdaki sırayla bir deliğin açılması gerekir:



Şekil 2.30. Kesme işlemine parça ortasından başlamada delik açma işlemi

- Malzeme, tutuşma sıcaklığına kadar tavlınır:
- Üfleçteki kesme oksijeni ventili yavaşça açılırken, aynı anda üfleç kafası parçadan hafifçe yukarı kaldırılır;
- Üfleç yavaşça ilerleme hareketiyle, parçadan gerekli kesme uzaklığına getirilir:
- Kesme hızı malzeme içinden geçerek delik oluşur ve kesme hızı normal seviyesine çıkarılır.

Modern alevle kesme makinaları, otomatik olarak delik açan bir sistemle donatılmıştır. Böyle makinalarda, aynı anda birden fazla üfleçle çalışabilmek ve her üfleç ile delik açabilmek mümkündür. Modern alevle kesme memeleri için, yaklaşık 130 mm'lik parça kalınlıklarına kadar özel delik açma tablaları mevcuttur.

2.8. Kaynak Ağzlarının Hazırlanması

Birbirine kaynak yapılacak çelik parçalarda ağzların hazırlanmasında en yaygın kullanılan ağız formları V-, U ve X formlarıdır. Birbirine kaynak edilecek kenarların hazırlanması, oksijenle keserek veya oyuk açarak gerçekleştirilebilir. Doğrusal Yarım-V- veya V-ağızlar standart kesme memeleri kullanılarak ve genellikle mekanize edilmiş şekilde yapılır. U-ağız üzere özel olarak tasarlanmış kesme memeleri kullanılan oksijenle oyuk açma tekniğiyle oluşturulur.

Uygun boyut ve toleranslara ulaşmak ve standart kaynak tekniklerinin gereklerini yerme getirmek amacıyla, levhaların kenarlarının hazırlanması çoğu uygulama için gereklidir. Kaynak ağızı açma işlemi, tek veya birkaç üflecin aynı anda kullanımıyla gerçekleştirilebilir. Yarım V-ağız elle yapılabilirken, V-ağız, kesme parametrelerinin kontrolünün gerçekleştirilebilmesi bakımından en iyi şekilde makina ile yapılır. İki veya üç üfleçle kesim yapılırken meme ile parça arasındaki mesafenin sabit tutulabilmesi için özel levha hareket düzenekleri kullanılır.

Yarım V ağız açmada üflecin öntavlama ısısının miktarı, en önemli faktördür. 15'den küçük

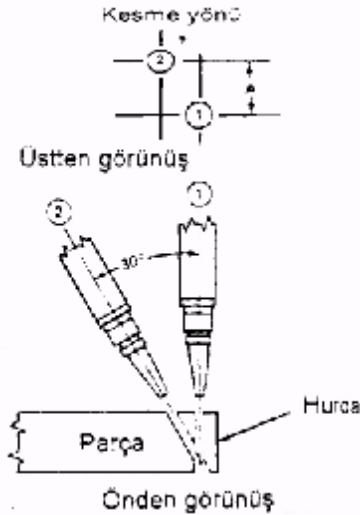
ağız açılarında ön tavlama ısısında oluşan kayıp, ihmal edilebilecek boyuttadır. Ağız açısı 15°'den büyükse, öntavlama alevinden parçaya transfer olan ısı, ağız açısı büyüdükçe azalır. Özellikle 25 mm'den kalın parçalarda oluşan kayıplar nedeniyle son derece büyük ısılar gerekir. En iyi sonuçlar, memenin parçaya mümkün olduğu kadar yakın tutulması halinde ve yüksek oksijen/yanıcı gaz oranları kullanılarak elde edilmektedir. 30°'den büyük ağızlarda özel üfleç memelerinin kullanımıyla gerekli ilave ısı kapasiteye ulaşılabilmektedir.

Kesme üflecine ek olarak, sadece öntavlama alevi sağlayan ilave bir üflecin parçaya dik olarak tutulmasıyla son derece hızlı ağız kesme işlemler yapılabilir. Bu yöntemde tek üfleç kullanımına oranla daha az ısı kaybı oluşmaktadır.

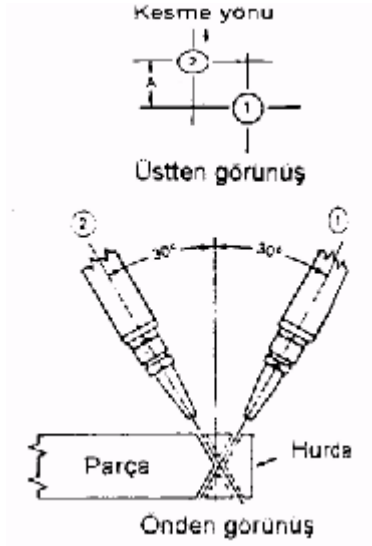
En iyi kesme yüzeyi kalitesi, genellikle en yüksek kesme hızlarında elde edilmez. Kesme yüzeyinin düzgünlüğü, genellikle düşük hızlarda çalışmada artar. Daha yüksek kalitede yüzey düzgünlüğü elde etmek için kesme hızı düşürüldüğünde, üst kenarların erimemesi için öntavlama alevlerinin azaltılması gerekir.

Şekil 2.31, 2.32 ve 2.33, en sık başvurulan kaynak ağızlarının hazırlanması için üfleç pozisyonlarını göstermektedir. Şekillerde A ve B ile gösterilen üfleçler arası mesafelerin tayininde saç kalınlığı, meme boyutu ve kesme hızı göz önüne alınır. Kesme üfleçleri, kesme oksijen demetlerinin kesme işlemi herhangi bir kesinti oluşturmayacak şekilde yerleştirilir. A veya B mesafelerinden biri veya her ikisi de çok büyükse, arkadaki üfleç, öndeki üflecin kesme yarığına uzanamaz. Bu durum oksijen demetinin öndeki üflecin kesme yarığına doğru sapmasına ve dolayısıyla kesme yüzeyinin oyulmasına neden olur. Bu ise pürüzlü bir yüzey oluşumuna ve genellikle hazırlanan kenarın alt tarafına ince bir cüruf sırasının yapışmasına yol açar.

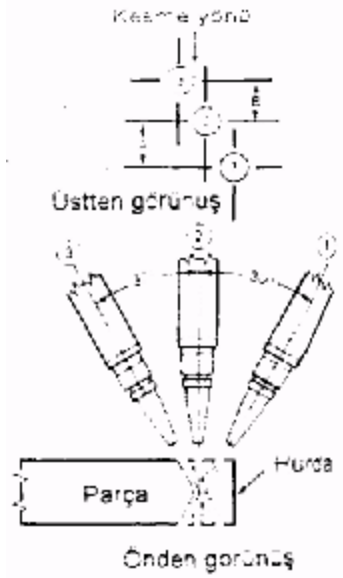
Kaynak ağızlarının çok açılı olması halinde özel düzeneklerin kullanılması gerekir.



Şekil 2.31. Kök alınmış bir yarım-V-ağız hazırlamadaki üfleç düzeni.



Şekil 2.32. Kök alını olmayan bir X-ağız hazırlamadaki üfleç düzeni.



Şekil 2.33. Kök alınlı X-ağız hazırlamadaki üfleç düzeni.

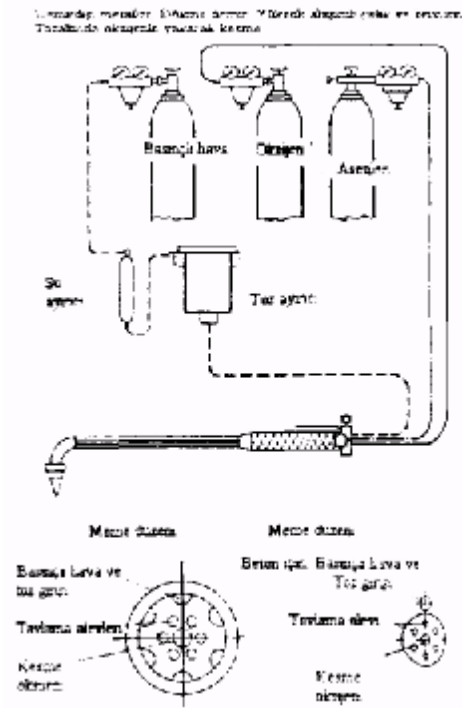
2.9. Diğer Yöntemler

Oksijenle yakarak kesme, alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerden mamul parçalarda pürüzsüz ve parlak kesim yüzeylerinin elde edilmesinde veya son derece kalın yapı elemanlarının kesilmesinde kullanılabilir. Ancak yüksek alaşımlı çeliklerin veya demir dışı metallerin kesilmesi, yine kaynak dikişlerindeki çatlak, cüruf

kalıntılarını veya diğer hataların uzaklaştırılması gibi kesme işlemleri, ayrıca sadece metallerde değil, beton ve kayalarda delik açılması, imalatta karşılaşılan durumlardır. Bu gibi uygulamalarda sadece oksijenle yakarak kesme işlemi yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle böyle malzemelerin oksijenle kesilmesinde özel teknikler geliştirilmiştir. Bu bölümde, oksijenle yakarak kesme yönteminin özel teknikleri verilmiştir.

2.9.1. Tozaltında (Toz Yardımıyla) Oksijenle Yakarak Kesme

Yüksek alaşımlı çeliklerin ve demir dışı metallerin oksijenle kesilmesi esnasında, kesme yarığında her şeyden önce sürekli olarak yüksek sıcaklıkta oksitler oluşur. Bu oksitlerin uzaklaştırılması, mekanik olarak da gerçekleştirilebilir. Tozaltında oksijenle kesme işleminde demir tozları, basınçlı hava yardımıyla kesme yarığına üflenir (Şekil 2.34).

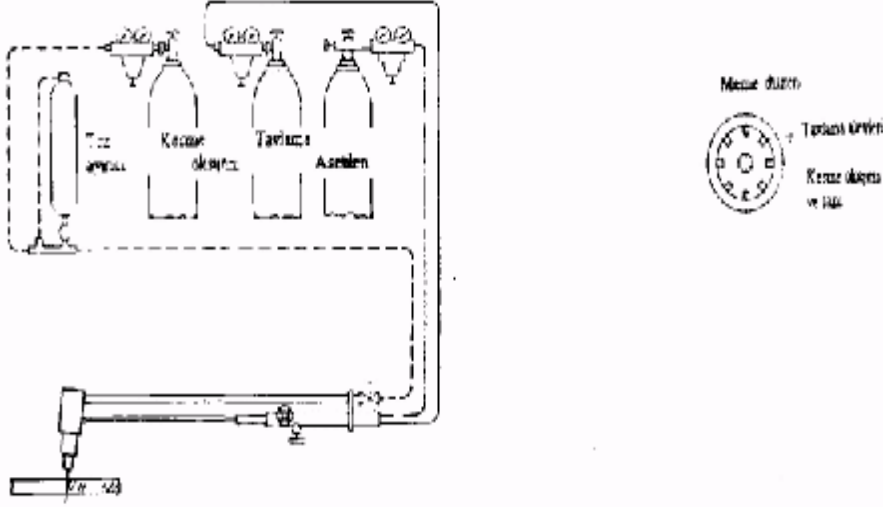


Şekil 2.34. Metal tozu kullanarak oksijenle kesmede kesme donanımı

Bu yöntemde toz, tavlama aleviyle tutuşma sıcaklığına kadar tavlınır ve kesme oksijeni huzmesinde yanar. Bu ilave yanmanın sağladığı ısı, yüksek alaşımlı çeliklerin oksitlerinin de yanabilmesini sağlar. Teknolojik araştırmalar, bu yöntemde kesme yarığında, oluşan maksimum ısının 4000°C civarında olduğunu göstermiştir.

CrNi-çelikleri, tozaltında oksijenle rahatlıkla kesilebilmekte ancak oksijenle yakarak kesme işleminde ise,

nikelin yanma ısısının çok düşük olması nedeniyle işlem çok zorlaşmaktadır. Ayrıca krom da, yüksek sıcaklıkta eriyen oksitler oluşturmaktadır. Demiroksit ve ferrokrom'a ek olarak kaynak tozlarının kullanımı, oluşan cürufun viskozitesini düşürmekte ve kesme yarığında daha kolay üflenebilmelerini sağlamaktadır. Reaksiyon sırasında yanmayan toz tanecikleri, oksitlerin uzaklaştırılmasında mekanik bir etki de oluşturmaktadır. Bu etki, yanmayan mineral tozlarının demir tozlarıyla birlikte kullanılmasını teşvik etmiştir. Kesme yarığında mekanik bir yüzey temizleme etkisi sayesinde, aynı zamanda alevle kesme sırasında oluşan ekzotermik reaksiyon ürünü oksitlerin tahrip edici etkisini de önlemektedir. Reaksiyon bölgesindeki cüruf kalıntılarının daha iyi bir şekilde uzaklaştırılması için toz olarak kuartz, mermer ve rutil kullanılmaktadır. Günümüzde kesme oksijeni ile direkt olarak alevin veya kesme yarığının üzerine püskürtülen özel kumlar geliştirilmiştir (Şekil 2.35).



Şekil 2.35. Mineral tozuyla tozaltında alevle kesme.

Demir tozlarıyla karşılaştırıldığında, mineral tozlarının kesmedeki gücü, reaksiyon sıcaklığının düşüklüğü nedeniyle biraz daha azdır. Ancak paslanmaz, asite ve yüksek sıcaklığa dayanıklı çeliklerin demir tozlarıyla kesilmesinde, kesme yüzeyi üzerinde ince bir cüruf tabakası bırakması sonucu, bu çeliklerin korozyon dayanımı bir miktar düşmektedir. Bu nedenle kesme sırasında bu cüruf tabakasının hemen uzaklaştırılması gerekir. Mineral tozlarıyla kesmede ise böyle bir problem yoktur. Tozaltında oksijenle kesmede, kural olarak tavlama ve kesme oksijeni memesine ek olarak, toz memesi olarak bir boru bulunan asetilen-oksijen alevi kullanılır. Özellikle kesme oksijeni üzerine direkt olarak gönderilebilen mineral tozlarının kullanılması uygulamalarında, minerallerin tutuşma tehlikesinin olmaması sonucu, içinden toz da geçen özel entegre üfleçler geliştirilmiştir.

Her iki tozaltında kesme yönteminden, en çok Fe-tozuyla kesme yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemle 500 mm kalınlığa kadar yüksek alaşımlı çelikler, dökme demir ve demir dışı metaller

kesilebilmektedir. Demir tozuyla veya özel kumla kesmede kesme parametreleri ve bunların değeri. Tablo 2.8'de verilmiştir.

Tablo 2.8. Tozaltında kesmede kesme değeri

Demir tozuyla kesme

Saç kalınlığı	mm	5	10	15	20	25	30	40	50	100
Kesme hızı	m/dak	0.500	0.420	0.350	0.320	0.300	0.260	0.230	0.220	0.180
Oksijen sarfiyatı	m ³ /m	0.100	0.296	0.215	0.215	0.333	0.420	0.528	0.799	1.300
Asetilen sarfiyatı	m ³ /m	0.013	0.018	0.022	0.029	0.035	0.039	0.042	0.050	0.079
Fe-tozu sarfiyatı	kg/m	0.220	0.264	0.330	0.350	0.420	0.485	0.590	0.675	0.750

Özel kumla kesme

Saç kalınlığı	mm	5	10	15	20	25	30
Ortalama kesme hızı*)	m/dak	0.220	0.200	0.190	0.180	0.180	0.170
Oksijen sarfiyatı	m ³ /m	0.265	0.295	0.355	0.369	0.385	0.425
Asetilen sarfiyatı	m ³ /m	0.075	0.100	0.105	0.110	0.115	0.120
Fe-tozu sarfiyatı	kg/m	0.135	0.150	0.159	0.165	0.170	0.185

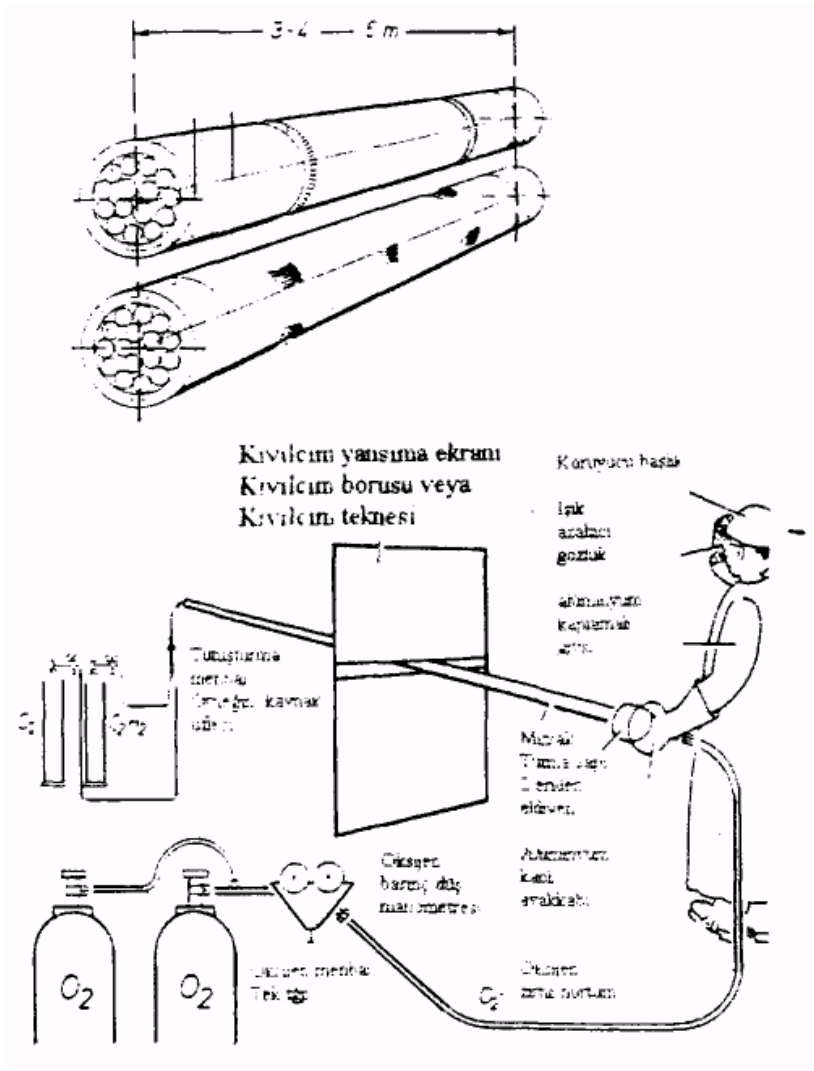
*) Elle kesme hızını gösterir. makinayla kesmede daha büyüktür

Tozaltında kesmede kuvvetli duman oluşumu nedeniyle, çalışma ortamının etkin -şekilde havalandırılması gerekir. Beton ve taş gibi mineral malzemelerin kesilmesinde kullanılan eritme kesme metal tozları, DIN 32510'da standartlaştırılmıştır.

2.9.2. Oksijenle Mızrağıyla Yakarak Delik Açma

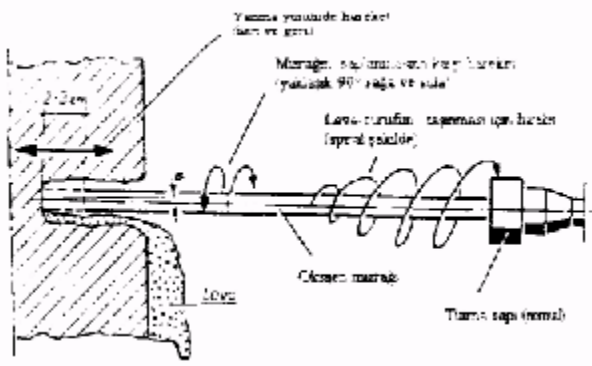
Oksijen mızrağıyla (oksijen çekirdek veya oksijen toz mızrağı) yakarak delik açma, bir termik delik açma yöntemidir. Kesme işleminin yapılabilmesi için, yan yana delikler açılması ve oluşan perforasyonun mekanik olarak uzaklaştırılması gerekir. Oksijen çekirdekli mızrağı oluşturmak için, çelik tellerle doldurulmuş bir çelik boru, mümkün olan en yüksek reaksiyon sıcaklığına çıkarılır.

Oksijen mızrağının tertibatında (Şekil 2.36) mızrağın serbest ucu, bir üfleçle tutuşma sıcaklığına getirilir. Oksijenin sevk edilmesiyle mızrak yakılır ve aynı anda malzeme üzerine tutularak, yüksek reaksiyon ısıyla kesilecek malzemenin erimesi sağlanır. Bu yöntemde mızrak, oksijenle yanarak tükenmektedir, Oksijen mızrağıyla sadece mineral malzemelerde değil, metalsel malzemelerde de delik açılabilir. Kalın çelik levhalarda, oksijenle kesme işleminin yapılabilmesi için gerekli olan ilk denk açma işlemi, normal şekilde yapılamıyorsa, oksijen mızrağıyla yapılabilir.



Şekil 2.36. Oksijenle yakarak delik açma işleminde kullanılan Donanım

Şekil 2 37'de ise, oksijen mızrağıyla delme işleminin yapılış¹ gösterilmiştir Oksijen basıncı (çalışma basıncı), kullanılan mızrağa bağlı olarak 8-15 bar arasında değişmektedir. Düşük oksijen debisi, borunun ilerlemesi sırasında yüksek bir mızrak yanma reaksiyonu oluşturur. Mızrak çekirdeğinin yanmasıyla oluşan ısı 2500-2800 °C arasındadır.



Şekil 2.37. Mızrakla delme işleminin yapılışı.

2.9.3. Oksijenle Yakarak Oyuk Açma (Rendeleme)

Termik kesme yöntemleriyle parça yüzeyinden malzeme kaldırılabilir veya yerel olarak sınırlı bir yüzey kısmı işlenebilir. Oksijenle yakarak oyuk açma yöntemi, cüruf kalıntıları, çatlak ve gözenek gibi kaynak hatalarının uzaklaştırılmasında ve kaynak ağzı açmada kullanılmaktadır (Şekil 2.38).



Şekil 2.38. Oksijenle oyuk açma işleminin tipik uygulama alanları.

Oyuk açma ile ayrıca, ambalaj gergi bantları transport tespit mandalları, takviye saçları ve kaynak edilecek parçalardaki punta yerleri uzaklaştırabilmektedir. Ayrıca yük kancaları, transport bantları gibi parçaların kenarlarının keskinleştirilmesinde de kullanılabilir.

Oyuk açmanın esas uygulama alanı, gemi ve kazan yapım sanayidir. Ancak makina, çelik konstrüksiyon ve taşıt tekniğinde de geniş çapta kullanılmaktadır. Bu teknikle işlenebilecek en düşük saç kalınlığı 8 mm olup maksimum oyuk derinliği 5 mm kadardır.

2.9.3.1. Oksijenle Oyuk Açmanın Prensibi

Oksijenle oyuk açma veya rendelemenin prensibi, oksijenle kesme ile aynıdır. Tavlama alevi malzemenin sıcaklığını tutuşma sıcaklığına kadar yükseltir. Daha sonra tavlama bölgesi

oksijen huzmesinin sevk edilmesiyle yanma sağlanır. Yanma ürünleri (cürufklar) ve erimiş malzeme, kesme yarığında üflenerek uzaklaştırılır. Oksijenle yakarak kesmede oluşan cürufkların % 80'i yanma ürünlerinden ve kalan % 20'si de enmiş malzemedan oluşurken oksijenle oyuk açmada bu oranlar tersi olarak gerçekleşir.

Oyuk açma için tasarlanan üfleçler, enjektör veya basınçlı gaz prensibine göre çalışır. Elle kesme üfleçinde olduğu gibi sap kısmı üzerindeki ventillerle yanıcı gaz, tavlama ve kesme oksijen miktarları ayarlanır. Üfleç kısmında ise istenen oyuk derinliğine ve genişliğine göre farklı büyüklüklerde oyuk açma memeleri bulunur. Tablo 2.9'da basınçlı gaz üfleçlerinin kullanıldığı oyuk açma değerleri verilmiştir.

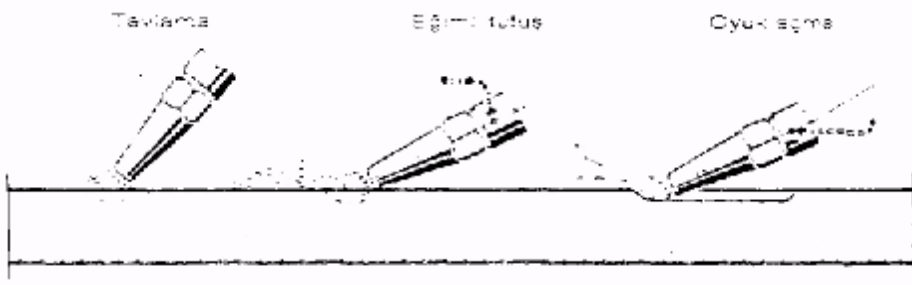
Tablo 2.9. Basınçlı gaz üfleçleri için oksijenle oyuk açma değerleri

Oyuk memesi büyüklüğü	Basınç		Üfleç ilerleme hızı (m/dak)	Oyuk genişliği (mm)	Oyuk derinliği (mm)	Gaz sarfiyatı	
	Oksijen (bar)	Asetilen (bar)				Oksijen (Nm ³ /h)	Asetilen (Nm ³ /h)
0	5	0,5		5...6	3	1,9	0,3
1	5,1	0,5		7...8	6	3,9	-
2	6,3	0,5	0,5...1,5	9...10	8	8,4	1,3
3	7	0,5		11...12	10	10,5	1,6

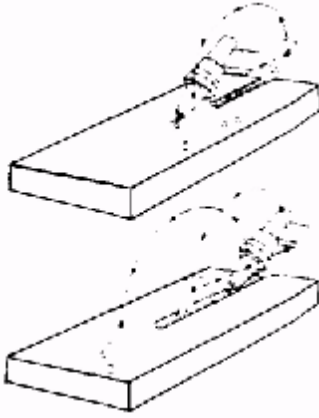
2.9.3.2. Oksijenle Oyuk Açma İşleminin Yapılışı

Oksijenle oyuk açma işleminin yapılında parça tavlarken mümkün olan en iyi ısı girdisinin sağlanmasına çalışılır. Bunun için üfleç parçaya 45°-50° açıyla tutulur. Daha sonra üfleç geriye doğru yaklaşık 25° eğilir; kesme ventili açılır ve çalışma yönünde hareket ettirilir. Burada ileriye doğru veya geri adım (aralıklı) oyuk açma teknikleri olmak üzere iki farklı çalışma tekniği mümkündür.

İleriye doğru oyuk açma tekniğinde (Şekil 2.39) oyuk açma hızı daha yüksek olmasına rağmen, geri adım (aralıklı hareketli) tekniği, oyuk açılacak yerin daha iyi görülebilmesini sağladığından daha temiz ve daha kesin bir oyuk açma işlemi gerçekleştirilebilir. Şekil 240, geri adım tekniğinde çalışma şeklini göstermektedir. Ön tavlamaadan sonra (A noktası) oksijen ventili açılır ve saçta oyuk açılana kadar geri çekilir. Daha sonra B noktasından saç kenarına kadar oyuk açılır. Bundan sonra üfleç yeni bir C noktasına getirilir ve bir önceki açılan oyuğa kadar geriye doğru ikinci sıra oyuk açılır. Her bir oyuk parçası uzunluğu 40 mm kadardır.



Şekil 2.39. Oyuk açmada ileriye doğru çalışma tekniği



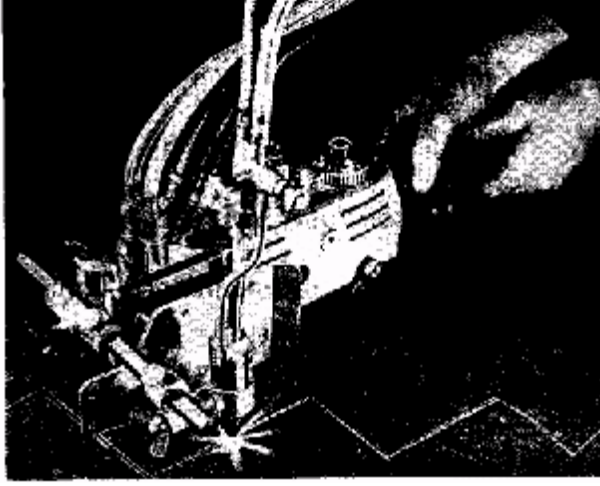
Şekil 2.40. Oyuk açmada geri adım tekniğinin uygulanışı.

Her iki oyuk açma tekniğiyle de sen derece pürüzsüz ve metalik parlaklıkta oyuk yüzeyleri elde edilebilmektedir. Bu işlemlerde oksijenin basıncı ve üfleç ilerleme hızı çok önemlidir. Oksijen basıncının gerekenden düşük olması veya üfleç ilerleme hızının çok büyük olması, pürüzlü bir oyuk yüzeyine yol açar. Çok yüksek oksijen basıncında veya çok yavaş ilerleme hızlarında, oyuk derinliği çok fazla olur.

2.10. Alevle Kesme Makinaları

Yeni kontrol sistemlerinin ve makina tasarımlarının gelişimi, alevle kesme makinalarının üniversal hale gelmesini mümkün kılmıştır. Endüstride küçük boyutlu elle kesme makinalarından orta büyüklükte kesme arabalarına ve 20 ve daha fazla üfleçli nümerik kontrollü büyük kesme sistemlerine kadar kesme tezgâhları kullanılır hale gelmiştir. Her bir kesme işlemi türüne ve çalışma ortamına göre, yardımcı ve özel aparatların kullanımıyla ekonomik çalışma şartları sağlanmaktadır.

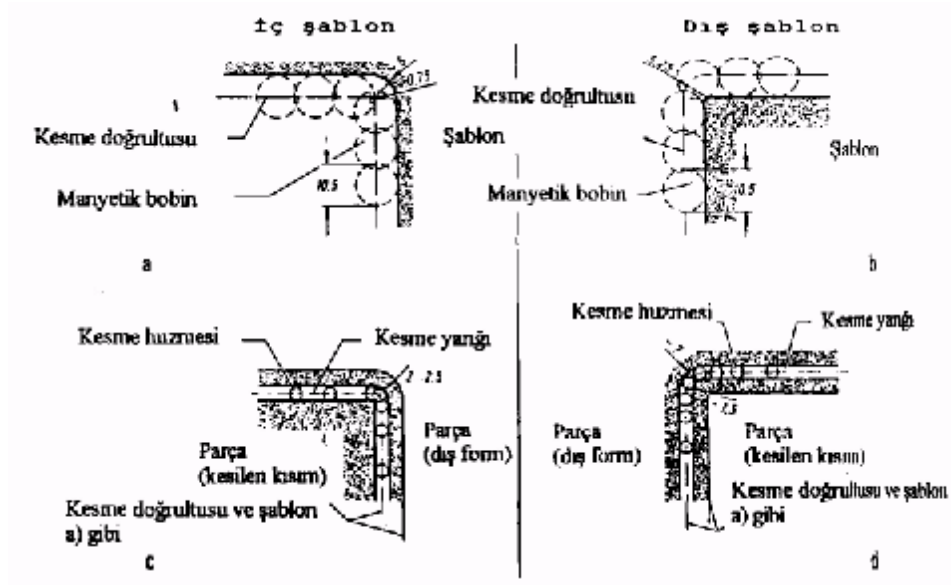
Elle oksijenle yakarak kesme makinası (Şekil 2.41). makinayla kesmenin ilk halidir. Bu makinalarda çalışma, kademesiz ayarlanabilen bir elektromotor ile gerçekleştirilmektedir. Makina elle ilerletilir ve ilerleme rayları üzerinde hareket eder. Farklı yönlerde tertiplenen raylara kaynak ağzlarının hazırlanması dairesel kesme ve tabaka kesme işlemleri de mümkündür Bu makinenin önemli bir avantajı, ortama bağlı olmamasıdır, pratikte her imalat yerinde bu makinayı kullanmak mümkündür. Büyük yapıda olanlarıyla 300 mm kalınlığa kadar parçalar kesilebilmektedir.



Şekil 2.41. Elle kesme makinası

2.10.1. Kontrol Tipleri

Kesme üflecinin kontrolü, elle veya kesilecek parçanın şeklindeki bir şablonu izleyen manyetik bir bobin üzerinden gerçekleştirilir. Otomatik kontrolün en basit şekli, bir mıknatıs şablon boyunca, dönebilen bir kontrol kafasının hareketiyle yapılır. Kuvvet akışı, bir ilerleme bobini ile şablon arasındaki manyetik alan üzerinden oluşturulur. Kesmenin düzgünlüğü, şablonun şekline bağlıdır. Şablonla kesilmiş yapı elemanlarında kenarların oluşturulması, manyetik bobinin çapı ile sınırlıdır. İç ve dış şablonlarla yapılan kesme örnekleri Şekil 2.42'de gösterilmiştir.



Şekil 2.42. Manyetik bobin kontrolüyle kenarların alevle kesilmesi

Ayrıca fotoelektrik kontrol düzeneği ile ve nümerik kontrollü makinalarla kesme de mevcuttur.

2.10.2. Kesme Makinası Türleri

Mafsal kollu kesme makinası, stasyonere makinaların en basit şeklidir. Bu cihazlar sınırlı bir çalışma alanına sahiptir. Yapısından dolayı, sadece küçük boyutlu parçaların kesilmesinde kullanılabilir. Özellikle bir üfleçle dik kesme mümkündür. Mafsal kollu kesme makinaları genellikle küçük yapılı çapraz arabalı kesme makinalarının yerini almaktadır.

Çapraz arabalı sistem, konstrüksiyon bakımından stasyonere kesme makinesidir Raylar üzerinde hareket eden uzun arabalar ve portal hareket eden enine arabalar, çapraz arabaları oluşturur.

Çapraz arabalı kesme makinalarının esas olarak üç tür yapım şekli vardır: yükselip alçalan makina, portal makina ve bunların kombinasyonundan oluşan konstrüksiyonlar. Tertibatın türüne göre form kesme veya paralel kesme makinaları gibi bu üç sistemin arasında yer alan sistemler de mevcuttur.

Büyük alanlı boru işleme için, boru kesme makinaları geliştirilmiştir. Bu makinalarla boruların her yönde kesilmesi ve borulara kaynak ağzı açılması mümkündür.

Özel alevle kesme makinası türleri, yatay veya dikey pozisyonda çalışmayı, dik veya eğik kesmeyi, transport tekniğindeki vinç ve kren gibi makinalarla koordineli çalışarak kesme işlemlerini gerçekleştirebilmektedir. Kesme robotlarının yardımıyla karışık kenarların problemsiz şekilde kesilmesi mümkün hale gelmektedir. Kesme işlemlerinde kullanılan robot donanımları 5 veya 6 serbestlik derecesine sahiptir. Bu donanımlarla özellikle eğik ve keskin kesme yüzeyleri elde edilebilir. Eğik ve keskin yüzeylerde ve özellikle kaynak ağzlarının hazırlanmasında, son derece yüksek kesme yüzeyi kalitelerine ulaşılabilir.

BÖLÜM 3.

ARKLA KESME YÖNTEMLERİ

3.1. Giriş

Arkla kesmede prensip elektrod ile parça arasında oluşan arkın etkisiyle metal veya alaşımın yerel bir şekilde eritilerek eriyen bu kısmın ana kütlede ayrılmıştır.

Bu tanımlama, metalleri kesme ve kaynak ağızı hazırlamak için kullanılan çok sayıda yöntemi kapsar. Bunlar

- a. Karbon elektrod ile kesme
- b. Örtülü elektrod ile kesme
- c. Oksi-ark yöntemi
- d. Havalı karbon arkı ile kesme (Arcair yöntemi)
- e. TIG yöntemiyle kesme
- f. MIG yöntemiyle kesme
- g. Plazma arkıyla kesme yöntemleridir.

Bu yöntemlerin her biri kullanıcıya değişik üstünlük ve sınırlılıklar gösterir. Bir yöntemin seçiminde, kesilen malzeme hacminin maliyeti, gerekli ekipman ve kesme operatörünün sahip olması gereken beceriler göz önünde bulundurulur. Bu bölümde ilk yedi yöntem tanıtılmıştır. Plazma arkı ile kesme yöntemi ise, günümüzdeki yaygın kullanımı göz önünde bulundurularak ayrı bir bölüm halinde verilmiştir.

3.2. Karbon Elektrod ile Kesme

Kesme işlemi için, çapları 5 - 25 mm arasında bulunan ve üzeri bakır kaplı grafit elektrodlar kullanılır. 300 A akım şiddetine kadar normal elektrod penseleri kullanarak doğru akımda kesme yapılır. 300 A 'den yukarı akım şiddetlerinde ise su ile soğutulan elektrod penselerine gerek vardır. Elektrod çapına bağlı olarak akım şiddetlerinin değişimi Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Kesme işleminde kullanılan grafit elektrodlara uygulanan akım şiddetleri.

Elektrod çapı mm	Akım şiddeti A
6	150'ye kadar
8	200'e kadar
10	200 - 350
12	300 - 500
15	300 - 600
20	400 - 700
25	600 - 800

Grafit elektrodla kesilen yüzeyler çok kaba olduğundan, sonradan işlenmeye gerek duyarlar. Bu yöntem daha çok hurdaya atılacak veya sonradan işlenmesine gerek olmayan parçaların kesilmesinde veyahutta delinmesinde kullanılır.

Kesme işleminin parça üzerindeki metalürjik etkisi oksijenle yakarak yapılan kesme işleminin aynidir. Yüksek karbonlu çeliklerin ve dökme demirin kesilmesinde, kesilen ağızlar martenzit ve sementit oluşumuna bağlı olarak sertleşme görülür. Talaş kaldırma işlemiyle, önce bu sertleşen bölgenin uzaklaştırılması gerekir.

3.3, Örtülü Elektrod ile Kesme

Kesme işleminde, 4 - 6 mm çapındaki asit, rutil selülozik ve demirtozlu elektrodla, doğru veya alternatif akımda 60 - 70 A/mm 'lik bir akım yükü ile kullanılırlar. Elektrod penselerinin bu akım şiddeti için uygun olması gerekir.

Örtülü elektrodla yapılan kesmede de, kesilen ağızlar kaba olup sonradan talaş kaldırılarak işlenmeleri gerekir. Kesme işleminin kesilen ağızlardaki metalürjik etkisi, oksijenle ve karbon elektrodla yapılan kesme işlemlerinde olduğu gibidir.

Örtülü elektrodla kesmeye ait değerler Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Örtülü elektrodla yapılan kesme işlemine ait kesme değerleri (Malzeme: alaşımsız karbon çeliği).

Elektrod çapı (mm)	Saç kalınlığı (mm)	Kesme hızı (cm/dak)	Akım şiddeti (A)	Beher elektrod için kesme boyu (cm)
5	6	1200	300	12
5	12	800	300	8
5	20	800	400	5
6	6	2500	400	25
6	12	1000	400	10
6	20	500	400	5

Örtülü elektrodla kesme işlemi bakır ve paslanmaz çeliğe de uygulanabilmektedir. Bakıra uygulanmasında parçanın 430 °C'lik bir ön tavlama tabii tutulması ve 300 mm boyundaki çift örtülü elektrodların kullanılması gerekir. 18/8 CrNi paslanmaz çeliklerde de hortum elektrodla kullanılır. Bakır ve paslanmaz çeliğe ait bazı karakteristik değerler Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3. Bakır ve paslanmaz çeliğin örtülü elektrodlarla kesilmesinde kesme değerleri.

Malzeme	Elektrod çapı (mm)	Saç kalınlığı (mm)	Kesme hızı (cm/dak)	Akım şiddeti (A)	Beher elektrod için kesme boyu (cm)
Bakır	4,0	12	400	220	24
	4,8	12	1100	325	65
18/8 paslanmaz çelik	4	12	1700	325	100

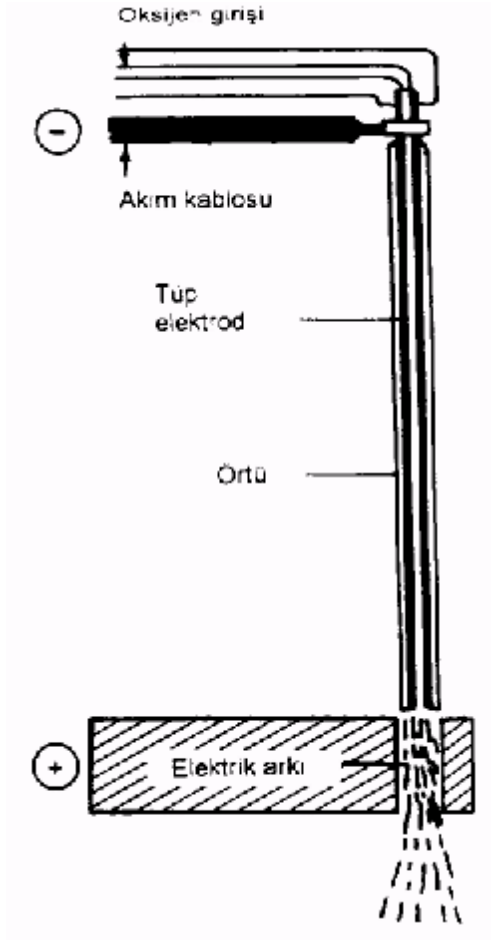
3.4. Oksi-ark Yöntemiyle Kesme

3.4.1. Yöntem Prensipleri

Bu yöntem, oksijenle yakarak kesmeye benzer. Burada tavlama alevinin yerini elektrodla iş parçası arasında oluşturulan ark almıştır. Ark oluşuktan sonra, ortası delik olan elektrodun ortasından basınçla sevk edilen oksijen, yanmayı sağlar. Diğer taraftan elektrod örtüsünün fazla miktarda demirtozu içermesi nedeniyle kesme sırasında kuvvetli bir egzotermik reaksiyon oluşur. Elektrod örtüsünün iç kısmı, çabuk eriyen ve arkı stabilize eden maddelerden oluşurken dış kısmı yavaş eriyen maddelerden oluşmuştur. Bu nedenle elektrodun dış örtüsü, kesme işlemi sırasında bir hortum oluşturur.

Kullanılan elektrodların dış çapları 5 - 8 mm ve iç çapları da 1 - 3,5 mm arasında bulunur ve özel elektrod penselerine takılır.

Oksi-ark kesme elektrodları hem doğru hem de alternatif akımda kullanılabilir. Ark oluşuktan hemen sonra oksijen sevk edilir. Elektrodun kesme sırasındaki konumu Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Oksi-ark yöntemiyle kesmenin prensip şeması.

3.4.2. Oksi-Ark Yöntemiyle Kesilebilen Malzemeler

Oksi-ark yöntemiyle hem yumuşak karbonlu çelikler hem de paslanmaz çelik, alüminyum ve bakır malzemeler kesilebilir. Bu malzemelere ait kesme değerleri Tablo 3.4 'de verilmiştir

Tablo 3.4. Oksi-ark yöntemiyle kesmede kesme değerleri.

Malzeme cinsi	Saç kalınlığı	Elektrod çapı	Akım şiddeti	Oksijen	gazının	Behir elektrod için kesme boyu (mm)	Kesme süresi (dak/m)
	(mm)			sarfiyatı	basıncı		
	(mm)	(mm)	(A)	(lt/m)	bar		
Yabı çelîğ	5	5,10	110	45	3,5	1400	1,3
	10	5,15	120	70	4,5	1000	1,2
	20	5,15	130	120	5,5	650	1,7
	40	5,20	140	340	6	450	2,8
	40	6,20	185	340	5	500	2,5
	60	6,20	195	700	5,5	400	4,2
	70	7,25	325	750	6	300	4,1
	80	6,25	280	1000	6	400	4,5
	100	7,30	430	1500	7	200	4,6
	100	8,25	300	1500	6,5	320	4,4
Orta çelîğ	5	5,0	230	85	1,5	550	1,5
	10	5,10	220	280	2,5	550	2,5
	25	5,10	220	500	2,5	550	7
	50	5,10	220	1000	2,5	550	20
	100	7,30	300	4800	2,5	550	22
Alümin yum	10	5,10	220	155	2,5	300	2
	25	5,10	260	250	2,5	200	8
Bakır	5	5,10	300	125	3	350	2
	10	7,20	500	325	3	280	4
	25	7,20	650	1200	3,5	110	7

Oksi-ark yöntemi özellikle perçinlerin çürütülmesi (kesilerek yerinden çıkarılması), parçalara delik ve oyuk açma işlerinde de geniş ölçüde kullanılır. Çeliklerdeki delik delme ve perçinlerin çürütülmesi için oksi-ark yöntemine ait değerler Tablo 3.5 'de verilmiştir.

Tablo 3.5, Oksi-ark yöntemiyle delik delme ve perçinlerin çürütülmesi için geçerli kesme değerleri (çelikler için)

Saç kalınlığı (mm)	Elektrod çapı (mm)	Akım şiddeti (A)	Oksijen Sarfiyatı (lt/m)	değerleri Basıncı (bar)	Delik çapı (mm)	Deime süresi (sn)
20	5,20	125	5	5	5	15
50	5,20	160	10	6	5	3
100	7,35	180	28	7	14	5
250	7,35	240	230	8	14	50
Perçin çapı (mm)	Elektrod çapı (mm)	Akım şiddeti (A)	Oksijen basıncı (bar)		Beher elektrod için dakika olarak süre ve perçin sayısı (sayı) (süre)	
12-14	7,35	190	1,5		30	3,5
18-18	7,35	200	1,5		22	3,5
20-22	7,35	220	2		17	5,5
26	7,35	220	2		12	6,5

3.4.3. Sualtında Oksi-Ark Kesme

Sualtında Oksi-Ark kesme işlemi kesilecek metal ile dört farklı çelik elektrodan (ikisi tüp çelik ve ikisi de egzotermik) birisi arasında bir elektrik arkı oluşturmaya dayanır. Arkın ısı metalin sıcaklığını erime veya tutuşma sıcaklığına yükselttiğinde, yüksek hızlı bir oksijen demeti, elektrod merkezinden ısıtılan noktaya doğru yönlendirilir. Bu durumda metal, üflenerek uzaklaştırılır veya oksitlenerek kesme ağzından üflenir. Elektrodun ucu ısı ve oksitlenmeye maruz kalır ve işlem sırasında tüketir. Dolayısıyla sık sık değiştirilmesi gerekir.

3.4.3.1. Tüp Elektrodlar

İki tüp çelik elektrod. 7.9 mm uzunluğunda ve içinde elektrodun merkezi boyunca uzanan 2.9 mm çapında delik olan elektrodlardır. Her iki tip elektrod da su geçirmez özelliktedir ve bir tanesi dekapan ile kaplıdır. Hâlihazırda genellikle dekapanla kaplanmamış elektrodlar kullanılmasına rağmen, temiz düşük karbonlu çeliklerin kesilmesi için genellikle dekapanla kaplı elektrodlar tercih edilir. Dekapan, arkın başlamasını ve sürmesini sağlar ve arkın kararlı olmasını sağlayan bir gaz kabarcığı oluşturur. Su geçirmez kaplama, dekapanın dağılmasını sağlar ve elektriksel yalıtım oluşturur. Bu elektrodlar karbon çeliklerinde temiz kesim yüzeyleri oluşturmalarına rağmen korozyona dirençli metaller, bakır esaslı alaşımlar ve boya veya deniz ürünleri gibi iletken olmayan malzemelerde etkin değildir.

Tüp çelik elektrodlarla sualtında kesme için gerekli temel donanım, 400 Amperlik bir doğru akım üretici, 2/0 kaynak kablosu ve 6,35 mm iç çapı olan hortumla oksi-ark kesme torcuna bağlanmış bir oksijen tüpüdür.

Kesme işlemini yapacak operatörün hem kesme işleminde başarılı olması ve hem de iyi bir dalgıç olması; gerekli dalma cihazlarını giymiş olması gerekir.

Destek personelinin kablo ve hortumları ve ekipmanın bakım ve tamiri için gerekli parça ve aletleri buldurması gerekir. Kesme elektrodlarının ve oksijenin yeterli miktarda olması şarttır. Oksijenin saflığı % 99,5'un altında olmamalıdır.

Tüp çelik elektrodlarla kesmeye hazırlık işlemleri, oksijen hortumundan tüm havanın tahliye edilmesi, basınç düşürme manometresinin uygun basınç ve debiye ayarlanması, emniyet kemeri bağlantılarının ve aydınlatma lambalarının hazır olması, kaynak makinasının doğru amperaja ve doğru kutuplamaya (elektrod negatif) ayarlanması işlemlerinden oluşur.

Kesme işlemi, dalgıcın "akımı ver" komutuyla başlar. Elektrod arki oluşturmak üzere esas metal ile temas konumuna getirilir ve dalgıç oksijenle üfleme veya metali oksitlemeye başlar. Kesme amperajı 300 -400 Amper arasındadır ve torçtaki oksijen basıncının 6 bardan daha düşük olmaması gerekir. Bu değer 25 mm kalınlığındaki malzeme için 7,5 bara, 75 mm kalınlığındaki malzeme için de 10 bar'a yükseltilir. Elektrodlar yaklaşık dakikada bir tane tüketilir. Elektrod tüketimi ve kesme hızı, dalgıcın becerisine ve kesilen malzemenin kimyasal bileşimi ve kalınlığına, astar kalınlığına, sualtında görülebilirliğe ve deniz şartlarına bağlı olarak değişebilir. Ancak tahmini değerler olarak, 6.35 mm kalınlığındaki bir malzemenin 457 mm'sini kesmek için bir dakika ve bir elektrod tüketilir. 75 mm kalınlığındaki bir malzemenin 75 mm uzunluğunu kesebilmek için de bir dakika ve bir elektrod gerekmektedir. 2 m³/dak'lık oksijen tüketimi, şüphesiz **Böyle Kanunu** uyarınca derinlik ve basınca bağlı olarak artar.

3.4.3.2. Egzotermik Elektrodlar

Egzotermik elektrodlar iki şekilde bulunmaktadır. Her ikisi de dış kabuğu 9.53 mm çapında ve 457 mm uzunluğunda ince cidarlı çelik kabuktan (tüpten) oluşur. Her ikisi de yalıtılmıştır; bir tanesi spiral band örgülü ve diğeri de plastik kaplıdır. Band örgülü elektrodun içinde yedi adet çevresel yerleştirilmiş küçük çaplı yumuşak çelikten çubuk bulunur. Boylamasına yerleştirilen çubukların yerine, plastik kaplı elektrodlarda bir yumuşak çelikten bir tüp çevresine spiral örülmüş bir çelik tel bulunur. Yumuşak çelik her iki elektrodda ortaktır ve arkın başlatılmasından sonra oksijen elektrod içinden akarken dış tüp bağımsız olarak yanar (elektrik-akımı olmadan). Egzotermik reaksiyon demir esaslı malzemeleri boydan boya temiz bir şekilde keser.

Temel ekipman, iki istisna hariç tüp çelik elektrodlardaki ile aynıdır. Elektrodun oksitlenmesi ve yanışı düşük kaynak akımında bile başlatılabilir; bunun için 12 V'luk bir akü de yeterlidir. Daha sonra oksijen basıncı sağlandığı sürece elektrodun yanması devam eder. Ancak kesme sırasında 150 - 300 Amperlik akımlarda en iyi sonuçlar elde edilir. Ayrıca artan oksijen sarfiyatı nedeniyle deliğin iç çapını tüp elektrodlardaki 6.35 mm yerine 9.53 mm olması gerekir.

Egzotermik reaksiyonlarla kesme işlemi, oksijen hortumundaki tüm hava tahliye edilmeli ve regülatörün gerekli basınca ayarlanmalıdır. Eğer kaynak akım üretici kullanılacaksa, topraklama bağlantısının kesilecek metale emniyetli bir şekilde tespit edilmesi ve makinanın istenen amperaja ve doğru kutuplamaya

ayarlanmış olması gerekir.

Eğer kesme oksijeninin tutuşturulmasında bir akü kullanılacaksa, kablo terminalinin tıpkı kaynak makinası kullanımında olduğu gibi bağlanması gerekir. Kesilecek metal pozitif ve elektrod pensesi (torç) negatif kutuplanmalıdır.

3.5. Havalı Karbon Arkı ile Kesme (Arcair Yöntemi)

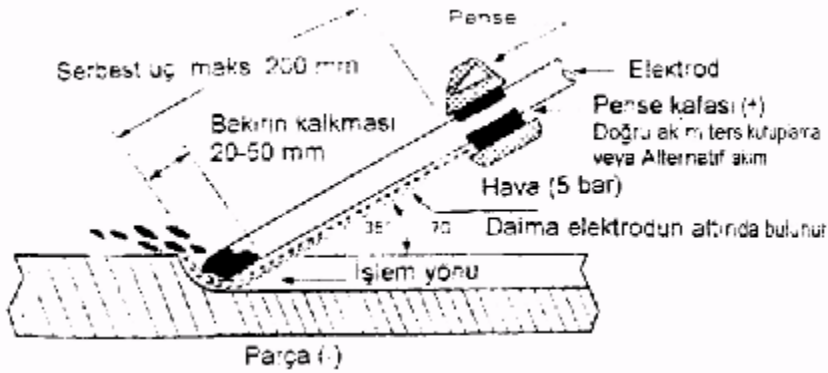
3.5.1. Prensibi

Herhangi bir yüzeyden metal kaldırma veya bir metali kesmek için grafit ve amorf karbonun karışımından yapılmış bir elektrod ile oluşturulan ark, bu metali eritir ve aynı anda püskürtülen basınçlı hava, erimiş haldeki metali uzaklaştırır. Bu yöntemde erimiş haldeki metal banyosunun oksitlenmesi bahis konusu olmayıp metalin kaldırılması basınçlı havanın mekanik kuvveti ile sağlanmaktadır.

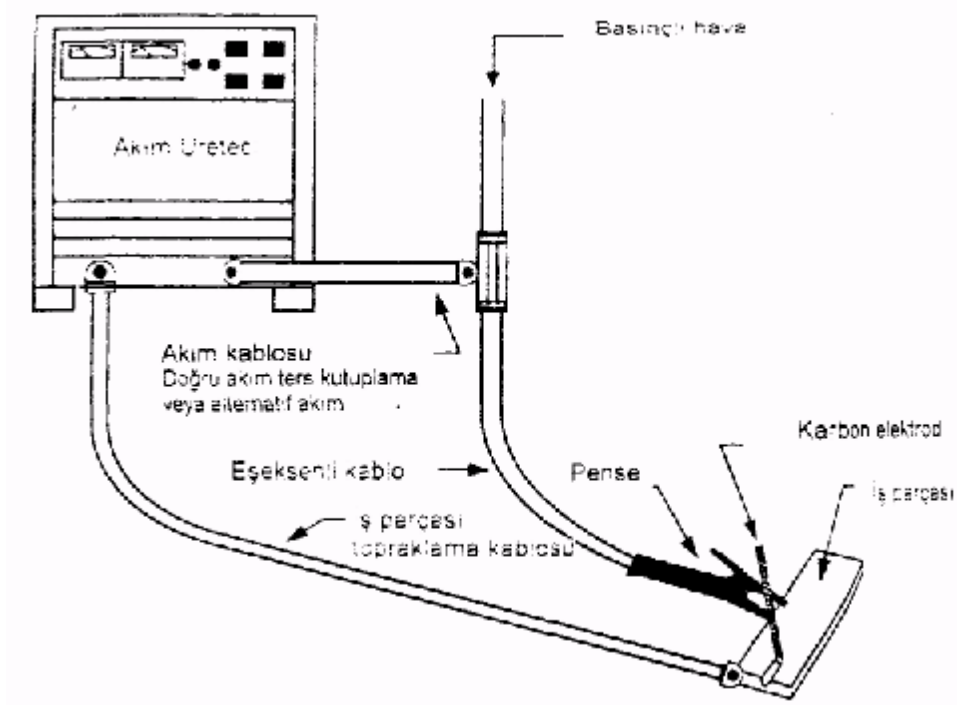
Arcair yöntemi daha çok parçalara kaynak ağzı ve oluk açmak, herhangi bir metalsel malzemenin yüzeyinden belirli bir derinlikte malzeme kaldırmak ve orta kalınlıktaki parçalara delik açmak amacıyla kullanılır.

Şekil 3.2 de havalı karbon arkı ile kesme (Arcair) yöntemiyle kesmede çalışma prosedürü gösterilmiştir.

Şekil 3.3'de ise, Arcair yönteminde kullanılan ekipman gösterilmiştir.



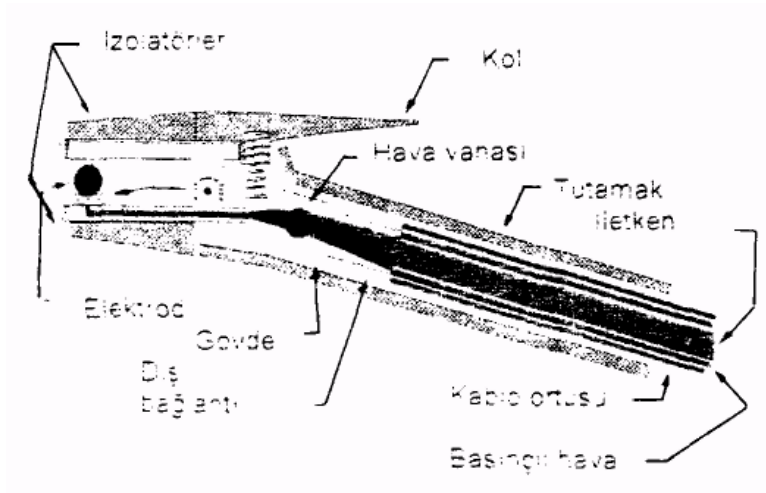
Şekil 3.2. Arcair yönteminde çalışma prosedürü.



Şekil 3.3. Arcair yönteminde kullanılan ekipman

3.5.2. Elektrod Pensesi

Arcair yönteminde özel hava delikleri bulunan elektrod penseleri kullanılır. Penseye basınçlı hava ile elektrik akımı aynı kablodan gelir. Pensenin çenelerinden biri hareketli olup üzerindeki deliklerden hava elektroda paralel olarak çıkar. Elektrodun doğrultusu hangi yönde olursa olsun hava akımının doğrultusu daima elektroda paralel kalır (Şekil 3.4)



Şekil 3.4. Bir Arcair elektrod pensesinin şematik enkesiti.

3.5.3. Elektrodlar

Havalı karbon arki ile yapılan kesme ve oyuk açma işlerinde kullanılan elektrodlar amorf karbon ve grafitin karışımından ibarettir. Çıplak veya bakır kaplı olarak kullanılır. Amorf karbonla grafitin karışımındaki oranların değişmesi, elektrod kalitesine ve dolayısıyla da elde edilen sonuca etki eder. Tablo 3 6 incelendiğinde, amorf elektrodların grafit elektrodla kıyasla aşınma dayanımlarının daha yüksek ancak buna karşılık oksitlenme sıcaklığının düşük ve oksitlenme hızının da yüksek olduğu görülür Diğer taraftan elektrik ve ısı iletkenlikleri de grafit elektrodla göre daha düşüktür. Amorf karbonun aşınmaya karşı dayanıklılığı grafitin iletkenliği ve oksitlenme hızı kadar önemlidir, istenen özellikte bir elektrod bu iki karbonun karıştırılmasıyla elde edilir.

Tablo 3.6. Amorf ve grafit karbonun özellikleri

Ozellikler	Amorf	Grafit
Yapı	amorf	kristal
Özgül ağırlık	1,56	1,58
Aşınmaya karşı dayanıklılık	yüksek	düşük
Oksidasyon sıcaklığı °C	350 - 500	400 - 650
Oksidasyon hızı	büyük	küçük
İzafi elektrik iletkenliği	1	30
1000 °C'de izafi ısı iletkenliği	1	4

3.5.3.1. Doğru Akımda Kullanılan Bakır Kaplı Elektrodlar

Bu tip elektrodlar, en yaygın kullanılan elektrodlardır. İzafi olarak uzun elektrod ömrüne, kararlı ark karakteristiklerine ve ağız düzgünlüğüne sahiptir. Bu elektrodlar amorf karbon ve grafitin uygun bir bağlayıcı ile özel bir karışımı ile üretilirler. Karışım ekstrüzyondan geçirilir ve düşük elektrik iletkenliğine sahip yoğun ve homojen grafit elektrodlar elde etmek amacıyla pişirme işlemine tabi tutulur. Daha sonra kontrollü bir şekilde bakır kaplanırlar. Bu elektrodlar 3.2 mm çaptan 20 mm çapa kadar üretilirler.

3.5.3.2. Doğru Akımda Kullanılan Düz Elektrodlar

Sınırsız kullanıma sahip bu elektrodlarda bakır kaplama bulunmaz. Kesme sırasında kaplı elektrodla oranla çok daha hızlı tükenirler. Düz elektrodlar 3,2 mm'den 25 mm'ye kadar çaplarda bulunur. Ancak en yaygın kullanılan çaplar 9,5 mm'den küçük olanlardır.

3.5.3.3. Alternatif Akımda Kullanılan Bakır Kaplı Elektrodlar

Bu elektrodlar, amorf karbon ile grafitin, alternatif akımla kesimde arkın stabilizasyonunun

sağlanması bakımından nadir toprak alkali malzemelerle karışımından elde edilir. Bu elektrodlar da kontrollü bir şekilde bakır kaplanır ve çapları 4,8 mm'den 12,7 mm'ye kadardır.

Tablo 3.7'de çeşitli alaşımlar için Arcair yöntemiyle kesmede elektrod ve akım tipi önerileri verilmiştir.

Tablo 3.7. Çeşitli alaşımların Arcair yöntemiyle kesilmesinde elektrod ve akım tipi önerileri.

Alaşım	Elektrod tipi	Akım tipi	Açıklamalar
Karbonlu düşük alaşımı ve paslanmaz çelikler	dc ac	dc (+) ac	dc (+)'deki verimin sadece % 50'si elde edilebilir
Dökme demirler	ac ac dc	dc (-) ac dc (+)	Elektrod akım bölgesinin ortasında Sadece maksimum akımda
Bakır alaşımları % 50'e kadar Cu % 50'den fazlası Cu	dc ac	dc (+) ac	Maksimum akımda
Nikel alaşımları	ac ac	ac dc (-)	
Magnezyum alaşımları	dc	dc (+)	Kesimden önce yüzey temizlenmelidir
Alüminyum alaşımları	dc	dc (+)	Elektrodun serbest boyu 100 mm'yi geçmemelidir. Kesmeden önce yüzey temizlenmelidir

3.5.4. Kullanma Şekli

Genel olarak doğru akımda elektrod pozitif kutba bağlanır ve 3 - 10 atmosferlik bir basınçlı hava kullanılır. Elektrod penseye, boyunun 1/3'ünden yani yaklaşık olarak pensenin ucundan 10 cm'lik kısmı dışarıda kalacak şekilde bağlanır. İlk 10 cm'lik kısmın yanmasından sonra, ikinci 10 cm'lik kısım daha ileri sürülür. Hava deliklerini içeren çenenin elektrodun altında olması gerekir. Böylece hava demeti, elektrodun saç ile kontakt noktasından biraz gerisine temas edecektir. Basınçlı hava musluğu açıldıktan sonra çalışmaya başlanır.

3.5.5. Metalürjik Etkiler

Karbürleşmiş metalin yol açtığı zorluklardan kaçınmak için, Arcair yöntemini kullananların kesme ve oyuk açma işlemi sırasında meydana gelen metalürjik olayları tanımaları gerekir. Karbon elektrod pozitif kutba bağlandığı zaman (ters kutuplama yapıldığında) ark huzmesi, elektrodun ana parçaya doğru iyonize olmuş karbon atomları taşır. Serbest karbon parçacıkları, erimiş haldeki esas metal tarafından hızla absorbe edilir. Bu absorpsiyondan kaçınılamadığından, tüm karbürleşmiş eriyik metalin kesme ağzından, tercihan hava jeti ile uzaklaştırılması gerekir.

Arcair yöntemi uygun olmayan şartlar altında kullanıldığında, yüzeyde kalan karbürleşmiş eriyik metal, genellikle mat, gri-siyah renginden tanınır.

Bu renk uygun açılmış oyuğun parlak lacivert rengiyle kontrast oluşturur Özellikle elle kesmede düzensiz elektrod hareketleri, ağız cidarında karbürleşmiş metalin hapsolması eğimini arttıran girintiler oluşturur Sonuçta uygun olmayan elektrod açısı, oyuk kenarı boyunca karbürleşmiş metal damlacıklarının kalmasına yol açar.

Oyukta veya kesme yangınca kalan karbürleşmiş metalin daha sonra yapılacak bir kaynak işlemine etkisi, karbürleşmiş metal yüzdesine kullanılan kaynak yöntemine esas metal türüne ve istenen kaynak kalitesine bağlıdır. Kaynak sırasında yığılan ilave metalin karbürleşmiş metali çözmesine rağmen, deneyimler, yaklaşık % 1 karbonun kaynak hattı boyunca kaldığını göstermiştir. Kaynak metalinde karbon artışı, kaynak bağlantısının dayanımı ve tokluğu üzerine önemli etkiler yapar. Artan karbon içeriği, özellikle su verilmiş ve temperlenmiş çeliklerde kaynak metalinin tokluğunun düşmesine yol açar.

Bakır kaplı elektrodlerden kesme yüzeyine geçen bakır ile ilgili olarak herhangi bir olumsuz etkiye rastlanmamıştır.

Kesme yüzeyindeki karbürleşmiş metal taşlanarak uzaklaştırılır. Ancak en etkin yol kesme ve oyuk açma işleminin uygun şartlar altında yapılarak istenmeyen metal kalıntılarının hiç oluşmamasının sağlanmasıdır.

3.5.6. Arcair Yönteminin Ekonomik Yönü

Kullanılan elektrodun çapı, erimiş banyonun şekline ve genişliğine bağlı olarak kaldırdığı metal miktarı ile değişir. Kaldırılan metalin miktarı, doğrudan doğruya uygulanan akım şiddetine bağlıdır ve akım şiddeti yükseldikçe de artar. Çalışma suresini en aza indirmek için en yüksek akım şiddeti ile çalışmak gerekir Diğer taraftan akım şiddetinin elektrodun aşınma oranını arttırdığı da unutulmamalıdır. Tablo 3.8'de çeşitli elektrod çaplarına uygulanan akım şiddetleri, beher elektrod için erime zamanları, beher elektrodun kaldırdığı metal miktarı ve saatteki hız (gr/saat olarak) verilmiştir

Erime zamanları arasında büyük farklar olmamasına rağmen elektrod çapının değişmesi ile kaldırılan metal miktarlarında büyük farklar bulunduğu görülmektedir. 4.8 mm yerine 12,7 mm'lik bir elektrod kullanıldığında erime süresi 2.3 dakikadan 5.2 dakikaya çıkmaktadır. Buna Karşılık saatteki hız 4800 gr/saatten 20300 gr/saat 'e yükselmektedir Bu da mümkün olduğu kadar büyük elektrod çapı ve yüksek akım şiddeti ile çalışmanın çalışma verimini artırdığını ortaya çıkarmaktadır.

Tablo 3.8. Arcair elektrodlarına ait bazı karakteristik değerler.

Elektrod çapı mm	Elektrod boyu mm	Akım şiddeti A	Erime zamanı dak	Bir elektrodun kaldırdığı metal miktarı (gr)	Saatte kaldırılan miktar (hız) gr/saat
4.8	305	200	2.3	160	4800
6.4	305	320	3.6	656	7000
9.4	305	440	5.0	1070	12800
12.4	305	510	5.2	1595	20300

3.5.7. Akım Üreteci, Akım Şekli ve Akım Şiddeti

Arcair yönteminde ark gerilimi 38 - 50 V ve akım şiddeti de genel olarak 200 - 500 A arasında değişir. Normal kaynak makinalarının üzerindeki göstergeler 25 - 30 V hesabına göre ayarlandığından, genellikle ayar göstergesinin üzerinde okunan değer, gerçek değer üzerinde olacaktır. Bu nedenle kaynak makinesini seçerken (**ark gerilimi x akım şiddeti**) şeklinde arkin enerjisini hesaplamak gerekir. Ayrıca sık sık meydana gelen kısa çevrelerin ve normal elektrodla kaynağa oranla daha yüksek olan devrede kalma süresinin de göz önünde tutulması gerekir. Örtülü bir elektrodla yapılan kaynakta devrede kalma süresi % 50 olarak kabul edilebilir. Hâlbuki sürekli bir oyuk açmada bu süre % 80'e çıkabilir. Tablo 3.9 da Arcair yöntemi için akım üreteçleri verilmiştir.

Tablo 3.9. Arcair yöntemi için akım üreteçleri

Akım tipi	Akım üreteci tipi	Açıklamalar
dc	Sabit akımlı motorlu jeneratör redresör veya resistor ızgara ünitesi	Tüm elektrod boyutları için tavsiye edilir.
dc	Sabit gerilimli motorlu jeneratör veya redresör	Sadece 6,4 mm veya daha kalın elektrodlar için tavsiye edilir. Gerilim kontrolü otomatik penseler için uygun değildir.
ac	Sabit akımlı transformatör	Sadece alternatif akım elektrodları için tavsiye edilir.
ac veya dc	Sabit akım	Üç fazlı transformatör-redresörden sağlanan doğru akım yeterlidir. Ancak tek fazlı üreteçlerden sağlanan doğru akım, yetersiz ark karakteristikleri verir. Alternatif akım elektrodlarının kullanımı halinde ac/dc üreteçlerden alınan alternatif akım yeterlidir.

Süratli devreye giriş, ani akım yükselmelerine karşı emniyetleri, yüksek devrede kalma süreleri ve ark üfleme kabiliyetinin düşüklüğü dolayısıyla Arcair yöntemi için selenyumlu redresörler tavsiye edilir.

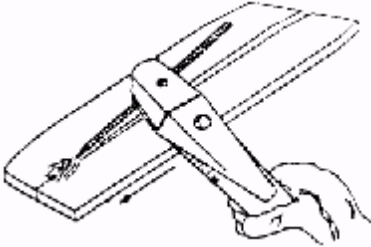
Tablo 3.10'da yaygın olarak kullanılan Arcair elektrodlarının tipleri ve önerilen akım bölgeleri gösterilmiştir.

Tablo 3.10. Yaygın olarak kullanılan Arcair elektrod tipleri ve önerilen akım bölgeleri

Elektrod çapı (mm)	Doğru akım elektrodu (+ kutup) (A)		Alternatif akıma bağlanmış alternatif akım elektrodu (A)		doğru akımda + kutba bağlanmış alternatif akım elektrodu (A)	
	min.	max	min.	max	min.	max
4	90	150	-	-	-	-
4.8	150	200	150	200	150	180
6.4	200	400	200	300	200	250
7.9	250	450	-	-	-	-
9.5	350	600	300	500	300	400
12.7	600	1000	400	600	400	600
15.9	800	1200	-	-	-	-
19.1	1200	1600	-	-	-	-
25.4	1800	2200	-	-	-	-

3.5.8. Arcair Yönteminin Teknolojisi

Geniş bir oyuk elde etmek için elektroda bir zigzag hareketi vermek gerekir. Oyuğun derinliği, elektrodun hızına ve uygulanan akım şiddetine bağlıdır. Elektrodun tutulma açısı da oyuğun derinliğini etkiler. En büyük oyuk derinliği 45 °'lik ve en küçüğü de 25 - 30 °'lik tutma açılarıyla elde edilir Şekil 3.5'te yatay pozisyonda Arcair yöntemiyle elle oyuk açma işlemi gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Yatay pozisyonda elle Arcair yöntemi ile oyuk açma

Çeşitli çaplarda elektrodları kullanarak tek pasoda elde edilebilen en büyük ve en küçük oyuk ölçüleri ve diğer karakteristik değerler Tablo 3.11'de verilmiştir.

Tablo 3.11. Arcair elektrodları ile elde edilen en büyük ve en küçük oyuk boyutları.

Elektrod çapı (mm)	Akım şiddeti (A)	Oyuk derinliği (mm)	Oyuk genişliği (mm)	Elektrod sarfiyatı (cm/m)	Elektrod başına oyuk boyu (m)
En büyük oyuk boyutları (zigzag hareketi yapmadan tek paso ile)					
4,8	180	4	7	16	2
6,4	240	6	9	18	1,9
8	320	8	11	20	1,5
9,6	420	10	14	20	1,5
12,7	530	11	16	20	1,5
En küçük oyuk boyutları (zigzag hareketi yapmadan tek paso ile)					
4,8	180	1,5	5	5	4
6,4	240	1,5	7	6,5	4
8	320	2	9	5	5
9,6	420	2	11	5	6
12,7	530	2,5	13	5	6

İstenen oyuk boyutunu elde etmek için paso sayısını arttırmak, değişik çaplı elektrodları sırasıyla kullanmak veya belirli bir elektrod ile çalışıldığında elektroda bir zigzag hareketi vermek yeterlidir. Zigzag hareketinin genişliği sınırlanmamış olmakla birlikte genellikle elektrod çapının 3-4 katını geçmemesi tavsiye edilir.

3.5.9. Gerekli Havanın Sağlanması

Arcair yönteminde normal olarak 3 - 10 atmosferlik bir basınçlı hava kullanılır. Bir Arcair pensesinde, eğer basınçlı hava bulunamazsa basınçlı azot veya argon da kullanılabilir; ancak oksijenin kullanılmaması gerekir.

Kesilen bölgeden erimiş cürufun uygun şekilde uzaklaştırabilmesi için hava huzmesinin yeterli hacimde ve hızda olması gerekir. Arcair pensesinin içindeki delik, oyuk açma için yeterli hava huzmesini sağlayacak tarzda oluşturulmuştur. Ancak hava basıncı minimum değerin altına düşerse, oyuk kalitesi de düşer.

Yetersiz hava ile yapılan kesme ve oyuk işlemleri sonucu kesme yerinde daima cüruf ve karbon artıkları kalır. Bu nedenle pensenin üzerinde yazan değerlere mutlaka uyulmalıdır. Hava basıncının kullanılan pense için belirtilen minimum değerlerde veya bu değerlerden yeteri kadar büyük olması bu nedenle çok önemlidir. Tüm hortum ve bağlantı elemanlarının iç çaplarının gerekli hava miktarının penseye ulaşmasını sağlayacak büyüklükte olması gerekir.

3.5.9. Arcair Yönteminin Başlıca Uygulama Alanları

Kazan, Kap ve Çelik İnşaatı

- Her pozisyonda kök pasolarının ters taraftan oyulmaları
- Alın birleştirmelerinde ağızların açılması
- Hatalı dikişlerin sökülmesi

d) Geçici bağlantı noktalarının (puntaların) sökülmesi

Metalürji

Yarı mamul parçaların yüzey hatalarının uzaklaştırılması

Çatlakların sökülerek uzaklaştırılması

Dökümhaneler

Yolluk ve çıkıcıların kesilmesi

Hataların uzaklaştırılması

Mekanik Atölyeler

Kaba şekillendirme ve kesmeler

Bakım ve Tamir İşleri

Kaynak ağzlarının hazırlanması

Eski dolgu ve kaynak dikişlerinin sökülmesi

Çatlakların uzaklaştırılması

Perçin başlarının çürütülmesi

Demiryolları

Rayların kesilmesi

Kaynak ağzlarının açılması

Doldurma kaynağından önce yüzeylerin hazırlanması

3.5.10. Arcair Yönteminin Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması

Arcair yöntemi diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında aşağıdaki farklar ortaya çıkar:

a) Hava keski ile malzeme kaldırmaya göre Arcair yöntemi çok daha süratli basit hava sarfiyatı daha az (yarısı kadardır) ve daha sessizdir.

b) Oksijenle yapılan kesme veya oyuk açmaya (rendelemeye) göre Arcair işleminde öntavlamaya gerek yoktur. Oksijenle yapılan kesme veya rendelemede, öntavlama süresi, kesilen veya rendelenen malzemenin kalınlığıyla artar ve 25 mm kalınlığındaki bir levha üzerinde oksijenle oyuk açma işlemine başlayınca kadar, Arcair yöntemi ile 40 cm'lik bir kısmın oyuğu açılabilir. Bundan başka, Arcair yöntemi ile ısının tesiri altındaki bölge, oksijenle kesmeye göre çok daha dardır. Bunun sonucu olarak da aynı çalışma süresinde ana metale verilen ısı miktarı daha az olur ve parçadaki distorsiyon da daha düşük seviyede kalır.

Aynı boyutlu parçalarda aynı kesme veya oyma hızlarıyla çalışıldığı takdirde, Arcair yöntemi ile çalışmanın bir dakika durdurulmasından sonra parçanın sıcaklığı 120 °C iken, aynı şartlarda oksijenle kesme ve oymada 320 °C olduğu tespit edilmiştir. Çalışma süresi iki dakikaya çıkarıldığı zaman, Arcair yönteminde parça sıcaklığının 230 °C ve oksijenle çakışmada ise 540 °C'ye çıktığı görülmüştür.

c) Son olarak, elektrik arkı ile yapılan kesmelere göre, Arcair yönteminde yüzeyin temizlik ve düzgünlüğü, karşılaştırma kabul etmeyecek kadar düzgün ve temizdir. Diğer taraftan maliyet

ve zaman da daha düşük seviyelerdedir. Hız ve kesme kuvveti bakımından oksijen-ark yönteminin karşılaştırma kabul etmeyen bir yöntem olmasına rağmen, bu yöntemde de düzgün olmayan yüzeyler elde edilebilmektedir.

Oksijenle kesme ve oyuk açma, havalı karbon arkı ve oksijen-ark yöntemlerinde kullanılan alet ve ekipmanlar ile bunların ağırlıkları tablo 3.12'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 3.12. Çeşitli rendeleme ve kesme yöntemlerinde kullanılan alet ve ekipmanlar.

Alet ve ekipmanlar	Oksijenle rendeleme veya kesme yöntemi	Havalı karbon arkı yöntemi (Arcair)	Oksijen-ark yöntemi
Aletler	Üfleç 1,5 kg	Pens ile maske 1,5 kg Basıncılı hava otomatik ventili.....3 kg	Pens ile maske 1,5 kg
Bağlantı hortumları	2 x 5 m4 kg	1 x 5 m.....2 kg	1 x 5 m.....2 kg
Basınç düşürme	2.....3,5 kg	11,75 kg	1.....1,75 kg
Mono kablo	-	2 x 53 kg	2 x 53 kg
Toplam	9 kg	11,25 kg	6,25 kg
Enerji:			
Asetilen tüpü	1 70 kg	-	-
Oksijen tüpü	2 140 kg	-	2 140 kg
Hava tüpü	-	2 140 kg	-
Akım üretici	-	1 (doğru akım) 440 kg	1 (doğru ve alternatif akım) 440 kg
Toplam ağırlık	219 kg	591,25 kg	593,25 kg

3.6. Gazaltı Ark Yöntemleriyle Termik Kesme

Gazaltı ark yöntemleriyle termik kesme işlemleri, normal olarak oksijenle kesilemeyen demirdışı metal ve alaşımların, hafif metal ve alaşımlarının ayrıca yüksek alaşımlı çeliklerin kesilmesinde kullanılan yöntemler grubudur. Gazaltında metal ve alaşımların kesilmesi MIG veya TIG yöntemleriyle yapılabilmektedir.

3.6.1. MIG (Metal Inert Gaz) Yöntemiyle Kesme

Bu kesme yönteminde soy gaz atmosferi altında yapılan MIG kaynağındaki hemen hemen aynı ekipmandan yararlanır. Ancak kesme işleminde kullanılan teknik, bazı küçük farklılıklar gösterir. Bu da, yüksek bir akım şiddeti ile yüksek bir tel hızı sağlamaktan ibarettir. Torcun büyüklüğü, kesilecek parçanın kalınlığına bağlıdır. Kesme işlemi, 2,5 mm çapında alaşımsız ve ucuz bir çelik tel elektrod ile yapılır. Ark, argon atmosferi altında oluşur ve gerekli argon gazı, bir hortum aracılığıyla tüpten alınarak torca iletilir. Torç, su soğutmalı tiptedir. Tel hızının ayarı, tel iletme mekanizmasından yapılır. Böylece telin çapına ve kesilecek parçanın kalınlığına göre, hızı en uygun tarzda ayarlamak mümkündür.

Akım üretici olarak doğru akım üreteçleri kullanılır ve sürekli gücü 1000 Amper'e kadardır. Akım üretici genellikle sabit karakteristikli kaynak redresörleridir. Eğer akım üretici sürekli 1000 Amper'lik bir akım verebilecek güçte değilse, aynı karakteristikli birkaç redresör veya jeneratör birbirine paralel bağlanmalıdır. Bu noktada, her iki üreticinin de aynı akım şiddeti sağlayan (örneğin 500 Amperlik iki üreteç) üreteçler seçilmelidir. Tel elektrod üreticinin pozitif kutbuna bağlanır.

MIG yöntemiyle kesme, hem elle hem de makina ile otomatik olarak yapılabilir. Akım gücü, elle çalışan torçlarda, makina ile çalışan torçlara göre daha küçüktür. Bu nedenle el torçları ancak ince saçların kesilmesinde kullanılır.

Arkin tutuşması, kaynak telinin ucunun parçaya temas etmesiyle sağlanır. Kesme sırasında telin ilerleme hızı, tel ucu parçanın alt tarafına yetiyecek boyda olacak şekilde ayarlanır. Bu durum bütün kesme sürecince korunur. Yani telin ilerlemesi, parçanın üst yüzeyinden alt yüzeyine kadar devam etmelidir. Telin ilerleme hızı ile kesme hızı uygun şekilde ayarlandığı takdirde, düzgün bir kesme yüzeyi elde edilebilmektedir.

Bu yöntem ile kesme işlemine, kesilecek parçanın kenarından başlanabileceği gibi belirli bir noktadan delik açarak parça ortasından da başlamak mümkündür. Argon atmosferi altında dikey ve eğimli kesmeler de yapılabilir. Yalnız bu gibi uygulamalarda düşük kesme hızlarıyla çalışılmalıdır. Dairesel kesmelerde de kesme hızı düşük tutulur.

Demirdışı metal ve alaşımlar için genellikle argon gazı kullanılır. Yalnız silisyum bronz, nikel ve alaşımları ile paslanmaz çeliklerin kesilmesinde argon gazına % 15 - 20 oksijen karıştırılır. Böylece iyi bir kesme kalitesi elde edilir. Gaz sarfiyatı, 10-15 litre/dakika arasında bulunur.

Tablo 3.13 'de alüminyumun argon atmosferi altında MIG yöntemiyle kesilmesine ait karakteristikler ve Tablo 3.14 'de de alüminyumun dışındaki demirdışı metal ve alaşımlara ait bazı değerler verilmiştir.

Tablo 3.13. Alüminyumun argon atmosferi altında M/G yöntemiyle kesilmesinde kesme değerleri.

Saç kalınlığı (mm)	Akım şiddeti (A)	Tel ilerleme hızı (cm/dak)	Kesme hızı (cm/dak)
6,4	410	335	120
6,4	540	495	165 - 185
6,4	620	545	230 - 350
6,4	760	725	305 - 350
6,4	880	940	355
8	640	735	165
9,5	650	510	140
9,5	800	635	190
12,7	880	1420	115

Tablo 3.14. MIG-yöntemiyle kesmede demirdışı metal ve alaşımların kesilmesinde kesme değerleri

Malzeme	Saç kalınlığı (mm)	Akım şiddeti (A)	Tel ilerleme hızı (cm/dak)	Kesme hızı (cm/dak)
Bakır	6	880	150	1000
Nikel	6	1000	120	1315
NiCr 5 Fe	6	1000	180	1315
NiCu alaşım.	6	1000	215	1315
Magnezyum	12	640	215	890

3.6.2. TIG (Tungsten Inert Gaz) Yöntemiyle Kesme

TIG yöntemiyle kesme işlemi, toryum ile alaşımlandırılmış, ucu düz 3,2 veya 4 mm çapındaki tungsten elektrod ile parça arasında oluşturulan ark aracılığıyla, koruyucu bir gaz atmosferi altında yapılır. Koruyucu gaz olarak TIG-kaynağının aksine saf argon yerine argon-hidrojen karışımı kullanılır. Hidrojen gazı kesme sırasında arkin meydana getirdiği sıcaklıkla dissosiasyona uğrar. Meydana gelen dissosiasyon ısı da, kesme işlemini kolaylaştırır.

Kesme gücü yani kesme derinliği ve hızı, istenen akım şiddetini sağlayabilecek bir akım üretici bulunabildiği takdirde, koruyucu gaz karışımı içindeki artan hidrojen oranıyla artar. En iyi sonucu, makina ile kesmede. % 35 - 40 ve elle kesmede de % 20 hidrojen içeren karışım gazlar vermektedir. Elle kesmede hidrojen miktarının azalması, makina ile kesmeye oranla ark boyunun değişmesinin daha fazla toleranslara ihtiyaç göstermesinden ilen gelmektedir. Elle kesmede kesme hızı ve işlemin yapışı, işçinin el becerisine doğrudan bağlıdır. Tablo 3.15'de TIG yöntemiyle kesme işleminde paslanmaz çelik ve alüminyumun değerleri verilmiştir.

Tablo 3.15. TIG yöntemiyle kesme işlemindeki değerler.

Malzeme	Kalınlık mm	Kesme hızı cm/dak	Akım doğru akım elektrod negatif A	Gaz türü
Paslanmaz çelik	3.2	500	350	% 80 Ar + % 20 H ₂
Paslanmaz çelik	6.5	500	500	% 65 Ar + % 35 H ₂
Paslanmaz çelik	12.5	350	600	% 65 Ar + % 35 H ₂
Alüminyum	3.2	750	200	% 80 Ar + % 20 H ₂
Alüminyum	6.5	500	300	% 65 Ar + % 35 H ₂
Alüminyum	12.5	500	450	% 65 Ar + % 35 H ₂

Kesme ekipmanı elle veya makina ile kesme torcu ayar düzeneği, makina ile kesmede hareket ve eğrilik sağlayan bir tertibat, bir tüp % 99,9 oranında saflık derecesinde argon, bir tüp hidrojen, akım üretici, bağlantı kabloları, koruyucu gaz ve soğutma suyu hortumları, bir yüksek frekans tutuşturma

cihazı, bir de devreyi otomatik olarak açıp kapatan mekanizmadan oluşur.

Argon ve hidrojen gazları ayrı ayrı tüplerden, birer basınç düşürme manometresiyle alınır. Aynı zamanda bu manometreler, üzerinde bulunan bir debimetre ile akan gaz miktarını da ölçer. Gaz sarfiyatı dakikada 20 -30 litre arasındadır.

Akım üreticinin 350 - 450 A şiddetinde ve 70 - 80 V çalışma geriliminde olması gerekir. Boşta çalışma gerilimi daha yüksek olmalıdır (100 - 120 V).

Normal kaynak makinaları bu şartları gerçekleştiremediğinden ya özel makinalar kullanılmakta veya aynı statik karakteristikli iki kaynak makinası seri bağlanmaktadır. Doğru akım kullanılır ve elektrod negatif (-) kutba bağlanır

BÖLÜM 4.

PLAZMA İLE KESME

4.1. Giriş

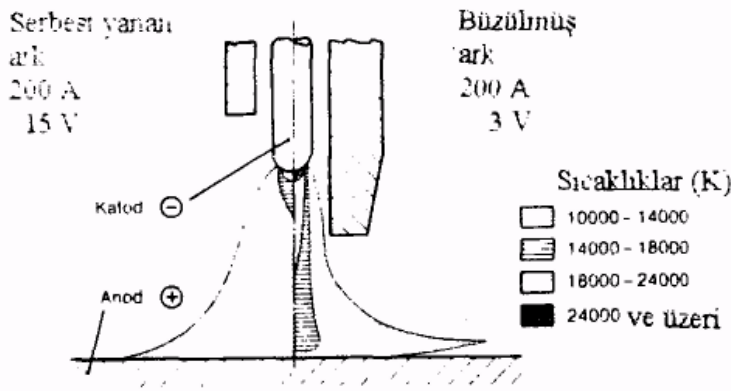
Diğer tüm teknolojileri arasında plazma ile kesme, endüstriyel imalatta en çok uygulama alanı bulan plazma teknolojisidir. Plazma ile kesme yaklaşık 1955 yılından beri endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Pek çok işletmede 5 kw'tan 100 kw'a kadar güçte plazma cihazları bulunmaktadır. Plazma ile kesilebilen parça kalınlıkları yaklaşık 0,5 mm 'den yaklaşık 150 mm'ye kadar bir aralıktadır. Taşıyıcı olmayan arklı plazma ile elektriği iletmeyen malzemelerin kesilmesi de mümkün olmaktadır. Ancak plazma ile kesme, taşıyıcı arklı teknik kullanılmak suretiyle genel olarak elektriği ileten malzemelere uygulanmaktadır.

Plazma ile kesme işlemine esas olarak, oksijenli gaz aleviyle kesme yöntemleriyle hiç veya çok sınırlı kesme kabiliyetine ulaşılan malzemelerin kesilmesi için başvurulmaktadır. Bu malzemeler arasında yüksek alaşımlı çeliklerin tümü ve hafif metaller bulunmaktadır. Plazma ile kesmede alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin oksijenle kesilmelerine göre çok daha yüksek kesme hızlarına ulaşılabilen ve kesme yarığının genişliği de çok daha dar tutulabilmektedir.

4.2. Plazma Tekniğinin Esasları

20.yüzyılın başlarında, varlığı görülebilen ancak elle tutulamayan, gaz formundaki malzemelere Grekçe bir kelime olan "PLAZMA" denmiştir. Plasma'nın anlamı, "mevcut olan" veya "oluşturulan" dır. 1928 yılında Amerikalı bir fizikçi olan LANGMUIR, bir ark deşarjının göz kamaştırıcı parlaklıktaki gaz huzmesini "plasma" olarak nitelendirmiştir. Kaynak tekniği terminolojisinde, serbestçe yanan ark'a karşılık sınırlanmış ark, fiziksel olarak doğru olmasa bile plazma arki olarak nitelendirilmiştir. Oysa plazma, bir ark içinden geçen yüksek sıcaklıklı, elektrik iletkenliğine sahip gaz huzmesinin fiziksel tanımlamasıdır (Şekil 4.1).

Maddenin dördüncü hali olarak da tanımlanan plazma, maddenin gaz halinden farklıdır. Yüksek sıcaklıklı elektrik ileten gazların içinden enerji iletimi sayesinde çok atomlu gazlar dissosiyasyon ve daha sonra da iyonize olurlar. Tek atomlu gazlar ise doğrudan doğruya iyonize olurlar. Bu ortamda pozitif ve negatif yükler birbirine eşittir. Plazma parçacıkları arasında: uyarma (enerji alarak bir üst seviyeye geçiş), dissosiyasyon iyonizasyon yeniden birleşme ve ışın emisyonu gibi mikrofiziksel olaylar meydana gelir



Şekil 4.1. Ark büzülmesinin ark sıcaklığına ve ark gerilimine etkisi.

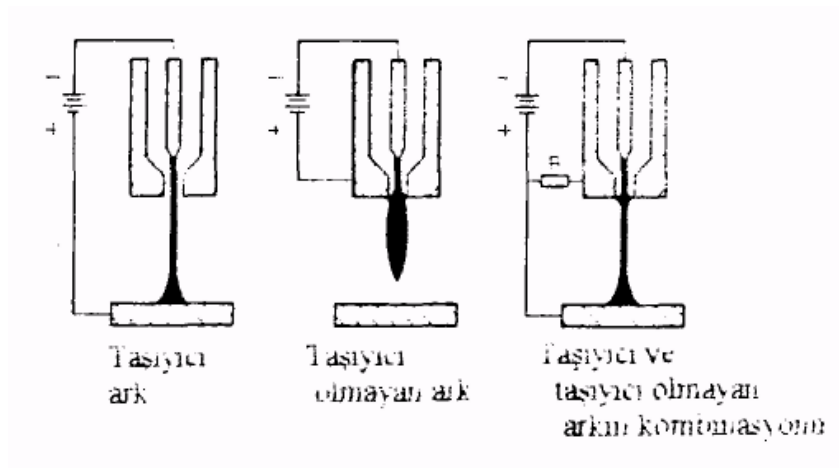
Plazma oluşturan ortama (gaz, su) bağlı olarak, ulaşılabilen kesme hızları ve kesme kaliteleri, kesme işlemini yapan personelin, oluşan gürültü, ışımaya, duman ve gazlara karşı dayanımından etkilenir. Bu etkenler, çevre korumacılığı açısından sualtında plazma kesme gibi ilginç yöntemlerin gelişimini sağlamıştır. Plazma kesme, elle kesmeden sonra mekanikleştirmeye doğru gelişmiştir. Bu durum, oksijenle kesme gibi plazma kesmenin de robotlarla yapılabilmesini sağlamıştır. Plazma huzmesi ile eğrisel ağızlar da dâhil, tüm kaynak ağızları hazırlanabilmektedir. Oksijenle kesmeye göre kesme işlemi daha dar toleranslar içinde gerçekleştirilebilmektedir.

Kaynak tekniğinde plazma ışın ekipmanının ilk uygulaması, taşıyıcı olmayan arklı gaz stabiliteli plazma torcudur. Bu uygulama, otuz yıl boyunca patentle korunmuştur. Hava ve taşıma tekniğindeki gelişmeler, yüksek dayanımlı ve yüksek sıcaklık dirençli çeliklerin kullanımını teşvik ettiğinden.- bu malzemelerin kullanımı da yeni kaynak tekniklerinin gelişimine yol açmıştır. Son elli yıl içinde plazma tekniği, hem birleştirme ve hem de ayırma (kesme) bakımından son derece büyük gelişmeler göstermiştir.

Katoddan anoda geçiş şekli, esas olarak iki şekilde olur. **Taşıyıcı olmayan ark** denilen ark şeklinde, bir tungsten elektrod, negatif (katod) olarak kutuplanır. Memenin kendisi pozitif kutup (anod) işlevi görür. Parça, akım devresinin içinde yer almaz.

Taşıyıcı ark denilen ark sisteminde ise, parça pozitif (anod) olarak kutuplanır. Ark, meme içindeki tungsten elektrod ile parça arasında yanar.

Bu iki sistemin kombinasyonu, iki akım üreticinin kullanılması veya uygun bir elektrik devre tesisinin kurulması ile mümkündür (Şekil 4-2).



Şekil 4.2. Elektrod, meme ve parça arasında

devre düzenleme olasılıkları.

Taşıyıcı olan ve olmayan arkın kombinasyonu, plazma ile toz püskürterek doldurma kaynağında kullanılmaktadır. Her iki ark da iki ayrı ayarlanabilen akım üreticiden beslenir. Burada minimum nüfuziyet derinliği ve buna bağlı olarak esas malzeme ile ilave malzemenin karışım oranı elde edilmekte, bu şekilde doldurma malzemesinin güvenli bir erime şekline ulaşılmaktadır.

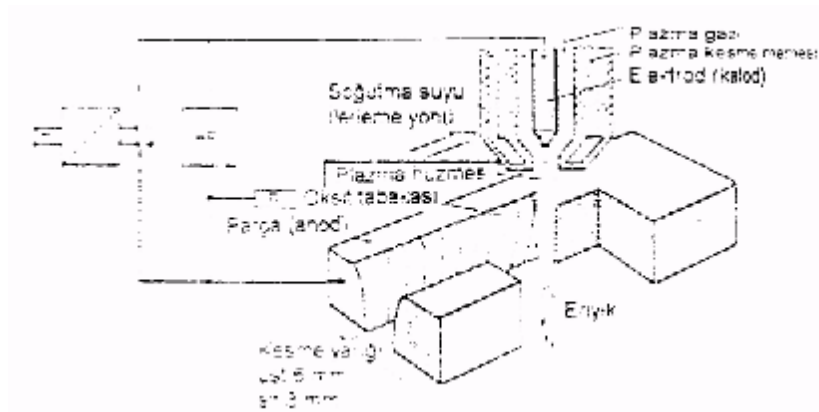
4.3. Plazma Kesmenin Prensipleri

Oksijenle kesmede gerekli enerji, parçanın egzotermik oksidasyonu ile elde edilmektedir, işlem, kendi kendine (otojen) olarak devam etmektedir. Plazma kesmede ise kesme için gerekli enerji dışarıdan verilmektedir. Kesme işlemi, kesilecek malzemenin özelliklerinden bağımsızdır. Taşıyıcı arklı kesme işlemi, elektrik iletkenliğine sahip ve anod olarak kutuplanan parçalara uygulanır. Bunun anlamı, plazma kesme ile prensip olarak akım ileten tüm malzemelerin yani tüm metallerin kesilebileceğidir Bu kesme yöntemiyle yüksek kaliteli ekonomik kesmelerin yapılabilmesi için aşağıdaki üç koşulun gerçekleşmesi gerekir.

- Malzeme, hem kendi ve hem de oksitinin erime sıcaklığına kadar ısıtılmalıdır.
- Isı menbaı enerjisini yoğunlaştırabilmelidir.
- Isının yanında, enerji kaynağı, erimiş malzemenin kesme yarığında uzaklaştırılmasını sağlayacak bir kinetik enerjiye de sahip olmalıdır.

"Açık ark" (örneğin TIG)'lar birinci koşulu yerine getirmelerine rağmen diğer koşullar sadece plazma, elektron ve laser ışını gibi ışın yöntemler; tarafından yerine getirilir.

Taşıyıcı arklı plazma ile kesmede büzülmüş ve yoğun ark kaynak akım üreticinin negatif kutbundaki erimeyen bir elektrod ne pozitif kutbundaki su ile soğutulan meme arasında yanar (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Plazma kesmenin prensibi (şematik).

Elektrod / meme akım devresinde, yüksek gerilimli bir "pilot ark" yanar. Bu düşük enerjili

yardımcı ark ilave bir akım üreticinin kullanımıyla veya doğrudan doğruya esas akım üretici tarafından (su ile soğutulan bir direnç üzerinden) beslenebilir. Pilot ark, meme içinden akan plazma veya merkez gazının kısmen iyonize olmasına neden olur. Bu şekilde elektrod - parça veya parça - akım üretici arasındaki (akım üretici - elektrod - hava akışı veya gaz akışı) akım devresindeki toplam direnç azalmış olur. Gaz akışı içindeki geriye kalan iyonizasyon, elektrod ucu ile parça yüzeyi arasında meydana gelir. Kısa süre içinde bu akım devresindeki direnç, elektrod ile meme - meme - kalan direnç R - akım üretici arasındaki akım üretici -elektrod - hava akımı devresindeki dirençten daha düşük hale gelir. Plazma üflecisi ile parça arasındaki mesafe uygun bir yakınlığa gelince (3 ila 10 mm), memedeki elektrod ile parça arasında, kendiliğinden bir sıçrama ile esas ark oluşur. Bu elektrik devresinin türü nedeniyle % 100 ' lük bir tutuşma emniyetine ulaşılır.

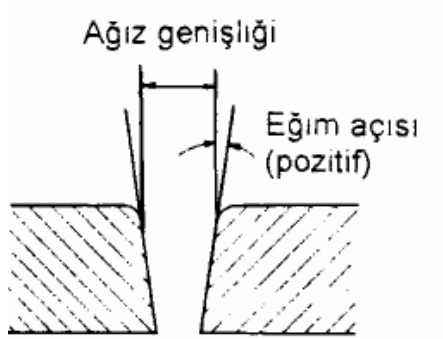
Plazma oluşturu ortam (gaz, su), meme iç cidarını soğuturken, kendisi yüksek sıcaklığa çıkar ve az ya da çok kuvvetli şekilde dissosiyeye ve iyonize olur Plazma ile kaynak sırasında sadece birkaç lt/dak'lık bir plazma gazı debisi kullanılırken, plazma kesmede bu miktar 2 ila 100 lt/dak'lık debilere ulaşır.

Plazma oluşturu gaz, 10000 ila 50000 °K'lık sıcaklıklara ve bu nedenle 500 ila 1500 m/s'lik büyük genişleme hızlarına ulaşır. Bu ulaşılan termik ve kinetik enerjinin yüksekliği, elektrik verileri yanında, kullanılan plazma oluşturu gazın fiziksel özelliklerine ve büzülmenin kuvvetliliğine de bağlıdır. Büzülmenin şiddeti, memenin geometrisine ve özellikle de çapına bağlıdır. Meme çapının küçülmesi, plazma huzmesinin güç yoğunluğunun yüksekliğini etkiler. Ancak bu çap küçülmesi, memenin elektrik ve termik direncini düşürür ve ayrıca içinden geçebilecek gaz debisini de sınırlar. Çapın belirli bir sınır değerine altına inmesi, "çift ark" veya "parazit ark" oluşumuna yol açar.

Plazma kesmede enerji dağılımı ile ilgili olarak, plazma huzmesi ve bunun kesme ağzındaki etkisi üç etki bölgesine ayrılır. Pozitif huzme, anodik krater ve plazma alevi Kesmede malzeme, plazma huzmesinin yüksek sıcaklığının etkisiyle çok kısa sürede erir ve sürekli ince taneli parçacıklar (tanecik çapı yaklaşık 0,1 mm) halinde kesme yarığında püskürtülür. Yüksek sıcaklıklarda ilave oksitler oluşmaz yani metal cüruflaşmaz. Ayrıca gaz akımının darbesi sayesinde sıvı metal huzmesi kesme yarığında üflenir.

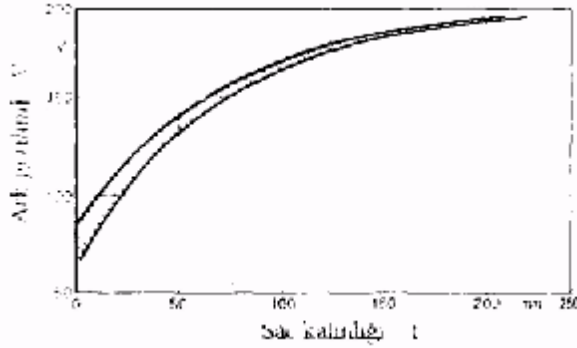
Pozitif huzme bölgesinde sürekli Joule ısı oluşur ve bu ısı malzeme yüzeyinden kesme yarığının yüzeye yakın üst iç bölgesine taşınır. Anodik kraterde ise yüksek frekanslı ve düşük genlikli titreşimler oluşur. Kesme parametreleri uygun ayarlanırsa bu durum sınırlanabilir ve yoğun bir ısı birikimi sağlanır.

Sadece dış enerjile kesme yapılması, plazma ısısının parça derinliklerinde azalmasına yol açar. Bu da kesme ağzının bir miktar konikleşmesine neden olur (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Plazma kesme işlemi sırasında kesme ağzının profili.

Şekil 4.5'te ise ark gerilimi ile saç kalınlığının değişimi görülmektedir.



Şekil 4,5. Ark geriliminin kesilecek malzeme kalınlığı ile değişimi (Bu değerler, argon-hidrojen kesme yöntemi için geçerlidir).

Şekil 4.5'in incelenmesinden, saç kalınlığı arttıkça plazma arkı için gerekli olan gerilimin de arttığı anlaşılmaktadır. Eğer gerilim arttırılmazsa kesme hızı çok düşer. En yüksek kesme hızına, plazma huzmesinin parçaya tam dik olarak etki ettiği durumda ulaşılır.

Kesme ağzında yüksek kalitelere veya tam paralel kesme yüzeylerine ulaşabilmek için kesme hızının büyük miktarda azaltılması gerekir Ancak düşük kesme hızlarında da kesme ağzlarında ısıdan etkilenen bölgenin büyüyeceği de göz önünde bulundurulmalıdır. Isıdan etkilenen bölgenin oluşumu, birçok faktöre bağlı olduğundan önceden tahmini çok zordur.

4.4. Plazma Yapıcı Ortamlar

Plazma kesmenin kalitesi ve ekonomikliği üzerine en önemli etkiyi, kullanılan plazma yapıcı ortam yapar. Bu ortam, bir gaz, bir gaz karışımı ve özellikle hava ve su olabilir. Kesme yarığının oluşumunda, plazma gazının kimyasal özellikleri (oksitleyici, nötr veya redükleyici olması) büyük etki yapar. Bir plazma gazının seçiminde, gazın atom veya molekül ağırlığı, özgül ağırlığı, ısıl iletkenliği ve dissosiasyon ve

iyonizasyon enerjileri etkili olur.

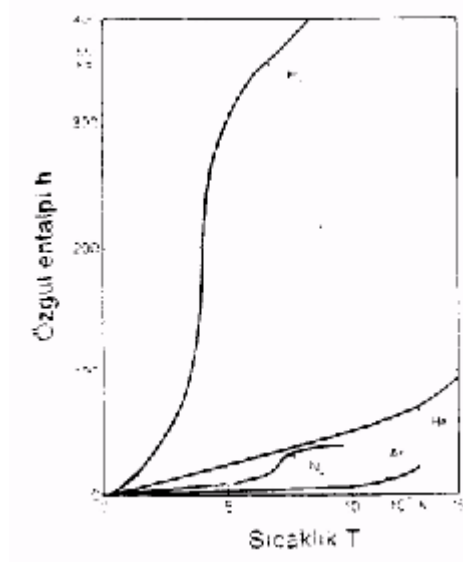
Argon

Diğer soygazlarla karşılaştırıldığında argon, havadaki % 0,9325'lik hacim yüzdesiyle en yüksek orana sahiptir. Bu nedenle maliyeti, diğer soygazlara oranla daha düşüktür. Plazma kesme işlemindeki üstünlüğü olan kimyasal olarak nötr davranışı yanında, yüksek bir atom ağırlığına (39,95) sahip olması da diğer bir üstünlüğüdür. Plazma huzmesindeki yüksek impuls yoğunluğu, erimiş metalin kesme yarığında uzaklaştırılmasını kolaylaştırır. Yaklaşık 15.76 V 'luk düşük iyonizasyon enerjisi ve iyi tutuşma özellikleri diğer üstünlükleridir. Tablo 4.1'de argon'un dissosiasyon ve iyonizasyon enerjileri, çeşitli gazlarla karşılaştırmalı olarak verilmiştir

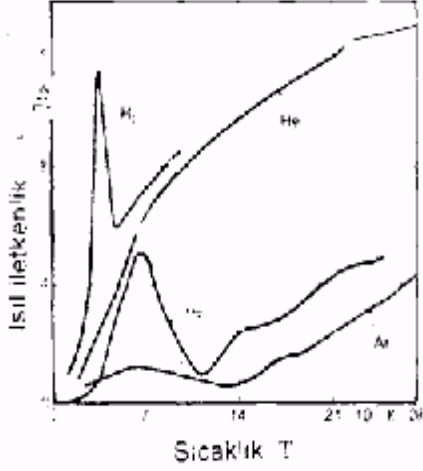
Tablo 4.1. Çeşitli gazların dissosiasyon ve iyonizasyon enerjileri

Gaz türü	Dissosiasyon enerjisi, eV	İyonizasyon enerjisi, eV
Argon	-	15.76
Helium	-	24.58
Azot	15.8	14.55
Hydrojen	15.4	19.50
Oksijen	12.5	13.62

Isı taşınımının etkinlik derecesi ve bunun büyüklük sıralaması, gazların ısıl iletkenliklerine ve enerji tutuşlarına (entalpi) bağlıdır. Tek atomlu gazların entalpileri ve bunların argonla karşılaştırmaları Şekil 4.6'da verilmiştir. Burada ilginç olan argon'un ısıl iletkenliğinin diğer gazlara göre çok düşük olmasıdır (Şekil 4.7). Bütün bu nedenlerle plazma gazı olarak argon ile ulaşılabilecek maksimum kesme hızı çok düşüktür ve kesme ağzının tutuşması çok zordur.



Şekil 4.6: Çeşitli gazların entalpileri

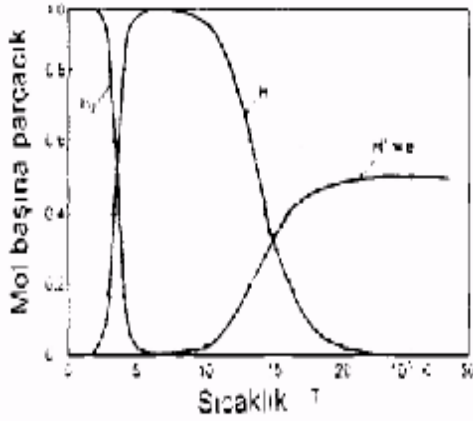


Şekil 4.7. Çeşitli gazların ısı iletkenliklerinin sıcaklıkla değişimi.

Hidrojen

İki atomlu (diatomik) gazlarda ısı iletkenliğinin maksimumu, dissosiasyon sıcaklık bölgesinde bulunur ve bir dissosiasyon-assosiasyon davranış sırası izler. Bu olay hidrojende özellikle daha yoğun olarak ortaya çıkar (Şekil 4.8).

H₂'nin dissosiasyonu 2000 °K'de başlar ve 6000 °K'de tamamlanır. Yaklaşık 25000 °K'de atomik hidrojen tamamen iyonize olur (Şekil 4.7).



Şekil 4.8. Sıcaklığın fonksiyonu olarak mol başına kısım cinsinden hidrojen plazmasının bileşimi (atmosfer basıncında).

Diatomik gazlar, ark içinde dissosiasyon ve iyonizasyona uğramaları nedeniyle yüksek oranda enerji yayma üstünlüğüne sahiptir ancak özellikle kesme yarığında, assosiasyon sonucu enerjinin çoğunu geri alırlar Şekil 4.7'de gösterildiği gibi hidrojenin entalpisi de nispeten yüksektir. Hidrojenin bir

gaz olarak bilinen fiziksel özellikleri, tek başına argon kadar plazma kesme işlemine uygun olmamasına yol açar. Ancak hidrojenin pozitif özellikleri (büyük enerji içeriği ve yüksek ısı iletkenliği) argonu'nun büyük atom ağırlığıyla birleştirilirse, hem yüksek kinetik enerjili ve hem de kesilecek malzemeye yeterli ısı enerjisi sağlayacak bir gaz karışımı elde edilir. Saf argon'a kıyasla yüzde birkaç hidrojen içeren karışım gaz kesme hızını artırır ve kesme kalitesini iyileştirir. Ayrıca hidrojenin redükleyici etkisinden faydalanılır yani oksitsiz bir kesme yüzeyi elde edilir.

Özellikle yüksek alaşımlı çeliklerin plazma ile kesilmesinde % 65 argon, % 35 hidrojen içeren bir karışım gaz kullanılır. Gaz tüketimi, parça kalınlığına ve üfleç büyüklüğüne bağlı olarak yaklaşık 20 ila 50 lt/dak arasında değişir. Bu gaz karışımı esas olarak yüksek alaşımlı çeliklerin ve alüminyum ile bakır malzemelerin kesilmesinde kullanılır. Karışım gazın H₂ kısmında yapılacak ilave bir artış, kesme hızında önemli bir artış oluşturmamasına rağmen, kesme yüzeylerinin pürüzlülüğünün artmasına ve parça alt kenarında cüruf yapışmalarına yol açar.

Azot

İlginç fiziksel özellikleriyle azot argon ile hidrojenin arasında yer alır. 14 olan atom ağırlığıyla, hidrojenin üzerinde ve argonun altındadır. Isıl iletkenliği ve entalpisi hidrojeninkinden düşük argonunkinden yüksektir. Bu nedenle azot, prensip olarak tek başına bir plazma gazı oluşturabilir, ince cidarlı parçalar, plazma gazı olarak azotla, hızlı ve oksitsiz olarak kesilebilir. Azotun kesme gazları arasında ucuzluğu bir avantajken, izafi olarak daha fazla yiv oluşturması ise bir dezavantajdır. Ek olarak tam paralel kesme yarığı elde edilebilmektedir.

Kesme yarığı açısı, her şeyden önce gaz debisine ve kesme hızına bağlıdır. Kalın parçaların kesilmesinde ve uygun yükseklikte güç çevriminde, duman oluşumu önemli oranda artar. Azot-argon karışımları, argon a göre daha yüksek kesme hızları sağlar. Azot-hidrojen karışımları, paralel ve negatif açılı kesme yarığı oluşturur. Argon, azot ve hidrojen bileşimi ise, yüksek kesme gücünde kaliteli kesme işlemi sağlar. Azot içeren gazlarla yapılan kesme işlemlerinde, zararlı bir gaz olan azotoksit oluşumuna dikkat edilmelidir.

Hava

Hava esas olarak azot (hacimce % 78.8) ve oksijen'den (hacimce % 20.8) oluşur. Bu eşit entalpili ve her ikisi de diatomik gazlar, yüksek enerjili bir gaz karışımı oluşturur. Kuru ve yağsız basınçlı hava ile yapılan plazma kesme, altmışlı yılların başlarında ortaya çıkmıştır. Havanın argona göre önemli o-anda ucuz oluşu, plazma yöntemlerini ilk olarak alaşımsız çeliklerin kesilmesinde ilginç kılmıştır. Yapı çeliklerinin kesilmesinde, yüksek kesme hızlarına ve iyi kaliteye aynı anda ulaşılmış olur; kesme yarığının ait kenarında sarkma oluşmaz Son olarak, havanın oksijeni, eriyen malzemenin yüzey gerilimini ve viskozitesini etkilediğinden, eriyen parçacıklar parça alt kenarına yapışmazlar. 5-10 mm'lik saç kalınlığı bölgesinde, birkaç kat daha yüksek kesme hızlarına ulaşılabilir. Mevcut sıcaklıklar, oksijenin varlığına rağmen stabil oksit oluşumu için çok yüksek olduğundan, alevle kesme işlemindeki gibi bir yanma olayı meydana gelmez. Demirin oksidasyon sınırı, 2200 °C

civarındadır.

Ancak bütün bunlar, hava'nın plazma yapıcı ortam olarak hiç dezavantaj taşımadığı anlamına gelmez. Hava ile plazma kesme işlemindeki gürültü oluşumu izafi olarak çok daha yüksektir; bu gazların kesme ağzından emilmesi ve mümkün olduğu kadar filtrasyondan geçirilmesi gerekir. Ayrıca cihazın filtre sisteminin, tüm azotoksitleri arıtıp arıtmadığı kontrol edilmelidir. Çoğu emme ve filtre sistemi, bu gazları ya çok az arıtır ya da hiç arıtmaz.

Hava gibi oksijenli gazlarla kesmede, sadece alışılmış saf tungsten elektrodlar kullanılamamaktadır. Bu nedenle altmışlı yıllarda tungsten elektrodun alt kısmında, bakır memenin daraldığı bölgede azot-plazma demetinde hava ve oksijen gibi reaktif gazların kullanıldığı plazma torcu geliştirilmiştir. Bu tür torçlar tungsten elektrodun dayanma süresinde bir eksilme elmadan, oksijenin avantajlarından yararlanılmasını sağlamıştır. Bu torçların dezavantajı ise, saç üst yüzeyinde kesme yarığının hafifçe yuvarlaklaşması ve kesme yarığının tam paralel olmamasıdır. Bu çalışma tekniği, **sekonder gazlı plazma tekniği** olarak bilinir ve çok az kullanım alanı bulmuştur. Yapı çelikleri plazma gazı olarak oksijenle kesilir; bu şekilde biraz pürüzlü kesme yüzeyleri elde edilmektedir. Bunun dışında yüzeyler, metalik parlaklıkta ve sarkıntısız (**sakalsız**) oluşmaktadır. Kesme memesinin dayanım süresi, diğer gazların kullanımındaki sürelerle kıyasla oldukça kısadır. Genellikle zirkonyum ve hafniyumla alaşımlandırılmış düz bakır elektrodlar kullanılmaktadır.

Küçük cihazlarda gitgide artan oranda plazma gazı olarak basınçlı hava kullanılmaktadır. Bu tür uygulamalarda gaz maliyetinden sağlanan tasarrufa kıyasla elektrod maliyeti daha da düşüktür; çünkü ömrü sadece birkaç saat olan ucuz elektrodlar kullanılmaktadır.

Kaynaktan önce O₂ / N₂ karışımı (örneğin basınçlı hava) bir gaz kullanılarak plazmayla ağız açılan özellikle ince saçların (1 ila 3 mm) eritme kaynağındaki gözenek oluşumu problemi bu tip küçük cihazlarda karışım gaz (Ar, H₂, O₂, N₂) kullanımıyla bertaraf edilebilmektedir.

Su

Yüksek sıcaklık bölgesinde, yeterli enerji girdisiyle dissosiyasyon ve aynı zamanda iyonize olabilen su, kendisini oluşturan hidrojen ve oksijene ayrışır. Bu tip birleşik plazmada, daha önceki bölümlerde oksijen ve hidrojen için belirtilen özelliklerin birleşimi avantajı elde edilebilmektedir. Ancak pratikte su, plazma yapıcı ortam olarak tek basına kullanılmaz. Pratikte plazma gazı olarak azotla yapılan kesme işleminde, eşzamanlı olarak plazma torcuna su da sevk edilir. "Su enjeksiyonlu" sistemin üstünlüğü, aşağıdaki bölümde ele alınmıştır.

4.5. Yöntem Teknikleri

Günümüzde plazma kesme işlemlerinin büyük çoğunluğunda, parça ile erimeyen elektrod arasında, bir meme içerisinde ark oluşturulur. Farklılıklar kullanılan elektrodun tür ve şekline plazma gazının türünde ve su-enjeksiyonlu plazma kesmede ark huzmesine teğet olarak su

iletmesinde bulunur ve sualtında plazma ile kesmede kesme işleminin tamamı, su yüzeyinden az yada çok derinde yapılabilir.

4.5.1. Argon-Hidrojen-Azot Plazma Kesme

Bu yöntemde herbir torca göre çapı 3 ila 8 mm arasında değişen ve gücü de bu çapa bağlı olan, sivri uçlu, silindirik tungsten elektrodlar kullanılır. "Sivri uçlu elektrod tekniği" olarak da anılan bu teknikte elektrod ucunun formu sayesinde yüksek bir enerji yoğunluğu elde edilir ve yüksek kesme hızlarında düşük akım tüketimi avantajına sahiptir; ayrıca, büyük saç kalınlıklarından oluşan parçalar da kesilebilmektedir.

Yüksek kesme hızı, aynı zamanda düşük özgül ısı girdisi ve bu nedenle ince saçların kesilmesinde çarpılmaların minimize edilmesi anlamına gelmektedir. Ancak 1-2 mm kalınlığındaki alüminyum parçalar, malzemeye bağlı kuvvetli çarpılmalar nedeniyle kesilememektedir. Plazma gazı olarak çoğunlukla 3/2 oranında argon ve hidrojen karışımı kullanılmaktadır. Yerleşik uygulamaların diğerleri de argon/azot ve argon/hidrojen/azot karışımlarıdır. Azotun görevi, sarkma oluşumunu azaltmaktır; ancak aynı zamanda zararlı madde oluşumunu da arttırmaktadır. Yapı çeliklerinden mamul ince saçların sarkma olmadan kesilmesi için, uygulamada hidrojen ve azotun yanı sıra helyum ve neon içerikli özel gaz karışımları da kullanılmaktadır. 3 mm kalınlığa kadar alaşımsız saçlarda, 3 m/dak'ya kaçır kesme hızlarına ulaşılmaktadır. Gaz tüketimi, kesilecek saç kalınlığına bağlı olarak 20 ila 50 lt/dak arasındadır. Günümüzde sadece 12 kw'luk bir güç çıkışı olan bu tip plazma kesme sistemleriyle 40 mm kalınlığa kadar saçlar kesilebilmektedir. Mevcut plazma kesme makinaları, 10-100 kw'luk güç alanında üretilmektedir.

Bu plazma kesme yöntemi için mevcut makinalar, tüm saç işleyen endüstriye uygundur. Bu yöntemle yüksek alaşımlı krom-nikel çelikleri, yüksek ısıya dayanıklı ve kaplı çelikler, dökme demir ile alüminyum, bakır, çinko ve bunların pirinç ve bronz gibi alaşımları kesilebilmektedir. Bu yöntem, tam mekanize olarak uygulanabilir; ancak genellikle elle uygulanmaktadır.

4.5.2. Basınçlı Havayla Plazma Kesme, Oksijenle Plazma Kesme

Bu teknikte uygun maliyetli plazma gazı olan "**hava**" kullanılır ve bu havanın kuru, tozsuz ve yağsız basınçlı hava formunda olması gerekir. Katod bölgesinde oksijenin bulunmasından dolayı, genellikle alışılmış tungsten elektrodlar kullanılamaz. Bunun yerine zirkonyum (bazen de hafniyum) disk içinde su ile iyi bir şekilde soğutulan düz bakır veya tungsten saplamalardan oluşan elektrodlar kullanılır. Bu tip plazma torçlarının güç çıkışı 30 kw ile sınırlıdır ve bu nedenle kesilebilecek maksimum saç kalınlığı yaklaşık 30 mm'ye kadardır.

Bu plazma kesme yönteminde gürültü oluşumu ve zararlı gaz çıkışı nispeten fazladır. Buna karşılık yapı çeliklerinde yüksek kesme hızları ve sarkma oluşmayan yüksek kaliteli kesimler elde edilir. Batılı sanayi ülkelerinde zararlı gazların nispeten büyük miktarda oluşumu söz konusu

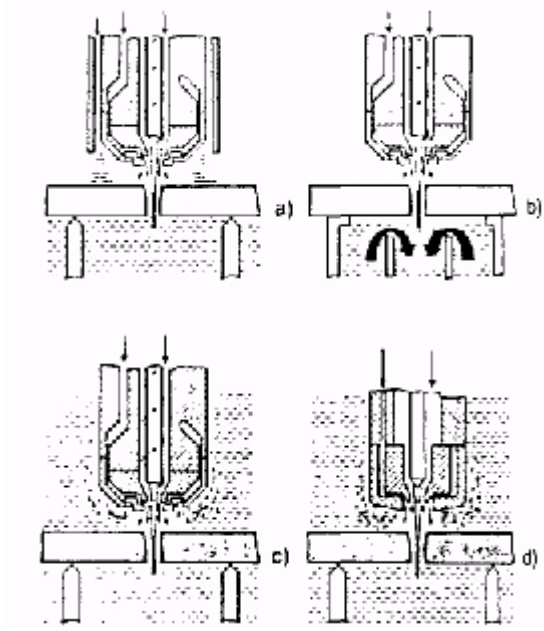
olduğundan, hava'nın plazma gazı olarak kullanımına sadece sualtında kesmede izin verilmektedir. Diğer durumlarda, yüksek güçlü ve bu nedenle de pahalı gaz emme sistemlerinin kullanımı zorunludur.

Yapı çeliklerinden, CrNi-çeliklerinden ve alüminyum malzemelerden ve galvanizli saçlardan mamul 1 ila 6 mm'lik kalınlığa sahip ince saçlarda plazma gazı olarak gitgide artan oranlarda hava" kullanılmaktadır. Bu alanda yeni bir gelişme, plazma gazı olarak yüksek saflıkta oksijenli, ince huzmeli plazma kesme işlemidir. Yapı çeliklerinin kesilmesinde, ancak laser ışınıyla kesmede ulaşılabilen, tam dik açılı yüksek kaliteli kesime bu yöntemle ulaşılabilmektedir.

4.5.3. Su-Enjeksiyonlu Sualtında Plazma Kesme

Bu kesme tekniğinin önemli bir üstünlüğü, özellikle ince saçların kesilmesinde çarpılmanın hiç oluşmamasıdır. Alevle kesmede, parça yüzeyine basınçlı hava ile duş şeklinde su püskürtülerek yapılan soğutmayla, çarpılmanın mümkün olduğu kadar düşük tutulmasına çalışılır. Son zamanlarda ince saçların alevle kesilmesinde, saçların bir su yüzeyine yatırılması ile çarpılmanın oluşumu önlenmektedir. Çarpılmanın tamamen ortadan kaldırılmasının mümkün olmamasının nedeni, çok parçalı kesimlerde, parçada oluşan içgerilmelerdir.

Hizmet personelinin ve çevrenin mümkün olduğu kadar düşük ışığa, ışımaya ve zararlı maddelere maruz kalması amacıyla yönelik olarak plazma kesmede su'nun farklı şekillerde kullanım formları geliştirilmiştir. Şekil 4.9-a, su yatağı olarak anılan bir uygulamayı göstermektedir. Burada kesilecek parça, su yatağının birkaç santimetre üzerindedir veya parça, su yatağının tam üzerindedir. Bu durumda kesme sırasında oluşan gazların, dumanların ve katı parçacıkların bir kısmı, su tarafından tutulmaktadır. Başka bir uygulama (Şekil 4.9-b), plazma huzmesi ile meme iç cidarı arasındaki bölgeden teğetsel olarak su püskürtülmesi şeklindedir. Bu "**Su Enjeksiyonlu Plazma Kesme**" yöntemi, konvansiyonel '**Kuru Plazma Kesme**' 'ye göre bir dizi avantaja sahiptir.



Şekil 4.9. Plazma kesmede suyun kullanımına ait değişik ihtimaller.

Plazma gazı olarak havanın kullanılması durumunda, zirkonyum esaslı elektrodlar kullanılır. Azot kullanılması halinde, tungstenden mamul yüksek assosiasyon ısısına sahip düz elektrodlar sayesinde, argona kıyasla daha yüksek ısıl yüklemeler yapılabilmektedir. Pratikte su enjeksiyonlu kesmede, azot tertibatı ve nispeten daha uzun olan (dayanma süresi daha fazla) düz elektrodlar kullanılır. Plazma arkına teğet olarak sevk edilen su (yaklaşık 1-2 lt/dak) arki büzücü etkisine ek olarak bakır memeye kuvvetli bir soğutma etkisi yapar. Bu etki, meme ömründe önemli oranda artış meydana getirir. Suyun buharlaşması için ilave enerji gerekir. Bu durumda akım üretici için nispeten daha yüksek şebeke gücüne ihtiyaç vardır. 20 mm kalınlıkta yapı çeliklerinden mamul parçaların kesilmesi için yaklaşık 80 kw'lık güç çıkışı olan cihazlar kullanılır.

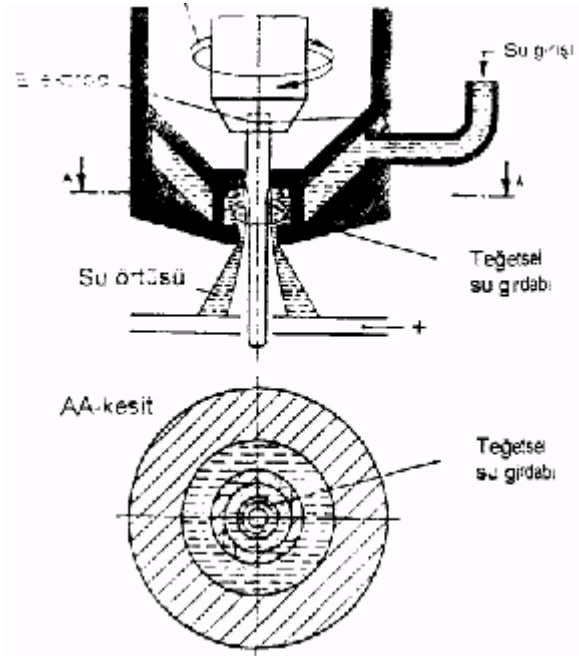
Püskürtülen suyun yaklaşık % 10'u buharlaşır, dissosiyeye ve iyonize olur. Bu şekilde oluşan enerji, parçada assosiasyon nedeniyle kısmen kaybolur. Suyun ayrışması sırasında açığa çıkan oksijen, yapı çeliklerinden mamul parçalarda, yüksek kaliteli ve sarkmanın olmadığı kesme işlemlerini mümkün kılar.

Suyun kalan % 90'ı konik olarak plazma huzmesini çevreleyen su örtüsü halinde memeden dışarı çıkar. Bu su zarfı, plazma huzmesinin ışık, ısı ve zararlı maddelerini azaltır. Su ek olarak, parçayı soğutarak çarpılmasını azaltır ve kesme yangınındaki oksit oluşumunu düşürür. Burada kullanılan plazma torcunda arkın kararlı hale getirilmesi için, çoğunlukla plazma gazı teğet olarak iletilir (girdap memesi) ve suyun püskürtülmesi de, plazma huzmesinin eksenine teğet olarak (su girdabı) oluşturulur (Şekil 4.10). Bu şekilde plazma huzmesine, kesme kenarlarının her ikisinde de farklı bir oluşuma neden olan dönme hareketi verilir.

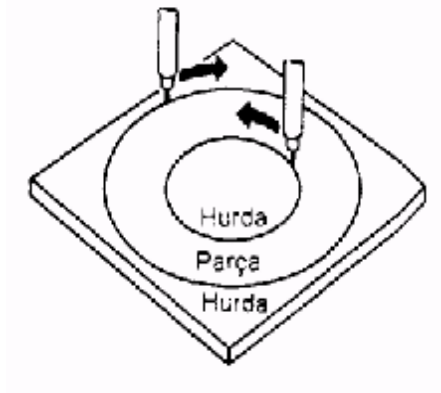
Parça üst yüzeyinin normaline göre oluşan açısız çarpılma, 1-2° civarındadır. Birbirine karşı gelen kenarlardaki açı, 6-8° mertebesinde dir. ' Dış kenarların kesiminde bu etkiye dikkat etmek gerekir.

Üfleç içinde uygun bir gaz iletim halkasının seçimi, dik kesme kenarları elde edilmesini mümkün kılar. Bu nedenle torcun uygun şekilde tutulmasında, parçadaki kesme kenarlarının dik açılı kalmasına ve eğik kenarların hurdaya atılacak tarafta kalmasına dikkat edilmelidir (Şekil 4.11).

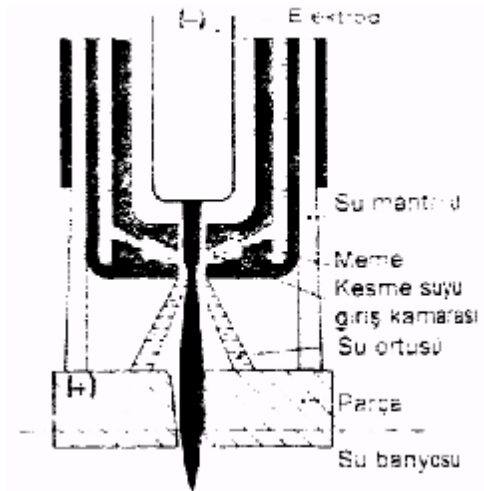
Suyun diğer bir kullanım şekli, Şekil 4.9-c ve Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Bu yapı şeklinde tüm torç, bir su çanı ile örtülüdür ve parça su yüzeyindedir. Bu şekilde parça ve torç suya batırılmış olduğundan (Şekil 4.9-d), gürültü ve zararlı maddelerin daha kuvvetli bir şekilde azaltılması sağlanmış olur.



Şekil 4.10. Teğetsel plazma gazı ve su iletimli bir plazma torcunun şematik gösterimi.



Şekil 4.11. Torcun farklı kesme kenarları oluşturucu etkisine dikkat edecek tarzda tutulması.



Şekil 4.12. Su enjeksiyon ve su çanı olan bir plazma torcunun yapısı.

Bu teknikte zararlı maddelerin önemli bir kısmı ve özellikle katı parçacıklar su içinde tutulur. Suyun gazları çözme kabiliyeti sınırlı olduğundan ve torcun yakınındaki dikey gaz baloncukları azotoksit açığa çıkardığından, burada da torçtan gaz emme sistemine veya uygun bir atölye havalandırmasına gerek vardır. Ayrıca suyun ve suya çarpan katı parçacıkların da uygun ölçüde filtrasyona tabi tutulması gerekir.

Sualtında plazma kesmede kuru plazma kesmeye kıyasla gürültü, yaklaşık 15 dB daha azaltılmıştır. Bu psikolojik etki bakımından, çıkış değerinin yarısından daha fazla bir sönümlenme etkisi gösterir. Parça yüzeyi üzerinde 60 mm'den fazla (maksimum 80 mm) bir su seviyesinde, yüksek güç bölgesinde dahi müsaade edilen değerlerde gürültü oluşur. Bu durumda kuru plazma kesmenin tersine, herhangi bir gürültüden koruyucu önlem alınması gerekmez. Işıma yoğunluğu bakımından, hem ultraviyole bölgesi ve hem de görünür ışık bölgesi, su sayesinde önemli oranda azaltılmaktadır. Bu kesme tekniğinin diğer

avantajları, parçanın ısınmaması ve dolayısıyla ondülasyon oluşmamasıdır. Isıdan etkilenen malzeme bölgesi son derece dardır ve yüksek alaşımlı çeliklerin kesilmesinde tav rengi oluşmaz. Diğer bir avantajı da püskürtülen erimiş metal taneciklerinin torç memesine zarar verme tehlikesi oluşmadan, torcu dikey pozisyonda tutarak delik açma işleminin mümkün olmasıdır.

Su altında plazma kesmeyle, kuru plazma kesme ile de işlenebilen bütün malzemeler kesilebilmektedir. Off-shore tekniğinde ve radyoaktif yapı elemanlarının hurdaya dönüştürülmesinde, 10 metre derinliğe kadar su altında çalışılabilir. Prensip olarak burada anlatılan her bir teknik, su altında da uygulanabilir. Bunun için tek şart, uygun şekilde elektriksel izolasyonun yapılmış olmasıdır.

4.6. Plazma Kesme Donanımları

Genel olarak bir plazma kesme sistemi, aşağıdaki elemanlardan oluşur:

- Akım üretici
- Torç
- Kontrol ve
- Torcun hareket düzenekleri

4.6.1. Akım Üreteçleri

Plazma kesme için özel akım üreteçleri olarak, ani düşen veya sabit akım karakteristikli tekrar tetiklemeli redresörlü, ayrılabilir üç fazlı transformatörler kullanılmaktadır. Her bir cihaz türüne göre akım, ya sabit akar veya kademeli veyahutta kademesiz ayarlanabilir. Büyük tesislerde boşa çalışma gerilimi 400 V ve çalışma gerilimi de 20-100 V arasındadır. Bu yüksek gerilimler, arkın emniyetli şekilde tutuşması, yüksek iyonizasyon enerjili gazlar altında arkın sürdürülebilmesi ve kalın cidarlı parçalar halinde de, elektrod ile kesme yarığının orta bölgesi arasında köprü yapabilmesine yetecek uzunlukta olması gerektiği için önemlidir. Şekil 4.13.'de, bir plazma kesme akım üreticinin akım-gerilim karakteristiğinin değişimi gösterilmiştir. Burada gösterilen cihaz donanımıyla ilgili olarak, akım üretici, mümkün olan en kısa sürede akım şiddetinin maksimum bölgesinde çalışabilecek şekilde getirilebilmelidir.



Şekil 4.13. Bir plazma kesme cihazının akım-gerilim (statik) karakteristiği.

Elle kesimde kullanılan küçük cihazlar, örnek olarak % 60 ED'de 50 A'lık bir maksimum akım, 240 V'luk bir boşta çalışma gerilimi, maksimum 100 V'luk bir çalışma gerilimi verir. Torcun güç

çıkışı yaklaşık 14 kVA'dır.

Malzeme türünden bağımsız olarak, yaklaşık 10 mm kalınlıkta saçlarda kaliteli kesim ve 20 mm'lik kalınlığa kadar da sadece ayırma amaçlı kesim yapılabilir.

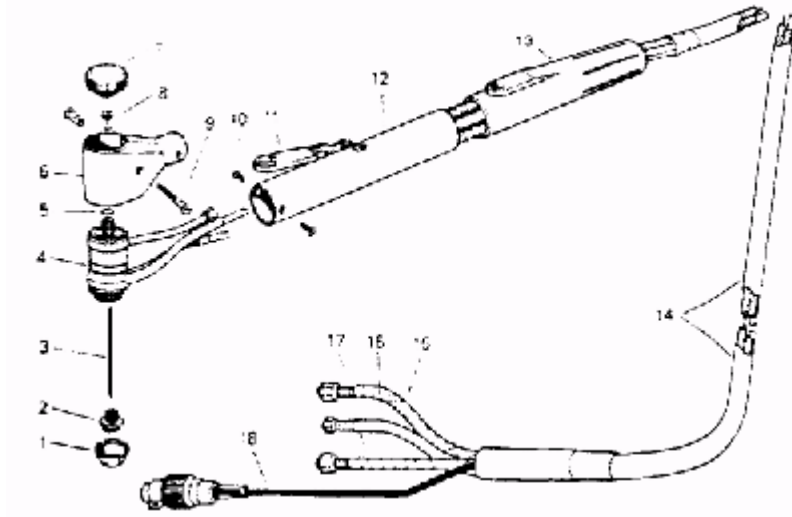
Elle veya daha çok da makinayla kesim için orta büyüklükte cihazlar örnek olarak 250 A'lık (% 100 ED'de) bir maksimum müsaade edilebilir kesme akımı verir; boşta çalışma gerilimi 375 V'tur: çalışma gerilimi maksimum 200 V'tur ve güç çıkışı yaklaşık 100 kVA'dır. Bu tip cihazlarda yüksek alaşımli çelik saçlarda veya alüminyum parçalarda 60 mm kalınlığa kadar kaliteli kesimler ve 90 mm kalınlığa kadar ayırma amaçlı kesimler yapılabilir.

Nispeten büyük cihazlar, % 100 ED'de 200 V'luk işletme geriliminde 600 A'lık bir kesme akımı sağlar. Burada boşta çalışma gerilimi 400 V'tur. Bu tip cihazlarla 120 mm'lik saçlarda kaliteli kesimler ve 150 mm'lik saçlarda da ayırma amaçlı kesimler yapılabilir. Daha büyük güçler gerektiğinde, iki veya daha fazla cihaz, seri veya paralel bağlanabilir. Ancak bu durumda eşit statik karakteristik eğrili akım üreteçlerinin kullanılmasına dikkat edilmelidir. Yaklaşık 65 mm'lik saç kalınlıklarının kullanıldığı çoğu endüstriyel uygulamalarda bu bileşim tercih edilir. Tersanelerde çoğunlukla 15 mm'lik bir kalınlığa kadar saçlar kesilir; buralarda maksimum saç kalınlığı yaklaşık 35 mm'dir.

4.6.2. Torç

Kesim kalitesi ve donanımın verimliliği, plazma torcuna bağlıdır. El veya makina torcunun görevi, sürekli ve geometrik olarak sabit bir plazma huzmesi oluşturmak ve bunu parçaya iletmektir. Torç, bir hortum paketinin ucunda yer alır ve akım üreticiden kontrol edilir. Bir torç, esas olarak üç kısımdan oluşur: soğutma sistemli bir torç gövdesi, torcun eksenine yerleştirilmiş bir elektrod ve meme. Soğutma sistemi, demineralize su kullanılan bir kapalı devre halinde çalışır. Basıncılı hava kullanılan el torçlarında, zorunlu olarak zararlı azotoksit oluşmasına rağmen, bu cihazlar için düşük güç ve kısa kullanım süresi geçerli olduğundan, genellikle bir zehirli gaz emme tertibatına gerek yoktur.

Bir makina torcu, prensip olarak tıpkı bir el torcu gibi çalışır. Genel olarak daha yüksek güç çıkışı sağlarlar ve takılacağı yere, dış tarafından sıkıştırılacak şekilde tasarlanırlar. Şekil 4.14, tipik bir makina torcunun parçalarını, çeşitli hortum paketleri bağlantı yerleriyle birlikte göstermektedir. "İnce huzme torcu" olarak da adlandırılan bu torçların değişik türleri, hacimce küçük olarak imal edilir ve küçük bir meme deliği (yaklaşık 1 mm) ve narin ve sivri elektrodu ise, nispeten yüksek güçlü bir plazma huzmesi oluşturur. Bu tür torçlar yüksek kesme hızlarında ve nispeten daha düşük plazma huzme gücünde, son derece dar kesme yarıkları oluşturan kesme işlemlerin; mümkün kılar. Plazma huzmesinin parça ile temas yüzeyinin büyüklüğü zararlı madde oluşumuna önemi etki yaptığından, ince huzme torcunda bu maddeler daha az oluşur.



1. Isı kalkanı. 2. Kesme memesi 3. Elektrod 4. Torç gövdesi 5. O-ring, 6. Torç üst kapağı 7. Torç tapası 8. Kolet. 9. Somun ve vidaları tutan kapak 10. Vida 11. Torç anahtarı 12. Tutamak, 13. Anahtar kapşonu 14. Kılıf 15. Esas ark kablosu 16. Gaz hortumu 17. Pilot ark kablosu 18. Sigortalı kontrol kablosu

Şekil 4.14. Bir makina torcunun parçalarının şematik gösterimi.

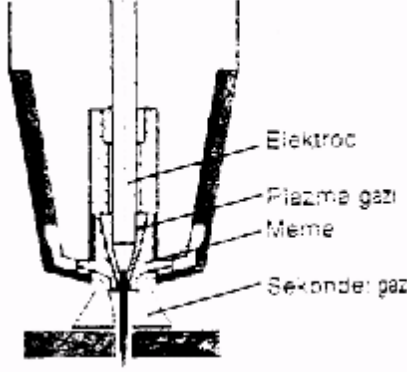
Meme (Bek)

Soğutma sistemi, her şeyden önce kural olarak ark huzmesi ile boru cidarı arasında, iyonize olmayan bir gaz mantosu oluşturacak şekilde, ark'a büzücü etki yapan boru cidarını soğutmalıdır. Bu çevresel gaz mantosu, bir taraftan ark merkezindeki yüksek sıcaklıkları gerekli şekilde yönlendirecek ve diğer taraftan da bakır memenin kuvvetli termik yüklere maruz kalmasını önleyecek tarzda bir ısı yalıtımı etkisi oluşturur. Bu iyonize olmamış gaz sınır tabakasının bir ısı izolasyonu etkisi yanında, aynı zamanda çift ark oluşumu ve böylelikle ark huzmesi, meme ve parça arasında elektriksel bir köprü oluşumunu azaltacak şekilde, meme ile ark huzmesi arasında bir elektriksel izolasyon ortamı olarak da etkimesi söz konudur. "**Parazit ark**" olarak da adlandırılan bu ark, meme borusunun geometrisi ve dolayısıyla plazma huzmesinin dönele simetriye sahip dış yüzeyini ve yönünü değiştirecek tarzda, lokal bir erime ile memeyi tahrip eder. Son olarak hatasız bir kesme yarığı oluşumuna da engel olur. Çift ark oluşumuna, özellikle aşağıdaki durumlarda dikkat edilmelidir:

- Akım şiddeti, boru çapına göre çok büyük olduğunda
- Memenin soğutulması yetersizse
- Plazma yapıcı gazın debisi çok düşükse ve
- Elektrod meme borusu içinde tam merkezlenmiş durumda değilse

Çift ark oluşumundan kaçınmak, bazı özel konstrüktif önlemlerle mümkündür. Şekil 4.15. bu tip bir torcun prensip yapısını göstermektedir. "**Sekonder gaz akımı**" olarak adlandırılan bu uygulama, plazma huzmesini örter ve soğutur: böylelikle iki arkın da parçada yanmasını sağlayacak

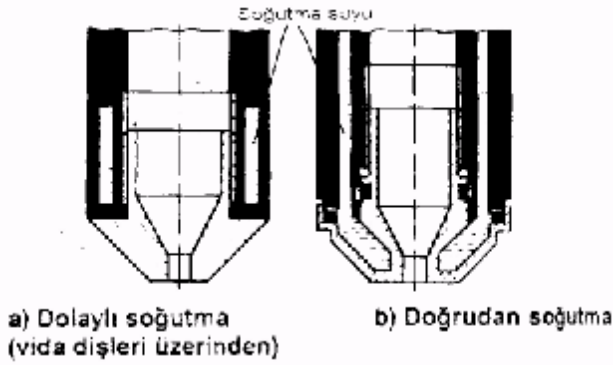
şekilde meme alın yüzeyindeki kritik bölgede geçiş direncini yükseltir. Sekonder gaz olarak, uygun maliyetinden dolayı örneğin basınçlı hava kullanılabilir.



Şekil 4.15. Bir plazma torcunun sekonder gaz akımı ile kullanımı

Meme ve elektrod, diğer parçalar arasında maliyeti düşük olan parçalardır ve aşındıklarında değiştirilmeleri, kesme işleminin maliyetine fazla etki yapmaz. Memenin dayanma süresine, soğutma şeklinin büyük etkisi vardır. Pratik olarak dayanma süresi, bir ila dört kesim işlemi arasındadır. Kapalı bir soğutma sistemi içinde, yumuşak ve demineralize su kullanılması halinde, memenin dayanma süresinde önemli bir iyileşme görülebilir.

Her bir torç tipinde, doğrudan veya dolaylı suyla soğutulan meme kullanılır (Şekil 4.16).



Seki 14.16. Meme soğutma sistemleri

Her iki soğutma sisteminde de bir tezat vardır: Şöyle ki, doğrudan soğutulan memeler daha yoğun soğutulurlar ancak meme değişiminde soğutma devresinin açılması ve soğutma suyunun atılması dezavantajı vardır. Dolaylı yani vida dişleri üzerinden ve torç gövdesi yüzeyinden soğutulan memeler ise, ısı geçişinin bir temas pastası kullanımıyla iyileştirilmesine rağmen, yine de çok yoğun olarak soğutulmazlar. Bu ikinci tip memelerin avantajı, soğutma devresini etkilemeden ve su ilave edilmesine gerek olmadan memenin değiştirilebilmesidir. Dahası, bu tür memelerde bir sızdırma problemi de görülmez. Ayrıca açık soğutma sisteminde, memenin veya elektrodan değiştirilmesi

sırasında torçtaki suyun dökülmesi dezavantajı söz konusudur. Bu durumda, yüksek boşta çalışma gerilimi nedeniyle, torçta kısa devre tehlikesi çok yüksektir.

Meme deliğinin çapı, kesme yarığı genişliğini önemli oranda etkilemektedir ve bu etki, ayrıca seçilen akım şiddetine de bağlıdır. Tablo 4.2'de, bununla ilgili önemli değerler verilmiştir.

Tablo 4.2. Kesme akımı, meme çapı ve kesim yarığının genişliği arasındaki ilişki.

Kesme Akımı max.	A	50	120	200	250
Meme çapı	mm	1.0	1.4	2.0	2.5
Kesme yarığının genişliği	mm	2.0	3.0	4.0	5.0

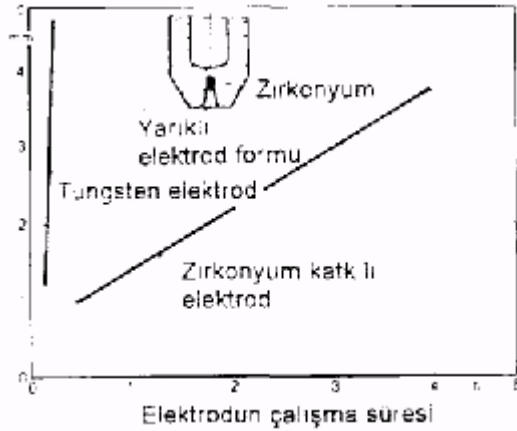
Elektrodlar

Plazma ve TIG kaynağında olduğu gibi plazma ile kesmede de düşük yüzdelerle zirkonyum, toryum ve lantanoksit içeren, yüksek sıcaklığa dayanıklı tungsten elektrodlar kullanılır. Bu ilavelerin amacı, elektron emisyon gerilimini düşürmektir. Bu sayede ark düşük elektrod sıcaklıklarında dahi daha kararlı ve daha sakin yanar (elektrod ömrü iyileşir). Tungsten elektrodlar sadece yüksek saflık derecesindeki oksitleyici olmayan gazlarla kullanılabilir; aksi takdirde akıcı tungsten oksitler oluşur ve elektrod ucu tahrip olur. Azot gibi reaksiyon taşıyıcı gazlar durumunda, nispeten kalın, düz yüzeyli tungsten elektrodlar (düz elektrodlar) kullanılır. Tablo 4.3. elektrodun toryumoksit miktarından ve azot olan plazma gazının saflık derecesinden etkilenen aşınma hızı üzerine bilgiler vermektedir.

Tablo 4.3. Katodun toryumoksit içeriği, azotun saflık derecesi ve katodun aşınma hızı arasındaki ilişki.

Katodtaki ThO ₂ (mm)	N ₂ 'nin saflık derecesi (%)	Gaz debisi (lt/dak)	Akım (A)	Katod aşınması (g/dak)
1	95.0	30	300	0.9
1	95.0	50	350	0.33
1	99.5	50	350	0.005
1.5	99.5	50	250	0.0014

Dolayısıyla toryumoksit içeriğinin çokluğu ve plazma gazının yüksek saflıkta olması, katodun daha az aşınmasını ve böylece elektrod ömrünün uzamasını sağlar. Hava gibi oksijen içeren gazların kullanılması halinde bu durum elektrod malzemesinde önemli bir aşınmaya yol açar (Şekil 4.18).



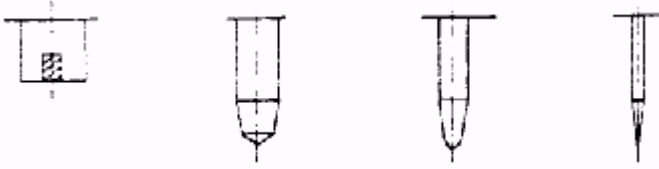
Şekil 4.17. Plazma gazı olarak basınçlı hava kullanılan plazma ile kesmede, zirkonyumlu veya zirkonyumsuz tungsten elektrodların

ömürlerinin karşılaştırılması.

Basınçlı hava debisi: 9,9 m³/saat; akım şiddeti: 500 A.

Plazma kesmenin kalitesinin yüksek olması için elektrodun merkezlenmesi çok önemlidir.

Plazma kesme için genel elektrod formu Şekil 4.18'da gösterilmektedir.



Şekil 4.18. Plazma kesmede elektrod ucunun formu.

4.7. Malzemeler ve Kesme Değerleri

Daha önceki bölümlerde vurgulandığı gibi ulaşılabilen en büyük kesme hızı her şeyden önce kesme işleminin ayırma amaçlı mı, yoksa kaliteli bir kesim mi olduğuna bağlıdır. Bunun dışında kesme hızı kesilecek malzemenin türüne ve kalınlığına, kullanılan kesme gazına, gaz debisine ve kesme yönteminin her bir değişkenine bağlıdır. Tablo 4.4. 5-100 mm a-asındaki sac kalınlıklarında ve plazma tesisinin farklı güç ayarlarında, kullanılan plazma gazına bağlı olarak ulaşılabilen kesme hızlarını karşılaştırmalı olarak göstermektedir.

Tablo 4.4. Plazma kesmenin muhtemel yöntem değişkenlerinin ulaşılabılır kesme hızları bakımından alevle kesme ile karşılaştırılması.

Saç kalınlığı (mm)	C ₂ H ₂ / O ₂ ¹⁾ (cm/dak)	Ar / H ₂ ²⁾ (cm/dak)	Yöntem Hava ³⁾ (cm/dak)	H ₂ O / N ₂ ⁴⁾ (cm/dak)
5	80	300	500	380
10	72	125	300	280
15	64	115	170	250
20	59	65	110	170
25	53	50	80	114
100	27	16	-	15 ⁵⁾

1) Yapı çeliği; 2) CrNi-çeliği; 100 kW-cihaz optimum kesme kalitesi.
3) Yapı çeliği; 30 kW-cihaz; 4) Yapı çeliği; 100 kW-cihaz
5) Yapı çeliği; 150 kW-cihaz

Tablo 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8 'de çeşitli kesme parametrelerinin değerleri verilmiştir.

Tablo 4.5. Yapı çeliklerinin plazma kesmede kesme değerleri

Saç kalınlığı (mm)	Güç (kW)	N ₂ (lt/dak)	H ₂ (lt/dak)	Kesme hızı (cm/dak)
10	30	40	1	110
20	30	40	1	90
25	30	40	1	50
10	50	60	0	210
25	50	60	3	100
50	50	60	3	30
10	100	70	5	400
50	100	70	5	45
70	100	80	10	15
100	100	90	10	10

Tablo 4.6. CrNi-çeliklerinin plazma ile kesilmesinde kesme değerleri

Saç kalınlığı (mm)	Akım şiddeti (A)	Meme çapı (mm)	Kesme gazı		Kesme hızı (mm/dak)	Ayırma kesimi (cm/dak)
			Ar (lt/dak)	H ₂ (lt/dak)		
10	200	2.0	15	10	1250	350
20	200	2.0	15	12	650	200
30	280	2.5	20	12	500	100
60	400	3.0	25	12	260	50
100	500	4.0	30	20	160	24
120	500	4.0	30	20	100	16

Tablo 4.7. Alüminyumun plazma ile kesilmesinde kesme değerleri

Saç kalınlığı (mm)	Akım şiddeti (A)	Meme çapı (mm)	Kesme gazı		Kesme hızı Ayırma kesimi 600 A (cm/dak)
			Ar (lt/dak)	H ₂ (lt/dak)	
10	200	2,0	15	10	4000
20	200	2,0	15	12	1400
30	200	2,0	20	12	750
60	280	2,5	20	12	400
100	500	3,5	30	20	205
150	500	4,0	30	20	140

Tablo 4.8. 600 A akım şiddetine sahip sualtı kesme teçhizatı için kesme değerleri - Gemi sacı St 42.

Saç kalınlığı (mm)	Meme-saç mesafesi (mm)	Kesme yarığı genişliği (1/10 mm)	İlerleme hızı (cm/dak)	Ark genişliği (V)	Akım şiddeti (A)
6	6	17	400	145	380
7	6	17	378	147	380
8	6	18	360	148	380
9	6	18	348	149	380
10	6	19	330	150	380
11	6	19	300	152	390
12	6	20	258	155	390
13	6	20	240	156	400
14	6	21	222	157	400
15	8	21	258	158	560
16	8	22	240	160	560
17	8	22	222	162	560
18	8	22	204	162	570
19	8	23	192	163	570
20	8	23	180	163	570
21	10	23	174	164	570
22	10	24	188	165	580
23	10	24	182	165	590
24	10	25	156	165	600
25	10	25	150	166	600

Yaygın metallerin yanında, plazma ile diğer metaller de kesilebilir. Bu metaller arasında **titanyum da** yer alır. Titanyumun kesilmesinde kesme hızı, paslanmaz çeliklere oranla iki kat daha yüksektir. Bu metalin yüksek reaksiyona girme eğilimine rağmen, inert argon gazı kullanılmayıp yüksek ısı içeriğine sahip ve bu sayede iki kat fazla hızlı kesim sağlayan azot kullanılmaktadır. Kesim kenarlarının sonradan 0,5 mm

derinlikte mekanik olarak işlenmesiyle martenzitik içyapıya sahip bölge uzaklaştırılarak dönüşüme uğramamış esas metal açığa çıkartabilmektedir.

Dökme demir, plazma ile rahatça kesilebilmesine rağmen, yüksek ısı iletimiyle bakırın kesilmesi biraz daha zordur. Bakır esaslı malzemeler 100 mm kalınlığa kadar plazma ile kesilebilir. Prensip olarak malzemenin üst yüzeyden öntavlansıyla, en yüksek saç kalınlığı (100 mm) kesime uygun hale getirilebilir. Bu durum, yüksek ısı iletkenliğe sahip **pirinç**, **bronz** ve alüminyum gibi malzemeler için de geçerlidir. Tablo 49, bakırın plazma ile kesilmesi için bilgiler vermektedir.

Tablo 4.9. Bakır'ın plazma ile kesilmesinde kesme değerleri.

Saç kalınlığı mm	Güç kW	N ₂ lt/dak	H ₂ lt/dak	Kesme hızı cm/dak
10	30	40	5	90
20	30	40	5	60
25	30	40	5	25
10	50	60	5	200
20	50	60	5	100
30	50	60	5	50
40	50	60	5	30
40	100	80	20	55

Plazma kesme ile **kaplı çelikler** de problemsiz şekilde kesilebilir. Bunlarda dikkat edilmesi gereken husus, kesme işlemine önce yüksek alışımlı taraftan başlamaktır.

4.8. Plazma Kesmede İşgüvenliği

Arkın emniyetli bir şekilde tutuşturulması için hidrojen, azot ve hava gibi moleküler gazlarda nispeten daha yüksek olan iyonizasyon potansiyeline emniyetle ulaşılması gerekir. Bunun için boşta çalışma geriliminin yüksek olması gerekmektedir. Ayrıca, plazma arkı, özellikle kalın işparçalarında tutuşturma gerilimi yeterli büyüklükte olduğu zaman kararlılığını koruyabilmektedir. Her iki durumda değerler, bilinen ark kaynak yöntemlerinde geçerli olan değerlere göre daha yüksektir. Bu nedenle plazma ile kesmede özel koruyucu önlemlerin alınması gerekir.

Artan kalınlığa ve kesilecek malzemeye doğrudan bağlı olarak elektrik enerjisi ve kesme gazı debisi de artar. Böylece plazma huzmesinde de artan oranda gürültü oluşur. Bu durumda gerekli önlemler alınmazsa, çalışan personelde gürültüye bağlı işitme rahatsızlıkları ortaya çıkabilir.

Plazma arkının büyük akım şiddeti ve yüksek akım yoğunluğu, nispeten daha büyük ışın yoğunluğunun oluşmasına yol açar. Buna bağlı olarak özellikle UV-ışınlardan uygun şekilde korunmayan cilt kısımları, sadece esmerleşmekle kalmamakta, aynı zamanda çok hızlı bir şekilde yanmaktadır.

Kullanılan plazma yapıcı ortama ve kesilecek malzemeye, gazlara ve tozlara bağlı olarak insan organizması üzerinde tahribat yapmaya yetecek derecede konsanstrasyonlar oluşabilmektedir.

Hidrojen içeren plazma gazlarının kullanımı halinde, emniyet tekniği bakımından, hidrojen-hava gaz karışımlarının büyük bir patlama tehlikesi oluşturacağına da dikkat edilmelidir.

Boşta Çalışma Gerilimi

Büyük kesme tesislerinde, 400 V 'tan daha fazla boşta çalışma gerilimi ve 200 V 'a kadar çalışma gerilimi ortaya çıkabilmektedir. Bununla ilgili olarak aşağıdaki hususlara uyulması gerekir:

a. Kesme cihazının üzerine, çıkmaz bir boya ile yazılmış ve kolayca okunabilecek şekilde plakası aşılmalıdır.

DİKKAT

BOŞTA ÇALIŞMA GERİLİMİ 100 V'UN ÜZERİNDEDİR

b. Elektrod değiştirme işlemi, uygun düzenekler aracılığıyla, sadece makinanın gerilim bağlantılarının ayrıldığı durumda yapılmalıdır.

c. Teknik esaslar bakımından, tesadüfen temas edilebilmeye karşı korunamayan parçalar (örneğin plazma torcunun memesi), arkın yanışı sırasında temas edilemez konumda iseler, gerilim taşımalarına izin verilir.

Gürültü

Kural olarak sekiz saatlik bir iş gününde maksimum 90 dB (A) 'nın aşılmaması gerekir. Kısa süreli durumlarda, müsaade edilen değerlerin bir miktar aşılması mümkündür. Örneğin bir iş gününde 2 saat için 96 dB (A) ve 4 saat için 93 dB (A) 'ya müsaade edilir.

Plazma kesmede temel olarak gazlar torçtan yüksek hızda çıktığından yüksek seviyeli gürültü oluşmaktadır. Bunun şiddeti, kesilen parçanın kalınlığına ve gerekli plazma gazı debisine de bağlıdır. Bu nedenle plazma kesmede parça kalınlığının artması, gürültü seviyesini de arttırmaktadır. Örneğin 75 mm kalınlığında saçların kesilmesinde, 750 A'lık bir akım şiddeti kullanıldığında, 115 db (A) 'lık bir gürültü oluşur.

Frekans ölçümleri, plazma kesmede en yüksek değer 25000 Hz civarında olduğunu göstermiştir. Bilindiği gibi 250 ila 8000 Hz arasında, işitme rahatsızlıkları meydana gelmektedir.

Günümüzde artan gürültüye karşı, çalışan personel etkin şekilde korunabilmektedir. 90 dB (A)'dan daha yüksek sabit bir gürültü yükünde, işitme sistemini koruyucu aletlerin kullanımı gerekir. Bunun için, kulak koruyucu başlıklar, tıkaçlar ve kapsüller mevcuttur. Kesim işlemi sırasında işitebilirliğin sürdürülebilmesi bakımından, hava-titreşim ileten başlıklar daha uygundur. Bu aletler gürültüyü 25-30 dB (A)'ya düşürürler. Kulak tıkaçları, 110 dB (A)'ya kadar uygundur. Gürültü bu seviyeyi aşıyorsa başlık kullanılması gerekir. Aynı amaçla, gürültüyü 35-40 dB (A)'ya kadar düşürebilen kaynak maskeleri de kullanılabilir.

Bu ikincil derecedeki koruyucu önlemlerin yanında, bir kesme işleminde birincil derecede koruyucu

önlemlerin de alınması gerekir. Böyle bir durum, iş parçasının bir su yüzeyine yatırılması ile mümkündür. Ayrıca sualtında da kesim yapılabilir. Bu ikinci yöntem, şüphesiz en yüksek gürültü azaltma etkisine, sahiptir. Örneğin 6 mm kalınlığında ostenitik iş parçalarının 400 A ile kesilmesinde, kesim noktasından 1 metre uzaklıkta 95 dB (A) ölçülmüştür. Aynı işlem su yüzeyinden 75 mm aşağıda yapıldığında ise, gürültü seviyesi 75 dB (A)'yı geçmemektedir.

Tablo 4.10, bazı pratik ölçüm sonuçlarını vermektedir.

Tablo 4.10. Ostenitik çeliklerin plazma ile kesilmesinde ölçülen gürültü seviyeleri

Parça kalınlığı	Plazma kesmenin türü	Akım A	Max. seviye dB(A) ölçüm mesafesi	
			1 metre	5 metre
10	Hava ile	150	107,7	92
10	Su yatağında hava	150	103,3	90,3
10	Azot ile	200	111,3	91,3
10	Azot ve su girdabı ile	200	113,8	94,3
10	Argon ve hidrojen ile	80	98,3	84,3
20	Argon ve hidrojen ile	200	118,3	91
10	Sualtında azot ile	200	80,3	76,3

Plazma Huzmesindeki Işımalar

Plazma huzmesinden çıkan ışın spektrumu, çalışan personele az ya da çok zararlı olan üç ışın bölgesine ayrılabilir. Görünmeyen enfraruj, ısı taşıyan ışınlar uzun süreli etkiğinde, göz merceğinde tahribata yol açar. Yüksek yoğunluklu görünür ışık ise, gözde geçici körlüğe neden olacağından, özellikle alacakaranlıkta görme yeteneğinin azalmasına neden olmaktadır.

Diğer tehlikeli ışınlar, görünmeyen, kısa dalgalı ultraviyole ışınlardır. Kaynakçılar tarafından 'yıldırım çarpması' olarak bilinen ve kısa sürede ortaya çıkan, çok ağırlı bir cilt iltihabına neden olurlar.

Görünür ışık, personele hemen zarar vermesine ve çaresi de olmasına karşın, UV-ışınması hiçbir uyarıcı belirti göstermez ve saatler sonra ağrılarla kendini belli edecek tarzda ortaya çıkar.

Bu UV-ışınması, sadece gözler için zararlı olmayıp, cildin esmerleşmesine ve korunmaya kısımlarının kızarıp yanmasına neden olur.

Bu nedenle plazma kesmede sadece personelin uygun kıyafet ve filtreli gözlük camları olan başlıklarla korunması yeterli olmayıp, yardımcı personelin de gözlüklerle korunması ve ayrıca parçadan çıkan ışınlar, duvarlardan yansacağından, perde ve tespit panolarıyla ışın etkililerinin önlenmesi gerekir.

Duvarların ve çatının kaplanmasında uygun malzeme olarak UV-ışınları absorbe eden boya ile boyama

yapılmalıdır. Yayman ışının yoğunluğu, doğrudan doğruya elektrik gücüne (akım şiddeti ve yoğunluğu) bağlı olduğundan, artan parça kalınlığı ile doğru orantılı olarak personelin korunması için gerekli önlemlerin de artırılması gerekir.

100 A'in üzerindeki akım şiddetlerinde iş elbisesi olarak giyilen deri önlükler yeterli olmaz. Bu durumda elbisenin kolluklarının da deri malzemedan olması gerekir. Kulaklar ve boyun, gözlük kısmı açılıp kapanabilen kaynakçı maskeleriyle etkin şekilde korunmalıdır. Elbiseler kolluklarla donatılmış olmalıdır. Deri eldivenler, plastik veya kauçuk eldivenlere göre elin teneffüs etmesine izin verdiği için daha sağlıklıdır.

Yoğun UV-ışımaya maruz kalan pamuklu dokumalar, ilk yıkamadan sonra gevrekleşeceğinden uygun değildir.

Göz koruyucu gözlükler, görülebilen alanda önemli bir azalmaya yol açmadan, UV-ışınları absorbe etmelidir. Ayrıca, sınırlı ölçüde de mümkün olsa, ısı taşıyan ışınları da absorbe etmelidir. Gözlük camı gelen ışınların yoğunluğunu, "kuvvetli güneş ışını" seviyesinin altına kadar indirebilmelidir.

Gazlar ve Tozlar

Düşük alaşımlı çeliklerin, yüksek alaşımlı CrNi-çeliklerinin, alüminyum esaslı malzemelerin ve paslanmaya karşı koruyucu boya ile kaplı çeliklerin plazma ile kesilmesinde, torcun çevresindeki atmosferin analizi, plazma gazları yanında önemli oranda ozon gazı ve azotmonooksit veya azotdioksit gibi gazların ve ayrıca metal tozlarının varlığını göstermektedir.

Zararlı maddelerin (gazların ve tozların) yoğunluğunun belirli sınır değerleri aşp aşmadığının, bir ölçüm cihazıyla ölçülmesi zorunludur. Sınır değerler olarak **MAK-değerleri** (Maximale Arbeitsplatz Konzentration = Çalışma Ortamı Maksimum Yoğunluğu) geçerlidir.

MAK-değeri, işyerindeki atmosferde kural olarak günde 8 saatlik bir süre zarfında, çalışan personelin sağlığını etkilemeyecek ve uygun olmayacak şekilde zorlamayacak miktarda gaz, buhar veya partikül halindeki maddelerin müsaade edilen en yüksek konsantrasyonudur.

Tablo 4.11, plazma kesmede genel olarak meydana gelebilen zararlı maddelerin hâlihazırda geçerli MAK-değerlerini vermektedir.

Nikel ve alaşımlarının plazma ile kesilmesinde atomsal formda nikel tozu yayınması halinde, çalışan personel için yeterli koruyucu önlemin alınması zorunludur.

Plazma huzmesinden, çevredeki atmosfere UV-ışın yayını, Ozon (O₃) oluşumuna yol açar. Ayrıca yüksek sıcaklıklardaki diğer bir etkisi de, havadaki oksijeni ozona dönüştürmesidir. Plazma huzmesinin artan elektriksel gücü, UV-ışımının yoğunluğunu da artırır ve plazma arkının yüksek sıcaklıktaki bölgelerinin büyümesine yol açar. Dolayısıyla oluşan ozonun miktarı da yükselir.

Plazma kesme sırasında oluşan zararlı gazlar arasında Ozon, nispeten daha az kritiktir. Ozon, tüm açık ark yöntemlerinde, yoğun UV ışımının dalga boyu 0,17 ila 0,20 [^]m olduğunda meydana gelir.

Ozon ile Azotmonooksit'in reaksiyonu Ozon'u parçalar ve NO ile NO₂ oksidasyonuna yola çar. Ozon oluşumu, sadece plazma huzmesi ile çevresindeki atmosfer arasındaki sınırlı tabakada meydana gelmekle kalmaz, ayrıca oksijen içeren plazma gazı aracılığıyla plazmadan direkt olarak da meydana gelir. Bu durum, ortamdaki ozon oranının artmasına yol açar.

Tablo 4.11. Plazma kesmede oluşan zararlı maddelerin MAK-değerleri

Madde	Kimyasal formülü	MAK-ppm (ml/m ³)	Değeri mg/m ³	Açıklamalar
Ozon	O ₃	0,1	0,2	
Azotdioksit	NO ₂	5	9	
Fosgen	COCl ₂	0,1	0,4	
Demiroksit *	FeO, Fe ₂ O ₃ vd		6	
Alüminyumoksit *	Al ₂ O ₃		6	
Magnezyumoksit *	MgO		6	
Çinkooksit	ZnO		5	Kaplı saçların kesilmesinde
Bakır (toz)	Cu		1	
Bakır (duman)	Cu		0,1	
Kromtrioksit **	CrO ₃		0,1	Cr-içeren malzemelerin kesilmesinde, Kaplı malzemelerin kesilmesinde (Örn. pas koruyucu olarak yeşil kromoksit)
Krom (VI)-bileşikleri *** (Kromat) CrO ₃ olarak hesaplanan			0,1	
Toplam toz olarak				
Nikel **	Ni			Nikel içeren malzemelerin kesilmesinde, Saf nikel ve nikel esaslı malzemelerin kesilmesinde
Nikeloksit ve diğerleri	NiO		0,5	
Toplam toz cinsinden Ni olarak hesaplanan Ni bileşikleri				
*) İnce toz olarak		**) kesin veya muhtemel kanserojen eki		
Madde	Kısa süreli değer	Süre	Posta başına eklek	
Ozon	2. MAK	5 dak. Anlık değer	8	
Azot	2. MAK	5 dak. Anlık değer	8	
Fosgen	2. MAK	30 dak. Ortalama değer	4	
Demir	-	-	-	
Alüminyum	-	-	-	
Manganez	-	-	-	
Çinko	10. MAK	30 dak. Ortalama değer	1	
Bakır	2. MAK	30 dak. Ortalama değer	4	
Kromtrioksit	2. MAK	5 dak. Anlık değer	8	
Krom IV	2. MAK	5 dak. Anlık değer	8	
Nikel	-	-	-	

Ozon oluşumu, bu nedenle basınçlı hava ile plazma kesme işleminde daha kuvvetli bir şekilde artar. Burada sıcak plazma huzmesine nispeten daha büyük debilerde oksijen sağlanır ve bu durumda mutlak değeri oransal olarak düşük kalmasına rağmen plazma kesmede oluşan toz içinde, ozonun daha çabuk parçalandığı bir reaksiyon meydana gelir.

Son olarak alüminyum esaslı malzemelerin plazma kesmesindeki kuvvetli duman oluşumu, nispeten düşük ozon oluşumuna yol açar.

MAK-değerini aşan ozon konsantrasyonu, insan organizması üzerinde mukoza zarının, solunum organlarının ve gözlerin tahrip olmasına yol açar.

Azot oksitlerinin artan konsantrasyonu, organizmalar üzerinde olumsuz etki yapar. Bugüne kadar azotmonooksit (NO) için bir MAK-değeri tespit edilmemiştir. Ancak azotdioksit (NO₂) 'in düşük oranda zehirleyici olduğu bilinmektedir. Havada bulunan azotdioksit konsantrasyonunun solunması, ölüme yol açabilir.

Arkın sıcaklık etkisiyle çözücü maddelerin buharları (örneğin tetraklorarbon, trikloretilen, tetrakloretilen) ayrışır. Bu şekilde çok zehirleyici olan fosgen (karbonilflorür: COCl₂) oluşur. Kesilecek parçalarda bu bakımdan klorlu çözücü maddeler bulunmamalıdır.

BÖLÜM 5.

LASER IŞINI İLE KESME

5.1. Giriş

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 koheran 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 ışını yaymaya başlar.

Mühendislik bakış açısından bir laser, primer bir kaynaktan (elektrik, kimyasal, termik, optik veya nükleer) çıkan enerjiyi basitçe özel frekansta bir elektromanyetik ışına (ultraviyole, görünür veya kızılötesi) dönüştüren bir enerji dönüştürme cihazıdır. Bu dönüşüm, belirli katı, sıvı veya gaz ortamlarla sağlanır. Bu ortamlar moleküler veya atomal ölçekte belirli tekniklerle uyarıldığında koheran ve izafi olarak monokromatik (yani hemen hemen tek frekansta) bir ışık formu - bir laser ışığı ışını- oluşur. Koheran ve monokromatik olduklarından dolayı, hem düşük güçlü ve hem de yüksek güçlü laser ışık ışınları, çok küçük bir diverjans açısına sahiptir. Bu nedenle izafi olarak son derece büyük uzaklıklara kadar ya geçirgen veya yansıtıcı tipte odaklama mercekleri aracılığıyla iletilebilirler.

İlk laser ışını 1960 yılında bir yakut kristalin bir flaş lambayla uyarılmasıyla elde edilmiştir.

Laser ışını ile kesme, günümüzde birçok endüstriyel imalat alanında uygulanan bir termik kesme yöntemidir. Oksijenle kesme veya plazma kesme yöntemleriyle yeterli derecede kesilemeyen ince saçlarda laser ışını ile kesmenin geliştirilmesiyle, yüksek kalitede ve hassas kesme işlemlerinin yapılabilmesi sağlanmıştır. Laser ışını ile kesme, hassas kesme işlemi olarak değerlendirilmektedir. Diğer termik kesme yöntemleriyle karşılaştırıldığında, özellikle ince saçlardaki kesme yüzeyi kalitesi çok iyidir. Laser ışını ile kesilen saçlarda kesme yüzeyine bitişik ısıdan etkilenen bölgenin çok dar olması sayesinde çok az bir distorsiyon oluşur. Bu sayede çok daha dar toleranslara sahip yapı elemanlarının üretimi mümkündür. Genel olarak laser ışınıyla kesilmiş parçalar, sonradan bir ek işleme gerek olmadan, kesimden hemen sonra kullanılabilir.

Laser ışınıyla kesmede laser ışını, bir enerji kaynağı olarak görev yapar. Bu yöntemin prensibi, laser ışınının, kesilecek saçın üst yüzeyinde yoğunlaştırılmasıdır. Odaklanan laser ışını ile oluşan yüksek yoğunluktaki enerji nedeniyle malzeme, tutuşma, erime veya buharlaşma sıcaklığına kadar ısıtılır ve oluşan eriyik veya metal buharları veya cürufur, ilave bir kesme gazının kinetik enerjisiyle kesme yarığında

uzaklaştırılır.

İnce saçların laserle kesilmesinde ışın kalitesinin geliştirilmesi ve buna bağlı olarak iyi bir odaklama sonucu, katı hal laserleri de kullanılabilir. Katı hal laserinin yüksek titreşim kapasitesi, kısa dalga boyu ve enerji modülasyonunun daha iyi olması nedeniyle bakır, gümüş ve altın gibi laser ışığını yansıtan metallerin de kesilmesi mümkün hale gelmektedir. Ancak günümüzde en yaygın kullanılan laserle kesme tekniği CO₂-laseri olduğundan, bu bölümde esas olarak bu yöntem ele alınmıştır.

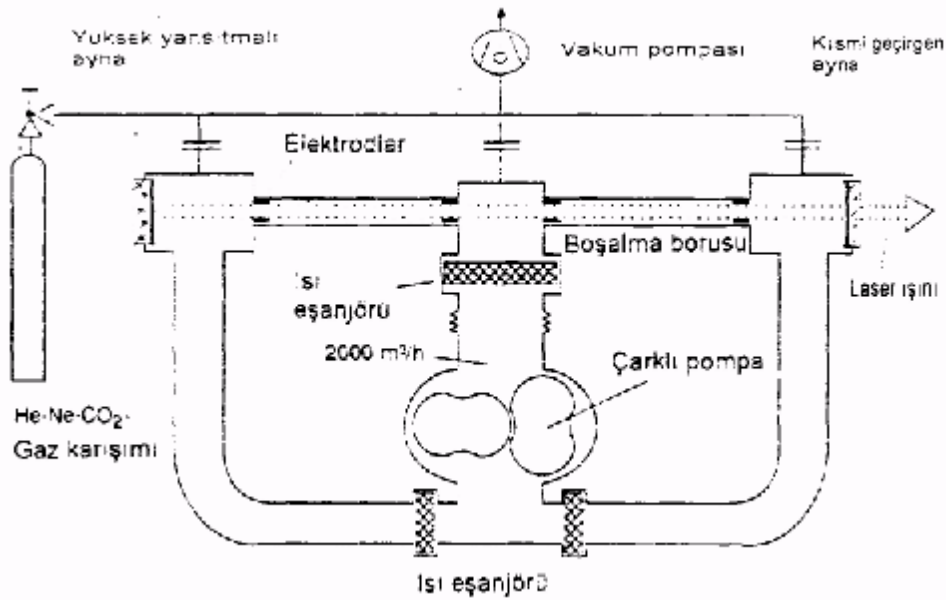
5.2. Laser Işını Üreteçleri

5.2.1. CO₂-Laser Üreteçleri

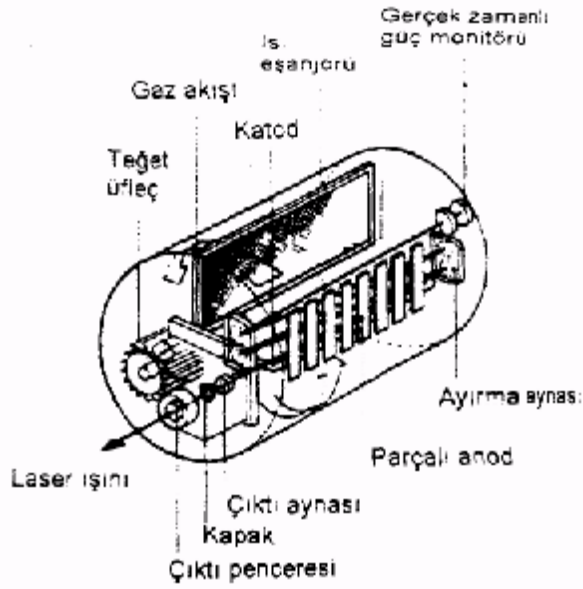
CO₂-Laser üreteçlerinde esas olarak boyuna ve enine tahrikli düzenleme olmak üzere iki yapı formu mevcuttur (Şekil 5.1-a ve 5.1-b). Boyuna tahrikli düzenlemede gaz karışımı, yüksek güçlü pompalar yardımıyla çok yüksek hızlarda, küçük bir laser boru enkesitine sevk edilirken enine tahrikli düzenlemede gaz karışımı, optik eksene dik olarak düşük hızda ancak büyük hacimlerde sevk edilir. CO₂-Laserlerinde büyük oranda resonatör hacminin büyüklüğüne bağlı olan güç arttırımı sağlamak için, çok yüksek güçlü üreteçlerde (P > 10 kW) esas olarak enine tahrikli resonatörler kullanılır.

Bu yapı şekillerinin her birinde ayrıca ya doğru akım veya yüksek frekansla uyarma formları mevcuttur.

Uyarma tekniğine bağlı olarak hem resonatör ve elektrod geometrileri, hem de gaz akış miktarı, laser ışınının özelliklerini değiştirir.



Şekil 5.1. Boyuna tahrikli CO₂-Laseri



Şekil 5.2. Enine tahrikli CO₂ -Laseri

Bir lazer üreticinin seçim kararının verilmesinde, hangi tip işleme (kesme, kaynak veya yüzey işleme) için kullanılacağı etkindir.

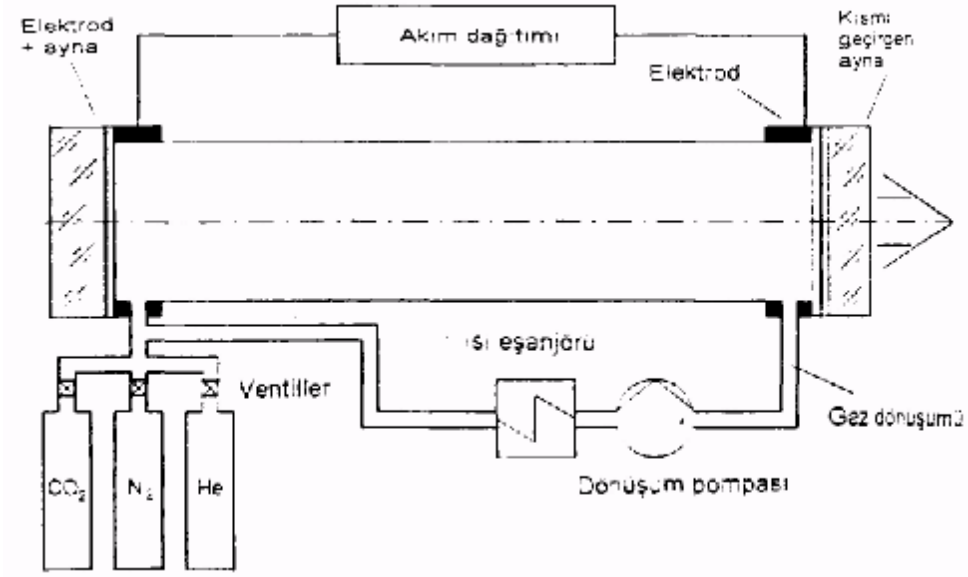
Yüksek güçlü CO₂ -Laserlerinin çoğu, kesme işlemi için kullanılır. Kesme işleminde iyi odaklama özelliği olan, diğer bir deyişle ışın kalitesi yüksek olan bir lazer ışını gereklidir. Boyuna tahrik edilen lazer, uzun rezonatör yapısı sayesinde enkesitinde eşölçülü güç dağılımı olan küçük bir ışın odağı sağlar. 2 kW'a kadar tipik çıkış gücü veren bu üreteçlerle, 0.2 mm'den küçük kesme yarığı genişlikleri elde edilebilir. Bu lazer, yüksek ışını özellikleriyle, büyük portal makinalarda kullanıma uygundur.

Uyarma türü bakımından farklılıklar göz önüne alındığında, yüksek frekansla uyarılan aksel akışlı lazer üreteç sistemleri, işletme şartlarına hızlı cevap verebilmektedir. Ancak HF (yüksek frekans) uyarma türü, ilave ve pahalı bir enerji transformasyonuna gerek gösterir. Bu durum, üreteçlerin verimliliğini ve fiyatını kötüleştirir. Ucuz bir doğru akım (DC)-boşalma tekniği ve transistorlu kumanda devresiyle, çoğu durumda yüksek verimli ve (% 25'e kadar lazer gücü / uyarma gücü) tatminkar işletme sonuçlarına ulaşmak mümkündür.

Enine tahrikli lazer, yüksek mod düzenlemesi ile kötü bir ışın kalitesine sahiptir. Bu lazer, çoğunlukla doğru akımla tahrik edilir.

5.2.2. Laseraktif Malzeme Olarak CO₂

Karbondiyoksit (CO₂) laseri, endüstriyel uygulamada en yüksek ortalama çıkış gücüne sahip bir moleküler gaz laseri sistemidir. Şekil 5 3'te CO₂ -Laseri şematik olarak gösterilmiştir.



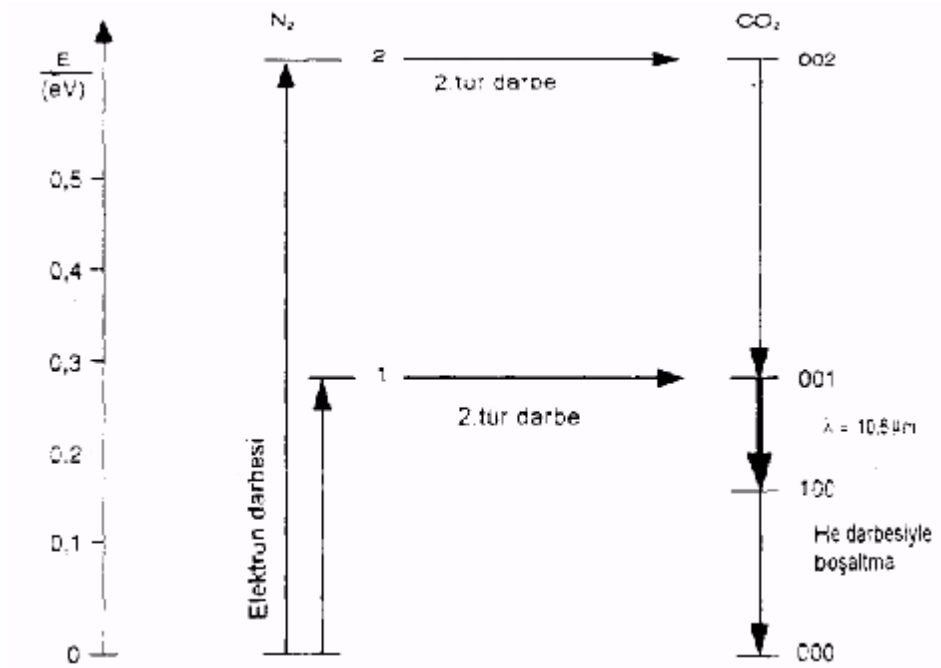
Şekil 5.3. Karbondioksit laserinin prensip şeması

Elektrodlar arasına bir gerilim uygulanmasıyla, düşük basınçlı bir gaz boşalımı tutuşturulur ve elektron darbeleri aracılığıyla **inversiyon** gerçekleşir, inversiyon oluşumu için CO₂ 'e ek olarak azot ve helyum da gereklidir. Elektron darbeleri aracılığıyla CO₂'nin uyarılması için iki yol mevcuttur:

- CO₂ moleküllerinin üst laser seviyesine doğrudan uyarılmasıyla
- Azot ve CO₂ molekülleri arasında 2. türden darbelerle.

İkinci uyarma mekanizması daha yaygındır. Metastabil azotun uzun ömür süresi sayesinde, azot moleküllerinin çok yüksek konsantrasyonunun, enerji bakımından CO₂'nin üst laser seviyesine benzeyen belirli bir duruma ulaştırılması mümkündür. Her iki molekülün darbelenmesiyle, bir enerji transferi oluşur.

Laser işlemindeki üçüncü gaz olan helyum'un görevi, darbe boşalması sırasında alt laser seviyesini hızla boşaltmak ve yüksek ısı iletkenliğiyle gaz karışımını soğutarak alt seviyenin termik bir yüklemeye maruz kalmasını engellemektir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. CO₂'nin termik şeması

CO₂ - Laserinin dalga boyu 10,6 μm'dir.

Bu şekilde gaz boşalımı sırasında oluşan dissosiasyon ürünleri, çıkış gücü üzerine negatif bir etki yapmadığı gibi, gaza ilave bir soğutma etkisi oluşturarak gazın değişmeden kalmasına yardımcı olur. Gaz, ısı eşanjöründe soğutulur ($T_{\text{gaz}} < 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$) ve kısmen yenilenir. Bu durum, özellikle yüksek güçlü üreteçlerdeki yüksek gaz dönüşümü uygulamasında zorunludur.

5.2.3. Nd: YAG Laser Üreteçleri

Nd: YAG Laser üreteçleri, CO₂ sistemleri gibi darbeli ve sürekli (cw) çalışma olmak üzere iki çalışma türüne sahiptir. En önemli üstünlüğü, laser ışınının esken ışık iletim lifleriyle büyük mesafelere (200 m) kayıpsız şekilde iletilebilmesidir.

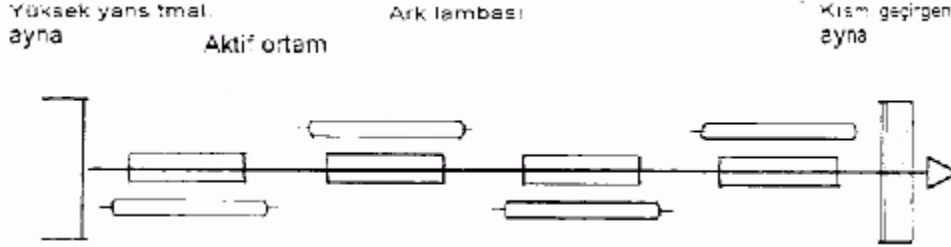
CW-üreteçleri, izafi olarak daha kısa sürede imal edilebilmektedir. Bu üreteçlerin esas kullanım sahası kaynak teknolojisidir. Yaklaşık 2 kW çıkış gücüne kadar erişebilirler.

5.2.4. Darbeli Nd: YAG Laser Üreteçleri

Darbeli Nd: YAG Laser üreteçleri, uzun süredir hassas işleme amacıyla kullanılmaktadır. Yaklaşık 100 W'a kadar bir güç sınıfına dahil cihazların kullanım sahası, çok küçük deliklerin ($\Phi \approx 10 \text{ } \mu\text{m}$) açılması, CrNi-çeliğinden çok küçük basınçlı kapların sızdırmaz kaynağı, elektrooptik parçaların vakum altında kaynağı ve hassas konturların kesilmesidir.

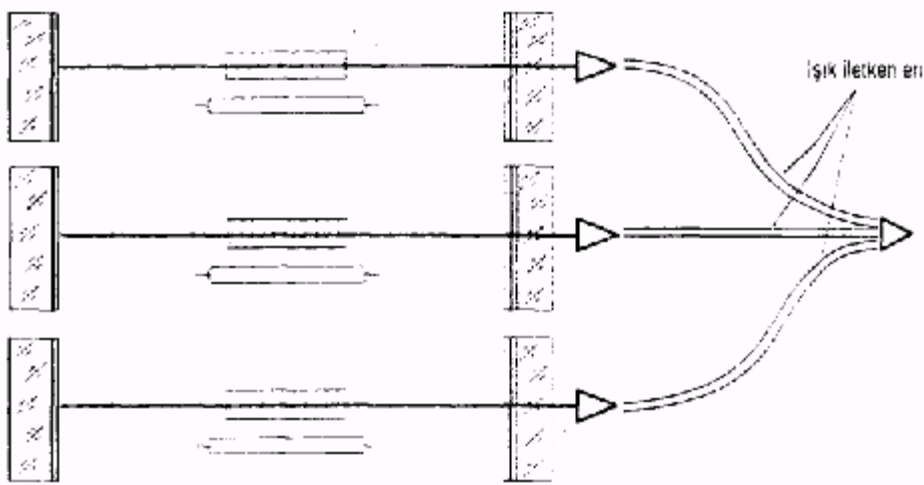
500 W'ın üzerinde çıkış gücüne sahip Nd:YAG laser cihazları, termik bakımdan sadece tek bir boşlukla (laser üretecinin giriş ve çıkış aynaları arasındaki hacim) ve lamba uyarmalı olarak gerçekleştirilemezler. Bu nedenle çıkış gücünü arttırmak için (günümüzde yaklaşık 2 kW'a kadar) boşluk sayısı arttırılabilir veya

birkaç tane tek boşluklu laser üretici, ışın iletim lifleriyle bir işleme optiğinde birleştirilebilir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Çok boşluklu resonatör yapısı

Bir laser üreticinin laser ışınının birkaç noktaya dağıtılabilmesi ve daha iyi kullanılabilmesi amacıyla, ışık liflerinin seri veya paralel olarak esenlenmesi ile birkaç çalışma istasyonunda çalışma yapmak da mümkündür (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. Üçlü sistem

CO₂-Laserine oranla on kat daha kısa dalga boyuna sahip Nd: YAG laseri, ilave bir üstünlüğe sahiptir. Çoğu metalde, ışının absorbe edilme kabiliyeti dalga boyunun kısalması ile artar. Bu sayede bu sistemde daha yüksek güçler iletilebilmekte ve alüminyum ve bakır gibi, bir yüzey önışlemi uygulanmadan kesilemeyen metallerin absorpsiyon kabiliyetleri yükseltilmektedir.

5.2.5. Laseraktif Malzeme Olarak Nd: YAG

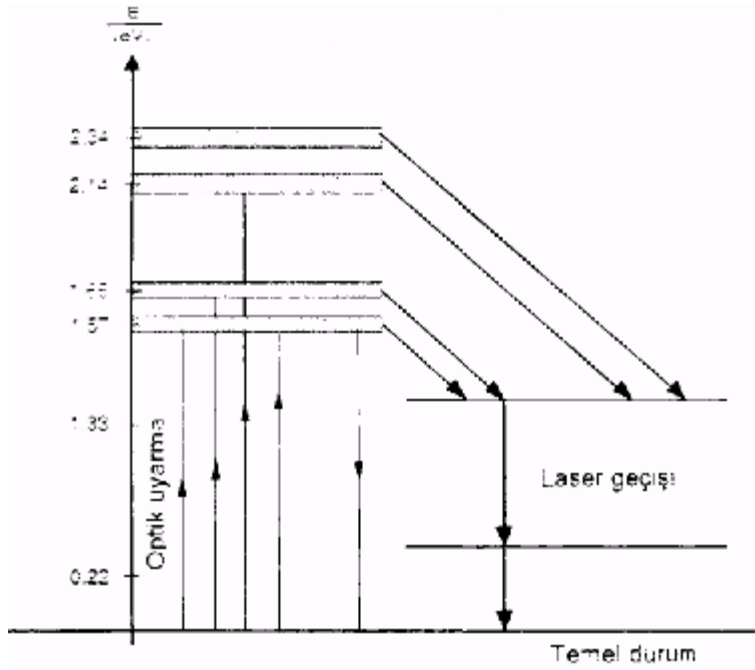
Endüstriyel olarak kullanılan en önemli katı cisim laseri, Neodim (Nd):YAG laseridir. YAĞ, Yttrium-Aluminium-Granat'ın kısaltılmış şeklidir. Bu laser türünde laser yayan eleman, Neodim'dir. Tipik verim halinde, kristalin % 1'i iyon haline geçer. Bir gaza göre katı bir cismin atomları çok daha yoğun şekilde dizildiklerinden, birim hacimde daha çok atom bulundurlar. Bu nedenle katı cisim laserinin amplifikasyonu ve çıkış yoğunluğu daha yüksektir.

Neodim'in uyarılması, yüksek güçlü ark lambalarının ışığıyla yapılır. Neodimin absorpsiyon

spektrumunda iyi bir toplam etkinlik derecesi elde etmek üzere Nd: YAG kristali ışığa maruz bırakılırsa, neodim bu ışığı absorbe ederek uyarılmış hale gelir. Bu uyarma seviyesinde geçen süre çok kısadır ve iyon, hızla üst laser seviyesinin biraz üzerine çıkar Bu sırada serbest kalan enerji, ısı enerjisi olarak kristale geçer.

Uyarma bandlarının dışında bulunan ışın, uyarma işlemi için kullanılamaz ve sadece kristalin sıcaklığını yükseltir. Laser işlemi sırasında kullanılmayan frekans kısmını oluşturan bu ısıtma, çıkış gücü ve ışın kalitesi bakımından, tüm lamba ile uyarılan katı cisim laserlerinde önemli bir rol oynar.

Laser seviyesinin altı boştur: burada hiçbir termik kanun geçerli değildir veya olsa bile, kısa sürede tekrar boşaldığından etkisizdir. Bu nedenle laser seviyesinin üzerindeki ilk dolu bandda inversiyon başlar. Laser çıkışının dalga boyu 1,064 μm 'dir (Şekil 5.7).



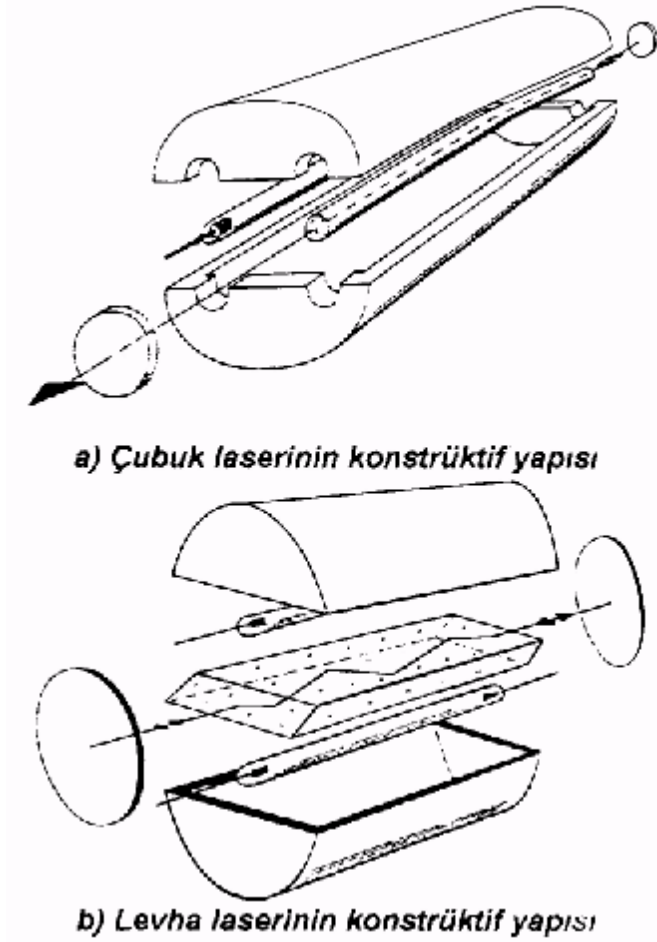
Şekil 5.7. Nd: YAG-Laserinin termik şeması

Uyarmanın doğrudan gaz boşalımı şeklinde yapıldığı gaz laser sistemlerinin tersine Nd: YAG sistemlerinde uyarma ışıkla yapılır.

Yüksek ısı yayılımı nedeniyle, hem ark lambasında hem de laser kristalinde, harcanan elektrik gücünün yaklaşık % 95-97'sinin, sisteme tekrar geri verilmesi gerekir. Bu nedenle lamba ve kristalin etkin şekilde su ile soğutulması zorunludur.

Bu yapı grubu - kristal - lamba(lar) ve yansıtıcı silindir (reflektör) - boşluk" (kavite) olarak da tanımlanır.

Katı cisim laserlerinde laseraktif malzemenin geometrisi iki türde olabilir. Bunlardan birincisi ve hâlihazırda en çok kullanılan geometri, Çubuk'tur. Bugün temin edilebilen çubuk boyu 200 mm'dir ve çap da 6-10 mm'dir. Bir boşlukla maksimum 500-600 W'a ulaşılabilir (Şekil 5.8-a). Günümüzde yeni yeni kullanılmaya başlanan diğer kristal formu ise levha'dır. Bu tip levha kristallerin en büyük boyutu 200x27x7 mm'dir. Bu kristal geometrisinin imalat işlemi, çubuklara göre biraz daha zor olduğundan daha pahalıdırlar. Konstrüktif düzenleniş şekli, çubuk kristalin düzenlenmesine göre daha etkin bir soğutma sağlar. Böylece ışın kalitesi ve çıkış gücü yükselir (Şekil 5.8-b).



Şekil 5.8. Nd: YAG laser kristallerinin yapıları

5.2.6, Diğer Gaz Laser Üreteçleri

He-Ne laseri, tarih bakımından en eski gaz laseridir. Kızılötesi dalga boyu bölgesindedir (632,8 μm). Uyarma işlemi, CO_2 -Laserlerindeki gibi, helyumun enerjisinin darbelerinin Neon'a uygulanmasıyla uyarılmış bir durumun üzerine çıkarılmasıyla gerçekleştirilir.

Bu laser cihazları, düşük çıkış güçleri nedeniyle, özellikle gösteri ve eğitim amacıyla

kullanılmaktadır.

Excimer-laseri'nde laser ışınının uyarılması, düşük basınçlı bir akkor ışık deşarj lambasının uyarmasıyla soygaz halojenidinin oluşumuyla gerçekleştirilir. Gerekli laser ortamı, argonflorür (ArF, $\lambda=193$ nm), Kriptonflorür (KrF, $\lambda =248$ nm), Xenonklorür (XeCl, $\lambda=308$ nm) ve Xenonflorür (XeF, $\lambda =351$ nm)'dir.

Bu laser tipine, büyük endüstriyel tesislerde henüz yaygın olarak rastlanmamıştır. Maksimum çıkış gücü 300 W civarındadır. Özellikle yarıiletken endüstrisinde hassas yapıların oluşturulmasında ve plastiklerin üzerine yazı yazılmasında kullanılmaktadır.

5.3. Laser Işını

Resonatör ve laseraktif maddeden oluşturulan bir laser ışınının dalga boyu, diverjans, polarizasyon ve güç yoğunluğunun dağılımı özellikleri nedeniyle kesme kalitesine doğrudan etki yapar.

5.3.1. Laser Işınının Dalga Boyu

Laser ışınının dalga boyu, laseraktif malzeme tarafından oluşturulur. Azalan dalga boyu ile metallerin absorpsiyon özelliği arttığından ve ışının odaklanması kolaylaştığından, laser ile kesme işleminde laser ışınının dalga boyu çok büyük önem taşımaktadır. Örneğin 1,06 um dalga boyu olan bir Nd: YAG laseri, dalga boyu 10,6 um olan bir CO₂ laserine tercih edilmektedir. Ancak sınırlı güç ve yetersiz ışın kalitesi gibi bazı teknik nedenlerden, katı hal laserleri tam verimle çalıştırılmamaktadır.

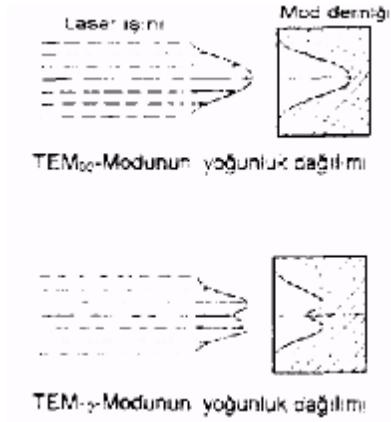
5.3.2. Mod (Yoğunluk Dağılımı)

Bir laser ışınının enkesitindeki yoğunluk dağılımı mod olarak değerlendirilir. Resonatör konfigürasyonu ve laseraktif madde tarafından belirlenen mod, laser ışınının yayılma ve odaklanma özelliğini doğrudan etkiler. Mod sayıları TEM (Enine uyarılmış Elektromanyetik Mod = Transverse Electromagnetic Mode) cinsinden yazılır. Örneğin TEM₀₀ temel modu normal dağılıma sahip bir Gauss etki dağılımını göstermektedir.

Bir laser ışınının en küçük odak noktasına ve dolayısıyla en yüksek enerji yoğunluğuna (moda) sahip olabilmesi için bu temel moda mümkün olduğu kadar yaklaşması gerekir.

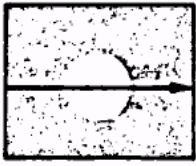
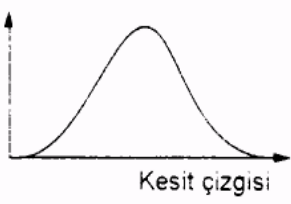
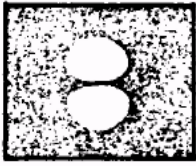
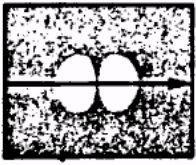

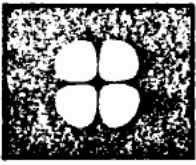
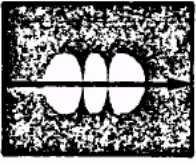

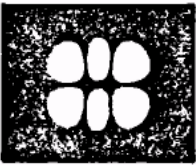
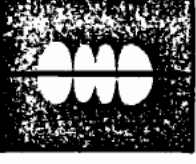

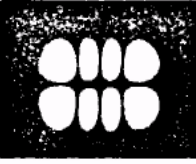
Mod ne kadar yüksek olursa, ışın da o derece zor odaklanmaktadır. Modun çok yüksek olmaması halinde, bu durum kesme işlemi pek fazla etkilemez. Yapı çeliği üzerinde yapılan araştırmalar, TEM₀₀ ve TEM₀₁ modlarındaki ışınlarla ulaşılan kesme hızlarının aynı mertebede olduğunu göstermiştir.

Şekil 5.9'da laser ışınının yoğunluk dağılımının (modunun) enkesiti gösterilmektedir.



Şekil 5.9. İki farklı laser ışınının yoğunluk dağılımlarının (modlarının) enkesiti

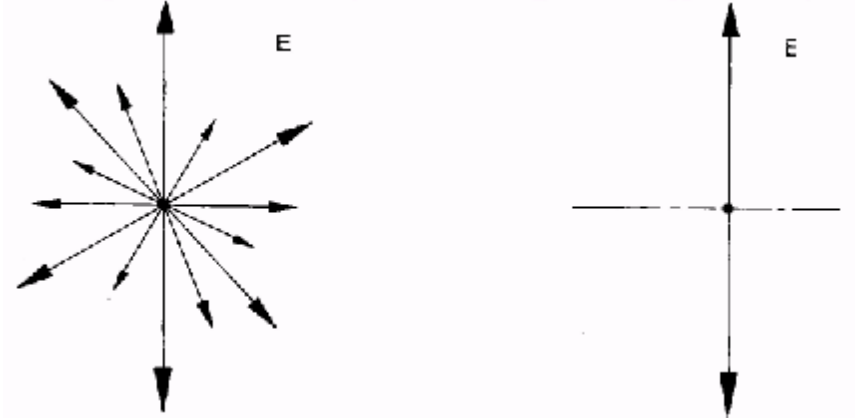
Şekil 5.10'da ise, laserle kesme sistemlerinde en sık rastlanılan mod türleri verilmiştir. Şekilde de verildiği gibi, laser ışını tek sıralı veya iki sıralı olabilmekte; ayrıca bu sıraların her birinde birden fazla ışın odağı da bulunabilmektedir. Sıra ve odak sayısının artması, ışın kalitesinin ve dolayısıyla kesilebilecek saç kalınlığının düşmesine neden olmaktadır.

TEM _{0n}			TEM _{1n}	
Resim	Yerel yoğunluk dağılımı	Tip	Resim	Tip
		TEM ₀₀		TEM ₁₀
		TEM ₀₁		TEM ₁₁
		TEM ₀₂		TEM ₁₂
		TEM ₀₃		TEM ₁₃

Şekil 5.10. En yaygın enine modların şekilleri.

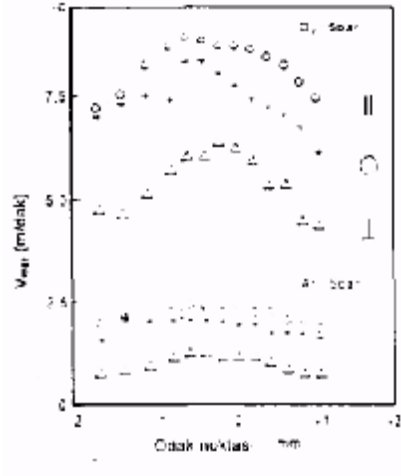
5.3.3. Polarizasyon

Laser ışınıyla kesme cihazları, kesme yönüne bağlı olmadan eşölçülü ve yüksek kesme kalitelerine ulaşabilmek için bir polarizatörle donatılmıştır. Polarizatörün görevi, laser ışınının polarizasyonunu değiştirerek tüm yönlerde aynı özelliklere sahip olmasını sağlamaktır (Şekil 5.11.).



Şekil 5.11. Polarizasyon (solda doğal ışık, sağda polarize ışık)

Dolayısıyla günümüz laserleri, lineer veya dairesel polarizasyonla ışınlar oluşturur. Lineer polarizasyonlu laser ışınıyla kesme işleminde, kesme yönüne bağlı olarak polarizasyon yönüne paralel veya dik doğrultuda değişik etkiler görülmektedir. Şekil 5.12'de bir CO₂ laseri üzerinde polarizasyon yönünün çelik saçların kesme hızına etkisi görülmektedir.



Şekil 5.12. 1kWCO₂ laseriyle 2 mm'lik çelik saçın kesiminde polarizasyon yönünün erişilebilen maksimum kesme hızlarına etkisi.

Kesme yarıkları, kesme yönüne bağlı olarak değişik şekillerde oluşabilmektedir (Şekil 5.13)



Şekil 5.13. Polarizasyon şeklinin yarık profiline etkisi.

(Polarizasyon yönüne 0°, 45° ve 90° açıyla;

malzeme: St34; 1 kWCO₂)

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

5.3.4. Işın İşaret Sayısı

Bir laser ışınının kalite kontrolünde deneysel yollarla bulunan büyüklük, ışın işaret sayısı **K**'dir. Işın işaret sayısının tayini için odaklanmamış ve odaklanmış ışının çapı ve odak derinliği ölçülür. Bu değer ne kadar büyükse, ışının kalitesi de o derece yüksek olur. Bu sayının maksimum değeri "1"dir. Bu değer Gauss etki dağılımında **TEM₀₀** moduna karşı gelmekte ve laser ışınının en dar ıraksaklığını göstermektedir. Bir laser ışın donanımının değerlendirilmesinde, ışın işaret sayısının yanında ışın kapasitesinin de göz önünde bulundurulması gerekir.

5.3.5. Dengeli Kapasite

İyi bir kesme elde etmek için kesme işlemi boyunca laser ışınının kapasitesinin sabit kalması gerekir. Kapasitedeki sapmalar, ışının oluşturduğu sıcaklıkların ve dolayısıyla kesme kapasitesinin ve kesme kalitesinin değişmesine neden olmaktadır.

Genel olarak laser üreticileri 24 saat çalışacak şekilde tasarlanmış \pm % 2 dengeli kapasiteyi garanti etmektedir. Laser ışınının kapasitesini ve modunun stabilitesini garantileme, resonatörün optik

elemanlarında ölçü değışikliklerinin önüne geçilmesiyle mümkündür. Bu işlem, uygun soğutma tertibatlarıyla veya sınırlı ısı kaybına sahip malzemeler kullanarak sıcaklığın sabit tutulmasıyla sağlanmaktadır.

5.3.6. Çalıştırma Türleri

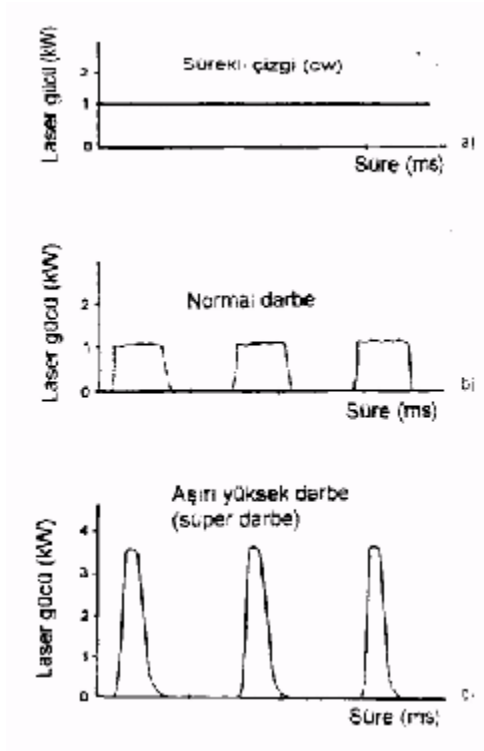
Laser ışınıyla kesme işlemi için gereken enerjinin iletimi, ya bir "**sürekli çizgi**" yani cw-çalıştırma (continuous wave = sürekli dalga) veya bir **darbeli çalıştırma** formunda yapılabilir. Her bir çalıştırma türünde laser parametrelerinin seçiminin ve ayarının kendiliğinden sağlanması için, işletme ekipmanının CNC komutlarının laser komutları ile uyumlu olması gerekir.

Sürekli çizgi (cw-çalıştırma)

Bu çalıştırma türünde laser kapasitesi kesme işlemi sırasında sabit kalır (Şekil 5.14-a) ve her zaman diliminde yüksek bir enerji çıkışı sağlar. Bu sayede darbeli çalıştırma türüne göre daha hızlı bir kesme olanağı verir. Dolayısıyla düz kesmeler cw-çalıştırma türüyle, zor kesilebilen kenarlar ise darbeli çalıştırma türüyle oluşturulur.

Darbeli çalıştırma

Keskin köşeler, sivri açılar, ince göbekler ve dar kesimler gibi yüksek sıcaklığa duyarlı hatların kesiminde cw-çalıştırmanın uygulanması halinde, bu tür kenarlar eriyebilmektedir. Dolayısıyla bu tür yerlerde cw-çalıştırma şekli kullanılamamaktadır. Darbeli çalıştırma türünde sıcaklık dengelenebilmektedir. Darbeli çalıştırmada pratikte iki farklı darbe türü mevcuttur. Bunlar normal darbe ve yüksek darbe (süper darbe)'dir (Şekil 5 14-bveŞekil5.14-c). cw-laseriyle darbe laserini işleme kapasitesinin optimizasyonu bakımından karşılaştırırken, değışimin etki süresi, darbe enerjisi, darbe tepe güçleri ve soğuma etkisi faktörlerinin de göz önüne alınması gerekir.



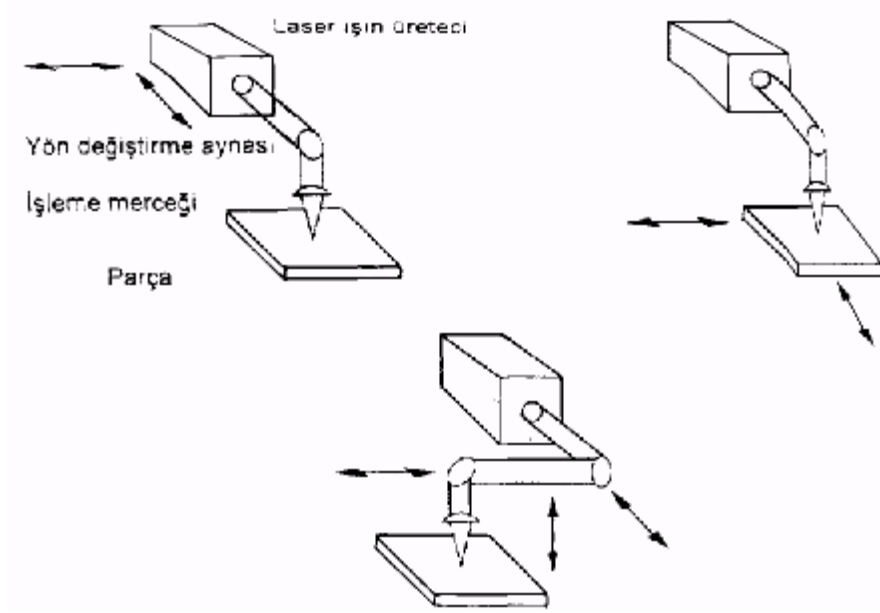
Şekil 5.14. Farklı işletme türlerinde (sürekli ve darbeli) laser ışın güçleri

5.3.7. Işın Yönlendirme

Günümüzde laser ışınının yönlendirilmesi için, ayna ile yönlendirme ve ışın yönlendirme lifleri olmak üzere iki yöntem kullanılmaktadır. CO₂ laserlerinde sadece aynalı yönlendirme sistemi kullanılır. Bunun nedeni günümüzde 10,6µm'den daha yüksek güçleri ışın lifleriyle iletmenin mümkün olmamasıdır.

Nd: YAG laserlerinde her iki yönlendirme sistemi de kullanılmaktadır. Yüksek güç katı cisim laserinde laser gücünün değişmesi, ışın parametrelerinde de büyük değişimlere yol açmaktadır. Aynalı yönlendirme sistemi kullanıldığında odaklama durumu ve odaklama çapı da değişmektedir. Bir ışın lifi (Gradyan-indeks-cam lifi) kullandığında ise bu parametreler çok değişmemektedir. CO₂ laserinde ise ışın parametreleri, artan güç nedeniyle hemen hemen sabit hale gelmektedir. Orta güçteki bir Nd:YAG laseriyle karşılaştırıldığında yaklaşık 10 kat daha az etkilenmektedir.

Şekil 5.15'de şematik olarak bir aynalı yönlendirme sistemiyle ışın ile işlenecek parça arasındaki izafi harekete göre ışın yönlendirmesinin nasıl yapıldığı gösterilmiştir.



Şekil 5.15. Prensipite mümkün olan izafi hareket oluşturma yöntemleri;

ışın kaynağı hareketli (üst sol);

işlenecek parça hareketli (üst sağ);

hareketli parça ve hareketli yönlendirme aynası ile

iki döndürme ekseni (alt).

5.3.8. Odaklama Elemanları

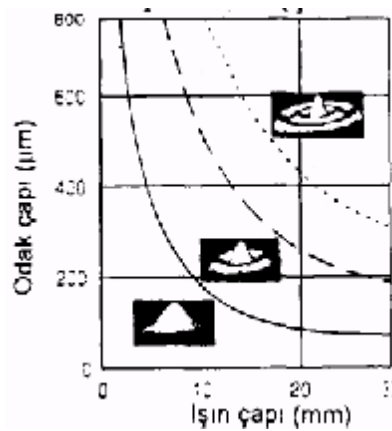
Laser ışınının odaklanmasında en çok kullanılan eleman mercektir. CO₂ laseri ve Nd: YAG laseri odaklamasında mercek kullanılır. Laser ışını odaklamasında kullanılan mercekler, CO₂ laserinde GaAs veya ZnSe ve Nd: YAG laserinde de özel kaplamalı cam kullanılır. Mercek çalışma kafasına monte edilmiştir ve aynı zamanda kesme gazının basınç oluşturmaları için basınç kapısı görevini de üstlenir. Bu nedenle merceğin gaz basıncına dayanıklı olması ve mesnet şeklinin sızdırmaz olması gerekir. Çok az da olsa mercede absorbe edilen kısmi laser ışınının etkisiyle deformasyon görülür. Bu deformasyon odaklamanın kaymasına yol açar. Laser ışınının gücü arttıkça, absorbe edilen enerji de artmakta ve dolayısıyla odaklamanın kayması da artmaktadır. Bunu engellemek için çoğunlukla su soğutma sistemleri kullanılır. Su ile soğutma ancak merceğin kenarlarına uygulanabilmektedir. Kesme gazıyla da kısmi bir soğuma etkisi sağlanmaktadır. Kesme gazının soğutmasının en önemli avantajı, merceğin termik yükünün zaten fazla olan ortasından soğutulmasıdır. Kesme gazıyla soğutmanın dezavantajı ise, kesme gazının basıncının düşük olduğu durumlarda soğutma etkisinin yetersiz kalabilmesidir.

Diğer bir yaygın olarak kullanılan odaklama elemanları da aynalardır. Aynalar su ile iyi şekilde soğutulabilmekte ve bu sayede de termik olarak daha yüksek güçleri kaldırabilmektedirler. Bu özelliklerini, yüksek yansıtma özelliklerine sahip malzeme ile kaplı olmaları nedeniyle kazanırlar ve ortalama güçleri 5

kW olan laserlerde kullanılabilirler. Merceklerde termik yüklemekten kaynaklanan odaklama kaymasının etkisi, aynalı sistemlerde çok daha azdır. Eğer kesme gazının basınçlanması, çalışma kafasının içinde oluşuyorsa gaz geçirmez bir pencere oluşturulmalıdır. Ayna optiği, kromatik hata göstermez; bu sayede her dalga boyundaki laserler için kullanılabilirler. CO₂ laserlerinde kullanılan aynalar genelde mekanik özellikleri arttırmak ve daha iyi yansıtma özelliği kazandırmak amacıyla özel kaplamalı bakır aynalardır. Nd: YAG laserlerinde ise kısmen alüminyum aynalar kullanılmaktadır.

5.3.9. Odaklama

Bir malzemeyi laserle kesebilmek için minimum bir güç yoğunluğu gerekir. Bu da yüksek bir odaklama kabiliyetini zorunlu kılar. Ancak odaklama kabiliyeti, artan mod ile kötüleşmektedir (Şekil 5.16)



Şekil 5.16. Mod düzeninin odaklanma çapına etkisi

Odaklama çapı, aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$D_s = 2,44 K F / D$$

Burada

d_s = odak noktasının çapı

K = optik ışın moduna bağlı bir sabit (Tablo 5.1'e bakınız)

F = mercek veya aynanın odak uzunluğu (mm)

D = laser optik dalga boyu (μm).

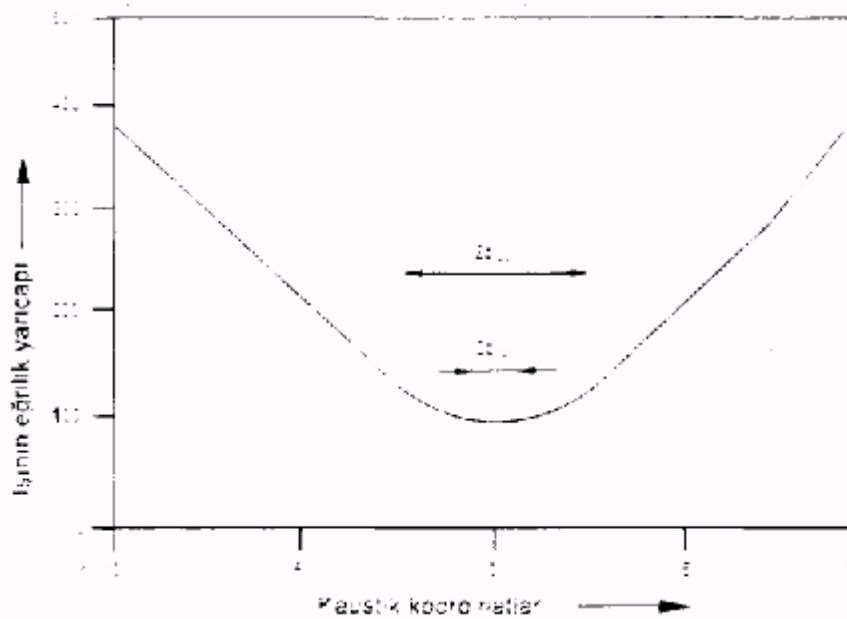
Tablo 5.1. Işın modunun odaklanabilirliğe etkisi.

Laser ışın türü	K
1 Uniform dalga	1
2 Gaussiyen ışın	0,86
3 Kararsız rezonatör**	
a M=2**	4
b M=4	3,5

* M: Büyütme

** Açısal bir ışının büyütme oranı = Işının dış çapı / Işının iç çapı

Malzeme üzerinde yüksek güç yoğunlukları elde etmek ve yüksek kesme hızlarına çıkabilmek için odaklanma çapı mümkün olduğu kadar küçük olmalıdır. Ancak Rayleigh uzunluğunun malzeme kalınlığına uygun seçilmesi gerekir. İnce saçlar küçük odaklanma işaret sayısı ve kalın saçlar da yüksek odaklanma işaret sayısı ile kesilir. Ana kural şu şekildedir. Rayleigh uzunluğu yaklaşık olarak saç kalınlığının yarısı olmalıdır. Büyük Rayleigh uzunlukları üçboyutlu işlemede kullanılmalıdır. Bu şekilde işleme hataları, işleme sonucunu çok da az etkilemektedir. Bu noktada Rayleigh uzunluğu arttıkça odaklama çapının da arttığı ve sonuçta güç yoğunluğunun azaldığına dikkat etmek gerekir. Yine aynı güç yoğunluğunun elde edilmesi için laser ışınının gücünün artırılması zorunludur (Şekil 5.17).



Şekil 5.17, Işın radyanları ile değişik odaklamada Rayleigh uzunluğunun değişimi. ($f = 63,5 \text{ mm}$, $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$, mercek üzerinde farklı çapta iki ışın.)

Bir kesme sisteminde işleme sonucunun devamlı olarak aynı kalabilmesi için odaklama işaret sayısının sabit kalması gerekir.

5.3.10. Odak Konumu

Odak konumu, kesme koşullarına bağlı olarak optimize edilir. Genelde başlangıç için odak konumu olarak malzeme yüzeyi seçilir ve buradan hareketle optimum konum saptanmaya çalışılır. En yüksek kesme

hızını veren odak konumu, her zaman en iyi kesme kalitesini vermeyebilir. En iyi kesme kalitesi veren odak konumu da çok yavaş bir kesme hızına neden olabilir (Kural: ince saçlarda yüzeyde, kalın saçlarda ise yüzeyden itibaren Kalınlığın 1/3'ü kadar içeride odaklama iyi sonuç verir). Bazı durumlarda oluşan sakal şeklini yok etmek için odaklama konumu olarak saçın alt yüzeyi de seçilebilir. Bu şekilde kesme sırasında oluşan eriyik biraz daha sıcak olur ve viskozitesi de düşük kalır; kolayca akar ve uzaklaşır.

Kesme yarığı, saçın üst kısmında konik şekilde girer. Bu durum gaz akışına olumlu etki yapar. Bu yöntem her zaman kullanılamayabileceğinden uygulanıp uygulanmayacağını denemesi gerekir. Örneğin saçın alt kenarı seviyesinde veya daha altta odak konumu seçilebilir. Bunu sakıncası da çok dar bir kesim aralığı oluşturmasıdır.

5.4. Kesme Gazları

Laser ışınıyla kesmenin etkin şekilde yapılabilmesi için laserle yakarak, eriterek ve buharlaştırarak kesme işlemlerinin her birinin özelliğine uygun kesme gazlarının kullanılması gerekir. Bir kesme gazının görevi, oluşan cürupları, eriyikleri veya metal buharını kesme yarığında uzaklaştırmak ve odaklama merceğinin kirlenmesini önlemektir.

5.4.1. Oksijen

Laserle yakarak kesme işleminde kullanılan oksijen, kesilen malzeme ile egzotermik reaksiyona girer ve bu reaksiyonun ürettiği ek ısı, kesme hızını artırır. Oksijenin saflığı kesme kalitesine, cürup birikimine ve çapak oluşumuna büyük etki yapar. Oksijenin saflığındaki örneğin % 99,97'den % 99,5'e bir azalma, laser ışınıyla yakarak kesme işleminde kesme hızında önemli oranda bir düşüşe neden olur. Oksijen ne kadar saf ise, kesme de o derece hızlı olur. Ancak oksijenin saflığı % 99,5'tan fazla olsa bile, havadaki azotun veya nemin difüzyonu, boru hattının sızdırması, uygun şartlarda olmayan hortumların veya armatürlerin kullanımı nedeniyle saflığı düşebilmekte bu da kesme kalitesini düşürerek cürup birikimine neden olmaktadır.

5.4.2. Azot ve Argon

Laserle eriterek veya buharlaştırarak kesmede, erimiş veya buharlaşmış malzemenin kesme yarığında uzaklaştırabilmesi için, soy veya düşük reaksiyon hızına sahip gazların kullanılması gerekir. Bu gazlar için en uygunları argon ve azottur. Bu gazlar, kesme yarığında yanma oluşumunu engellemekte ve kesme yüzeylerinin oksit içermemesini sağlamaktadır. Dolayısıyla laserle yakarak kesmedeki gibi kesme yüzeylerinin sonradan işlenmesine gerek olmamaktadır.

5.4.3. Basıncı Kesme Gazı

Donanıma ek olarak kullanılan kesme gazının basıncı da kesme kalitesini belirleyen bir parametredir. Laserle yakarak kesme işleminde genel olarak 6 bar basınca sahip oksijen kullanılmaktadır. Ticari olarak mevcut odaklama mercekleri, daha yüksek basınçta oksijenin kullanımına izin vermemektedir. Saç kalınlığına ve oksijenin basıncına uygun meme kullanmak

gerekir. Oksijen basıncının ve meme çapının optimizasyonuyla, kesme hızını yükseltmek mümkündür. Oksijen basıncının çok yüksek olması durumunda kesme yüzeylerinde oyuklaşma meydana gelmektedir.

5.4.4. Kesme Gazı Türü ve Kalitesi

Yakarak kesmede oksijenin saflığı çok önemlidir. Yüksek saflıktaki oksijen ile teknik oksijene göre daha yüksek kesme hızları ve daha kaliteli kesim mümkün olmaktadır. Örneğin oksijen saflığının % 98.8 den % 99.97'ye çıkması kesme hızını % 20 - % 100 arttırmakla birlikte kesim kalitesi de artmaktadır.

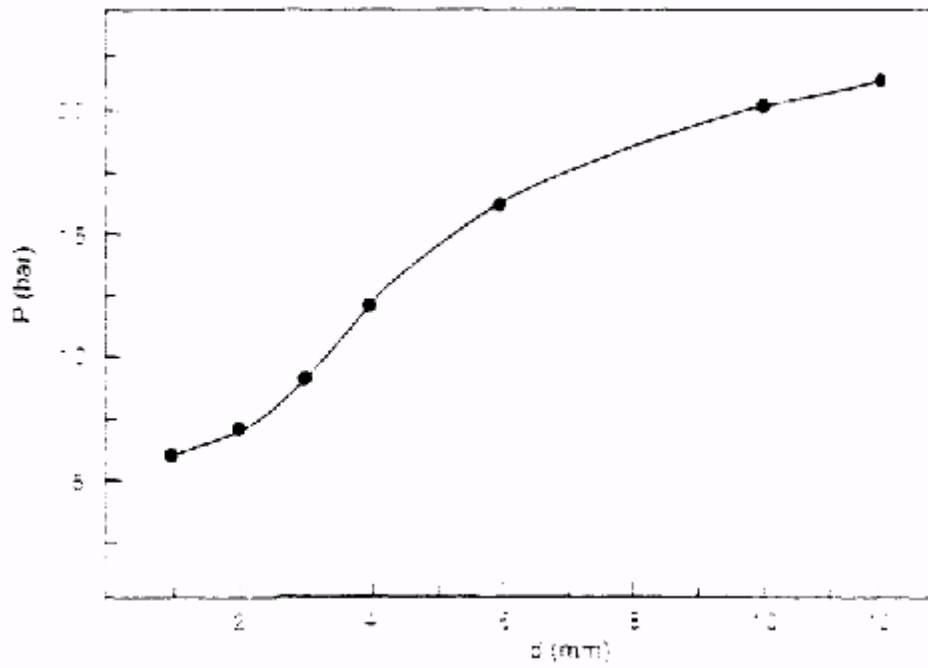
Kesme noktasında reaktif gaz konsantrasyonunu azaltmak için gaz karışımlarıyla çalışılır. Bu işlem için reaktif gaza inert gaz karıştırılır.

Eriyiğin süpürülmesini engelleyen reaksiyon ürünlerinin (örneğin yüksek sıcaklıklarda eriyen krom oksitleri) oluşmasını engellemek için inert gazların kullanılması zorunludur. Birçok çelik malzeme için ise daha ucuz olması bakımından azot kullanılabilir, nitrasyon ile kırılğan yapıya kavuşan veya çatlaklar oluşan çelik türleri için ise Argon kullanılması tavsiye olunur.

5.4.5. Basınç

Ayarlanacak gaz basıncı malzemeye ve kesme türüne bağlıdır, inert gaz ile çelik kesildiğinde kural olarak basıncın yüksek olması gerekir. Artan malzeme kalınlığına rağmen aynı kesme kalitesinin elde edilebilmesi için daha yüksek gaz basınçları gerekmektedir (Şekil. 5.18).

Çelik kesiminde bazı kalınlıklardan itibaren sadece oksijen ile yakarak kesme ile kesim yapılabilir. Oksijen basıncı etkisiyle hız artışı sınırlıdır, artan gaz hızı ile izoterm reaksiyon engellenmekte ve düzgün kesim mümkün olmamaktadır. Oksijen basıncı malzemeye bağlı olarak seçilir. Örneğin alaşımsız ve düşük alaşımlı yapı çeliklerinde 1 bar ile kesim gerçekleştirilir. Buna karşın yüksek alaşımlı çeliklerde 10 bar ile kesim yapılır. Eğer eriyiğin kesme ağzından uzaklaştırılması için oksijene ilave olarak inert gaz kullanılırsa, bu gaz yüksek basınçta olmalıdır.



Şekil 5.18. Paslanmaz çeliğin çapaksız kesimi için gerekli gaz basıncı (CO₂ - Laseri, 1 kW, azot)

Maksimum basınç, basıncın oluşum şekline de bağlıdır. En basit basınçlandırma optik ile olanıdır. Bunun için geçirgen bir optik (pencere veya mercek) gereklidir. Bu optiğin kalınlığı maksimum basıncı belirler.

5.5. Kesme Memeleri

Kesme gazlarının iletimi için kesme memeleri kullanılmaktadır. Bu memeler, laser ışınına maruz kalmayacak tarzda tasarlanır. Kesme gazının memeden çıktıktan sonra dağılması gerekir. Kusursuz bir kesme Demesinde aranan özellik yüksek bir kesme kalitesine ulaşmak için kesme yarığının alt kenarlarında cüruf veya çapak oluşumuna yol açmamasıdır. Kesme gazının memeden çıktıktan sonra dağılması, memenin enkesitine kesme gazının basıncına ve türüne bağlıdır.

Meme ucu şekli (silindirik veya laval şekli) , çıkış çapı, malzemeye olan mesafe ve kesme gazı basıncı kesme işlemi esnasında gaz akımının şeklini etkiler. Bu etkilerle aynı meme ile değişik sonuçların elde edilmesi mümkündür.

En yaygın olan meme şekli konik veya silindirik çıkışlı ve laser ışınına koaksiyal konumlu memedir. Bu meme şekli ile verimli bir kesme elde etmek için meme ucunun malzeme yüzeyinden mesafesi milimetrenin onda biri kadar olmalıdır.

Değişik iç kontürlü memeler ile gaz akımının ses hızının üzerine çıkması sağlanabilir (Bu durumlarda gaz basıncı > 1 bar'dır). Bu şekilde malzeme yüzeyi ile meme arasında daha fazla mesafelerle kesim yapmak mümkün olmaktadır.

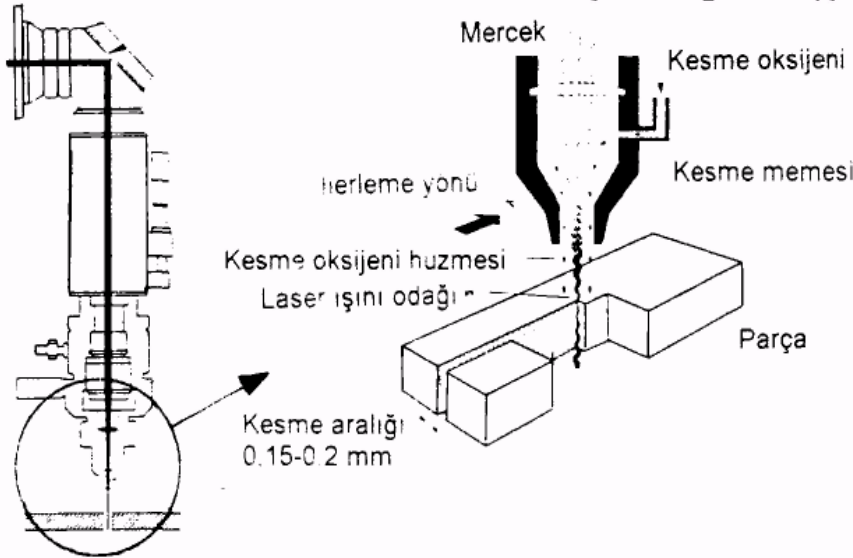
Kesim ağzında eriyik halindeki malzemenin düzgün bir şekilde çıkmasını sağlamak için bazen

kesme gazının kütleysel debisini artırmak gerekebilir. Bu etki, gaz çıkış çapının büyütülmesiyle sağlanabilir. Bu işlemin sakıncası, kesme gaz tüketiminin aşırı artmasıdır. Örneğin kalın saçları kesmek için koaksiyal memeye yardımcı ilave memeler kullanmak gerekir. Yardımcı memeler özellikle kesme ağzının alt kenarını "süpürür". Kontür kesimi için ise yöne bağımlılık önemlidir.

Kesme işlemi esnasında oluşacak damlacıklar bazen memeye yapışabilir. Kesmenin sağlıklı olabilmesi için memenin tıkanmamasına özellikle dikkat edilmelidir. Tıkanmalar hem gaz akımını hem de laser ışınına kötü etkiler. Sonuçta kesme kalitesi kötüleşir veya kesme hızı düşer.

5.6. Laser Işınıyla Kesmenin Prensibi

Laser ünitesinden çıkan laser ışını, bir yönlendirme sistemiyle işleme istasyonunda bulunan işleme başlığına gönderilir. Burada bir mercek veya ayna sistemiyle işlenecek parçaya odaklanır. Endüstriyel laserler için tipik bir güç olan 10^6 W/cm²lik güç yoğunluğu altında, laser ışınının odaklandığı noktada malzeme erir ve kısmen buharlaşma da görülür (Şekil 5.19).



Şekil 5.19. Laser ışınıyla kesmenin prensibi

Kesme yarığına giren odaklanmış elektromanyetik ışınım, kesme yüzeyinin normali ve ışın eksenini arasındaki açığa, malzeme yüzeyine ve kesme yarığının sıcaklığına bağlı olarak absorbe edilir, kısmen absorbe edilmeyen kısmı yansır. Kesme yarığının orta ekseninde, malzeme kalınlığına ve kesme hızına bağlı olarak 2° ila 10° eğim oluşur. Kesme esnasında eriyen malzeme, kesme gazı tarafından hemen aşağıya doğru süpürülür. Bu sırada erimiş halde bulunan malzemenin laser ışınının etki alanında kalmasından dolayı sıcaklıklar malzemenin erime sıcaklığının üzerine çıkar. Aşağıya doğru akma sonucu eriyen bölgenin kalınlığı artar. Eriyen bölgenin kalınlığı, verimli ve uygun bir akma durumunda 10⁻² mm civarındadır. Kötü bir akma durumunda ise milimetrenin onda biri genişliğinde olan kesme yarığının tümünü doldurarak tıkanmaya yol açabilir.

Kesme yarığının alt kenarında yüzey geriliminin etkisiyle damlacıklar oluşur. Bu damlacıklar, süpürme gazı tarafından ya tamamen uzaklaştırılır veya kesme yarığının alt kenarında katılaştır ve sakal denilen şekli oluşturur.

5.7. Malzemelerin Laserle Kesilebilme Kabiliyetleri

Malzemelerin laserle kesilebilme kabiliyetleri çeşitli faktörlere bağlıdır. Bunlar:

- Malzemenin üst yüzeyinin durumu (absorbsiyon davranışı)
- termofiziksel özellikleri (tutuşma, erime ve buharlaşma sıcaklıkları, ısı iletkenliği)'dir.

Kesilen malzemeye göre değişik kesme şartları oluşmakta ve buna bağlı olarak da farklı kesim sonuçları ortaya çıkmaktadır.

5.7.1. Isı Oluşumu

Laser ışını ile kesmede enerji bilânçosu aşağıdaki formüle göre olmaktadır: $A \cdot P_L (+P_R) = v \cdot b \cdot d \cdot p \cdot [c \cdot \Delta T + h_s (+ h_v)] + P_v$

bu eşitlikte:

A.PI : küple edilmiş laser ışını

P_R : Yakarak kesmedeki reaksiyon enerjisi

v : Kesme hızı

b : Kesme ağız genişliği

d : Malzeme kalınlığı

r : Yoğunluk

c : Özgül ısı

T : Erime sıcaklığı

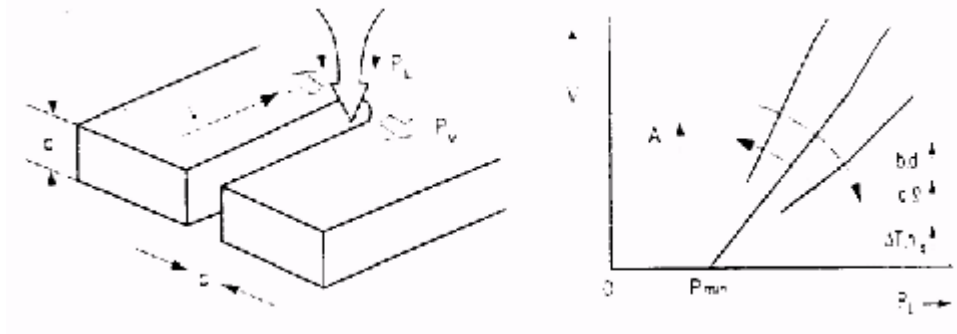
h_s : Erime entalpisi

h_v : Buharlaşma entalpisi

P_v: Enerji kayıpları (ısı iletimi, ...) 'dir.

Denklemin sol tarafında laser ışını ve izoterm reaksiyon ile oluşturulan ısı görülmektedir. Denklemin sağ tarafında ise malzeme hacmini ısıtmak, eritmek ve buharlaştırmak için gereken enerji ve kayıp enerji belirtilmiştir.

V-P diyagramına dikkat edildiğinde, kesme için çok küçük enerjilerin yeterli olduğu görülür (Şekil 5.20). Isı kayıpları da dikkate alındığında eğri sağa doğru kayar. Malzemeye bağlı olan bu büyüklükler eğrinin kayma miktarını belirler, iyi bir ısı iletkenliğine sahip bir malzeme, ısı iletkenliği kötü olan bir malzemeye göre her zaman daha zor kesilir (Örneğin alüminyum çelikten daha zor kesilmektedir).

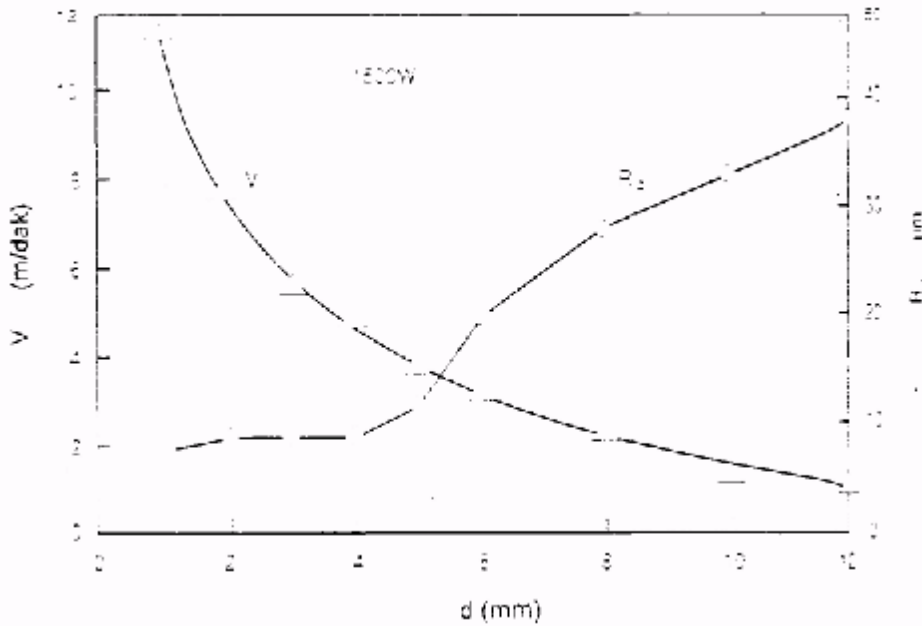


Şekil 5.20. Enerji bilânçosundan çıkarılabilen kesme hızı

Eğrinin eğimi malzemeye bağlı olarak değişir. Örneğin alüminyumun eğrisi çeliğin eğrisine göre daha diktir.

5.7.2. Malzeme Yüzeyinin Etkisi

Kesilecek parçanın yüzey yapısının laser ışını kuplajına etkisi büyüktür. Burada önemli olan faktörler pürüzlülük, oksit tabakaları ve yağlardır. Yüzey ne kadar parlak ve cilalanmış ise kuplaj o kadar kötü gerçekleşmektedir. Artan malzeme kalınlığı ile kesme sonucu kötüleşmektedir. Artan kalınlığa bağlı olarak eriyiğin akması zorlaştığından ortalama pürüzlülük R_a artmaktadır (Şekil 5.21).



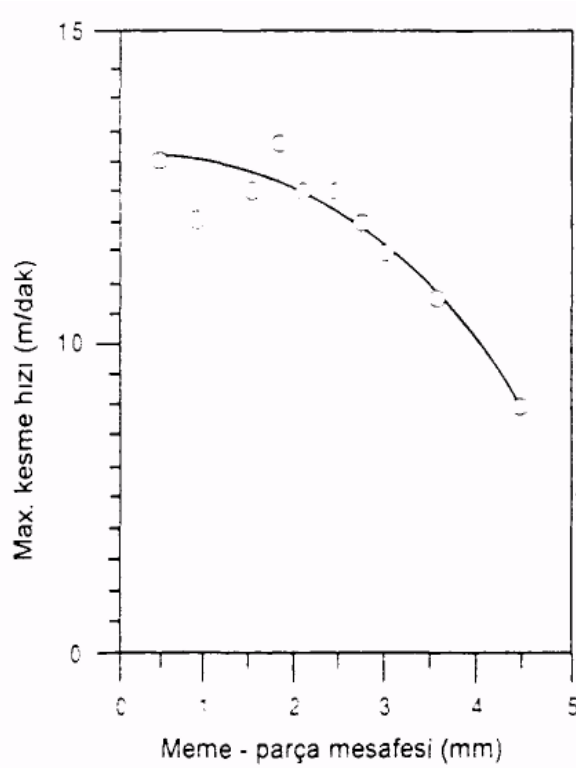
Şekil 5.21. Yapı çeliğinin CO₂ -laseriyle kesiminde erişilebilen kesme hızları ve oluşan pürüzlülük

5.7.3. Malzemeye Uzaklık

Silindirik bir meme kullanılması halinde, mesafenin artmasıyla eriyik taşıma etkisi artmakta ancak

kesme hızı düşmektedir. (Şekil 5.22). Memenin malzemeye olan mesafesi ayarlanırken bu hususlar göz önünde tutulmalıdır.

Saçların yüzeyleri çoğu durumda düzgünlük gösterdiği için sabit bir mesafe ayarı, ancak bir mesafe kontrol sistemiyle sağlanabilir. Metallerin kesilmesinde, metallerin kapasitif etkisinden faydalanarak mesafe ayarı sağlanır. Ametallerde ise mesafe ayarı mekanik bir duyar eleman ile gerçekleştirilir. Bazen de özel kayan memeler kullanılır.



Şekil 5.22. Silindirik meme için kesme hızının meme mesafesiyle değişimi; (St 34, 1 mm, Azot, CO₂)

Laval tipi memelerin kullanımı halinde ise, büyük meme mesafeleri mümkündür ve değişik mesafe varyasyonları da kesme kalitesini fazla etkilemeden yapılabilir.

Maksimum meme mesafesi, çoğunlukla, kullanılan meme çıkış açıklığında odaklama bakımından sınırlanmıştır.

5.8. Laser Işınıyla Kesme Yöntemleri

Birinci bölümde de kısaca verildiği gibi, laser ışınıyla kesmede üç ayrı yöntem mevcuttur. Bunlar:

- laser ışınıyla yakarak kesme
- laser ışınıyla eriterek kesme ve
- laser ışınıyla buharlaştırarak kesme 'dir.

Kesilen malzemenin kesme esnasında buhar, eriyik veya oksidasyon ürününe dönüşmesine göre buharlaştırarak, eriterek veya yakarak kesme yöntemleri uygulanır. Kesme gazına bağlı olarak (inert veya oksit etkili) faz dönüşümü ortaya çıkar.

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

5.8.1. Laser ile Yakarak Kesme

Laser ile yakarak kesme işleminin önemi büyüktür. Kesme gazı olarak bu yöntemde oksijen gazı kullanılır. Oksijen gazı belli bir sıcaklığa erişildiğinde malzeme ile ekzoterm bir reaksiyona girer. Böylece kesme işlemine ilave bir ısı enerjisi kazandırılmış olur. Bu yöntemle inert gaz ile kesmeye göre daha yüksek kesme hızlarına ulaşılır. Kesme gazının impuls şeklinde püskürtülmesiyle zaten aktif maddelerden oluşan malzeme kesme ağzından uzaklaştırılır. Bu yöntemin ise dezavantajı kesim yüzeylerinde bir oksit tabakası bırakmasıdır.

Laser ışını ile yakarak kesme yöntemi en uzun süreden beri kullanılan ve en yaygın yöntemdir. Bu yöntemde oksijen ile yanma nedeniyle oluşan ilave ısı yardımıyla laser ile eritilerek kesmeye nazaran daha yüksek hızlara çıkılmaktadır.

Enerji bilânçosuna katkısına ilave olarak düşük alaşımlı çeliklerde metalin oksidi, metalin kendi eriyiğine göre daha akıcı hale getirilir, bu da çapaksız bir kesmeyi mümkün kılar. Ancak bu durum yüksek alaşımlı CrNi çeliklerinde geçerli değildir, çünkü bu metallerin oksitlerinin erime sıcaklıkları çeliğin erime sıcaklığından daha yüksek olduğundan oksit eriyikleri kesme yarığında daha zor akar. Bu nedenle 3 mm'den daha kalın CrNi çeliklerinin çapaksız kesilmesi mümkün olmaz. Ayrıca bu çelikler, ısı iletkenlikleri düşük olduğundan aşırı ısı biriktirme eğilimindedir, iyi kesim sonuçları elde etmek için laser gücünün darbeli çalıştırma şeklinde kullanılması gerekir. Darbeler arasındaki sürelerde malzeme biraz soğur böylece yanma ısısının etkisi kontrol altında tutulmuş olur.

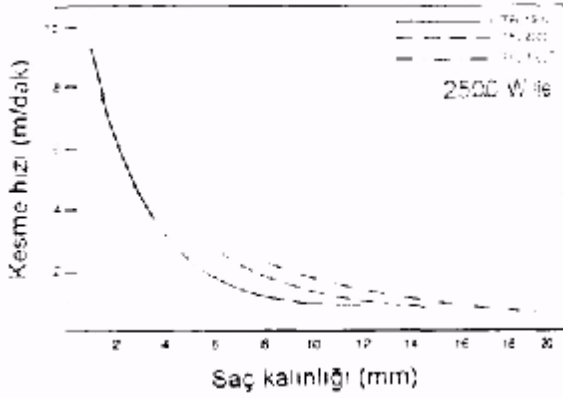
Laser ışını ile yakarak kesmede diğer bir sınır, çelik içerisinde bulunan karbon miktarıdır. Örneğin dökme demirlerde iyi bir kesme kalitesi elde edilemez. Bunun sebebi tutuşma sıcaklığının erime sıcaklığının üzerinde olmasıdır.

Değişik güç kademelerinde ulaşılabilecek sınır değerler kesmenin yapıldığı ortama (atölye veya laboratuvar) göre değişir (Tablo 5 2)

Tablo 5.2. Aynı laser gücü için kesme ortamına göre ulaşılabilen kesme kalınlıkları.

Laser gücü	Atölyede kesilebilen kalınlık	Laboratuvarda kesilebilen kalınlık
750 W	8 mm	8 mm
1500 W	12 mm	15 mm
2000 W	15 mm	20 mm

20 mm kalınlığında bir çelik sacı emniyetli ve sağlıklı bir şekilde kesebilmek için 2500 W güç ile çalışmalıdır. Artan sac kalınlığı ile malzeme yüzeyinin cüzgünlüğünün ve temizliğinin önemi de artmaktadır. Sıcak haddelenmiş saclarda bulunan hadde cürufu tabakaları kalın olduklarında kesme kenarlarının kötüleşmesine neden oluşturur. 2500 W için kesme hızlarının mertebeleri Şekil.5.23'de gösterilmiştir.



Seki 1.5.23. Yapı çeliğinde laserle yakarak kesmede kesme hızlarının mertebeleri

Oksijenin saflığının kesme kalitesine etkisi büyüktür. Kesme işlemi sırasında genellikle havanın azotu oksijene karışır. Ortaya çıkmış bir arıza durumunda oksijen içerisinde % 0,2 Azot tespit edilmiştir. Bu oranda bir yabancı gaz miktarı çapak oluşumunu sebep olur. Kesme hızı çok azaltılsa bile çapak oluşumu engellenemez.

Laserle yakarak kesme işleminde kullanılan oksijenin standart saflığı % 99,5 'tir. Ancak bu saflık yukarıda söz edilen sorunlara neden olmaktadır.

Böyle sorunların önüne geçmek ve zamandan tasarruf etmek için % 99,95'lik bir saflık şarttır.

Şurası da vurgulanmalıdır ki, yüksek saflıktaki oksijen ile Standard kalitedeki oksijene göre daha hızlı kesme işlemi gerçekleştirmek mümkün değildir. Oksijenin içine yabancı bir gaz karıştığında (örneğin kesme işlemi sırasında yanma gazları) kesme hızında önemli oranda düşme ortaya çıkmaktadır.

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

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

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

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

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

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

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

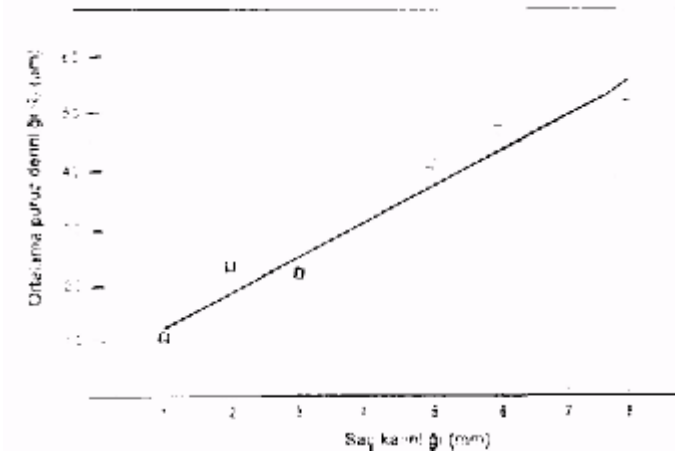
90° 'nin altındaki açılarda (kenarlarda) kontüre bitişik malzemenin aşırı ısınma ile yanma tehlikesi vardır. Bu durum ince saçlarda ışın enerjisinin darbeli çalıştırılmasıyla engellenebilir. Ancak 4 mm'nin üzerindeki kalınlıklarda bu pek mümkün değildir.

Uygulamada saç kalınlığından daha kısa olan deliklerle çok karşılaşılır, (örnek: dış açılacak delik). Bu tür uygulamalarda laser ışını ile malzemeye giriş tekniği yani başlangıç deliğinin çapı çok önemlidir.

Kesilecek büyük deliklerde tam cw gücü ile kesim yapılabilir. Bu teknik en hızlı yöntemdir, ancak çok hassas sonuçlar elde edilememektedir. 10 mm kalınlığındaki çelik saç malzemedeki oluşan krater çapı 4 mm kadardır. Küçük deliklerin (çap 10 mm) oluşturulmasında, merkezde bulunan deliklerde, iç parçanın mevcut malzeme kalınlığı fazla küçük olabilir ve aşırı ısınma görülür. Bu durumda oluşan yanma, asıl parçadaki kesim kenarına da zarar verir.

Bu problem ancak darbeli çalışma ile çözülebilir. Bu çalışma yaklaşık 6 saniye sürer. Başlangıçtaki giriş deliğinin çapı maksimum 0.3 mm 'dir. Bu şekilde 1'yi bir delik açma için en uygun ön şartlar sağlanmış olur. 10 m saçta 6 mm delik çapına ulaşmak mümkündür.

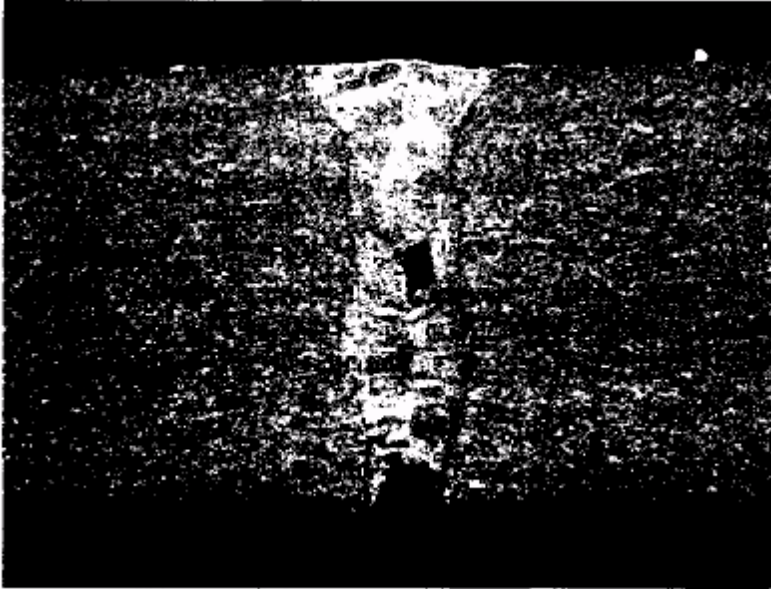
Erişilebilecek hassaslıklar bakımından dikkat edilmesi gereken nokta, uygulanan ısı işleminin saç ısıtmasıdır. Bu sebeple kalın saçlarda ve dar kontürlerde 2 - 3 mm'lik saçlarda kolayca yapılabilen $\pm 0,1$ mm sınırları içinde kalmak pek mümkün olmamaktadır. Hassas makinalarda ise $\pm 0,05$ mm toleranslar içinde kalmak mümkün olmaktadır. Oluşan pürüzlülük derinliği şekil.5.24 'de gösterilmiştir.



Şekil 5.24. Çelikte pürüz derinliğinin sağ kalınlığı ile değişimi, TFL 1500

5.8.2. Laser ile Eriterek Kesme

Paslanmaz çelikte korozyon tehlikesi ve kesimden sonra kaynak edilebilirlik bakımından kesme yüzeylerinde oksit istenmemektedir. Laserle yakarak kesilmiş kenarlar oksit tabakası temizlenmeden kaynak edilirse pürüzlü ve kaynak kökleri kötü olan kaynaklar elde edilir (Şekil 5.25).



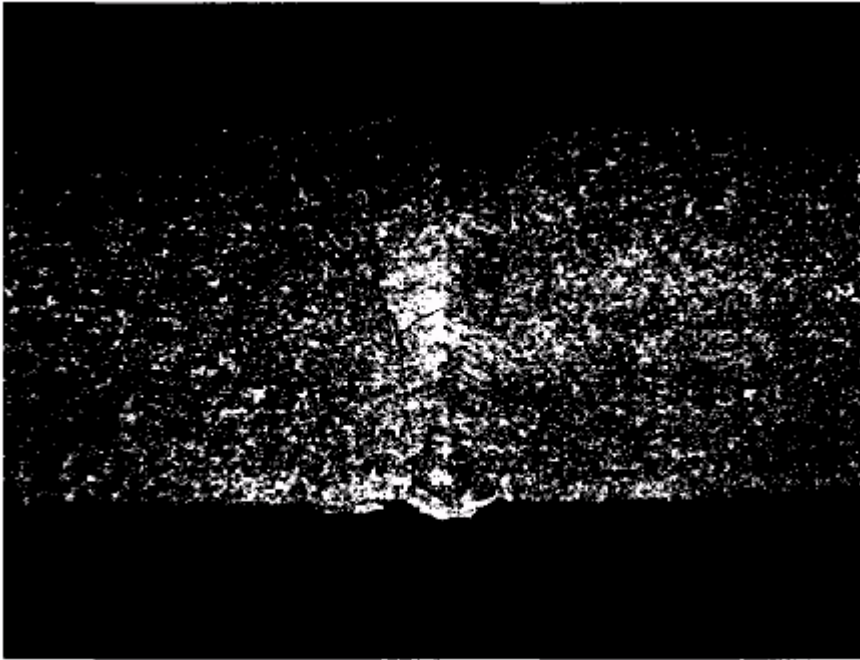
Şekil 5.25. Laser ile kaynak edilmiş saç, kaynak ağızı laserle yakarak kesilmiş.

Oksit tabakasının asit ile temizlenmesiyle artık maddelerin uzaklaştırılması pek kolay olmadığı için oksitsiz kesme kenarları bu bakımdan da istenmektedir. Bunu sağlamak için inert gazlarla (argon gibi) kesim yapılmaktadır. Metalik eriyiği oksit eriyiğine göre kesme ağızından daha zor aktığından uzun bir süredir 2 mm'nin üzerindeki kalınlıklarda sakal şeklinde çapak oluşumu engellememekteydi. Bu

apaklar merkezlerinde metal bulundurduklarından uzaklaştırılmaları da zor olmuştur.

Bu sorunun çözümü 20 bar gibi yüksek kesme gazı basınçları ile olmuştur. Gaz akımının darbesiyle eriyik hızlandırılır ve kesim kenarına yapışmadan ağızdan uzaklaştırılır. Yüksek gaz ile kesimde işleme "**yüksek basınçlı kesme**" denmektedir.

Yüksek basınçlı kesmenin gerçekleştirilebilmesi için normal oksijen ile kesmeye göre bazı modifikasyonlar da gerekmiştir. 1 mm meme-sa mesafesinde gaz akımının düzgün olabilmesi için püskürtme memelerinin optimize edilmesi gerekir. Bu yöntemle ön işlenmiş ve laser ışınıyla kaynak edilmiş bir sa şekil 5.26'da gösterilmiştir.



**şekil 5,26. Laser ile kaynak edilmiş sa,
kaynak ağızı laserle yüksek basınçlı azotla kesilmiş.**

DeneySEL veriler göstermiştir ki artan sa kalınlığı ile odak noktası daha derinlere ayarlanması gerekmektedir. 1500 W'lık bir laser için ana kural odağın sa alt kenarının 0.5-1 mm üzerinde olmasıdır. Bu değer ise sadece bu laser için geçerlidir. Başka bir ışın dağılımı başka bir ayar değeri gerektirir.

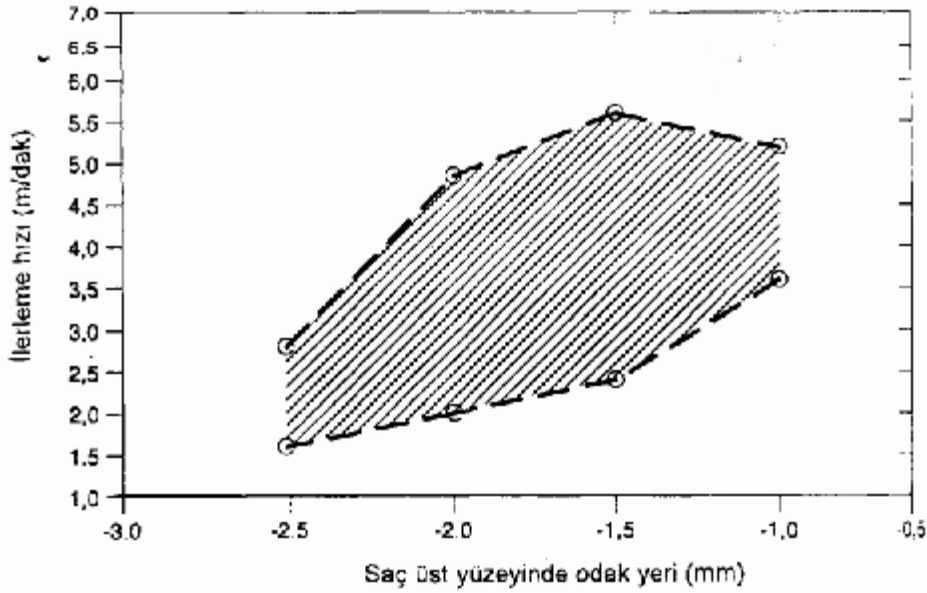
Yanlış odak ayarı apak oluşumuna sebep olur. Fazla derin ayarlanmış bir odak noktası ince inci şeklinde metalik yüzeYli bir apak oluşturur. Odak fazla yüksek olursa apak uzun olur ve yüzeY de oksitlenir. Laser ile yakarak kesmeye nazaran kesme hızı ayarı da farklıdır. Fazla yüksek kesme hızında ilk önce ince bir apak oluşumu görölür ve birden ayrılmayan kesim çizgisi görölür.

Oksijen takviyeli kesmede tam olarak ayrılmama durumu görölene kadar geniş bir çapaklı kesim hızı

aralığı vardır.

Alt hız sınırına gelindiğinde bu sınır optimum kesme hızının 2/3 'ü mertebesindedir. Bu hızda yüksek odak ayarında görüldüğü gibi uzun bir sakal şekli oluşur.

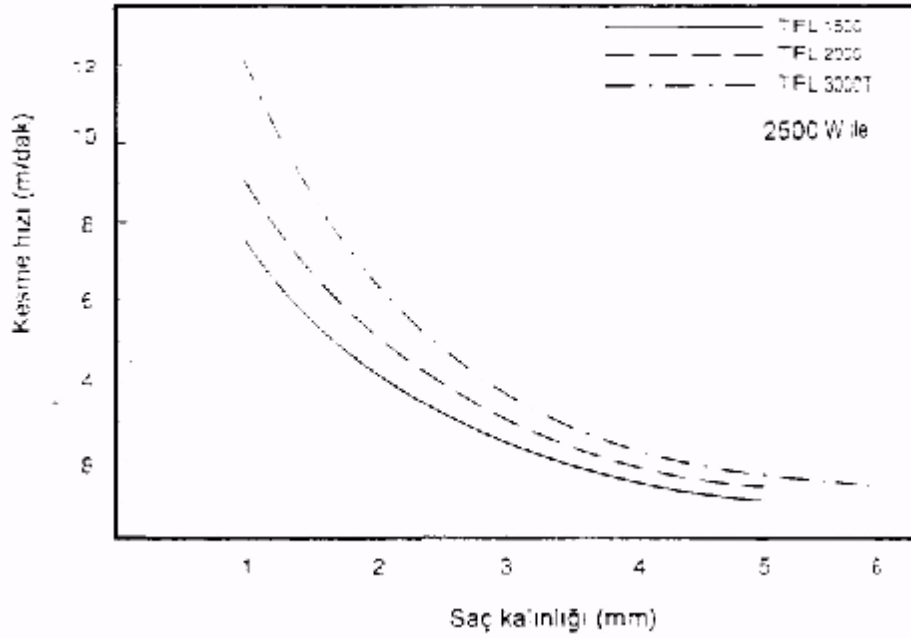
Şekil 5.27'de çapaksız kesim sağlayan bölge taranmış olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.27. Takım çeliğinin yüksek basınçlı kesim işlemi

Optimum odak ayarı, sakalsız kesimin yapılabildiği en yüksek hızı veren, hız bandının en geniş olduğu yerde yapılır.

Bu yöntemde oksijen kullanımına bağlı oksidasyon enerjisi meydana gelmediğinden, laserle yakarak kesmeye göre daha düşük hızlarda kesim yapılmaktadır. Bu durum şekil 5.28 'de açıkça görülebilmektedir. Bu sebeple burada kesme gücünün 2500 W'a yükseltilmesi faydalıdır ve artan kalınlıklarda kesme hızı artmaktadır.



Şekil 5.28. Asil çeliğin yüksek basınçlı kesme işlemi

2,5 kW gücündeki laserle kesme kalınlığı sınırları, paslanmaz çeliklerde 8 mm (laboratuvarda 12 mm)'dir. Yapı çeliğinin yüksek ısı iletkenliği sebebiyle çapaksız kesimi daha zordur. Bu yüzden yapı çeliklerinde 4 mm kalınlık 2,5 kW'lık güç için hatasız kesilebilecek üst sınırdır. Laserle yakarak kesmede oksit tabakasının asit ile temizlemesi gerektiğinden, 1,5 mm kalınlığın altında olan karoseri saçlarının kesiminde bu yöntem önem kazanmaktadır. Aynı şekilde galvanizli saçların kesiminde de bu yöntem önemlidir. Çinko ve oksijen'in reaksiyona girmesi sonucu çapak oluşumu nedeniyle laserle yakarak kesme yönteminin bu saçlarda kullanımı mümkün değildir Laser ile eriterek kesmede ise galvanizli saçlar çapaksız olarak kolayca kesilebilmektedir.

Yine alüminyum da, yüksek basınçlı kesme yöntemiyle kalite bakımından iyi kesilebilir. Kesim kenarları temizdir. 2 mm kalınlığa kadar çapaksız, 5 mm kalınlığa kadar elle kolayca temizlenebilecek miktarda az çapaklı kesimler elde edilir. Burada önemli olan parametreler, laser cihazının gücü ve alaşımın türüdür. 3 mm kalınlığındaki Al 99,5 1 kW ile kesilemezken aynı cihazla AlMg₃ alaşımı kesilebilmektedir. Alüminyumun kesilmesinde daima kopma ve ışının çıkışında geri püskürme tehlikesi olduğundan, 2,5 kW 'lık güçteki makina için de kesilebilecek malzeme kalınlığı bakımından 5 mm (laboratuarda 6 mm)'lik üst sınıra uyulması tavsiye edilir. İmalatta 6 mm kalınlığındaki alüminyumun kesilmesi gerektiğinde yüksek kesme gazı basınçlı oksijenin kullanılması gerekir. Bu durumda hafif sakal oluşumu tehlikesi, yüksek proses emniyeti bakımından göze alınmalıdır.

2.5 kW gücündeki laserle, eriterek iyi bir kaliteyle kesilebilen diğer metaller ve maksimum kalınlıkları

şöyledir:

Pirinç: 4 mm'ye kadar; Inkonel ve diğer nikel esaslı alaşımlar: 6 mm'ye kadar; Titanyum: 5 mm'ye kadar.

Gaz tüketimi için özet olarak şunlar söylenebilir:

Oksijen kullanarak (yakarak) kesimde 1 mm çaplı meme için maksimum 6 bar basınçta yaklaşık 3 Nm³/saat kesme gazı gerekir.

Diğer durumlarda meme enkesitine bağlı olarak basınç da yükseltilmelidir. Örneğin 1,4 mm çapında meme içi 14 bar basınç ve 15 Nm³/saat tüketim.

Sonradan işlenmeye gerek duyulmayan kesme yüzeylerinin üstünlüğüne ulaşmak için, yüksek gaz tüketimi ve düşük kesme hızları göze alınmalıdır.

5.8.3. Laser Işınıyla Buharlaştırarak Kesme

Üçüncü kesme yöntemi olan buharlaştırarak kesme yönteminde ise malzeme laser enerjisi etkisiyle yerel olarak buharlaştırılır. Kesme gazı ise burada sadece bir koruyucu atmosfer oluşturur. Isı iletimi ile enerjinin bir kısmı malzemeye dağılabilir. Verimli bir kesme işlemi gerçekleştirmek için yüksek güç yoğunlukları gerekmektedir.

5.9. Kesme Sistemi

Kesme sisteminin özelliklerinin kesme sonucuna etkisi büyüktür (doğrultu dinamiği, mesafe ve konum doğruluğu gibi faktörler). Araştırmalar, daire kesme işleminde kesme sisteminde mevcut hataların sonucunda kesme işleminde de hataların oluştuğunu ve kesme işleminin kendisiyle bu hataların biraz yuvarlatılarak azaltabildiğini göstermektedir.

Şekil hataları parça ile kesme sistemi arasındaki konum hataları sonucu olmaktadır.

5.9.1. Malzeme Bağlama ve Kinematik

Malzeme bağlama ve kinematik hareket laser ışını ile kesme sistemlerinde, kesme işinin gerektirdiği ihtiyaçlara göre belirlenir.

Bu ihtiyaçlar mevcut bir imalat hattına bir laserin sabit olarak bağlanması ve değişik akışlarda ışın hareketi şeklinde olabilir, istenen hareketlerin (veya hareket akışlarının) parça veya ışın tarafından yerine getirilmesi, parçanın hareket imkânları ve ek ışın yönlendirmenin dezavantajları göz önüne alınarak belirlenir.

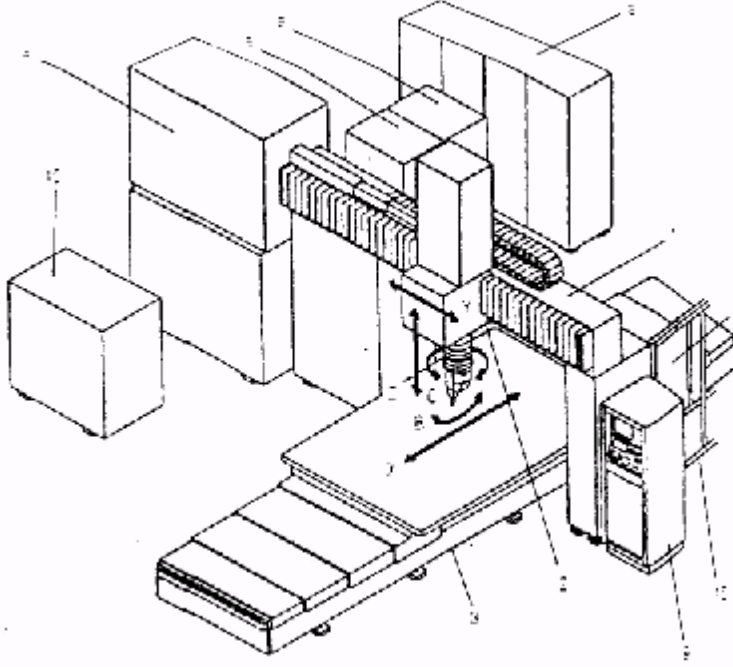
- Hareketli optik, sabit parça
- Sabit optik, hareketli parça
- Hareketli optik, hareketli parça

Değişik hacimsel kontürlü işleme, sabit optik ile ve bütün kinematik hareketlerin parça tarafından yapılmasıyla gerçekleştirilemez. En yaygın şekliyle, istenen hareketler parça ve ışın arasında uygun şekilde paylaşılır.

Şekil 5.29'da 5 eksenli laser kesme sisteminde parça ve ışının birbirine göre hareketleri

gösterilmiştir.

Üç adet lineer hareket eksenini (x, y ve z) ve laser başlığına entegre edilmiş iki dönme eksenini (B ve C), hareket eksenlerini oluşturmaktadır. Bu şekilde istenen hacimsel kontürlerin işlenmesi mümkündür.



1. Ana kapı; 2. Kesici kısım; 3. Tezgâh tablası; 4. Laser ünitesi; 5. Yüksek frekans jeneratörü;
6. Laser kumandası; 7. Pnömatik; 8. Beş eksenli CNC kumandası, 9. Kumanda paneli;
10. Soğutma ünitesi; 15: Karışım kabini

Şekil 5.29. 5 eksenli laser kesme sistemi

5.9.2. Yardımcı Malzemeler ve Kesim Yerleri

Bir yüksek güç laseri çalışma için elektrik akımı, su, basınçlı hava, laser gazı ve işlem gazı girişini kullanır. Burada özellikle kesme gazına ve soğutma suyuna dikkat edilmelidir. Üretcin kendisinin bir soğutma ünitesi yoksa resonatörde oluşan yüksek ısının başka şekilde çekilmesi sağlanmalıdır.

Kesme gazının seçiminde bileşimine çok dikkat edilmesi gerekir. Gazın bileşimi, kesme sırasında istenmeyen fizikokimyasal olaylara neden olabilir. Bunun için temiz ve teknik olarak saf kesme gazları kullanılmalıdır.

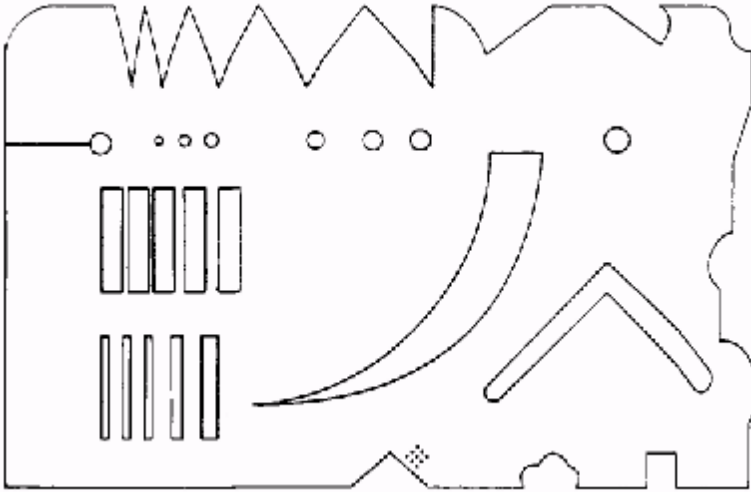
Yüksek frekanslı bir laserin çalışması, tıpkı bir HF-vericisinin çalışması gibidir. Normalde oluşan HF dalgaları çalışma ortamına yayılmaz. Ancak çalışma sırasında kumanda kapağının açık olması gibi hatalı bir kullanım, HF dalgalarının çevreye yayılmasına neden olur.

Bir laser sisteminin fabrika içerisinde imalat hattında çalıştırılmasında, diğer makinaların bakım değiştirme zamanlarının da göz önüne alınması gerekir. Ancak makinaların çoğunda otomatik paket bakım değiştiricileri kullanılırsa, bu durum önemli bir sorun oluşturmaz.

5.9.3. Laserle Kesilmiş Parçaların Değerlendirilmesi

Laser ışınıyla kesme teknolojisinin ve laser ışınıyla kesme tesislerinin değerlendirilmesi için, her birinde artan zorluk dereceleri bir araya getirilmiş farklı standart geometrik elemanlar geliştirilmiştir.

Bu elemanlarda kenarlar, köşeler, eğrilikler, mümkün olan en kısa göbekler, en küçük kesme yarıkları ve en küçük kesme ağızları, her bir işletme şartı için karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Şekil 5.30'daki gibi bir test parçasında, bir tesisin kesme kabiliyeti çok iyi değerlendirilebilir



Şekil 5.30. Laser ışınıyla sac işleme için kullanılan bir test parçasının geometrisi

5.10. Laser Işını ile Kesmede İşgüvenliği

Kesme işlemi esnasında kesim ağzından ve malzeme yüzeyinden yüksek güç yoğunluğunda ikincil ışınlar yayılmaktadır. Çalışma kabini içinde çalışılan laserin dalga boyuna uygun koruyucu gözlükler bulundurulmalıdır. Kesme esnasında sıcaklık etkisiyle oluşan ısı ışınımı gözleri doğrudan etkileyebilir. Bu yüzden renkli cam kullanılmalıdır.

Kesme işlemi esnasında toksit ve karzinogen maddeler oluşmaktadır. Özellikle yüksek alaşımlı çeliklerin kesiminde ağır metal aerosoller oluşmaktadır. Bunların uygun bir havalandırma sistemi ile

ortamdan emilip filtre edilmesi gerekir. MAK- değerlerinin altında kalınmalıdır, böylece sağlığı tehdit edecek bir durum oluşmaz.

Laser ışını ile kesme aslında çok sessiz bir kesme yöntemidir. Sadece yüksek basınçlı gaz ile kesmede kabin içinde 100 dB Tık bir ses seviyesi oluşabilir. Koruyucu önlem olarak ses yutucu kulaklık kullanılmalıdır.

ZnSe veya GaAs den yapılmış optik elemanlar bakımsızlık sonucu kesme esnasında zarar görürse çok zehirli buharlar oluşmaktadır. Bu yüzden bu elemanların bakımına özellikle dikkat edilmelidir.

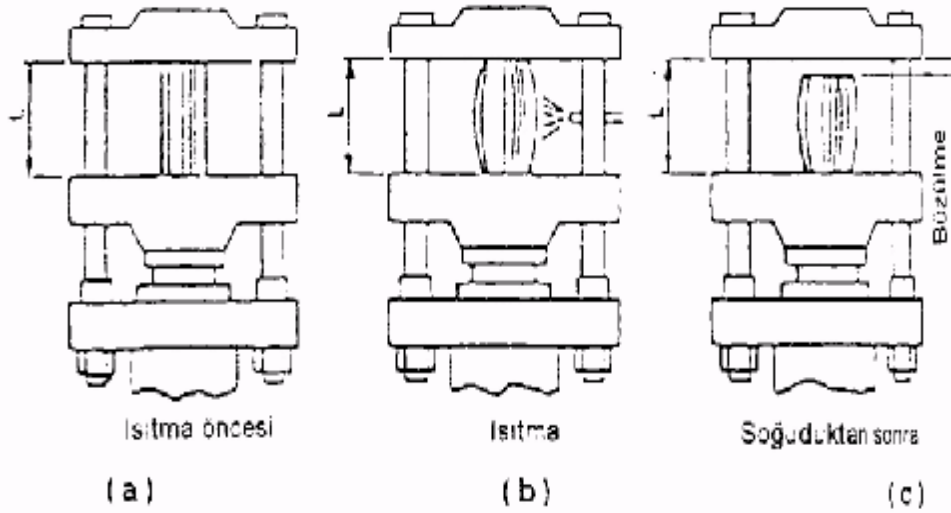
BÖLÜM 6

KESME TEKNOLOJİSİNDE KALİTE

6.1. Kesme İşleminde Oluşan Deformasyonlar

Bir metal parçasının ısıtılıp soğuduktan sonra tekrar eski haline gelmediği bilinmektedir. Bu olay, aşağıdaki örnekle açıklanabilir:

Kısa bir silindirik metal çubuk, bir presin tablaları arasına yerleştirilir. Uygun bir şekilde artan bir basınç uygulanarak tablalar arasındaki mesafenin sabit kalması sağlanır. Böylece boylamasına bir genleşme önlenir ve enine genleşme serbest bırakılır (Şekil 6.1-a ve b).

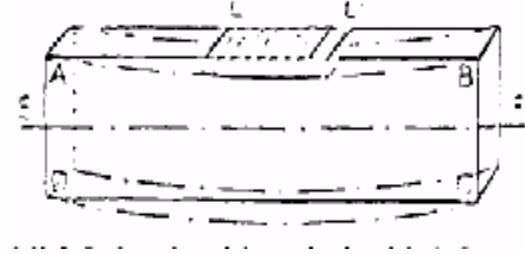


Şekil 6.1. Genleşme ve büzülme deneyi

Metal çubuk, ısıtmanın başlangıcında elastik şekil değişimine uğrar. Daha sonra ısıtma devam ettikçe elastik şekil değişimleri yerini plastik şekil değişimlerine bırakır. Sıcak silindirik çubuğun boyu, preste uygulanan kuvvet nedeniyle uzayamaz. Soğuduktan sonra ise, büzülme nedeniyle orijinal boyundan daha kısa hale gelir (Şekil 6.1.c).

Bu şekil değişimlerinin ayrıntılarını görebilmek için aşağıdaki örnek incelenebilir:

Kare kesitli çelik bir çubuğun üst tabakası ısıtılırsa (Şekil 6.2), AB kenarının dışbükey, CD kenarının ise içbükey hale geldiği görülür. Bu eğrilikler, metalin elastik durumdaki eğrileridir. Eğer ısıtmaya devam edilirse, metaldeki değişimler elastik halden plastik hale geçer. Elastik deformasyonlar ortadan kalkar. Soğuma sonunda, büzülme nedeniyle AB uzunluğu kısalmış ve çubuk içbükey hale gelir.

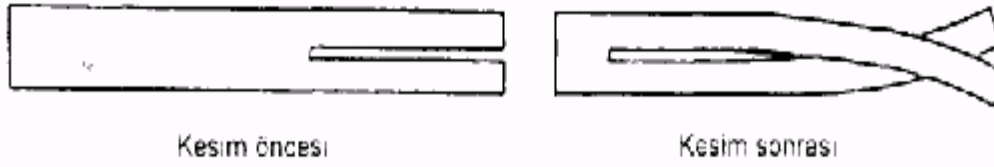


Şekil 6.2. Isıtılan bir çubuktaki deformasyonlar.

Termik kesme yöntemlerinin hepsinde, ısıtma (tavlama) olayı söz konusudur. Bu durum, parçaların deformasyona uğramasına neden olur. Ayrıca her zaman için, pratikte oluşan deformasyonların, teorideki göre daha karmaşık olduğu unutulmamalıdır.

6.1.1. Deformasyonun Sonuçları

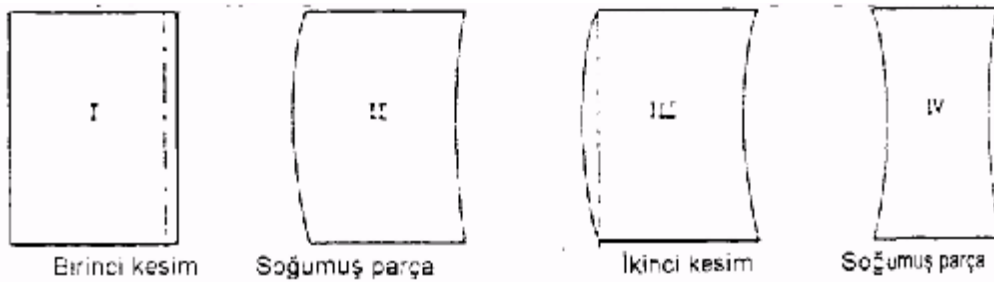
ince uzun ve şerit biçimindeki parçalarda, kesme işleminden sonra çarpılmalar görülür (Şekil 6.3).



Şekil 6.3. Kesilen uzun bir parçadaki deformasyon.

Bu parçalar doğrultma işlemine tabi tutulur. Çarpılma olmaması için, kesilen kenarların uygun şekilde sabitlenmesi gerekir.

Parçalarda büzülme sonucu, paralel olmayan kenarlar meydana gelebilir. Örneğin Şekil 6.4'deki gibi bir dikdörtgen levha elde etmek için, birinci kesim yapılırsa (I), soğuma sonunda düz olan kenarın eğildiği görülür (II).



Şekil 6.4. Alevle kesilen dikdörtgen bir parçadaki deformasyonlar.

Bu eğik parçanın diğer kenarı, ikinci kez düz olarak kesilirse (III), soğuma sonunda uç kısımları, orta kısımlarına göre daha geniş olan bir parça elde edilir

Parçadaki bu boyut farklılığı 1 milimetreye kadar ulaşabilir. Bu durumda parça, istenen boyut toleransları dışına taşabilir. Böyle deformasyona uğramış parçaların kaynak yapılması da zordur.

Çünkü eğri parçaların yan yana gelmesiyle oluşturulacak kaynak ağzı da düzgün olmayacaktır.

Yukarıdaki örnekte boylamasına yapılan birinci ve ikinci kesim aynı anda yapılsaydı, parçada oluşacak deformasyonlar minimuma indirilebilirdi.

Kesilen parçaların eşitliği bakımından, büzülme miktarının sınırlı tutulabilmesinin büyük önemi vardır. Pratik olarak, kesilen parçaların, kesildikleri esas malzeme ile aynı uzunlukta olmaları gerekir. Bunun için de ısının mümkün olduğu kadar yüksek bir hızla bölgeden uzaklaştırılmasının sağlanması ve bu şekilde çarpılmanın mümkün olduğu kadar düşük tutulması gerekir.

Kesme işlemi sırasında, tam kesim noktasındaki bölgede, sürekli olarak ısınma, genişleme ve büzülme olayları birbirini izler. Bu nedenle kesim noktası, kesme yönüne dik doğrultuda, çok küçük mertebelerde hareket eder. Kesimin düzgün bir yörüngeyi izlemesine rağmen, parçanın hareket halinde olduğu düşünülürse, başlangıç ve bitim noktaları arasında bir kaçıklık olacağı anlaşılabilir.

Kesilen parçada içgerilme bulunması halinde bunlar kesme işlemi sırasında oluşabilecek deformasyonları olumsuz yönde etkiler. Çünkü parça içine hapsolmuş gerilmeler, sıcaklık etkisiyle ortaya çıkarak işlemdeki genişleme ve büzülme olaylarının etkilerini yükseltmek yoluyla deformasyonu artırır.

6.1.2. Deformasyona Karşı Alınabilecek Önlemler

Kesme sonucu oluşabilecek deformasyonlar, aşağıdaki önlemlerin ayrı ayrı veya bir arada uygulanmasıyla en aza indirilebilir:

- İşlem sırasında kesme yerine iletilen ısı miktarı azaltılabilir;
- Isı, oluştuğu noktada hemen emilmelidir. Yani parçanın mümkün olduğu kadar soğuk kalabilmesi için verilen ısının hemen uzaklaştırılması gerekir.
- Deformasyonlar, alınacak teknik sabitleme önlemleriyle, kesme işlemi sırasında önlenir. Ancak bu kez, deformasyona uğramayan parçalarda içgerilmeler oluşabilir.
- Uygun bir kesme tekniği tasarlanarak, parçanın deformasyonlu halinin, istenen şekil ve boyutta olması sağlanabilir.

Çok sayıda parçanın çıkarıldığı büyük yapı elemanlarında ısının içten dışarı (ortadan kenarlara) doğru yayınmasının sağlanması gerekir. Böyle durumlarda önce ortadaki parçaların kesilmesine başlanır. Burada genellikle bir kesme planı kullanılır.

6.2. Kesme Yüzeylerinin Kalitesi ve Ölçü Toleransları

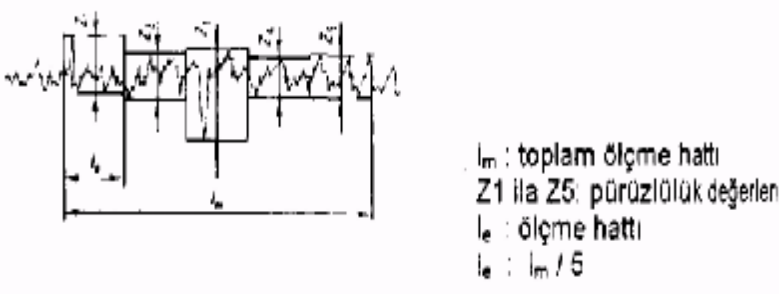
Termik kesme teknolojisinde amaç, kesim yüzeylerine sonradan ek bir işlem uygulamaya gerek olmadan, imalatta doğrudan kullanılacak kalitede yüzeyler elde etmektir. DIN 2310 standardında oksijenle, plazmayla ve laserle kesme yöntemleri için yüzey kalitelerinin nasıl belirleneceği verilmiştir. Bir kesme yüzeyinin kalitesi ve ölçü toleranslarının belirlenmesinde **diklik ve eğiklik toleransları** (Şekil 6.5), **ortalama pürüzlülük** (Şekil 6.6), **kesme yivinin geriye sürüklenmesi** (Şekil 6.7) ve **kenarların erimesiyle oluşan yarıçap** (Şekil 6.8) parametreleri kullanılmaktadır.



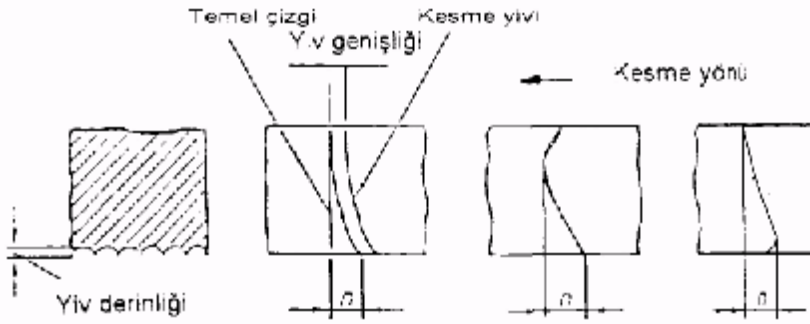
Diklik toleransı

Eğiklik toleransı

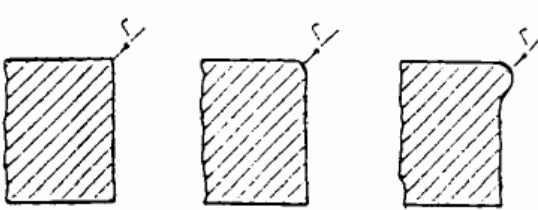
Şekil 6.5. Diklik ve eğiklik toleransları



Şekil 6.6. Ortalama pürüz derinliği



Şekil 6.7. Kesme yivinin geriye sürüklenmesi



Şekil 6.8. Kenarların erimesiyle oluşan yarıçap

Her bir yöntem için geçerli olan tolerans alanları da yine DIN 2310'da verilmiştir. Bunlar:

Oksijenle kesme için DIN 2310 Kısım 3 (saç kalınlıkları 3 ila 300 mm) Plazma ile kesme için DIN 2310 Kısım 4 (saç kalınlıkları 3 ila 300 mm) ve Laser ışınıyla kesme için DIN 2310 Kısım 5 (saç kalınlıkları 10

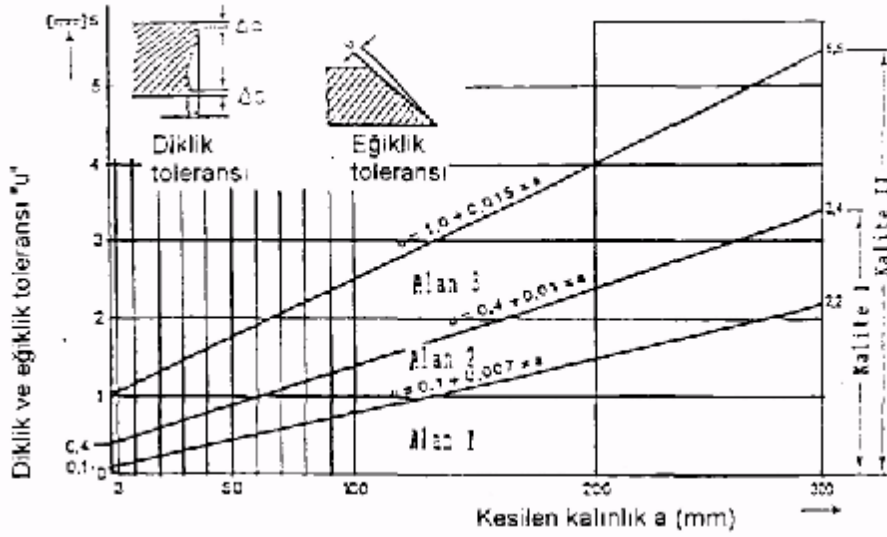
mm'ye kadar)'dir.

6.2.1. DIN 2310 Kısım 3 'e Göre Oksijenle Yakarak Kesmede Kesme Yüzeylerin Kalitesi ve Ölçü Toleransları

(TS 11151: Isıl Kesme - Oksijenle - İşlem Prensipleri; Kalite ve Boyut Toleransları)

6.2.1.1. Diklik ve Eğiklik Toleransı "u"

Oksijenle yakarak kesmede diklik ve eğiklik toleransı için DIN 2310 Kısım 3'te verilen tolerans alanları Şekil 6.9'da gösterilmiştir. Hangi kalite sınıfının seçileceği, kullanıma amacına göre saptanmalıdır. Kalite I, Alan 1, sadece çok özel taleplerin söz konusu olduğu kesme yüzeyleri için seçilmelidir.



Şekil 6.9. Oksijenle yakarak kesme için diklik ve eğiklik toleransları

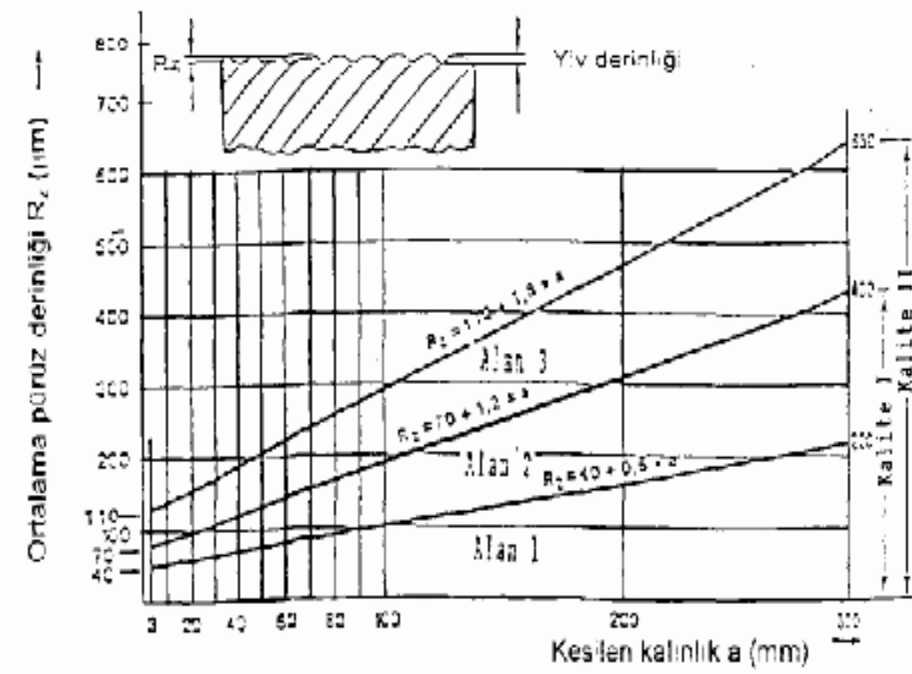
Kesme hızının azaltılması, kesme üflecinin parça yüzeyine tam dik olarak ayarlanması ve kesme oksijeni ile yanıcı gaz basıncının uygun tespitiyle, çok hassas kesme yüzeyleri elde edilebilir. Bu kesme parametrelerinin optimum şekilde ayarlanması halinde, düzgünlüğü ve dikliği tam olan kesme yüzeyleri gerçekleştirilebilir.

6.2.1.2. Ortalama Pürüz Derinliği "R_z"

Ortalama pürüz derinliği için verilen tolerans alanları Şekil 6.10'da gösterilmiştir.

Diklik ve eğiklik toleransında olduğu gibi burada da gerekli kalite, kullanım amacına göre seçilmeli ve aşırı taleplerden kaçınılmalıdır. Kaynak ağız hazırlığında Kalite I (Kalite I, Alan 2) yeterlidir.

Kalite I, Alan 1 ise ancak çok özel durumlarda hedeflenmelidir.



Şekil 6.10. Oksijenle yakarak kesmede müsaade edilen pürüz derinlikleri

Yapılan araştırmalar, pürüz derinliğinin büyük oranda kesme makinasının dinamik davranışı ile ilgili olduğunu göstermiştir. Özellikle eski ve bakımı iyi yapılmamış makinaların uygun olmayan titreşim davranışı, pürüz derinliğinin artmasına neden olabilmektedir. Kalınlığı 50 mm'den ince olan saçlarda, ortalama pürüz derinliği (μm 'nin altında olan yüzeyler kolaylıkla elde edilebilir.

6.2.1.3. Kesme Yivinin Geriye Sürüklenmesi

Yivlerin geriye doğru sürüklenmesi, kesme yüzeyinin gözle kontrolüyle değerlendirilir. Kesme oksijeninin basıncının doğru ayarlanmasına rağmen sürüklenmenin az ve yivlerin kaba olması, ilerleme hızının düşük olduğunu gösterir. Yivlerin kaba ve geriye sürüklenmenin büyük olması ise, kesme hızının yüksek veya kesme basıncının düşük olduğunu gösterir. Geriye sürüklenme büyük olsa dahi, düzgün ve kabul edilebilir pürüzlülüğe sahip kesme yüzeyleri elde edilebilir. Orta kalınlıklardaki saçlarda ve normal üfleçlerle kesmede ekonomik nedenlerle (optimum bir kesme hızı) % 10 ila 15 'lik bir geriye sürüklenme ile çalışmak uygun olur.

6.2.1.4. Kenarların Erimesiyle Oluşan Yarıçap

Kesme yüzeyinin üst kenarında bir miktar erimenin oluşması genellikle önlenemez. Bu nedenle DIN 2310 Kısım 3'te, diklik ve eğiklik toleranslarının ölçülmesinde, kesme yüzeyi alt ve üst

kenarlarından Δa kalınlığındaki bölgeler dikkate alınmaz (Şekil 6.9).

6.2.1.S.Tek Üfleçle Doğrusal ve Eğrisel Kesmelerde Boyut Toleransları

Modern CNC oksijenle kesme makinaları yardımıyla boyut hassasiyeti yüksek parçalar elde edilebilir. Fotoelektrik kontrollü makinalarda, çizim toleransları da dikkate alınmak zorunda olduğundan, boyut hassasiyeti daha düşüktür.

DIN 2310 Kısım 3'te "Oksijenle yakarak kesme" de verilen sınır değerler Tablo 6.1'de gösterilmiştir. Boyut toleransları iki sınıfa ayrılmıştır. **Tolerans Sınıfı A**, çok hassas kesmeler için, Tolerans Sınıfı B ise normal üretim için geçerlidir. Tolerans sınıfı A, ancak teknik olarak zorunluluk varsa talep edilmelidir. Tolerans sınıfı A'nın talep edildiği durumlarda, diklik ve eğiklik toleransları da Alan 1'de bulunmalıdır.

Tablo 6.1. Oksijenle kesmede geçerli boyut toleransları

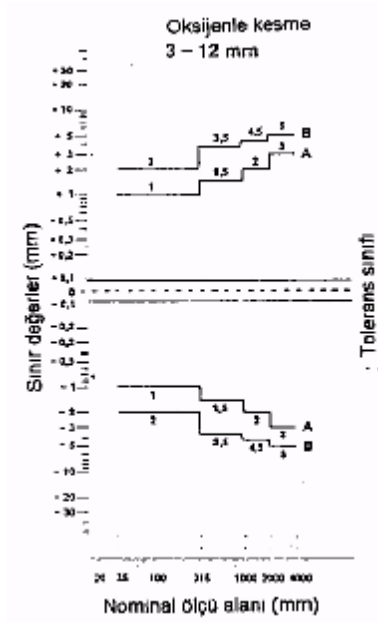
Tolerans sınıfı	Parça kalınlığı	Nominal boyutlar için toleranslar			
		35 - <315	315 - <1000	1000 - <2000	2000 - <4000
A	3 - 12	$\pm 1,0$	$\pm 1,5$	$\pm 2,0$	$\pm 3,0$
	> 12 - 50	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 1,5$	$\pm 2,0$
	> 50 - 100	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$	$\pm 2,5$	$\pm 3,0$
	> 100 - 150	$\pm 2,0$	$\pm 2,5$	$\pm 3,0$	$\pm 4,0$
	> 150 - 200	$\pm 2,5$	$\pm 3,0$	$\pm 3,5$	$\pm 4,5$
	> 200 - 250	-	$\pm 3,0$	$\pm 3,5$	$\pm 4,5$
	> 250 - 300	-	$\pm 4,0$	$\pm 5,0$	$\pm 6,0$
B	3 - 12	$\pm 2,0$	$\pm 3,5$	$\pm 4,5$	$\pm 5,0$
	> 12 - 50	$\pm 2,5$	$\pm 2,5$	$\pm 3,0$	$\pm 3,5$
	> 50 - 100	$\pm 2,5$	$\pm 3,5$	$\pm 4,0$	$\pm 4,5$
	> 100 - 150	$\pm 3,0$	$\pm 4,0$	$\pm 5,0$	$\pm 6,0$
	> 150 - 200	$\pm 3,0$	$\pm 4,5$	$\pm 6,0$	$\pm 7,0$
	> 200 - 250	-	$\pm 4,5$	$\pm 6,0$	$\pm 7,0$
	> 250 - 300	-	$\pm 5,0$	$\pm 7,0$	$\pm 8,0$

Tablo 6.1'de nominal boyutlar için verilen sınır değerler, kesme kenarlarının oranı 4:1 olan parçalar ve 350 mm'den büyük kesme uzunlukları (dairesel kesmede çevre uzunluğu) için geçerlidir.

Şekil 6.11'da:

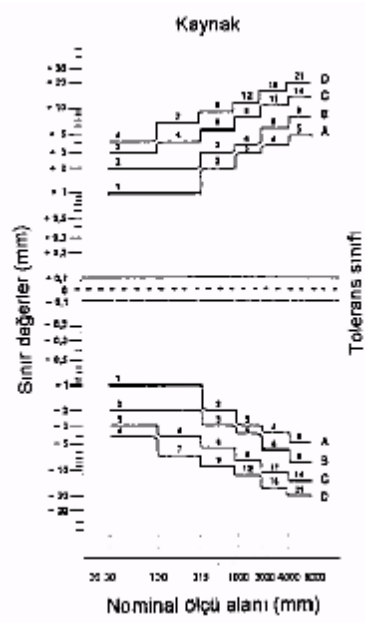
a) DIN 2310 Kısım 3'e göre oksijenle yakarak kesmede nominal uzunluklar için geçerli toleranslar (35-4000' mm nominal boyutlar ve 3-12 mm kalınlıklar için)

b) DIN 8570 Kısım 1'e göre kaynaklı konstrüksiyonlarda genel olarak geçerli toleranslar (30-8000 mm nominal boyutlar için) karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 6.11-a:

"Termik kesme" DIN 2310 Kısım 3 oksijenle kesilen parçalarda nominal uzunluklar için sınır değerler
Saç kalınlıkları 3-12 mm
Nominal ölçü alanı: 35-4000 mm
Tolerans sınıfı A ve B.



Şekil 6.11-b:

"Kaynaklı konstrüksiyonlar için genel toleranslar"
DIN 8570 Kısım 1 kaynaklı konstrüksiyonlarda uzunluk ölçüleri için sınır değerler.
Nominal ölçü alanı 30-8000 mm,
Tolerans sınıfları A, B, C ve D.

Saç kalınlıkları 3-12 mm arasında olan parçalarda DIN 8570 Tolerans Sınıfı A, ancak özel önlemlerle (örneğin kesme parametrelerinin optimizasyonu) gerçekleştirilebilir.

6.2.1.6. Aynı Anda İki Üfleç Kullanılan Paralel ve Doğrusal Kesmelerde Boyut Toleransları

Aynı anda gerçekleştirilen paralel ve doğrusal kesme işlemleriyle, daha dar tolerans sınırları olan parçalar üretilebilir. DIN 2310 Kısım 3'e göre 6-100 mm kalınlıklar ve 1000 mm'ye kadar nominal ölçüler için gerekli sınır değerler Tablo 6.2'de verilmiştir. Boyut toleransları F, G ve H olmak üzere 3 sınıfa ayrılmıştır. Tolerans sınıfı F, ancak kızakların doğrusallığı çok hassas olan kesme makinaları ile elde edilebilir. $\pm 0,2$ gibi hassas bir tolerans değeri elde etmek için, kesme işlemi boyunca kesme oksijeni basıncı ve kesme hızı sabit tutulmalıdır.

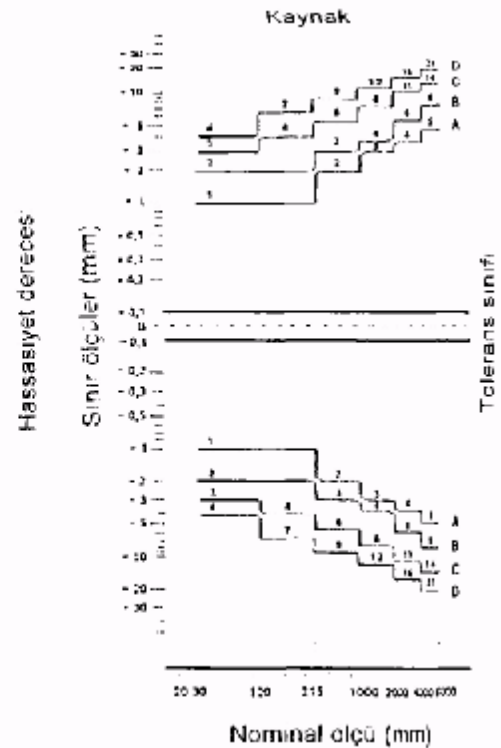
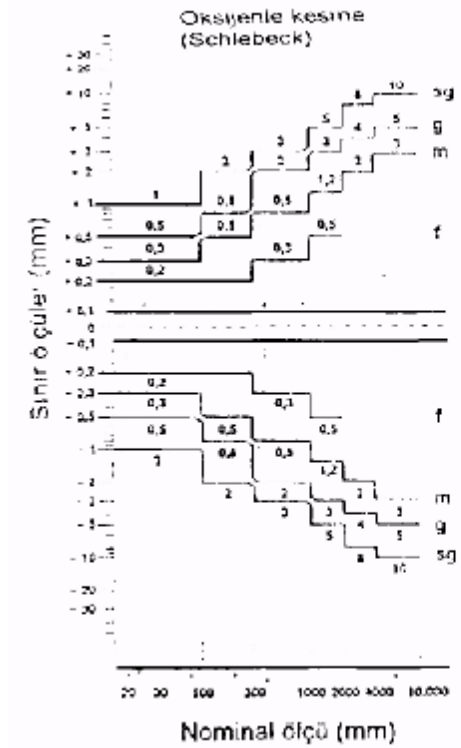
Tablo 6.2. DIN 2310 Kısım 3'e göre oksijenle kesmede aynı anda paralel doğrusal kesmeler için sınır değerler

Tolerans sınıfı	Parça kalınlığı	10000'e kadar nominal ölçüler için sınır değerler
F	10 - 100	+0,2
G	6 - 100	+0,5
H	6 - 100	+1,5

"Talaşlı İmalat ve Plastik Şekil Vermede Genel Toleranslar" ile DIN 2310 Kısım 3 'te verilen "Oksijenle Kesme Toleransları" karşılaştırıldığında, kesmedeki Tolerans Sınıfı A'nın, talaşlı imalatın "Hassas" ve "Orta" sınıfına karşı geldiği görülmektedir.

6.2.1.7. DIN 2310'dan Daha Dar Toleranslar

DIN 2310 Kısım 3'ten daha dar toleransların gerekmesi halinde, bu konuda konstrüksiyonları yapanlar ile üretimi gerçekleştirilecek olanların anlaşma sağlamaları zorunludur. Deneyimler, uygun makinalar kullanarak oksijenle kesmenin daha dar toleranslarla yapılabileceğini göstermiştir. SCHLEBECK tarafından yapılan ve sonuçları Şekil 6.12'de verilen araştırmalar, DIN 2310 Kısım 3'te verilenlerden daha yüksek yüzey kalitelerinin ve dar toleransların elde edilebileceğini göstermektedir.



Şekil 6.12-a.SCHLEBECK'e göre oksijenle kesilen parçalarda elde

Şekil 6.12-b.Kaynaklı konstrüksiyonlar için genel toleranslar

edilebilecek toleranslar.

Nominal ölçü alanı: 10-4000 mm ve 4000 mm üzeri
Hassasiyet derecesi: f: hassas, m: orta, g: kaba ölçüleri sg: çok kaba

DIN 8570 Kısım 1

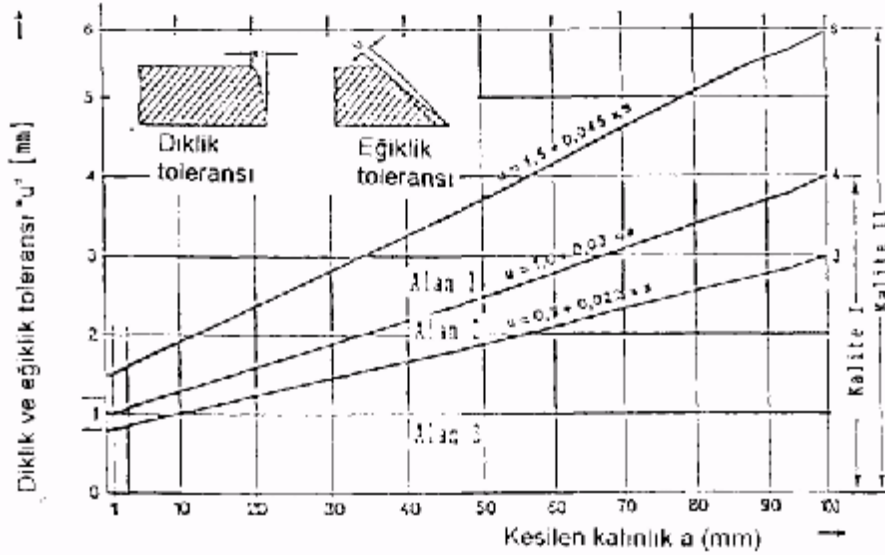
Kaynaklı konstrüksiyonlarda uzunluk için sınır değerler,
nominal ölçü alanı: 30-8000 mm;
Tolerans sınıfları A, 8, C ve D.

SCHLEBECK'in araştırmaları ile kaynaklı konstrüksiyonlarda geçerli genel toleransları veren DIN 8570'teki 30-8000 mm nominal ölçüler için geçerli sınır değerler karşılaştırıldığında, çok dar toleranslara sahip kaynaklı konstrüksiyonlarda dahi, kaynak ağzı hazırlığı için oksijenle kesme yönteminin kullanılabilceğini görülmektedir. Dar toleranslara sahip kaynaklı konstrüksiyonlar gerektiğinde, kaynağı yapılacak her bir parçanın da benzer hassasiyete sahip olması gerekir; genel toleransların kullanılması yetersiz kalır.

6.2.2. DIN 2310 Kısım 4'e Göre Plazma ile Kesmede Kesme Yüzeylerinin Kalitesi ve Ölçü Toleransları

6.2.2.1. Diklik ve Eğiklik Toleransı "u"

Plazma ile kesmede geçerli DIN 2310 Kısım 4'te verilen diklik ve eğiklik toleranslarının tolerans alanları Şekil 6.13'de verilmiştir.



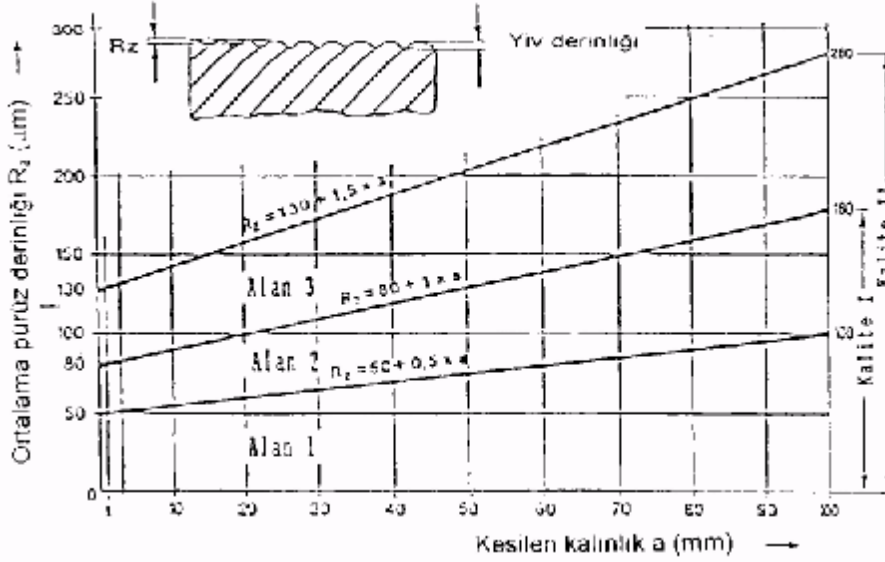
Şekil 6.13. Plazma ile kesmede diklik ve eğiklik toleransları

Kaynak ağzı hazırlıklarında kesme yüzeyinin kalitesinin çok yüksek olması gerekmez. Kaynakta kalite güvencesine ulaşmak bakımından çoğu kez kesme yüzeylerinin metalsel malzeme ortaya çıkana kadar taşlanması gerekir. Plazma ile kesmede tam dik kesitlerin elde edilmesi mümkün değildir. Dik kesitler

ancak ilave mekanik işleme yöntemleriyle sağlanabilir. Bunların yanında, kesme yüzeyi kalitesi, kullanılan plazma kesme tekniğine, torç tipine ve kesilen malzemeye bağlıdır. Her plazma kesme sistemiyle Kalite I, Alan 1 kalitesine ulaşamaz. Demir esaslı malzemeler ile alüminyum arasında, kesme aralığının görünümü bakımından büyük farklar vardır.

6.2.2.2. Ortalama Pürüz Derinliği "R_z"

Ortalama pürüz derinliği için DIN 2310 Kısım 4' te verilen tolerans alanları, Şekil 6.14'de gösterilmiştir.



Şekil 6.14. Plazma kesmede müsaade edilen ortalama pürüz derinlikleri

Kaynak ağzlarının plazma kesme ile hazırlanmasında Kalite I yeterlidir. Kalite I'in Alan 1'i ancak özel durumlarda kullanılır. Alüminyum ve alaşımları için ortalama pürüz derinliği olarak, verilen değerin 4 katı alınmalıdır. Tablo 6.5'te diklik ve eğiklik toleransları ile ortalama pürüz derinliği için kesme yüzeyi kaliteleri I ve II olarak kademelendirilmiştir.

Tablo 6.5. DIN 2310 Kısım 4'te verilen Tablo 1 (Diklik ve eğiklik toleransları ve ortalama pürüz derinliği)

Kesme yüzeyinin kalitesi	Diklik ve eğiklik toleransı	Ortalama pürüz derinliği R _z
Kalite I	Alan 1 ve 2	Alan 1 ve 2
Kalite II	Alan 1 ila 3	Alan 1 ila 3

6.2.2.3. Kenarların Erimesiyle Oluşan Yarıçap "r"

Plazma kesmede, oksijenle kesmeden farklı olarak bu yarıçap, diklik ve eğiklik toleransına dahil edilmektedir.

6.2.2.4. Kesme Yivlerinin Geriye Sürüklenmesi

Kesme yivlerinin geriye sürüklenmesi, plazma kesmede, oksijenle kesmedeki kadar ilginç değildir. Malzeme türüne bağlı olarak (örneğin yapı çeliği, CrNi-çeliği veya demirdışı metaller) yivlerin görünüşü fark eder. Örneğin alüminyum ve alaşımlarında, yivli bir yüzeyden çok, taneli bir yüzey elde edilir.

Plazma ile kesilen parçalarda elde edilen yüzey kalitesi, oksijenle kesmedekinden daha düşüktür. Dik kesme yüzeyleri veya keskin kenarlar gerektiğinde, bunlar ancak taşlama veya frezeleme gibi mekanik işlemlerle elde edilebilir. Konvansiyonel plazma kesme yöntemlerinde (kuru plazma kesme) kesilen CrNi-çeliklerinde, kaynak hatalarını önlemek bakımından kesme yüzeylerindeki oksitlerin taşlanarak temizlenmesi gerekir. Su püskürtmeli plazma kesmede, kesme yüzeyleri çok hafif şekilde oksitlendiğinden, ilave işlem gerekmez.

6.2.2.5. Tek Taraflı Isı Etkisi Altında Plazma ile Doğrusal ve Eğrisel Kesmede Boyut Toleransları

Plazma ile kesmede ısı etkisiyle çarpılma az olduğundan, boyut hassasiyeti yüksek parçalar elde edilebilir. Plazma ile kesilen parçalar, DIN 2310 Kısım 4'e göre oluşturulursa, bu takdirde nominal ölçülere kesme yüzeyi eğikliği dahil edilmez.

DIN 2310 Kısım 4'te nominal ölçüler için verilen sınır değerler Tablo 6.6'da verilmektedir. Ölçü toleransları C ve D olmak üzere iki tolerans sınıfına ayrılmıştır. Tolerans sınıfı C, plazma ile kesmede elde edilebilecek en yüksek hassasiyeti, tolerans sınıfı D ise özel taleplerin bulunmadığı normal üretim hassasiyetini temsil eder. Tolerans sınıfı C, ancak teknik açıdan mutlaka gerekliyse talep edilmelidir.

Tablo 6.6. Plazma kesmede nominal ölçüler için sınır değerler.

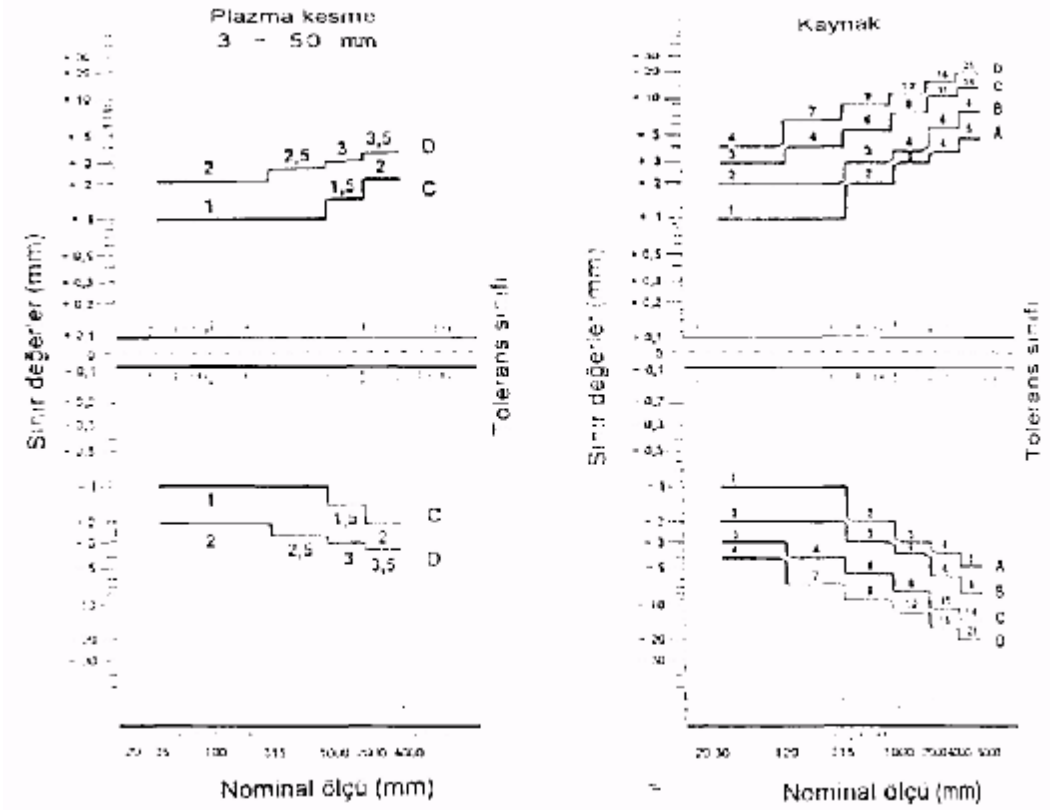
Tolerans sınıfı	Parça kalınlığı	Nominal ölçü için sınır değerler			
		35-<315	315 - <1000	1000-<2000	2000 - <4000
C	3 - < 50	± 1,0	± 1,0	± 1,5	± 2,0
	50 - < 100	+ 1,5	+ 2,0	+ 2,5	+ 3,0
D	3 - < 50	+ 2,0	± 2,5	+ 3,0	+ 3,5
	50 - < 100	± 2,5	± 3,5	± 4,0	± 4,5

Dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta da, plazma ile kesmede, oksijenle kesmenin tersine, nominal ölçüler için verilen sınır değerlerin, diklik ve eğiklik toleransları nedeniyle oluşan saplamaları içermediğidir. Tablo 6.5'de nominal ölçüler için verilen sınır değerler, kenarlarının oranı 4:1 ve kesme uzunluğu (dairesel kesmelerde ise çevre uzunluğu) en az 350 mm olan parçalar için geçerlidir.

Şekil.6.15'de:

- DIN 2310 Kısım 4 "Plazma ile kesilmiş parçalarda uzunlukların nominal ölçüleri için sınır değerler", 50 mm'ye kadar sac kalınlıkları için;
- DIN 8570 Kısım "Kaynaklı konstrüksiyonlar için genel toleranslar", 30- 8000 mm

nominal ölçü alanında kaynaklı konstrüksiyonların uzunluk ölçülen için geçerli sınır değerler birbiriyle karşılaştırılmıştır.



Şekil 6.15. DIN 2310 Kısım 4 ile DIN 8570 Kısım 1'in karşılaştırılması

- "Termik Kesme", DIN 2310 Kısım 4: Plazma ile kesilen parçalarda nominal uzunluklar için sınır değerler. Saç kalınlıkları: 3-50 mm, nominal ölçü alanı: 35-4000 mm, Tolerans sınıfı C ve D.
- "Kaynaklı Konstrüksiyonlar için genel toleranslar", DIN 8570 Kısım 1: Kaynaklı konstrüksiyonlarda uzunluk ölçüleri için sınır değerler. Nominal ölçü alanı: 30-8000 mm, Tolerans sınıfları A, B, C ve D.

6.2.3. DIN 2310 Kısım 5'e Göre Laser Işınıyla Kesmede Kesme Yüzeylerinin Kalitesi ve Ölçü Toleransları

Saç işlemede kullanılan bir laserle kesme tesisinden beklenen başlıca unsur, teknik resimlerde belirtilen kalitede kesimler gerçekleştirmesidir. Bunun yapılabilmesi için kesme işlemini hangi parametrelerin etkilediğinin bilinmesi gerekir. Bu parametreler:

- Malzeme (alaşımız, düşük alaşımız, yüksek alaşımız vs.)
- Kalınlık
- Kesme oksijeninin basıncı
- Kesme hızı
- Kesilecek malzemenin yüzey durumu (örneğin pas, yağ, vs.)
- Laser cihazının ayarlanması'dır.

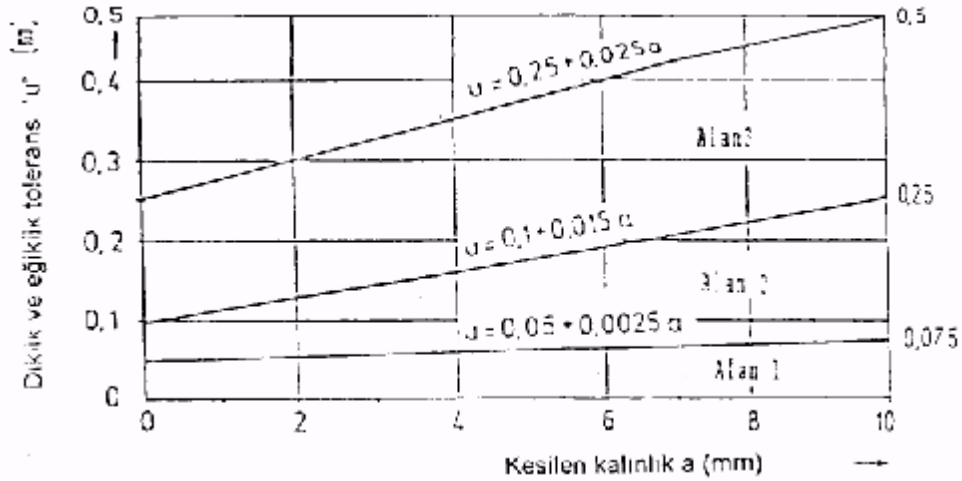
Laser ışınıyla kesmede kesme kalitesi, çok çeşitli faktörlere bağlıdır. Şekil 5.16, bu faktörleri bir arada göstermektedir.

Işın parametresi	LASER	IŞINIYLA	KESME	Kesme makinası
	Işın geometrisi	Kesme gazları	İş parçası	
-Laser kapasitesi	-Işının yönlendirilişi	Gas türü Oksijen Azot Argon	Malzeme türü	Konstrüksiyon
-Yoğunluk dağılımı	Yön değiştirme aynası	Gazın saflığı (O ₂ 'nin saflığı)	Kesim kalınlığı	İlerlemenin düzgünlüğü
Mod	Işın dağıtıcı	Gaz basıncı	Malzemenin üst yüzeyinin durumu	Çalışmama süresi
Diverjans	Işının yumuşaklığı	Kesme torcu	Kesim turu	İlerleme hızı
Polarizasyon	-Işın şekillendirme			Kontrol
-Güç kararlılığı	Odaklama merceği			Ölçümü
Çalışma türü	Genişletme merceği			Torç mesafesi
Sürekli çizgi	Polarizatör			
Normal darbe	Odaklama yeri			
Süper darbe	Odak noktasının büyüklüğü			

Şekil 5.16. Laserle kesmede kesme kalitesine etkiyen faktörler

6.2.3.1. Diklik ve Eğiklik Toleransı

Laser ışınıyla kesme için DIN 2310 Kısım 5'te verilen diklik ve eğiklik toleranslarına ait tolerans alanları Şekil 6.17'de görülmektedir.

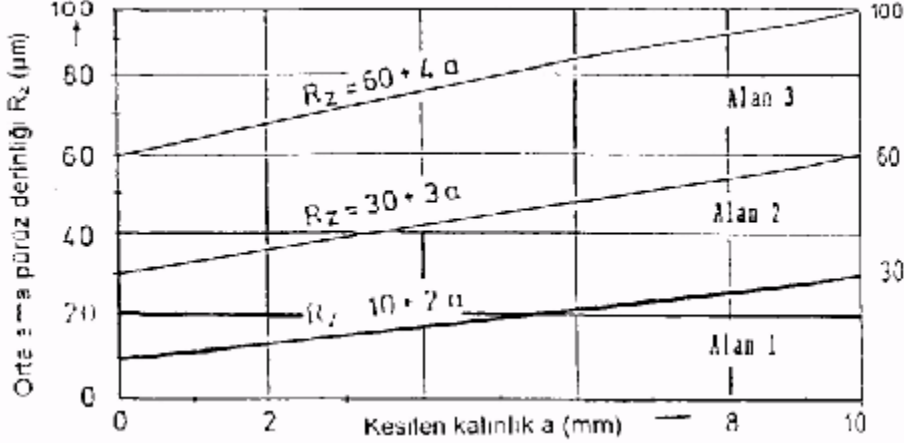


Şekil 6.17. Laser ışınıyla kesmede diklik ve eğiklik toleransları

laser ışınıyla kesme yönteminde elde edilen diklik ve eğiklik toleransları, normal koşullar altında kaynak ağzı hazırlıkları için çok uygundur.

6.2.3.2. Ortalama Pürüz Derinliği

Ortalama pürüz derinliği için DIN 2310 Kısım 5'te verilen tolerans alanları Şekil 6.18'da gösterilmiştir.



Şekil 6.18. Laser ışınıyla kesmede müsaade edilen ortalama pürüz derinlikleri

Laser ışınıyla elde edilen ortalama pürüz derinliği seviyesi, kaynak ağız hazırlığında herhangi bir sorun yaratmaz. Burada önkoşul, dinamik stabilitesi yüksek bir kılavuzlarına makinasının kullanılması ve kesme işlemi parametrelerinin doğru ayarlanmış olmasıdır.

6.2.3.3. Kesme Kenarlarının Erimesiyle Oluşan Yarıçap ve Kesme Yivlerinin Geriye Sürüklenmesi

Kesme yüzeyinin alt ve üst kenarlarında diklikten sapmaların oluşumu çoğu zaman önlenememektedir. Bu bölgeler, diklik ve eğiklik toleranslarının ölçümünde dikkate alınmaz. Laser ışını ile kesilen parçalarda yivlerin geriye sürüklenmesinin hiçbir önemi yoktur. Tablo 6.7'de diklik ve eğiklik toleransları ile ortalama pürüz derinliği için kesme yüzeyi kaliteleri I ve II olarak kademelendirilmiştir.

Tablo 6.7. Diklik ve eğiklik toleransları ve ortalama pürüz derinliği.

Kesme yüzeyinin kalitesi	Diklik ve eğiklik toleransı	Ortalama pürüz derinliği Rz
Kalite I	Alan 1 ve 2	Alan 1 ve 2
Kalite II	Alan 1, 2 ve 3	Alan 1, 2 ve 3

6.2.3.4. Laserle Kesilen Parçalarda Boyut Toleransları

Laser ışını ile kesilen parçalarda görülen boyut sapmaları, öncelikle kesme makinasının kılavuzlarına hassasiyeti ile ilgilidir. Nominal ölçüler için DIN 2310 Kısım 5'te verilen sınır değerler tablo 6.8'de verilmiştir. Boyut toleransları iki tolerans sınıfına ayrılmıştır. Tolerans sınıfı K, en hassas ölçü toleransını,

tolerans sınıfı L ise normal üretimdeki hassasiyeti temsil eder. Tolerans sınıfı K, sadece kullanılması teknik nedenlerle zorunlu ise talep edilmelidir

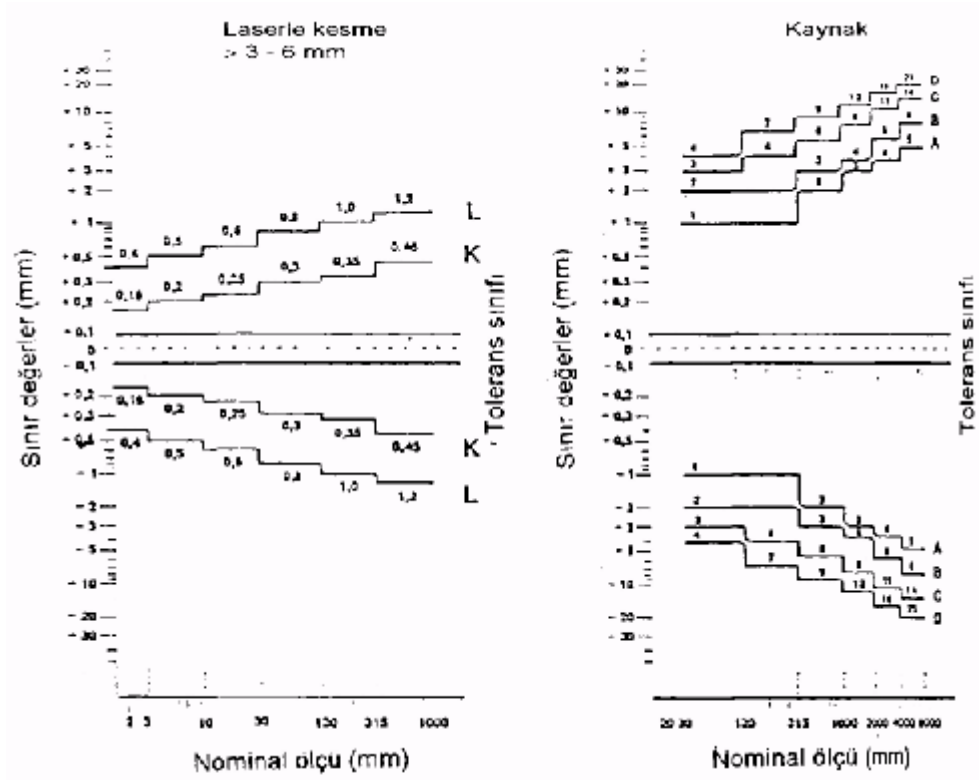
Tablo 6.8. DIN 2310 Kısım 5'te verilen Tablo 2 (Sınır ölçüler)

Tolerans sınıfı	Parça kalınlığı	Nominal ölçü için sınır değerler					
		3'e kadar	3-10	10-30	30-120	120-315	315-1000
K	1'e kadar	± 0,03	± 0,04	± 0,05	± 0,06	± 0,08	± 0,1
	1'den 3'e	± 0,06	± 0,1	± 0,12	± 0,15	± 0,2	± 0,25
	3'den 6'ya	± 0,16	± 0,2	± 0,25	± 0,3	± 0,35	± 0,45
	6'dan 10'a	± 0,3	± 0,35	± 0,4	± 0,5	± 0,6	± 0,7
L	1'e kadar	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,2	± 0,4	± 0,5
	1'den 3'e	± 0,2	± 0,3	± 0,4	± 0,4	± 0,6	± 0,8
	3'den 6'ya	± 0,4	± 0,5	± 0,6	± 0,6	± 1,0	± 1,2
	6'dan 10'a	± 0,6	± 0,7	± 0,8	± 0,8	± 1,2	± 1,6

Şekil 6 19'da

a) Laser ışınıyla kesmede DIN 2310 Kısım 5'e göre nominal ölçüler için sınır değerler, (nominal ölçü alanı 3-1000 mm, saç kalınlığı 3-6 mm)

b) DIN 8570 Kısım 1 "Kaynaklı konstrüksiyonlar için genel toleranslar", nominal ölçü alanı 30-8000 mm için kaynaklı konstrüksiyonların uzunluk ölçülerinin sınır değerleri birbiriyle karşılaştırılmıştır.



Şekil 6.19. DIN 2310 Kısım 5 ile DIN 8570 Kısım 1'in karşılaştırılması

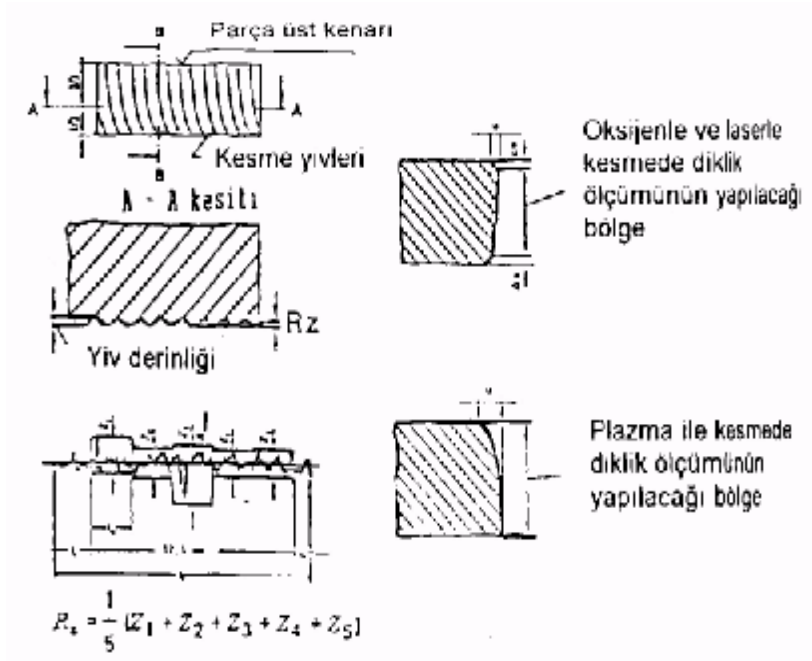
a) "Termik Kesme", DIN 2310 Kısım 5: Laserle kesilen parçalarda nominal uzunluklar için sınır değerler. Saç kalınlıkları: 3-6 mm, nominal ölçü alanı: 3-1000 mm, Tolerans sınıfı K ve L.

b) "Kaynaklı Konstrüksiyonlar için genel toleranslar", DIN 8570 Kısım 1: Kaynaklı konstrüksiyonlarda uzunluk ölçüleri için sınır değerler. Nominal ölçü alanı: 30-8000 mm, Tolerans sınıfları A, B, C ve D.

Şekilden de görüldüğü gibi, laser ışınıyla kesme yöntemi kullanılarak, çok dar toleranslara sahip parçalar üretilebilir, I-alın ağızlarının yeterli olduğu bütün yöntemler için kullanılabilir. Laser ışınıyla kesme ile düşük eğimli eğik düzlemler de kesilebilmektedir.

6.2.4. Ortalama Pürüz Derinliğinin Saptandığı Bölge

Ortalama pürüz derinliği, oksijenle ve plazma ile kesmede, parça üst yüzeyinden itibaren saç kalınlığının 2/3'ü mesafede ölçülür. Laserle kesmede ise 2 mm'den kalın saçlarda yine aynı mesafeden ölçülür. 2 mm'den ince saçlarda ise kesitin ortasından ölçüm yapılır. DIN 2310 standardında, pürüz derinliği ile diklik ve eğiklik toleransları ölçümlerinin nerede ve nasıl yapılacağı belirlenmiştir (Şekil 6.20). Ortalama pürüz derinliği, birkaç ölçümün ortalamasıdır. Ölçme boyu 12,5 mm'dir. Ortalama pürüz derinliğinin ölçümünde, hassas bir cihaz seçilmelidir.

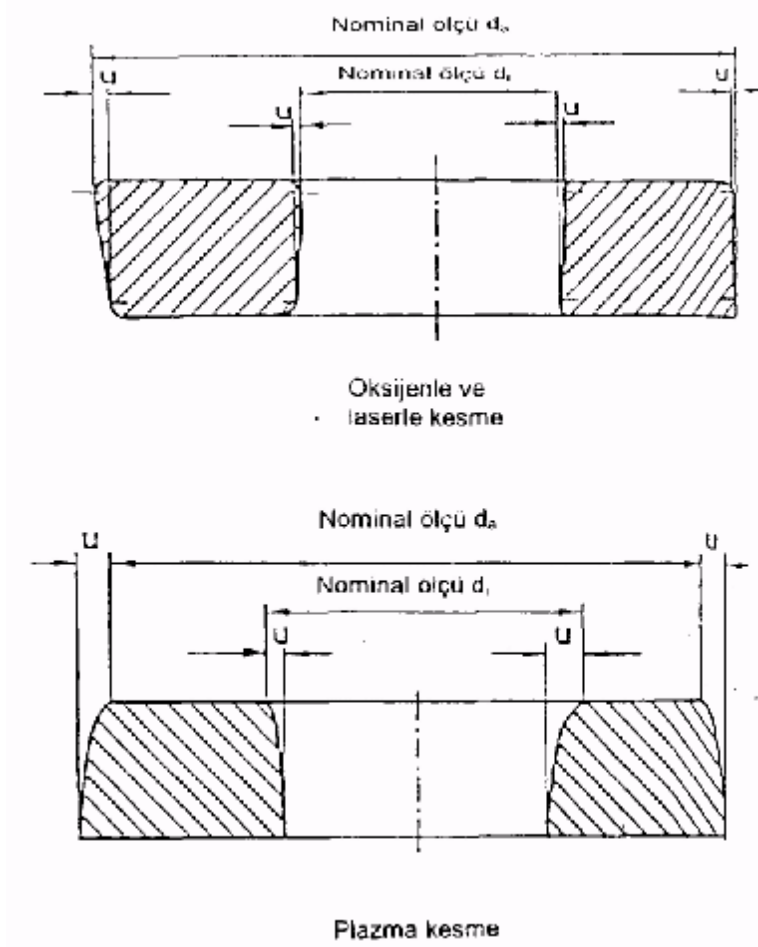


Şekil 6.20. Ortalama pürüz derinliği, diklik ve eğiklik toleranslarının ölçüleceği bölgelerin DIN 2310'a göre belirlenişi.

6.2.5. Diklik ve Eğiklik Toleranslarının Saptandığı Bölge

Diklik ve eğiklik toleranslarının saptandığı bölge, oksijenle ve laserle kesmede benzer şekilde tanımlanmıştır. Bu değerlerin ölçümünde kesit üst ve alt kenarlarında, saç kalınlığına bağlı olarak değişen bir Δa bölgesi dikkate alınmaz (Şekil 6.21-üst şekil).

Plazma ile kesmede diklikten sapma ölçülürken, erime nedeniyle üst kenarda oluşan yarıçapın etkisi de dikkate alınır. Kenarların erimesiyle oluşan yarıçap, diklik ve eğiklik toleransına dâhil edilir (Şekil 6.21-alt şekil).



Şekil 6.21. Bir halka örneğinde nominal boyutlar

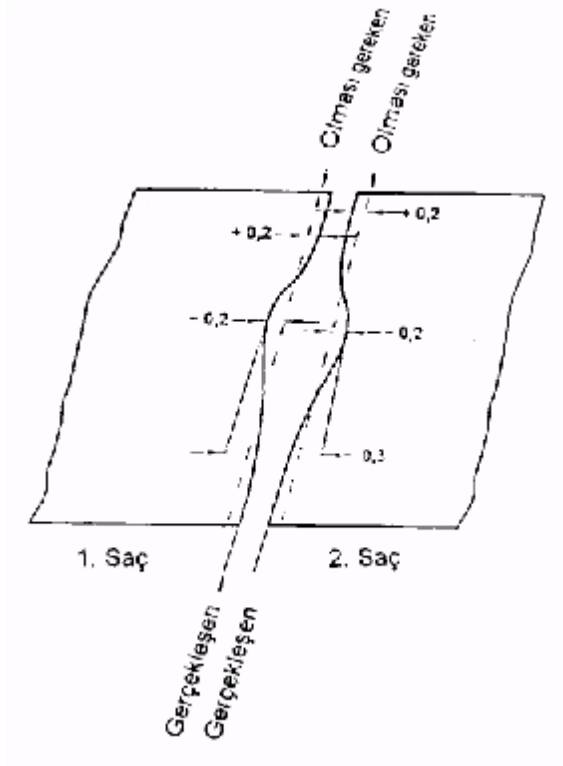
Oksijenle ve laser ışınıyla kesmede diklik ve eğiklik toleransı " u " nedeniyle ortaya çıkan boyut farklılıkları, boyut için verilen sınır değerleri aşmamalıdır. Plazma ile kesmede ise, nominal boyutun sınır değerleri, bu sapmaları içermez. Bu nedenle bu farklılıkların, kesilecek parçanın boyut toleranslarının belirlenmesinde dikkate alınması gerekir.

6.2.6. Oksijenle ve Plazma ile Kesmede Kullanılan Kesme Makinalarının Hassasiyeti

Bu makinaların sahip olması gereken hassasiyetler, DIN 8523'te belirlenmiştir. Bu standartta doğrusal ve biçimsel hassasiyetten söz edilmektedir.

6.2.6.1. Doğrusal Hassasiyet

Doğrusal hassasiyetin değeri ile kesme ucunun ve dolayısıyla kesme huzmesinin ideal bir doğrudan sapması verilmektedir. DIN 8523'e göre doğrusal hassasiyet 10 metrelik bir kesme boyunda $\pm 0,2$ mm'nin altında kalmalıdır. Bu toleransla bir saçın kenarının doğrusal olarak kesilmesi sırasında ve tolerans alanının tam olarak kullanılması halinde, 0,8 mm genişliğinde bir kesme yarığı oluşur. Bu değer, otomatik kesme yöntemlerinde, kesme yarığı için üst sınırı oluşturur (Şekil 6.22).



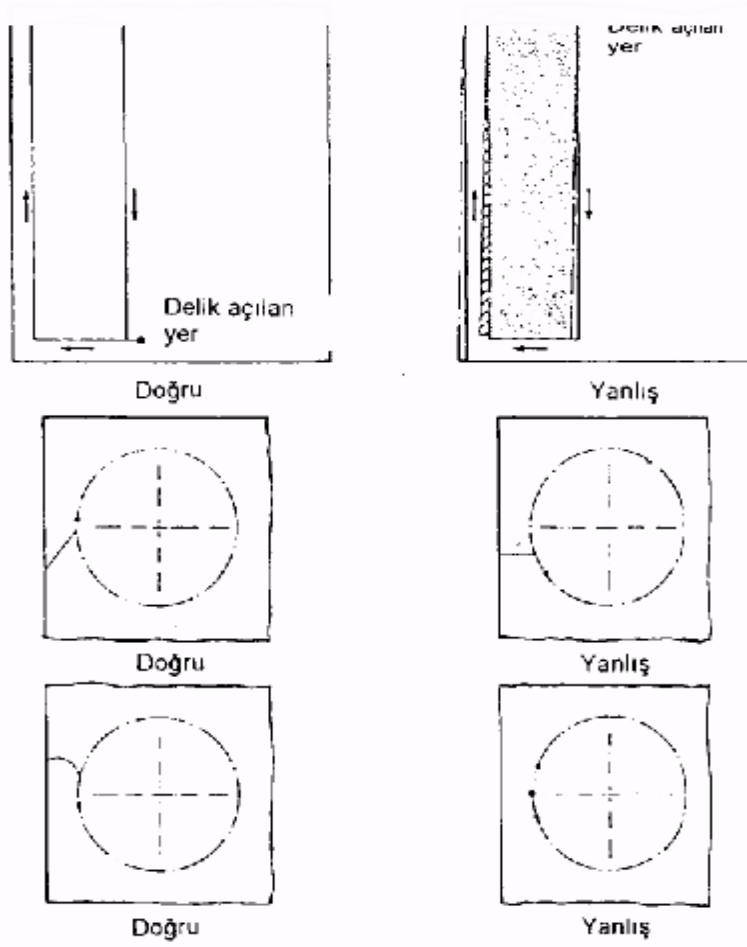
Şekil 6.22. Doğrusal hassasiyetin kesme yarığı genişliğine etkisi.

6.2.6.2. Biçimsel Hassasiyet

Biçimsel hassasiyet, belirli bir biçime sahip parçaların kesilmesinde, nominal boyutlardan sapmayı verir. Bu değer 10 m uzunluk için $\pm 0,6$ mm'dir. Pratikte genellikle daha küçük parçalar üretildiği için, daha dar toleranslar söz konusudur (Örneğin 0,2 - 0,3 mm).

6.2.6.3. Kesmenin Başlatıldığı Noktanın Kesilen Parçanın Boyut Toleranslarına Etkisi

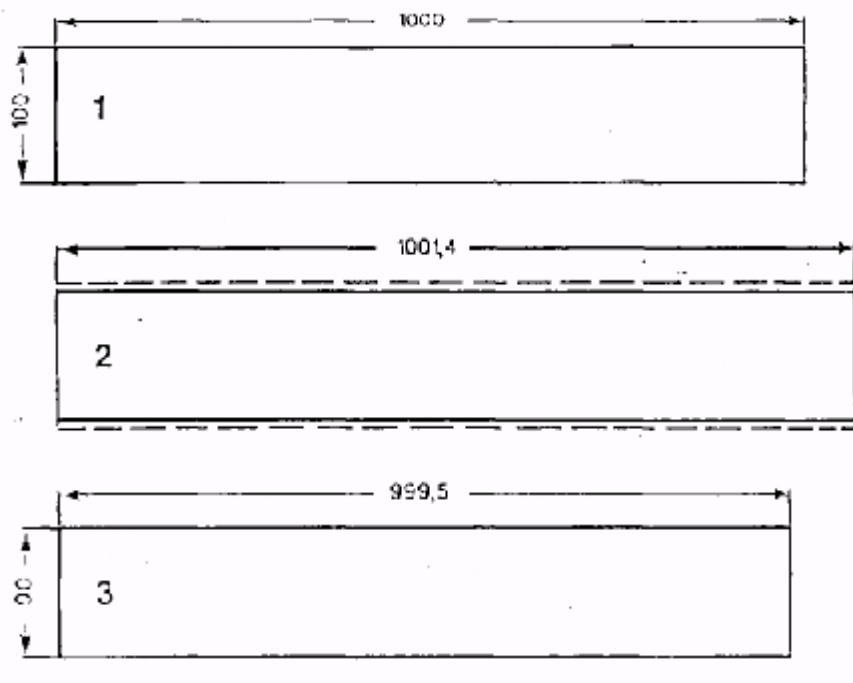
Kesmenin başlatıldığı nokta ve kesme yönü doğru olarak seçilerek, ısının kesilen parçanın boyut hassasiyetine olumsuz etkisi en aza indirilebilir



Şekil 6.23. Isı etkisiyle oluşan çarpımları azaltmak için kesme başlangıcının ve kesme yönünün uygun seçimi.

6.2.6.4. Isının Kesilen Parçaların Hassasiyetine Etkisi

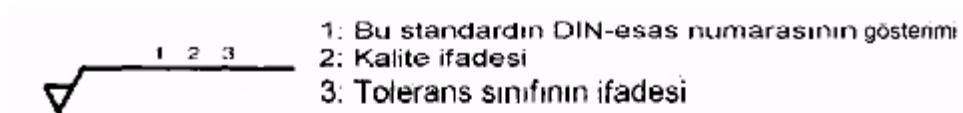
Tavlama alevinin ve kesme huzmesinin ısı etkisinin, kesilen parçada oluşturduğu boyutsal değişimler Şekil 6.24'de görülmektedir. Aynı anda iki üfleçle kesilen 1000 mm uzunluğunda ve 100 mm genişliğindeki bir parça, kesmeden hemen sonra tavlama nedeniyle 1,4 mm genişleşmiş olmasına karşın, soğuma sırasındaki büzülme sonucu 0,5 mm kısalmır. Sadece bir üfleçle kesilirse, şekil değişimi yaklaşık 2 mm olur ve kesme yüzeyi büzülür.



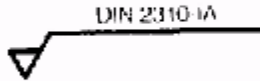
Şekil 6.24. Aynı anda iki üfleçle kesilen 10 mm kalınlığındaki bir parça üzerinde ısı etkisi.

6.2.7. Kesme Yüzeyi Kalite ve Toleranslarının Gösterimi

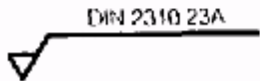
Oksijenle yakarak kesilecek bir yapı elemanının gerekli kalite ve toleransı, DIN 2310 Kısım 3'e göre aşağıdaki şekilde gösterilir:



Aşağıda iki uygulama örneği verilmiştir:



Burada **Kalite I** ve **Tolerans Sınıfı A** gereklidir.



Burada diklik ve eğiklik toleransları için **Alan 2**, ortalama pürüz derinliği için **Atan 3** ve **Tolerans Sınıfı A** gereklidir

Kesme yüzeyi kalitesi, Tablo 6.9'da gösterildiği gibi, esas olarak gaza, memeye, makinaya ve

malzemeye bağlıdır. Bu büyüklükler, büyük oranda kesme işlemini yapan personelin eğitiminden etkilenir.

Alevle yakarak kesmede, sadece büyük, modern makinalarla ve büyük malzeme değerleriyle çalışılmaz; aynı zamanda yanıcı gaz ve oksijen debileri de büyük miktarlardadır. Bu nedenle sadece basit değil, aynı zamanda emniyet tekniklerine de uygun tertibatlar gerekir.

Tablo 6.9. Kesme yüzeyi kalitesine etki eden faktörler

Alevle kesme			
İşletme gazı	Kesme memesi	Makina	Malzeme
Basınç	Konstruksiyon	Konstruksiyon	Kimyasal bileşim
Debi	Yaş	Yaş	Kalınlık
Sıcaklık	Durum	Durum	Durum
Tur	Saçtan uzaklık	İlerleme (kesme)	Hata
Safiyet	Kesme açısı	hızı	Sıcaklık
Karışım oranı			FeO ₂ reaksiyonu
Akış özellikleri			

Kesme yüzeyinin hangi hassasiyette olmasının gerektiği, kullanım amacına bağlıdır. Oksijenle kesilen parçaların büyük kısmı, bir sonraki imalatta kaynak yapılacak kaynak ağızlarıdır. Bu tür yüzeyler için **Kalite I (Kalite I, Alan 2)** yeterlidir.

6.3. Alevle ve Plazma İle Kesmede Kesme Hataları

Kesme hataları TS 7227 (05.89) (DIN 8518) 'da standartlaştırılmıştır.

Bu standartta kesme hataları,

Grup 1 (Kesme kenarı hataları)

Grup 2 (Kesme yüzeyi hataları)

Grup 3 (Cüruf kalıntısı)

Grup 4 (Çatlaklar) ve






Grup 5 (Diğer çatlaklar)

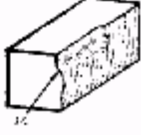

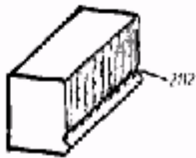
olmak üzere beş gruba ayrılmıştır.

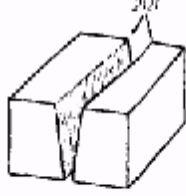
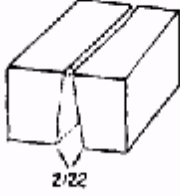
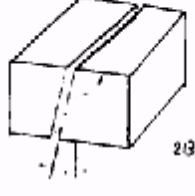
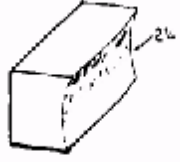
Tablo 6.10'da hata grupları ile hataların sınıflandırma numaraları ve tanımları verilmiştir.


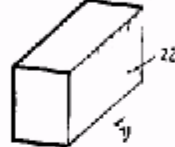
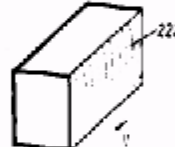
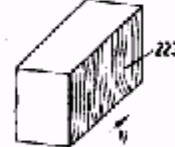
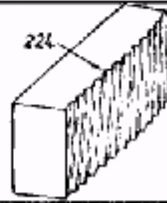
Tablo 6.10. Kesme hataları

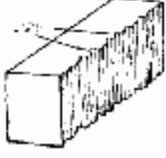
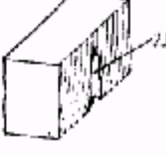

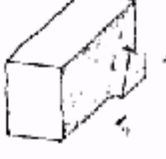

Sıfırlan dırma No	Adlandırma	Tanıml	Resimle açıklama
HATA GRUBU 1: KESME KENARI HATALARI			
1	Kesme kenarı hatası	Kesme kenar bölgesinde erime veya aşınma vasıtasıyla meydana gelen yüzey hasarı	
11	Kesme kenarı erimesi	Kesme kenarının çok fazla yuvarlanması	


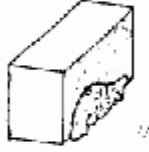
111		Üst kesme kenarında erime	
112		Alt kesme kenarında erime	
12	Sıra halinde katılmış damlacıklar	Katılmış malzeme damlacıklarının kesme kenarı boyunca zincir şeklinde ardarda dizilmesi	
121		Kesme kenarının üst kısmında meydana gelen zincirleme katılmış damlacıklar	
122		Kesme kenarının alt kısmında meydana gelen zincirleme katılmış damlacıklar	
13	Kesme kenarının sarkması	Üst kesme kenarında meydana gelen malzeme sarkması	

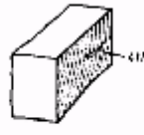
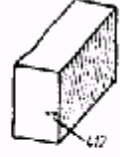
14	Üst kesme kenarının aşağı doğru erimesi	Üst kesme kenarının aşağı doğru eriyerek oyulması	
HATA GRUBU 2: KESME YÜZEYİ HATALARI			
2	Kesme kenarı hatası	İdeal kesme yüzeyinden sapma	
21	Düz olmama	Kesme yüzeyinin düz olmaması ¹¹	
211	İçbükey kesme yüzeyi	Kesme yüzeyinin kesme kenarına yakın olarak oyuklaşması	
2111		Oyuklaşmanın üst kesme kenarı altında olması	
2112		Oyuklaşmanın alt kesme kenarı üzerinde olması	
¹¹ Duzlukten sapma teorik olarak uygun açıda olduğunda (örneğin dik açılı kesme durumunda 90°) kesme yüzeyi profiline en düşük ve en yüksek noktalarda temas eden iki paralel düzlem arasındaki mesafedir.			

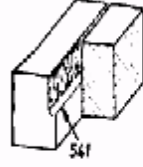
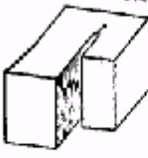
212	Kesme yarığının genişlemesi	Kesme yarığı genişler	
2121		Yarık genişlemesinin işparçasının üst kenarında olması	
2122		Yarık genişlemesinin işparçasının alt kenarında olması	
213	Kesme açısının sapması	Muntazam yarık genişliğindeki kesme açısının, istenen değerleri sağlamaması	
2131		Kesme yarığının tek tarafında kesme açısının genişlemesi	
214	Kesme yüzeyi profilinin içbükeyliği	Kesme yüzeyinin, tüm kesme kalınlığı boyunca özellikle orta bölgede oyuklaşması	

215	Dalgalı kesme yüzeyi profili	Kesme yüzeyinin, kesme kalınlığı yönünde dalgalı olması	
22	Sürüklenme hattı halası	Sürüklenme ³⁾ hatlarının normal şekillenenden sapması	
221	Aşırı sürüklenme	Sürüklenme hatlarının kesme yönünün tersi istikamette müsaade edilenden fazla sapması	
222	Sürüklenme hatlarının aralarının açılması	Üst kesme kenarının altındaki sürüklenme hatları arasındaki mesafenin belirgin olarak genişlemesi	
223	Sürüklenme hatlarının yerel olarak sapması	Sürüklenme hatlarının muntazam sürüklenme hattı şeklinden, kesme yönünde ve/veya ters yönde sapması	
224	Aşırı sürüklenme hattı derinliği ⁴⁾	Sürüklenme hatlarının oluklaşması	
<p>²⁾ Sürüklenme, gaz kesme düzleminde teorik çıkış ile kesilen metalin alt yüzeyinde kesme gazı akıntısının gerçek çıkışı arasında, kesme yönündeki mesafedir.</p> <p>³⁾ Ok işareti, kesme yönünü gösterir.</p> <p>⁴⁾ Sürüklenme hattı derinliği, kesme yönünde dik açıda muayene edilen hat boyunca esas profil ile gerçek profil arasındaki en büyük mesafedir.</p>			

226	Düzensiz sürüklenme hattı derinliği	Kabul edilemeyecek düzensizlikte sürüklenme hattı derinliği	
23	Oyulma	Kesme yüzeyinde özellikle kesme kalınlığı yönünde sınırlanmış aşınma derinliğidir. Bu, sürüklenme hattının genişlik ve derinlik aşınmasından fazladır.	
231	Tek tek oyulma	Oyulmanın birbirinden ayrı yerlerde olması	
232	Toplu oyulma	Oyulmanın gruplar halinde olması	
24	Kesme yüzeyi sonunun tamamen ayrılmaması	Kesme sonunda uçgen şeklinde kalan kısım	
25	Kesme yüzeyinin dalgalanması	Kesme yüzeyinin kesme yönünde dalgalanması	

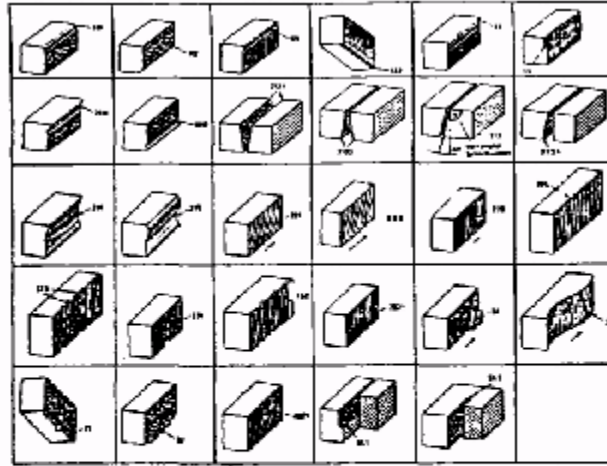
HATA GRUBU 3 : ÇURUF YAPIŞMASI HATALARI			
3	Çuruf yapışması	Kaldırılması zor olan çuruf lar	
31	Kesme kenarı altında çuruf yapışması	Kesme kenarının alt tarafında meydana gelen ve kaldırılması zor olan çuruf	
32	Kesme yüzeyinde çuruf parçası	Özellikle kesme yüzeyinin alt kısmında, kaldırılması zor olan çuruf parçası	
HATA GRUBU 4 : ÇATLAKLAR			
4	Çatlak	İki boyutlu uzanan sınırlı malzeme ayrılması	
401	Mikroçatlak	Sadece altı kat büyültmeden sonra görülebilen çatlak	
402	Makroçatlak	Normal gözle bakıldığında veya altı kat büyültmeye kadar görülebilen çatlak	

41	Uzunlamasına çatlak	Kesme yönünde ilerleyen çatlak	
411		Kesme yüzeyi üzerinde bulunan ve gözle görülebilen çatlak	
412		Kesme yüzeyinin hemen altında, ısının tesiri altındaki bölgede, sadece dik veya enine kesitte metalografik incelemede görülebilen çatlak	
HATA GRUBU 5 : DİĞER HATALAR			
5	Diğer hatalar	1 ile 4 hata gruplarına girmeyen hatalar	
51	Kesme başlangıcındaki hata	Kesme başındaki hata	
52	Delinme hatası	Bir delik şekline meydana gelen hata	

53	Aşırı yarık genişliği	Kesme yarığının istenenden daha fazla genişlemesi	
54	Kesme kaybı	Kesilmemiş malzemedeki kesme sonları	
541		Kesme derinliği yönünde bulunan kesilmemiş malzeme	
542		Kesme yönünde bulunan kesilmemiş malzeme	
55	Üst yüzey yarığı	Isı tesiriyle işparçası yüzeyinin hasara uğraması	
56	Boyut hatası	İstenen boyuttan sapma ⁵⁾	
<p>⁵⁾ Boyut sapması, teknik resim üzerinde verilen nominal ölçü ile kesme işleminden sonra temizlenmiş yüzey üzerinden ölçülen değer arasındaki sapmadır.</p>			

Tablo 6.11'de alevle kesmede görülen kesme hataları ve muhtemel nedenleri verilmiştir.

Tablo 6.11. Alevle kesmede görülen hatalar ve muhtemel nedenleri



Açıklama: 1: Birinci dereceden neden; 2: İkinci dereceden neden; 3: Üçüncü dereceden neden

Alevle kesmede	kesme hataları	
Grup 1: Kesme kenarı hataları	111	Kesme üst yüzeyinde kenar erimesi
	112	Kesme alt yüzeyinde kenar erimesi
	121	Kesme üst kenarında erimiş damla zinciri
	122	Kesme alt kenarında erimiş damla zinciri
	13	Kesme kenarının sarkması
	14	kesme üst kenarında aşağı doğru oyulma
Grup 2: Kesme yüzeyi hataları:	2111	Kesme üst kenarının üst yarısının oyuklaşması
	2112	Kesme alt kenarının alt yarısının oyuklaşması
	2121	Parça üst yüzeyinde kesme yarığı genişlemesi
	2122	Parça alt yüzeyinde kesme yarığı genişlemesi
	215	Kesme açısı sapması
	2131	Kesme yarığının tek tarafında kesme açısı genişlemesi
	214	Kesme yüzeyi profilinin oyuklaşması
	215	Kesme yüzeyi profilinin dalgalı olması
	221	Sürüklenmenin aşırı sapması
	222	Sürüklenmenin aralıklarının genişlemesi
	223	Sürüklenmenin yerel olarak aşırı sapması
	224	Aşırı sürüklenme hattı derinliği
	225	Düzensiz sürüklenme hattı derinliği
	231	Tek tek oyulma
	232	Toplu oyulma
	2321	Kesme yüzeyinin alt bölgesinde toplu oyulma
	24	Kesme yüzeyi sonunun tamamen ayrılmaması
	25	Kesme yönünde dalgalı kesme yüzeyi
	Grup 3: Curuf yapışması	31
32		Kesme yüzeyinde curuf yapışması
Grup 4: Çatlaklar	4021	Kesme yüzeyinde çatlaklar
Grup 5: Diğer hatalar	51	Kesme başlangıcında hata
	52	Delinme hatası
	53	Aşırı yarık genişliği
	541	Kesme derinliği yönünde kesilmemiş malzeme
542	Kesmeybütü doğrultusunda kesilmemiş malzeme	

Alevle kesmede hata nedenleri		Ufleç	Tavlama ve kesme memeleri (ortak hata)	Tavlama memesi	Kesme memesi	Saç	Malzeme sorunu
1	Üflecin kesme yönündeki açısı yanlış						
2	Üflecin kesme yönüne dik açısı yanlış						
3	Üfleç hızı ilerliyor	2					
4	Üfleç yavaş ilerliyor		1				
5	Üflecin hızı değişken						
6	Saç ile memne mesafesi çok fazla	2	2				
7	Saç ile memne mesafesi çok az	3	3				
8	Memne büyük seçilmiş	2	3				
9	Memne küçük seçilmiş						
10	Memneler kırı, hasarlı veya aşınmış		2				
11	Tavlama oksijeni fazla	3	1				
12	Tavlama alev çok kuvvetli	1	2				
13	Tavlama alevi çok zayıf	2					
14	Tavlama alevi kesilmiş						
15	Tavlama alevi çok reddüleyici		3				
16	Tavlama alevi sönmüş						
17	Kesme oksijeni: Basınc yüksek-debi fazla	3					
18	Kesme oksijeni: Basınc düşük-debi az	1	1				
19	Kesme oksijeni kanalı tıkanmış- hasarlı		3				
20	Kesme oksijeni bitmiş						
21	Kesme oksijeni bir an kesilmiş						
22	Kesme kanalı deliği çok büyük						
23	Malzeme alevle kesmeye uygun değil		1				
24	Yüzeyi boyalı, tıfıllı veya paslanmış						
25	Çuruf kalınlığı veya segregasyon var						
26	Saçta ince dağılmış kalıntılar var						
27	Saçta kalıntılar var						
28	Alemlerin miktari çok yüksek						
29	Karbon miktarı çok yüksek						
30	Kesim masasının engelleyici çuruf akışı						
31	Sıcak çallamaya duyarlı çelik						
32	Öntavlama yetersiz						
33	Parça hızı soğutulmuş						
34	Parça soğuk pakleştirilmiş						
35	Üfleç parça kenarına doğrultulmamış						
36	İlerleme başlangıcı erken veya geç						
37	Kesme oksijeni erken veya geç verilmiş						

6.4. Alevle Kesmede Kalite Kontrolü

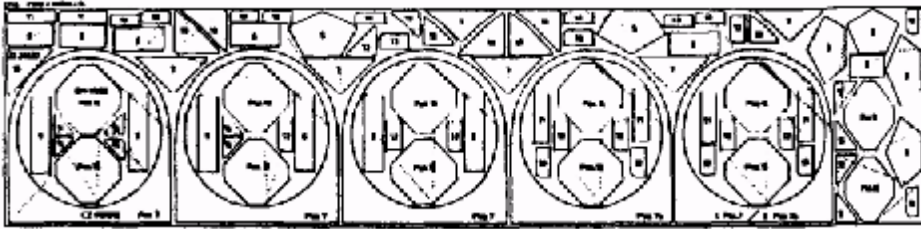
Alevle kesmede kalite kontrolünü, öncelikle elle ve makina ile kesme bakımından ayrı başlıklar halinde ele almak gerekir.

Bir alevle kesme makinasının kalitesi, kesme ölçülerinin kesinliğiyle belirlenir. Elle kesme makinalarında kontrol ise, her şeyden önce elle sağlanır. Burada kesilecek sınırlar, parça üzerine çizilir ve kesme personeli, makinayı bu çizgiler boyunca hareket ettirir. Erişilebilir kesme kalitesi, çalışan personelin becerisine bağlıdır. Manyetik bobinle kontrol, bugün daha çok çapraz arabalı kesme makinalarında kullanılır. Kuvvet geçişi, kesilecek parça üzerindeki şablonu izleyen manyetik bobin üzerinden sağlanır.

Keskin kenarlı kesmelerin (çapı = 4 mm) elde edilebilmesi için, manyetik bobinin mümkün olduğu kadar küçük olması gerekir (yaklaşık 8 mm çapında). Manyetik bobine bilgi aktaran şablonlar, 4 ila 8 mm kalınlıktaki çelik saçlardan hazırlanır.

Delinmiş kartlarla programlama, elle veya bir bilgisayar yardımıyla yapılabilir. Burada kesme personelinin bilgisi dışında, hız, delik yerleri ve kesme sonu gibi yardımcı bilgilere de ihtiyaç vardır. Bu değerlerle, delikli kartlar hazırlanır. Optimum kutu planı, ilave olanaklar sağlar. Delikli kartlardaki küçültülmüş ölçekli bilgiler, bir çizim makinasına aktarılır. Bu çizim makinasında kâğıt üzerinde çizilen yapı elemanları, sınırlarından kesilerek aynı ölçekte çizilmiş saç tablosuna yerleştirilir. Bir parçadan diğer parçaya birleşme koordinatlarının tespit edilmesinden sonra, çizim makinasında kontrol için çizilir. Kutuların modern yöntemleri, dijitalize edilmiş tertibatlardır. Bu tertibatlar, interaktif grafik ekran veya otomatik kutulama cihazlarıdır.

Alevle kesmede kutu planlarının otomatik hazırlanması (Şekil 6.25), çeşitli özellikte programlarla oluşturulmaktadır. Bu programlarla kullanıcı, saç tablolarını hızlı ve optimum şekilde parçalarla doldurur.



Şekil 6.25. Bir kutu planı örneği

Optik-CNC programlama da mümkündür. Bunlarda bir fotoskop ile sınırlar çizilir. Sınırlar hesaplanarak yerleştirilir; bilgisayar hafızasında saklanarak tekrar kullanılabilir.

6.5. Yardımcı Tertibatlar

Çeşitli yardımcı tertibatların kullanımı, tam mekanize kesme işlemini mümkün kılar.

Modern kesme makinalarında birden fazla üflecin kullanımı, kaçınılmaz bir şekilde gereklidir. Optimum kesme hızlarına ulaşılması, aralıksız çalışma ve kesme yüzeyinin mümkün olan en yüksek kalitede olması, üfleç ile parça arasındaki optimum mesafenin sabit tutulmasıyla mümkündür.

Üfleç yükseklik ayarı çeşitli şekillerde yapılabilir:

- **Ayar silindirleriyle mekanik olarak yükseklik ayarı:** üfleç yükseklik ayarının bu en basit şekli,

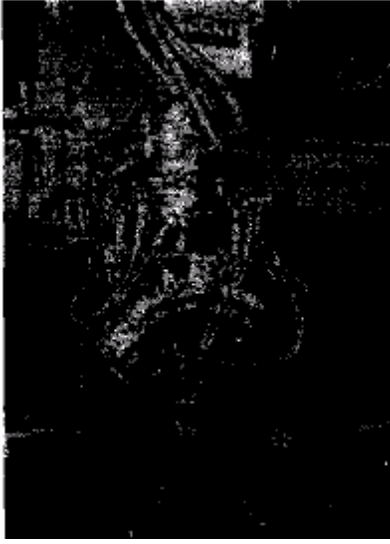
çok verimli ve etkindir ancak şekilli kesmelerde kullanılamaz. Keskin köşe yapmada ve çok yivli kesme ağızlarında yeterlidir.

- **Elektro-manyetik ayarlama düzeneği:** burada ayarlama işlemi, elektrikli bir motorla çalışan bir impulsu ayarlayıcı ile sağlanır. Bu tür ayarlama çok yaygın değildir.

- **kapasitif yükseklik ayarı:** burada üfleç mesafe ayarı, halka şeklindeki algılayıcı bir sensör ile parça arasındaki kapasitansın değişimi ile değiştirilir. Ayarlama ± 1 ila $\pm 0,5$ mm arasındaki bir hassasiyetle, hızlı ve kademesiz olarak yapılabilir. Tam mekanize kesmede, kesme üflecinin tam konumlandırılması, bu tip yükseklik ayarıyla yapılmaktadır.

Çok üfleçli tertibatlar (Şekil 6.26), çok yüzeyli kaynak ağızlarının hazırlanmasında ekonomik kesme sağlar. Üç üfleçli tertibatlar kaynak ağızlarının hazırlanmasında, her türlü ağızın hazırlanmasını mümkün kılar. Sonsuz dönebilen tertibatların kullanımıyla, eğri ağızlar hazırlanabilir. Gaz çıkışı, bu uygulamalarda bir kamara oluşturulmasını sağlar.

Nümerik kontrollü makinalarda, üfleçlerin hareketlerinin otomatize edilmesi mümkündür. J-ağızların kesilmesi, Longcav-tertibat (Şekil 6.27) ile yapılır.



Şekil 6.26. Üç üfleçli tertibat



Şekil 6.27. Longcav tertibat

Delik açma otomatığı, saçlarda otomatik olarak kesme başlangıcı oluşturulmasını sağlayan bir tertibattır. Bu tertibat, tam mekanik kesmede kaçınılmaz bir şekilde gereklidir. Bu işlem, CNC makinalarda yardımcı bir fonksiyon üzerinden kontrol edilir. Bu tertibat, fotoelektrik kontrollü bir makinada da gereklidir. Bunun için ayar parametresi, otomatik delik açma tablolarından alınabilir. Maksimum delik açma kalınlığı yaklaşık 130 mm'dir.

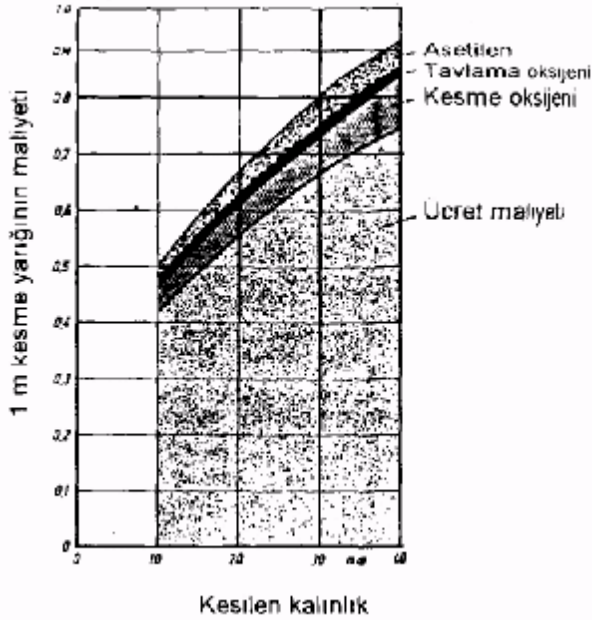
İşlemin ilerlemesi o şekilde kontrol edilmelidir ki, malzeme hızlı bir şekilde tavlansın, kesme oksijeni doğru dozda malzemeye sevk edilmesi ve cürufklar kesme yarığında üflenerek uzaklaştırılmalıdır.

Cürüfler uzaklaştırılırken üfleç memesine zarar vermemelidir.

Kesme kalitesinin sürekliliğinin sağlanması, malzeme, saç kalınlığı, gaz türü ve meme sistemi gibi kesme parametrelerine bağlıdır. Bu nedenle tavlama oksijeni için optimum gaz debisi gereklidir. Bunlar, delik açma işlemi ve kesme işlemi için geçerlidir. Elle ayar hatalarından kaçınılmalıdır.

6.6. Alevle Kesmede Ekonomiklik

Alevle kesme yöntemlerinin ekonomikliği, farklı parametrelere bağlıdır. Bunların başında işletmeye özgü düzenlemeler gelir. Gemi yapımı, çelik konstrüksiyon ve basınçlı kap ve kazan imalatı gibi işletmelerde, özel bir kesme atölyesinin bulunması gerekir. Bu atölyelere malzeme akışı ve kesilmiş malzeme çıkışı sorunsuz olmalıdır; kaldırma makinaları ile uygun şekilde donatılmış olmalıdır. Makinaların devamlı çalışma süreleri, ekonomik kesme üzerine büyük etki yapar. Fotoelektrik kontrollü makinalarda bu süre pratikte % 25 ila 50 kadardır. CNC kontrollü makinalarda bu süre % 75 ila 80'e çıkar. İş hazırlığının şablonlar, çizimler ve kutu planları ile oluşturulması, bu sürelerin artmasına yol açar. Şekil 6.28'de bir üfleçle her bir metre başına maliyet faktörlerinin dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 6.28. Alevle kesmede maliyet faktörlerinin dağılımı

Bu şekil, maliyetin en önemli kısmının ücret maliyetleri olduğunu göstermektedir. Bu nedenle kesme hızları artırılarak ve tavlama süreleri kısaltılarak saat başına kesme miktarının yükseltilmesi gerekir.

Ekonomikliğin yükseltilmesinde diğer önemli bir unsur, paket kesmedir. Bir pakette 0,5 ila 10 mm kalınlığında saçlar, 50 ila 100 mm paket kalınlığına kadar kesilebilir. Ancak bu yöntemde, saçların tam olarak temizlenmiş ve aralıksız yerleştirilmiş olmaları zorunludur. Her bir durumda germe tertibatı şarttır.

Paket kesmeyle karşılaştırıldığında, çok üfleçle kesme, birkaç kat daha ekonomiktir.

BÖLÜM 7.

KESME DATALARI

Bu bölümde, termik kesme teknolojisinde genel olarak geçerli kesme dataları verilmiştir. Ancak bu bölümde verilen değerler, araştırma çalışmaları sonucunda bulunan değerlerdir. Bu nedenle pratik uygulamalarda küçük miktarda değişimler olabilir. Kullanıcıların bu hususu göz önünde bulundurmaları tavsiye olunur.

Kesme teknolojisinde kalite ve ekonomikliğin sağlanmasında, sadece bu bölümde verilen dataların uygulanması yeterli olmaz. Ayrıca kullanılan teçhizatın, malzemelerin ve kesme işlemini yapan personelin de birlikte düşünülmesi gerekir.

Yöntem: Alevle kesme		Malzeme: Alaşimsız yapı çeliği (C ≤ % 0,3)							
Kesme memesi türü: Hızlı S veya Normal N ¹⁾		Parça sıcaklığı: yaklaşık 0 - 30°C							
Yanıcı gaz türü: Asetilen		Tüketim değerleri							
Saç kalınlığı	Ayar değerleri		Tavlama oksijeni (yaklaşık) Nm ³ / saat	Açıklamalar					
	Kesme hızı mm / dak	Kesme oksijeni üst basıncı (Yak.) bar			Yanıcı gaz (yaklaşık) Nm ³ / saat				
mm	S N	S N	S N	S N					
3	850	745	2	0,6	0,8	0,4	0,35	0,5	0,4
5	790	675	3	1	1	0,4	0,35	0,5	0,4
10	700	575	8	2	2	0,45	0,4	0,6	0,5
15	625	515	8...10	2,5	2,5	0,45	0,4	0,6	0,5
20	570	470	8...10	3	3	0,45	0,4	0,6	0,5
30	500	420	8...10	4	3,5	0,45	0,4	0,6	0,6
40	450	375	9...11	4,5	4,5	0,45	0,4	0,6	0,6
60	380	315	9...11	6,5	6,5	0,55	0,5	0,6	0,7
100	295	245	9...11	9,5	12	0,7	0,65	0,7	0,8
150	230	195	9...11	13,5	18	0,9	0,85	1	1,1
200	175	155	9...11	17	23	1,1	1	1,2	1,2
250	135	125	9...11	26	28	1,1	1	1,2	1,2
280	120	110	12	33	31	1,2	1,1	1,4	1,4
300	110	100	12,5	34	33	1,3	1,2	1,5	1,5

Bu tablodaki değerler, aşağıya doğru yönlendirilmiş bir kesme hızı ile yapılacak diğer işlemler için geçerlidir. Kesme üçüncü kesme hızıyla yapılabilir.

1) S: Hızlı kesme memesi.

N: Standart işlemde kullanılan kesme memesi.

2) S: Hızlı kesme memesi.

N: Standart işlemde kullanılan kesme memesi.

3) S: Hızlı kesme memesi.

N: Standart işlemde kullanılan kesme memesi.

4) S: Hızlı kesme memesi.

N: Standart işlemde kullanılan kesme memesi.

5) S: Hızlı kesme memesi.

N: Standart işlemde kullanılan kesme memesi.

6) S: Hızlı kesme memesi.

N: Standart işlemde kullanılan kesme memesi.

7) S: Hızlı kesme memesi.

N: Standart işlemde kullanılan kesme memesi.

8) S: Hızlı kesme memesi.

N: Standart işlemde kullanılan kesme memesi.

9) S: Hızlı kesme memesi.

N: Standart işlemde kullanılan kesme memesi.

10) S: Hızlı kesme memesi.

N: Standart işlemde kullanılan kesme memesi.

11) S: Hızlı kesme memesi.

N: Standart işlemde kullanılan kesme memesi.

12) S: Hızlı kesme memesi.

N: Standart işlemde kullanılan kesme memesi.

13) S: Hızlı kesme memesi.

N: Standart işlemde kullanılan kesme memesi.

14) S: Hızlı kesme memesi.

N: Standart işlemde kullanılan kesme memesi.

15) S: Hızlı kesme memesi.

N: Standart işlemde kullanılan kesme memesi.

16) S: Hızlı kesme memesi.

N: Standart işlemde kullanılan kesme memesi.

Yöntem: Aleve kesme		Malzeme: Alaşimsız yapı çeliği (C ≤ % 0,3)											
Kesme memesi türü: Hızlı S veya Normal N ¹⁾		Parça sıcaklığı: yaklaşık 0 - 30°C											
Yanıcı gaz türü: MAPP veya benzeri karışım gazlar		Ayar değerleri											
Saç kalınlığı	Kesme hızı mm / dak	Kesme oksijeni üst basıncı (yak.) bar		Kesme oksijeni (yaklaşık) Nm ³ / saat		Yanıcı gaz (yaklaşık) Nm ³ / saat		Tavlama oksijeni (yaklaşık) Nm ³ / saat		Açıkla- malar			
		S	N	S	N	S	N	S	N	S	N		
3	830	2	2	1,5	1,5	0,25	0,2	0,7	0,6				
5	750	2	2	1,5	1,5	0,25	0,2	0,7	0,8				
10	640	5...7	3	2	2	0,3	0,25	0,8	0,7				
15	575	7...8	3,5	3	3	0,3	0,25	0,8	0,7				
20	530	8...9	4	4	3,5	0,3	0,25	0,8	0,7				
30	470	8...9	4,5	5	4	0,3	0,25	0,8	0,7				
40	425	8...9	4,5	5,5	4,5	0,3	0,25	0,8	0,7				
60	360	8...9	5	8	7	0,35	0,3	1	0,9				
100	280	7...9	5,5	10,5	10,5	0,5	0,45	1,3	1,2				
150	215	9	6	13,5	13,5	0,7	0,65	1,8	1,7				
200	170	9...11	6,5	18	17	0,8	0,75	2	1,8				
250	135	11...12	7,5	28	25	0,85	0,8	2,1	2				
280	120	12	8	31	28	0,95	0,85	2,3	2,1				
300	110	12,5	8,5	330	30	*	0,9	2,4	2,2				

Bu tabloda, değerler; aşağıya doğru yönlendirilmiş bir kesme hız memesiyle yapılacak dikey kesme işlemleri için geçerlidir. Kesme çeliği sabit kesme hızıyla yavaş hızla tutulmalıdır.

Elde edilen kesme yüzeylerinde DIN 2310 Kalite Sınıfı için geçerli olabilmesi için şartlar şunlardır:

Üfelenen kesme memesi türü: mümkün olduğu kadar sarımsız olmalıdır. Kesme oksijeninin saflığı en az % 99,5 olmalıdır.

Kesme memesinin kalitesi: doğru seçilmiş, iyi kalitede, hasarsız ve temiz olmalıdır.

Tavlama aleviden etkilediği parça yüzeyi: pasız, mümkünse hadde çurufan temizlenmiş, boyasız ve herhangi bir kaplama bulunmamalıdır.

Kesme hızının düşürülmesi: küçük radyuslarda yaklaşık % 10, 30°'lik eğik kesimlerde % 25 ve 45°'lik eğik kesimlerde % 45 düşürüldür.

*) S: Hızlı kesme memesi, genellikle daha yüksek kesme oksijeni basıncı gerektirir. N: Standart işlemlerde kullanılan kesme memesi.

Yöntem: A. evle kesme		Malzeme: A. aşısız yapı çeliği (C ≤ % 0,3)									
Kesme memesi türü: Hızlı S veya Normal N ¹⁾		Parça sıcaklığı: yaklaşık 0 - 30°C									
Yanıcı gaz türü: Propan		Tüketim değerleri									
Saç kalınlığı mm	Kesme hızı mm / dak		Kesme oksijeni üst basıncı (yak.) bar		Kesme oksijeni (yaklaşık) Nm ³ / saat		Yanıcı gaz (yaklaşık) Nm ³ / saat		Tavlama oksijeni (yaklaşık) Nm ³ / saat		Aplika- malar
	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	
3	800	685	2	2	0,6	1,5	0,35	0,3	1,4	1,2	
5	720	620	2	2	1	1,5	0,35	0,3	1,4	1,2	
10	615	530	5	3	2	2	0,4	0,35	1,6	1,4	
15	565	480	7	3,5	3	2,5	0,4	0,35	1,6	1,4	
20	510	440	8	4	4	3	0,4	0,35	1,5	1,3	
30	450	380	8	4,5	5	4	0,4	0,35	1,5	1,3	
40	405	355	8	4,5	5,5	4,5	0,4	0,35	1,5	1,3	
60	345	305	8	5	8	7	0,45	0,4	1,7	1,5	
100	270	240	7	5,5	10,5	10,5	0,65	0,6	2,3	2,1	
150	210	190	9	6	13,5	13,5	0,5	0,75	2,8	2,6	
200	165	155	9	6,5	18	16,5	0,85	0,8	3	2,8	
250	130	125	9	7,5	28	23	0,9	0,85	3,2	3	
280	115	110	12	8	31	27	1	0,95	3,4	3,2	
300	105	100	12,5	8,5	33	28	1	0,95	3,4	3,2	

Bu tablodaki değerler, aşağıya doğru yollandıkça bir kesme hızıyla yapılacak dikey kesme işlemleri için geçerlidir. Kesme üfletici sabit kesme hızıyla yapıldığında tutulmalıdır.

Elde edilen kesme yüzeylerinde Dikey 2310 Kalite Sınıfı'na geçirelir olabilmeleri için şartlar şunlardır:

Üfletici tutulması: mümkün olduğunca kesme hızını azaltarak kesilmelidir. Kesme oksijeninin saflığı en az % 99,5 olmalıdır.

Kesme memesinin kalitesi: doğru sacımlı, iyi kalitede, hasarsız ve temiz olmalıdır.

Tavlama alevinin etkilediği parça yüzeyi: pasız, mümkünse hadde çurukları temizlenmiş, boyasız ve herhangi bir kaplama bulunmamalıdır.

Kesme hızının düşürülmesi: küçük radyuslarda yaklaşık % 10, 30'lık eğik kesimlerde % 25 ve 45'lik eğik kesimlerde % 45 düşürülmelidir.

1) S: Hızlı kesme memesi, genellikle daha yüksek kesme oksijen basıncı gerektirir. N: Standart işlemlerde kullanılan kesme memesi.

Yöntem: Alevli kesme		Malzeme: Alaşmsız yapı çeliği (C ≤ % 0,3)										
Kesme memesi türü: Normal N ¹		Parça sıcaklığı: yaklaşık 0 - 30°C										
Kesme memesi türü: Normal N ¹		Parça sıcaklığı: yaklaşık 0 - 30°C										
Yanıcı gaz türü: Doğalgaz (metan) M veya havagazı L		Ayar değerleri										
Saç kalınlığı	mm	Kesme hızı		Kesme oksijeni üst basıncı (yak.) bar		Kesme oksijeni (yaklaşık) Nm ³ / saat		Yanıcı gaz (yaklaşık) Nm ³ / saat		Tavlama oksijeni (yaklaşık) Nm ³ / saat		Açıklamalar
		M	L	M	L	M	L	M	L	M	L	
3	685	2	2	1,5	1,5	0,9	1,8	1,7	1,8	1,8	1,8	
5	620	2	2	1,5	1,5	0,9	1,8	1,7	1,8	1,7	1,8	
10	530	3	3	2	2	1	2,1	1,9	1,9	1,9	1,9	
15	480	3,5	3,5	2,5	2,5	1	2,1	1,9	1,9	1,9	1,9	
20	440	4	4	3	3	1	2,1	1,9	1,9	1,9	1,9	
30	390	4,5	4,5	4	4	1	2,1	1,9	1,9	1,9	1,9	
40	355	4,5	4,5	4,5	4,5	1	2,1	1,9	1,9	1,9	1,9	
60	305	5	5	7	7	1,2	2,4	2	2	2	2	
100	240	5,5	5,5	10,5	10,5	1,8	3,7	3	3	3	3	
150	190	6	6	13,5	13,5	2,2	4,5	3,5	3,5	3,5	3,5	
200	155	6,5	6,5	16,5	16,5	2,4	4,9	3,7	3,7	3,7	3,7	
250	125	7,5	7,5	23	23	2,5	5,2	3,9	3,9	3,9	3,9	
280	110	8	8	27	27	2,8	5,8	4,2	4,2	4,2	4,2	
300	100	8,5	8,5	28	28	2,8	5,8	4,2	4,2	4,2	4,2	

Bu tablodaki değerler, aşağıya doğru yönlendirilmiş bir kesme huzmesiyle yapılacak kesme işlemleri için geçerlidir. Kesme üfleci, sabit kesme hızına yayı düzlemde tutulmalıdır.

Elde edilen kesme yüzeylerinde DIN 2310 Kalite Sınıfı'nın geçeri olabilmesi için şartlar şunlardır:

Üflecin tutuluşu: mümkün olduğu kadar sarsıntısız olmalıdır. Kesme başının sarılığı en az % 99,5 olmalıdır.

Kesme memesinin kalitesi: doğru seçilmiş, iyi kalitede, hassas ve temiz olmalıdır.

Tavlama alevinin etki ettiği parça yüzeyi: pasız, mümkünse hadde curufarı temizlenmiş, boyasız ve herhangi bir kaplama bulunmamalıdır.

Kesme hızının düşürülmesi: küçük radyüslerde yaklaşık % 10, 30'lık eğik kesimlerde % 25 ve 45'lik eğik kesimlerde % 45 düşürülür.

N¹ Standart İşlem-06 kullanılan kesme memesi

Yöntem: Alevle kesme		Malzeme: Alaşimsız yapı çeliği. (C ≤ % 0.3)									
İmalat türü: Tam mekanize		Parça sıcaklığı: yaklaşık D - 30°C									
Kesme memesi türü: Dış karışmalı tleme											
Yanıcı gaz türü: Doğalgaz (99,9 Metan)		Ayar değerleri ¹⁾									
Saç kalınlığı	mm	Kesme hızı					Kesme oksijeni üst basıncı bar	Tüketim Kesme oksijeni (yaklaşık) Nm ³ / saat	Yanıcı gaz (yaklaşık) Nm ³ / saat	Tavlama oksijeni (yaklaşık) Nm ³ / saat	Açıklamalar
		0-30 °C'de	300 °C'de	600 °C'de	900 °C'de	900 °C'de					
50	360	510	700	900	16	6	5				
100	260	390	540	700	20	6	5				
200	165	270	375	500	40	8	6				
300	125	195	280	380	60	10	7				
400	100	160	215	300	80	12	7,5				
500	85	120	165	230	100	14	9				
600	75	100	135	180	120	16	10				
900	50	-	-	-	180	35	15				
1200	40	-	-	-	240	50	20				

¹⁾ Bu tablodaki değerler, aşağıya doğru yollandıkça kesme hızları düşmektedir. Kesme ölçeği, sabit kesme hızıyla yatay düzlemde tutulmalıdır.

Eldedilen kesme yüzeylerinde DIN 2310 Kalite Sınıfı için geçerli olabilmesi için şartlar şunlardır:

Üfleme türütüsü: mümkün olduğu kadar sarımsız olmalıdır. Kesme oksijeninin safliği en az % 99.5 olmalıdır.

Kesme memesinin kalitesi: doğru seçilmiş, iy kalitede hasarsız ve temiz olmalıdır.

Tavlama alevinin etkilediği parça yüzeyi: pasız, mürkünse haddde durdurulan temizlenmiş boyasız ve herhangi bir kaplama bulunmamalıdır.

Kesme hızının düşürülmesi: küçük kalınlarda yaklaşık % 10, 30'lık eğik kesimlerde % 25 ve 45'lik eğik kesimlerde % 45 düşürülmelidir.

Yöntem: Tozaltında Alevle Kesme		Malzeme: Çifti Çeşli Dökümedamir									
İmalat türü: Tam mekanize		Parça sıcaklığı: yaklaşık 0 - 30°C									
Kesme memesi türü: Tozaltında kesme memesi											
Yanıcı gaz türü: Asetilen, MAPP, Propan, Metan (Doğalgaz)		Tüketim değerleri									
Sağ kalınlığı mm	Kesme hızı mm/dak	Ayar değerleri		Kesme oksijeni (yaklaşık) Nm ³ / saat	Asetilen Nm ³ / saat	MAPP Nm ³ / saat	Propan Nm ³ / saat	Doğal gaz (Doğal gaz)	Tavlama oksijeni (yaklaşık) Nm ³ / saat	Demir tozu (yaklaşık) kg/h	Açıkta amalar
		Kesme oksijeni üst basıncı (yaklaşık) bar	Kesme oksijeni (yaklaşık) Nm ³ / saat								
5	720...780	3...3,5	2	0,5	0,35	1,05	6				
10	510...560	3,5...4	3	0,55	0,35	1,2	6				
15	410...455	3,5...4	4,5	0,6	0,4	1,3	6,5				
20	345...385	3,5...4	6,5	0,65	0,4	1,4	6,5				
30	255...295	4...4,5	9,5	0,75	0,5	1,6	7				
40	200...230	4...4,5	12	0,8	0,55	1,7	7				
60	140...170	4...4,5	17	1	0,65	2,1	8				
100	90...110	4,5...5	24	1,2	0,8	2,5	9,5				
150	65...80	4,5...5	30	1,4	0,95	3	11				
200	55...70	5...5,5	34	1,6	1,05	3,4	12				
250	45...55	5,5...6	37	1,7	1,1	3,6	13,5				
300	40...50	5,5...6	40	1,8	1,2	3,6	15				

Bu tablodaki değerler aşağıya doğru yönelen ölçümlerle bir kesme hızı esaslı olarak yapılacak diğer kesme işlemleri için geçerlidir. Kesme öncesi sac kesme hızıyla aynı düzlemde tutulmalıdır.

Ulaşılabilecek kesme kaliteleri: ÇZNi-Çankırı merkezli kesme. Dökümedamirle buraya ayrılarak, burada kesme 10 mm kalınlığa kadar bakır ve 100 mm kalınlığa kadar alüminyum malzeme için. Bu yöntemle kesilebilir.

Ünvanın tutulması: mümkün olduğunda kadar sarımsız olmalıdır. Kesme oksijeni miktarı en az % 99,5 olmalıdır.

Kesme memesinin kalitesi: doğru seçilmiş, iyi kalitece, nasırsız ve temiz olmalıdır.

Yöntem: Plazma kesme		Malzeme: Alüminyum					
İmalat türü: Tam mekanize		Kesme pozisyonu: Tüm boy pozisyonlar mümkündür					
Kesme türü Argon-Hidrojen tekniği							
Sağ kalınlığı	Ayar değerleri ¹⁾		Tüketim değerleri ¹⁾			Açıklamalar	
	Kaliteli kesme	Ayırma kesmesi	Argon	Hidrojen	Azol		
mm	Akım şiddeti (Kesme akımı)	Kesme hızı mm/dak	Akım şiddeti (Kesme akımı) A	mm/dak	Argon	Hidrojen	Azol
4	70/120	3600/3000	120	25 mm kalın- lığa kadar	20/25 ¹⁾	8/10 ¹⁾	-
5	70/120	1550/5000	120	120 A'lık kalı- telli kesim ile aynı	20/25 ¹⁾	8/10 ¹⁾	-
10	70/120	1100/1600	120		20/25 ¹⁾	8/10 ¹⁾	-
15	70/120	600/1300	120		20/25 ¹⁾	8/10 ¹⁾	-
20	70/120	350/750	120		20/25 ¹⁾	8/10 ¹⁾	-
25	70/120	200/500	120		20/25 ¹⁾	8/10 ¹⁾	-
30	-	-	120	350	25	10	-
35	-	-	120	250	25	10	-
40	-	-	120	200	25	10	-

Bu tabloda ki değerler 1,4 mm çapında torç memesi olan beşli çalınma gerilim 200 V olan ve maksimum 2 ltr 4 kW'lık 5 l'lik güçüne sahip cihaz için geçerlidir

1) 120 A

Yöntem: Plazma kesme		Malzeme: Yüksek alaşımlı yapı çeliği (Örneğin: X5CrNi189)					
İmalat türü: Tam mekanize		Kesme pozisyonu: Tüm torç pozisyonları mümkündür.					
Saç kalınlığı	Ayar değerleri		Tüketim değerleri			Açıklamalar	
	Kaliteli kesme	Ayrırma kesmesi	İt/dak				
mm	Akım şiddeti (Kesme akımı)	Kesme hızı	Akım şiddeti (Kesme akımı)	Kesme hızı	Argon	Hidrojen	Azot
3	70/120	2100/3500	120	25 mm kalın- liğa kadar	10	-	20
4	70/120	1450/2400	120	120 A'lık kalı-	10	-	20
5	70/120	1100/2000	120	120 A'lık kalı-	10	-	20
10	70/120	650/950	120	teli kesim ile aynı	20	4/8	-
15	70/120	350/600	120		20	4/8	-
20	70/120	250/450	120		20	8	-
25	-/120	-/350	120		25	8	-
30	-	-	120		25	8	-
35	-	-	120		25	8	-
40	-	-	120		25	8	-

Bu tablodaki değerler, 1,4 mm çapında torç mezesi olan, boşta çalışma genliği 200 V olan ve maksimum 12 ile 14 kW'lık bir ark gücüne sahip cihazlar için geçerlidir.

1) 120 A

Yöntem: Plazma kesme		Malzeme: Alüminyum					
İmalat türü: Tam mekanize		Kesme pozisyonu: Tüm teç pozisyonları mümkündür					
Kesme türü: Argon-Hidrojen tekniği		Tüketim değerleri ¹⁾					
Saç kalınlığı	Ayar değerleri ¹⁾		Ayrırma kesmesi		Açıklamalar		
	Kaliteli kesme	Kesme hızı	Akım şiddeti (Kesme akımı)	Kesme hızı		İt'dak	
mm	A	mm/dak	A	mm/dak	Argon	Hidrojen	Azot
10	120	1600	250	4500	12	6	-
20	120/200	900/1200	250	2000	20	10	-
30	200	700	250	1200	20	10	-
40	200	500	250	700	20	10	-
50	200/250	300/400	250	500	25	12	-
60	250	250	250	300	25	12	-
70	-	-	250	200	25	12	-
80	-	-	250	150	25	12	-
90	-	-	250	100	25	12	-

Bu tablodaki değerler: boşta çalışma gerilimi: 400 V olan ve maksimum: 50 kW'lık bir ark gücüne sahip cihazlar için geçerlidir.

Meme çapı: 1,4 mm (120 A'e kadar); 2 mm (200 A'e kadar); 2,5 mm (250 A'e kadar)

Kesme yarığı genişliği: 2-3 mm; yaklaşık 4 mm; yaklaşık 5 mm.

Yöntem: Plazma kesme		Malzeme: Yüksek alaşım yapı çeliğ (Cameç n.250Ni*58)		
İmalat türü: Tam mekanize		Kesme pozisyonu: Tüm teç pozisyonları mümkündür		
Kesme türü: Argon-Hidrojen tekniği		Tüketim değerleri		
Saç kalınlığı	Ayar değerleri ¹⁾		Açıklamalar	
	Kaliteli kesme	Ayırma kesmesi		
mm	Akım şiddeti (Kesme akımı)	Akım şiddeti (Kesme akımı)	İt/dak	
	A	A	Argon Hidrojen Azot	
	mm/dak	mm/dak	12/20 ¹⁾ 8/10 ¹⁾	
10	120	250	1500	-
20	120/200	250	900	10
30	200	250	900	10
40	200	250	350	10
50	250	250	250	12
60	250	250	150	12
70	-	250	100	12
80	-	250	50	12
90	-	250	50	12

EU tablosundaki değerlere²⁾ boşta çalışma gerilimi 400 V olan ve maksimum 50 kW'lık bir ark gücüne sahip cihazlar için geçerlidir.

1) Meme Gapı: 1-4 mm (1-20 A'e kadar); 2 mm (200 A'e kadar); 2.5 mm (250 A'e kadar)
Kesme yarıklığı genişliği: 2-3 mm; yaklaşık 4 mm; yaklaşık 5 mm

2) 250 A.

Yöntem: Plazma kesme		Malzeme: Alüminyum					
İmalat türü: Tam mekanize		Kesme pozisyonu: Tüm teğ pozisyonları mümkündür					
Kesme türü: Argon-Hidrojen tekniği		Tüketim değerleri					
Saç kalınlığı	Ayar değerleri		Tüketim değerleri			Açıklamalar	
	Kaliteli kesme	Ayırma kesmesi	Argon	Hidrojen	Azot		
mm	Akım şiddeti (Kesme akımı)	Kesme hızı	Akım şiddeti (Kesme akımı)	Kesme hızı	Argon	Hidrojen	Azot
	A	mm/dak	A	mm/dak	20/30	0,20	-
10	200	3000	500	5000	20	10	-
20	200	1400	500	3500	20	10	-
30	200	700	500	2500	20	10	-
40	200/280	500/500	500	1800	25	12	-
50	280/400	600/750	500	1250	25	18	-
60	400	550	500	850	25	18	-
70	400/500	450/550	500	700	30	20	-
80	500	450	500	500	30	20	-
90	500	380	500	400	30	20	-
100	500	280	500	350	30	20	-
110	-	-	500	300	30	20	-
120	-	-	500	250	30	20	-
130	-	-	500	150	30	20	-
150	-	-	500	100	30	20	-
150	-	-	500	100	20	20	-

Bu tablodaki değerler, boşta çalışma genliği 4,00 V olan ve maksimum 50 KW'lık bir ark gücüne sahip cihazlar için geçerlidir.

Meme parç. Kesme yarıç. genişliği 3 mm (360 A e -sazır) 3,5 mm (450 A e kadar) 2,5 mm (600 A e kadar)

500 A 6 mm 10 mm 12 mm

Yöntem: Plazma kesme		Malzeme: A aşımız yapı çeliği					
İmalat türü: Taç mekanize		Kesme pozisyonu: Farklı torç pozisyonları mümkündür.					
Kesme türü: Su-Plazma tekniği							
Sağ kalınlığı	Ayar değerleri		Tüketim değerleri			Açıklamalar	
	Kaliteli kesme	Ayırma kesmesi	İt'dak				
mm	Akım şiddeti (Kesme akımı)	Kesme hızı	Akım şiddeti (Kesme akımı)	Kesme hızı	Argon	Hidrojen	Azot
5	250	3500	500	4700	60	80	1,5
10	250-400	2100/3000	500	3550	60	80	1,5
15	250-400	1200/2000	500	2300	60	80	1,5
20	400	1200	500	1700	60	80	1,5
25	400	750	-	-	-	80	1,5
30	500	500	-	-	-	80	1,5
35	500	360	-	-	-	80	1,5
40	500	300	-	-	-	80	1,5
50	500	200	-	-	-	80	1,5

Su-Plazma tekniği:
Maksimum ark gücü: 100 kW
Boşta çalışma gerilimi: 420 V
Meme çapı: 4,2 mm (400 A'e kadar) 4,75 mm (600 A'e kadar)

Yöntem: Plazma kesme		Malzeme: Yüksek alaşımı yapı çeliği (Örneğ. S35CrNi185) ve Alüminyum		
İmalat türü: Tam mekanize		Kesme pozisyonu: Farklı torç pozisyonları mümkündür.		
Kesme türü: Su-Plazma tekniği		Tüketim değerleri ¹⁾		
Saç kalınlığı	Ayar değerleri		İt/dak	Açıklamalar
	Kaliteli kesme	Ayırma kesmesi		
mm	Akım şiddeti (Kesme akımı)	Akım şiddeti (Kesme akımı)	Argon	Azot
5	250	500	60	15
10	250/400	500	60	15
15	250/400	500	60	15
20	400	500	60	15
25	400	500	-	15
30	500	500	-	15
35	500	500	-	15
40	500	500	-	15
50	500	500	-	15

Su-Plazma tekniği
Maksimum ark gücü: 100 kW
Boşta çalışma gerilimi: 400 V
Meme çapı: 4-2 mm (400 A'e kadar)

4-75 mm (600 A'e kadar)

¹⁾ Alüminyum malzemeler: Keserken her bir alışı m tipine göre tablodaki kesme hızı değerleri % 20 oranında artırılabilir

Yöntem: Alevle ayık açma		Malzeme: Genle yapı çeliğ / yaşılmıya dayanıklı çeliğ / Kazan sacı												
İmalat türü: Tam mekanize		Kaynak ilave malzemesi: -												
Alın dikişlerindeki veya iç köşe dikişlerindeki iç çetirmelerin izaklaşırılması için teknik yöntemle:														
Saç kalınlığı	Üfleç tipi	İşletme basıncı Asetilen	İşletme basıncı Oksijen	Üfleç genişliği	Ayar Üfleç üst yüzeyden mesafesi	Çalışma pozisyonu: herhangi bir pozisyon		Tüketim değerleri		Acı kılma lar				
						Üfleçin orijinal mesafesi	Su süzgecinin mesafesi	İlerleme hızı	Asc-tilen		Oksijen	Su	İtirdak	İtirdak
mm		bar	bar	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	lt/dak	lt/dak	lt/dak	lt/dak
5				60	40	110	130	700						
8	F 60	0,25	2,5	60	40	115	130	500	21	27,3	2			
10				60	25	125	130	400						
10				100	25	155	130	500						
15	F 100	0,3	2,5	100	25	180	130	500	35	38,5	2,4			
20				100	25	180	130	250						
25	S*3/1,0	0,5	3,5	100	25	180	130	200						
30				105	50	250	130	120						
35	S*5/1,0	0,5	3,5	130	30	250	130	50	40,7	44,8	7,7			
40				130	30	250	130	70						
50				130	30	250	130	50						
60	S*3/1,2	0,5	3,5	130	40	250	130	40						
70				130	40	250	130	30	81,4	85,7	4			
80				130	40	250	130	20						

* F50: 60 mm genişliğinde alev hızı mesesi üfleci - F100: 100 mm genişliğinde alev hızı mesesi üfleci
S*3/1,0: Her biri 1 mm çapında 13 delikli olan üfleç - S*5/1,0: Her bir 1 mm çapında 5 delikli olan özel üfleç
S*3/1,2: Her biri 1,2 mm çapında 13 delikli olan özel üfleç.

Yöntem : Laser ışınıyla kesme		Esas malzeme: RSI 37-2									
İmalat türü : Tam mekanize		Kesme gazı : Oksijen									
Saç kalınlığı mm	Kesme yarığı genişliği mm	1 kW - Laser			1.2 kW - Laser			1.2 kW - Laser			Düşün- celer
		Kesme hızı mm / dak	Büyük kontur	Küçük kontur	Kesme hızı mm / dak	Büyük kontur	Küçük kontur	Kesme hızı mm / dak	Büyük kontur	Küçük kontur	
1	0,15	8000-5000	600	160	1000	160	10000-7000	600	1200	160	1200
1,5	0,15	7000-4500	500	160	1000	160	7500-5700	500	1200	160	1200
2	0,15	6000-4000	400	180	1000	180	6200-4800	400	1200	180	1200
2,5	0,15	5000-3700	350	180	1000	180	5000-4200	350	1200	180	1200
3	0,15	4000-3400	300	180	1000	180	4200-3600	300	1200	180	1200
4	0,15	3000-2500	300	350	1000	350	3300-2800	300	1200	360	1200
5	0,15	2200-1800	300 ¹⁾	400	1000	400	2500-2000	300 ¹⁾	1200	400	1200
6	0,15	1600-1300	300 ¹⁾	400	1000	400	1800-1600	300 ¹⁾	1200	400	1200
8	0,3	1000-800	800	1000	1000	1000	1200-1000	800	1200	1000	1200
10	0,3						800-700	800	1200	1200	1200

¹⁾ "Büyük kontur", çapın veya kenar uzunluğunun, saç kalınlığının 2 katından büyük olması demektir.
²⁾ "Küçük kontur", çapın veya kenar uzunluğunun, saç kalınlığının 2 katından küçük olması demektir.
³⁾ Saç a - herarında uzaklaşımabilir yapıda hefti sakal (erimiş demir acık yapılaşması) oluşur.

Yöntem : Lase ışınıyla kesme		Esas malzeme: RSI 37-2									
İmalat türü: Tam mekanize		Kesme gazı : Oksijen									
1,5 kW - Lase											
Saç kalınlığı mm	Kesme yanığı genişliği mm	5" - Mercek Laser				7,5" - Mercek Laser				Düşünceler	
		Kesme hızı mm / dak	Büyük kontur	Küçük kontur	W	Kesme hızı mm / dak	Büyük kontur	Küçük kontur	W		
1	0,15	10000-7000	500	1200	250	7500-8000 ¹⁾	500	1200	250		
1,5	0,15	7500-6700	500	1200	300	6400-5300	500	1200	300		
2	0,15	6200-4800	500	1200	340	5500-4700	500	1200	340		
2,5	0,15	5000-4200	500	1200	380	4400-3800	500	1200	380		
3	0,15	4200-3600	500	1200	410	3600-3100	500	1200	410		
4	0,15	3300-2800	500	1200	450	2700-2300	500	1200	450		
5	0,15	2700-2300	400	1500	480	2200-1900	400	1500	480		
6	0,15	2200-1900	300	1500	500	1900-1600	300	1500	500		
8	0,3	1300-1000	800	1500	1000	1400-1100	800	1500	1000		
10						1100-900	800	1500	1200		
12 ¹⁾						900-750	800	1500	1500		

¹⁾ Sakat oluşumu tam olarak önlenemez.

Yöntem : Laser ışınıyla kesme		Esas malzeme: X 5 CrNi 18 10 (Malzeme No.: 1.4301)									
İmalat türü: Tam mekanize		Kesme gazı : Azot (Yüksek basınçlı kesme)									
Saç kalınlığı mm	Kesme yarığı genişliği mm	1 kW - Laser			1.2 kW - Laser			Kesme gazı basıncı bar	İşin gücü Küçük kontur	Kesme gazı basıncı bar	
		Kesme hızı mm/dak	Laser ışın gücü W	Kesme gazı basıncı bar	Kesme hızı mm / dak	Küçük kontur	Büyük kontur				
1	0,15	5500-4000	1000	8	6200-4000	1000	1200	400	10		
1,5	0,15	3700-2800	1000	10	4200-3100	1000	1200	500	12		
2	0,15	2800-2200	1000	14	3200-2400	1000	1200	600	14		
2,5	0,15	2000-1500	1000	14	2400-1900	800	1200	600	14		
3	0,15	1400-1300	1000	15	1800-1500	700	1200	600	14		

Büyük konturların kesilmesi sırasında, konturun başlatılmasında (veya en az 10 mm için) kesme hızının önemli oranda düşürülmesi gerekir. Örneğin: 2 mm'lik sac kalınlığında 1200 mm/dak'ya, 2,5 mm'de 400 mm/dak'ya.

Küçük konturlarda bu değerler sırasıyla 400, 200 ve 100 mm/dak'dır.

Yöntem : Laser ışın yıla kesme		Esas malzeme: AlMg3, AlMgSi1						
İmalat türü: Tam mekanize		Kesme gazı : Azot (yüksek basınçlı kesme)						
Saç kalın lığı	Kesme yarığı genişliği	1 kW - Laser			1,2 kW - Laser			Düşün- celer
		Kesme hızı mm/dak	Laser ışın gücü	W	Kesme gazı basıncı	Kesme hızı mm/dak	Laser ışın gücü	
mm	mm	Büyük kontur	W	bar	Büyük kontur	W	bar	
1	0,15	5000	1000	10	6200-4000	1200	10	
1,5	0,15	2700	1000	14	3200-2200	1200	10	
2	0,15	1500	1000	14	2000-1400	1200	14	
2,5	0,15	900	1000	15	1200-1000	1200	14	
3	0,15				600-500	1200	14	

Büyük kontürlerin kesilmes sınırları kontürün başlatılmasında (veya en az 10 mm için) kesme hızının önemli birinde düşürülmüşü gerekir. Çirneğin : 5 mm'lik saç kalınlığında 2000 mm/dak'ya 2,5 mm'de 500 mm/dak'ya 3 mm'de 300 mm/dak'ya

1: Saç kalınlığına kaçınılmayan hafif sarkma (büyük) oluşur

FAYDALANILAN ESERLER

1. **ANIK, Selâhaddin**, "Pülverize Maddeler Vasıtasıyla Oksi-Asetilen Kesmesi", I.T.Ü. Dergisi, Cilt 15, Sayı 1, 1957
2. **ANIK, Selâhaddin**, KUNT, Erdal, "Havalı Karbon Arkı ile Rendeleme", Demir ve Çelik Mecmuası, Sayı 1, 1958,
3. **ANIK, Selâhaddin**, "Kaynak ve Kesmede Korunma Esaslarına Toplu Bir Bakış", Mühendis ve Makina, Sayı 14, 1958
4. **ANIK, Selâhaddin**, "Kesme Tekniğindeki inkişaflar", 1959-1960 yılı I.T.Ü. Makina Fakültesi Konferansları.
5. **ANIK, Selâhaddin**, "Oksi-Asetilen ile Elektrik Ark Usulü Rendelemenin Mukayesesi", Demir ve Çelik Mecmuası 9, Sayı 12, 1960
6. **ANIK, Selâhaddin**, LAYIKTEZ, Celil, "Havalı Karbon Arkı (Arcair) Usulü", Oerlikon Kaynak Tekniği K.T 5, 1968
7. **ANIK, Selâhaddin**, "Kaynak Tekniği-Cilt 1", İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi, Sayı: 960, i T.Ü. Matbaası, Gümüşsüyü 3.Baskı,1973
8. **ANIK, Selâhaddin**, "Kaynak Tekniği-Cilt 2", İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Sayı: 1217, I.T.Ü. Matbaası, Gümüşsüyü, 4.Baskı, 1982
9. **ANIK, Selâhaddin**, "Kaynak Teknolojisi El Kitabı", Ergör Matbaası, 1983, İstanbul.
10. **ANIK, Selâhaddin**, ANIK E.Sabri, VURAL, Murat, "1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı-Cilt 1", Birsen Yayınevi, ISBN 975- 511-094-X, 1993, İstanbul.
11. **BÖHME, D., HERMANN, F.D.**, "Handbuch der Schweissverfahren", Teil I-II, DVS-Verlag, Düsseldorf, 1991, 1992
12. **DORN, L.**, "Fügen und Termischen Trennen", Expert Verlag GmbH, 1984.
13. **N.N** , "Schneiden mit CO2- Hochleistung Lasern", VDI-Verlag, Düsseldorf, 1993
14. **ENGEMANN, B.**, "Schneiden mit Laserstrahlung und Wasserstrahl", Expert Verlag GmbH, 1993
15. **KULINA, RICHTER, RINGELHAN, WEBER**, "Materialbearbeitung durch Laserstrahl", DVS-Verlag, Düsseldorf, 1993
16. **N.N.**, "Welding Handbook", Eighth Edition, Vol. 1-2-3, American VVelding Society, 1991, 1993, 1996
17. **MAIR, H.**, "Unregelmaessigkeiten beim autogenen Brennschneiden und deren Ursachen", Jahrbuch Schweisstechnik '96, 1996, S. 187/195
18. **ANIK, Selâhaddin, DIKICIOĞLU, Adnan, VURAL, Murat**, "Termik Birleştirme ve Kesme Tekniğinde Doğalgaz", İstanbul, 1.Uluslararası Doğalgaz Kullanımı ve Dönüşümü Sempozyumu, 26-29 Kasım 1992, S. 11-18

19. **ANIK, Selahaddin, DİKİCİOĞLU, Adnan**, "Sualtında Kaynak ve Kesme", Meta 44, Haziran 1992, Sayı 15, S.21-25
20. **BORN, K., DORN, L., HERBRICH, K.**, "Plasma-, Laser-, Elektronenstrahl - Die Strahl-, Schweiss - und Schneidverfahren im Vergleich", Bleche, Rohre, Profile (1973), H.9
21. **WODTKE, C.H., PLUNKETTA, N.A., FRIZZEL, D.R.**, "Underwater Plasma Arc Cutting, welding Journal, 1976.
22. **BURKE, M.H.**, "Water-Injection Plasma-Arc Cutting", Welding and Metal Fabrication (1974), October
23. **VANSCHEN, W.**, "Plasmaschneiden von Staehlen und Nichteisenmetallen", Der Praktiker, 30(1978), H.3 und H.4
24. **HERMAN, F.D.**, "Termisches Schneiden", Die Schwweisstechnische Praxis, Band 13, DVS-Verlag, Düsseldorf, 1979
25. **MARCHAIMDISE, H.**, "Plasmatechnologie - Grundlagen und Anwendung", DVS-Berichte, No:8, DVS-Verlag, Düsseldorf, 1970
26. **N.N.**, "Recommended Safe Practices for Plasma Arc Cutting", American Welding Society, AWS A6.6, 1969
27. **POMASKA, H.U.**, "Kriterien deş Plasmaschneidens in der Anwendungstechnik", Der Praktiker 25 (1973), H.8.
28. **KARADENİZ, Süleyman., AKSOY, T.**, "Plazma Nedir?", DEÜ Denizli Mühendislik Fakültesi, 1.Mühendislik Haftası, 1985
29. **KARADENİZ, Süleyman.**, "Plasmametallurgische Herstellung von Metallegierungen", Dissertation, 1981, Technische Universitaet- Hannover
30. **RUTSCHER, A., DEUTSCH, H.**, "Plasmatechnik, Grundlagen und Anwendung", Cari Hansen Verlag, München, Wien, 1984
31. **BERNARD, P., SCHREIBER, G.**, "Verfahren der Autogentechnik", Fachbuchreihe Schwweisstechnik, Band 61, DVS-Verlag, Düsseldorf, 1973
32. **HASE, C., REITZE, W.**, "Fachkunde deş Autogenschweissens", Verlag W.Girarded, 7.Auflage, Essen, 1965
33. **VIGNARDED, L.**, "Oxycoupage et Coupage Plasma", Publication Ecole Superior de la Soudure Autogene, 1990
34. **AICHELE, R.**, "Leistungskennwerte für das Schweissen, Schneiden und verwandte Verfahren", Fahbuchreihe Schweisstechnik, Band 75, DVS-Verlag, Düsseldorf, 1981
35. **N.N.** "Autogenvverfahren, Thermisches Schneiden, Thermisches Spritzen und Arbeitsschutz", DIN-Taschenbuch 65, Beuth Verlag, 1988
36. **N.N.**, DIN 2310, DIN 8518, DIN 8522, DIN 8523, DIN 8543, DIN 32510, TS 3579, TS 7227, TS

11151 standartları.