

ENDÜSTRİYEL KESME YÖNTEMLERİNİN Ç1030
VE SS 304 ÇELİKLERİNİN KESME ÖZELLİKLERİ
VE MİKRO YAPISI ÜZERİNE ETKİLERİ

Özgür ÖZCAN

Yüksek Lisans Tezi

Makina Eğitimi Anabilim Dalı

Haziran - 2007

ENDÜSTRİYEL KESME YÖNTEMLERİNİN Ç1030 VE SS 304

ÇELİKLERİNİN KESME ÖZELLİKLERİ VE

MİKRO YAPISI ÜZERİNE ETKİLERİ

Özgür ÖZCAN

Dumlupınar Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca

Makina Eğitimi Anabilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Nurullah KIRATLI

Haziran - 2007

KABUL ve ONAY SAYFASI

Özgür ÖZCAN'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı ENDÜSTRİYEL KESME YÖNTEMLERİNİN Ç1030 VE SS 304 ÇELİKLERİNİN KESME ÖZELLİKLERİ VE MİKRO YAPISI ÜZERİNE ETKİLERİ başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

11/07/2007

Üye : Yrd. Doç. Dr. Nurullah KIRATLI

Üye : Yrd. Doç. Dr. Behçet GÜLENÇ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Dinçer BURAN

Fen Bilimleri Enstitüsün Yönetim Kurulu'nun/...../..... gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. M. Sabri ÖZYURT
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**ENDÜSTRİYEL KESME YÖNTEMLERİNİN Ç1030 VE SS 304
ÇELİKLERİNİN KESME ÖZELLİKLERİ VE
MİKRO YAPISI ÜZERİNE ETKİLERİ**

Özgür ÖZCAN

Makine Eğitimi, Yüksek Lisans Tezi, 2007

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Nurullah KIRATLI

ÖZET

Yeni ve alternatif üretim yöntemleri olarak gündeme gelen endüstriyel kesme yöntemleri ile kesme, endüstriyel amaçlı malzemelerdeki gelişmelere paralellik gösterecek şekilde, işlenilmesi güç malzemelerin işlenilmesinde etkili yöntemler olarak kullanılmaktadırlar. Kesme yöntemlerindeki işleme kalitesi genel olarak; malzeme özelliklerindeki değişim ve elde edilen yüzey özellikleri ile karakterize edilmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada, endüstride yaygın olarak kullanılan Ç1030 ve SS 304 malzemelerinin endüstriyel kesme yöntemleri ile kesilmesinden elde edilen yüzey özellikleri ve kesilen bu malzemelerde metalurjik özelliklerde meydana gelen değişimlerin değerlendirilmesi hedeflenmiştir. SS 304 ve Ç1030 malzemelerinden hazırlanan 5 ve 10 mm kalınlığındaki numuneler, yüksek-orta-düşük kesim hızı olarak, Lazer, Su Jeti, Tel Erozyon, Plazma ve Oksijen ile kesme yöntemleri kullanılarak üç değişik kesim hızında kesilmiş ve elde edilen yüzeylerin, yüzey pürüzlülük değişimleri değerlendirilmiştir. Ayrıca, aynı malzemelerin Lazer, Su Jeti, Tel Erozyon, Oksijen ve Plazmayla kesme yöntemleri ile kesilmesinden elde edilen yüzeylerin mikro yapı görüntüleri üzerinden malzemelerin metalurjik özelliklerindeki değişimi ve kesilen yüzeyden itibaren kesme derinliğine bağlı olarak sertlik değişimleri (HV) incelenerek değerlendirilmiştir. Endüstriyel kesme yöntemleri ile kesilerek elde edilen yüzeylerin yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde; çok hassas işleme toleransına sahip olan Tel Erozyon yöntemi, diğer yöntemlere göre en az yüzey pürüzlülük değerine sahip yöntem olarak dikkat çekmektedir. Endüstriyel kesme yöntemleri ile kesilerek elde edilen numunelerin kesilen bölgedeki mikro yapı görüntüleri ve mikro sertlik değişimleri incelendiğinde ise; en verimli kesme yönteminin, kesilen yüzeyde ısıdan etkilenen bir bölge olmamasından dolayı Su Jeti yöntemi olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Endüstriyel Kesme Yöntemleri, Kesme Özellikleri, Mikro Yapı.

**CUTTING FEATURES OF STEEL OF INDUSTRIAL CUTTING
METHODS Ç1030 AND SS 304
THEIR EFFECTS ON MICRO STRUCTURE**

Özgür ÖZCAN

Mechanical Education, M. S. Thesis, 2007

Thesis Supervisor: Asst. Prof. Dr. Nurullah KIRATLI

SUMMARY

Chopping with industrial cutting methods which come up to agenda as new and alternative production methods are used as effective methods in manipulation materials that are hard to process in parallel with the development of industrially designed materials. Generally, manipulation quality of cutting methods are characterised with the change on features of materials and gained surface features. Thus, in this study, it is aimed to evaluate the surface features of widely-industrial Ç1030 and SS 304 materials that have been gained by using the most industrial cutting methods and arising metallurgical changes in those cut materials. Made of SS 304 and Ç1030 materials, examples with a thickness of 5 and 10 mm have been cut at three different cutting speeds as high, medium, low by using cutting methods of Laser, Water Jet, Wire Erosion, Plasma and Oxygen and changes of surface roughness of those gained surfaces have been evaluated. Besides, changes in metallurgic features and hardness variations (HV) of the same materials manipulated by using the methods of Laser, Water Jet, Wire Erosion, Plasma and Oxygen have been evaluated in relation with cutting depth as from the cut surface over micro structural display. When the gained roughness value of surfaces are analysed, Wire Erosion method which has a very sensitive manipulation tolerance, draws attention as being the method having the least roughness value of surfaces in comparison with the other methods. Method of Water Jet is confirmed to be the most efficient cutting method due to not having any cut surface affected by heat when micro structural displays and variations of micro hardness are analysed within the manipulated surface of examples that have been cut with industrial methods.

Keywords: Cutting Features, Industrial Cutting Methods, Micro Structure,

TEŞEKKÜR

Öncelikle bu çalışmamda bana öncülük edip yol gösteren, bilgi ve zamanını cömertçe benimle paylaşan değerli tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Nurullah KIRATLI'ya sonsuz teşekkür ederim. Yine çalışmamın deneysel tasarım aşamasında büyük emeği geçen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Behçet GÜLENC' e katkılarından dolayı teşekkür ederim. Metalografik inceleme konusunda desteklerini, çalışmamın araştırma ve tasarlama aşamalarında ise zamanını ve bilgilerini esirgemeyen sayın hocam Arş. Gör. Volkan KILIÇLI'ya teşekkürlerimi sunarım. Aynı bölümde yüksek lisans tezini yapan, bu yola beraber çıktığımız değerli çalışma arkadaşım Tuncay ÇÖĞÜR'e teşekkür ederim. Tezimin yazım aşamasında her an yanımda olan, zamanını ve yüreğini benimle paylaşan, en sıkıntılı anlarımda bile desteğini esirgemeyen sevgili arkadaşım Mine Mercan DEMİRALP'e teşekkür ederim. Yine çalışmamın her anında yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen çok sevdiğim ev arkadaşlarım; Ulaş AYDIN, İlham KARABULUT, Vahap KARATAŞ ve Mustafa SÜZGÜN'e, bununla beraber tezimin yabancı dil ile ilgili kısımlarında yardımları için Ayşegül ŞAHİN'e sonsuz teşekkür ederim. Uzakta da olsa yardımını esirgemeyen sevgili dostum Pratisyen Dr. Mehmet YALÇINKAYA'ya ve arkadaşlarım Emin BEDİR, Ceren ÖZDEMİR ve Gökhan ABİKE'ye teşekkür ederim. Ankara MASS OPTİK, OKURSOY ve KALIPSAN Tic. Ltd. Şirketi yönetici ve çalışanlarına, çalışmalarındaki katkılarından dolayı teşekkür ederim. Tezimin deneysel araştırmalarında bana büyük yardımları bulunan İsmail BALOĞLU'na; yine yardımları bulunan Ramazan ÇEVİK ve ÇEVİKLER OTO çalışanlarına teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemde büyük emekleri olan, çalışmamın her anında ne zaman sıkıntıya düşersem düşeyim hep ve karşılıksız destek veren, yüreklerini ve aile sevgilerini benimle sonsuz paylaşan, umutsuzluğa düştüğüm anlarda bana yaşama umudu veren, maddi ve manevi desteklerinden dolayı canım aileme sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim. Büyük emekle biten bu çalışma umarım daha sonraki çalışmalar için iyi bir örnek teşkil eder.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY.....	v
TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. ENDÜSTRİYEL KESME YÖNTEMLERİ.....	4
2.1. Su Jetiyle Kesme.....	4
2.1.1. Saf su jetleri.....	7
2.1.2. Aşındırıcılı su jetleri.....	11
2.2. Lazer.....	21
2.2.1. Lazer ışını elde edilmesi.....	21
2.2.2. Lazer ışınının üstünlükleri.....	24
2.2.3. Lazer tipleri.....	25
2.2.4. Lazer sistemlerinin karşılaştırılması.....	26
2.2.5. Malzemelerin lazer ışınıyla işleme prensipleri.....	28
2.3. Tel Erozyon.....	29
2.3.1. Tel Erozyon ile işleme tipleri.....	32
2.3.2. Tel Erozyon ile işlemenin temel parametreleri.....	33
2.4. Plazma Arkı İle Kesme.....	40
2.4.1. Kullanılan plazma gazları.....	47
2.5. Oksigaz Yöntemiyle Kesme.....	48
2.5.1. Kaynak alevi.....	50
2.5.2. Alev ayarı çeşitleri.....	52
2.5.3. Kaynak alevinin hazırlanması.....	54
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	56

İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>Sayfa</u>
4. MATERYAL VE METOT.....	60
4.1. Materyal.....	60
4.1.1. Deney malzemesi.....	60
4.1.2. Kesilen malzemelerin hazırlanması.....	60
4.1.3. Kesme işleminin yapıldığı tezgahlar ve ilgili parametreler.....	61
4.2. Metot.....	70
4.2.1. Mikro sertlik ölçümü.....	70
4.2.2. Kesim yüzeylerinin metalografik incelenmesi.....	70
4.2.3. Kesilen malzemelerin yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi.....	72
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	73
5.1. Mikro Sertlik Değerleri.....	73
5.1.1. Kesme yönteminin mikro sertlik değişimine etkisi.....	77
5.2. Mikro Yapı Değişimi.....	82
5.3. Yüzey Pürüzlülük Değerleri.....	93
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	100
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	102

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. X-Y hareketi sağlayan iş bağlama tablası.....	7
2.2. Saf su jeti sistemlerinde kullanılan bir nozul.....	9
2.3. Saf su jeti ve aşındırıcılı su jeti ile kesme.....	13
2.4. Aşındırıcı su jet tekniğinin basit bir şeması.....	13
2.5. Tipik aşındırıcılı su jeti kesme başlığı tasarımı.....	14
2.6. Yandan ve doğrudan aşındırıcı enjeksiyon.....	15
2.7. Aşındırıcıların konulduğu tüp.....	18
2.8. Doğal ışığın elektriksel ve manyetik alanları.....	22
2.9. Sabit emisyon.....	22
2.10. Endüklenmiş emisyon.....	23
2.11. Işınlarmın dalga boyları ve frekansları.....	24
2.12. Lazer gücüne göre farklı lazer türlerinin k katsayısının karşılaştırılması.....	28
2.13. Lazer ışını ile kesmenin prensibi.....	29
2.14. Tel erozyon yönteminin şematik görünüşü.....	30
2.15. Tel erozyon tezgahının ana kısımları.....	31
2.16. Tel erozyon ile delme ve oyma yöntemi.....	32
2.17. Tel erozyon ile kesme yöntemi.....	33
2.18. Vurum jeneratöründe vurumların gerilim ve akım dalga biçimleri.....	34
2.19. Plazma yöntemi şeması.....	41
2.20. Nötr bir atomdan elektronun koparılması.....	42
2.21. İyonlaşma ve plazma gazının oluşması.....	43

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.22. Tig ve plazma arkının şematik gösterimi.....	44
2.23. Plazma jetinin oluşumu ve kesme işlemi.....	45
2.24. Plazma arkı oluşum yöntemleri.....	46
2.25. Oksijenle serbest elde kesmenin yapılışı.....	49
2.26. Oksijenle aparatlı boru kesme.....	49
2.27. Oksijenle kesme aşamaları.....	50
2.28. Oksi - asetilen alevi.....	50
2.29. Oksi-asetilen alevinin sıcaklık dağılımı.....	51
2.30. Asetilen fazlası alev.....	52
2.31. Normal alev.....	53
2.32. Sert alev (oksijen fazlası alev).....	54
2.33. Basınç regülatörü.....	55
4.1. Kesme işleminde kullanılan su jeti tezgahı.....	61
4.2. Kesme işleminde kullanılan lazer tezgahı.....	63
4.3. Kesme işleminde kullanılan CNC oksijen ve plazma tezgahı.....	65
4.4. Kesme işleminde kullanılan tel erozyon tezgahı.....	68
4.5. HMV Shimadzu marka mikro sertlik cihazı.....	70
4.6. Numunelerin metalografik incelenmesinde kullanılan mikroskop fotoğrafı.....	71
4.7. Perthometer S8P tipi yüzey pürüzlülüğü cihazı.....	72
5.1. Kesme yöntemlerine bağlı olarak 5 mm kalınlığındaki Ç1030 malzemesinin mikro sertlik değişimi.....	78
5.2. Kesme yöntemlerine bağlı olarak 5 mm kalınlığındaki SS 304 malzemesinin mikro sertlik değişimi.....	79
5.3. Kesme yöntemlerine bağlı olarak 10 mm kalınlığındaki Ç1030 malzemesinin mikro sertlik değişimi.....	80

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.4. Kesme yöntemlerine bağlı olarak 10 mm kalınlığındaki SS 304 malzemesinin mikro sertlik değişimi.....	81
5.5. Lazer yöntemiyle kesilen 5 mm kalınlığındaki deney numunelerinin kesme hızına bağlı olarak elde edilen optik mikroskop görüntüleri.....	83
5.6. Lazer yöntemiyle kesilen 10 mm kalınlığındaki deney numunelerinin kesme hızına bağlı olarak elde edilen optik mikroskop görüntüleri.....	84
5.7. Plazma yöntemiyle kesilen 5 mm kalınlığındaki deney numunelerinin kesme hızına bağlı olarak elde edilen optik mikroskop görüntüleri.....	85
5.8. Plazma yöntemiyle kesilen 10 mm kalınlığındaki deney numunelerinin kesme hızına bağlı olarak elde edilen optik mikroskop görüntüleri.....	86
5.9. Oksi-gaz yöntemiyle kesilen 5 - 10 mm kalınlığındaki deney numunelerinin kesme hızına bağlı olarak elde edilen optik mikroskop görüntüleri.....	87
5.10. Su jeti yöntemiyle kesilen 5 mm kalınlığındaki deney numunelerinin Kesme hızına bağlı olarak elde edilen optik mikroskop görüntüleri.....	88
5.11. Su jeti yöntemiyle kesilen 10 mm kalınlığındaki deney numunelerinin kesme hızına bağlı olarak elde edilen optik mikroskop görüntüleri.....	89
5.12. Tel erozyon yöntemiyle kesilen 5 mm kalınlığındaki deney numunelerinin Kesme hızına bağlı olarak elde edilen optik mikroskop görüntüleri.....	90
5.13. Tel erozyon yöntemiyle kesilen 10 mm kalınlığındaki deney numunelerinin kesme hızına bağlı olarak elde edilen optik mikroskop görüntüleri.....	91
5.14. Kesme yöntemlerine bağlı olarak 5-10 mm kalınlığındaki Ç1030 ve SS 304 deney numunelerinin yüzey pürüzlülük değişimi.....	98

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Su jeti ve aşındırıcı su jeti ile işlenebilen malzemeler.....	8
2.2. Uygulanan basınç miktarına göre nozul malzemeleri seçimi.....	9
2.3. Nozul malzemelerinin sertlik değerleri.....	10
2.4. Aşındırıcı karıştırma tüpünün yaygın olarak yapıldığı malzemeler.....	16
2.5. Aşındırıcı malzemelerin sınıflandırılması.....	17
2.6. En çok kullanılan aşındırıcıların özellikleri.....	19
2.7. Lazer türlerinin karşılaştırılması.....	27
2.8. Tel çapı ve iş parçası kalınlığı arasındaki ilişki.....	37
2.9. Kesilecek iç bükey radyüs limitleri.....	38
2.10. Bakır telin karakteristikleri.....	38
2.11. Saf pirinç telin kopma mukavemetleri.....	39
2.12. Molibden telin karakteristikleri.....	40
2.13. Bazı elementlerin iyonlaşma potansiyelleri.....	44
2.14. Maksimum sıcaklık ve ısı transfer oranları.....	47
2.15. Yüksek akım plazma jet için gaz seçimi.....	48
2.16. Gazların hacim oranlarına göre alev ısısı ve türü.....	54
4.1. Deney malzemelerinin kimyasal kompozisyonu (Ağırlıkça %)......	60
4.2. Su jeti ile kesmede kullanılan deney malzemelerinin kodlamaları.....	62
4.3. Su jeti yöntemiyle kesme parametreleri.....	62
4.4. Lazer ile kesmede kullanılan deney malzemelerinin kodlamaları.....	64
4.5. Lazer yöntemiyle kesme parametreleri.....	64
4.6. Oksijen ile kesmede kullanılan deney malzemelerinin kodlamaları.....	66
4.7. Oksijen yöntemiyle kesme parametreleri.....	66
4.8. Plazma ile kesmede kullanılan deney malzemelerinin kodlamaları.....	66
4.9. Plazma yöntemiyle kesme parametreleri.....	67
4.10. Tel erozyon ile kesmede kullanılan deney malzemelerinin kodlamaları.....	69
4.11. Tel erozyon yöntemiyle kesme parametreleri.....	69
5.1. Lazer ile kesme yönteminde SS 304 ve Ç1030 deney numunelerinin yüzeyden merkeze doğru sertlik değerleri.....	74
5.2. Oksijen ile kesme yönteminde Ç1030 deney numunelerinin yüzeyden merkeze doğru sertlik değerleri.....	74

ÇİZELGELER DİZİNİ (Devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.3. Plazma ile kesme yönteminde SS 304 ve Ç1030 deney numunelerinin yüzeyden merkeze doğru sertlik değerleri.....	75
5.4. Su jeti ile kesme yönteminde SS 304 ve Ç1030 deney numunelerinin yüzeyden merkeze doğru sertlik değerleri.....	76
5.5. Tel erozyon ile kesme yönteminde SS 304 ve Ç1030 deney numunelerinin yüzeyden merkeze doğru sertlik değerleri.....	77
5.6. Farklı kesme yöntemlerinin kesilen numunelerin kesme kenarındaki metalurjik özellikleri üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi.....	92
5.7. Lazer ile kesme yönteminde SS 304 ve Ç1030 deney numunelerinin yüzey pürüzlülük değerleri.....	94
5.8. Plazma ile kesme yönteminde SS 304 ve Ç1030 deney numunelerinin yüzey pürüzlülük değerleri.....	95
5.9. Su Jeti ile kesme yönteminde SS 304 ve Ç1030 deney numunelerinin yüzey pürüzlülük değerleri.....	96
5.10. Tel Erozyon ile kesme yönteminde SS 304 ve Ç1030 deney numunelerinin yüzey pürüzlülük değerleri.....	97

1. GİRİŞ

İmalat teknolojisi, gelişen teknolojiye paralel bir gelişim göstermekte olup üretimde kalite ve ekonomi en çok aranan özelliklerdir. Bu amaçla, endüstrideki uygulayıcılar imalatta mümkün olan bütün seçenekleri kullanma çabası içine girmişlerdir. 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 taşlarını topraktan ayırmak, 1930'lu yıllarda ise, Amerikalı ve Sovyet mühendislerce özellikle madencilik sektöründe kömür, taş 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 aşamadan sonra, su jeli 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 ısıl gerilmeler oluşmamakta, dolayısıyla da gerilme giderme işlemine gerek duyulmamaktadır. Bilinen tüm malzemeler yüksek sıcaklık oluşmadan işlenebilmekte/kesilebilmektedir [1].

Üretimin hızlanması ve üretim akışında beklmeleri engellemek için ham malzemenin, üretim aşamasına geçiş süresinin kısa tutulması gerekir. Bu amaçla işlenecek parçaların hazırlanmasında alternatif metotların geliştirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Metal ve metal olmayan tüm malzemelerin üretime hazırlanmasında diğer yöntemlere göre daha hızlı olan plazma ve su altı plazma yöntemlerinin kullanımı artmaktadır. 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 oksii-asetilen ile kesme yöntemine alternatif bir yöntem olarak geliştirilmiştir. 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 ışınıyla kesme yönteminde elde edilen kesme kaliteleri ile rekabet etmektedir [2].

Teknolojinin hızla geliştiği günümüzde özellikle makine sanayinde tolerans sınırları daralmaya başlamıştır. Klasik tezgahlar hızla modernize olmakta ve her gün daha ileri bir teknoloji ile donatılmaktadır. CNC (Computer Numerical Control) teknolojisinin makine sektörüne yansımaları ile bilgisayarın tüm sektörü karakterize ettiği ve hassasiyet elde etmede bilgisayarlara olan ihtiyacın gittikçe arttığı görülmektedir. Özellikle kalıp sektöründe matrislerin ve zımbaların konvansiyonel tezgahlarda işlenmesi sırasında istenilen yüzey kalitesi elde edilememektedir. Bu durumun giderilmesi için yapılan uzun çalışmalar sonunda CNC teknolojisi, tel erozyon tezgahlarına uyarlanmıştır. Tel erozyon yöntemi ile türbin ve uçak kanatları gibi konfigürasyonları meydana getirmek mümkündür. Tel erozyon tezgahlarında çoklu başlıklar kullanılarak aynı anda çok sayıda özdeş parçalar işlenebilmektedir. Tel erozyon tezgahı seri imalat sisteminin elemanları olarak üretimde yer almaktadır [3].

Lazer ışını ile kesmenin prensibi, ışının kesilecek malzeme üzerine odaklanarak yüksek yoğunlukta enerji yardımıyla malzemenin ergime sıcaklığına kadar ısıtılması ve oluşan cürufaların uygun bir gaz ile kesme bölgesinden uzaklaştırılmasıdır. Kesme sırasında çoğunlukla oksijen gazı kullanılmaktadır. Kesme sırasında sıvı haldeki metal malzeme ile oksijen ekzotermik bir reaksiyona girerek kesme bölgesine ek bir enerji transferi sağlar ve böylelikle daha yüksek kesim hızlarına ulaşılır. Lazer ışını ile kesimin tipik özelliği, yüzeye dik olan düşük pürüzlülükte kesme kenarının elde edilmesi ve ısıdan etkilenen bölgenin çok dar olması sayesinde, çok az bir distorsiyon meydana gelmesidir. Bu nedenle, lazer kesimi sonrası elde edilen parçalar, ek bir işleme gerek olmadan hemen kullanılabilir. Yurtdışında özellikle otomotiv, havacılık, elektrik ve metal endüstrilerinde yaygın bir şekilde kullanılan lazer teknolojisinin kullanımı özellikle son yıllarda ülkemizde de yaygınlaşmaya başlamıştır. Daha çok kesme ve kaynak işlemlerinde kullanılan lazerin endüstride kullanılan türleri karbondioksit ve Nd:YAG lazeridir. Ülkemizde sadece bir adet Nd:YAG lazeri olmasına rağmen, son yıllarda özellikle karbondioksit lazeri sayısı ciddi bir biçimde artmıştır. Sadece 1998 yılında 22 adet karbondioksit lazeri kurulmuştur. Günümüz endüstrisinde lazer ışını daha çok kesme, kaynak ve kaplama işlemlerinde kullanılır. Bugün, lazerler endüstrinin hemen hemen tüm önemli sektörlerinde kullanılmaktadır. Bu sektörlerin başında, elektrik endüstrisi, otomotiv endüstrisi, havacılık endüstrisi ve metal endüstrisi gelmektedir [4].

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. Bu çalışmalarla paralellik arz edecek ve bu çalışmalara katkı sağlayacak şekilde, yaygın kullanılan endüstriyel mühendislik malzemelerinin aşındırıcı su jeti, tel erozyon, lazer, plazma ark ve oksigaz ile kesilmesinden, elde edilen kesme yüzeyindeki yüzey özellikleri değerlendirilmiştir.

Ayrıca aynı malzemeler aşındırıcı su jeti, tel erozyon, lazer, plazma ark ve oksigaz ile kesilerek, bu yöntemlerin karşılaştırmalı olarak; sertlik ve mikro yapı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Malzemeler; Ç 1030 Düşük Karbonlu İmalat Çeliği ve AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çelik [(γ) Dengeleyici 304 Paslanmaz Çelik] olarak seçilmiş ve bu malzemelerin başlangıç mikro yapıları ile farklı kesim yöntemleriyle kesildikten sonraki mikro yapıları karşılaştırılarak, kesme yöntemlerinin malzeme kesme özelliklerine etkileri araştırılmıştır [5].

2. ENDÜSTRİYEL KESME YÖNTEMLERİ

2.1 Su Jetiyle Kesme

Suyun aşındırma etkisi doğada milyonlarca yıldır bilinmektedir. Yeryüzündeki bir çok yer şekilleri bu etki ile oluşmuştur. Suyun bu gücünün yarattığı, doğa harikalarından en önemlisi “Grand Canyon” dur. Buzul çağıının buzulları çekilirken eriyen buz suları “Colorado Nehri”ni oluşturmuştur. Yıllar boyunca su kütlesi ve tabanındaki ufalanmış kaya kalıntıları, derin kaya oluşumlar, şeklinde bir nehir yatağının şekillenmesine sebep olmuştur. Bu gün modern imalat teknolojisi, Grand Canyon’u yaratan kuvvetten esinlenerek, küçük kat, parçacıklar ihtiva eden güçlü bir su jetini daha sert malzemeleri işlemek için kullanmaktadır [1].

İmalat teknolojisi, gelişen teknolojiye paralel bir gelişim göstermekte olup üretimde kalite ve ekonomi en çok aranan özelliklerdir. Bu amaçla, endüstrideki uygulayıcılar imalatla mümkün olan bütün seçenekleri kullanma çabası içine girmişlerdir. 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 [2].

Bu teknolojinin ilk uygulamaları, yaklaşık 100 yıl kadar önce çakıl taşlarını topraktan ayırmak, 1930’lu yıllarda ise, Amerikalı ve Sovyet mühendislerce özellikle madencilik sektöründe kömür, taş ve toprağı birbirinden ayırmak için kullanılmıştır. Altmışlı yılların sonunda, Amerika’da uçak imalatçısı bir firma cam katkılı plastik, katlı, kompozit ve hafif metallerin kesilmesinde, bu yöntemi endüstriyel anlamda kullanmaya başlamıştır. Bu aşamadan sonra, su jeli 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 ısıl gerilmeler oluşmamakta, dolayısıyla da gerilme giderme işlemine gerek duyulmamaktadır. Bilinen tüm malzemeler yüksek sıcaklık oluşmadan işlenebilmektedir.

İleri teknolojinin bir ürünü olan su jeti; en verimli kesme yöntemlerinden bindir. Hiç aşınmayan, döndüğü hiç belli olmayan, köşelerde hiç çapak bırakmayan kesme sırasında malzemeyi deformasyona uğratan kuvvetler oluşturmayan, sıcaklık etkisi olmayan böylelikle;

yapışa, bozulma, kararma, çarpılma, ergime, damlama oluşması ve yanma sorunları asla söz konusu olmayan bir kesici takım olan su, en karmaşık biçimleri dahi yüksek hassasiyet ve çok temiz yüzey özellikleri ile kesebilmektedir.

Lastik ve plastik ile kaplanmış çeliklerde ve katlı kompozit malzemelerde yanma ve ergime sıcaklıkları farklı olduğundan, su jeti sorunsuz kesim için kullanılabilir tek yöntemdir. Asbest, tuğla, plastik, deri, kumaş, kağıt, patlayıcı ve yanıcı maddeler vb. gibi kesme işlemleri sırasında, zehirli gazlar, toz, talaş veya kimyasal kirlilik oluşmaz. Kesme işlemi su ile sağlandığından gıda sektöründe ihtiyaç duyulan sağlık koşullarına tümüyle uygundur [3].

Geleneksel yöntemler kullanıldığında bu tür yeni malzemeler ya güçlükle işlenebilmekte, ya da hiç işlenememektedir. Bu durumda yeni imalat yöntemlerine ihtiyaç olmasına bir çözüm olarak, su jeti gündeme gelmektedir. Kesilecek malzemeye gerçek anlamda metal bir kesici dokunmadığından bu kesme tekniği tamamen yeni bir yöntemi temsil etmektedir.

Geleneksel kesme yöntemleri uygulandığında sorunlara yol açan titanyum ve benzer özelliklerdeki diğer metal alaşımlar, aşındırıcı su jeti ile çok daha kolay bir şekilde işlenebilmektedir. Kompozit malzeme kullanımının yaygınlaşması ve sandviç ağ tipi konstrüksiyonların kullanımı, mevcut kesme yöntemleriyle istenildiği gibi gerçekleştirilememektedir. Aşındırıcı su jeti, bu uygulamalar için sınırsız bir çözüm oluşturmaktadır [4]. Düşük maliyet ve yüksek kaliteyi esas alan imalat sanayii için su jeti teknolojisi;

- Günümüz imalat sanayinin de kullanılan yeni bir kesme yöntemidir.
- Geleneksel kesme yöntemlerinin ekonomik olmadığı durumlarda, geleneksel kesme yöntemlerine yedek bir yöntemden ziyade onların yerine onlara alternatif bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.
- Kesme sırasında ısının istenmediği uygulamalarda “Soğuk kesme yöntemi” olarak tercih edilmektedir.
- Çevre etkisi, kesme hızları ve işletme maliyetleri incelendiğinde, geleneksel yöntemlerinin yanısıra lazer, plazma vb. modern yöntemlere göre de en çok tercih edilen yöntem görünümündedir.
- Her türden ve her kalınlıkta malzemeyi yüksek performansta kesebilmeye ve otomasyona çok uygun bir işleme yöntemidir.

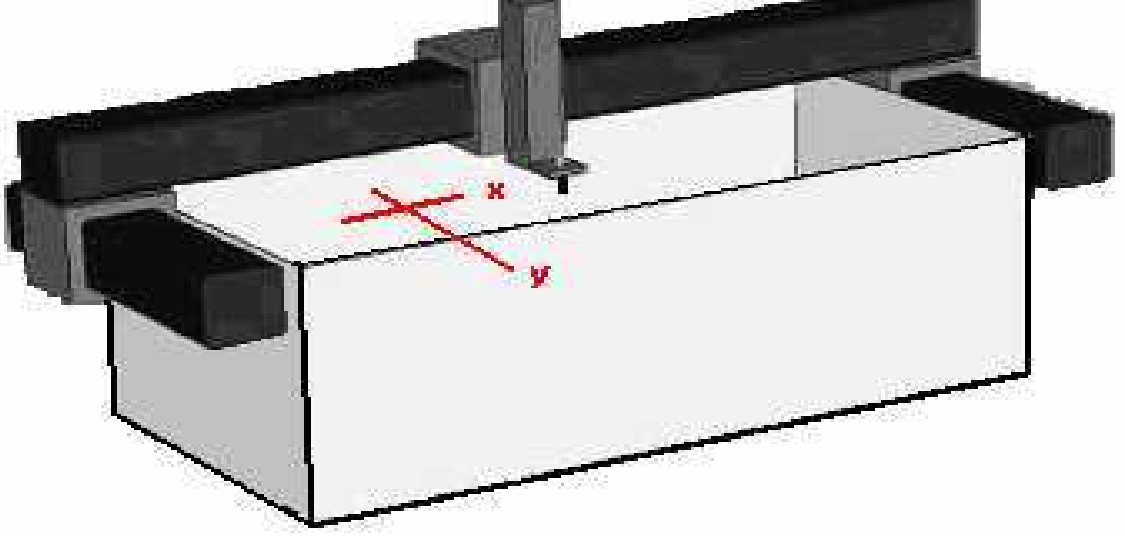
İşlemede kullanılan jet, bir sıvının (genellikle de suyun), 400 MPa veya daha yüksek

basınçlarda sıkıştırılması ve 0,1-0,6 mm arasında bir çapa sahip orifisten geçirilmesiyle elde edilmektedir. Gerekli orifis özelliklerine sahip nozullarda malzeme olarak safir, seramikler veya elmas gibi sert malzemeler kullanılmaktadır. Bununla birlikte elmas ve seramik son uygulamalarda giderek daha çok tercih edilen malzemeler olmuştur. Basınçlı sıvı içerisinde hapsedilen enerji suyun saniyede 1000 metre (1000 m/s) hız yapmasını sağlayacak kinetik enerjiye eşittir.

Basınçlı sıvıya yol verildiğinde, malzeme üzerinde hedeflenen kesme çizgisi boyunca sürekli olarak aynı basınçta gönderilen jet, bu çalışmada tartışılacak birkaç mekanizma sonucu, malzemenin aşındırılarak kesilmesi için yeterli olacaktır. 685 MPa (100.000 psi) basınçla çalışan saf su jetleri her ne kadar aşındırıcı su jetleriyle kesilen malzemeleri kesebilirlerse de bu işlemde, aynı kalitede sonuç alınamamaktadır. Pratik olarak saf su jetleri gözenekli veya yumuşak olarak karakterize edilen malzemelerin işlenmesinde kullanılmaktadır. Söz konusu işlemde gözeneklilik ve sertlik önemli parametrelerdir [2].

Cam, metaller ve seramikler gibi sert-yoğun malzemelerin başarıyla işlenebilmesi için aşındırıcı su jetlerine ihtiyaç vardır. Yukarıda değinilen malzemelerin çoğunun, diğer işleme yöntemleriyle şekillendirilmesi zordur. Ancak bu malzemelerin kesilmesinde, diğer kesme yöntemlerinin yerini gün geçtikçe aşındırıcı su jetleri almaktadır. Kesme işleminin gerçekleştirilebilmesi için kesme başlığının istenilen yönde hareket ettirilebilmesi gerekir. Uygulamada kullanılan ilk sistemler, şerit testereleler şeklinde tasarlanarak iş parçasına el ile kumanda edilmiştir. Daha sonraları nozul, hareketi önceden tanımlanan bir modele göre el ile sağlanan sistemler de geliştirilmiştir.

Modern uygulamalarda operatörler için oldukça yüksek emniyet ve güvenilirlik sağlayan robot veya X-Y hareketi sağlayan iş bağlama tablaları kullanılmaktadır. X-Y hareketi sağlayan iş bağlama tablaları Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Sistemler genellikle operatörü ses ve kesme bölgesinden sıçrayacak parçacıklardan koruyacak şekilde yalıtılmıştır. Sistemin yalıtılmasıyla kesme hattından ayrılan veya ilk kesmeye başlanma esnasındaki delme işleminde gelen parçacıklara karşı korunma sağlanmaktadır [5].



Şekil 2.1 X-Y hareketi sağlayan iş bağlama tablası.

Su jeti kullanan işlemlerin açıklanabilmesi için önce bu alanla ilgili terminolojinin bilinmesine ihtiyaç vardır. İçerisinde su jeti şekillenen aparat; orifis veya nozul olarak isimlendirilmektedir. Eğer sistem, aşındırıcı içeren su jeti kullanıyorsa bu durumda, aşındırıcı içeren su jetinin şekillendirilmesinde kullanılan aparat; aşındırıcı karıştırma tüpü, aşındırıcı nozulu, odaklama nozulu, konumlama nozulu veya ikincil nozul olarak isimlendirilir.

Su jeti ile kesme; saf su jeti (Water jet - Wj) ve aşındırıcı su jeti (Abrasive Water jet - AWJ) ile kesme olarak iki değişik yöntemle yapılmaktadır. Her iki yöntemde, oldukça yüksek hız kazandırılmış su jeti kullanılmaktadır. Ancak aşındırıcı su jeti ile işlemede, basınçlı suya küçük boyutlarda aşındırıcı parçacıklar ilave edilmektedir [5].

2.1.1 Saf su jetleri

Saf su jetleri, genellikle sabit basınç altında işlenebilen yumuşak malzemeler ile suyun ilettiği basıncın etkisiyle yapısında mikro düzeyde kırıklar meydana gelen gevrek malzemelerin işlenmesinde kullanılmaktadır. Çizelge 2.1.'de su jeti ve aşındırıcı su jeti ile işlenebilen malzemeler verilmiştir.

Çizelge 2.1 Su jeti ve aşındırıcı su jeti ile işlenebilen malzemeler.

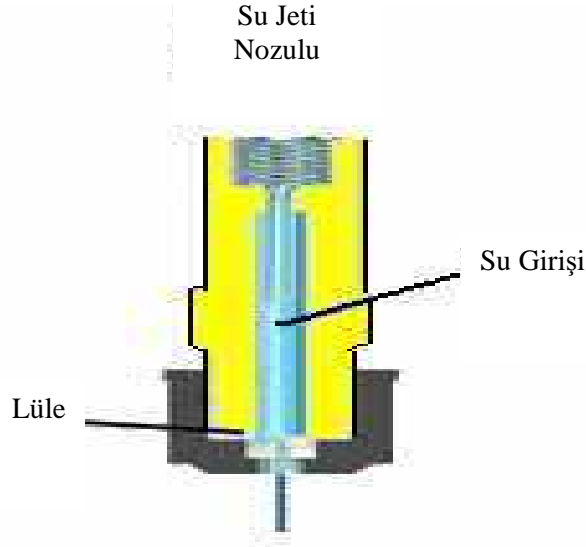
Su jeti ile işlenebilen malzemeler	Aşındırıcı su jeti ile işlenebilen malzemeler
Dondurulmuş gıdalar	Alüminyum
Halı	Bakır
İnce levha	Cam
İnce mum	Cam takviyeli poliüretan
Kağıt	Granit
Köpük	Karbon elyafı
Mantar	Kompozitler
Plastik malzemeler	Mermer
Sunta	Naylon
Yumuşak conta malzemesi	Paslanmaz çelik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

Su jeti ile kesmede önemli olan parametreler; sıvı kütle akışı ve çarpma hızı olarak belirlenmiştir. Söz konusu parametreler, pompa gücü ve nozul geometrisine bağlıdır. Kesilen malzemeye suyun temasının olumsuz etkilerinin olduğu durumda, örneğin hidrofilik plâstik malzemelerin kesilmesi işleminde, su yerine bitkisel yağ veya alkol gibi diğer kesme sıvıları kullanılabilir. Bu şekilde gerçekleştirilen kesme işlemini, sıvı jetle kesme olarak isimlendirmek daha uygundur [6].

Saf su jetlerinde kullanılan nozullar

Su jetiyle kesme işleminde en önemli fonksiyon, jeti oluşturan nozul geometrisidir. Nozul hidrolik güç kullanımını ve hidrolik sistemin bir üretim kaynağı olarak kullanılmasını belirler. Bunlara ek olarak, sistemde kullanılacak suyun, hem pompa ve su dağıtım borularına hem de nozula zarar vermemesi için saf su olması gerekmektedir. Bu sebeple, su sisteme

verilmeden önce, saf su ünitesinden geçirilerek içindeki sülfür, nitrat ve karbonat bileşikleri gibi impüritelerden arındırılmalıdır. Bu sistem aynı zamanda, suyu belli oranda yumuşatıp, pH değerini de 6,5 – 8 arasında değişen bir değere getirecektir. Şekil 2.2’de saf su jeti sistemlerinde kullanılan nozul gösterilmiştir [7].



Şekil 2.2 Saf su jeti sistemlerinde kullanılan nozul.

Nozul malzemeleri

Nozullar içerisinde yer alan parçacıkların çarpmalarına dayanabilmeleri için nozullar sert malzemelerden yapılır. Çizelge 2.2’de uygulanan basınca göre seçilebilecek nozul malzemeleri, Çizelge 2.3’de ise yaygın olarak kullanılan nozul malzemelerinin sertlik değerleri verilmiştir;

Çizelge 2.2 Uygulanan basınç miktarına göre nozul malzemeleri seçimi.

Nozul Malzemeleri	Basınç
Pirinç, Çelik	< 68 MPa
Tungsten, Karbür	68-170 MPa
Safir, Elmas	> 170 MPa

Çizelge 2.3 Nozul malzemelerinin sertlik değerleri.

Nozul Malzemeleri	Vickers Kg/(mm)²
Elmas	8000
Bor Karbür	2750
Silikon Karbür	2500
Titanvum Karbür	2450
Alüminyum Oksit	2100
Zirkonyum Karbür	2100
Tungsten Karbür	1900
Garnet	1350
Cuartz	800
Cam Tozu	500

Nozul tasarımında sert malzeme kullanılması durumunda, imalat giderleri de göz önünde tutulmalıdır. Kompleks, geometrilerde ekonomik olmayabilir [8].

Nozul ömrü

Bir su jetinin fiziksel ölçümü, jetin nozuldan ayrıldıktan sonra damlacıklara dönüştüğü mesafe esas alınarak yapılır. 50 mm'lik kesme mesafesinde jet zerrecikleri iyi bir yapışma özelliği gösterirler. Bununla birlikte genelde, nozul-malzeme yüzeyi arasında müsade edilen maksimum mesafe 50 mm'dir. Ancak uzun zincirli bir polimerin (polietilen oksit) ilavesi jet zerreciklerinin yapışma özelliğini arttırarak daha fazla kesme mesafelerinde çalışmasına olanak sağlar. Diğer taraftan ilave edilen polimerin yağlama etkisi, nozul ömrünü uzatır.

Kesme kalitesi üzerindeki en büyük etki, jetin kalitesidir. Nozul'un süreç içerisindeki durumunu görüntülemek için akustik sinyaller kullanılabilir. Uygulamalarda elmas nozullarının kullanılması, diğer malzemelerle yapılan nozulların çalışma ömürlerinin oldukça üzerinde çalışma ömrü sağlamaktadır [8].

Jet Oluşumu

400 MPa'dan daha fazla basınç uygulanmış suya, küçük bir orifisten yol verilmesi halinde, oldukça yüksek hıza sahip jetler elde edilebilmektedir. Tüp içerisindeki hızı, saniyede birkaç metre olan su, orifise ulaştığında oldukça yüksek bir ivmeyle dışarı akmaya zorlanır.

Sonuçta orifis çapına bağlı olarak, süpersonik hızlara sahip jetler elde edilir. Basıncı su orifise ulaştığında, sıvıdaki basıncın değerinde, atmosferik basınç düzeyine kadar bir düşüş meydana gelecektir.

Su jeti genellikle iç yapısını görsel olarak incelememize olanak tanımaz. Suyun orifisi terk etmesiyle, jet merkezinden yüzeylere doğru basınçta kademeli bir düşüş görülür. Jetin boyuna kesitinde basınç dağılımına bakıldığında, kenarlardan jet merkezine doğru hızlı bir basınç artışı söz konusudur. Jetin orifisi terk etmesiyle basınç profili değişir. Jetin dış kısmındaki katman, kendisini çevreleyen hava nedeniyle yavaşlar. Bu katman, sırasıyla merkeze doğru giden komşu katmanları da yavaşlatır. Böylece çana benzer bir basınç profili meydana gelecektir [9].

2.1.2 Aşındırıcılı su jetleri

Bu yöntemde sert veya sünek malzemelerin kesilmesi için su jetine aşındırıcı eklenmesi bir zorunluluktur. Aşındırıcı yüklü su jetlerinin geliştirilmesi, su jeti teknolojisinde bir yenilik olarak kabul edilmektedir. Bu jetlerin geliştirilmesiyle, bir çok yeni malzeme kesilebilir hâle gelmiştir. Saf su jetiyle aşındırıcılı su jeti arasındaki temel fark, su jetinin kullanım amacından kaynaklanmaktadır. Saf su jetinde kesme aracı olarak kullanılan sadece sudur. Aşındırıcılı su jetinde ise su; taşınan parçacıkların hızını arttıran güç aracı olarak kullanılmaktadır. Aşındırıcı su jeti üretmek için kullanılan donanım, saf su jeti için kullanılan donanımla hemen-hemen aynıdır. İlave olarak orifisten hemen sonra bir aşındırıcı karıştırma odası monte edilmektedir. Odaya alınan aşındırıcı, suyla temas geçerek ikinci bir nozuldan geçirilir ve yeniden odaklaştırılarak karıştırma tüpüne, oradan da iş parçasına yönlendirilir. Bu yüzden aşındırıcılı su jetiyle saf su jeti arasındaki temel farklılıklar; aşındırıcılı su jeti sisteminde fazladan bir karıştırma odasının, ikinci bir nozulun ve aşındırıcı besleme mekanizmasının olmasıdır.

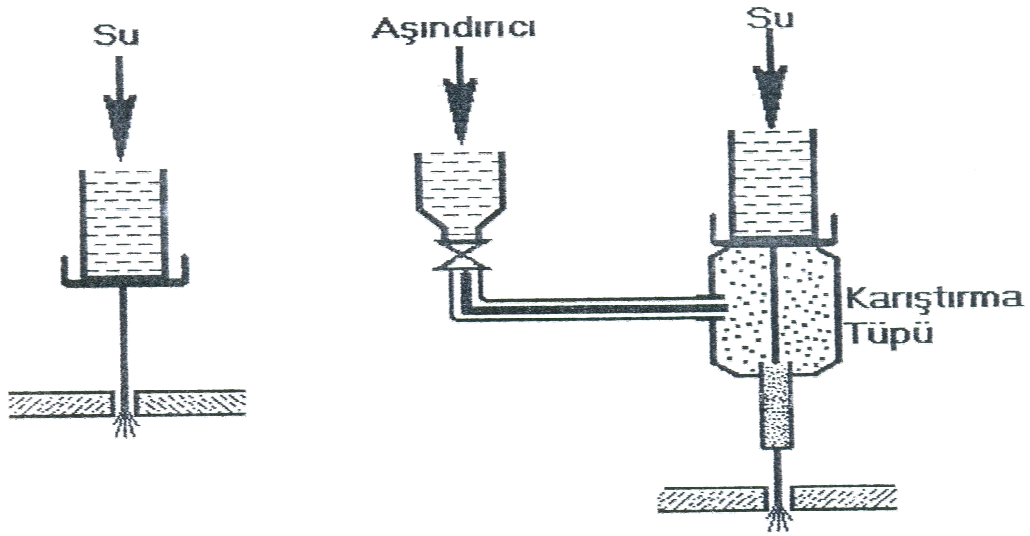
Kesilerek işlenmesi düşünülen malzeme, alışılmış kesme teknikleriyle kesilemiyor ise veya kesmede problemlerle karşılaşmıyorsa, söz konusu malzemeler aşındırıcılı su jetleriyle ekonomik olarak işlenebilir. Aşındırıcılı su jetleri, saf su jetlerini sağladığı basınç etkisiyle kuru aşındırıcı kesme işleminin sağladığı erozyon etkisini birleştirir. Yüzeylerdeki istenilmeyen birikintilerin uzaklaştırılması işlemi ve temizleme uygulamalarında, gaz etkili akım kullanılmasıyla jete katı parçacıklarla daha fazla hız kazandırılması oldukça iyi sonuç vermektedir.

Aşındırıcılı su jeti ile kesme tekniği; daha seri malzemelerin kesme işleminde kullanılır.

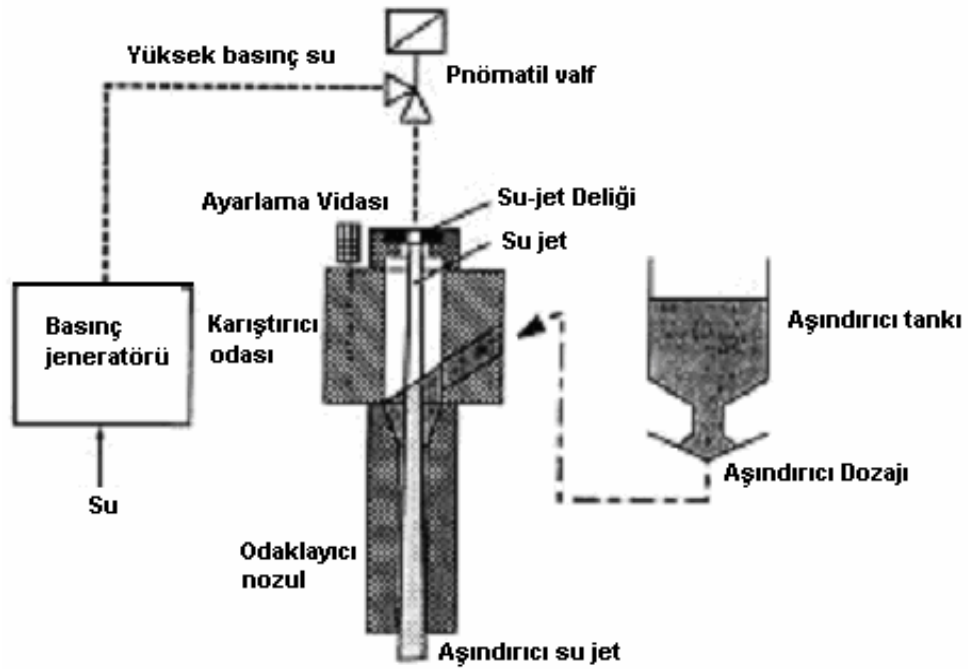
Bu kesme işleminde, bir pompa düzeneği yardımıyla su basıncı yine 400 MPa'a kadar yükseltilir ve yüksek basınçlı su kesme başlığına taşınır. Kesme başlığında yüksek basınç su akışı, bir orifis içerisinden karıştırma odasına odaklanır. Bu odada, önceden dozajlanmış belli miktardaki aşındırıcı parçacıkları odaklanmış su akışına eklenir. Karıştırma odasından ayrılıştta 0,75-1,2 mm arasındaki safir uçtan geçirilen karışım iş parçasına odaklanır ve bunun sonucu aşınma ve kırılmalar meydana gelerek istenen işlem gerçekleştirilir.

Aşındırıcı su jetiyle işleme yönteminin çok fazla parametre içermesi nedeniyle bu parametrelerin optimizasyonu önemli olmaktadır. Bu optimizasyonun erişebilmesi için; donanım kapasitesi, işleme parametreleri ve çeşitli fiziksel olgular gibi pek çok faktörün dikkate alınması gerekmektedir. Bütün bu özellikleri sebebi ile AWJ yönteminin daha iyi anlaşılması daha etkin ve verimli kullanılması pek çok bilimsel araştırmaya konu olmuştur. Çok sayıdaki parametrenin etkilerinin henüz tam olarak anlaşılammış olması sebebiyle. AWJ ile işleme akademik anlamda en çok çalışılan konuların başında yer almaktadır [1].

Su jetiyle kesme işlemi yoğun bir parça sıvı polimerinin filtre edilmiş çeşme suyu ile karıştırılması ile başlar. Uzun zincirli polimerler su jetinin ayrılmasını önler. Bir sıvının çok yüksek basınçla sıkıştırılarak herhangi bir malzeme üzerine yönlendirilmesiyle, enerji dönüşümü için uygun durum sağlanmış olur. Basınçlı sıvı jetinin gönderildiği noktada meydana gelen enerji dönüşümü, temas noktasında malzemenin kırılmasına neden olur. Söz konusu kırılma veya aşınma, birkaç mekanizmanın bir araya gelmesiyle gerçekleşir. Kesme kuvveti; hidrostatik enerjinin, malzemenin aşınmasını sağlayacak kadar kinetik enerjiye sahip bir jete dönüşmesiyle elde edilir. Su jetiyle yapılan kesme işlemi iki farklı şekilde gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.3'de su jetleriyle kesme yöntemleri, Şekil 2.4'de ise su jeti ile kesme sisteminin temel donanımı şematik olarak gösterilmiştir. Her iki işlemde hidrolik güç ile tahrik edilen basınçlı sıvı, kesme başlığına gönderilmekte ve çok yüksek hız kazandırılmış su huzmesi kullanılmaktadır. Ancak aşındırıcı su jeti işleminde, basınçlı suya küçük boyutlarda aşındırıcı ilâve edilmektedir [10]. Aşındırıcı su jetlerindeki en önemli problem, jetin durdurulmasındaki güçlüktür. Sistemde, kesilen malzemenin geçen jetin, diğer malzemelere veya donanıma zarar vermemesi için bir kolektör ünitesine gereksinim duyulur [11,12].



Şekil 2.3 Su jeti ile kesme yöntemleri.



Şekil 2.4 Aşındırıcı su jeti tekniğinin basit bir şeması.

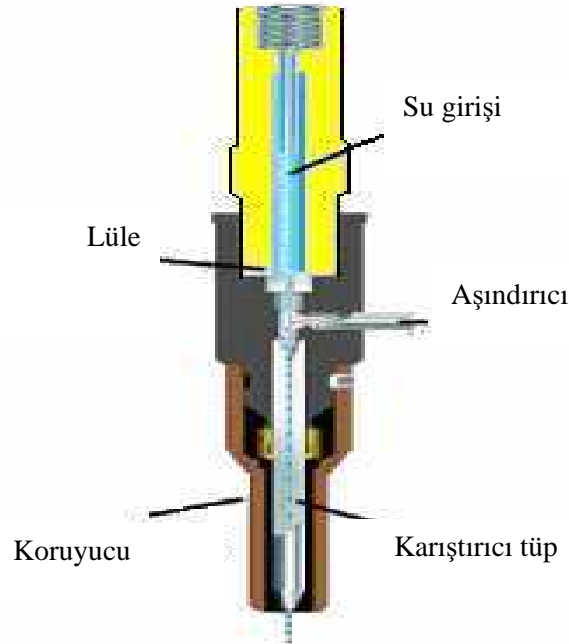
Aşındırıcılı su jeti başlığı

Aşındırıcı kesme başlığı; açma-kapama valfi, jet şekillendirme alanı, esas nozul aşındırıcı karıştırma odası ve odaklama nozulundan meydana gelir. Şekil 2.5’de aşındırıcılı su

jeti kesme başlığı olarak verilmiştir. Kesme başlığında yer alan parçaların tasarımı, jet içerisine alınan aşındırıcıların verimini ve bunlara aktarabilecek kinetik enerjinin miktarını belirler. Günümüzde kullanımda olan aşındırıcı yükleme sistemleri, su jetindeki kinetik enerjinin ancak %10'unu aşındırıcı parçacıklara aktarabilmektedir.

Doğru karışım koşullarını sağlayabilmesinin yanı sıra, tasarımda göz önünde bulundurulacak kriter, jetin karıştırma nozulundan minimum enerjiyle geçmesinin ve karıştırma tüpündeki aşınmanın azaltılabilmesi için, nozulların birbirine göre olan konumlarının ayarlanabilir olması gerekir. Buna ilâveten kesme başlığı dar alanlara ulaşabilmesi için boyut olabildiğince küçük, manipüle edilebilir ve gelecek aşırı dinamik yüklerin oluşmasını engellemek için hafif olmalıdır [13].

Şekil 2.5 Aşındırıcı su jeti nozulu



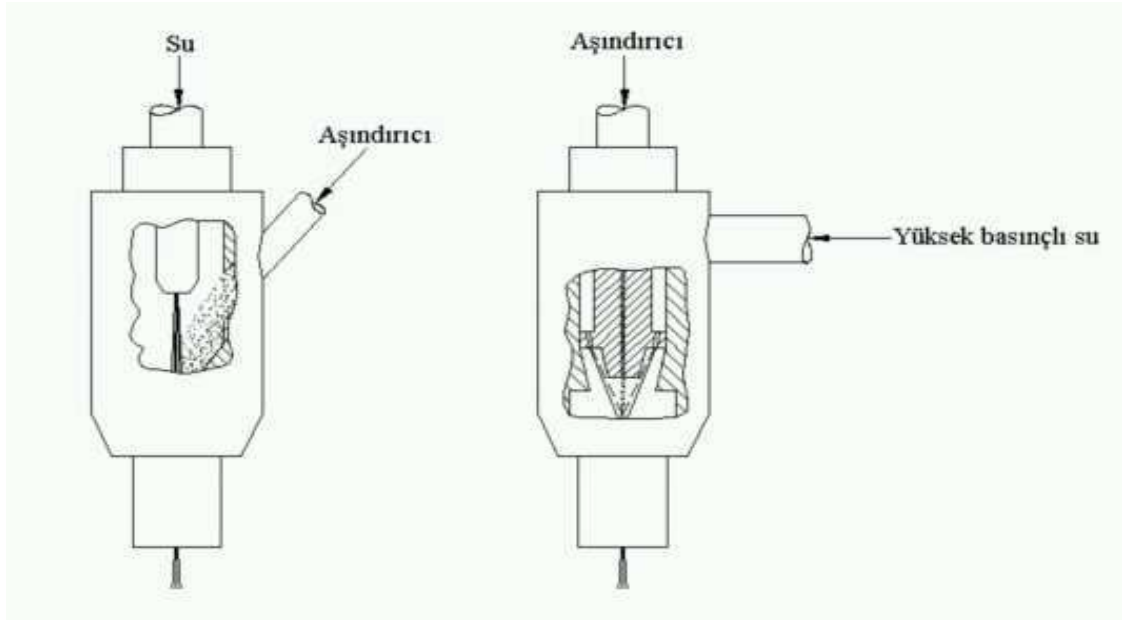
Şekil 2.5 Tipik aşındırıcılı su jeti kesme başlığı tasarımı.

Aşındırıcı karıştırma odası

Aşındırıcılı su jeti üretmedeki temel işlem, oldukça küçük boyutlardaki aşındırıcıların, yüksek hıza sahip su jeti bünyesine katılmasıdır. Aşındırıcıların su jetiyle bulunduğu nokta;

“karıştırma odası” veya “enjeksiyon odası” olarak adlandırılmaktadır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanları, yan taraftan veya doğrudan aşındırıcı enjeksiyonu sağlayan odalardır. Şekil 2.6’da yan taraftan ve doğrudan aşındırıcı enjeksiyonu sağlayan odalar şematik olarak gösterilmiştir.

Bununla birlikte, birinci nozul tarafından üretilen yüksek hızlı su akımına aşındırıcı ve havanın karışmasıyla oluşan çok fazlı akış işlemi hakkında henüz çok az bilgiye ulaşılabilmektedir. Bunun temel nedenlerinden birisi de karıştırma odasında meydana gelen koşulların, çok fazlı akış işlemi için bir algılayıcının yerleştirilebilmesine imkan tanımamasıdır.



Şekil 2.6 Yanardan ve doğrudan aşındırıcı enjeksiyon.

Geleneksel bir aşındırıcı su jeti sisteminde, su genellikle 380 MPa basıncın üzerindeki basınçlarla pompalanarak, safir bir nozuldaki geçirilerek sisteme 1000 m/s nin üzerinde hız kazandırılır.

Aşındırıcılı su jeti, karıştırma tüpü kanalından büyük bir hızla geçerken karıştırma odasında etkili bir hava emişine (vakkuma) neden olur. Vakkum nedeniyle karıştırma odasına, yaklaşık olarak 0,3-3 m³/h kadar hava alınır. İçeriye havanın emilişinin kolaylaştırılması ye jetin kesme başlığında oluşturacağı aşınmaların azaltılması için jetin odaklanması işlemi çok iyi yapılmış olmalıdır. İçeriye alınan hava beraberinde, boyutları 150-250 mikron arasında olan aşındırıcı parçacıklarını da karıştırma odasına taşır (0,2-0,7 kg/min). Taşınan aşındırıcı

karıştırma tüpü içerisinde jetle birleşerek jete dahil olur [14,15].

Aşındırıcı karıştırma tüpü

Aşındırıcı karıştırma tüpü tasarımında göz önünde bulundurulacak kriterler; tüpün jeti odaklayabilmesi, sıkıştırması ve enerji kaybının minimum düzeyde olmasıdır. Aşındırıcı karıştırma tüpünün yapıldığı malzemeler Çizelge 2.4’de verilmiştir [15].

Çizelge 2.4 Aşındırıcı karıştırma tüpünün yaygın olarak yapıldığı malzemeler.

Karıştırma Tüpü Malzemeleri	
Malzemenin Adı	Kodu
Bor Karbür	-
α - Silikon Karbür	-
Tungsten Karbür	C2
Tungsten Karbür	C4
Tungsten Karbür	(Kennametal 70)
Silikon Nitrit (Silisyumnitrit)	SNW 7000
Zirkonyum	Z20
Alüminyum Oksit	A47955
Alüminyum Oksit	AD998

Odaklama işlemi, yüksek hıza ulaşan jetin geride oluşturduğu çekim kuvveti ve parçacıkların birbirine çarpmasıyla, parçacık esasına dayanır. Diğer bir odaklama etkisi de tüp duvarının elâstikliği ve sürtünmeden dolayı oluşan enerji kaybı nedeniyle ortaya çıkar. Bu enerji kayıplarına bağlı olarak karıştırma odasının duvarına belirli bir açıda çarpan parçacıkların, daha küçük bir açıyla geri dönecektir. Bütün bu mekanizmaların sonucu jeti oluşturan zerrecikler, karıştırma kanalı boyunca birbirine giderek daha iyi yapışır. Seçilen karıştırma tüpünün aşındırıcılı su jeti işlemini etkileyen parametreleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Karıştırma tüpünün uzunluğu
- Karıştırma tüpü çapı
- Karıştırma tüpü toplam geometrisi
- Karıştırma tüpü malzemesi.

Bu parametrelerin tamamı, kesme parametreleri bölümünde detaylı olarak açıklanmıştır.

Nozul malzemesi olarak kullanılan ilk malzeme tungsten karbür ve yapıştırıcı olarak kobaltın kullanıldığı bir alaşımdan ibarettir. Bu şekilde oluşturulmuş sistemde aşındırıcı olarak garnet kullanılması durumunda sistemin nozul ömrünün 1 saat, ve aşındırıcı olarak Al_2O_3 kullanılması durumunda nozul ömrünün 5 dakika sürdüğü tespit edilmiştir [15].

Son zamanlarda geliştirilen karıştırma tüpleri sayesinde, nozul ömrü çarpıcı şekilde uzamıştır. Bu kompozit karbür karıştırma tüpleri, 1989'dan beri ticari olarak bulunabilmektedir. Ulaşılan ömür, aşındırıcı olarak garnet kullanılması ile 160 saat; alüminyum veya silikon karbür aşındırıcıların kullanılması durumunda 1 saattir.

Karıştırma tüpünde kullanılan sementit karbürler, aşındırıcıların erozyonu etkisiyle büyük oranda aşınır. Nozul ömrünün uzamasında, yapıştırıcı olarak kullanılan kobalt yerine, metal olmayan, aşındırıcı parçacıklarının aşındırma etkisine dayanıklı Mo_2C (%6) kullanılması etkili olmuştur. Oldukça küçük boyutlu tungsten karbürler, özel bir seramik birleştirme yöntemine tabi tutularak, yüksek aşınma dayanımı ve yüksek sertliğe ulaşır. Söz konusu yöntem, tungsten karbür tozlarının sıcak izostatik presleme yöntemiyle yoğunluğu artırılarak gözeneklerin yok edilmesi esasına dayanır [16].

Aşındırıcılar

Doğal aşındırıcılar genelde nehir yataklarından veya kum kalıntılarından elde edilmektedir. Bu aşındırıcılar, uzun süre devam eden erozyon etkisiyle şekil almışlardır. Aşındırıcılar bazı sert kaya türleri içerisinde de bulunabilir. Bu tür mineraller parçalandıktan sonra öğütülmek suretiyle keskin köşeli düzensiz şekilli parçacıklara dönüşür. Bu yüzden farklı şekilde elde edilmiş garnet ($Fe_3Al_2(SiO_4)_3$) aşındırıcılar farklı kesme performansları gösterirler. Aşındırıcı malzemelerin sınıflandırması Çizelge 2.5'de, aşındırıcıların konulduğu tüp ise Şekil 2.7'de verilmiştir [17].

Çizelge 2.5 Aşındırıcı malzemelerin sınıflandırılması.

OKSİT	SİLİKAT	
	GARNET	DİĞER SİLİKATLAR
Magnetide	Almandine	Zirkone
Limenide	Spessartine	Topas
Korundum	Porype	Olivin
Rutil	Grossularite	Starlet
Kuarz	Andradite	



Şekil 2.7 Aşındırıcıların konulduğu tüp.

Yaygın olarak kullanılan, daha ucuz ancak daha yumuşak bir aşındırıcı malzemesi de olivindir ($(Mg, Fe)_2 SiO_4$). Bu aşındırıcılar, aşındırıcı jetle kesme işleminde daha düşük kesme performansı göstermektedirler. Ancak üretimde kârlılık açısından, aşındırıcı maliyetinin yüksek üretim oranının önüne geçmesi durumunda tercih edilen aşındırıcı malzemesidir. Alüminyum oksit (Al_2O_3) veya silisyum karbür (SiC) elektro-füzyon olarak isimlendirilen üretim metoduyla suni olarak üretilmektedir. Oldukça sert, keskin ve yüksek aşındırma kabiliyetine sahip olan bu malzemeler, kesme işleminde oldukça yüksek verimlilik sağlamaktadırlar. Tek dezavantajları ise yüksek kesme etkisi nedeniyle karıştırma tüplerinin çalışma ömürlerini çok kısaltmaları ve maliyetlerinin yüksek olmasıdır. En çok kullanılan aşındırıcıların özellikleri Çizelge 2.6'da gösterilmiştir [18].

Aşındırıcılı su jeti kesme yöntemi için kullanılan bir aşındırıcı malzemenin seçiminde aşağıdaki önemli parametreler göz önünde bulundurulur [9]:

- Aşındırıcı malzemenin yapısı
- Aşındırıcı malzemenin sertliği
- Aşındırıcının mekanik davranışı
- Tane şekli

- Tane ölçü dağılımı
- Ortalama tane ölçüsü

Aşındırıcı eklentilerinde kaydedilen son gelişme, suda çözünebilir aşındırıcıların geliştirilmesidir. Bu aşındırıcılar, diğer aşındırıcılarla kıyaslandığında daha temiz bir kesme ortamı sağlar. Suda çözünür aşındırıcılar, kesme noktasına çarptıklarında küçük parçacıklara ayrılarak su akımıyla kolayca çözünür. Sulu aşındırıcılar önceden su veya diğer sıvılarla karıştırılır. Bu metot oldukça küçük boyutlarda [220 Mesh (0,065 mm)] aşındırıcı gerektiren uygulamalarda tercih edilir. Bununla birlikte taşıyıcı sudaki kütle artışı, su jetiyle aşındırıcı karışımındaki verimi düşürür. Dolayısıyla daha yüksek oranda pompalama gerektirdiğinden, ihtiyaç duyulan güç artacaktır [18].

Çizelge 2.6 En çok kullanılan aşındırıcıların özellikleri.

Barton Gamet (Fe₃Al₂SiO₄)₃)		
Kimyasal bileşim		
Silisyumdioksit	(SiO ₂)	%041. 34
Ferro oksit	(FeO)	%09. 72
Demir oksit	(Fe ₂ O ₃)	%012. 55
Alüminyum oksit	(Al ₂ O ₃)	%020. 36
Kalsiyum oksit	(CaO)	%002. 97
Magnezyum oksit	(MgO)	%012. 35
Mangan oksit	(MnO)	%000. 85
Sertlik: 8 ila 9 Mohs		
Olivin 24 (Mg₂SiO₄)		
Silisyumdioksit	(SiO ₂)	% 42-43
Ferro oksit + Demir oksit	(FeO + Fe ₂ O ₃)	%8
Alüminyum oksit	(Al ₂ O ₃)	% 1
Kalsiyum oksit	(CaO)	%0. 5
Magnezyum oksit	(MgO)	% 47-48
Serbest kuartz		%0
Sertlik: 8 ila 9 Mohs		
SİLİKAT-CÜRUF Al/Cu		
Sertlik: 6 ila 7 Mohs		

Hızlandırma ve karıştırma işlemi

Su jetiyle aşındırıcı parçacıklar arasındaki momentum transferi kompleks bir olaydır. İşlemdaki aktif mekanizmadan birisi, yüksek basınçlı su jetinin sınırlı dinamik kararlılığıdır. Parçacıkların üzerindeki su fazının sebep olduğu hidrodinamik çekme kuvvetleri, ikinci bir mekanizmayı ortaya çıkarır. Bu mekanizmaların bir sonucu olarak yüksek hıza sahip su damlaları, aşındırıcı parçacıklarına hız kazandırarak etkin birer kesme aracı olmalarını sağlar [11].

Aşındırıcılı su jetleriyle kesme işlemi

Aşındırıcı jetin kesme performansı; geometrik, hidrolik, aşındırıcı ve kesilen malzemelerin parametrelerinin etkili olduğu, kompleks bir optimizasyona bağlıdır. Bu parametrelerden kesme derinliği, jetin oluşturduğu erozyon, kesilme bölgesinde oluşan kısmi gerilimlerdeki ani değişimin neden olduğu malzeme deformasyonları ile kesilen malzemelerin özelliklerine bağlı olarak ortaya çıkan mikro kesilme etkilerine bağlıdır.

Birçok araştırmacı, aşındırıcılı su jetiyle kesme işleminde meydana gelen kesme mekanizmalarının periyodik olarak tekrar ettiği görüşünde birleşmektedirler. Sistemi tanımlayan ve yaygın olarak kabul edilen tanımlama “Hashish” tarafından, deneysel olarak jet yardımıyla pleksiglas kesildikten sonra yapılmıştır. Yapılan deneyde, kesme işlemi yüksek hızlı film kamerasıyla kaydedilerek kesme işleminde meydana gelen safhalar görsel olarak izlenebilir hale gelmiştir. Jet nüfuziyetinin bir çevrimi, jetin kesme hattı üzerinde yaklaşık olarak jet çapı kadar işlenmesiyle tamamlanır. Jetle kesme başlangıcında, jetin iş parçası kenarına ilk temasıyla parçada erozyon ve kanal oluşumu başlar [19].

Elde edilen kesme kalitesi; yüzey pürüzlülüğü, tolerans kontrolü, düzlemsellik, diklik gibi özelliklerin ölçülmesiyle belirlenebilir. Farklı malzemelerin kesilmesinde elde edilen yüzeylerin genel makro-morfolojik özelliklerinde büyük farklılık yoktur. Örneğin camın kesilmesiyle elde edilen yüzey; metal, seramik ve kompozitlerle aynıdır. Jet esasına (akışa) dayalı kesme işlemlerinin hepsinde elde edilen yüzeyler paralel hatlar şeklindedir. Ancak yüzey mikro düzeyde incelendiğinde, her bir yöntemde etkin olan kesme mekanizması farklı olduğundan, yüzeyin mikro özellikleri birbirinden farklılık gösterir. Aşındırıcılı su jetiyle işlenen yüzeyin özellikleri aşağıdaki gibidir. Yüzeyde termal etkiler veya ısıdan etkilenmiş bölge yoktur [20]:

- Çapaklanma ve malzeme gevrekse kırılma yok denecek kadar azdır.
- Yüzeyde önemsiz sayılabilecek bir sertleşme mümkündür,

- Oldukça küçük yüzeyli pullanma olabilir,
- Kesik genişliği jet çapına bağlı olarak daraltılabilir,

Elde edilen yüzeyin kalitesi, kesme uzunluğunun her bir birimi için harcanan gücün artırılmasıyla geliştirilebilir. Sıvı basıncının artırılması jet ilerleme hızının düşürülmesi ve daha büyük bir birinci nozul seçilmesiyle daha kaliteli yüzey elde edilir. Aşındırıcı parçacık şekli ve büyüklüğü gibi aşındırıcı özellikleri de önemli faktörlerdir. Kesme kanalının genişliği ise karıştırma tüpü nozulu ve jet ilerleme hızı ile kontrol edilir [21].

2.2 Lazer

Mühendislik açısından incelendiğinde; lazer, primer bir kaynaktan (elektrik, termik, optik veya nükleer) çıkan enerjiyi özel frekansta bir elektromanyetik ışına dönüştüren bir enerji dönüştürme cihazıdır [22]. Bu dönüşüm; belirli katı, sıvı veya gaz ortamlarla sağlanır. Bu ortamlar moleküler veya atomal ölçekte belirli tekniklerle uyarıldığında tek frekansta bir ışık formu (lazer ışını) oluşur [23].

“Lazer” sözcüğü, İngilizce light amplification by stimulated emission of radiation (uyarılmış ışınım yayımıyla ışık yükseltilmesi) sözcüklerinin baş harflerinden oluşturulmuştur [22].

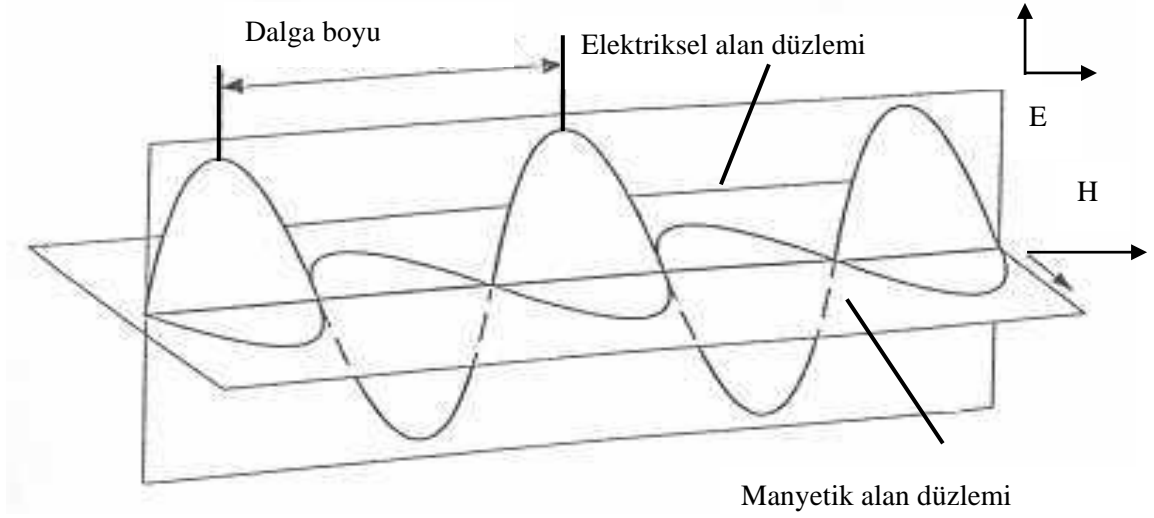
2.2.1 Lazer ışını elde edilmesi

Atomlar ve moleküller alçak ve yüksek enerji düzeylerinde bulunabilirler. Alçak enerji düzeyinde bulunanları, genellikle ısı etkisiyle uyararak daha yüksek düzeylere geçirmek olanaklıdır; yüksek düzeylere geçen atomlar ve moleküller daha alçak bir düzeye geri dönerken ışık salarlar.

Adi ışık kaynaklarında, uyarılmış durumdaki çok sayıda atom ve molekül birbirlerinden bağımsız olarak ve birçok değişik renkte (bir başka deyişle, dalga boyunda) ışık yayarlar. Fakat bir atomun uyarılmış durumda bulunduğu kısa zaman aralığında üzerine belirli bir dalga boyunda ışık düşürülecek olursa, atom kendisini uyanan bu dalga ile aynı fazda ışınım salar. Bu ışınım, böylece uyanan dalgaya eklenmiş ve onu güçlendirmiş olur [4].

Normal ışık

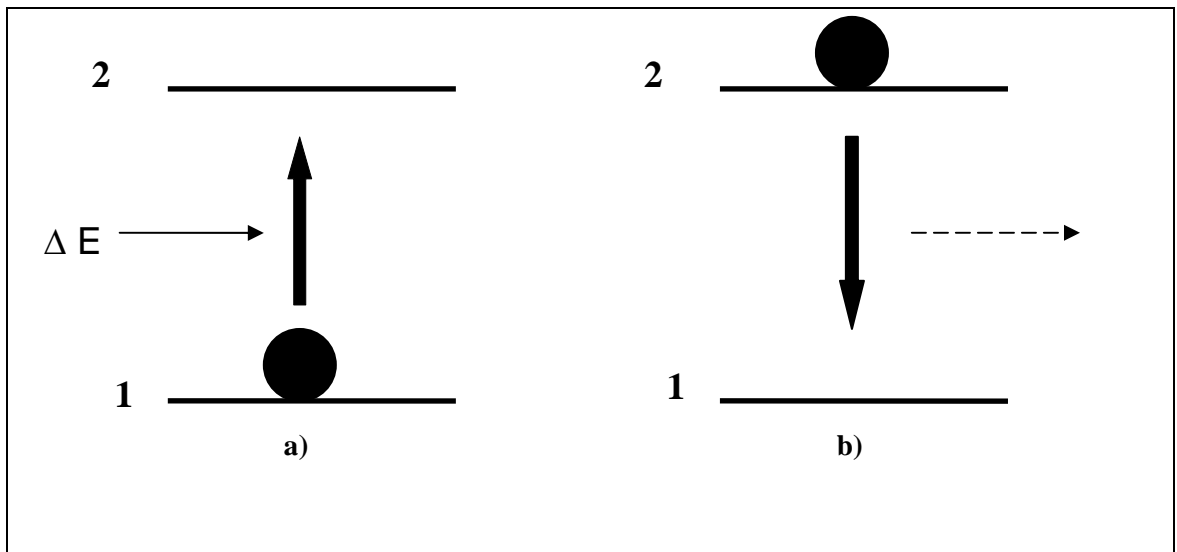
Doğal ışık: Işık $c = 3 \times 10^8$ m/s hız ile yayılan elektromanyetik dalgalardır. Bu dalgalar, elektriksel ve buna dik olan manyetik alanlardan oluşur. Şekil 2.8’de doğal ışığın elektriksel ve manyetik alanları gösterilmiştir. Doğal ışıkta; elektrik ve manyetik alan vektörleri statik olarak değişmektedir. Bu tip ışıklara; polarize olmamış ışık denir [22].



Şekil 2.8 Doğal ışığın elektriksel ve manyetik alanları.

Sabit emisyon

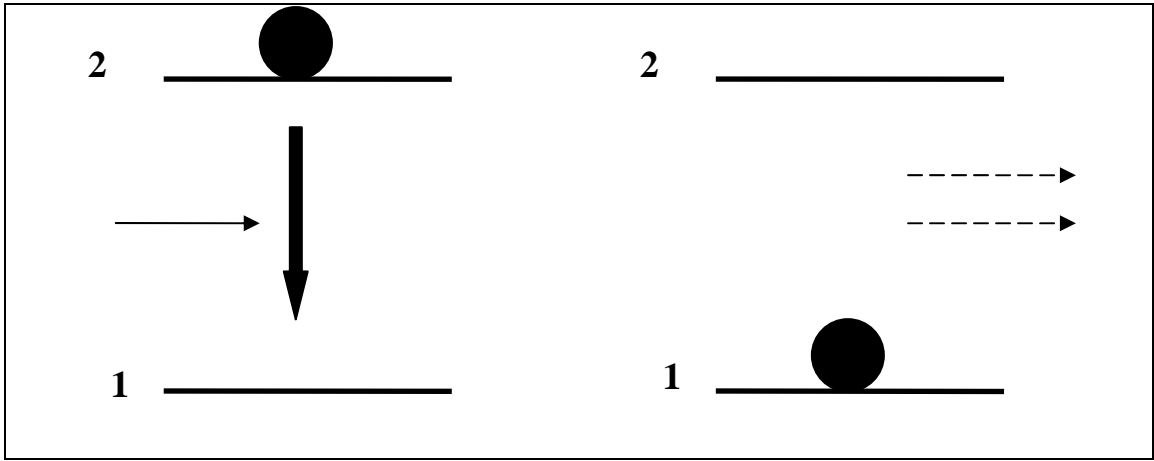
Özellikle cıvalı gaz boşaltım lambalarında görülen bu tip ışın oluşturma sistemlerinde; cıva atmosferinde elektriksel gaz boşaltımı oluşturulur. Diğer bir ifadeyle elektron ve iyon haline getirilmiş atomlardan bir akım oluşturulur. Çarpışmanın etkisiyle elektronlar; cıva atomlarını uyarırlar. Enerji kazanan atomlar daha sonra eski enerji seviyelerine geri dönerler ve açığa çıkan enerji ışık olarak yayılır. Bu tip ışık oluşturma sistemine sabit emisyon denir [22]. Şekil 2.9'da sabit emisyon yöntemi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.9 Sabit emisyon.

Zorlanmış (endüklenmiş) emisyon

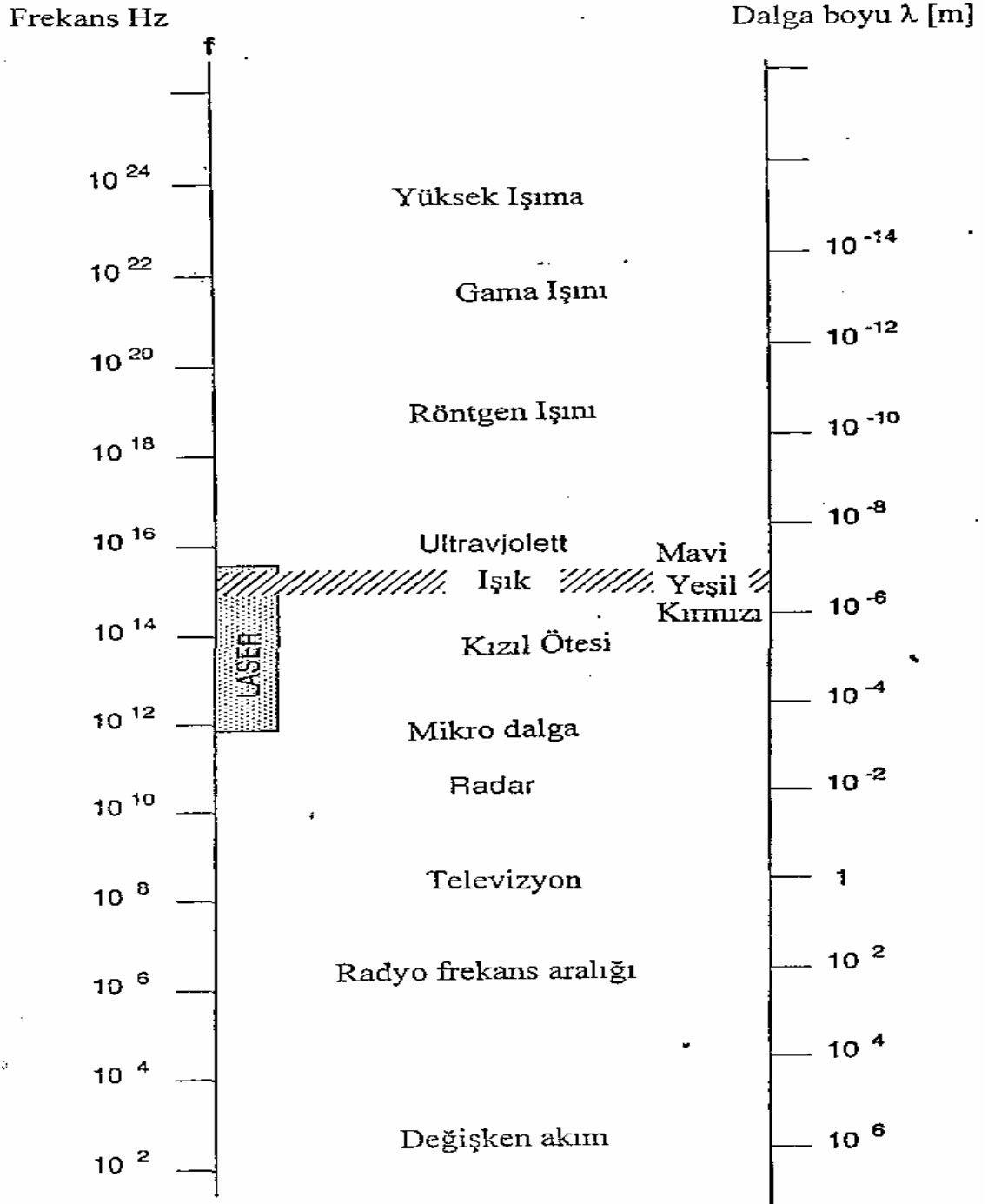
Diğer bir ışın oluşturma sistemi endüklenmiş (zorlanmış) emisyonudur. Elektron tarafından uyarılan atom, temel enerji seviyesine dönerken açığa çıkan ışın ile çarpışıp, ani bir şekilde temel enerji seviyesine döndürülür ve açığa çıkan enerjiyi de bünyesine alır ve kendisini uyarayan bu dalga ile aynı fazda ışınım salar. Bu ışınım, böylece uyarayan dalgaya eklenmiş ve onu güçlendirmiş olur; eğer bu olgu yeterince yoğun bir biçimde gerçekleştirilirse sonuçta çok güçlü ve tümüyle eş fazlı bir ışık demeti elde edilir [22]. Şekil 2.10'da endüklenmiş emisyon şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.10 Endüklenmiş emisyon.

Farklı ışınların dalga boyları ve frekansları

Lazer, normal ışık ve diğer ışınların dalga boylan ve frekansları Şekil 2.11'de gösterilmektedir [4].



Şekil 2.11 Işınların dalga boyları ve frekansları.

2.2.2 Lazer ışınının üstünlükleri

Lazer ışını, konvansiyonel ışık kaynaklarından (floresan lamba, gaz boşaltım lambaları, wolfram lamba vs.) elde edilen ışıklardan hem nicelik, hem de nitelik bakımından farklıdır. Bunun nedeni ise, lazer ışınının elde edilme yönteminin diğer ışınların elde edilme yöntemlerinden farklı olmasıdır [22].

Lazer ışınının odaklanabilme özelliği sayesinde, 10 W/cm^2 arasında bir değerde yüksek yoğunlukta bir enerji sağlanabilir ve bu özelliği sayesinde malzeme, tutuşma, ergime veya buharlaşma sıcaklığına kadar ısıtılır ve ilave bir kesme gazı sayesinde oluşan çürüfler kesme hattından uzaklaştırılır [24].

Diğer termik kesme yöntemleriyle karşılaştırıldığında özellikle ince saçlardaki kesme yüzeyi kalitesi çok iyidir. Lazer ışını ile kesilen saçlarda kesme yüzeyine bitişik ısıdan etkilenen bölgenin çok dar olması sayesinde çok az bir distorsiyon oluşur. Bu sayede çok daha dar toleranslara sahip yapı elemanlarının üretimi mümkündür. Genel olarak lazer ışınıyla kesilmiş parçalar, sonradan bir ek işleme gerek kalmadan, kesimden hemen sonra kullanılabilir [22]. Lazer ışınının, endüstriyel alanda kullanımını sağlayan en önemli özellikleri aşağıda sıralanmıştır;

- Kontrolü ve otomasyonu kolaydır,
- İşleme sırasında parçaya temas yoktur,
- Takım aşınması yoktur,
- İşleme noktasında lokal enerji yoğunluğu oluşturulduğundan malzemeye ısı geçişi azdır,
- Yüksek proses hızlarına ulaşılabilir,
- Çok sert, gevrek veya sünek malzemeler işlenebilir,
- Çok farklı geometrilerin takım değiştirmeden işlenmesi mümkün kılınmaktadır,
- Düşük yayılma özelliği,
- Çok küçük çaplara odaklanabilme özelliği bulunmaktadır.

2.2.3 Lazer tipleri

Endüstriyel alanda kullanılan lazerler, gaz ve katı hal lazerleri olmak üzere başlıca iki tiptedir. Gaz lazerlerinden endüstride en yaygın biçimde kullanımı karbondioksit lazeridir. Diğer gaz lazeri ise endüstride nadiren kullanılan Excimer lazeridir. Endüstride kullanılan katı hal lazeri ise Nd:YAG lazeridir [4].

CO₂ lazeri

CO₂ lazeri, endüstriyel uygulamada en yüksek çıkış gücüne sahip bir moleküler gaz lazeri sistemidir. Elektrotlar arasına bir gerilim uygulanmasıyla düşük basınçlı bir gaz boşalımı tutuşturulur ve elektron darbeleri aracılığıyla inversiyon gerçekleştirilir. İversiyon oluşumu için karbondioksit gazına ek olarak azot ve helyum da gereklidir. Elektron darbeleri aracılığıyla karbondioksitin uyarılması için iki yol mevcuttur:

- Karbondioksit moleküllerinin üst lazer seviyesine doğrudan uyarılmasıyla,
- Azot ve karbondioksit molekülleri arasında ikinci türden darbelerle yapılır.

İkinci uyarma mekanizması daha yaygındır. Azotun uzun ömür süresi sayesinde, azot moleküllerinin çok yüksek konsantrasyonunun, enerji bakımından karbondioksitin üst lazer seviyesine benzeyen belirli bir duruma ulaştırılması mümkündür. Her iki molekülün darbelenmesiyle, bir enerji transferi oluşur.

Lazer işlemindeki üçüncü gaz olan helyum'un görevi, darbe boşalması sırasında alt lazer seviyesini hızla boşaltmak ve yüksek ısı iletkenliğiyle gaz karışımını soğutarak alt seviyenin termik bir yüklemeye maruz kalmasını engellemektir [25].

Nd:YAG lazeri

YAG; Yttrium-Aluminyum-Granat'ın kısaltılmış şeklidir. Bu lazer türünde lazer yayan eleman Neodim'dir. Tipik verim halinde, kristalin %1'i iyon haline geçer. Bir gaza göre, katı bir cismin atomları çok daha yoğun şekilde dizildiklerinden, birim hacimde daha çok atom bulundurlar. Bu nedenle katı cisim lazerinin amplifikasyonu ve çıkış yoğunluğu daha yüksektir. Neodim'in uyarılması, yüksek güçlü ark lambalarının ışığıyla yapılır. Nd:YAG kristali ışığa maruz bırakılırsa, neodim bu ışığı absorbe ederek uyarılmış hale gelir. Bu uyarma seviyesinde geçen süre çok kısadır ve iyon, hızla üst lazer seviyesinin biraz üzerine çıkar. Bu sırada serbest kalan enerji, ısı enerjisi olarak kristale geçer [4].

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 µm – 0,34 µm arasında değişir [22].

2.2.4 Lazer sistemlerinin karşılaştırılması

Endüstriyel uygulamalarda kullanılan lazer sistemlerinin karşılaştırılması Çizelge 2.7'de

verilmiştir.

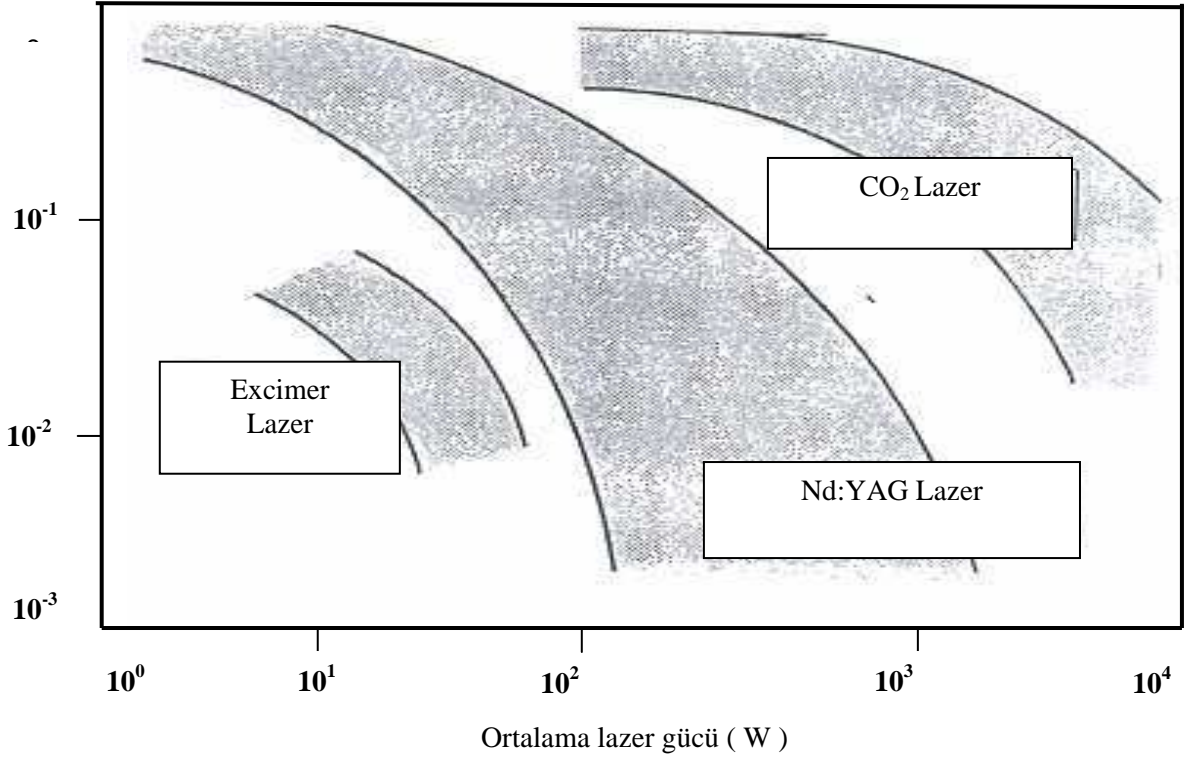
CO₂ lazeri ile karşılaştırıldığında, YAG lazerinin darbe gücünün daha fazla olması ve dalga boyunun küçük olmasından dolayı, YAG lazeri daha çok, ısı iletkenliği fazla olan malzemelerin mikro işleme yöntemlerinde kullanılır.

Şekil 2.12’de her üç lazer tipinin ışın kalitesinin karşılaştırması bulunmaktadır. Çizelge 2.7’den ve Şekil 2.12’den de anlaşılacağı üzere aynı K ve aynı mercekle YAG lazerinin odak çapının karbondioksit lazerinin 1/10’u ve Excimer lazerinin de 1/30’u olduğu görülmektedir. “K” kalite sayısı; artan çıkış enerjisine paralel olarak düşmektedir. K=1 olduğu durumlarda, çıkış enerjisi oldukça düşüktür.

Küçük dalga boyuna sahip lazerler; daha küçük odaklama yarıçapına ve daha yüksek kesme boyuna sahiptirler. Aynı çıkış gücünde, dalga boyu avantajının düşük ışın kalitesi ile kompanse edildiği görülmektedir [4].

Çizelge 2.7 Lazer türlerinin karşılaştırılması.

Lazer Çeşitleri	CO ₂ Lazeri	Nd:YAG Lazeri	Excimer Lazeri
Dalga boyu	10,6	1,06	0,3-0,2
Tahrik tekniği	Düşük basınçlı gaz boşaltımı	Ark lambası	Yüksek basınçlı gaz boşaltımı
Çalışma şekli CW (Sürekli). P (darbeli)	CW/P	P/CW	P
Maksimum güç Pav (kW)	25	2	0.4
Darbe gücü (kW)	10 kW’a kadar	100 kW’a kadar	30000 kW’akadar
Işın kalitesi	Maksimum	Düşük	Düşük
Verimlilik (%)	5-10	2-5	1-2
Fiyat (x1000 DM)	250(Pav=1kW)	400 (Pav=1 kW)	350 (Pav=0.2kW)
Kullanım yerleri	Termik prosesler Makro işleme	Termik prosesler Mikro işleme	Mikro alanda termik olmayan işlerde



Şekil 2.12 Lazer gücüne göre farklı lazer türlerinin k katsayısının karşılaştırılması.

2.2.5 Malzemelerin lazer ışımıyla işleme prensipleri

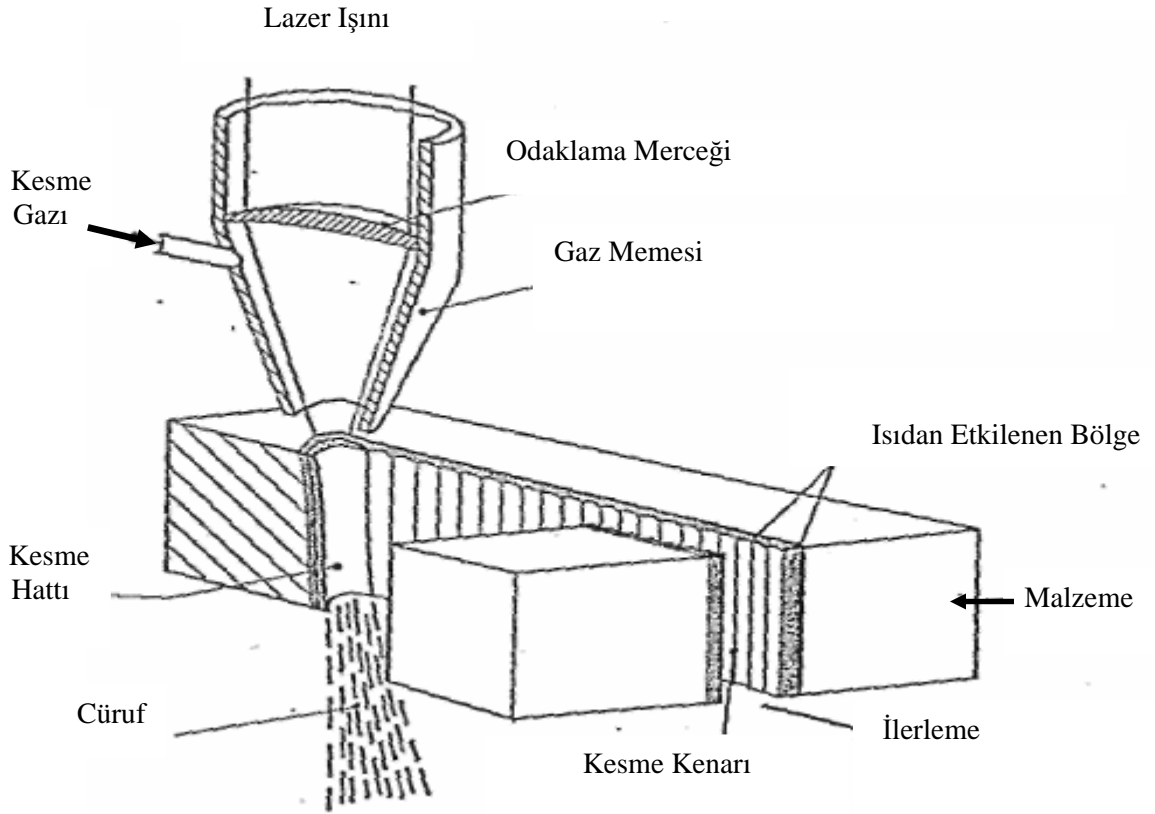
Bugün, lazerler endüstrinin hemen hemen tüm önemli sektörlerinde kullanılmaktadır. Bu sektörlerin başında, elektrik endüstrisi, otomotiv endüstrisi, havacılık endüstrisi ve metal endüstrisi gelmektedir.

Konvansiyonel proses metotları ile karşılaştırıldığında teknik ve ekonomik açıdan birçok üstünlükleri olan lazerin endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılan iki tipi mevcuttur: Karbondioksit (CO₂) ve Nd:YAG lazeri. Günümüz endüstrisinde lazer ışını daha çok kesme, kaynak ve kaplama işlemlerinde kullanılır [25].

Lazer ışını ile kesmenin prensibi, ışının kesilecek malzeme üzerine odaklanarak, yüksek yoğunlukta enerji yardımıyla malzemenin ergime sıcaklığına kadar ısıtılması ve oluşan cürufların uygun bir gaz ile kesme bölgesinden uzaklaştırılmasıdır. Şekil 2.13'de lazer ışını ile kesme prensibi gösterilmiştir.

Kesme sırasında çoğunlukla oksijen gazı kullanılmaktadır. Kesme sırasında sıvı haldeki metal malzeme ile oksijen ekzotermik bir reaksiyona girerek kesme bölgesine ek bir enerji transferi sağlanır ve böylelikle daha yüksek kesim hızlarına ulaşılır.

Lazer ışını ile kesimin tipik özelliği, yüzeye dik olan düşük pürüzlülükte kesme kenarının elde edilmesi ve ısıdan etkilenen bölgenin çok dar olması sayesinde, çok az bir distorsiyon meydana gelmesidir. Bu nedenle, lazer kesimi sonrası elde edilen parçalar, ek bir işleme gerek olmadan hemen kullanılabilir [4].



Şekil 2.13 Lazer ışını ile kesmenin prensibi.

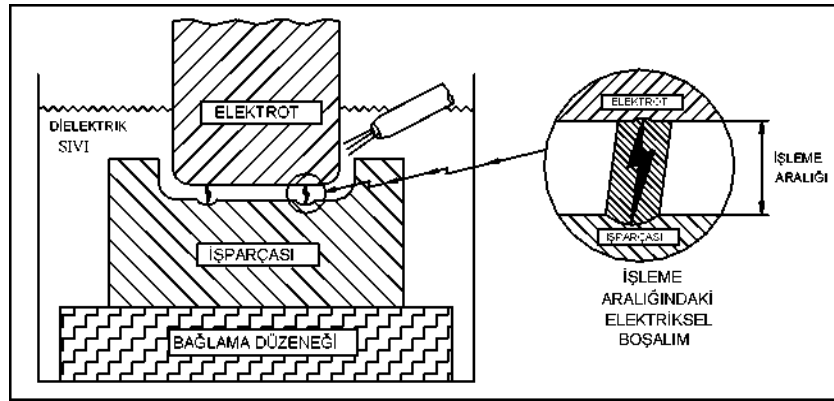
2.3 Tel Erozyon

İşlenilmesi güç metallerin kullanılmasındaki artış ve klasik kesme yöntemlerinin bu metalleri işlemede 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 imkan tanımıştır. Ayrıca Tel

Erozyon hassas metal kesmede, ardışık, bileşik ve çok istasyonlu metal kesme kalıplarının imalinde, hassas profilli çekme (ekstrüzyon) kalıpları, plastik hacim kalıpları, karmaşık şekilli maçalar, bükme kalıpları ve zimbaların işlenmesindeki faydalarından dolayı son yıllarda iletken malzemelerin işlenmesinde inanılmaz derecede yer almaya başlamıştır [26].

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 2.14’de 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 [27].

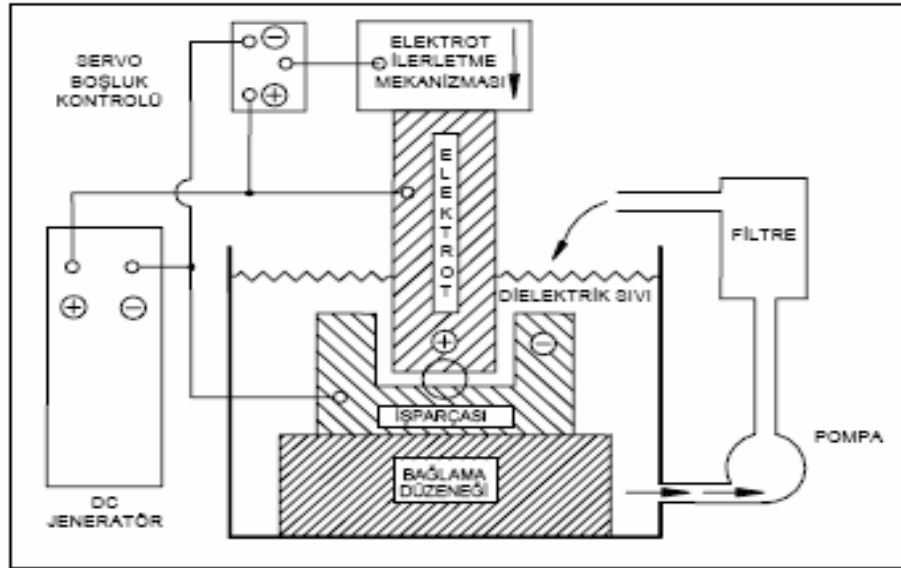
Tel Erozyon bir tür elektrik boşaltma sistemidir. Tel Erozyon işleminde, CNC ile kontrol edilen XY tablasına yerleştirilmiş olan malzeme, elektrot olarak işlev gören ve sürekli yüklü olan ince bir tel ile kesilir. İş parçası ile elektrot arasında oluşan kıvılcım her iki taraftan bir miktar malzeme koparır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



Şekil 2.14 Tel Erozyon yönteminin şematik görünüşü.

Tel Erozyon tezgahının 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 2.15’de Tel Erozyon tezgahının 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 tezgahları üretilmeye başlandı. 1980'li yılların başında yerli firmalar da bu tezgahı üreterek iç piyasanın ihtiyacını karşılamaya başladılar. İmalat sanayinde daha çok kullanılır hale gelen, Tel Erozyon ve elektro erozyon tezgahları özellikle kalıp imalatçılarının vazgeçilmez bir tezgahı durumundadır. İşleme için işlenecek geometrinin tele aktarılmasına ihtiyaç vardır. Tezgah bu telin negatifini iş parçasına işler. Tel Erozyon tezgahında, kontrollü elektrik boşalmaları ile talaş kaldırılır. Her bir boşalım iş parçası üzerinde küçük bir krater meydana getirir [28].



Şekil 2.15 Tel Erozyon tezgahının ana kısımları.

Klasik tezgahların aksine bu teknikle sertleştirilmiş parçalar kolaylıkla işlenebilir. Tel Erozyon tezgahının önemli bir avantajı da iş parçası ve elektrot arasında kesme kuvvetinin olmamasıdır. Tel Erozyon tezgahının en önemli sınırlaması, diğer tezgahlara 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 [26].

Tel Erozyon'da tel ve iş 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 iş parçası arasına gerilim uygulanarak tel iş parçasına özel bir servo mekanizma tarafından yaklaştırılır. Tel ile iş parçası arasında en yakın

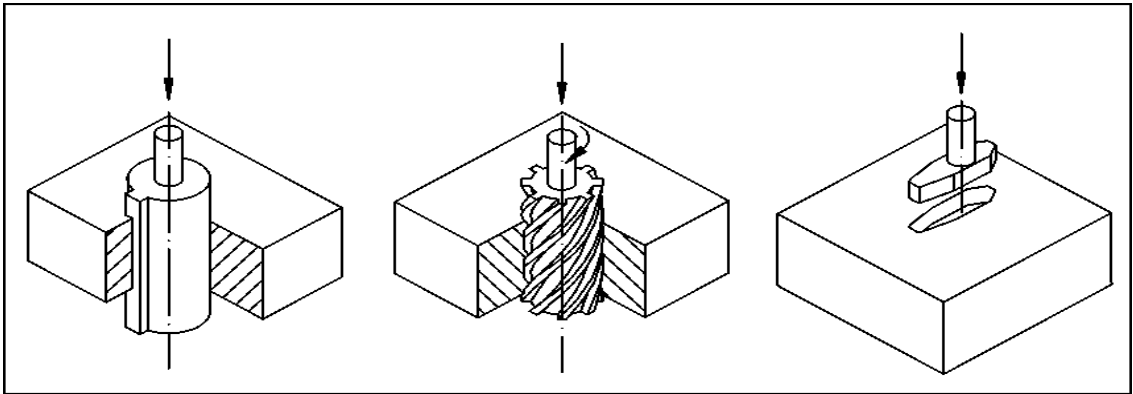
olan noktada dielektrik elektrik direnci kırılır ve dielektrik sıvı iyonlaşır. Buradan akım geçişi başlar. Dielektrik sıvının varlığı boşalımı dar bir alana hapseder. Noktasal olarak yüksek bir akım geçişi (1-5 milyon A/cm²) ve iyon bombardımanı ile iş parçası ve tel üzerinde yüksek sıcaklık oluşur. 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 boşalımının oluşması ve dar alana hapsedilmesi için gerekli ortamı oluşturduğu gibi, koparılan taneciklerin ortamdan uzaklaştırılması ve açığa çıkan yüksek ısının süpürülmesini de sağlar. Eğer tel ve iş parçası birbirlerine değerse kısa devre olur ve erozyon işlemi gerçekleşmez [29].

2.3.1 Tel Erozyon ile işleme tipleri

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

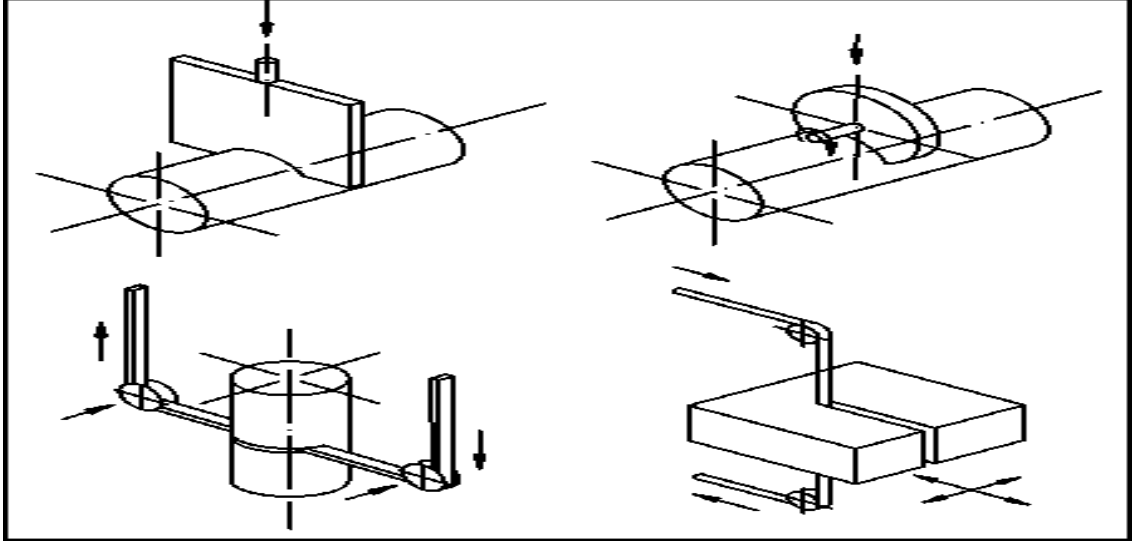
- Tel Erozyon ile delme ve oyma
- Tel Erozyon ile kesme

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 2.16'da Tel Erozyon ile delme ve oyma yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 2.16 Tel Erozyon ile delme ve oyma yöntemi.

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 2.17’de Tel Erozyon ile kesme yöntemi gösterilmiştir [26].



Şekil 2.17 Tel Erozyon ile kesme yöntemi.

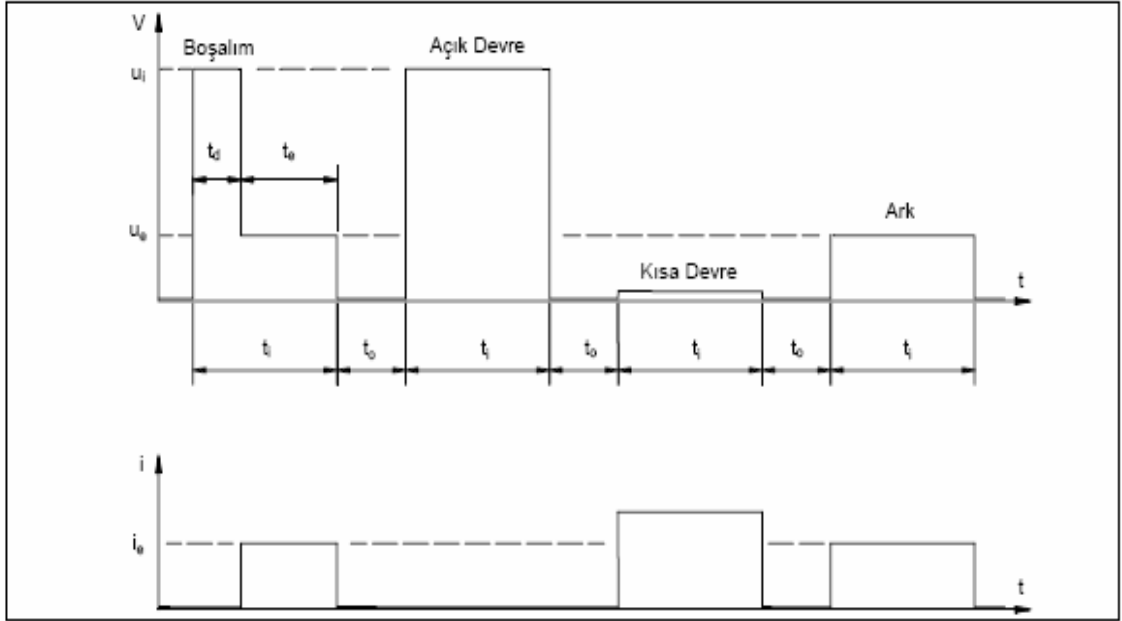
2.3.2 Tel Erozyon ile işlemenin temel parametreleri

Tel Erozyonla işlemenin çok parametreliliği olduğu düşünüldüğünde, işleme parametreleri ile işleme performansı arasındaki ilişkilerin bilinmesi gerekir. Tel Erozyon ile işlemenin temel parametreleri aşağıda verilmiştir [26]:

1. Elektriksel parametreler,
2. Vurum jeneratörü karakteristikleri,
3. Dielektrik sıvı parametreleri,
4. Arzu edilen tel seçimi ve tipleridir.

Elektriksel parametreler

İşleme aralığındaki boşalım işleminin tipik gerilim ve akım değişimleri $u(t)$ ve $i(t)$ tarafından karakterize edilirler. Tipik gerilim ve akım değişimleri Şekil 2.18’de gerilim kontrollü bir vurum jeneratörü gösterilmiştir [30].



Şekil 2.18 Vurum jeneratöründe vurumların gerilim ve akım dalga biçimleri.

Vurum jeneratörü karakteristikleri

Tel Erozyon ile işlemenin elektriksel parametreleri aşağıda verilmiştir [31];

- Boşalım süresi (t_e): Ateşleme sonrası işleme aralığı boyunca oluşan boşalımın süresi.
- Gecikme süresi (t_d): Ateşleme öncesinde dielektrik sıvının iyonlaşma (elektrik iletkenleşme) süresi.
- Vurum süresi (t_i): İşleme aralığına gerilimin ilk uygulanması anı ile boşalımın bitiş anı arasındaki toplam süre.
- Bekleme süresi (t_o): İki vurum arasında vurum jeneratörü tarafından bırakılan ara süresi.
- Vurum çevrim süresi (t_p): Jeneratör tarafından uygulanan vurum ve bekleme süresinin toplamı.
- Vurum frekansı (f_p): Jeneratör tarafından elektrotlar arasına birim zamanda uygulanan gerilim vurumlarının sayısı.
- Açık devre gerilimi (u_i): Akım boşalımı olmadığı anda işleme aralığında görülen gerilim.
- Boşalım gerilimi (u_e): Boşalımın devam ettiği sürece ölçülen gerilim.
- Boşalım akımı (i_e): Boşalım süresince işleme aralığından geçen akım.
- Boşalım gücü (P_e): Bir boşalım süresince uygulanan güç.

- Vurum enerjisi (W_e): Boşalım süresince işleme aralığına uygulanan enerji
- Ortalama çalışma gerilimi (U): İşleme süresince işleme aralığında ölçülen gerilimin aritmetik ortalaması.
- Ortalama çalışma akımı (I): İşleme süresi boyunca işleme aralığından geçen akımın aritmetik ortalaması.

Dielektrik sıvı parametreleri

Tel Erozyon ile işlemede kullanılan dielektrik sıvının görevleri aşağıda sıralanmıştır;

- Fiziksel olarak dielektrik sıvı elektrotlar üzerinde toplanan yükü belirli bir süre tutar. Bu süre işleme aralığı şartları ile belirlenir. İşleme aralığı şartları uygun olduğunda dielektrik sıvı elektrik akımının çok küçük bir dirençle artmasına izin verir.
- Dielektrik sıvı, boşalımı dar bir kanalda tutar. Böylece elektrot yüzeyi üzerindeki güç yoğunluğu ve işleme hızı artar.
- Boşalım esnasında açığa çıkan ısı hemen atılmalıdır. Çünkü bu ısı erozyona katkıda bulunmaz. Aksine elektrot ve iş parçası yüzeyleri üzerinde zarara sebep olur. Dielektrik sıvı ısıyı yüzeylerden boşalım biter bitmez uzaklaştırır.
- Boşalım sonrası işleme aralığında oluşan işleme atıkları dielektrik sıvı ile işleme aralığından uzaklaştırılır. Bu işlem kısa devreleri ve elektrot aşınmasını önleme açısından çok önemlidir [26].

Tel Erozyon ile işlemede dielektrik sıvıya ait özellikler işlem üzerinde oldukça etkilidir. İşleme üzerinde etkili olan dielektrik sıvı özellikleri aşağıda verilmiştir [26].

- Dielektrik sıvının cinsi: Tel Erozyon ile işlemede en çok kullanılan dielektrik sıvı hidrokarbon bileşikleri ve sudur. Bunların yanı sıra organik bileşikler olan glikol ve etilenin farklı hacimsel oranlardaki sulu çözeltileri de kullanılmaktadır. Ayrıca deneysel amaçlı gaz jeti uygulamaları da mevcuttur. Hidrokarbon bileşikleri ham petrolün rafine edilmiş formu olup, bunların arasında en iyi bilinen gaz yağdır. Suyun kullanımı, Tel Erozyon tezgahlarında ve karbon ihtiva etmeme ile düşük viskozitenin avantajlı olduğu dalma tipi erozyon tezgahlarında geçerlidir.
- Dielektrik sıvı basıncı: Dielektrik sıvının işleme aralığındaki işleme atıklarını ortamdan uzaklaştırması ve yüzeylerdeki aşırı ısınmayı engellemesi için uygulanan farklı yöntemler vardır. Bu yöntemlerden dielektrik sıvının hiçbir basınç uygulanmadan sadece yanal akış yöntemiyle uygulanması durumunda işleme atıkları işleme aralığının iç kenarlarında toplanarak boşalım verimini azaltır. Basıncın uygulanmadığı durumlarda yüzeylerden kaldırılan talaş

birikerek kirlilik oluşturur. Basıncın uygulanması bilhassa derin işleme koşullarında daha kritiktir. Çünkü yanal akış derin işleme koşullarında işleme aralığında boşalmanın oluşturduğu basınçtan dolayı yeterli nüfuziyeti gerçekleştiremez ve işleme aralığında biriken işleme atıkları boşalmanın verimini düşürür. Ayrıca basıncın uygulanmaması halinde işleme derinliğinde belirgin oranda azalma gözlenir. Bunların yanı sıra dielektrik sıvının basınçlı bir şekilde uygulandığı yöntemlerde elektrodun keskin köşe ve kenarlarındaki yuvarlanma eğilimi basınç uygulanmadığı durumlara göre daha yüksektir. Bunun sebebi ise ergimiş metalin yüzeyde tekrar katılaşmadan basınç yoluyla ortamdan uzaklaştırılmasıdır.

- Dielektrik sıvı akış hızı: Dielektrik sıvının akış hızı uygulama merkezinden uzaklaştıkça azalır. Yüksek hızlardaki dielektrik sıvı akışı kabarcıklara neden olur. Bu kabarcıklar akışın türbülanslı olmasına yol açar. Dielektrik sıvının yüksek akış hızı ve türbülanslı yapısı, bir sonraki boşalmanın aynı noktalarda oluşma yoğunluklarının daha yüksek olma olasılığını artırır. Ayrıca dielektrik sıvı akış hızı iş parçası yüzeyindeki tekrar katılaşmış tabaka kalınlığını ve bu tabakadaki mikro çatlakların yoğunluğunu da etkiler. Akış hızının yüksek olması ergimiş iş parçası malzemesinin yüzeyden daha çabuk uzaklaştırılmasını sağlayacağı için tekrar katılaşan tabaka kalınlığı hızın artışı ile azalır.

- Dielektrik sıvı viskozitesi: Yüksek viskozite değerine sahip dielektrik sıvılarla yapılan derin işleme koşullarında işleme atıklarının ortamdan uzaklaştırılması zordur. Bunun sebebi ise yüksek viskoziteye sahip dielektrik sıvının işleme aralığı ve kesme genişliği aralıklarında etkin bir sirkülasyon sağlayamamasıdır. Bununla birlikte düşük viskoziteli dielektrik sıvıların ise kırılmaya karşı dirençleri düşüktür.

- Dielektrik sıvı sıcaklığı: İşleme sırasında dielektrik sıvının soğutma işlemine tabi tutulmaması dielektrik sıvının ısınmasına ve viskozite değerinin düşmesine sebep olur. Bunun neticesinde dielektrik sıvının elektriksel kırılmaya karşı direnci azalarak düzensiz boşalmalara neden olur [26].

Arzu edilen tel seçimi ve tipleri

Herhangi bir kesme aleti işleme koşullarına karlı 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: İş parçası kalınlığına bağlı olarak uygun tel seçmek gereklidir. 0,2 mm çapında tel kullanarak 100 mm 'den daha fazla 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 [32]. Çizelge 2.8'de tel çapı ve iş parçası kalınlığı arasındaki ilişki gösterilmiştir.

Çizelge 2.8 Tel çapı ve iş parçası kalınlığı arasındaki ilişki.

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. İşlenilen köşe radyüslerin yarıçapı işlenmiş oluğun yarı genişliğinden daha büyüktür ve içbükey köşeleri yuvarlatır. Aşağıdaki listede içbükey köşe radyüs limitleri Çizelge 2.9'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].

Çizelge 2.9 Kesilecek iç bükey radyüs limitleri.

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. İkincisi 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 Çizelge 2.10'da bakır telin karakteristik özellikleri verilmiştir [33].

Çizelge 2.10 Bakır telin karakteristikleri.

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 başarılı olur ve ısı işleme operasyonları istenilen kalitede elde edildi. Saf pirinç telin mekanik özellikleri Çizelge 2.11'de verilmiştir [34].

Çizelge 2.11 Saf pirinç telin kopma mukavemetleri.

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

- **Özel Metal Tel:** Bu tip tel genellikle tungsten veya molibdenden yapılıdır. 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 iş parçaları kesimi için bazı popüler çözüm

karakteristiklerine sahiptir [35]. 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 Çizelge 2.12'de verilmiştir [35].

Çizelge 2.12 Molibden telin karakteristikleri.

Ana malzeme	Molibden
Kaplama malzemesi	Yok
Kopma mukavemeti	1931 MPa
Uzama	<%2
iletkenlik İACS	% 34
Renk	Açık-gri

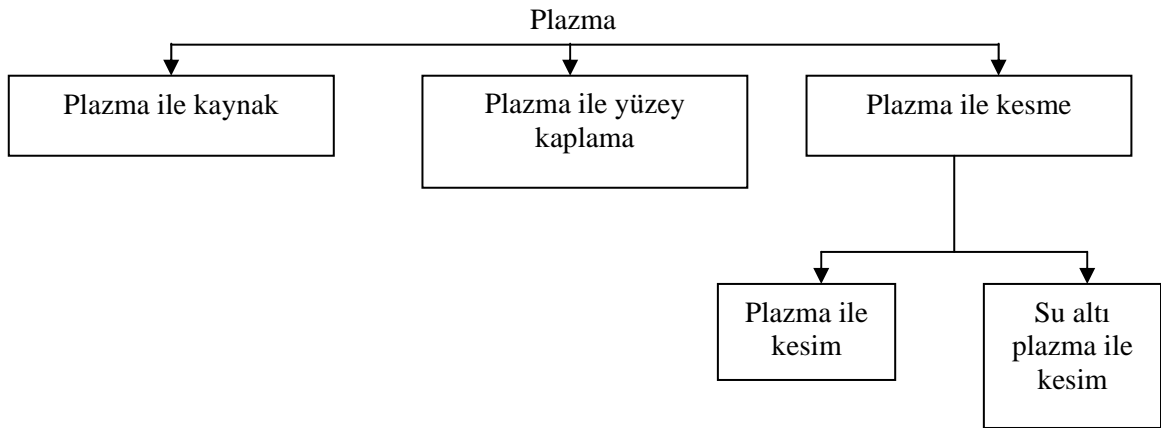
2.4 Plazma Arkı İle Kesme

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 oksii-asetilen ile kesme yöntemine alternatif bir yöntem olarak geliştirilmiştir [2].

Union Carbide Corp. şirketindeki araştırmacılar 1950 yılında, Gaz Tungsten Ark Kaynağını İncelerken, elektrottan iş 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 ışınıyla kesme yönteminde elde edilen kesme kaliteleri ile rekabet etmektedir [36]. Şekil 2.19'da plazma yöntemi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.19 Plazma yöntemi şeması.

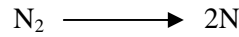
Günümüzde paslanmaz çelik, alüminyum ve diğer metal ve metal olmayan malzemelerin kullanımının artmasıyla bu malzemeleri hızlı, ucuz ve hassas olarak işleyen tekniklerin önemi bir kat daha artmıştır.

Paslanmaz çelik ve metal malzemelerin plazma arkı ile kesilmesi konusunda yapılan çalışmalarda, plazma gazı olarak genellikle Argon ve % 35 Hidrojen karışımı kullanılmıştır. Bu karışım pahalı olduğundan işlem maliyeti yükselmiştir. Ucuz olmasından dolayı plazma gazı olarak hava kullanılmaya başlanmıştır [36].

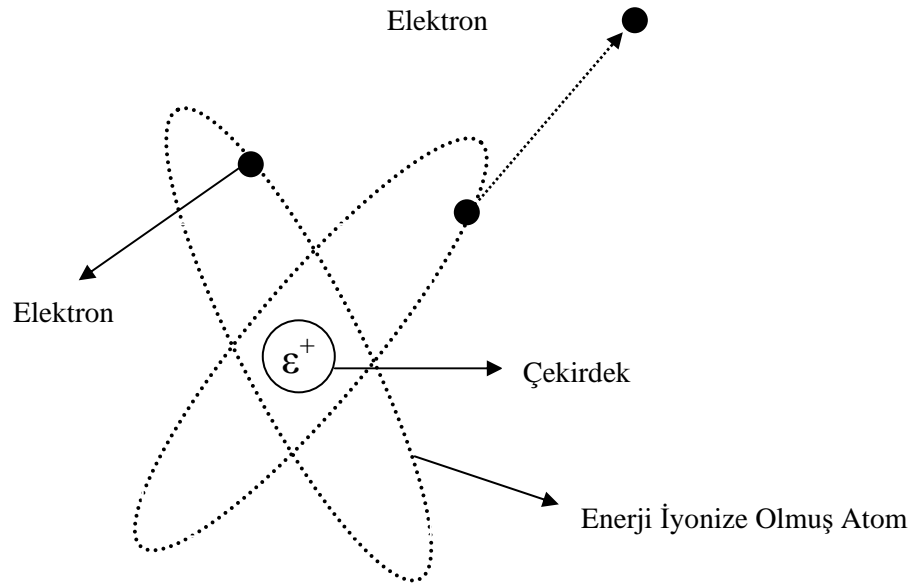
Plazma, basit bir şekilde, maddenin dört halinden biri olarak tanımlanabilir. Maddenin katı, sıvı, gaz ve plazma halleri arasındaki fark sahip oldukları enerjidir. Yani maddenin bir halinden diğerine geçmesi için ona enerji vermek gerekir. Aynı şekilde bu işlemin tersine dönmesi de mümkündür. Katı haldeki madde enerji verilerek ergitilip sıvı hale, sıvı haldeki bir maddeye enerji verilip buharlaştırılarak gaz haline, gaz halindeki maddeye enerji verilerek iyonize edilip plazma haline getirilebilir [37].

Durgun bir gaza dışarıdan enerji verildiğinde, gaz moleküllerinin hızı artar, çarpışmalar

daha şiddetli olur ve bunun neticesinde sıcaklık yükselir. Aynı ortam sıcaklığında her bir gaz için belli bir hız dağılımı vardır. Sıcaklık yükseldikçe gaz moleküllerinin çarpışmaları şiddetlenir ve bağlayıcı kuvvetlerin atomları bir arada tutmaya gücü yetmez. Şekil 2.20’de nötr bir atomdan elektronun koparılması şematik olarak gösterilmiştir. Bu olaya dissosiyasyon denir. Azot için dissosiyasyon olayı yaklaşık olarak 4000°K (3727°C)’de başlar ve N_2 molekülleri tamamen 2N olarak ayrışmasıyla yaklaşık olarak 10000°K (9727°C)’de sona erer [37].



Gaza enerji verilmeye devam edilmesi gaz atomlarının hızını daha da artırır ve bu hızda iki gaz atomunun çarpışması sonucu elektronlar atomdan dışarı fırlar ($\text{A} \longrightarrow \text{A}^+ + \text{e}^-$).

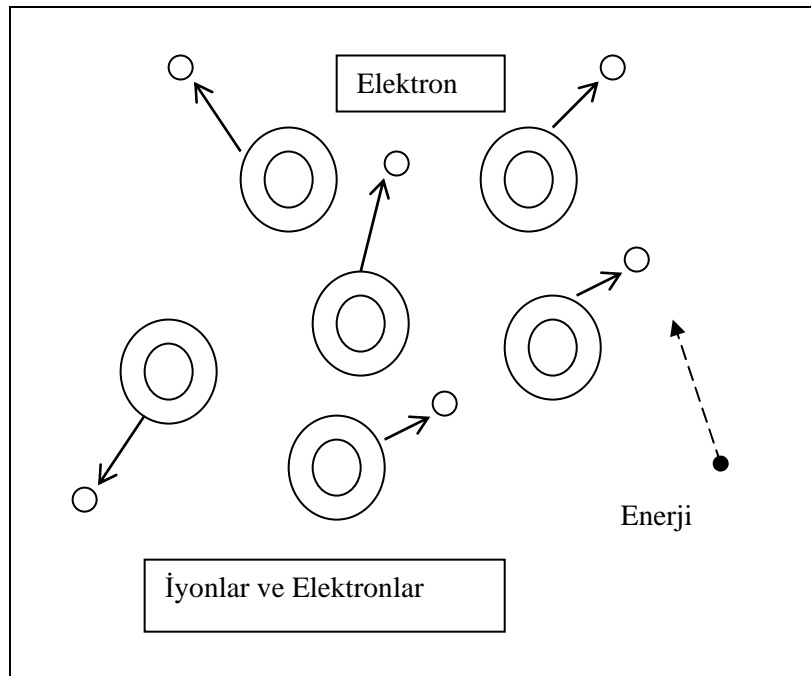


Şekil 2.20 Nötr bir atomdan elektronun koparılması.

Azotta iyonlaşma yaklaşık olarak 80000°K (79727°C)’de başlar ve 240000°K (239727°C)’de hemen hemen tamamlanır. İyonizasyon olayı daima dissosiyasyon olayından daha çok enerjiye ihtiyaç duymakta ve bu enerji ihtiyacı, ayrıştırılacak elektron atom çekirdeğine ne kadar yakın olursa o kadar fazla olmaktadır. Enerji verilmek sureti ile bir elektron daha yüksek bir enerji seviyesine çıkarılmakta fakat elektron bu enerji seviyesinde kararsız durumda olduğundan çok kısa bir süre sonra da bu seviyeden düşmektedir [38]. Düşme

sırasında serbest kalan enerji farkı kendini ışık yayımı ile gösterir. Yayınımın görünür yada görünmez alanda olması, elektronun düştüğü enerji seviyeleri arasındaki farkın büyüklüğüne bağlıdır.

Nötr atom ve moleküller, pozitif yüklü iyonlar ve elektronlar içeren gaz karışım, ısıl plazma olarak adlandırılır. Plazmanın en önemli özelliği elektriği iletebilmesidir. Plazma kütlesine elektrik alanı uygulanırsa, elektronlar anoda (+), iyonlar da katoda (-) doğru sürüklenir. Şekil 2.21’de iyonlaşma ve plazma gazının oluşumu şematik olarak gösterilmiştir [36].

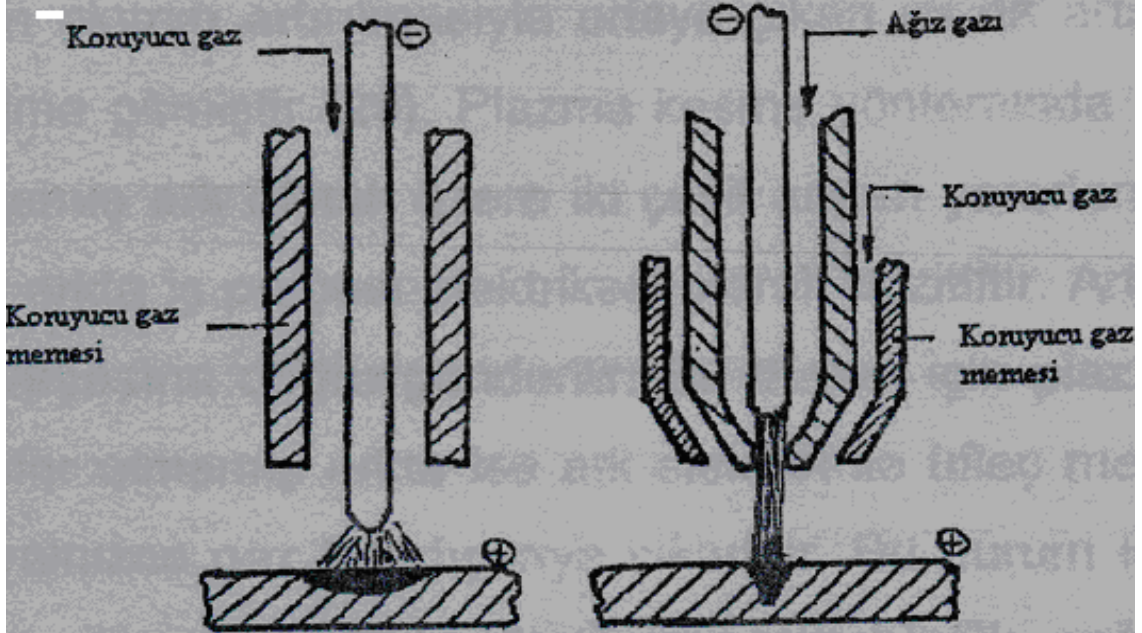


Şekil 2.21 İyonlaşma ve plazma gazının oluşması.

Bütün ark olaylarında plazma bulunur fakat, kullanılan gazlar farklı İyonizasyon potansiyeline sahiptirler. Bu iyonlaşma (eV) değerleri Çizelge 2.13’de verilmiştir [2]. Bilinen konik TIG arkının büzülüp silindirik hale getirilmesi ile yüksek güç yoğunlaşması ve dolayısıyla sıcaklık yükselmesi elde edilir. Yüksek İyonizasyon derecesine sahip olan bu gaz jeti plazma arki olarak adlandırılır. Plazma jetinin oluştuğu gaza, “ağız gazı” adı verilir. Şekil 2.22’de tig ve plazma arkının oluşumu şematik olarak gösterilmiştir. Ağız gazı üfleç içinden elektrotu çevreleyerek sevk edilir, arkın içinde iyonize olur ve plazmayı oluşturur ve üflecin meme ağzından plazma jet olarak çıkar. Şekil 2.23’de plazma jetinin oluşumu ve kesme işlemi gösterilmiştir [39].

Çizelge 2.13 Bazı elementlerin iyonlaşma potansiyelleri.

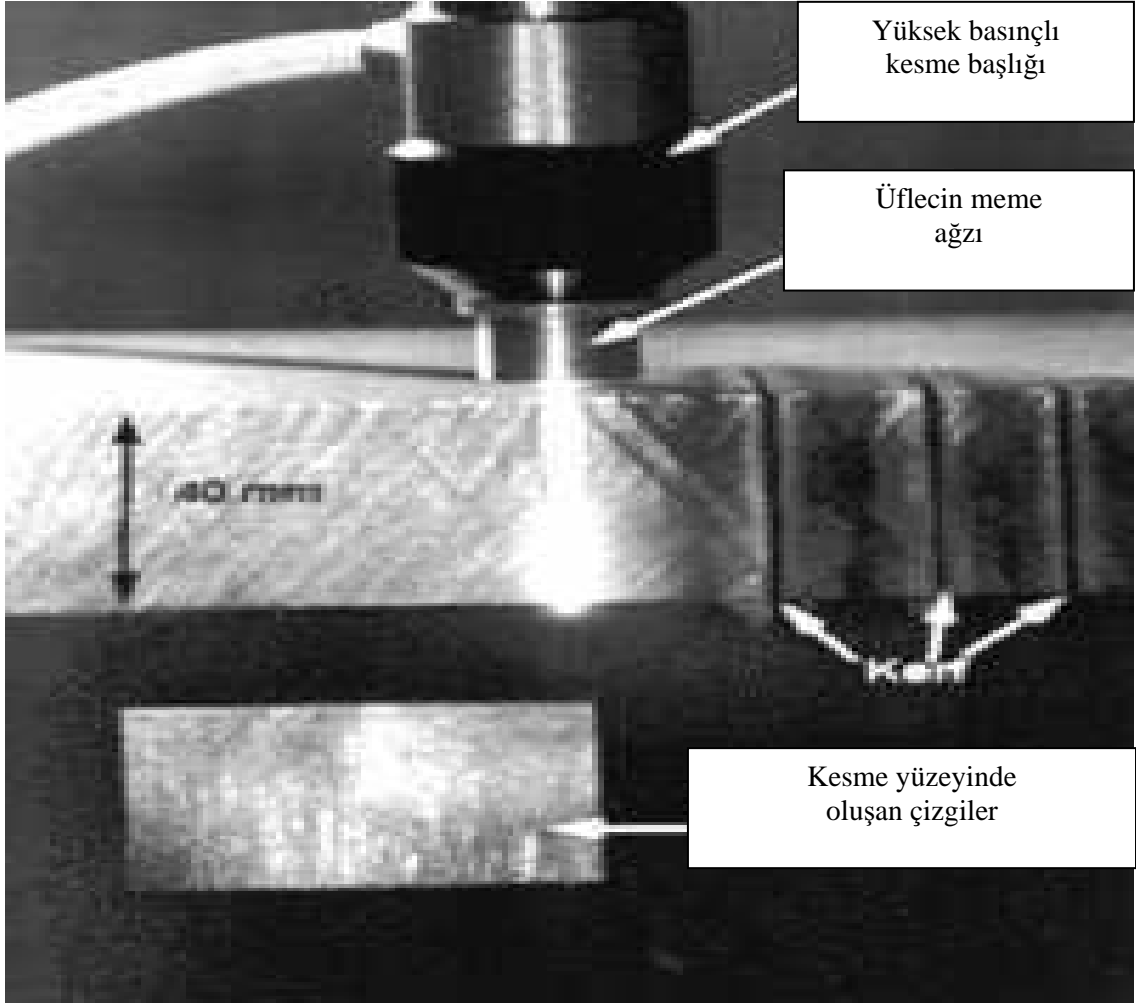
Element	İyonizasyon Potansiyeli	Element	İyonizasyon Potansiyeli
Li	5,39	O ₂	12,05
Na	5,14	O	13,6
K	4,34	N ₂	15,6
Cs	3,89	NO	9,26
He	24,58	CO	14,1
Ne	21,56	CO ₂	14,4
Ar	15,76	H ₂ O	12,6
H ₂	15,6	OH	13,8



Tig yöntemi

Plazma yöntemi

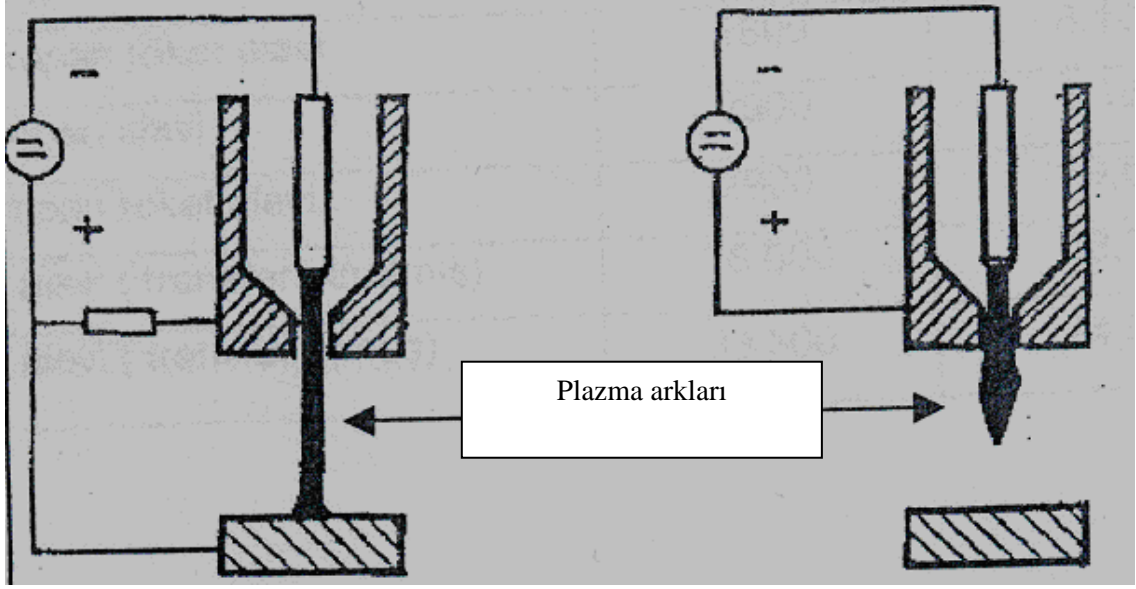
Şekil 2.22 Tig ve plazma arkının şematik gösterimi.



Şekil 2.23 Plazma jetinin oluşumu ve kesme işlemi.

Gazların iyonlaştırılması işlemi pilot ark sistemi ile gerçekleştirilir. Daha sonra, iyonlaşan bu gazlar elektriksel direnç elemanı gibi görev yapar ve devreden geçen akımın artırılmasıyla ortaya çıkan ısı da artar. Plazma kesme yönteminde transfer olmuş ve transfer olmamış ark olmak üzere iki çeşit arkta yararlanılır. Şekil 2.24’de plazma arkı oluşum yöntemleri gösterilmiştir. Transfer olmuş arkta iş parçası elektriksel olarak pozitifdir. Ark üfleç içindeki elektrottan iş parçasına doğru gönderilir. Bu durum için plazma ark deyimi kullanılır [38]. Transfer olmamış arkta ise ark elektrot ile üfleç memesi arasında oluşturulur ve yalnızca gaz jeti dışarıya çıkartılır. Bu durum için plazma jeti ifadesi kullanılır. Plazma jetinde üretilen ısının büyük çoğunluğu meme tarafından alındığı için kesme işleminde etkin kullanılmaz. Transfer olmamış arkta akım iletken ark sütunundan ayrılmış olup ısı kaynağı olarak hareket eder. Bu tertip toz ve tel halindeki karbürler, borürler, metalik seramikler ve metaller gibi yüksek ergime noktasına sahip malzemelerin plazma arkı ile püskürtülmesinde ve dielektrik

malzemelerin ergitilmesinde kullanılır. Bu sebeple metallerin kesilmesinde plazma ark yöntemi kullanılır. Plazma jet ise daha çok iletken olmayan malzemelerin kesilmesinde kullanılır [37].



Transfer olmuş ark

Transfer olmamış ark

Şekil 2.24 Plazma arkı oluşum yöntemleri.

Transfer olmuş arkta plazma jet, akım iletken ark sütunu ile birleşmiş olarak nozuldan çıkar. Bu yöntemde iyonlaşma enerjisi diğerine göre daha yüksek ve dolayısıyla da malzemeye ısı girişi daha fazladır. Transfer olmuş arkta kullanılacak akım üreticinin boşa çalışma gerilimi transfer olmamış ark için gerekli olandan daha büyüktür.

Plazma ark yöntemleri ile elde edilen sıcaklıklar diğer yöntemlere göre oldukça yüksektir. Plazma ark yöntemlerinde, ark daraltılıp yoğunlaştırıldığı için yüksek ısı transfer oranları elde edilir. Maksimum sıcaklık ve ısı transfer oranı değerleri Çizelge 2.14'de verilmiştir. Transfer olmamış plazma arkında ısı transfer oranının yüksek olmasının nedeni, ısı transferinin daha çok konveksiyonla yapılmasındandır [39].

Çizelge 2.14 Maksimum sıcaklık ve ısı transfer oranları.

Isı Kaynakları	Maksimum sıcaklık (°C)	Maksimum ısı transfer oranı (MW/mm ²)
Hava- propan alevi	1800	1,64
Hava- propan roket alevi	1800	8,18
Oksi- propan alevi	2900	8,18
Oksi- propan roket alevi	2900	19,6
Plazma alevi (transfer olmamış)	16 600	68,7
Plazma alevi (transfer olmuş)	33 300	24,5

2.4.1 Kullanılan plazma gazları

Plazma jet sistemlerinde plazma gazı (ağız gazı) olarak argon, helyum, azot, hidrojen gazları tek başlarına veya bunların karışımları kullanılmaktadır. Ağız gazı tungsten elektrotun harap olmasını önlemek üzere asal gaz olarak seçilir. Uygulamaların çoğunda ağız gazı olarak argon gazı seçilmesine rağmen argona hidrojen ilave edilmesi ile arttan malzeme üzerine olan ısı transferinin arttığı görülmüştür. Ancak karışımdaki hidrojen yüzdesinin artması malzeme yüzeyindeki çatlakların ve gözeneklerin oluşmasına sebep olur. Çizelge 2.15’de yüksek akım plazma jet için gaz seçimi kriterleri gösterilmiştir [36].

Azot gazının plazma gazı olarak seçilmesi mükemmel bir ısıtma ortamı sağlar. Bunun sebebi azot gazının İyonizasyon düzeyinin düşük sıcaklıklarda oluşması ve ısısının iyi olmasıdır. Argonun yüksek yoğunluk ve kinetik enerjiye, düşük ısıl iletkenliğe ve enerji içeriğine sahip olduğu bulunmuştur. Plazma arkı ile kesme işlemlerinde kesici gaz olarak argon kullanıldığında, arkı başlatmak için düşük voltaj değerlerine ihtiyaç olmakta ama ısıl iletkenliğinin düşük olması sebebiyle optimum sonuçlar alınamamaktadır. Argona helyum eklenmesi ile verilen bir akım için, daha yüksek sıcaklıklar sağlandığı ama elektrotun ömrünün azaldığı görülmüştür. Titanyum, Zirkonyum ve diğer reaktif maddelerin kesiminde saf argon kullanılır. Hidrojen yüksek ısıl iletkenliğe, yüksek enerji içeriğine ve düşük yoğunluğa sahip olduğundan kesme kalitesi düşük olmakta içerisine argon eklenerek kullanılması gerekmektedir [39].

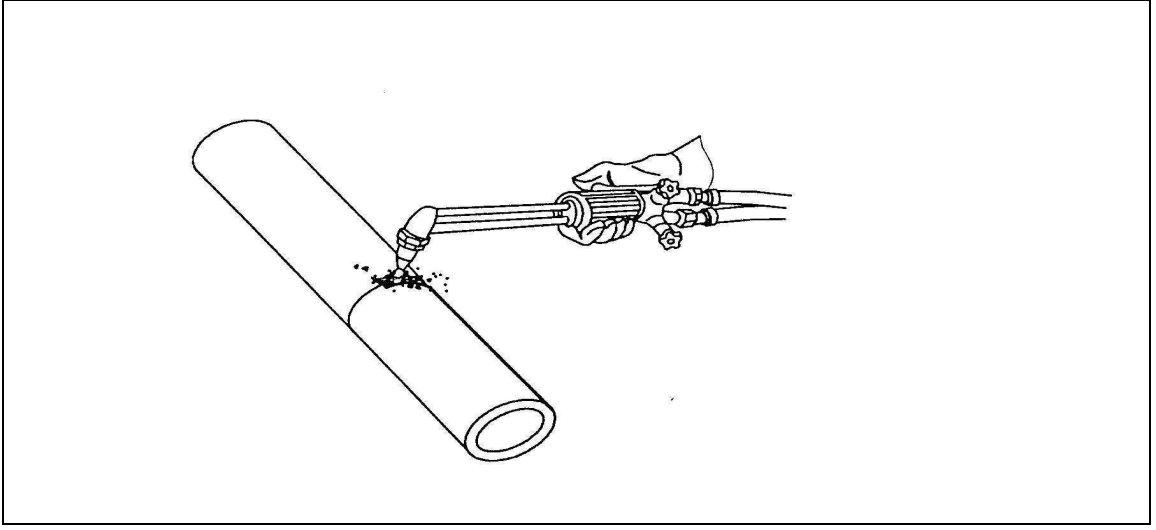
Çizelge 2.15 Yüksek akım plazma jet için gaz seçimi.

METAL	MİKTAR SINIRI	Kesme Tekniği	
		Anahtar Deliği	Ergitme
Karbon Çeliği	Maks.	Ar	Ar
	Min.	Ar	%75 He - %25 Ar
Alçak Alaşımli Çelik	Maks.	Ar	Ar
	Min.	Ar	%75 He - %25 Ar
Paslanmaz Çelik	Maks.	Ar, %92,5Ar-%7,5 H	Ar
	Min.	Ar, %95Ar-%5 H	%75 He - %25 Ar
Bakır	Maks.	Ar	%75 He - %25 Ar, He
	Min.	Önerilmemiş	He
Nikel Alaşımları	Maks.	Ar, %92,5Ar-%7,5 H	Ar
	Min.	Ar, %95Ar-%5 H	%75 He - %25 Ar
Reaktif Metaller	Maks.	Ar	Ar
	Min.	Ar – He (% 50-75)	%75 He - %25 Ar

2.5 Oksigaz Yöntemiyle Kesme

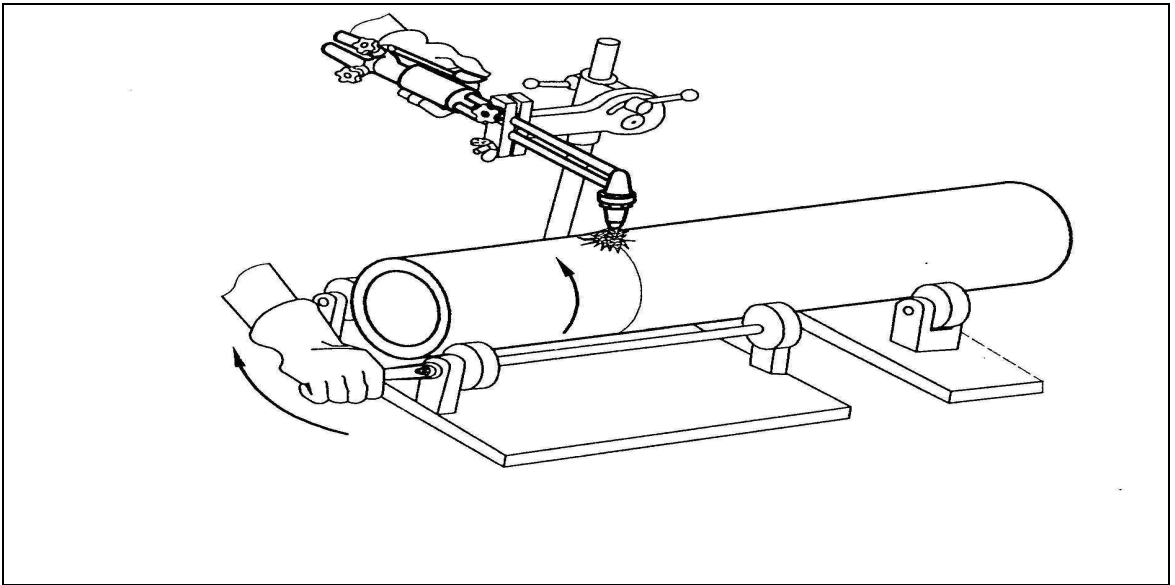
Tesisat üstündeki boruların ve her tür büyük çaplı siyah demir borunun kesilmesinde ve delinmesinde oksijen kullanılabilir. Oksijenle sert, çelik türü gereçlerin hızlı oksitlenip yanmasından yararlanılarak kesme yapılır. Birçok çelik türü, 1100 °C civarında şekillendirme sıcaklığındadır. Bu sıcaklığa 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 [40].

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 2.25'de serbest elle kesme işlemi gösterilmiştir.



Şekil 2.25 Oksijenle serbest elde kesmenin yapılışı.

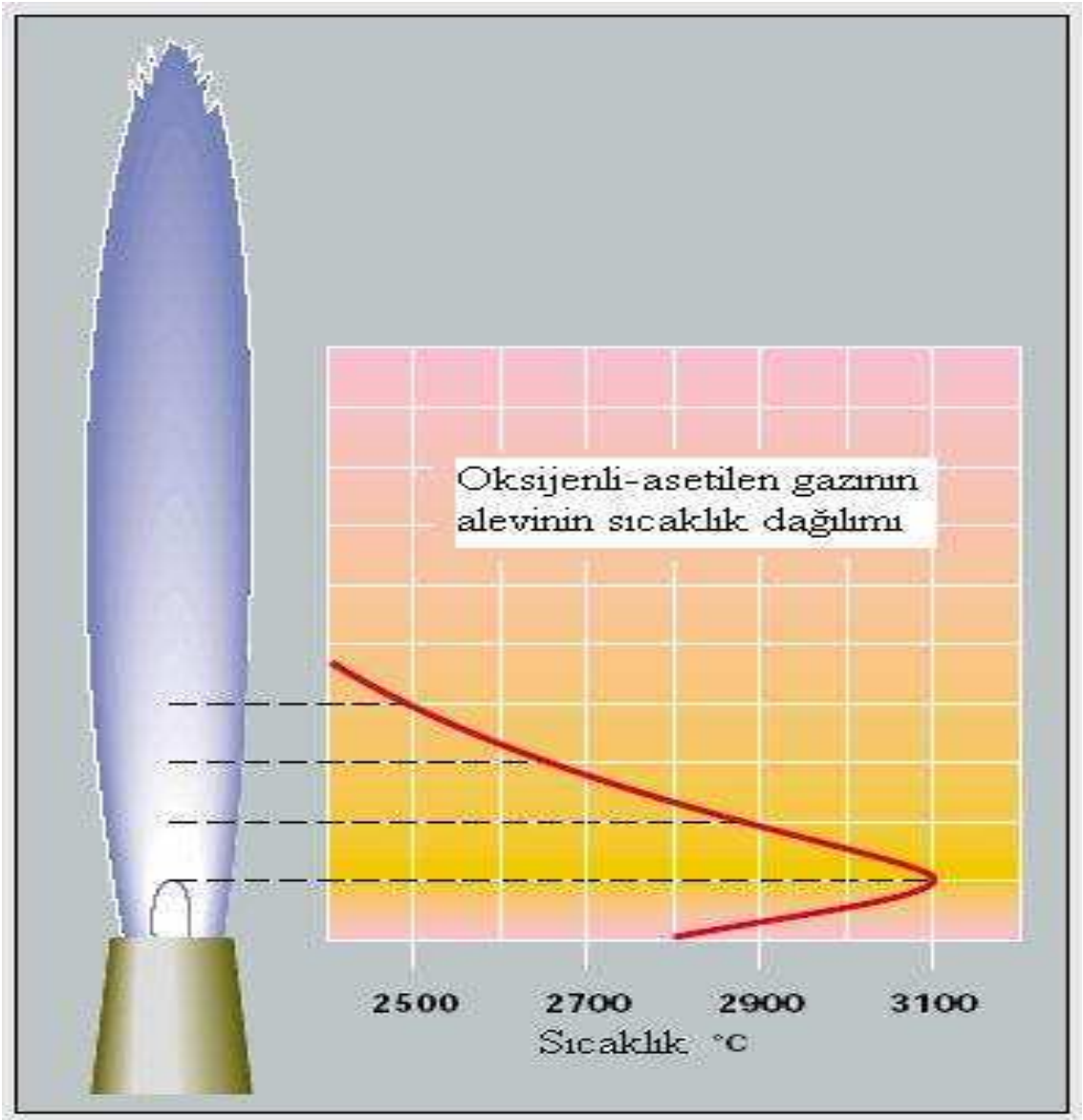
Oksijenle kesme işleminde, Şekil 2.26'da otomatik kesme aparatıyla kesme işlemi gösterilmiştir ve kesme aparatıyla kesme işlemi serbest elle kesmeye göre daha düzgün ve seri olur. Tesisat işlemleri genellikle inşaat ortamında yapıldığı için, serbest elle kesme daha yaygın olarak kullanılır. İki tür kesme 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 $75-80^\circ$ kadar eğim verilir [41].



Şekil 2.26 Oksijenle aparatlı boru kesme.

Teorik açıdan baktığımızda, oksijen-asetilen 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. Oksijen-asetilen alevinin sıcaklık dağılımı Şekil 2.29'da gösterilmiştir.



Şekil 2.29 Oksijenli-asetilen alevinin sıcaklık dağılımı.

2.5.2 Alev ayarı çeşitleri

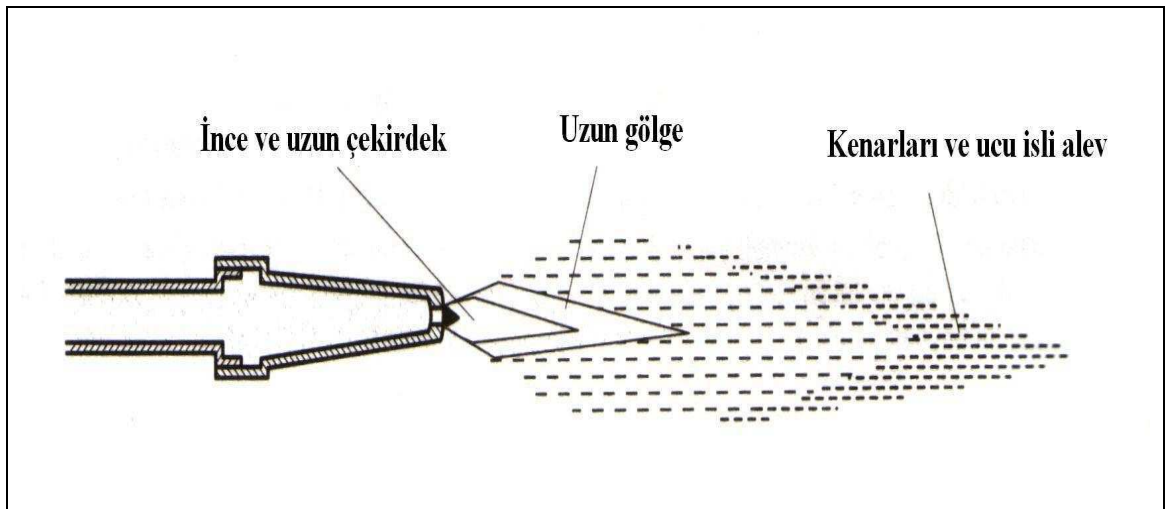
Gereçlerin kaynağında alev türünün seçimi çok önemlidir. Kaynak üfleçlerinde (şalome) oksijen ve asetilen karışım miktarına göre üç çeşit alev oluşur [44]:

- Yumuşak alev,
- Normal alev,
- Sert alevdir.

Yumuşak alev (karbürülü)

Üfleçten çıkan asetilen oranı fazla olan alevdir. Asetilen fazlası aleve, karbon verme yeteneğinden dolayı karbonlayıcı (karbürülü) alev de denir. Asetilen miktarı, oksijene göre fazladır. Alevin rengi kırmızı, turuncu ve sarıya yakındır. Çok yumuşaktır. Beyaz çekirdek dışında uzun gölge oluşur.

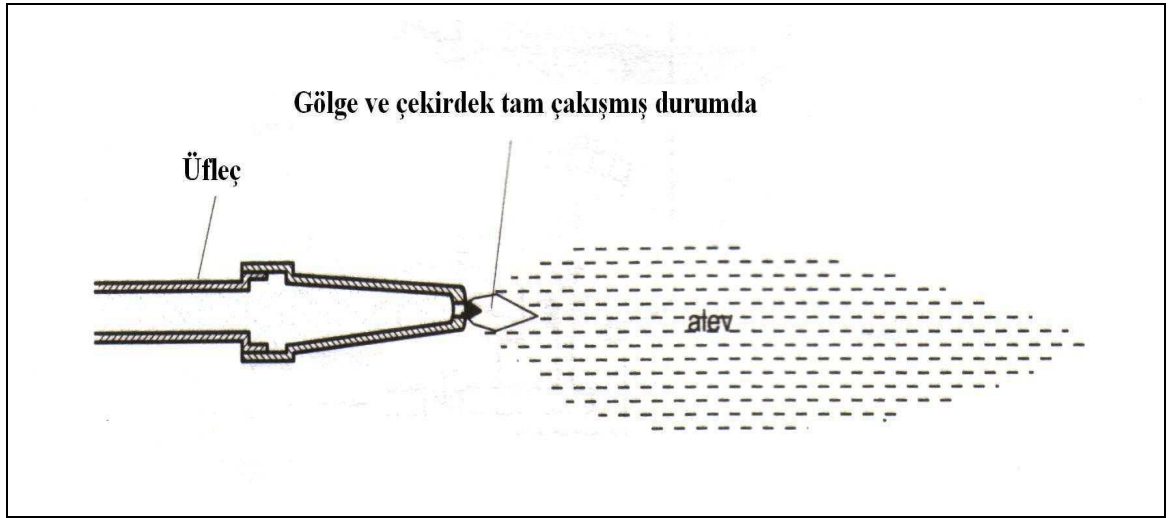
Yüksek ve orta karbonlu alev, özellikle çeliklerde (ince kalınlıktaki çelikler), nikelli çeliklerde, alüminyum ve alaşımlarında, dökme demir ve kurşun gibi oksitlenmeye hassas gereçlerde kullanılır. Oksijenin normalden az açılması isli alevi oluşturur. Asetilen oranı çok fazla geldiği için kurum olarak 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 [42]. Şekil 2.30'da asetilen fazlası alev şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.30 Asetilen fazlası alev.

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 [43]. Şekil 2.31’de normal alev şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.31 Normal alev.

Bu alev çelik döküm ve adi karbonlu çeliklerin kaynağında kullanılır. Bunlar kromnikelli, oksitli ve elektrolitik bakır gibi ince kalınlıktaki çeliklerdir.

Sert alev

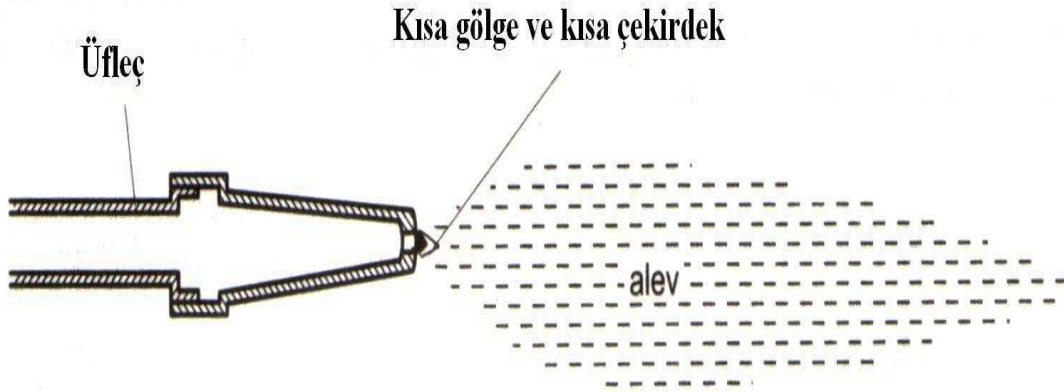
Üfleçten çıkan oksijen hacmi asetilenden fazla olan alev türüdür. Açık mavi bir renk alır. Çekirdek alevi kısa ve incedir. Tiz bir ses çıkarır ve sert bir alevdir, oksitleyici bir niteliktedir. Bu nedenle bu alev oksitleyici alev de denir.

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 ısısı ve türü Çizelge 2.16’da verilmiştir [44].

Çizelge 2.16 Gazların hacim oranlarına göre alev ısısı ve türü.

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 2.32 Sert alev (oksijen fazlası alev).

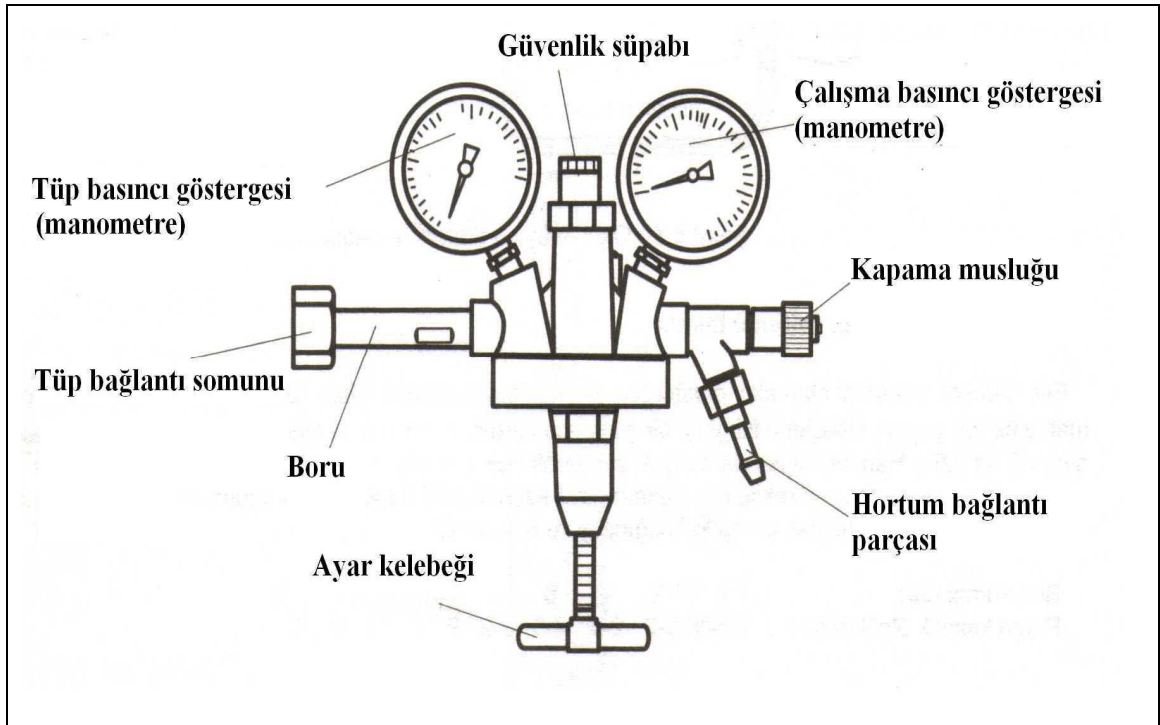
2.5.3 Kaynak alevinin hazırlanması

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 2.33’de basınç regülatörü şematik olarak gösterilmiştir. Oksijen basınç düşürücüsünün rengi mavi, asetilen ise kırmızı veya sarı renklidir. Tüpdeki basınç değişse de ayarlanan kullanma

basıncı hiç değişmez.

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 çıkışını sağlar. Tüplerin göstergelerinden (manometre) kullanma basıncını ayarlarız. Oksijen için 1-5 atm, asetilen için 1-1,5 atm kullanma basıncı yeterlidir [40].



Şekil 2.33 Basınç regülatörü.

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 islidir. Ardından hemen oksijeni açsanız bile başarılı bir yanma elde etmeniz mümkün olmayacak, çoğu kez alev sönecektir [44].

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde; su jeti ile kesme, lazer ile kesme, tel erozyon ile kesme, plazma ve oksijen ile kesme yöntemlerine ilişkin yapılan çalışmalar kronolojik sıraya göre incelenmiştir.

Powell ve arkadaşları [45], Lazer ve Su Jeti'nin ekonomik boyutunu karşılaştırmak amacıyla yapmış oldukları çalışmalarında, her iki metodun teknik ve ticari avantajları ile dezavantajlarını tartışarak iki işleme sürecinin bağlı verimliliği üzerinde yoğunlaşmışlardır. Çalışma sonucunda Su Jetinin, Lazer yöntemine göre daha ekonomik olduğunu belirtmişlerdir.

Zheng ve arkadaşları [46], Lazer ve Su Jeti'nin kalite ve maliyet açısından karşılaştıran çalışmalarında, lazer ve su jeti ile malzemelerin değişik kalınlıklarına karşılık yanal hızındaki değişim de değerlendirilmiş ve işletme maliyetleri, sarfiyat, servis ve bakım maliyetleri esas alınarak bir karşılaştırma yapılmıştır. Çalışma sonucunda Su Jetinin, Lazer yöntemine göre daha ekonomik, servis ve bakım maliyetleri yönünden ise daha masrafsız olduğunu belirtmişlerdir.

Hashish'in ve Schreiber'in [47], Lazer ve Su Jeti ile kesmenin mekanik özelliklerini tartıştıkları çalışmalarda, her iki yöntemin de eşsiz kesme kabiliyetlerini ve karakteristiklerini tartışmışlardır. Her iki yöntemden birini seçmeden önce, kullanıcıların her iki tekniğin performansına olduğu kadar bitmiş ürünü nasıl etkilediğine de dikkat etmesi gerektiğine dikkat çeken araştırmacılar, titanyum alaşımı (Ti-6Al-4U) ile çelik (A286) malzeme üzerinde her iki metodun mekanik etkilerini değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda Su Jetinin, Lazer yöntemine göre mekanik etkilerinin daha olumlu sonuç verdiğini belirtmişlerdir.

- Harvey [48], Su jetini plazma ve lazer ile kesmeye alternatif gösterdiği çalışmada, aşındırıcı su jeti ile kesmenin temel prensiplerini ortaya koyarak, bu yöntemin endüstride kullanılan plazma ve lazer ile kesme yöntemlerinin en büyük rakibi olduğunu vurgulamıştır.

Anonymouş [49], "Plazma Arkı ile Kesme ve Yüzey Kaplaması" isimli çalışmasında, plazma gazı olarak oksijen kullanıldığında çapak oluşumunun en az düzeyde olduğunu ve oluşan çapağın çok fazla oksidasyona uğradığı için yerinden kolayca kopartıldığı belirtilmiştir. Ayrıca paslanmaz çeliklerin kesilmesinde oksijen kullanıldığında kesme bölgesinde kararma oluştuğunu açıklamıştır.

W. J. Xu, J. C. Fang ve Y. S. Lu [50], "Seramik Malzemelerin Plazma Ark Yöntemiyle Kesilmesi" isimli çalışmalarında; seramik gibi kırılğan ve ısı iletkenliği olmayan malzemenin

kesilmesi, kesme kalitesinin ve kesme hızının artırılması üzerinde durmuşlar ve en uygun işletim parametrelerini araştırmışlardır.

M. M. Çankaya [51], “Plazma Arkı ile Kesilmiş Parçalarda Yüzey Kalitesine Etki Eden Faktörlerin Araştırılması” isimli çalışmasında, paslanmaz çelik ve alüminyumun plazma arkı ile kesilmesi konusunda argon ve hidrojen gazını kullanarak bir araştırma yapmıştır. Havanın, daha çok karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerin kesilmesinde kullanıldığını, ancak paslanmaz çelik ve alüminyumun kesiminde de kullanılabilceğini söylemiştir.

Ö. Özipekliler [52], “Plazma Arkı Eldesi ve Yüzey Bölgesi Modifikasyonları” isimli bir çalışma yapmıştır. Cam malzemelerin, metal ve alaşımların hızlı katılaştırılması konusunda çalışmıştır. Hızlı katılaştırma yöntemlerinin püskürtme, atomizasyon, enerji yükleme olarak bilindiğini ve bu yöntemlerin sırasıyla amorf yapıda metalik şeritler halinde, metal tozları ve yüzeyi amorf yapılı iş parçalarının elde edilmediğini belirtmiştir.

W. S. Severance ve D. G. Anderson [53], “Kullanılan Plazma Gazının Kesme İşlemine Etkileri” isimli bir çalışma yapmışlardır. En az cüruf bırakan plazma gazının azot olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca plazma gazı olarak oksijen kullanılması durumunda, oksijenin oluşturduğu reaksiyonlar nedeniyle alaşımsız çeliklerde pürüzsüz, alüminyum ve paslanmaz çeliklerde ise kaba yüzeyler elde edildiğini bildirmişlerdir. Hidrojen gazının plazma gazı olarak kullanılması durumunda ise hidrojenin metal oksitleri indirgeyerek parlak ve pürüzsüz kesme yüzeyleri oluşturduğunu açıklamışlardır.

K. M. Yun ve S. J. Na [54], “Plazma Arkı ile Kesme İşleminde Gerçek Zaman Kontrolü ve Plazmanın Yoğunluğunun Ölçümü” adında bir çalışma yapmışlardır. Plazma arkı ile levhaların kesilmesinde, yüzey kalitesini kontrol edebilmek için plazma arkının yoğunluğunun kontrol edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Kesme ağzında oluşan çapak miktarını, değişik malzeme kalınlıkları ve kesme hızları için ölçmüşler ve kritik bir hız değerinden sonra çapak miktarının çok fazla arttığını tespit etmişlerdir.

W. Bach ve A. Gruchow [55], “Havada ve Su altında Plazma ile Kesme” isimli bir çalışma yapmışlardır. Araştırmacılar plazma arkı ile kesme yönteminin ilk geliştirildiği yıllarda sadece atmosferde kesme işlemi yapıldığını, bu yöntemde şiddetli gürültü ve zararlı gaz çıkışı olduğunu, ayrıca oluşan çapakların çevreyi kirlettiğini bildirmişlerdir. Bugün ise 100 mm'ye kadar sığ sularda kesim yapılabildiğini ve bu yöntemin gemi yapımında kullanıldığını açıklamışlardır. Denizlerde ise platformların ve boru hatlarının tamirinde ve kısmen ya da tamamen sökülmesinde plazma arkıyla kesme yönteminin uygulandığı söylemektedirler.

R. C. Fericola [56], “Yeni Oksijenli Plazma Kesme İşlemi ve Lazer Kesme Metodu” isimli çalışmasında, oksijenin plazma arkı ile kesme işlemlerinde kullanılması sırasında kesme bölgesinde eriyen metalin daha küçük damlacıklar oluşturup daha sık aralıklarla damladığını ve kesme bölgesinden uzaklaştığını bildirmiştir. Plazma gazının basıncı yüksek olursa, eritilen metal parçacıkların kesme bölgesinden daha iyi uzaklaştığını, basıncın düşük olması durumunda ise, üfleç içerisinde parazit ark olarak adlandırılan ark oluşarak elektrot ve memeye zarar verdiğini, bu durumda arkın kararlılığının bozulduğunu ve kesme kalitesinin düştüğünü bildirmiştir.

M. Manohar ve J. P. Snyder [57], “Çeliklerin Plazma Arkı ile Kesilmesi Sırasındaki Çapak Yapısı” isimli çalışmalarında, çeliklerin plazma arkı ile kesilmesinde çapak oluşumunu incelemişler ve belli bir akım değerinde çapak oluşturmadan kesme işlemi yapabilen bir hız aralığı olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca hızı değeri bu aralığın ortalarında seçildiğinde yöntemde olabilecek küçük sapmaların çapak oluşumuna sebep olmadığını bildirmişlerdir. Ayrıca plazma gazı olarak nitrojenini kullanıldığı kesme işlemlerinde, kesilen malzemede bir nitrür tabakası oluştuğu ve bu tabakanın daha sonra yapılan kaynak işlemlerinde, kaynak bölgesine yayılarak gaz boşlukları oluşturduğunu bildirmişlerdir.

M. Pellechia [58], “En iyi işlem seçimi: Lazer veya Hassas Plazma Dizaynı ve Üretimi” isimli çalışmasında, lazer ile kesme ve hassas plazma arkı ile kesme sistemlerini kesme hızları bakımından kıyaslamış ve ince malzemelerde lazer, kalın malzemelerde ise hassas plazma kullanımının avantajlı olduğunu bildirmiştir. Lazerde daha iyi yüzey kalitesi elde edildiğini ama kalın malzemelerde lazerin optik sistemlerinin zarar gördüğünü açıklamıştır.

A. P. Hoult, I. R. Pashby ve K. Chan [59], “Uçak Malzemelerinin Plazma ile Kesme Avantajları” isimli çalışmalarında, değişik hızlarda kestikleri malzemeler üzerinde yüzey pürüzlülüğü, kenar açıları vb. özellikleri ölçmüşlerdir. Araştırmacılar yanal kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerine çok önemli etkisi olduğunu belirtmişlerdir.

İ. Ö. Akçam [60], “Termik Kesme Yöntemlerinin - Oksijen Tekniği, Plazma, Lazerin Karşılaştırılması” isimli çalışmalarında, plazma cihazı üreten firmaların verdikleri hız değerlerinin ideal değerler olduğunu belirtmiş, bu sebeple kesme kalitesini yükseltmek, yapışan cüruf miktarını ve aşınan parça giderini azaltmak için ideal veya düşük kesme hızlarının kullanılması gerektiğini bildirmiştir.

Y. Wang ve P. Zhao [61], “Plazma Ark Kaynağının El Değmeden Yapılan Akustik Analiz Denetimi” isimli çalışmalarında, plazma ark anahtar nokta kaynağı ile elde edilen

kaynak kalitesinin otomatik denetiminde olabilecek problemleri araştırmışlardır. Araştırmacılar tarafından, plazma ark kaynağının anahtar nokta etkilerindeki davranışlarını inceleyen bir metot geliştirilmiştir.

W. Luo [62], “Cr19Ni9 Paslanmaz elik Malzemenin Aşınma Direncinde Mikro Plazma Ark Buharlaşmasının Etkileri” isimli çalışmasında, 1N ve H₂SO₄ solüsyonundaki, Cr19Ni9’a batırılmış ve kaynamış arkın yüzeý mikro yapısı 4-A mikro plazma arkı kullanılarak yüzeý buharlaştırma öncesi ve sonrasında incelenmiştir. Sonuçta, hem ısıdan etkilenmiş bölgenin hem de kaynamış parçanın kaynak metalinin ilk ele alınmış ana malzemededen daha az aşınma direncine sahip olduğu görülmüştür.

L. Wang, X. Xu, Z. Yu ve Z. Hei [63], “Östenitik Paslanmaz eliđin Alçak Basınçlı Plazma İle İyon Nitrürlenmesi” isimli çalışmalarında, alçak basınçlı plazma ark kaynağı deneylerini AISI 304 paslanmaz elik üzerinde, 350- 460 °C arasındaki ısı değerlerinde ve N₂-H₂ gaz karışımı ile yapmışlardır. Çalışma sonucunda Nitrürlenmiř tabakaların yüzeý sertliklerinin 350 °C’de 4,6 Gpa ile 420 °C’de 12 Gpa arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir.

M. Kavak [64], “Plazma ile Püskürtme Tabakasının Özelliklerinin İncelenmesi” isimli çalışmasında, ısıp püskürtme ile kaplama yöntemine ilişkin işlemler, kaplama malzemeleri ve bu yöntemle elde edilmiş kaplamalardan incelemiştir. Yapılan alışma neticesinde termal püskürtme ile metallerin kaplanmasının son derece verimli ve yaygın olarak kullanılabilme imkanı sunacağını belirtmiştir.

4. MATERYAL VE METOT

4.1 Materyal

4.1.1 Deney malzemesi

Bu çalışmada, üretimin her aşamasında yaygın olarak kullanılan Aşındırıcı Su Jeti, Tel Erozyon, Plazma, Oksi-gaz ve Lazer ile kesme yöntemleri kullanılarak; Ç1030 düşük karbonlu çelik ve SS 304 östenitik paslanmaz çelik malzemeler kesilmiştir. Deney malzemelerinin KOSGEB laboratuvarlarında yapılan spektral analiz sonuçları ile elde edilen kimyasal bileşimleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Deney numunelerinin karakterizasyonları Gazi Üniversitesi Metal Eğitimi Bölümünde bulunan cihazlar ile yapılmıştır.

Çizelge 4.1 Deney malzemelerinin kimyasal kompozisyonu (Ağırlıkça %).

SS 304									
Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	
% Oran	0.0476	0.498	0.979	0.0338	0.0075	17.30	0.217	8.06	
Element	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Fe	
% Oran	0.0248	0.147	0.228	0.0210	<0.001	0.016	<0.005	72.30	
Ç1030									
Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
% Oran	0.2852	0.190	0.722	0.0162	0.0332	0.0851	0.0123	0.124	0.00706
Element	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sb	Co	Fe
% Oran	0.447	0.00342	0.00171	<0.001	0.00847	0.002	0.00643	0.0126	<98.19

4.1.2 Kesilen malzemelerin hazırlanması

Kesme yüzeyine etki eden parametrelerden birisinin de yüzey temizliği olduğu düşünülerek yüzeyde bulunan oksitlerinin temizlenmesinde azami derecede özen gösterilmiştir. 80 x 60 mm boyutlarında, 10 ve 5 mm kalınlığında 30 adet Ç1030 çeliği ve 24 adet SS 304 paslanmaz çelik malzeme kesmeye hazır hale getirilmiştir. Farklı kesme yöntemleri kullanılarak kesilecek deney numunelerinin kodlamaları, her bir kesme yöntemi içinde ayrı ayrı tanımlanmıştır.

4.1.3 Kesme işleminin yapıldığı tezgahlar ve ilgili parametreler

Aşındırıcı Su Jeti ile kesme sistemi

Malzemelerin kesimlerinde Su jetiyle imalat yapan Ankara / Ostim MAKON firmasındaki FLOW TECH marka üç eksenli aşındırıcı su jetiyle kesme tezgahı ve bu tezgahın basınç ünitesi kullanılmıştır. Su jeti ile kesme işleminde kullanılan deney malzemelerinin kodlamaları Çizelge 4.2’de ve kesme parametreleri de Çizelge 4.3’de verilmiştir. Malzeme çeşitlerinden yüksek hız (506.18, 469.84, 318.87, 295.98) mm/dk, orta hız (272.34, 252.79, 171.56, 159.24) mm/dk ve düşük hız (151.35, 140.49, 95.34, 89.50) mm/dk olmak üzere üçer numune kesilmiştir. Aşındırıcı Su Jeti ile yapılan bu çalışmada su debisi 3323,27 bar olarak sabit tutulmuş olup, aşındırıcı parçacık olarak da alüminyum oksit (Al_2O_3) kullanılmıştır. Şekil 4.1’de kesme işleminde kullanılan su jeti tezgahı görülmektedir.



Şekil 4.1 Kesme işleminde kullanılan Su Jeti tezgahı.

Çizelge 4.2 Su Jeti ile kesmede kullanılan deney malzemelerinin kodlamaları.

Malzeme	Kesme yöntemi	Kalınlık (mm)	Kesme hızı	Kod
SS 304	Su Jeti	5	Hızlı	5PS-Hızlı
			Orta	5PS-Orta
			Yavaş	5PS-Yavaş
Ç1030	Su Jeti	5	Hızlı	5ÇS-Hızlı
			Orta	5ÇS-Orta
			Yavaş	5ÇS-Yavaş
SS 304	Su Jeti	10	Hızlı	10PS-Hızlı
			Orta	10PS-Orta
			Yavaş	10PS-Yavaş
Ç1030	Su Jeti	10	Hızlı	10ÇS-Hızlı
			Orta	10ÇS-Orta
			Yavaş	10ÇS-Yavaş

Çizelge 4.3 Su Jeti yöntemiyle kesme parametreleri.

Malzeme	Kalınlık (mm)	Kesme hızı	İlerleme hızı (mm/dk)	Toplam kesme zamanı (sn)
SS 304	5	Hızlı	506,18	18
		Orta	272,34	25
		Yavaş	151,35	39
Ç1030	5	Hızlı	469,84	19
		Orta	252,79	27
		Yavaş	140,49	42
SS 304	10	Hızlı	318,87	25
		Orta	171,56	37
		Yavaş	95,34	59
Ç1030	10	Hızlı	295,98	27
		Orta	159,24	40
		Yavaş	89,50	64

Çizelge 4.3'de görüldüğü gibi malzeme kalınlığı arttıkça ilerleme hızı azalmakta, toplam kesim zamanı ise artmaktadır. En yüksek ilerleme hızı 5PS-Hızlı, en çok toplam kesim zamanının ise 10ÇS-Yavaş kodlu numunede olduğu görülmektedir.

Lazer ile kesme sistemi

Malzemelerin Lazer ile kesimi, Ankara / Ostim OKURSOY firmasındaki BYSTRONIC-ALKOMEKS marka üç eksenli CNC Lazer kesim tezgahı ile gerçekleştirilmiştir. Lazer ile kesme işleminde kullanılan deney malzemelerinin kodlamaları Çizelge 4.4'de, kesme parametreleri de Çizelge 4.5'de verilmiştir. Malzeme çeşitlerinden yüksek hız (3200, 1100, 1080, 780) mm/dk, orta hız (3100, 1000, 700) mm/dk ve düşük hız (2900, 920, 900, 580) mm/dk olmak üzere üçer numune kesilmiştir. Şekil 4.2'de kesme işleminde kullanılan Lazer tezgahı görülmektedir.



Şekil 4.2 Kesme işleminde kullanılan Lazer tezgahı.

Çizelge 4.4 Lazer ile kesmede kullanılan deney malzemelerinin kodlamaları.

Malzeme	Kesme yöntemi	Kalınlık (mm)	Kesme hızı	Kod
SS 304	Lazer	5	Hızlı	5PL-Hızlı
			Orta	5PL-Orta
			Yavaş	5PL-Yavaş
Ç1030	Lazer	5	Hızlı	5ÇL-Hızlı
			Orta	5ÇL-Orta
			Yavaş	5ÇL-Yavaş
SS 304	Lazer	10	Hızlı	10PL-Hızlı
			Orta	10PL-Orta
			Yavaş	10PL-Yavaş
Ç1030	Lazer	10	Hızlı	10ÇL-Hızlı
			Orta	10ÇL-Orta
			Yavaş	10ÇL-Yavaş

Çizelge 4.5 Lazer yöntemiyle kesme parametreleri.

Malzeme	Kalınlık (mm)	Kesme hızı	İlerleme hızı (mm/dk)	Toplam kesme zamanı (sn)
SS 304	5	Hızlı	1100	18
		Orta	1000	20
		Yavaş	900	23
Ç1030	5	Hızlı	3200	09
		Orta	3100	10
		Yavaş	2900	12
SS 304	10	Hızlı	780	25
		Orta	700	30
		Yavaş	580	36
Ç1030	10	Hızlı	1080	17
		Orta	1000	21
		Yavaş	920	25

Çizelge 4.5 incelendiğinde 5 mm kalınlığındaki SS 304 deney numunelerinin, 5 mm kalınlığındaki Ç1030 deney numunelerine göre ilerleme hızları daha düşük, toplam kesim zamanları ise daha yüksektir. Aynı durum 10 mm kalınlığındaki numuneler içinde geçerlidir. En yüksek ilerleme hızı 5ÇL-Hızlı, en çok toplam kesim zamanının ise 10PL-Yavaş kodlu numunede olduğu görülmektedir.

Oksijen ve Plazma ile kesme sistemi

Malzemelerin kesimlerinde Ankara / Ostim MASS OPTİK firmasının PICOPATH üç eksenli CNC Oksijen ve Plazma kesim tezgahı kullanılmıştır. Oksijen ile kesme işleminde kullanılan deney malzemelerinin kodlamaları Çizelge 4.6'da, kesme parametreleri Çizelge 4.7'de, Plazma ile kesme işleminde kullanılan deney malzemelerinin kodlamaları Çizelge 4.8'de ve kesme parametreleri de Çizelge 4.9'da verilmiştir. Şekil 4.3'de kesme işleminde kullanılan CNC Oksijen ve Plazma tezgahı görülmektedir. SS 304 paslanmaz çelik malzeme Oksi-gaz yöntemi ile kesme yapılırken havanın içindeki oksijen kesme yüzeyinin oksitlenmesine neden olduğundan kesme işlemi gerçekleştirilemedi.



Şekil 4.3 Kesme işleminde kullanılan CNC Oksijen ve Plazma tezgahı.

Çizelge 4.6 Oksijen ile kesmede kullanılan deney malzemelerinin kodlamaları.

Malzeme	Kesme yöntemi	Kalınlık (mm)	Kesme hızı	Kod
Ç1030	Oksijen	5	Hızlı	5ÇO-Hızlı
			Orta	5ÇO-Orta
			Yavaş	5ÇO-Yavaş
Ç1030	Oksijen	10	Hızlı	10ÇO-Hızlı
			Orta	10ÇO-Orta
			Yavaş	10ÇO-Yavaş

Çizelge 4.7 Oksijen yöntemiyle kesme parametreleri.

Malzeme	Kalınlık (mm)	Kesme hızı	İlerleme hızı (mm/dk)	Toplam kesme zamanı (sn)
Ç1030	5	Hızlı	10	59
		Orta	7	65
		Yavaş	5	69
Ç1030	10	Hızlı	7	90
		Orta	5	101
		Yavaş	2	108

Çizelge 4.8 Plazma ile kesmede kullanılan deney malzemelerinin kodlamaları.

Malzeme	Kesme yöntemi	Kalınlık (mm)	Kesme hızı	Kod
SS 304	Plazma	5	Hızlı	5PP-Hızlı
			Orta	5PP-Orta
			Yavaş	5PP-Yavaş
Ç1030	Plazma	5	Hızlı	5ÇP-Hızlı
			Orta	5ÇP-Orta
			Yavaş	5ÇP-Yavaş
SS 304	Plazma	10	Hızlı	10PP-Hızlı
			Orta	10PP-Orta
			Yavaş	10PP-Yavaş
Ç1030	Plazma	10	Hızlı	10ÇP-Hızlı
			Orta	10ÇP-Orta
			Yavaş	10ÇP-Yavaş

Çizelge 4.9 Plazma yöntemiyle kesme parametreleri.

Malzeme	Kalınlık (mm)	Kesme hızı	İlerleme hızı (mm/dk)	Toplam kesme zamanı (sn)
SS 304	5	Hızlı	2300	68
		Orta	2200	76
		Yavaş	2100	82
Ç1030	5	Hızlı	3100	48
		Orta	3000	56
		Yavaş	2900	61
SS 304	10	Hızlı	1300	74
		Orta	1200	83
		Yavaş	1100	87
Ç1030	10	Hızlı	1370	70
		Orta	1270	78
		Yavaş	1170	81

Oksijen ile kesme yönteminde kullanılan Ç1030 deney numunelerinin, parça kalınlığına ve kesme hızına bağlı olarak kodlamaları Çizelge 4.6'da, deney numunelerinin kalınlığa ve kesme hızına bağlı olarak ilerleme hızları (mm/dk) ve toplam kesim zamanları (sn) olarak Çizelge 4.7'de verilmiş olup, malzeme kalınlığı arttıkça ilerleme hızının azalmakta, toplam kesim zamanının da arttığı görülmektedir. En yüksek ilerleme hızı 5ÇO-Hızlı, en çok toplam kesim zamanının ise 10ÇO-Yavaş kodlu numunede olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.9'da görüldüğü gibi 5 mm kalınlığındaki SS 304 deney numunelerinin, 5 mm kalınlığındaki Ç1030 deney numunelerine göre ilerleme hızları daha düşük, toplam kesim zamanları ise daha yüksektir ve Çizelge 4.9'da aynı durum 10 mm kalınlığındaki numuneler içinde geçerlidir. En yüksek ilerleme hızı 5ÇP-Hızlı, en çok toplam kesim zamanının ise 10PP-Yavaş kodlu numunede olduğu görülmektedir.

Tel Erozyon ile kesme sistemi

Malzemelerin Tel Erozyon ile kesilmesinde Ankara / Ostim KALIPSAN firmasının AQSL-350 markalı Tel Erozyon kesim tezgahı kullanılmıştır. Tel Erozyon ile kesme işleminde kullanılan deney malzemelerinin kodlamaları Çizelge 4.10'da ve kesme parametreleri ise Çizelge 4.11'de verilmiştir. Deney malzemelerinin kesiminde pirinç tel kullanılmıştır. Malzeme çeşitlerinden yüksek hız (4,5) mm/dk, orta hız (3,5) mm/dk ve düşük hız (2,5) mm/dk

olmak üzere üçer numune kesilmiş olup, Şekil 4.4’de kesme işleminde kullanılan Tel Erozyon kesim tezgahı gösterilmektedir.



Şekil 4.4 Kesme işleminde kullanılan Tel Erozyon tezgahı.

Çizelge 4.11’de görüldüğü gibi, malzeme kalınlığı arttıkça, toplam kesim zamanı artmaktadır. En çok toplam kesim zamanının 10PT-Yavaş kodlu numunede olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.10 Tel Erozyon ile kesmede kullanılan deney malzemelerinin kodlamaları.

Malzeme	Kesme yöntemi	Kalınlık (mm)	Kesme hızı	Kod
SS 304	Tel Erozyon	5	Hızlı	5PT-Hızlı
			Orta	5PT-Orta
			Yavaş	5PT-Yavaş
Ç1030	Tel Erozyon	5	Hızlı	5ÇT-Hızlı
			Orta	5ÇT-Orta
			Yavaş	5ÇT-Yavaş
SS 304	Tel Erozyon	10	Hızlı	10PT-Hızlı
			Orta	10PT-Orta
			Yavaş	10PT-Yavaş
Ç1030	Tel Erozyon	10	Hızlı	10ÇT-Hızlı
			Orta	10ÇT-Orta
			Yavaş	10ÇT-Yavaş

Çizelge 4.11 Tel Erozyon yöntemiyle kesme parametreleri.

Malzeme	Kalınlık (mm)	Kesme hızı	İlerleme hızı (mm/dk)	Toplam kesme zamanı (dk)
SS 304	5	Hızlı	4,5	13
		Orta	3,5	17
		Yavaş	2,5	20
Ç1030	5	Hızlı	4,5	11
		Orta	3,5	13
		Yavaş	2,5	16
SS 304	10	Hızlı	4,5	21
		Orta	3,5	24
		Yavaş	2,5	28
Ç1030	10	Hızlı	4,5	16
		Orta	3,5	19
		Yavaş	2,5	23

4.2 Metot

Su Jeti, Plazma, Lazer, Tel Erozyon ve Oksijen ile kesilen Ç 1030 ve SS 304 Paslanmaz çelik malzemelerin kesilen yüzeylerinden 10 x 8 mm boyutunda numuneler kesilerek; yüzey pürüzlülük ölçümü, mikro sertlikleri ve mikro yapıları incelenmiştir.

4.2.1 Mikro sertlik ölçümü

Kesilen malzemelerin sahip oldukları mikro sertlik değerleri numunelerin kesilen yüzeylerinden ana malzemeye doğru alınmıştır. Ölçümlerde tepe açısı 136° Vickers uca sahip HMV SHIMADZU marka mikro sertlik cihazı kullanılmış ve 100 gr yük uygulanmıştır. Ölçümler, kesilen yüzeyden ana malzemeye doğru 0.25 mm aralıklarla (0.25 mm- 1.5 mm) arasında 6 adet alınmıştır. Şekil 4.5’de malzemelerin sertlik ölçümünde kullanılan mikro sertlik cihazı görülmektedir.



Şekil 4.5 HMV Shimadzu marka mikro sertlik cihazı.

4.2.2 Kesim yüzeylerinin metalografik incelenmesi

Farklı kesme yöntemlerinin özelliklerine bağlı olarak, özellikle malzemenin kesilen yüzeyinde ve bu yüzeye yakın bölgelerde malzemenin metalürjik yapısında bazı değişiklikler

söz konusu olduğu gözlenmiştir. Malzemenin mikro yapısındaki bu değişimin numunelerin mekanik özelliklerinde de bir değişime sebep olması beklenen bir sonuçtur.

Deneylerde; 5 ve 10 mm kalınlığında, SS 304 Paslanmaz çelik ve Ç1030 orta karbonlu çelik malzemeler kullanılmıştır. Deney numunelerinin spektral analizleri yapıldıktan sonra her bir kesme yöntemi ve her bir kalınlık için tel erozyon yöntemiyle metalografik numuneler hazırlanmıştır. Bu numuneler polyester reçineyle (bakalit) gömülmüştür. Daha sonra numuneler sırası ile 240 - 400 - 600 - 800 -1200 numaralı SİC su zımparası ile, her seferinde 90° döndürülerek her yönde eşit miktarda zımparalanmıştır. Zımparalanan numunelerin parlatma işlemleri de sırasıyla 6 µm, 3 µm ve 1 µm'lik elmas parlatıcı kullanılarak DP mikro keçe kumaş üzerinde parlatılmıştır. Parlatılan numuneler 100 ml HCl, 100 ml etil alkol, 100 ml saf su, 5 gr CuCl₂ kimyasal karışımı ile SS 304, 98 ml CH₃OH, 2 ml HNO₃ kimyasal karışımıyla ise Ç1030 deney numuneleri dağlanmış ve x 200, x 100, x 50 büyütülerek LEİCA DFC320 dijital kamera bağlantılı LEİCA DM 4000m optik mikroskop yardımı ile görüntüleri alınmıştır. İncelemelerde görüntü alımında, kesilen yüzeyin karakteristik özelliklerini tam olarak yansıtan bölgelerden alınmasına özen gösterilmiştir. Şekil 4.6'da optik mikroskop cihazı görülmektedir.



Şekil 4.6 Numunelerin metalografik incelenmesinde kullanılan mikroskop fotoğrafı.

4.2.3 Kesilen malzemelerin yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi

Deneylerde kullanılan numunelerin yüzey pürüzlülükleri (R_a : ortalama pürüzlülük, R_z : profildeki en yüksek 5 tepe ile en derin 5 vadi genliklerinin aritmetik ortalaması ve R_{max} : ölçme yapılan profildeki en yüksek pürüzlülük değeridir.) PERTHOMETER S8P tipi mekanik yüzey profilometre cihazı ile belirlenmiştir. Şekil 4.7’de yüzey pürüzlülük cihazı gösterilmiştir. Temaslı ve temassız olarak malzemelerin üç boyutlu profillerini çıkartan Perthen yüzey profilometre cihazı, max. 60 mm tarama uzunluğu, 0.5-0.1 mm/sn tarama hızı, yaklaşık 1.5 mm/sn dönüş hızına sahiptir. Kesilmiş deney numunelerinin kesme yüzeyinden 3 adet pürüzlülük değeri alınmış ve bu değerlerin aritmetik ortalamaları değerlendirilmiştir. Pürüzlülük değerleri malzemelerin kesitinden değil, yüzeyinden yapılmıştır. Bu çalışmada yapılan ölçümlerde ölçüm aralığı (VB) 0.8 mm ve ölçüm uzunluğu 5.6 mm olarak seçilmiştir.



Şekil 4.7 Perthometer S8P tipi yüzey pürüzlülüğü cihazı.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 Mikro Sertlik Değerleri

Farklı yöntemlerle kesilen numunelerin kesilen yüzeylerinde ve bu yüzeyden itibaren 5 ve 10 mm kalınlığındaki bu numunelerin merkezine doğru olan mesafede, 0.25 mm aralıklarla sertlik değerleri (HV cinsinden) ölçülerek, farklı kesme yöntemlerinin, kesilen yüzeyde ve bu yüzeyden itibaren hangi derinliğe kadar, malzemenin sertliği üzerinde etkili olduğu değerlendirilmiştir. Lazer ile kesme yöntemi sonucunda malzeme kalınlığı ve kesme hızına göre sertlik değerleri Çizelge 5.1’de, Oksijen ile kesme yöntemi sonucunda malzeme kalınlığı ve kesme hızına göre sertlik değerleri Çizelge 5.2’de, Plazma ile kesme yöntemi sonucunda malzeme kalınlığı ve kesme hızına göre sertlik değerleri Çizelge 5.3’de, Su Jeti ile kesme yöntemi sonucunda malzeme kalınlığı ve kesme hızına göre sertlik değerleri Çizelge 5.4’de ve Tel Erozyon ile kesme yöntemi sonucunda malzeme kalınlığı ve kesme hızına göre sertlik değerleri de Çizelge 5.5’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Lazer ile kesme yönteminde SS 304 ve Ç1030 deney numunelerinin yüzeyden merkeze doğru sertlik değerleri.

Malzeme	Kalınlık (mm)	Kesme hızı	Sertlik değeri HV 0,1 kgf						Kod
			0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	
SS 304	5	Hızlı	245	240	214	212	206	204	5PL-Hızlı
		Orta	234	225	220	216	200	198	5PL-Orta
		Yavaş	220	210	195	192	190	187	5PL-Yavaş
Ç1030	5	Hızlı	437	302	243	162	160	159	5ÇL-Hızlı
		Orta	322	310	208	163	160	158	5ÇL-Orta
		Yavaş	278	165	159	133	131	130	5ÇL-Yavaş
SS 304	10	Hızlı	293	290	265	263	255	253	10PL-Hızlı
		Orta	280	279	273	250	248	247	10PL-Orta
		Yavaş	275	239	229	226	225	224	10PLYavaş
Ç1030	10	Hızlı	657	538	452	380	245	243	10ÇL-Hızlı
		Orta	594	490	448	372	225	223	10ÇL-Orta
		Yavaş	500	426	368	280	230	229	10ÇLYavaş

Çizelge 5.2 Oksijen ile kesme yönteminde Ç1030 deney numunelerinin yüzeyden merkeze doğru sertlik değerleri.

Malzeme	Kalınlık (mm)	Kesme hızı	Sertlik değeri HV 0,1 kgf						Kod
			0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	
Ç1030	5	Hızlı	563	481	472	460	457	455	5ÇO-Hızlı
		Orta	520	489	465	454	453	451	5ÇO-Orta
		Yavaş	586	439	425	423	421	419	5ÇO-Yavaş
Ç1030	10	Hızlı	631	523	499	411	410	408	10ÇO-Hızlı
		Orta	681	559	420	402	401	399	10ÇO-Orta
		Yavaş	608	504	480	464	460	359	10ÇO-Yavaş

Çizelge 5.3 Plazma ile kesme yönteminde SS 304 ve Ç1030 deney numunelerinin yüzeyden merkeze doğru sertlik değerleri.

Malzeme	Kalınlık (mm)	Kesme hızı	Sertlik değeri HV 0,1 kgf						Kod
			0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	
SS 304	5	Hızlı	319	304	287	278	270	268	5PP-Hızlı
		Orta	312	277	271	270	265	264	5PP-Orta
		Yavaş	305	289	269	265	263	261	5PP-Yavaş
Ç1030	5	Hızlı	320	200	155	136	135	130	5ÇP-Hızlı
		Orta	261	230	208	145	143	141	5ÇP-Orta
		Yavaş	209	180	170	160	155	153	5ÇP-Yavaş
SS 304	10	Hızlı	325	273	267	254	253	250	10PP-Hızlı
		Orta	281	276	272	260	236	235	10PP-Orta
		Yavaş	280	262	253	250	228	227	10PPYavaş
Ç1030	10	Hızlı	457	342	204	203	200	198	10ÇP-Hızlı
		Orta	352	232	196	187	185	183	10ÇP-Orta
		Yavaş	328	226	189	181	180	178	10ÇPYavaş

Çizelge 5.4 Su Jeti ile kesme yönteminde SS 304 ve Ç1030 deney numunelerinin yüzeyden merkeze doğru sertlik değerleri.

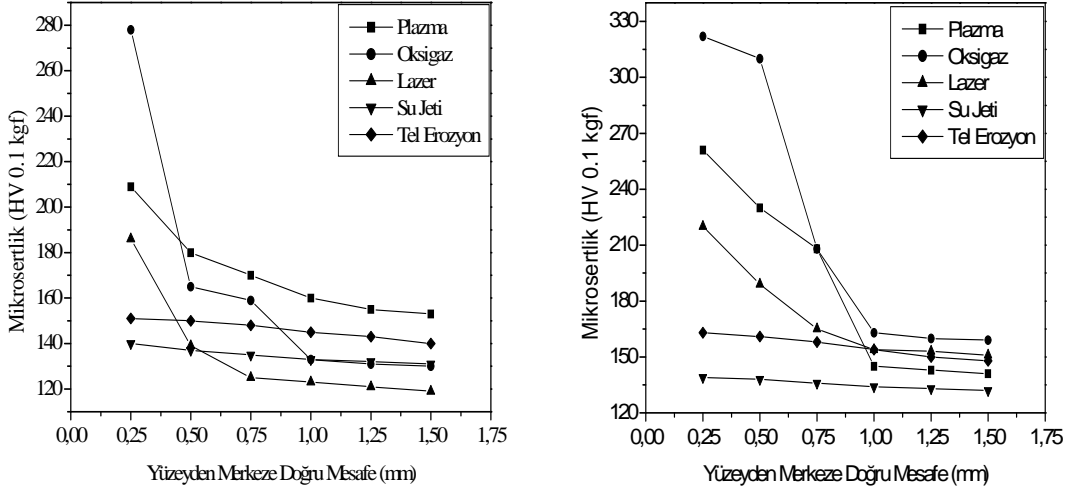
Malzeme	Kalınlık (mm)	Kesme hızı	Sertlik değeri HV 0,1 kgf						Kod
			0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	
SS 304	5	Hızlı	168	165	163	161	160	160	5PS-Hızlı
		Orta	164	161	159	158	158	157	5PS-Orta
		Yavaş	160	157	155	154	152	152	5PS-Yavaş
Ç1030	5	Hızlı	140	137	135	133	132	131	5ÇS-Hızlı
		Orta	139	138	136	134	133	132	5ÇS-Orta
		Yavaş	137	136	135	133	132	130	5ÇS-Yavaş
SS 304	10	Hızlı	170	167	165	162	161	160	10PS-Hızlı
		Orta	164	161	160	160	159	158	10PS-Orta
		Yavaş	163	161	160	157	156	156	10PSYavaş
Ç1030	10	Hızlı	159	156	153	150	149	149	10ÇS-Hızlı
		Orta	157	155	152	150	148	147	10ÇS-Orta
		Yavaş	156	153	150	149	148	148	10ÇSYavaş

Çizelge 5.5 Tel Erozyon ile kesme yönteminde SS 304 ve Ç1030 deney numunelerinin yüzeyden merkeze doğru sertlik değerleri.

Malzeme	Kalınlık (mm)	Kesme hızı	Sertlik değeri HV 0,1 kgf						Kod
			0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	
SS 304	5	Hızlı	170	168	166	165	163	160	5PT-Hızlı
		Orta	163	161	158	154	150	148	5PT-Orta
		Yavaş	151	150	148	145	143	140	5PT-Yavaş
Ç1030	5	Hızlı	179	175	172	171	170	170	5ÇT-Hızlı
		Orta	168	165	164	160	159	159	5ÇT-Orta
		Yavaş	160	157	156	154	153	153	5ÇT-Yavaş
SS 304	10	Hızlı	201	192	187	182	180	179	10PT-Hızlı
		Orta	195	186	180	177	175	173	10PT-Orta
		Yavaş	183	175	173	170	167	166	10PTYavaş
Ç1030	10	Hızlı	198	196	189	187	183	182	10ÇT-Hızlı
		Orta	187	183	175	173	170	169	10ÇT-Orta
		Yavaş	179	175	171	168	165	163	10ÇTYavaş

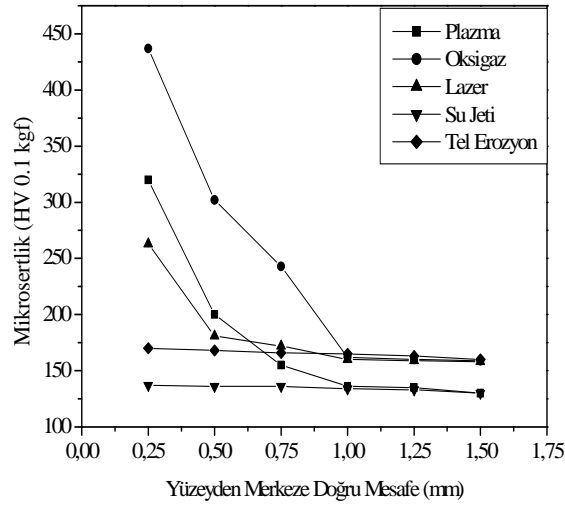
5.1.1 Kesme yönteminin mikro sertlik değişimine etkisi

Farklı kesme yöntemleri ve değişik kesme hızları kullanılarak elde edilen deney numunelerindeki sertlik değişimleri incelenmiştir. Buna göre 5 mm kalınlığındaki Ç1030 malzemesinin kesme yöntemlerine bağlı olarak sertlik değişimleri Şekil 5.1'de, 5 mm kalınlığındaki SS 304 malzemesinin kesme yöntemlerine bağlı olarak sertlik değişimleri Şekil 5.2'de, 10 mm kalınlığındaki Ç1030 malzemesinin kesme yöntemlerine bağlı olarak sertlik değişimleri Şekil 5.3'de ve 10 mm kalınlığındaki SS 304 malzemesinin kesme yöntemlerine bağlı olarak sertlik değişimleri de Şekil 5.4'de gösterilmektedir.



a) Düşük hızda kesilen numune

b) Orta hızda kesilen numune

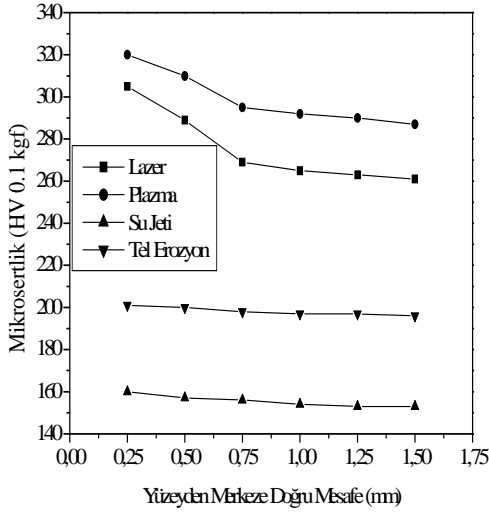


c) Yüksek hızda kesilen numune

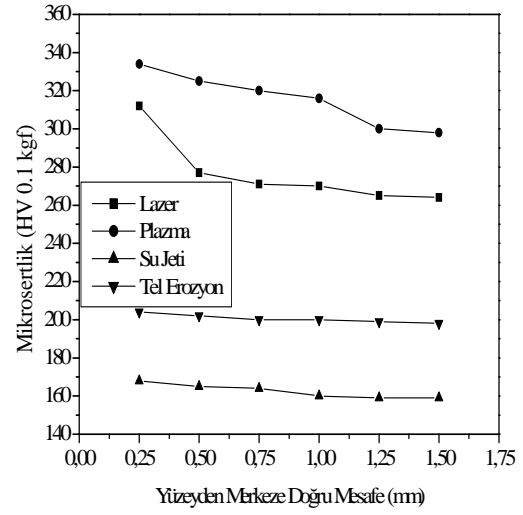
Şekil 5.1 Kesme yöntemlerine bağlı olarak 5 mm kalınlığındaki Ç1030 malzemesinin mikro sertlik değişimi.

Şekil 5.1'deki sertlikler incelendiğinde kesme yöntemlerinin ısı girdisine bağlı olarak sertlik değişimleri de farklılık göstermiştir. Isı girdisi en yüksek olan Oksi-gaz yöntemi ile kesmede diğer yöntemlere göre daha çok sertlik değişiminin olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni, Oksi-gaz yöntemi ile kesmede ısı girdisinin fazla olmasından dolayı malzeme yapısında değişim meydana getirmekte ve dolayısı ile kesme bölgesinde sertleşme oluşmaktadır. Tel Erozyon ve Su Jeti yöntemleri ile yapılan kesmede ise ısı girdisinin yok denecek kadar az

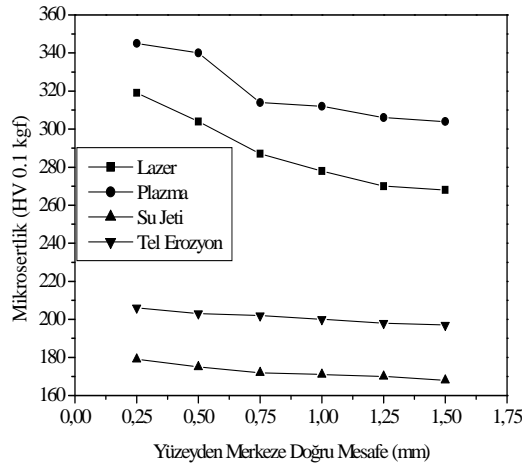
olması nedeniyle sertlik değişimi de olmamıştır. Tüm kesme hızları incelendiğinde; en yüksek sertlik değeri Oksi-gaz yöntemi ile kesme yönteminde oluşurken, en düşük sertlik değeri ise Su Jeti ile kesme yönteminde elde edilmiştir.



a) Düşük hızda kesilen numune



b) Orta hızda kesilen numune

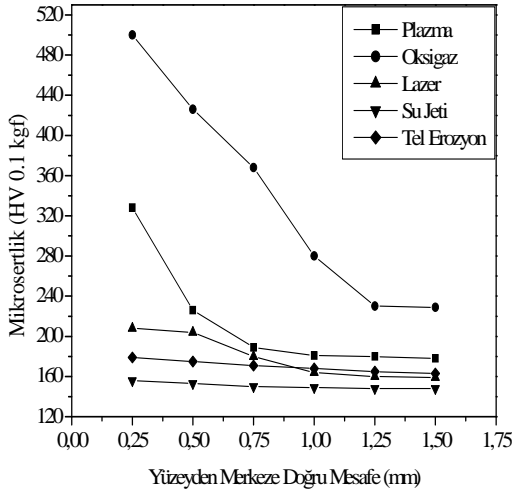


c) Yüksek hızda kesilen numune

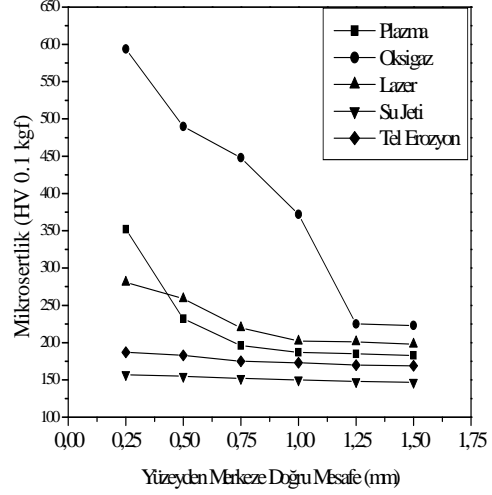
Şekil 5.2 Kesme yöntemlerine bağlı olarak 5 mm kalınlığındaki SS 304 malzemesinin mikro sertlik değişimi.

Şekil 5.2'deki sertlikler incelendiğinde yöntemlerin ısı girdisine bağlı olarak sertlik değişimleri de farklı olmuştur. Isı girdisi en yüksek olan Plazma yöntemi ile kesmede diğer yöntemlere göre daha çok sertlik değişimi görülürken, Tel Erozyon ve Su Jeti yöntemleri ile kesmede ısı girdisinin yok denecek kadar az olmasından dolayı sertlik değişimi de buna bağlı

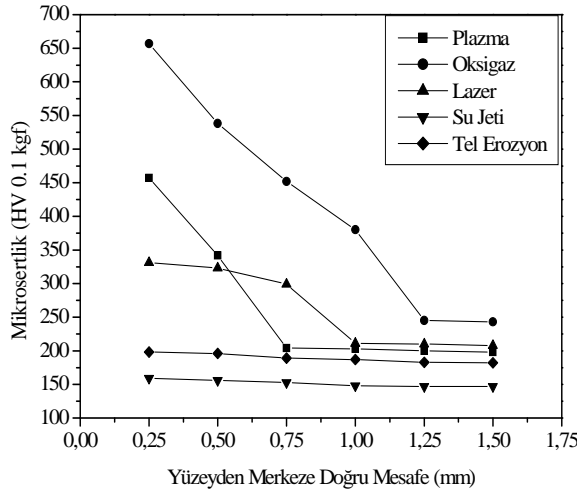
olarak çok az olmuştur. SS 304 paslanmaz çelik malzeme Oksi-gaz yöntemi ile kesilememiştir. Bunun nedeni de kesme sırasında malzeme yüzeyinde oksitlenme oluşmasından dolayı kesme işlemi yapılamamıştır.



a) Düşük hızda kesilen numune



b) Orta hızda kesilen numune

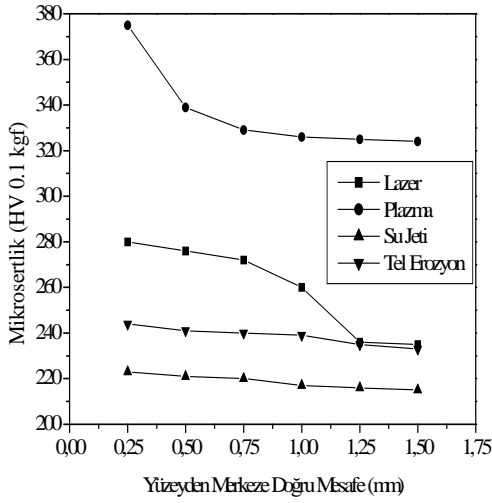


c) Yüksek hızda kesilen numune

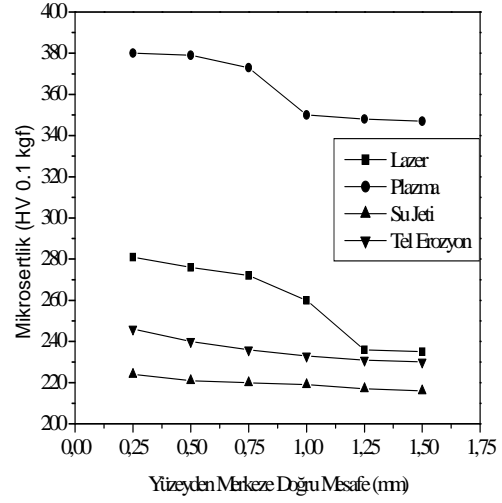
Şekil 5.3 Kesme yöntemlerine bağlı olarak 10 mm kalınlığındaki Ç1030 malzemesinin mikro sertlik değişimi.

Şekil 5.3'deki sertlikler incelendiğinde kesme yöntemlerinin ısı girdisine bağlı olarak sertlik değişimleri farklılık göstermiştir. Isı girdisi en yüksek olan Oksi-gaz yöntemi ile kesmede diğer yöntemlere göre daha çok sertlik değişimi görülürken, Tel Erozyon ve Su Jeti

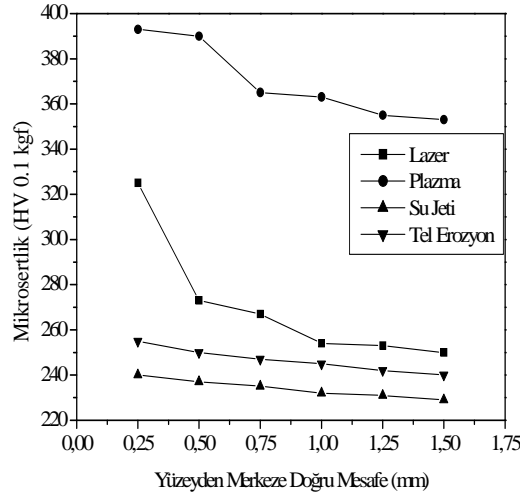
yöntemleri ile kesmede ısı girdisi çok az olmasından dolayı sertlik değişimi de az olmuştur. Ancak malzeme kalınlığı ve kesme hızı arttıkça kesme yöntemlerinin tümünde sertlik değerleri de artmaktadır. Bunun nedeni malzeme kalınlığının artmasından dolayı kesme sırasında ısı girdisi daha yüksek olmakta bu da malzeme yapısını etkilemektedir.



a) Düşük hızda kesilen numune



b) Orta hızda kesilen numune



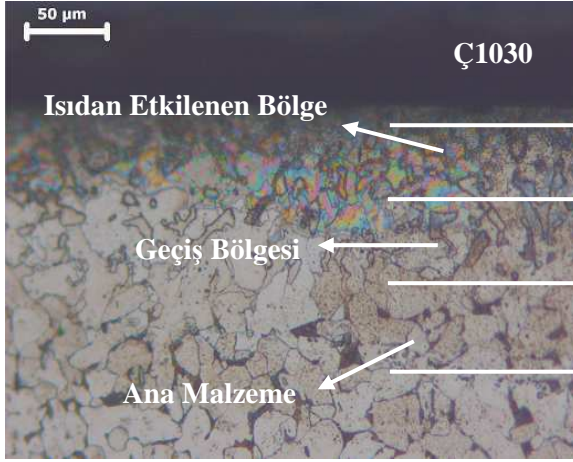
c) Yüksek hızda kesilen numune

Şekil 5.4 Kesme yöntemlerine bağlı olarak 10 mm kalınlığındaki SS 304 malzemesinin mikro sertlik değişimi.

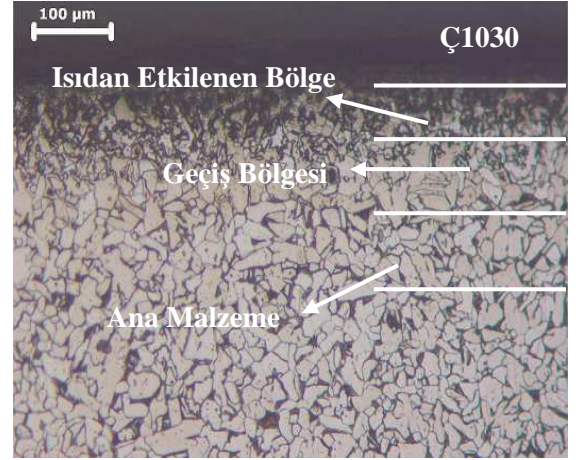
Şekil 5.4'deki sertlikler incelendiğinde yöntemlerin ısı girdisine bağlı olarak sertlik değişimleri de farklı olmuştur. Isı girdisi en yüksek olan Plazma yöntemi ile kesmede diğer yöntemlere göre daha çok sertlik değişimi görülürken, Tel Erozyon ve Su Jeti yöntemleri ile kesmede ısı girdisi çok az olmasından dolayı sertlik değişimi de buna bağlı olarak az olmuştur. Ancak SS 304 paslanmaz çelik malzeme kalınlığı arttıkça kesme yöntemlerinin tamamında sertlik değişimleri de artmaktadır. Bu sertlik artışının nedeni, kesme sırasında malzemeye etki eden ısı miktarının artmasıdır.

5.2 Mikro Yapı Değişimi

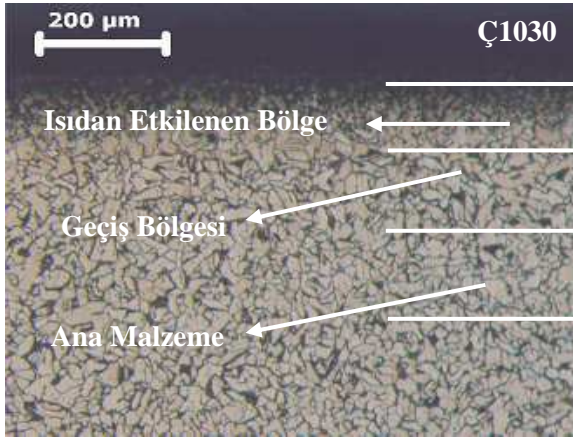
Ç1030 ve SS 304 deney numunelerinin kalınlığa, kesme hızına ve kesme yöntemine bağlı olarak optik görüntüleri incelenmiştir. Lazer kesme yöntemiyle kesilmiş 5 mm kalınlığındaki deney numunelerinin kesme hızına bağlı olarak elde edilen optik görüntüleri Şekil 5.5'de, aynı yöntemle kesilen 10 mm kalınlığında ki deney numunelerinin kesme hızına bağlı olarak elde edilen optik görüntüleri ise Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Plazma kesme yöntemi kullanılarak kesilen 5 mm kalınlığındaki deney numunelerinin kesme hızına bağlı olarak elde edilen optik görüntüleri Şekil 5.7'de, aynı yöntem kullanılarak kesilen 10 mm kalınlığında ki deney numunelerinin kesme hızına bağlı olarak elde edilen optik görüntüleri ise Şekil 5.8'de gösterilmiştir. Oksi-gaz kesme yöntemiyle kesilmiş 5-10 mm kalınlığındaki deney numunelerinin kesme hızına bağlı olarak elde edilen optik görüntüleri Şekil 5.9'da gösterilmiştir. Su Jeti kesme yöntemi kullanılarak kesilen 5 mm kalınlığındaki deney numunelerinin kesme hızına bağlı olarak elde edilen optik görüntüleri Şekil 5.10'da, aynı yöntem kullanılarak kesilen 10 mm kalınlığında ki deney numunelerinin kesme hızına bağlı olarak elde edilen optik görüntüleri ise Şekil 5.11'de gösterilmiştir. Tel Erozyon kesme yöntemiyle kesilmiş 5 mm kalınlığındaki deney numunelerinin kesme hızına bağlı olarak elde edilen optik görüntüleri Şekil 5.12'de, aynı yöntemle kesilen 10 mm kalınlığında ki deney numunelerinin kesme hızına bağlı olarak elde edilen optik görüntüleri ise Şekil 5.13'de gösterilmiştir. Mikro yapı görüntülerinin incelenmesi ile, farklı yöntemlerle kesilen numunelerin, kesilen yüzeylerindeki ve kesilen yüzeye yakın bölgelerde mikro yapı özellikleri değerlendirilmiştir. Farklı kesme yöntemlerinin numunelerin metalürjik özellikleri üzerindeki etkileri Çizelge 5.6'da verilmiştir.



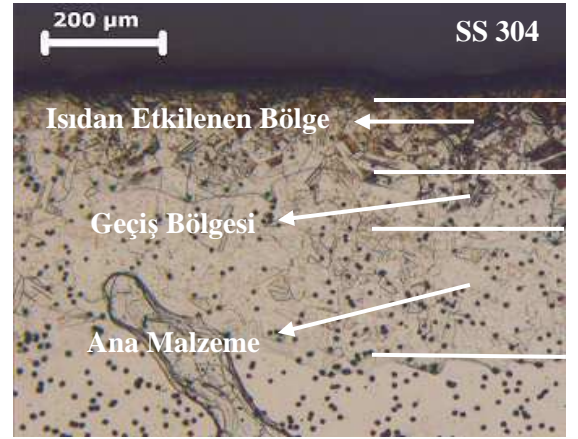
a) 5ÇL-2900 (düşük hızda kesim)



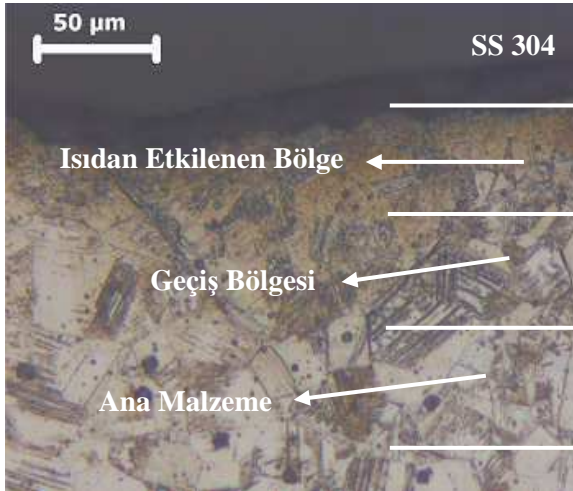
b) 5ÇL-3100 (orta hızda kesim)



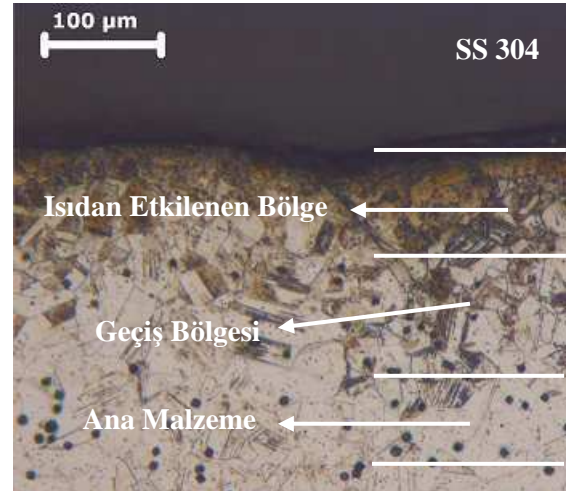
c) 5ÇL-3200 (yüksek hızda kesim)



d) 5PL-1100 (yüksek hızda kesim)

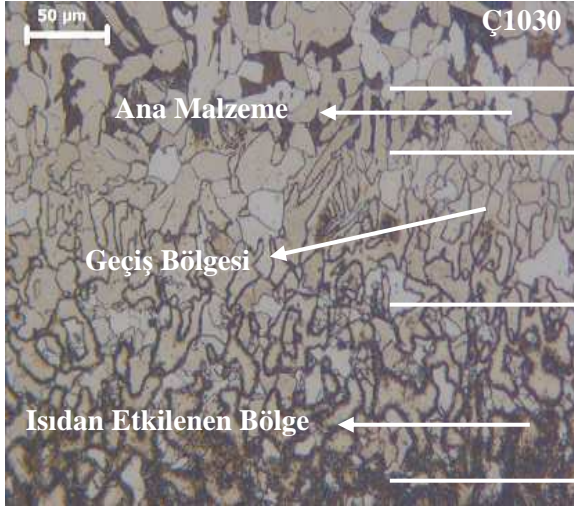


e) 5PL-900 (düşük hızda kesim)

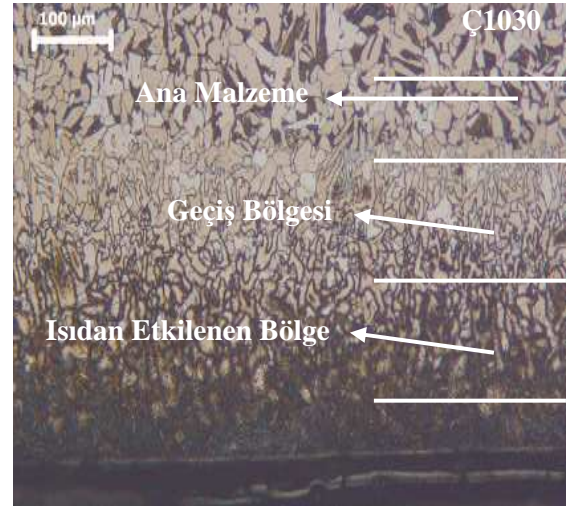


f) 5PL-1000 (orta hızda kesim)

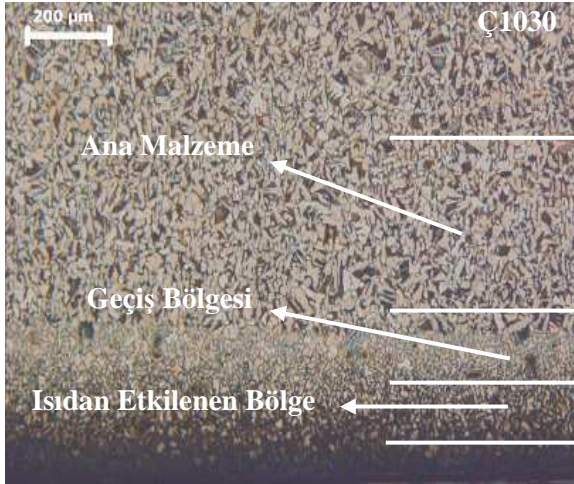
Şekil 5.5 Lazer yöntemiyle kesilen 5 mm kalınlığındaki deney numunelerinin kesme hızına bağlı olarak elde edilen optik mikroskop görüntüleri.



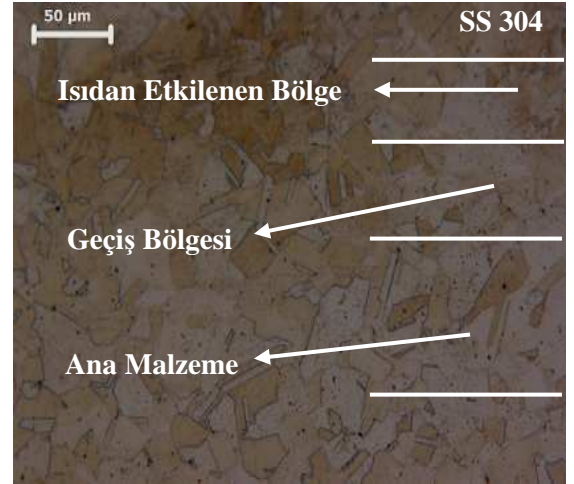
a) 10ÇL-920 (düşük hızda kesim)



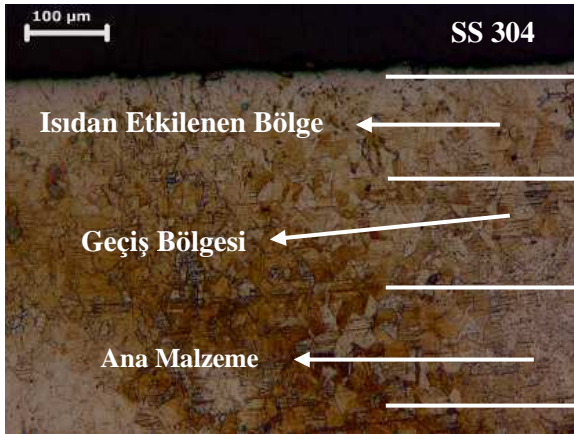
b) 10ÇL-1000 (orta hızda kesim)



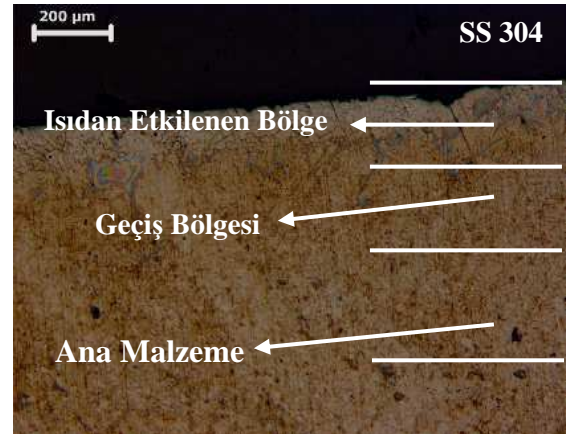
c) 10ÇL-1080 (yüksek hızda kesim)



d) 10PL-580 (düşük hızda kesim)

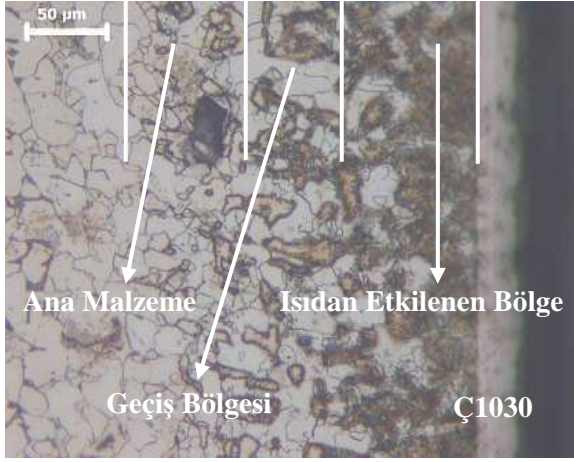


e) 10PL-700 (orta hızda kesim)

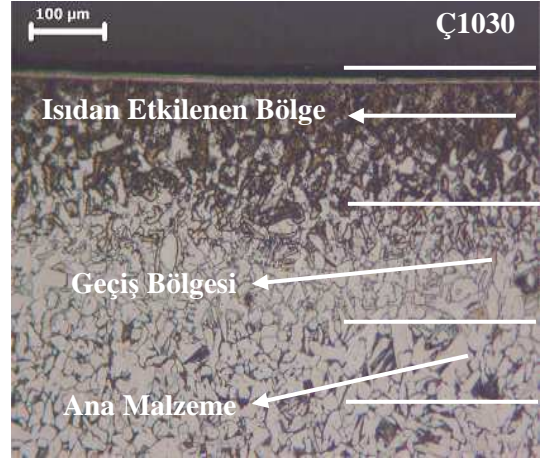


f) 10PL-780 (yüksek hızda kesim)

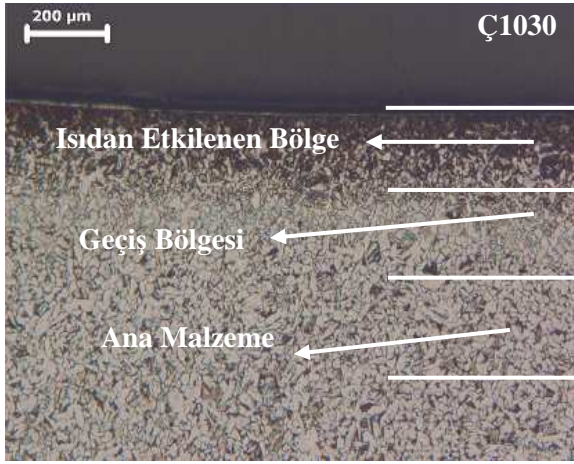
Şekil 5.6 Lazer yöntemiyle kesilen 10 mm kalınlığındaki deney numunelerinin kesme hızına bağlı olarak elde edilen optik mikroskop görüntüleri.



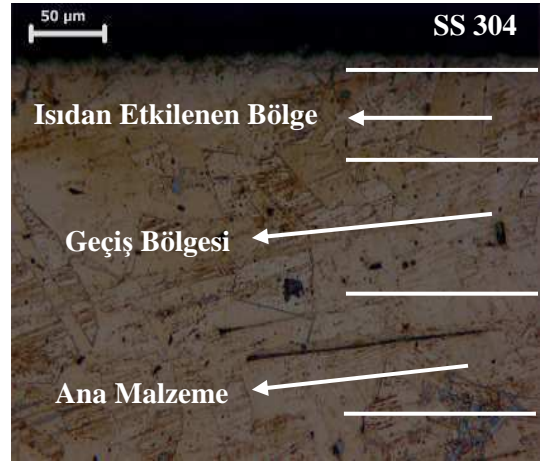
a) 5ÇP-2900 (düşük hızda kesim)



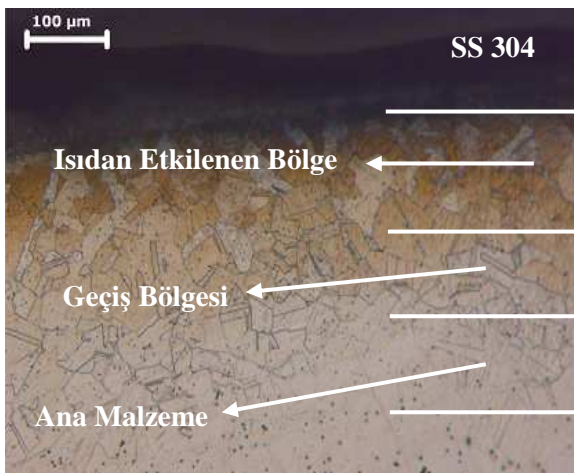
b) 5ÇP-3000 (orta hızda kesim)



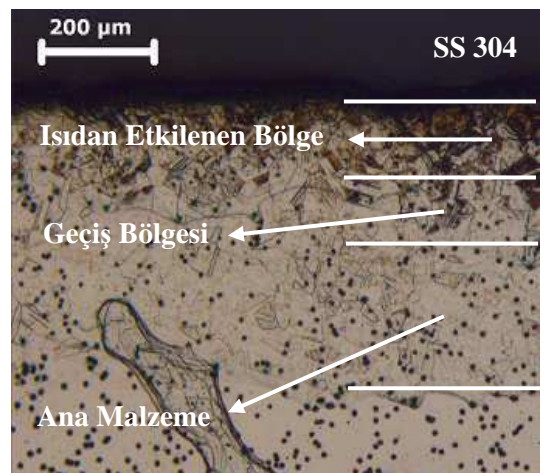
c) 5ÇP-3100 (yüksek hızda kesim)



d) 5PP-2100 (düşük hızda kesim)

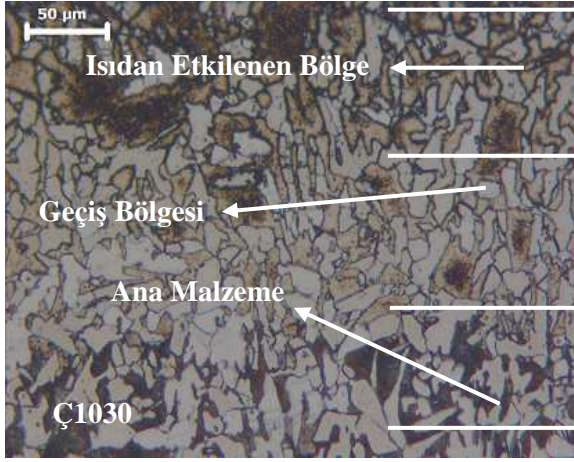


e) 5PP-2200 (orta hızda kesim)

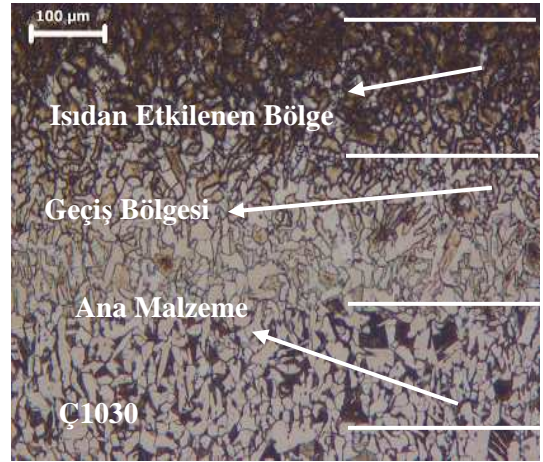


f) 5PP-2300 (yüksek hızda kesim)

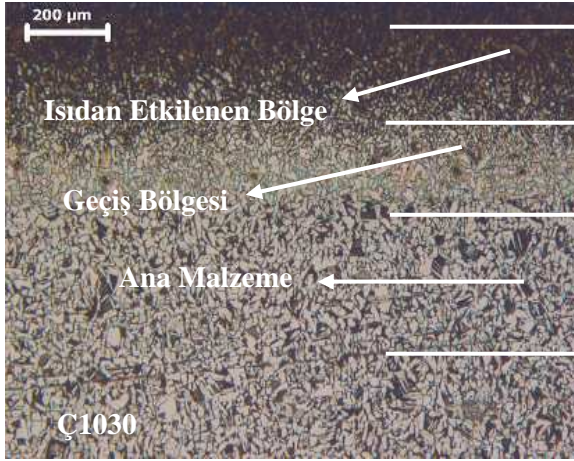
Şekil 5.7 Plazma yöntemiyle kesilen 5 mm kalınlığındaki deney numunelerinin kesme hızına bağlı olarak elde edilen optik mikroskop görüntüleri.



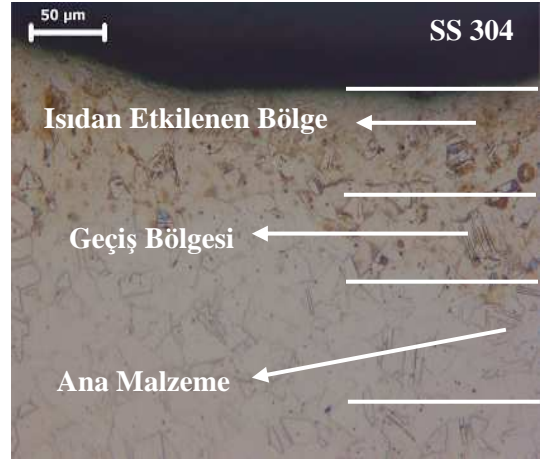
a) 10ÇP-1170 (düşük hızda kesim)



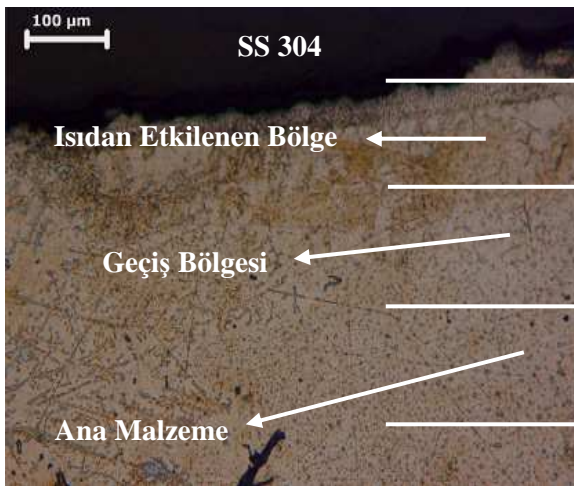
b) 10ÇP-1270 (orta hızda kesim)



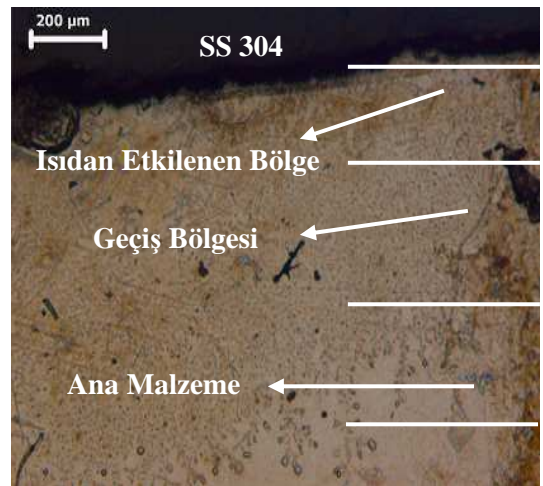
c) 10ÇP-1370 (yüksek hızda kesim)



d) 10PP-1100 (düşük hızda kesim)

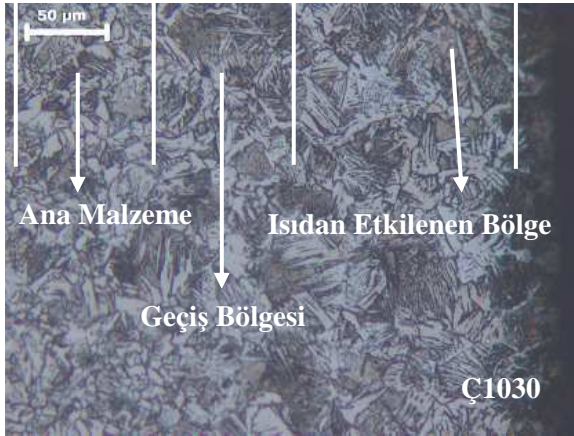


e) 10PP-1200 (orta hızda kesim)

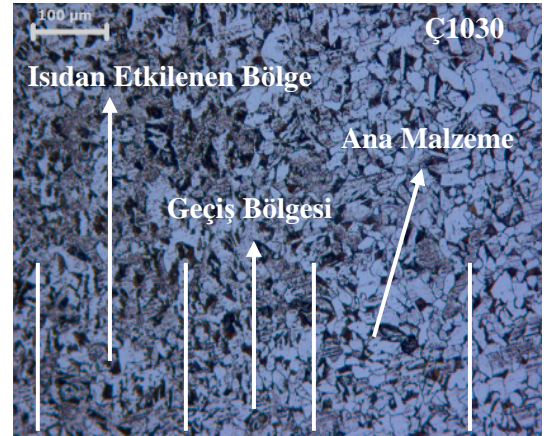


f) 10PP-1300 (yüksek hızda kesim)

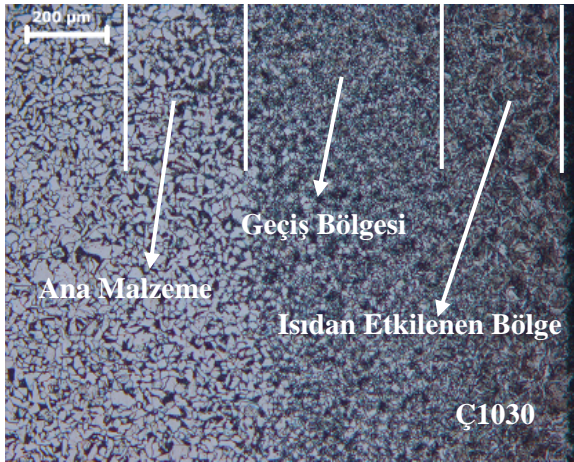
Şekil 5.8 Plazma yöntemiyle kesilen 10 mm kalınlığındaki deney numunelerinin kesme hızına bağlı olarak elde edilen optik mikroskop görüntüleri.



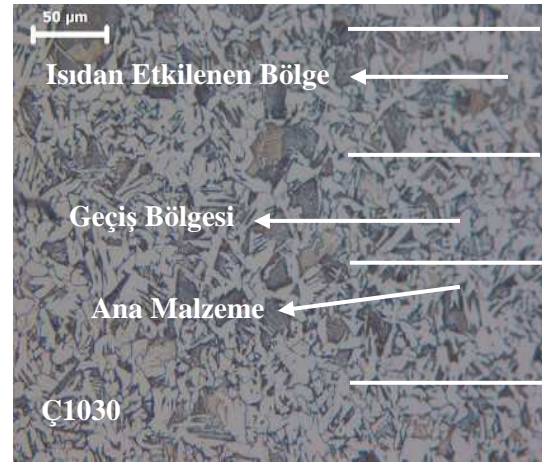
a) 5ÇO-5 (düşük hızda kesim)



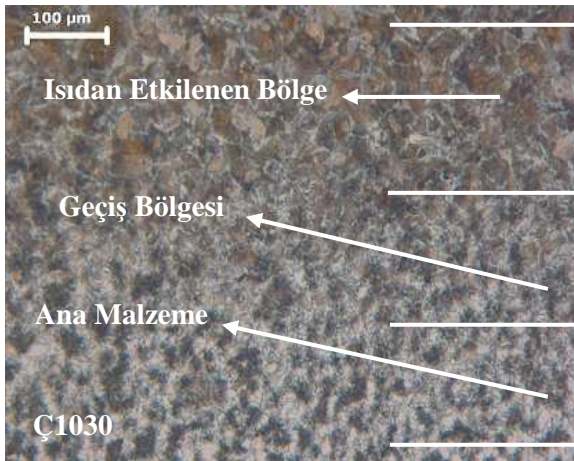
b) 5ÇO-7 (orta hızda kesim)



c) 5ÇO-10 (yüksek hızda kesim)



d) 10ÇO-2 (düşük hızda kesim)

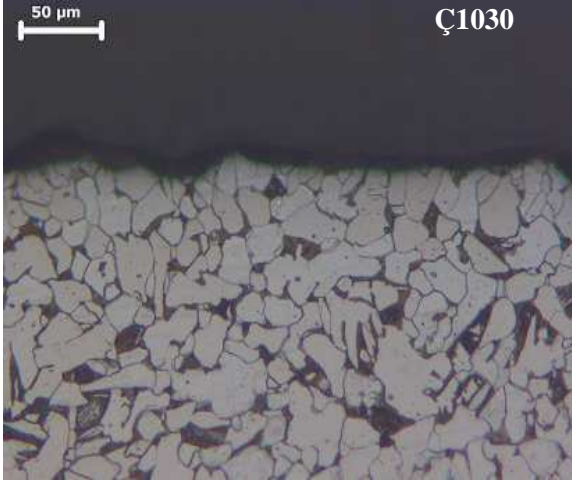


e) 10ÇO-5 (orta hızda kesim)

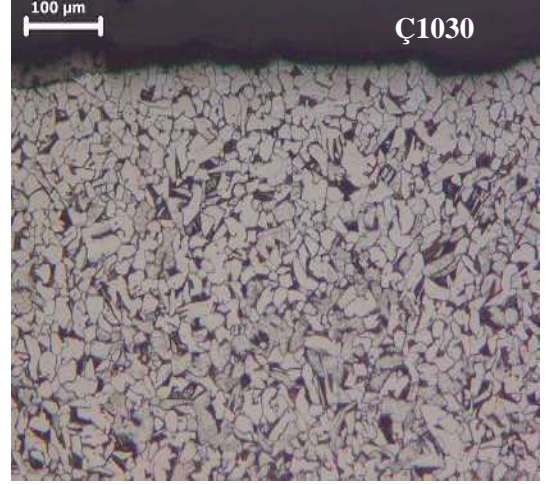


f) 10ÇO-7 (yüksek hızda kesim)

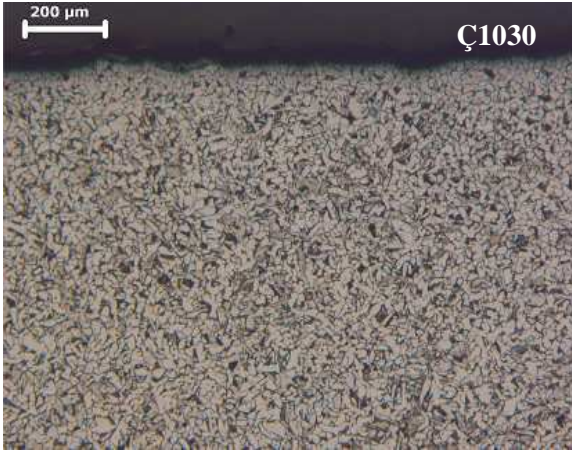
Şekil 5.9 Oksi-gaz yöntemiyle kesilen 5 - 10 mm kalınlığındaki deney numunelerinin kesme hızına bağlı olarak elde edilen optik mikroskop görüntüleri.



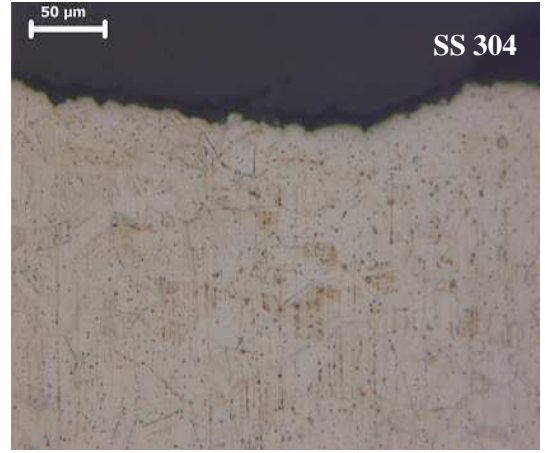
a) 5ÇS (düşük hızda kesim)



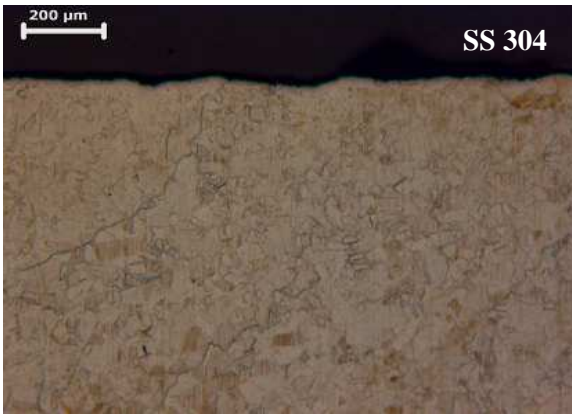
b) 5ÇS (orta hızda kesim)



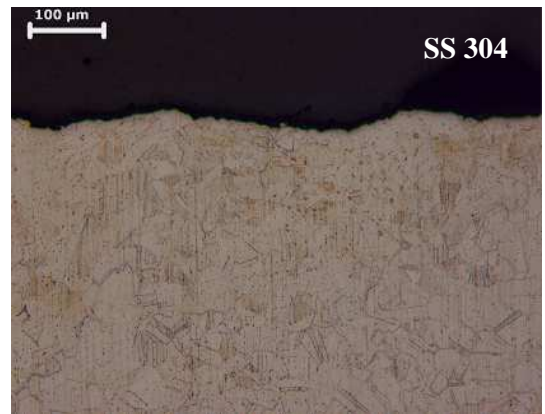
c) 5ÇS (yüksek hızda kesim)



d) 5PS (düşük hızda kesim)

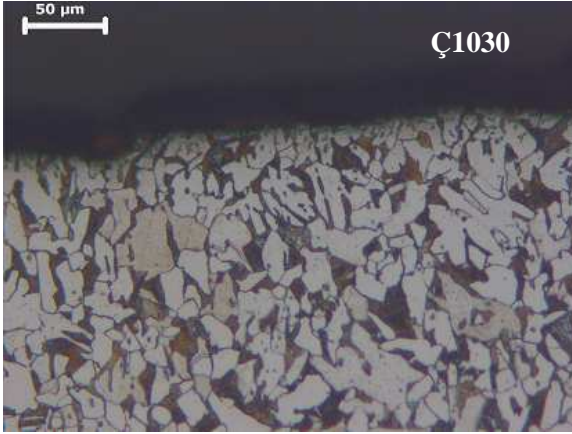


e) 5PS (orta hızda kesim)

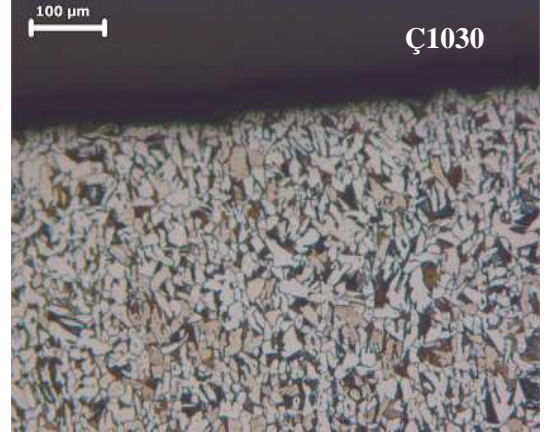


f) 5PS (yüksek hızda kesim)

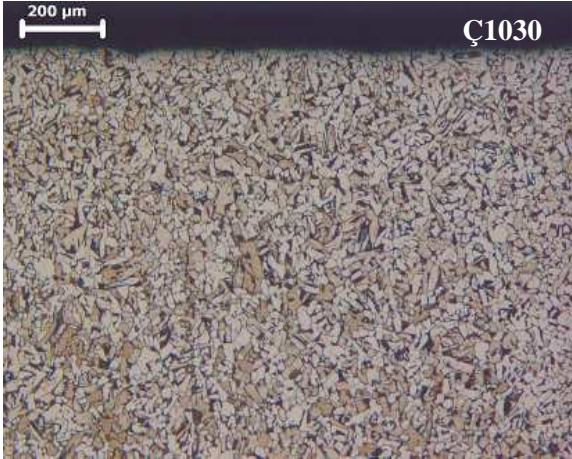
Şekil 5.10 Su Jeti yöntemiyle kesilen 5 mm kalınlığındaki deney numunelerinin kesme hızına bağlı olarak elde edilen optik mikroskop görüntüleri.



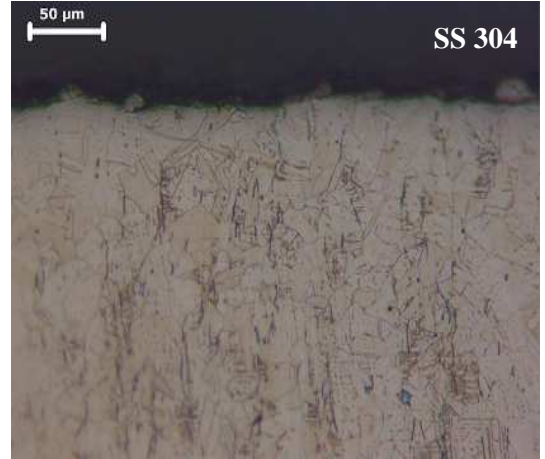
a) 10ÇS (düşük hızda kesim)



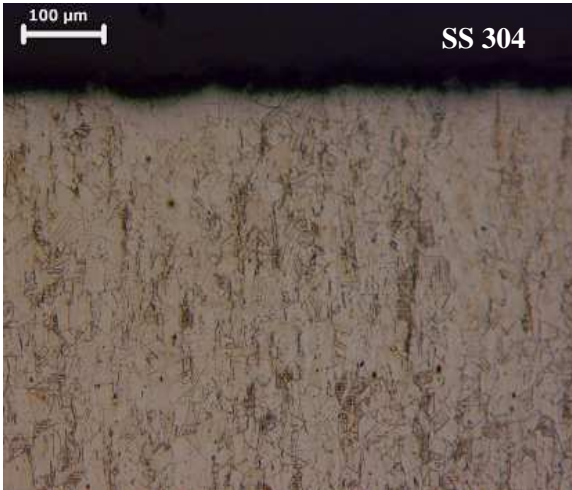
b) 10ÇS (orta hızda kesim)



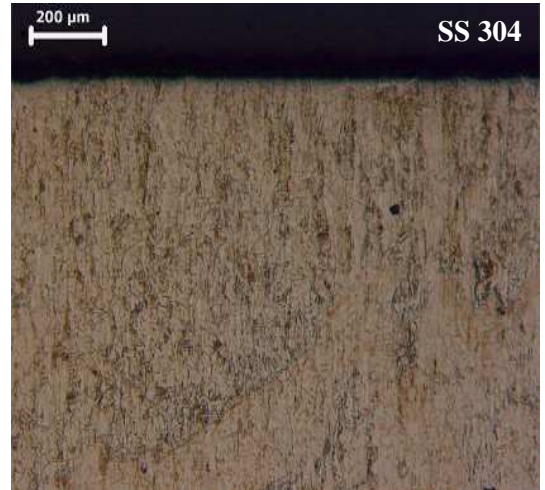
c) 10ÇS (yüksek hızda kesim)



d) 10PS (düşük hızda kesim)

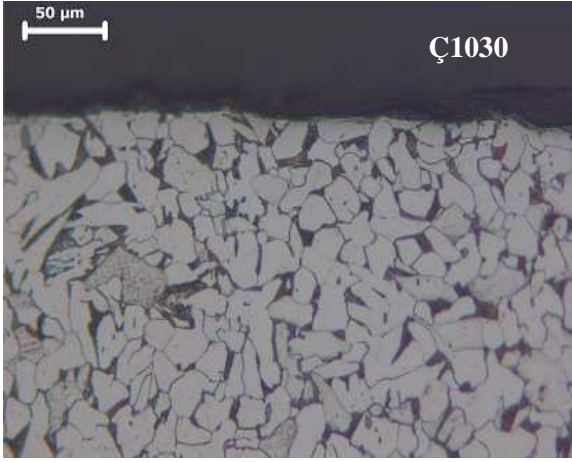


e) 10PS (orta hızda kesim)

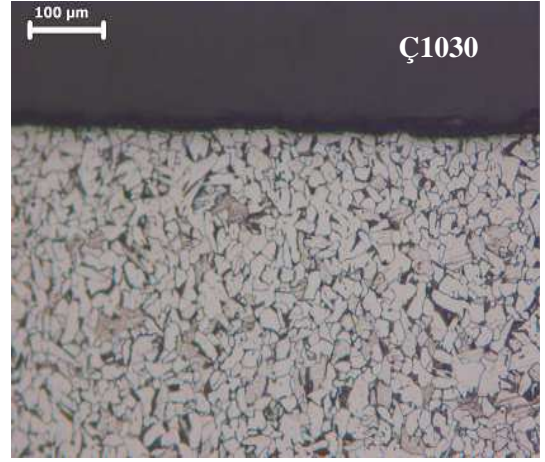


f) 10PS (yüksek hızda kesim)

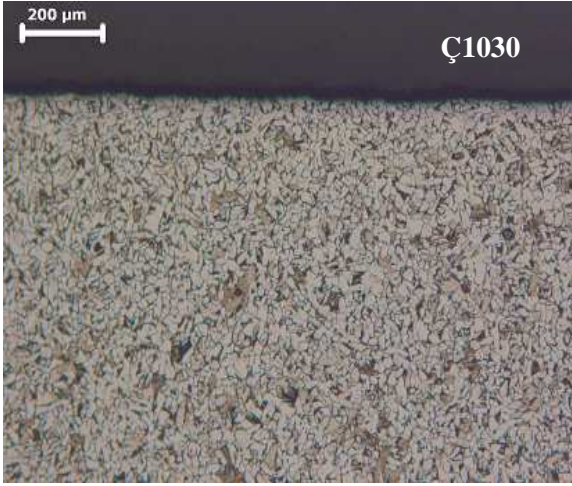
Şekil 5.11 Su Jeti yöntemiyle kesilen 10 mm kalınlığındaki deney numunelerinin kesme hızına bağlı olarak elde edilen optik mikroskop görüntüleri.



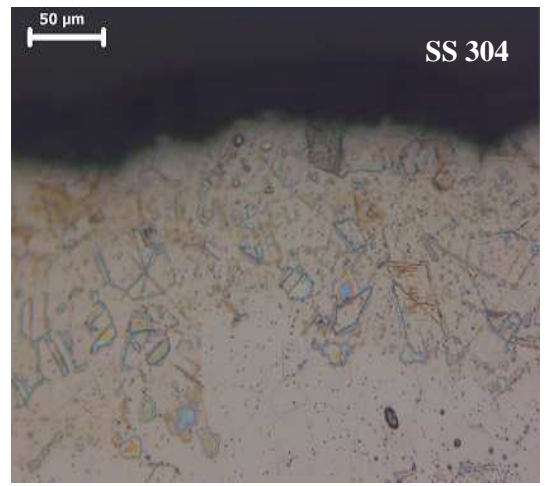
a) 5ÇT-2,5 (düşük hızda kesim)



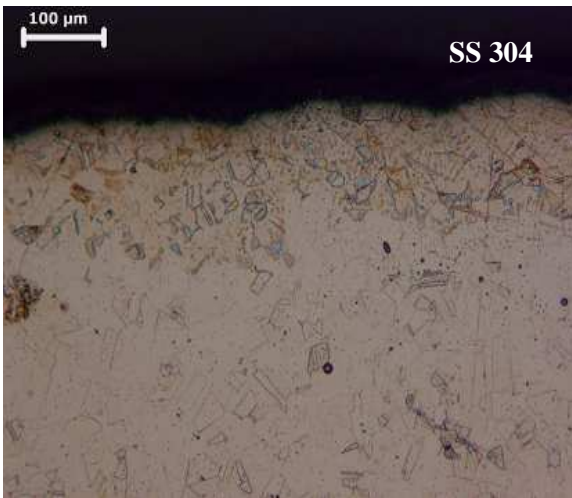
b) 5ÇT-3,5 (orta hızda kesim)



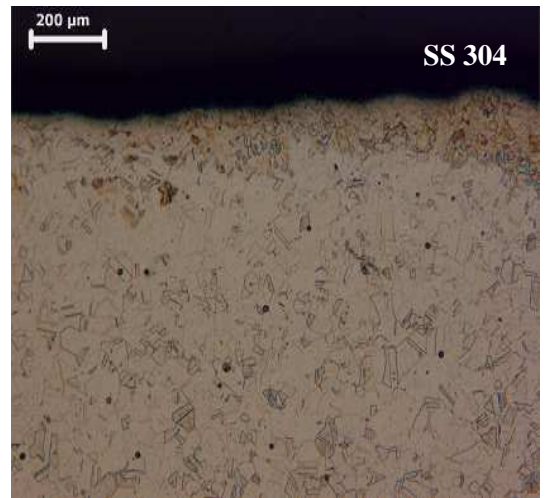
c) 5ÇT-4,5 (yüksek hızda kesim)



d) 5PT-2,5 (düşük hızda kesim)

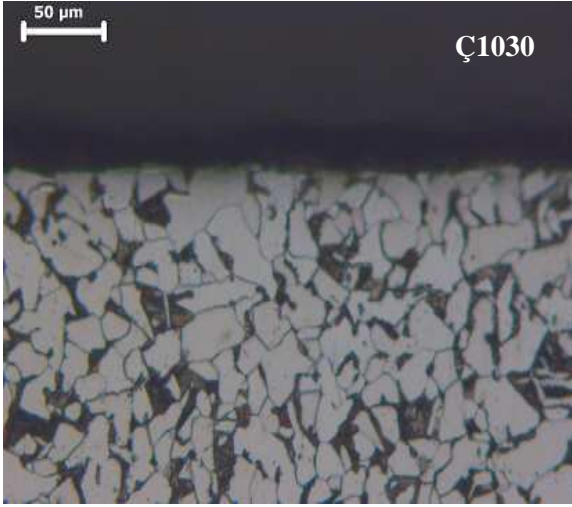


e) 5PT-3,5 (orta hızda kesim)

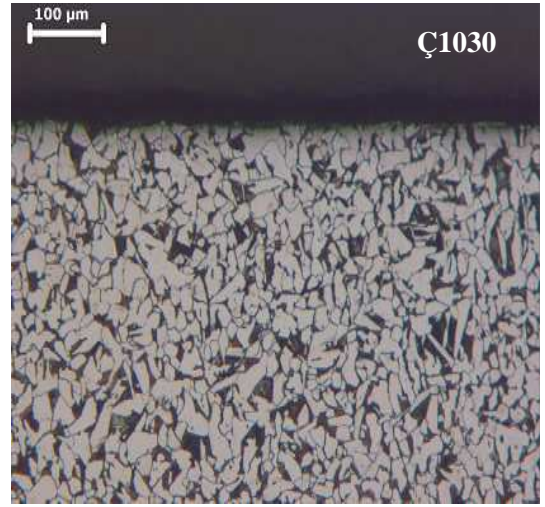


f) 5PT-4,5 (yüksek hızda kesim)

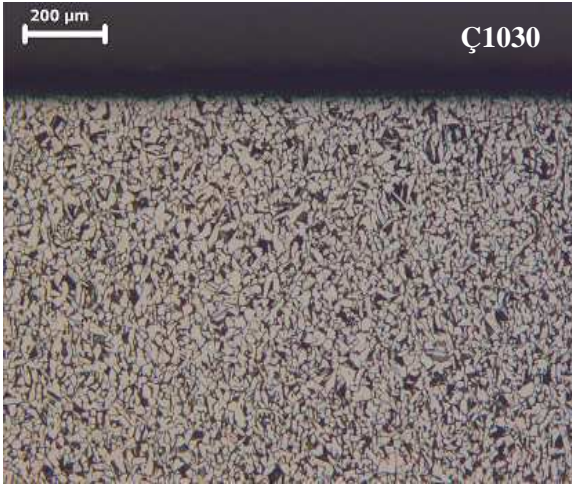
Şekil 5.12 Tel Erozyon yöntemiyle kesilen 5 mm kalınlığındaki deney numunelerinin kesme hızına bağlı olarak elde edilen optik mikroskop görüntüleri.



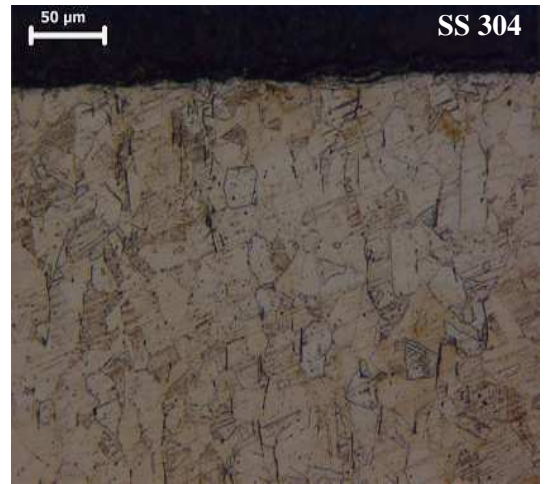
a) 10ÇT-2,5 (düşük hızda kesim)



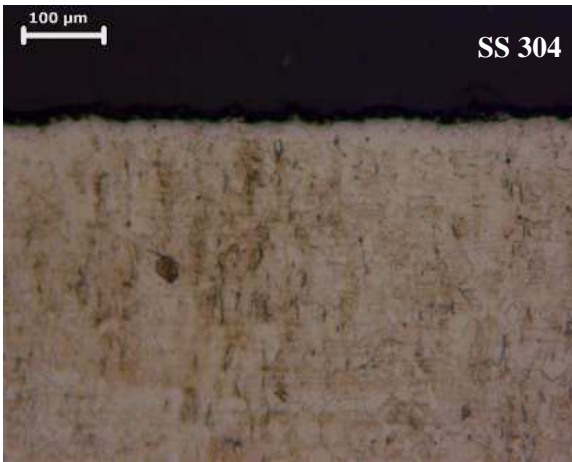
b) 10ÇT-3,5 (orta hızda kesim)



c) 10ÇT-4,5 (yüksek hızda kesim)



d) 10PT-2,5 (düşük hızda kesim)



e) 10PT-3,5 (orta hızda kesim)



f) 10PT-4,5 (yüksek hızda kesim)

Şekil 5.13 Tel Erozyon yöntemiyle kesilen 10 mm kalınlığındaki deney numunelerinin kesme hızına bağlı olarak elde edilen optik mikroskop görüntüleri.

Çizelge 5.6 Farklı kesme yöntemlerinin kesilen numunelerin kesme kenarındaki metalürjik özellikleri üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi.

Kesme Yöntemi	Ç1030	SS 304
Oksijen ile kesme	Malzemede aşırı ısınmadan ve ani soğumadan dolayı iğnemsiz yapı oluşmuştur. Ferrit fazlı yapı içe doğru gidildikçe oldukça büyük bir bölgeye yayılmış. Isıdan etkilenen bölge ve ısı geçiş bölgesi oldukça büyük bir alanı kapsamaktadır.	Kesme yapılmadı. (bunun nedeni materyal kısmında açıklanmıştır)
Lazer ile kesme	Kesme bölgesinde ısınma ve hızlı soğumadan dolayı ferrit fazı oluşmuş, iğnemsiz yeni bir yapı ortaya çıkmıştır. İçe doğru gittikçe iğnemsiz yapı daha kalınlaşmıştır. Isıdan etkilenen bölge ve ısı geçiş bölgesi oldukça geniş bir alanı kapsamaktadır.	Isıdan etkilenen bölge ve ısı geçiş bölgesi oldukça geniş bir alanı kapsadığından, kesme bölgesinde ısıdan kaynaklı yapısal bozukluk oluşmuştur.
Plazma ile kesme	İncelenen kesme bölgesinde ısıdan etkilenen bölge ve ısı geçiş bölgesi oldukça geniş bir alana yayılmıştır. Kesme bölgesinde aşırı ısınma ve hızlı soğumadan dolayı ferrit fazı oluşmuş, iğnemsiz yeni bir yapı ortaya çıkmış olup içe doğru gittikçe iğnemsiz yapı devam etmektedir.	Isıdan etkilenen bölge ve ısı geçiş bölgesi oldukça geniş bir alanı kapsadığından, kesme bölgesinde ısıdan kaynaklı yapısal bozukluklar meydana gelmiştir.
Tel Erozyon ile kesme	Kesme bölgesinde ısıdan etkilenen bölge ve ısı geçiş bölgesi oldukça az alanı kapsamaktadır. Ancak az da olsa ısıdan kaynaklanan yapısal değişim oluşmuştur.	Isıdan etkilenen bölge ve ısı geçiş bölgesi oldukça az alanı kapsadığından, kesme bölgesinde ısıdan kaynaklanan az da olsa bir yapısal bozukluk oluşmuştur.
Su Jeti ile kesme	Kesme bölgesinde mekanik deformasyon ve ısı etkisiyle oluşmuş bir değişim oluşmamıştır. Kesme bölgesinde ısıdan etkilenen bölge ve ısı geçiş bölgesi yok denecek kadar az oluşmuştur.	Yapıda ve kesme bölgesinde herhangi bir değişim oluşmamıştır. Kesme bölgesinde ısıdan etkilenen bölge ve ısı geçiş bölgesi oluşmamıştır.

Mikro yapılardaki ölçüm farklılıklarının nedeni, belirlenen kesme parametreleri çerçevesinde en net görüntünün elde edildiği büyütme oranı kullanılmıştır. Malzemenin mikro yapısındaki değişmelere ve ısı girdisine bağlı olarak, ısıdan etkilenmiş bölge ve bu bölgenin genişliği dikkate alındığında, bazı kesme yöntemlerinde yüksek ısı ve ani soğumalar ile meydana gelen yapısal değişim büyük önem taşımaktadır. Kesme yönteminin özelliklerine bağlı olarak, bazı yöntemlerde kaba taneli yapı, bazı yöntemlerde ise ani soğumaya bağlı ince taneli yapı göze çarpmaktadır. Su Jeti ile kesmede, yüksek ısı ve ani soğumaların meydana gelmemesi nedeniyle kesim bölgesindeki mikro yapının değişmemesine neden olmaktadır.

İncelenen beş farklı yöntem arasında, ısıdan etkilenmiş bölgedeki mikro yapı değişimleri baz alınarak bir değerlendirme yapıldığında, en olumsuz yöntemin Oksijen ile kesme, en olumlu yöntemin ise Su Jeti ile kesme olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni oksijen gaz ile kesme yönteminde ısı girdisinin fazla olmasından dolayı malzeme yapısında değişim meydana getirmektedir. Yapıda meydana gelen değişim malzemelerin mekanik özelliklerini etkilemekte olup bu durum sertlik ölçümlerinden de anlaşılmaktadır.

5.3 Yüzey Pürüzlülük Değerleri

Farklı yöntemlerle kesilen numunelerin elde edilen kesme yüzeylerinin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri Ra ve kesilen yüzeye ait örnekleme uzunluklarının profildeki en yüksek 5 tepe ile 5 vadi genliklerinin aritmetik ortalaması her yöntem için ayrı ayrı gösterilmiştir. Lazer ile kesme yöntemi sonucunda numunelerin malzeme kalınlığı ve kesme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerleri Çizelge 5.7’de, Plazma ile kesme yöntemi sonucunda numunelerin malzeme kalınlığı ve kesme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerleri Çizelge 5.8’de, Su Jeti ile kesme yöntemi sonucunda numunelerin malzeme kalınlığı ve kesme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerleri Çizelge 5.9’da ve Plazma ile kesme yöntemi sonucunda numunelerin malzeme kalınlığı ve kesme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerleri ise Çizelge 5.10’da verilmiştir. Oksijen gaz ile kesmede yüzey pürüzlülük değerleri, kesme yüzeylerinin aşırı pürüzlü çıkmasından dolayı alınamamıştır. Kesme yöntemlerine bağlı olarak 5-10 mm kalınlığındaki Ç1030 ve SS 304 deney numunelerinin yüksek hızdaki yüzey pürüzlülük değerleri değişimi Şekil 5.14’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7 Lazer ile kesme yönteminde SS 304 ve Ç1030 deney numunelerinin yüzey pürüzlülük değerleri.

Malzeme	Kalınlık (mm)	Kesme hızı	Yüzey pürüzlülük değeri (μm)		Kod
			Ra	Rz	
SS 304	5	Hızlı	28,979	64,542	5PL-Hızlı
		Orta	28,143	63,841	5PL-Orta
		Yavaş	27,277	63,419	5PL-Yavaş
Ç1030	5	Hızlı	25,776	61,894	5ÇL-Hızlı
		Orta	24,206	60,267	5ÇL-Orta
		Yavaş	22,425	59,912	5ÇL-Yavaş
SS 304	10	Hızlı	31,899	67,239	10PL-Hızlı
		Orta	29,519	65,874	10PL-Orta
		Yavaş	28,138	64,129	10PL-Yavaş
Ç1030	10	Hızlı	26,635	63,623	10ÇL-Hızlı
		Orta	25,194	63,712	10ÇL-Orta
		Yavaş	24,734	62,563	10ÇL-Yavaş

Lazer yöntemi ile kesilen numunelerin kesme yüzeyinden elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin verildiği Çizelge 5.7’de; 5-10 mm kalınlığındaki SS 304 ve Ç1030 numunelerinin kendi içlerinde kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı görülmektedir. En yüksek yüzey pürüzlülük değerini 10 mm kalınlığındaki yüksek hızla kesilen SS 304 çeliği, en düşük pürüzlülük değerini ise 5 mm kalınlığındaki düşük hızla kesilen Ç1030 çeliği göstermiştir.

Çizelge 5.8 Plazma ile kesme yönteminde SS 304 ve Ç1030 deney numunelerinin yüzey pürüzlülük değerleri.

Malzeme	Kalınlık (mm)	Kesme hızı	Yüzey pürüzlülük değeri (μm)		Kod
			Ra	Rz	
SS 304	5	Hızlı	60,546	64,634	5PP-Hızlı
		Orta	59,927	63,769	5PP-Orta
		Yavaş	58,742	63,189	5PP-Yavaş
Ç1030	5	Hızlı	49,987	61,243	5ÇP-Hızlı
		Orta	48,827	60,764	5ÇP-Orta
		Yavaş	46,174	59,102	5ÇP-Yavaş
SS 304	10	Hızlı	68,324	67,376	10PP-Hızlı
		Orta	66,871	65,541	10PP-Orta
		Yavaş	65,109	64,193	10PP-Yavaş
Ç1030	10	Hızlı	54,325	63,981	10ÇP-Hızlı
		Orta	52,091	63,208	10ÇP-Orta
		Yavaş	51,693	62,235	10ÇP-Yavaş

Plazma yöntemi ile kesilen numunelerin kesme yüzeyinden elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin verildiği Çizelge 5.8'de; 5-10 mm kalınlığındaki SS 304 ve Ç1030 numunelerinin kendi içlerinde kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı görülmektedir. En yüksek yüzey pürüzlülük değerini 10 mm kalınlığındaki yüksek hızla kesilen SS 304 çeliği, en düşük pürüzlülük değerini ise 5 mm kalınlığındaki düşük hızla kesilen Ç1030 çeliği göstermiştir.

Çizelge 5.9 Su Jeti ile kesme yönteminde SS 304 ve Ç1030 deney numunelerinin yüzey pürüzlülük değerleri.

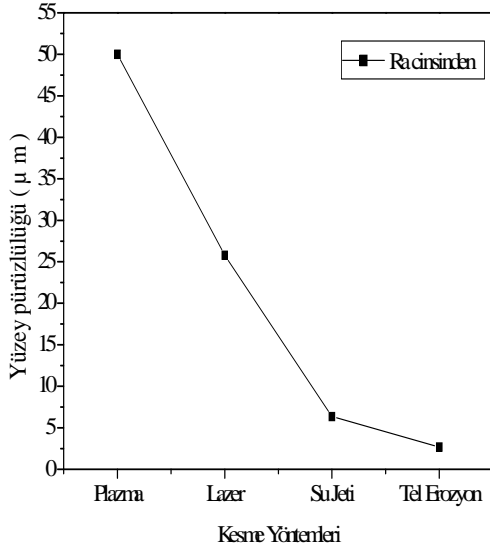
Malzeme	Kalınlık (mm)	Kesme hızı	Yüzey pürüzlülük değeri (μm)		Kod
			Ra	Rz	
SS 304	5	Hızlı	4,769	33,981	5PS-Hızlı
		Orta	4,102	30,673	5PS-Orta
		Yavaş	3,607	27,548	5PS-Yavaş
Ç1030	5	Hızlı	6,375	34,254	5ÇS-Hızlı
		Orta	4,821	27,645	5ÇS-Orta
		Yavaş	3,225	23,141	5ÇS-Yavaş
SS 304	10	Hızlı	3,657	30,919	10PS-Hızlı
		Orta	3,505	29,105	10PS-Orta
		Yavaş	3,251	27,192	10PS-Yavaş
Ç1030	10	Hızlı	3,435	24,261	10ÇS-Hızlı
		Orta	3,283	23,027	10ÇS-Orta
		Yavaş	3,178	21,875	10ÇS-Yavaş

Su Jeti yöntemi ile kesilen numunelerin kesme yüzeyinden elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin verildiği Çizelge 5.9'da; 5-10 mm kalınlığındaki SS 304 ve Ç1030 numunelerinin kendi içlerinde kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı görülmektedir. En yüksek yüzey pürüzlülük değerini 5 mm kalınlığındaki yüksek hızla kesilen Ç1030 çeliği, en düşük pürüzlülük değerini ise 10 mm kalınlığındaki düşük hızla kesilen Ç1030 çeliği göstermiştir.

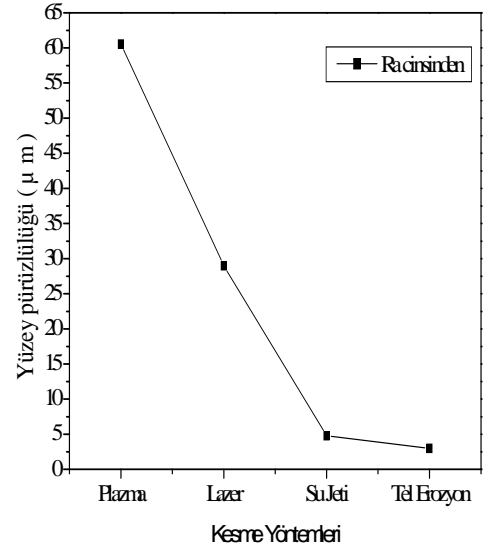
Çizelge 5.10 Tel Erozyon ile kesme yönteminde SS 304 ve Ç1030 deney numunelerinin yüzey pürüzlülük değerleri.

Malzeme	Kalınlık (mm)	Kesme hızı	Yüzey pürüzlülük değeri (μm)		Kod
			Ra	Rz	
SS 304	5	Hızlı	2,981	17,301	5PT-Hızlı
		Orta	2,869	16,748	5PT-Orta
		Yavaş	2,772	15,904	5PT-Yavaş
Ç1030	5	Hızlı	2,677	15,098	5ÇT-Hızlı
		Orta	2,602	14,762	5ÇT-Orta
		Yavaş	2,524	14,219	5ÇT-Yavaş
SS 304	10	Hızlı	2,998	17,932	10PT-Hızlı
		Orta	2,915	17,478	10PT-Orta
		Yavaş	2,831	16,921	10PT-Yavaş
Ç1030	10	Hızlı	2,536	14,764	10ÇT-Hızlı
		Orta	2,491	14,238	10ÇT-Orta
		Yavaş	2,437	13,981	10ÇT-Yavaş

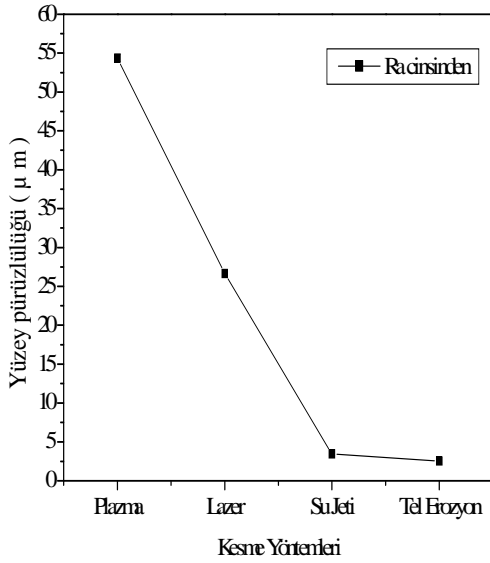
Tel Erozyon yöntemi ile kesilen numunelerin kesme yüzeyinden elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin verildiği Çizelge 5.10'da; 5-10 mm kalınlığındaki SS 304 ve Ç1030 numunelerinin yüzey pürüzlülük değerlerinin birbirine yakın olduğu, buna rağmen kendi içlerinde kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı görülmektedir. En yüksek yüzey pürüzlülük değerini 10 mm kalınlığındaki yüksek hızla kesilen SS 304 çeliği, en düşük pürüzlülük değerini ise 10 mm kalınlığındaki düşük hızla kesilen Ç1030 çeliği göstermiştir.



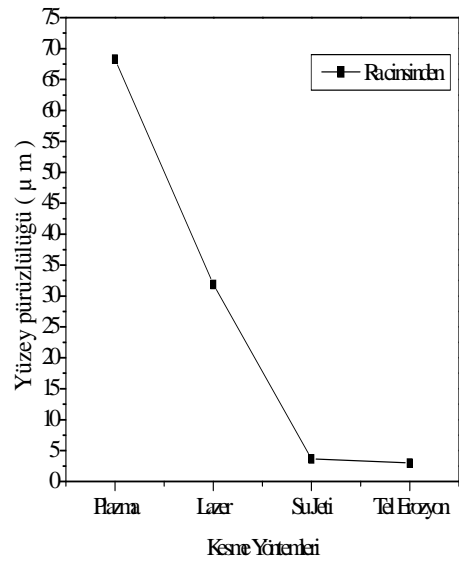
a) 5 mm kalınlığında Ç1030



b) 5 mm kalınlığında SS 304



c) 10 mm kalınlığında Ç1030



d) 10 mm kalınlığında SS 304

Şekil 5.14 Kesme yöntemlerine bağlı olarak 5-10 mm kalınlığındaki Ç1030 ve SS 304 deney numunelerinin yüksek hızdaki yüzey pürüzlülük değerleri değişimleri.

Şekiller incelendiğinde; Plazma yöntemi ile kesilen numunenin kesim yüzeyinden elde edilen yüzey pürüzlülük değeri diğer yöntemlere göre oldukça fazladır. Plazma yöntemini sırası

ile Lazer-Su Jeti yöntemleri takip etmektedir. Tel Erozyon yöntemi ise yöntemler arasında en düşük yüzey pürüzlülük değerine sahiptir.

Yüzey pürüzlülük değişimleri sonucunda diğer yöntemlere göre en yüksek yüzey pürüzlülük değerinin Oksijen ile kesme yönteminde olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, Oksi gaz yöntemi ile kesmede hem ısı girdisinin fazla olması hem de hassas bir kesimin yapılamamasından kaynaklanmaktadır. Oksijen ile kesme yöntemini sırası ile Plazma-Lazer-Su Jeti yöntemleri takip etmektedir. Genel olarak en yüksek yüzey pürüzlülük değerleri kalın malzemelerde ve yüksek hızla kesilen numunelerde, en düşük pürüzlülük değerleri ise düşük hızla kesilen numunelerde meydana gelmektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi malzeme kalınlığı arttıkça yüzey pürüzlülüğü artmakta ve kesme hızının artması sonucu yüzey pürüzlülüğünün önemli derecede etkilendiği anlaşılmaktadır.

Çok hassas işleme toleransına sahip olan Tel Erozyon ile kesme yönteminin yüzey pürüzlülük değerlerinin ise diğer yöntemlerle kıyaslanmayacak kadar düşük olduğu ve yüzey pürüzlülük değerleri sonuçlarının da diğer deneysel sonuçları ile uyum içerisinde olduğu sonucuna varılmıştır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kaynaklı imalatta birleştirmeler kesme işleminden sonra hemen birleştirilir. Burada yüzey morfolojisi kaynaklı birleştirmeleri de doğrudan etkilemekte aynı zamanda kesme yönteminde kaynak kalitesini doğrudan etkilemektedir. Bu bilgiler ışığında bu çalışmada; SS 304 ve Ç1030 malzemelerinden hazırlanan 5 ve 10 mm kalınlığındaki numuneler Lazer, Su Jeti, Tel Erozyon, Plazma ve Oksijen ile kesme yöntemleri ile üç farklı kesim hızı kullanılarak kesilmiştir. Elde edilen yüzeylerin, yüzey pürüzlülük değişimleri, yüzeylerin mikro yapıları ve kesilen yüzeyden itibaren kesme derinliğine bağlı olarak sertlik değişimleri (HV) incelenmiştir.

- En yüksek yüzey pürüzlülük değeri Oksijen ile kesme yönteminde, en düşük yüzey pürüzlülük değeri ise Tel Erozyon kesme yönteminde elde edilmiştir.
- Endüstriyel kesme yöntemleri metalografik olarak incelendiğinde, malzeme yapısındaki en fazla değişimin Oksi-gaz yöntemi ile kesmede, en az değişimin ise Su Jeti ile kesme yönteminde olduğu görülmüştür.
- Malzemenin mikro yapısındaki değişimlere bağlı olarak, ısıdan etkilenmiş bölge ve bu bölgenin genişliği dikkate alındığında, Su Jeti ile kesme yöntemi en dar ITAB'ye sahipken Oksi-gaz ile kesme yöntemi en geniş ITAB'ye sahiptir.
- Uygulanan tüm endüstriyel kesme yöntemleri, malzemenin sertliğinde önemli derecede değişime sebeptir ve bu değişim, kesme sırasında oluşan ısı ve soğuma şartlarına bağlı olarak değişmektedir.
- En yüksek sertlik değeri Oksi-gaz yönteminde, en düşük sertlik değeri ise Su Jeti yönteminde elde edilmiştir.
- Isıdan etkilenen bölgenin genişliği; kesme yönteminin dışında, kesilen malzemenin ısı iletim katsayısına bağlı olarak da değişmektedir. Isı iletkenliği düşük çelik grubu malzemelerde ve özellikle de ısı iletkenliği en düşük olan SS 304 paslanmaz çelikte, Ç1030 çeliğine göre ısıdan etkilenmiş bölge daha küçük olmaktadır.
- Genel bir sonuç olarak; en iyi sonuç veren yöntemin Su Jeti ile kesme yöntemi, en olumsuz yöntemin ise Oksigaz ile kesme yöntemi olduğu söylenebilir. Yüzey pürüzlülük değişimleri sonucunda ise en iyi sonuç veren yöntemin Tel Erozyon yöntemi, en olumsuz yöntemin ise yine Oksigaz ile kesme yöntemi olduğu söylenebilir.

Güncel, yeni ve alternatif işleme metotları olarak endüstriyel uygulamalarda kendine yer bulan Endüstriyel Kesme yöntemlerinin, SS 304 ve Ç1030 malzemelerinin kesilmesindeki etkinliğini değerlendirmeyi amaçlayan bu çalışmada, ülkemizde çok fazla tanınmayan bu

metotların tanınmasına ve anlaşılmasına ışık tutacak bir çalışma hüviyetindedir. Bu çalışma sonucunda aşağıdaki öneriler yapılabilir;

- Yaygın kullanımı dikkate alınarak seçilen iki mühendislik malzemesinin sayısı arttırılabilir.
- Seçilen iki farklı kalınlık grubuna ilaveten malzeme kalınlıkları arttırılabilir.
- Farklı özelliklerdeki ve farklı kullanım alanlarına sahip, metal dışı malzemeler ve günümüzde yaygın kullanıma sahip kompozit malzemelerin, kullanılan beş yöntem ile işlenilebilirliği araştırılabilir.
- Endüstriyel kesme yöntemlerinin ekonomik olarak mukayesesi yapılabilir.
- Yöntemlerin gürültü ve çevre kirliliği gibi problemleri araştırılabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Akkurt, Adnan., 2002, Çeşitli malzemelerin aşındırıcılı su jeti ile kesilmesinde yüzey özellikleri, sertlik ve mikro yapı değişimlerinin incelenmesi, Doktora Tezi Gazi Üniversitesi FBE, 1-287 s.
- [2] Atıcı, U., 2003, Plazma ve su altı plazma tezgahlarında kesilen A1sı 304 ve St 52 malzemelerin yapı özelliklerindeki değişimin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-3 s.
- [3] Serfiçeli, Y. Saip., 1997, Elektrik ark ve oksji-gaz kaynağı, Form Ofset, 2 s.
- [4] Karaören, K., 1999, Lazer ile kesim parametrelerinin tespiti, Yüksek Lisans Tezi İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 3 s.
- [5] Miranda, R.M., Lousa, P., 1993, Abrasive water jet cutting of portuguese marbles, In: Hashish M (ed) 1993 proc.7th Amer water jet conf., vol. 1, Water Jet Techn. Ass., st. Louis, 443-457 p.
- [6] Ohisson, L., 1995, The theory and practice of abrasive water jet cutting, PhD Thesis, Lulea University of Technology Sweden, 53-57 p.
- [7] Miller, R. K., 1991, Water jet cutting: technology and industrial applications, The Fairmont Press Inc.
- [8] Tikhoirov, R. A., Babanin, V. F., Petukhov, E. N., Starikov, I., 1992, High pressure jet cutting, ASME Pres, ISBN 07918800202.
- [9] Ansorge, A., 1988, Fluid jet principles and applications, Proceedings, Conference of Nontraditional Machining.
- [10] Summers, D. A., 1991, Historical perspective of fluid jet technology, Fluid Jet Technology - Fundamentals and applications, ISBN 1-880342-01-4, Publ by the WJTA, St Louis, MO, USA.
- [11] Slattery, T.J., 1987, Abrasive water jet carves out metalworking niche, Machine and Tool Blue Book, V82, no:7, 31-34 p.
- [12] Hashish, M., 1978, Theoretical and experimental invftstigation of continuous jet penetration of solids, Journal of Engineering for Industry, Vol, 100.
- [13] Hashish, M., 1988, The effect of pressure on the performance of abrasive water jet machining, Proceedings of the Manufacturing International 88, vol. 1, ASME NewYork NY USA, 255-263 p.
- [14] Neusen, K. F., Alberts, D.G., Gores, T.J., 2000, Distribution of mass in a three phase abrasive waterjet using scanning X-ray densitometry, Jet Cutting Technotogy-Proceedings of the Wth International Symposium, Elsevier Science Publishers Ltd., Amsterdam, Nethertands, 83-98 p.
- [15] Bumham, C.D., 1996, Flow Brochure.
- [16] Bloomfield, E. J., Yeomans, M. J., 1991, Diajet - A review of progress, Proc. Ist Asian Conf. Recent Adv. Jetting Teechn., CI-Prem. Ltd, Singapore, 2130 p.
- [17] Momber, W. A., Kovacevic, R., 1998, Abrasive water jet machining, Springer-Verlag London Limited, ISBN 3540762396 USA.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- [18] Ohman, J. L., 1993, Abrasives: their characteristics and effect on water jet cutting, Proceedings of the 7th American Water jet Conference, August 28-31, Seattle, WA, USA.
- [19] Hashish, M., 1984, On the modeling of abrasive water jet cutting, Proc. Of Seventh Int. Symposium on Jet Cutting Technology, Paper No E1, BHRA Fluid Engineering, Ottawa, Canada.
- [20] Hashish, M., 1991, Abrasive jets, Fluid Jet Technology-Fundamentals and Applications, ISBN 1-880342-01-4, Publ. by the WJTA, USA.
- [21] Hashish, M., 1991, Precision machining with abrasive-water jets, Proceedings of the 6th American Water Jet Conference, Houston, Texas, USA.
- [22] Anık, S., Oğur, A., Vural, M., 1998, Gedik eğitim vakfı kaynak teknolojisi eğitimi, Araştırma ve Muayene Enstitüsü, Yayın No:2, 23 s.
- [23] Herziger, L., 1993, Werstoffbearbeitung mit laserstrahlung grundlagen systeme verfahren, Carl Hanser Verlag, München Wien., 34 p.
- [24] Emmelmann, C., 1998, Introduction to industrial laser materials processing rofin sinar laser, GmbH Hamburg, 98 p.
- [25] Kulina, P., Richter, K., 1993, Materialbearbeitung durch laserstrahlung, Berlin.
- [26] Anıl, D., 2000, Elektro erozyon ile işleme parametreleri, Yüksek Lisans Tezi ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-5 s.
- [27] Kooijmans, B., Knoppers, R., 2002, Fabrication of edm electrodes using rapid prototyping techniques, RAPTIA State Of The Art Report, TNO Industry Eindhoven, 1-11 p.
- [28] Rennie, A .E. W., Bocking C., 2002, Electroforming for injection moulding, State of The Art Report RAPTIA (Rapid Prototyping & Tooling: Industrial Applications), Buckinghamshire UK, 1-10 p.
- [29] Dormal, T., 1999, Rapid tools for injection moulding, State of The Art Report, CRIF Belgium, 1-15 p.
- [30] Mishek, J., 1997, SLA uses in molding for rapid prototyping, Vista Technologies LLC, 1-16 p.
- [31] Kuzman, K., Nardin, B., Kovac, M., Jurkosek, B., 2001, The integration of rapidprototyping and CAE in mould manufacturing, Journal of Materials Processing Technology, 111: 279-285 p.
- [32] Kamphuis, K., 1996, Robust rapid tooling for injection moulding, ME 8501 Report, 1-22 p.
- [33] Yarlagağda, P. K. D. V., Ilyas, I. P., Christodoulou, P., 2001, Development of rapid tooling for sheet metal drawing using nickel electroforming and stereolithography processes, Journal of Materials Processing Technology, 111: 286-294 s.
- [34] Tay, F. E. H., Haider, E. A., 2001, The potential of plating techniques in the development of rapid EDM tooling, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 18:892-896 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- [35] Zaw, H. M., Fuh, J. Y. H., Nee, A. Y. C., Lu, L., 1999, Formation of a new EDM electrode material using sintering techniques, Journal of Materials Processing Technology, 89-90: 182-186 p.
- [36] Oğuz, B., 1985, Plazma arkı ile kaynak ve kesme, Oerlikon Kaynak Bilimi Dergisi, 1 s.
- [37] Karadeniz, S., 1990, Plazma tekniği, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 137: 113 s.
- [38] Keskin, L., 1991, Malzeme el kitabı, Onursan İnşaat Sanayii ve Ticaret AŞ. Genişletilmiş II. Baskı, 10-13 s.
- [39] Kasap, M., 2001, AISI 304 paslanmaz çeliğin işlenebilirliğinde kesme parametreleri ve işleme şartlarının deneysel araştırılması, Yüksek Lisans Tezi G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 33-39 s.
- [40] Tülbentçi, K., KALUÇ, E., 2001, Gaz ergitme kaynağı ve oksijen ile kesme, MMO Yayınları, 39-44 s.
- [41] Adsan K., 1978, Oksi-gaz kaynağı temel ders kitabı, MEB Yayınları, 10-29 s.
- [42] Kadioğlu, H., 1996, Doğalgaz yetkili tesisatçının el kitabı, İğdaş Yayını, 89-97 s.
- [43] Kumral, S., 2003, Tesisat teknolojisi iş ve işlem yapıları 9.sınıf, MEB Devlet Kitapları, 67-70 s.
- [44] Sayar E. D., 2004, Soğutma ve iklimlendirme meslek bilgisi temel ders kitabı I, MEB Devlet Kitapları, 39-50 s.
- [45] Powell, J., Ohlsson L., Olofsson, E. M., 1995, An economic comparison of laser and abrasive water jet cutting, Lulea University of Technology Division of Materials Processing Sweden, 10-18 p.
- [46] Zeng, J., Hines. R., Kim. T. J., 1991, Characterization of energy dissipation phenomena in abrasive water jet cutting, Proceeding of the 6th American Water Jet Conference, 163-177 p.
- [47] Schreiber, R. R., 1992, Harnessing a volcano, Manufacturing Engineering, 66-69 p.
- [48] Harvey, Steve, DSI, Seattle, WA, USA, Private communication.
- [49] Anonymous, 1995, Plasma arc cutting and welding, Welding Design and Fabrication, 68: 23-56 p.
- [50] Xu, W.J., Fang, J.C. and Lu, Y.S., 1993, Study on ceramic cutting by plasma arc, Journal of Materials Processing Technology, 129: 152-156 p.
- [51] Çankaya, M. M., 1989, Plazma ile kesilen parçalarda yüzey kalitesine etki eden faktörlerin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 3-23 s.
- [52] Özipekçiler, Ö., 1981, Plazma arkı eldesi ve yüzey bölgesi modifikasyonunda kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 23-35 s.
- [53] Severance, W. S., Anderson, D. G., 1984, How plasma arc cutting gases affect productivity, Welding Journal, 63: 35-39 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- [54] Yun, K. M., Na, S.J., 1991, Real time control of the plasma arc cutting process by using intensity measurements of ejected plasma, *Welding Journal*, 70: 43-48 p.
- [55] Bach, W., Gruchow, A., 1992, Plasma cutting in atmosphere and under water, *Pure and Applied Chemistry*, 11: 15-17 p.
- [56] Fernicola, R. C., 1994, New oxgen plasma process rivals laser cutting methods, *Welding Journal*, 73: 65-69 p.
- [57] Manohar, M., Snyder II, J. P., 1994, Dross formation during plasma arc cutting of steels, *Welding Journal*, 73: 45-51 p.
- [58] Pellechia, M., 1995, Select the best process: laser or precision plasma, *Welding Desing and Fabrication*, 2: 19-26 p.
- [59] Hoult, A. P., Pashby, I. R., Chan, K., 1995, Fine plasma cutting of advanced aerospace materials, *Journal of Materials Processing Technology*, 48: 825-831 p.
- [60] Akçam, İ. Ö., 1996, Termik kesme yöntemleri – otojen tekniği plazma-lazer karşılaştırılması, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası*, 5: 22-28 s.
- [61] Wang, Y., Zhao, P., 2000, Noncontact acoustic analysis monitoring of plasma arc welding, *Pressure Vessels and Piping*, 78: 43-47 p.
- [62] Luo, W., Effect of micro-plasma arc melting on the corrosion resistance of Cr19Ni9 stainless steel saw joint, *Materials Letters*, 55: 290-295 p.
- [63] Wang, L., Xu, X., Yu, Z., Hei, Z., 1999, Low pressure plasma arc source ion nitriding of austenitic stainless steel, *Surface and Coating Technology*, 124: 93-96 p.
- [64] Kavak, M., 2000, Plazma ile püskürtmede püskürtme tabakasının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 8-23 s.