

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Fe 37 (St 37) ile 316 PASLANMAZ ÇELİĞİN OKSİ-GAZ
VE MODERN KESME YÖNTEMLERİYLE
KESİLMESİNDE İŞLEM PARAMETRELERİNİN
ETKİLERİ**

Makine Müh. Volkan AKŞAHİN

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
İmal Usulleri Programında Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr.Selahattin YUMURTACI

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ÖNSÖZ.....	xvi
ÖZET.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
1. GİRİŞ.....	19
2. GAZ ERGİTME İLE KESME.....	21
2.1 Gaz Ergitme ile Kesme İşlemi.....	21
2.2 Oksijen ile Kesmenin Kimyasal Özellikleri.....	22
2.3 Malzemelerin Oksijen ile Kesilebilme Kabiliyetleri.....	25
2.3.1 Kesme Yüzeyi Kalitesini Etkileyen Faktörler.....	30
2.4 Yanıcı Gaz ve Oksijen Gazının Özellikleri.....	31
2.4.1 Yanıcı Gaz.....	31
2.4.1.1 Asetilen.....	35
2.4.1.2 Stabilize Metilasetilen-Propadien (MPS yada MAPP).....	35
2.4.1.3 Doğalgaz.....	36
2.4.1.4 Propan.....	37
2.4.1.5 Propilen.....	37
2.4.2 Oksijen.....	38
2.5 Kesme Donanımları.....	39
2.5.1 Kesme Üfleçleri.....	39
2.5.2 Kesme Memeleri.....	42
2.5.2.1 Kesme Oksijeni Kanalı.....	45
2.6 Oksijen ile Kesme İşleminin Uygulanması.....	46
2.7 Oksijen ile Kesmede Kesme Yüzeylerinin Kalitesi ve Ölçü Toleransları.....	48
2.7.1 Diklik ve Eğilim Toleransı.....	48
2.7.2 Ortalama Pürüzlülük Derinliği.....	49
2.7.3 Kenarların Ergimesi ile Oluşan Yarıçap.....	50
2.7.4 Doğrusal ve Eğrisel Kesimlerde Boyut Toleransları.....	50
2.8 Deneysel Çalışmalar.....	52
2.8.1 Parça No O0.....	53
2.8.2 Parça No O1.....	54
2.8.3 Parça No O2.....	55
2.8.4 Parça No O3.....	56
2.8.5 Parça No O4.....	57
2.8.6 Parça No O5.....	58
2.8.7 Parça No O6.....	59
2.8.8 Parça No O7.....	60
2.9 Oksijen ile Kesmede Kesme Hızı ile Yüzey Sertliği Arasındaki İlişki.....	61
2.10 Oksijen ile Kesmede Gaz Basıncı ile Yüzey Sertliği Arasındaki İlişki.....	61

3.	PLAZMA İLE KESME.....	63
3.1	Plazma Nedir?.....	63
3.2	Plazma Ark Tekniği	63
3.3	Plazma Arkı ile Kesme.....	65
3.3.1	Plazma Yapıcı Ortamlar	72
3.3.1.1	Argon.....	73
3.3.1.2	Hidrojen.....	74
3.3.1.3	Azot	74
3.3.1.4	Hava	75
3.3.1.5	Su	76
3.3.2	Plazma ile Malzemelerin Kesilmesi.....	76
3.3.3	Plazma Kesme Donanımları	76
3.3.3.1	Güç Kaynakları	76
3.3.3.2	Torç	77
3.3.3.3	Meme.....	80
3.3.3.4	Elektrodlar	80
3.3.4	Plazma Arkı ile Kesmede Yöntem Teknikleri.....	81
3.3.4.1	Argon-Hidrojen-Azot Plazma Kesme	81
3.3.4.2	Basınçlı Havayla Plazma Kesme, Oksijenle Plazma Kesme.....	82
3.3.4.3	Su Enjeksiyonlu Su Altında Plazma Kesme.....	82
3.3.5	Plazma Arkı ile Kesmede Kesme Yüzeylerinin Kalitesi	84
3.3.5.1	Diklik ve Eğiklik Toleransı “u”	85
3.3.5.2	Ortalama Pürüzlülük Derinliği “R _z ”	85
3.3.5.3	Tek Taraflı Isı Etkisi Altında Plazma ile Doğrusal ve Eğrisel Kesmede Boyut Toleransları.....	86
3.4	Deneysel Çalışmalar	87
3.4.1	Parça No P0	88
3.4.2	Parça No P1	89
3.4.3	Parça No P2	90
3.4.4	Parça No P3	91
3.4.5	Parça No P4	92
3.4.6	Parça No P5	93
3.4.7	Parça No P6	94
3.4.8	Parça No P7	95
3.4.9	Parça No P8	96
3.4.10	Parça No Ps0.....	97
3.4.11	Parça No Ps1.....	98
3.4.12	Parça No Ps2.....	99
3.4.13	Parça No Ps3.....	100
3.4.14	Parça No Ps4.....	101
3.4.15	Parça No Ps5.....	102
3.4.16	Parça No Ps6.....	103
3.4.17	Parça No Ps7.....	104
3.4.18	Parça No Ps8.....	105
3.5	Plazma ile Kesmede Akım Değeri ile Yüzey Sertliği Arasındaki İlişki	106
3.6	Plazma ile Kesmede Kesme Hızı ile Yüzey Sertliği Arasındaki İlişki	108
4.	LASER İLE KESME	109

	Sayfa
4.1	Laserin Tarihçesi ve Tanımı 109
4.2	Laserin Çalışma Prensibi ve Işın Kaynağı 110
4.3	Laser Işını ve Laser Işınının Özellikleri 112
4.3.1	Laser Işınının Dalga Boyu 113
4.3.2	Polarizasyon 113
4.3.3	Laser Işınının Taşınımı 114
4.3.4	Laser Işınının Güç Yağunluğu Dağılımı 115
4.3.5	Laser Işınının Odaklanması 115
4.4	Laser Türleri ve Çalışma Prensibleri 116
4.4.1	Nd:YAG Laserleri 117
4.4.2	CO ₂ Laserleri 119
4.5	Laserlerin Çalışma Şekilleri 120
4.5.1	Sürekli Dalga ile Çalışma 120
4.5.2	Darbeli Dalga ile Çalışma 120
4.6	Laser ile Kesme İşleminde Kullanılan Gazlar ve Özellikleri 121
4.6.1	Laser ile Kesmede Oksijen Kullanımı 121
4.6.2	Laser ile Kesmede Azot ve Argon Kullanımı 122
4.6.3	Laser ile Kesme İşlemlerinde Gaz Basıncının Önemi 123
4.7	Laser Işını ile Kesme Yöntemleri 123
4.7.1	Laser Işınıyla Yakarak Kesme 124
4.7.2	Laser Işınıyla Ergiterek Kesme 126
4.7.3	Laser Işınıyla Buharlaştırarak Kesme (Süblimleştirerek Kesme) 127
4.8	Laser Işını ile Kesmede Kesme Kalitesi 128
4.8.1	Laser Işınıyla Kesmede Diklik ve Eğiklik Toleransı 129
4.8.2	Laser Işınıyla Kesmede Pürüzlülüğün Değerlendirilmesi 129
4.8.3	Laser Işınıyla Kesmede İz Şekli 130
4.8.4	Laser Işınıyla Kesmede Kesme Yüzeyinin Genel Değerlendirilmesi 131
4.9	Deneysel Çalışmalar 133
4.9.1	Parça No L0 134
4.9.2	Parça No L1 135
4.9.3	Parça No L2 136
4.9.4	Parça No L3 137
4.9.5	Parça No L4 138
4.9.6	Parça No L5 140
4.9.7	Parça No L6 141
4.9.8	Parça No L7 142
4.9.9	Parça No L8 143
4.9.10	Parça No L9 144
4.9.11	Parça No L10 145
4.9.12	Parça No L11 146
4.9.13	Parça No L12 147
4.9.14	Parça No L13 148
4.9.15	Parça No L14 149
4.9.16	Parça No L15 150
4.9.17	Parça No L16 151
4.9.18	Parça No Ls0 152
4.9.19	Parça No Ls1 153
4.9.20	Parça No Ls2 154
4.9.21	Parça No Ls3 155
4.9.22	Parça No Ls4 156
4.9.23	Parça No Ls5 157

	Sayfa
4.9.24	Parça No Ls6 158
4.9.25	Parça No Ls7 159
4.9.26	Parça No Ls8 160
4.9.27	Parça No Ls9 161
4.9.28	Parça No Ls10..... 162
4.9.29	Parça No Ls11..... 163
4.9.30	Parça No Ls12..... 164
4.9.31	Parça No Ls13..... 165
4.9.32	Parça No Ls14..... 166
4.9.33	Parça No Ls15..... 167
4.9.34	Parça No Ls16..... 168
4.10	Laser ile Kesmede Güç ile Yüzey Sertliği Arasındaki İlişki..... 169
4.11	Laser ile Kesmede Kesme Hızı ile Yüzey Sertliği Arasındaki İlişki..... 170
4.12	Laser ile Kesmede Koruyucu Gaz Basıncı ile Yüzey Sertliği Arasındaki İlişki. 171
4.13	Laser ile Kesmede Odak Noktası ile Yüzey Sertliği Arasındaki İlişki..... 172
5.	SONUÇLAR..... 181
	KAYNAKLAR 183
	ÖZGEÇMİŞ..... 184

SİMGE LİSTESİ

u	Diklik ve Eğiklik Toleransı
R_z	Ortalama Pürüzlülük Derinliği
r	Kenarların Ergimesi Oluşan Yarıçap
R	Direnç
h	Özgül Entalpi
λ	Isıl İletkenlik

KISALTMA LİSTESİ

ITAB	Isı Tesiri Altındaki Bölge
MPS	Stabilize Metilasetilen-Propadien
MAPP	Stabilize Metilasetilen-Propadien
TIG	Tungsten Inert Gaz
WIPC	Su Enjeksiyonlu Plazma Tekniği
2E, 3E	2 Eksen ve 3 Eksen
TEM	Enine Uyarılmış Elektromanyetik Mod
DIN	Alman Standartları
EN	Avupa Normları
ISO	Uluslar Arası Standart Organizasyonu
HF	Yüksek Frekans
CW	Sürekli Dalga

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Tutuşma sıcaklığının denge durumu.....	23
Şekil 2.2. Kesme işlemi kesiti.....	24
Şekil 2.3. Oksijen ile kesme ağızlarındaki ısı tesiri altındaki bölge	26
Şekil 2.4. Çeliğin tutuşma sıcaklığının karbon içeriğiyle değişimi	28
Şekil 2.5. Oksijen ile kesim işleminde sürüklenme	31
Şekil 2.6. Çeşitli yanıcı gazların alev sıcaklıkları ve tutuşma hızları	33
Şekil 2.7. Gazların bağ yapıları.....	34
Şekil 2.8. Oksijen ile kesmede kullanılan üfleçler şematik olarak gösterilmiştir.....	40
Şekil 2.9. Kesme üfleçleri, TS 3579,	41
Şekil 2.10. Kesme memeleri sırası ile karışım yeri üfleç, karışım yeri meme (TS3579)	42
Şekil 2.11. Çift parçalı meme konstrüksiyonunun şematik gösterimi	43
Şekil 2.12. Tek parçalı (blok) meme konstrüksiyonunun şematik gösterimi	43
Şekil 2.13. Dış karışımli meme konstrüksiyonunun şematik gösterimi.....	44
Şekil 2.14. Oksijen ile kesme üfleçlerinde kullanılan kesme memeleri.....	45
Şekil 2.15. Kesme oksijeni için çıkış kanalı profilleri	46
Şekil 2.16. Kesme işlemine parça ortasından başlamada delik açma işlemi.....	47
Şekil 2.17. Oksijen ile kesme yardımıyla kaynak ağızının hazırlanması.....	47
Şekil 2.18. Diklik ve eğiklik toleransları.....	48
Şekil 2.19. Diklik ve eğiklik tolerans alanları	49
Şekil 2.20. Pürüzlülük ölçümü.....	49
Şekil 2.21. Ortalama pürüzlülük derinliği için tolerans alanları.....	50
Şekil 2.22. Kenar yuvarlanması.....	50
Şekil 2.23. Deneysel çalışmanın yapıldığı oksijen ile kesme makinesi	52
Şekil 2.24. O0 nolu parçanın resmi.....	53
Şekil 2.25. O1 nolu parçanın resmi.....	54
Şekil 2.26. O2 nolu parçanın resmi.....	55
Şekil 2.27. O3 nolu parçanın resmi.....	56
Şekil 2.28. O4 nolu parçanın resmi.....	57
Şekil 2.29. O5 nolu parçanın resmi.....	58
Şekil 2.30. O6 nolu parçanın resmi.....	59
Şekil 2.31. O7 nolu parçanın resmi.....	60
Şekil 2.32. Fe 37 (St 37) malzemede farklı kesme hızlarındaki sertlik ölçümleri.....	61

Şekil 2.33. Fe 37 (St 37) malzemede farklı gaz basınçlarındaki sertlik ölçümleri	62
Şekil 3.1. Plazma arkının büzülmesinin, ark sıcaklığına ve ark gerilimine etkisi	64
Şekil 3.2. Elektrod, meme ve parça arasında devre düzenleme olasılıkları	65
Şekil 3.3. Plazma ile kesme	66
Şekil 3.4. Plazma ile kesim.....	67
Şekil 3.5. Günümüzdeki termal kesme teknolojileri kesme hassasiyeti ve malzeme kalınlığına göre karşılaştırılması	67
Şekil 3.6. Plazma kesme işlemi sırasında kesme ağızının profili	69
Şekil 3.7. Plazma arkı ile kesim devresinin ana arkın oluşumundaki ilk evre	70
Şekil 3.8. Plazma arkı ile kesim devresinin ana arkın oluşumundaki ikinci evre.....	70
Şekil 3.9. Plazma arkı ile kesim devresinin ana arkın oluşumundaki üçüncü evre	71
Şekil 3.10. Ana arkın oluşumundaki dördüncü evre.	71
Şekil 3.11. Plazma arkı ile kesme sistemi	72
Şekil 3.12. Plazma yapıcı gazların entalpileri	72
Şekil 3.13. Plazma yapıcı gazların ısı iletkenliklerinin sıcaklıkla değişimleri	73
Şekil 3.14. Bir plazma cihazının akım gerilim (statik) grafiği	77
Şekil 3.15. El ile plazma kesme torcu	78
Şekil 3.16. Bir makine torcunun şematik gösterimi.....	78
Şekil 3.17. Torç kafası parçaları	79
Şekil 3.18. Çalışma ve yardımcı gaz verilmiş şekline göre plazma torcu çeşitleri.....	79
Şekil 3.19. Meme soğutma sistemleri	80
Şekil 3.20. Farklı elektrod türleri	81
Şekil 3.21. Alaşımli ve alaşımşız tungsten elektrodların karşılaştırılması.....	81
Şekil 3.22. Plazma kesme işleminde suyun kullanımına ait değişik uygulamalar	83
Şekil 3.23. Teğetsel plazma gazlı ve su iletimli bir plazma torcunun şematik gösterimi	84
Şekil 3.25. Plazma arkı ile kesme işleminde diklik ve eğiklik toleransları.....	85
Şekil 3.26. Plazma arkı ile kesme işleminde diklik ve eğiklik toleransları.....	86
Şekil 3.27. Deneysel çalışmalarda kullanılan plazma akım kaynağı	87
Şekil 3.28. Plazma ile kesme de kullanılan CNC kontrollü tezgah Ultrarex UXD-P.....	87
Şekil 3.29. P0 nolu parçanın resmi	88
Şekil 3.30. P1 nolu parçanın resmi	89
Şekil 3.31. P2 nolu parçanın resmi	90
Şekil 3.32. P3 nolu parçanın resmi	91

Şekil 3.33. P4 nolu parçanın resmi	92
Şekil 3.34. P5 nolu parçanın resmi	93
Şekil 3.35. P6 nolu parçanın resmi	94
Şekil 3.36. P7 nolu parçanın resmi	95
Şekil 3.37. P8 nolu parçanın resmi	96
Şekil 3.38. PS0 nolu parçanın resmi	97
Şekil 3.39. PS1 nolu parçanın resmi	98
Şekil 3.40. PS2 nolu parçanın resmi	99
Şekil 3.41. PS3 nolu parçanın resmi	100
Şekil 3.42. PS4 nolu parçanın resmi	101
Şekil 3.43. PS5 nolu parçanın resmi	102
Şekil 3.44. PS6 nolu parçanın resmi	103
Şekil 3.45. PS7 nolu parçanın resmi	104
Şekil 3.46. PS8 nolu parçanın resmi	105
Şekil 3.47. 316 kalite paslanmaz çelik malzemede farklı akımlardaki sertlik ölçümleri.....	106
Şekil 3.48. Fe 37 (St 37) malzemede farklı akımlardaki sertlik ölçümleri	107
Şekil 3.49. 316 kalite paslanmaz çelik malzemede farklı hızlardaki sertlik ölçümleri.....	108
Şekil 3.50. Fe 37 (St 37) malzemede farklı akımlardaki sertlik ölçümleri	108
Şekil 4.1. Laser ışının oluşum şeması	110
Şekil 4.2. Üç düzeyli bir laserin enerji şeması (neodim laser)	111
Şekil 4.3. Dört düzeyli bir laserin enerji şeması (yakut laser).....	111
Şekil 4.4. Etkin laser ortamında laser oluşumunun şematik modeli	112
Şekil 4.5. Elektromanyetik ışığın dalga boyu aralığı	113
Şekil 4.6. Eşit genlikte ve birbirine dik 90°'lik açı ilebulunan doğrusal polarize iki dalgadan dairesel polarizasyonun oluşum prensibi	114
Şekil 4.7. Laser ışının taşınım mekanizmaları	114
Şekil 4.8. Laserle kesme sistemlerinde en sık rastlanılan mod türleri	115
Şekil 4.9. Laser ışının taşınımı.....	116
Şekil 4.10. Nd:YAG laserinin ısı şeması.....	117
Şekil 4.11. Nd:YAG çubuk laserinin konstrüktif yapısı	118
Şekil 4.12. Nd:YAG laserinin yapısı.....	118
Şekil 4.13. Boyuna tahrikli CO2 laseri	119
Şekil 4.14. CO2 laserinin ısı şeması	120

Şekil 4.15. Farklı çalışma türlerinde laser ışınları	121
Şekil 4.16. Östenitik bir paslanmaz çeliğin oksijen yardımcı gazı ile laser kesimi.....	122
Şekil 4.17. Östenitik bir paslanmaz çeliğin azot yardımcı gazı ile laser kesimi	123
Şekil 4.18. Sistem yanından oksijen üflenerek gerçekleştirilen laser ile yakarak kesme yöntemi.....	124
Şekil 4.19. Laser ile buharlaştırarak kesme sistemi:kesme gazı laser sistemi içinden malzemeye yönlendirilmektedir.....	128
Şekil 4.20. Laser ışınıyla diklik ve eğiklik toleransları.....	129
Şekil 4.21. Laser ışınıyla kesmede pürüzlülük derinliği toleransları.....	130
Şekil 4.22. Laser kesme parametrelerine bağlı olarak oluşan iz şekilleri	130
Şekil 4.23. Laser ışınıyla kesilen yüzeylerde oluşan cüruf	131
Şekil 4.24. Laser ışınıyla kesilen yüzeyde oluşan çatlak	132
Şekil 4.25. Bystronic By Speed 5200 Arc Laser üreteci.....	133
Şekil 4.26. Bystronic By Speed 5200 Arc Laser üreteci ile kesme	133
Şekil 4.27. L0 nolu parçanın resmi	134
Şekil 4.28. L1 nolu parçanın resmi	135
Şekil 4.29. L2 nolu parçanın resmi	136
Şekil 4.30. L3 nolu parçanın resmi	137
Şekil 4.31. L4 nolu parçanın resmi	138
Şekil 4.32. L5 nolu parçanın resmi	140
Şekil 4.33. L6 nolu parçanın resmi	141
Şekil 4.34. L7 nolu parçanın resmi	142
Şekil 4.35. L8 nolu parçanın resmi	143
Şekil 4.36. L9 nolu parçanın resmi	144
Şekil 4.37. L10 nolu parçanın resmi	145
Şekil 4.38. L11 nolu parçanın resmi	146
Şekil 4.39. L12 nolu parçanın resmi	147
Şekil 4.40. L13 nolu parçanın resmi	148
Şekil 4.41. L14 nolu parçanın resmi	149
Şekil 4.42. L15 nolu parçanın resmi	150
Şekil 4.43. L16 nolu parçanın resmi	151
Şekil 4.44. LS0 nolu parçanın resmi	152
Şekil 4.45. LS1 nolu parçanın resmi	153

Şekil 4.46. LS2 nolu parçanın resmi	154
Şekil 4.47. LS3 nolu parçanın resmi	155
Şekil 4.48. LS4 nolu parçanın resmi	156
Şekil 4.49. LS5 nolu parçanın resmi	157
Şekil 4.50. LS6 nolu parçanın resmi	158
Şekil 4.51. LS7 nolu parçanın resmi	159
Şekil 4.52. LS8 nolu parçanın resmi	160
Şekil 4.53. LS9 nolu parçanın resmi	161
Şekil 4.54. LS10 nolu parçanın resmi	162
Şekil 4.55. LS11 nolu parçanın resmi	163
Şekil 4.56. LS12 nolu parçanın resmi	164
Şekil 4.57. LS13 nolu parçanın resmi	165
Şekil 4.58. LS14 nolu parçanın resmi	166
Şekil 4.59. LS15 nolu parçanın resmi	167
Şekil 4.60. LS16 nolu parçanın resmi	168
Şekil 4.61. 316 kalite paslanmaz çelik malzemede farklı güçlerdeki sertlik ölçümleri.....	169
Şekil 4.62. Fe 37 (St 37) malzemede farklı kesme hızlarındaki sertlik ölçümleri.....	170
Şekil 4.63. 316 paslanmaz çelik malzemede farklı kesme hızlarındaki sertlik ölçümleri	170
Şekil 4.64. Fe 37 (St 37) malzemede farklı kesme hızlarındaki sertlik ölçümleri.....	171
Şekil 4.65. 316 paslanmaz çelik malzemede farklı gaz basınçlarındaki sertlik ölçümleri.....	171
Şekil 4.66. Fe 37 (St 37) malzemede farklı gaz basınçlarındaki sertlik ölçümleri	172
Şekil 4.67. 316 paslanmaz çelik malzemede farklı odak noktalarındaki sertlik ölçümleri....	172
Şekil 4.68. Fe 37 (St 37) malzemede farklı odak noktalarındaki sertlik ölçümleri	173

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Çeliğin içeriğindeki alaşım elemntlerinin oksijen ile kesmeye etkileri.....	27
Çizelge 2.2. Bazı çeliklere kesme sırasında uygulanan öntav sıcaklıkları.....	28
Çizelge 2.3. Bazı metal ve oksitlerinin ergime sıcaklıkları.....	29
Çizelge 2.4. Çeşitli çeliklerin oksijenle kesmeye uygunluğu.....	29
Çizelge 2.6. Çeşitli yanıcı gazların özellikleri.....	34
Çizelge 2.7. Asetilenin fiziksel özellikleri	35
Çizelge 2.8. Metanın fiziksel özellikleri	37
Çizelge 2.9. Propanın fiziksel özellikleri	37
Çizelge 2.10. Propilenin fiziksel özellikleri	38
Çizelge 2.11. Yalın karbonlu çeliklerin oksijen ile kesilmesinde uygulanan parametreler	48
Çizelge 2.12. Oksijenle kesmede geçerli boyut toleransları (DIN 2310-III)	51
Çizelge 2.13. Kullanılan oksijenle kesme makinesinin teknik özellikleri	52
Çizelge 2.14. O0 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri	53
Çizelge 2.15. O1 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri	54
Çizelge 2.16. O2 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri	55
Çizelge 2.17. O3 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri	56
Çizelge 2.18. O4 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri	57
Çizelge 2.19. O5 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri	58
Çizelge 2.20. O6 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri	59
Çizelge 2.21. O7 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri	60
Çizelge 3.1. Plazma yapıcı gazların dissosiasyon ve iyonizasyon enerjileri	73
Çizelge 3.3. Kullanılan akım kaynağına ait teknik bilgiler.....	88
Çizelge 3.4. P0 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	89
Çizelge 3.5. P1 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	90
Çizelge 3.6. P2 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	91
Çizelge 3.7. P3 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	92
Çizelge 3.8. P4 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	93
Çizelge 3.9. P5 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	94
Çizelge 3.10. P6 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	95
Çizelge 3.11. P7 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	96
Çizelge 3.12. P8 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	97
Çizelge 3.13. PS0 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	98

Çizelge 3.14. PS1 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	99
Çizelge 3.15. PS2 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	100
Çizelge 3.16. PS3 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	101
Çizelge 3.17. PS4 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	102
Çizelge 3.18. PS5 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	103
Çizelge 3.19. PS6 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	104
Çizelge 3.20. PS7 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	105
Çizelge 3.21. PS8 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	106
Çizelge 4.1. Laser ışını ile kesmede kesme kalitesini etkileyen faktörler.....	129
Çizelge 4.2. Bystronic By Speed 5200 Arc Laser üreticisine ait teknik bilgiler.....	134
Çizelge 4.3. L0 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	135
Çizelge 4.4. L1 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	136
Çizelge 4.5. L2 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	137
Çizelge 4.6. L3 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	138
Çizelge 4.7. L4 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	139
Çizelge 4.8. L5 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	140
Çizelge 4.9. L6 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	141
Çizelge 4.10. L7 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	142
Çizelge 4.11. L8 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	143
Çizelge 4.12. L9 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	144
Çizelge 4.13. L10 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	145
Çizelge 4.14. L11 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	146
Çizelge 4.15. L12 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	147
Çizelge 4.16. L13 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	148
Çizelge 4.17. L14 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	149
Çizelge 4.18. L15 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	150
Çizelge 4.19. L16 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	151
Çizelge 4.20. LS0 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	152
Çizelge 4.21. LS1 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	153
Çizelge 4.22. LS2 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	154
Çizelge 4.23. LS3 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	155
Çizelge 4.24. LS4 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	156
Çizelge 4.25. LS5 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	157

Çizelge 4.26. LS6 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	158
Çizelge 4.27. LS7 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	159
Çizelge 4.28. LS8 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	160
Çizelge 4.29. LS9 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	161
Çizelge 4.30. LS10 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	162
Çizelge 4.31. LS11 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	163
Çizelge 4.32. LS12 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	164
Çizelge 4.33. LS13 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	165
Çizelge 4.34. LS14 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	166
Çizelge 4.35. LS15 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	167
Çizelge 4.36. LS16 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri.....	168
Çizelge 4.37. TS 7227'ye göre oksijen, plazma ve laser ile kesmede oluşan kesme hataları ve sınıflandırılması	173

ÖNSÖZ

Günümüz imalat teknolojilerinde büyük bir yeri olan termik kesme teknolojilerinin incelendiği bu tez çalışmasında oksijen ile kesme, plazma ile kesme ve laser ile kesme teknolojileri ile kesme işlemlerinde işlem parametrelerinin Fe 37 (St 37) ile 316 kalite paslanmaz çeliklerin kesilmesinde yüzey kalitesine ve sertliğe olan etkileri hakkında bilgiler verilmiştir.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca danışmanlığımı yapan ve çalışmalarım esnasında her zaman yanımda olup, beni destekleyen saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. Selahattin Yumurtacı'ya teşekkürlerimi sunarım.

Deneyisel çalışmalarında benden yardımını esirgemeyen Mak. Müh. Hikmet Bilgin nezdinde tüm Şener Teknik Paslanmaz Mamülleri çalışanlarına ve Mak. Müh. Müslüm Yünel nezdinde tüm Yünel Metal çalışanlarına teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde büyük emekleri olan ve beni destekleyen aileme saygılarımı sunarım.

ÖZET

Günümüzde, mühendislik tasarımlarında demir esaslı malzemelerin kullanım oranı çok yüksektir. Neredeyse her türlü mühendislik problemini çözecek şekilde pek çok farklı tür ve özelliklerde demir esaslı malzemeler bulunmaktadır. Bu malzemeler içinde gerek yüksek korozyon dirençleri gerekse estetik görünümleri ile paslanmaz çelikler öne çıkmaktadır. Ferritik çelikler grubunda yer alan St37 malzeme ise düşük maliyet ve dayanım özellikleri ile endüstride kullanım açısından çok büyük bir paya sahiptir.

Teknolojideki gelişmeler ışığında mühendislik tasarımları daha karmaşık şekiller almış ve bunun çerçevesinde oluşan ihtiyaçları karşılamak için imalat yöntemlerinde çeşitli gelişmeler olmuştur. İş parçalarının hazırlanmaları esnasında pek çok farklı imalat prosesleri kullanılır. Bu işlemlerin başında parçayı sıradaki imalat proseslerine hazırlamak veya son haline getirmek için kesme işlemi gelir. Kesme işlemlerinde gaz ergitme, laser, plazma vb pek çok yöntem kullanılmaktadır. Her yöntemin kendisine göre avantajları ve dezavantajları olmakla beraber son yıllarda plazma ve laser gibi termik kesme yöntemleri, kullarındaki payını büyük bir hızla arttırmaktadır.

Bu çalışmada, sanayide çok kullanılan Fe 37 (St 37) ile 316 kalite paslanmaz çeliğin gaz ergitme ve modern termik kesme yöntemleri kullanılarak kesilmesinde, kesme yüzeyi kalitesi üzerinde etkili olan parametreler, etkilemiş yönleriyle birlikte incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Oksi-Gaz ile Kesme, Plazma Arkı ile Kesme, Laser ile Kesme.

ABSTRACT

Nowadays, the use of iron-based materials is very high in the engineering designs. Many different types of iron-based materials exist to solve almost every kind of engineering problem. Between this materials, stainless steel come forward with corrosion resistance and aesthetic appearance. Fe 37 (St 37) which participates in ferritic steels is very useful in industry with low cost and resistance properties.

In the light of developments in technology, engineering designs have taken more complex shapes and for this reason there have been various developments in manufacturing methods. During preparation of the work piece, many different manufacturing processes are used. Cutting is the first processes in the manufacturing processes to prepare for the next processes or finish the work piece. Many methods such as oxyfuel, laser, plasma... etc are used in cutting process. While each method having its own advantages and disadvantages, in recent years the thermal cutting methods such as plasma and laser cutting are rapidly increasing their weight in the cutting methods.

Parameters that effects cutting surface quality while cutting Fe 37 (St 37) and 316 quality stainless steel which are widely used in industry with oxyfuel and modern thermic cutting methods are examined in this project.

Keywords: Oxyfuel Gas Cutting, Plasma Arc Cutting, Laser Cutting

1. GİRİŞ

Günümüzde iş parçalarının hazırlanmasındaki ilk adım olan kesme işlemi imalat teknolojisi için hayati bir önem taşımaktadır. Modern üretim tekniklerinde, mekanik kesme yöntemlerinin yanısıra, artan oranlarda, termik kesme yöntemleri de kullanılmaktadır. 1900'lü yılların başında kullanılmaya başlanan oksii-asetilen alevi imalatta termik kesme teknolojilerinin yapı taşı olarak bilinmektedir. Daha sonra teknolojiadaki gelişmelere bağlı olarak daha modern plazma ve laser ile kesme yöntemleri gibi termik kesme yöntemleri ortaya çıkmıştır.

1900'lü yılların başında savaş araç ve teçhizatlarının yapımında kesme ve kaynak uygulamalarında kullanılmaya başlanan oksijenle kesme metodu günümüzde yalnız karbonlu yada düşük alaşımlı kaynaklanabilir çeliklerin oksijen ile kolaylıkla ve ekonomik olarak kesilebilmesi, bu yöntemi parça hazırlama, kaynak ağızı açma, kaynak sonrası çarpılmış parçaların alevle düzeltilmesi işlerinde rakipsiz yapmaktadır. Paslanmaz çelikler, alüminyum ve bakır alaşımlarının oksijen ile kesilmesindeki zorluk dolayısıyla plazma arkı ile kesme veya daha ileri bir yöntem olan laser ışını ile kesme, oksijen ile kesme yöntemine alternatif yöntemler olarak ortaya çıkmıştır (Tülbentçi ve Kaluç, 2003).

Plazma ile kesme işlemine esas olarak, oksijen ile 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 ulaşılabilmekte ve kesme yarığının genişliği de çok daha dar tutulabilmektedir (Anık vd., 1996).

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 (Anık vd., 1996).

Termik kesme DIN2310 standartında tanımlanmıştır. Bu standartın 1. kısmı genel kavramlar, 2. kısmı kesme yüzeyi kalitesinin belirlenmesi, 3. kısmı oksijenle kesme, 4. kısmı plazma ile kesme, 5. kısmı laserle kesme ve 6. kısmı yöntemlerin sınıflandırılmasını içermektedir. TS 7227’de ise kesme yüzeyi hataları tanımlanmıştır.

Bu çalışmada oksijenle kesme, plazma ile kesme ve laser ile kesme yöntemlerinde işlem parametrelerinin yüzey kalitesine ve yüzey sertliğine olan etkileri incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda farklı işlem parametreleriyle ve farklı kesme yöntemleriyle kesilmiş parçalar TS 7227’de tanımlanan yüzey hatalarına göre görsel bir muayeneden geçirilmiş ayrıca yüzey sertlikleri ölçülüp farklı işlem parametrelerinin etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır.

2. GAZ ERGİTME İLE KESME

2.1 Gaz Ergitme ile Kesme İşlemi

Gaz ergitme ile kesme işlemi kontrollü kimyasal reaksiyonları ve saf oksijeni kullanan bir grup işlemde meydana gelir (ASM, 1992). Uygulamada sadece oksijenle kesme diyede adlandırılan bu yöntemde kesilecek olan malzeme önce yerel olarak, tutuşma sıcaklığına kadar tavlınır ve tavlı halde bulunan bölgeye basınçlı oksijen gönderilerek malzeme yakılarak kesilir. Oksijen ile kesme işleminde öncelikle metali yanma (hızla oksitlenme) sıcaklığına kadar ısıtılmak için bir oksijen-gaz alevine gerek vardır (Tülbentçi ve Kaluç, 2003).

Oksijen ile kesme işleminin geçmişi, 1902 yılına kadar uzanır. Kesme cihazları olarak oksijen ile 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 oksijen ile kesme işlemi yapılabilmektedir. Makinayla kesme ile, genel olarak 300 mm'lik kalınlığa kadar parçalar kesilebilmekte; özel hallerde belirli kesme kaliteleriyle 500 mm'ye kadar ulaşılabilir. Bu kalınlığın üzerine, ancak özel kesme kalitesi talebi olmaksızın çıkılabilmektedir (Anık vd., 1996).

Oksijenle kesme işleminin avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Çelikler oksijenle çok hızlı ve kolay bir biçimde kesilebilir. İşlemin ön hazırlığı takım tezgahları ile yapılacak kesme işlemi ile kıyaslandığında çok kısa sürer.
- Oksijen ile kesmede, kesme kenarının biçimi, giyotin veya testere ile kesme halinde olduğu gibi düz bir çizgi halinde veya kesme kalıbı halinde olduğu gibi sabit bir eğrisellikte değildir. Oksijen ile kesme doğrultusu işlem sırasında dahi her an değiştirilebilir, çok küçük çaplarda dahi dönüşler ve yön değiştirmeler yapılabilir.
- Elle oksijen kesme donanımlarının fiyatları takım tezgahları ile kıyaslanamayacak derecede ucuzdur, ayrıca bu tür donanımlar kesme işlemi için elektrik gibi ek enerji kaynağı istemediğinden şantiye uygulamalarında büyük bir kolaylık sağlar.
- Kesme kenarı düzgünsüzlüğü ve boyut toleranslarının kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalması halinde, oksijen ile kesme gerek yatırım gereksede işçilik ve malzeme giderleri açısından diğer yöntemlerle kıyaslanamayacak derecede ucuzdur.
- Özel makinalar yardımıyla biçimleri aynı olan çok sayıda parçayı kesme olanağı vardır.
- Büyük parçalar halinde, parça yerinden oynatılmadan, çok daha hafif olan torç hareket ettirilerek istenen kesme işlemi yapılabilmektedir.

- Metal levha çok sayıda torç kullanarak aynı anda pek çok parça işleyebilir.

Oksijen ile kesmenin sınırlamalarında şu şekilde sayılabilir:

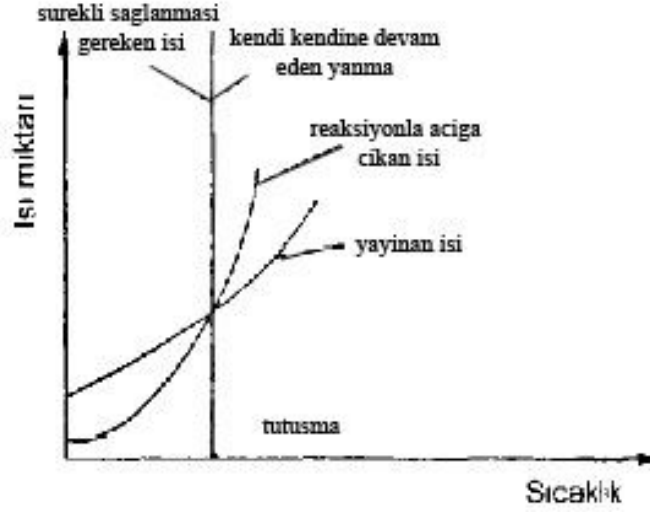
- Takım tezgahları ile yapılan kesmeye nazaran boyut toleransları daha büyüktür ve de kesme kenarı düzgünsüzlüğü daha büyüktür.
- İşlem sadece yalın karbonlu ve az alaşımlı çeliklere kolaylıkla ve önlem almadan uygulanabilmektedir.
- İşlem sırasında kesme bölgesinde yerel olarak yüksek sıcaklıklara çıkıldığından, bu sıcaklık bazı malzeme türlerinde metalurjik özellik değişimlerine neden olmaktadır.
- Yüksek sıcaklık, ergimiş cüruf, ısınmış parçalar bir takım kazaların ve yangın tehlikesinin nedeni olmaktadır(Tülbentçi ve Kaluç, 2003).

Bir malzemenin oksijen ile kesilebilmesi için aşağıdaki şartları yerine getirmesi gerekir:

- Tutuşma sıcaklığına kadar ısıtılan metalin oksijenle reaksiyona girmesi gerekir.
- Metalin tutuşma sıcaklığı erime sıcaklığından daha düşük olmalıdır.
- Oksitinin erime sıcaklığı, metalin erime sıcaklığının altında olmalıdır. Bu sayede kesme kanalından uzaklaştırılabilir.
- Isı iletim katsayısı düşük olmalıdır. Bu sayede sıcaklık, kesme kanalında kalınlık boyunca tutuşma sıcaklığının altına inmez (Anık vd., 1999).

2.2 Oksijen ile Kesmenin Kimyasal Özellikleri

Oksijen ile kesmenin anahtar reaksiyonları demir ile oksijen arasında meydana gelen reaksiyonlardır. Çünkü bu reaksiyonlar çeliği, kesme bölgesinden kolaylıkla uzaklaştırılabilen bir oksit cürufu haline dönüştürmekle kalmaz, aynı zamanda kesme uzunluğu boyunca reaksiyonun devam etmesini sağlayan bir ısıda oluşturur (Groud, 1995).



Şekil 2.1. Tutuşma sıcaklığının denge durumu (Anık vd., 1996).

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 2.1'de yanmanın gerekliliği için gerekli olan ısıl şart gösterilmektedir.

Oksijenle kesme işlemi, tutuşturma sıcaklığına (1200 °C'nin civarı) 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:

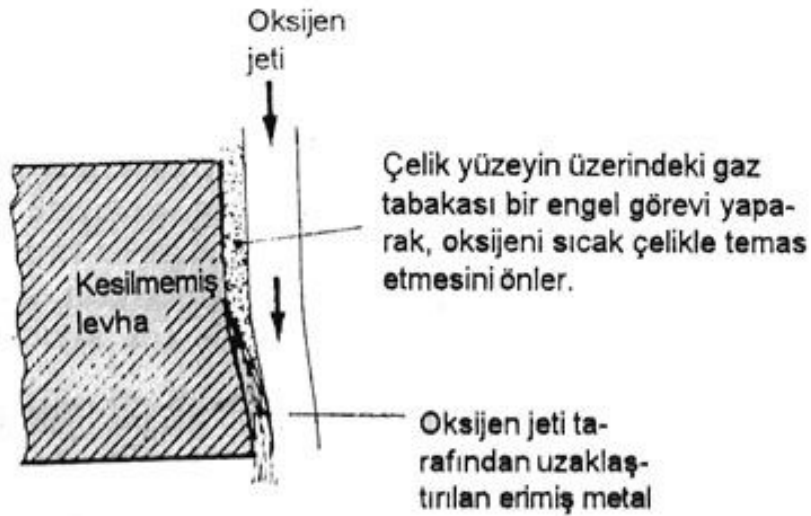
1. $Fe + 1/2 O_2 \rightarrow FeO + ısı (267 kJ)$, birinci reaksiyon
2. $3Fe + 2 O_2 \rightarrow Fe_3O_4 + ısı (1120 kJ)$, ikinci reaksiyon
3. $2Fe + 3/2 O_2 \rightarrow Fe_2O_3 + ısı (825 kJ)$ üçüncü reaksiyon (Anık vd., 1996).

İkinci reaksiyon sonucu ortaya çıkan ısı enerjisi yardımcı nitelikteki bir no'lu reaksiyonu perdelemektedir. Üç nolu reaksiyon daha çok kalın kesitlerin kesilmesinde ortaya çıkar. Kesme işlemine başlamadan önce parça noktasal olarak ısıtılır ve ısınma istenilen sıcaklığa erişince kızgın haldeki noktasal bölge üzerine oksijen püskürtülür ve sırası ile bir ve iki nolu reaksiyonlar oluşur ve açığa çıkan enerji diğer kısımların hızla tavlmasına yardımcı olur ve bu biçimde kesme işlemi hızlı bir biçimde ilerler. Bu reaksiyonlar sonucu bu kadar

enerji açığa çıkmıyorsa kesme işlemi bu denli hızlı olamazdı.

İdeal olarak, yani stokiometrik hesaplara göre 0.29m^3 oksijen 1 kg demiri Fe_3O_4 haline dönüştürebilir ise de uygulamada oksijen tüketimi 40mm'nin altındaki kalınlıklardaki parçalar halinde daha fazladır. Parça kalınlığı arttıkça oksijen tüketimi azalır ve hatta stokiometrik gereksinimin altına iner. Zira kalın parçalarda eriyen metalin bir kısmı oksitlenmeden basınçlı gazın etkisi ile bölgeden uzaklaştırılmış olur. Parça kalınlaştıkça kesme sonucu oluşan cürufun analizi, bunun içinde %30'a kadar bir kısmının Fe_3O_4 değil de saf Fe'den oluştuğu görülmektedir (Tülbentçi ve Kaluç, 2003).

Şimdiye kadar sadece demir ve oksijen arasındaki reaksiyonlar göz önüne alınmıştır. Ancak çeliğin içinde gazlar oluşturmak üzere okside olan diğer alaşım elementleride vardır. Karbon, karbonmonoksit ve karbondioksit karışımı oluşturur ve kükürt, kükürtdioksit şeklinde okside olur. Bu gazlar kesme osijeni ve çelik arasındaki yüzeyde üretilirler ve oksijen jetinin hızıyla bu bölgeden süpürülüp uzaklaştırılmaları gerekir. Eğer bunların toplanmasına izin verilirse oksijenin hiç yayınamayacağı veya sadece yavaş bir şekilde yayımlanabileceği bir durgun sınır tabakası oluştururlar (Şekil 2.2). böylece çeliğin yüzeyinde kullanılabilir oksijen miktarı azalmış olur ve metali yanma sıcaklığının üzerinde tutmaya yeterli ısı üretilemez. Bu nedenle kesme oksijen jetinin hızı kabul edilebilir kalitede kesme elde etmede kritik bir faktördür (Groud, 1995).



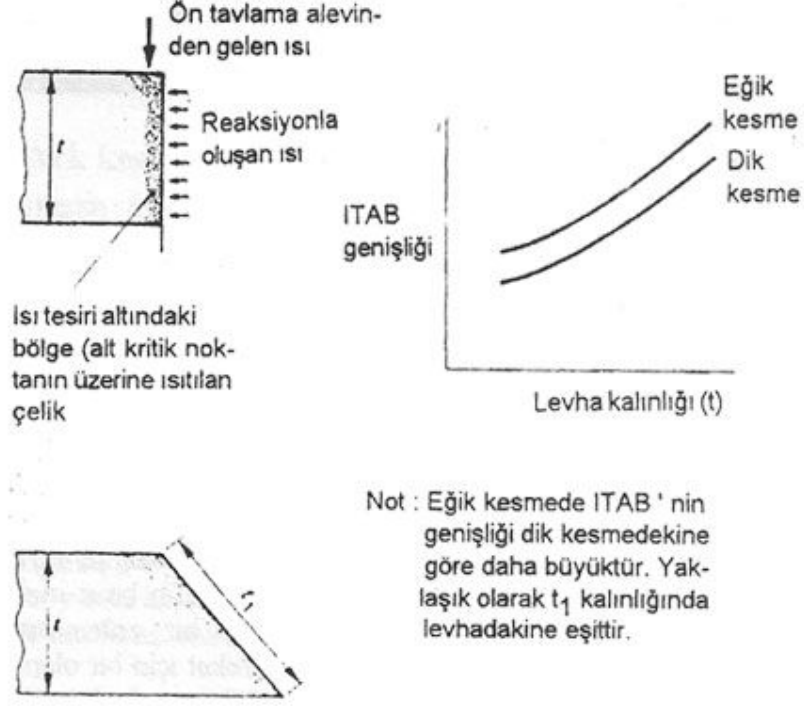
Şekil 2.2. Kesme işlemi kesiti (Groud, 1995).

2.3 Malzemelerin Oksijen ile Kesilebilme Kabiliyetleri

Bir metal veya alaşımın oksijen ile kesilebilmesi için şu koşulları gerçekleştirmesi gereklidir:

- Kesilecek metal veya alaşım oksijen karşısında yanabilmelidir.
- Kesilecek malzemenin yanma ısısı, olabildiği kadar büyük ve ısı iletme katsayısı da olabildiği kadar küçük olmalıdır.
- Tutuşma sıcaklığı malzemenin ergime sıcaklığının altında olmalıdır.
- Kesme sırasında akıcı bir oksit oluşmalıdır.
- Kesme sırasında oluşan oksidin ergime sıcaklığı; esas malzemenin yanma sıcaklığından daha düşük olmalıdır. (Tülbentçi ve Kaluç, 2003).

Gazla kesme temelde bir ısı işlem olduğu için esas levhada kesme ağzına komşu bölgede bir ısı tesiri altında bölge oluşur. Çok düşük karbon içeren çeliklerde bunun fazla bir önemi yoktur. Çünkü ortaya çıkan soğuma hızlarıyla çeliğin sertleşmesi pek mümkün değildir. Daha yüksek karbon içeren çeliklerde beynitik ve martenzitik yapılar oluşur ve kesme ağzı sertleşir. Bu sertleşmiş bölgenin çatlaklar içermemesi şartıyla ağız bir çok kaynak işlemi için kabul edilebilir düzeydedir. Isı tesiri altındaki bölgenin uzunluğu (Şekil 2.3) temelde levha kalınlığına ve belli ölçüye kadarda kesme tipine (dik veya açılı kesme) bağlıdır. Sertleşme etkisinin tehlikeli olacağı düşünülen hallerde kesme ağzını temperlemek için bir ısı işlem uygulanır (Groud, 1995).



Şekil 2.3. Oksijen ile kesme ağzlarındaki ısı tesiri altındaki bölge (Groud, 1995).

Özellikle alaşımlı çeliklerde, alaşım elementlerinin oluşturdukları oksitler oksijen ile kesilmeyi zorlaştırır; çelikteki alaşım elementlerinin oksijen ile kesme işlemine etkileri Çizelge 2.1'de özet halinde verilmiştir.

Çizelge 2.1.'dende görüldüğü gibi, bu elementler içinde en önemli rolü karbon oynar, karbon içeriği az olan çeliklerin oksijen yardımıyla çok rahat bir biçimde kesilebilmelerine karşın, karbon içeriğinin %0.25'i aşması halinde kesilen parçanın, kesme ağzları sertleşir ve çatlama tehlikesi ortaya çıkar. Bu bakımdan bu sertleşmeyi önlemek için alaşımlı çelikler bir öntav altında kesilirler. Bu tür çeliklere uygulanan öntav sıcaklıkları Çizelge 2.2'de verilmiştir (Tülbentçi ve Kaluç, 2003).

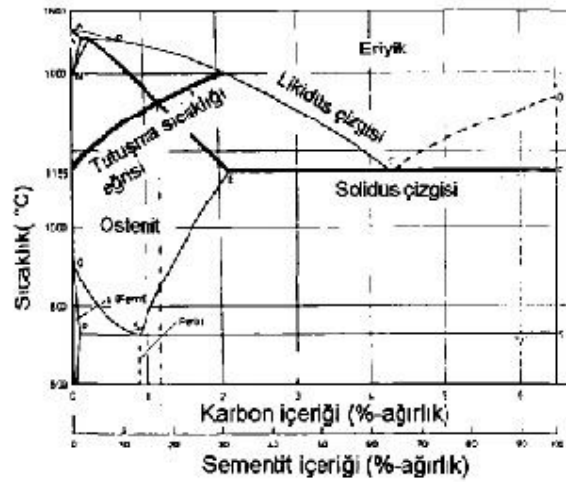
Çizelge 2.1. Çeliğin içeriğindeki alaşım elemntlerinin oksijen ile kesmeye etkileri (ASM, 1992).

Alaşım Elementi	Oksijen ile kesmeye etkisi
Alüminyum	Alüminyum çelik üretiminde dezoksidan olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır. Al içeriği %8 ila %10'u aşmadığı sürece oksijen ile kesme işlemine önemli bir etkisi yoktur.
Bakır	%3'e kadar Cu içeren çelik hiç bir zorluk göstermeden oksijen ile kesilebilmektedir.
Karbon	Artan karbon içeriğiyle malzemenin tutuşma sıcaklığı yükselmekte, erime sıcaklığı düşmektedir. %0.25'e kadar karbon içeren çelikler oksijen ile çok kolay bir biçimde kesilmekte, daha yüksek karbon içeriğine sahip çelikler, kesme kenarında sertleşme ve çatlak oluşumu önlemek bakımından öntav uygulanarak kesilmektedirler. Dökme demirlerdeki serbest grafit oksijen ile kesilmeyi zorlaştırır. %4 karbon içeren dökme demirler ancak özel yöntemler uygulanarak (toz, dekapan veya çubuk halinde ek oksitleyici maddeler kullanarak) oksijen ile kesilebilmektedir.
Kobalt	Çelikte normal sınırlar içinde bulunduğu zaman oksijen ile kesmeye olumsuz bir davranış göstermemektedirler.
Krom	Malzemenin krom içeriğinin artması, oksidinin erime sıcaklığını yükseltmekte, viskozitesini arttırmaktadır. Bu da istenmemektedir. Kesme cürufu reaksiyon alanından kolaylıkla uzaklaştırılmamakta ve başarılı kesmeyi engelleyen geçirgen olmayan bir sınır tabak oluşturmaktadır. %5'e kadar Cr içeren çelikler büyük bir zorluk göstermeden oksijen ile kesilebilmektedirler. %10 veya daha fazla Cr içeren çelikler, ergime sıcaklığını ve cüruf viskozitesini azaltmak için, metal tozları veya kimyasal maddeleri katkı olarak kullanarak oksijen ile kesilebilmekte, ancak kesilen yüzeylerde oldukça kaba bir görünüşe sahip olmaktadır.
Fosfor	Çeliğin içeriğinde normal sınırlar arasında bulunduğu sürece oksijen ile kesmeye bir etkisi yoktur.
Mangan	Normal olarak çeliklerde bulunma sınırları içinde oksijen ile kesmeye bir etkisi yoktur; yalnız %14 Mn ve %1.5 C içeren ostenitik sert Mn çeliği ancak öntav ile kesilebilmektedir.
Nikel	%3'e kadar Ni ve %0.25 C içeren çelikler normal yöntemlerle, %7'e kadar Ni içeren çelikler dekapan kullanarak oksijen ile kesilmektedir. Ostentik paslanmaz çelikler ise ek olarak demir tozlu veya özel dekapanlar kullanılarak kesilmektedir.
Tungsten	%14'e kadar Tungsten içeren çelikler normal koşullar altında oksijen ile kesilmektedir.
Molibden	%5'e kadar Mo içeren çelikler oksijen ile özel bir önleme başvurmada kesilmektedir. Daha yüksek miktarda Mo içeren çelikler için özel yöntemlere gereksinme vardır.
Vanadyum	Çelikte alaşım element olarak bulunduğu sınırlar içinde oksijen ile kesmeye bir etkisi yoktur.

Çizelge 2.2. Bazı çeliklere kesme sırasında uygulanan öntav sıcaklıkları (Tülbentçi ve Kaluç, 2003).

Çeliğin Bileşimi							Öntav Sıcaklığı (°C)
C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	
<0.25	<0.8	<0.5	-	-	-	-	-
0.25-0.4	<0.8	<0.5	-	-	-	-	100-250
0.4-1.5	<0.8	<0.5	--	-	-	-	250-400
<0.25	1,5	<0.5	-	-	-	-	-
1,3	12 – 14	<0.5	-	-	-	-	-
<0.25	<0.6	2,8	-	-	-	-	-
<0.1	<0.6	4	-	-	-	-	-
0.4-1.5	<0.6	4	-	-	-	-	100-250
<0.2	<0.8	<0.35	-	-	-	-	-
<0.2	<0.8	<0.35	1.5-3.5	-	-	-	200-400
<0.2	<0.8	<0.5	3.5 – 7	-	-	-	400-500
<0.2	<0.4	<0.25	-	<7	-	-	-
<0.2	-	-	-	<30	-	-	-
0.4	<0.4	<0.25	-	>10	-	-	250-400
<0.2	<0.5	<0.25	0.5 – 1.5	1 – 4.5	-	-	100-250
>0.2	<0.6	<0.3	0.5 – 1.5	1 – 4.5	-	-	250-400
<0.2	<0.6	<0.3	<1	-	<0.7	-	-
<0.2	<0.8	<0.5	-	-	-	<2	-

Saf demir, oksijen ile kesilebilme şartlarını optimum derecede yerine getirir. Alaşımsız ve düşük alaşımlı çelikler, oksijen ile kesmeye uygundur. Artan karbon içeriğiyle, malzemenin tutuşma sıcaklığı da yükselir (Şekil 2.4) ve erime sıcaklığı düşer; bu nedenle % 1,6 ila % 1,8 karbonlu bir çelik, tutuşma sıcaklığı erime sıcaklığından daha yüksek olur ve bu şartını yerine getiremez (Anık vd., 1996).



Şekil 2.4. Çeliğin tutuşma sıcaklığının karbon içeriğiyle değişimi (Anık vd., 1996).

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. Çizelge 2.3'de, bazı metal ve oksitlerinin erime sıcaklıkları verilmiştir (Anık vd., 1996).

Çizelge 2.3. Bazı metal ve oksitlerinin ergime sıcaklıkları (Anık vd., 1996).

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 ₂ 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

Çizelge 2.4. Çeşitli çeliklerin oksijenle kesmeye uygunluğu (Anık vd., 1996).

Çelik	Kimyasal bileşim (% ağırlık)								Alevle yakarak kesmeye uygunluk (öntavlama olmadan) ¹⁾
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	Co	
St 37	0,2								+
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	0,65		0,45			+
10 CrMo 9 10	0,15	0,32	0,5	2,2		1,0			+
St 35 B	0,18	0,29	0,66	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	0,6	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			+
Düğü k perlitli çelik	0,09	0,4	1,3						+
22 NiMoCr 3 7	0,2	0,3	0,6	0,4	0,8	0,7			+
20 MnMoNi 6 5	0,2	0,2	1,2	0,5	0,5	0,5			+
G5-C 25	0,2	0,41	0,69	0,05			0,08		+
Beton çelği	0,2	0,6							+
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				-

¹⁾ +: Alevle yakarak kesmeye uygun - : Alevle yakarak kesmeye uygun değil.

2.3.1 Kesme Yüzeyi Kalitesini Etkileyen Faktörler

Kesme yüzeyi kalitesi, esas olarak yanıcı gaz ve kesme oksijenine, kesme üfleğine, makineye ve malzemeye bağlıdır. Bu büyüklükler, büyük oranda kesme işlemini yapan personelin eğitiminden ve kesme işleminin yapıldığı makinaların kalibrasyonundan etkilenir. Oksijen ile kesmede, kesme yüzeyini etkileyen parametreler çizelge 2.5'de verilmiştir (Vural ve Akkuş, 2001).

Çizelge 2.5. Oksijen ile kesmede kesme yüzeyini etkileyen parametreler (Vural ve Akkuş, 2001).

İşletme Gazı	Kesme Memesi	Makine	Malzeme
Basınç	Konstrüksiyon	Konstrüksiyon	Kimyasal Bileşim
Debi	Yaş	Yaş	Kalınlık
Sıcaklık	Durum	Durum	Durum
Tür	Saçtan Uzaklık	Kesme Hızı	Hata
Safiyet	Kesme Açısı		Sıcaklık
Karışım Oranı			DeO ₂ reaksiyonu
Akış Özellikleri			

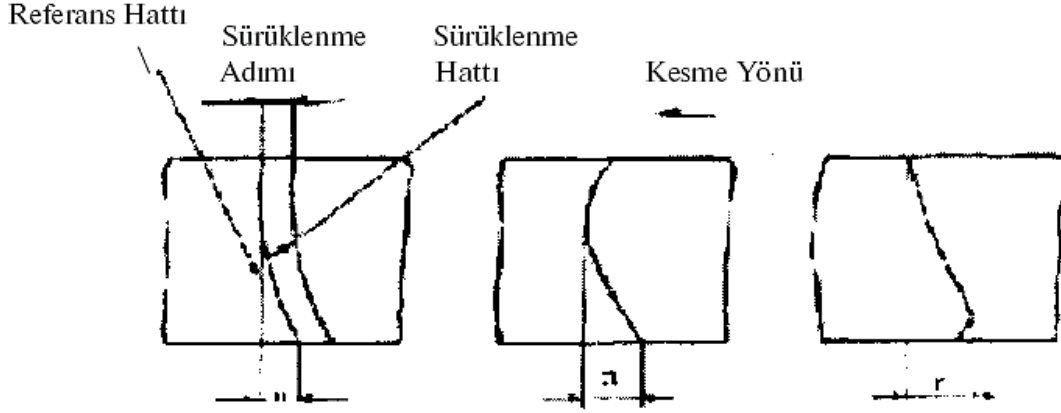
Kesilecek olan metalin kalınlığı, kesme işleminin ayar parametrelerini büyük ölçüde etkilemektedir. Endüstriyel üfleçlerle 200 mm'ye kadar kesme yapmak mümkündür. Elle kesmede bu kalınlıklara ulaşmak zordur. Elle, kalınlığı ancak 50 mm'ye kadar olan parçalar kesilebilir. Oksijenle kesme makinalarında ise daha büyük ve su soğutmalı üfleçler yardımıyla 600-800 mm'ye kadar levhalar kesilebilir (Anık vd., 1996).

Kesme işlemi üzerine, kullanılan oksijenin safiyet derecesinin çok önemli etkisi vardır. Safiyetin düşmesi işlemin etkinliğini azaltır. Oksijen safiyatının %99.5'den %98.5'e düşmesi kesme hızında %15'lik bir azalmaya ve oksijen safiyatında da %25'lik bir artmaya neden olmaktadır. Gaz akışındaki düzensizlikler, debi ve basınçtaki dalgalanmalar kesme yüzeyi kalitesini olumsuz etkilemektedir (Tülbentçi ve Kaluç, 2003).

Oksijen ile kesme işlemi, kesilecek metalin iç ve dış hatalarından etkilenir, iç hatalar olarak malzeme içindeki gaz kabarcıkları, yabancı maddeler, katılma hataları (segregasyonlar), içgerilmeler ve çatlaklar; dış hatalar olarak da parça yüzeyindeki düzensizlikler, 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 (Anık vd., 1996).

Yüzeye dik olarak etkiyen oksijen huzmesinin parçaya girişi ve çıkışı arasında kesme

yönünde meydana gelen sapmaya sürüklenme adı verilir. Yüzeyden parça kalınlığı yönünde ilerledikçe, oksijenin saflığı ve miktarı azalır; malzemenin yanma hızı düşer ve alt kısımda sürüklenme meydana gelir. Ayrıca bu bölgede sıvı oksit tabakası incelendiğinden dolayı yanma hızı artar. İlerleme hızı bu iki değişkene göre tesbit edilir. Sürüklenme bazen parça kalınlığının %10'una ulaşabilir. Kaliteli ve hassas bir kesme yüzeyi için, çalışma hızının uygun şekilde seçilerek sürüklenmenin minimum seviyede tutulması gerekir. Şekil 2.4'te Oksijen ile kesim eşleminde sürüklenme gösterilmiştir (Vural ve Akkuş, 2001).



Şekil 2.5. Oksijen ile kesim işleminde sürüklenme (Vural ve Akkuş, 2001).

2.4 Yanıcı Gaz ve Oksijen Gazının Özellikleri

2.4.1 Yanıcı Gaz

Kesme işleminde öntavlama alevinin fonksiyonları şunlardır:

- Çeliğin sıcaklığını tutuşturma sıcaklığının üzerine (yaklaşık 1200°C civarına) yükseltmek
- Kesme reaksiyonunun sürmesi için parçaya ısı eklemek
- Kesme oksijeni huzmesi ile atmosfer arasında koruyucu bir kılıf oluşturmak
- Çeliğin üst yüzeyinde kesme işleminin normal ilerlemesini durdurabilecek veya geciktirebilecek pas, tufal boya vb. yabancı maddeleri uzaklaştırmak (Anık vd., 1996).

Bütün kesme işlemleri için en iyi gaz deneysel gözlemler sonucu belirlenir. Gaz üreticileri alev sıcaklıkları, yanma ısısı, oksijen-yanıcı gaz tüketimi, ısı transferi, alevdeki ısı dağılımı hakkında karşılaştırmalı bilgiler vermektedir. Bu bilgilere dayanarak gaz seçimleri gerçekleştirilir (ASM, 1992).

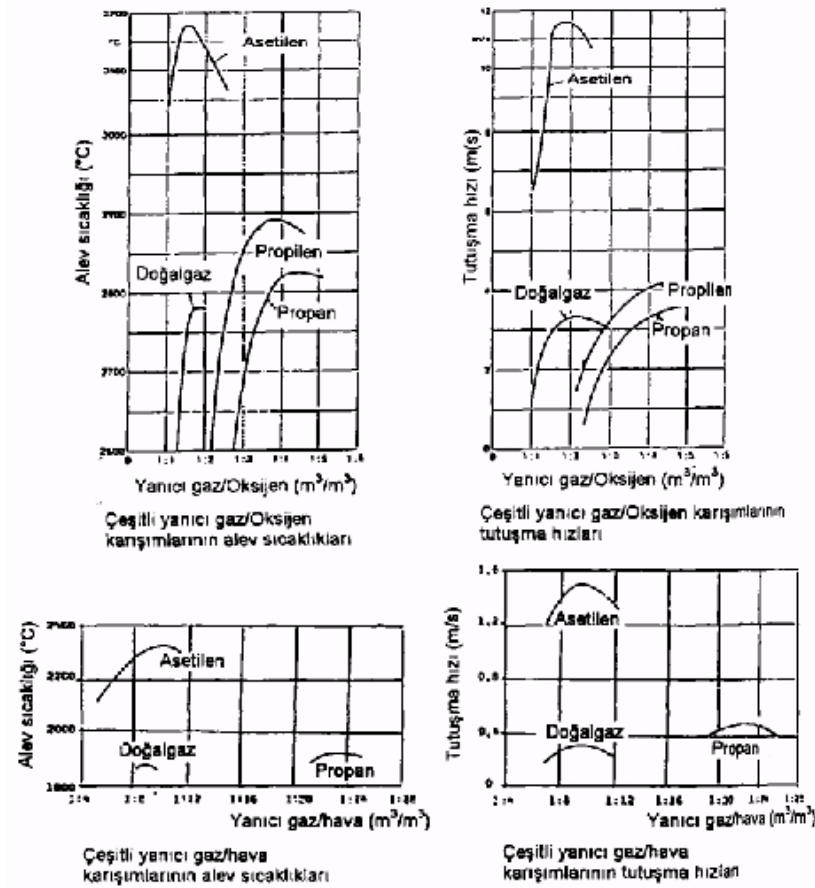
Oksijen ile kesme işleminde kullanılan yanıcı gazların görevleri şu şekilde sıralanabilir:

- Kesilecek metal veya alşımın sıcaklığını oksijen karşısında yanma sıcaklığına kadar yükseltmek,
- Kesme işleminin sürekliliğini sağlamak ve hızını arttırmak için enerji sağlamak,
- Kesme oksijen jeti ile atmosfer arasında koruyucu bir perde oluşturmak,
- Parça yüzeyinde bulunan ve kesme işlemini geciktiren boya, yağ, pas gibi bütün yabancı maddelerin uzaklaşmasını sağlamak.

Bütün bu işlemlerde yanıcı gaz olarak asetilen, stabilize metilasetilen-propadien, doğalgaz, propan, propilen... gibi gazlar kullanılır. Yanıcı gaz seçiminde ise şu hususlar göz önünde bulundurulur.

- Kesmeye başlamadan ısıtma için gerekli süre
- Isıtma için kullanılan oksi-gaz alevinin kesme hızına etkisi
- Isıtıcı gazın fiyatı, depolanma şekli ve bulunabilirliği
- Isıtma için kullanılan yanıcı gazın oksijen gereksinimi
- Aynı gazın lehimleme, tavlama ve kaynak işlerinde kullanılabilirliği
- Taşıma, kullanma ve depolamada emniyet koşulları (Tülbentçi ve Kaluç, 2003).

Bir yanıcı gazın seçiminde, alev gücü dikkate alınır. Bu gücü, her şeyden önce maksimum alev sıcaklığı ve tutuşma hızı belirler. Şekil 2.6'da, çeşitli yanıcı gazların hava ve oksijenle karışımlarında alev sıcaklıkları ve tutuşma hızları verilmiştir.



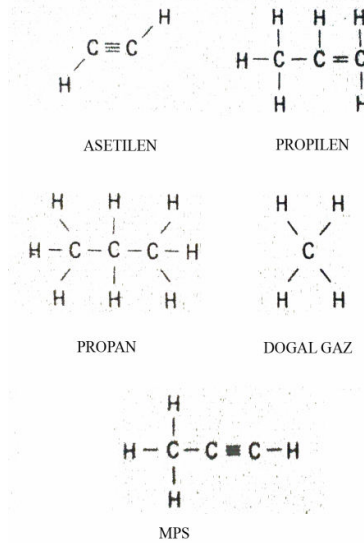
Şekil 2.6. Çeşitli yanıcı gazların alev sıcaklıkları ve tutuşma hızları (Anık vd., 1996).

Endüstride en çok kullanılan çeşitli yanıcı gazların özellikleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 2.6. Çeşitli yanıcı gazların özellikleri (Anık vd., 1996).

Gaz	Asetilen	Propan	Propilen	MPS	Doğalgaz
Simgesi	C_2H_2	C_3H_8	C_3H_6	C_3H_4	CH_4
Nötr alev sıcaklığı (°C)	3100	2520	2870	2870	2540
Primier alev ısı çıktısı (MJ/m ³)	19	10	16	20	0,4
Secunder alev ısı çıktısı (MJ/m ³)	36	94	72	70	37
Toplam ısıl değeri (MJ f/m ³)	55	104	88	90	37
Toplam ısıl değeri (KJ/Kg)	50000	51000	49000	49000	56000
Nötr alev için gerekli toplam oksijen miktarı hacim O ₂ / hacim yanıcı gaz	2,5	5	4,5	4	2
Nötr alev için üfleçten sağlanan oksijen miktarı Hacim O ₂ / hacim yanıcı gaz (m ³ O ₂ /kg) (16,6 °C'de)	1,1	3,5	2,6	2,5	1,5
makimum manometre basıncı (bar)	1,03	10,3	10,3	10,3	Hat basıncı
hava içinde patlama sınırı yüzdesi	2,5 – 80	2,3 – 9,5	2 – 10	3,4 – 10,8	5,3 – 14
hacim/ağırlık oranı (m ³ /kg)	0,91	0,54	0,55	0,55	1,4
Özgül ağırlığı (15,6 °C)	1,09	1,52	1,48	1,48	0,62

Aşağıdaki şekilde kullanılan gazlara ait bağ yapıları gözükmektedir:

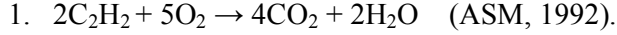


Şekil 2.7. Gazların bağ yapıları (ASM, 1992).

2.4.1.1 Asetilen

Karpit olarak adlandırılan kalsiyum karbürün su ile reaksiyona girmesi sonucu açığa çıkan asetilen 760 mm Hg basıncında ve 0°C'de 1.17 kg/m³ özgül ağırlığında olup havadan biraz daha hafiftir (Tülbentçi ve Kaluç, 2003).

Asetilen kesme için en çok kullanılan gazdır. Diğer yanıcı gazlarla kıyaslandığında daha sıcak yanar. Bu durum asetileni kesme işlemi için en önemli gaz haline sokar. Asetilenin tamamen yanması için gerekli olan reaksiyon:



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. 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 (Anık vd., 1996).

Çizelge 2.7. Asetilenin fiziksel özellikleri (Tülbentçi ve Kaluç, 2003).

Simgesi	C ₂ H ₂
Depolama Yöntemi	Basınç altında, aseton içinde çözülmüş olarak
1 atm'de kaynama nokrası	-84
Kritik sıcaklık (°C)	35
Buharlaşma basıncı (bar)	
0 (°C)	26,7
15 (°C)	39,5
50 (°C)	-
Yoğunluk (kg/m ³) (1bar 15°C'de)	1,09
Kesmede oksijen-yanıcı gaz oranı	1.5:1

2.4.1.2 Stabilize Metilasetilen-Propadien (MPS yada MAPP)

Günümüzde özellikle batı ülkelerinde metilasetilen ve propilen esaslı gaz karışımları oksijen ile kesme işlemlerinde kullanılırlar. Bu iki gazda enerji bakımından çok yoğun olmalarına alev sıcaklıklarının yüksek olmalarına karşın patlayıcı olduklarından propani propilen ve bütan gibi stabilizör gazlar ile karıştırılarak kullanılırlar (Tülbentçi ve Kaluç, 2003).

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 (Anık vd., 1996).

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 (ASM, 1992).

2.4.1.3 Doğalgaz

Doğaldaz esas olarak büyük miktarda metan ile bir miktar hidrojen oluşmaktadır. Doğalgazın boru şebekeleri ile tüketim yerlerine kadar taşınması, depolama ve yatırım giderlerinin olmaması, ısıl değerinin yüksek olması büyük bir üstünlük sağlamasına karşın, yanma hızının yeterli olmaması kaynak işleminde kullanımını kısıtlamakta dolayısı ile, doğalgaz daha çok tavlama ve lehimleme işlerinde kullanılmaktadır (Tülbentçi ve Kaluç, 2003).

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 ısıl 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 (Anık vd., 1996).

Çizelge 2.8. Metanın fiziksel özellikleri (Tülbentçi ve Kaluç, 2003).

Simgesi	CH ₄
Depolama Yöntemi	Tüp içinde veya boru içinde yoğunlaştırılmış olarak
1 atm'de kaynama nokrası	-162
Kritik sıcaklık (°C)	-82
Buharlaşma basıncı (bar)	
0 (°C)	-
15 (°C)	-
50 (°C)	-
Yoğunluk (kg/m ³)	0,67

2.4.1.4 Propan

Propan, doğalgaza göre daha rahat bulunabildiğinden ve çok daha yüksek toplam ısı değerine (MJ/m³) 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 (Anık vd., 1996).

Oksijen ile kullanımında propanın maksimum alev sıcaklığı 5100 °F'tır. Bu sıcaklık oksijen başına 4.5 hacim propan düştüğü durumlarda elde edilmiştir (ASM, 1992).

Çizelge 2.9. Propanın fiziksel özellikleri (Tülbentçi ve Kaluç, 2003).

Simgesi	C ₃ H ₈
Depolama Yöntemi	Basınc altında, oda sıcaklığında yoğunlaştırılmış olarak
1 atm'de kaynama nokrası	-42
Kritik sıcaklık (°C)	97
Buharlaşma basıncı (bar)	
0 (°C)	4,7
15 (°C)	7,5
50 (°C)	17
Yoğunluk (kg/m ³)	1,88
Kesmede oksijen-yanıcı gaz oranı	4.5:1

2.4.1.5 Propilen

Propilen propana benzer bir biçimde sıvılaştırılmış bir gazdır. Ancak propana göre daha yüksek alev sıcaklığına sahiptir. Hacimsel olarak kıyaslanacak olursa propilen asetilene

göre %20 daha ucuz bir gazdır (ASM, 1992).

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 (Anık vd., 1996).

Çizelge 2.10. Propilenin fiziksel özellikleri (Tülbentçi ve Kaluç, 2003).

Simgesi	C_3H_6
Depolama Yöntemi	Basınç altında, oda sıcaklığında yoğunlaştırılmış olarak
1 atm'de kaynama noktası	-48
Kritik sıcaklık (°C)	92
Buharlaşma basıncı (bar)	
0 (°C)	5,9
15 (°C)	9
50 (°C)	21
Yoğunluk (kg/m ³)	1,18
Kesmede oksijen-yanıcı gaz oranı	2.6:1

2.4.2 Oksijen

Tüm yanıcı gazların en önemli ortak özellikleri ancak oksijen ile beraber oldukları zaman yanabilmeleridir. Normal atmosfer koşullarında oksijen renksiz, kokusuz, tatsız bir gazdır ve havayı oluşturan ana bileşenlerden bir tanesidir; havanın içinde %21 oranında bulunur ve anaerobik bakteriler dışında canlıların oksijensiz bir ortada yaşamlarını devam ettirmeleri söz konusu değildir. Havanın içindeki oksijen miktarı normal olarak yanıcı gazların ve maddelerin yanabilmesi için yeterli miktarda olup, yanma işleminin saf oksijen içinde gerçekleşmesi halinde reaksiyon hızlanmakta ve yanma sıcaklığı yükselmektedir (Tülbentçi ve Kaluç, 2003).

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 oksijeninin saflığındaki azalma ayrıca malzemenin yanma davranışını kötüleştirir (Anık vd., 1996).

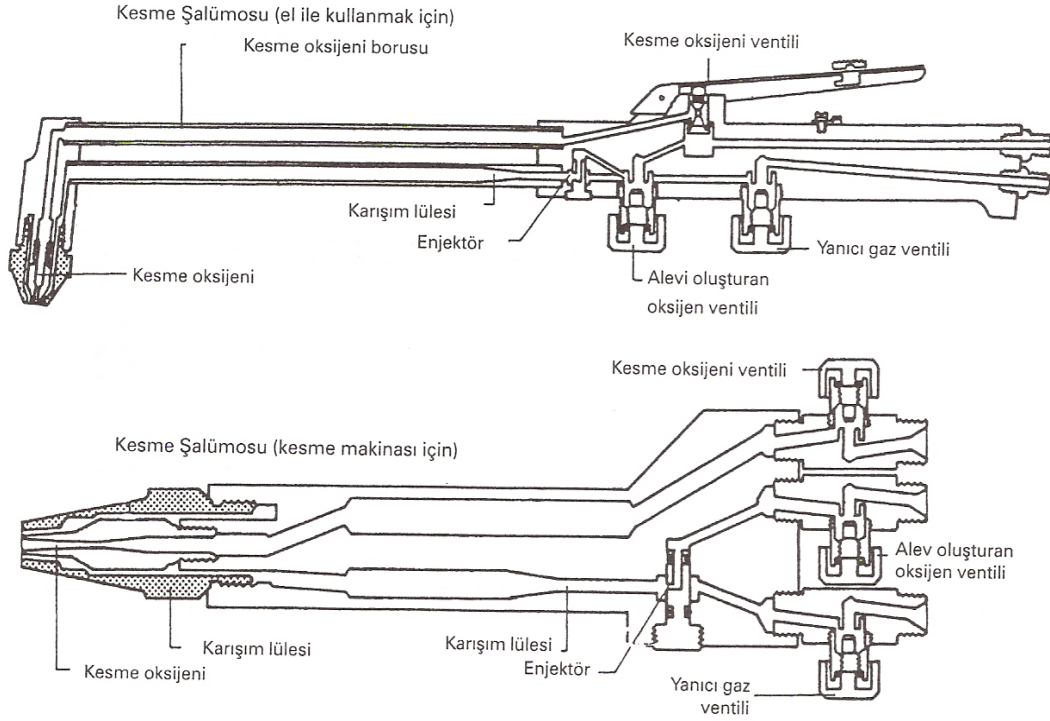
Uygulamada oksijen, kullanma yerine genelde basınçlı tüpler ile taşınır, tüketimin çok olduğu yerlerde sıvı oksijenin gazlaştırılıp kullanılması daha ekonomik olmaktadır (Tülbentçi ve Kaluç, 2003).

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 (Anık vd., 1996).

2.5 Kesme Donanımları

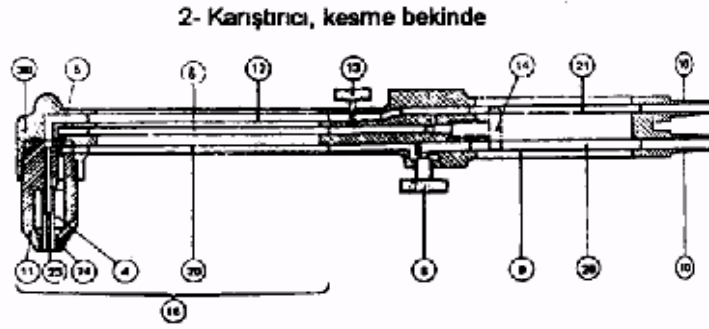
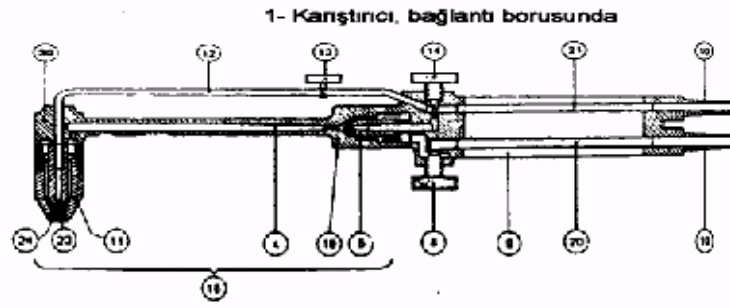
2.5.1 Kesme Üfleçleri

Oksijen ile kesme işlerinde özel olarak geliştirilmiş üfleçler kullanılmaktadır. Normal kaynak üfleçleri ile kesme yapabilmeye olanağı hemen hemen yoktur. Kesme üfleçleri hem tavlama için gerekli alevi oluşturan bir kısmı ve sonrada kesme için gereken basınçlı oksijeni püskürten bir kesme memeleri vardır. Bunlar konsantrik olarak yerleştirilmişlerdir ve de çevrelerinde alevi oluşturan meme ile merkezlerinde de basınçlı oksijen memesi bulunur. Genel olarak el ile kesme yapan üfleçlere gazlar iki hortum ile gelir ve üflecin kesit resiminde görüldüğü gibi üflecin iç kısmında iki ayrı kanala ayrılır ve bunların birbirlerinden ayrı olarak ayarları yapılabilir (Tülbentçi ve Kaluç, 2003).



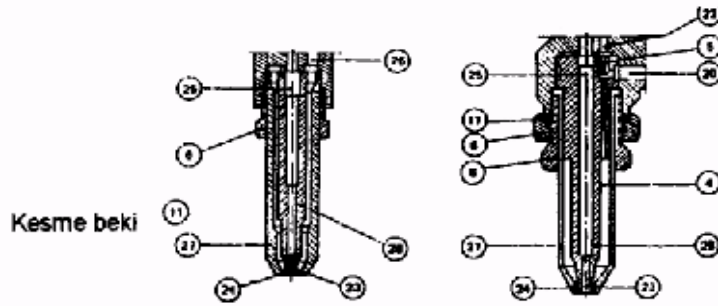
Şekil 2.8. Oksijen ile kesmede kullanılan üfleçler şematik olarak gösterilmiştir (Tülbentçi ve Kaluç, 2003).

Kesme üfleci, alevle kesme cihazlarının bir parçası olarak, yanıcı gazı tavlama ve kesme oksijenlerini sevkedenden 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.



1'e ait karıştırıcı detayı

2'ye ait karıştırıcı detayı

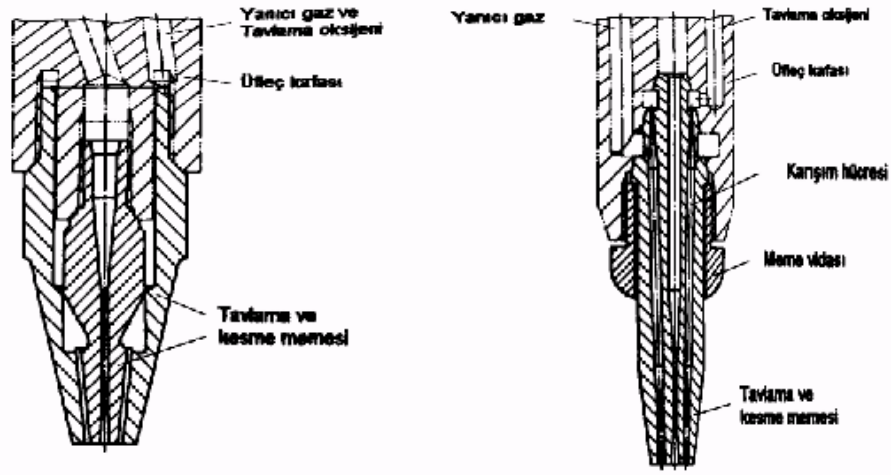


- | | | |
|---------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| 1. Kaynak beki (memesi) | 12. Kesme oksijeni borusu | 23. Kesme oksijeni deliği |
| 2. Bek (meme) borusu | 13. Kesme oksijeni valfi | 24. öntavlama alev deliği |
| 3. Bek bağlantısı | 14. Tavlama oksijeni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

Şekil 2.9. Kesme üfleçleri, TS 3579, (Anık vd., 1996).

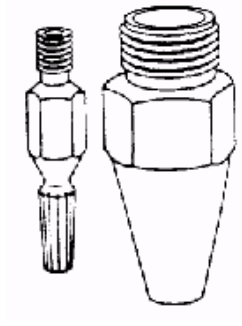
2.5.2 Kesme Memeleri

Kesme memeleri, kesme oksijeninin çalışma basıncına göre standart (6 bar), hızlı kesme (9 bar) ve yüksek güçlü (12 bar) olarak gruplandırılmaktadırlar. Bek olarakta adlandırılan kesme memelerinin çeşitli yapıları mevcuttur. 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 (Anık vd., 1996).

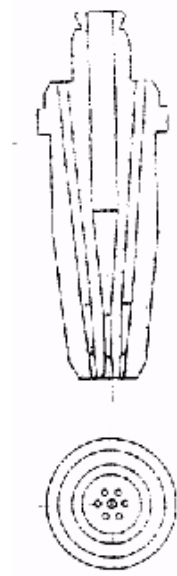


Şekil 2.10. Kesme memeleri sırası ile karışım yeri üfleç, karışım yeri meme (TS3579)
(Anık vd., 1996).

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. Modern yüksek güçlü üfleçler ise daha çok iki parçalıdır. Bunlarda iç parça kesme memesi, dış parça ise tavlama memesi olarak görev yapar.

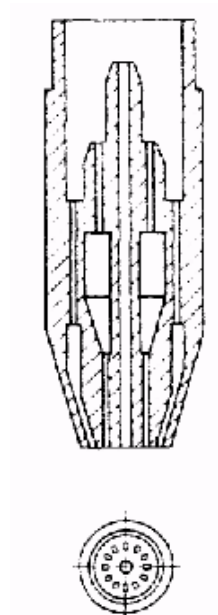


Şekil 2.11. Çift parçalı meme konstrüksiyonunun şematik gösterimi (Anık vd., 1996).



Şekil 2.12. Tek parçalı (blok) meme konstrüksiyonunun şematik gösterimi (Anık vd., 1996).

Çelik üretiminde, sıcak malzemelerin ve kalın kesitlerin kesilmesi gibi uygulamalarda, son derece yüksek ısı dayanımı için dış karışımli memeler kullanılır. 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 (Anık vd., 1996).



Şekil 2.13. Dış karışımlı meme konstrüksiyonunun şematik gösterimi (Anık vd., 1996).

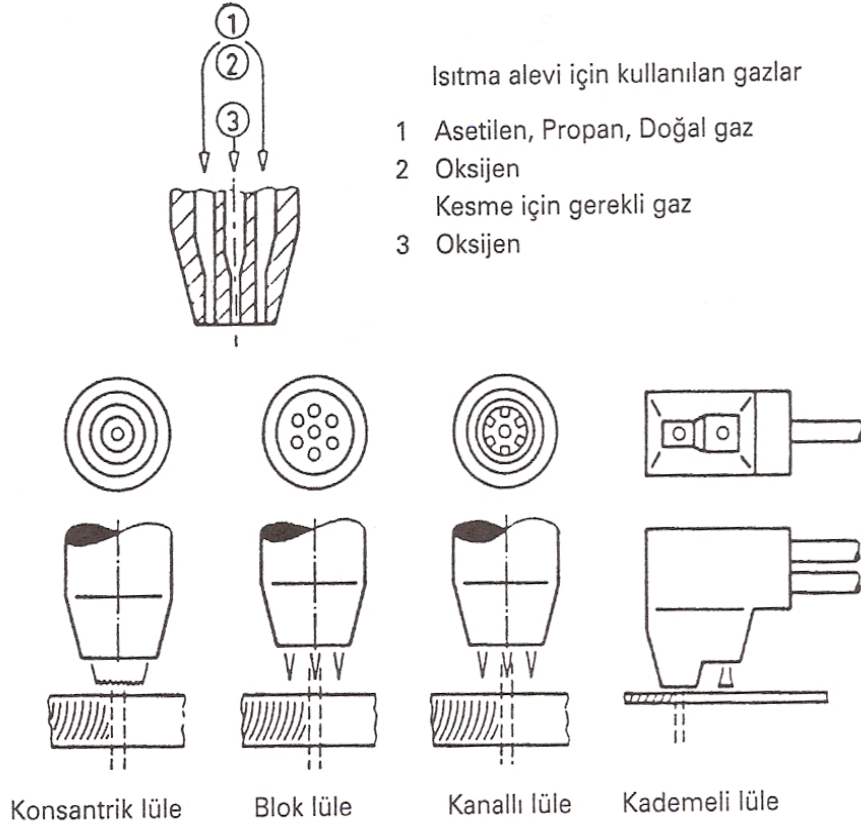
Kesme üfleçlerinde en önemli ve de sık arıza yapan parça kesme memesidir, günümüzde uygulamada dört tür kesme memesi kullanılmaktadır bunlar; konsantrik meme, blok meme, kanallı meme, kademeli memedir.

Konsantrik memeler iki parçalı olarak tasarlanmıştır, üretimi ve temizlemesi kolay, buna karşın merkezlenmesi zordur ve meme ile iş parçası arası 3mm kadar olduğunda sıçramalardan etkilenir ve kullanılamaz hale gelir.

Blok memeler tek parçalı olarak imal edilmişlerdir. Uygulamada kesme işlemi sırasında iş parçası ile meme arasındaki mesafe 7mm kadar olduğundan sıçramalar ve sıcaklıktan etkilenmezler.

Kanallı memeler iki parçalı olarak üretilirler ve konsantrik memelerden daha kolay monte edilirler ve merkezleme sorunuda yoktur; uygulamada kesme işlemi sırasında iş parçası ile meme arasındaki mesafe 7mm kadar olduğundan sıçramalar ve sıcaklıktan etkilenmezler.

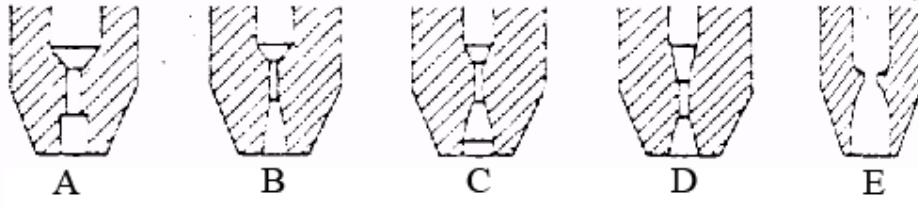
Kademeli memeler ise ısıtma alevi ayarı çok kolay olduğundan özellikle ince saçların kesilmesinde çok iyi sonuçlar verir, yalnız eğrisel şekilli kesimler için uygun değildirler. Bu tür memeler ile ancak doğrusal kesimler yapılabilir (Tülbentçi ve Kaluç, 2003).



Şekil 2.14. Oksijen ile kesme üfleçlerinde kullanılan kesme memeleri (Tülbentçi ve Kaluç, 2003).

2.5.2.1 Kesme Oksijeni Kanalı

Oksijen kesme kanalından yaklaşık 2 barlık bir basınç farkı ile geçer ve ses hızında çıkar. Burada, sıkıştırılmaz 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 (Anık vd., 1996).



- a- Silindirik Ağız
- b- 3-4°C'lik ıraksak ağız
- c- ıraksak + silindirik ağız
- d- ıraksak + ıraksak ağız
- e- ideal form

Şekil 2.15. Kesme oksijeni için çıkış kanalı profilleri (Anık vd., 1996).

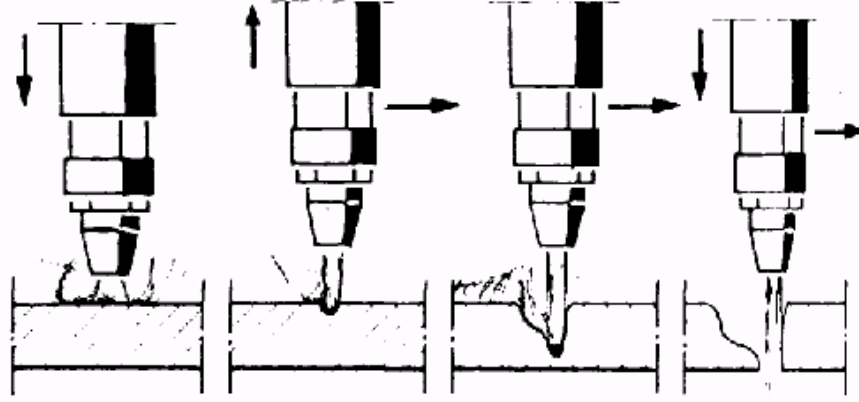
2.6 Oksijen ile Kesme İşleminin Uygulanması

Kesme işlemine başlamadan önce parça yüzeyinin temizliği kontrol edilmeli, yağ, gres ve boyalar temizlenmeli, yüzeydeki pas, tufal ve oksitler tel fırça ile uzaklaştırılmalıdır.

Parça kalınlığına uygun meme kesme üfleğine takıldıktan sonra çizelge 2.11'de veya üfleç kataloğunun öngördüğü gaz basınçları, basınç ayar tertibatından ayarlandıktan sonra önce üfleç üzerindeki oksijen ayar musluğu ve bunun ardından asetilen musluğu (1/4 tur kadar) açılır ve memeden çıkan gaz bir çakmak ile yakılır.

Üfleç memesi ucunda alev oluştuğundan sonra, asetilen musluğu alev is çıkartmaya başlayınca kadar açılır ve sonra oksijen musluğu ile oynayarak asetileni biraz fazla bir alev elde edildikten sonra oksijen mandalına basılarak kesme oksijeni ile alevin notr bir hal alıp almadığı kontrol edilir. Bu durumda üfleç kesme işlemine hazır demektir (Tülbentçi ve Kaluç, 2003).

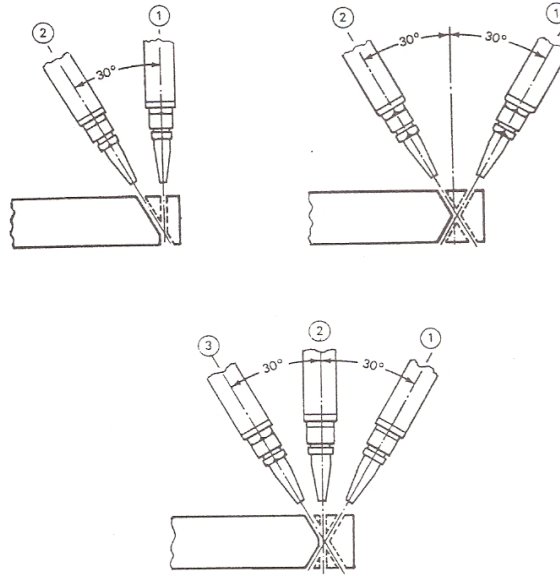
Parça kenarından başlama durumunda, bu bölge tavlama aleviyle tutuşma sıcaklığına kadar tavllanır. Daha sonra kesme oksijeni sevk edilir ve üfleç sabit meme-saç mesafesiyle ve mümkün olduğu kadar sabit bir hızla kesme yönünde hareket ettirilir.



Şekil 2.16. Kesme işlemine parça ortasından başlamada delik açma işlemi (Anık vd., 1996).

Parça ortasından başlama halinde öncelikle aşağıdaki sırayla bir deliğin açılması gerekir:

- 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.



Şekil 2.17. Oksijen ile kesme yardımıyla kaynak ağzının hazırlanması (Tülbentçi ve Kaluç, 2003).

Her üfleç takımında kesme işlemlerinde yardımcı olarak kullanılmak üzere bir takım tekerlekli yardımcı donanımlar bulunur, bunları kullanarak iş parçası ve üfleç memesi arasındaki mesafe sabit tutulabildiği gibi pergel yardımıyla dairesel kesme veya bir master

şablon parça yardımıyla daha düzgün kesme yapma olanağı vardır. Ayrıca bu tekerlekli parçalar yardımıyla üflecin iş parçası üzerine yaptığı açığı da ayarlayarak kaynak ağzı hazırlanabilir.

Çizelge 2.11. Yalın karbonlu çeliklerin oksijen ile kesilmesinde uygulanan parametreler (Anık ve Vural, 2001).

Levha Kalınlığı	Ayar Değerleri		Tüketim Değerleri		
	Kesme Hızı (mm/dak)	Kesme Oksijeni Basıncı (bar)	Kesme Oksijeni (Nm ³ /h)	Yanıcı Gaz (Nm ³ /h)	Tavlama Oksijeni (Nm ³ /h)
3	740	2..4	0,8	0,35	0,4
5	690	2..4	1	0,35	0,4
10	620	3..5	2,5	0,4	0,5
15	550	4..5	2,5	0,4	0,5
20	480	4..5	3	0,4	0,5
30	420	4..5	3,5	0,4	0,5
40	375	4..5	4,5	0,4	0,5
60	315	5..6	6,5	0,5	0,5
100	250	5..6	12	0,6	0,7
150	195	5..6	19	0,85	1
200	155	6..7	23	1	1,1
250	125	7..8	28	1	1,1
280	110	7..8	31	1,1	1,2
300	100	7..8	33	1,2	1,3

2.7 Oksijen ile Kesmede Kesme Yüzeylerinin Kalitesi ve Ölçü Toleransları

2.7.1 Diklik ve Eğilim Toleransı

Oksijenle yakarak kesmede diklik ve eğilim toleransı için DIN 2310 Kısım 3'te verilen tolerans alanları Şekil 2.18'de gösterilmiştir. Hangi kalite sınıfının seçileceği, kullanıma amacına göre saptanmalıdır. Kalite 1, Alan 1, sadece çok özel taleplerin söz konusu olduğu



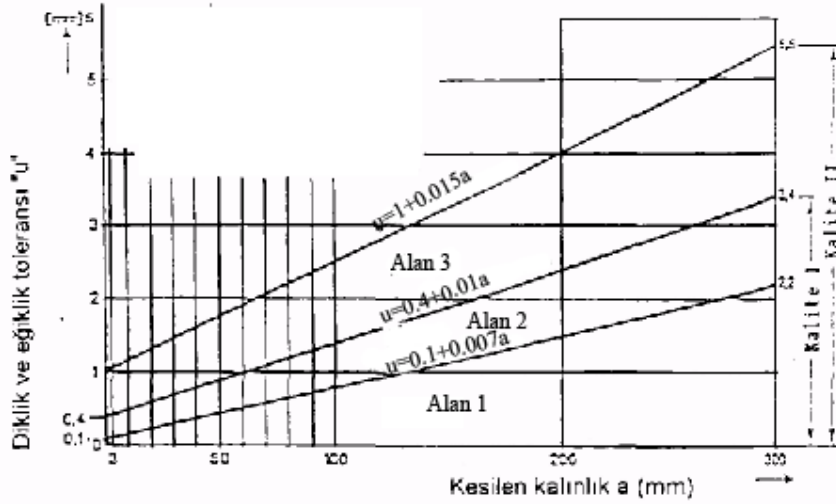
kesme yüzeyleri için seçilmelidir.

Şekil 2.18. Diklik ve eğilim toleransları (Anık vd., 1996).

Oksijen ile kesme de diklik ve eğilim toleransı “u” nedeniyle ortaya çıkan boyut

farklılıkları, boyut için verilen sınır değerleri aşmamalıdır.

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 (Anık vd., 1996).



Şekil 2.19. Diklik ve eğiklik tolerans alanları (Anık vd., 1996).

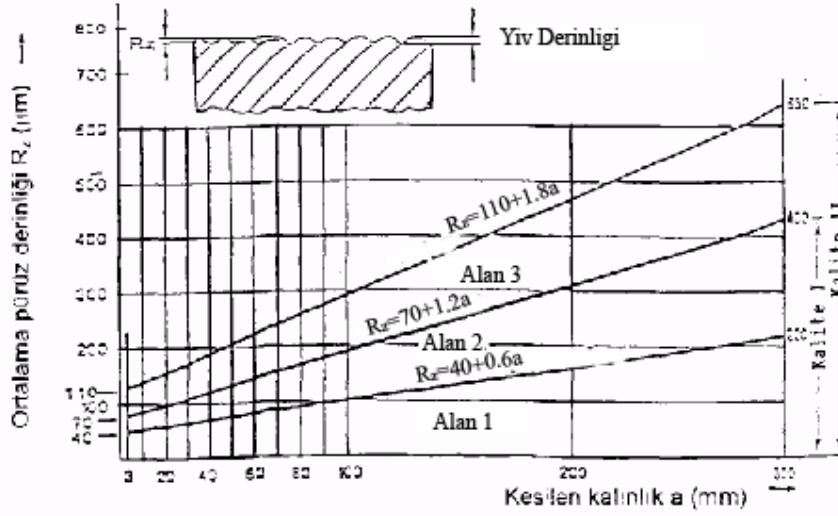
2.7.2 Ortalama Pürüzlülük Derinliği

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 (Anık vd., 1996).



Şekil 2.20. Pürüzlülük ölçümü (Anık vd., 1996).

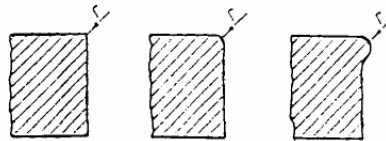
Yapılan araştırmalar, pürüz derinliğinin büyük oranda kesme makinasının dinamik davranışı ile ilgili olduğunu göstermiştir. Özellikle eski ve bakımı iyi yapılmamış makinaların uygun olmayan titreşim davranışı, pürüz derinliğinin artmasına neden olabilmektedir (Anık vd., 1996).



Şekil 2.21. Ortalama pürüzlülük derinliği için tolerans alanları (Anık vd., 1996).

2.7.3 Kenarların Ergimesi ile 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 141 kenarlarından Δa kalınlığındaki bölgeler dikkate alınmaz (Anık vd., 1996).



Şekil 2.22. Kenar yuvarlanması (Anık vd., 1996).

2.7.4 Doğrusal ve Eğrisel Kesimlerde 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 Çizelge 2.11'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 I'de bulunmalıdır (Anık vd., 1996).

Çizelge 2.12. Oksijenle kesmede geçerli boyut toleransları (DIN 2310-III) (Anık vd., 1996)

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

2.8 Deneysel Çalışmalar



Şekil 2.23. Deneysel çalışmanın yapıldığı oksijen ile kesme makinesi

Deneysel çalışmanın gerçekleştirildiği raylı otomatik oksijenle kesme makinesinin özellikleri aşağıda verilmiştir. Kesme kafası hortumu ile birlikte sadece 13 kgf ağırlığında olan bu kesme aleti portative özelliğe sahiptir. Bu deney grubunda 6mm kalınlığında St37 malzeme kullanılmıştır. Bu malzeme çeşitli parametrelerde (farklı gaz basıncı ve kesme hızı değerlerinde) kesme işlemine tabi tutulup, yüzey sertlikleri ölçülmüş ve yüzeyleri gözle muayeneye tabi tutulmuştur.

Çizelge 2.13. Kullanılan oksijenle kesme makinesinin teknik özellikleri

Ağırlık (kgf)	13
En x Boy x Yükseklik (mm)	180 x 380 x 160
Kullanılan Gazlar	Oksijen - Asetilen
Kesme Kalınlığı (mm)	3 - 100
Kesme Hızı (mm/dak)	75 - 850
Motor (V DC)	24

2.8.1 Parça No 00



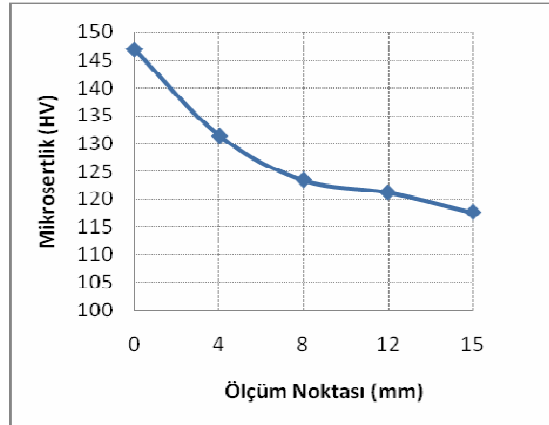
Şekil 2.24. 00 nolu parçanın resmi

00 nolu parça St 37 malzemeden 2,5 bar basınçta ve 300mm/dak hızda kesilen parçadır. Bu parametreler St 37 parçalar arasında en düşük gaz basıncına ve en düşük kesme hızına ait parametrelerdir. Parça incelendiğinde kesme yüzeyinin alt kısmında cüruf parçası yapışması gözlemlenmiştir.

Hataların sınıflandırılması: 32 (TS7227)

Çizelge 2.14. 00 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	00			
Malzeme	Fe 37 (St 37)			
Parça Kalınlığı (mm)	6			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	300			
Gaz Basıncı (bar)	2,5			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	4 mm	8 mm	12 mm	15 mm
146,96	131,4	123,5	121,1	117,6



2.8.2 Parça No O1



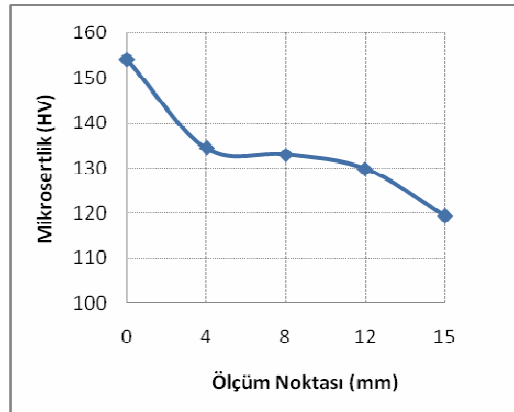
Şekil 2.25. O1 nolu parçanın resmi

O1 nolu parça St 37 malzemeden 2,5 bar basınçta ve 400mm/dak hızda kesilen parçadır. Bu parça incelendiğinde kesme kenarının alt kısmında cüruf yapışması gözlemlenmiştir.

Hataların sınıflandırılması: 31 (TS7227)

Çizelge 2.15. O1 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	O1			
Malzeme	Fe 37 (St 37)			
Parça Kalınlığı (mm)	6			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	400			
Gaz Basıncı (bar)	2,5			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	4 mm	8 mm	12 mm	15 mm
154,05	134,4	133	129,8	119,38



2.8.3 Parça No O2



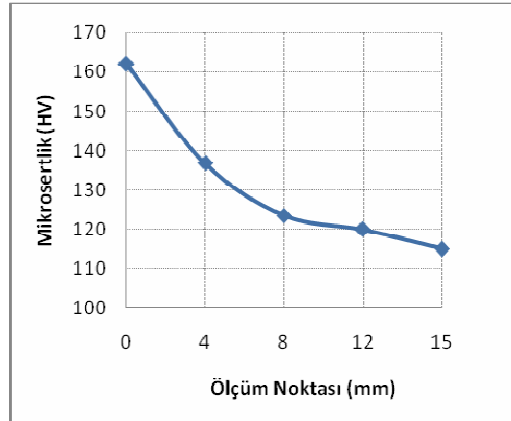
Şekil 2.26. O2 nolu parçanın resmi

O2 nolu parça St 37 malzemedan 2,5 bar basınçta ve 500mm/dak hızda kesilen parçadır. Bu kesme işlemi sonucunda parça incelendiğinde üst kesme kenarında zincirleme katılaşmış damlacıklar ve alt kesme kenarında ise yer yer cüruf oluşumu gözlemlenmiştir.

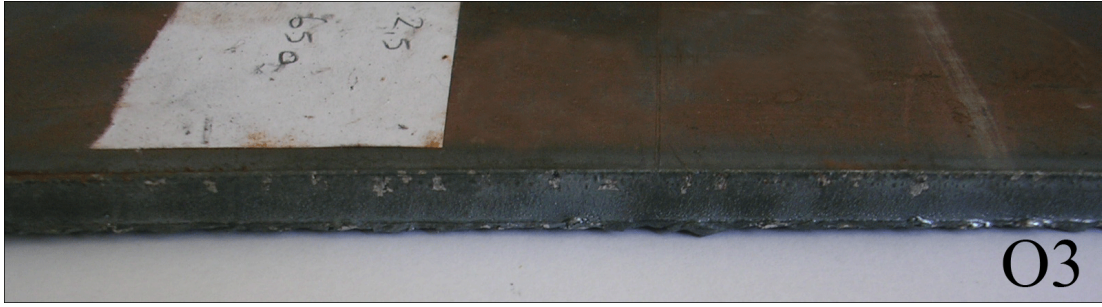
Hataların sınıflandırılması: 112, 31 (TS7227)

Çizelge 2.16. O2 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	O2			
Malzeme	Fe 37 (St 37)			
Parça Kalınlığı (mm)	6			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	500			
Gaz Basıncı (bar)	2,5			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	4 mm	8 mm	12 mm	15 mm
	161,97	136,75	123,47	119,84



2.8.4 Parça No O3



Şekil 2.27. O3 nolu parçanın resmi

O3 nolu parça St37 malzemedan 650mm/dak'lık kesme hızında kesilen parçadır. Bu parça St 37 parçalar arasında en yüksek kesme hızında kesilen parçadır. Kesme parçası incelendiğinde parçanın kesme kenarının alt kısmında neredeyse ihmal edilebilir bir cüruf tabakası ince bir hat şeklinde uzanmaktadır.

Hataların sınıflandırılması: -

Çizelge 2.17. O3 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	O3			
Malzeme	Fe 37 (St 37)			
Parça Kalınlığı (mm)	6			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	650			
Gaz Basıncı (bar)	2,5			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	4 mm	8 mm	12 mm	15 mm
	139,91	136,35	127,92	123,65

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	139,91
4	136,35
8	127,92
12	123,65
15	115,97

2.8.5 Parça No O4



Şekil 2.28. O4 nolu parçanın resmi

O4 nolu parça St 37 malzemeden 1 bar basınçta ve 650mm/dak hızda kesilen parçadır. Bu kesme parçası incelenecek olursa parçanın alt kesme kenarında cüruf yapışması gözlemlenmiştir.

Hataların sınıflandırılması: 31 (TS7227)

Çizelge 2.18. O4 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	O4			
Malzeme	Fe 37 (St 37)			
Parça Kalınlığı (mm)	6			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	650			
Gaz Basıncı (bar)	1			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	4 mm	8 mm	12 mm	15 mm
144,94	131,96	129,65	127,42	119,72

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	144,94
4	131,96
8	129,65
12	127,42
15	119,72

2.8.6 Parça No O5



Şekil 2.29. O5 nolu parçanın resmi

O5 nolu parça St 37 malzemedен 3 bar basınçta ve 650mm/dak hızda kesilen parçadır. Bu kesme işlemi sonucunda parça incelendiğinde alt kesme kenarında ihmal edilebilir derecelerde cüruf parçası gözlemlenmiştir. Ancak parçanın kesme kenarının sonunda parça tamamıyla ayrılamamıştır.

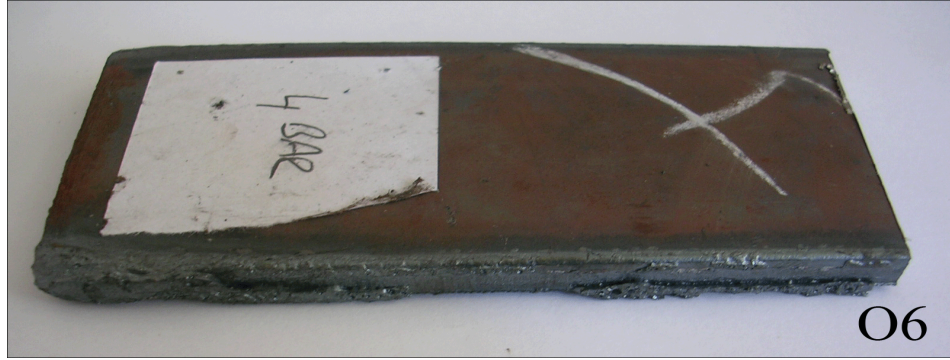
Hataların sınıflandırılması: 24 (TS 7227)

Çizelge 2.19. O5 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	O5			
Malzeme	Fe 37 (St 37)			
Parça Kalınlığı (mm)	6			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	650			
Gaz Basıncı (bar)	3			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	4 mm	8 mm	12 mm	15 mm
	157,67	139,42	133,85	124,82

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	157,67
4	139,42
8	133,85
12	124,82
15	117,79

2.8.7 Parça No O6



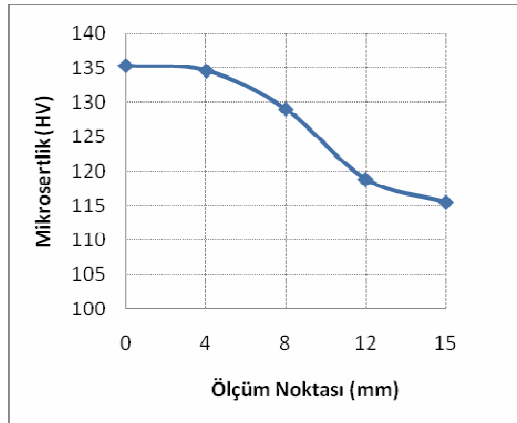
Şekil 2.30. O6 nolu parçanın resmi

O6 nolu parça St 37 malzemeden 4 bar basınçta ve 650mm/dak hızda kesilen parçadır. Bu parça incelendiğinde parçanın üst yüzeyinde zincirleme katılaşmış damlacıklar, parçanın alt kesme kenarında ve kesme yüzeyinde cüruf gözlemlenmiştir.

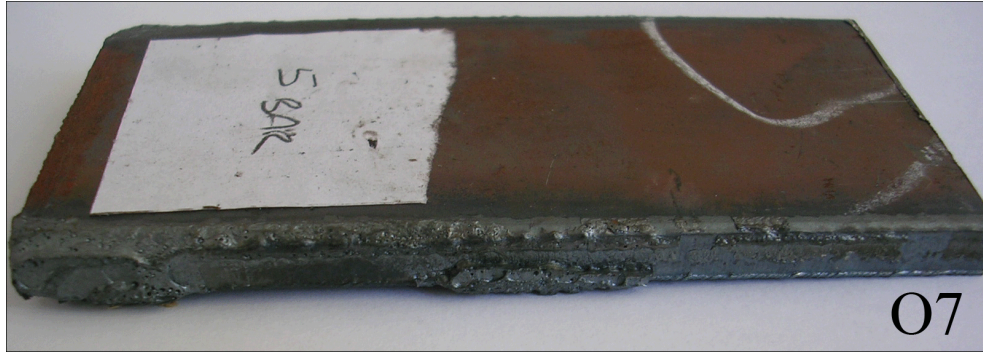
Hataların sınıflandırılması: 122, 31, 32 (TS7227)

Çizelge 2.20. O6 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	O6			
Malzeme	Fe 37 (St 37)			
Parça Kalınlığı (mm)	6			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	650			
Gaz Basıncı (bar)	4			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	4 mm	8 mm	12 mm	15 mm
135,33	134,59	129,04	118,79	115,51



2.8.8 Parça No O7



Şekil 2.31. O7 nolu parçanın resmi

O7 nolu parça St 37 malzemeden 5 bar basınçta ve 300mm/dak hızda kesilen parçadır. Bu kesme parametreleri oksijen ile kesme parametreleri arasında en yüksek basınçta yapılan kesme parametreleridir. Bu kesme işlemi sonucunda parça incelendiğinde alt kesme kenarında cüruf oluşumu gözlemlenmiştir.

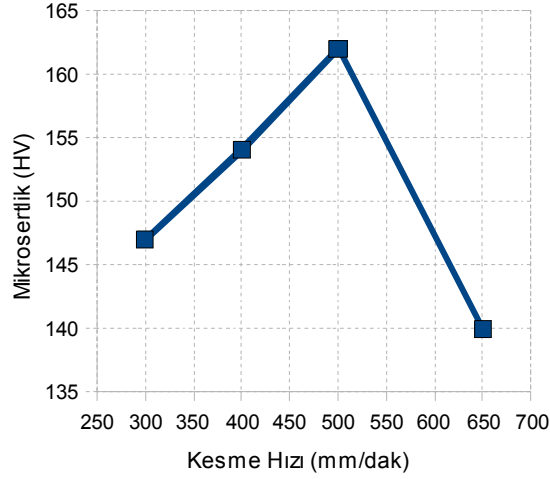
Hataların sınıflandırılması: 31 (TS7227)

Çizelge 2.21. O7 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	O7				
Malzeme	Fe 37 (St 37)				
Parça Kalınlığı (mm)	6				
İşlem Parametreleri					
Kesme Hızı (mm/dak)	650				
Gaz Basıncı (bar)	5				
Sertlik Ölçümleri (HV)					
Yüzey	4 mm	8 mm	12 mm	15 mm	
	139,83	129,19	123,96	117,62	115,42

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	140
4	129,19
8	123,96
12	117,62
15	115,42

2.9 Oksijen ile Kesmede Kesme Hızı ile Yüzey Sertliği Arasındaki İlişki

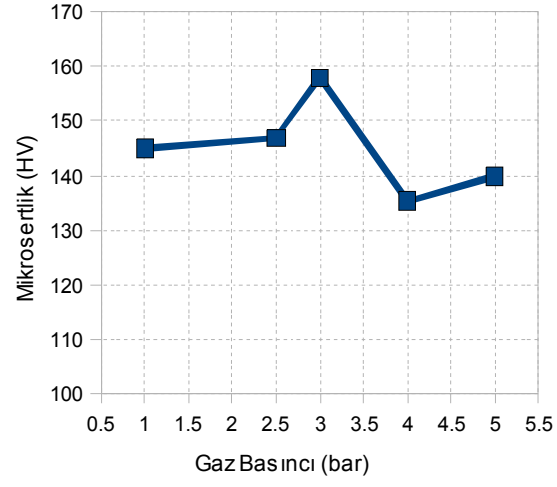


Şekil 2.32. Fe 37 (St 37) malzemede farklı kesme hızlarındaki sertlik ölçümleri

Oksijen ile kesmede kesme hızı ile yüzey sertliği arasındaki ilişki yukarıdaki grafikte gösterilmiştir. Alaşımız karbon çeliklerinde sertliği etkileyen faktörlerin başında soğuma hızı ve bu soğuma hızına bağlı olarak tane boyutlarındaki değişim gelmektedir. Ayrıca martenzit oluşumunda alaşımız karbon çeliklerinde sertliği arttırıcı bir rol oynamaktadır. Farklı kesme hızları ile sertlik arasındaki grafik yorumlandığında St 37 çeliğinde en yüksek sertliğe 500mm/dak hızda en düşük sertliğe ise 650mm/dak hızda ulaşılmıştır. Sertliğin en yüksek noktaya ulaştığı yerde yapıda martenzit oluşumu ya da ince taneli yapı oluşumu gerçekleşmiştir.

2.10 Oksijen ile Kesmede Gaz Basıncı ile Yüzey Sertliği Arasındaki İlişki

Oksijen ile kesmede gaz basıncı ile yüzey sertliği arasındaki ilişki şekil 2.33'te verilmiştir. Malzeme oksijenle kesmede gaz basıncına bağlı olarak dalgalı bir grafik çizmektedir. En yüksek yüzey sertliğine 3 barda en düşük yüzey sertliğine ise 4 barda ulaşılmıştır.



Şekil 2.33. Fe 37 (St 37) malzemede farklı gaz basınçlarındaki sertlik ölçümleri

3. PLAZMA İLE KESME

3.1 Plazma Nedir?

Maddenin kendine has özellikleri bulunan katı, sıvı, gaz ve plazma hali olmak üzere dört hali vardır. Bu haller arasındaki esas fark sahip oldukları enerjidir. Yani maddenin herhangi bir konumundaki enerjisini değiştirmek suretiyle maddeyi diğer konuma geçirmek mümkündür (Karadeniz, 1990).

Plazma maddenin dördüncü halidir. Madde gaz halinde iken doğru koşullar altında maddeye enerji verilmesinin devam etmesi maddenin plazma haline geçişine neden olacaktır. Enerji kaynağı elektrik olabileceği gibi, ısı veya ışın kökenli de olabilir. Plazmayı maddenin gaz halinden ayıran en önemli farkları, elektriği ilemesi, çok yüksek sıcaklıkta olması ve ışık yaymasıdır (Kutlu vd., 2005).

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 arkı olarak nitelendirilmiştir. Oysa plazma, bir ark içinden geçen yüksek sıcaklıklı, elektrik iletkenliğine sahip gaz huzmesinin fiziksel tanımlamasıdır (Anık vd., 1996).

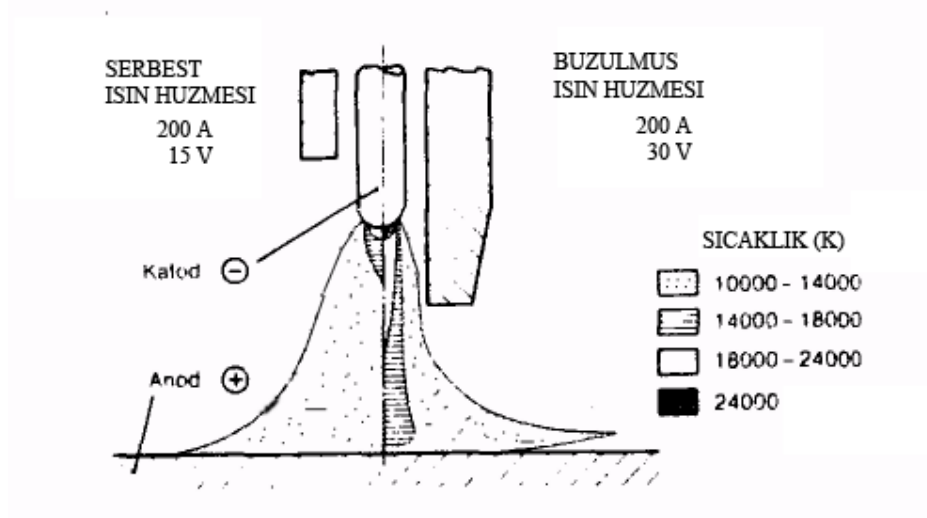
Plazma, içerisinde iyon, elektron, uyarılmış atom, foton ve nötral atom veya molekül içeren bir karışımdır (Karadeniz, 1990).

3.2 Plazma Ark Tekniği

Plazma, arka ısıtılmış, en azından kısmen iyonize olmuş, elektriksel olarak iletken hale gelmiş gazdır. Plazma herhangi bir elektrik arkında oluşur ancak 'plazma arkı' terimi bir torç sayesinde daraltılarak yoğunlaştırılan arkı tanımlar. Plazma arkı ile kesme işlemi (plazma arkı ile kesme), daraltılarak yoğunlaştırılan bir arkın kesilecek iş parçası üzerinde lokal bir bölgeyi eriterek yok etmesidir. Ergiyen metal, torç ağzından yüksek hızlarda çıkan iyonize gazlar tarafından kesim bölgesinden uzaklaştırılır. Bu iyonize gaza plazma denir, yöntemin ismi de buradan gelmektedir. Plazma arkı 10.000 – 14.000°C sıcaklıklarda çalışmaktadır (Karkın, 2006).

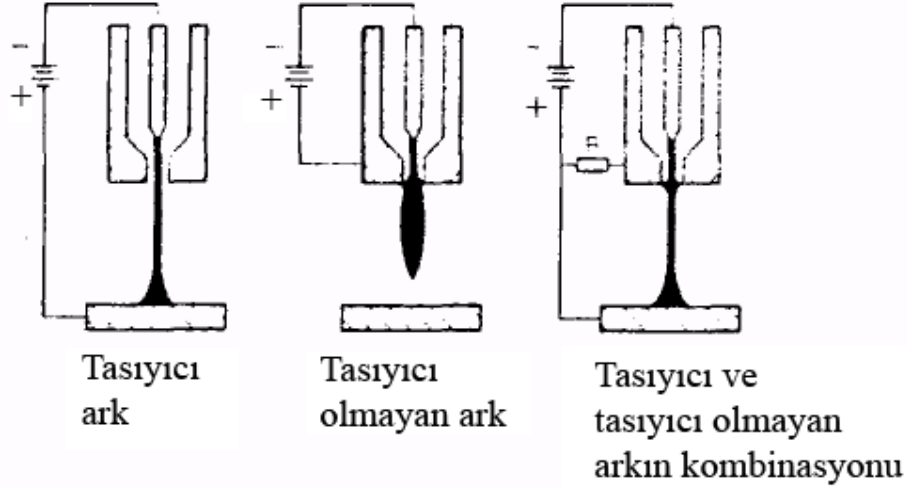
Plazma oluşturan ortama (gaz, su) bağlı olarak, ulaşılabilen kesme hızları ve kesme kaliteleri, kesme işlemi yapan personelin, oluşan gürültü, ışımaya, duman ve gazlara karşı dayanımından etkilenir. Bu etkenler, çevre korumacılığı açısından su altında plazma kesme

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 (Anık vd., 1996).



Şekil 3.1. Plazma arkının büzülmesinin, ark sıcaklığına ve ark gerilimine etkisi (Anık vd., 1996).

Plazma arkı ile kesme 1950'lerin ortasında icat edildi ve endüstriyel uygulamalara uyarlanmasından kısa bir süre sonra ticari olarak başarıya ulaştı. Elektriksel olarak iletken olan her malzemeyi kesebilmesi özellikle oksijen/gaz yöntemi ile kesilemeyen demir dışı metaller için plazma arkı ile kesmeyi cazip hale getirdi. İlk olarak paslanmaz çelik ve alüminyum kesiminde kullanıldı. İşlem geliştirildikçe karbonlu çeliklerin kesiminde de diğer kesim yöntemlerine göre avantajları olduğu fark edildi (Karkın, 2006).

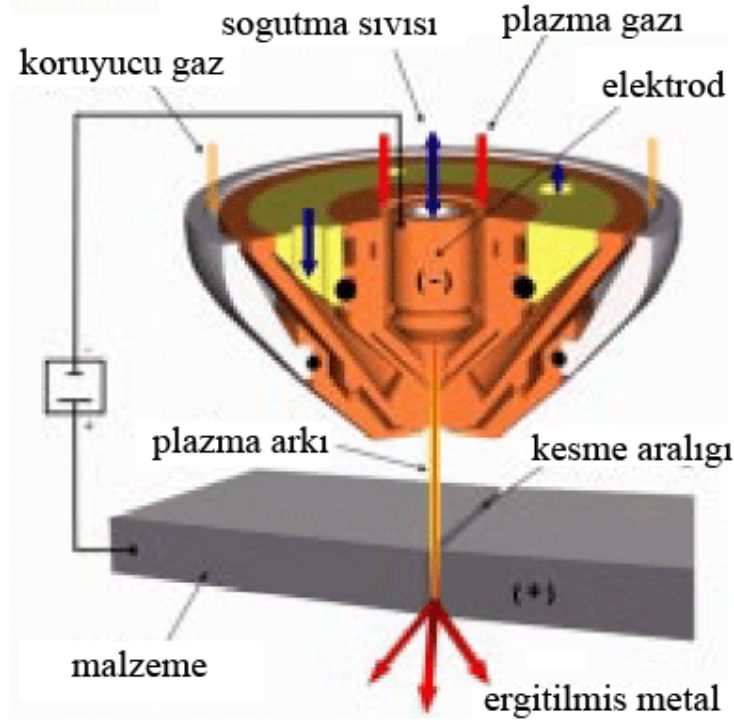


Şekil 3.2. Elektrod, meme ve parça arasında devre düzenleme olasılıkları (Anık vd., 1996).

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 (Anık vd., 1996).

3.3 Plazma Arkı ile Kesme

Plazma ile kesme metodu, iletken metallerin kesiminde kullanılan termal bir kesme metodudur. Kesme, basitçe, torç içinde akan gaza enerji verilerek kısmen iyonlaştırılması (plazma haline dönüştürülmesi), oluşturulan yüksek sıcaklıktaki plazmanın da gaz akışı etkisi ile nozul ağzından pozitif kutup olan malzemeye yönelmesi, malzemeyi eritmesi ve eriyen malzemenin akan gazın jet etkisiyle itilerek uzaklaştırılması ile gerçekleştirilir (Kutlu vd., 2005).



Şekil 3.3. Plazma ile kesme (Kutlu vd., 2005).

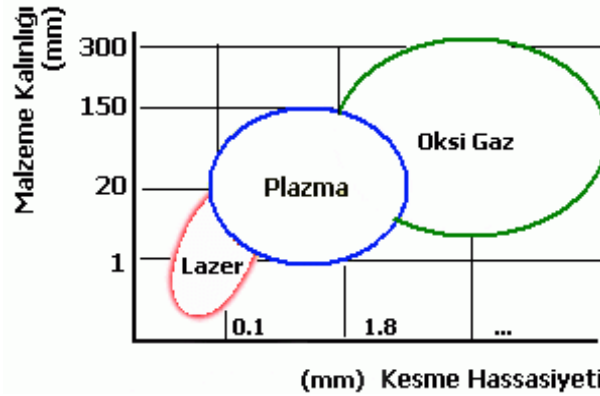
Oksijenle kesmede gerekli enerji, parçanın egzotermik oksidasyonu ile elde edilmektedir, işlem, kendi kendine (otojen) olarak devam etmektedir. Plazma kesmede ise kesme için gerekli enerji dışarıdan verilmektedir. Kesme işlemi, kesilecek malzemenin özelliklerinden bağımsızdır. Taşıyıcı arkli kesme işlemi, 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 menbai enerjisini yoğunlaştırabilmelidir.
- Isının yanında, enerji kaynağı, erimiş malzemenin kesme yarığında uzaklaştırılmasını sağlayacak bir kinetik enerjiye de sahip olmalıdır (Anık vd., 1996).



Şekil 3.4. Plazma ile kesim [2]

Geleneksel plazma sistemleri 20-150 mm kalınlık aralığında olan malzemelerin kesiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüz hassas plazma sistemleri ise lazer kesme sistemlerinin çalıştığı 1-12 mm malzeme kalınlığı arasında ve lazer sistemlerine yakın hassasiyette kesme yapabilmek yönünde geliştirilmektedirler. Şekil 3.4'de günümüz termal kesme teknolojileri kesme hassasiyeti ve malzeme kalınlığına göre karşılaştırılmıştır (Kutlu vd., 2005).



Şekil 3.5. Günümüzdeki termal kesme teknolojileri kesme hassasiyeti ve malzeme kalınlığına göre karşılaştırılması (Kutlu vd., 2005).

Mekanik kesim yöntemleri ile karşılaştırıldığında, parçanın sabit tutulup torcun hareket ettirilmesi (veya tam tersi) için gereken güç miktarı temas gerektirmeyen plazma arkı ile kesme yöntemiyle çok daha azdır. Oksi/gaz kesme ile karşılaştırıldığında, plazma arkı ile kesme daha yüksek enerji seviyelerinde çalışır, dolayısı ile daha yüksek kesim hızları

saglar. Bunun yanı sıra ön tavlama gerektirmez, kesime hemen başlar. Yüksek tetik sayısı gerektiren uygulamalarda bu önemli bir avantajdır.

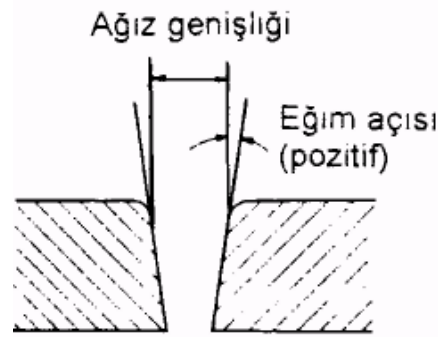
Plazma arkı ile kesme tekniğinin diğer kesim yöntemlerine göre bazı sakınca veya dezavantajları da vardır. Çoğu mekanik kesimle karşılaştırıldığında ateş, elektrik şoku, yoğun ışık, duman ve gaz oluşumu, yüksek ses seviyesi gibi mekanik kesimlerde genellikle rastlanmayan tehlikeler taşımaktadır. Plazma arkı ile kesme yöntemiyle mekanik kesimlerde yakalanan hassasiyetleri kontrol etmek güçtür. Oksi/gaz ile karşılaştırıldığında plazma arkı ile kesme ekipmanları daha pahalıdır, elektrik enerjisi tüketimi yüksektir (Karkın, 2006).

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 oluşturucu 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 bir kaç It/dak'lık bir plazma gazı debisi kullanılırken, plazma kesmede bu miktar 2 ila 100 It/dak'lık debilere ulaşır. Plazma oluşturucu gaz, 10000 ila 50000 °K'lik 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 oluşturucu 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 değerinin altına inmesi, "çift ark" veya "parazit ark" oluşumuna yol açar.

Plazma kesmede enerji dağılımı ile ilgili olarak, plazma huzmesi ve bunun kesme

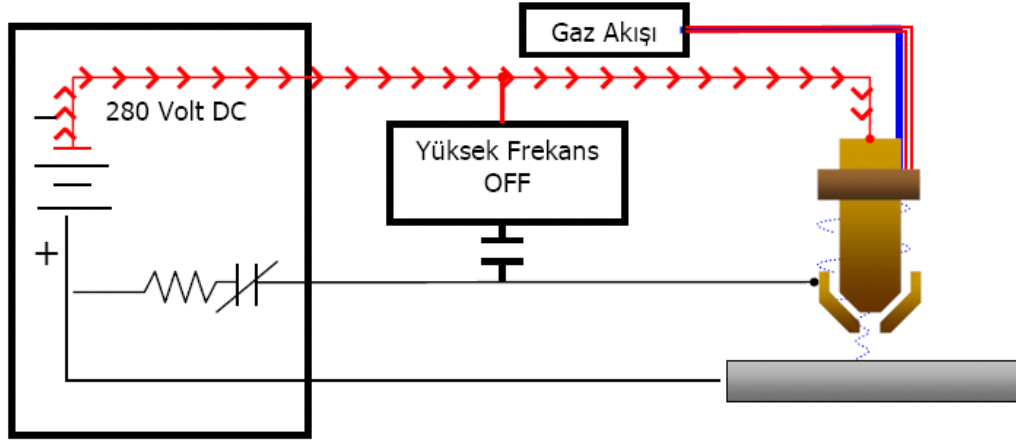
ağızındaki etkisi üç etki bölgesine ayrılır. Pozitif huzme, anodik krater ve plazma alevi Kesmede malzeme, plazma huzmesinin yüksek sıcaklığının etkisiyle çok kısa sürede erir ve sürekli ince taneli parçacıklar (tanecik çapı yaklaşık 0,1 mm) halinde kesme yarığında püskürtülür. Yüksek sıcaklıklarda ilave oksitler oluşmaz yani metal cürufleşmez. 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 enerjiyle kesme yapılması, plazma ısının parça derinliklerinde azalmasına yol açar. Bu da kesme ağzının bir miktar konikleşmesine neden olur (Anık vd., 1996).



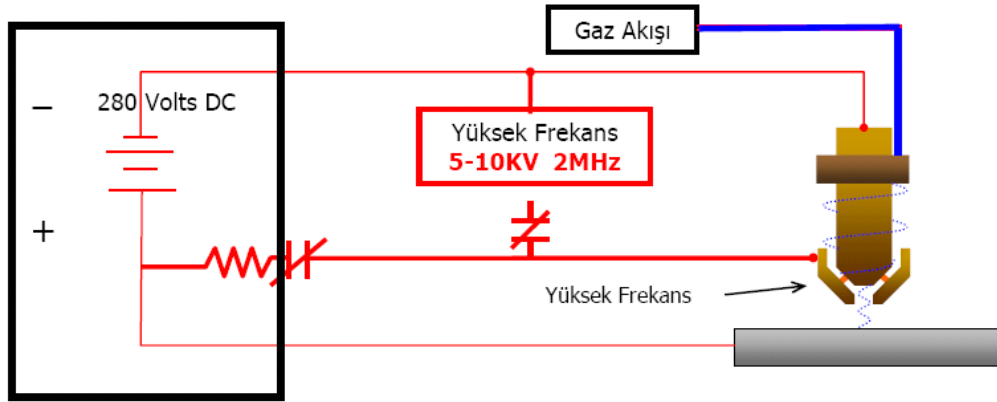
Şekil 3.6. Plazma kesme işlemi sırasında kesme ağzının profili (Anık vd., 1996).

En genel pilot ark ile başlangıç tekniği, elektrod ile nozul arasında yüksek frekans ile atlama yaptırılmasıdır. Böylece atlama yolundaki gaz iyonize olur, torç parçaya yakınsa pilot arkın alevi parçaya temas eder ve ana akım için elektriksel olarak iletken bir yol oluşturur. Kontak ile başlangıç yapan torçlarda elektrod veya nozul hareketlidir. Anlık olarak birbirlerine temas ederler, sonra ayrılırlar ve böylece ilk arkı oluştururlar. Aşağıda yüksek frekans tekniği ile ateşleme yapan plazma arkı ile kesim devresinin ana arkın oluşumuna kadar ki dört evresi gösterilmiştir;



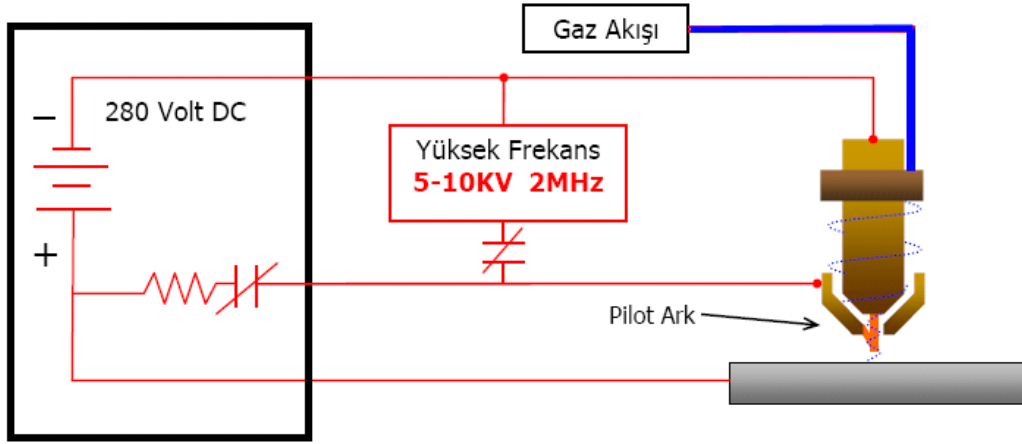
Şekil 3.7. Plazma arkı ile kesim devresinin ana arkın oluşumundaki ilk evre (Karkın, 2006).

1. DC güç kaynağına tetik sinyali gönderilir. Tetik sinyali aynı anda açık devre gerilimini (OCV) oluşturur ve torca gaz akışını başlatır (Karkın, 2006).



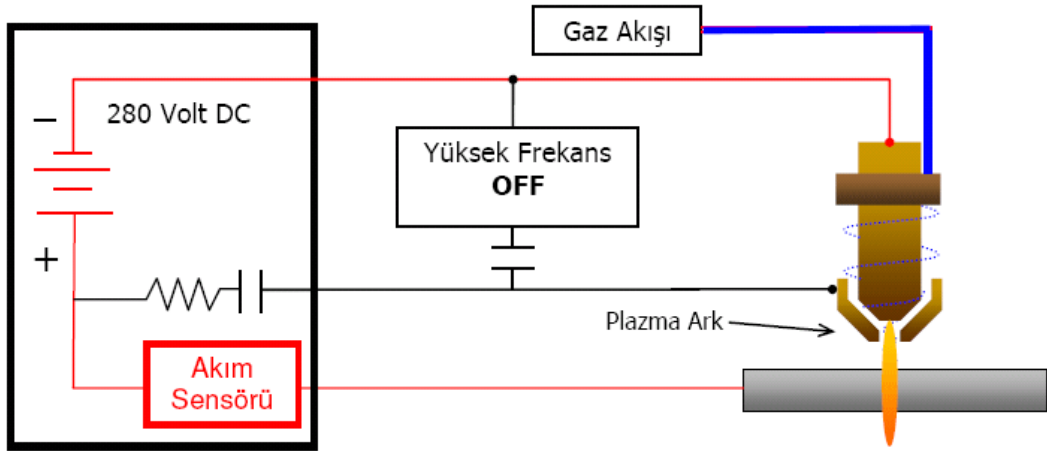
Şekil 3.8. Plazma arkı ile kesim devresinin ana arkın oluşumundaki ikinci evre (Karkın, 2006).

2. Gaz akışı kararlı hale geldikten sonra yüksek frekans devresi devreye girer. Yüksek frekans devresi torcun içindeki elektrod ve nozul arasını deler ve buradan geçen gaz iyonize olur (Karkın, 2006).



Şekil 3.9. Plazma arkı ile kesim devresinin ana arkın oluşumundaki üçüncü evre (Karkın, 2006).

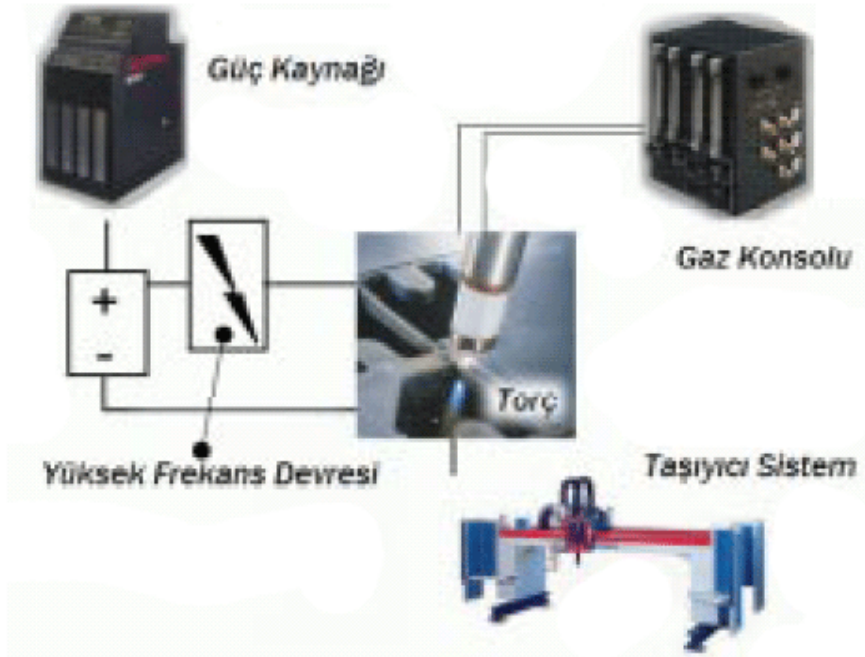
3. Elektriksel olarak iletken hale gelmiş gaz elektrod ile nozul arasında devre tamamlar ve pilot arkın oluşmasını sağlar (Karkın, 2006).



Şekil 3.10. Ana arkın oluşumundaki dördüncü evre (Karkın, 2006).

4. Pilot ark, yüksek hızla akan gazlarla ağızdan dışarı çıkmaya zorlanır. Parçaya temas ettiğinde parçaya yapışır. Rezistör üzerinden bağlı nozul devresi açar, iş parçası devreye seri bağlıdır. Ana akım oluşur, kesim başlar. Torç hareket ettirilerek kesim devam ettirilir (Karkın, 2006).

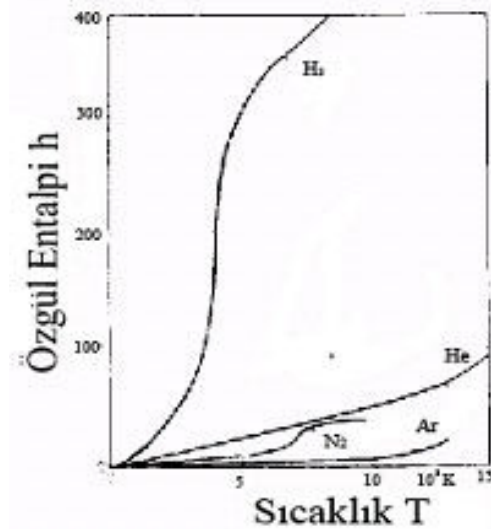
Plazma arkı ile kesimde torç ve güç kaynakları çeşitli akım mertebelerinde olabilirler. 30 A ve altında olanlar düşük güçlü, 30 – 100 A arası orta güçlü ve 100 – 1000A arası yüksek güçlü olarak kategorize edilebilir. Değişik güç seviyeleri değişik uygulamalar için uygundur. Yüksek güçlerle daha kalın malzemeler daha hızlı kesilebilir (Karkın, 2006).



Şekil 3.11. Plazma arkı ile kesme sistemi [1]

3.3.1 Plazma Yapıcı Ortamlar

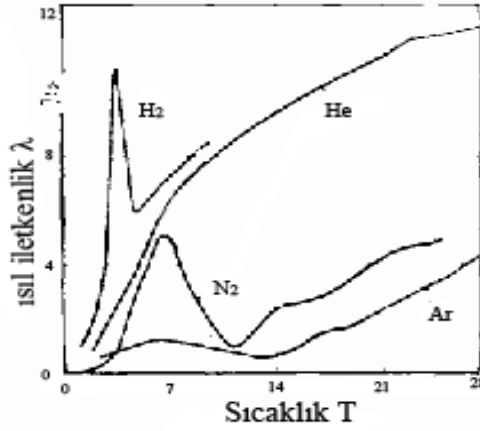
Plazma kesmenin kalitesi ve ekonomikliği üzerine en önemli etkiyi, kullanılan plazma yapıcı ortam yapar. Bu ortam, bir gaz, bir gaz karışımı ve özellikle hava ve su olabilir. Kesme yarığının oluşumunda, plazma gazının kimyasal özellikleri (oksitleyici, nötr veya redükleyici olması) büyük etki yapar. Bir plazma gazının seçiminde, gazın atom veya molekül ağırlığı, özgül ağırlığı, ısıl iletkenliği ve dissosiasyon ve iyonizasyon enerjileri etkili olur (Anık vd., 1996).



Şekil 3.12. Plazma yapıcı gazların entalpileri (Anık vd., 1996).

Çizelge 3.1. Plazma yapıcı gazların dissosiasyon ve iyonizasyon enerjileri (Anık vd., 1996).

Gaz türü	Dissosiasyon enerjisi (eV)	İyonizasyon enerjisi (eV)
Argon	-	15.76
Helyum	-	24.56
Azot	15.8	14.55
Hidrojen	15.4	19.59
Oksijen	12.5	13.62



Şekil 3.13. Plazma yapıcı gazların ısı iletkenliklerinin sıcaklıkla değişimleri (Anık vd., 1996).

3.3.1.1 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 eV'lik düşük iyonizasyon enerjisi ve iyi tutuşma özellikleri diğer üstünlükleridir. Isı taşınımının etkinlik derecesi ve bunun büyüklük sıralaması, gazların ısı iletkenliklerine ve enerji tutuşlarına (entalpi) bağlıdır. Tek atomlu gazların entalpileri ve bunların argonla karşılaştırılmaları Şekil 3.11'de verilmiştir. Burada ilginç olan argon'un ısı iletkenliğinin diğer gazlara göre çok düşük olmasıdır (Şekil 3.12). Bütün bu nedenlerle plazma gazı olarak argon ile ulaşılabilecek maksimum kesme hızı çok düşüktür ve kesme ağzının tutuşması çok zordur (Anık vd., 1996).

3.3.1.2 Hidrojen

İki atomlu (diatomik) gazlarda ısıl iletkenliğin maksimumu, dissosiasyon sıcaklık bölgesinde bulunur ve bir dissosiasyon-assosiasyon davranış sırası izler. Bu olay hidrojende özellikle daha yoğun olarak ortaya çıkar. 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. 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 ısıl 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 arttırır 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 (Anık vd., 1996).

Argon ve hidrojen karışımları 6 mm'nin üzerindeki paslanmaz çelik kesimlerinde kullanılır. Düzgün ve parlak yüzey çıkarır. 1000A'e kadar çıkan uygulamalarda kullanılabilir. Çok iyi sarf ömrü vardır. Dezavantajı maliyetli olmasıdır. Alüminyumda iyi sonuç vermez (Karkın, 2006).

3.3.1.3 Azot

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, argona 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 (Anık vd., 1996).

Kesme işleminde azot kullanılması alüminyum ve paslanmaz çelik kesiminde iyi sonuç verir. Sarf ömrü idealdir. Azot ile kesimde de kesim yüzeyinde havadakine benzer metalurjik değişimler oluşur. Çapak çıkartır (Karkın, 2006).

3.3.1.4 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 oluşturmaktadır. Kuru ve yağsız basınçlı hava ile yapılan plazma kesme, altmışlı yılların başlarında ortaya çıkmıştır. Havanın argona göre önemli oranda ucuz oluşu, plazma yöntemlerini ilk olarak alaşımız 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. 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 (Anık vd., 1996).

Havanın en büyük avantajı ucuz olması, halihazırda bulunması ve karbonlu çelikte iyi sonuç vermesidir. Dezavantajları kesim yüzeyinde metalurjik değişiklikler oluşturmalarıdır. Kaynak edilebilirlik, form verilme ve işlenebilme özelliklerini zorlaştırır. Yüzeyi nitrürler. Çapak çıkarır. Sarf ömrü (elektrod ve nozul) çok yüksek değildir (Karkın, 2006).

3.3.1.5 Su

Yüksek sıcaklık bölgesinde, yeterli enerji girdisiyle dissosiyasyon ve aynı zamanda iyonize olabilen su, kendisini oluşturan hidrojen ve oksijene ayrışır. Bu tip birleşik plazmada, oksijen ve hidrojen için geçerli olan özelliklerin birleşimi avantajı elde edilebilmektedir. Ancak pratikte su, plazma yapıcı ortam olarak tek başına kullanılmaz. Pratikte plazma gazı olarak azotla yapılan kesme işleminde, eşzamanlı olarak plazma torcuna su da sevk edilir (Anık vd., 1996).

3.3.2 Plazma ile Malzemelerin Kesilmesi

Plazma ile kesme yöntemi sanayide yaygın olarak alaşımlı çelik, paslanmaz çelik, karbon çeliği, alüminyum alaşımları, titanyum alaşımları ve bakır kesmekte kullanılır. Nikel, titanyum ve alaşımları gibi malzemelerin kesimi ancak talaşlı işlemeden önce malzemeyi kesip hazırlamak için uygun olabilir. Çünkü bu malzemelerin plazma ile kesiminde kesme ağzı ve yüzeyinde pürüz, malzeme de renklenme görülmektedir. Koruyucu ve plazma gazı kombinasyonları, gazların akış hızları ve malzeme kalınlığı malzemelerin kesme kalitesini etkiler (Kutlu vd., 2005).

3.3.3 Plazma Kesme Donanımları

Plazma arkı ile kesme işlemi temelde güç kaynağı, yüksek frekans devresi, torç ve taşıyıcı sistemden oluşur.

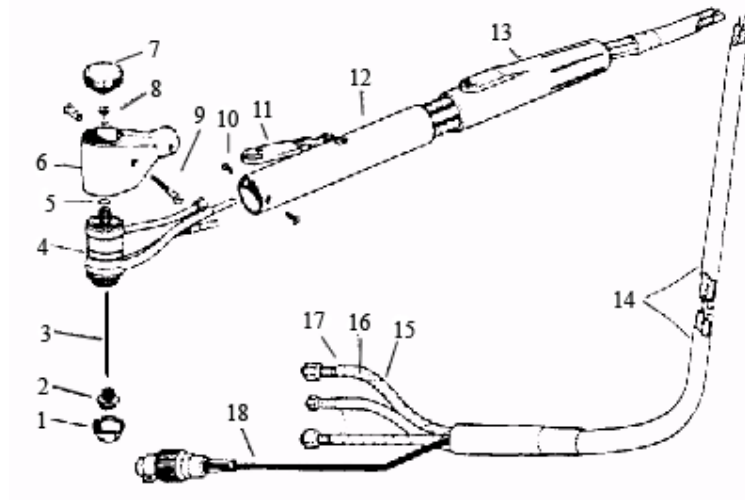
3.3.3.1 Güç Kaynakları

Plazma arkı ile kesme işlemi negatif kısmı torçtaki elektroda bağlı ve pozitif kısmı parçaya bağlı olan doğru akım güç kaynağına ihtiyaç duyar (ASM, 1992). Yüksek gerilimde, sabit doğru akım sağlar. Görevi iyonizasyon sonrası plazmanın devamlılığını sağlamak için gerekli enerjiyi sağlamaktır (Kutlu vd., 2005).

Plazma arkı ile kesme uygulamasında özel dizayn edilmiş sabit doğru akım kaynağı kullanılır. Bu güç kaynağı 400V boşa çalışma gerilimine ve yük altında 200V'luk bir gerilime sahiptir. Akım iş parçasının malzemesine, tipine ve çalışma hızına bağlı olarak 70 ila 1000A arasında değişmektedir (Metals Handbook, 1989).

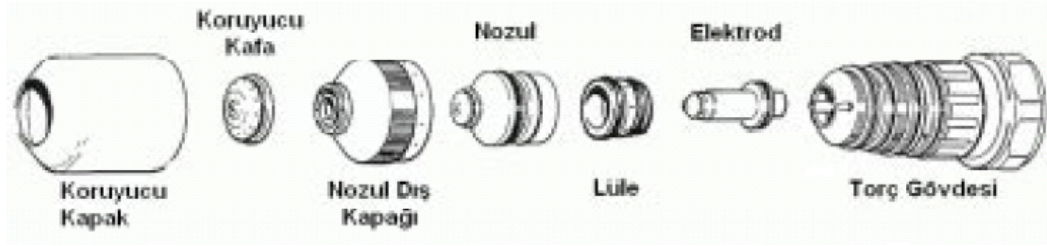


Şekil 3.15. El ile plazma kesme torcu [1]



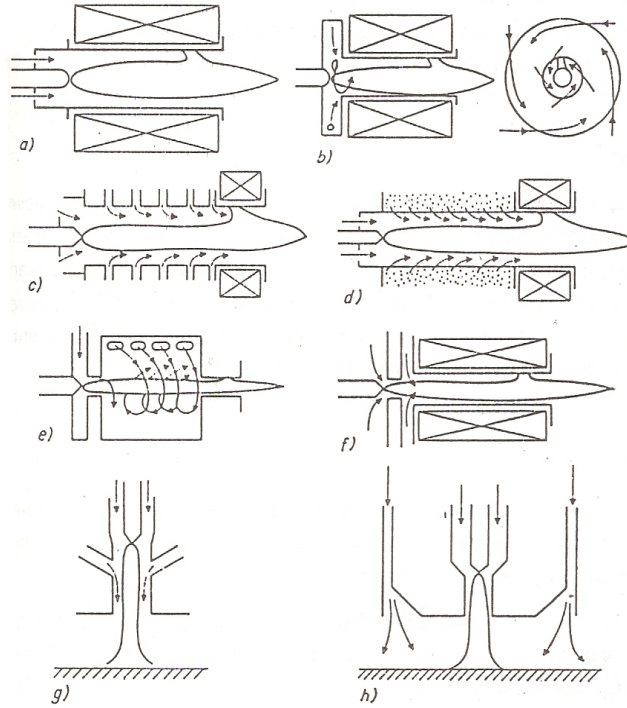
- | | | | | | |
|----|-----------------|-----|-------------------|-----|-------------------|
| 1. | Isı kalkanı. | 8. | Kolet. | 14. | Kılıf |
| 2. | Kesme memesi | 9. | Somun ve vidaları | 15. | Esas ark kablosu |
| 3. | Elektrod | | tutan kapak | 16. | Gaz hortumu |
| 4. | Torç gövdesi | 10. | Vida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

Şekil 3.16. Bir makine torcunun şematik gösterimi (Anık vd., 1996).



Şekil 3.17. Torç kafası parçaları[1]

Torç, içinde plazma gazının ve koruma gazının aktığı nozul, elektrod, lüle, nozul dış kapağı, koruyucu kafa ve kapağını bir arada tutan parçadır. Plazmayı odaklamak ve oluşturmak için tasarlanmıştır. Koruyucu gaz ve soğutma sıvısı akışını da sağlar. Gövde içinde gazlar, elektrik bağlantısı ve soğutma sıvısı için özel tasarlanmış kanallar ve elektrik bağlantıları vardır (Kutlu vd., 2005).

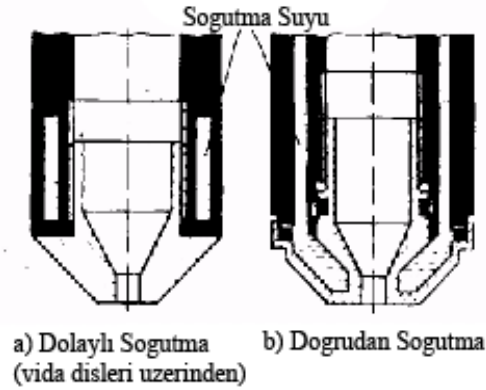


- | | |
|---|---|
| a- Eksenel gaz beslemeli torç | e- Döner gaz tabaka stabilizasyonlu torç |
| b- Teğetsel gaz beslemeli torç | f- Çubuk elektrodu gaz korumalı torç |
| c- Gaz soğutmalı ve nötröd aralarından gaz beslemeli torç | g- çubuk elektrodu ve memesi koruma gazlı direkt torç |
| d- Gözenekli cidardan gaz beslemeli torç | h- İş parçası koruma gazlı direkt torç |

Şekil 3.18. Çalışma ve yardımcı gaz verilış şekline göre plazma torcu çeşitleri (Karadeniz, 1990)

3.3.3.3 Meme

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 (Anık vd., 1996).



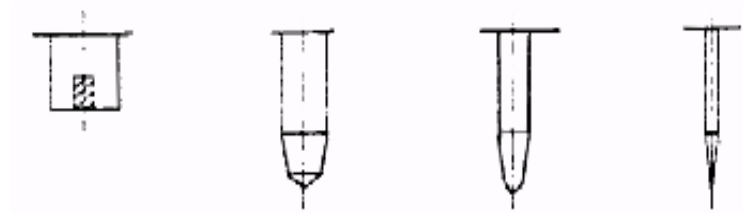
Şekil 3.19. Meme soğutma sistemleri (Anık vd., 1996).

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 elektrodun değiştirilmesi sırasında torçtaki suyun dökülmesi dezavantajı söz konusudur. Bu durumda, yüksek boşta çalışma gerilimi nedeniyle, torçta kısa devre tehlikesi çok yüksektir (Anık vd., 1996).

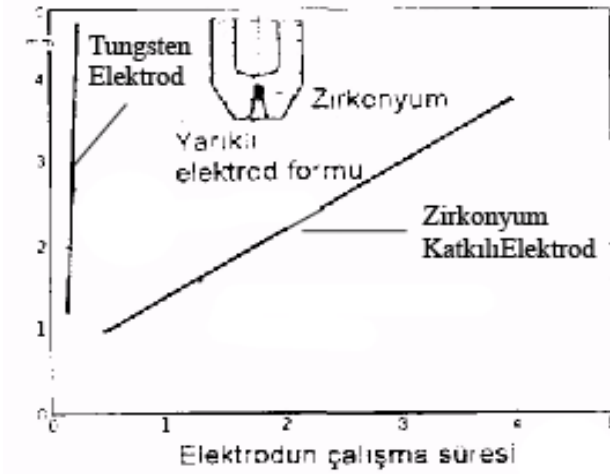
3.3.3.4 Elektrodlar

Plazma arkı ile kesme işlemindeki elektrodun yüzeyinde plazma arkı oluşturulur. Elektrod güç kaynağının negatif kısmına bağlıdır. Elektrodun dizaynı ve malzemesi değişmektedir (ASM, 1992). Plazma ile kesme işleminde, plazma ve TIG kaynağında olduğu gibi düşük yüzdelere 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 yüzeyle tungsten elektrodlar (düz elektrodlar) kullanılır.



Şekil 3.20. Farklı elektrod türleri (Anık vd., 1996).



Şekil 3.21. Alaşımli ve alaşımsız tungsten elektrodların karşılaştırılması (Anık vd., 1996).

3.3.4 Plazma Arkı ile Kesmede Yöntem Teknikleri

Günümüzde plazma kesme işlemlerinin büyük çoğunluğunda, parça ile erimeyen elektrod arasında; bir meme içerisinde ark oluşturulur. Farklılıklar kullanılan elektrodun tür ve şeklinde plazma gazının türünde ve su-enjeksiyonlu plazma kesmede ark huzmesine teğet olarak su iletilmesinde bulunur (Anık vd., 1996).

3.3.4.1 Argon-Hidrojen-Azot Plazma Kesme

Bu yöntemde her bir 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. Plazma gazı olarak çoğunlukla 3/2 oranında argon ve hidrojen karışımı kullanılmaktadır. Bu plazma kesme yöntemi için mevcut makineler, 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 (Anık vd., 1996).

3.3.4.2 Basınçlı Havayla Plazma Kesme, Oksijenle Plazma Kesme

Plazma gazı olarak; yağsız ve kuru basınçlı hava, uygun torçlarla ise saf oksijen de kullanılır. Plazma gazı içerisindeki oksijen, kesme yüzeyinde malzemenin bir kısmının yanmasına neden olacağından kesme verimini artırır. Ayrıca bazı çelik alaşımlarında da "sakal" oluşumunu azaltır (Akçam, 1996).

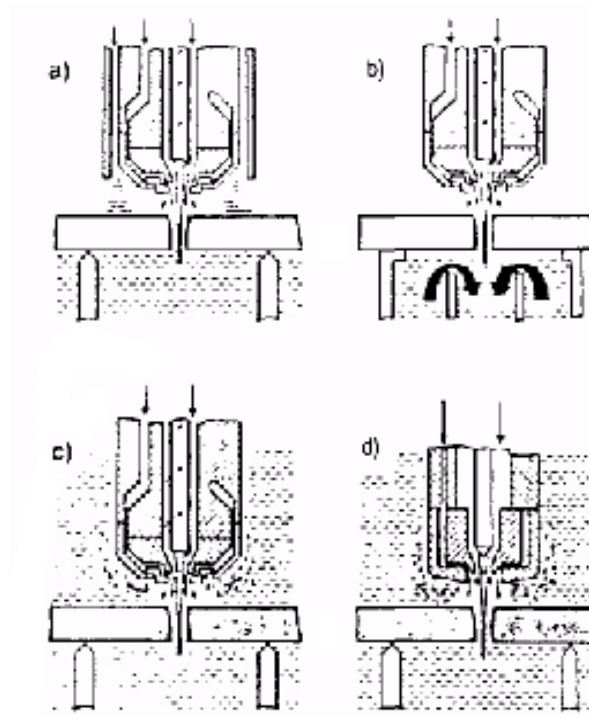
Bu plazma kesme yönteminde gürültü oluşumu ve zararlı gaz çıkışı nispeten fazladır. Buna karşılık yapı çeliklerinde yüksek kesme hızları ve sarkma oluşmayan yüksek kaliteli kesimler elde edilir. Batılı sanayi ülkelerinde zararlı gazların nispeten büyük miktarda oluşumu söz konusu olduğundan, hava'nın 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 (Anık vd., 1996).

3.3.4.3 Su Enjeksiyonlu Su Altında Plazma Kesme

Bu yöntem, su enjeksiyonlu plazma tekniği (WIPC) olarak adlandırılır. Bakır ve seramik kesme nozülleri arasından gönderilen suyun soğutma etkisi ile ark iyice sıkıştırılır. Böylece arktaki enerji yoğunluğu ve ark sıcaklığında artma sağlanır. Bununla birlikte suyun çok az bir miktarı buharlaşır. Suyun kalan diğer kısmı kesilmekte olan malzemenin yüzeyini soğutur ve kesme yüzeyinde Oksit oluşmasını engeller. Malzemenin iyi soğutulması ve yüksek kesme hızı sayesinde kesme sonucunda çarpılma ortaya çıkmaz. Plazma gazı

olarak; tungsten elektrotlu torçlarda azot, hafniyum elektrotlu torçlarda ise oksijen kullanılır (Akçam, 1996).

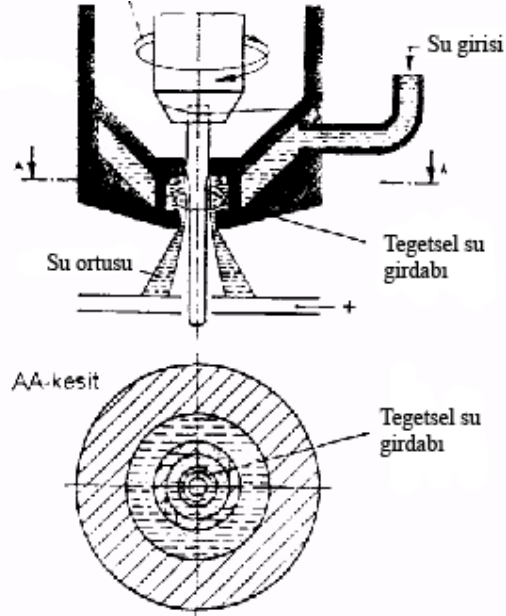
Hizmet personelinin ve çevrenin mümkün olduğu kadar düşük ışığa, ışımaya ve zararlı maddelere maruz kalması amacıyla yönelik olarak plazma kesmede su'nun farklı şekillerde kullanım formları geliştirilmiştir. Şekil 3.22-a, su yatağı olarak anılan bir uygulamayı göstermektedir. Burada kesilecek parça, 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 3.22-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 (Anık vd., 1996).



Şekil 3.22. Plazma kesme işleminde suyun kullanımına ait değişik uygulamalar (Anık vd., 1996).

Püskürtülen suyun yaklaşık % 10'u buharlaşır, dissosiyasyon ve iyonize olur. Bu şekilde oluşan enerji, parçada assosiyasyon 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 yangındaki 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 3.23). Bu şekilde plazma huzmesine, kesme kenarlarının her ikisinde de farklı bir oluşuma neden olan dönme hareketi verilir (Anık vd., 1996).



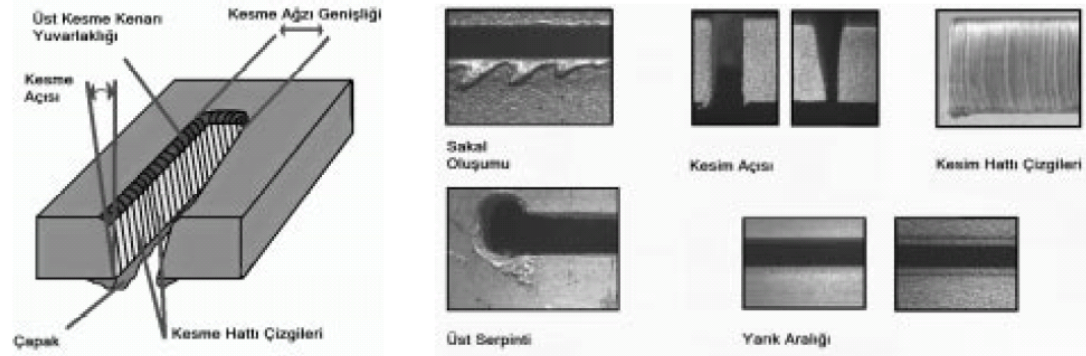
Şekil 3.23. Teğetsel plazma gazlı ve su iletimli bir plazma torcunun şematik gösterimi (Anık vd., 1996).

Suyun diğer bir kullanım şekli, Şekil 3.21-c'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 3.21-d), gürültü ve zararlı maddelerin daha kuvvetli bir şekilde azaltılması sağlanmış olur. 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 (Anık vd., 1996).

3.3.5 Plazma Arkı ile Kesmede Kesme Yüzeylerinin Kalitesi

Plazma ile kesmede kaliteyi belirleyen standartlar, ISO 9013, DIN 2310 gibi termal kesme standartlarıdır. Endüstride plazma kesmede kaliteyi tanımlayan karakteristik değerler kesme yüzeyi açısı (diklik) ve pürüzlülüktür. Ayrıca ek olarak üst kesme kenarı yuvarlaklığı, sakal oluşumu, üst serpinti ve yarık aralığı ölçüsü de kaliteyi tanımlamak için

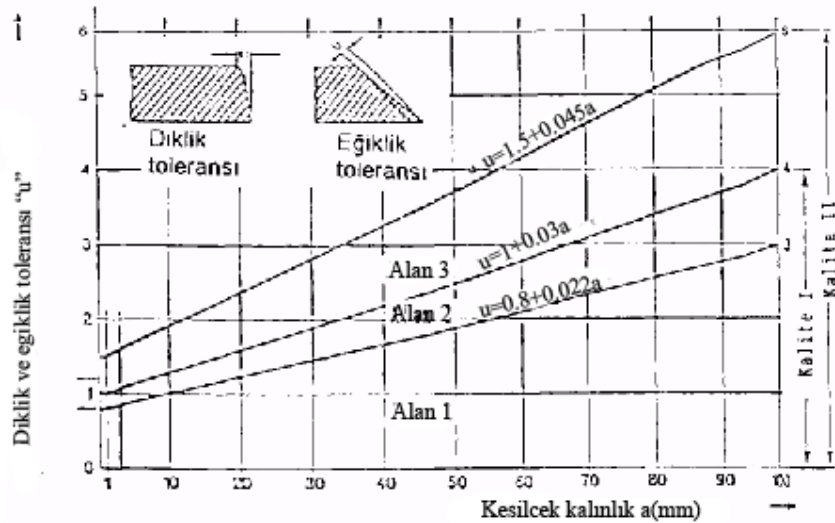
kullanılır (Kutlu vd., 2005).



Şekil 3.24. Plazma arkı ile kesme işleminde kaliteyi belirleyen unsurlar (Kutlu vd., 2005).

3.3.5.1 Diklik ve Eğiklik Toleransı “u”

Kesme yüzeyi açısı (diklik), kesme esnasında kesme yüzeyinde oluşan eğim miktarıdır. Uluslararası standartlarda kabul edilen değer kalite sınıflarına göre değişiklik gösterir. Genel olarak diklik değeri ile belirtilir. Açısal ve pratik değerler vermek gerekirse taşıyıcı gaza girdap hareketi veren torçlarda bu eğim miktarı malzeme tarafında 1 ila 3 derece, atlı malzeme tarafında 3 ila 8 derece arasında değişir. Düz akış içeren torçlarda ise bu değer her iki kenarda 4 ila 8 derece arasındadır (Kutlu vd., 2005).

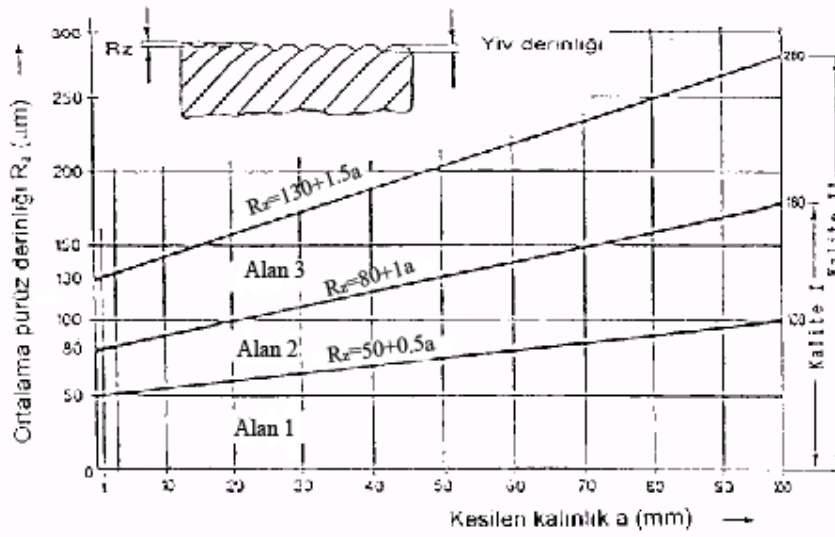


Şekil 3.25. Plazma arkı ile kesme işleminde diklik ve eğiklik toleransları (Anık vd., 1996).

3.3.5.2 Ortalama Pürüzlülük Derinliği “R_z”

Pürüzlülük, kesilen yüzey üzerinde üst ve alt yüzeyden standartlarda tanımlanmış bir mesafede ve aralıklarda ölçülür. Genel olarak bu değeri kesme hızı, gaz akış hızları, torç

hareketi etkiler. Kesme hattı çizgileri pürüzlülük değerini etkiler (Kutlu vd., 2005).



Şekil 3.26. Plazma arkı ile kesme işleminde diklik ve eğiklik toleransları (Anık vd., 1996).

3.3.5.3 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 çizelge 3.2'de 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. 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.

Çizelge 3.2. Plazma kesmede nominal ölçüler için verilen sınır değerler (Anık vd., 1996).

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

3.4 Deneysel Çalışmalar



Şekil 3.27. Deneysel çalışmalarda kullanılan plazma akım kaynağı

Plazma kesim ile yapılan deneysel çalışmalarda akım kaynağı olarak Hypertherm Max 200 marka akım kaynağı kullanılmıştır. Ayrıca otomatik kesme işlemini yapan CNC kontrollü tezgahın markası ise Ultrarex Uxd-p 2000'dir. Aşağıdaki tabloda Hypertherm Max 200 akım kaynağına ait bilgiler verilmiştir.



Şekil 3.28. Plazma ile kesme de kullanılan CNC kontrollü tezgah Ultrarex UXD-P

Çizelge 3.3. Kullanılan akım kaynağına ait teknik bilgiler

Ağırlık (kgf)	350
En x Boy x Yükseklik (mm)	1040 x 710 x 1090
Akım aralığı (amper)	40 - 200
Kullanılan Gazlar	
Plazma Gazı	Hava
Plazma Gazı Akış Debisi (lt/dak)	31
Plazma Gazı Basıncı (bar)	8,30
Koruyucu Gaz	Hava
Koruyucu Gaz Akış Debisi (lt/dak)	132
Koruyucu Gaz Basıncı (bar)	6,20

Plazma ile kesme işlemlerinde 2mm kalınlığında St 37 ve 316 kalite östenitik paslanmaz çelik malzemeler kullanılmıştır. Adı geçen malzemeler çeşitli parametrelerde (değişik kesme hızı ve akım değerlerinde) kesme işlemlerine tabi tutulup, yüzey sertlikleri ölçülmüş ve yüzeyleri gözle muayeneye tabi tutulmuştur.

3.4.1 Parça No P0



Şekil 3.29. P0 nolu parçanın resmi

P0 nolu parça 316 kalite paslanmaz çelik malzemedan 200 amperlik akım değerinde ve orta hızda yapılan kesme işlemidir. Kesme işlemi sonunda parçanın üst kesme kenarında yüksek güçler nedeniyle ergime meydana gelmiştir ve bu da malzemenin üst kenarında yuvarlaklaşma ile gözlemlenmiştir. Ayrıca parçanın alt yüzeyine yapışmış az da olsa çapak oluşumu gözükmemektedir.

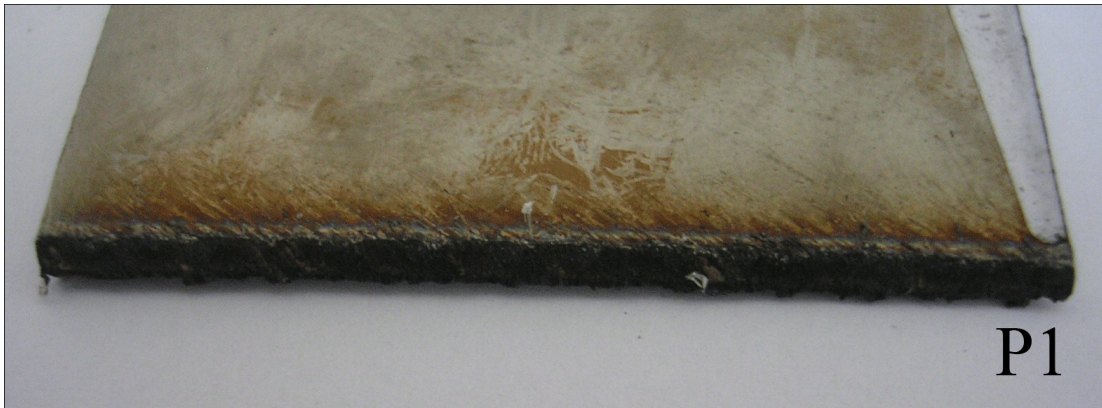
Hataların sınıflandırılması: 111, 122 (TS7227)

Çizelge 3.4. P0 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	P0		
Malzeme	316 Kalite Paslanmaz Çelik		
Parça Kalınlığı (mm)	2		
İşlem Parametreleri			
Kesme Hızı (mm/dak)	5000		
Akım (amper)	200		
Sertlik Ölçümleri (HV)			
Yüzey	2 mm	4 mm	6 mm
	174,37	169,98	169,70

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	174,37
2	169,98
4	169,70
6	159,35

3.4.2 Parça No P1



Şekil 3.30. P1 nolu parçanın resmi

P1 nolu parça 316 kalite paslanmaz çelik malzemedendir ve en düşük hızda yapılan kesme işlemidir. Kesme işlemi sonucunda parçanın alt yüzeyinde oluşmuş zincirleme katılaşmış damlacıklar gözlemlenmektedir.

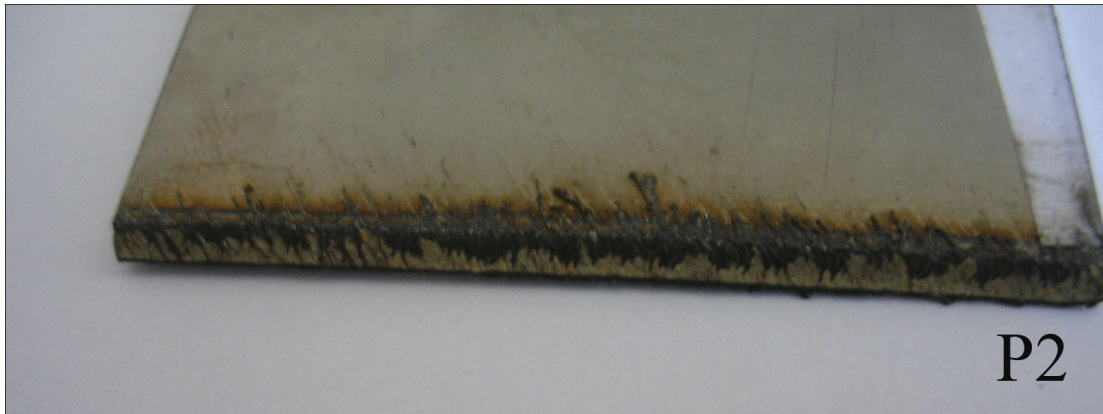
Hataların sınıflandırılması: 122 (TS7227)

Çizelge 3.5. P1 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	P1		
Malzeme	316 Kalite Paslanmaz Çelik		
Parça Kalınlığı (mm)	2		
İşlem Parametreleri			
Kesme Hızı (mm/dak)	3000		
Akım (amper)	200		
Sertlik Ölçümleri (HV)			
Yüzey	2 mm	4 mm	6 mm
	172,84	170,73	163,11

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	172,84
2	170,73
4	163,11
6	156,35

3.4.3 Parça No P2



Şekil 3.31. P2 nolu parçanın resmi

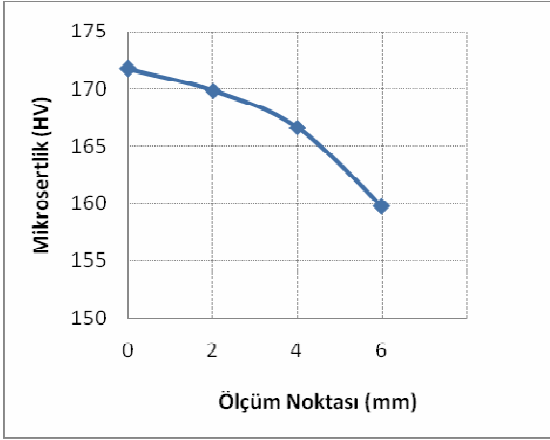
P2 nolu parça 316 kalite paslanmaz çelik malzemeden ve 4000mm/dak'lık hızlarda yapılan kesme işlemidir. Bu kesme işlemi sonucunda P0 nolu parçadaki kadar belirgin olmasada parçanın üst kesme kenarında ergime meydana gelmiştir. Ayrıca parçanın alt kesme kenarında P1 nolu parçaya kıyasla daha küçük miktarlarda zincirleme katılaşmış

damlacıklar gözlemlenmiştir.

Hataların sınıflandırılması: 111, 122 (TS7227)

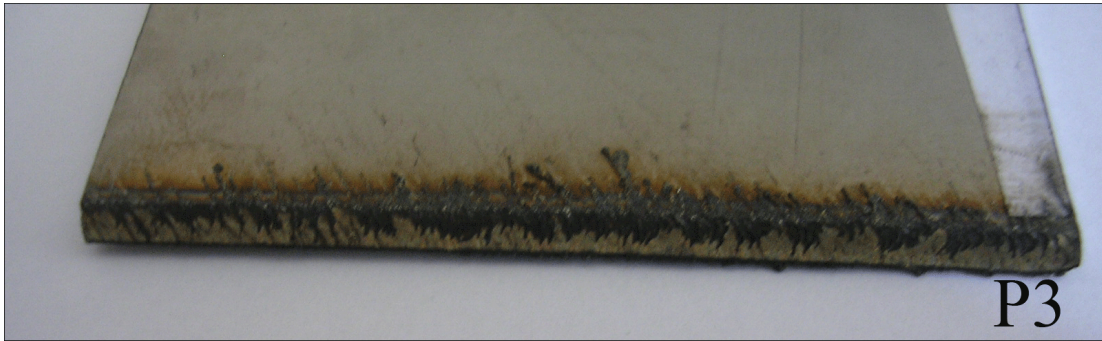
Çizelge 3.6. P2 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	P2		
Malzeme	316 Kalite Paslanmaz Çelik		
Parça Kalınlığı (mm)	2		
İşlem Parametreleri			
Kesme Hızı (mm/dak)	4000		
Akım (amper)	200		
Sertlik Ölçümleri (HV)			
Yüzey	2 mm	4 mm	6 mm
	171,76	169,86	166,66



Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	171,76
2	169,86
4	166,66
6	159,72

3.4.4 Parça No P3



Şekil 3.32. P3 nolu parçanın resmi

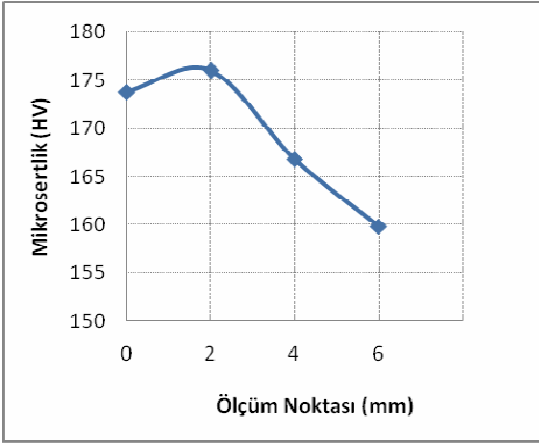
P3 nolu parça 316 kalite paslanmaz çelik malzemeden 200 amper akım değerlerinde ve 6000 mm/dak'lık hızda yapılan kesme işlemidir. Kesme işlemi sonunda parçanın üst kesme kenarında yüksek güçler nedeniyle ergime meydana gelmiştir ve bu da malzemenin üst kenarında yuvarlaklaşma ile gözlemlenmiştir. Ayrıca parçanın alt kenarında oluşan

zincirleme katlaşmış damlacıklar iyice belirsizleşmeye başlamış ve müsaade edilebilir bir hal almıştır.

Hataların sınıflandırılması: 111 (TS7227)

Çizelge 3.7. P3 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	P3		
Malzeme	316 Kalite Paslanmaz Çelik		
Parça Kalınlığı (mm)	2		
İşlem Parametreleri			
Kesme Hızı (mm/dak)	6000		
Akım (amper)	200		
Sertlik Ölçümleri (HV)			
Yüzey	2 mm	4 mm	6 mm
173,80	176,01	166,81	159,81



Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	173,80
2	176,01
4	166,81
6	159,81

3.4.5 Parça No P4



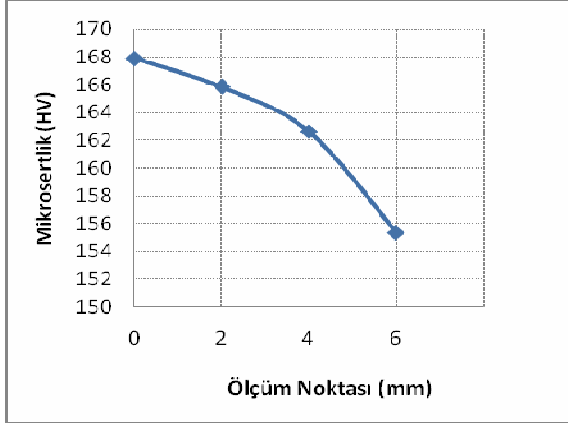
Şekil 3.33. P4 nolu parçanın resmi

P4 nolu parça 316 kalite paslanmaz çelik malzemeden 200 amper değerlerinde ve en yüksek hızda yapılan kesme işlemidir. Bu yüksek kesme hızından ötürü parça diğer parçalara oranla daha düşük ısı etkisi altında kalmıştır.

Hataların sınıflandırılması: 111 (TS7227)

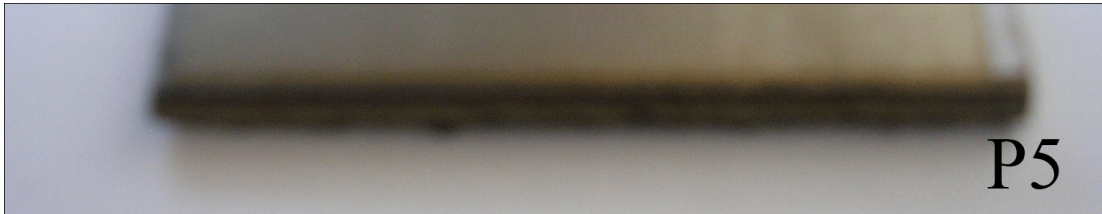
Çizelge 3.8. P4 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	P4		
Malzeme	316 Kalite Paslanmaz Çelik		
Parça Kalınlığı (mm)	2		
İşlem Parametreleri			
Kesme Hızı (mm/dak)	7000		
Akım (amper)	200		
Sertlik Ölçümleri (HV)			
Yüzey	2 mm	4 mm	6 mm
	167,89	165,82	162,65
	155,36		



Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	167,89
2	165,82
4	162,65
6	155,36

3.4.6 Parça No P5



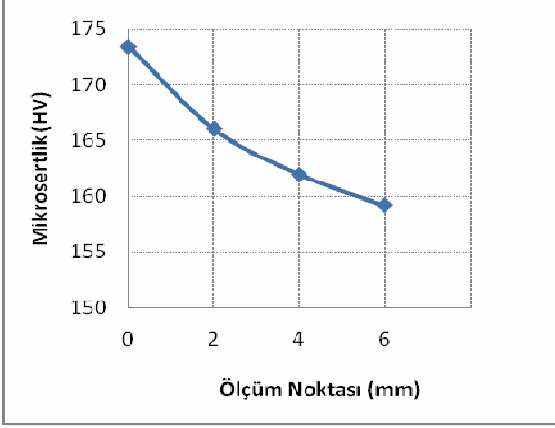
Şekil 3.34. P5 nolu parçanın resmi

P5 nolu parça 316 kalite paslanmaz çelik malzemeden 100 amper akım değerinde ve 5000mm/dak hızlarda yapılan kesme işlemidir. Kesme işlemi sonucunda parçanın alt kesme kenarında kolayca kopabilir bir cüruf ve üst kesme kenarında kabul edilebilir ölçülerde ergime gözlemlenmiştir. Ancak cüruf ve ergime oluşmamasına rağmen parçanın kesme yüzeyinde sürüklenme torcun hareket yönünde belirginleşmiştir.

Hataların sınıflandırılması: 221 (TS7227)

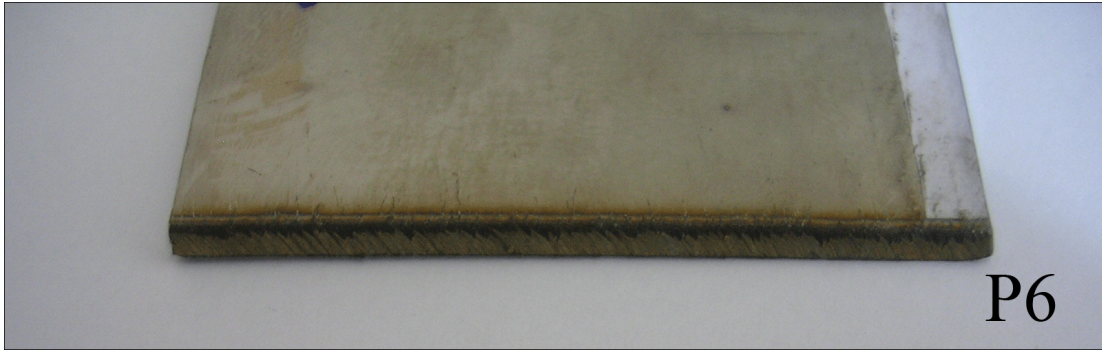
Çizelge 3.9. P5 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	P5		
Malzeme	316 Kalite Paslanmaz Çelik		
Parça Kalınlığı (mm)	2		
İşlem Parametreleri			
Kesme Hızı (mm/dak)	5000		
Akım (amper)	100		
Sertlik Ölçümleri (HV)			
Yüzey	2 mm	4 mm	6 mm
	173,43	166,03	161,97



Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	173,43
2	166,03
4	161,97
6	159,18

3.4.7 Parça No P6



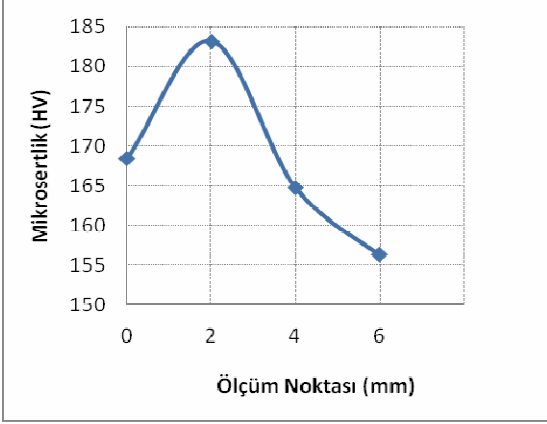
Şekil 3.35. P6 nolu parçanın resmi

P6 nolu parça 316 kalite paslanmaz çelik malzemeden 125 amper değerlerinde ve 5000 mm/dak hızda yapılan kesme işlemidir. Üst kesme kenarında neredeyse kabul edilebilir ölçülerde ergime meydana gelmiştir. Ayrıca kesme yüzeyinde sürüklenme torcun hareket yönünde belirginleşmiştir.

Hataların sınıflandırılması: 111, 221 (TS7227)

Çizelge 3.10. P6 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	P6		
Malzeme	316 Kalite Paslanmaz Çelik		
Parça Kalınlığı (mm)	2		
İşlem Parametreleri			
Kesme Hızı (mm/dak)	5000		
Akım (amper)	125		
Sertlik Ölçümleri (HV)			
Yüzey	2 mm	4 mm	6 mm
	168,43	183,20	164,76
		156,25	



3.4.8 Parça No P7



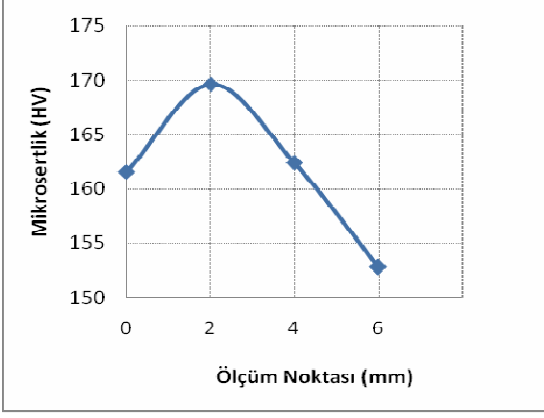
Şekil 3.36. P7 nolu parçanın resmi

P7 nolu parça 316 kalite paslanmaz çelik malzemeden 150 amperlik akım değerinde ve 5000mm/dak'lık hızda yapılan kesme işlemidir. Bu kesme işlemi sonucunda P7 nolu parçada P6 nolu parçadakinden daha düşük miktarlarda üst kesme kenarında ergime meydana gelmiştir.

Hataların sınıflandırılması: 111 (TS7227)

Çizelge 3.11. P7 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	P7		
Malzeme	316 Kalite Paslanmaz Çelik		
Parça Kalınlığı (mm)	2		
İşlem Parametreleri			
Kesme Hızı (mm/dak)	5000		
Akım (amper)	150		
Sertlik Ölçümleri (HV)			
Yüzey	2 mm	4 mm	6 mm
	161,57	169,60	162,40
	152,79		



Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	161,57
2	169,60
4	162,40
6	152,79

3.4.9 Parça No P8



Şekil 3.37. P8 nolu parçanın resmi

P8 nolu parça 316 kalite paslanmaz çelik malzemeden 175 amper ve 5000mm/dak'lık hızlarda yapılan kesme işlemidir.

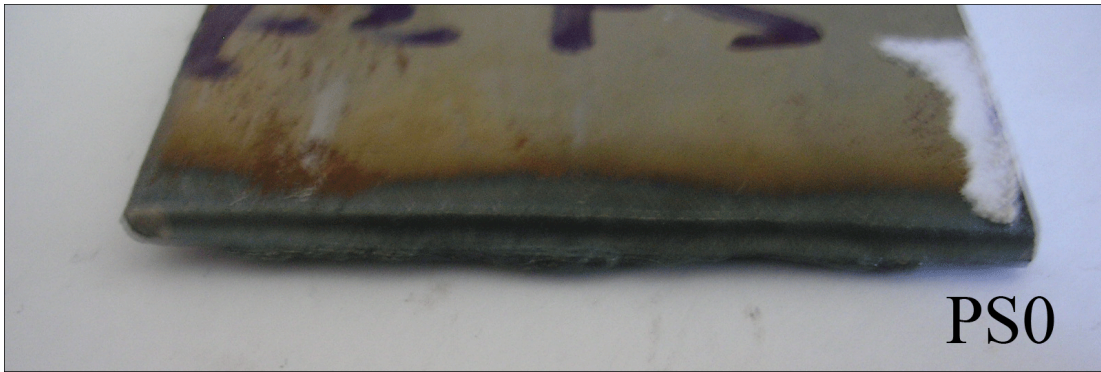
Hataların sınıflandırılması: 111 (TS7227)

Çizelge 3.12. P8 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	P8		
Malzeme	316 Kalite Paslanmaz Çelik		
Parça Kalınlığı (mm)	2		
İşlem Parametreleri			
Kesme Hızı (mm/dak)	5000		
Akım (amper)	175		
Sertlik Ölçümleri (HV)			
Yüzey	2 mm	4 mm	6 mm
	188,79	169,98	169,70
		169,70	159,35

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	188,79
2	169,98
4	169,70
6	159,35

3.4.10 Parça No Ps0



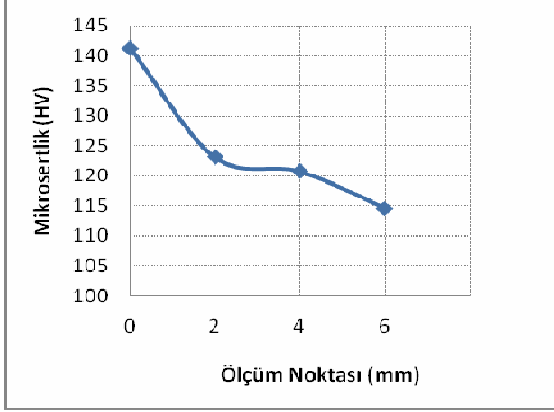
Şekil 3.38. PS0 nolu parçanın resmi

PS0 nolu parça St 37 malzemeden 200 amperlik akım değerinde ve 5000 mm/dak'lık hızlarda yapılan kesme işlemidir. Kesme işlemi sonunda parçanın alt kesme kenarına yapışmış cüruf gözlemlenmiştir.

Hataların sınıflandırılması: 31 (TS7227)

Çizelge 3.13. PS0 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	PS0		
Malzeme	Fe 37 (St 37)		
Parça Kalınlığı (mm)	2		
İşlem Parametreleri			
Kesme Hızı (mm/dak)	5000		
Akım (amper)	200		
Sertlik Ölçümleri (HV)			
Yüzey	2 mm	4 mm	6 mm
	141,18	123,07	120,76
		114,57	



3.4.11 Parça No Ps1



Şekil 3.39. PS1 nolu parçanın resmi

PS1 nolu parça St 37 malzemedен 200 amperlik akım değerinde ve 3000 mm/dak'lık hızlarda yapılan kesme işlemidir. Bu kesme işlemi St 37 malzeme için kesilen en düşük kesme hızıdır. Kesme işlemi sonunda parçanın alt kesme kenarına yapışmış cüruf gözlemlenmiştir ayrıca parçanın alt kesme kenarında zincirleme katılaşmış damlacıklar bulunmaktadıır.

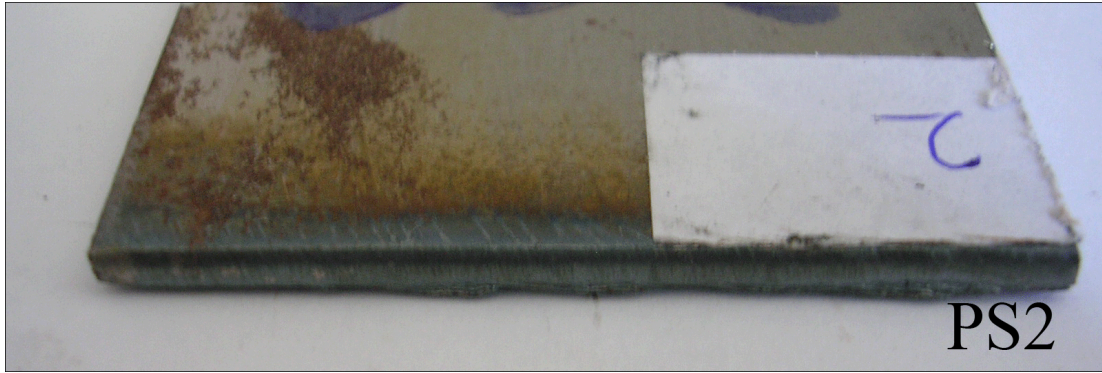
Hataların sınıflandırılması: 31, 122 (TS7227)

Çizelge 3.14. PS1 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	PS1		
Malzeme	Fe 37 (St 37)		
Parça Kalınlığı (mm)	2		
İşlem Parametreleri			
Kesme Hızı (mm/dak)	3000		
Akım (amper)	200		
Sertlik Ölçümleri (HV)			
Yüzey	2 mm	4 mm	6 mm
	158,35	123,76	121,09

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	158,35
2	123,76
4	121,09
6	116,73

3.4.12 Parça No Ps2



Şekil 3.40. PS2 nolu parçanın resmi

PS2 nolu parça St 37 malzemeden 200 amperlik akım değerinde ve 4000 mm/dak'lık hızlarda yapılan kesme işlemidir. Kesme işlemi sonunda parçanın alt kesme kenarına yapışmış cüruf gözlemlenmiştir ayrıca parçanın alt kesme kenarında zincirleme katılmış damlacıklar bulunmaktadır. Bu iki kesme hatası PS1 nolu parça ile kıyaslandığında daha az belirgindir.

Hataların sınıflandırılması: 31, 122 (TS7227)

Çizelge 3.15. PS2 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	PS2		
Malzeme	Fe 37 (St 37)		
Parça Kalınlığı (mm)	2		
İşlem Parametreleri			
Kesme Hızı (mm/dak)	4000		
Akım (amper)	200		
Sertlik Ölçümleri (HV)			
Yüzey	2 mm	4 mm	6 mm
	143,67	134,67	119,48

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	143,67
2	134,67
4	119,48
6	114,29

3.4.13 Parça No Ps3



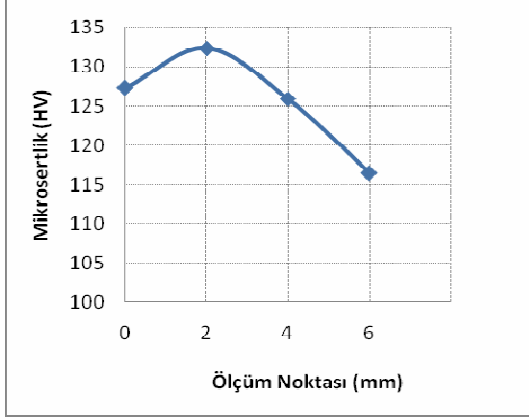
Şekil 3.41. PS3 nolu parçanın resmi

PS3 nolu parça St 37 malzemeden 200 amperlik akım değerinde ve 6000 mm/dak'lık hızlarda yapılan kesme işlemidir. Kesme işlemi sonunda parçanın alt kesme kenarına yapışmış cüruf gözlemlenmiştir ayrıca parçanın üst kesme kenarında ergime meydana gelmiştir ancak bu ihmal edilebilir bir ergimedir.

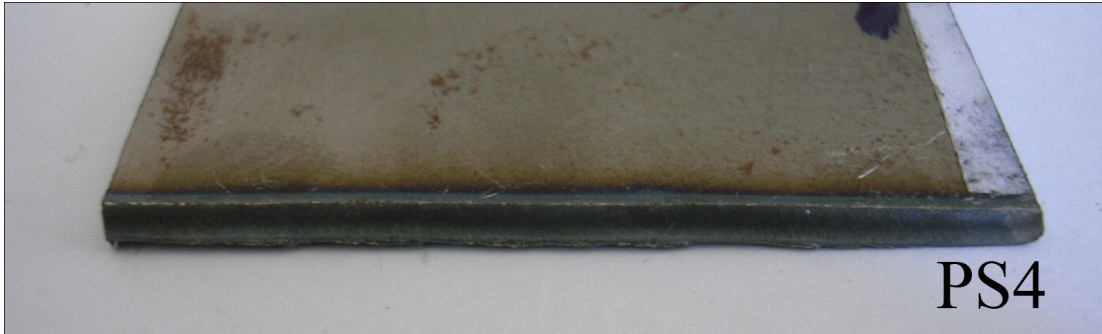
Hataların sınıflandırılması: 3, 31, 111 (TS7227)

Çizelge 3.16. PS3 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	PS3		
Malzeme	Fe 37 (St 37)		
Parça Kalınlığı (mm)	2		
İşlem Parametreleri			
Kesme Hızı (mm/dak)	6000		
Akım (amper)	200		
Sertlik Ölçümleri (HV)			
Yüzey	2 mm	4 mm	6 mm
	127,29	132,40	125,94
		116,44	



3.4.14 Parça No Ps4



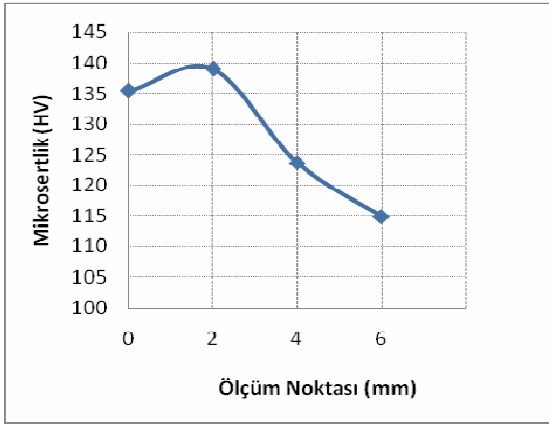
Şekil 3.42. PS4 nolu parçanın resmi

PS4 nolu parça St 37 malzemeden 200 amperlik akım değerinde ve 7000 mm/dak'lık hızlarda yapılan kesme işlemidir. Bu hız St 37 malzemelerin kesilmesinde kullanılan en yüksek hızdır. Kesme işlemi sonunda parçanın alt kesme kenarına yapışmış cüruf gözlemlenmiştir ancak bu cüruf diğer sadece hız değişimi ile kesilmiş parçalarla kıyaslandığında çok küçük kalmaktadır. Neredeyse ihmal edilebilir.

Hataların sınıflandırılması: 31 (TS7227)

Çizelge 3.17. PS4 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	PS4		
Malzeme	Fe 37 (St 37)		
Parça Kalınlığı (mm)	2		
İşlem Parametreleri			
Kesme Hızı (mm/dak)	7000		
Akım (amper)	200		
Sertlik Ölçümleri (HV)			
Yüzey	2 mm	4 mm	6 mm
135,43	139,01	123,72	114,93



Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	135,43
2	139,01
4	123,72
6	114,93

3.4.15 Parça No Ps5



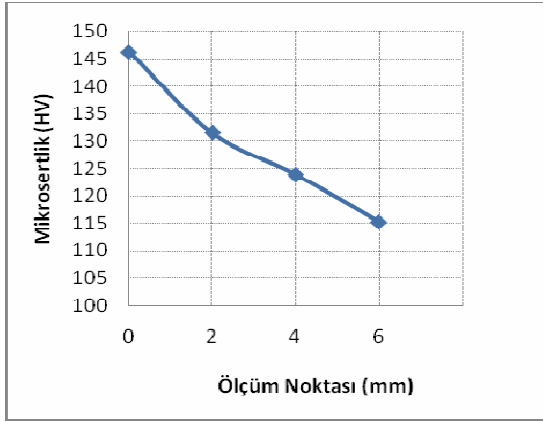
Şekil 3.43. PS5 nolu parçanın resmi

PS5 nolu parça St 37 malzemeden 100 amperlik akım değerinde ve 5000 mm/dak'lık hızlarda yapılan kesme işlemidir. Bu akım değeri St 37 malzemelerin kesilmesinde kullanılan en düşük akım değeridir. Kesme işlemi sonunda parçanın kesme kenarının alt kısmında zincirleme katılaşmış damlacıklar şeklinde bir hata gözlemlenmiştir. Ayrıca parçanın üst kesme kenarında ergime meydana gelmiştir.

Hataların sınıflandırılması: 111, 122 (TS7227)

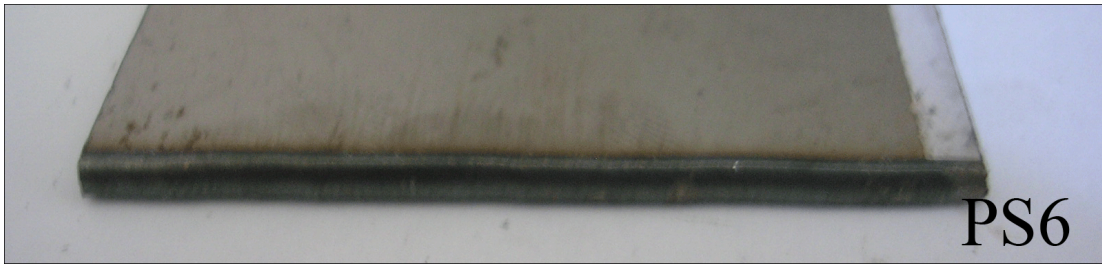
Çizelge 3.18. PS5 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	PS5		
Malzeme	Fe 37 (St 37)		
Parça Kalınlığı (mm)	2		
İşlem Parametreleri			
Kesme Hızı (mm/dak)	5000		
Akım (amper)	100		
Sertlik Ölçümleri (HV)			
Yüzey	2 mm	4 mm	6 mm
	146,29	131,47	123,86



Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	146,29
2	131,47
4	123,86
6	115,23

3.4.16 Parça No Ps6



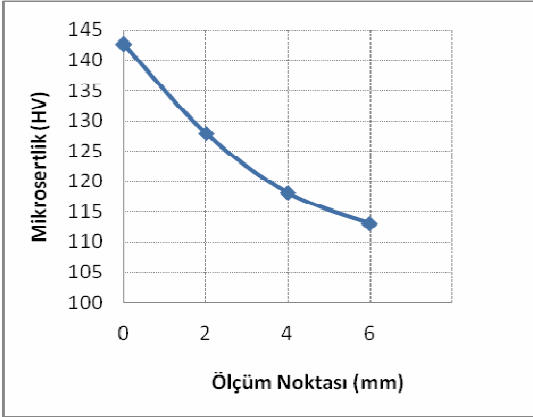
Şekil 3.44. PS6 nolu parçanın resmi

PS6 nolu parça St 37 malzemedan 125 amperlik akım değerinde ve 5000 mm/dak'lık hızlarda yapılan kesme işlemdir. Bu kesme işlemi sonucunda parçanın alt yüzeyinde küçük miktarlarda cüruf yapışması gözlemlenmiştir.

Hataların sınıflandırılması: 31 (TS7227)

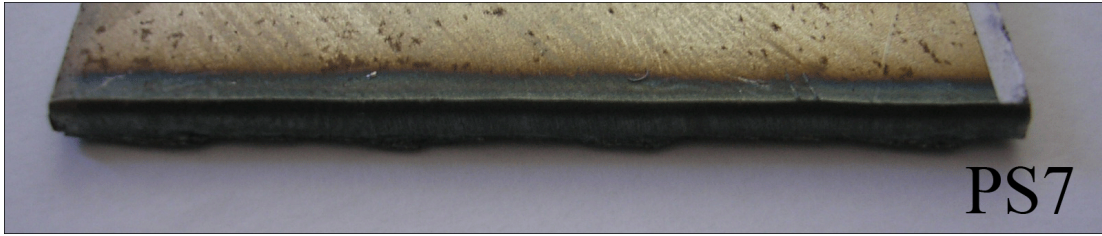
Çizelge 3.19. PS6 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	PS6		
Malzeme	Fe 37 (St 37)		
Parça Kalınlığı (mm)	2		
İşlem Parametreleri			
Kesme Hızı (mm/dak)	5000		
Akım (amper)	125		
Sertlik Ölçümleri (HV)			
Yüzey	2 mm	4 mm	6 mm
	142,54	127,97	118,15



Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	142,54
2	127,97
4	118,15
6	113,05

3.4.17 Parça No Ps7



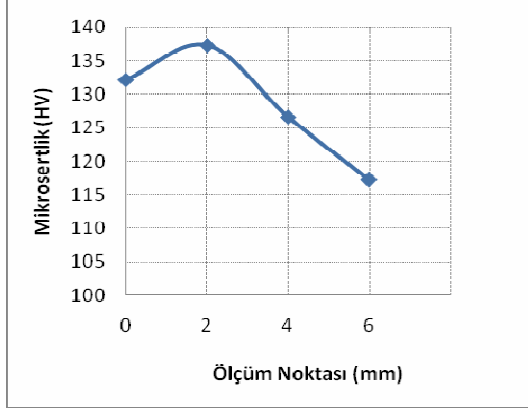
Şekil 3.45. PS7 nolu parçanın resmi

PS7 nolu parça St 37 malzemedен 150 amperlik akım değerinde ve 5000 mm/dak'lık hızlarda yapılan kesme işlemidir. Bu kesme işlemi sonucunda parçanın alt yüzeyinde küçük miktarlarda cüruf yapışması gözlemlenmiştir.

Hataların sınıflandırılması: 31 (TS7227)

Çizelge 3.20. PS7 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	PS7		
Malzeme	Fe 37 (St 37)		
Parça Kalınlığı (mm)	2		
İşlem Parametreleri			
Kesme Hızı (mm/dak)	5000		
Akım (amper)	150		
Sertlik Ölçümleri (HV)			
Yüzey	2 mm	4 mm	6 mm
	132,23	137,34	126,66
		117,24	



3.4.18 Parça No Ps8



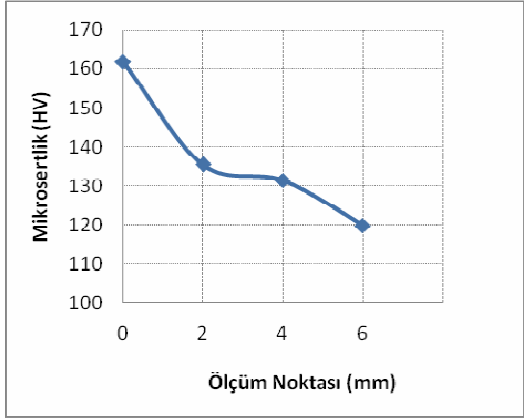
Şekil 3.46. PS8 nolu parçanın resmi

PS8 nolu parça St 37 malzemedan 175 amperlik akım değerinde ve 5000 mm/dak'lık hızlarda yapılan kesme işlemidir. Bu kesme işlemi soncunda parçanın alt yüzeyinde küçük miktarlarda cüruf yapışması gözlemlenmiştir. Bu cüruf yapışması diğer parçalarla kıyaslandığında ihmal edilebilir.

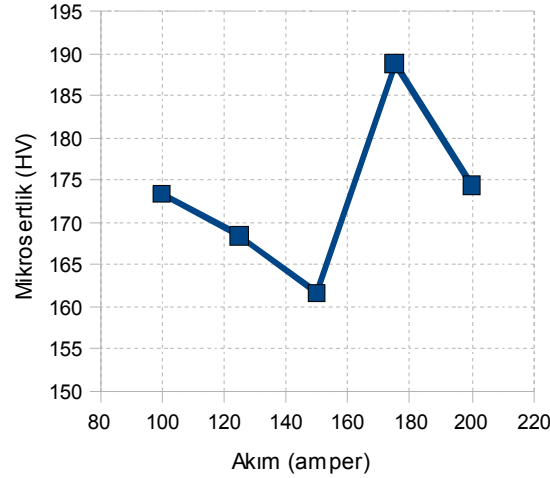
Hataların sınıflandırılması: - (TS7227)

Çizelge 3.21. PS8 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	PS8		
Malzeme	Fe 37 (St 37)		
Parça Kalınlığı (mm)	2		
İşlem Parametreleri			
Kesme Hızı (mm/dak)	5000		
Akım (amper)	175		
Sertlik Ölçümleri (HV)			
Yüzey	2 mm	4 mm	6 mm
	161,68	135,43	131,34
			119,82



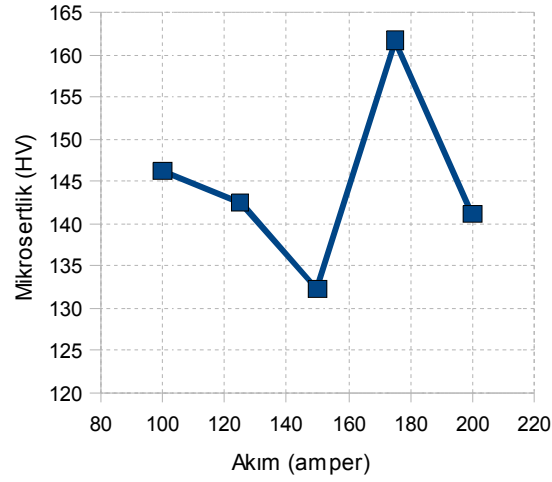
3.5 Plazma ile Kesmede Akım Değeri ile Yüzey Sertliği Arasındaki İlişki



Şekil 3.47. 316 kalite paslanmaz çelik malzemede farklı akımlardaki sertlik ölçümleri

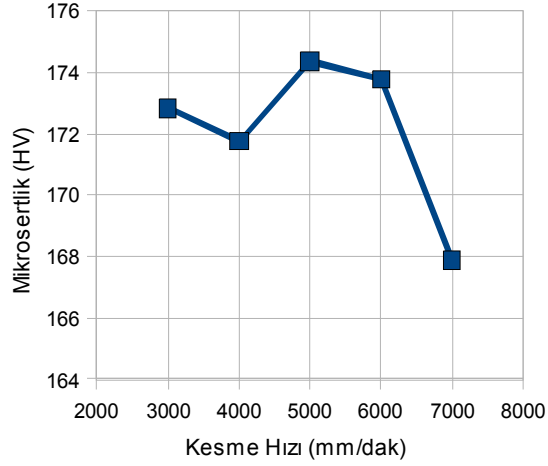
Plazma ile kesme işleminde akım değerlerinin yüzey sertliği ile olan ilişkisi şekil 3.48 ve şekil 3.49’da verilmiştir. Bilindiği üzere sertlik değerlerini etkileyen en önemli faktörler soğuma hızı ve malzemenin türüne bağlı olarak malzemede oluşabilecek yapıdaki

değişimlerdir. Özellikle St 37 gibi alaşımsız karbon çeliklerinde daha önceden de belirtildiği gibi tane boyutunun yanında martenzit oluşumunda dikkat edilmelidir. 316 kalite paslanmaz çeliğinde ise tane boyutundaki değişimin gösterdiği sertlik dağılımındaki farklılığın yanında yüksek ısı girdisi ve düşük soğuma hızlarıyla tane sınırlarındaki krom karbür çökmeside sertliği artırıcı rol oynar. Grafikler incelendiğinde 316 kalite östenitik paslanmaz çelikte akım değerleri 150 ampere kadar olan durumlarda sertlikte bir düşme göstermekte iken en sert yapıya 175 amperlik akım değerinde ulaşılmaktadır. St 37'ye ait aşağıdaki grafik incelendiğinde ise neredeyse 316 kalite paslanmaz çeliğin grafiğinin aynısı gibi davranış göstermektedir. En sert yapıya 175 amperlik akım değerinde ulaşılmıştır.



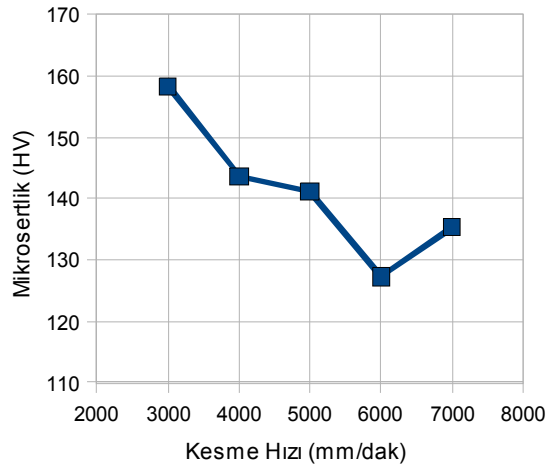
Şekil 3.48. Fe 37 (St 37) malzemede farklı akımlardaki sertlik ölçümleri

3.6 Plazma ile Kesmede Kesme Hızı ile Yüzey Sertliği Arasındaki İlişki



Şekil 3.49. 316 kalite paslanmaz çelik malzemede farklı hızlardaki sertlik ölçümleri

Plazma ile kesme işleminde sertlik değerlerinin kesme hızlarıyla olan ilişkisi grafiklerde verilmiştir. Bu grafiklerde kesme hızları arttıkça sertlik değerleri düşmekte olduğu gözlemlenmektedir. 316 kalite östenitik paslanmaz çeliğin grafiğinde sertlik değerleri pek fazla değişmemesine rağmen kesme hızı arttığında sertlik değerinin düştüğü deneyler sonucunda gözlemlenmektedir. St 37 numunelerinden oluşan kesme hızı sertlik grafiğini incelendiğinde artan hız değerleri ile birlikte genel olarak yüzeydeki sertliğin düştüğü sonucuna varılmıştır.



Şekil 3.50. Fe 37 (St 37) malzemede farklı akımlardaki sertlik ölçümleri

4. LASER İLE KESME

4.1 Laserin Tarihçesi ve Tanımı

Laser sözcüğü “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation” sözcüklerinin baş harflerinden oluşan bir akronimdir ve “ışınlandırmanın uyarılmış yayımı ile ışığın kuvvetlendirilmesi” olarak tercüme edilir. 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 ışık meydana gelir. Bu durum, bu ışığın seviyesinin bir eşik noktasına ulaşmasına yol açar. Bu şekilde cihaz, laser ışığı ışınını yaymaya başlar (Anık vd., 1996).

Odaklanmış laser ışınının kullanılması 1960'lı yıllarda gerçekleştirilerek yeni araştırmaların ve yeni teknolojilerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Laser ışını ile kaynak, kesme ve işleme; konsantre edilmiş enerji ışınlarının (elektro ışın, plazma jet v.s.) kullanılma tekniklerinden bir tanesidir. Günümüzde laser ışını tıp, bilgisayar, telekomünikasyon, elektroteknik reklam amaçlı ışık gösterileri, otomotiv endüstrisi ve hatta uzay teknolojisinde kullanılmaktadır.

Laser ışını ile malzemelerin işlenmesinde yüksek işlem hızı, yüksek esneklik, yüksek işlem kalitesi, tam otomasyon ve diğer yöntemler ile melez işlem kabiliyeti gibi ortaya çıkan üstünlükler, laseri her geçen gün daha da tercih edilen bir yöntem haline getirmektedir. Çok küçük çaplı bir odaklanma etkiside çevreyi etkilemeden ve enerjide çok fazla bir güç kaybı olmadan çalışma ortamına laser ışınının aktarılması ile yüksek bir işlem hızı ve yüksek çalışma kalitesine ulaşılmaktadır. Kesme veya sertleştirme işlemi sonrasında yapılacak ilave işlemlerin indirgenmesi veya bu işlemlere hiç gerek duyulmaması, laserin geleneksel yöntemlere göre olan üstünlüklerine örnek olarak verilebilir (Karaaslan, 2009).

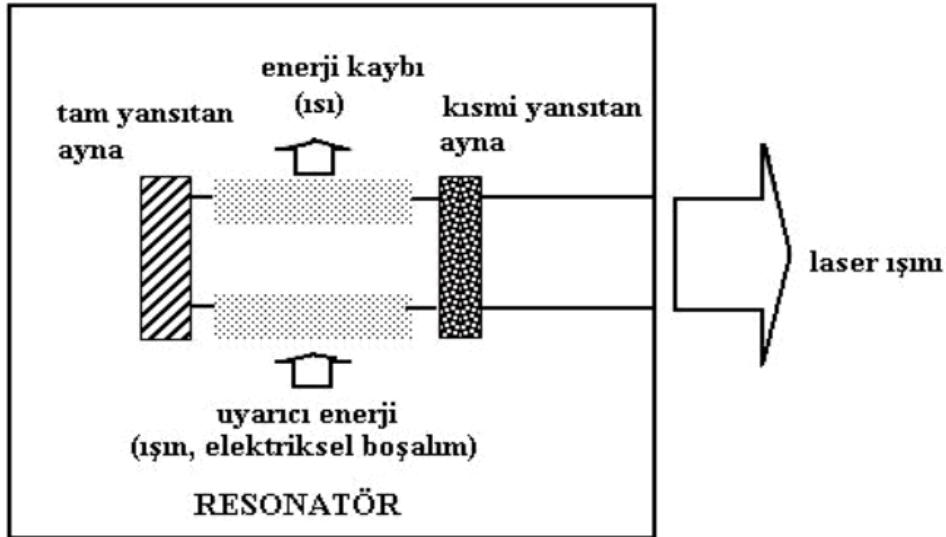
Laser ışını ile kesme, günümüzde birçok endüstriyel imalat alanında uygulanan bir termik kesme yöntemidir. Oksijenle kesme veya plazma kesme yöntemleriyle yeterli derecede kesilemeyen ince saçlarda laser ışını ile kesmenin geliştirilmesiyle, yüksek kalitede ve hassas kesme işlemlerinin yapılabilmesi 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 (Anık vd., 1996).

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 (Anık vd., 1996).

4.2 Laserin Çalışma Prensibi ve Işın Kaynağı

Laser ışını üretmek için termodinamik dengede olan bir konumdan aktif laser ortamına enerji transfer edilmelidir. Tam ve kısmi yansıtıcı aynalara sahip olan resonator, yükseltgenen enerjinin bir kısmını laser etkisi ile elektromanyetik bir ışın olarak yönlendirmektedir. Bu ışın tek renkli, ardışık ve olağan dışı kuvvetli bir düzen ile yönlendirilmektedir. Bu olayların gerçekleşmesini sağlayan teknik cihaz ışın kaynağı olarak adlandırılır (Karaaslan, 2009).

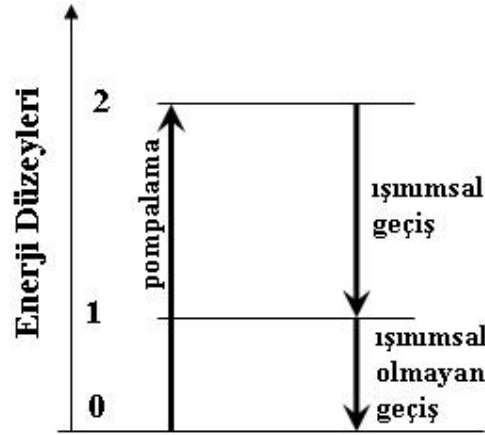


Şekil 4.1. Laser ışının oluşum şeması (Karaaslan, 2009).

Lazer kaynağı olarak kullanılan malzemenin (kristal, gaz, sıvı) yapısını oluşturan atomların en son yörüngelerindeki elektronları dışarıdan pompalayarak bir üst yörüngeye çıkması sağlanır. Verilen enerji kesildiği zaman elektron tekrar kararlı konumuna geçer (bir alt yörüngeye düşer). Bu sırada kazanmış olduğu enerjiyi foton şeklinde yayar. Yayılan bu enerji lazer kaynağının iki tarafında bulunan yansıtıcı aynalar vasıtası ile kendi

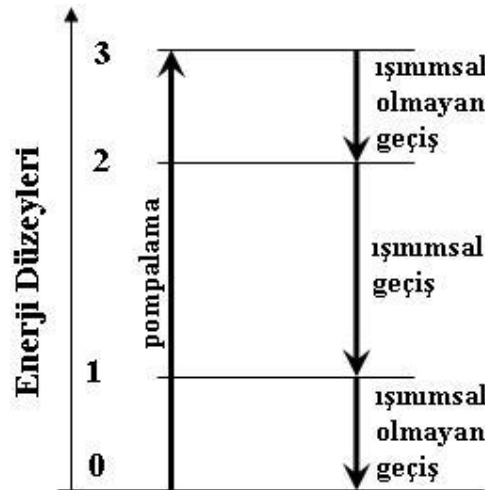
ortamında döndürülür. Bu işlem elektronların tekrar tekrar uyarılması ile devam eder. Böylece eş fazda şiddeti çok artarak uyarılmış ve o atomun frekans karakteristiklerini taşıyan güçlü bir ışınım elde edilir.

Şekil 4.2'de yakut laseri gibi üç düzeyli bir laserin enerji şeması gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, uyarım, temel seviye 0 ile 2 seviyesi arasında gerçekleştirilmektedir. 2 seviyesi, 1 seviyesine doğru ulaşan ışınımsal olmayan geçişle boşalır. Kendiliğinden veya uyarılmış yayınım olan ışınımsal geçiş ise 2'den 1'e doğru oluşur (Karaaslan, 2009).



Şekil 4.2. Üç düzeyli bir laserin enerji şeması (neodim laser) (Karaaslan, 2009).

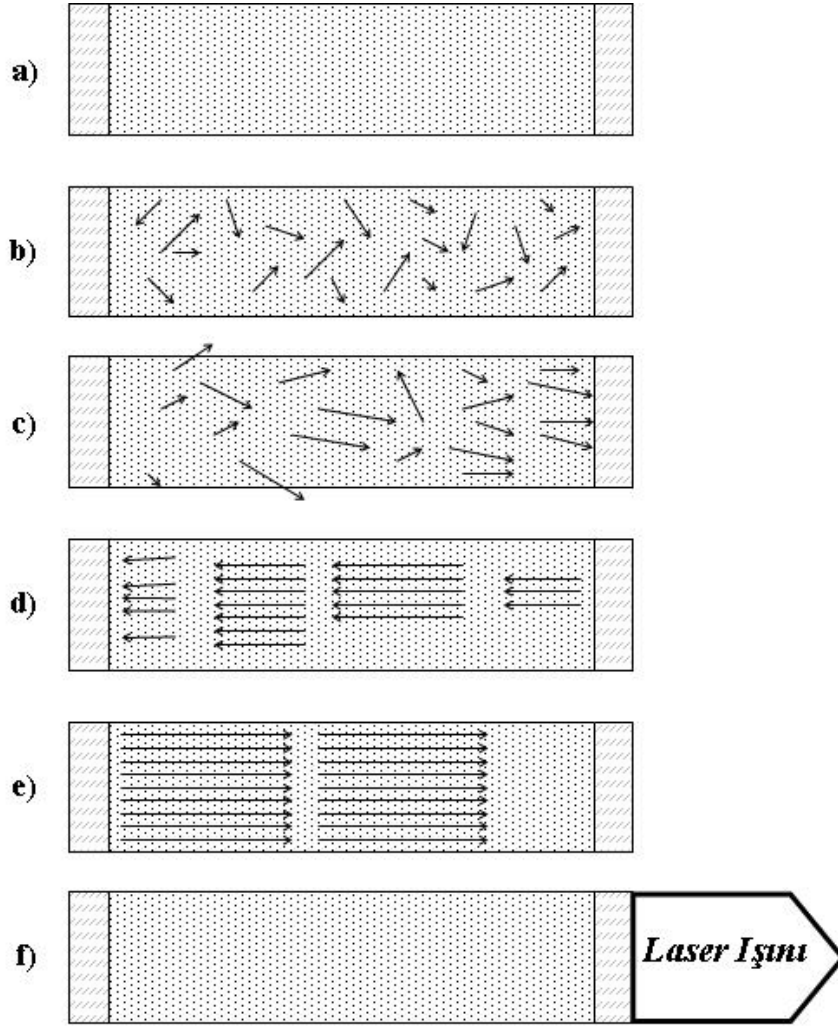
Şekil 4.3'de ise dört düzeyli bir laserin enerji şeması verilmiştir. Burada ışınımsal geçiş 2'den 1'e doğru oluşurken, ışınımsal olmayan geçişler 3'ten 2'ye ve 1'den 0'a doğrudur (Karaaslan, 2009).



Şekil 4.3. Dört düzeyli bir laserin enerji şeması (yakut laser) (Karaaslan, 2009).

Resanatorde gerçekleşen atomların elektronlarının bir üst yörüngeye pompalanıp tekrar kararlı hale gelmesi esnasında etkin laser ortamının eksenine paralel olmayan ışınlar

olabilir ve bu ışınlar atomlardan foton koparabilirler. Fakat aynalara yansımadan veya birkaç yansıma sonrası etkin laser ortamının dışına çıkmak zorundadır. Eksene paralel olarak akan ışınlar ise aynalar tarafından etkin laser ortamında tutulurlar. Etkin laser ortamında atomların temel enerji seviyelerinden, laser ışının etkin laser ortamından çıkıncaya kadar olan kademeleri aşağıdaki şekilde şematik olarak gösterilmiştir.



a) Atomlar temel enerji seviyelerinde bulunmaktadırlar

b) Uyarılan atomlar farklı yönlerde doğru foton yaymaktadır.

c) Etkin laser ortamının eksenine paralel yayınlanan fotonlar uç aynalar tarafından

Şekil 4.4. Etkin laser ortamında laser oluşumunun şematik modeli (Karaaslan, 2009).

yansıtılmaktadır.

d) ve e) bu yansıma olayları binlerce kez tekrarlanmaktadır.

f) Laser ışın, etkin laser ortamını terk ederek dışarı çıkmaktadır.

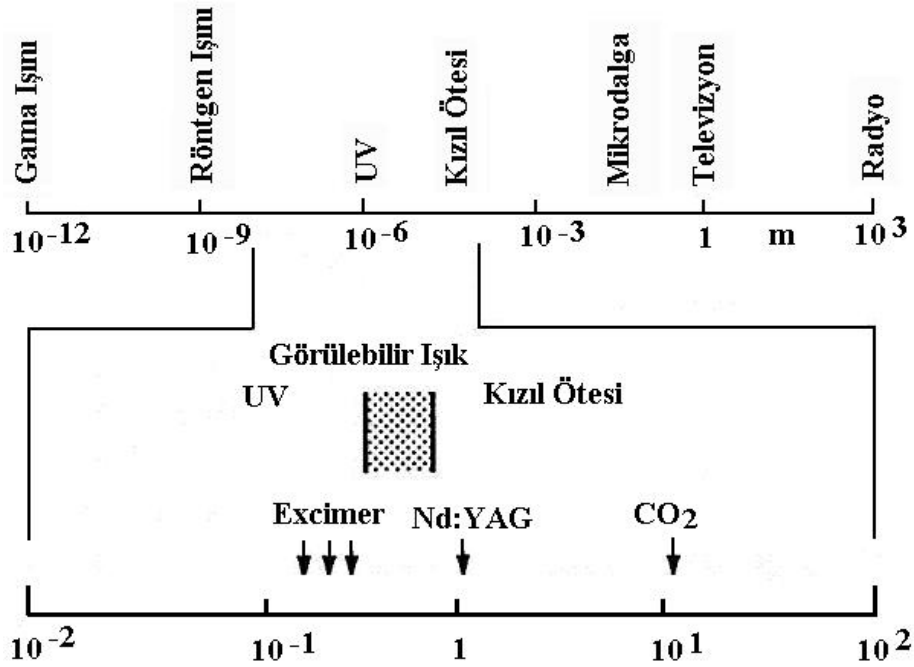
4.3 Laser Işını ve Laser Işınının Özellikleri

Resonatörde, laser aktif maddeden oluşturulan bir laser ışınının dalga boyu, polarizasyon

ve güç yoğunluğunun dağılımı özellikleri nedeniyle kesme kalitesine doğrudan etki yapar

4.3.1 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 μm dalga boyu olan bir Nd:YAG laseri, dalga boyu 10,6 μm olan bir CO₂ laserine tercih edilmektedir (Anık vd., 1996). Malzeme işleme için kullanılan önemli laser tiplerinden gönderilen ışın mor ötesi – kızılötesi aralığındadır.

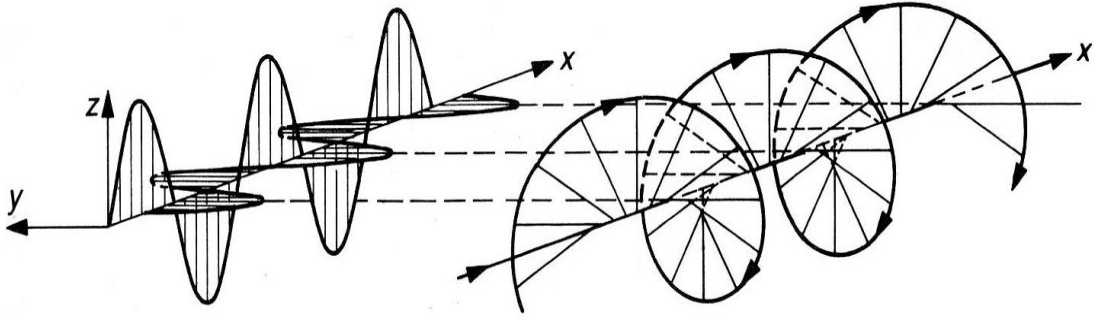


Şekil 4.5. Elektromanyetik ışığın dalga boyu aralığı (Karaaslan, 2009).

4.3.2 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 (Anık vd., 1996).

Özellikle 2E ve 3E çalışma sistemleri ile gerçekleştirilen kaynak ve kesmede laser ışınının dairesel polarizasyon şeklinde düzenlenmesi gerekmektedir. Dairesel polarizasyonun prensibi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Birbirine 90°'lik açı ile aynı genlikte bulunan doğrusal polarizasyona sahip dalgaların birbirine dik durumdaki salınım yüzeyleri, bir dairesel polarize dalgası şekline dönüşmüştür (Karaaslan, 2009).

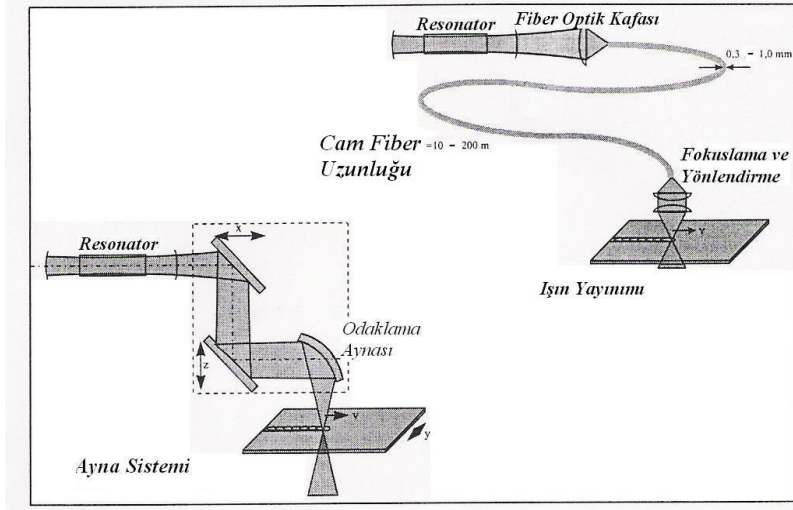


Şekil 4.6. Eşit genlikte ve birbirine dik 90°'lik açı ile bulunan doğrusal polarize iki dalgadan dairesel polarizasyonun oluşum prensibi (Karaaslan, 2009).

4.3.3 Laser Işının Taşınımı

Resanatorün yarı geçirgen aynasından çıkan laser ışını malzeme işleminin yapıldığı ortama cam-fiber optik kablolarla veya ayna sistemleri ile taşınmaktadır.

CO₂ laserlerinde sadece aynalı yönlendirme sistemi kullanılır. Bunun nedeni günümüzde 10,6µm'den daha yüksek güçleri cam-fiber optik kablolar ile 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 (Anık vd., 1996).


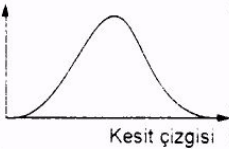
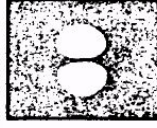
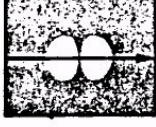

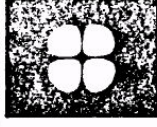
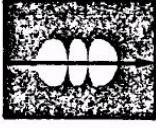
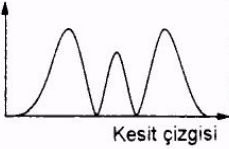
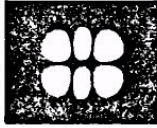
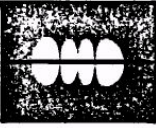
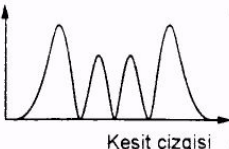
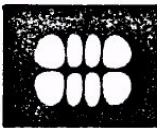


Şekil 4.7. Laser ışının taşınım mekanizmaları (Karaaslan, 2009).

Laser kaynağından, malzeme işlem yüzeyine kadar pek çok kez optik sistem ile farklı doğrultularda laser ışının yönlendirilmesinde kullanılan aynalar yüksek ayar hassasiyetine sahiptir. Bu aynaların yönlendirmesi sonucu malzeme yüzey bölgesine kadar ulaşan laser ışını, örneğin kesme veya kaynak için ayrıca 1mm çapına kadar odaklanmaktadır (Karaaslan, 2009).

4.3.4 Laser Işının Güç Yoğunluğu 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. Aşağıdaki şekilde laserle kesme sistemlerinde en sık rastlanılan mod türleri verilmiştir (Anık vd., 1996).

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

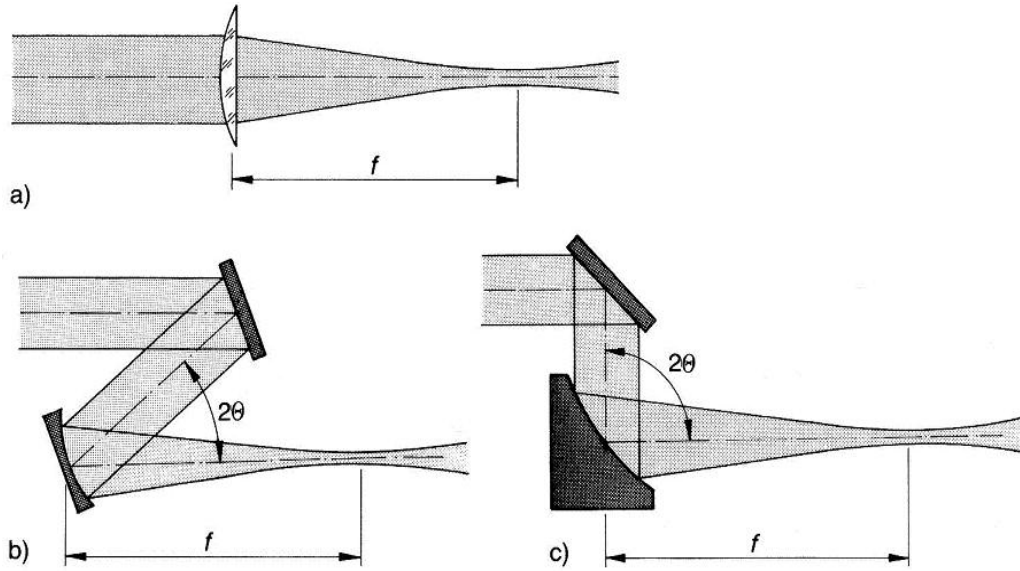
Şekil 4.8. Laserle kesme sistemlerinde en sık rastlanılan mod türleri (Anık vd., 1996).

4.3.5 Laser Işının Odaklanması

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 oluşturması için basınç kapısı görevini de üstlenir. 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 (Anık vd., 1996).

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 5kW olan laserlerde kullanılabilirler (Anık vd., 1996).



a) Düzlemsel konveks mercek ile

c) 90° açı ile düzenlenmiş parabolik ayna ile

b) 45° açı ile düzenlenmiş küresel ayna ile

Şekil 4.9. Laser ışının taşınımı (Karaaslan, 2009).

4.4 Laser Türleri ve Çalışma Prensipleri

Laser türleri kendi içerisinde 5 gruba ayrılır. Bunlar:

1. Katı laserler
2. Gaz laserleri
3. Boyar madde laserleri

4. Yarı iletkenli laserler
5. Serbest elektronlu laserler

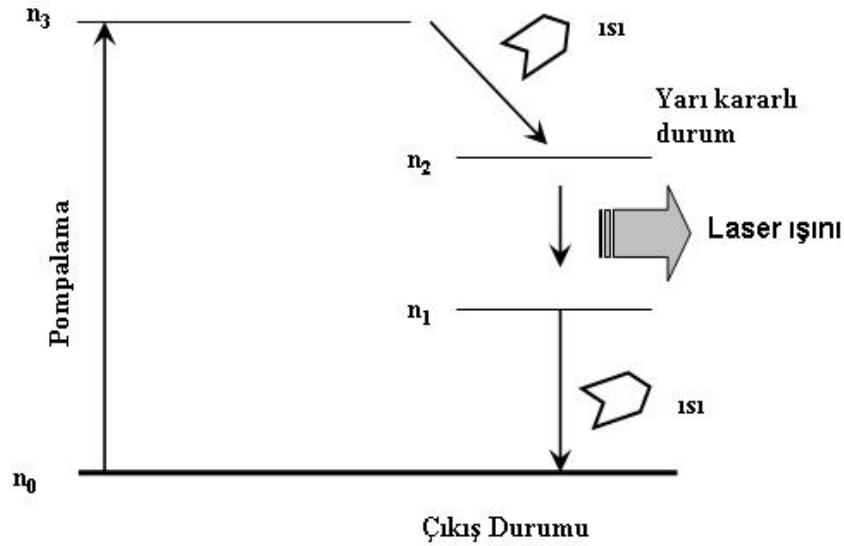
Endüstride metal işlemede kullanılan iki tip laser vardır. Katı laser türleri içerisinde bulunan Nd:YAG laserleri ve gaz laser türleri içerisinde bulunan CO₂ laserleridir.

4.4.1 Nd:YAG Laserleri

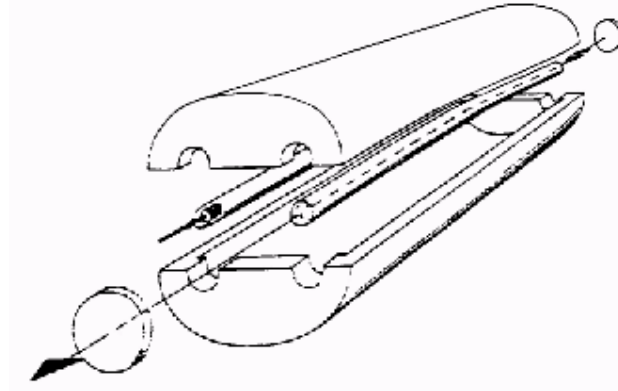
Endüstriyel olarak kullanılan en önemli katı cisim laseri, Neodim (Nd):YAG laseridir. YAG, Yttrium- Aluminium-Granat'ın kısaltılmış şeklidir. Bu laser türünde laser yayan eleman, Neodim'dir. Tipik verim halinde, kristalin % 1'i iyon haline geçer. Bir gaza göre katı bir cismin atomları çok daha yoğun şekilde dizildiklerinden, birim hacimde daha çok atom bulundurulur. Bu nedenle katı cisim laserinin amplifikasyonu ve çıkış yoğunluğu daha yüksektir (Anık vd., 1996).

Endüstriyel katı laserlerin güç aralığı zaman içinde yaklaşık olarak 1,2kW ile sınırlandırılmıştır. Nd:YAG laseri temel olarak hassas iş tekniklerinde kullanılmaktadır (Karaaslan, 2009).

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 (Anık vd., 1996).

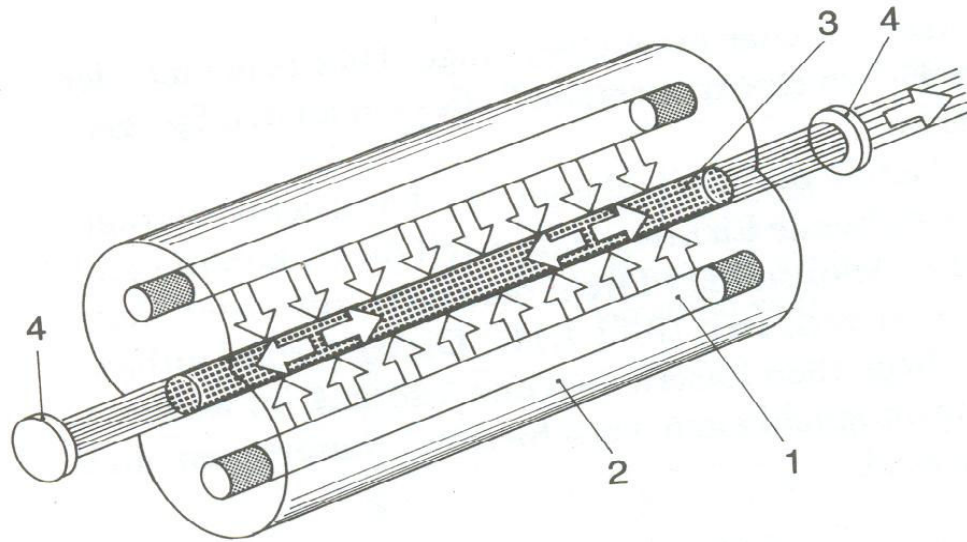


Şekil 4.10. Nd:YAG laserinin ısı şeması (Karaaslan, 2009).



Şekil 4.11. Nd:YAG çubuk laserinin konstrüktif yapısı (Anık vd., 1996).

Katı cisim laserlerinde laseraktif malzemenin geometrisi iki türde olabilir. Bunlardan birincisi ve halihazırda en çok kullanılan geometri, çubuk geometrisidir. Bugün temin edilebilen çubuk boyu 200 mm'dir ve çap da 6-10 mm'dir. Bir boşlukla maksimum 500-600 W'a ulaşılabilir. Diğer bir geometri ise levhadır (Karaaslan, 2009).



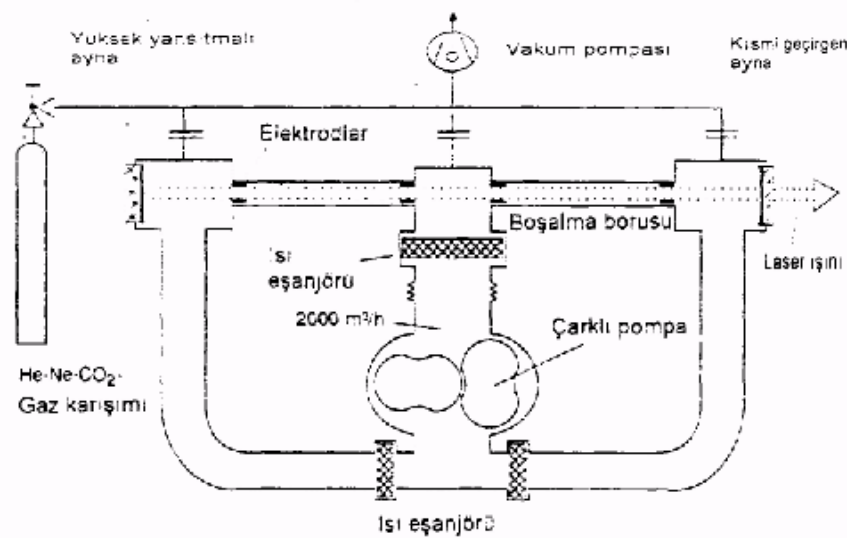
- | | |
|---------------------------------|---|
| 1. Flaş lamba | 4. Tam yansıtmalı ve yarı geçirgen lambalar |
| 2. Uyarı lambası için yansıtıcı | |
| 3. Etkin laser malzemesi | |

Şekil 4.12. Nd:YAG laserinin yapısı (Karaaslan, 2009).

Nd:YAG laserleri çalışma presibleri bakımından üçe ayrılırlar. Sürekli dalga ile çalışma (cw), darbeli dalga ile çalışma ve Q anahtarı ile çalışmadır.

4.4.2 CO₂ Laserleri

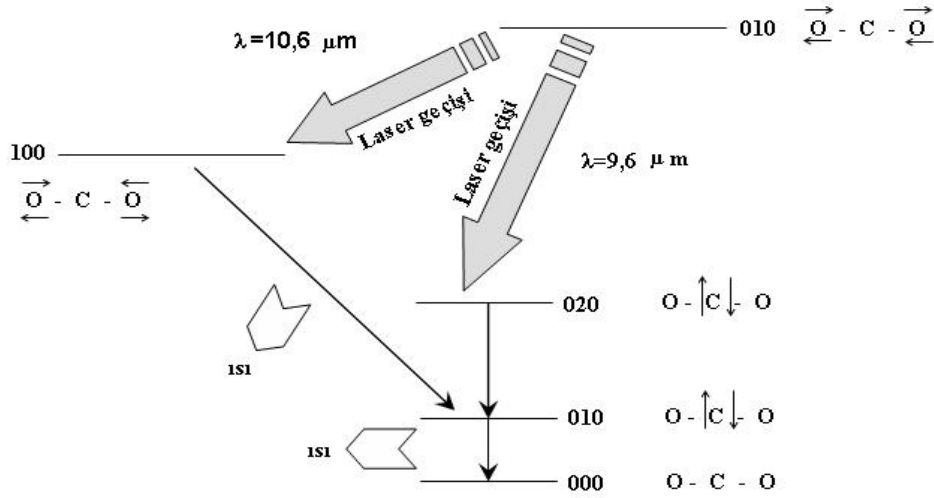
CO₂-Laser üreteçlerinde esas olarak boyuna ve enine tahrikli düzenleme olmak üzere iki yapı formu mevcuttur. Boyuna tahrikli düzenlemede gaz karışımı, yüksek güçlü pompalar yardımıyla çok yüksek hızlarda, küçük bir laser boru en-kesitine sevk edilirken enine tahrikli düzenlemede gaz karışımı, optik eksene 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 (Anık vd., 1996).



Şekil 4.13. Boyuna tahrikli CO₂ laseri (Anık vd., 1996).

Yüksek güçlü CO₂-laserlerinin çoğu, kesme işlemi için kullanılır. Kesme işleminde iyi odaklama özelliği olan, diğer bir deyişle ışın kalitesi yüksek olan bir laser ışını gereklidir. Boyuna tahrik edilen laser, uzun resonatör yapısı sayesinde en kesitinde eş ölçülü 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 laser, yüksek ışını özellikleriyle, büyük portal makinalarda kullanıma uygundur (Anık vd., 1996).

CO₂ moleküllerinin uyarılması, elektronların ve N₂ moleküllerinin çarpışması ile gerçekleşir. CO₂ molekülleri temel olarak etkin laser malzemesinde (etkin laser ortamında) üç şekilde titreşim olayı ile hareket ederler. CO₂ moleküllerinin farklı titreşim şekilleri şekil 4.13'te gösterilmiştir. 10.6µm dalga boyuna sahip olan CO₂ laserinin çıkışı 001 şeklinde ifade edilen ve CO₂ moleküllerinin asimetric titreşim yaptığı seviye ile 100 şeklinde ifade edilen ve CO₂ moleküllerinin simetric titreşim yaptığı seviye arasında gerçekleşmektedir (Karaaslan, 2009).



Şekil 4.14. CO2 laserinin ısı şeması (Karaaslan, 2009).

CO₂ laserleri çalışma prensipleri bakımından üçe ayrılırlar: HF uyarılma ile çalışma, sürekli dalga (cw) ile çalışma ve darbeli dalga ile çalışmadır.

4.5 Laserlerin Çalışma Şekilleri

Laser ışınıyla kesme işlemi için gereken enerjinin iletimi, ya bir "sürekli dalga" yani cw-çalışma (continuous wave = sürekli dalga) veya bir darbeli çalışma formunda yapılabilir. Her bir çalışma türünde laser parametrelerinin seçiminin ve ayarının kendiliğinden sağlanması için, işletme ekipmanının CNC komutlarının laser komutları ile uyumlu olması gerekir (Anık vd., 1996).

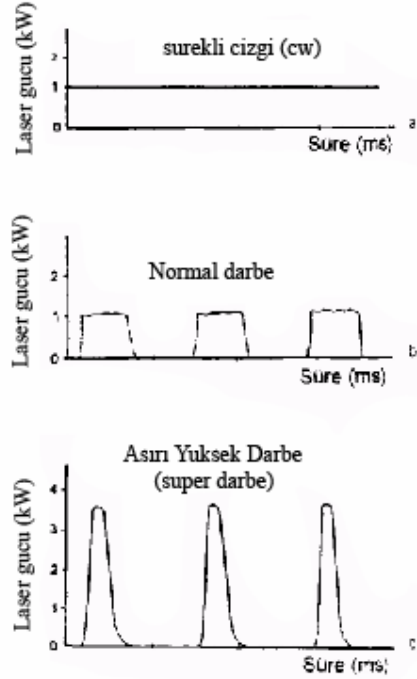
4.5.1 Sürekli Dalga ile Çalışma

Bu çalışma türünde laser kapasitesi kesme işlemi sırasında sabit kalır ve her zaman diliminde yüksek bir enerji çıkışı sağlar. Bu sayede darbeli çalışma türüne göre daha hızlı bir kesme olanağı verir. Dolayısıyla düz kesmeler cw-çalıştırma türüyle, zor kesilebilen kenarlar ise darbeli çalışma türüyle oluşturulur. Şekil 4.16'a da gösterilmiştir (Anık vd., 1996).

4.5.2 Darbeli Dalga ile Çalışma

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 çalışma türünde sıcaklık dengelenebilmektedir. Darbeli çalıştırmada pratikte iki farklı darbe türü

mevcuttur. Bunlar normal darbe ve yüksek darbe (süper darbe)'dir. Sürekli dalga-laseriyle darbe laserini işleme kapasitesinin optimizasyonu bakımından karşılaştırırken, değişimin etki süresi, darbe enerjisi, darbe tepe güçleri ve soğuma etkisi faktörlerinin de göz önüne alınması gerekir (Anık vd., 1996).



Şekil 4.15. Farklı çalışma türlerinde laser ışınları (Anık vd., 1996).

4.6 Laser ile Kesme İşleminde Kullanılan Gazlar ve Özellikleri

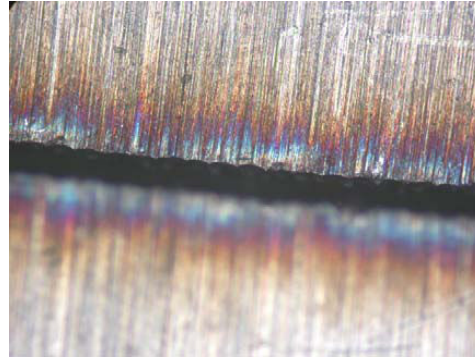
Laser ışınıyla kesmenin etkin şekilde yapılabilmesi için laserle yakarak, eriterek ve buharlaştırarak kesme işlemlerinin her birinin özelliğine uygun kesme gazlarının kullanılması gerekir. Bir kesme gazının görevi, oluşan cürufları, ergiyikleri veya metal buharını kesme yarığında uzaklaştırmak ve odaklama merceğinin kirlenmesini önlemektir (Anık vd., 1996).

4.6.1 Laser ile Kesmede Oksijen Kullanımı

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, cüruf 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 cüruf birikimine neden olmaktadır (Anık vd., 1996).

Laser ile kesme işlemlerinde oksijen kullanımı daha çok düşük karbonlu çeliklere uygulanmaktadır. Yüksek alaşımli çeliklerin kesimi esnasında kullanımı zordur. Örnek olarak paslanmaz çeliği verecek olursak oksijen kullanımı; paslanmaz çeliklerde ince plakalar ile kullanılabilir ve daha yüksek hızlar uygulanabilir. Buna rağmen, 1mm'den fazla kalınlığa sahip olan paslanmaz çelikler için oksijen kullanılması tavsiye edilmemektedir. Çünkü oksitlenmiş kesme kenarları ve yüksek ergime noktasına sahip alaşım elementi yükselen oksitler oluşturmaktadır bu oksitler kesme kalitesine etki yaptığı gibi düşük vizkozitede kesme yüzeyinin altında oluşan kalıntılar, çapaklar oluşturmaktadır Aşağıdaki şekilde östenitik bir paslanmaz çeliğin oksijen gazı yardımı ile laser kesim sonucu oluşan kesim yüzeyi gösterilmektedir. Resimde görüldüğü gibi paslanmaz çeliklerin oksijen ile kesimi renkli ve pürüzlü yüzeyler vermektedir (Ghany vd., 2005).



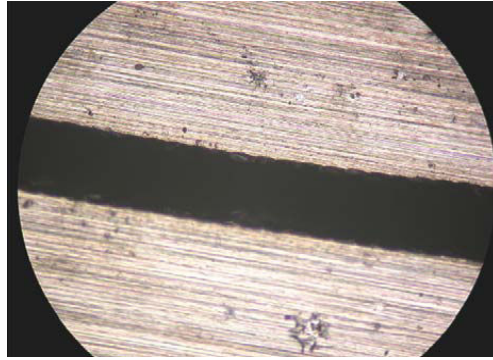
Şekil 4.16. Östenitik bir paslanmaz çeliğin oksijen yardımcı gazı ile laser kesimi (Ghany vd., 2005).

4.6.2 Laser ile Kesmede Azot ve Argon Kullanımı

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 (Anık vd., 1996).

Laser kesim esnasında paslanmaz çeliklerin kesiminde azot gazı kullanımı temiz ve parlak kesme yüzeyleri oluşturur ve kesme kenarlarında korozyona herhangi bir etkisi

bulunmamaktadır. Ama genellikle yüksek gaz basınçlarında kullanılır (1mm paslanmaz çeliği kesmek için 10 bar'dan fazla) ve güzel kesme kalitesini ortaya çıkartmak için düşük kesme hızlarında çalışmak gerekir. İnert gazlar laser ışını ile ortaya çıkan ısının haricinde ısı ortaya çıkartmazlar. Kesme yüzeylerinin altındaki kalıntıları uzaklaştırmak için mekanik bir güç gibi hareket ederler ve laser optiklerinin zarar görmesini engeller. Ayrıca laser ışınının malzeme tarafından emilimini azaltan plazmayıda uzaklaştırır. Azot aynı zamanda çeliklerin ve paslanmaz çeliklerin oksijenin kullanılamayacağı yüksek hızlarda kesilmesinide sağlar (20m/dak gibi) (Ghany vd., 2005).



Şekil 4.17. Östenitik bir paslanmaz çeliğin azot yardımcı gazı ile laser kesimi (Ghany vd., 2005).

4.6.3 Laser ile Kesme İşlemlerinde Gaz Basıncının Önemi

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

Çelik kesiminde bazı kalınlıklardan itibaren sadece oksijen ile yakarak kesme ile kesim yapılabilir. Oksijen basıncı etkisiyle hız artışı sınırlıdır, artan gaz hızı ile izoterm reaksiyon engellenmekte ve düzgün kesim mümkün olmamaktadır. Oksijen basıncı malzemeye bağlı olarak seçilir. Örneğin alaşımsız ve düşük alaşımlı yapı 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 (Anık vd., 1996).

4.7 Laser Işını ile Kesme Yöntemleri

Laser ışını ile malzemelerin işlenmesinde üç ayrı yöntem kullanılmaktadır:

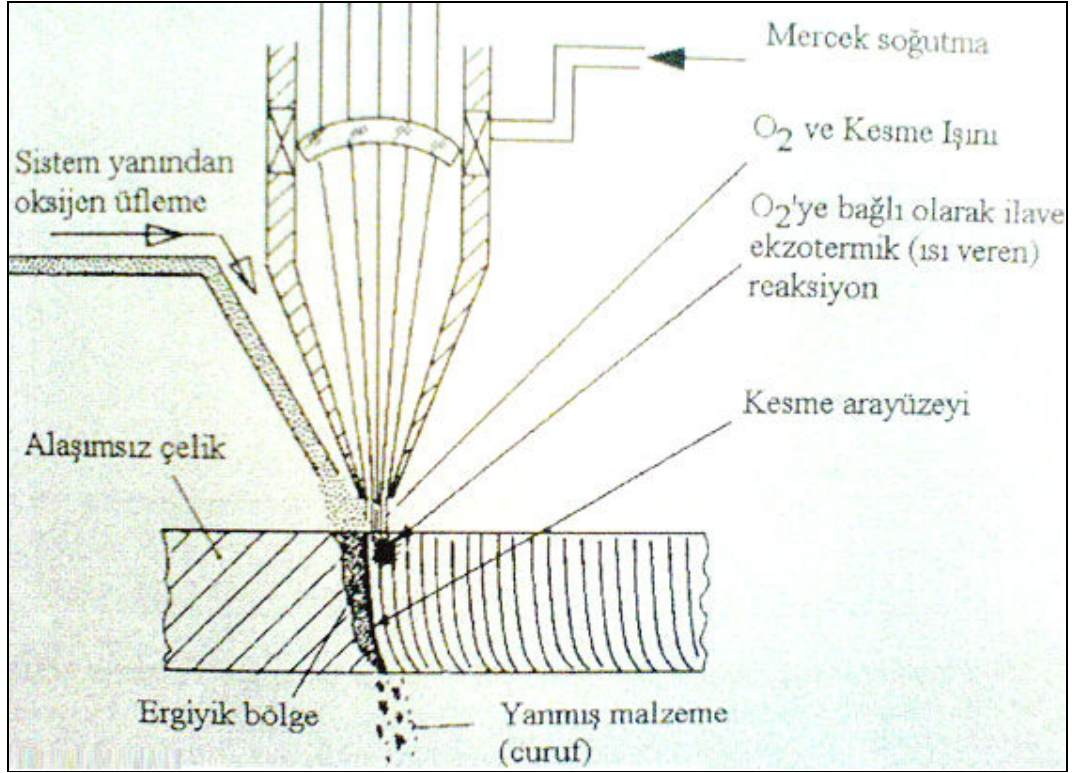
- Laser ışınıyla yakarak kesme

- Laser ışınıyla ergiterek kesme
- Laser ışınıyla buharlaştırarak kesme (süblimleştirerek kesme)

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.

4.7.1 Laser Işınıyla Yakarak Kesme

Bu yöntem metallerin kesilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kesme sırasında oksijen, ilave kesme gazı olarak laser kesme kafasının yanından verilmektedir. Oksijen etkisi ile kesme bölgesinde oluşan ekzotermik tepkime, laser ışınından daha yüksek bir ısı gücü oluşturmaktadır (Karaaslan, 2009).



Şekil 4.18. Sistem yanından oksijen üflenerek gerçekleştirilen laser ile yakarak kesme yöntemi (şematik) (Karaaslan, 2009).

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.

Enerji miktarına 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, ısıl 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 (Anık vd., 1996).

Sadece alaşımsız çelikler için geçerli olmak üzere laser ile kesmedeki oluşumlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Malzeme oksijen ile kimyasal bir tepkimeye uğramalı ve oksidasyon oluşmalıdır.
- Metalin yanma sıcaklığı ergime sıcaklığından yüksek olmalıdır.
- Metaloksitin ergime sıcaklığı metalin yanma sıcaklığının altında bulunmalıdır.
- Oluşan oksit düşük viskoziteye sahip olmalıdır.
- Yanma ısısı mümkün olduğunca büyük olmalıdır.
- Malzeme düşük bir ısı iletim katsayısına sahip olmalıdır (Karaaslan, 2009).

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 bir çok uygulamada oksit tabakası güçlü asitlerle temizlenmelidir. Bu da çevre bakımından sakınca yaratır. 2000 W'lık bir laserde darbeli ışınlarla kesilebilen maksimum paslanmaz çelik saç 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.

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 3-5sn sürmesi halinde özellikle mercek zarar görebilmektedir. Bakırın yüksek elektrik iletkenliği sebebiyle ancak 2 mm (laboratuarda 3 mm) kalınlığa kadar kesim yapmak mümkündür (Anık vd., 1996).

4.7.2 Laser Işınıyla Ergiterek Kesme

Ergiterek kesmede ana unsur malzemenin ergiyik fazda kalma süresidir. Bu ergiyik kısım kesme kafası aracılığı ile ortamdaki uzaklaştırılmaktadır. İlave gaz malzemesi olarak genellikle inert azot veya argon kullanılmaktadır. CO₂ laseri TEM₀₀-modu ile bir enerji oluşumunu gerçekleştirmekte veya sürekli bir laser oluşumunu gerekli kılmaktadır. Bu yöntem ile kesilen tipik malzemeler, amorf davranış sergileyen cam, plastiler ve özellikle metallerdir (Karaaslan, 2009).

2,5 kW gücündeki laserle kesme kalınlığı sınırları, paslanmaz çeliklerde 8 mm (laboratuarda 12 mm)'dir. Yapı çeliğinin yüksek ısı iletkenliği sebebiyle çapaklı 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 temizlenmesi 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 çapaklı olarak kolayca kesilebilmektedir.

Yine alüminyum da, yüksek basınçlı kesme yöntemiyle kalite bakımından iyi kesilebilir. Kesim kenarları temizdir. 2 mm kalınlığa kadar çapaklı, 5 mm kalınlığa kadar elle kolayca temizlenebilecek miktarda az çapaklı kesimler elde edilir. Burada önemli olan parametreler, laser cihazının gücü ve alaşımın türüdür. 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 (Anık vd., 1996).

Standartlaştırılmış ergiterek kesme işleminde;

- Malzemenin buharlaştırılmasına olanak tanımayacak zamanda işlem yapılmalıdır.

- Argon gibi soygazlar kesme kenarlarında oksidasyon oluşumunu engellemektedir.
- Yakarak kesme ile karşılaştırıldığında kesme hızı daha düşüktür.
- Yüksek alaşımlı çelikler dahil, bütün metallerin kesilmesi bu yöntemle mümkündür (Karaaslan, 2009).

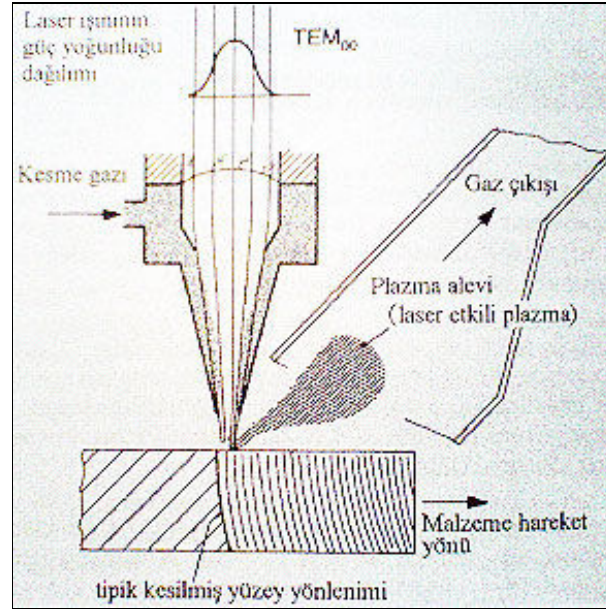
4.7.3 Laser Işınıyla Buharlaştırarak Kesme (Süblimleştirerek Kesme)

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 dağılır. Verimli bir kesme işlemi gerçekleştirmek için yüksek güç yoğunlukları gerekmektedir (Anık vd., 1996).

Bu tür kesme yöntemi, katı-ergiyik geçiş fazı tam belirgin olmayan veya ergiyik halde çok dar sınırlarda kalan tahta, kağıt, seramik ve plastik gibi malzemelerde gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemde darbeli laser ile metallerin kesilmesinde çok yüksek bir güç yoğunluğuna ihtiyaç duyulur. Laser ışını-malzeme arasındaki etkileşim bölgesinde oluşan ergiyik faz alanında ısı kayıpları minimum azaltılabilmektedir. Kalın parçaların kesilmesi bu yöntemle uygun değildir.

Bu yöntemde hemen hemen ergime olmamakta ve ilave gazın yardımı ile parlak bir kesim yüzeyi elde edilebilmektedir. Yüksek ve genellikle darbeli verilen enerji, çok dar bir ITAB oluşturmaktadır. Bu üstün yönlerine karşın, süblimleştirme ile kesmeyi sınırlayan faktörler aşağıda özetlenmiştir:

- Buharlaştırma ile kesme hızı, ergiterek kesme hızına göre yavaştır. Metalsel malzemelerde bu yöntemle kesme çok dar kalınlıklarda yapılabilen ve yaklaşık 1mm kalınlığından daha ince parçalar kesilebilmektedir.
- Odaklama yerine göre, eğer kesme işlemi malzemenin içinde başlatılmışsa, oluşan plazma bulutu malzemeyi de ergiterek kesme yüzeyinde çatlak oluşumuna yol açabilmektedir. Böylesi tehlikeli bir metal buharının ortamdan uzaklaştırılması için, işletmelerde bir filtre sisteminin kurulması şarttır (Karaaslan, 2009).



Şekil 4.19. Laser ile buharlaştırarak kesme sistemi:kesme gazı laser sistemi içinden malzemeye yönlendirilmektedir. (Karaaslan, 2009).

4.8 Laser Işını ile Kesmede Kesme Kalitesi

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 gazının basıncı
- Kesme hızı
- Kesilecek malzemenin yüzey durumu (örneğin pas, yağ, vs.)
- Laser cihazının ayarlanması'dır (Anık vd., 1996).

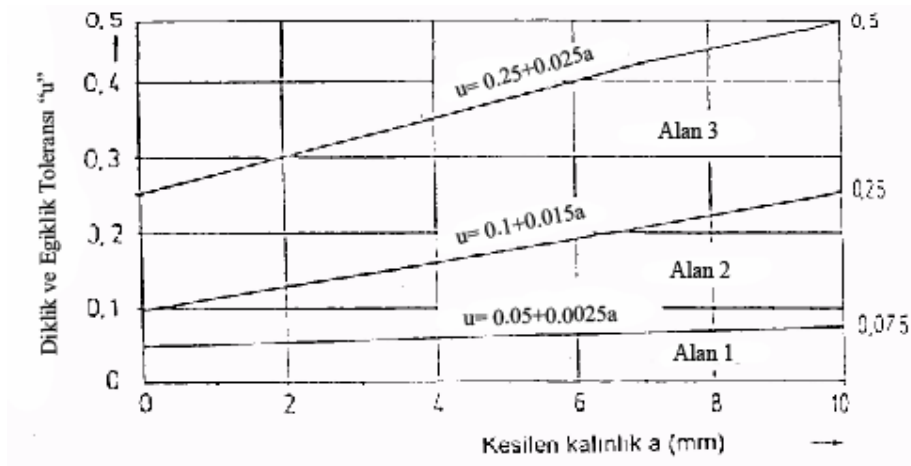
Çizelge 4.1. Laser ışını ile kesmede kesme kalitesini etkileyen faktörler (Anık vd., 1996).

Laser Işınıyla Kesme				
Işın Parametresi	Işın Geometrisi	Kesme Gazları	İş Parçası	Kesme Makinesi
Laser Kapasitesi Mod Polarizasyon Güç Kararlılığı Çalışma Türü	Işının Yönlendirilişi Işın Şekillendirme Odaklama Yeri Odak Noktasının Büyüklüğü	Gaz türü Gaz Saflığı Gaz Basıncı	Malzeme Türü Malzeme Kalınlığı Malzemenin Üst Yüzeyinin Durumu	Konstrüksiyon İlerlemenin Düzgünlüğü Çalışma Süresi İlerleme Hızı Kontrol Ölçüm Torç Mesafesi

4.8.1 Laser Işınıyla Kesmede Diklik ve Eğiklik Toleransı

Laser ışınıyla kesmede yüzey kalitesinin kriterlerini DIN 2310 standartları belirlemektedir.

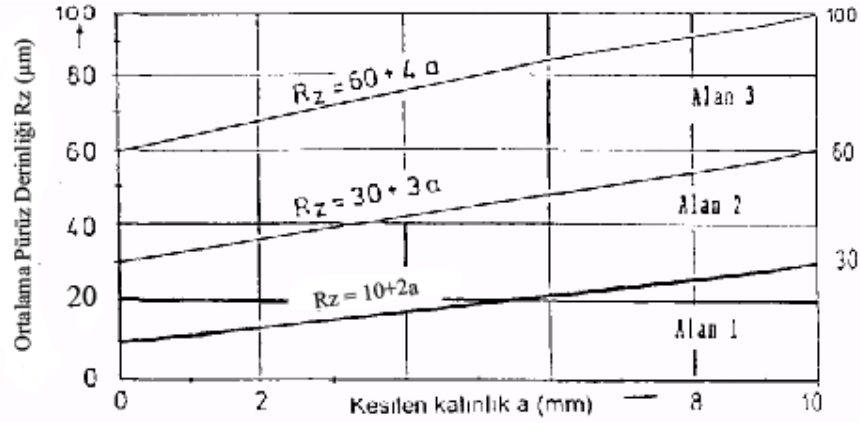
Bu standartlara göre diklik ve eğiklik toleransları aşağıdaki şekilde verilmiştir.



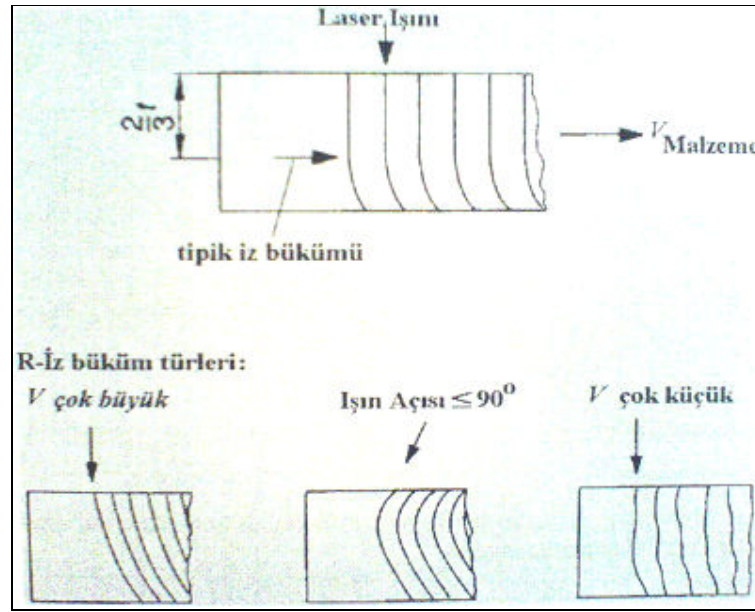
Şekil 4.20. Laser ışınıyla diklik ve eğiklik toleransları (Anık vd., 1996).

4.8.2 Laser Işınıyla Kesmede Pürüzlülüğün Değerlendirilmesi

DIN 2310'a göre, laser ışını ile yakarak kesme yönteminde kalınlığı 2mm'ye kadar olan plakaların ortalama pürüzlülük derinliği kesilen yüzeyin ortasından, daha kalın plakalarda ise ışının girdiği kenardan itibaren (malzemenin üst yüzeyi) 2/3 uzaklığında ölçülür (Karaaslan, 2009).



Şekil 4.21. Laser ışınıyla kesmede pürüzlülük derinliği toleransları (Anık vd., 1996).



Şekil 4.22. Laser kesme parametrelerine bağlı olarak oluşan iz şekilleri (şematik)
(Karaaslan, 2009).

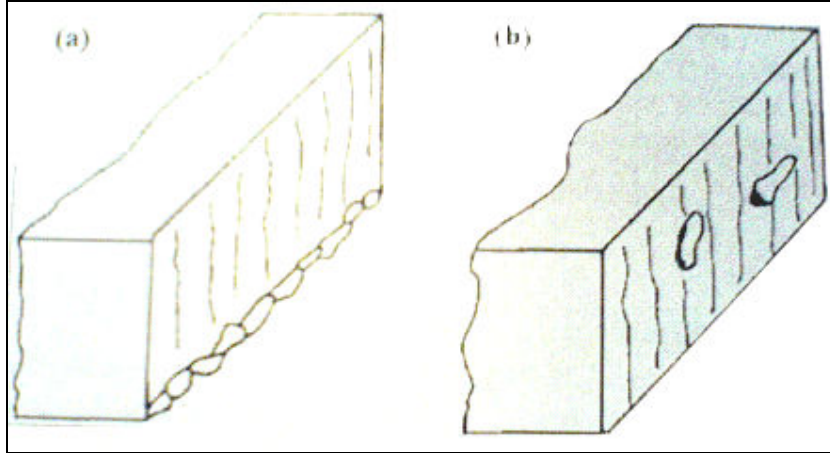
4.8.3 Laser Işınıyla Kesmede İz Şekli

Yukarıdaki şekilde farklı türde oluşan iz şekilleri şematik olarak gösterilmektedir. Oluşan bütün izler laser ışınının malzemeye girdiği yüzeyde başlayıp, malzemenin alt kenarına kadar devam etmektedir. İzlerin oluşum şekli, laser ışını polarizasyonunun yanında birinci derecede işlem hızına bağlıdır (Karaaslan, 2009).

Kesme izleri tipik olarak, laser ışınının malzemeye girdiği malzemenin üst noktasından malzeme kalınlığının $2/3$ 'ü kadar paralel gider ve daha sonra büküm gösterir (Anık vd., 1996).

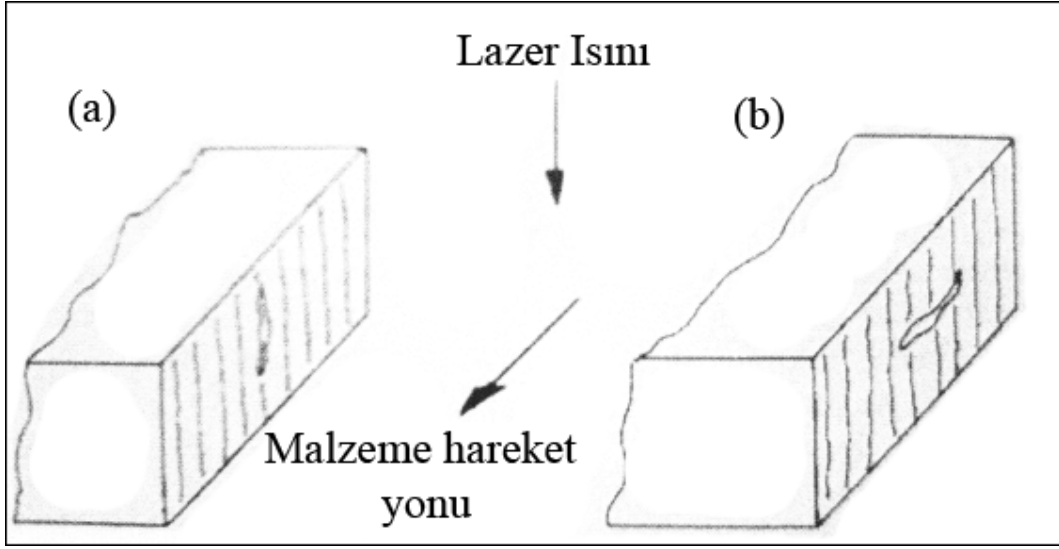
4.8.4 Laser Işınıyla Kesmede Kesme Yüzeyinin Genel Değerlendirilmesi

Laser ile kesilen parçaların yüzeyleri, kenar şekli, kesim geometrisi, kesilen yüzeydeki tümsek oluşumu, cüruf oluşumu ve çatlak gibi oluşumlarla değerlendirilir. Laser ile kesilen yüzeyde kenar şeklinin, keskin kenarlı ve dik açılı olması istenmektedir. Parçaların ergiterek kesilmesi esnasında üst kenar ergimekte ve daha sonra bir açı oluşmaktadır. Plazma ile kesmede bu açı yaklaşık 3° iken laser ile kesmede herhangi bir açı olmaz.



Şekil 4.23. Laser ışınıyla kesilen yüzeylerde oluşan cüruf (Karaaslan, 2009).

Laser ile kesilen parçaların yüzeylerinin üst ve alt kenarlarında tipik olmayan kusurlar oluşmaktadır. Kesme gazının yanlış bir açı ile yönlendirilmesi ile gözenekli kesitlerin oluşumuna yol açılmaktadır. Oluşan kenar çökmeleri, seçilen düşük laser gücü veya çok yüksek gaz basıncı nedeniyledir. Bu oluşumun önlenmesi için gaz basıncının artırılması gerekmektedir. Laser ile kesmede cüruf hem kesilen yüzeyin alt kenarında hemde yüzeyde oluşabilmektedir. Cüruf oluşumu laser ile kesme esnasında kullanılan azot veya argon gibi bir soygazla azaltılabilmektedir. Ayrıca gaz basıncı ile vizkos sıvı ortamdan uzaklaştırılmalıdır. Kesme sırasında parçada yanma oluşmuşsa, bunun nedeni yüksek laser gücü ve düşük kesme hızı seçimidir. Malzeme kesme ısısından aşırı derecede etkilenmişse bir renklenme olmaktadır: bunun nedenide benzer şekilde yüksek laser gücü, düşük, kesme hızı ve düşük gaz basıncıdır. Kesilen yüzeyde oluşan çatlaklar ya kesme yüzeyine paralel ya da dik doğrultuda oluşmaktadır (Karaaslan, 2009).



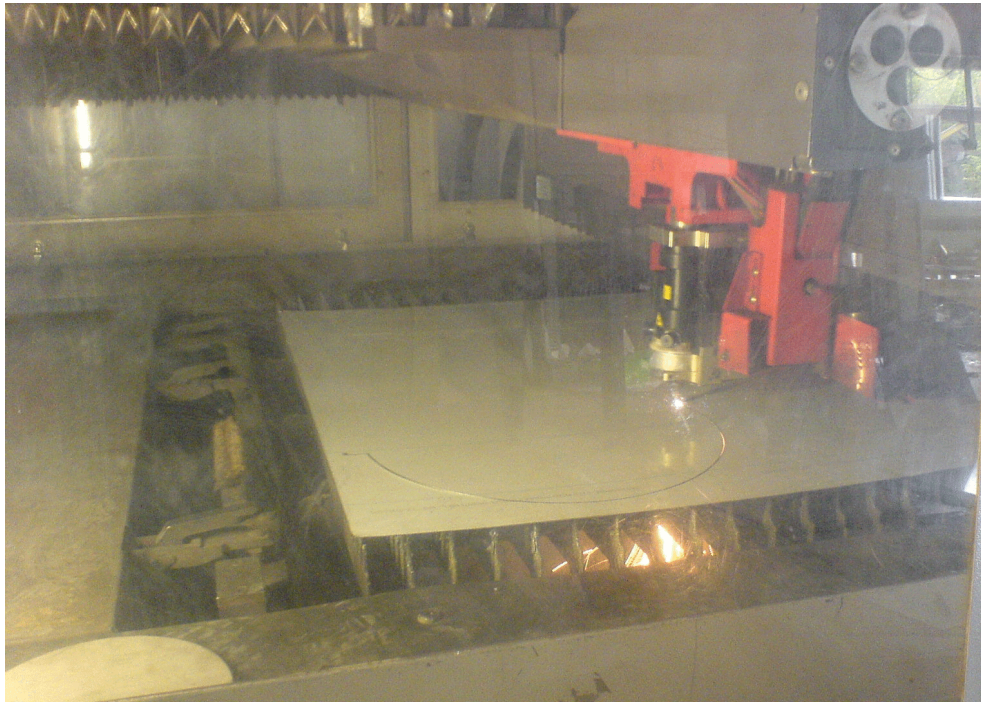
Şekil 4.24. Lazer ışınıyla kesilen yüzeyde oluşan çatlak (Karaaslan, 2009).

4.9 Deneysel Çalışmalar



Şekil 4.25. Bystronic By Speed 5200 Arc Laser üreteci

Laser ile kesme işleminin yapıldığı deneysel parçalarda Bystronic By Speed 5200Arc marka CNC laser kesme makinesi kullanılmıştır. Bu makineye ait bilgiler çizelge 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.26. Bystronic By Speed 5200 Arc Laser üreteci ile kesme

Çizlege 4.2. Bystronic By Speed 5200 Arc Laser üreticine ait teknik bilgiler

En x boy x yükseklik	9850mm x 8450mm x 2300mm
Kesilebilen max sac boyutu	X = 4000mm
	Y = 2000mm
Tezgah Ağırlığı	26000 kg
Laser üretici	CO ₂
Dalga Boyu	10.6µm
Polarizasyon	Dairesel
Darbe Frekansı	1-2500Hz
Max malzeme kalınlığı	Alaşımız Çelik 25mm
	Paslanmaz Çelik 20mm
	Aliminyum 12mm

Laser ile kesme işlemi 2mm kalınlığında St 37 ve 316 kalite östenitik paslanmaz çelik saclara uygulanmıştır. Saclar her kesme işleminde çeşitli parametrelerde (farklı kesme hızı, laser gücü, odak noktası uzaklığı ve gaz basıncında) kesilmiş ve daha sonra kesme yüzeyleri gözle muayeneye tabi tutulmuştur. Vickers sertlik ölçüm cihazı ile de kesme yüzeylerindeki sertlik dağılımları kontrol edilmiştir.

4.9.1 Parça No L0



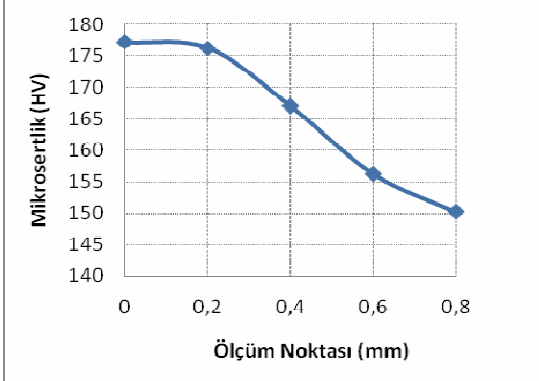
Şekil 4.27. L0 nolu parçanın resmi

L0 nolu parça 316 kalite paslanmaz çelik numunelerden oluşan deney grubunun standart kesme parçasıdır. Kesilen bu parametreler laser tezgahının imalatçı firması tarafından belirlenen parametrelerdir. Kesilen bu parça en uygun parametrelerle kesme gerçekleştirdiği için parçada neredeyse hiç çapak oluşumu gözlemlenmemiştir. Parça bu hali ile ikinci bir bitirme işlemine gerek duymadan kullanılabilir.

Hataların sınıflandırılması: -

Çizelge 4.3. L0 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	L0			
Malzeme	316 Kalite Paslanmaz Çelik			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	5500			
Güç (watt)	3400			
Odak Noktası (mm)	1			
Gaz Tipi	Azot			
Gaz Basıncı (bar)	7			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
	177,23	176,27	166,98	156,23



4.9.2 Parça No L1



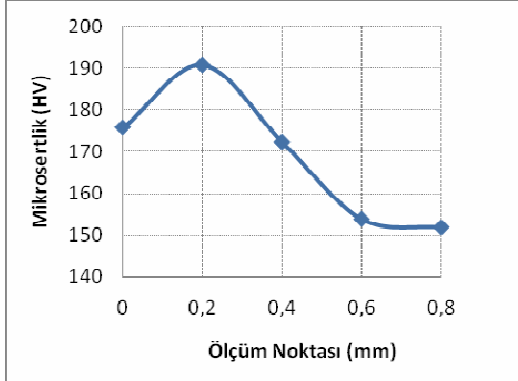
Şekil 4.28. L1 nolu parçanın resmi

L1 nolu parça 316 kalite paslanmaz çelik numunelerden oluşan deney grubunun en yavaş kesilen parçasıdır. Bu yavaşlık sayesinde numune daha uzun süreler ısı etkisi altında kalmıştır. L1 nolu parçanın kesimi sırasında parçanın alt yüzeyinde çapak oluşumu gözlemlenmiştir. Parça bu çapak oluşumu nedeniyle herhangi bir bitirme işlemine tabi tutulmalıdır.

Hataların sınıflandırılması: 111 (TS7227)

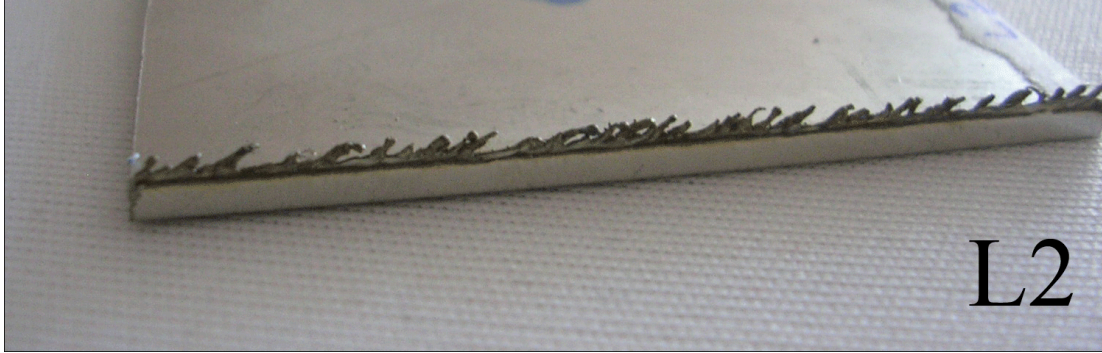
Çizelge 4.4. L1 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	L1			
Malzeme	316 Kalite Paslanmaz Çelik			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	5000			
Güç (watt)	3400			
Odak Noktası (mm)	1			
Gaz Tipi	Azot			
Gaz Basıncı (bar)	7			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
175,81	190,74	172,23	153,82	151,77



Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	175,81
0,2	190,74
0,4	172,23
0,6	153,82
0,8	151,77

4.9.3 Parça No L2



Şekil 4.29. L2 nolu parçanın resmi

L2 nolu parça 316 kalite paslanmaz çelik numunelerden oluşan deney grubunun ikinci en düşük hızda kesilen parçasıdır. Bu yavaşlık sayesinde numune L1 nolu parçaya kıyasla daha az diğer parçalara göre ise daha çok ısı etkisi altında kalmıştır. L2 nolu parçanın kesimi sırasında parçanın alt yüzeyinde düşük miktarlarda çapak oluşumu gözlemlenmiştir. L2 nolu parçanın sertlik ölçüm değerleri incelendiğinde sertlik değerlerinin parçanın iç

noktalarına girdikçe önce arttığı biraz daha ilerledikçe azaldığı ve malzemenin kendi sertliğine ulaştığı gözlemlenmiştir. Malzemenin sertliğinin arttığı yerlerde ince taneli yapı sertliğin düştüğü yerlerde ise kaba taneli yapı oluşmaya başlamıştır.

Hataların sınıflandırılması: 111 (TS7227)

Çizelge 4.5. L2 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	L2			
Malzeme	316 Kalite Paslanmaz Çelik			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	5250			
Güç (watt)	3400			
Odak Noktası (mm)	1			
Gaz Tipi	Azot			
Gaz Basıncı (bar)	7			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
	172,32	174,28	166,58	160,20

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	172,32
0,2	174,28
0,4	166,58
0,6	160,20
0,8	153,24

4.9.4 Parça No L3



Şekil 4.30. L3 nolu parçanın resmi

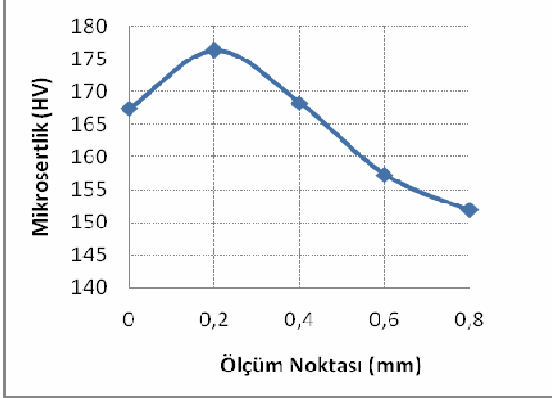
L3 nolu parça 316 kalite paslanmaz çelik parçalardan oluşan deney grubunun en hızlı ikinci kesilen parçasıdır. Bu hız sayesinde diğer parçalarla kıyaslandığında daha kısa süre

ısı etkisi altında kalmıştır. Parçanın kesme hızı standartların üstüne çıktığından dolayı parçanın alt kısmında oluşan laserin iz şeklinin bükümü belirginleşmeye başlamıştır. L3 nolu parçanın kesimi sırasında parçanın alt yüzeyinde çapak oluşumu gözlemlenmiştir. Parça bu çapak oluşumu nedeniyle herhangi bir bitirme işlemine tabi tutulmalıdır.

Hataların sınıflandırılması: 111, 221 (TS7227)

Çizelge 4.6. L3 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	L3			
Malzeme	316 Kalite Paslanmaz Çelik			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	5750			
Güç (watt)	3400			
Odak Noktası (mm)	1			
Gaz Tipi	Azot			
Gaz Basıncı (bar)	7			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
167,41	176,33	168,24	157,25	151,87



Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	167,41
0,2	176,33
0,4	168,24
0,6	157,25
0,8	151,87

4.9.5 Parça No L4



Şekil 4.31. L4 nolu parçanın resmi

L4 nolu parça 316 kalite paslanmaz çelik parçalardan oluşan deney grubunun en hızlı

kesilen parçasıdır. Bu hız sayesinde numune daha kısa süre ısı etkisi altında kalmıştır. Parçanın kesme hızı standartların üstüne çıktığından dolayı parçanın alt kısmında oluşan laserin iz şeklinin bükümü çok fazla belirgindir. L4 nolu parçanın kesimi sırasında parçanın alt yüzeyinde yüksek miktarlarda çapak oluşumu gözlemlenmiştir. Parça bu çapak oluşumu nedeniyle herhangi bir bitirme işlemine tabi tutulmalıdır.

Hataların sınıflandırılması: 111, 221 (TS7227)

Çizelge 4.7. L4 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	L4			
Malzeme	316 Kalite Paslanmaz Çelik			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	6000			
Güç (watt)	3400			
Odak Noktası (mm)	1			
Gaz Tipi	Azot			
Gaz Basıncı (bar)	7			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
	165,73	173,85	165,48	158,50

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	165,73
0.2	173,85
0.4	165,48
0.6	158,50
0.8	152,31

4.9.6 Parça No L5



Şekil 4.32. L5 nolu parçanın resmi

L5 nolu parça 316 kalite paslanmaz çelik numunelerden oluşan deney grubunun en düşük güçle kesilen parçasıdır. Bu parçanın kesiminde uygulanan güç yeterli düzeylere ulaşmadığı için kesme işlemi tamamlanamamıştır ve parça kesme işlemi sonrası kesilen plakadan normal yollarla ayıramamıştır. Parça daha sonra kesme plakasından mekanik yollarla ayrılmıştır. Ayrıca parçanın üst kısmında kesme kenarlarında yüksek miktarlarda çapak oluşumu gözlemlenmiştir. Parça ikinci bir son işleme tabi tutulmadan kullanılamaz.

Hataların sınıflandırılması: 111 (TS7227)

Çizelge 4.8. L5 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	L5			
Malzeme	316 Kalite Paslanmaz Çelik			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	5500			
Güç (watt)	3000			
Odak Noktası (mm)	1			
Gaz Tipi	Azot			
Gaz Basıncı (bar)	7			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
176,28	163,59	163,31	158,15	153,21

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	176,28
0.2	163,59
0.4	163,31
0.6	158,15
0.8	153,21

4.9.7 Parça No L6



Şekil 4.33. L6 nolu parçanın resmi

L6 nolu parça 316 kalite paslanmaz çelik numunelerden oluşan deney grubunun en düşük ikinci güç seviyesiyle kesilen parçasıdır. Bu parçanın kesiminde uygulanan güç yeterli düzeylere ulaşmadığı için kesme işlemi tamamlanamamıştır ve parça kesme işlemi sonrası kesilen plakadan normal yollarla ayırlanamamıştır. Parça daha sonra kesme plakasından mekanik yollarla ayrılmıştır.

Hataların sınıflandırılması: 111, 221 (TS7227)

Çizelge 4.9. L6 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	L6			
Malzeme	316 Kalite Paslanmaz Çelik			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	5500			
Güç (watt)	3200			
Odak Noktası (mm)	1			
Gaz Tipi	Azot			
Gaz Basıncı (bar)	7			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
174,69	173,01	163,68	158,74	151,43

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	174,69
0,2	173,01
0,4	163,68
0,6	158,74
0,8	151,43

4.9.8 Parça No L7



Şekil 4.34. L7 nolu parçanın resmi

L7 nolu parça 316 kalite paslanmaz çelik parçalardan oluşan deney grubunun ikinci en yüksek güçte kesilen parçasıdır. Böyle yüksek güçlerin kullanılması nedeniyle parça standart kesme parçalardan biraz daha fazla ısı etkisi altında kalmıştır. Parçanın yüzeyinin alt kısımlarında çapak oluşumu gözlemlenmiştir ve parçanın kesme kenarlarında yüksek güç ile kesme nedeniyle hafif bir yanmış tabaka vardır.

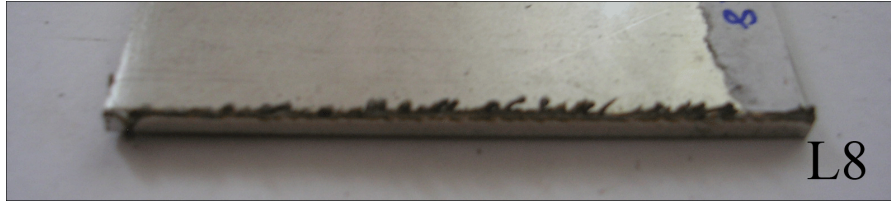
Hataların sınıflandırılması: 111, 32 (TS7227)

Çizelge 4.10. L7 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	L7			
Malzeme	316 Kalite Paslanmaz Çelik			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	5500			
Güç (watt)	3600			
Odak Noktası (mm)	1			
Gaz Tipi	Azot			
Gaz Basıncı (bar)	7			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
179,56	162,55	152,85	148,21	151,17

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	179,56
0,2	162,55
0,4	152,85
0,6	148,21
0,8	151,17

4.9.9 Parça No L8



Şekil 4.35. L8 nolu parçanın resmi

L8 nolu parça 316 kalite paslanmaz çelik parçalardan oluşan deney grubunun en yüksek güçte kesilen parçasıdır. Böyle yüksek güçlerin kullanılması nedeniyle parça standart kesme parçalardan biraz daha fazla ısı etkisi altında kalmıştır. Parçanın yüzeyinin alt kısımlarında çapak oluşumu gözlemlenmiştir ve parçanın kesme kenarlarında yüksek güç ile kesme nedeniyle hafif bir yanmış tabaka vardır. Bu tabaka L7 nolu parçadan daha belirgindir.

Hataların sınıflandırılması: 111, 32 (TS7227)

Çizelge 4.11. L8 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	L8			
Malzeme	316 Kalite Paslanmaz Çelik			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	5500			
Güç (watt)	3800			
Odak Noktası (mm)	1			
Gaz Tipi	Azot			
Gaz Basıncı (bar)	7			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
177,96	172,52	160,51	154,24	153,76

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	177,96
0.2	172,52
0.4	160,51
0.6	154,24
0.8	153,76

4.9.10 Parça No L9



Şekil 4.36. L9 nolu parçanın resmi

L9 nolu parça 316 kalite paslanmaz çelik parçalardan oluşan deney grubunun odak noktası malzemenin yüzey noktasından 2mm yukarıda kesme işlemi yapılmıştır. Bu kesme işleminde yüksek miktarlarda çapak oluşumu gözlemlenmiştir. Ayrıca iz bükümleri parça kalınlığının 2/3'ünden önce ve dalgalı bir formda oluşmuştur. Parça bir çapak alma işlemine tabi tutulmalıdır. Parçada oluşan bu çapak oluşumu tamamen odak noktasının malzemenin 2mm üstüne odaklanmasından kaynaklanmaktadır.

Hataların sınıflandırılması: 111, 221 (TS7227)

Çizelge 4.12. L9 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	L9			
Malzeme	316 Kalite Paslanmaz Çelik			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	5500			
Güç (watt)	3400			
Odak Noktası (mm)	-2			
Gaz Tipi	Azot			
Gaz Basıncı (bar)	7			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
186,24	176,44	174,79	159,25	151,92

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	186,24
0,2	176,44
0,4	174,79
0,6	159,25
0,8	151,92

4.9.11 Parça No L10



Şekil 4.37. L10 nolu parçanın resmi

L10 nolu parça 316 kalite paslanmaz çelik parçalardan oluşan deney grubunun odak noktası malzemenin yüzey noktasında odaklanarak kesme işlemi yapılmıştır. Bu kesme işleminde çapak oluşumu gözlemlenmiştir. Parça bir çapak alma işlemine tabi tutulmalıdır. L9 numaralı parçada oluşu gibi çapak oluşumunun nedeni odak noktasının malzeme yüzeyinin üzerinde bir noktada odaklanmasından kaynaklanmaktadır.

Hataların sınıflandırılması: 111 (TS7227)

Çizelge 4.13. L10 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	L10			
Malzeme	316 Kalite Paslanmaz Çelik			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	5500			
Güç (watt)	3400			
Odak Noktası (mm)	-1			
Gaz Tipi	Azot			
Gaz Basıncı (bar)	7			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
179,01	167,55	157,48	151,53	150,22

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	179,01
0,2	167,55
0,4	157,48
0,6	151,53
0,8	150,22

4.9.12 Parça No L11

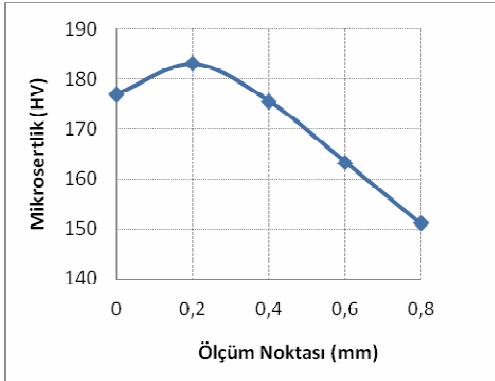


Şekil 4.38. L11 nolu parçanın resmi

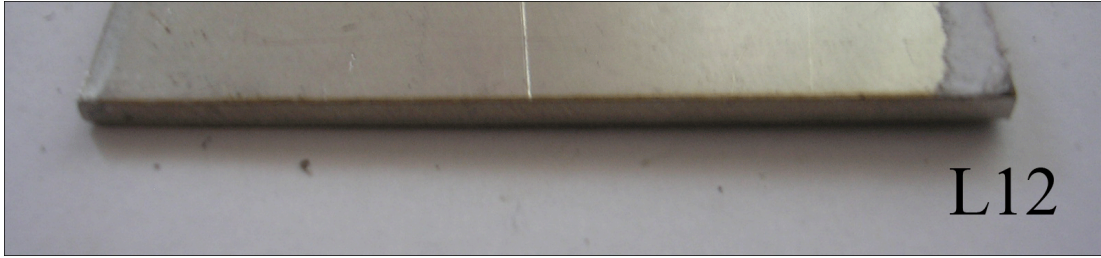
L11 nolu parça 316 kalite paslanmaz çelik parçalardan oluşan deney grubunun odak noktası malzemenin yüzey noktasına odaklanarak kesme işlemi yapılmıştır. Bu kesme işleminde yüksek miktarlarda çapak oluşumu gözlemlenmiştir. Parça bir çapak alma işlemine tabi tutulmalıdır. Bu parçadaki çapak oluşumunun nedeninde L9 ve L10 nolu parçalardaki gibi odak noktasının malzemenin içinde seçilmemesinden kaynaklanmaktadır.

Hataların sınıflandırılması: 111 (TS7227)

Çizelge 4.14. L11 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	L11			
Malzeme	316 Kalite Paslanmaz Çelik			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	5500			
Güç (watt)	3400			
Odak Noktası (mm)	0			
Gaz Tipi	Azot			
Gaz Basıncı (bar)	7			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
	176,94	183,07	175,48	163,25
				

4.9.13 Parça No L12



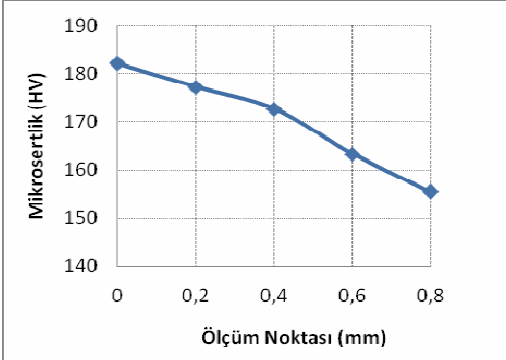
Şekil 4.39. L12 nolu parçanın resmi

L12 nolu parça 316 kalite paslanmaz çelik parçalardan oluşan deney grubunun odak noktası malzemenin yüzey noktasından 2mm aşağıya odaklanarak kesme işlemi yapılmıştır. Bu parça malzemenin alt yüzeyine odaklanarak kesme işlemi yapıldığı için malzemede çapak oluşumu neredeyse hiç gözlemlenmemiştir.

Hataların sınıflandırılması: 111 (TS7227)

Çizelge 4.15. L12 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	L12			
Malzeme	316 Kalite Paslanmaz Çelik			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	5500			
Güç (watt)	3400			
Odak Noktası (mm)	2			
Gaz Tipi	Azot			
Gaz Basıncı (bar)	7			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
182,06	177,20	172,58	163,24	155,49



Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	182,06
0,2	177,20
0,4	172,58
0,6	163,24
0,8	155,49

4.9.14 Parça No L13



Şekil 4.40. L13 nolu parçanın fotoğrafı

L13 nolu parça 316 kalite paslanmaz çelik numunelerden oluşan deney grubunun en düşük gaz basıncında kesilen kesme parçasıdır. Düşük miktarlarda çapak oluşumu gözlemlenmiştir bunun nedeni uygulanan gaz basıncının mekanik bir kuvvet ile yüzeyden uzaklaştırılmasına yetecek mekanik kuvvetin bu gaz basınçlarında ulaşılamamış olmasıdır. Ayrıca parçanın alt yüzeyinde hafif bir yanmış tabaka gözlemlenmiştir.

Hataların sınıflandırılması: 111, 32 (TS7227)

Çizelge 4.16. L13 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	L13			
Malzeme	316 Kalite Paslanmaz Çelik			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	5500			
Güç (watt)	3400			
Odak Noktası (mm)	1			
Gaz Tipi	Azot			
Gaz Basıncı (bar)	5			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
	214,41	187,61	167,54	161,33
				153,25

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	214,41
0,2	187,61
0,4	167,54
0,6	161,33
0,8	153,25

4.9.15 Parça No L14



Şekil 4.41. L14 nolu parçanın resmi

L14 nolu parça 316 kalite paslanmaz çelik numunelerden oluşan deney grubunun ikinci en düşük gaz basıncında kesilen kesme parçasıdır. Çok düşük miktarlarda çapak oluşumu gözlemlenmiştir bunun nedeni uygulanan gaz basıncının mekanik bir kuvvet ile yüzeyden uzaklaştırılmasına yetecek mekanik kuvvetin bu gaz basınçlarında ulaşılamamış olmasıdır. Ayrıca parçanın alt yüzeyinde çok hafif bir yanmış tabaka gözlemlenmiştir.

Hataların sınıflandırılması: 111, 221 (TS7227)

Çizelge 4.17. L14 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	L14			
Malzeme	316 Kalite Paslanmaz Çelik			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	5500			
Güç (watt)	3400			
Odak Noktası (mm)	1			
Gaz Tipi	Azot			
Gaz Basıncı (bar)	6			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
	180,76	168,36	165,18	160,65
	152,31			

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	180,76
0,2	168,36
0,4	165,18
0,6	160,65
0,8	152,31

4.9.16 Parça No L15

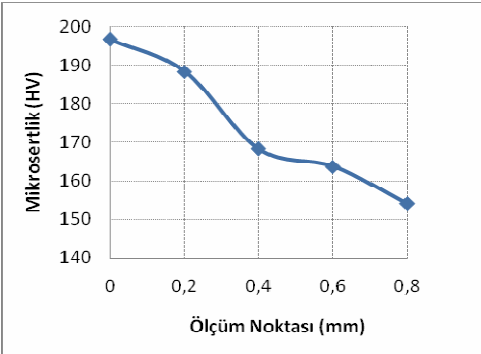


Şekil 4.42. L15 nolu parçanın resmi

L15 nolu parça 316 kalite paslanmaz çelik numunelerden oluşan deney grubunun ikinci en yüksek gaz basıncında kesilen kesme parçasıdır. Neredeyse hiç çapak oluşumu parçada gözlemlenmemiştir. Bunun nedeni parçanın kesimi esnasında uygulanan gaz basıncının mekanik bir kuvvet gibi davranmasıdır.

Hataların sınıflandırılması: - (TS7227)

Çizelge 4.18. L15 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	L15			
Malzeme	316 Kalite Paslanmaz Çelik			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	5500			
Güç (watt)	3400			
Odak Noktası (mm)	1			
Gaz Tipi	Azot			
Gaz Basıncı (bar)	8			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
	196,70	188,42	168,25	163,72
				

4.9.17 Parça No L16



Şekil 4.43. L16 nolu parçanın fotoğrafı

L16 nolu parça 316 kalite paslanmaz çelik numunelerden oluşan deney grubunun en yüksek gaz basıncında kesilen kesme parçasıdır. Parçanın kesiminden sonra hiç çapak oluşumuna rastlanmamıştır ve de parlak bir yüzey elde edilmiştir. Bunun nedeni yüksek miktarlarda gaz basıncında çalışılması ve bu gaz basıncının mekanik bir kuvvet gibi parçaya etki etmesinden kaynaklanmaktadır. Yüksek miktarlarda gaz basınçları çapaksız ve düzgün yüzeyler vermelerine rağmen ekonomik açıdan bu şekilde kullanılmaları doğru değildir.

Hataların sınıflandırılması: - (TS7227)

Çizelge 4.19. L16 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	L16			
Malzeme	316 Kalite Paslanmaz Çelik			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	5500			
Güç (watt)	3400			
Odak Noktası (mm)	1			
Gaz Tipi	Azot			
Gaz Basıncı (bar)	9			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
	175,20	167,10	162,17	157,84

4.9.18 Parça No Ls0



Şekil 4.44. LS0 nolu parçanın resmi

LS0 nolu parça St37 çeliğinden oluşan deney grubunun standart kesme parçasıdır. Kesilen bu parametreler laser tezgahının imalatçı firması tarafından belirlenen parametrelerdir. Kesilen bu parça en uygun parametrelerle kesme gerçekleştirdiği için parçada neredeyse hiç çapak oluşumu gözlemlenmemiştir. Parça bu hali ile ikinci bir bitirme işlemine gerek duymadan kullanılabilir. Parçada gözlemlenen tek bozukluk keskin köşe dönüşlerde kenara yaklaştıkça şekilsel bozuklukların gözlemlenmesidir.

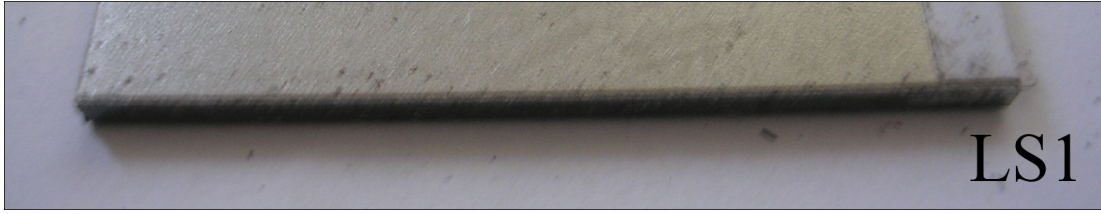
Hataların sınıflandırılması: - (TS7227)

Çizelge 4.20. LS0 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	LS0			
Malzeme	Fe 37 (St 37)			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	5600			
Güç (watt)	1100			
Odak Noktası (mm)	-2			
Gaz Tipi	Oksijen			
Gaz Basıncı (bar)	5,5			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
159,12	123,98	116,14	114,38	115,51

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	159,12
0,2	123,98
0,4	116,14
0,6	114,38
0,8	115,51

4.9.19 Parça No Ls1



Şekil 4.45. LS1 nolu parçanın resmi

LS1 nolu parça St37 çeliğinden oluşan deney grubunun en düşük kesme hızında kesilen parçasıdır. Bu düşük kesme hızı parçanın daha uzun süre ısı etkisi altında kaldığını bize göstermektedir. Yavaş hızlardan dolayı keskin köşe kesimlerde parçanın kesme yüzeyinin kenarlarına doğru laser kesme esnasında kesme işleminin dahada yavaşlaması nedeniyle belirgin bir şekil bozukluğu gözlemlenmiştir.

Hataların sınıflandırılması: 2 (TS7227)

Çizelge 4.21. LS1 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	LS1			
Malzeme	Fe 37 (St 37)			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	5100			
Güç (watt)	1100			
Odak Noktası (mm)	-2			
Gaz Tipi	Oksijen			
Gaz Basıncı (bar)	5,5			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
	144,43	121,42	117,04	114,88

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	144,43
0.2	121,42
0.4	117,04
0.6	114,88
0.8	113,62

4.9.20 Parça No Ls2



Şekil 4.46. LS2 nolu parçanın resmi

LS2 nolu parça St37 çeliğinden oluşan deney grubunun en düşük kesme hızında kesilen parçasıdır. Bu düşük kesme hızı parçanın daha uzun süre ısı etkisi altında kaldığını bize göstermektedir. Yavaş hızlardan dolayı keskin köşe kesimlerde parçanın kesme yüzeyinin kenarlarına doğru kesme işlemi sırasında yavaşlamasından dolayı şekil bozuklukları gözlemlenmiştir. Ancak bu şekil bozuklukları LS1 nolu parçadaki kadar belirgin değildir.

Hataların sınıflandırılması: 2 (TS7227)

Çizelge 4.22. LS2 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	LS2			
Malzeme	Fe 37 (St 37)			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	5350			
Güç (watt)	1100			
Odak Noktası (mm)	-2			
Gaz Tipi	Oksijen			
Gaz Basıncı (bar)	5,5			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
132,72	139,58	130,26	122,60	114,72

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	132,72
0,2	139,58
0,4	130,26
0,6	122,60
0,8	114,72

4.9.21 Parça No Ls3



Şekil 4.47. LS3 nolu parçanın resmi

LS3 nolu parça St37 çeliğinden oluşan deney grubunun ikinci en yüksek kesme hızında kesilen parçasıdır. Bu nispeten yüksek kesme hızından dolayı parça standart numuneye göre laser kesme esnasında daha düşük ısıl yüke maruz kalmaktadır. Parçanın kesme hızındaki artış köşe kesimlerinde belirgin bir düzelme göstermesine rağmen bu parçada da köşe kesimlerde laserin dönüşlerde yavaşlamasından dolayı şekilsel bozukluk bulunmaktadır.

Hataların sınıflandırılması: 2 (TS7227)

Çizelge 4.23. LS3 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	LS3			
Malzeme	Fe 37 (St 37)			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	5850			
Güç (watt)	1100			
Odak Noktası (mm)	-2			
Gaz Tipi	Oksijen			
Gaz Basıncı (bar)	5,5			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
154,57	139,56	122,24	115,04	116,23

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	154,57
0,2	139,56
0,4	122,24
0,6	115,04
0,8	116,23

4.9.22 Parça No Ls4



Şekil 4.48. LS4 nolu parçanın resmi

LS4 nolu parça St37 çeliğinden oluşan deney grubunun en yüksek kesme hızında kesilen parçasıdır. Bu yüksek kesme hızından dolayı parça standart numuneye göre laser kesme esnasında daha düşük ısıl yüke maruz kalmaktadır. Parçanın kesme hızındaki artış köşe kesimlerinde belirgin bir düzelme göstermiştir.

Hataların sınıflandırılması: - (TS7227)

Çizelge 4.24. LS4 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	LS4			
Malzeme	Fe 37 (St 37)			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	6100			
Güç (watt)	1100			
Odak Noktası (mm)	-2			
Gaz Tipi	Oksijen			
Gaz Basıncı (bar)	5,5			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
130,64	120,45	117,00	115,94	113,78

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	130,64
0,2	120,45
0,4	117,00
0,6	115,94
0,8	113,78

4.9.23 Parça No Ls5



Şekil 4.49. LS5 nolu parçanın resmi

LS5 nolu parça St37 çeliğinden oluşan deney grubunun en düşük güçte kesilen kesme parçasıdır. Bu düşük güç sayesinde parçaya diğer parçalara göre daha düşük ısı girdisine maruz kalmaktadır. Ancak bu düşük güç yüzünden parçada standart kesime göre yüksek miktarlarda çapak oluşumu gözlemlenmiştir ve parça plakadan laser kesme sonucu ayıramamıştır. Daha sonra mekanik yollarla plakadan ayrılan bu parça kullanılmak istenilirse üçüncü bir bitirme işlemine tabi tutulmalıdır.

Hataların sınıflandırılması: 31, 32 (TS7227)

Çizelge 4.25. LS5 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	LS5			
Malzeme	Fe 37 (St 37)			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	5600			
Güç (watt)	700			
Odak Noktası (mm)	-2			
Gaz Tipi	Oksijen			
Gaz Basıncı (bar)	5,5			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
154,29	145,89	126,48	114,93	115,25

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	154,29
0,2	145,89
0,4	126,48
0,6	114,93
0,8	115,25

4.9.24 Parça No Ls6



Şekil 4.50. LS6 nolu parçanın resmi

LS6 nolu parça St37 çeliğinden oluşan deney grubunun ikinci en düşük güçte kesilen kesme parçasıdır. Bu düşük güç sayesinde parçaya diğer parçalara göre daha düşük ısı girdisine maruz kalmaktadır. Bu parçanın kesiminde uygulanan güç yeterli düzeylere ulaşmadığı için kesme işlemi tamamlanamamıştır ve parça kesme işlemi sonrası kesilen plakadan normal yollarla ayırlanamamıştır. Parça daha sonra kesme plakasından mekanik yollarla ayrılmıştır.

Hataların sınıflandırılması: 31, 32 (TS7227)

Çizelge 4.26. LS6 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	LS6			
Malzeme	Fe 37 (St 37)			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	5600			
Güç (watt)	900			
Odak Noktası (mm)	-2			
Gaz Tipi	Oksijen			
Gaz Basıncı (bar)	5,5			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
	149,63	123,58	118,14	111,17
	114,37			

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	149,63
0,2	123,58
0,4	118,14
0,6	111,17
0,8	114,37

4.9.25 Parça No Ls7



Şekil 4.51. LS7 nolu parçanın resmi

LS7 nolu parça St37 çeliğinden oluşan deney grubunun ikinci en yüksek güçte kesilen kesme parçasıdır. Bu nispeten yüksek güç sayesinde parça diğer parçalara göre daha yüksek ısı girdisine maruz kalmaktadır. Parçada herhangi bir çapak oluşumu gözlemlenmemiştir.

Hataların sınıflandırılması: - (TS7227)

Çizelge 4.27. LS7 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	LS7				
Malzeme	Fe 37 (St 37)				
Parça Kalınlığı (mm)	2				
İşlem Parametreleri					
Kesme Hızı (mm/dak)	5600				
Güç (watt)	1300				
Odak Noktası (mm)	-2				
Gaz Tipi	Oksijen				
Gaz Basıncı (bar)	5,5				
Sertlik Ölçümleri (HV)					
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm	
	156,80	124,74	121,89	115,72	114,43

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	156,80
0.2	124,74
0.4	121,89
0.6	115,72
0.8	114,43

4.9.26 Parça No Ls8



Şekil 4.52. LS8 nolu parçanın resmi

LS8 nolu parça St37 çeliğinden oluşan deney grubunun en yüksek güçte kesilen kesme parçasıdır. Bu yüksek güç sayesinde parça diğer parçalara göre daha yüksek ısı girdisine maruz kalmaktadır. Ancak istenmeyen bu ısı girdisine rağmen parçada herhangi bir çapak oluşumu gözlemlenmemiştir.

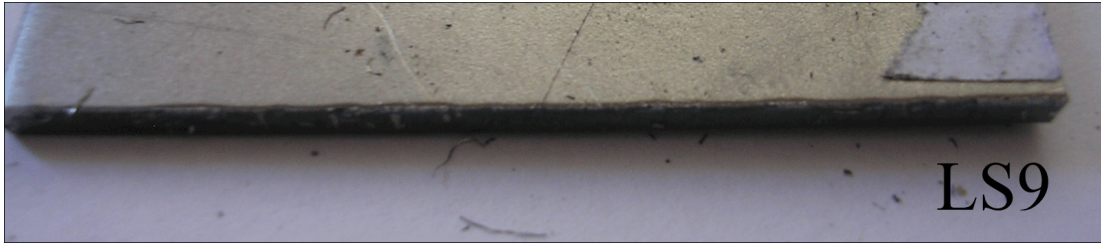
Hataların sınıflandırılması: - (TS7227)

Çizelge 4.28. LS8 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	LS8			
Malzeme	Fe 37 (St 37)			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	5600			
Güç (watt)	1500			
Odak Noktası (mm)	-2			
Gaz Tipi	Oksijen			
Gaz Basıncı (bar)	5,5			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
161,87	145,85	126,48	114,93	115,53

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	161,87
0,2	145,85
0,4	126,48
0,6	114,93
0,8	115,53

4.9.27 Parça No Ls9



Şekil 4.53. LS9 nolu parçanın resmi

LS9 nolu parça St37 çeliğinden oluşan deney grubunun odak noktası malzeme yüzeyinden 1mm yukarıya odaklanarak yapılan kesme işlemidir. Bu kesme işleminde odak noktasının yeri parçanın kesilmesine elverişli olmadığından kesme sonucunda parçanın kesme yüzeyinin alt kenarlarında oyulmalar oluşmuştur.

Hataların sınıflandırılması: 231 (TS7227)

Çizelge 4.29. LS9 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	LS9			
Malzeme	Fe 37 (St 37)			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	5600			
Güç (watt)	1100			
Odak Noktası (mm)	-1			
Gaz Tipi	Oksijen			
Gaz Basıncı (bar)	5,5			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
148,65	137,90	123,45	119,19	117,65

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	148,65
0,2	137,90
0,4	123,45
0,6	119,19
0,8	117,65

4.9.28 Parça No Ls10

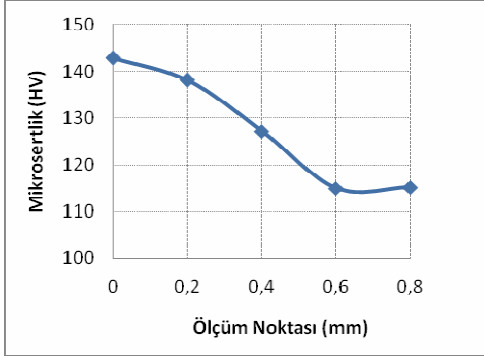


Şekil 4.54. LS10 nolu parçanın resmi

LS10 nolu parça St37 çeliğinden oluşan deney grubunun odak noktası malzeme yüzeyinden odaklanarak yapılp kesilen parçadır. Bu kesme işlemi sonucunda parça nispeten çapaksız ve şekilsel bozukluğu olmadan kesilmiştir.

Hataların sınıflandırılması: - (TS7227)

Çizelge 4.30. LS10 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	LS10			
Malzeme	Fe 37 (St 37)			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	5600			
Güç (watt)	1100			
Odak Noktası (mm)	0			
Gaz Tipi	Oksijen			
Gaz Basıncı (bar)	5,5			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
	142,95	138,17	127,23	114,98
				

4.9.29 Parça No Ls11



Şekil 4.55. LS11 nolu parçanın resmi

LS11 nolu parça St37 çeliğinden oluşan deney grubunun odak noktası malzeme yüzeyinden 1mm içeriye odaklanarak yapılan kesme işlemidir. Bu kesme işleminde parçanın alt yüzeyinden yüksek miktarlarda çapak oluşumu gözlemlenmiştir ve parça bir bitirme işlemine tabi tutulmalıdır.

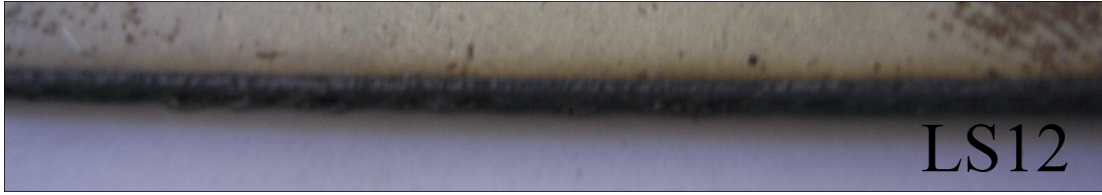
Hataların sınıflandırılması: 31 (TS7227)

Çizelge 4.31. LS11 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	LS11			
Malzeme	Fe 37 (St 37)			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	5600			
Güç (watt)	1100			
Odak Noktası (mm)	1			
Gaz Tipi	Oksijen			
Gaz Basıncı (bar)	5,5			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
	140,94	135,43	126,17	116,71
			116,23	

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	140,94
0,2	135,43
0,4	126,17
0,6	116,71
0,8	116,23

4.9.30 Parça No Ls12



Şekil 4.56. LS12 nolu parçanın resmi

LS12 nolu parça St37 çeliğinden oluşan deney grubunun odak noktası malzeme yüzeyinde 2mm aşağıya odaklanarak yapılan kesme işlemidir. Bu kesme işleminde parçanın alt yüzeyinden düşük miktarlarda çapak oluşumu gözlemlenmiştir ve parça bir bitirme işlemine tabi tutulmalıdır.

Hataların sınıflandırılması: 31 (TS7227)

Çizelge 4.32. LS12 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	LS12			
Malzeme	Fe 37 (St 37)			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	5600			
Güç (watt)	1100			
Odak Noktası (mm)	2			
Gaz Tipi	Oksijen			
Gaz Basıncı (bar)	5,5			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
	137,37	132,23	119,50	115,85
	113,29			

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	137,37
0,2	132,23
0,4	119,50
0,6	115,85
0,8	113,29

4.9.31 Parça No Ls13



Şekil 4.57. LS13 nolu parçanın resmi

LS13 nolu parça St37 çeliğinden oluşan deney grubunun endüştük yardımcı gaz basıncında yapılan kesme işlemdir. Düşük gaz basınçlarında kullanılan yardımcı gaz basıncının mekanik kuvvetinden yararlanılamamaktadır. Bu düşük mekanik güç sayesinde iz şekilleri büküm göstermemiştir.

Hataların sınıflandırılması: 22 (TS7227)

Çizelge 4.33. LS13 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	LS13			
Malzeme	Fe 37 (St 37)			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	5600			
Güç (watt)	1100			
Odak Noktası (mm)	-2			
Gaz Tipi	Oksijen			
Gaz Basıncı (bar)	3,5			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
	142,19	138,54	121,89	117,21

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	142,19
0.2	138,54
0.4	121,89
0.6	117,21
0.8	114,65

4.9.32 Parça No Ls14



Şekil 4.58. LS14 nolu parçanın resmi

LS14 nolu parça St37 çeliğinden oluşan deney grubunun ikinci endüşük yardımcı gaz basıncında yapılan kesme işlemidir. Düşük gaz basınçlarında kullanılan yardımcı gaz basıncının mekanik kuvvetinden yararlanılamamaktadır. Bu düşük mekanik güç sayesinde iz şekilleri malzememin alt yüzeyine çok yakın bir noktada büküm göstermeye başlamıştır.

Hataların sınıflandırılması: 22 (TS7227)

Çizelge 4.34. LS14 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	LS14			
Malzeme	Fe 37 (St 37)			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	5600			
Güç (watt)	1100			
Odak Noktası (mm)	-2			
Gaz Tipi	Oksijen			
Gaz Basıncı (bar)	4,5			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
133,36	132,54	120,47	115,23	116,29

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	133,36
0,2	132,54
0,4	120,47
0,6	115,23
0,8	116,29

4.9.33 Parça No Ls15



Şekil 4.59. LS15 nolu parçanın resmi

LS15 nolu parça St37 çeliğinden oluşan deney grubunun ikinci en yüksek yardımcı gaz basıncında yapılan kesme işlemidir. Yüksek gaz basınçlarında kullanılan yardımcı gaz basıncının mekanik kuvvetinden yararlanılmaktadır. Bu mekanik güç sayesinde iz şekilleri malzememin nispeten daha düzgün büküm göstermeye başlamıştır.

Hataların sınıflandırılması: 22 (TS7227)

Çizelge 4.35. LS15 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	LS15			
Malzeme	Fe 37 (St 37)			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	5600			
Güç (watt)	1100			
Odak Noktası (mm)	-2			
Gaz Tipi	Oksijen			
Gaz Basıncı (bar)	6,5			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
	130,47	126,46	119,42	115,76
				113,91

Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	130,47
0,2	126,46
0,4	119,42
0,6	115,76
0,8	113,91

4.9.34 Parça No Ls16



Şekil 4.60. LS16 nolu parçanın resmi

LS16 nolu parça St37 çeliğinden oluşan deney grubunun en yüksek yardımcı gaz basıncında yapılan kesme işlemidir. Yüksek gaz basınçlarında kullanılan yardımcı gaz basıncının mekanik kuvvetinden yararlanılmaktadır. Bu mekanik güç sayesinde iz şekilleri malzememin üst yüzeyine yakın bir mesafede büküm göstermeye başlamıştır.

Hataların sınıflandırılması: 22 (TS7227)

Çizelge 4.36. LS16 nolu parçanın işlem parametreleri ve sertlik ölçüm değerleri

Parça Adı	LS16			
Malzeme	Fe 37 (St 37)			
Parça Kalınlığı (mm)	2			
İşlem Parametreleri				
Kesme Hızı (mm/dak)	5600			
Güç (watt)	1100			
Odak Noktası (mm)	-2			
Gaz Tipi	Oksijen			
Gaz Basıncı (bar)	7,5			
Sertlik Ölçümleri (HV)				
Yüzey	0.2 mm	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm
160,93	140,25	124,98	116,72	115,42

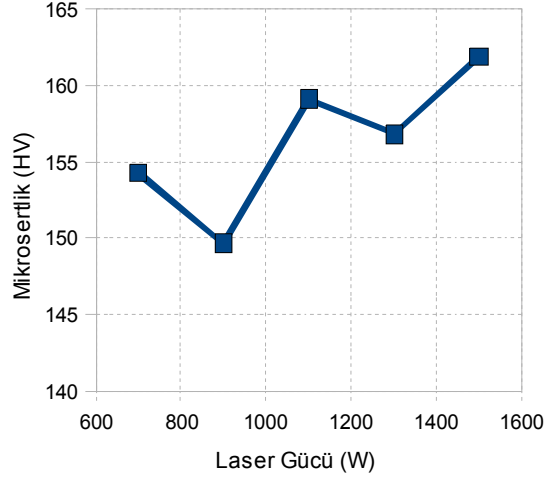
Ölçüm Noktası (mm)	Mikrosertlik (HV)
0	160,93
0,2	140,25
0,4	124,98
0,6	116,72
0,8	115,42

4.10 Laser ile Kesmede Güç ile Yüzey Sertliği Arasındaki İlişki



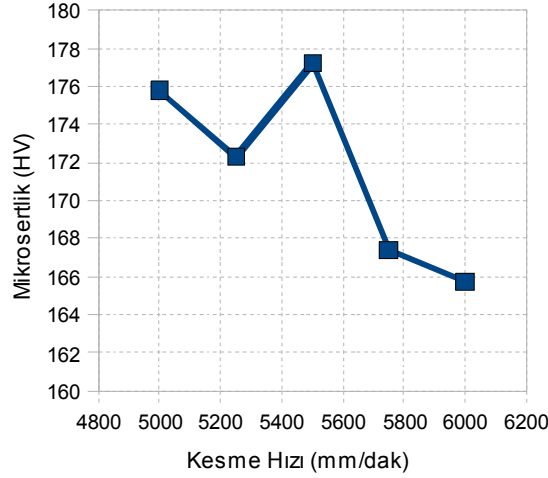
Şekil 4.61. 316 kalite paslanmaz çelik malzemede farklı güçlerdeki sertlik ölçümleri

Laser gücünün kesme yüzeyi üzerindeki sertlik ile ilişkisi üstteki ve alttaki şekillerde verilmiştir. Paslanmaz çeliklerdeki sertlik laser gücü ilişkisi incelendiğinde genel olarak sertlik değerinin güç arttırıldıkça yükseldiği deneysel çalışmalar sonucunda gözlemlenmiştir. Laser gücü arttırıldıkça parçanın maruz kaldığı ısı yük artmaktadır. Bu ısı yük doğrultusunda parçanın soğuma hızına bağlı olarak tane boyutlarında değişimler olacak ve tane sınırlarında krom karbür çökeltme riski artacaktır. Yani sertliğin yükselmesi ince taneli yapıların oluşması ve krom karbür çökeltmesi ile açıklanabilir. St 37 çeliğinden imal edilmiş parçaların laser gücü ile sertlik arasındaki grafik yorumlandığında genel olarak güç arttıkça yüzeydeki sertlikte artmaktadır. St 37 malzemesinde yüzey sertliğini değiştiren en önemli etken soğuma hızıdır. Bu malzemede soğuma hızına bağlı olarak tane boyutları değişmekte ve yapıda martenzit oluşumu gözlemlenmektedir. Yüksek laser güçleri ile kesilen parçalarda hızlı soğuma nedeniyle faz dönüşümleri oluşmakta ve böylece bir sertlik artışı beklenmektedir. Aşağıdaki grafikten de belli olduğu gibi en yüksek sertliğe en yüksek laser gücünde ulaşılmıştır.



Şekil 4.62. St 37 malzemede farklı kesme hızlarındaki sertlik ölçümleri

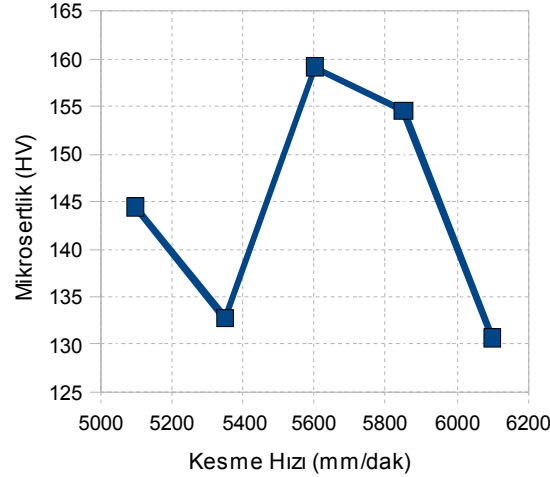
4.11 Laser ile Kesmede Kesme Hızı ile Yüzey Sertliği Arasındaki İlişki



Şekil 4.63. 316 paslanmaz çelik malzemede farklı kesme hızlarındaki sertlik ölçümleri

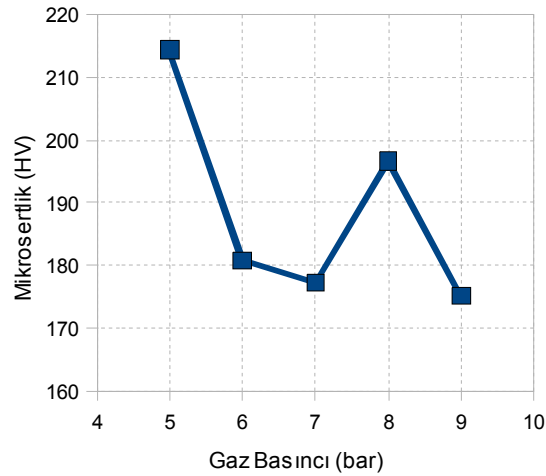
Kesme hızının kesme yüzeyindeki sertliğe etkisi incelendiğinde iki nedenden dolayı sertliğin değiştiği gözlemlenmektedir. Bunlardan birincisi kesme hızına bağlı olarak soğuma hızına göre elde edilen tane büyüklüğü değerleri diğeri ise malzeme türüne bağlı olarak malzemede oluşabilecek değişimlerdir. 316 kalite östenitik paslanmaz çeliğin kesme hızı sertlik grafiği incelendiğinde 5250 ile 5750 mm/dak hızları arasında grafik bir dalgalanma göstermiştir buda bize bu kesme aralığında soğuma hızı nedeniyle ince taneli yapı elde edildiği ve sertliğin arttığını göstermektedir. Buna rağmen artan kesme hızlarında parçanın kesme noktasında daha düşük ısıl girdilere neden olacağından sertlik daha düşük çıkmıştır. Özellikle paslanmaz çeliklerin hız sertlik ilişkisini yorumlarken soğuma hızına bağlı olarak tane sınırlarında krom karbür oluşumu göz önünde bulundurulmalıdır. St

37'den kesilmiş malzemelerin sertlik kesme hızını yorumlandığında laser kesme hızına bağlı olarak soğuma hızına göre elde edilen tane büyüklüğü, kesme işlemi sonrası yüzeydeki sertliğin değişimini daha anlamlı ifade etmektedir. St37'ye ait kesme hızı sertlik grafiği incelenecek olursa serliğin 5400mm/dak ile 5800mm/dak arasındaki değerlerde bir dalgalanma yaşadığı ancak en yüksek hızda ise sertliğin en düşük değerine ulaştığı gözlemlenmiştir. 5600mm/dak kesme hızında en sert yapıya ulaştığı yani en ince tane yapısını elde ettiği görülmüştür.



Şekil 4.64. Fe 37 (St 37) malzemede farklı kesme hızlarındaki sertlik ölçümleri

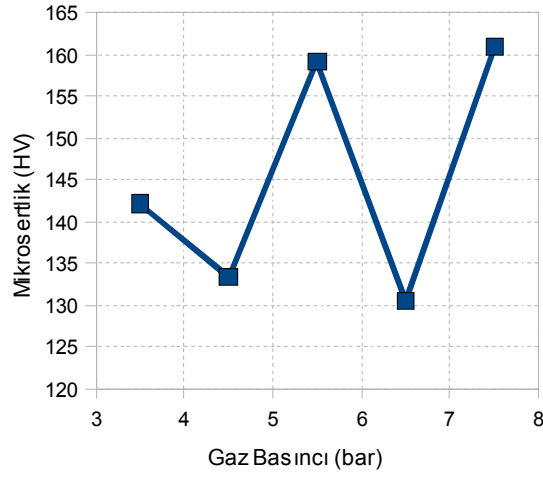
4.12 Laser ile Kesmede Koruyucu Gaz Basıncı ile Yüzey Sertliği Arasındaki İlişki



Şekil 4.65. 316 paslanmaz çelik malzemede farklı gaz basınçlarındaki sertlik ölçümleri

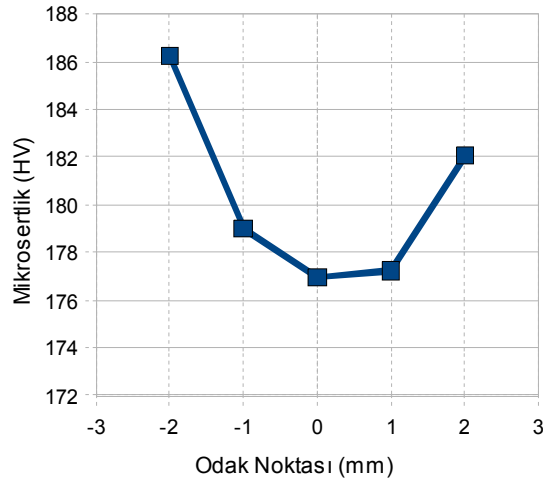
Laser ile kesme işlemlerinde koruyucu gaz basıncı ile sertlik ölçümleri arasındaki grafikler aşağıda ve yukarıda verilmiştir. Bu grafiklere bakılarak gaz basıncına bağlı olarak kesme

işlemlerinde yüzey sertliğinin dalgalı bir grafik çizdiği söylenebilmektedir. 316 kalite östenitik paslanmaz çeliğin grafiğini yorumlandığında en sert yapıya 5 barlık basınçta ulaşılmıştır ve en yumuşak yapıya ise 9 barlık basınçta ulaşılmıştır. Bu doğrultuda genel olarak malzemenin sertliği gaz basıncıyla düşmüştür. St 37'ye ait basınç sertlik grafiği incelendiğinde grafik tamamen dalgalı bir yapı içerisinde ve en düşük sertliğe 6.5 bar'da ulaşırken en büyük sertliğe ise 7.5 bar'da ulaşılmıştır.



Şekil 4.66. Fe 37 (St 37) malzemede farklı gaz basınçlarındaki sertlik ölçümleri

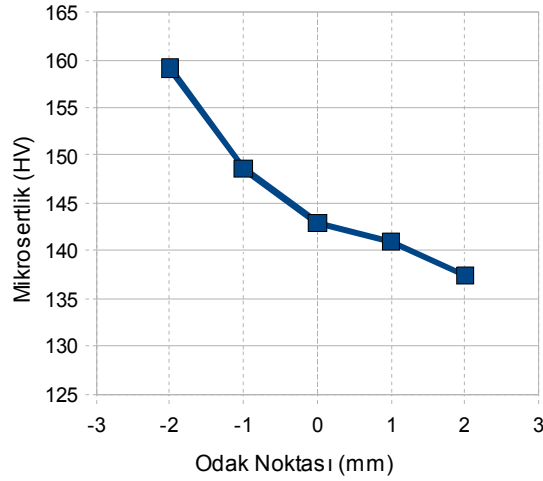
4.13 Laser ile Kesmede Odak Noktası ile Yüzey Sertliği Arasındaki İlişki



Şekil 4.67. 316 paslanmaz çelik malzemede farklı odak noktalarındaki sertlik ölçümleri

Laser ile kesme işlemlerinde odak noktası ile yüzey sertliği arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler aşağıda ve yukarıda gösterilmiştir. Bu grafikleri tek tek yorumlayacak olursak en

yüksek sertliğe her iki grafikte de -2 odak noktasında ulaşılmıştır. Ayrıca sertlik değerinin 316 kalite östenitik paslanmaz çelikte odak noktası değiştiğinde önce azaldığı sonra arttığı gözükmektedir. Ancak aynı şekilde St 37 malzemedeki sertlik ölçümleri incelendiğinde odak noktası malzemeye doğru yaklaştıkça ve malzemenin içine girdikçe sertlik azalmaktadır.



Şekil 4.68. Fe 37 (St 37) malzemedeki farklı odak noktalarındaki sertlik ölçümleri

Çizelge 4.37. TS 7227'ye göre oksijen, plazma ve laser ile kesmede oluşan kesme hataları ve sınıflandırılması (Tülbentçi ve Kaluç, 2003).

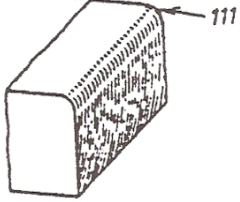
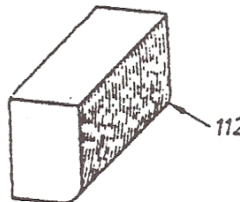
Grup 1 Kesme Kenarı Hataları

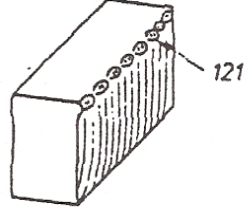
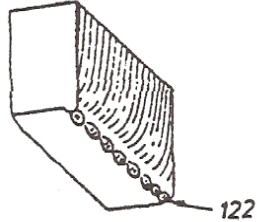
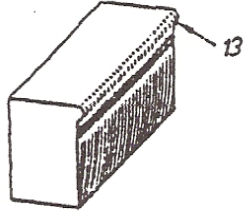
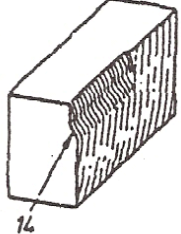
Grup 2 Kesme Yüzeyi Hataları

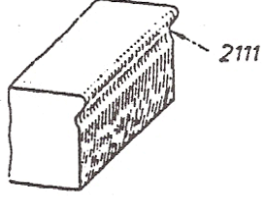
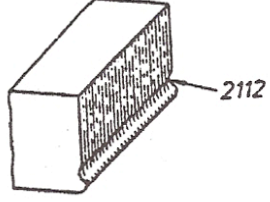
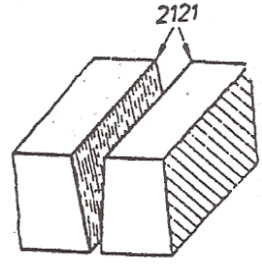
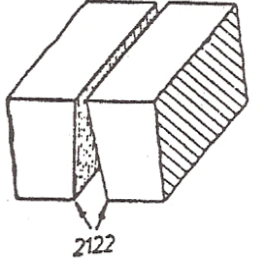
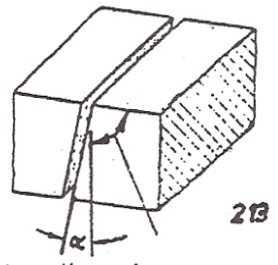
Grup 3 Curuf Kalıntısı

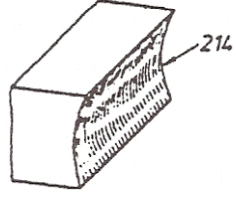
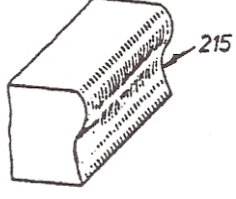
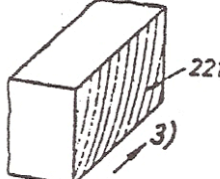
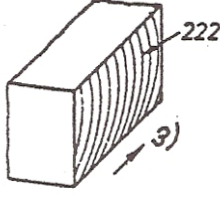
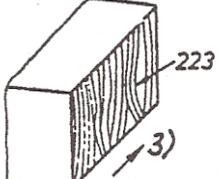
Grup 4 Çatlaklar

Grup 5 Diğer Hatalar

Sınıflandırma No:	Adlandırma	Tanım	Resimli açıklama
HATA GRUBU 1 KESME KENARI HATALARI			
1	Kesme kenarı hatası	Kesme kenar bölgesinde, ergime veya aşınma vasıtasıyla mey-dana gelen kesme yüzeyi hasarlıdır,	
11	Kesme kenarı ergimesi	Kesme kenarının çok fazla yuvarlanmasıdır.	
111		Üst Kesme kenarındaki ergime	
112		Alt kesme kenarındaki ergime	
12	Sıra halinde katılmış damlacıklar	Katılmış malzeme damlacıklarının kesme kenarları boyunca zincir şeklinde ard arda dizilmesi	

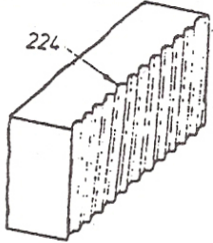
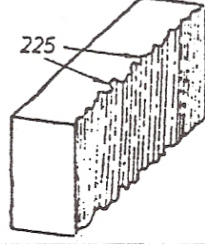
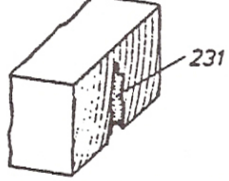
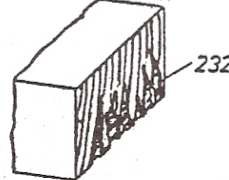
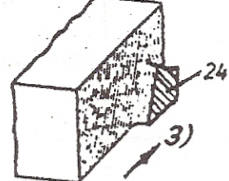
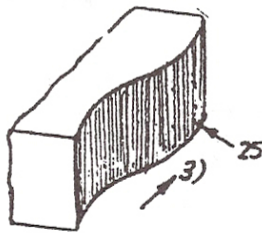
Sınıflandırma No	Adlandırma	Tanım	Resimli Açıklama
121		Kesme kenarının üst kısmında meydana gelen zincirleme kablaşmış damlacıklar	
122		Kesme kenarının alt kısmında meydana gelen zincirleme kablaşmış damlacıklar	
13	Kesme kenarı sarkması	Üst kesme kenarında meydana gelen malzeme sarkması	
14	Üst kesme kenarının aşağı doğru ergimesi	Üst kesme kenarının aşağı doğru ergiyerek oyulması	
HATA GRUBU 2 KESME YÜZEYİ HATALARI			
2	Kesme kenarı hatası	İdeal kesme yüzeyinden sapma	
21	Düz olma	Kesme yüzeyini düz olmaması ¹⁾	
<p>1) Düzlükten sapma teorik olarak uygun açıda olduğunda (Mesela dik açılı kesme durumunda 90°) kesme yüzeyi profiline en düşük ve en yüksek noktalarda temas eden iki paralel düzlem arasındaki mesafedir.</p>			

Sınıflandırma No	Adlandırma	Tanım	Resimli Açıklama
211	İç bükey kesme yüzeyi	Kesme yüzeyinin kesme kenarına yakın olarak oyuklaşması	
2111		Oyuklaşmanın üst kesme kenarı altında olması	
2112		Oyuklaşmanın alt kesme kenarı altında olması	
212	Yarığın genişlemesi	Yarık genişler	
2121		Yarık genişlemesinin iş parçasının üzerinde olması	
2122		Yarık genişlemesinin iş parçasının alt kenarında olması	
213	Kesme açısı sapması	Muntazam yarık genişliğindeki kesme açısının istenen değerleri sağlamaması	

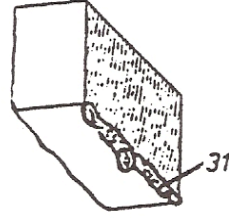
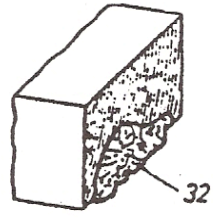
Sınıflandırma No	Adlandırma	Tanım	Resimli Açıklama
214	Kesme yüzeyi iç bükey profili	Kesme yüzeyinin, tüm kesme kalınlığı boyunca özellikle orta bölgede oyuklaşması	
215	Dalgali kesme yüzeyi profili	Kesme yüzeyinin, kesme kalınlığı yönünde dalgali olması	
22	Sürüklenme hattı hatası	Sürüklenme ²⁾ hatlarının normal şekillerden 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 arasının belirgin olarak genişlemesidir	
223	Sürüklenme hatlarının yerel sapması	Sürüklenme hatlarının muntazam sürüklenme hattı şeklinden kesme yönünde ve/veya ters yönde sapması	

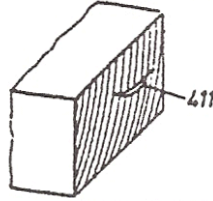
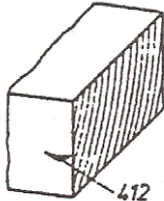
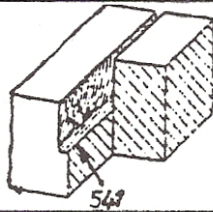
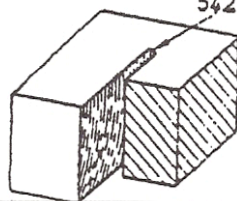
2) Sürüklenme, gaz kesme düzleminde teorik çıkış ile kesilen metalin alt yüzeyinde kesme gazı akıntısının gerçek çıkışı arasında, kesme yönündeki mesafedir.

3) Ok işareti kesme yönünü gösterir

Sınıflandırma No	Adlandırma	Tanım	Resimli Açıklama
224	Aşırı sürüklenme hattı derinliği ⁴⁾	Sürüklenme hatlarının oluklar şekli alması	
225	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 derinliği aşınmasından fazladır	
231	Tek tek oyulma	Oyulmanın birbirinden ayrı yerlerde olması	
232	Toplu oyulma	Oyulmanın gruplar halinde olması	
24	Kesme yüzeyi sonunun tamamiyle ayrılmaması	Kesme sonunda kalan üçgen şeklinde kısım	
25	Kesme yüzeyi dalgalanması	Kesme yüzeyinin kesme yönünde dalgalanması	

4) Sürüklenme hattı derinliği, kesme yönünde dik açıda muayene edilen hal boyunca esas profil ve gerçek profil arasındaki en büyük mesafedir.

Sınıflandırma No	Adlandırma	Tanım	Resimli Açıklama
HATA GRUBU 3 CURUF KALINTILARI			
3	Curuf yapışması	Kaldırılması zor olan curuflar	
31	Kesme kenarı altında curuf yapışması	Kesme kenarının alt tarafında meydana gelen kaldırılması zor olan curuf	
32	Kesme yüzeyinde curuf parçası	Özellikle kesme yüzeyinin alt kısmındaki kaldırılması zor olan curuf parçası	
HATA GRUBU 4 ÇATLAKLAR			
4	Çatlak	İki boyutlu uzanan sınırlı malzeme ayrılması	
401	Mikro çatlak	Sadece altı kaldan fazla büyütmelerde görülebilen çatlak	
402	Makro çatlak	Normal olarak gözle bakıldığında veya altı defa büyütmeye kadar görülebilen çatlak	
41	Uzunlamasına çatlak	Kesme yönünde ilerleyen çatlak	
3) Ok işareti kesme yönünü gösterir.			

Sınıflandırma No	Adlandırma	Tanım	Resimli açıklama
411		Kesme yüzeyi üzerindeki gözle görülebilir çatlak	
412		Kesme yüzeyinin hemen altın-da ısıdan etkilenmiş bölgede sadece dik veya enine kesit-te metalografik incelemede gözle görülebilen çatlak	
HATA GRUBU 5 DİĞER HATALAR			
5	Diğer hatalar	1 ve 4 hata gruplarına girmeyen hatalar	
51	Başlangıcındaki hata	Kesme başındaki hata	
52	Delinme hatası	Bir delik şeklinde hata	
53	Aşırı yarık genişliği	Yarık fazla genişlemiş	
54	Kesme kaybı	Kesilmemiş malzemedeki kesme sonları	
541		Kesme derinliği yönündeki	
542		Kesme yönünde	
55	Üst yüzey yarığı	Isı tesiriyle iş parçası yüzeyinin hasara uğraması	
56	Boyut hatası	İstenen boyuttan sapma ⁵⁾	
5) Boyut sapması, teknik resim üzerinde verilen anma ölçüsü ile kesme işleminden sonra temizlenmiş yüzey üzerinden ölçülen değer arasındaki sapmadır.			

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada termik kesme yöntemleri içerisinde yer alan gaz ergitme, plazma ve laser ile kesme işlemleri tanıtılmış ve bu yöntemlerde seçilen işlem parametrelerinin kesme yüzeyi, kesme kalitesi ile yüzey sertliğine olan etkileri incelenmiştir.

İncelenen ilk teknik olan oksijen ile kesme günümüzde en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Bunun nedeni diğer termik kesme yöntemlerine göre daha ucuz olması, el ile kesme yapan tezgahlarının portatif özellik taşıması ve ek bir elektrik gücüne ihtiyaç duymamasıdır. Ancak alaşımlı çeliklerin kesilmesinde kullanılamaması yöntemin en büyük dezavantajı olarak ortaya çıkmaktadır. Plazma ile kesme işlemine oksijenle kesilemeyen veya çok sınırlı kesme kabiliyetine sahip malzemelerin kesilmesi için başvurulabilmektedir. Bu malzemeler içerisinde yüksek alaşımlı çeliklerin tümü ve hafif metaller yer almaktadır. Ancak plazma ile kesme işlemlerinde oluşan yüzey kalitesi de, oksijen ile kesmedeki gibi sınırlı kalmaktadır. İşte bu noktada gündeme laser ile kesme işlemleri gelmektedir. Oksijenle kesme veya plazma kesme yöntemleriyle yeterli derecede kesilemeyen ince saçlarda laser ışını ile kesmenin geliştirilmesiyle, yüksek kalitede ve hassas kesme işlemlerinin yapılabilmesi sağlanmıştır. Ancak laser ile kesilebilen malzeme kalınlığı diğer yöntemlerle kıyaslandığında çok ince kalmaktadır.

Bu çalışmada uygulanan oksijen ile kesme işlemlerinde işleme etki eden iki temel parametre değiştirilerek bu parametrelerin kesme yüzeyi, kesme kalitesi ile yüzey sertliğine olan etkileri incelenmiştir. Bu temel parametreler kesme oksijeni basıncı ile kesme hızıdır. Yapılan deneysel çalışmalarda malzeme kalınlığı sabit olup 6mm, kesme hızı 300-650 mm/dak aralığında, oksijen gazı basıncı 1-6 bar arasında değişen farklı değerler seçilerek numuneler kesme işlemine tabi tutulmuşlardır. Kesme işlemi takiben yapılan incelemelerde kesme kalitesinin kesme hızının artışına koşut olarak arttığı, buna karşılık, düşük kesme hızlarında TS 7227'ye göre sınıflandırma numarası ile 112, 31, 32... gibi hataların ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Oksijen gazı basıncının etkisi incelendiğinde ise 2,5 ve 3 barlık basınçlarda yapılan kesme işlemlerinde malzemenin yüzey kalitesinde artma olmasına rağmen bunun dışındaki gaz basınçlarında sınıflandırma numarası 122, 31 ve 32... gibi hataların ortaya çıktığı görülmüştür.

Çalışmada uygulanan diğer bir yöntem olan plazma ile kesme işlemlerinde ise akım değeri ve kesme hızı değerleri değiştirilmek suretiyle bu değerlerin kesme yüzeyi, kesme kalitesi ile yüzey sertliğine olan etkileri incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda St 37 ve 316 kalite paslanmaz çelik olmak üzere iki farklı malzeme kullanılmıştır. Bu kez kalınlığı 2

mm olarak seçilen malzemeler 3000-7000mm/dak aralığında kesme hızı ve 100-200 A aralığında akım değerleri uygulanmak suretiyle kesme işlemine tabi tutulmuştur. Numunelerin kesme yüzeyleri incelendiğinde St 37 malzemedeki farklı kesme hızı değerlerinde TS 7227'ye göre 31, 111, 112... gibi çeşitli hata türlerinin farklı akım değerlerinde ise sınıflandırma numarası 31 olan "kesme kenarı altında cüruf yapışması" hatasının meydana geldiği görülmüştür. 316 kalite paslanmaz çelikte ise kesme hızındaki değişimler 111 ve 122 nolu, akım değerindeki değişimler ise 111 ve 221 nolu hatalara neden olduğu gözlemlenmiştir.

Deneysel çalışmaların son bölümünde kullanılan laser ile kesme işlemine ise kesme hızı, kesme gücü, odak noktası ve gaz basıncı gibi parametreler seçilerek bunların kesme yüzeyi, kesme kalitesi ile yüzey sertliğine olan etkileri incelenmiştir. Bu bölümde yapılan çalışmalarda 2mm kalınlığında St 37 ve 316 kalite paslanmaz çelik olmak üzere iki farklı malzeme kullanılmıştır. St 37 malzeme ile yapılan deneysel çalışmalarda kesme hızı 5100 mm/dak ile 6100 mm/dak, güç değerleri 700 watt ile 1500 watt, odak noktası uzaklığı 2mm ile -2mm ve gaz basıncı 3,5 bar ile 7,5 bar arasında değişen farklı değerler seçilerek numuneler kesme işlemine alınmışlardır. Anılan yöntemle kesilen bu numuneler incelendiğinde; kesme hızındaki değişimlerin TS 7227'ye göre 2, laser gücündeki değişimlerin 31 ve 32, odak noktasındaki değişimlerin 2 ve 31, gaz basıncı değerindeki değişimin ise 22 nolu hataların oluşmasına neden olduğu görülmüştür. 316 kalite paslanmaz çelik ile yapılan deneysel çalışmalarda kesme hızı 5000 mm/dak ile 6000 mm/dak, laser gücü değerleri 3000 watt ile 3800 watt, odak noktası değerleri -2mm ile 2mm ve gaz basıncı değerleri 5 bar ile 9 bar arasında değişen parametrelerde çeşitli numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler incelendiğinde TS 7227'ye göre kesme hızındaki değişim 111 ve 221 nolu, güç parametrelerindeki değişimin 111, 221 ve 32 nolu, odak noktasındaki değişimin 111 ve 221 nolu ve koruyucu gaz basıncındaki değişimlerin ise 111, 221 ve 32 nolu hataların oluşmasına neden olduğu gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak farklı malzemelerin kesilmesinde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Kesme yöntemine veya malzemeye bağlı çeşitli parametrelerde çok değişik hata türleri ortaya çıkabilmektedir. Dolayısıyla optimum sonuçlara ulaşabilmek için çok sayıda değişkeni göz önünde bulundurmak gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Anık, S. Vural, M. ve Oğur, A. (1996), Termik Kesme Teknolojisi, Gedik Eğitim Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Anık, S. Vural, M. ve Dikicioğlu, A. (1999), İmal Usulleri, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Tülbentçi, K., Kaluç, E. (2003), Gaz Ergitme Kaynağı ve Oksijenle Kesme, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara
- Handbook Committee, (1992), “ASM Handbook Volume 6 Welding, Brazing and Soldering”, ASM International.
- Handbook Committee, (1989), “Metals Handbook Volume 6 Welding, Brazing and Soldering”, ASM International.
- Gourd, L.M., (1996), “Kaynak Teknolojisinin Esasları”, Çev., B. Eryürek, O. Bodur ve A. Dikicioğlu, Birsen Yayınevi, 21-122, İstanbul.
- Vural, M., Akkuş, A., (2001), “Alevle Kesmede Kesme Parametrelerinin Yüzey Kalitesine Etkisi”, Kaynak Teknolojisi 3. Ulusal Kongresi, Ekim 2001, İstanbul.
- Karadeniz, S., (1990), Plazma Tekniği, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara
- Akçam, Ö., (1996), “Termik Kesme Yöntemlerinin –Otojen Tekniği, Plazma Tekniği, Laser Tekniği- Karşılaştırılması”, Mühendis ve Makina, 37(436):22-30
- Kutlu, A., Monno, M., Bini, R., (2005), “Plazma ile Kesme Metoduna Genel Bir Bakış”, Mühendis ve Makina, 46(541):21-29
- Karkın, S., (2006), “Plazma Arkı ile Kesme Prensipleri”, Oerlikon Kaynak Elektrodları ve San. A.Ş., İstanbul
- Ghany, A., Newishy, M. (2005), “Cutting of 1.2mm thick austenitic stainless steel sheet using pulsed and CW Nd:YAG laser”, Journal of Materials Processing Technology, 168: 438–447
- Karaaslan, A., (2009), Laser ile Malzeme İşlemleri, Literatür Yayınevi, İstanbul
- Anık, S. Vural, M. (2001), Kaynak ve Kesme Teknolojisinde Parametre Değer Tabloları, Birsen Yayın Evi, İstanbul.

İNTERNET KAYNAKLARI

- [1] www.hypertherm.com
- [2] www.istanbullazer.com.tr
- [3] www.plasmas.org

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	15.03.1984	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1996-2002	Vefa Anadolu Lisesi
Lisans	2002-2007	Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2007-2009	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı
Çalıştığı kurum		
	2008-2009	Şener Teknik Paslanmaz Mamülleri Ltd. Şti.