

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**METAL KESME TEKNOLOJİLERİNDE KESME
YÜZEYLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tek.Öğr. Cem TOPALOĞLU

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Zafer TATLI

Bu tez 04 / 02 /2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Zafer TATLI
Jüri Başkanı



Prof. Dr. Fatih ÜSTEL
Üye



Yrd. Doç. Dr. Uğur ÖZSARAÇ
Üye



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

**METAL KESME TEKNOLOJİLERİNDE KESME
YÜZEYLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tek.Öğr. Cem TOPALOĞLU

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Zafer TATLI

Şubat 2010

TEŞEKKÜR

Çalışmalar sırasında bana yardımcı olan mesai arkadaşlarım Yılıenci Tic. ve San. A.Ő.çalışanlarına, ölçümlerim sırasında bana yardımcı olan Elimsan Şalt Cihazları ve Elektromekanik San. ve Tic. A.Ő. çalışanlarına teşekkür ederim. Bu çalışama sırasında fikir ve tecrübeleriyle bana yardımcı olan ve çalışmalarım sırasında beni yönlendiren danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Zafer Tatlı' ya sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında beraber çalıştığım değerli arkadaşım Özman Kon' a, hiçbir zaman benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen kıymetli eşim Hilal Topaloğlu' na oğullarım Mert ve Erdem'e teşekkürlerimi sunarım.

Şubat 2010
Cem TOPALOĞLU

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvi

BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
------------	---

BÖLÜM 2.

DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ.....	5
2.1. Çeliklerin Karbon Oranına Göre Sınıflandırılması.....	6
2.1.1. Düşük karbonlu çelikler.....	7
2.1.1.1. Yumuşak çelikler.....	7
2.1.1.2. Çok yumuşak çelikler.....	7
2.1.2. Orta karbonlu çelikler.....	8
2.1.2.1. Genel dövme çelikleri.....	8
2.1.2.2. Mil çelikleri.....	8
2.1.3. Yüksek karbonlu çelikler.....	9
2.1.4. Sementasyon çelikleri.....	9
2.1.5. Islah çelikleri.....	11
2.1.6. Takım çelikleri.....	12
2.1.6.1. Soğuk iş takım çelikleri.....	15
2.1.6.2. Sıcak iş takım çelikleri (H Grubu).....	17
2.1.6.3. Yüksek hız takım çelikleri (T ve W grubu).....	19

2.1.6.4. Suda soğutmalı takım çelikleri(W gurubu).....	22
2.1.6.5. Şoka dirençli takım çelikleri (S gurubu).....	23
2.1.6.6. Kalıp çelikleri (P grubu).....	24
2.1.6.7. Özel alaşımlı takım çelikleri (Lve F grubu).....	24
2.2. Paslanmaz Çelikler.....	25
2.2.1. Ferritik paslanmaz çelikler.....	28
2.2.2. Ostenitik paslanmaz çelikler.....	32
2.2.3. Martenzitik paslanmaz çelikler.....	35
2.2.4. Ostenitik-Ferritik (Dubleks)paslanmaz çelikler.....	38
2.2.5.Çökeltme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelikler.....	40
2.3.Alüminyum ve Alaşımlarının Özellikleri	41
2.3.1. Alüminyum özellikleri	41
2.3.2.Alüminyumun genel karakteristikleri	42
2.3.3.Alüminyumun fiziksel özellikleri	42
2.3.4. Alüminyum mukavemet özellikleri	43
2.3.5.Alüminyum alaşımları	43
2.3.5.1. Alüminyum döküm alaşımları.....	46
2.3.5.2. Alüminyum işleme alaşımları.....	47
2.3.5.3. Alüminyum ön alaşımları.....	47

BÖLÜM 3

METAL KESME YÖNTEMLERİ.....	49
3.1.Lazer İle Kesim.....	49
3.1.2 Lazer çeşitleri.....	50
3.1.2.1.Katı cisim lazeri	50
3.1.2.2.Gaz lazerleri.....	51
3.1.2.3. Sıvı lazeri.....	52
3.1.3. Endüstriyel alanda kullanılan lazerler.....	52
3.1.3.1. Karbondioksit (CO2) lazeri.....	53
3.1.3.2. Nd:YAG lazeri.....	53
3.1.3.3. Excimer lazeri.....	54
3.1.4. Lazer ışığının özellikleri.....	54

3.1.5. Lazer işleme merkezlerinde aranması gerekli temel kriterler.....	55
3.1.6. Lazer kesim sayesinde	57
3.1.7.Sonuç olarak	58
3.2.Plazma Arkı İle Kesme.....	58
3.2.1.Plazma ile kesme teknolojisi.....	59
3.2.2. Plazma ile kesilebilen malzemeler.....	65
3.2.3. Plazma ile kesmede kullanılan gazlar ve özellikleri.....	65
3.2.4. Plazma ile kesmede önemli parametreler.....	66
3.2.5. Plazma ile kesmede kalite.....	67
3.2.6. Plazma ile kesmede yeni gelişmeler.....	69
3.3.Su Jeti İle Kesme Yöntemi.. ..	70
3.3.1. Su jetinin çalışma ilkesi.....	71
3.3.2. Su jetinin uygulandığı malzemeler.....	72
3.3.3. Su jetinin kullanım alanları ve kullanım alanına uygun su jeti sistemi seçimi.....	73
3.3.3.1. Gıda sektöründe.....	74
3.3.3.2. Kağıt ve mukavva sanayinde.....	74
3.3.3.3. Tekstil ve giyim sektöründe.....	75
3.3.3.4. Kauçuk ve plastik sanayinde.....	76
3.3.3.5. Temizlik sektöründe.....	76
3.3.3.6. Ayakkabı ve deri sanayinde.....	76
3.3.3.7. İzolasyon uygulamalarında.....	76
3.3.3.8. Cam, Mermer, Granit ve Seramik sektöründe.....	76
3.3.3.9. Metal işleme sektöründe.....	77
3.3.3.10. Elektrik-Elektronik sanayinde.....	77
3.3.3.11. Otomotiv sanayinde.....	78
3.3.3.12.Uzay ve havacılık sektöründe.....	78
3.3.4. Su jetinin diğer yöntemlerle karşılaştırılması.....	79
3.4.Tel Erozyon İle Kesme Yöntemi.....	82
3.4.1 Tel erozyon ile işleme tipleri.....	85
3.4.2. Tel seçimi ve tel tipleri.....	86

3.5.Oksigaz Yöntemiyle Kesme.....	90
3.5.1. Kaynak alevi.....	92
3.5.2. Alev ayarı çeşitleri.....	93
3.5.3. Kaynak alevinin hazırlanması.....	96
BÖLÜM 4.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	98
4.1 Giriş.....	98
4.2. Deneysel Çalışmalar.....	99
4.2.1. Kullanılan malzemenin özellikleri.....	99
4.3. Deneylerde Kullanılan Tezgah ve Cihazlar	102
4.3.1. Lazer kesim tezgahları.....	102
4.3.2. Plazma kesim tezgahları.....	105
4.3.3. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı.....	107
4.3.3. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı.....	107
4.3.4. Sertlik ölçüm cihazı.....	107
4.3.5. SEM cihazı.....	107
4.4. Lazer Kesme İşlemi.....	107
4.5. Plazma Kesme İşlemi	110
4.6. Numuneleri İnceleme	112
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR	113
5.1 Giriş.....	113
5.2. Metalografik İnceleme.....	113
5.3. Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri.....	116
5.4. Sertlik Ölçümleri.....	120
5.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	124
4.6. Numuneleri İnceleme	112
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER	131
6.1. Sonuçlar	131

6.2. Değerlendirmeler.....	131
6.3. Öneriler.....	132
KAYNAKLAR.....	133
ÖZGEÇMİŞ.....	136

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Hız çeliklerinde karbür dağılımı.....	21
Şekil 2.2.	Schaeffler diyagramı	27
Şekil 2.3.	Ferritik paslanmaz çelikler	26
Şekil 2.4.	Ferritik paslanmaz çeliğin mikro yapısı	30
Şekil 2.5.	Ostenitik paslanmaz çelikler.....	33
Şekil 2.6.	Ostenitik paslanmaz çeliğin mikro yapısı	35
Şekil 2.7.	Martenzitik paslanmaz çelikler	37
Şekil 2.8.	Martenzitik paslanmaz çelik mikro yapısı	38
Şekil 2.9.	Dubleks paslanmaz çelikler	39
Şekil 2.10.	Dubleks paslanmaz çelik mikroyapısı	40
Şekil 2.11.	Çökeltme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelikler	41
Şekil 3.1.	Katı Cisim lazer sistemi	50
Şekil 3.2.	Kurşunlanmış tüplü gaz lazeri.....	51
Şekil 3.3.	Sıvı lazer sistemi	52
Şekil 3.4.	Lazer ısını ile kesmenin prensibi	58
Şekil 3.5.	Plazma ile kesme	60
Şekil 3.6.	Termal kesme metotları	61
Şekil 3.7.	Plazma ile kesme sistemi	61
Şekil 3.8.	Torç kafası parçaları	62
Şekil 3.9.	Torç parçaları ve girdap etkisi.....	63
Şekil 3.10.	Pilot ark ve plazma oluşumu	64
Şekil 3.11.	Plazma ile kesme parametreleri	67
Şekil 3.12.	Plazma kesmede kaliteyi belirleyen etmenler.....	69
Şekil 3.13.	(a) Razor Cutting (Komatsu Cutting Tech.) (b) HyDefinition teknolojisi	70
Şekil 3.14.	Aşındırıcı beslemesi yandan olan tekli su jeti lüle tasarımı.....	70

Şekil 3.15.	Aşındırıcı beslemesi yandan olan tekli ve merkezden olan çoklu su jeti tasarımları	72
Şekil 3.16.	Tel Erozyon yönteminin şematik görünüşü.....	83
Şekil 3.17.	Tel Erozyon tezgâhının ana kısımları	84
Şekil 3.18.	Tel Erozyon ile delme ve oyma yöntemi.....	85
Şekil 3.19.	Tel Erozyon ile kesme yöntemi.....	86
Şekil 3.20.	Oksijenle serbest elde kesmenin yapılışı.....	90
Şekil 3.21.	Oksijenle aparatlı boru kesme	91
Şekil 3.22.	Oksijenle kesme aşamaları.....	92
Şekil 3.23.	Oksi - asetilen alevi	92
Şekil 3.24.	Oksi-asetilen alevinin sıcaklık dağılımı	93
Şekil 3.25.	Asetilen fazlası alev	94
Şekil 3.26.	Normal alev	95
Şekil 3.27.	Sert alev (oksijen fazlası alev).....	96
Şekil 3.28.	Basınç regülâtörü	97
Şekil 4.1.	Lazer ve plazma kesiminde kullanılan numune boyutları.....	101
Şekil 4.2.	Lazer ve plazma kesiminde kullanılan numune boyutları.....	101
Şekil 4.3.	Mazak SPGEAR 510-2,5 KW lazer kesim tezgahı.....	102
Şekil 4.4..	Ermaksan LAZERMAK EL 3004-4 KW lazer kesim tezgahı.....	103
Şekil 4.5.	Mazak SPGEAR 510-2,5 KW lazer kesim tezgahı ile kesilen form verilmiş parça.....	104
Şekil 4.6.	Mazak SPGEAR 510-2,5 KW lazer kesim tezgahı ile kesilen paslanmaz boru.....	104
Şekil 4.7.	Ermaksan LAZERMAK EL 3004-4 KW lazer kesim tezgahı ile kesilen çeşitli malzemeler.....	105
Şekil 4.8.	Esab HD4070 plazma kesim tezgahı.....	105
Şekil 4.9.	Durma HPR 260 Plazma kesim tezgahı.....	106
Şekil 5.1.	Kesme işlemine tabi tutulmuş S235JRG2 çeliği a) plazma kesim b) lazer kesim.....	114
Şekil 5.2.	Kesme işlemine tabi tutulmuş 304L paslanmaz çeliği a) plazma kesim b) lazer kesim.....	114
Şekil 5.3.	Kesme işlemine tabi tutulmuş 1050A alüminyum parçası a) plazma kesim b) lazer.....	115

Şekil 5.4.	Kesme işlemine tabi tutulmuş numunelerin kesme yüzeyinin görüntüsü a) plazma kesim	115
Şekil 5.5.	Mazak lazer tezgahı ile kesilen numunelerin ölçüm değerleri kıyaslaması.....	117
Şekil 5.6.	Ermaksan lazer tezgahı ile kesilen numunelerin ölçüm değerleri kıyaslaması.....	118
Şekil 5.7.	Esab plazma tezgahı ile kesilen numunelerin ölçüm değerleri kıyaslaması.....	119
Şekil 5.8.	Durma plazma tezgahı ile kesilen numunelerin ölçüm değerleri kıyaslaması.....	120
Şekil 5.9.	Truers Duramin-A300 vickers mikrosertlik cihazında ölçülen numunelerin sertlik ölçüm şeklinin şematik gösterimi.....	121
Şekil 5.10.	Truers Duramin-A300 vickers mikrosertlik cihazında ölçülen numunelerin sertlik ölçüm sonuçları kıyaslaması.....	122
Şekil 5.11.	Truers Duramin-A300 vickers mikrosertlik cihazında ölçülen S235JRG2 çeliğinin sertlik ölçüm sonuçları.....	122
Şekil 5.12.	Truers Duramin-A300 vickers mikrosertlik cihazında ölçülen 304L paslanmaz çeliğinin sertlik ölçüm sonuçları.....	123
Şekil 5.13.	Truers Duramin-A300 vickers mikrosertlik cihazında ölçülen 1050A alüminyum numunenin sertlik ölçüm sonuçları.....	123
Şekil 5.14.	LE3 S235JRG2 numunesinin ITAB bölgesinin SEM fotoğraf görüntüsü.....	124
Şekil 5.15.	LE3 S235JRG2 numunesinin ana matris bölgesinin SEM fotoğraf görüntüsü.....	125
Şekil 5.16.	PD3 S235JRG2 numunesinin ITAB bölgesinin SEM fotoğraf görüntüsü.....	125
Şekil 5.17.	PD3 S235JRG2 numunesinin ana matris bölgesinin SEM fotoğraf görüntüsü.....	126
Şekil 5.18.	LE10 304 L paslanmaz numunesinin ITAB bölgesinin SEM fotoğraf görüntüsü.....	126
Şekil 5.19.	LE10 304 L paslanmaz numunesinin ana matris bölgesinin SEM fotoğraf görüntüsü.....	127

Şekil 5.20.	PE12 304 L paslanmaz numunesinin ITAB bölgesinin SEM fotoğraf görüntüsü.....	127
Şekil 5.21.	PE12 304 L paslanmaz numunesinin ana matris bölgesinin SEM fotoğraf görüntüsü.....	128
Şekil 5.22.	LM12 1050A alüminyum numunesinin ITAB bölgesinin SEM fotoğraf görüntüsü.....	128
Şekil 5.23.	LM12 1050A alüminyum numunesinin ana matris bölgesinin SEM fotoğraf görüntüsü.....	119
Şekil 5.24.	PD16 1050A alüminyum numunesinin ITAB bölgesinin SEM fotoğraf görüntüsü.....	119
Şekil 5.25.	PD16 1050A alüminyum numunesinin ana matris bölgesinin SEM fotoğraf görüntüsü.....	130

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Alaşımsız çelikler içerisinde bulunan alaşım elementlerinin üst sınırları	6
Tablo 2.2.	Az karbonlu çeliklerin kimyasal bileşim aralıkları	7
Tablo 2.3.	Orta karbonlu çeliklerin kimyasal bileşim aralıkları.....	8
Tablo 2.4.	Yüksek karbonlu çeliklerin kimyasal bileşim aralıkları.....	9
Tablo 2.5.	Bazı paslanmaz çelik kaliteleri ve kimyasal bileşimleri.....	28
Tablo 2.6.	Uluslararası alüminyum standartları.....	45
Tablo 3.1.	HD3070 Sistemi gaz tablosu.....	66
Tablo 3.2.	Su Jeti sistemlerinin kullanım alanları.....	73
Tablo 3.3.	Aşındırıcı kullanılma durumuna göre su jeti ile işlenebilen malzemeler.....	79
Tablo 3.4.	Su Jetinin diğer yöntemlerle karşılaştırılması.....	80
Tablo 3.5.	Tel çapı ve is parçası kalınlığı arasındaki ilişki.....	87
Tablo 3.6.	Kesilecek iç bükey radyüs limitleri.....	87
Tablo 3.7.	Bakır telin karakteristikleri.....	88
Tablo 3.8.	Saf pirinç telin kopma mukavemetleri.....	89
Tablo 3.9.	Molibden telin karakteristikleri.....	90
Tablo 3.10.	Gazların hacim oranlarına göre alev ısısı ve türü.....	96
Tablo 4.1.	DeneySEL çalışmalarda kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimi.....	100
Tablo 4.2.	DeneySEL çalışmalarda kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri.....	100
Tablo 4.3.	DeneySEL çalışmalarda kullanılan Mazak lazer tezgahının kesim parametreleri.....	108
Tablo 4.4.	DeneySEL çalışmalarda kullanılan Ermaksan lazer tezgahının kesim parametreleri.....	109

Tablo 4.5.	Deneysel çalışmalarda kullanılan Esab plazma tezgahının kesim parametreleri.....	110
Tablo 4.6.	Deneysel çalışmalarda kullanılan Durma plazma tezgahının kesim parametreleri.....	111
Tablo 5.1.	Mazak lazer tezgahı ile kesilen numunelerin ölçüm değerleri.....	116
Tablo 5.2.	Ermaksan lazer tezgahı ile kesilen numunelerin ölçüm değerleri.....	117
Tablo 5.3.	Esab plazma tezgahı ile kesilen numunelerin ölçüm değerleri.....	118
Tablo 5.4.	Durma plazma tezgahı ile kesilen numunelerin ölçüm değerleri.....	119
Tablo 5.5.	Truers Duramin-A300 vickers mikrosertlik cihazında ölçülen numunelerin sertlik ölçüm sonuçları.....	121

METAL KESME TEKNOLOJİLERİNDE KESME YÜZEYLERİNİN İNCELENMESİ

Cem TOPALOĞLU

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Lazer kesim, Plazma kesim, Yüzey pürüzlülüğü

Bu çalışmada S235JRG2 çelik kalınlığı 4-15 mm arasında, AISI 304 L paslanmaz çelik kalınlığı 2-8 mm arasında ve 1050A alüminyum esaslı malzemelerden kalınlığı 3-6 mm arasında lazer ve plazma tezgahlarında ayrı ayrı tezgahların kesim kapasiteleri ve ölçülebilirlik düşünülerek ortak numune boyutu ve şekli tasarlanmıştır. Bu kapsamda tezgahların ayrı ayrı her bir kalınlık ve malzeme çeşidi için en iyi kesim parametreleri kullanılarak numuneler hazırlanmıştır.

Mazak SPGEAR 510-2,5 KW Lazer tezgahı ve Ermaksan LAZERMAK EL 3004-4 KW Lazer tezgahı ile lazer kesim numuneleri hazırlanmıştır. Esab HD4070 plazma kesim ve Durma HPR 260 Plazma kesim tezgahı ile plazma kesim numuneleri hazırlanmıştır.

Hazırlanan numunelerin hepsi en küçük yüzey pürüzlülük değeri $Ra=0,8 \mu m$ olan Mitutoyo SurfTest-211 ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Ölçülen değerler tüm lazer ve plazma kesim tezgah üreticileri ve lazer ve plazma ile kesim yapan işletmelerin kullanımı için tablolaştırılmış olup referans bir çalışma olması amaçlanmıştır

STUDY OF CUTTING SURFACES IN METAL CUTTING TECHNOLOGY

Cem TOPALOĞLU

SUMMARY

Key words: Lazer cutting, Plazma cutting, Surface roughness

In this study, mutual sample dimensions and shapes have been designed from the materials S235JRG2 steel thickness between 4-15 mm; AISI 301 stainless steel thickness between 2-8 mm and 1050A aluminium-based materials thickness between 3-6 mm on each laser and plasm benches separately and by taking the capacities and measurabilities of each laser cutting and plasm benches into account.

In this scope, the samples have been prepared by using the best cutting parameters for each thickness and materials.

Laser cutting samples have been prepared by using Mazak SPGEAR 510-2,5 KW and Ermaksan LAZERMAK EL 3004-4 KW.

Plasma cutting samples have been prepared by using Esab HD 4070 and Durma HPR 260 plasm bench.

All of the samples have been tested with Mitutoyo Surfes-211 whose least surface roughness is $R_a = 0,8 \mu\text{m}$. Values measured have been tabulated for all laser and plasm benches manufacturers and for companies that deals with laser and plasm cutting, and it was aimed to be a reference guide.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Metal işleme sanayinin çok önemli bir girdisi olan sac levhalar, endüstriyel tasarım ve üretimde en yaygın kullanılan malzemelerin başında gelmektedir. Sağlamlık, dayanıklılık, hemen her türlü şekle girebilme özelliği ve estetik görünüm gibi avantajlar sağlayan sac, bir çok sanayi kolunda gerek zaruri olarak kullanılan gerekse tercih edilen bir malzeme cinsi olmuştur. Sac malzemeyi işleyen ve şekil veren makineler, ekipmanlar ve prosesler, sac işleme teknolojilerinin bütünü oluşturmaktadır. Sac işleme teknolojilerini kullanan sanayi kolları genel olarak aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

- Demir-çelik
- Metal eşya ve mobilya
- Çelik konstrüksiyon ve inşaat
- Beyaz eşya
- Isıtma, havalandırma ve air-condition cihazları
- Otomotiv ve diğer kara ulaşım araçları
- Havacılık
- Gemi inşaat
- Telekomünikasyon ekipmanları
- Elektronik ve elektrikli alet ve cihazlar
- Her türlü makine imalatı
- Her türlü endüstriyel cihaz imalatı
- Her türlü metal fabrikasyon

Günümüzde, bilgisayar teknolojilerinin de desteğini alarak, sac işleme teknolojisi büyük bir gelişme göstermiş olup; çok daha hassas, çok daha hızlı ve çok daha karmaşık formlarda sac işleme olanakları ortaya çıkmıştır[1].

Termik kesme teknolojisi, günümüzde saç, levha, boru ve profiller gibi yarı-mamullerin gerek imalata hazırlık ve gerekse son işlemlerinde yaygın olarak başvurulan bir imalat teknolojisi haline gelmiştir. Termik kesme teknolojisindeki gelişmeler sayesinde malzemeler çok daha ekonomik şekilde kullanılabilir. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan termik kesme yöntemleri arasında başta oksijenle ve plazma ile kesme gelmektedir. Bunların dışında arkla kesme de oldukça yaygındır. Modern yöntemler arasında lazerle kesme özellikle hassas kesme tekniği olarak gittikçe artan oranda kullanılmaktadır [2].

Malzemelerin su ile kesilebileceği yıllardır biliniyor olmasına rağmen bu tekniğin güvenilirliği ve yeterliliği ancak son yıllarda olumlu bir seviyeye ulaşmıştır. Gelişmiş ülkelerde yaygın bir şekilde kullanılan su jeti teknolojisi; yüksek basınçlı su jetinin tahrip gücü ile yüzey işleme ve temizleme işlemlerinde 1968'den bu yana kullanılmaktadır. Bu teknolojinin ilk uygulamaları, yaklaşık 100 yıl kadar önce çakıl taslarını topraktan ayırmak, 1930'lu yıllarda ise, Amerikalı ve Sovyet mühendislerce özellikle madencilik sektöründe kömür, tas ve toprağı birbirinden ayırmak için kullanılmıştır. Altmışlı yılların sonunda, Amerika'da uçak imalatçısı bir firma cam katkılı plastik, kompozit ve hafif metallerin kesilmesinde yöntemi endüstriyel anlamda kullanmaya başlamıştır. Bu asmadan sonra, su jeti teknolojisi sürekli olarak geliştirilmiş ve günümüzde özellikle uzay havacılık sektöründe standart bir takım gibi kullanılmaya başlanmıştır. Geçen bu süre içerisinde; kağıttan-çeliğe, camdan-plastiğe, tahtadan-kumaşa kadar değişik özellikteki değişik malzemelerin kesilmesinde kullanılarak vazgeçilmez bir kesme yöntemi olmuştur. Bu teknolojinin en büyük avantajı soğuk bir kesme işlemi olmasıdır. Böylelikle kesilen malzemelerde ısı gerilmeler oluşmamakta, dolayısıyla da gerilme giderme işlemine gerek duyulmamaktadır. Bilinen tüm malzemeler yüksek sıcaklık oluşmadan işlenebilmekte kesilebilmektedir [3].

Uygulamalarda sadece oksijen ile kesme diye de 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. Burada kullanılan yanıcı gazın görevleri şu şekilde sıralanabilir;

- Kesilecek metal yada alaşımın sıcaklığını oksijen karşısında yanma sıcaklığına kadar yükseltmek,
- Kesme işleminin sürekliliğini sağlamak ve hızını artırmak için enerji sağlamak,
- Kesem oksijen jeti ile atmosfer arasında koruyucu bir perde oluşturmak,
- Parça yüzeyinde bulunan ve kesme işlemini geciktiren, boya, yağ, pas gibi bütün yabancı maddeleri bütün yabancı maddelerin uzaklaşmasını sağlamak [4].

Lazer uygulamaya konduğu 1960 yılından beri insanoğlunun hizmetine girmiş olup büyük bir hızla ilerleme kaydetmektedir.

Lazer, "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" kelimelerinin baş harflerinden oluşmakta olup anlamı ışığın yoğunlaştırılıp bir güç kaynağına dönüştürülmesi olarak ifade edilir. Uygulamada lazer ışın elmas dahil bazı malzemelerin kesilmesinde, mikroskopik hassasiyetle göz ve diğer organların işlevlerinde, füze ve uyduların kontrolünde, termonükleer patlamanın başlangıcını yapmada ve mikron düzeyinde uzaklıklar ile yüz binlerce kilometrelik uzaklıkların hassas bir şekilde ölçümünde kullanılır. Torna ve işleme merkezlerinden farklı olarak; Lazer işleme makinaları, işlenecek malzemeyi 0.5 mm'den küçük çaplı bir lazer ışık hüzmesi ile eritir ve buharlaştırır. Sertliği veya yoğunluğu ne olur ise olsun, tüm malzemeler çabuk ve pürüzsüz olarak kesilmektedir. Kesilmesi zor malzemelerden olan inconel, titanyum ve takım çeliği örnek olarak gösterilebilir. Dokunmasız işleme gerçekleştirildiğinden dolayı sabitleme-düzeltilme gerektirmemektedir [5].

Tel erozyonu, son yıllarda özellikle havacılık, nükleer ve otomotiv sanayilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [6]. Bu yöntemde, klasik tezgahlarla işlenmesi mümkün olmayan çok sert ve karmaşık şekilli malzemeler kolaylıkla işlenebilmektedir. Yöntemde, tezgah ve tezgaha ait ürünlerin (reçine, tel, filtre, kılavuz vb...) ilk maliyetleri oldukça yüksek olmalarına rağmen, yüksek tamlıkta ve oldukça düşük yüzey pürüzlülüğünde (0.3 – 2 Ra) parça işlenebilmesi bu maliyeti

azaltılmaktadır [7]. Yöntemde; gerilim, vurum akımı, vurum süresi, vurum ara süresi, tabla hızı, dielektrik sıvı basıncı, tel tansiyonu, tel ilerleme hızı, servo – kontrol voltajı ve malzeme özellikleri gibi işlem faktörleri yüzey kalitesini ve işlem etkinliğini belirlemektedir [8] . Dolayısıyla, işlem parametrelerinin seçimi oldukça önemli bir faktördür. Ayrıca, yanlış parametre seçimi, kısa devre ve tel kırılmaları gibi işlem kararlılığını etkileyen olumsuz sonuçlar doğurmaktadır.

Günümüzde genellikle CNC kontrollü ve çok eksenli tel erozyon tezgahları kullanılmaktadır [9,10,11]. Bu tezgahlarda genellikle çapı 0.76 – 0.4 mm arasında değişen pirinç, molibden, tungsten ve bakır teller kullanılmaktadır. Takım elektrotu olan tel, bir makaradan beslenmekte ve iş parçası boyunca hareket etmektedir. İşlem anında uygulama voltajına bağlı olarak, yalıtkan bir sıvı içerisinde (su, gazyağı veya diğer hidrokarbonlar) bulunan iş parçası ve tel arasında seri kıvılcımlar oluşturulmakta, talaş kaldırma oranı her bir kıvılcımdaki enerji miktarına bağlı olarak değişmektedir [12].

Ülkemizde endüstriyel kesme yöntemlerinin öneminin daha da iyi anlaşılmasını sağlamak ve ülkemiz imalat sektöründe de yaygın ve etkili bir biçimde kullanılmasını teşvik etmek amacıyla yola çıkılan bu çalışmada; yapılan çalışmalar kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir.

BÖLÜM 2. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER HAKKINDA GENEL BİLGİ

Çelik; bir demir (Fe)- karbon (C) alaşımıdır. Çeliğin içerisinde C'dan başka farklı oranlarda alaşım elementleri ve empürite elementleri de bulunmaktadır. Çeliğe farklı özellikler kazandıran içerdiği elementlerin kimyasal bileşimi ve çeliğin iç yapısıdır. Çeliğe değişik oranlarda alaşım elementleri katılabileceği gibi, çeşitli işlemler (ıslah, normalizasyon vs.) ile iç yapı da kontrol edilerek kullanım amacına göre değişik özelliklerde çelikler elde edilebilir. Çelikler genel olarak aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadırlar:

- Karbon ve alaşımli çelikler olarak bileşimlerine göre
- Üretim yöntemlerine göre
- Son üretim yöntemine göre
- Ürün şekline göre
- Kullanım yerleri, üretim programları ve deoksidasyon durumlarına göre

Çeliklerin temel özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Çeliklerin büyük çoğunluğu ısıl işlemlere duyarlıdırlar. Kimyasal bileşimin yanı sıra uygulanan ısıl işlemler sonucunda istenen sertlik, mekanik ve fiziksel özellik, elektriksel özellik, korozyona ve yüksek sıcaklığa dayanıma tam olarak kavuşturulabilirler.
- Çelikler yapılarının gerektirdiği sıcaklıklara kadar çıkarıldıklarında şekillendirilebilme özelliği kazanabilmektedirler. (Haddeme, Presleme, Dövme v.b.)
- Talaş kaldırıcı tezgahlarda işlenerek, istenilen şekil ve yüzey düzgünlüğüne getirilebilmektedirler.
- Çeliklerin büyük bir bölümü çeşitli yöntemler ile metal ve kaplamaya, emaye yapılmaya, boyanmaya ve plastik maddeler ile kaplanmaya elverişlidirler [13,14].

Çelikler genel olarak alaşımlı ve alaşımsız çelikler olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadırlar. Alaşımsız çelikler; bileşimlerinde demir ve karbondan başka üst sınırları Tablo 2.1.' de verilen kimyasal elementler bulunabilen ve özel amaçlar dışında başka elementler içermeyen çeliklere denir [13,14].

Tablo 2.1. Alaşımsız çelikler içerisinde bulunan alaşım elementlerinin üst sınırları [14,15].

Alaşım elementinin adı	Alaşım elementinin üst sınırı(%)
Silisyum	0,5
Manganez	1.0
Alimünyum	0,1
Bakır	0,25
Fosfor	0,09
Kükürt	0.06

Karbon oranı %0,8' den az olanlara ötektoid altı çelikler, %0,8 olanlara ötektoid çelikleri, %0,8' den fazla olanlara ötektoid üstü çelikler denilmektedir. Alaşımlı çelikler de az alaşımlı ve çok alaşımlı çelikler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Alaşım elementlerinin toplamı %5' ten az olanlara az alaşımlı çelikler, %5' ten fazla olan çeliklere de yüksek alaşımlı çelikler denilmektedir.

Çelikler; genel yapı çelikleri, makine yapı çelikleri, sementasyon çelikleri, nitrürasyon çelikleri, otomat çelikleri, yüksek sıcaklığa dayanıklı çelikler, paslanmaz çelikler, rulman çelikleri ve takım çelikleri gibi pek çok sınıfa ayrılabilirler [14,15].

2.1. Çeliklerin Karbon Oranına Göre Sınıflandırılması

Çelikler bazen içerdikleri karbon oranına göre düşük karbonlu çelikler, orta karbonlu çelikler ve yüksek karbonlu çelikler olmak üzere 3 kısma ayrılırlar.

2.1.1. Düşük karbonlu çelikler

Bu çelikler %0,25 oranına kadar karbon içermektedirler ve yumuşak ve çok yumuşak çelikler olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar. Dünya çelik üretiminin en büyük kısmını teşkil ederler. Yassı mamul ve inşaat sanayinde ve de konstrüksiyonda kullanılan çubuk, profil v.b. uygulamalarda kullanım alanı bulurlar. Teknolojide sementasyon ve nitrürasyona tabi tutularak, yüzeyi sert ve iç kısmı tok olan çeliklerde bu grupta yer almaktadırlar. Az karbonlu çeliklerin kimyasal olarak bileşim alanları Tablo 2.2.' de verilmektedir[13,14].

Tablo 2.2 Az karbonlu çeliklerin kimyasal bileşim aralıkları [14]

Element	% Ağırlıkça
C	0,00-0,20
Mn	0,30-0,60
Si	0,10-0,20
P	Max. 0,04
S	Max. 0,05

2.1.1.1. Yumuşak çelikler

Karbon oranı olarak %0,15 ile %0,25 arasında karbon içeren çeliklere yumuşak çelikler denilmektedir. Çok yaygın olarak kullanılmakta olan alaşımsız çeliklerdir. Çok iyi kaynak edilebilme yeteneğine sahiptirler ancak su verme yöntemi ile iyi sertleştirilme özellikleri kötüdür[14,15].

2.1.1.2. Çok yumuşak çelikler

Yapılarında %0,07 ile %0,15 arasında karbon bulunan çeliklere çok yumuşak çelikler denilmektedir. Bu çelikler soğuk şekillendirmeye elverişlidirler[14,15].

2.1.2. Orta karbonlu çelikler

Bu çelikler %0,25 ile %0,55 arasında karbon içeren çeliklerdir. Isıl işleme çok uygun çeliklerdir. Yani, bu çeliklerin yapı ve özellikleri ısıl işlemler sayesinde çok kolay değiştirilebilmektedir. Bu bakımdan orta karbonlu çeliklerin kullanım sahaları özellik arz etmektedir. Bu çelikler karbon oranlarına göre genel dövme çelikleri, mil çelikleri ve aşınmaya dayanıklı çelikler olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadırlar. Özellikle makine üretim sanayinin tercih ettiği çeliklerdir. İşlenebilme kabiliyetleri ve şekil alabilme az karbonlu çeliklere oranla daha düşüktür. Orta karbonlu çeliklerin kimyasal bileşim aralıkları Tablo 2.3.' de verilmektedir[13,14].

Tablo 2.3 Orta karbonlu çeliklerin kimyasal bileşim aralıkları [13,14].

Element	% Ağırlıkça
C	0,20-0,50
Mn	0,60-0,90
Si	0,15-0,23
P	Max. 0,04
S	Max. 0,05

2.1.2.1. Genel dövme çelikleri

%0,25 ile %0,35 arasında karbon içeren çeliklerdir[14,15].

2.1.2.2. Mil çelikleri

%0,35 ile %0,45 oranları arasında karbon içeren çeliklerdir. Mil, tel ve dingil yapımında kullanılmaktadırlar[14,15].

2.1.2.3. Aşınmaya dayanıklı çelikler

%0,45 ile %0,55 arasında karbon içeren çeliklerdir. Ray tekerleği, silindir ve pres kalıpların yapımında kullanılmaktadırlar[14,15].

2.1.3. Yüksek karbonlu çelikler

%0,55 ile %0,90 arasında karbon içeren çeliklerdir. Yüksek mukavemet ve aşınma direnci gerektiren yerlerde kullanılmaktadırlar. Kullanım alanlarına örnek olarak pres kalıp blokları gösterilebilir. Normal halde yüksek mukavemetli ve sünekliği az olan çeliklerdir. Isıl işleme sertleşebilmeleri sayesinde çok yüksek sertliklere ulaşılabilir. Bu bakımdan aşınmaya dayanıklı ve kesici özellikle özellik kazanırlar. İşlenme ve şekil alabilme kabiliyetleri düşüktür. Bununla beraber kaynak kabiliyetleri de düşüktür ve bundan dolayı özel tekniklerle kaynak edilebilirler. Yüksek karbonlu çeliklerin bileşim aralıkları Tablo 2.4.' de verilmektedir[13,14].

Tablo 2.4. Yüksek karbonlu çeliklerin kimyasal bileşim aralıkları [14,15].

Element	% Ağırlıkça
C	0,55-0,90
Mn	0,70-1,00
Si	0,15-0,30
P	Max. 0,04
S	Max. 0,05

2.1.4. Sementasyon çelikleri

Sementasyon çelikleri, yüzeyde sert ve aşınmaya dayanıklı, çekirdekte ise daha yumuşak ve tok özelliklerin istendiği, değişken ve darbeli zorlamalara dayanıklı parçaların imalinde kullanılan düşük karbonlu, alaşımlı veya yüksek alaşımlı çeliklerdir.

Parçaya bu özelliklerin kazandırılması, çelik yüzeyine karbon emdirilmesi sayesinde gerçekleştirilmektedir. Sementasyon çelikleri; dişliler, miller, piston pimleri, zincir baklavaları, zincir dişlileri ve makaraları, diskler, klavuz yatakları, rulmanlı yataklar, merdaneler, bir kısım ölçü ve kontrol aletleri, orta zorlamalı ve zorlamalı parçalar, soğuk şişirilerek veya fişkırtılarak şekillendirilen parçalar, kesici takımlar gibi parçaların imalinde kullanılmaktadırlar. Sementasyon çeliklerin kullanımı, yüzeyde aynı sertlik değerini verecek, yüksek karbonlu çeliklerin kullanımına nazaran şu avantajları sağlamaktadır:

-Sementasyon işlemi, parça kısmen veya tamamen son şeklini aldıktan sonra uygulandığından dolayı parçanın işlenmesi oldukça kolaydır.

- Parçanın yüzeyinde sonradan işlenecek, sertleşmesi istenmeyen kısımlar var ise, bu bölgeler özel bir pasta veya elektrolitik kaplama yardımı ile kaplanarak örtülmektedir. Sementasyon işlemi bu bölgelere tesir edemediğinden sonradan kolayca işlenebilme özelliğine sahiptirler.

-Sementasyon işlemi sonrasında, çekirdek bölgesi yumuşaklığını koruyacağından, sertleştirme sırasında ortaya çıkabilecek çarpılmalar oldukça azdır.

-Semente edilmiş çeliklerin iç kısımları kolayca işlenebilir.

-Sementasyon çelikleri, yüzeyde aynı sertliği verebilecek, çoğu zaman takım çeliği durumundaki yüksek karbonlu çeliklerden daha ucuzdur.

Sementasyon işlemi yüzey sertleştirme işlemlerinden birisi olup, en eski ve en uygun olarak kullanılmaktadır. Esas itibarıyla, düşük karbonlu çelik parçasının yüzeyine, karbon emdirilmesi işlemidir. Bu konu ile ilgili ayrıntılı bilgiyi termokimyasal işlemler adlı bölümde bulabilirsiniz. Sementasyon çeliği olarak adlandırmış olduğumuz bu çelik grubunun içerisinde AISI standartlarına uygun olarak üretimi yapılmakta olan AISI 1015, AISI 3115, AISI 3316, AISI 5015, AISI 5115, AISI 5120, AISI 8620 ve AISI 1010 çeliği bulunmaktadır[14,15].

2.1.5. Islah çelikleri

Islah çelikleri, kimyasal bileşimleri özellikle karbon miktarı bakımından, sertleştirilmeye elverişli olan ve ıslah işlemi neticesinde belirli bir çekme dayanımı neticesinde yüksek tokluk özelliği gösteren, alaşımsız ve alaşımlı makine imalat çelikleridir.

Islah işlemi sonucunda çelik parçaya yüksek tokluk özelliğinin kazandırılacağı önce bir sertleştirme ve arkasından menevişleme işlemlerinin bütünü olarak tarif edilmektedir. Islah çelikleri, ıslah işlemi sonunda kazandıkları üstün mekanik özelliklerinden dolayı, çeşitli makine ve motor parçaları, dövme parçalar, çeşitli civata, somun ve sapmalar, krank milleri, akslar, kumanda ve tahrik parçaları, piston kolları, çeşitli miller, dişliler gibi parçaların imalinde olmak üzere geniş bir alanda kendilerine kullanım ortamları bulmuşlardır. Bu sebepten dolayı ıslah çelikleri, inşaat ve alaşımsız çeliklerden sonra en yüksek oranda üretilen ve kullanılan çelik türüdür. Sertleştirme işlemi, öncelikle çelik parçanın östenit faz sıcaklığına kadar ısıtılması ve bu sıcaklıkta belirli bir süre tutularak, uygun bir ortamda hızla soğutulması işlemidir. Sertleştirme ortamı olarak %10' luk NaCl çözeltisi, su, tuz banyosu, yağ çözeltileri, yağ ve hava gibi çeşitli ortamlar kullanılmaktadır. Menevişleme işlemi, çelik parçanın A1 sıcaklığı altında belirli bir süre ısıtılması işlemidir. Bu işlem A1 sıcaklığına yani 723⁰C' ye kadar yapılabildiğinden, çeliğin mekanik özellikleri ve mikroyapısında bazı özelliklerin değişebilme ihtimali vardır. Menevişleme sıcaklığı alanında, sıcaklık yükselirken genel olarak sertlikte azalma ve toklukta artma gözlenmektedir. Bazı alaşımlı çelikler, menevişleme esnasında belli sıcaklık bölgelerinde kırılabilirlik özelliği göstermektedirler. Amerikan çelik standartları enstitüsüne (AISI) uygun olarak AISI 1022, AISI 1035, AISI 1045, AISI 1055, AISI 1060, AISI 1039, AISI 1330, AISI 5045, AISI 5132, AISI 5135, AISI 5140, AISI 4130, AISI 4135, AISI 4150, AISI 9840, AISI 4340, AISI 6150 ve AISI 4140 çelikleri üretilmektedirler[14,15].

2.1.6. Takım çelikleri

Takım çelikleri sıcak ve soğuk haldeki iş parçalarını kesme, dövme ve sıkıştırma yöntemleri ile şekillendirme, talaşlı ve talaşsız imalat gibi işlerde kullanılan yüksek nitelikli çeliklerdir. İlk kullanılan takım çelikleri sade karbonlu çeliklerdi. 1868 'den sonra 20. yüzyıla kadar bu konuda büyük gelişmeler kaydedilmiş ve birçok yüksek alaşımli takım çeliği geliştirilmiştir. Kompleks alaşım elementlerinden oluşan takım çelikleri, özellikle tungsten, molibden, manganez ve kromun sağladığı üstün özelliklerden dolayı popüler hale gelmişlerdir.

Takım çelikleri çelik sınıflandırılmasında ayrı bir grup olarak ele alınmakta ve o şekilde incelenmektedir. Bunun nedeni diğer sınıflardaki çeliklere nazaran özellikle çalışma koşulları bakımından farklılık göstermesidir. Takım çelikleri kullanıldıkları yerlerde genel olarak hızlı bir şekilde yüksek gerilmelere maruz kalırlar. Bu nedenle, çalışma koşulları çok güç olan takım çeliklerinin bu hızlı ve yüksek gerilmeler altında deforme olmadan, aşınmadan ve kırılmadan kararlı performansı göstermesi gerekir. Ayrıca takım çeliklerinin yüksek sıcaklıklarda da istenilen özellikleri sağlaması gerekir. Bu nedenlerle takım çeliklerinde; iyi sertleşebilirlik, yüksek aşınma direnci, yüksek tokluk, yüksek sıcaklıkta sertliğini ve mukavemetini kaybetmeme ve boyut kalıcılığı gibi genellikle diğer çeliklerde bir arada bulunamayan üstün özellikler aranır.

Takım çeliklerinin bir servisteki kullanım ömrü, uygun çeliğin seçilmesi ve ısıl işleminin iyi olması kadar dizaynına da bağlıdır. Eğer bir takım, tüm bu koşullar yerine getirilerek kullanılırsa başarıyla kullanım ömrünü tamamlar.

Yüksek oranda alaşım elementi ve karbon içeriği ile üstün özelliklere sahip olan takım çelikleri, bu alaşım elementleri sayesinde havada dahi su alıp sertleşebilecek durumdadırlar. Martensitik dönüşümde de etkili olan bu elementler oda sıcaklığındaki yapılarını belirlerler. Takım çeliklerinin içerdiği alaşım elementleri, iç yapı ve mekanik özellikleri belirleyen en önemli faktörlerdir. Bu alaşım elementleri karbür oluşturanlar ve oluşturmayanlar olarak ayrılırlar ve dolayısıyla çelik özelliklerine etkileri oldukça farklıdır. Krom, molibden, wolfram ve vanadyum

yapıda karbürler oluştururlar ve sertleşebilirliğini, aşınma dayanımını, yüksek sıcaklıkta sertliğini ve mukavemetini ve boyut kalıcılığını artırırken tokluğu düşürürler. Buna karşılık karbür meydana getirmeyerek ferritte çözünen nikel, kobalt ve manganez elementlerinden nikel tokluğu mükemmel şekilde, arttırırken, manganez sertleşebilirliği, kobalt ise sıcak dayanım ve meneviş kalıcılığını sağlar.

Takım çeliklerinde bulunan metaller arası bileşikler; $(Fe.Co)_7(W,Mo)_6$, $Fe_3W_2(Fe_3Mo_2)$, $(Ni,Fe)_3Ti$, $(Fe,Ni.Co)_2Mo$, $(Ni,Fe,Cr)_3Ti(Al)$ gibi formlarda olabilirler.

Takım çeliklerinin sertleştirme işleminden sonraki yapısı; sert martensit matrix ve yine martensit içerisinde dağılmış sert karbür partiküllerden oluşmuştur. Temperleme işleminden sonra, martensitten çöküp disperse olan karbürlerle birlikte martensit yapıyı oluştururlar. Bu durumdaki sertlikleri 58-60 HRC veya 60-65 HRC olabilir. Diğer bir grup takım çeliği de sertleştirme sonrası karbür olmaksızın, sadece martensit içeren ötektoid yapıdaki çeliklerdir. Temperleme sonrası yüksek tokluk ve 45-55 HRC gibi görece olarak düşük sertlik elde edilir [16,17].

Kullanım amacına göre takım çeliklerini AISI 7 ana grupta incelemiştir:

- 1) Soğuk İş Takım Çelikleri;
 - O; yağda sertleşen.
 - A; orta alaşımli havada sertleşen.
 - D; yüksek C'lu ve yüksek Cr'lu
- 2) Sıcak İş Takım Çelikleri
 - H serisi; H1-H19 Cr esaslı
 - H20-H39 W esaslı
 - H40-H50 Mo esaslı
- 3) Yüksek Hız Takım Çelikleri
 - T; W esaslı
 - W; Mo esaslı
- 4) Suda Soğutmalı Takım Çelikleri
 - W gurubu
- 5) Şoka dirençli Takım Çelikleri
 - S gurubu

- 6) Kalıp Çelikleri
 -P serisi; P1-P19 düşük C'lu
 P20-P39 diğer tipleri
- 7) Özel Alaşımli Takım Çelikleri
 -L; düşük alaşımli
 -F; C-W [16,17,18]

Takım çeliklerini ısı kararlılıklarına göre de sınıflandırmak olanaklıdır. Bu sınıflandırmada da takım çelikleri üç gruba ayrılırlar:

1 - Isıl Kararlı Olmayan Takım Çelikleri

Bu tür takım çeliklerde, sertleştirme ile martensitik dönüşüm sonucu olarak yüksek sertlik, mukavemet ve aşınma direnci elde edilir. 300 °C'ye kadar temperlenebilirler. Yapısal olarak, tipik hiperöktoid ve öktoid çelik gruplarına girerler.

2 - Yarı Isıl Kararlı Takım Çelikleri

Yüksek krom (%3- 18)ve yüksek karbon (%1 -2.5) içerikli ledebüritik çelikler bu grubu oluştururlar. Bazı türleri yüksek oranda vanadyum içerir. Bu gruptaki çelikler de, martensitik dönüşüm ile yüksek sertlik kazanırlar. 400 °C'ye kadar temperlenebilirler ve daha yüksek sıcaklıklarda da sertliklerini kaybetmezler.

3 - Isıl Kararlılığı Yüksek Takım Çelikleri

Temperleme işlemi ile yapıda oluşan ikincil sertleşme ile yüksek sertlik, mukavemet ve aşınma dayanımı gösteren çelikler bu guruba dahildir. Özellikle kompleks wolfram, molibden ve vanadyum karbürler çökerek ikincil sertleşmeyi oluştururlar. Bu çelikler ledebüritik ya da hiperöktitik yapıdadırlar. Ledebüritik yapıda olanlar yüksek hız takımı çeliği olarak, diğerleri ise sıcak şekillendirme için kalıp çeliği olarak kullanılırlar.

Isıl kararlı olmayan takım çelikleri, mukavemet ve aşınma direnci bakımından oda sıcaklığında diğer guruptakilere nazaran çok az farklılık gösterirler. Fakat sıcaklığın yükselmesi durumunda farklılık artmaktadır [16].

2.1.6.1. Soğuk iş takım çelikleri

Genel olarak 200 - 260 °C 'nin altındaki sıcaklıklarda bulunan iş parçalarının işlenmesinde, talaşlı ve talaşsız imalatta kullanılan takım çelikleridir. İçerdiği alaşım elementi ve karbon oranına bağlı olarak; kesme özelliğinin devamlılığı ve yüksek sertlik, yüksek aşınma dayanımı, yeterli aşınma dayanımı ile birlikte yüksek tokluk, yüzey sertliği, ısıl işlemde sertlik kazanma özelliği ve boyut kalıcılığı gibi özelliklerin kullanım amacına göre birebir sağlaması olasıdır.

Soğuk iş takım çelikleri de kendi içinde;

- 1.Orta alaşımlı havada sertleşen soğuk iş takım çelikleri
- 2.Yüksek C'lu yüksek Cr'lu soğuk iş takım çelikleri
- 3.Yağda sertleşen soğuk iş takım çelikleri olarak üç grupta incelenir [16,17,18].

A) Orta alaşımlı havada sertleşen soğuk iş takım çelikleri(A Grubu)

Bu grupta bulunan çeliklerde, yeterli miktarda alaşım elementi içeriğiyle, tam sertleşme elde edilir. Manganez, krom, molibden içerdikleri başlıca alaşım elementleridir. Yüksek oranda krom içerenlerin, yüksek sıcaklıkta, orta derecede temperleme dirençleri mevcuttur.

Silisyum alaşım elementi olarak tokluğu artırmak için ilave edilir. Ayrıca % 1.5-2 oranlarında Ni içeren tipleri de mevcuttur. Yüksek karbon ve silisyumun bir arada bulunduğu bu grup çeliklerde, yapıda oluşan grafit tavllanmış koşullarda işlenebilirliği artırır ve aşınmaya karşı, ısıl işlem yapılmış koşullarda oldukça iyi sonuçlar verir. Krom ve vanadyumu yüksek oranda içeren bu gruba dahil çelikler kompleks krom ve krom vanadyum karbürler ve martensit matrix ile oldukça iyi aşınma direnci gösterirler.

Kullanım alanları; zımbalama, sıvama, düzeltme ve şekil verme kalıpları, madeni para kalıpları, kesme bıçakları gibi yerlerdir. Boyut kararlılıklarından dolayı ölçü masterları ve hassas ölçü aletleri olarak da kullanılırlar. Ayrıca aşınmaya karşı dirençli olanlar; tuğla, seramik kalıbı ve yüksek aşınma dayanımı gerektiren yerlerde kullanılır [16,17].

B) Yüksek karbonlu yüksek kromlu soğuk iş takım çelikleri (D Grubu)

Bu grup takım çeliklerinin genel karakteristiği %1.5-2.35 C ve % 11-13 Cr içeriklerinin bulunmasıdır. AISI/ SAE normunda D3 olarak anılan bir grup çelik hariç diğer bütün bu gruba dahil çelikler, havada su verilerek tamamen sertleşmelerine rağmen, çatlama ve distorsiyon eğilimlerinin yüksek olmasından dolayı yağda su verilirler. Yüksek oranda Cr ve C içeriklerinden dolayı yüksek sıcaklıkta yumuşamaya karşı oldukça dirençlidirler. Yüksek oranda C ile birlikte yapısında V bulunması çok iyi aşınma direnci sağlar. Bu çelik AISI normunda D7 olarak anılır. Tipik kullanım alanları; kalıplama, şekillendirme, derin çekme, aşındırıcı tozları kalıplama, masterlar ve kesme bıçaklarıdır [16,17].

C) Yağda sertleşen soğuk iş takım çelikleri (O Grubu)

AISI normunda O grubu olarak adlandırılan bu grup çelikler, yüksek karbon içerikleri ve yeterli derecede yüksek karbon içerikleriyle yağda su verilerek sertleştirilen çeliklerdir. Bu grup çelikler, değişik tip alaşım elementi içermelerine rağmen karakteristikleri benzerdir ve aynı tip uygulamalarda kullanılabilirler.

Bu gruptaki çeliklerin kullarımdaki en önemli özelliği yüksek C içeriğine bağlı olarak gösterdikleri oda sıcaklığındaki yüksek aşınma dirençleridir. Buna karşılık yüksek sıcaklıktaki temperleme dirençleri düşüktür. Yağda su verilir ve su verme esnasında çatlama tehlikesi çok azdır. Yağda su verildikten sonra uygun şekilde 175-315 °C arası temperleme işlemiyle uygun mekanik özellikler ve 56-62 HRC gibi yüksek sertlikler elde edilir. Bu özelliklerin elde edildiği çelikler AISI normunda O1, O2 ve O6 olarak anılırlar. Bu grupta. AISI normunda O7 olarak anılan çelik düşük

sertleşme kabiliyetine rağmen, oldukça iyi aşınma direnciyle, kesici ağız olarak kullanılır.

Tipik kullanım alanları: yaygın olarak kalıplama, zımbalama, düzeltme, ekstrüzyon ve şekil verme, kovanlar, kama ve kılavuz gibi makine parçaları, ölçü masterları gibi büyük boyut stabilitesi ve aşınma direnci gerektiren yerlerdir[16,17].

2.1.6.2. Sıcak iş takım çelikleri (H grubu)

Sıcak iş takım çelikleri özellikle çeliklerin, demir olmayan metallerin, yüksek polimerlerin ve seramik malzemelerin 200 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda form verme ve formunu değiştirmeleri için yararlanılan takımların imalinde kullanılırlar. Sıcaklık işlenen malzemeye bağlı olduğundan ve teknolojik olarak uygulanan temas sürelerinde 300 ilâ 1000 °C 'ye ulaşabildiğinden dolayı, bu çelikler çok sık bir şekilde darbe tarzında da olan ve ısıl şok olarak da meydana gelen, çok yüksek mekanik ve termik zorlanma altında kalırlar. Bundan başka, işlenen malzemenin korozif etkisi ya da yüksek sıcaklık korozyonu da mümkündür. Çok pahalı sıcak iş takımlarında, çoğu zaman plastik form değiştirmesi, sıcakta çatlak teşekkülü, kırılma, aşınma ve/veya korozyon nedeniyle, vaktinden evvel bozulmalar olabilir. Bunun dışında, takım yüzeyine giren metal, kırılma ya da takımın çalışma yüzeyine metal yapışması yapabilir. Bundan dolayı, sıcak iş takımları için olan malzemelerin, sıcakta yüksek dayanıma (sıcakta akma sınırı), iyi meneviş dayanımına, yüksek sıcakta aşınma direncine, yeterli sünekliğe ve iyi termo şok dayanımına sahip olması gerekir.

Sıcak iş takım çeliklerinden istenen çok yönlü istekler yalnızca itinalı bir alaşımlama ve ısıl işlem tekniğiyle sağlanabilir. Bundan dolayı sıcak iş takım çelikleri yüksek aşınma direncini garanti eden karbür yapıcıların yanında, ayrıca nikel ve kobalt da içerirler. Karbon miktarı, birkaç istisnanın dışında % 0,2 ilâ 0,6 arasındadır. Sıcak iş çeliklerinin büyük bir kısmı, yeterli arıklığı sağlamak, iyileştirilmiş süneklik ve homojen yapıya ulaşmak için, ultra arık üretilirler [16,17].

Birçok uygulamalarda bu çelikler aşırı ısıya maruz kalmaktadır. Mesela; sıcak dövme, ekstrüzyon kalıp döküm, plastik kaplama v.s. oldukça yüksek sıcaklık sertliğine sahiptirler.

Yüksek sıcaklık sertliğini; Cr, W, Mo arttırmaktadır. Sıcak iş takım çelikleri üç alt gruba ayrılır. Bunlarda genellikle %0,03-0,5 C bulunur [17,19].

A) Krom esaslı sıcak iş takım çelikleri (H1-H19 Grubu)

Minimum %3,25 Cr ve düşük miktarda V, W, Mo ihtiva etmektedir. Bu çeliklerin yüksek sıcaklıklardaki sertlikleri iyidir. Zira Cr'nin yanında V, W, Mo karbür yapıcı olmalarından bu özellikleri kazanmaktadır. Alaşım miktarı ve C miktarının düşük olması tokluğu geliştirmektedir. W miktarı arttığında yüksek sıcaklık sertliği artmakta fakat tokluk düşmektedir.

Bu çelikler derin sertleşme özelliğine sahiptirler. 12 inç ten fazla kesitlere kadar havada sertleşmektedirler.

Bu çeliklerin başlıca kullanım yerleri şöyledir; Extrüzyon kalıpları, metal dövme kalıpları ve torna aynası yapımında kullanılırlar [17,19].

B) W esaslı sıcak iş takım çelikleri (H21-H26 Grubu)

Minimum % 9W, % 2-12 Cr ihtiva etmektedirler. Yüksek alaşım elementi kontesti H1-H19 il mukayese edildiğinde yüksek sıcaklıklardaki yumuşama direnci artmaktadır. Fakat bu çelikleri 45-55 Rc çalışma sertliğinde gevrekliğe hassas hale getirmektedir.

Bu çeliklerde düşük distorsiyon sağlamak için havada sertleştirilebilir veya pullanmayı minimize etmek için yağda veya sıcak tuz banyosunda soğutulmalıdır.

Bu çelikler extrüzyon mandrel kalıpları yapımında kullanılırlar [17,19].

C) Mo esaslı sıcak iş takım çelikleri (H41-H43)

Bu çelikler % 0,8 Mo, % 4 Cr ve düşük oranlarda W, V ihtiva etmektedirler. Bu çelikler W esaslı sıcak iş çeliklerine benzer olup hemen hemen aynı kullanım karakteristiklerine sahiptir.

Bileşim olarak HSS çeliklerinin Mo li tipine benzer . Fakat C' leri düşük ve toklukları daha yüksektir.

Sıcak iş takım çelikleri; iyi tokluk çünkü C oranı düşük, iyi yüksek sıcaklık sertliği veya direnci, az aşınma direnci ve işlenebilme özelliklerine sahipken, sadece dekarbürasyon özellikleri kötüdür [17,19].

2.1.6.3.Yüksek hız takım çelikleri (T ve W grubu)

Hız çelikleri, iyi aşınma dirençli, yüksek alaşımlı asal çeliklerdir. 600 °C sıcaklığa kadar meneviş dayanımları ve sıcakta yüksek sertlikleri nedeniyle, yüksek kesme hızlarında talaşlı şekillendirme yapan takımların imalatında kullanılırlar. Sıcakta sertliği, kimyasal bileşim ve ısıl işlemle sağlanan, menevişe dayanıklı ana yapı (matriks) ve onun içerisinde dağılmış çok sert özel karbürlerden meydana gelen yapı sağlar. % 0,8 ilâ 1,4 arasındaki karbon miktarlarında, alaşım elementi olarak W, Cr, Mo, V ve Co şu kombinasyonlarda olabilir:

- a) % 18 W içeren volfram çelikleri
- b) % 12 W ve yaklaşık % 4 V içeren volfram çelikleri
- c) Yaklaşık % 6 W ve % 5 Mo içeren volfram-molibden çelikleri
- d) Yaklaşık % 9 Mo ve % 2 W içeren molibden-volfram çelikleri

Dört grupta da yaklaşık % 4 krom vardır ve % 5 ilâ 10 kobalt ile alaşımlanabilirler.

a), c) ve d) grubu olarak belirtilen çelikler, ayrıca % 1 ilâ 2 V içerirler.

İlk geliştirilen hız çeliklerinde ana alaşım elemanı olarak W kullanılmakta iken, sonraları kısmen Mo ve V 'da kullanılmıştır. Volframı az çelikler, yüksek volframlılar gibi benzer kesme özeliğine sahiptirler, fakat aşırı ısınmaya karşı

hassastırlar ve cidarda karbon azalması eğilimleri büyüktür. Diğer taraftan, daha düşük sertleştirme sıcaklığı gerektirirler ve daha iyi ısı iletim kabiliyetleri vardır. Bundan başka, yükselen molibden miktarı, ince primer karbürün oluşumunu ve böylece de sünekliliğin iyileşmesine de etki eder.

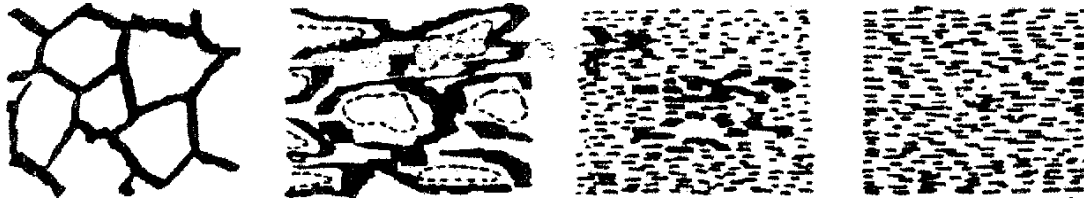
Alaşım elemanların matrikste ve karbürde dağılımı, hız çeliklerinin özelliklerini önemli ölçüde etkiler. W, Mo ve V elementleri karbür teşkil eder, Cr karbür ve matriks içerisinde eşit oranda dağılır, Co ise matriks içerisinde çözülür, yani demirle değişik atomlu katı çözelti teşekkül ettirir. Hız çeliklerindeki karbür miktarı, şu bağıntıya göre hesaplanabilir:

$$K = W + 1,9 Mo + 6,3 V \text{ (% ağırlık olarak)}$$

Örneğin, % 6 W, % 5 Mo ve % 2 V içeren çelikte, yaklaşık %30 karbür bulunur.

Hız çelikleri, ledeburitik çeliklerdir. Döküm blokunun katılaşması süresince, ostenit ve karbürün meydana getirdiği ötektik reaksiyonun üzerinde kalan artık ergiyik, primer tane sınırları boyunca ağ yapısı teşkil edecek şekilde düzensiz gelişir. Her ne kadar, herbir alaşım tipinde faz dönüşmesi için olan sıcaklık önemli miktarda sapma yaparsa da, katılaşma sahasında meydana gelen olaylar aynı sırada gelişir. Yaklaşık 200 °C olan katılaşma sıcaklık aralığı genişliği ve karmaşık katılaşma seyri, ledeburit oluşumunda da mikroskobik bileşim farklılıkları yanında, ledeburitik cidar ve çekirdek teşekkülü için aşılmasıyla, Örneğin Ti ile yada özel ergitme yöntemlerinin kullanılmasıyla, karbür dağılımı iyileştirilebilir. ESU yönteminde, makro ve mikro sahada iyileştirilen homojenlik derecesi, özellikle büyük takımlarda önemli yarar sağlar.

Sıcak şekillendirme olarak haddeleme işleminde, ledeburitik ağ yapısı tekrar tahrip olur ve şekillendirme doğrultusuna yönelmiş karbür çubukları teşekkül eder. Kütüğün iç tarafında pek az soğuma hızı nedeniyle, uzun zaman süresinde gelişmiş karbürler bulunduğundan dolayı, karbürün çubuk formu, kütüğün çekirdeğinde cidara nazaran daha belirgindir. Artan şekillendirme derecesiyle birlikte, karbür dağılımı daha iyileşir ve maksimum karbür parçacığı büyüklüğü azalır (Şekil 2.1.).



Döküm Çok az şekillendirilmiş Yeterli şekillendirilmiş Kuvvetli şekillendirilmiş

Şekil 2.1. Hız çeliklerinde karbür dağılımı[17,20]

Hız çeliğinden yapılmış takımların gücünü yükseltmek için, değişik yüzey işlemleri de uygulanabilir. Daha çok uygulanan yöntemler, banyo nitrasyon, oksinitrasyon ve buhar menevişi işlemidir. Nitrasyon işleminde, dökülmeleri önlemek için bağlantı bölgesi oluşumundan sakınılır. Bu yöntemler, darbeli çalışan takımlar için uygun değildir.

Metal işleme takımları olarak daha çok tercih edilen çelikler, kobalt içeren çeliklerdir. Daha yüksek karbonlu alternatif çeliklerle, kesme gücü daha da iyileştirilmiştir. Çok kesicili takımlarda (spiral matkap, freze, kılavuz, pafta) ve yüksek süneklilik gerektiren zorlamalarda (örneğin, zor kesilen talaşlı şekillendirmede boşaltma takımları) daha yüksek alaşım elemanlı çelikler tercih edilir. Hız çeliklerinin kullanım yerleri; profil takımları, yüksek güçlü freze, torna kalem, sünek finiş takımları, spiral matkap, rayba, raptiye, yüksek aşınma dirençli tığlar, kalıp ve kılavuz ve yüksek kesme kuvveti gerektiren yerlerde.

Son yıllarda, özellikle vanadyumun oldukça pahalı olması nedeniyle, vanadyum yerine daha kuvvetli karbür yapıcı olan niobyum da alaşım elementi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Vanadyumla birlikte yada vanadyumsuz olarak % 3 'e kadar katılan niobyum. meydana getirdiği kuvvetli karbürler nedeniyle sığağa dayanıklılığı ve kesme dayanımını arttırır, fakat daha yüksek miktarlarda katıldığında çeliği kırılğan hale getirir.

Ayrıca son yıllarda, sinterleme yöntemiyle de hız çeliklerinin üretimi başlamıştır (ASEA-STRO yöntemi). Gaz atomizasyon yöntemiyle memeden geçirilerek elde

edilen oksijensiz tozlar, makro ve mikro düzeyde hafif redüklenir. Sinter hız çeliklerinin ince taneli yapısı, her doğrultuda izotoptur ve karbürler çok ince dağılmış durumdadır. Bunun sonucu olarak sertliği daha yüksektir ve sünekliliği, talaşlı işlenebilirliği daha iyidir. Tornalama, delme, frezeleme ve basma işlemlerinde, ergitme metalurjisiyle üretilen çeliklere nazaran daha uzun ömre sahiptirler, iyi aşınma dayanımı, süneklilik, sıcakta sertlik ve meneviş dayanımı gösterdiğinden dolayı, talaşlı şekil vermede çok fazla zorlanan kesicilerde ve soğuk işleme proses takımlarında özellikle büyük yarar sağlarlar. Genel kullanımda belirtilen bu üstünlüklerine karşılık olarak problemleri yönü, tozlarda karbon-oksijen oranının istenildiği gibi kontrol altına alınmasının zor olması ve bunun sonucu olarak da çelikteki garanti edilemeyen karbon miktarı nedeniyle, sertleştirme işleminde sıcaklıkla ilgili değerlerin tam temin edilmesinin güç olmasıdır [16,17,20].

2.1.6.4. Suda soğutmalı takım çelikleri(W gurubu)

Bu çelikler temel olarak sade karbonlu çeliklerdir. Yüksek karbon muhtevasına rağmen, sertleşme ve aşınma özelliklerini geliştirmek için küçük miktarlarda Cr ve V ilave edilmektedir.

Bu çeliklerde %0,6-1,40 C bulunur. Bu çelikler karbon içeriğine göre üç guruba ayrılırlar.

- a) %0,60-0,75 C burada tokluk önemli olup bu çelikler çekiç, beton kırıcıları, perçin, dövme takımları yapımında kullanılmaktadır.
- b) %0,75-0,90 C tokluk ve sertliğin önemli olduğu uygulamalarda mesela; zımba, keski kalemi, kalıp ve kesme bıçakları ile kuyumcu aletleri yapımında kullanılır.
- c) %0,95-1,40 C çelikleri aşınmanın önemli olduğu yerlerde mesela; sert matkap ağızları, planya ağızları ve jilet gibi aletlerin yapımında kullanılır.

Genel olarak karbon takım çelikleri alaşımli takım çeliklerinden daha uygundur. Bu çeliklerde yüksek serlik elde etmek için suda soğutmak gerekiyor buda beraberinde önemli oranda distorsiyona sebep olmaktadır.

Karbon takım çelikleri iyi işlenebilme kabiliyetine ve dekarbürizasyona karşı dirençlidir. Ancak yüksek sıcaklıkta dirençleri zayıftır. Düşük sıcaklık sertliğine sahip olduklarından dolayı karbonlu takım çelikleri bu şartlar altında kesme takımı olarak kullanılmazlar. Bu çelikler genellikle;

- Ağaç
- Pirinç
- Alüminyum
- Sertleştirilmiş çeliklerin kesiminde kullanılır.

Sertleştirilmiş çeliklerin kesimi sırasında kesme hızı düşüktür.

Karbon çeliklerinde temperleme sıcaklığı 130-200 °C arasındadır. Bütün çeliklerde kullanım aralığı hiçbir zaman temperleme sıcaklığını aşmaz. Şayet temperleme sıcaklığı aşırsa çelik yumuşamaya başlar [16,17].

2.1.6.5. Şoka dirençli takım çelikleri (S gurubu)

Şoka dayanıklı takım çelikleri, şoka dayanıklı tokluk ve tekrarlı şoklara dirençli olan uygulamalar için geliştirilmiştir. Bu takım çelikleri genellikle %0,45-0,65 C ihtiva etmektedirler. Bu çeliklerde bulunan temel alaşım elementleri ise Si, Cr, W ve Mo dur.

Si ferriti stabilize ederek mukavemetini arttırırken Cr sertleşme kabiliyetini arttırmakta ve aşınma direncine katkıda bulunmaktadır. Mo da aynı etkiyi göstermektedir. W ise yüksek sıcaklık sertliğini arttırmaktadır.

Bu çeliklerde tam sertliği sağlamak için suda su verilmesi gerekmesine rağmen çoğunlukla yağda su verilmektedir. Yüksek Si miktarı dekarbürizasyonu arttırma

eğilimindedir. Bu yüksek sıcaklıklardaki sertlikleri, aşınma dirençleri, işlenirliği fena değil ve sertlikleri genellikle $< 60 \text{ Rc}$ dir.

Bu çelikler;

-Zimba

-Şekil verme takımları

-Keski takımları

-Pnömatik takımlar

-Kesme bıçakları yapımında kullanılmaktadır[16,17].

2.1.6.6. Kalıp çelikleri (P gurubu)

Bu çelikler temel olarak Cr, Ni ve ilave alaşım elementi olarak Mo ve Al ihtiva ederler. Bu çeliklerin çoğu takım çelikleri kalitesinde sementle edilerek üretilirler. Bu çelikler tavllanmış ve işlem sertleşmesine karşı direnç durumlarında çok düşük sertliğe sahiptirler. Bu iki faktör şekil almada önemlidir.

Şekillendirmede bir master kalıp yumuşak bir kalıp boşluğuna yerleştirilir. Baskı oluştuğunda veya kesildikten sonra bu çelikler aşınma direnci için 58-64 Rc sertliğine varacak şekilde sementle edilip sertleştirilir.

P4 hariç bu çelikler düşük sıcaklık sertliklerine sahiptirler. Plastiklerin kalıplanmasında, enjeksiyonlarda, düşük ergimeli metal kalıplarında kullanılır.

P20 ve P21 tipleri 30-35 Rc sertliğine Al işlem şartlarında varılır. Öyle ki konik kalıplar kolayca işlenebilmektedirler [17,21].

2.1.6.7. Özel alaşımlı takım çelikleri (Lve F grubu)

Takım çeliklerinin çoğu alaşımlı çelik grupları içinde gösterilmiyordu bu yüzden özel çelikler dizayn edildi. Bu çelikler belirli bir uygulamadaki özel ihtiyaçları giderecek diye geliştirildi bu çelikler diğer çeliklere göre çok pahalıdır.

A) Düşük Alaşım (L Grubu)

Bu grup çelikler krom gibi ana alaşım elementi içerir ve bunun yanında V, Mo ve N içerir. Yüksek oranda krom içeren sert kompleks biçimindeki demir-krom karbürleri ve birlikte kullanılan molibden aşınma direncini yükseltir ve sertliği artırır. Nikel tokluğu artırırken vanadyum tanelerin inceltmesini sağlar.

Tipik kullanım yerleri:

- Yüksek aşınma direnci ve iyi tokluk istenilen makine parçalarının yapımında .
- Bilyelerde.
- Kavrama tablalarında.
- Anahtarlarda v.d.

Yüksek karbonlu tiplerinin kullanım yerleri ise:

- Mastar
- Delici uçlar
- Mil, dingil
- Yiv açıcılar v.d.

B) Karbon-Tungsten tipi (F grubu)

Genel olarak yüzeysel sertleşen, suda soğutulan çelikler ile yüksek karbon ve tungsten içerenler yüksek aşınma direncine sahiptirler. Bu çelikler gevrek oldukları için genel olarak yüksek aşınma, düşük sıcaklık, düşük darbelerde kullanılır.

Tipik kullanım yerleri:

- Kâğıt makası
- Tampon mastarı v.d.[16,17]

2.2. Paslanmaz Çelikler

Bileşimlerinde en az yaklaşık %11 krom bulunan çeliklerde, yüzeye kuvvetle tutunmuş, oğun, gevrek olmayan, çok ince ve görünmeyen bir oksit tabakası bulunur. Dolayısıyla bu malzemeler kimyasal reaksiyonlara karşı pasif olduklarından; indirgeyici olmayan ortamlarda korozyona karşı direnç kazanırlar. Söz konusu oksit tabakası, oksijen bulunan ortamlarda oluşur ve dış etkilerle bozulduğunda, kendi kendini onarır. Krom miktarı yükseltilecek veya nikel ve molibden gibi alaşım elementleri katılarak korozyon dayanımı artırılabilir. Bunun dışında bakır, titanyum, alüminyum, silisyum, niyobyum, azot, kükürt ve selenyum gibi bazı elementlerle alaşımlama yapılarak ilave olumlu etkiler sağlanabilir. Bu şekilde makina tasarımcıları ve imalatçıları, değişik kullanımlar için en uygun paslanmaz çeliği seçme şansına sahip olurlar. Örneğin;

- Niyobyum ve titanyum:

Tanelerarası korozyonu önler

- Azot:

Mukevemet ve korozyon dayanımını artırır.

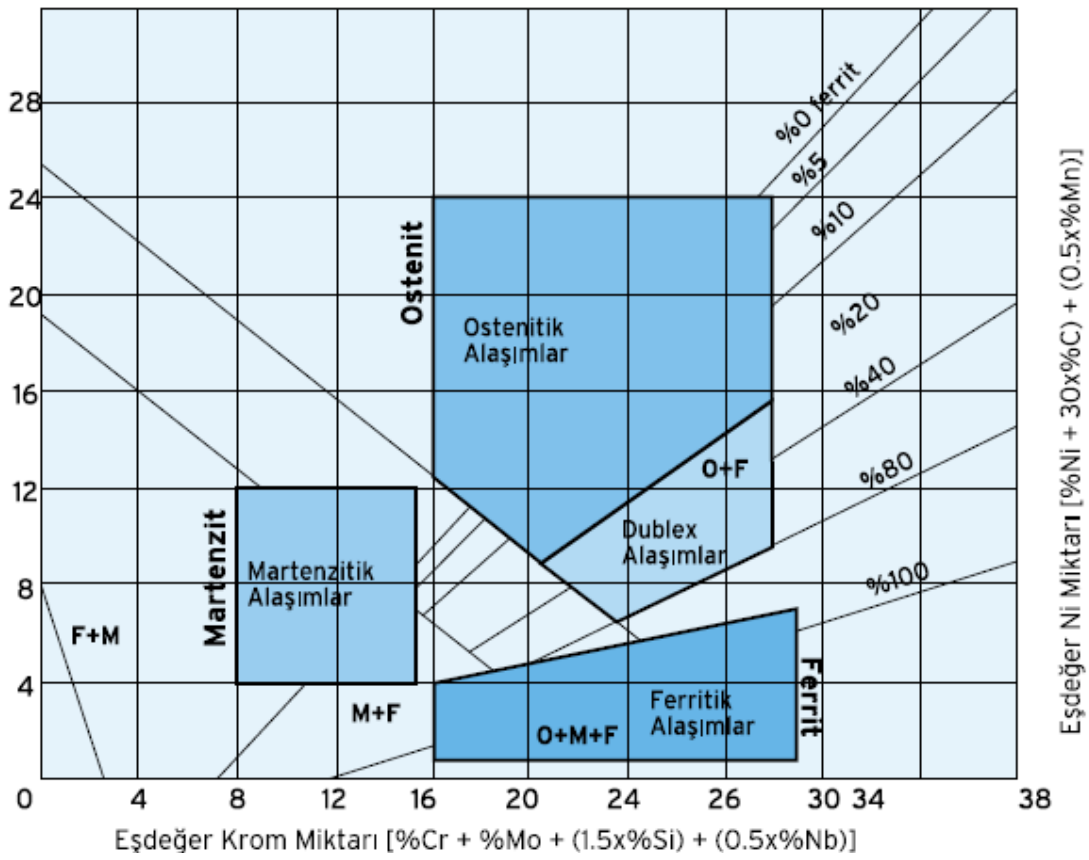
-Kükürt ve selenyum:

Talaşlı işlenebilme özelliğini artırır. Paslanmaz çeliklerde karbon %0,02 ile 1 arasında olabilir, düşük karbon miktarları daha tipiktir, yüksek oranlar martenzitik çeliklerde söz konusudur. Çünkü bu paslanmaz çeliklerde karbonun varlığında krom karbür oluşur ve genellikle tane sınırlarında krom karbür olarak çöker, bu nedenle kafes içinde çözülmüş krom miktarı %12'lik sınırın altına düşebilir ve malzemenin korozyona dayanıklılık özelliği kaybolur. Dolayısıyla çelik bileşimindeki karbon yüzdesi yükseldikçe;

-Krom miktarı artırılmalı veya

-Karbür yapma eğilimi kromdan fazla olan elementler katılarak krom karbürün meydana gelmesi ve kafeste çözülmüş kromun azalması engellenmelidir (stabilize etme). Paslanmaz çeliklerde içyapıyı belirleyen en önemli alaşım elementleri önem

sırasına göre krom, nikel, molibden ve mangandır. Bunlardan öncelikle krom ve nikel içyapının ferritik veya ostenitik olmasını belirler. Schaeffler diyagramı çeşitli paslanmaz kalitelerinin bileşim açısından yerini gösterir. (Şekil 2.2.) Ferrit stabilizatörleri; ferrit faz alanını genişleten silikon, krom, molibden, vanadyum, niyobyum ve titanyum gibi karbür oluşturan metallerdir. Ostenit stabilizatörleri ise; ostenit faz alanını genişleten nikel, mangan, karbon ve nitrojen gibi elementlerdir[22].



Şekil 2.2. Schaeffler diyagramı [22]

Tablo 2.5. Bazı paslanmaz çelik kaliteleri ve kimyasal bileşimleri [22]

ASTM	EN Malzeme No.	Kımsayal Bileşim, ağı.% max									
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Diğer
Ferritik Paslanmaz Çelikler											
409	1.4512	0.08	1.0	1.00	0.045	0.03	10.5-11.75	-	-	-	(6xC)Ti
430	1.4016	0.12	1.0	1.00	0.04	0.03	16.0-18.0	-	-	-	-
430Ti	(1.450)	0.10	1.0	1.00	0.04	0.03	16.0-19.5	0.75	-	-	(5xC)Ti
439	1.4510	0.07	1.0	1.00	0.04	0.03	17.0-19.0	0.5	-	-	0.2+4(C+N)Ti
Martenzitik Paslanmaz Çelikler											
410	1.4006	0.15	1.0	1.00	0.04	0.03	11.5-13.0	-	-	-	-
420	1.4021	0.15 min	1.0	1.00	0.04	0.03	12.0-14.0	-	-	-	-
440A	-	0.6-0.75	1.0	1.00	0.04	0.03	16.0-19.5	-	0.75	-	-
440C	1.4125	0.95-1.2	1.0	1.00	0.04	0.03	16.0-18.0	-	0.75	-	-
Dublex Paslanmaz Çelikler											
2205*)	1.4462	0.03	2.0	1.0	0.03	0.02	21.0-23.0	4.5-6.5	2.5-3.5	0.08-0.2	-
329	1.4460	0.20	1.0	0.75	0.04	0.03	23.0-28.0	2.5-5.0	1.0-2.0	-	-
Ostenitik Paslanmaz Çelikler											
201	1.4372	0.15	5.5-7.5	1.00	0.06	0.03	16.0-18.0	3.5-5.5	-	0.25	-
301	1.4310	0.15	2.0	1.00	0.045	0.03	16.0-18.0	6.0-8.0	-	-	-
304	1.4301	0.08	2.0	1.00	0.045	0.03	18.0-20.0	8.0-10.5	-	-	-
304L	1.4306	0.03	2.0	1.00	0.045	0.03	18.0-20.0	8.0-12.0	-	-	-
304LN	1.4311	0.03	2.0	1.00	0.045	0.03	18.0-20.0	8.0-12.0	-	0.1-0.16	-
309	1.4828	0.20	2.00	1.00	0.045	0.03	22.0-24.0	12.0-15.0	-	-	-
309S	1.4833	0.08	2.00	1.00	0.045	0.03	22.0-24.0	12.0-15.0	-	-	-
310	1.4841	0.25	2.00	1.50	0.045	0.03	24.0-26.0	19.0-22.0	-	-	-
310S	1.4845	0.08	2.00	1.50	0.045	0.03	24.0-26.0	19.0-22.0	-	-	-
316	1.4401	0.08	2.00	1.00	0.045	0.03	16.0-18.0	10.0-14.0	2.0-3.0	-	-
316L	1.4404	0.03	2.00	1.00	0.045	0.03	16.0-18.0	10.0-14.0	2.0-3.0	-	-
316LN	1.4406	0.03	2.00	1.00	0.045	0.03	16.0-18.0	10.0-14.0	2.0-3.0	0.1-0.16	-
316Ti	1.4571	0.08	2.00	1.00	0.045	0.03	16.0-18.0	10.0-14.0	2.0-3.0	-	5x(C+N)Ti
321	1.4541	0.08	2.00	1.00	0.045	0.03	17.0-19.0	9.0-12.0	-	-	(5xC)Ti
347	1.4550	0.08	2.00	1.00	0.045	0.03	17.0-19.0	9.0-13.0	-	-	(10xC)Nb
Çökelme Sertleşme Uygulanabilir Paslanmaz Çelikler											
631	1.4568	0.09	1.0	1.0	0.04	0.04	16.0-18.0	6.5-7.5	-	-	0.75-1.5 Al
632	1.4532	0.09	1.0	1.0	0.04	0.03	14.0-16.0	6.5-7.5	2.0-3.0	-	0.75-1.5 Al

2.2.1. Ferritik paslanmaz çelikler

Ferritik çelikler hem oda sıcaklığında hem de daha yüksek sıcaklıklarda demir elementinin sahip olduğu hacim merkezi kübik kristal yapısına sahiptirler ve ostenit ferrit dönüşümü göstermezler. Dolayısıyla iç yapılarını ve mekanik özelliklerini ısı

işlemlerle etkilemek mümkün değildir. Tavlanmış halde akma gerilmeleri 275 ile 350 MPa arasındadır. Düşük toklukları ve gevrekleşme hassasiyetleri nedeniyle, makina parçası olarak kullanımları özellikle kaynaklı montajlar ve kalın kesitler için sınırlıdır. Atmosferik korozyona ve oksidasyona karşı olan dayanımları ise önemli avantajlarıdır. Ferritik çelikler manyetikler ve ısıtılı işlemlerle mekanik özellikleri değiştirilemediğinden iyi bir dayanıma sahip olmaları için ince taneli bir içyapı şarttır. Ferritik çelikler %10,5 ile 30 arasında krom ve az miktarda karbon, azot ve nikel gibi ostenit yapıcı elementler ihtiva ederler. Kuvvetli ostenit yapıcı olan karbon belirli bir miktara ulaştıkça kromun ferrit yapıcı etkisi ortadan kalkar, dolayısıyla perlitik veya martenzitik paslanmaz çelikler ortaya çıkar. Öte yandan karbon yüzdesi artırıldığı durumlarda ferritik içyapı isteniyorsa, krom yüzdesinin de artırılması gerekir. Ferritik çeliklerin kullanım yerleri tamamen krom miktarına bağlıdır. Bu bakımdan, başlıca üç ana gruba ayrılabilir:

-Krom miktarı %11-13 arasında olanlar

(405 ve 409 kaliteleri)

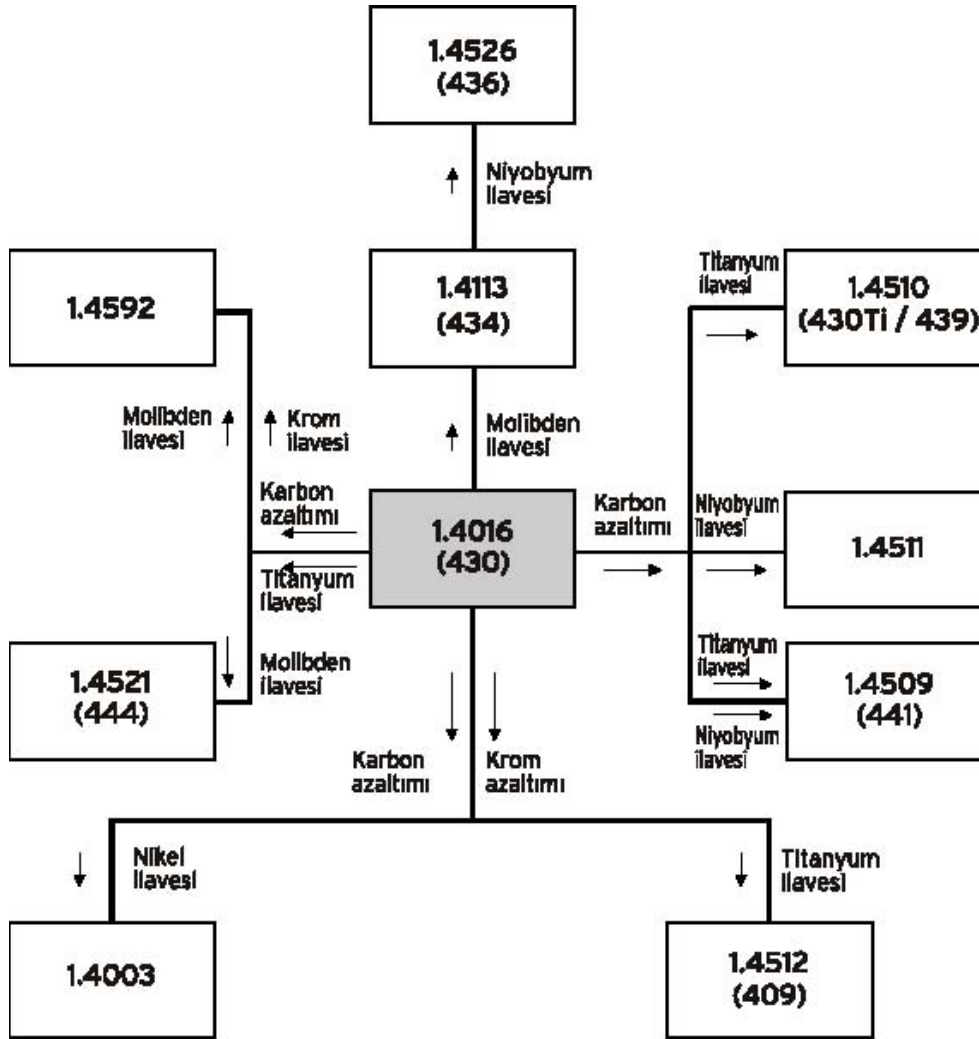
- Krom miktarı yaklaşık %17 olanlar

(430 ve 434 kaliteleri)

- Yüksek kromlular %19-30

(Süperferritikler 442 ve 446 kaliteleri)

Krom oranı düşük olan birinci grup orta derecede korozyon ve oksidasyon dayanımı yanında düşük fiyat ve iyi imalat özelliklerine sahiptir. Otomotiv ve egzoz parçalarında tercih edilen bu grup içinde en çok kullanılanı 409 kalitedir. Orta derecede krom içeren ve otomotiv sac parçaları ve mutfak gereçleri yapımında kullanılan ikinci grup, düşük tokluk ve düşük kaynak kabiliyeti ile göze çarpar.



Şekil 2.3. Ferritik paslanmaz çelikler [22]

Yüksek kromlu üçüncü grup ise süperferritikler diye adlandırılır ve yüksek korozyon ve oksidasyon dayanımı gereken yerlerde tercih edilirler. Genellikle düşük karbon ve azot içeren bu alaşımlarda, gevrekleşme hassasiyetini azaltmak ve kaynaklı konstrüksiyon dayanımını arttırmak amacıyla titanyum ve niyobyum gibi stabilizatör elementler katılır. Ayrıca alüminyum ve molibden de içerirler. Süperferritikler yerel korozyon söz konusu olduğunda (örneğin suda çözülmüş klorüre karşı) ostenitik çeliklere kıyasla çok daha iyi bir dayanım gösterirler. Bundan dolayı buhar kazanları, ısı değiştiricileri, klorür taşıyan boru hatları ve deniz suyu uygulamalarında tercih edilirler. Ferritik çelikler hacim merkezli kübik bir kafes yapısına sahip olduklarından, düşük sıcaklıklarda gevrek davranış gösterirler. Ayrıca yüksek

sıcaklıklarda tutma süresine de bağılı olarak aşağıda açıklanan üç gevrekleşme olayı görülebilir.

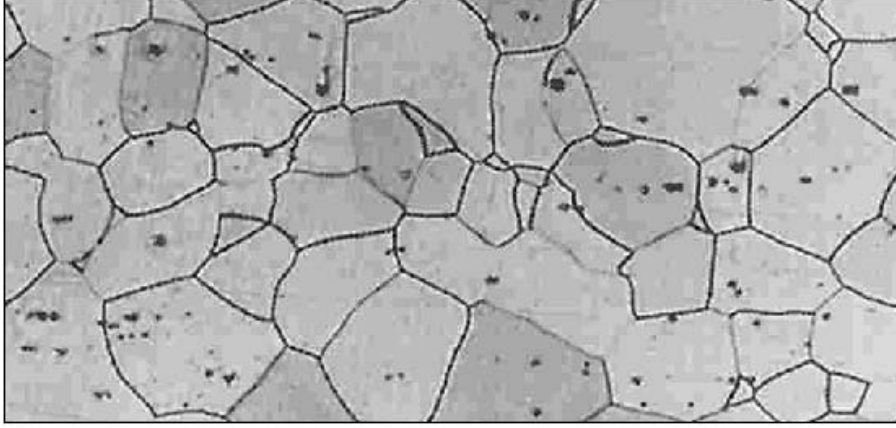
- 400-55°C arasında uzun süre kalmış veya yüksek sıcaklıktan yavaş soğutulmuş %15'ten fazla krom içeren paslanmaz çeliklerde çökelmelerin yol açtığı 475°C gevrekleşmesi görülür. Bunu gidermek için gevrekleşmiş çelik 650-750°C arasındaki bir sıcaklığa ısıtılıp hızla soğutulursa bu etki giderilmiş olur.

-Çelikler 600-800°C arasında uzun süre tutulursa yüksek kromlu ferritik ve bazı ostenitik çeliklerde sigma arafazı oluşabilir. Soğuk şekil verme bu dönüşümü kolaylaştırır. Sigma fazı 950 üzerinde yapılacak bir tavlama ve bunu izleyen su verme ile yok edilebilir.

-950°C'nin üzerinde tane irileşmesi görülür ve tane sınırlarında krom karbür çökeltileri ortaya çıkar. Titanyum veya tantal/niyobyum gibi stabilizatörlerin katılmasıyla tane irileşmesi ile karbür oluşumu engellenebilir. Öte yandan stabilize edilmemiş çeliklerin özellikle kaynak bağlantılarında 700-800°C arasında yapılacak bir tavlama, krom karbürleri küreleştirdiği gibi olası martenzit fazını da temperleyerek tokluğun daha fazla düşmesini önler. Ayrıca tane sınırları yakınındaki krom dağılımı yayınma ile bir miktar düzgünleştirilip, pasiflik sınırına (%11) yeniden ulaşılmış olur. Bu nedenlerle ferritik çeliklerde kaynak bağlantıları, ostenitik çeliklerden daha sorunlu olup, şu tedbirlerin alınması gerekir.

-Başlangıç tokluğunu artırmak üzere 150-200°C arasında ön ısıtma ve kaynak sonrası 700-800°C sıcaklık aralığında uygulanacak bir tavlama yapılmalıdır.

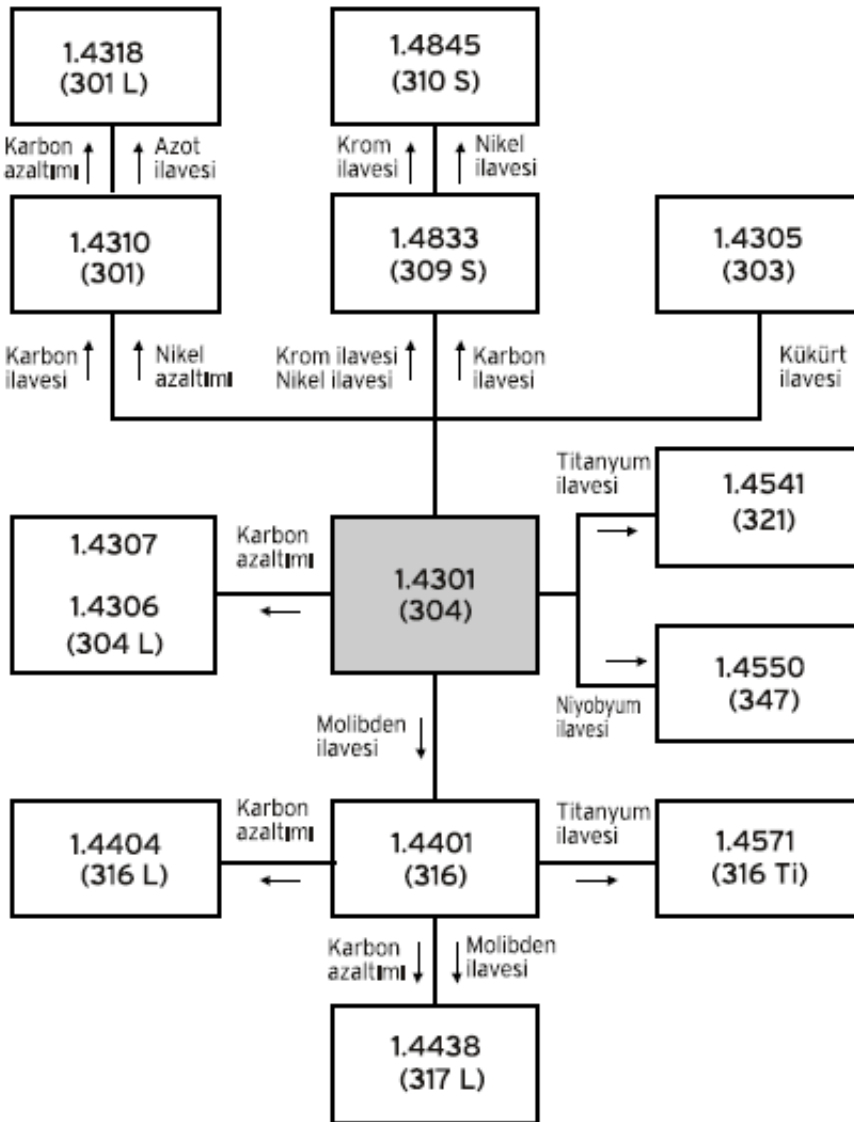
-Tane irileşmesini ve karbür çökmesini önlemek için kaynak işleminde ısı girdisi düşük tutulmalıdır [22].



Şekil 2.4.Ferritik paslanmaz çeliğin mikro yapısı [22]

2.2.2. Ostenitik paslanmaz çelikler

Gerek kullanım, gerekse alaşım kalitelerinin çokluğu açısından en zengin grup ostenitik çeliklerdir. Manyetik olmayan bu çelikler hem oda sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıklarda yüzey merkezle kübik kafese sahip ostenitik içyapılarını koruduklarından, normalleştirme ve sertleştirme ısıl işlemi yapılamaz. Tavlanmış halde süneklikleri, toklukları ve şekillendirilebilme kabiliyetleri düşük sıcaklıklarda bile mükemmeldir. Mukavemetleri ancak soğuk şekillendirme ile artırılabilir. Ostenitik paslanmaz çelikler genellikle %16 ile %26 krom, %35'e kadar nikel ve %20'ye kadar mangan içerirler. Nikel ve mangan temel ostenit oluşturmalarıdır.



Şekil 2.5. Ostenitik paslanmaz çelikler [22]

2XX serisinde, en çok %7 nikel, %5 ile %20 arasında mangan bulunur ve azotun ostenit içinde çözünürlüğü sayesinde dayanım artırılabilir. Katı çözümlerde bulunan kristal kusurların içine yerleşen azot, ostenit iç yapısının mukavemetini artırır. 3XX serisi ise daha fazla nikel ve en çok %2 mangan içerir. 301 ve 304 kaliteleri en az alaşımlı olan türlerdir ve 3XX serisinin temel alaşımları olarak kabul edilirler. Mükemmel şekillendirilebildiği, sünekliği ve yeterli korozyon dayanımı ile 304 kalite ostenitik çelik en yaygın olarak kullanılan paslanmaz çeliktir. Tavllanmış 3XX serisi çeliklerin akma dayanımı 200-275 MPa arasında iken yüksek azotlu 2XX serisinde akma dayanımı 500 MPa değerine kadar yükselir. Bu çeliklerde korozyonu önlemek için gerekli olan kromun ferrit yapıcı etkisi, ostenit yapıcı alaşım

elementleri katılarak giderilir. 304 kalite çeliklere molibden katılarak 316 ve 317 kaliteleri üretilir ve klorürlü ortamda noktasal korozyona dayanım sağlanır. 309 ve 310 kaliteleri gibi yüksek kromlu alaşımlar yüksek sıcaklıklarda ve oksitleyici ortamlarda kullanılır. Yüksek oranda nikelli alaşımlar ise indirgeyici asidik ortamlarda tercih edilirler.

Ancak bu amaçla, kuvvetli bir ostenit yapıcı olmasına karşın karbonmiktarı artırılamaz, çünkü bu element karbür oluşturarak korozyon dayanımını zayıfştır. Bunun yerine aynı zamanda oksitleyici ve indirgeyici asitlere de dayanıklı olan nikelten yararlanılır. Yüksek oranda nikel, yaklaşık %6 azot ve %20 azot içeren alaşımlara süperostenitikler de denir. 321 ve 347 kalitelerde karbonu stabilize etmek ve dolayısıyla yüksek sıcaklıkta taneler arası korozyonu önlemek amacıyla titanyum ve niyobyum eklenir. "L" ve "S" uzantılı alaşımlarda (304L, 309S gibi) taneler arası korozyonu önlemek için karbon oranını düşük tutma yoluna gidilmiştir. Ostenitik paslanmaz çeliklerde mukavemeti artırmak için genellikle soğuk şekillendirmeden yararlanılır. Bu çeliklerde pekleşme, ferritiklerden daha fazladır. Bu arada şekil değiştirme martenziti de oluşabilir ve malzeme manyetiklik kazanır.

Mukavemeti artırmak için bir diğer yol da alaşımlama yapmaktır. Bu açıdan karbon ve azot en etkili elementlerdir. Kükürtsüz olan korozif ortamlarda ostenitik çelikler, ferritiklerden daha iyi sonuç verirler. Molibden katılması ile organik ve çeşitli mineral asitlere karşı dayanımları artar. Tam ostenitik çelikler ısıya ve asitlere dayanıklı, yüksek sıcaklık özellikleri iyi olan malzemelerdir. Ancak sıcak yırtılma eğilimi gösterirler. Ostenitik çelikler sünek ve toktur, ayrıca ısı etkisiyle sertleşmediklerinden, kaynak bağlantıları için uygundur, ancak ısınan ve soğuyan bölgede karbür çökmesi oluşmaması için stabilize edilmiş türleri seçilmelidir. Öte yandan ısı iletimleri düşük, genleşmeleri yüksek olduğundan kaynakta çarpılmayı önlemek için ısı girdisi düşük tutulmalıdır. Ostenit fazı içeren çeliklerde en büyük sorun, krom karbür çökmesidir. Kritik sıcaklıklar olarak nitelenen 400 ile 850°C arasında yüksek enerjili tane sınırları boyunca ayrışarak yan yana dizilen kromca zengin karbürler, malzemenin korozif ortamlarda bulunması halinde tanelerarası korozyona ve tane ayrılmasına yol açarlar. Bunun nedeni karbür bünyesine geçen

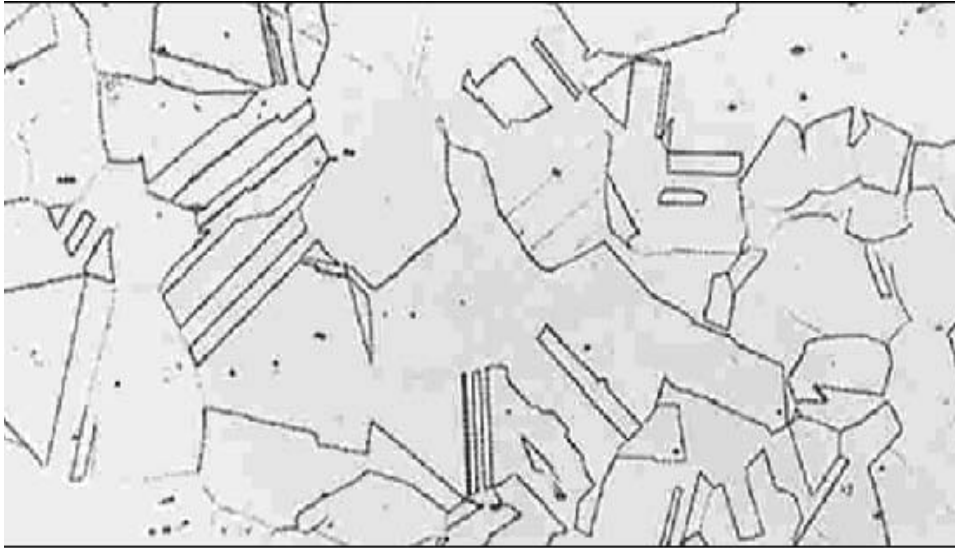
krom nedeniyle, katı çözeltideki krom miktarının korozyona dayanıklılık sınırının (<%12) altına düşmesidir.

Bunu engellemek için;

- Çeliğe stabilizatörler katılarak, içyapı kararlı hale getirilir. Bunlar, karbona ilgiler kromunkinden fazla olan titanyum, tantal ve niyobyum gibi elementlerdir. Bu sayede karbon, yüksek sıcaklıklarda dahi kromkarbür oluşturmayacak şekilde bağlanır.

- ELC (extra low carbon - çok düşük karbonlu) çelikler kullanılabilir. Ostenitik çeliklerde 650°C sıcaklıkta çözünebilen karbon miktarı yaklaşık %0.05'tir. Karbon miktarı bu değerden az olursa çözünen karbon, karbür oluşturamaz.

- Çözme tavlama uygulanabilir. 1050-1150°C arasında tavlama yaparak çökelmiş karbürler çözündürülür. Hızlı soğutulmasıyla yeniden çökme önlenir [22].

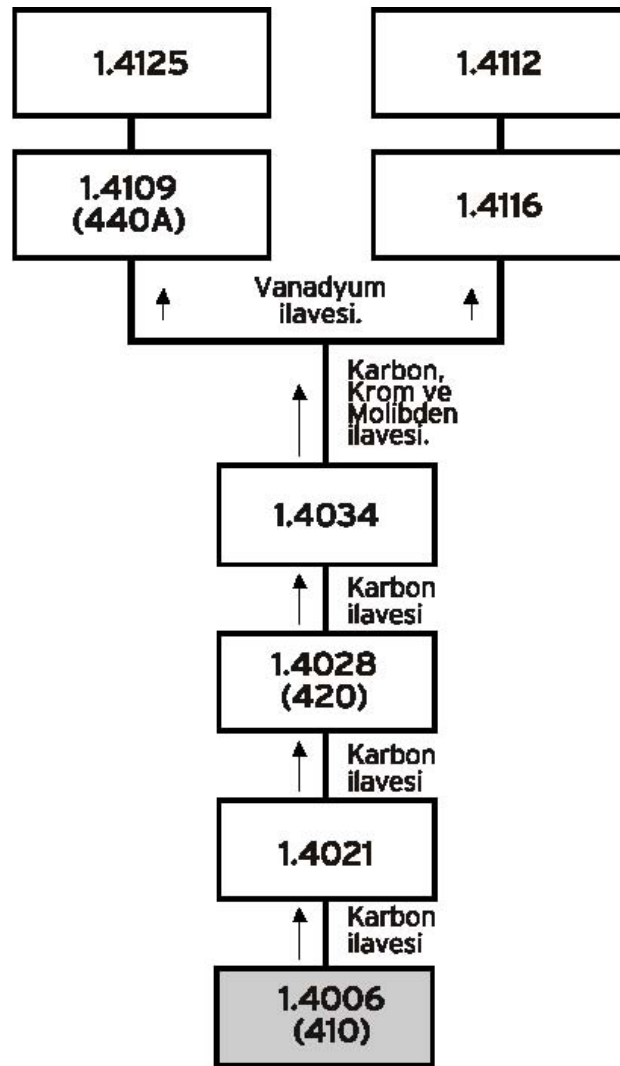


Şekil 2.6. Ostenitik paslanmaz çeliğin mikro yapısı [22]

2.2.3. Martenzitik paslanmaz çelikler

Martenzitik çelikler, yüksek sıcaklıklarda sahip oldukları yüzey merkezli kübik kafese sahip ostenitin hızlı soğutma sonucu hacim merkezli tetragonal kafese sahip martenzit yapıya dönüşümü ile elde edilir. Bu çeliklerin içyapısında tavlama halde

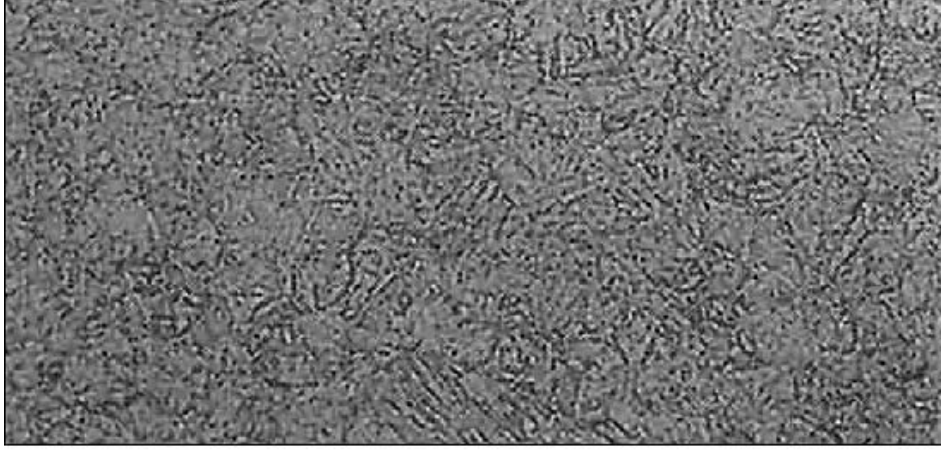
yumuşak ferritik faz da bulunur. Bu gruptaki çelikler %16 ile % 18 krom içeren 440A, 440B ve 440C kaliteleri dışında, en çok %14 krom içerirler. Bunun yanında, % 0,60 ile % 1,20 oranında yüksek karbon içeren 440 serisi dışında karbon miktarları düşük veya orta derecedir. Krom ve karbon miktarları martenzit oluşumunu sağlayacak şekilde dengelenir. Temperleme özelliklerini ayarlamak üzere niyobyum, silikon, volfram ve vanadyum ilave edilebilir. Tokluğu ve bazı ortamlarda korozyon dayanımını iyileştirmek için ise az miktarda nikel eklenir. α stenen içyapı ve özellikleri elde etmek için martenzitik çeliklerin alaşım çeliklerine benzer biçimde ısı işleme (yani ostenitleme, su verme ve temperleme) tabi tutulmaları gerekir. Ostenitleme sıcaklığı çeliğin türüne göre 950-1050°C arasındadır. Bu sıcaklıktan çeliğe su verilirse martenzitik bir içyapı elde edilir. Su verme ve temperleme sonrası mekanik özellikler temelde karbon miktarına bağlıdır. Elde edilen sertlik ve mukavemet, karbon yüzdesi ile birlikte artar. Bilişimindeki krom miktarı %16 ve karbon miktarı % 0,6-%1,1 olan çelikler 60 HRC sertlik ve 1900 MPa akma dayanımı gösterebilirler. Bu çeliklerin sertliğinin yüksek oluşu, aşınma dayanımını da iyileştirebilir. %1,1 karbon içeren 440C kalitesi mükemmel aşınma dayanımı gösterirken, %0,1 karbon içeren 410 kalitenin aşınma dayanımı düşüktür. Korozyon dayanımını ve tokluğunu artırmak için alaşıma molibden ve nikel eklenir. Nikel içeren martenzitik çeliklerde karbonun görevini nikel üstlenir. Bu şekilde karbonun bazı olumsuz etkileri (karbür çökeltileri, aşırı sertlik gibi) ortadan kaldırılabılır. Nikel aynı zamanda yüksek miktarda kromun etkisini dengeleyerek içyapıyı serbest ferritlerden korur. Ayrıca sertleşme kabiliyeti ve su verme derinliği arttığından, iri parçalara da ıslah işlemleri uygulanabilir. Molibden ve nikel ilavesi, su verme sonrasında martenzite dönüşmemiş artık ostenitlerin oluşmasını önlemek için sınırlı tutulmak zorundadır. Bu nedenle korozyon dayanımı ancak orta düzeyde kalır.



Şekil 2.7. Martenzitik paslanmaz çelikler [22]

Martenzitik çelikler yüksek çekme, sürünme ve yorulma dayanımı gerektiren, orta derecede korozif ve en çok 650°C'a kadar sıcaklıktaki uygulamalarda tercih edilirler. Örnek olarak düşük ve orta miktarda karbon içeren 410 kalite çelik ve türevleri, buhar ve gaz türbinlerinde ve jet motorlarında kullanılır. 420 ve benzeri alaşımlar bıçak ve diğer kesici aletlerde, vana parçalarında, dişli, rulman ve millerde tercih edilir. Martenzitik çelikler petrol ve petrokimya makina teçhizatında da kullanılır. 420 kaliteye ek olarak, 440 ve benzeri alaşımlar cerrahi ve dişçilik aletlerinin, makas, yay, kam ve rulman bilyalarının en çok tercih edilen malzemeleridir. Ürün tipine bağlı olarak martenzitik çelikler tavlanmış veya ıslah edilmiş durumda pazara sunulur. Tavlanmış olarak alınan ürünler şekil verildikten sonra ıslah işlemine (suverme+temperleme) tabii tutulur. Temperleme sıcaklığı değiştirilerek değişik

özellik kombinasyonları elde edilir. En iyi korozyon dayanımını elde etmek için tavsiye edilen ısı işlem sıcaklıklarına tam olarak uyulması çok önemlidir [22].



Şekil 2.8. Martenzitik paslanmaz çelik mikro yapısı [22]

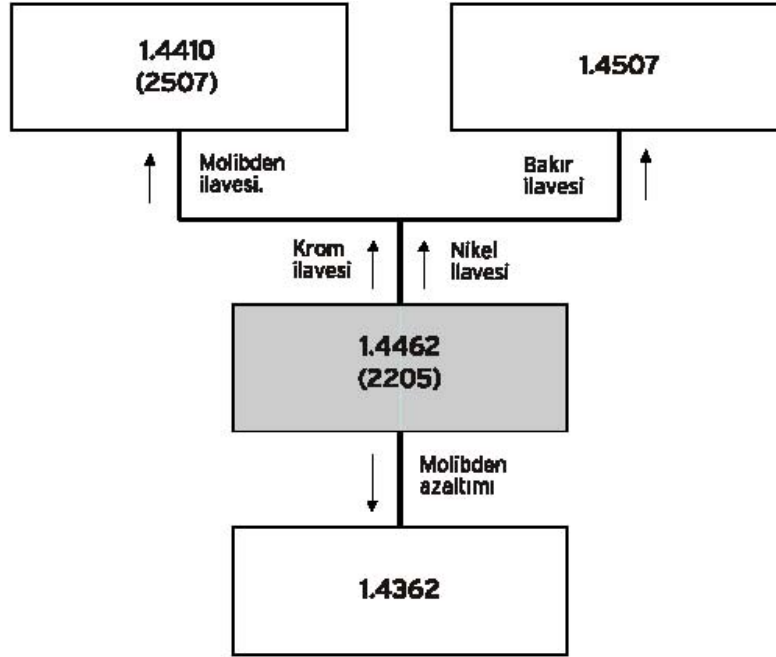
2.2.4. Ostenitik-Ferritik (Dubleks)paslanmaz çelikler

Dubleks çelikler olarak da adlandırılan bu çeliklerin içyapısında her iki faz bir arada bulunur ve bu sayede ostenitik ve ferritik çeliklerin her birinin de ötesinde iyileştirilmiş özellikler gösterirler. Böylece ostenitik çeliklere kıyasla daha iyi gerilme korozyonu dayanımına; ferritik çeliklerle kıyaslandığında ise daha iyi tokluk ve sünekliğe sahip olurlar. Ayrıca, iki fazın bir arada bulunması halinde tavlanmış durumda bile 550 ile 690 MPa akma dayanımı gösterirler ki, bu değer, fazların tek başına bulunduğu türdeki çeliklerin akma dayanımının yaklaşık iki katıdır. Mevcut ticari kaliteler % 22-% 26 krom, %4-%7 nikel, azami %4,5 molibden, yaklaşık %0,7 bakır ve volfram ile %0,08- % 0,35 azot içerirler. Başlıca dört analitesi vardır:

- (1) Fe-23Cr-4Ni-0,1N,
- (2) Fe22Cr-5,5Ni-3Mo-0,15N,
- (3) Fe-25Cr-5Ni-2,5Mo-0,17N-Cu ve
- (4) Fe-25Cr-7Ni-3,5Mo-0,25N-W-Cu.

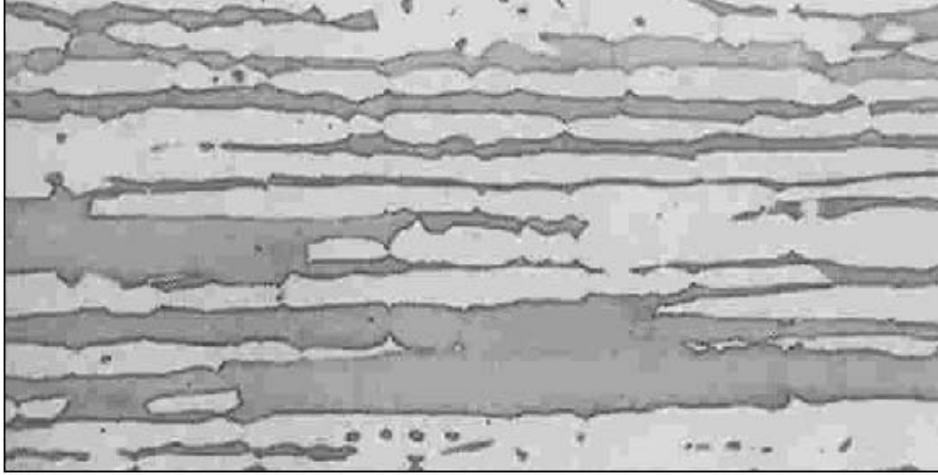
Bunlardan dördüncüsü süper-dubleks diye de adlandırılır. Bu türdeki çelikler üzerinde araştırma ve deneyler devam etmekte ve mekanik özellikler ile korozyon

dayanımında sürekli iyileşmeler sağlanmaktadır. Ostenitik-ferritik çelikler ferrit yapıcı elementlerin oranına bağlı olarak %10'a kadar delta-ferrit içerirler. İlk önce katılaştan bu faz, içyapının ince taneli olmasını sağlar Sıcak çatlama duyarlılığını artıran fosfor, kükürt, silisyum gibi elementler de büyük ölçüde ferrit kafesi içinde çözünerek ostenit fazından uzaklaşır ve böylece bu çeliklerde sıcak çatlama tehlikesi azalır.



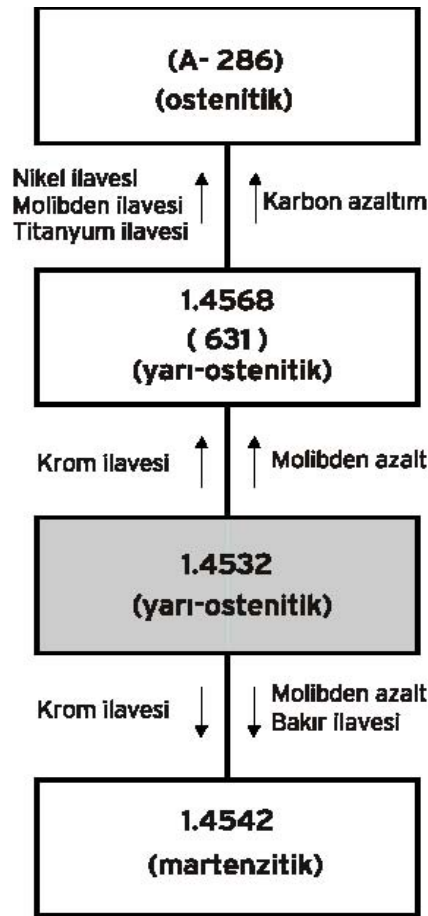
Şekil 2.9. Dupleks paslanmaz çelikler [22]

Dupleks çeliklerin, tavsiyelere göre uygulama yapıldığında, kaynak kabiliyetleri de iyidir. Genellikle petrol, petrokimya, kimyasal teçhizat imalatında, arıtma tesislerinde ve deniz veya “off-shore“ teknolojisinde kullanılır. Kaynaksız halde 280°C, kaynaklı halde ise 250°C sıcaklıklara kadar güvenle kullanılabilirler.



Şekil 2.10. Dupleks paslanmaz çelik mikroyapısı [22]

Bu çeliklere çökeltme sertleşmesi (yaşlandırma) uygulanabilir. Bunların esas içyapıları ostenitik, yarı-ostenitik veya martenzitik olabilir. Bu çelikler çok düşük miktarda karbon ihtiva ettiklerinden martenzitik türlerinde bile temel sertleşme ancak çökelmeye bağlı olarak gerçekleşir. Çökelti oluşumunu sağlamak için alüminyum, titanyum, niyobyum ve bakır elementleri ile alaşımlama yapılır. Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen çelikler iyi süneklik ve tokluk yanında, orta ila iyi derece arasında korozyon dayanımı gösterirler. Bu çeliklerde, martenzitik çeliklerle kıyaslandığında, mukavemet ve korozyon dayanımlarının iyi bir kombinasyonu elde edilir. Bu durum yüksek miktardaki alaşım elementleri ve en çok %0,04 karbon bulunmasından dolayıdır, ancak bunun sonucu aşınma dayanımında düşüş gözlenir. Çökeltme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelikler 1700 MPa değerine kadar çıkan akma dayanımlarına sahiptirler. Soğuk şekillendirme ve onu izleyen yaşlandırma ile bu değer daha da yükseltilebilir. En yaygın olarak kullanılan türü 630 kalite olan bu grubun kullanım alanı uçak-uzay ve diğer yüksek teknoloji alanlarıdır [22].



Şekil 2.11. Çökeltme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelikler [22].

2.3. Alüminyum ve Alaşımlarının Özellikleri

2.3.1. Alüminyum özellikleri

Alüminyum hafif metaller grubuna giren ve teknik alanda çok kullanılan bir metaldir. Özgül ağırlığı 3.8 gr/cm³'den küçük olan elemanlar hafif metaller grubuna girer. Hafif metaller sınıfında alüminyum, magnezyum, potasyum, lityum ve berilyum bulunur. Bunlardan özellikle alüminyum ve magnezyum en önemlileridir. Alüminyumun önemli olmasının sebebi hafif olmasıdır. Ayrıca yüksek elektrik ve ısı iletkenliği atmosferik dayanıklılığı, imal kolaylığı ve diğer metaller ile yüksek çekme mukavemetine sahip alaşımlar oluşturabilmesi diğer önemli hususlardır.

Alüminyum doğada bol bulunduğu için kullanılma sahaları çoktur. Bütün metallerde yaygın olana yer kabuğunun %15'ini (Al₂O₃)olarak oluşturmaktadır.

Alüminyum kaynak, sıcak ve soğuk lehim ve ya mekanik bağlanma usulleri ile kolayca birleştirilebilmektedir. Alüminyum diğer metallerde kullanılan cihazlar ve teknikle birleştirme yöntemini belirleyen faktördür[23].

2.3.2. Alüminyumun genel karakteristikleri

Alüminyum ağırlık olarak hafiftir. Bazı alaşımlar yumuşak çelikle mukayese edilecek derecede sağlamdır. Sıfır derecenin altında şekil değiştirme kabiliyetine sahiptir. Korozyona direnci fazladır. Zehirleyici değildir. Elektrik ve ısı iletkenliği iyidir. Isı ve ışığa çok iyi yansıtır. Manyetik değildir.

Alüminyum imali kolaydır. Bükülebilir, haddelenebilir, preslenebilir, çekilebilir, bükülüp uzatılabilir ve rulo haline getirilebilir. Metal ayrıca çekiçle dövülüp, kızdırılıp işlenebilir veya kalıptan çekilerek çok büyük şekiller verilebilir[23].

2.3.3. Alüminyumun fiziksel özellikleri

Atom ağırlığı 26,97özgül ağırlık

Dökme Al 2,65-2,69(gr/cm³)

Hadde Al 2,7 (gr/cm³)

Ergime noktası 658 C

Kayama noktası 1800 C

Isı geçirgenlik katsayısı 173

Sıcaklık tesiri ile uzama:

0..50 C 1,17 (mm/m)

100 C 2,38 (mm/m)

200 C 4,94 (mm/m)

400 C 10,60 (mm/m)

500 C 13,70 (mm/m)

Kendini çekme miktarı 1,7..1,8%

Katı halden sıvı hale geçerken

Meydana gelen hacim büyümesi 6,5% [23].

2.3.4. Alüminyum mukavemet özellikleri

Mukavemet özellikleri, malzemenin saflığına ve imal şekline bağlıdır.

	<u>Döküm Al.</u>	<u>Hadde Al.</u>	<u>Is. İşl.Tb. Tut. Al.</u>
Çekme muk. (kg/mm ²)	9-12	8-28	7-11
Akma muk (kg/mm ²)	3-4	3-5	5-11
Uzama (%)	18-25	16-24	30-40
Büzülme (%)	40-55	60-85	80-95
Sertlik (Brinell)	24-32	45-60	80-95

Saf alüminyum dinamik dayanıklılığı, statik dayanıklılığının 0,4-0,5 katıdır. Soğuk şekil değiştirmiş alüminyuma kaynak yapıldığında ısıdan etkilenen bölgenin mukavemeti düşer. Kaynak esnasında parça tavlandığı için mukavemeti azalmaktadır. Kaynaktan sonra parça soğuk olarak çekiçlenirse dayanıklılık kazanır [23].

2.3.5. Alüminyum alaşımları

Diğer metallerin alüminyuma ilave edilmesi mukavemet ve sertliğin artmasına imkan verir. Bu hususta, ticari evsftaki alüminyumda mevcut küçük miktarlardaki gayri safiyetlerin dahi alüminyumun mukavemetini (saf metale kıyasla) % 50' ye kadar

arttırmaya yeterli olduğunu kaydetmeye değer. Alüminyum alaşımlarının istihsalinde en fazla kullanılan metaller bakır, silisyum, manganez, magnezyum ve çinkodur. Bu metaller, nihai alaşımda arzu edilen bileşimi elde etmek için tek tek veya birleşik halde alüminyuma ilave edilebilirler. Döküm alaşımlarında alaşım yapıcı metaller daha yüksek miktarlarda sık sık kullanıldığı halde işleme alaşımları için bu metallerin toplam yüzdesi nadiren % 10' un üstüne çıkar. Dökülmüş ve tavlanmış şartlardaki alüminyum alaşımlarının çekme mukavemeti bileşimlerine bağlı olarak, ticari alüminyumunkinin iki misline kadar değişir. Soğuk işlem, işleme alaşımlarını çekme mukavemetini daha da yükseltir.

Alaşımlandırma neticesi alüminyum metalinin mukavemetinde elde edilen yükseliş, diğer özelliklerdeki değişimlerle birlikte meydana gelir. Bu değişimler farklı alaşımlarda nadiren aynı olur zira birçok alaşımlar esas itibariyle aynı çekme mukavemetine sahip olmalarına rağmen süneklik, elektrikli ve ısı iletkenliği ve imal kolaylığı bakımından geniş ölçüde farklı olurlar. Alaşımlandırma da hafiflik özelliği genellikle fazla önemli değildir ve bazı hallerde alaşımlar daha da hafif olurlar. Örneğin % 10 – 13 nispetinde silisyum ihtiva eden alaşımların yoğunluğu 2.65 civarındadır. Alaşımlar uygun bir şekilde iki gruba ayrılabilirler: döküm alaşımları ve işleme alaşımları[23-24].

Tablo 2.6. Uluslararası alüminyum standartları[23-24]

ULUSLARARASI ALÜMİNYUM STANDARTLARI										
ETİBANK TR	AA	U.K .BS	ISO	RUS	DIN	Werkstoff	FRANCE	ITALY	SWEDEN	SWITZERLAND
ETİAL 5	1050A	1B	Al99,5	A5	Al99,5	3,0255	A5	4507	14-4007	Al99,5
ETİAL 7	1070			A7	Al99,7	3,0275		4508		
	1080A	1A	Al99,8		Al99,8	3,128	A8	4509	14-4004	
ETİAL 0	1200	1C	Al99,0	A0	Al99	3,0205	A4	3567-66	14-4010	Al99,0
	1350	1E	Al99,5		E-Al	3,0257	A5L		E-AL99,5	
ETİAL 20	2011	FC1	AlCu6BiPb		AlCuBiPb	3,1655	A-U5PbBi	6362	14-4355	AlCu6BiPb
ETİAL 21	2014h15	H15	AlCu4SiMg		AlCuSiMn	3,1255	A-U4SG	3581	14-4338	AlCuSiMn
ETİAL 22	2017			Amr6	AlCuMg1		A-M4G	3579		
	2117				AlCu2,5Mg0,5					
ETİAL 24	2024		AlCuMg1	1163	AlCuMg2	3,1355	A-U4G1			AlCu4Mg1,5
	2218				AlCuMgNi2					
ETİAL 30	3003		AlMn1Cu	A31M	AlMnCu	3,0517	A-M1	3568		AlMn
	3103	N3			AlMn1	3,0515		7780	14-4054	AlMn
	3105									
ETİAL 31	3004				AlMn1Mg1	3,0526	A-M1G			
	3005				AlMn1Mg0,5	3,0525	A-MG0,5			
ETİAL 50	5005	N41	AlMg1		AlMg1	3,3315	A-GO-6	5764-66	14-4106	AlMg1
					AlMg2Mn0,8	3,3527				
ETİAL 52	5052			AlMr2	AlMg2,5	3,3523	A-G2,5C	3574		
	5754				AlMg3	3,3535	A-G3M	3575		
	5056A	N6	AlMg5		AlMg5	3,3555	A-G5	3576		
	5083	N8	AlMg4,5Mn		AlMg4,5Mn	3,3547	A-G4,5MC	7790	14-4140	AlMg5
	5086				AlMn4Mn	3,3545	A-G4MC			AlMg4
ETİAL 53	5154	N5	AlMg3,5	AMr3	AlMg3,5	3,3535	A-G3	3575		AlMg2,7Mn
	5251	N4	AlMg2		AlMg2Mo3	3,3525	A-G2M	3574		AlMg2
	5454	N51	AlMg3Mn		AlMg2,7Mn	3,3537	A-G2,5MC	7789		AlMg2,7Mn
	5657				AlMg0,8Si					
	5754				AlMg3,5	3,3535	A-G3M			
	6061	H20	AlMg1SiCu	AB			A-GSUC	6170		
ETİAL 60	6063 /6060	H9	AlMg0,5Si		AlMgSi0,5	3,3206	A-GS	3569	14-4104	AlMgSi0,5
ETİAL 61	6082 /6351	H30	AlSi/MgMn	A35	AlMgSi	3,2315	A-SGM0,7	3571	14-4212	AlMgSi0,6
ETİAL 64	5101A /6463	91E	AlMgSi		EAlMgSi0,5	3,3207		3570		AlMgSi0,5
	7020	H17			AlZn4,5Mg1	3,4335	A-Z5G	7791		AlZn4,5Mg1
	7022				AlZnMgCu0,5	3,4345				
	7075		AlZn6MgCu	B95	AlZnMgCu1,5	3,4365	A-Z5Gu	3735		AlZn6MgCu1,5
	7079									
	7175			B9504						
ETİAL 110	319	LM4					AS5U3			
	355,1	LM16	AlSi5Cu1					3600		
ETİAL 120	B443 /4043	LM18	AlSi5		AlSi5					
ETİAL 140	A413,2	LM6	AlSi12		AlSi12	230	AS13	4514		
	A413,1	LM2	AlSi12CuFe		AlSi12CuFe	231	AS12U	5079		
ETİAL 141	413	LM20	AlSi12Fe		GD-ALSi12		AS12			
ETİAL 145		LM13					AS12UN			
ETİAL 150			GAlSi12Cu					5076		
ETİAL 160	B380,1	LM24	AlSi8Cu3Fe		AlSi8Cu3	226	AS9U3	5075		
ETİAL 171	A360,2		AlSi10Mg		AlSi10Mg	239	AS10G	3051		
ETİAL 175	F332	LM26								
ETİAL 180		LM2								
ETİAL 220		L91	AlCu4Si		AlCu4,5					
ETİAL 221		LM11	AlCuTi		AlCu4Ti		A-U5GT			
	308,1	LM21	AlSi5Cu3			225		7364/4		

2.3.5.1. Alüminyum döküm alaşımları

Döküm alaşımları başlıca iki kısımda mütalaa edilebilir. Birinci kısımda ıslah edilen özellikler yalnız alaşımlandırma neticesi elde edilmiştir. İkinci grupta ise, özelliklerin daha fazla ıslah edilmesi için ısıtma işlemleri tatbik edilmiştir. Dökümlerde kullanılan alaşımlandırıcı metaller genellikle bakır, silisyum, magnezyum, çinko ve demirdir. Bu elementlerin uygun miktarlarda ilave edilmesi ile alüminyumun mukavemeti ve sertliği büyük ölçüde artırılabilir. Bununla beraber süreklilik azalır. Alüminyum alaşımlarının dökümü yalnız kum kalıplarında değil fakat metal kalıplarında da (kokil'lerde) yapılabilir. Buna ilaveten alaşımlardan bazıları püskürtme döküm makinelerinde dökülür. Metal kalıplarda istihsal edilen dökümlerin yüzeyleri, kum kalıplarda edilene nazaran daha düzgün ve boyut toleransları daha azdır. Bunun neticesi olarak da döküm parçasını işleme veya nihai şekillendirme maliyetlerinde önemli miktarda tasarruf sağlanmış olur.

Alüminyum döküm alaşımları için kullanılan simgeleme dizgesi işlem alaşımlarınıninkine benzer.

Dördüncü rakamı üçüncüsünden bir nokta ile ayrılan dört rakamlı bir simge kullanılır.

1xx. – için ikinci ve üçüncü rakamlar alüminyumun % 99.00 dan sonra aralık derecesini belirler.

Son rakam 0 ise bu parça dökümleri; 1 ise ingotları; 2 ise incelmış ingotları belirtir. Rakamların önünde bir x varsa bu, alaşımın deneme aşamasında olduğunu belirtir. Rakamların önüne A harfi konmuşsa bu o alaşımın orijinal alaşım şartnamesinden farklı olduğunu gösterir.

2 xx.x – 9 xx.x arasındakilerde ise ikinci ve üçüncü rakamlar yalnızca bir sıralama sayısını oluşturur[23-24].

2.3.5.2. Alüminyum işleme alaşımları

Alüminyum işlem alaşımlarından çeşitli profiller, yuvarlaklar, tel, boru, vb. ürünler ile sac, levha ve folyo gibi yassı ürünler üretilir.

Alüminyum işlem alaşımları için dünyada en yaygın olarak kullanılan simgeleme Amerikan Standartlar Birliği (ASA) tarafından belirlenendir. Bu sistem en yalın şekilde Tablo 5' açıkladığı gibi dört rakamdan oluşmuştur.

Dört rakamlı sayısal simgenin ilk rakamı hangi temel alaşım elementini içeren alüminyum alaşımı olduğunu belirtir. 1 XXX dizisi ari alüminyum (% 99.00) belirtir. Son iki rakam % 99 değerinin noktadan sonraki rakamlarını belirtir. Soldan ikinci rakam ise özel olarak denetlenen katışık (empürite) elementlerin sayısını belirtir ve 1' den 9' a kadar değişebilir. 2 XXX' den 8 XXX' e kadar olan alüminyum alaşımlarında ilk rakam alaşım türünü ikinci rakam değişimleri (modifikasyon) simgeler, son iki rakamın özel bir anlamı yoktur. Alaşımı dizideki diğer alaşımlardan ayıran sıra numarası gibi kullanılır.

Bu alaşımların “ işlem” (temper) durumlarını belirtmek için de harfler ve rakamlar kullanılır, temel işlem durumu bir harf, bu işlemin çeşitli değişimleri ise bir rakam ile gösterilir. Bu işlemin değişimleri Tablo 6' da gösterilmektedir.

İşleme alaşımları ısıl işlemin tatbiki ile değil fakat soğuk işleme mukavemet kazananlar ve ısıl işleme tabi tutulanlar olmak üzer iki gruba ayrılırlar. İkinci grup, birinciye nispeten daha fazla sayıda ilave element ihtiva eder [23-24].

2.3.5.3. Alüminyum ön alaşımları

Alüminyum ön alaşımları “ sıvı alüminyum metalin içine katıldığında hedef alınan bir kimyasal bileşimi sağlayan veya tane küçültme, silis inceltme gibi işlemleri gerçekleştiren alüminyum ana metalli alaşımlardır ” şeklinde tanımlanabilir.

Bu gün hemen hemen her alüminyum alaşımı üretiminde ön alaşım kullanılmaktadır.

Alaşım elemanlarının saf metal durumunda sıvı alüminyum içinde eritilmesi ergime derecelerinin farklılığı sebebiyle zorluk yaratmaktadır.

Ayrıca saf metallere ön alaşımların imalatı işlemi büyük ölçülerde eritme ve alaşımlama tesisi yatırımı gerektirmektedir.

Yüzde 5' lik Al – Ti ön alaşımının ergime derecesi saf titanyumun ergime derecesine göre 500 °C daha düşüktür.

Al – Ti ön alaşımı yerine saf titanyum kullanılırsa ocaktaki tüm sıvı alüminyumun sıcaklığını çok yukarıya çıkarmak gerekir. Bu hem enerji israfı hem de alaşım içindeki öteki elemanların miktar ve dağılımı açısından sakıncalı bir durum yaratmaktadır.

Alüminyum ön alaşımlarının bir yararı da az oranlarda katılan alaşım elemanlarının kesin ölçülerde ve homojen olarak dağılımının kolayca sağlanabilmesidir.

Ön alaşımlar hedef alınan bir alaşımı sağlamak için belli oranlarda hazırlanmış ise bunlara sertleştirici veya alaşımlayıcı denilmektedir. Ayrıca stronsiyum, titanyum, bor, gibi ön alaşımlarda doku ve içyapıyı geliştirici reaksiyonları nedeniyle katkı alaşımları olarak isimlendirilmektedir.

Birinci gruba giren ön alaşımlar: Al – Be, Al – Cr, Al – Fe, Al – Mg, Al – Mn, Al – Ni, Al – Si, Al – Cu, Al – Zr, Al – Li olup bunlar özelliklerine göre standart oranlarda hazırlanmaktadır.

Al – Ti, Al – Ti – Bo, Al – Sr – Si, Al – Sb' de ikinci gruba giren katkı tipi ön alaşımlardır[23-24].

BÖLÜM 3. METAL KESME YÖNTEMLERİ

3.1.Lazer İle Kesim

Lazer uygulamaya konduğu 1960 yılından beri insanoğlunun hizmetine girmiş olup büyük bir hızla ilerleme kaydetmektedir.

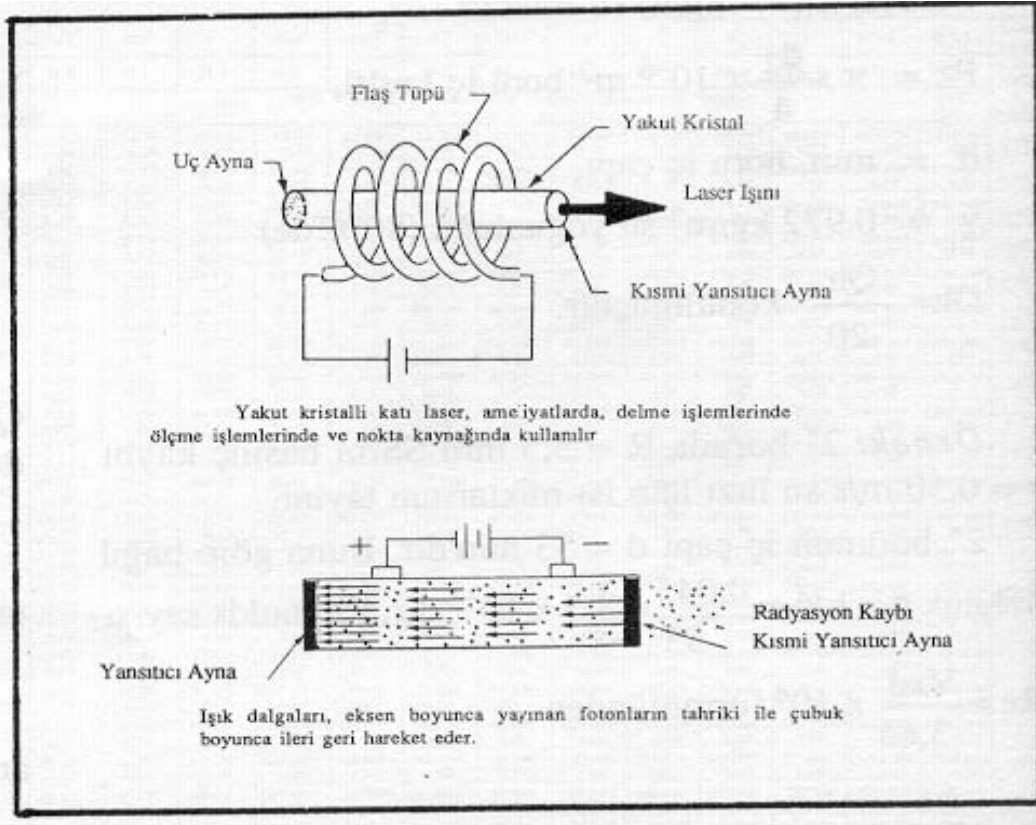
Lazer, "Light Amplification by- Stimulated Emission of Radiation" kelimelerinin baş harflerinden oluşmakta olup anlamı ışığın yoğunlaştırılıp bir güç kaynağına dönüştürülmesi olarak ifade edilir. Uygulamada lazer ışın elmas dahil bazı malzemelerin kesilmesinde, mikroskopik hassasiyetle göz ve diğer organların işlevlerinde, füze ve uyduların kontrolünde, termonükleer patlamanın başlangıcını yapmada ve mikron düzeyinde uzaklıklar ile yüz binlerce kilometrelik uzaklıkların hassas bir şekilde ölçümünde kullanılır. Torna ve işleme merkezlerinden farklı olarak; Lazer işleme makinaları, işlenecek malzemeyi 0.5 mm'den küçük çaplı bir lazer ışık hüzmesi ile eritir ve buharlaştırır. Sertliği veya yoğunluğu ne olur ise olsun, tüm malzemeler çabuk ve pürüzsüz olarak kesilmektedir. Kesilmesi zor malzemelerden olan inconel, titanyum ve takım çeliği örnek olarak gösterilebilir. Dokunmasız işleme gerçekleştirildiğinden dolayı sabitleme-düzeltilme gerektirmemektedir.

Maksimum işlenebilecek malzeme kalınlığı lazer osilatör'ünün çıkış gücü ile belirlenmektedir. Örneğin; 4kW'lık bir lazer, 15mm lik paslanmaz çeliği, 20mm lik takım çeliğini, 25mm lik yumuşak çeliği kesebilmektedir. Ek olarak; üç boyutlu lazer işleme makinaları yalnız düz tabakaları değil, üç boyutlu kompleks parçaları da kesebilmektedir [5].

3.1.2. Lazer çeşitleri

3.1.2.1.Katı cisim lazeri

Katı cisim lazerinde flaş tüpünün patlaması, fotoğraf makinesinin elektronik flaşının dolmasına benzer.



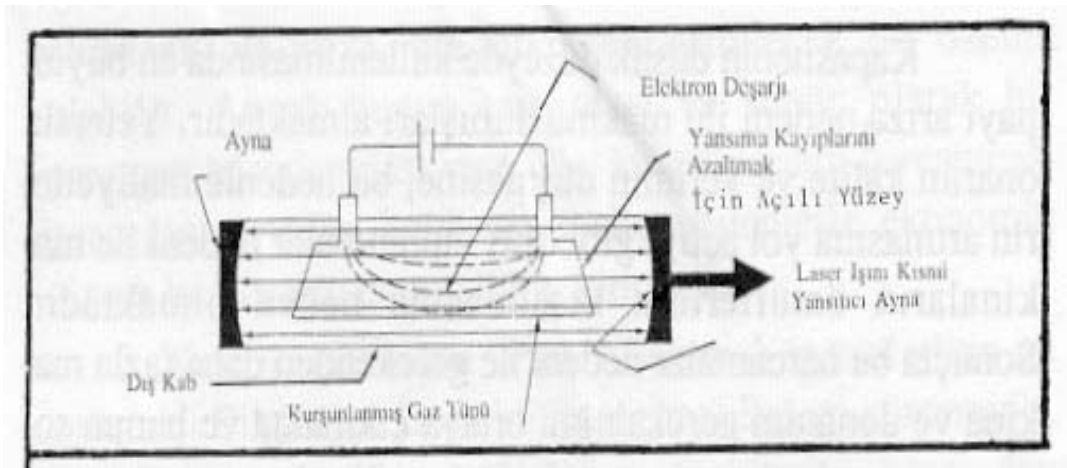
Şekil 3.1. Katı Cisim lazer sistemi [5].

Flaş tüpünün patlaması sonucu ortaya çıkan ışın demeti yakut kristaline gönderilir. Bu sırada yakut çubuk üzerindeki krom atomları harekete geçirilerek yüksek enerji düzeyine ulaştırılır. Bu atomlar tekrar eski enerji düzeylerine dönerken çevreye ısı ve foton denilen ışık demeti yayarlar. Oluşturulan ışınlar atomların birbirine temasını sağlayarak ortaya çıkan yeni ışının dalga boyunun her hüzmeye için aynı uzunlukta olana kadar devam eder. Işın demetleri yahut çubuk boyunca uç noktalarda, bulunan düzgün yüzeylerden yansıtılarak ileri ve geri hareket ettirilir. Sonuçta, enerjisi anan ve üretilen foton demetleri kısmen yansıtıcı aynadan geçip mercekte merkezlenerek, güç bir noktada yoğunlaştırılıp iş parçasına gönderilir. Katı lazerler nokta kaynağında, ölçme işlemlerinde elmas kalıpların işlenmesinde, atomik parçalanmada ve tıp alanında büyük kolaylık ve olanak sağlamaktadır [5].

3.1.2.2. Gaz lazerleri

Muhtemelen en fazla kullanılan gaz lazeri helyum-Neon lazeridir karışımda 10 parça helyuma 1 parça karşılık gelmektedir. Gaz lazeri aygıtında tüp sıkı bir şekilde korunmuş olup, uç kısımları yansıma kayıplarını azaltmak için açılı olarak yapılmıştır. Güç kaynağından akım verildiğinden tüp içinde elektron akımı deşarj olarak helyum atomlarını hareketi geçirerek enerji düzeylerini yükseltir.

Helyum atomları da Neon atomlarına çarparak onlar da aynı enerji düzeyine yükseltirler. Neon atomları tekrar düşük enerji düzeyini döndüklerinde ısı ve kırmızı lazer fotonları yayarlar [5].



Şekil 3.2. Kurşunlanmış tüplü gaz lazeri [5]

Bu hareket bir miktar lazer ışınının kısmi yansıtıcı aynadan kırmızı lazer ışını olarak çıkmasına kadar artan bir şekilde devam eder. Bu sırada atomlar tüp içinde sürekli olarak ileri ve geri hareket ederler. Helyum-Neon lazerleri ufak, görece olarak ucuz ve emniyetlidirler. Bu özellikleri ile gaz lazerleri laboratuvar ve okullarda lazer deneylerinde kullanılırlar. Diğer bir gaz lazer çeşidi ise CO₂ lazeridir. Korunmalı tüp içinde Helyum-Neon gazı yerine CO₂ gazı bulunur.

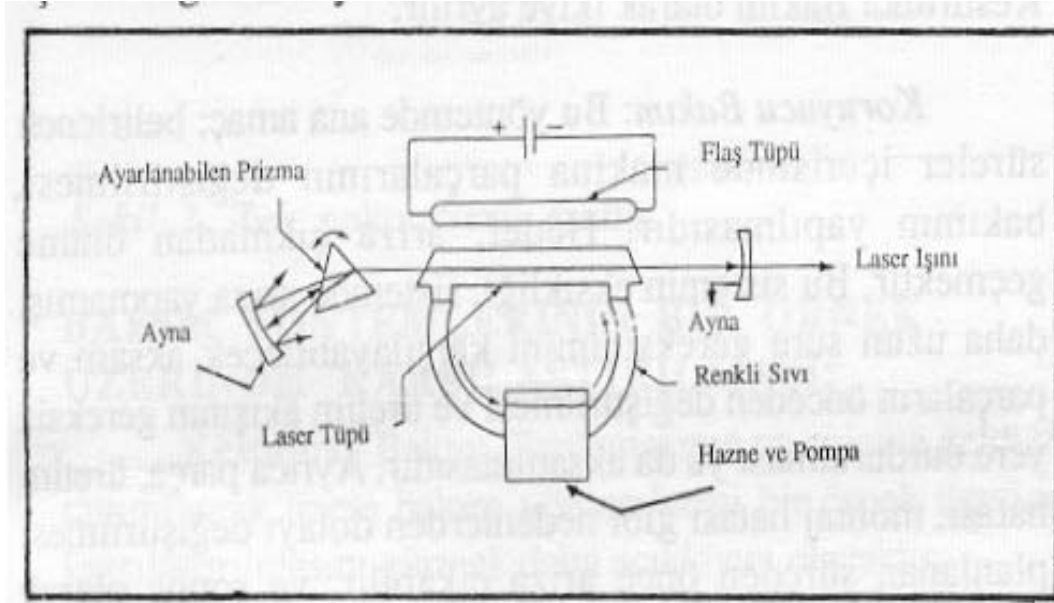
CO₂ gazı lazerinden daha fazla güç elde edilir ve daha verimlidir. CO₂ lazer tüpüne gaz gönderilip, ısı değiştirici ile soğutma yapıldığında, sürekli olarak çok yüksek güçte çalıştırılmak olasıdır.

Bu tip CO₂ lazer üniteleri ile herhangi bir metal buhar haline getirilebilir.

Günümüzde CO2 lazeri deri, lastik gibi organik malzemelerin kesilme işlerinde, delinmesinde zımba preslerinde tercih edilirler [5].

3.1.2.3. Sıvı lazeri

Sıvı lazerinde ortam olarak bir çözücü içinde organik boya kullanılır.



Şekil 3.3. Sıvı lazer sistemi [5].

Flaş tüpünün patlaması ile sıvı harekete geçirilir. Bu sırada boya moleküllerinin enerji düzeyleri yükseltilerek foton üretilir. Bu işlem dahili aynaların geri besleme işlemi yapıncaya kadar sürer.

Atomların tüp içinde gidip-gelme hareketi bir miktar ışığın kısmi yansıtıcı aynadan lazer ışını olarak çıkmasına kadar devam eder. Sıvı lazerleri, ayarlanabilen prizması nedeniyle özellikle kimyasal analiz işlemleri için uygundur. Ayarlanabilen prizma aracılığıyla, ayarlanan prizma açısına göre değişik renk ve dalga boylan elde edilir [5].

3.1.3. Endüstriyel alanda kullanılan lazerler

Endüstriyel alanda en çok kullanılan lazer, bir gaz lazeri olan karbondioksit(CO2) lazeridir. Gaz lazerlerinde, lazer ışınının elde edilebilmesi için birtakım özel

gazların kullanılması gerekmektedir. Fakat bu gazların belirli oranlarda karıştırılması gerekir. Ayrıca bu özel gazların saflıkları oldukça yüksektir. Karbondioksit lazerinden sonra en çok kullanılan lazer, bir katı hal lazeri olan Nd:YAG lazeridir [25,26].

3.1.3.1. Karbondioksit (CO₂) lazeri

Bu lazer türü endüstride kesme, markalama ve kaynak işlemlerinde oldukça fazla kullanılmaktadır. Karbondioksit lazeri, endüstrideki en yüksek çıkış gücüne sahiptir. Elektrodların gerilime maruz kalmasıyla yüksek olmayan basınçlı bir gaz boşalımı tutuşur. Elektron darbeleri sonucu inversiyon olayı meydana gelir. İncersiyon için karbondioksit gazı dışında azot ve helyum gazları gereklidir. Elektron darbeleri ile karbondioksitin uyarılması; karbondioksit moleküllerinin üst seviyeye doğrudan uyarılması ya da azot ve karbondioksit molekülleri arasındaki darbelerle meydana gelir. Azot'la karbondioksit molekülleri arasındaki, darbelerle uyarma daha çok kullanılır. Azotun yüksek konsantrasyonu ve uzun ömürlü olmasından dolayı enerji bakımından, karbondioksit üst bir lazer seviyesine ulaştırılabilir. Bu moleküllerin darbenmesiyle enerji transferi meydana gelir. Diğer bir gaz olan helyum gazı ise; darbe boşalması esnasında alt lazer seviyesini hızla boşaltıp, yüksek ısıl iletkenliğiyle gaz karışımını soğutup, alt seviyenin de termik bir yüklemeye maruz kalmasını sağlar .

Karbondioksite, azot ve helyum katılarak, düşük verimde olan karbondioksit gazının veriminin artması sağlanır [27].

3.1.3.2. Nd:YAG lazeri

YAG; Yttrium- Aluminium-Granat kelimelerinin baş harflerinden meydana gelmiştir. Bir katı hal lazeri olan Nd;YAG lazeri endüstride kaynak işlemlerinde, delme işlemlerinde, ve genellikle metallerin mikro işleme uygulamalarında başarılı bir şekilde uygulanmaktadır.

Neodim, bu lazer çeşidinde lazer yayan elemandır. Neodim'in yüksek güçlü ark lambalarının ışığı ile uyarılması sonucu YAG kristali ışığa maruz kalır. Neodim bu

ışığı absorbe ederek uyarılmış olur. YAG kristalinde iyon hızla üst lazer seviyesinin biraz daha üstüne çıkar. Bunun sonucu olarak serbest kalan enerji, ısı enerjisi şeklinde kristale geçer [27].

3.1.3.3. Excimer lazeri

Excimer lazeri de bir soygaz ve bir halojen atom karışımından (örnek: KrF, ArF) meydana gelen bir gaz lazeridir. Soygaz ve halojen atomlarının karışım oranlarına bağlı olarak, elde edilen dalga boyları 0,19 mm – 0,34 mm arasında değişir.

Bir çok lazer çeşidi olmasına rağmen endüstride kullanılacak lazerler sınırlıdır.

Bunlar dışında

-He-Ne lazeri

-Argon lazeri

- Karbonik oksit lazeri

- Azot lazeri

Çok fazla uygulama alanı olmamasına rağmen bazı uygulamalarda kullanılmaktadır [26].

3.1.4. Lazer ışığının özellikleri

- 1) Lazer ışığı normal bir ışık kaynağına göre çok yoğun ve şiddetlidir.
- 2) Normal ışık her yöne dağılırken, lazer ışını dağılmaz ve odaklanabilir, sapma toleransı yok denecek kadar azdır. Oldukça düzgün bir ışıktır.
- 3) Lazer ışını tek dalga boyuna sahiptir. Bu özelliğinden dolayı monokromatik bir özellik taşır.
- 4) Lazer ışını, tek renkli ve aynı fazlı paralel dalgalar halinde genliği yüksek bir ışık demetidir.
- 5) Lazer ışını ile yüksek enerjilerde çok hassas işlemler yapılabilir[27].

3.1.5. Lazer işleme merkezlerinde aranması gerekli temel kriterler

Lazer kesimde, kesintisiz sürekli kalite ve hassasiyetin temini için tercih edilecek lazer işleme merkezinde dikkat edilmesi gerekli bazı temel kriterler aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1-)Lazer osilatör'ünün çıkış gücü, kararlılığı, yapısal özellikleri, geometrisi, bileşenleri gibi konular tek tek lazer osilatör seçimindeki dikkate alınması gerekli kriterlerdir. Bununla birlikte aranması gerekli temel kriterler;

2-)Tezgahın yapısal tasarımı ve rijit'liğini, hareket sistemi ile birleştirip tek bir madde olarak düşünebiliriz. Seçilecek tezgahın hareket sistemi, yapısal bileşenleri ve kararlılığı önemli bir kriterdir. Vibrasyon, lazer gibi hassas bir konuda belirleyici bir etmendir. İç vibrasyonlar ve özellikle dış çevresel vibrasyonlar, toplam bileşke vibrasyonu teşkil etmektedir. İhmal edilebilir görünen bir vibrasyon, lazer'in yuvarlak açması gerekli bir deliğin oval açılmasına sebep olabilmektedir. Ayrıca vibrasyon, kesintisiz sürekli kesim kalitesi, pürüzsüzlük ve hassasiyet konularında etkin belirleyici bir kriterdir.

3-) Toplam kullanılan ekipman sayısı ve toplam maliyetler:

Lazer işleme makinelerinde, kullanılan ekipman sayısının (odaklayıcı lensler, doğrultucu ve yönlendirici aynalar, kullanılan lazer gazı, tüp sayısı v.s.) olabildiğince az tutulması seçimlerinizde belirleyici unsurlardan olmalıdır. Bu konu; ek maliyet, periyodik bakım-değişim, daha çok ayar, ek fonksiyonel bağlantılar, servis maliyeti gibi ciddi, düşünülmesi gerekli külfetler getirmektedir [27].

Temel olarak; Madde-1'de belirtilen kesintisiz sürekli kalite ve hassasiyetin olabildiğince az değişkene bağlanması gereklidir.

a- Lazer ışığının kat edeceği yol uzadıkça ışık saçılımı artmaktadır. Bunu önlemek için ise, ek odaklayıcı ve doğrultucu elemanlar kullanılmaktadır. (NC ayarlı, eksen ortasında ek aynalı ışın sabitleme sistemi yada konkavlığı NC ile ayarlanabilir özel

aynalar kullanılmaktadır.) Bunlar da sonuç olarak; ek maliyet, periyodik bakım-değişim ve servis maliyeti gerektirmektedir.

Bu hareketlerin, yüksek hızlı kesimlerde sürekli olarak gerçekleştirileceği göz önünde bulundurulacak olur ise; Lazer ışığının kat edeceği yolda mümkün olduğunca saçılmadan ilerlemesi dolayısı ilede sabit ışın iletim teknolojisi önem taşımaktadır.

b- Lazer Gazı ve Kesim İçin Gerekli Yardımcı Gazların oransal kullanım performansı, ara ek ekipman kullanılıp kullanılmadığı, tüp ve tüketim maliyetleri de dikkate alınması gerekli önemli hususlardır. (Toplam işletim maliyetinin parçalarıdır)

c- Toplam elektrik tüketimi, yine toplam maliyetler ile yakından incelenmesi gerekli bir konudur. (Toplam işletim maliyetinin bir parçasıdır.)

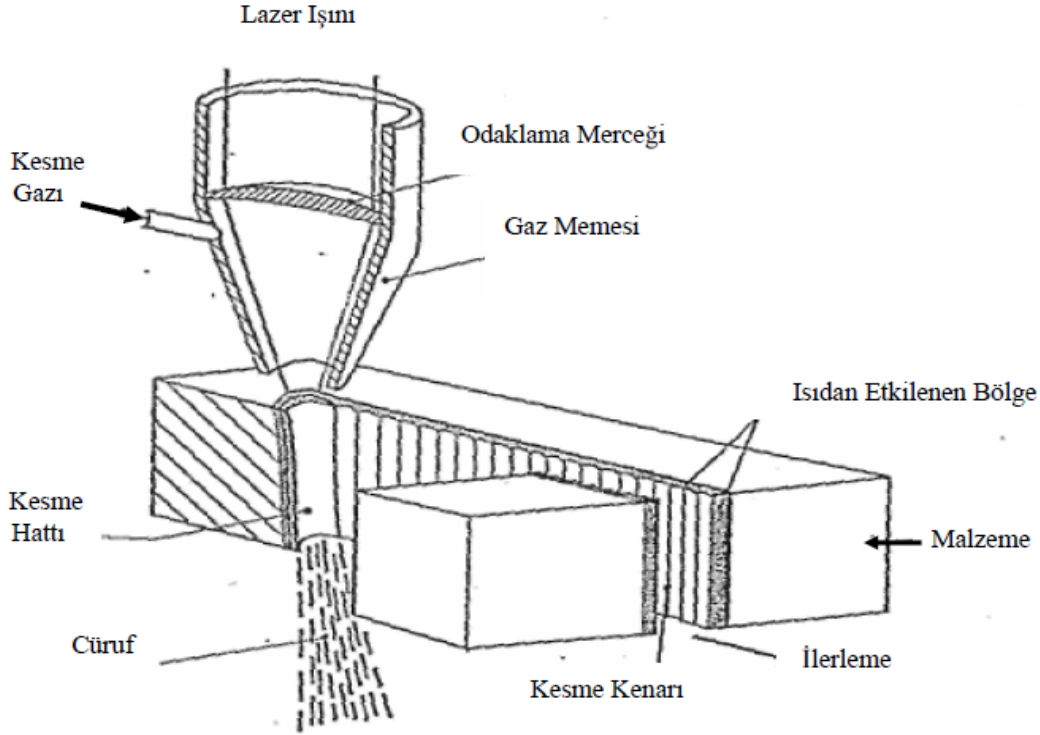
4-) Seri üretim yapılan ve zamanın çok değerli olduğu sistemlerde; seçeceğimiz lazer işleme merkezinin, farklı kalınlıklardaki farklı malzemeleri, kafa değişimine, ek ayarlara ve zaman kayıplarına gerek duyulmaksızın, kesintisiz ve sürekli gerçekleştirebilme özelliğine sahip olması, tezgah seçiminde ayırıcı bir konudur.

5-) Servis ağı, kalitesi ve güvenilirliği tüm kriterlerden ayrı tutulması ve çok ciddi değerlendirilmesi gerekli temel bir prensiptir.

6-) Tüm bu belirleyici kriterler ile birebir örtüşen, lazer işleme merkezinin tamamlayıcısı CAD CAM çizim ve kod çevirici programlarının mevcut olması sizler için yine önem verilmesi gerekli bir konudur. CAD (Computer Aided Design) Bilgisayar Destekli Çizim, CAM (Computer Aided Manufacturing) Bilgisayar Destekli Üretim kısaltmalarından oluşmaktadır.CAM, CAD'de yapılmış çizimleri işler ve makine kodlarına dönüştürür. (ISO / EIA)

7-) Toplam işletim maliyetleri dört başlıkta toplanır ve genelde saatlik olarak verilir. Bunlar, toplam saatlik elektik tüketimi, toplam saatlik lazer gazı tüketimi, toplam yardımcı gaz tüketimi ve toplam saatlik bakım parçaları ve sarf malzemelerinden

oluşur. Saatlik maliyet; kesilen parça cinsi, kalınlığı v.s gibi parametrelere bağlı olarak tespit edilen, değişken bir değerdir. Kesilecek parça cinsi, kalınlığı ve sizin talep edeceğiniz kesim kalitesi ile orantılı olarak dikkate alınması gerekli ana seçim kriterlerindedir [25].



Şekil 3.4. Lazer ısı ile kesmenin prensibi [26].

3.1.6. Lazer kesim sayesinde

- Yüksek güç ile malzemelerin kesiminde maksimum performans,
- Yüksek işleme hızı ile düşen maliyet,
- Parça imalatında kalıp maliyeti yoktur,
- Aynı plaka sac üzerinden birbirinden farklı parçalar işlenebilir,
- Fire oranı minimum seviyeye indirilir,
- İşlenecek parçaların uygun olması durumunda ortak yüzeyler beraber kesilerek maliyet azaltılabilir,
- Büküm eksenleri markalanarak sonraki imalat aşamaları hızlandırılır ve maliyetler düşürülür.

Kalite Avantajı;

- Çapaksız bir kesim sağlanır ve ısı deformasyonu minimum seviyedir.
- Preste oluşan sac deformasyonları yoktur.
- Sac kalınlığının yarısındaki çaplarda dahi delikler işlenebilir.
- 0,01 mm hassasiyet ile kesim yapılabilir,
- Her türlü yazı, resim, amblem sac üzerinden kesilebilir [27].

Zaman Avantajı;

- Fiyatlandırma ve kesim işi kısa sürede yapılır [27].

3.1.7. Sonuç olarak

Rakamsal veriler, teknik karakteristikleri yansıtır. Bu da, temelde sizin teknik beklentilerinizi karşılayacak kriterlerdir. Nihai karar, yukarıdaki temel kriterler ve maliyet hesapları ile birleştirildiğinde sizleri gerçek sonuca ulaştırmalıdır [27].

3.2. Plazma Arkı İle Kesme

Terim olarak Plazma, 1928 yılında Irving Langmuir tarafından kullanılmıştır. Amerikalı fizikçi Langmuir, Plazma üzerinde teorik çalışmalar yapmış ve eşit miktarlarda iyonlar ve elektronlar içeren bir ortamı plazma olarak adlandırmıştır. Malzemelerin plazma ile kesilebileceği ilk olarak 1950'li yıllarda fark edilmiştir. Isıl kesme yöntemlerinden biri olan plazma arkı ile kesme yöntemi daha çok paslanmaz çeliklerin, alüminyum ve diğer demir olmayan metallerin kesilmesi için oksisasetilen ile kesme yöntemine alternatif bir yöntem olarak geliştirilmiştir .

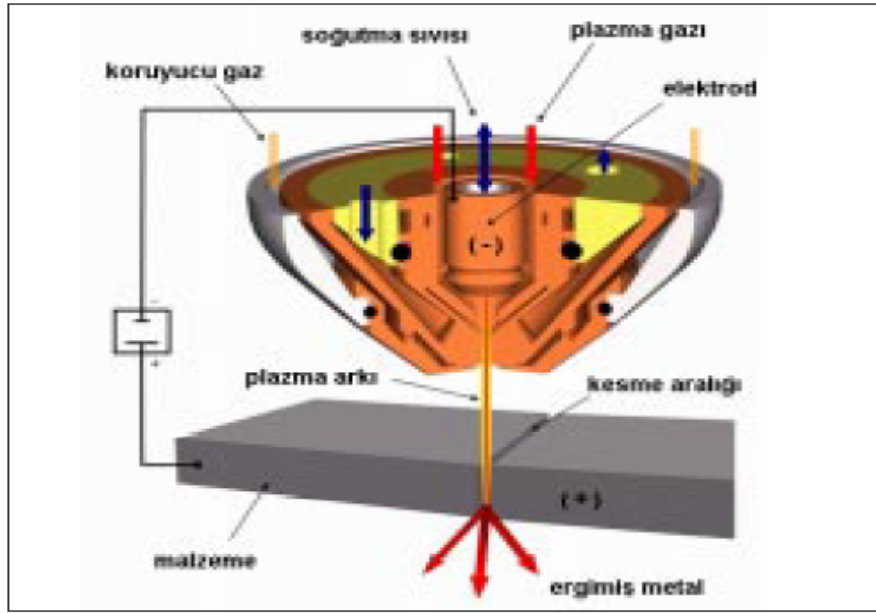
Union Carbide Corp. şirketindeki araştırmacılar 1950 yılında, Gaz Tungsten Ark Kaynağını incelerken, elektrottan is parçasına doğru gaz yönlendirmesini yapan memenin çapının daraltılması ile gaz akımının sıcaklığının ve hızının artırıldığını bulmuşlardır. Bunun sonucu olarak kısıtlanan ve daraltılan arkın boyunun daha uzun ve yoğunluğunun da daha fazla olduğunu görmüşler ve yüksek hızdaki gaz jetinin malzemeyi keserken ergiyen kısmın üflenerek uzaklaştığını fark etmişlerdir.

Günümüzde tüm dünyada kullanımı artan plazma arkı ile kesme yöntemi üzerinde çeşitli araştırma-geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. ABD hükümeti 1992 yılında, geliştirilmiş bir otomatik kesme sistemi oluşturmaları için araştırma grubuna 580.000\$ ödenek ayırmıştır. Geliştirilen hassas sistemlerle elde edilen kesme kalitesi, lazer ve elektron ısıyla kesme yönteminde elde edilen kesme kaliteleri ile rekabet etmektedir [26].

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 iletmesi, çok yüksek sıcaklıkta olması ve ışık yaymasıdır. Maddenin plazma hali, serbest halde gezinen elektronlardan ve elektronlarını kaybetmiş atomlardan (iyonlardan) oluşur, eşit miktarda pozitif ve negatif yük içerir. Elektriği ileten tüm metallere uygulanan prensiplerin çoğu plazmalar içinde geçerlidir ve plazma manyetik ve elektrik alanlardan etkilenir. Günümüzde plazmalar değişik teknolojiler geliştirilerek imalatta, tıpta, ışıklandırmada, televizyonlarda, enerji üretmekte (nükleer) ve daha birçok teknolojide kullanılmaktadır. Plazmalar sıcaklıklarına göre ve hacimlerindeki yüklü parçacık sayısına göre sınıflandırılırlar. Florasan lambalarındaki ışıltı, kaynak sırasında görülen mavi ışık, yıldırım ve şimşek birer plazmadır. Güneş içerisinde farklı türde plazmalar vardır. Kutuplarda görülen auroralar da bir çeşit plazmadır [28].

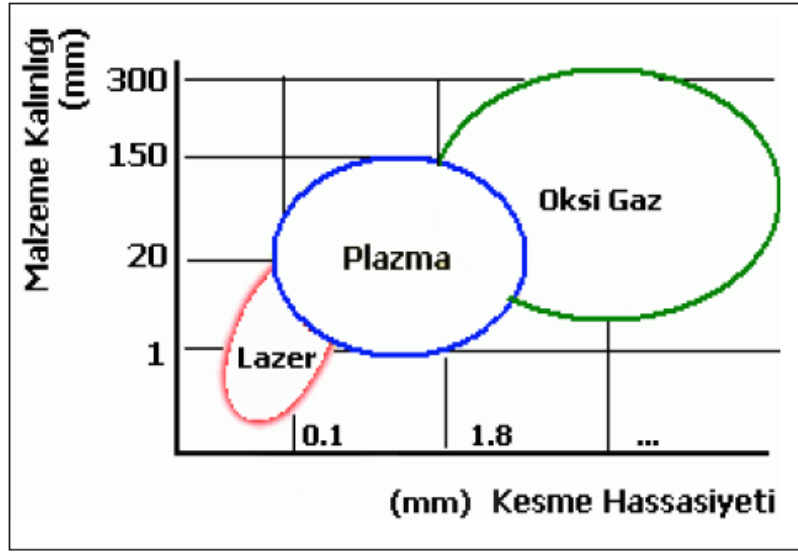
3.2.1.Plazma ile kesme teknolojisi

Plazma ile kesme metodu iletken metallerin kesiminde kullanılan termal bir kesme metodudur.



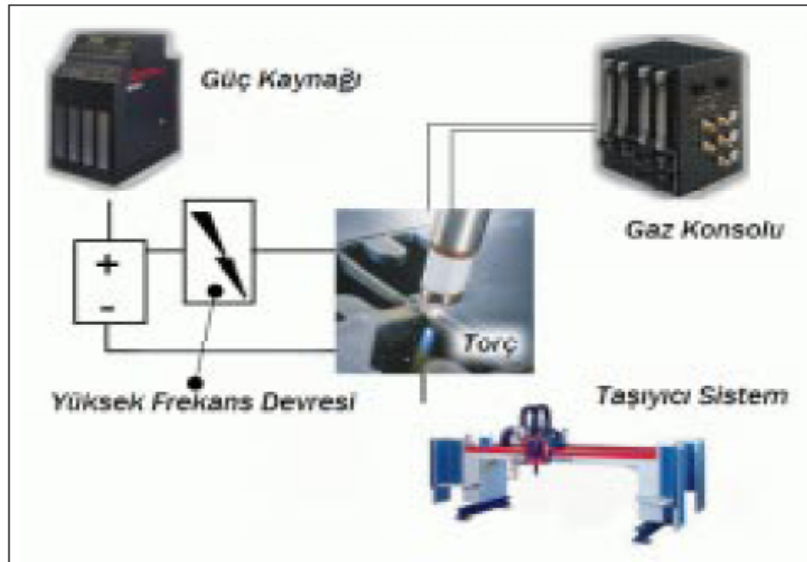
Şekil 3.5. Plazma ile kesme [28].

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. 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.



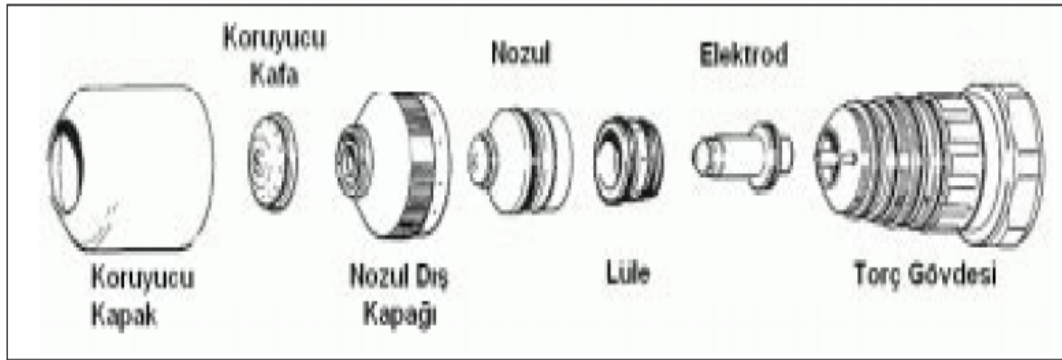
Şekil 3.6. Termal kesme metotları [28].

Plazma ile kesim düşük işletme ve yatırım maliyeti, yüksek kesme hızı, üretim hattı uygulamasına ve otomasyona uygunluğu, sürekli iyileştirilen kesme kalitesi ile sanayide yaygın olarak kullanılmaktadır. Plazma ile kesme metodu vagon sanayi, gemi inşa sanayi, iş makineleri sektörü, basınçlı kap sanayi gibi imalat sektörlerinde yoğunlukla kullanılmaktadır [29].



Şekil 3.7. Plazma ile kesme sistemi [28].

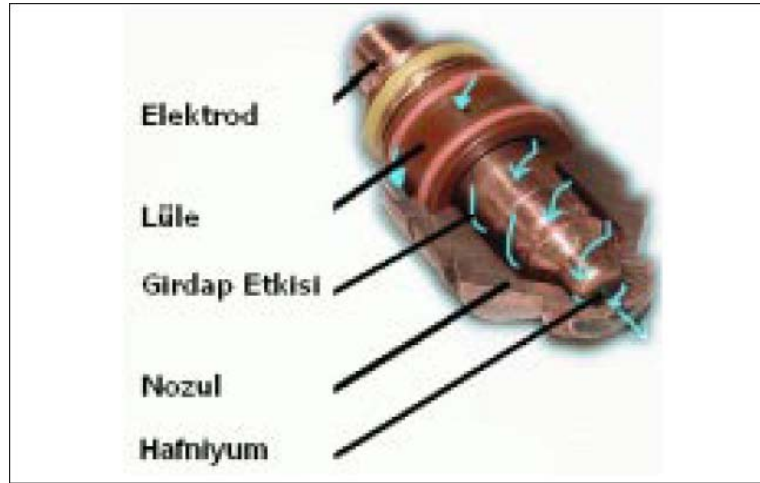
Plazma ile Kesme Sistemi Genel olarak otomasyona yönelik bir plazma ile kesme sistemi şu alt sistemlerden oluşur. Güç kaynağı bir doğru akım kaynağıdır. Yüksek gerilimde, sabit doğru akım sağlar. Görevi iyonizasyon sonrası plazmanın devamlılığını sağlamak için gerekli enerjiyi sağlamaktır. Yüksek frekans (HF) ateşleme devresi, 2MHz de 5000 ile 10000 volt arası alternatif akım yaratan bir devredir . Taşıyıcı gazın iyonlaşması (plazma oluşumu) için gerekli olan pilot arkı ateşler. Gaz Konsolu, taşıyıcı (plazma) ve koruyucu gazın akış hızlarını, karışım oranlarını ayarlamak ve plazma gazlarını seçmek için kullanılır. Günümüz sistemleri elektronik kontrollüdür. Torç, içinde plazma gazı ve koruma gazının aktığı, nozul, elektrod, lüle, nozul dış kapağı, koruyucu kafa ve kapağını bir arada tutan parçadır. Plazmayı oluşturmak ve odaklamak için tasarlanmıştır.



Şekil 3.8. Torç kafası parçaları [28].

Koruyucu gaz ve soğutma sıvısı akışını da sağlar. Gövde içinde gazlar, elektrik bağlantısı ve soğutma sıvısı için özel tasarlanmış kanallar ve elektrik bağlantıları vardır. Taşıyıcı Sistem ve Kontrol Sistemi, torç hareketini ve tüm sistemin kontrolünü sağlar. Numerik kontrollü herhangi bir kartezyen X-Y tablası olabileceği gibi, bir robotta olabilir. Kontrol sistemi ise güç kaynağını, ateşlemeyi, gaz akışını ve torç hareketini ilgili parametreler aracılığı ile kontrol eder. Soğutma Sistemi, soğutucu sıvının sistem içerisinde dolaşımını sağlar. Aspiratör Sistemi, kesme sırasında oluşan gazları ve dumanı kesme bölgesinden uzaklaştırmak için kullanılır. Torç Parçalarının İşlevleri Plazma arkını oluşturmak ve malzemeye doğru odaklamak için tüm kesme torçlarında şu temel parçalar bulunur: elektrod, lüle, nozul ve koruyucu kap. Elektrod, güç kaynağının negatif kutbudur. Bakırdan imal edilir.

Elektrod ucunda ise arkı yayan, ısıya dayanıklı ikincil bir malzeme vardır . Bu uç için yüksek ergime noktalı hafniyum (hava ve oksijen plazma sistemlerinde) ve tungsten (azot ve argon-hidrojen plazma sistemlerinde) yaygın olarak kullanılır. Ateşleme sayısı ile ölçülen belli bir kullanım ömrü vardır. Aşınma ve bozulma elektrod ucunda görülür. Lüle, taşıyıcı gazı elektrod etrafında girdap etkisi vererek döndürerek iten yüzük şeklinde bir parçadır .

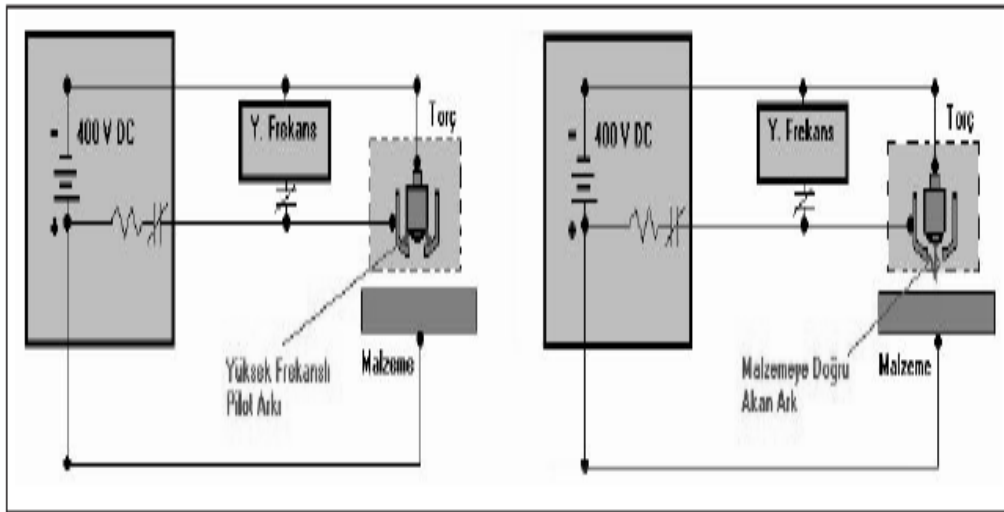


Şekil 3.9. Torç parçaları ve girdap etkisi [28].

yoğun ve kararlı olmasına yardımcıdır. Günümüzde neredeyse hemen hemen tüm plazma ile kesme sistemi üreticileri girdap etkisinden yararlanmaktadır. Girdap etkisini torç eksenine dik delikler yerine (nozül içerisine) belli bir açıda lüle üzerinde açılmış gaz giriş delikleri yaratır. Bu akış etkisi ile nozul içerisine giren gaz plazma arkını kesim süresince elektrottan malzemeye kadar ufak bir gaz girdabı içinde tutar. Nozul, plazma arkının konsantre olmasını ve odaklanmasını sağlar . Bu arkın enerji yoğunluğunu ve akış hızını artırır. Ateşleme esnasında güç kaynağının pozitif kutbudur. Nozul ağız açıklığı belli bir tip nozul için maksimum kesme akım şiddetini belirler. Aşınma parçasıdır. Nozul ömrüde ateşleme sayısı ile ifade edilir. Koruyucu kap ve başlığı nozulun dışında yer alır. Kesilen malzeme ile nozulun arasında yalıtıcı olarak görev yapar.

Kesme Nasıl Başlar : Güç kaynağına gelen bir sinyal eşzamanlı olarak açık devre gerilimini açar ve torça gaz akışını başlatır. Sistemde nozul ve malzeme güç

kaynağının pozitif kutbuna, elektrod ise negatif kutbuna bağlıdır. Taşıyıcı gaz nozul ve elektrod arasındaki boşluktan geçerek nozul ağzından dışarı akmaya başlar. Bu esnada yüksek frekans ateşleme devresi, nozul ile elektrod arasında yüksek frekansta arklar oluşturur. Taşıyıcı gaz bu arklardan gelen enerji ile kısmen iyonize olur. Yüksek akış hızındaki gaz, itme etkisi ile bu akım yolunun pozitif kutbunu dışarıya - nozuldan malzemeye doğru yöneltir . Pozitif kutuptaki malzeme ile artık akım devresi tamamlanmıştır ve yüksek frekans devresi kapanır. Gazın sürekli olarak iyonizasyonu (arkın sürekliliği) doğru akım devresinden gelen enerji ile sağlanır. Bu şekilde elde edilen plazma metoduna "taşınan ark metodu" (transferred arc method) denir.



Şekil 3.10. Pilot ark ve plazma oluşumu [28].

Kesme işlemi plazmanın yüksek sıcaklığı nedeni ile malzemeyi lokal olarak eritmesi ve yüksek akış hızındaki taşıyıcı gazın ergimiş malzemeyi püskürterek malzemede bir delik açması ile başlar. Bu esnada torç taşıyıcı sistem ile -arkın sürekliliğini kaybetmeyecek bir hızda- hareket ettirilerek kesme işlemi gerçekleştirilir. Plazma ile kesme işlemi genel olarak taşınan ark metodu ile gerçekleştirilir. Bir diğer metot ise "taşınmayan ark metodu"dur(non-transferred arc method). Torç teknolojisi farklıdır[29]. Plazma arkı malzemeye transfer edilmeden nozul ile elektrod arasında başlar ve akan gaz etkisi ile -sürekliliğini kaybetmeyecek şekilde- plazma torç ucunda alev şeklinde çıkar. Genel olarak bu metot iletken olmayan malzemelerde kullanılır ve diğer plazma işlemlerinde (örneğin yüzey

kaplamada, atık işlemede) kullanılır. Kesmede yaygın olarak kullanılmamasının nedeni plazma ark yoğunluğunun kontrol edilememesidir[30].

3.2.2. Plazma ile kesilebilen malzemeler

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, malzemede de renklenme görülmektedir. Koruyucu ve plazma gazı kombinasyonları, gazların akış hızları ve malzeme kalınlığı malzemelerin kesme kalitesini etkiler [28].

3.2.3. Plazma ile kesmede kullanılan gazlar ve özellikleri

Modern plazma ile kesme sistemlerinde, iyi bir kesme kalitesi elde etmek için taşıyıcı (plazma) ve koruyucu gaz olarak çeşitli gazlar ve karışımları kullanılmaktadır. Kullanılacak plazma gazları arasındaki farklar gazın iyonlaşma enerjisi, termal iletkenlik ve reaktiflik özelliklerine bağlıdır. Gazın iyonlaşma enerjisi arkın gerilme değerini ve açığa çıkan enerji yoğunluğunu etkiler. Termal iletkenlik, arkın sürekliliğini etkilediği gibi enerjinin ısı formunda iletilmesinde de rol oynar.

Reaktiflik ise ısı etkisi altında gazın ergiyen malzeme ile etkileşmesidir (azotun yüksek sıcaklıkta karbon çelikleri ile etkileşip nitrat oluşturması gibi). Plazma torçunun teknolojisine göre de kullanılan gazların karışım oranları da değişebilir. Plazma ile kesmede en çok kullanılan gazlar hava, azot, oksijen ve argon-hidrojen (H-35, Ar-H2). Genel bir fikir vermek için Hypertherm HD3070 sisteminde kullanılan gazlar malzeme cinsine göre dizilerek Tablo 3.1'de örnek olarak sunulmuştur.

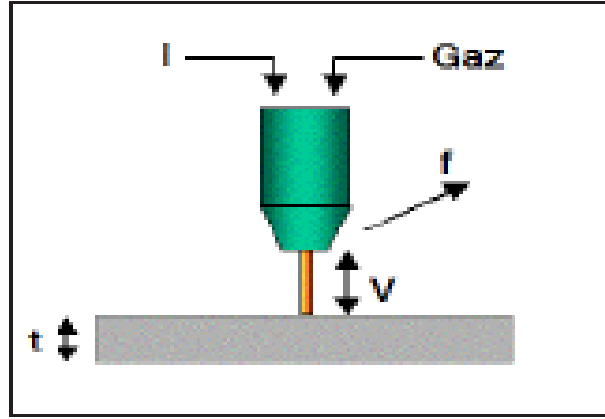
Tablo 3.1. HD3070 Sistemi gaz tablosu [28].

Malzeme	Plazma Gazı	Koruyucu Gaz
Karbon Çelikleri	Oksijen	Oksijen ve Azot Karışımı
Paslanmaz Çelik	Hava	Hava
	Hava	Hava ve Metan Karışımı
	H35 & Azot	Azot
Alüminyum	Hava	Metan
	H35 & Azot	Azot
Bakır	Oksijen	Oksijen ve Azot Karışımı
	Oksijen	Oksijen ve Azot Karışımı

3.2.4. Plazma ile kesmede önemli parametreler

Plazma ile kesmede önemli parametreler gaz parametreleri, güç kaynağı parametreleri ve kesme hızıdır . Parametreler arasındaki ilişkiler kesmede elde edilecek kaliteyi tanımlar.

Gaz parametreleri; taşıyıcı(plazma) ve koruyucu gazın akış hızı ve gazların karışım oranıdır. Plazma gazının akış hızının artışı arkın kararlılığını etkileyen faktörlerden birisidir. Arkın yoğunluğunu artırır. Artan momentum nedeni ile eriyen malzemenin kesme bölgesinden püskürtülmesini kolaylaştırır. Güç kaynağı parametreleri ise 'standoff', 'V', ve akım şiddetidir, 'I'. Standoff, malzeme-torç arası uzaklığı belirler. Otomasyona yönelik sistemlerde kesme işlemi başlamadan bu mesafe bir sonda sistemi ile ayarlanır. Kesme başladıktan sonra ise standoff mesafesini torç yükseklik kontrol sistemi kontrol eder. Geribildirim döngüsünden gelen anlık gerilim değerini verilen değer ile kıyaslar ve bu değere göre yükseklik ayarlanır.



Şekil 3.11. Plazma ile kesme parametreleri [28].

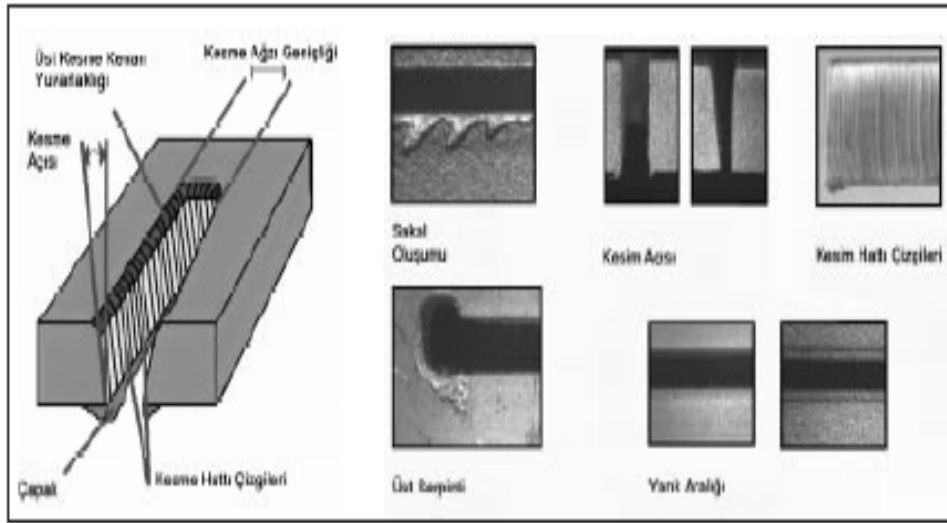
Standoff malzemeye ve kalınlığına, kullanılan torç tipine göre tablolarla kesme öncesi için mm olarak, kesme süresince kullanılmak içinse gerilim birimi ile belirtilir. Akım Şiddeti, T , plazma sisteminin gücünü belirler. Malzemeye transfer edilen birim zamandaki enerji daha yüksek olduğundan aynı kalınlıktaki malzeme için kesme hızı akım şiddeti değeri ile artar. Değer yükseldikçe kesilebilecek malzeme kalınlığıda artar. Kesme hızı (f), kesme sonrası metalin kesme yüzeylerinin kalitesini etkileyen parametrelerden biridir. Tavsiye edilen değerden yavaş hızlarda plazma arkı ergittiği bölgeden hemen uzaklaşmadığı için yarıklar aralığı değeri artar. Bu geriye doğru eğimli kesme çizgileri oluşturur. Daha yüksek hızlarda plazma arkı malzemeyi tüm kalınlık boyunca ergittiği fakat püskürtme işlemi tamamlanmadan torç hızla ilerlediği için alt kısımlarda malzeme tekrar katlaşılarak yarığı doldurur ya da kalın çapak oluşumu gözlenir [28].

3.2.5. Plazma ile kesmede kalite

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 yarıklar aralığı ölçüsü de kaliteyi tanımlamak için kullanılır.

Bu karakteristik değerlere kısaca göz atacak olursak:

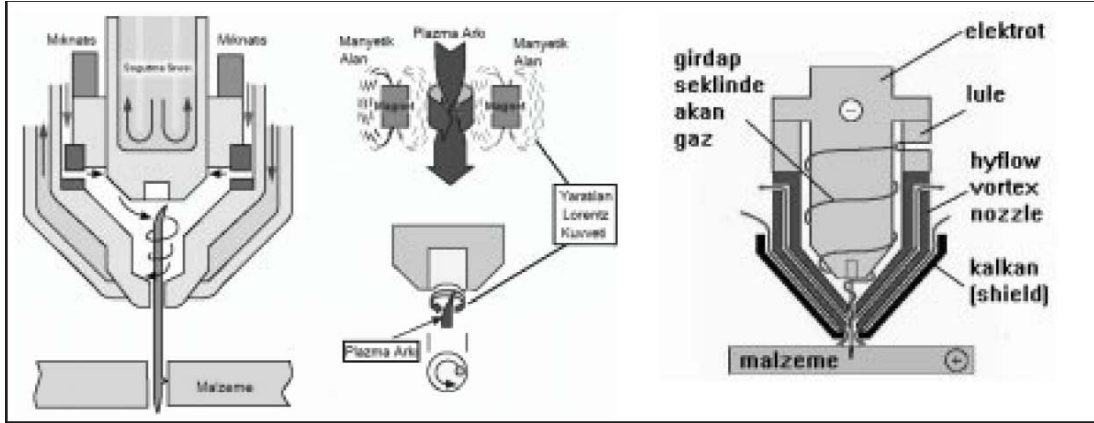
Kesme yüzeyi açısı (diklik), kesme esnasında kesme yüzeyinde oluşan eğim miktarıdır. Uluslar arası standartlarda kabul edilen değer kalite sınıflarına göre değişiklik gösterir. Genel olarak diklik değeri ile belirtilir. Açısal ve pratik değerler vermek gerekirse taşıyıcı gaza girdap hareketi veren torçlarda bu eğim miktarı malzeme tarafında 1 ila 3 derece, atıl malzeme tarafında 3 ila 8 derece arasında değişir. Düz akış içeren torçlarda ise bu değer her iki kenarda 4 ila 8 derece arasındadır. 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. Kesme Hattı çizgileri, malzeme kesme yüzeyi boyunca oluşan dalgalanmalardır. Kullanılan gaz, güç kaynağı çıkışındaki süreklilik, torç tasarımı ve mekanik sistemdeki titreşim oluşumlarında etkilidir. Üst kesme kenarı yuvarlaklığı, plazma ile kesimde karakteristik bir özellik olup, malzemenin üst yüzeyinin plazma arkı ile daha uzun süre etkileşimde kalması nedeni ile oluşur. Bu yuvarlaklık düşük kalınlıklarda daha çok belli olur. Yüksek tanımlı plazma ile kesim sistemlerinde bu etki olabildiğince azdır. Çapak (sakal), plazmanın ergittiği malzemenin eridikten sonra tekrar katılıp malzeme alt kesme yüzeyi kenarına yapışması nedeni ile oluşur. Kesme hızı, akım şiddeti, gaz seçimi, malzeme çeşidine ve temizliğine bağlıdır. Çok hızlı ve çok yavaş kesimlerde çapak yapabilir. Kesme aralığı, plazmanın malzemeyi keserken oluşturduğu açıklıktır. Plazma kesiminde bu açıklığı belirlemekteki kural her zaman için bu genişliğin nozul ağzı açıklığının yaklaşık bir ila iki katı aralığında olacağı şeklindedir. Yarık aralığını etkileyen diğer parametreler akım şiddeti, kesme hızı ve torç ile malzeme arasındaki yüksekliktir. Üst Serpinti, üst yüzeyde oluşan çapaktır. Malzeme ile torç arası uzaklık üst serpinti oluşmasında başlıca etmendir. Çok yavaş ilerleme hızında yapılan kesimlerde görülebildiği gibi aşınmış nozul nedeni ile de ortaya çıkabilir [28,30].



Şekil 3.12. Plazma kesmede kaliteyi belirleyen etmenler [28].

3.2.6. Plazma ile kesmede yeni gelişmeler

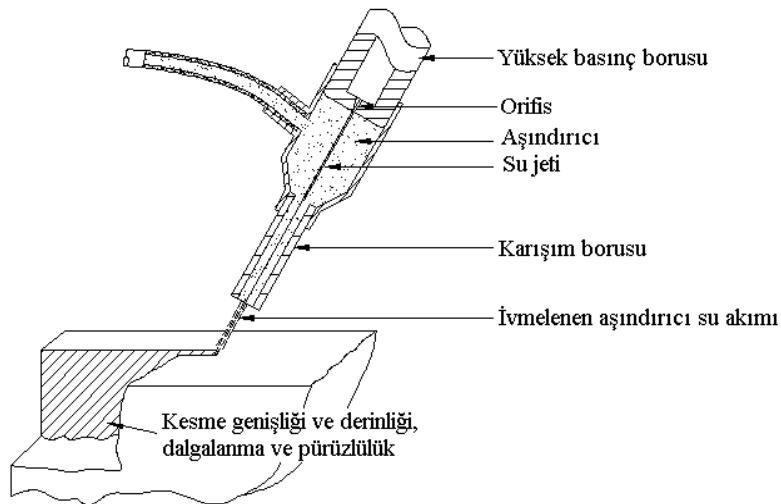
Thermal Dynamics firması ilk düşük akım şiddetli hava plazması ile çalışan ve "Zip Cut" diye adlandırılan SAF sistemlerini 1980'li yıllarda Avrupa'ya pazarlamaya başladı. Bu gelişme yeni üreticilerin piyasaya girmesinin önünü açarak plazma kesme sistemleri pazarının genişlemesine yol açtı. Pazardaki genişleme plazma kesimindeki araştırma geliştirme faaliyetlerini artırarak kesme kalitesinin giderek artmasına ve başlangıçta oksigaz kesimine alternatif olarak sunulmuş bu prosesin günümüz termal kesme prosesleri içerisinde verimlilik ve kalite olarak önemli bir yer edinmesine ve yaygın olarak kullanılmasını sağladı. "Super konsantre plazma arkı", "hassas plazma ile kesme", "yüksek tanımlı plazma kesme" başlıkları altında gerçekleştirilen plazma ile kesmede kalite artırımına, en önemlisi verimliliği arttırıma yönelik faaliyetler ise yakın tarihte yeni bir plazma ile kesme teknolojisi ortaya çıkardı. Bu plazma kesme teknolojisinin adı "high density plasma cutting", yüksek yoğunluklu plazmadır [31]. Bu teknolojinin özelliği yüksek enerji yoğunluğunda daha ufak çaplı, konsantre ve kararlı bir plazma arkı elde edilmesidir. Daha konsantre bir ark, kesme yüzeyindeki diklik toleranslarında ve pürüzlülük değerlerinde iyileşme ile sonuçlanır. Dar çaplı ve yoğun enerjili plazma nedeni ile daha dar ve düzgün kesme ağızları elde edilir ve kesim sürati artar ki bu da kalitenin ve verimliliğin artması demektir [32].



Şekil 3.13. (a) Razor Cutting (Komatsu Cutting Tech.) (b) HyDefinition teknolojisi [26].

3.3. Su Jeti İle Kesme Yöntemi

Genel olarak su jeti (SJ), kesme ve delme işlemlerinin yapılmasını sağlamaktadır. Su jetine aşındırıcı katıldığında daha sert parçaların da kesilmesi mümkün olmakta ve bu yöntem aşındırıcılı su jeti (ASJ) olarak bilinmektedir. Su jeti kesme kuvvetlerini azaltmakta ve ısınmayı yok etmektedir. İşleme esnasında parçaya temas olmadığından takım aşınması söz konusu değildir.



Şekil 3.14. Aşındırıcı beslemesi yandan olan tekli su jeti lüle tasarımı [33].

Sistemde kullanılan temel elemanlardan filtre, suyu temizler ve sistemin ömrünü uzatır. Kompresör, yüksek basınçta su sağlar. Borular ve bağlantı elemanları basınçlı

suyun taşınması için kullanılır. Aşındırıcı silosu, aşındırıcı sağlar. Orifis, karışım odası ve lüle aşındırıcı ile suyun karıştırılmasını temin eder. Kesme lülesi, jetin yönlendirilmesini sağlar. Sayısal denetimli eksenler kesme kafasının konumlanması ile görevlidir. Tutucu eleman ise harcanan jetin yakalanması için kullanılır. Uygulamada sistemin optimum koşullarda çalışması için hazırlanan yazılımlar kullanılmaktadır. ASJ yöntemi teknik, güvenlik, ekonomi ve çevre yönleriyle üstünlükler sağlamaktadır [32,33].

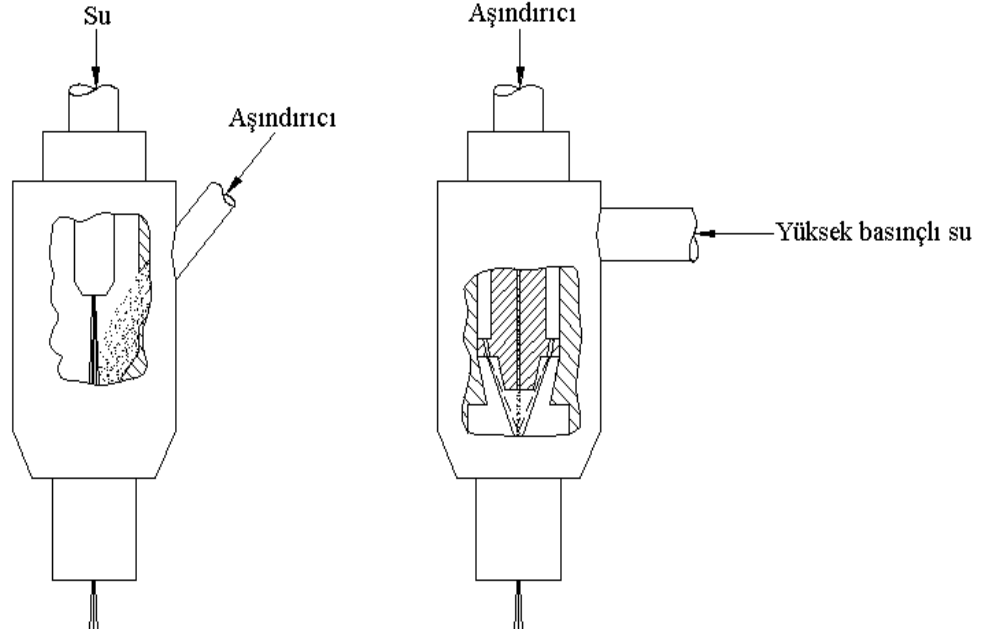
3.3.1. Su jetinin çalışma ilkesi

ASJ sisteminin kalbi Şekil 1’de verilen çok küçük aşındırıcı su jeti lülesidir. Basınçlı su safir bir lüleden, yüksek hızlı jet olarak çıkar. Su jeti ve katı aşındırıcı parçacıklar akımı ayrı bir besleme kanalından özel şekillendirilmiş aşındırıcı jet lülesine girer. Burada su jeti momentumunun bir kısmı aşındırıcı parçacıklara geçer ve aşındırıcıların hızı çabucak artar. Aşındırıcı parçacıkların ivmelenmesi için harcanan enerjinin su jetine verilen toplam enerjinin sadece %0.3 kadarı olduğu bilinmektedir [34].

Su jeti ile aşındırıcı parçacıklar arasındaki momentum geçişi karmaşık bir olaydır. Mekanizmalardan biri basınçlı su jetinin sınırlı dinamik kararlılığı ile ilgilidir. Su jeti damlalar halinde kırılarak katı parçacıkları ivmelendirir. İkinci bir mekanizma su fazının katı parçacıklara gösterdiği sürüklenme kuvvetleri ile ilgilidir.

Su ve aşındırıcı arasında momentum geçişinin sonucunda lülede yüksek hızlı aşındırıcı akışı oluşur ve böylece kesme veya delme işlemi gerçekleştirilir. Hızlı değişen gerilme alanlarının veya kesilen malzemenin özelliklerine bağlı mikro işlem etkilerinin etkisi altında erozyon, kayma ve kırılma sonucu kesme meydana gelir. Kesme hızı besleme hızı, parçadan uzaklık, su jeti basıncı veya aşındırıcı parametreleri ayarlanarak denetlenir. Lüleler Şekil 2’deki gibi tekli veya çoklu su jetleri için de tasarlanabilir.

Bor karbür (B_4C) iyi bir aşındırıcıdır ancak pahalıdır. Silisyum karbür (SiC) ve korund (Al_2O_3) diğer aşındırıcılardandır. Akışkan olarak sudan başka benzen, gliserin ve mineral yağlar da kullanılabilir [33].



Şekil 3.15. Aşındırıcı beslemesi yandan olan tekli ve merkezden olan çoklu su jeti tasarımları [33].

3.3.2. Su jetinin uygulandığı malzemeler

Su jetinin aşındırıcılı veya sade olarak uygulandığı malzeme çeşitlerinde artış olduğu gözlenmektedir. Hızı 760 m/s'ye ulaşan su jeti, sunta ve mantar gibi birçok malzemeyi kesebilmektedir. Aşındırıcılı su jeti ise çelik ve titanyum gibi sert malzemelerin kesilmesinde kullanılmaktadır[33].

3.3.3. Su jetinin kullanım alanları ve kullanım alanına uygun su jeti sistemi seçimi

Su jeti kesme sistemleri, sağladıkları avantajlardan dolayı, sanayide çok geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Bu alanlar Tablo 3.2.'de özetlenmiştir [33].

Tablo 3.2.Su Jeti sistemlerinin kullanım alanları [33].

Yoğun Kullanıcı Sektörler	Diğer Kullanım Alanları
Gıda sektörü, Kağıt ve mukavva sanayi, Tekstil ve giyim sektörü, Kauçuk ve plastik sanayi, Temizlik sektörü, Ayakkabı ve deri sektörü, İzolasyon uygulamaları, Cam, mermer, granit, ve seramik sektörü, Metal işleme sektörü, Elektrik-elektronik sanayii, Otomotiv sektörü, Uzay ve havacılık sanayi	Riskli alanlarda ve patlayıcı ortamlarda kesme işlemleri, Nükleer ve elektrik santralleri, İnşaat sektörü ve dekoratif mimari uygulamalar Maden sektörü, Basın-yayın, Kimya ve tıp alanları, Yol bakımı, taş ve beton kesme işleri. Gözlük camı, güvenlik camları, katlı (kompozit) camlar.

3.3.3.1.Gıda sektöründe

Su jeti kesme sistemi ile, taze, kuru, paketlenmiş ya da dondurulmuş hemen tüm gıdalar işlenebilmektedir. Kesim sırasında, ürün kesici metale yapışmadığı için ürün üzerinde minimum basınç etkisi gözlenir böylece ürünün deforme olması önlenmiş olur. Bıçak temizleme, bıçak eğileme ve bıçak değiştirme problemleri yoktur. Sistem oldukça sıhhidir. Sistem esnek imalat ve otomatik imalat sistemlerine kolaylıkla

adapte edilebildiği için ürüne bıçakla verilmesi mümkün olmayan şekiller kolaylıkla verilebilir. Örneğin dondurulmuş balıkların paketlenmesi için yapılan kesme işleminde, su jeti kesme sistemi kullanıldığında ürün kaybının, normal yöntemlerle yapılan kesme işlemlerinde oluşan kayıplardan yaklaşık %20 daha az olduğu görülmüştür [35].

İkinci ve daha ilginç olan su jeti ile gıda işleme operasyonu ise ise USFDA (Türkiye'deki Hıfzısıhha'nın Amerikan eşdeğeri) tarafından da onaylanan yiyecek işlemedir. Bu teknikte gıdanın içindeki mikroorganizmalar herhangi bir kimyasal ya da ısı işlem olmadan yok edilirler. Son yıllarda kullanılmaya başlanan bu teknikte meyve suyu konsantresi, salata, çorba, şarap, yogurt gibi gıdalar korumaya alınır. Daha önce yüksek sıcaklık yardımıyla yapılan işlemler artık YSJ ile yapılabilecektir. Temeli, gıdaları 30 saniye ile 2 dakika arasında değişen bir süre için 3,800 -7,500 bar basınca maruz bırakmaya dayanan bu teknikte ısı etki kullanılmadan pastörizasyon yapılmaktadır [33].

Su jeti kesme sistemlerinin gıda sektöründeki uygulamalarında pompalı ve aşındırıcısız sistemlerin kullanımı uygundur [35].

3.3.3.2.Kağıt ve mukavva sanayiinde

Su jeti kesme sistemleri, özellikle karton kutu imalatında, buruşmaya, kenarların yırtılmasına ve katların açılmasına neden olmadığı için tercih edilmektedir. Sistemin en büyük özelliği, mekanik sistemlerin kesim sırasında malzemede yarattığı tahribatı yok etmesidir. Çünkü mekanik işleme sırasında katlanma ve yırtılma yaklaşık 0,5 mm olurken, bu yırtılma, su jeti sistemleri ile 0,1 mm'ye indirilmiştir. Ayrıca; kesim esnasında gözlemlenebilir nem artışı yaratmaz ve toz oluşturmaz; yüksek operasyon hızlarına ulaşabilir; İmalat sırasında sistemi bloke etmez veya kilitlemez. Su jeti kesme sistemlerinin kağıt ve mukavva sektöründeki uygulamalarında pompalı sistemlerin kullanımı uygundur. Kalın kağıt veya kağıt topu yüksek kesme hızlarında kesilecek ise aşındırıcılı sistemler aşındırıcısızlara tercih edilebilir [33].

3.3.3.3. Tekstil ve giyim sektöründe

Kumaş, esnek ve yumuşak bir malzeme olduğu için, beslenmesi ve kesilmesi geleneksel yöntemlerle oldukça zordur. Çünkü, kumaşla temas halindeki kesici kalem kesimi güçleştirir. Su jeti kesme sisteminde, kesici jet ile kumaş temas halinde olmadığı için işlem basitleşmekte ve hızlanmaktadır. Geleneksel kesicilerle daha doğrusal kesimler yapılabilirken, su jeti kesme sistemiyle daha kompleks ve çok katlı kumaşlar daha hassas işlenebilmektedir. Farklı modeller ve kalıplar arasındaki geçiş bilgisayar kontrollü sistemlerle daha kolay olmakta ve işlem hızı, kesici uç değiştirme gibi bir problem söz konusu olmadığı için oldukça artmaktadır. Bu sektörde çok yüksek basınçlara çıkmak gerekmediği için pompalı ve aşındırıcısız sistemlerin kullanımı uygundur. Kesme hızının artırılabilmesi amacı ile bazı uygulamalarda polimer katkılı su-jeti de kullanılabilir [33,35].

3.3.3.4. Kauçuk ve plastik sanayiinde

Su jeti kesme sistemleri, tüm gözenekli, taneli, ve yumuşak malzemelerin işlenmesinde kullanılabilir. Uygun lüle hareketiyle malzemeyi üç boyutlu olarak işlemek mümkündür. Özellikle, kapı ve pencere imalatında kullanılan PVC türü malzemelerin işlenmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca, cam takviyeli plastik, kauçuk, folye, flexiglas, neopren (10 mm kalınlığındaki neopren 1200mm/dak da), sünger (80 mm kalınlığındaki sünger 1000mm/dak da) ve makralon gibi plastik ve türevleri olan malzemeleri de yüksek hızlarda kesebilmektedir. Bu tip uygulamalarda tüm plastik türevleri kesilmek istenirse pompalı aşındırıcılı sistemlerin seçilmesi yüksek kesme hızlarında kesim yapmaya olanak tanıdığı için çok ekonomik kesim yapma avantajı sağlar [33,35].

3.3.3.5. Temizlik sektöründe

Su jeti sistemleri, endüstriyel temizleme işlemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Büyük eşanjörlerin kireçlenmiş iç yüzeylerinin temizlenmesi, zamanla paslanan ya da kararan anıt ya da büstlerin temizlenip parlatılması, çakıl taşlarının topraktan ayrılmasında (taş kırma tesislerinde), kömürün kömür tozlarından ayrılması işleminde (kömür ocaklarında) kullanılmaktadır. Su jeti sisteminin temizlik işlerinde kullanılabilmesi için lüle çapının büyütülmesi ve sistem debisinin artırılması

gerekmektedir. Bu işler için en uygun sistem yüksek debili pompalı sistemlerdir. Temizlenecek malzemenin sertliğine bağlı olarak aşındırıcı kullanımına geçilebilir. Örneğin yüzeylerden epoxy kaldırmak istenirse aşındırıcılı sistem kullanımına geçilebilir. Ayrıca, kullanım yerine bağlı olarak elektrik motoru veya içten yanmalı motorla tahrik edilen sistemlerin kullanımına karar verilmelidir [33,35].

3.3.3.6. Ayakkabı ve deri sanayiinde

Su jeti kesme sistemleri ayakkabı ve dericilik sektöründe kullanıldığında, malzeme sarfiyatında %15'lik bir düşüğe neden olmaktadır. Ayakkabı kalıbı hazırlama masrafları, bu işlem için gerekli zaman kaybı ve kalıp hazırlarken meydana gelecek malzeme sarfı bu şekilde en aza indirilmektedir. Yüksek kesme hızı için pompalı, polimer katkılı sistemlerin kullanılması uygundur [33].

3.3.3.7. İzolasyon uygulamalarında

Sistem, özellikle, tavan ve taban döşemelerinde kullanılan cam yünü malzemelerinin işlenmesinde kullanılmaktadır. İzolasyon malzemesi imalatçıları su-jeti sistemi kullanımı ile geleneksel kesme yöntemlerine oranla %12 oranında malzeme sarfının azaldığını tespit etmişlerdir. İzolasyon uygulamalarında kullanılacak en uygun sistem pompalı sistemlerdir. Aşındırıcı olarak polimer veya aşındırıcısız süper-su kullanılabilir [33].

3.3.3.8. Cam, Mermer, Granit ve Seramik sektöründe

Cam, mermer, granit ve seramik türü malzemelerin en büyük özelliği kırılğan olmalarıdır. Geleneksel yöntemlerle yapılan işlemler sırasında, malzemeler çok kolay deforme olmakta ve yüksek oranlarda hurda oluşmaktadır. Bu nedenle, sektör, su jeti ile kesme sistemlerinin çok avantajlı kullanım alanlarından birini oluşturmaktadır. Su jeti kesme sisteminin, işlem sırasında malzeme üzerine gelen kesme kuvvetlerini azaltarak malzeme deformasyonunu önlediği ve malzeme sarfını oldukça düşürdüğü tespit edilmiştir. Cam, mermer, granit ve seramik sert malzemeler olduğu için özellikle aşındırıcılı sistemler tercih edilmelidir. Cam, mermer ve granit türü malzemelerin kesimi için pompalı sistemler tercih edilirken, seramik için

istenilen yüzey kalitesine bağlı olarak çift-etkili veya fazla-çift-etkili basınç yükseltme tekniklerini içeren sistemler kullanılmalıdır [35].

3.3.3.9. Metal işleme sektöründe

Yüksek sıcaklık, malzemelerin mekanik özelliklerini değiştiren önemli bir etkidir. Isıl artış, tüm malzeme işleme yöntemlerinde prosesin ayrılmaz bir parçasıdır. Bu artış, malzemenin soğuması sırasında iç gerilmelere sebebiyet vererek tasarımları olumsuz yönde etkiler. Su jeti ile kesme sistemleri bu tür bir ısı artışına neden olmadığı için (işlem esnasında sıcaklık maksimum 60 oC'ye kadar çıkmaktadır), metal işleme sektöründe özellikle tercih edilmektedir. Kısa süreden beri freze tezgahlarının yaptığı işlemleri, yapabilmekle birlikte, yakın zamanda konvensiyonel takım tezgahlarının yerini alacaktır. Ayrıca sistem, tüm dökümlerin (kokil döküm, investment döküm, çelik döküm ve diğer metal dökümler) işlenmesinde kullanılmaktadır. Metal kesme endüstrisi için genel bir çözüm yoktur [33,35].

3.3.3.10. Elektrik-Elektronik sanayiinde

Su jeti kesme sistemleri, elektronik sektöründe, lider elektronik kart ve bilgisayar üreticileri tarafından kullanılmaktadır. Sistem, tüm elektronik kart malzemeleri üzerinde denenmiş ve üretim hızını önemli ölçüde artırdığı, kesme yüzey kalitesini iyileştirdiği ve toz oluşumunu elimine ettiği belirlenmiştir. Ayrıca, kesme işlemi için malzemelerde bir başlangıç deliğine gerek yoktur. Epoxy-glass, kompozit, polyamid ve kevlar türü elektronik kartlar üzerine yapılan, vibrasyon, mekanik şok, termal şok, ve nem infiltrasyonu testlerinde, su jeti ile kesme yöntemiyle işlenen kartta, dielektrik sabiti, hacmi, yüzey geçirgenliği, dağılma faktörü ve dielektrik kesme katsayısı gibi karakteristik özelliklerinde herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir. Bu sektörde kullanılan kart malzemelerini kesebilecek en uygun sistemler aşındırıcı pompalı sistemlerdir. Aşındırıcı olarak süper-su veya polimerler kullanılabilir [33,35].

3.3.3.11. Otomotiv sanayiinde

Su jeti ile kesme sistemleri otomotiv sektöründe oldukça geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Sistem halı, araba ön paneli, gösterge panosu, fiberglas yaylar, yakıt tankı

korumaları, koltuk arkalıkları ve asbestos fren balataları gibi metal, kompozit ve metal olmayan malzemelerin işlenmesinde kullanılmaktadır. Otomotiv sanayiinde de çözüm, kesilmesi düşünülen malzeme tipi veya tipleri, arzu edilen kesme hızı ve kalitesine bağlı olarak değişebilmektedir. Fakat bütün metal uygulamaları için en uygun kesme özelliklerini aşındırıcı sistemler vermektedir [33,3].

3.3.3.12.Uzay ve havacılık sektöründe

Aramid (kevlar) destekli kompozit parçaları ve titanyum gibi malzemeleri yoğun şekilde kullanan uzay ve havacılık firmaları su jeti kullanımı ile üretkenliklerinin %80 oranında arttığını ve üretim süresinin %15-%20 oranında düştüğünü belirtmektedirler. Bu sektör de kullanılacak su jeti sistemlerinde fazla çift etkili basınç yükselticilerin bulunması ve aşındırıcı kullanımı gerekmektedir [33,35].

Tablo 3.3. Aşındırıcı kullanıma durumuna göre su jeti ile işlenebilen malzemeler[33,35].

<u>Su jeti ile işlenebilen malzemeler</u>	<u>Aşındırıcı su jeti ile işlenebilen malzemeler</u>
Dondurulmuş gıdalar	Alüminyum
Halı	Bakır
İnce levha	Cam
İnce mum	Cam takviyeli poliüretan
Kağıt	Garolit/G10/FR4
Köpük	Granit
Mantar	Karbon elyafı
Plastik film	Kompozitler
Sunta	Mermer
Yumuşak conta malzemesi	Naylon
Yumuşak kauçuk	Paslanmaz çelik (SAE 304-316)
Yumuşak poliüretan	Pirinç
Yumuşak veya ince ahşap	Pleksiglas
	Polikarbonat
	Poliüretan
	Seramik
	Sert kauçuk
	Sert veya kalın ahşap
	Takım çelikleri
	Taş
	Titanyum
	Yumuşak çelik

3.3.4. Su jetinin diğer yöntemlerle karşılaştırılması

Su jeti ile yapılan işlemlerde en temel özellik ısıl gerilmelerin ortaya çıkmamasıdır. Böylece çarpılmalar önlenmekte ve malzeme özellikleri korunabilmektedir. Ayrıca cam ve plastik gibi düşük sıcaklıklarda ergiyen malzemeler sorunsuz kesilebilmektedir. Endüstride makina parçaları için Bilgisayar Destekli Tasarım(CAD) yazılımları ile üretilen çizimler kullanılabilir ve kalıp, takım tertibatı veya CNC programlama gerekmemekte sonuç olarak su jeti yöntemi düşük maliyet sağlamaktadır.

İmal edilecek parça sayısında alt sınır yoktur. İlk maliyetin düşük olması, yüksek kaliteli ürünlerin bir adet bile olsa imalatını mümkün kılmaktadır.

Diğer yöntemlerde kalıp veya takım tertibat için belirli süre beklemek gerektiği halde su jeti ile üretimde çizimlerden hemen işe başlanılabilmektedir.

Kesme işleminde ± 0.1 mm gibi yüksek hassasiyet elde edilebilmekte ve kesme yüzeyi ince kum püskürtülen yüzeyler gibi düzgün çıkabilmektedir. Hurda miktarını azaltmaktadır. Nükleer santral gibi yerlerde yangın tehlikesini ortadan kaldırdığından güvenlik sağlamaktadır. Zararlı gazlar, sıvılar veya yağlar gerekmediğinden çevreyi koruyucu özelliği bulunmaktadır.

Su jetinin laser ve tel erozyon gibi yöntemlerle parça maliyeti, hassasiyet, işe başlama durumu, malzeme kısıtı, çarpılma ve kesme yüzeyi yönlerinden karşılaştırılması Tablo 3.4.'de verilmektedir.

Tablo 3.4. Su Jetinin diğer yöntemlerle karşılaştırılması [33].

Yöntem	Parça Maliyeti	Hassasiyeti	İşe başlama	Malzeme Kısıtı	Çarpılma	Kesme Yüzeyi
Su Jeti	Birim	± 0.13 mm daha yüksek	-	Yok	Yok	Düzgün
Alevle kesme	Daha az	Daha az	Daha hızlı	Var	Var	Kaba
Delme presi	Kısa çalışmada daha yüksek	Benzer	Daha yavaş	Var	Var	Buruşuk kenar
Laser	Daha yüksek	13 mm den az kalınlıkta daha yüksek	İnce malzemede daha hızlı	Var	Var	Kaba
Plazma kesme	Daha az	Daha az	Daha hızlı	Var	Var	Kaba
Tel erozyon	Daha yüksek	Daha yüksek	%75 daha yavaş	Var	Var	Düzgün

Tablo 3.4.'de su jetinin, malzeme kısıtı ve çarpılma bakımından diğer tüm yöntemlerden daha iyi durumda olduğu görülmektedir. Malzeme kısıtı bulunmaması değişik malzemeler için yatırım yapılması zorunluluğunu ortadan kaldırmakta ve kapasite kullanım oranını iyileştirmekte ve böylece su jeti yöntemine önemli üstünlük kazandırmaktadır. Çarpılma oluşmaması ise masraflı son işlemler yapılması gereğini ortadan kaldırmakta ve böylece zaman tasarrufu da sağlamaktadır. Kesme yüzeyinin durumu ise tel erozyon gibidir ve yine diğer yöntemlerden üstündür. Parça maliyeti yönünden ise plazma ve alevle kesmeden daha pahalı bulunmaktadır [33].

Avantajları

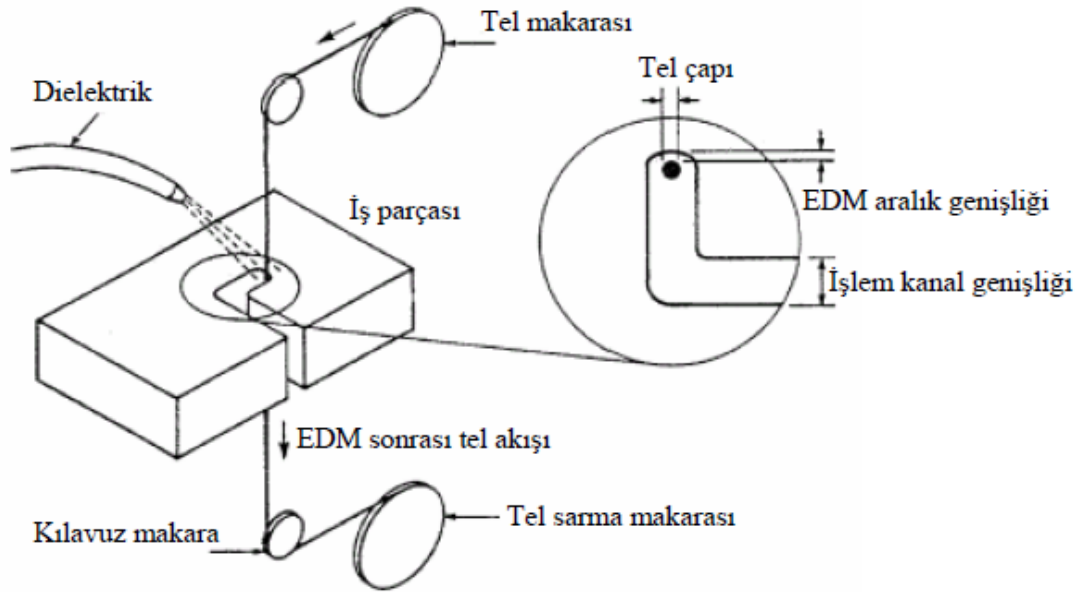
- Su jetinin en büyük avantajı, sıcaklık etkisinin olmamasıdır. Böylelikle yapısal bozulma, kararma, çarpılma, erime, damla oluşması ve yanma sorunları asla söz konusu değildir.
- Lastik ve plastik ile kaplanmış çeliklerde ve katlı kompozit malzemelerde yanma ve erime sıcaklıktan farklı olduğundan su jeti sorunsuz kesim için tek yöntemdir.
- Teknik yöntemlerle kesmede kalınlığı fazla olan malzemelerde sıcaklık nedeniyle kesme kesiti derinliğince kalite problemleriyle karşılaşılır. Su jeti ile kesmede ise en kalın kesitlerde dahi yüksek kalite kesme yüzeyi elde edilir.
- En karışık formlar dahi yüksek hassasiyet ve çok temiz kesim kenarları elde edilir. Kesim işleminden sonra ikinci bir işlem ve masraf anlamına gelen çapak alma işçiliği gerekli değildir.
- Zikzaklı kesimler, çok dar açılar ve küçük radyüsler diğer kesme yöntemlerinde mümkün olmayacak kadar yüksek kalitede kesilir.
- Su jeti ile kesmede, malzemeyi deformasyona uğratan kuvvetler yoktur. Bu sayede kenar kesme, sıvama çapakları ve keskin kenarlar oluşmaz.
- Bir sac teline benzer su jeti hüzmesi ile (0.12 - 1.1 mm) çok dar kesme izi elde edilir. Bu avantaj ile malzeme fireleri neredeyse yok edilmiş olur.
- Kesme, malzeme yüzeyinin herhangi bir noktasından başlanabilir. Termik yöntemlerdeki gibi kesime malzeme kenarından başlamak zorunda değildir.
- Kesme işlemi sırasında, zehirli gazlar, toz, talaş veya kimyasal kirlilik oluşmaz [33].

3.4. Tel Erozyon İle Kesme Yöntemi

İşlenilmesi güç metallerin kullanılmasındaki artış ve klasik kesme yöntemlerinin bu metalleri islemede yetersiz kalması veya çok pahalıya mal olması yeni metal işleme yöntemlerini gündeme getirmiştir. Bu yeni işleme yöntemlerinden biri de Tel Erozyon yöntemidir. Üretime 1968 yılında katılan Tel Erozyonun, kullanılmaya başlanıldığından beri kesme hızı, her 4 yılda bir ikiye katlarken yüzey kalitesi de başlangıçtaki değerine göre 15 kat daha iyi olmuştur. Tel Erozyonla işleme; malzeme sertliğinden etkilenmemesi, kesme esnasında kuvvet oluşmaması, yüksek hassasiyet ve diğer metotlarla işlenmesi oldukça zor veya mümkün olmayan karmaşık şekilli parçaların imal edilebilmesine imkân tanımıştır. Ayrıca Tel Erozyon hassas metal kesmede, ardışık, bileşik ve çok istasyonlu metal kesme kalıplarının imalinde, hassa profilli çekme (ekstrüzyon) kalıpları, plastik hacim kalıpları, karmaşık şekilli maçalar, bükme kalıpları ve zımbaların işlenmesindeki faydalarından dolayı son yıllarda iletken malzemelerin işlenmesinde inanılmaz derecede yer almaya başlamıştır [36].

Tel Erozyon ile işleme yöntemi dielektrik sıvı içerisinde daldırılmış, elektriksel iletkenliğe sahip tel ile iş parçası arasındaki sabit bir işleme aralığında, vurum jeneratörü tarafından kontrollü bir şekilde oluşturulan elektriksel boşalımların iş parçası yüzeyinden küçük bir bölgeyi eritmesi ve buharlaştırması esasına dayanır. Şekil 3.16'da Tel Erozyon yöntemi şematik olarak gösterilmiştir. Elektriksel boşalım enerjisi nedeniyle ısınan tel ile iş parçası yüzeylerinin soğutulması ve işleme atıklarının işleme aralığından uzaklaştırılması dielektrik sıvı tarafından sağlanır. İşleme aralığının sabit tutulması ise telin servo kontrollü besleme mekanizması ile iş parçasına doğru hareket ettirilmesi sayesinde gerçekleşir [37].

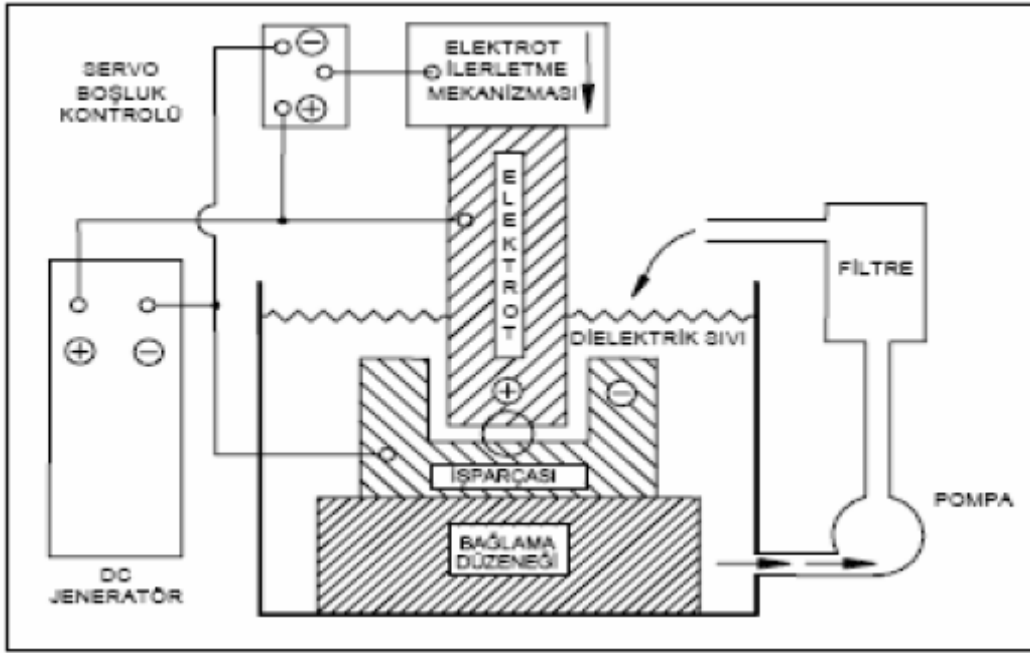
Tel Erozyon bir tür elektrik boşaltma sistemidir. Tel Erozyon işleminde, CNC ile kontrol edilen XY tablasına yerleştirilmiş olan malzeme, elektrot olarak işlev gören ve sürekli yüklü olan ince bir tel ile kesilir. İş parçası ile elektrot arasında oluşan kıvılcım her iki taraftan bir miktar malzeme koparır ve bu esnada iş parçasına hiçbir kesme kuvveti uygulanmaz. İş parçası ve elektrot arasında işleme sırasında dokunma yoktur. Elektrik ileten tüm metallere bu işlem uygulanabilir.



Şekil 3.16. Tel Erozyon yönteminin şematik görünüşü [12].

Tel Erozyon tezgâhının ana kısımları; vurum jeneratörü, kontrol paneli, servo kontrol mekanizması, tel besleme mekanizması, tel bağlama adaptörü, iş parçası bağlama düzeneği, dielektrik sıvı tankı, dielektrik sıvı pompası, dielektrik sıvı filtresi ve alt tabladır. Şekil 3.17’de Tel Erozyon tezgâhının ana kısımları gösterilmiştir.

1960’ların sonunda elektronik kontrol sistemlerinin gelişmesi ile bu yöntem güvenilir ve hassas bir talaş kaldırma metodu olarak kabul edildi ve EEİ tezgâhları üretilmeye başlandı. 1980’li yılların başında yerli firmalar da bu tezgâhı üreterek iç piyasanın ihtiyacını karşılamaya başladılar. İmalat sanayinde daha çok kullanılır hale gelen, Tel Erozyon ve elektro erozyon tezgâhları özellikle kalıp imalatçılarının vazgeçilmez bir tezgâhı durumundadır. İşleme için islenecek geometrinin tele aktarılmasına ihtiyaç vardır. Tezgah bu telin negatifini iş parçasına işler. Tel Erozyon tezgâhında, kontrollü elektrik boşalmaları ile talaş kaldırılır. Her bir boşalım iş parçası üzerinde küçük bir krater meydana getirir [26].



Şekil 3.17. Tel Erozyon tezgâhının ana kısımları [26].

Klasik tezgahların aksine bu teknikle sertleştirilmiş parçalar kolaylıkla islenebilir. Tel Erozyon tezgâhının önemli bir avantajı da is parçası ve elektrot arasında kesme kuvvetinin olmamasıdır. Tel Erozyon tezgâhının en önemli sınırlaması, diğer tezgâhlara göre çok yavaş malzeme kaldırmasıdır. Bu dezavantaj tezgah otomatik ve uzun süre çalışılabilir hale getirilerek giderilmeye çalışılmıştır. Tezgahın ikinci bir sınırlaması da tel hazırlaması ve tel aşınmasıdır. Diğer tezgahların yardımıyla onların çok zor yapabildiği veya yapamadığı bir çok işi kolaylıkla yapabilir.

Tel Erozyon'da tel ve is parçasına elektrik uygulanır. Tel ve iş parçası arasındaki boşlukta dielektrik sıvısı bulunmaktadır. Dielektrik sıvısı normal koşullarda elektrik iletmeyen bir sıvıdır. Tel Erozyon tezgahında elektrot ile is parçası arasına gerilim uygulanarak tel iş parçasına özel bir servo mekanizma tarafından yaklaştırılır. Tel ile is parçası arasında en yakın olan noktada dielektrik elektrik direnci kırılır ve dielektrik sıvı iyonlaşır. Buradan akım geçişi baslar. Dielektrik sıvının varlığı boşalımı dar bir alana hapseder. Noktasal olarak yüksek bir akım geçişi (1-5 milyon A/cm²) ve iyon bombardımanı ile iş parçası ve tel üzerinde yüksek sıcaklık oluşur. Bu sıcaklık bir kısım iş parçası malzemesinin buharlaşmasına, bir kısmının da ergimesine sebep olur. Elektronik anahtarlama ile akım kesilerek boşalım söndürülür.

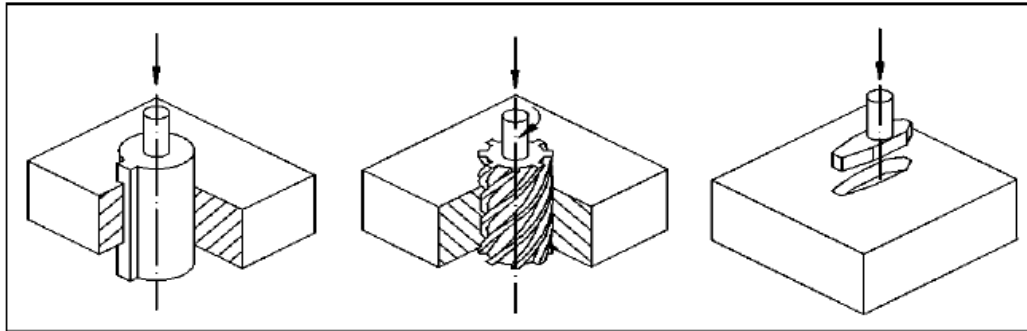
İyonlaşmış bölgeye hücum eden dielektrik sıvının, erimiş metale temasıyla metalin bir kısmı tanecikler halinde koparak dielektrik sıvının içine karışır. Böylece bir miktar talaş kaldırılmış ve iş parçası ile tel arasındaki en yakın iki nokta işlenmiş olur. Akımın verilip kesilmesiyle sürekli bir vurum dizisi oluşturularak her defasında farklı bir noktada malzeme kopartılır ve telin şekli karşıya (iş parçasına) geçirilir. Bir süre sonra, mesafenin uzaklaşması yüzünden boşalım atlayamaz. Bu durumda özel servo mekanizması teli iş parçasına yaklaştırır. Dielektrik sıvı boşalımın oluşması ve dar alana hapsedilmesi için gerekli ortamı oluşturduğu gibi, koparılan taneciklerin ortamdaki uzaklaştırılması ve açığa çıkan yüksek ısının süpürülmesini de sağlar. Eğer tel ve iş parçası birbirlerine değerse kısa devre olur ve erozyon işlemi gerçekleşmez [26].

3.4.1. Tel erozyon ile işleme tipleri

Tel Erozyon ile işleme tipleri işleme prensipleri göz önünde bulundurularak aşağıdaki iki ana grup altında sınıflandırılabilir.

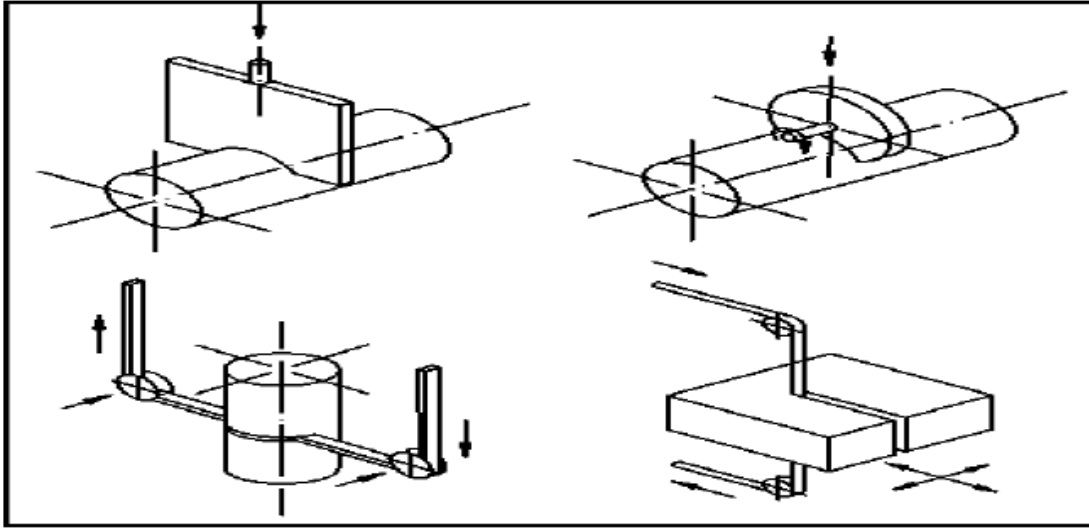
- Tel Erozyon ile delme ve oyma
- Tel Erozyon ile kesme

Tel Erozyon ile delme ve oyma yöntemi, iş parçasının sabit profilli bir tel ile boydan boya delinmesi veya telin iş parçasına belirli bir işleme derinliğinde batırılması ile yapılan işlemdir. Şekil 3.18’de Tel Erozyon ile delme ve oyma yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Tel Erozyon ile delme ve oyma yöntemi [26].

Tel Erozyon ile kesme yöntemi, iş parçasının levha, disk, tel veya şerit şeklindeki elektrotlar ile çeşitli profillerde kesilerek koparıldığı veya belirli bir işleme derinliğinde telin iş parçası üzerinde çentik oluşturduğu bütün operasyonları kapsayan yöntemdir. Şekil 3.19’da Tel Erozyon ile kesme yöntemi gösterilmiştir [26].



Şekil 3.19. Tel Erozyon ile kesme yöntemi [26].

3.4.2. Tel seçimi ve tel tipleri

Herhangi bir kesme aleti işleme koşullarına karşı ve uygun çözüm getirecek doğru karakteristik bileşimine sahip olmalıdır. Bugünün yüksek performanslı elektro deşarj işlemi için tel de istisna değildir. Temel olarak karakteristikler veya özellikler aşağıdaki gibidir;

- Elektriksel özellikler
- Mekaniksel özellikler
- Geometrik özellikler
- Termal fiziksel özelliklerdir.

Tel seçimi aşağıdaki gibi iki şekilde yapılabilir:

(i) İş parçasının kalınlığına göre tel seçimi: iş parçası kalınlığına bağlı olarak uygun tel seçmek gereklidir. 0,2 mm çapında tel kullanarak 100 mm 'den daha kalınlıkta bir

iş parçası kesilirse, yavaş besleme oranı yüzünden çok fazla zaman harcanır. 0,3 mm çapında tel kullanılarak yaklaşık 10 mm kalınlıkta bir iş parçası kesilirse, ekonomik değildir. İş parçası kalınlığı dikkate alınarak tel seçimi yapılır. Tablo 3.5.'de tel çapı ve iş parçası kalınlığı arasındaki ilişki gösterilmiştir.

Tablo 3.5. Tel çapı ve iş parçası kalınlığı arasındaki ilişki [26].

Tel çapı (mm)	Malzeme kalınlığı (mm)
0.10	1-40
0.20	40-100
0,25	100-200
0,30	200-300

(ii) Köşe radyüsüne göre tel seçimi: Tel elektro deşarj işlemi ile köşe radyüslerin yarıçapı yaklaşık 0 dışbükey köşeleri yuvarlatır. Bununla birlikte radyüslerin yarıçapı tel yarıçapından daha büyük olur. İşlenmiş oluk genişliği, deşarj aralıklarından dolayı tel çapından daha büyüktür. İşlenen köşe radyüslerin yarıçapı işlenmiş oluğun yarı genişliğinden daha büyüktür ve içbükey köşeleri yuvarlatır. Aşağıdaki listede içbükey köşe radyüs limitleri Tablo3.6.'da görülmektedir. İnce tel kullanıldığında, içbükey köşe radyüsleri limiti küçüktür. Bununla birlikte, tele geçen maksimum elektrik akımı azaldığı için kesme hızı ve kesilen plakaların maksimum kalınlığı azalır. Basit kesim koşulları, işlenmiş bir oluğun genişliğini azaltır. Köşe radyüsünün küçük olmasını mümkün kılar [26].

Tablo 3.6. Kesilecek iç bükey radyüs limitleri [26].

Tel çapı (mm)	Yalnız ilk kesim için	Son kesim
Ø 0,10	R0,1 yukarı	R0,07'den R0,1'e kadar
Ø 0,20	R0,2 yukarı	R0,11'den R0,2'ye kadar
Ø 0,25	R 0,25 yukarı	R0,14'den R0,25'e kadar
Ø 0,30	R 0,3 yukarı	R0,17'den R0,3'e kadar

Tel Erozyon tezgahlarında kullanılan tel tiplerini aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz:

Bakır Tel: Başlangıçta bakır tel kullanılmaktaydı ve küçük çaplı bakır tel çok sargılı elektrik kabloları ve elektrik motor sargıları için kolay elde edilebiliyor olduğundan dolayı tel iyi bir seçim olarak görünmektedir. Bakırın elektriği iyi iletme özelliğinden dolayı işleme akımları ve yavaş işleme hızlarında kullanılabilir. Teknolojik gelişmelere paralel olarak jeneratörlerdeki ilerlemeler bakır telin kusurlarını ortaya çıkarmıştır. Bu kusurlardan ilki bakırın püskürtülebilirliği ile ilgilidir. İkinci ise 235 MPa'dan 414 MPa'a kadar düşük kopma mukavemetidir. Bu iki ana faktörün kontrolü ile arzu edilmeyen telleri ayırmak veya minimize etme imkanı doğmuştur. Mühendislik araştırmaları sonucu geliştirilen tellerin optimize edilmesine yardımcı olmak amacıyla Tablo 3.7.'de bakır telin karakteristik özellikleri verilmiştir [26].

Tablo 3.7. Bakır telin karakteristikleri [26].

Ana malzeme	Cu
Kaplama malzemesi	Yok
Kopma mukavemeti	241 MPa
Uzama	> % 20
İletkenlik IACS	%100
Renk	Bakır

Pirinç Tel: Pirinç tel elektro deşarj işlemi için ilk mühendislik telidir. Bu değerlendirme değişik bileşimleri imal etmek için teknik bilgi ile bir tel yapım şirketi ve esas bir Tel Erozyon üreticisi arasında yakın bir işbirliği ortaya çıkarmıştır. 1997'de, elektro deşarj işleme telinin isteklerinin artması ile uygun, yüksek kaliteli pirinç tel piyasaya tanıtılmıştır. Bu tel 50 mm kalınlığındaki iş parçası için 710 mm²/saat'ten 1484 mm²/saat'in üstüne kadar kesme hızını oluşturmuştur. Pirinç, çinko ile bakır alaşımıdır. Bugünün genel tipi % 63 bakır ve % 37 çinko içerir. Çinkonun daha düşük ergime noktası daha iyi püskürtme yeteneğinin ilerletilmesini sağlamıştır. Pirinç telin uygulama karakteristikleri değişik işlemlerde farklı kopma mukavemetlerine sahiptir. Bu mukavemetler haddeden çekme (işlerken sertleşen) sayesinde başarılmış olur ve ısı işleme operasyonları istenilen kalitede elde edildi. Saf pirinç telin mekanik özellikleri Tablo 3.8'de verilmiştir [26].

Tablo 3.8. Saf pirinç telin kopma mukavemetleri.

Ana malzeme	CuZn37
Kaplama malzemesi	Yok
Kopma mukavemeti	483 - 896 MPa
Uzama	>%15, <%2
İletkenlik 1ACS	%20
Renk	Altın

Özel Metal Tel: Bu tip tel genellikle tungsten veya molibdenden yapılır. Tungsten ve molibden her ikisi de yüksek bir kopma mukavemetine sahiptir. Genellikle çok ince teller için kullanılır. Özel metal tel, yüksek bir kopma mukavemetine sahiptir. Bu nedenle, tungsten ve molibden çok ince teller için daha uygundur. Özel metal tel, daha yüksek kopma mukavemeti ve daha yüksek ergime noktası yüzünden daha az kopmaya yönelir. Buna karşın özel metal tel, daha yüksek ergime noktasına, daha yüksek sertliğe sahip ve yaralı olduğu zaman kıvrılmaya yöneldiği için kullanmak çok zordur. Bu karakteristikler, otomatik tel besleme için özel metal telin kullanılmasını kararsız yapar. Çok yüksek sert elektrot pimler, kılavuzlar vesaire üzerinde çok yüksek bir aşınma derecesini zorlar. Özel metal tel, pirinç telin eşdeğer ağırlığından yaklaşık 5 ile 6 kat daha fazla pahalıdır. Molibden tel aydınlatma endüstrisinin yöntemiyle Tel Erozyon tezgahına gelmiştir. Molibden tel, küçük dahili yarıçaplar ile karışık is parçaları kesimi için bazı popüler çözüm karakteristiklerine sahiptir. Bu özellikler;

(i) Yüksek kopma mukavemeti (1931 MPa), özellikle 0,005 mm'den 0,1 mm çapa kadar kullanıldığı zaman yararlıdır.

(ii) Ticari olarak kullanışlı ve yakın toleranslara göre imal edilmiştir. Bununla birlikte, geniş kullanıma meydan vermeyen bazı dezavantajlara sahiptir. Molibden tel pahalı ve yüksek ergime sıcaklığı (2625 °C) yüzünden zayıf püskürtme yeteneği ile çok düşük bir buhar basıncına sahiptir. Molibden tel bugün hala kullanılmaktadır. Molibden telin karakteristikleri Tablo 3.9'da verilmiştir [26].

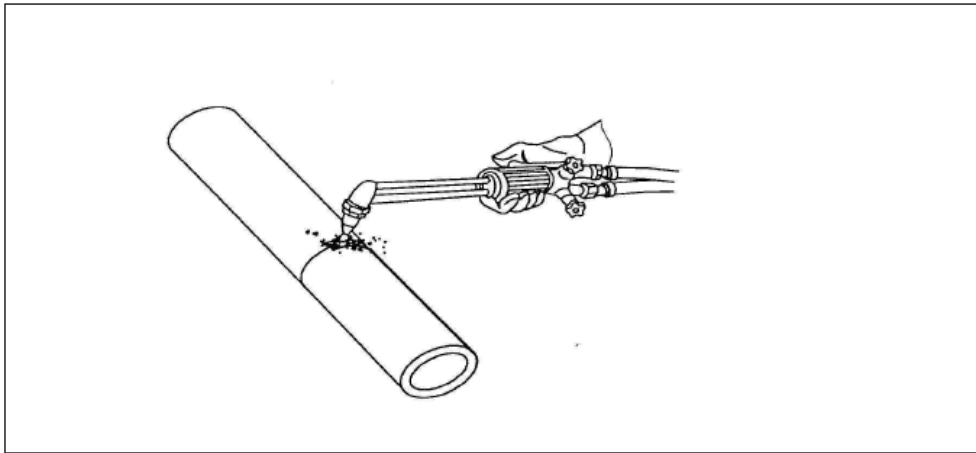
Tablo 3.9. Molibden telin karakteristikleri [24].

Ana malzeme	Molibden
Kaplama malzemesi	Yok
Kopma mukavemeti	1931 MPa
Uzama	<%2
İletkenlik 1ACS	%34
Renk	Açık gri

3.5. Oksigaz Yöntemiyle Kesme

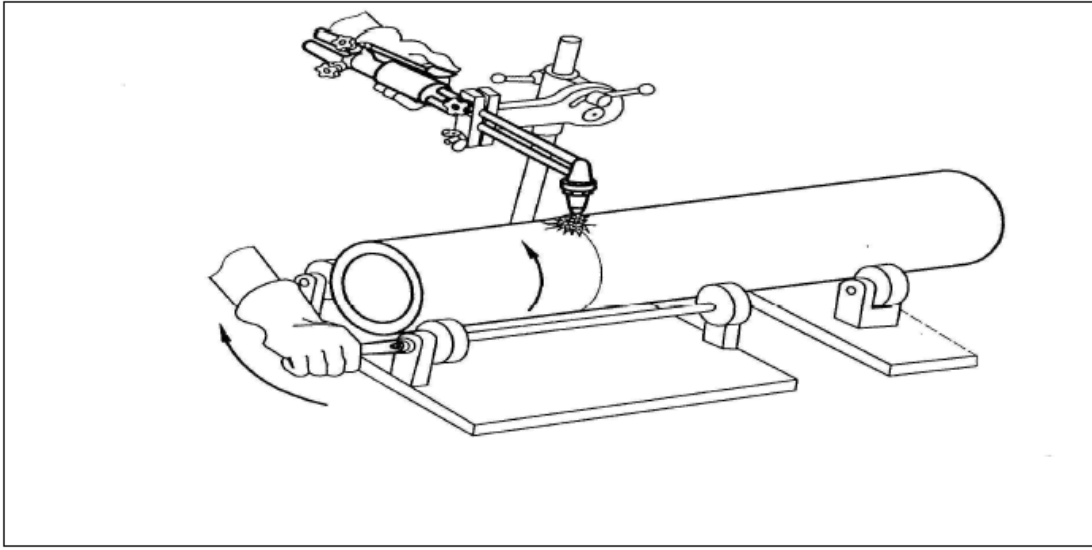
Tesisat üstündeki boruların ve her tür büyük çaplı siyah demir borunun kesilmesinde ve delinmesinde oksijen kullanılabilir. Oksijenle sert, çelik türü gereçlerin hızlı oksitlenip yanmasından yararlanılarak kesme yapılır. Birçok çelik türü, 1100 °C civarında şekillendirme sıcaklığındadır. Bu sıcaklığa kadar ısıtılan gereç, saf oksijen içinde kalarak hızla yanmaya başlar. Bu yanma sonunda cüruf ve ısı açığa çıkar. Çelik 1500 °C 'de ergime sıcaklığına ulaşır [26,38].

Çeliğin oksijenle oksitlenerek kesilmesine oksijenle yakarak kesme denir. Çelik döküm, çelik ve çelik alaşımları yakarak kesilebilir. Basınçlı oksijen, ergimiş gereç moleküllerini kesme alanından uzaklaştırır. Oksijenle kesme işlemi, serbest elle veya aparatla yapılır. Şekil 3.20'de serbest elle kesme işlemi gösterilmiştir.



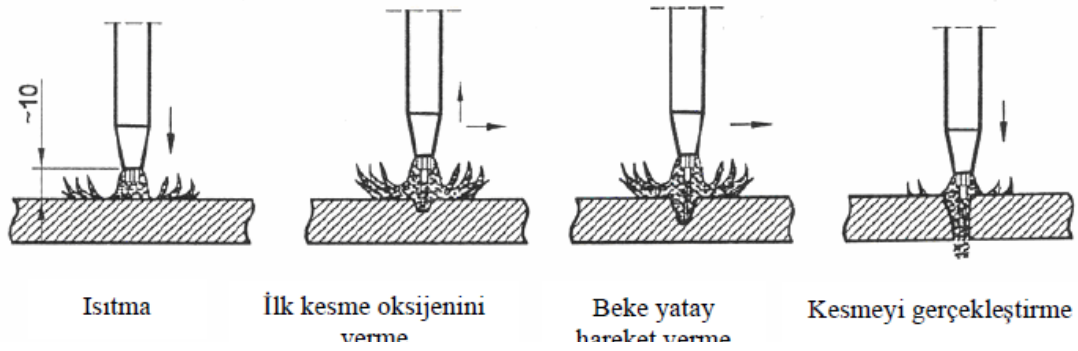
Şekil 3.20. Oksijenle serbest elde kesmenin yapılışı [26,38].

Oksijenle kesme işleminde, Şekil 3.21’de otomatik kesme aparatıyla kesme işlemi gösterilmiştir ve kesme aparatıyla kesme işlemi serbest elle kesmeye göre daha düzgün ve seri olur. Tesisat işlemleri genellikle inşaat ortamında yapıldığı için, serbest elle kesme daha yaygın olarak kullanılır. İki tür kesme işleminde de kesilecek yer, yeterli miktarda ısıtılır. Isıtma alevi parça üstüne 90° tutularak ön ısıtma yapılır. Kesme işlemine, oksijen verme koluna basılarak devam edilir. Alevin kesmeye başlamasıyla kesme yönünde üflece 75-80° kadar eğim verilir [39].



Şekil 3.21. Oksijenle aparatlı boru kesme [26].

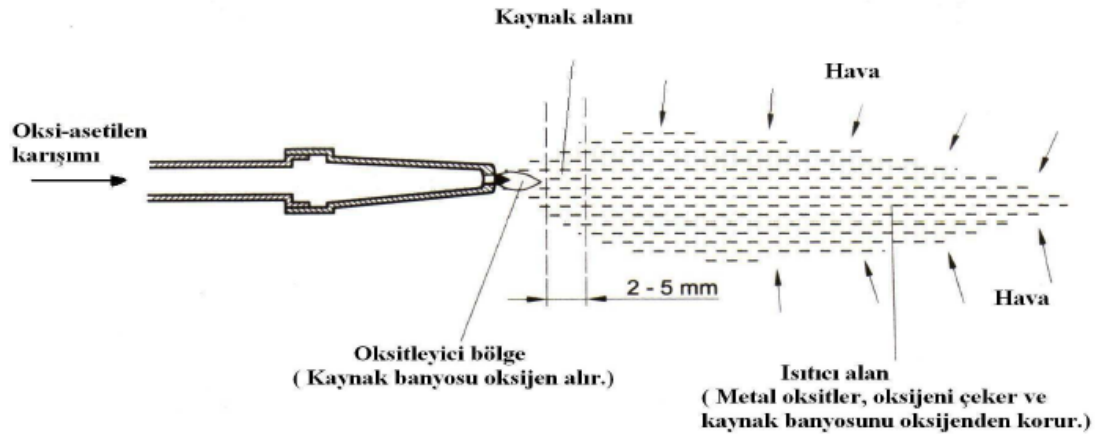
Kesmeye herhangi bir nedenle ara verilmesi durumunda, kalınan yerden 10 mm kadar geriden ısıtılarak kesmeye başlanmalıdır. Gerecin ortasından yapılacak delme veya kesme işleminde, gereç yeterli miktarda ısıtılarak delinmelidir. Delinen alanın çevresi genişletilerek kesmeye devam edilmelidir. Şekil 3.22’de oksijenle kesme aşamaları gösterilmiştir [26,38].



Şekil 3.22. Oksijenle kesme aşamaları [26].

3.5.1. Kaynak alevi

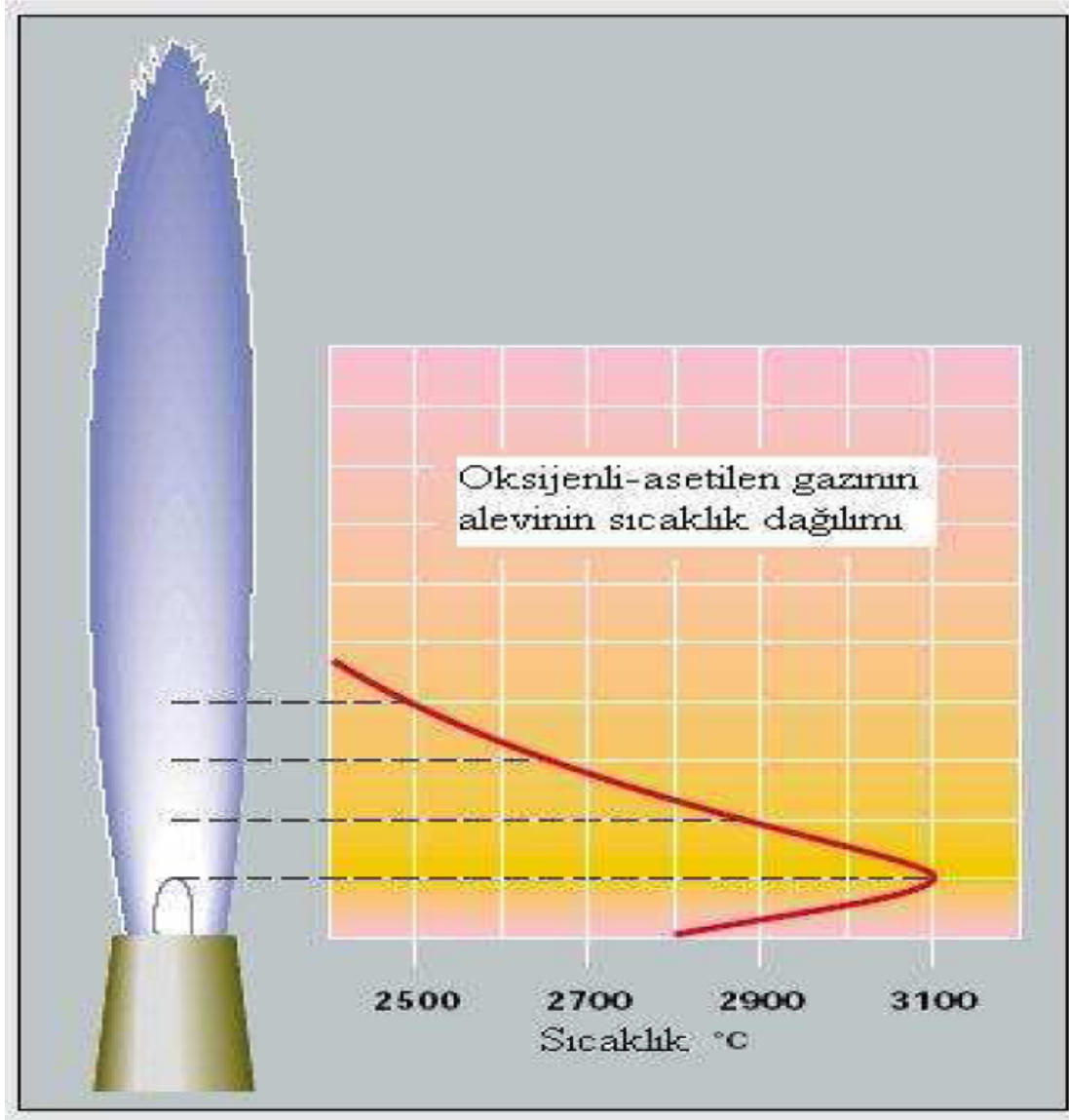
Asetilen gazının oksijenle şiddetli yanmasından meydana gelen ısı kaynağına oksiasetilen alevi denir. Oksijen (O_2) yakıcı, Asetilen (C_2H_2) yanıcı gazlardır. Alevin oluşumu üfleç karışım odaları kanalı ile olmaktadır. Metallerin ergitilmesinde, ısıtılmasında ve yüzey sertleştirme işlemlerinde ve kaynağında kullanılırlar. Oksi asetilen alevi şematik olarak Şekil 3.23’de gösterilmiştir.



Şekil 3.23. Oksi - asetilen alevi [26].

Teorik açıdan baktığımızda, oksiasetilen kaynak alevinin oluşması için gerekli ortamda, 1 birim asetilen için 2,5 birim oksijene ihtiyaç vardır. Ancak oksijen tüpünden alınan oksijen miktarı bu işlem için 1 birimdir. Alev için gerekli olan ve geriye kalan 1,5 birim oksijen, ortamdaki havadan alınır. Sonuçta, kaynak için gerekli olan her birim asetilen için 1 birim oksijen, tüpten çıkar [43]. Oksijen ve

hacim oranlarına göre, normal alevin ısısı 3233 °C kabul edilir. Oksiasetilen alevinin sıcaklık dağılımı Şekil 3.24.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.24. Oksi-asetilen alevinin sıcaklık dağılımı [26].

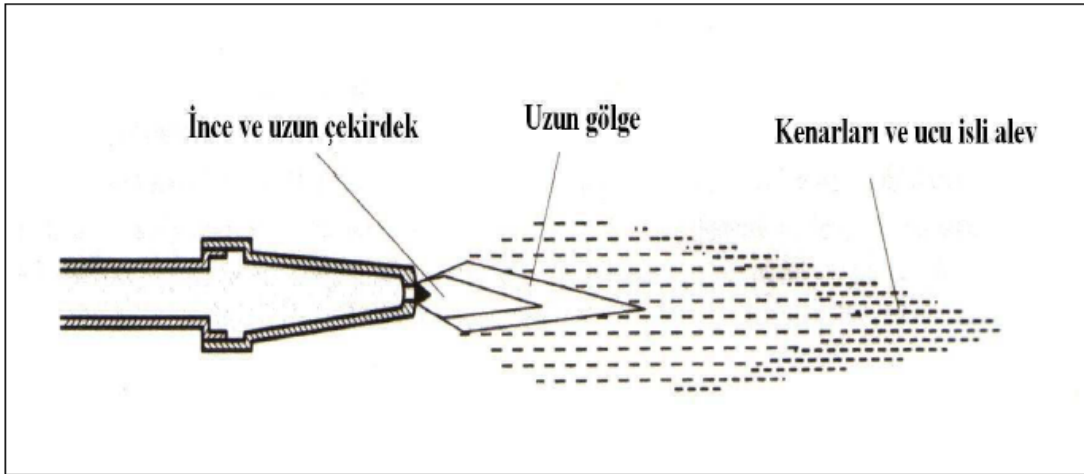
3.5.2. Alev ayarı çeşitleri

Gereçlerin kaynağında alev türünün seçimi çok önemlidir. Kaynak üfleçlerinde (şalome) oksijen ve asetilen karışım miktarına göre üç çeşit alev oluşur :

- Yumuşak alev,
- Normal alev,
- Sert alevdir [26,40].

Yumuşak alev (karbürlü)

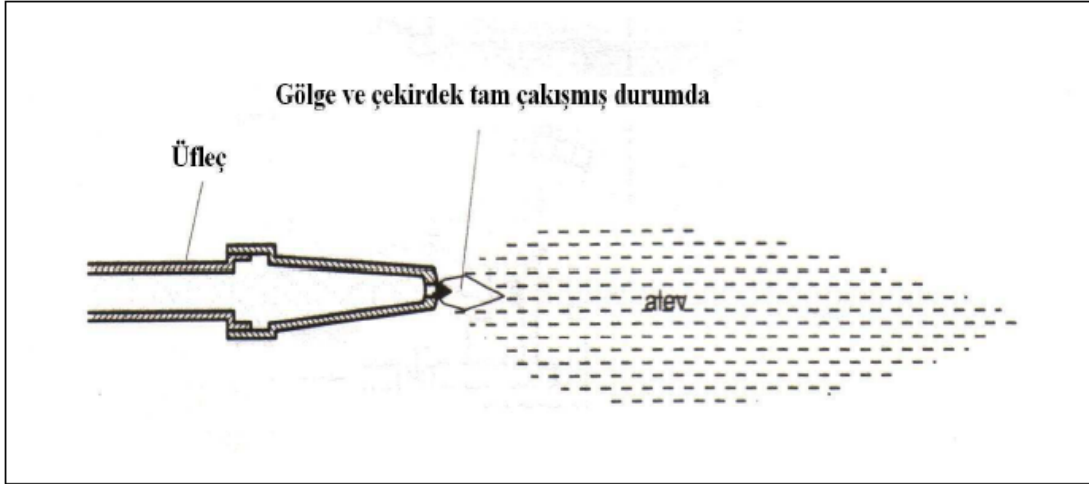
Üfleçten çıkan asetilen oranı fazla olan alevdir. Asetilen fazlası aleve, karbon verme yeteneğinden dolayı karbonlayıcı (karbürlü) alev de denir. Asetilen miktarı, oksijene göre fazladır. Alevin rengi kırmızı, turuncu ve sarıya yakındır. Çok yumuşaktır. Beyaz çekirdek dışında uzun gölge oluşur. Yüksek ve orta karbonlu alev, özellikle çeliklerde (ince kalınlıktaki çelikler), nikelli çeliklerde, alüminyum ve alaşımlarında, dökme demir ve kursun gibi oksitlenmeye hassas gereçlerde kullanılır. Oksijenin normalden az açılması isli alevi oluşturur. Asetilen oranı çok fazla geldiği için kurum olarak ortama karbon monoksit (CO) verir. Hiçbir gerecin kaynağı yapılamadığı gibi çıkan kurum rahatsız edici olur. Kurum, suyla birleşince kemirici özelliğe sahip olduğundan sağlığa ve çevreye zarar verir. Şekil 3.25’de asetilen fazlası alev şematik olarak gösterilmiştir [26].



Şekil 3.25. Asetilen fazlası alev [26].

Normal alev

Alevin oluşumunda üfleçten, bir hacim oksijen ve bir hacim asetilen karışımı ortaya çıkar. Bu karışımın yanması ile yumuşak, iç beyaz çekirdeği kalın ve açık kırmızı renkte alev oluşur. Normal alev, gölge alevin çekirdek alev ucunda kaybolduğu noktada ayarlanır . Şekil 3.26.’da normal alev şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.26. Normal alev [24].

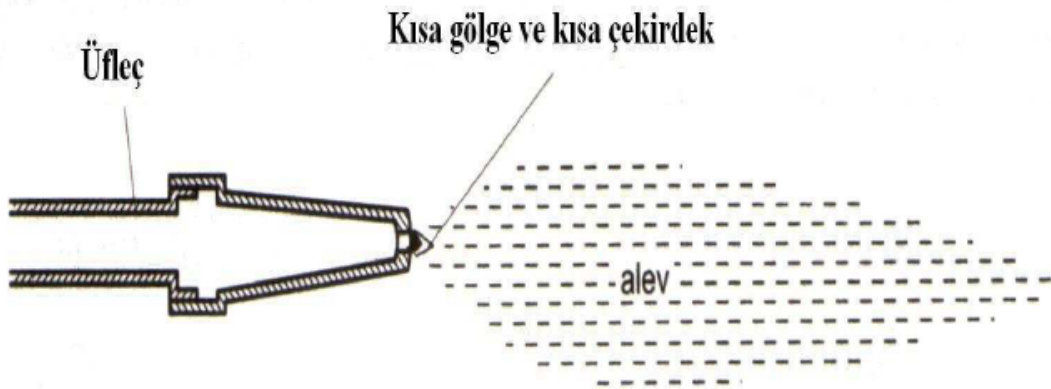
Bu alev çelik döküm ve adi karbonlu çeliklerin kaynağında kullanılır. Bunlar krom nikelli, oksitli ve elektrolitik bakır gibi ince kalınlıktaki çeliklerdir [26].

Sert alev

Üfleçten çıkan oksijen hacmi asetilenden fazla olan alev türüdür. Açık mavi bir renk alır. Çekirdek alevi kısa ve incedir. Tiz bir ses çıkartır ve sert bir alevdir, oksitleyici bir niteliktedir. Bu nedenle bu alev oksitleyici alev de denir. Oksitlenmenin malzeme bileşiminde metalürjik bir değişim yapmadığı metallerde kullanılır. Bunlar da genellikle çinko ve pirinç gibi metallerdir. Şekil 2.32’de sert alev (oksijen fazlası alev) şematik olarak gösterilmiştir. Alevin sert veya yumuşak olması basınç regülatöründen gelen gazın basıncı ile gaz musluklarının açılış değerine bağlıdır. Asetilen fazlası alevler yumuşak, oksijen fazlası alevler serttir. Her iki alevinde kaynak tekniğinde ayrı ayrı kullanma alanları vardır. En çok kullanılan alev, normal alevdir. Üfleçten gazların hacim oranlarına göre alev ısı ve türü Tablo 3.10’da verilmiştir [26].

Tablo 3.10. Gazların hacim oranlarına göre alev ısı ve türü [26].

Oksijen(O ₂)	Asetilen (C ₂ h ₂)	Alev Türü	Isısı
0.8	1	Karbürlü	3065 °C
0.9	1	Karbürlü	3160 °C
1	1	Normal	3233 °C
1.5	1	Oksitli	3425 °C
1.8	1	Oksitli	3480 °C
2	1	Oksitli	3370 °C



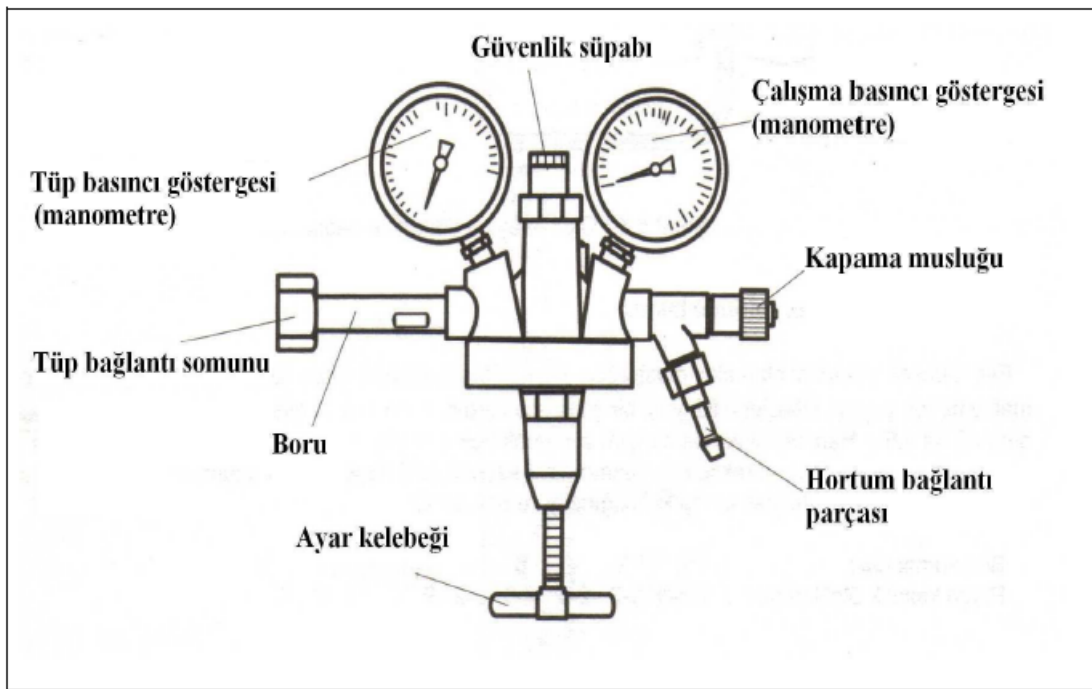
Şekil 3.27. Sert alev (oksijen fazlası alev)[26].

3.5.3. Kaynak alevinin hazırlanması

Oksijen ve asetilen tüplerindeki yüksek basınç kaynak için kullanılmaya elverişli değildir. Oksijen tüpü 150 atm, asetilen tüpü ise 25 atm civarında doluluk oranına sahiptir. Tüplerdeki basıncı kullanma basıncına dönüştürmek için basınç regülatörleri kullanılır. Şekil 3.28.'de basınç regülatörü şematik olarak gösterilmiştir. Oksijen basınç düşürücüsünün rengi mavi, asetilen ise kırmızı veya sarı renklidir. Tüpteki

basınç değışse de ayarlanan kullanma basıncı hiç değışmez. Oksijen ve asetilen basınç düşürücülerinin kelebek vidalarının boşta olduğunu gördükten sonra, oksijen ve asetilen tüplerinin vanaları açılır. Asetilen kazanı kullanılacaksa karpit koyarak yeterli miktarda su verilir.

Vanaların (valf) sonuna kadar açılmasına gerek yoktur. 1 -1,5 tur dönen vana yeterli gaz çıkısını sağlar. Tüplerin göstergelerinden (manometre) kullanma basıncını ayarlarız. Oksijen için 1-5 atm, asetilen için 1-1,5 atm kullanma basıncı yeterlidir.



Şekil 3.28. Basınç regülâtörü [26].

Kaynak alevi elde edilmesi için önce üfleç üzerinde bulunan oksijen valfi açılır. Ardından asetilen valfi açılır ve zaman kaybetmeden çakmak yardımı ile karışımın alev alması sağlanır. Bu bir kuraldır. Oksijeni açmadığınız takdirde yanma yine gerçekleşecektir. Çünkü asetilen havadan aldığı oksijen sayesinde yanacaktır, ancak alev oldukça güçsüz ve işlidir. Ardından hemen oksijeni açsanız bile başarılı bir yanma elde etmeniz mümkün olmayacak, çoğu kez alev sönecektir [26,40].

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Giriş

Metaller kesilirken elde edilecek yüzey kalitesi, işlem süresi, zaman ve maliyet açısından çok önemlidir. Metallerin, teknolojinin gelişmesi ile birlikte istenen ölçü toleranslarında tek seferde işlenebilmesi mümkün kılınmıştır. Nihai ürün olarak metallerin işlenmesi için günümüzde en yaygın olarak kullanılan yöntemler lazer ve plazma kesim yöntemleridir. Bu konuda son 20 yıl içerisinde çok sayıda makale, bildiri ve kitap bölümleri çıkmıştır. Dünya’da onlarca firma lazer ve plazma kesim tezgâhları üretmekte ve binlerce firma da lazer ve plazma tezgâhlarını kullanarak metal parçalar işlemektedirler. Ülkemizin bu tezgâhlar ve kullandıkları üretim teknikleri ile tanışması üniversitelerde araştırma konusu olarak incelemelerden ileri gitmemiştir. Dünya literatüründe de bu konu çok yüzeysel ele alınmış ve lazer ve plazma kesim yöntemlerinde yüzey hassasiyetinin incelenmesi konusunda bu derecede kapsamlı bir araştırma yapılmamıştır.

Lazer kesim numunelerinin hazırlanmasında Mazak SPGEAR 510-2,5 KW lazer kesim tezgâhı ve Ermaksan LAZERMAK EL 3004-4 KW lazer kesim tezgahı kullanılmıştır. Plazma kesim numunelerinin hazırlanmasında Esab HD4070 plazma kesim tezgahı ve Durma HPR 260 Plazma kesim tezgahı kullanılmıştır.

Lazer ve plazma kesim tezgâhlarının oldukça pahalı olması yaygın olarak kullanılmasını biraz olsun engellese de lazer ve plazma kesim yöntemlerinde elde edilen nihai ürün maliyetlerinin talaşlı imalat yöntemlerine göre daha düşük olması ve üretim zamanı açısından büyük bir avantaj sağlaması bu yöntemlerin ön plana çıkmasındaki en büyük etkidir.

Günümüz teknolojisinde seri üretim yapan firmalar için zamanla yarışmak, standart ürün kalitesi elde etmek ve bu ürünü en uygun maliyette temin etmek çok önemlidir. Lazer ve plazma tezgâhları ile kesme işlemini istenilen ölçü toleranslarında ve girift parça şeklinde elde etmek mümkündür.

Bu çalışmanın amacı lazer ve plazma tezgahları ile birçok talaşlı imalat parçasının üretilebileceğini veya işinin kolaylaştırılabileceğini göstermek ve sanayide en çok kullanılan S235JRG2 çelik, AISI 304 L paslanmaz çelik ve 1050A alüminyum esaslı malzemeler için lazer ve plazma kesim yüzey hassasiyetini gösteren tüm lazer ve plazma tezgah üreticileri ve bu tezgahları kullanarak metal parçalar işleyen firmalar için bir bilimsel çalışma oluşturmaktır.

Bu çalışmada sanayide en çok kullanılan S235JRG2 çelik kalınlığı 4-15 mm arasında, AISI 304 L paslanmaz çelik kalınlığı 2-8 mm arasında ve 1050A alüminyum esaslı kalınlığı 3-6 mm arasındaki malzemeler için lazer ve plazma kesim yüzey hassasiyetinin belirlenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir.

4.2. Deneysel Çalışmalar

4.2.1. Kullanılan malzemenin özellikleri

Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş., Sarıtaş Çelik San. ve Tic. A.Ş. ve Assan Alüminyum A.Ş. firmalarından sertifikaları ile birlikte temin edilen malzemelerin kimyasal bileşimi Tablo 4.1'de ve mekanik özellikleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

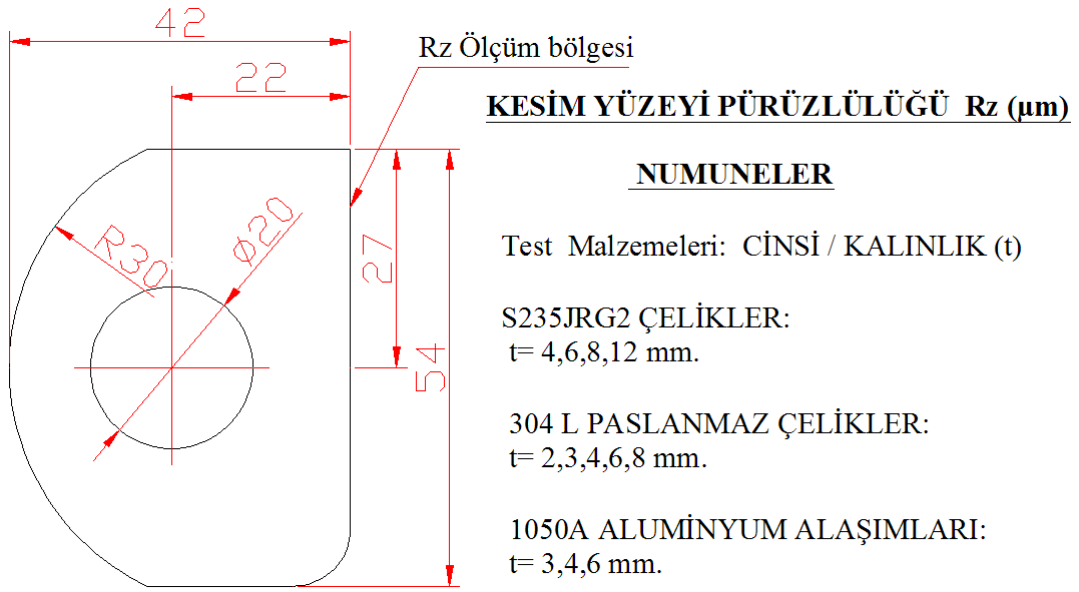
Tablo 4.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimi

Malzemenin Cinsi	C %	Mn %	Si %	P %	S %	N %	Cu %	Cr %	Ni %	Al %	Fe %	Ti %
EN 10025-94 S235JRG2	0,066	0,532	0,12	0,016	0,01	0,0074	0,062	0,043	0,072	0,033	kalan	0,001
EN 10028-7 304L	0,02	1,61	0,36	0,034	0,03	0,037	-	18,2	8,1	-	kalan	-
EN AW- 1050A (A199.5)	-	-	0,16	-	-	-	-	-	-	99,53	0,27	0,02

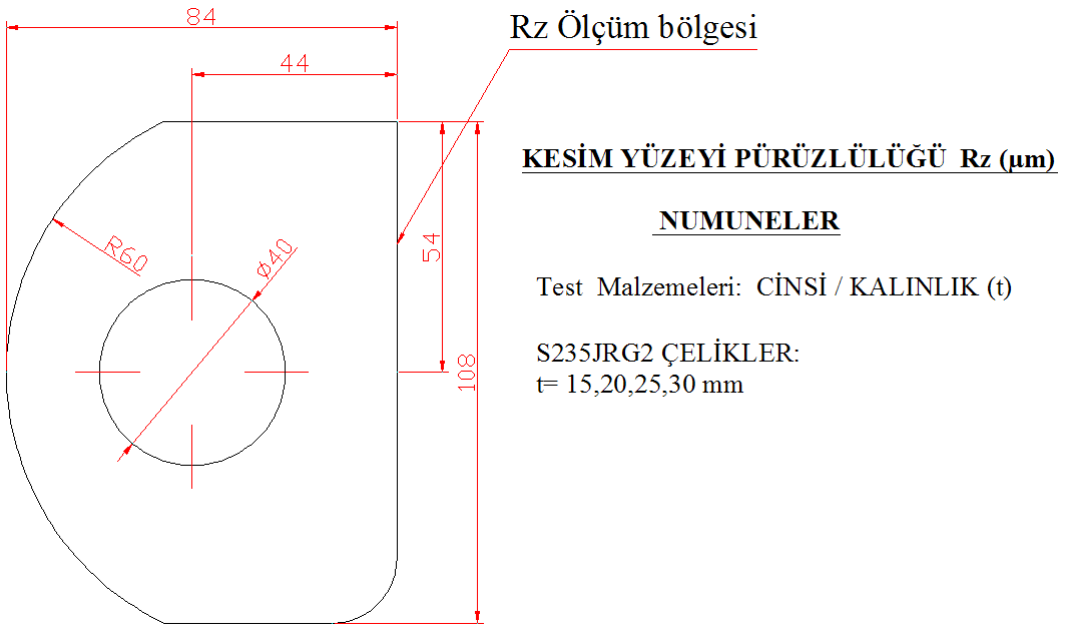
Tablo 4.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri

Malzemenin Cinsi	ReH (N/mm2) min	Rm (N/mm2)	A % min
		KALINLIK (mm)	KALINLIK (mm)
		2--15	2--15
EN 10025-94 S235JRG2 (1)	296	420	33
EN 10028-7 304L	288	612	59
EN AW-1050A (A199.5)	133	142	8,6

Boyutları Şekil 4.1 ve 4.2’de görülen numuneler, deneysel çalışmaları yapmanın bir aşaması olarak ayrı ayrı her bir kalınlık ve malzeme çeşidi için en iyi kesim parametreleri kullanılarak kesilmiştir. Bu numunelerin yüzeyleri ölçüm yapabilmek için her türlü çapak, yağ ve kirden temizlenerek ölçüme hazırlanmıştır.



Şekil 4.1. Lazer ve plazma kesimde kullanılan numune boyutları



Şekil 4.2. Lazer ve plazma kesimde kullanılan numune boyutları

4.3 Deneylerde Kullanılan Tezgah ve Cihazlar

4.3.1. Lazer kesim tezgahları

Lazer kesim numunelerinin hazırlanmasında kesim hassasiyeti $\pm 0,02$ mm olan Mazak SPGEAR 510-2,5 KW lazer kesim tezgahı ve hassasiyeti $\pm 0,05$ mm olan Ermaksan LAZERMAK EL 3004-4 KW lazer kesim tezgahı kullanılmıştır. Tezgahların resimleri Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’te verilmektedir.

Mazak SPGEAR 510-2,5 KW lazer kesim tezgahı çok özel bir tezgah olup 5+1 eksene sahiptir. Şekil 4.5’ deki gibi form verilmiş yada Şekil 4.6’ deki gibi boru, kutu profil, UNP , INP gibi malzemelerin üzerine her türlü kesim işlemini yapabilmektedir. Tezgah kesim yüzey kalitesini maksimum seviyeye taşımak için özel bir tasarıma sahiptir. Bu özellik kesme sırasında oluşan lazer ışın boyunu sabit tutmak için kesim sırasında torç ile birlikte kesilecek malzemenin bağlandığı tabla da hareket etmektedir.



Şekil 4.3. Mazak SPGEAR 510-2,5 KW lazer kesim tezgahı

1500x3000 mm tablaya sahip Mazak SPGEAR 510-2,5 KW lazer kesim tezgahın en sık kullanılan malzemeler için kesim kapasite değerleri aşağıda verilmiştir.

$t \leq 15$ mm Orta Karbonlu elikler

$t \leq 6$ mm Paslanmaz elikler

$t \leq 6$ mm Alüminyum Alaşımları

Ermaksan LAZERMAK EL 3004-4 KW lazer tezgahı 4 KW olarak Ermaksan'ın ürettiği ilk tezgahtır.değiştirmeli tablaya sahip çok özel bir tezgah olup özellikle paslanmaz ve alüminyum kesiminde oldukça verimli bir tezgahtır..şekil 4.7' daki gibi her türlü malzemenin kesim işlemi yapılabilir.



şekil 4.4. Ermaksan LAZERMAK EL 3004-4 KW lazer kesim tezgahı

1500x3000 mm değiştirmeli tablaya sahip Ermaksan LAZERMAK EL 3004-4 KW lazer tezgahı 4 KW lazer kesim tezgahın en sık kullanılan malzemeler için kesim kapasite değerleri aşağıda verilmiştir.

$t \leq 15$ mm Orta Karbonlu elikler

$t \leq 6$ mm Paslanmaz elikler

$t \leq 6$ mm Alüminyum Alaşımları



şekil 4.5. Mazak SPGEAR 510-2,5 KW lazer kesim tezgahı ile kesilen form verilmiş parça



şekil 4.6. Mazak SPGEAR 510-2,5 KW lazer kesim tezgahı ile kesilen paslanmaz boru



Şekil 4.7. Ermaksan LAZERMAK EL 3004-4 KW lazer kesim tezgahı ile kesilen çeşitli malzemeler

4.3.2. Plazma kesim tezgahları

Plazma kesim numunelerinin hazırlanmasında kesim hassasiyeti $\pm 0,2$ mm olan Esab HD4070 plazma kesim tezgahı ve kesim hassasiyeti $\pm 0,2$ mm olan Durma HPR 260 Plazma kesim tezgahı kullanılmıştır. Tezgahların resimleri Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da verilmektedir.



Şekil 4.8. Esab HD4070 plazma kesim tezgahı

2500x8000 mm tablaya sahip Esab HD4070 plazma kesim tezgahının en sık kullanılan malzemeler için kesim kapasite değerleri aşağıda verilmiştir.

$t \leq 25$ mm Orta Karbonlu elikler

$t \leq 20$ mm Paslanmaz elikler

$t \leq 15$ mm Alüminyum Alaşımları

Esab HD4070 plazma kesim tezgahı dünyada en çok tercih edilen tezgahlardan birisidir. Tercih sebebinin başında kesme kalitesi gelmektedir.



şekil 4.9. Durma HPR 260 Plazma kesim tezgahı

2000x12000 mm tablaya sahip Durma HPR 260 Plazma kesim tezgahı en sık kullanılan malzemeler için kesim kapasite değerleri aşağıda verilmiştir.

$t \leq 50$ mm Orta Karbonlu elikler

$t \leq 30$ mm Paslanmaz elikler

$t \leq 20$ mm Alüminyum Alaşımları

Durma HPR 260 Plazma kesim tezgahı Durmazlar firmasının ilk plazma tezgahı olup son teknoloji ile donatılmış bir tezgahtır. Tezgahtın köprüsü özel olarak tasarlanmış olup sac malzemelerin yanı sıra 2 ekseninde boru, kutu profil, UNP , INP gibi malzemelerin üzerine her türlü kesim işlemini yapabilmektedir.

4.3.3. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

Lazer ve plazma kesiminde elde edilen numunelerin ölçümünde en küçük yüzey pürüzlülük değeri $Ra=0,8 \mu m$ olan Mitutoyo SurfTest-211 ölçüm cihazı kullanılmıştır.

4.3.4. Sertlik ölçüm cihazı

Lazer ve plazma tezgahlarında kesilen ve metalografik olarak hazırlanan numunelerin sertlik değerleri mikrosertlik test cihazı yardımıyla numuneler TRUERS DURAMİN-A300 marka mikro sertlik cihazında vickers sertlik ucu kullanılarak ölçülmüştür.

4.3.5. SEM cihazı

Lazer ve plazma tezgahlarında kesilen ve metalografik olarak hazırlanan numunelerin TEZKAN-Bruker Microanalysis masa tipi çift EDX özelliğine sahip SEM mikroskopu kullanılarak ITAB bölgelerinden ve ana matris bölgelerinden mikro yapı fotoğrafları çekilmiştir.

4.4. Lazer Kesme İşlemi

Mazak SPGEAR 510-2,5 KW lazer kesim tezgahı ile Tablo 4.3'teki kesme parametreleri kullanılarak numuneler hazırlanmıştır.

Tablo 4.3. Deneysel çalışmalarda kullanılan Mazak lazer tezgahının kesim parametreleri

KULLANILAN LAZER KESİMİ PARAMETRELERİ (MAZAK SPGEAR 510 Kullanım Kılavuzuna Göre)																	
NUMUNE No:	MALZEME		LENS	NOZUL	PROSES	KESİM HIZI	LAZER VERİMİ			YARDIMCI GAZ		BEKLEME SÜRESİ	ODAK NOKTASI		OFFSET		
	CİNSİ	KALINLIK mm	inch	Ø mm	KESME (LAZER - PLAZMA)	F mm/dak	GÜC W	FREKANS Hz	VERİM %	Tipi	Basıncı kgf/cm ²	saniye	MESAFE (Gap offset)	NF mm	mm		
1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
LM1	S235JRG2 ÇELİĞİ	4	7,5	2,0	LAZER	1800	1500	1000	100	Oks.	0,6	0,5	1,0	-1,0	0,13		
LM2		6			LAZER	1600	1500	1000	100	Oks.	0,6	0,5	2,0	-1,0	0,14		
LM3		8			LAZER	1200	1700	500	100	Oks.	0,6	0,5	2,0	-1,0	0,15		
LM4		12			LAZER	1000	2400	1000	100	Oks.	0,6	0,5	2,0	-1,0	0,2		
LM5		15			LAZER	800	2500	1000	100	Oks.	0,6	0,5	0,5	-1,0	0,24		
-		20			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-		25			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-		30			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LM6	304 L PASLANMAZ ÇELİK	2	7,5	2,0	LAZER	7000	1500	1000	100	Oks.	4,0	0,5	0.	-1,0	0,12		
LM7		3			LAZER	1000	1800	400	25	Oks.	5,5	0,5	0.	-1,0	0,12		
LM8		4			LAZER	600	2500	120	20	Oks.	5,5	0,5	0.	-1,0	0,13		
LM9		6			LAZER	400	2500	60	20	Oks.	6,5	0,5	0.	-1,0	0,13		
-		8			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
LM10	1050A ALÜMİNYUM ALAŞIMI	3	7,5	2,0	LAZER	2000	2500	1000	100	Hava	8,0	1	0.	-1,0	0,16		
LM11		4			LAZER	1400	2500	1000	100	Hava	8,0	1	0.	-1,0	0,12		
LM12		6			LAZER	680	2500	1000	100	Hava	8,0	1	0.	-1,0	0,13		

Ermaksan LAZERMAK EL 3004-4 KW lazer tezgahı ile Tablo 4.4'teki kesme parametreleri kullanılarak numuneler hazırlanmıştır.

Tablo 4.4. Deneysel çalışmalarda kullanılan Ermaksan lazer tezgahının kesim parametreleri

KULLANILAN LAZER KESİMİ PARAMETRELERİ (ERMAKSAN LASERMAK EL 3004 Kullanım kılavuzuna göre)																
NUMUNE No:	MALZEME		LENS	NOZUL	PROSES	KESİM HIZI	LAZER VERİMİ			YARDIMCI GAZ		BEKLEME SÜRESİ	ODAK NOKTASI		OFFSET	
	CİNSİ	KALINLIK mm	inch	Ø mm	KESME (LAZER-PLAZMA)	F mm/dak	GÜC W	FREKANS Hz	VERİM %	Tipi	Basıncı kgf/cm ²	saniye	MESAFE (Gap offset)	NF mm	mm	
1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
LE1	S235JR2 ÇELİĞİ	4	7,5	1,5	LAZER	3000	2200	2000	100	Oks.	0,7	0,5	1,0	-1,0	0,13	
LE2		6	7,5	1,5	LAZER	1900	2500	2000	100	Oks.	0,7	0,5	2,0	-1,0	0,14	
LE3		8	7,5	1,5	LAZER	1300	2600	2000	90	Oks.	0,6	0,5	2,0	-1,0	0,15	
LE4		12	7,5	2	LAZER	900	2500	1500	80	Oks.	0,7	0,8	1	1	0,18	
LE5		15	7,5	2,5	LAZER	600	2600	700	80	Oks.	1	1	2,01	2,01	0,22	
-		20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-		25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-		30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LE6	304 L PASLANMAZ ÇELİK	2	7,5	2,5	LAZER	5000	4000	2000	100	Azot	15	0,5	0.	-1,0	0,12	
LE7		3	7,5	2,5	LAZER	2600	4000	2000	100	Azot	15	0,5	0.	-1,0	0,12	
LE8		4	7,5	2,5	LAZER	2700	4000	2000	100	Azot	15	0,5	0.	-1,0	0,13	
LE9		6	7,5	2,5	LAZER	620	4000	2000	100	Azot	21	0,5	0.	-1,0	0,13	
LE10		8	7,5	2,5	LAZER	1100	4000	2000	100	Azot	20	0,5	0.	-1,0	0,12	
LE11	1050A ALÜMİNYUM ALAŞIMI	3	7,5	2	LAZER	300	4000	2000	100	Azot	15	1	0.	-1,0	0,16	
LE12		4	7,5	2,5	LAZER	1900	4000	2000	100	Azot	16	1	0.	-1,0	0,12	
LE13		6	7,5	3	LAZER	800	4000	2000	100	Azot	14	1	0.	-1,0	0,13	

Numune hazırlama çalışmasının bir parçası olarak ölçüm işlemi gerçekleştirilecek olan olarak her bir kalınlık ve malzeme çeşidindeki lazerde kesilmiş metal parçaların yüzeyleri ölçüm yapabilmek için her türlü çapak, yağ ve kirden temizlenerek ölçüme hazırlanmıştır.

4.5. Plazma Kesme İşlemi

Esab HD4070 plazma kesim tezgahı ile Tablo 4.5'teki kesme parametreleri kullanılarak numuneler hazırlanmıştır.

Tablo 4.5. Deneysel çalışmalarda kullanılan Esab plazma tezgahının kesim parametreleri

KULLANILAN PLAZMA KESİMİ PARAMETRELERİ (ESAB HD4070 Kullanım kılavuzuna göre)																	
NUMUNE NO:	MALZEME		AKIM ŞİDDETİ Amper			ARK VOLTAJI	SEÇİLEN GAZ		GAZLARIN AKMA ORANI (%) / VEYA GAZ BASINCI - (bar)				NW (Nozul+ parça)	KESİM HIZI mm/dak	DELME YÜKSEKLİĞİ		DELMEDE GECİKME ZAMANI
									ÖN AYARDA		KESİMDE						
	Cinsi	Kalınlık mm	Düşük	Normal	Yüksek	Volt	Plazma Gazı	Koruyucu Gaz	Plazma Gazı	Koruyucu Gaz	Plazma Gazı	Koruyucu Gaz	mm	Düşük Normal Yüksek	mm (14x17)	faktör %	saniye
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
PE1	S235JR G2 ÇELİĞİ	4	X	30	X	124	O2;N2	O2;N2	10;16	10;60	40;0	10;0	1,2	1270	4,0	170	0,4
PE2		6	X	70	X	125	O2;N2	O2;N2	10;38	80;30	40;0	30;10	1,50	900	4,0	250	0,5
PE3		8	X	100	X	132	O2;N2	O2;N2	15;40	35;10	45;0	35;10	2,25	2800	6,0	200	0,4
PE4		12	X	200	X	144	O2;N2	O2;N2	5;45	13;60	71;0	15;57	4	2515	6,6	200	0,5
PE5		15	X	200	X	144	O2;N2	O2;N2	5;45	13;60	71;0	15;57	4	2057	7,6	200	0,6
PE6		20	X	200	X	144	O2;N2	O2;N2	5;45	13;60	71;0	15;57	4	1651	8,2	200	0,8
PE7		25	X	200	X	153,5	O2;N2	O2;N2	5;45	13;60	71;0	15;57	5	889	10,2	200	1
-		30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PE8	304 L PASLANMAZ ÇELİK	2	X	45	X	110	N2	N2	30	75	40	75	2,5	3937	3,8	180	0,2
PE9		3	X	70	X	148	N2	N2	30	75	30	75	5	3429	3,8	100	0,2
PE10		4	X	70	X	148	N2	N2	30	75	30	75	5	3048	3,8	100	0,2
PE11		6	X	70	X	143,5	H35;N2	N2	12;17	65	12;17	45	3	1270	3,8	200	0,4
PE12		8	X	100	X	123	H35;N2	N2	17;20	75	17;20	45	2,5	1524	6,0	200	0,6
PE13	1050A ALÜMİNYUM ALAŞIMI	3	X	70	X	174	Hava	CH4;Hava	50	0;60	37	20;30	4,8	2337	3,8	110	0,4
PE14		4	X	70	X	175	Hava	CH4;Hava	50	0;60	37	20;30	4,8	1905	2,7	110	0,4
PE15		6	X	70	X	176	Hava	CH4;Hava	50	0;60	37	20;30	4,8	1143	4,5	110	0,5

Durma HPR 260 Plazma kesim tezgahı ile Tablo 4.6'teki kesme parametreleri kullanılarak numuneler hazırlanmıştır.

Tablo 4.6. Deneysel çalışmalarda kullanılan Durma plazma tezgahının kesim parametreleri

KULLANILAN PLAZMA KESİMİ PARAMETRELERİ (DURMA HPR 260 Kullanım kılavuzuna göre)																	
NUMUNE No:	MALZEME		AKIM ŞİDDETİ Amper			ARK VOLTAJI	SEÇİLEN GAZ		GAZLARIN AKMA ORANI (%) / VEYA GAZ BASINCI - (bar)				NW (Nozul+ parça)	KESİM HIZI mm/dak	DELME YÜKSEKLİĞİ		DELMEDE GEÇİKME ZAMANI
									ÖN AYARDA		KESİMDE						
	Cinsi	Kalınlık mm	Düşük	Normal	Yüksek	Volt	Plazma Gazı	Koruyucu Gaz	Plazma Gazı	Koruyucu Gaz	Plazma Gazı	Koruyucu Gaz	mm	Düşük Normal Yüksek	mm (14x17)	faktör %	sanit
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
PD1	S235JRG2 ÇELİĞİ	4	X	80	X	120	O2	Hava	48	27	78	23	2,0	4300	4,0	200	0,2
PD2		6	X	80	X	123	O2	Hava	48	27	78	23	2,0	3045	4,0	200	0,3
PD3		8 (10)	X	130	X	130	O2	Hava	32	38	84	27	3,0	2680	6,0	200	0,3
PD4		12	X	130	X	132	O2	Hava	32	38	84	27	3,3	2200	6,6	200	0,5
PD5		15	X	130	X	135	O2	Hava	32	38	84	27	3,8	1665	7,6	200	0,7
PD6		20	X	200	X	133	O2	Hava	23	49	74	20	4,1	1575	8,2	200	0,8
PD7		25	X	200	X	143	O2	Hava	23	49	74	20	5,1	1165	10,2	200	1,0
PD8		30	X	200	X	145	O2	Hava	23	49	74	20	5,1	750	10,2	200	N/A
PD9	304 L PASLANMAZ ÇELİK	2	X	45	X	101	F5	N2	35	25	62	55	2,5	3175	3,8	150	0,2
PD10		3	X	45	X	103	F5	N2	35	25	62	55	2,5	2010	3,8	150	0,3
PD11		4	X	45	X	104	F5	N2	35	25	62	55	2,5	1435	3,8	150	0,3
PD12		6	X	80	X	112	F5	N2	33	27	65	42	2,5	1225	3,8	150	0,3
PD13		8	X	130	X	156	N2	N2	19	60	75	27	3,0	1300	6,0	200	0,5
PD14	1050A ALÜMİNYUM ALAŞIMI	3	X	45	X	107	Hava	Hava	35	25	62	55	2,5	3225	3,8	150	0,2
PD15		4	X	45	X	102	Hava	Hava	35	25	62	38	1,8	2575	2,7	150	0,3
PD16		6	X	45	X	117	Hava	Hava	35	25	62	38	3,0	1690	4,5	150	0,6

Numune hazırlama çalışmasının bir parçası olarak ölçüm işlemi gerçekleştirilecek olan olarak her bir kalınlık ve malzeme çeşidindeki plazmada kesilmiş metal

parçaların yüzeyleri ölçüm yapabilmek için her türlü çapak, yağ ve kirden temizlenerek ölçüme hazırlanmıştır.

4.6. Numuneleri İnceleme

Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş., Sarıtaş Çelik San. ve Tic. A.Ş. ve Assan Alüminyum A.Ş. firmalarından tedarik edilen 56 çeşit numune malzemenin Mazak SPGEAR 510-2,5 KW ve Ermaksan LAZERMAK EL 3004-4 KW lazer kesim tezgahlarında lazer kesim numuneleri, Esab HD4070 ve Durma HPR 260 plazma kesim tezgahlarında plazma kesim numuneleri hazırlanmıştır.

Ölçümü yapılacak olan 7 ayrı kalınlık ve 25 çeşide sahip lazer kesim numunelerinin ve 10 ayrı kalınlık ve 31 çeşide sahip plazma kesim numunelerinin yüzeyleri ölçüm yapabilmek için her türlü çapak, yağ ve kirden temizlenerek ölçüme hazırlanmıştır. Bu işlem sırasında ölçüm yapılacak kesim yüzeyinin gerekli önlemler alınarak ölçüm öncesi korunması sağlanmıştır.

Ölçüm işlemi Elimsan Şalt Cihazları ve Elektromekanik San. ve Tic. A.Ş. Kalite kontrol laboratuvarında en küçük yüzey pürüzlülük değeri $Ra=0,8 \mu m$ olan Mitutoyo SurfTest-211 ölçüm cihazı kullanılarak yapılmıştır.

Lazer ve plazma tezgahlarında kesilen ve metalografik olarak hazırlanan numunelerin sertlik değerleri mikrosertlik test cihazı yardımıyla numuneler TRUERS DURAMİN-A300 marka mikro sertlik cihazında vickers sertlik ucu kullanılarak ölçülmüştür.

Lazer ve plazma tezgahlarında kesilen ve metalografik olarak hazırlanan numunelerin TEZKAN-Bruker Microanalysis masa tipi çift EDX özelliğine sahip SEM mikrokobu kullanılarak ITAB bölgelerinden ve ana matris bölgelerinden mikro yapı fotoğrafları çekilmiştir.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR

5.1. Giriş

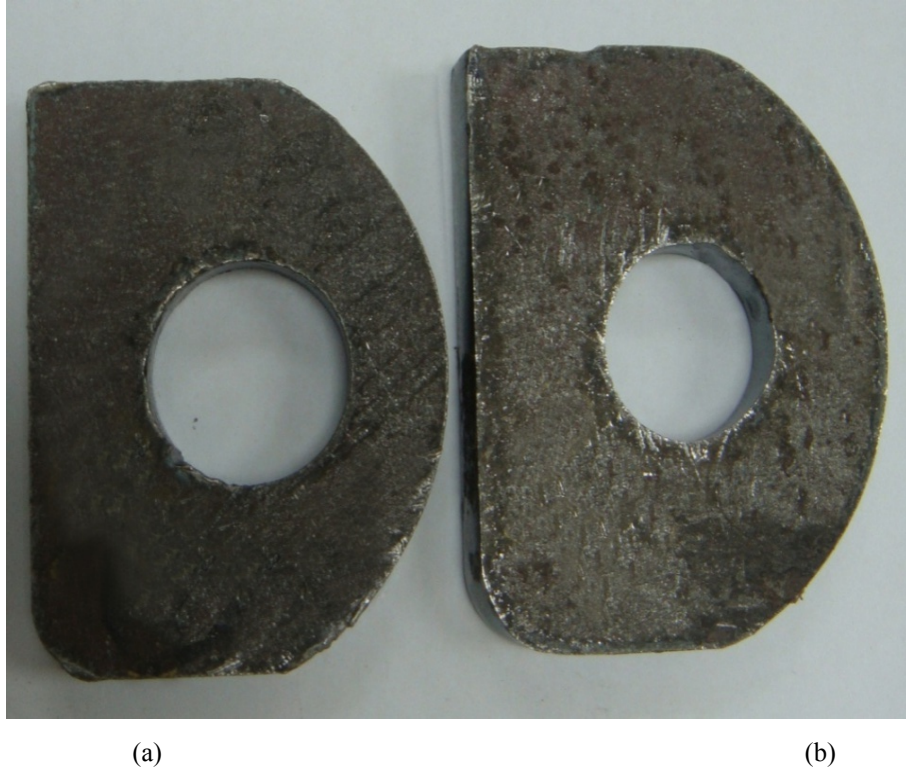
Bu çalışmada Tablo 4.1’de bileşimleri verilen S235JRG2, 304L ve A199.5 malzemeleri lazer kesme işlemi ve plazma kesme işlemi uygulanmıştır.

Kesme işlemine tabi tutulan numunelerin yüzeyleri, klasik metalografi teknikleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemesi, ile incelenmiştir. Ayrıca mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır.

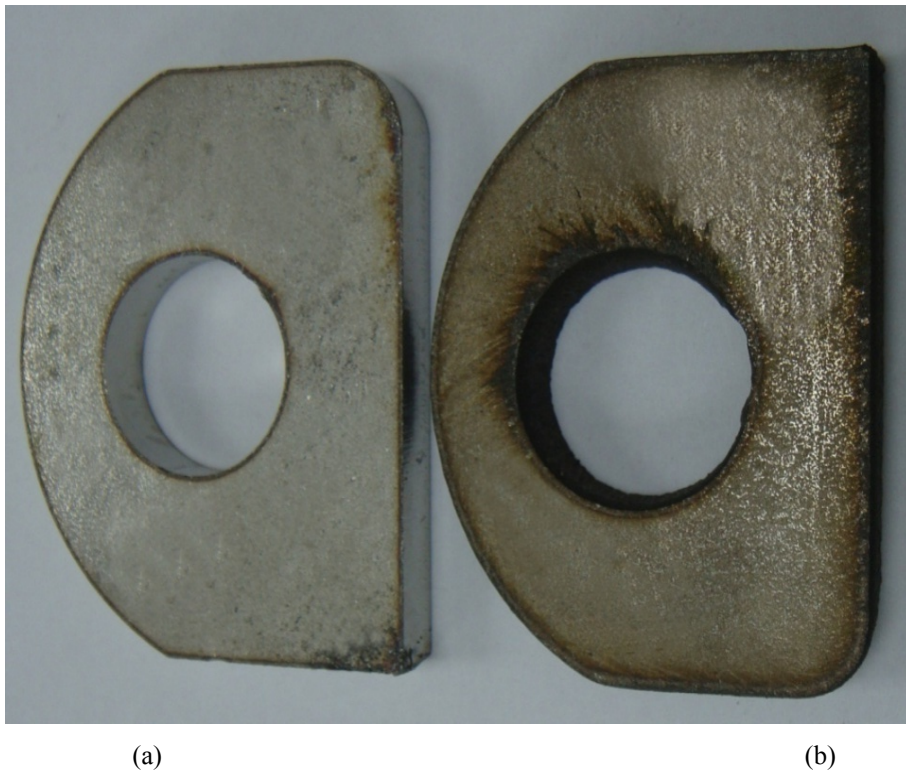
5.2. Metalografik İnceleme

Klasik metalografi teknikleri ile hazırlanan numuneler üzerinde yapılan optik mikroskop incelemeleri neticesinde, kesme işlemi yapılan numunelerde kesme yüzeyi, ITAB ve matris açık bir şekilde görülmektedir. Kesme yüzeyleri lazerde dişili bir yapıya sahip olup plazma kesimde daha az diş yapısına sahiptir. Sırasıyla kesme yüzeyi, ITAB ve ana matris yer almaktadır.

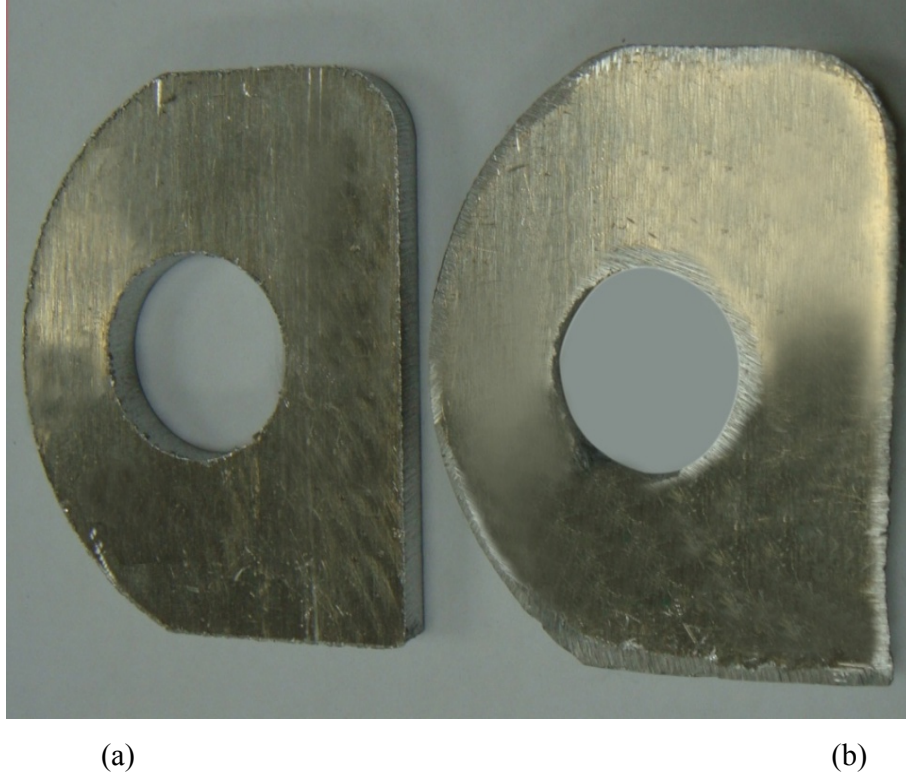
Şekil 5.1-5.3’de sırasıyla plazma ve lazer kesim işlemine tabi tutulmuş numunelerin fotoğrafları sırasıyla görülmektedir. Şekil 5.4’de kesme işlemine tabi tutulmuş numunelerin kesme yüzeylerinin görüntüsü verilmiştir.



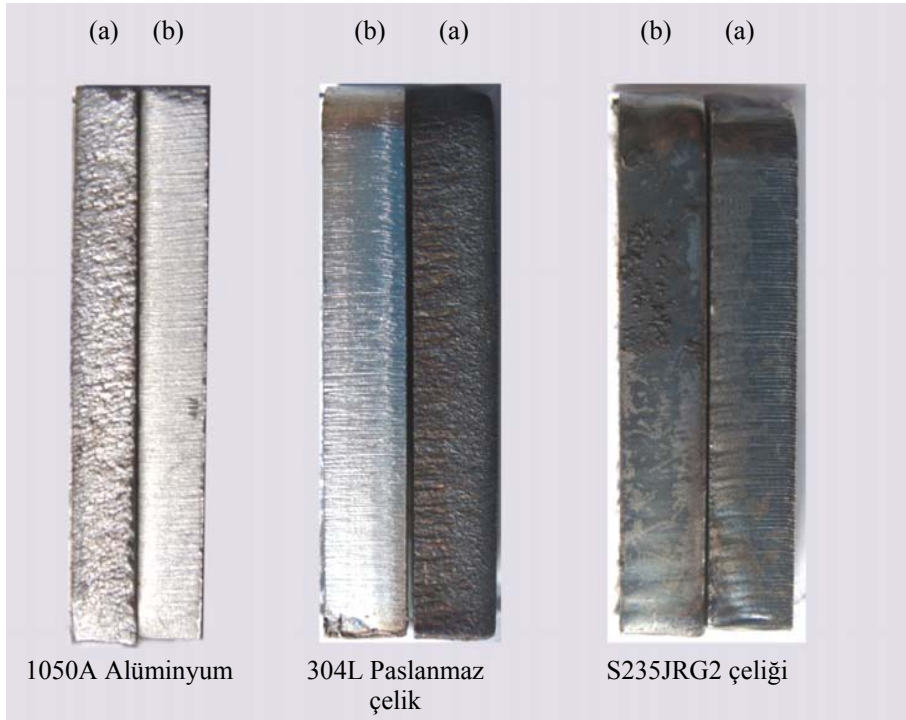
Şekil 5.1. Kesme işlemine tabi tutulmuş S235JRG2 çeliği a) plazma kesim b) lazer kesim



Şekil 5.2. Kesme işlemine tabi tutulmuş 304L paslanmaz çeliği a) plazma kesim b) lazer kesim



Şekil 5.3. Kesme işlemine tabi tutulmuş 1050A alüminyum parçası a) plazma kesim b) lazer kesim



Şekil 5.4. Kesme işlemine tabi tutulmuş numunelerin kesme yüzeyinin görüntüsü a) plazma kesim

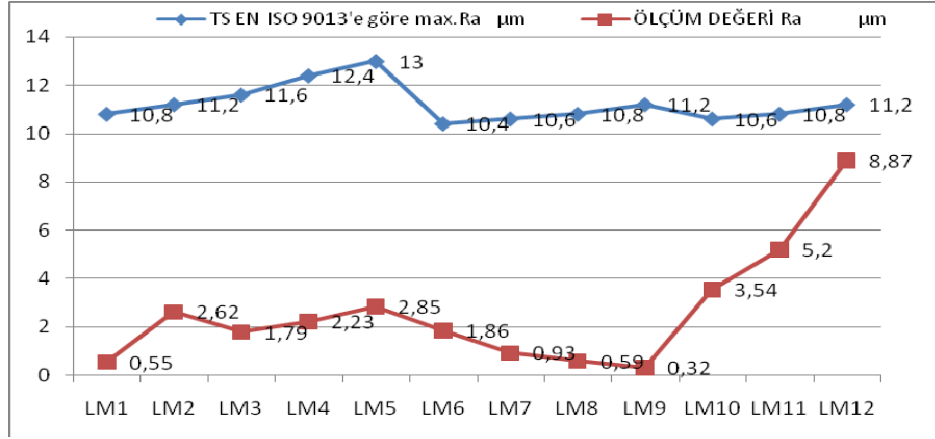
5.3. Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri

Ölçümü yapılacak olan 7 ayrı kalınlık ve 25 çeşide sahip lazer kesim numunelerinin ve 10 ayrı kalınlık ve 31 çeşide sahip plazma kesim numunelerinin yüzeyleri ölçüm yapabilmek için her türlü çapak, yağ ve kirden temizlenerek ölçüme hazırlanmıştır. Bu işlem sırasında ölçüm yapılacak kesim yüzeyinin gerekli önlemler alınarak ölçüm öncesi korunması sağlanmıştır.

Elde edilen sonuçlar TS EN ISO 9013'e göre kıyaslanmış olup Tablo 5.1. , Tablo 5.2. , Tablo 5.3. ve Tablo 5.4. 'da verilmiştir.

Tablo 5.1. Mazak lazer tezgahı ile kesilen numunelerin ölçüm değerleri

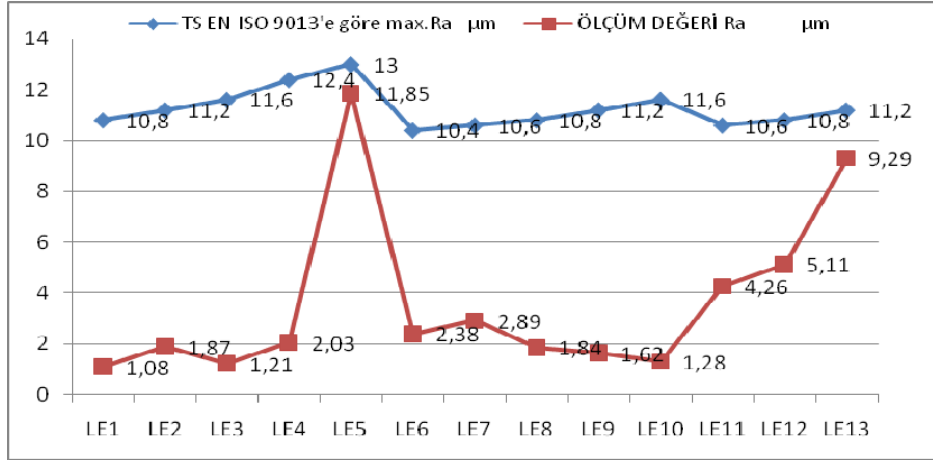
MAZAK SPGEAR 510 2,5 KW LAZER TEZGAHINDA KESİLEN NUMUNELERİN DENEYSEL ÖLÇÜM SONUÇLARI					
NUMUNE No:	MALZEME		TS EN ISO 9013'e göre max.Rz/Ra μm	ÖLÇÜM DEĞERİ Rz μm	ÖLÇÜM DEĞERİ Ra μm
	CİNSİ	KALINLIĞI mm			
LM1	S235JRG2 ÇELİĞİ	4	43,2/10,8	2,2	0,55
LM2		6	44,8/11,2	10,48	2,62
LM3		8	46,4/11,6	7,16	1,79
LM4		12	49,6/12,4	8,92	2,23
LM5		15	52/13	11,4	2,85
LM6	304 L PASLANMAZ ÇELİK	2	41,6/10,4	7,44	1,86
LM7		3	42,4/10,6	3,72	0,93
LM8		4	43,2/10,8	2,36	0,59
LM9		6	44,8/11,2	1,28	0,32
LM10	1050A ALÜMİNYUM ALAŞIMI	3	42,4/10,6	14,16	3,54
LM11		4	43,2/10,8	20,8	5,2
LM12		6	44,8/11,2	35,48	8,87



Şekil 5.5. Mazak lazer tezgahı ile kesilen numunelerin ölçüm değerleri kıyaslaması

Tablo 5.2. Ermaksan lazer tezgahı ile kesilen numunelerin ölçüm değerleri

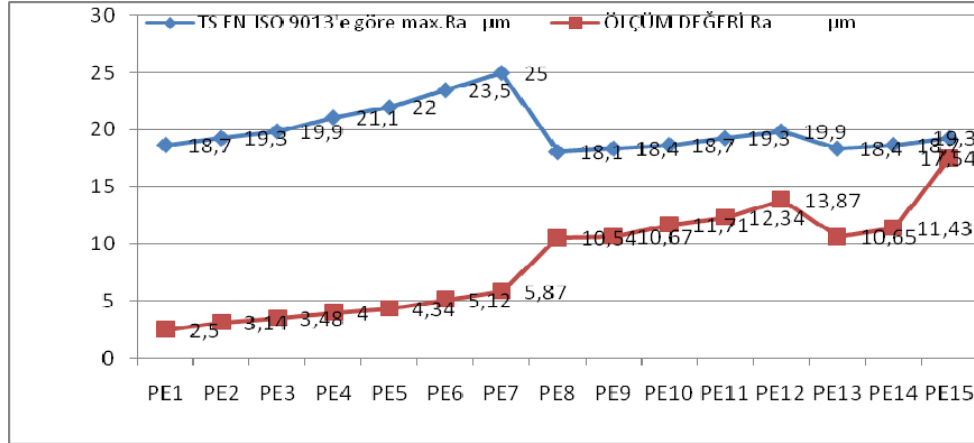
ERMAKSAN LASERMAK EL 3004-4 KW LAZER TEZGAHINDA KESİLEN NUMUNELERİN DENEYSEL ÖLÇÜM SONUÇLARI					
NUMUNE No:	MALZEME		TS EN ISO 9013'e göre max.Rz/Ra μm	ÖLÇÜM DEĞERİ Rz μm	ÖLÇÜM DEĞERİ Ra μm
	CİNSİ	KALINLIĞI mm			
LE1	S235JRG2 ÇELİĞİ	4	43,2/10,8	4,32	1,08
LE2		6	44,8/11,2	7,48	1,87
LE3		8	46,4/11,6	4,84	1,21
LE4		12	49,6/12,4	8,12	2,03
LE5		15	52/13	47,4	11,85
LE6	304 L PASLANMAZ ÇELİK	2	41,6/10,4	9,52	2,38
LE7		3	42,4/10,6	11,56	2,89
LE8		4	43,2/10,8	7,36	1,84
LE9		6	44,8/11,2	6,48	1,62
LE10		8	46,4/11,6	5,12	1,28
LE11	1050A ALÜMİNYUM ALAŞIMI	3	42,4/10,6	17,04	4,26
LE12		4	43,2/10,8	20,44	5,11
LE13		6	44,8/11,2	37,16	9,29



Şekil 5.6. Ermaksan lazer tezgahı ile kesilen numunelerin ölçüm değerleri kıyaslaması

Tablo 5.3. Esab plazma tezgahı ile kesilen numunelerin ölçüm değerleri

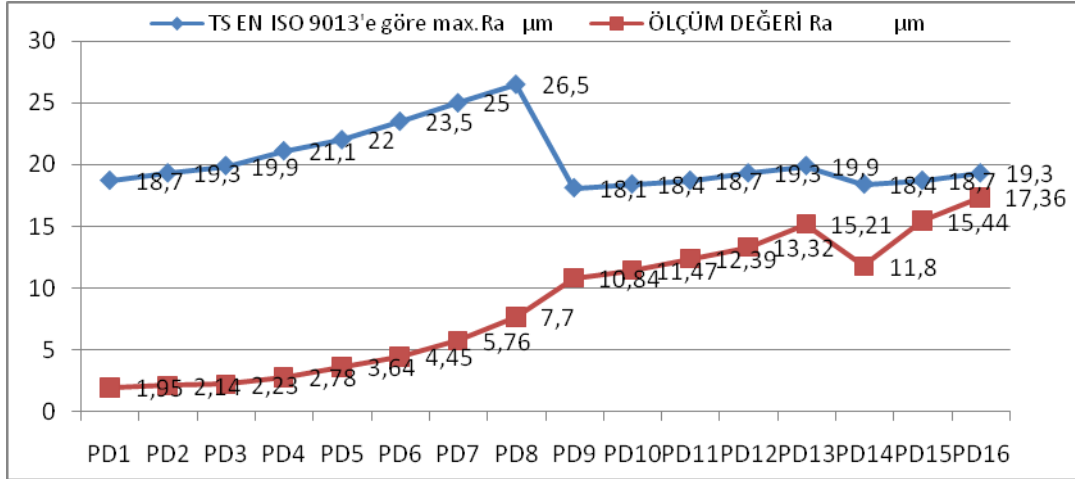
ESAB HD 4070 PLAZMA TEZGAHINDA KESİLEN NUMUNELERİN DENEYSEL ÖLÇÜM SONUÇLARI					
NUMUNE No:	MALZEME		TS EN ISO 9013'e göre max.Rz/Ra µm	ÖLÇÜM DEĞERİ Rz µm	ÖLÇÜM DEĞERİ Ra µm
	CİNSİ	KALINLIĞI mm			
PE1	S235JRG2 ÇELİĞİ	4	74,8/18,7	10	2,5
PE2		6	77,2/19,3	12,56	3,14
PE3		8	79,6/19,9	13,92	3,48
PE4		12	84,4/21,1	16	4
PE5		15	88/22	17,36	4,34
PE6		20	94/23,5	20,48	5,12
PE7		25	100/25	23,48	5,87
PE8	304 L PASLANMAZ ÇELİK	2	72,4/18,1	42,16	10,54
PE9		3	73,6/18,4	42,68	10,67
PE10		4	74,8/18,7	46,84	11,71
PE11		6	77,2/19,3	49,36	12,34
PE12		8	79,6/19,9	55,48	13,87
PE13	1050A ALÜMİNYUM ALAŞIMI	3	73,6/18,4	42,6	10,65
PE14		4	74,8/18,7	45,72	11,43
PE15		6	77,2/19,3	70,16	17,54



Şekil 5.7. Esab plazma tezgahı ile kesilen numunelerin ölçüm değerleri kıyaslaması

Tablo 5.4. Durma plazma tezgahı ile kesilen numunelerin ölçüm değerleri

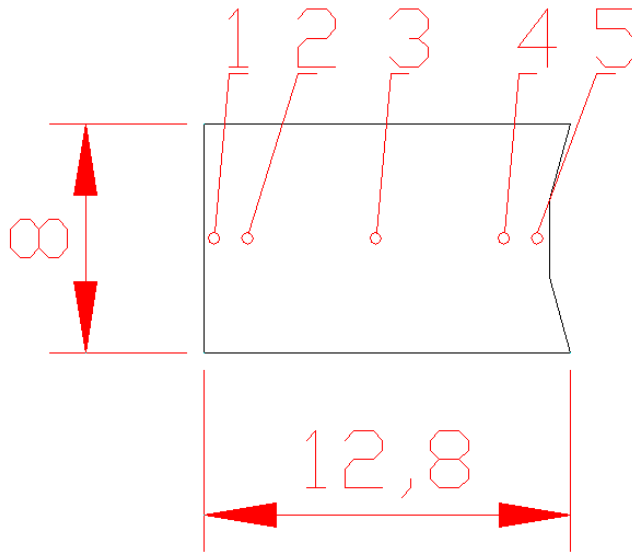
DURMA HPR 260 PLAZMA TEZGAHINDA KESİLEN NUMUNELERİN DENEYSEL ÖLÇÜM SONUÇLARI					
NUMUNE No:	MALZEME		TS EN ISO 9013'e göre max.Rz/Ra µm	ÖLÇÜM DEĞERİ Rz µm	ÖLÇÜM DEĞERİ Ra µm
	CİNSİ	KALINLIĞI mm			
PD1	S235JRG2 ÇELİĞİ	4	74,8/18,7	7,8	1,95
PD2		6	77,2/19,3	8,56	2,14
PD3		8	79,6/19,9	8,92	2,23
PD4		12	84,4/21,1	11,12	2,78
PD5		15	88/22	14,56	3,64
PD6		20	94/23,5	17,8	4,45
PD7		25	100/25	23,04	5,76
PD8		30	106/26,5	30,8	7,7
PD9	304 L PASLANMAZ ÇELİK	2	72,4/18,1	43,36	10,84
PD10		3	73,6/18,4	45,88	11,47
PD11		4	74,8/18,7	49,56	12,39
PD12		6	77,2/19,3	53,28	13,32
PD13		8	79,6/19,9	60,84	15,21
PD14	1050A ALÜMİNYUM ALAŞIMI	3	73,6/18,4	47,2	11,8
PD15		4	74,8/18,7	61,76	15,44
PD16		6	77,2/19,3	69,44	17,36



Şekil 5.8. Durma plazma tezgahı ile kesilen numunelerin ölçüm değerleri kıyaslaması

5.4. Sertlik Ölçümleri

Kesme işlemine tabi tutulan numuneler TRUERS DURAMİN-A300 marka mikro sertlik cihazında Vickers sertlik ucu kullanılarak 25 gr yük altında yapılan mikrosertlik ölçümleri sonucunda elde edilen ortalama sertlik değerleri alınmıştır. Ölçme işlemi kesme yüzeyinden ana matrise doğru olacak şekilde 5 farklı noktadan alınarak sertlik değerleri bulunmuştur. Bulunan değerler Tablo 5.5 te verilmiştir.



KESİM YÜZEYİ PÜRÜZLÜLÜĞÜ

SERTLİK NUMUNELERİ

Test Malzemeleri: CİNSİ / KALINLIK (t)

S235JRG2 ÇELİKLER: t= 8 mm.

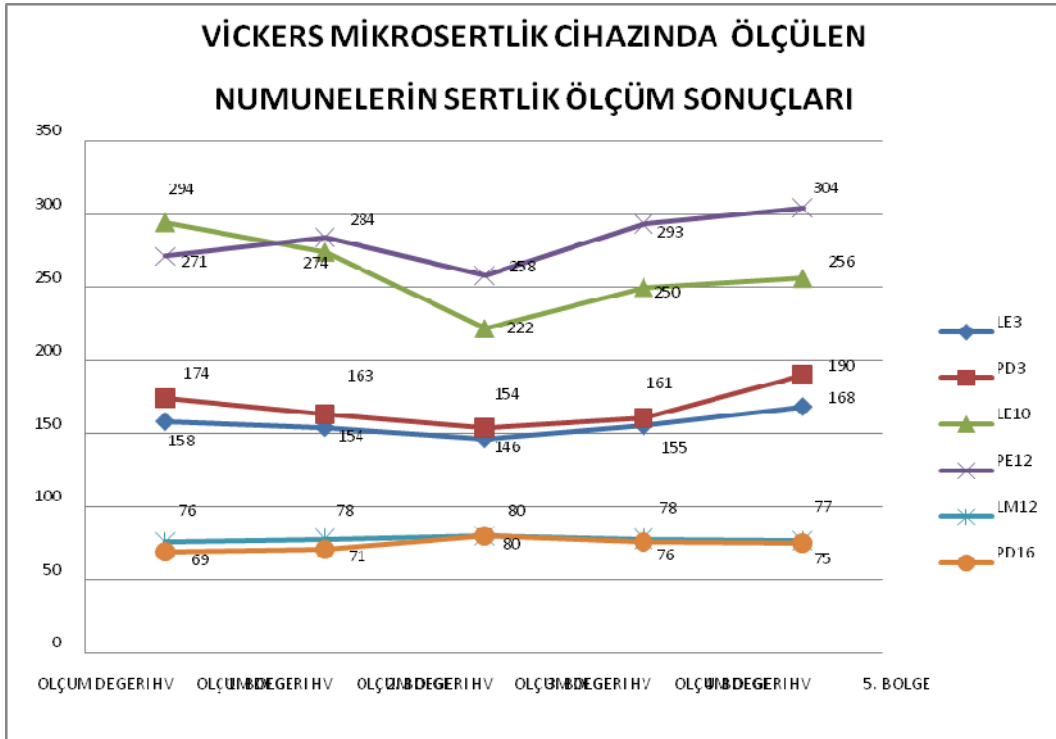
304 L PASLANMAZ ÇELİKLER: t= 8 mm.

1050A ALUMİNYUM ALAŞIMLARI: t= 6 mm.

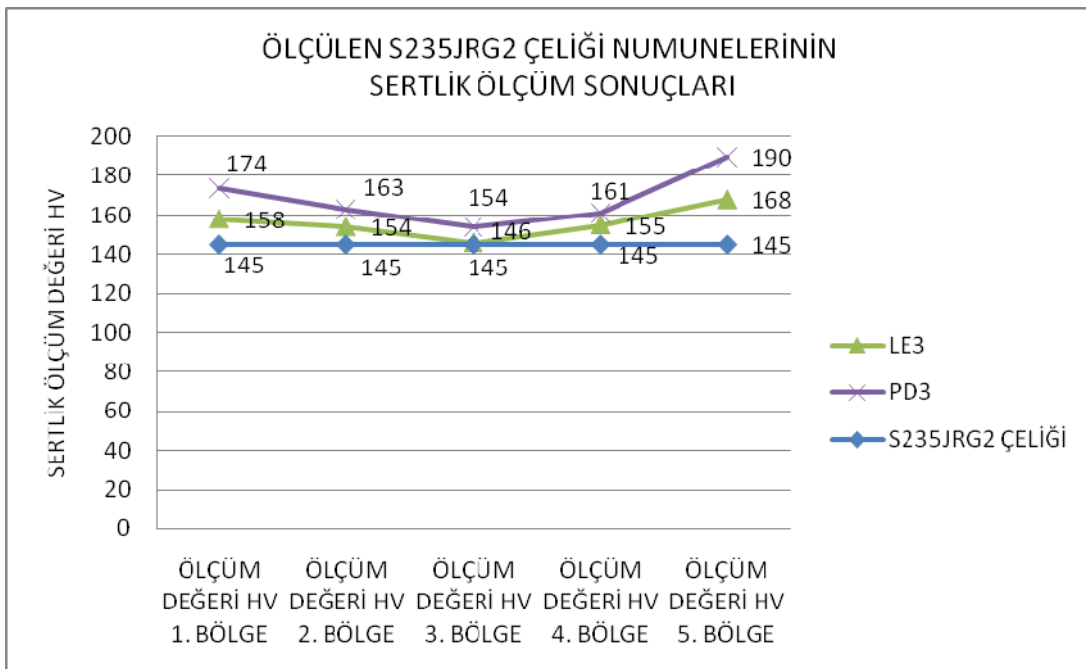
Şekil 5.9. Truers Duramin-A300 vickers mikrosertlik cihazında ölçülen numunelerin sertlik ölçüm şeklinin şematik gösterimi

Tablo 5.5. Truers Duramin-A300 vickers mikrosertlik cihazında ölçülen numunelerin sertlik ölçüm sonuçları

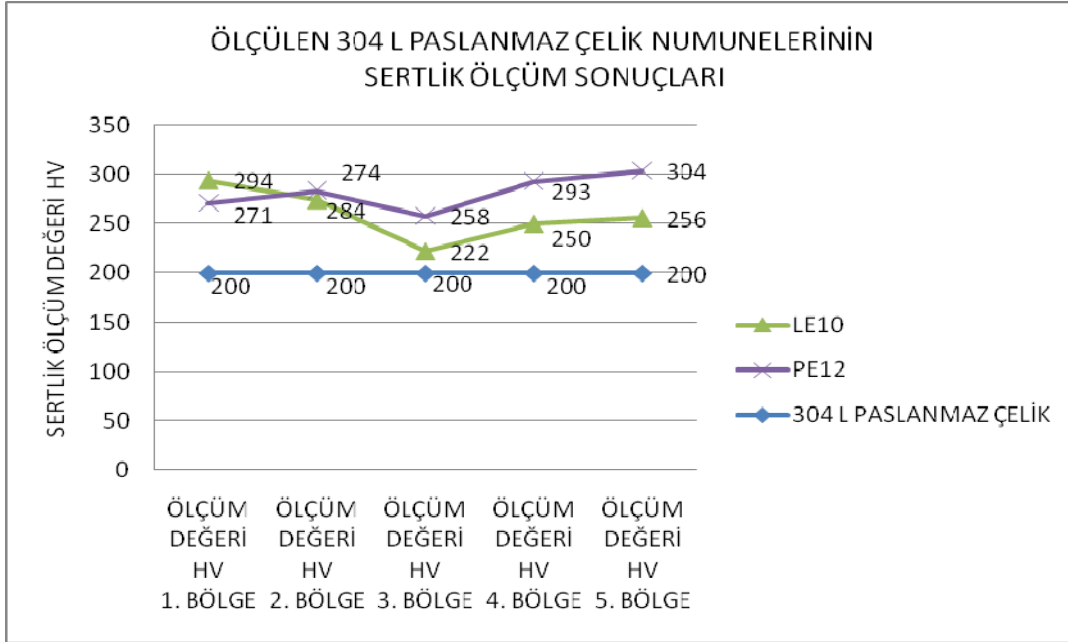
TRUERS DURAMİN-A300 VİCKERS MİKROSERTLİK CİHAZINDA ÖLÇÜLEN NUMUNELERİN SERTLİK ÖLÇÜM SONUÇLARI								
NUMUNE No:	MALZEME		NORMAL SERTLİK DEĞERİ HV	ÖLÇÜM DEĞERİ HV 1. BÖLGE	ÖLÇÜM DEĞERİ HV 2. BÖLGE	ÖLÇÜM DEĞERİ HV 3. BÖLGE	ÖLÇÜM DEĞERİ HV 4. BÖLGE	ÖLÇÜM DEĞERİ HV 5. BÖLGE
	CİNSİ	KALINLIĞI mm						
LE3	S235JRG2 ÇELİĞİ	8	145	158	154	146	155	168
PD3		8		174	163	154	161	190
LE10	304 L PASLANMAZ ÇELİK	8	200	294	274	222	250	256
PE12		8		271	284	258	293	304
LM12	1050A ALUMİNYUM ALAŞIMI	6	80	76	78	80	78	77
PD16		6		69	71	80	76	75



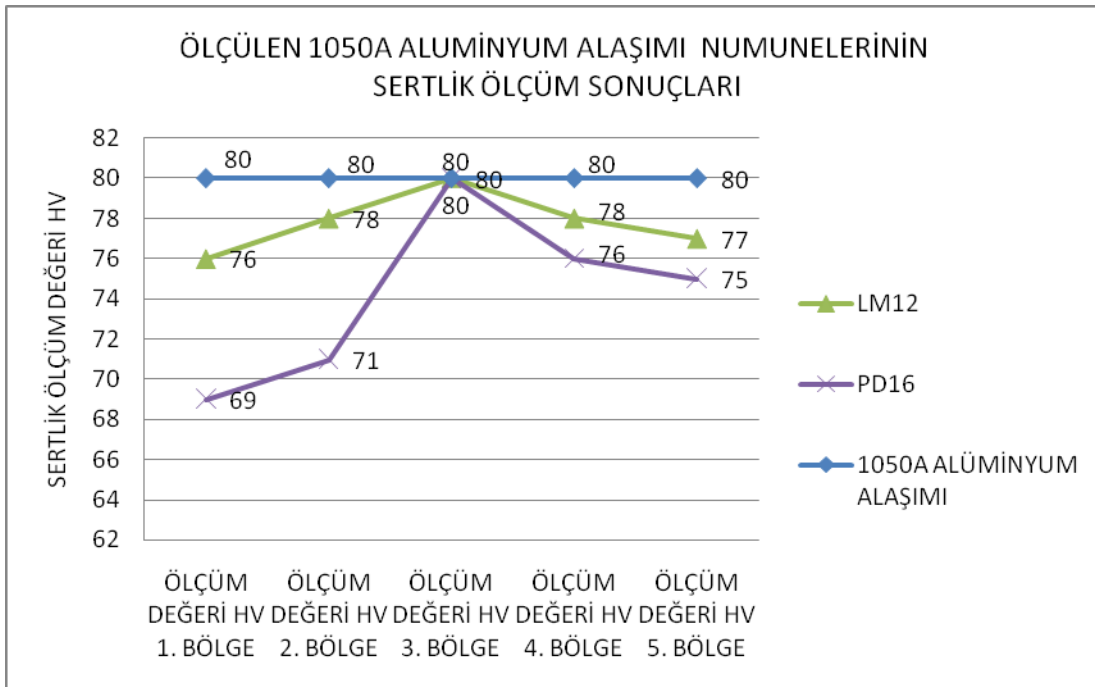
Şekil 5.10. Truers Duramin-A300 vickers mikrosertlik cihazında ölçülen numunelerin sertlik ölçüm sonuçları kıyaslaması



Şekil 5.11. Truers Duramin-A300 vickers mikrosertlik cihazında ölçülen S235JRG2 çeliğinin sertlik ölçüm sonuçları



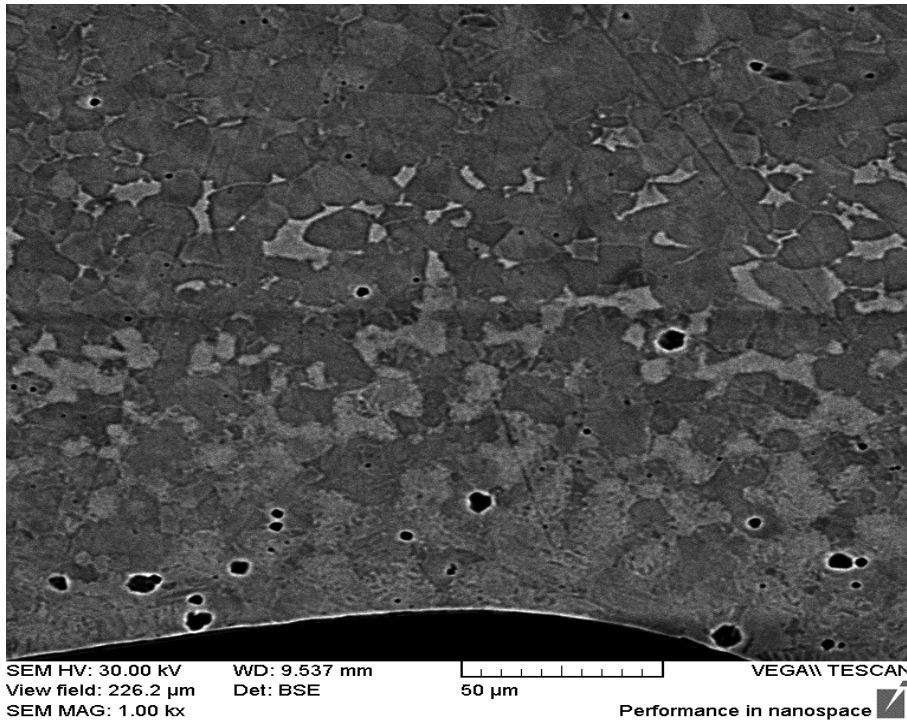
Şekil 5.12. Truers Duramin-A300 vickers mikrosertlik cihazında ölçülen 304L paslanmaz çeliğinin sertlik ölçüm sonuçları



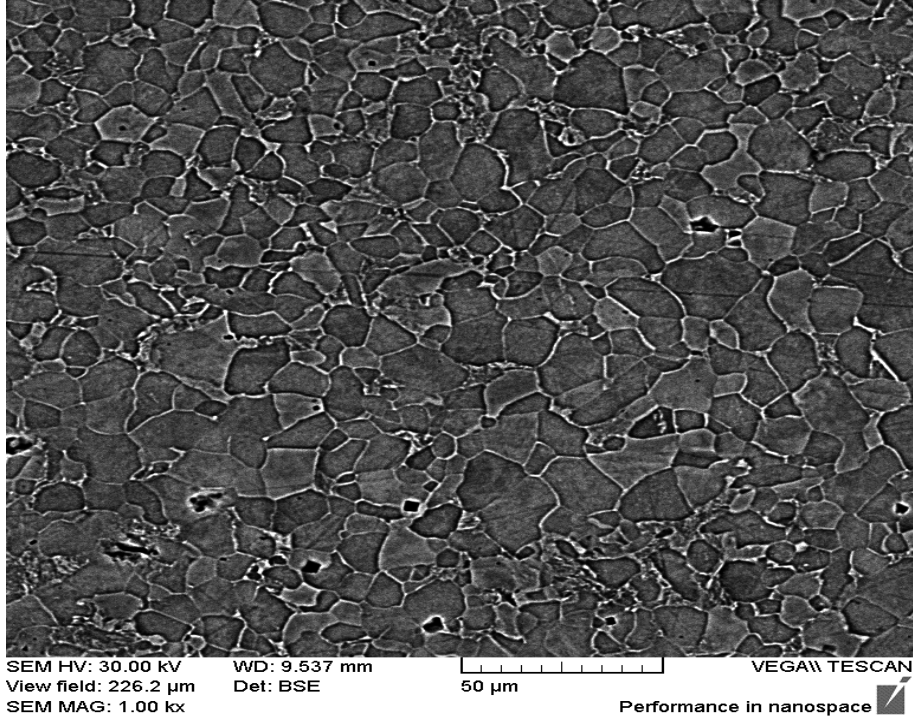
Şekil 5.13. Truers Duramin-A300 vickers mikrosertlik cihazında ölçülen 1050A alüminyum numunenin sertlik ölçüm sonuçları

5.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

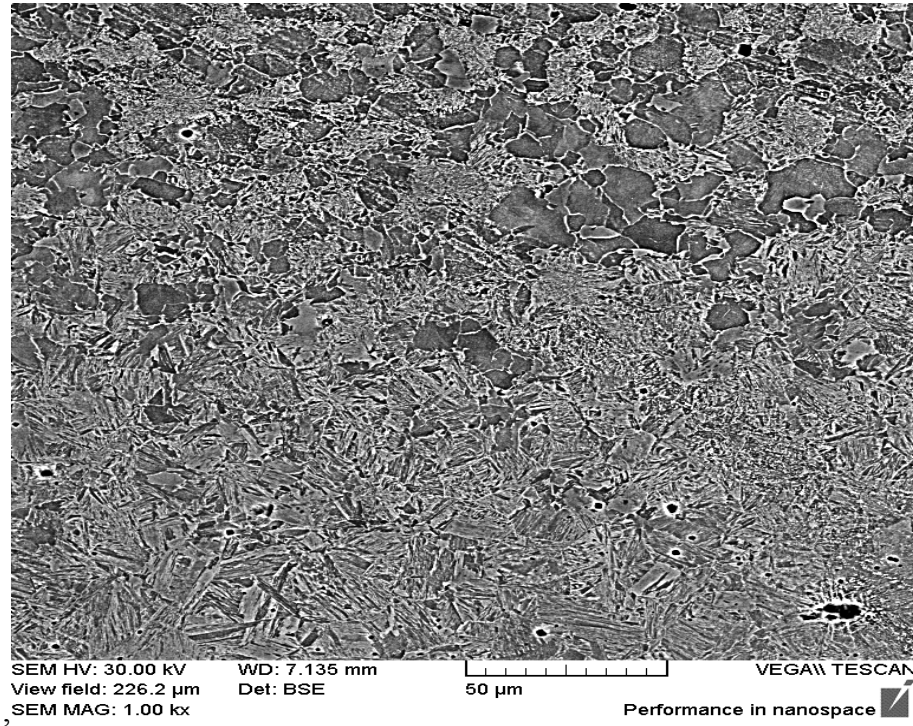
Kesme işlemine tabi tutmuş numunelerinin metalografik olarak incelenen yüzeylerinin mikroyapı görüntüleri, taramalı elektron mikroskobunda çeşitli büyütmelerde ve 20-30 kV enerjide ikincil elektronlardan faydalanılarak elde edilmiştir. Kesme işlemine tabi tutulan numuneler üzerinde ITAB bölgelerinin ve ana matris bölgelerinin SEM görüntüleri çekilmiştir.



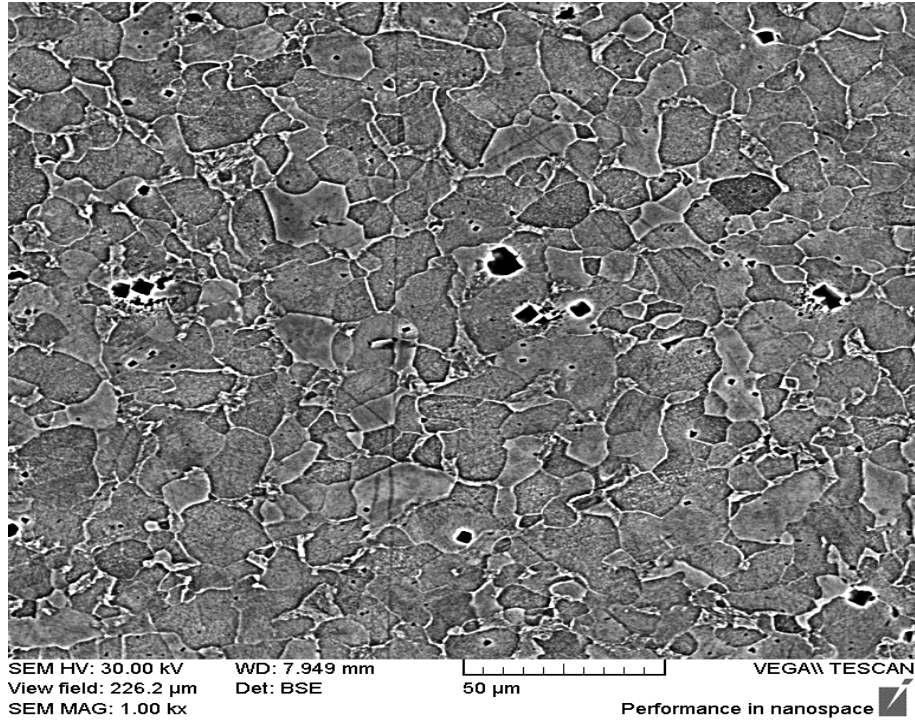
Şekil 5.14. LE3 S235JRG2 numunesinin ITAB bölgesinin SEM fotoğraf görüntüsü.



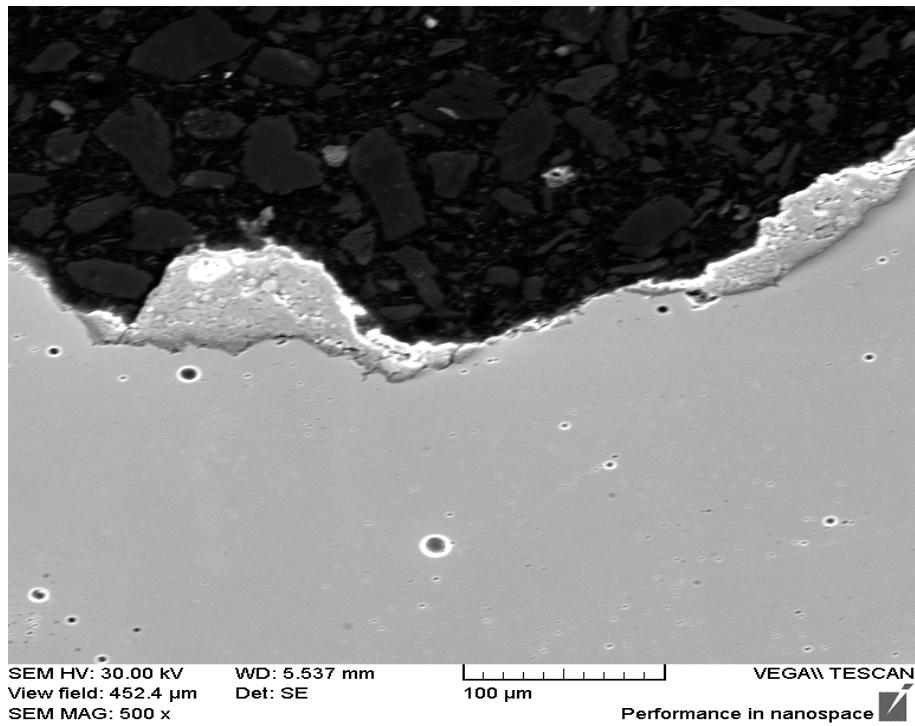
Şekil 5.15. LE3 S235JRG2 numunesinin ana matris bölgesinin SEM fotoğraf görüntüsü.



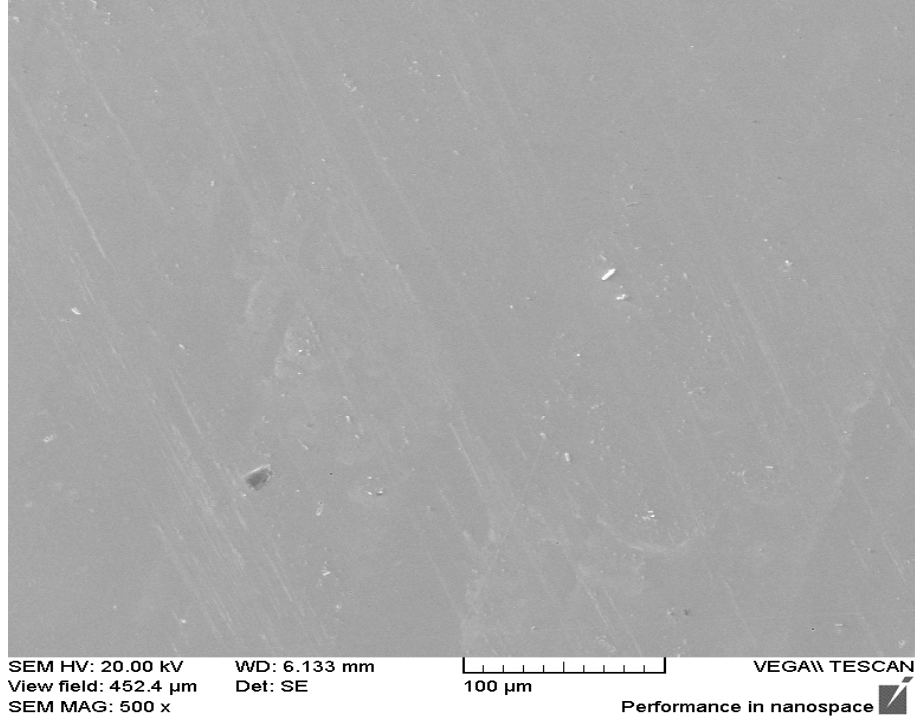
Şekil 5.16. PD3 S235JRG2 numunesinin ITAB bölgesinin SEM fotoğraf görüntüsü



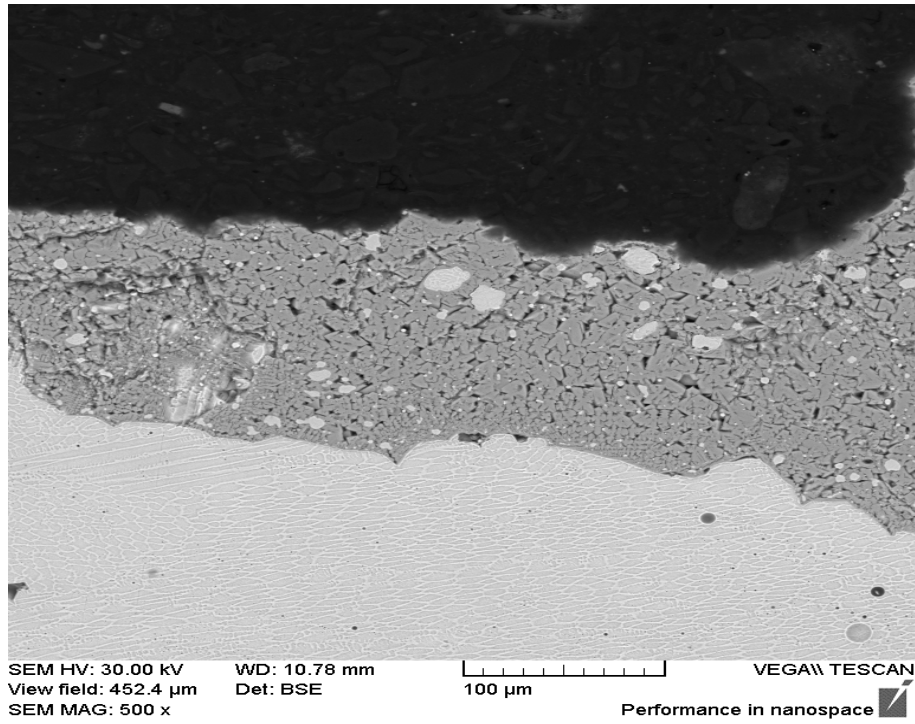
Şekil 5.17. PD3 S235JRG2 numunesinin ana matris bölgesinin SEM fotoğraf görüntüsü



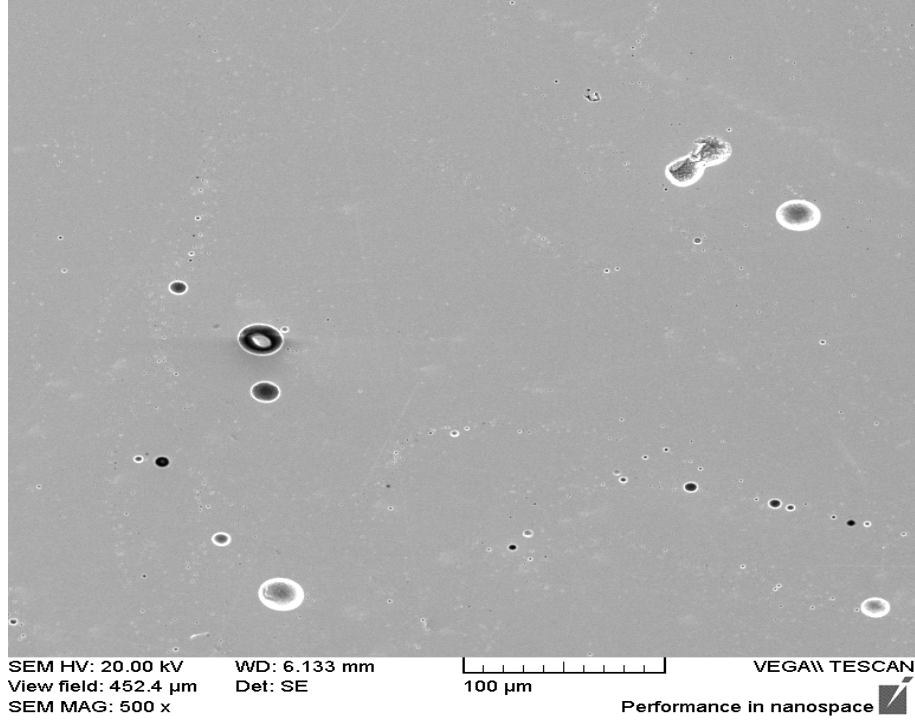
Şekil 5.18. LE10 304 L paslanmaz numunesinin ITAB bölgesinin SEM fotoğraf görüntüsü



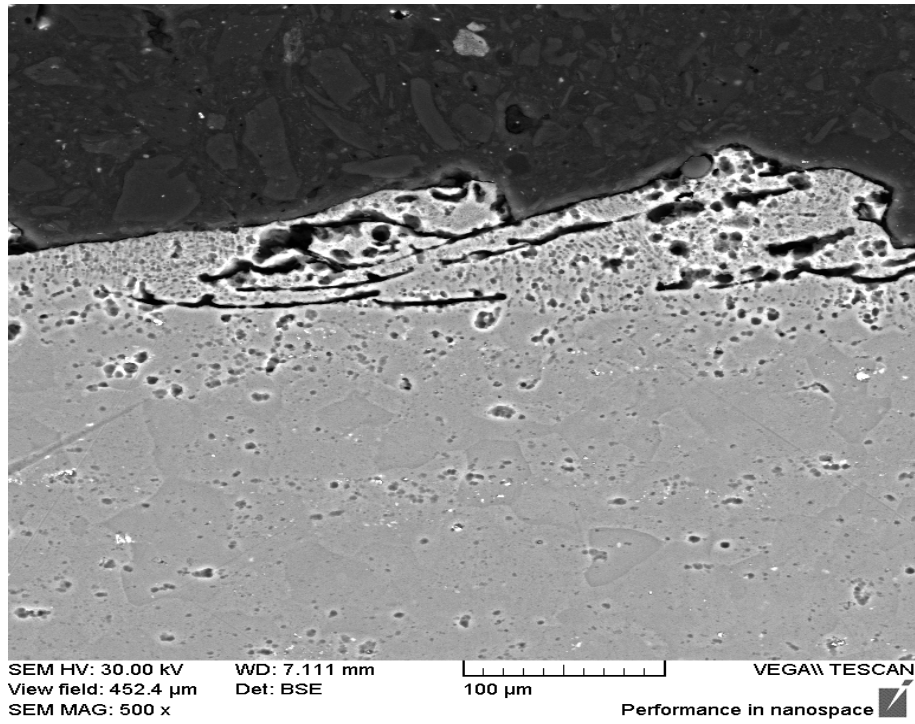
Şekil 5.19. LE10 304 L paslanmaz numunesinin ana matris bölgesinin SEM fotoğraf görüntüsü



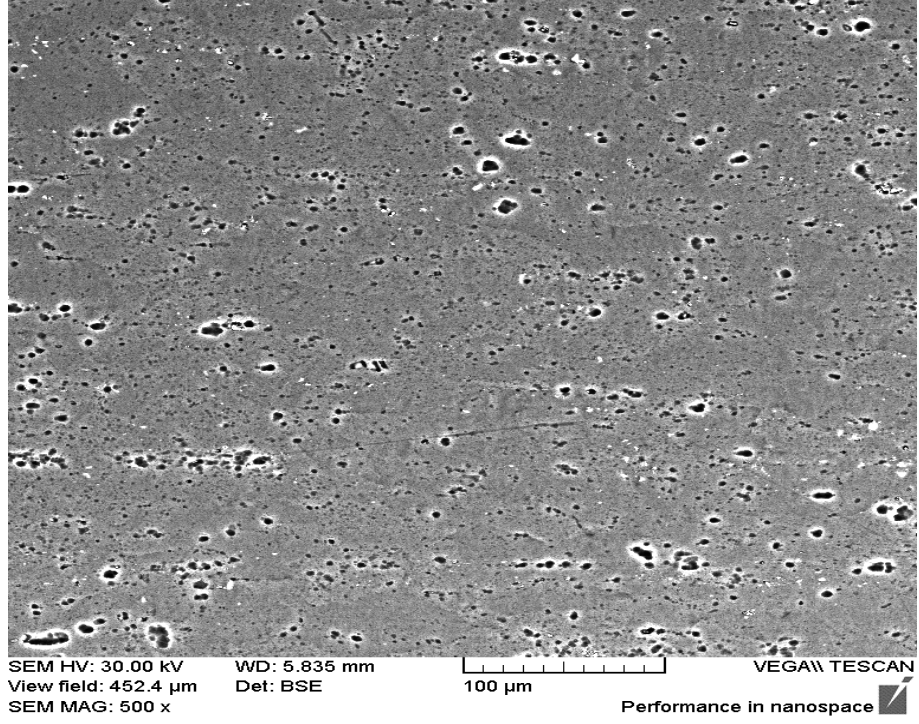
Şekil 5.20. PE12 304 L paslanmaz numunesinin ITAB bölgesinin SEM fotoğraf görüntüsü



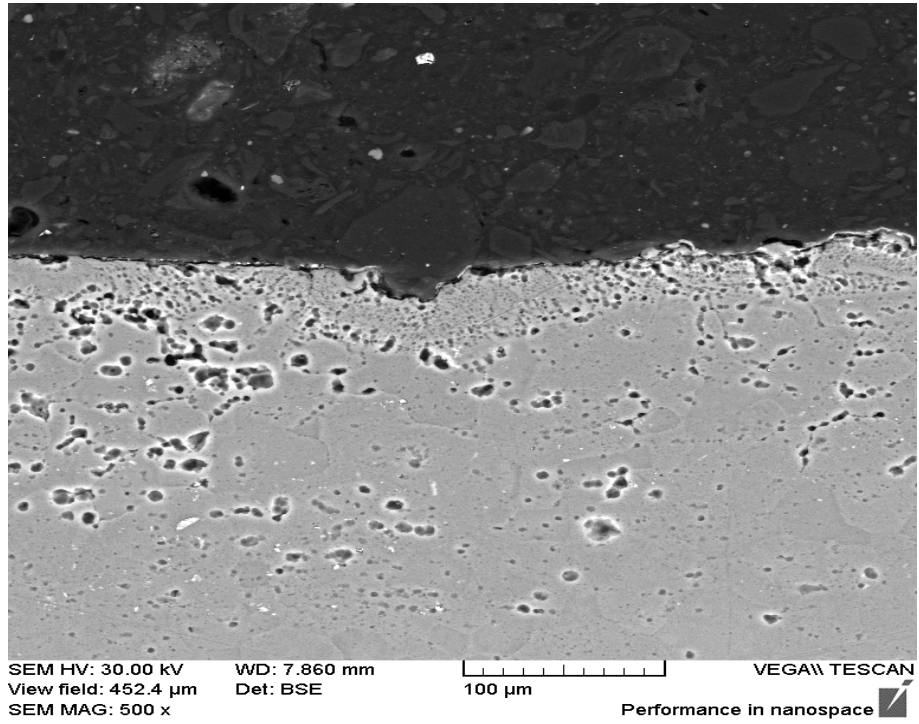
Şekil 5.21. PE12 304 L paslanmaz numunesinin ana matris bölgesinin SEM fotoğraf görüntüsü



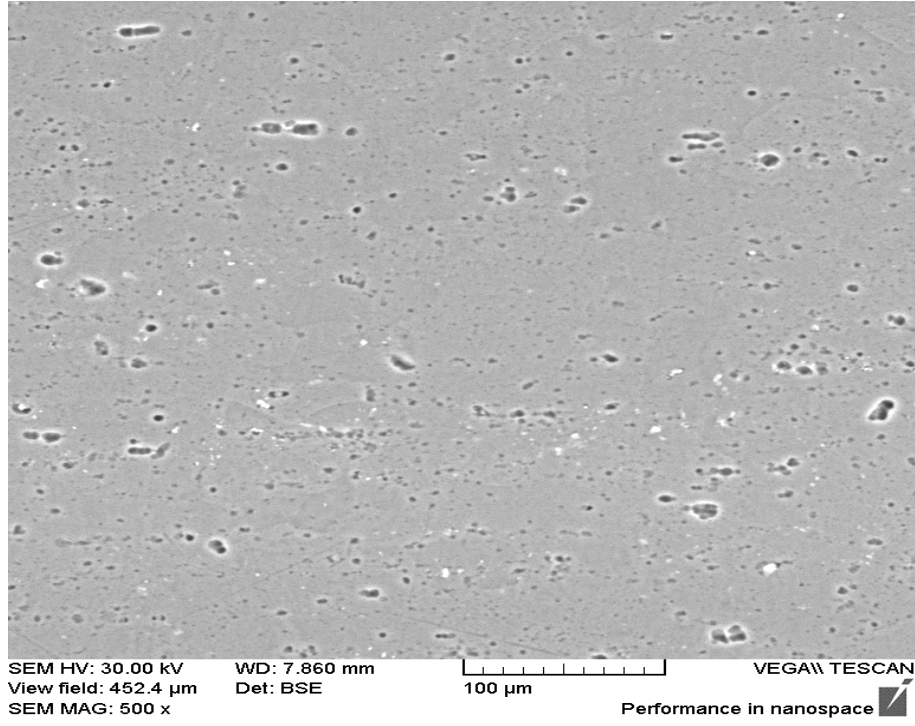
Şekil 5.22. LM12 1050A alüminyum numunesinin ITAB bölgesinin SEM fotoğraf görüntüsü



Şekil 5.23. LM12 1050A alüminyum numunesinin ana matris bölgesinin SEM fotoğraf görüntüsü



Şekil 5.24. PD16 1050A alüminyum numunesinin ITAB bölgesinin SEM fotoğraf görüntüsü



Şekil 5.25. PD16 1050A alüminyum numunesinin ana matris bölgesinin SEM fotoğraf görüntüsü

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

6.1. Sonuçlar

-Lazer ve plazma kesimlerinde ise S235JRG2 çeliği için çok iyi yüzey kaliteleri elde edilmiştir.

-304 L paslanmaz çelik ve 4 mm ye kadar alüminyum malzemelerin lazer kesiminde oldukça iyi yüzey kalitesi elde edilebilmektedir.

-1050A alüminyum ve 304 L paslanmaz çelik için plazma ile yapılan kesimlerde ise bu tezgahlara yönlendirecek talaşlı imalat parçalarının dış kontör kesimlerinin yapılması uygun görülmektedir.

-Dikkate alınması gereken bir diğer hususta lazer ve plazma kesme işlemlerinde kesim işlemi sırasında malzemeye ısı girdisi olduğundan S235JRG2 ve 304 L malzemelerde ITAB bölgesindeki sertlik artmakta, bu kullanılacağı yere göre olumlu yada olumsuz etki gösterebilir.

-Görülen o ki özellikle lazer kesim tezgahlarında daha önceleri talaşlı imalat tezgahlarında işlenen birçok metal parça istenilen ölçü toleranslarında işlenebilmektedir.

6.2. Değerlendirmeler

Sertlik: Karbon çeliği ve paslanmaz çelikte ısı girdisinden dolayı bir sertlik artışı gözükmekte alüminyumda ise çok az bir düşüş görülmektedir.

Yüzey kalitesi: Lazer kesimlerinde ve karbon çeliklerinin plazma kesimlerinde istenilen yüzey hassasiyeti yakalanabilmekte, paslanmaz çelik ve alüminyum malzemelerin plazma kesimlerinde yüzey hassasiyeti kötüleşmektedir.

Şekil /Boyut hassasiyeti: Lazer kesimlerinde şekil ve boyutsal toleranslarda herhangi bir sapma görülmemekte, plazmada ise ısı girdisinin fazlalığından kaynaklı bazı atma ve çarpılma söz konusu olmaktadır. Malzemenin kesime başlanan giriş noktalarında lazerde çok küçük plazmada biraz daha fazla zedeler kalmaktadır.

Malzeme bileşimi / elementler: Özellikle paslanmaz çeliklerin plazma kesimlerinde malzeme bileşimi değişmekte ITAB bölgesine O ve N nüfuz etmekte aynı zamanda malzemenin rengini değiştirmektedir

Maliyet: Lazer ve plazma her iki yöntemdede ürün maliyeti açısından özellikle talaşlı imalata göre önemli avantajlar sağlanmaktadır. Genel olarak dış kontür kesimlerine bakıldığında 6mm kalınlığa kadar lazer hesaplı, daha kalın malzemelerde ise plazma hesaplı gözükmektedir.

6.3. Öneriler

-Kesim tezgahlarını verimli kullanmak, maliyetleri minimuma düşürmek ve yüzey hassasiyetinin sürekliliğini sağlayarak yüzey kalitesini istediğimiz seviyede elde etmek için, öncelikle programcı ve operatörlerinin en iyi şekilde eğitimleri sağlanmalıdır.

-Bu çalışma ile netleştirilmiş olan doğru kesim parametreleri girildiğinde CNC kontrollü bu tezgahlarda hata yapma şansı çok düşüktür.

-Talaşlı imalata verilecek birçok parça için öncelikle lazer kesim düşünülmelidir. Bu uygulama sayesinde zaman ve maliyet açısından ülke ekonomisine ciddi bir katkı sağlanacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] <http://quarters.blogcu.com/metal-sac-isleme-teknolojilerine-genel-bir-bakis/25393>
- [2] ANIK, S., ÖĞÜR, A., VURAL, M., Termik Kesme Teknolojisi Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü Yayın No: 2, 1996
- [3] http://www.majet.com.tr/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=2
- [4] http://cygm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/metal/moduller/oksigaz_ile_kesme.pdf
- [5] <http://cmyo.ankara.edu.tr/~gurbuz/pdf/1.pdf>
- [6] SHAJAN, K., KAMAL, M., SHUNMUGAM, M.S., “ Data mining applied to wire – EDM process” , Journal of Materials Processing Technology, 142, 182 – 189, (2003).
- [7] SPEEDDING, T. A., WANG, Z. O., “Parametric Optimization and Surface Characterization of Wire Electrical Discharge Machining Process, Precision Engineering” 20:, 5-15, (1997).
- [8] LIAO, Y.S., WOO, J. C., “The Effect of Machining Settings on the behaviour of Vurume Trains in the WEDM Process, Journal of Materials Processing Technology 71”, 433- 439, (1997).
- [9] SHUNMUGAM, M.S., SAI KUMAR, S., KAUL, I.K., “ Fuzzy logic modelling of wire – cut EDM process” , Proc. SPIE 4192417 – 425, (2000).
- [10] SHUNMUGAN, M.S., SAI KUMAR, S., I. KAUL K., “ Modelling of wire – cut EDM by neural network”, Proc. SPIE 4192 185 – 193, (1999).
- [11] Robofil 310, Wire EDM of Charmilles Technologies, Reference manual, vol. 1, 1994.
- [12] ÇAYDAŞ U. , HASÇALIK A., “CNC Tel Erozyon Tezgahlarında Farklı Malzemelerin İşlenebilirliğinin Araştırılması” Dumlupınar üniversitesi fen bilimleri Enstitüsü Dergisi 6. Sayı, Ekim 2004.

- [13] DALDAL, S., "Niobyum Karbür Kaplamaların Özellikleri", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Temmuz 2002.
- [14] PAZARLIOĞLU, S.S., "Çeliklerin Niobyum Borür Kaplanması ve Özellikleri", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [15] "Asil Çelik Teknik Yayınlar Serisi", Bölüm 5, s: 4-28 Bölüm 6, s: 4-48, Bölüm 7, s: 1-62, 1982
- [16] SIDNE., H.,A., 'Introduction to Physical Metallurgy' Second edition p.p. 387-423
- [17] KON, Ö., "Termo-reaktif Difüzyon(TRD) Yöntemiyle TiBCN Kaplanmış WC-Co Kesici Takımların ve Çeliklerin Aşınma Özellikleri", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006
- [18] <http://www.osmanlıcelik.com>
- [19] TOPBAŞ, M., A., "Endüstri malzemeleri" . Cilt Yıldız say 347-366, 1993.
- [20] KOÇAK, A., ŞEŞEN, M., K., " Soğuk İş Takım Çelikleri ve Aşınma Davranışlarına Sertlik ve Mikroyapı Özelliklerinin Etkisi" Mühendis ve Makine Dergisi , Eylül 2002 say. 51-54
- [21] TOPBAŞ, M., A., "Çelik Ve Isıl İşlem El Kitabı" say., 332-409
- [22] <http://www.saritas.com.tr>
- [23] <http://www.assan.com.tr>
- [24] <http://www.tezsitesi.com>
- [25] HERZIGER, L., , Werstoffbearbeitung mit laserstrahlung grundlagen systeme verfahren, Carl Hanser Verlag, München Wien. 1993, pp 34
- [26] ÖZCAN, Ö., "Endüstriyel Kesme Yöntemlerinin Ç1030 ve SS 304 Çeliklerinin Kesme Özellikleri ve Mikro Yapısı Üzerine Etkileri" Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Haziran 2007
- [27] MÜNGAN, M.C., "Lazer İle Kesme ve Endüstriyel Uygulamaları", Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Haziran 2006
- [28] KUTLU, A.E., MONNO M., BINI R., "Plazma İle Kesme Metoduna Genel Bir Bakış" Mühendis ve Makina - Cilt: 46 Sayı: 541
- [29] BINI, R., KUTLU, A.E., MONNO, M., "Plasma Arc Cutting : una Tecnologia Tra Passato e Futuro", Lamiera, Tecniche Nuove, Vol 40, pp.354-359, 2003.

- [30] MCGEOUGH, J.A., "Advanced Methods of Machining, Kluwer Academic Publishers Group", 1988
- [31] www.fineplasma.com
- [32] http://www.majet.com.tr/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=2
- [33] YAZICIOĞLU, O., YALÇINKAYA, S., "Endüstride Aşındırıcılı Su Jeti Tasarımları" Mühendis ve Makine, Sayı 522 Temmuz 2003.
- [34] HASHISH, M., "Pressure Effects in Abrasive-Waterjet (AWJ) Machining", Transactions ASME Journal of Engineering Materials and Technology, 111(7), 221-228, 1989
- [35] JONES S.L., "Abrasive water-jet computerized for precision", Metalworking News, 16(12), 10-11, 1989.
- [36] ANIL, D., "Elektro erozyon ile işleme parametreleri", Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ FenBilimleri Enstitüsü, say 1-5, Temmuz 2003.
- [37] KOIJMANS, B., KNOPPERS, R., "Fabrication of edm electrodes using rapid prototyping Techniques", RAPTIA State Of The Art Report, TNO Industry Eindhoven, pp 1-11, ,2002.
- [38] TÜLBENTÇİ, K., KALUÇ, E., "Gaz ergitme kaynağı ve oksijen ile kesme", MMOYayımları, say 39-44 , 2001.
- [39] ADSAN K., "Oksi-gaz kaynağı temel ders kitabı", MEB Yayınları, 1978, say 10-29
- [40] Sayar E. D., "Soğutma ve iklimlendirme meslek bilgisi temel ders kitabı I", MEB Devlet Kitapları say 39-50, 2004.

ÖZGEÇMİŞ

29/04/1980 tarihinde Sakarya'nın Adapazarı ilçesinde doğmuştur. İlkokul eğitimini Büyükgazi İlkokulu'nda, Ortaokul ve lise eğitimini Ozanlar Lisesi'nde tamamlamıştır. SAÜ Sakarya Meslek Yüksek Okulu makine bölümünde bir yıl eğitim aldıktan sonra tekrar sınava girip 1998 senesinde SAÜ TEF. Metal Öğr. Bölümü'nü kazanmış ve 2002 yılında Teknik Öğretmen ünvanını almıştır. Halen Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisans eğitimini sürdürmektedir. Evli ve 2 çocuk babasıdır. Mezuniyetle birlikte iş hayatına atılmış sırasıyla Ürmaksan (2002-2003), Subor (2003-2004), RC Mühendislik (2004-2005) firmalarında çalışmıştır. 2005 yılından itibaren Yılgenci Tic. ve San. A.Ş. 'de çalışmaktadır.

Tek. Öğr. Cem TOPALOĞLU