

**HİDROJEN GAZI İLE OKSİ – GAZ KAYNAK TEKNİĞİNDE KAYNAK
YAPILAN ÇELİK VE ALÜMİNYUM LEVHALARIN BİRLEŞTİRME
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

M. Emin ÇAKIR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAYIS 2010
ANKARA**

M. Emin ÇAKIR tarafından hazırlanan HİDROJEN GAZI İLE OKSİ – GAZ KAYNAK TEKNİĞİNDE KAYNAK YAPILAN ÇELİK VE ALÜMİNYUM LEVHALARIN BİRLEŞTİRME ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ adlı bu tezin yüksek lisans olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Hakan ATEŞ

.....

Tez Danışmanı, Metal Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma jürimiz tarafından oy birliğiyle Metal Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Adem KURT

.....

Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Hakan ATEŞ

.....

Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ

.....

Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Karabük Üniversitesi

21/05/2010

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

Prof. Dr. Bilal TOKLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

M. Emin ÇAKIR

**HİDROJEN GAZI İLE OKSİ – GAZ KAYNAK TEKNİĞİNDE KAYNAK
YAPILAN ÇELİK VE ALÜMİNYUM LEVHALARIN BİRLEŞTİRME
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

M. Emin ÇAKIR

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAYIS 2010**

ÖZET

Bu çalışmada hidrojen gazı ile oksî – gaz kaynak tekniğinde kaynak yapılan çelik ve alüminyum levhaların birleştirme özellikleri incelenerek, hidrojen gazının kullanılabilirliğinin gösterilmesi amaçlanmıştır.

Oksî – Gaz kaynağında yanıcı gaz olarak hidrojen ve asetilen gazları kullanılarak 1,5 mm kalınlıkta St 37 çelik ve 3 mm kalınlıkta 1100 serisi alüminyum malzemelere yatayda alın birleştirme yöntemi ile 80 mm uzunluğunda dikişler çekilmiştir. Her iki kaynak yönteminde de kaynak hızları (115 mm/dak) ve üfleç büyüklükleri (2 numara) aynı seçilmiş, kaynaklı birleştirmeler aynı kaynakçı tarafından gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklanan malzemelerin çekme deneyleri ile mikro sertlik testleri gerçekleştirilmiştir. Numunelerin mikroyapı incelemeleri optik mikroskopta gerçekleştirilmiştir. Hidrojen gazı kullanılarak kaynaklanan numunelerle asetilen gazı kullanılarak kaynaklanan numuneler arasında akma, çekme, kopma ve yüzde uzama miktarları gibi çekme değerleri ile sertlik sonuçları ve mikroyapı karşılaştırmaları yapılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalarda oksii asetilen alevi ile yapılan birleştirmelerde elik malzemeler için akma dayanımlarının oksii hidrojen alevi ile yapılan birleştirmelere göre % 8 – 10, Alüminyum malzemeler için oksii hidrojen alevi ile yapılan birleştirmelerin akma dayanımlarının oksii asetilen alevi ile yapılan birleştirmelere göre % 1,4 – 5 oranında daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Mikro sertlik ölçümlerinde ise oksii asetilen alevi ile yapılan birleştirmelerde sertlik alınan bütün bölgelerde (ana metal, ITAB ve kaynak metali) sertlik değerlerinin oksii hidrojen alevi ile yapılan birleştirmelere göre elik malzemelerde daha yüksek, alüminyum malzemelerde ise daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Bilim Kodu	: 710.3.019
Anahtar Kelimeler	: Kaynak, hidrojen gazı, oksii-gaz kaynağı, mikroyapı, mikro sertlik
Sayfa Adedi	: 81
Tez Yöneticisi	: Doç. Dr. Hakan ATEş

**INVESTIGATION OF THE JOINT PROPERTIES OF STEEL AND
ALUMINIUM PLATES WELDED BY OXY GAS WELDING METHOD WITH
HYDROGEN
(M. Sc. Thesis)**

M. Emin ÇAKIR

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
MAY 2010**

ABSTRACT

In this study, utilization of hydrogen gas oxy gas welding methods had been for joining steel and aluminum sheets with of hydrogen gas had been investigated.

80 mm long seams had been welded with horizontal butt weld method on 3 mm thick St 37 steel sheet and 3 mm thick 1100 aluminum sheets by employing oxy-hydrogen and oxy-acetylene welding methods. Identical welding speed and torch sizes, 115 mm/min and #2 (1 – 2 mm) respectively, had been employed for both type of materials and welds had been conducted by the same welder.

Tensile strength tests and micro hardness tests had been carried out on welded materials. Optical microscope had been employed for micro structure analysis of the specimens. Micro structures and hardness results of upper and lower yielding points, elasticity modulus, ultimate tensile strength had been compared for hydrogen gas welding and acetylene gas welding.

Experimental studies revealed that oxy-acetylene welding resulted %8 – 10 higher yield point for steel sheets compared to oxy-hydrogen welding and on the contrary oxy-hydrogen welding resulted %10 higher yielding point for aluminum sheets. Micro hardness measurements revealed that hardness values for all zones (as received metal, welded metal and heat affected zone) resulted higher values with oxy-acetylene welding compared to oxy-hydrogen welding.

Science Code : 710.3.019
Keywords : Welding, Hydrogen gas, oxy gas welding, microstructure, micro hardness,
Pages : 81
Adviser : Assoc. Prof. Dr. Hakan ATEŞ

TEŞEKKÜR

Tez konumun belirlenmesinde, gerekli materyallerin temin edilmesinde büyük katkıları olan, yoğun çalışmaları arasında bana zaman ayırarak rehberlik eden ve beni yönlendiren danışmanım, Sayın Doç. Dr. Hakan ATEŞ'e, Bölümümüz Hocalarından Sayın Prof. Dr. Adem KURT ve Sayın Prof. Dr. Mehmet TÜRKER'e, Malzeme Eğitimi Anabilim Dalı Araştırma Görevlisi Volkan KILIÇLI'ya, tez çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan arkadaşım Müslüm KOÇ'a ve bu yolun başından sonuna kadar bana destek olan eşime ve aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvii
1.GİRİŞ.....	1
2. GAZ ERGİTME KAYNAĞI.....	4
2.1. Tarihsel Gelişimi.....	4
2.2. Tarifi ve Prensibi.....	6
2.3. Asetilen Gazı.....	8
2.4. Hidrojen Gazı.....	9
2.5. Metan Gazı.....	9
2.6. Propan ve Bütan Gazları.....	9
2.7. Hava Gazı.....	10
2.8. Benzin Buharı.....	10
2.9. Benzol Buharı.....	10
2.10. Oksijen Gazı.....	11
2.11. Kaynak Alevi.....	12
2.11.1. Oksi-asetilen alevi.....	12

Sayfa

3. HİDROJENİN ÖZELLİKLERİ VE ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	18
3.1. Hidrojenin Özellikleri.....	18
3.2.Hidrojen Elde Edilmesi.....	20
3.2.1. Fosil yakıtlardan elde edilmesi.....	20
3.2.2. Sudan hidrojen üretimi.....	23
3.2.3. Hidrojen üretim yöntemlerinin karşılaştırılması.....	25
3.3. Hidrojen Depolama Yöntemleri.....	25
3.3.1. Hidrojenin basınçlı gaz olarak depolanması.....	26
3.3.2. Hidrojenin sıvı olarak depolanması.....	26
3.3.3. Hidrojenin metal hidrid olarak depolanması.....	27
3.3.4. Geliştirilmekte olan teknikler.....	29
3.3.5. Depolama yöntemlerinin karşılaştırılması.....	30
3.4.Hidrojenin Oksi-Gaz Kaynak Yönteminde Kullanılması.....	31
3.5. Oksi Hidrojen Kaynak Ünitesi.....	34
3.6. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Oksi Hidrojen Kaynak Ünitesinin Özellikleri.....	37
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	40
4.1. Amaç.....	40
4.2. Kaynak Yöntemleri, Parametreler ve Kullanılan Malzemeler.....	40
4.2.1. Kaynak yöntemleri.....	40
4.2.2. Kaynak parametreleri.....	41
4.2.3. Kullanılan malzeme ve ilave teller.....	41

	Sayfa
4.3. Deneysel Metot.....	43
4.3.1. Çekme deneyleri.....	44
4.3.2. Sertlik deneyleri.....	45
4.3.3. Mikroyapı çalışmaları.....	45
5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	47
5.1. Çekme Deney Sonuçları.....	47
5.2. Sertlik Deney Sonuçları.....	59
5.3. Mikroyapı Sonuçları.....	64
5.4. Kırık Yüzey.....	71
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	76
KAYNAKLAR.....	78
ÖZGEÇMİŞ.....	81

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Yanıcı gazların fiziksel özellikleri.....	7
Çizelge 2.2. Kaynak alevlerinde yanma ürünleri.....	16
Çizelge 3.1. Hidrojenin özellikleri.....	18
Çizelge 3.2. Mevcut hidrojen depolama yöntemlerinin karşılaştırılması.....	30
Çizelge 3.3. Oksi - Hidrojen kaynak ünitesinin teknik özellikleri.....	39
Çizelge 4.1. Kullanılan kaynak parametreleri.....	41
Çizelge 4.2. Kullanılan çelik malzeme alaşım elementleri (% ağırlık).....	42
Çizelge 4.3. Kullanılan alüminyum malzeme alaşım elementleri (% ağırlık).....	42
Çizelge 4.4. SG 3 Kaynak telinin kimyasal analizi.....	43
Çizelge 4.5. Al 1100 Kaynak telinin kimyasal analizi.....	43
Çizelge 5.1. Çelik malzeme çekme deney sonuçları.....	51
Çizelge 5.2. Çelik malzemelerin çekme deney sonuçları ortalamaları.....	51
Çizelge 5.3. Oksi Asetilen aleviyle yapılan birleştirme sonucu elde edilen kaynak metali alaşım elementleri (% ağırlık).....	52
Çizelge 5.4. Oksi Asetilen aleviyle yapılan birleştirme sonucu elde edilen ITAB alaşım elementleri (% ağırlık).....	52
Çizelge 5.5. Alüminyum malzeme çekme deney sonuçları.....	58
Çizelge 5.6. Alüminyum malzeme çekme deney sonuçları ortalamaları.....	58
Çizelge 5.7. Çelik malzeme mikro sertlik sonuçları.....	60
Çizelge 5.8. Alüminyum malzeme mikro sertlik sonuçları.....	62

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kaynak alevinin kısımları.....	13
Şekil 2.2. Alev çeşitleri.....	16
Şekil 3.1. Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak gazların ısı iletkenlikleri.....	19
Şekil 3.2. Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak gazların entalpileri.....	19
Şekil 3.3. Doğal gazlardan buharlaştırma ile hidrojen elde edilmesi.....	21
Şekil 3.4. Kısmi oksijenleme ile hidrojen elde edilmesi.....	22
Şekil 3.5. Kömürün gazlaştırılması ile hidrojen üretimi.....	23
Şekil 3.6. Oksi hidrojen kaynak ünitesinin şematik görünümü.....	37
Şekil 4.1. Kaynaklı birleştirme sonrası elde edilen numune ölçüleri.....	44
Şekil 4.2. Çekme numunesi ölçüleri.....	44
Şekil 4.3. Çelik malzeme sertlik alınan bölgeler.....	45
Şekil 4.4. Alüminyum malzeme sertlik alınan bölgeler.....	45
Şekil 5.1. Oksi hidrojen alevi ile birleştirilen çelik malzeme 1 numaralı çekme numunesi gerilim-%uzama grafiği.....	48
Şekil 5.2. Oksi hidrojen alevi ile birleştirilen çelik malzeme 2 numaralı çekme numunesi gerilim-%uzama grafiği.....	48
Şekil 5.3. Oksi hidrojen alevi ile birleştirilen çelik malzeme 3 numaralı çekme numunesi gerilim-%uzama grafiği	49
Şekil 5.4. Oksi asetilen alevi ile birleştirilen çelik malzeme 1 numaralı çekme numunesi gerilim-%uzama grafiği.....	49
Şekil 5.5. Oksi asetilen alevi ile birleştirilen çelik malzeme 2 numaralı çekme numunesi gerilim-%uzama grafiği	49
Şekil 5.6. Oksi asetilen alevi ile birleştirilen çelik malzeme 3 numaralı çekme numunesi gerilim-%uzama grafiği	50

Şekil	Sayfa
Şekil 5.7. Oksi hidrojen alevi ile birleştirilen alüminyum malzeme 1 numaralı çekme numunesi gerilim-%uzama grafiği.....	55
Şekil 5.8. Oksi hidrojen alevi ile birleştirilen alüminyum malzeme 2 numaralı çekme numunesi gerilim-%uzama grafiği	55
Şekil 5.9. Oksi hidrojen alevi ile birleştirilen alüminyum malzeme 3 numaralı çekme numunesi gerilim-%uzama grafiği	56
Şekil 5.10. Oksi asetilen alevi ile birleştirilen alüminyum malzeme 1 numaralı çekme numunesi gerilim-%uzama grafiği.....	56
Şekil 5.11. Oksi asetilen alevi ile birleştirilen alüminyum malzeme 2 numaralı çekme numunesi gerilim-%uzama grafiği	56
Şekil 5.12. Oksi asetilen alevi ile birleştirilen alüminyum malzeme 3 numaralı çekme numunesi gerilim-%uzama grafiği.....	57
Şekil 5.13. Çelik malzeme mikro sertlik sonuçları.....	61
Şekil 5.14. Alüminyum malzeme mikro sertlik sonuçları.....	63
Şekil 5.15. Oksi asetilen aleviyle kaynatılan çelik malzeme mikroyapı fotoğrafları.....	66
Şekil 5.16. Oksi hidrojen aleviyle kaynatılan çelik malzeme mikroyapı fotoğrafları.....	68
Şekil 5.17. Oksi asetilen aleviyle kaynatılan Al malzeme mikroyapı fotoğrafları.....	70
Şekil 5.18. Oksi hidrojen aleviyle kaynatılan Al malzeme mikroyapı fotoğrafları.....	71
Şekil 5.19. Oksi hidrojen aleviyle kaynatılan Çelik malzeme kırık yüzey fotoğrafları.....	72
Şekil 5.20. Oksi asetilen aleviyle kaynatılan Çelik malzeme kırık yüzey fotoğrafları.....	72
Şekil 5.21. Oksi hidrojen aleviyle kaynatılan çelik numune kırık yüzey (Oluşan Kürelerin) EDS analizi.....	73

Şekil	Sayfa
Şekil 5.22. Oksi hidrojen aleviyle kaynatılan Alüminyum malzeme kırık yüzey fotoğrafları.....	75
Şekil 5.23. Oksi asetilen aleviyle kaynatılan Alüminyum malzeme kırık yüzey fotoğrafları.....	75

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Oksi hidrojen kaynak ünitesi.....	38
Resim 5.1. Oksi hidrojen aleviyle birleştirilen çelik malzeme çekme test numuneleri.....	47
Resim 5.2. Oksi asetilen aleviyle birleştirilen çelik malzeme çekme test numuneleri	47
Resim 5.3. Oksi hidrojen aleviyle birleştirilen alüminyum malzeme çekme test numuneleri	54
Resim 5.4. Oksi asetilen aleviyle birleştirilen alüminyum malzeme çekme test numuneleri	54

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
Al	Alüminyum
C₂H₂	Asetilen
CH₄	Metan
C₃H₈	Propan
C₄H₁₀	Bütan
CO	Karbonmonoksit
CO₂	Karbondioksit
FeTiH_x	Demir Titanyum Hidrür
H₂	Hidrojen
MPa	Megapaskal
NO_x	Azotoksitler
µm	1 x 10 ⁻⁶ metre
Kısaltmalar	Açıklama
A	Oksi Asetilen Kaynağı
DAS	Dentrit kolları arası mesafe
DKB	Dentrit kol boyu
H	Oksi Hidrojen Kaynağı
ITAB	Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
y.y.	Yüzyıl

1.GİRİŞ

Geçmişte, günümüzde ve gelecekte önemini hiç yitirmeyecek bir üretim yöntemi olarak kaynaklı birleştirmeler tüm sektörlerde ana veya yardımcı imal yöntemi olarak kullanılmaktadır. Metallerin sökülemez birleştirmelerinde kullanılan oksijen – gaz, gaz altı, elektrik ark, direnç vb. gibi pek çok yöntemle sahip olan kaynak yöntemleri, kalifiye kaynakçıların kontrolü altında havacılıktan, uzaya, basınçlı kaplardan, petrol boru hatlarına pek çok alanda vazgeçilmezliğini sürdürmektedir[1].

Kaynak tatbik edileceği malzemenin cinsine göre, metal kaynağı ve plastik malzeme kaynağı olarak ele alınır.

Metal kaynağı; Metalik malzemeyi ısı veya basınç veya her ikisini birden kullanarak ve aynı cinsten ve erime aralığı aynı veya yaklaşık bir malzeme ilave ederek veya etmeden birleştirmeye "metal kaynağı" adı verilir. İki parçanın birleştirilmesinde ilave bir malzeme kullanılırsa, bu malzemeye "ilave metal" adı verilir.

Plastik malzeme kaynağı; Aynı veya farklı cinsten termoplastik (sertleşmeyen plastik) malzemeyi ısı ve basınç kullanarak ve aynı cinsten bir plastik ilave malzeme katarak veya katmadan birleştirmeye, "plastik malzeme kaynağı" adı verilir[2].

Metal kaynağı, kaynak işleminin cinsine göre ergitme kaynağı, basınç kaynağı ve soğuk basınç kaynağı olmak üzere kısımlara ayrılır. Ergitme kaynağı, metalik malzemeyi yanlı sıcaklığın tesiri ile mahalli olarak (sınırlandırılmış bir kısmını) eritip ilave metali eritmek veya eritmemek suretiyle birleştirmektir. Basınç kaynağı, metalik malzemeyi genellikle ilave metal kullanmadan basınç altında (sınırlandırılmış bir kısmını) ısıtarak birleştirmektir. Soğuk basınç kaynağı ise metalik malzemeyi ilave metal kullanmadan yalnız basınç altında birleştirmektir.

Ergitme kaynağı usulleri de kendi içerisinde gaz eritme kaynağı, ark kaynağı, direnç eritme kaynağı, alümino – termik eritme kaynağı gibi sınıflara ayrılır[3].

Gaz eritme kaynağı, erime için gerekli olan ısının biri yanıcı, diğeri yakıcı olan gazların yakılması ile oluşan alevden faydalanılarak sağlandığı kaynaktır[2]. En basit ve sıklıkla kullanılan bir sistem gaz tüpleri, gaz basınç regülatörleri, hortumlar ve kaynak üfleçlerinden meydana gelir. Çok değişik metallere uygulanmasına rağmen, karbonlu çelik saclar, karbonlu çelik tüp ve borularda devamlı kullanılmaktadır. Isı kontrolü, parçalar arasında geniş aralığa izin vermesi ve kaynak havuzunun açık bir şekilde gözlenebilmesi en önemli avantajları arasında sayılabilir[2,4].

Gaz eritme kaynağı ve sert lehimleme sanayinin birçok dalında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Oksijen ile karışım halinde yakıt olarak kullanılan gazlardan en iyi sonucu asetilen ve propan vermektedir. Ancak, gaz eritme kaynağında kullanılan yakıtların servis masrafları (asetilen kazanının fiyatı, kalsiyum karbit, oksijen, ayar vanaları ve tüpler) üretim maliyetlerini arttırmaktadır. Ayrıca kullanılan ekipmanlar külfetli ve üretim sahalarında taşınarak kullanılması zor ekipmanlardır[5].

Çok çeşitli işlemlerde verimli olarak kullanılmaya elverişli küçük elektrikli oksijen hidrojen gaz jeneratörleri mevcuttur. Bu cihazların kullanılmasıyla yapılan kaynak, sert lehimleme ve metal kesme işlemlerinde ortaya çıkan sonuçlar son derece cazip edicidir. Su ucuz, kolay bulunabilir ve güvenli bir enerji taşıyıcısıdır. Elde edilen kaynağın kalitesine göre kıyaslandığında üretim masrafları ve servis masrafları gibi yan masrafların toplamı oldukça düşük kalmaktadır[5].

Bu çalışmada, oksijen hidrojen kaynak üniteleri ve oksijen – asetilen kaynak ünitelerinde kaynaklı birleştirmeleri gerçekleştirilen numunelerin mikroyapı ve mekanik özellikleri (çekme, akma, kopma dayanımı ve mikro sertlik)

karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma için kaynaktan sonra mikro sertlik ve çekme deneyleri gibi mekanik testler ve optik mikroskop, kırık yüzey ve EDS analizleri yapılmıştır.

2. GAZ ERGİTME KAYNAĞI

2.1. Tarihsel Gelişimi

Kaynak çok eski tarihlerden beri bilinmektedir. Altın ve gümüş gibi kıymetli metaller M.Ö. 3000 yıllarında kaynak edilerek kullanılmış olup günümüzde yapılan arkeolojik araştırmalar bunu doğrulamaktadır[3,6].

Demirin ergitilmesi ile M.Ö. 13. yy da bulunan demirci “ocak kaynağı” en eski bir kaynak çeşidi olarak hala kullanılmaktadır.

Bugünkü modern kaynak tekniklerinin gelişimi ise aşağıdaki üç önemli buluştan sonra başlamış, gelişimini günümüze kadar sürdürmüş ve sürdürmektedir.

- 1808 de Sir Humpny Dovy’nin elektrik arkını,
- 1856 da Joule’ün temas direnci ısıtmasını,
- 1890 da L Chatelier’in oksitasetilen alevini

bulması ile önem kazanmıştır[6].

Daha sonraları, yukarıda sözü edilen ısı kaynakları, metallerin ergitilmesi ile birleştirilmesinde kullanılmıştır.

Oksijen yıllarca önce bilinmesine rağmen endüstride kullanılmasına ait çalışmalar 1892 yılında başlamış, oksit – gaz kaynağının kullanımı ise, 20. yy.’ın başında oksijen ve asetilenin ekonomik olarak üretilmesinden sonra, kaynak üflecinin de bulunması ile sağlanmıştır.

Oksijen önce kimyasal olarak üretilmiş, üretimin geliştirilmesinden sonra tüplere doldurulması sağlanmıştır. Bu yıllarda asetilen ise evleri ve sokakları aydınlatmada kullanılmıştır[6].

Oksijen basınçlı olarak üretilmesine paralel olarak, asetileninde kaynak için istenen basınçta üretimi sağlanmıştır. Yalnız asetilen, bileşiminde bulunan hidrojen nedeni ile $2,5 \text{ kg/cm}^2$ 'nin üzerindeki basınçlarda sıkıştırılamaz. Fazla sıkıştırılır ise bileşenlerine ayrışır. Ayrışma sırasında ısı ve basıncını yükselterek tehlikeli bir patlama yaratır. Asetilen, bu özelliğinden dolayı tüplere yüksek basınç altında doldurulamaz. Ancak asetonla eritilerek ve tüp içindeki gözenekli maddelere emdirilerek tüplere doldurulur.

Oksijen ile asetilenin kaynakçılıkta oranlı olarak kullanılmasına 1901 yılında başlanmıştır. 1903 yılında ise kaynak endüstrisinde kullanılan üflecin imalatı Amerika'da gerçekleştirilmiştir. Yine 1903 yılında " Charles I. Bastian" gaz basıncını sabit tutan "regülatörü" keşfederek gaz basıncının sabit tutulmasını sağlamıştır. Daha sonra regülatör geliştirilerek bugünkü manometreler (basınç düşürücüler) üretilmiştir[6].

Bütün bu çalışmalardan sonra oksijen asetilen kaynağı başta onarım işlerinde kullanılmıştır. İyi netice alınması üzerine kullanım alanı genişletilerek ince sac işlerinde, boru ve bazı metallerin kaynatılmasında kullanılır duruma getirilmiştir.

Üfleçlerde elde edilen oksijen asetilen alevinin sıcaklığı 3100°C olup, bu sıcaklık birçok metalin ergime sıcaklığının üstünde olduğundan oksijen – gaz kaynağının hızlı gelişmesini sağlamıştır.

Bu çalışmalara paralel olarak 1905 yılında Belçikalı "Felix Jottrand" tarafından kesme üfleçleri geliştirilerek başta çelik türleri olmak üzere bazı metallerin oksijenle kesme tekniği geliştirilmiştir. Bu tarihten sonrada devamlı

gelişme gösteren oksi gaz kaynağı Birinci Dünya savaşında, savaş araç ve gereçlerinin kaynağında büyük ölçüde kullanılmıştır[3,6].

Gelişimini günümüze kadar sürdüren oksi gaz kaynağı günümüz endüstrisinde; tamir ve oto kaporta işlerinde, ince sacların, boruların ya da farklı metallerin kaynağında, sert lehim yapımında geniş kullanım alanı bulmuştur.

Kaynağın yapımı ayrı bir bilgi ve beceri gerektiğinden “kaynakçılık” günümüzde meslek olarak geçerlilik kazanmıştır[6].

2.2. Tarifi ve Prensibi

Kaynak için gerekli ısının biri yanıcı, diğeri yakıcı olan gazların yakılmasıyla oluşan alevden faydalanılarak yapılan kaynağa "gaz eritme kaynağı" adı verilir. Yakıcı gaz olarak oksijen kullanılır. Yanıcı gaz olarak ise aşağıdaki gazlar kullanılmaktadır[2];

Asetilen (C_2H_2)

Hidrojen (H_2)

Metan (CH_4)

Propan (C_3H_8)

Bütan (C_4H_{10})

Propan- Bütan karışımı (C_3H_8 - C_4H_{10})

Havagazı

Benzin ve benzol buharı

Yukarıdaki yanıcı gazlardan bazılarının fiziksel özellikleri Çizelge 2.1'de görülmektedir. Çizelge 2.1'deki yanıcı gazların fiziksel özelliklerinin incelenmesinden, çok farklı değerlere sahip oldukları görülmektedir[2].

Çizelge 2.1. Yanıcı gazların fiziksel özellikleri[7].

Gaz	Yoğunluk kg/m ³	Isıl değer MJ/kg	Alev sıcaklığı °C	Tutuşma hızı, m/s
Asetilen	1,07	48,2	3100	13,1
Propan	2,00	46,4	2825	3,7
Hidrojen	0,08	120	2525	8,9

Gaz ergitme kaynağında kullanılacak gazın seçiminde aşağıdaki şartlar göz önüne alınır:

a-) Yüksek bir ısı değer,

b-) Yüksek bir alev sıcaklığı

c-) Yüksek bir tutuşma hızı,

d-) Kaynak banyosunu havaya karşı koruma,

e-) Artıksız bir yanma,

f-) Ucuz ve kolay üretilebilme.

Yukarıdaki şartları en iyi şekilde yerine getiren gaz, asetilendir. Bu sebepten genellikle gaz ergitme kaynağında asetilen gazı kullanılır ve bunun için gaz eritme kaynağına "oksi-asetilen" kaynağı da denir[2].

2.3. Asetilen Gazı

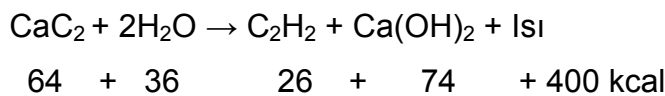
Karpitin su ile teması sonucunda elde edilen bir gazdır. 760 mm cıva basıncı ve 0° C'de özgül ağırlığı 1,07 kg/m³ olup, havadan hafiftir. Bir kilogramı 760 mm cıva basıncında ve 0°C'de 854 litredir. Asetilen, içerisindeki fosforlu hidrojen sebebiyle sarımsağımsı bir kokuya sahiptir. Asetilen atmosferik basınçta - 80 °C'de sıvı ve - 83 °C'de katı hale geçer.

Asetilen hava ve oksijenle çok tehlikeli karışımlar meydana getirir ve bu karışımların patlaması, büyük zararlara yol açar[2].

Asetilen kararsız bir karbonlu hidrojen olduğu için, ayrışma meyli fazladır. 1,5 atmosferden daha yüksek bir basınçla sıkıştırıldığı ve sıcaklığı da arttığı zaman, kendisini oluşturan karbon ve hidrojene ayrılır. Bu esnada tutuşma ve yanma olmadan, 11 misli bir basınç artışıyla infilak eder. Bu sebepten asetilen cihazlarında 1,5 atmosferden yüksek basınçlara izin verilmez. Basınç 2 atmosferi aştığı zaman özel emniyet tedbirleri alınmadığı takdirde, bir noktadan başlayan ayrışma bütün gaz kütesine yayılır[2].

Diğer taraftan sıcaklığın da fazla yükselmesine izin verilmemelidir. Basınç ve sıcaklık için kabul edilen sınırlar, 1,5 atmosferde 60 °C'dir.

Asetilen üretimi sırasında aşağıdaki reaksiyon meydana gelir:



Yukarıdaki kimyasal reaksiyon incelenirse 1 kg karpit için;

$$\frac{36}{64} = 0.562 \text{ kg suya ihtiyaç vardır.}$$

Bu reaksiyon neticesinde $\frac{74}{64} = 1,15 \text{ kg Ca(OH)}_2$ ve $\frac{26}{64} = 0,406 \text{ kg (350 lt)}$

asetilen elde edilir. Bu değerler teorik değerlerdir. Pratikte 1 kg karpitin 250 litre asetilen verdiği kabul edilir. Reaksiyon neticesinde meydana gelen 400 kcal'lık ısı ile, 10 litre su 40 °C ısıtılabilir. Asetilen üretiminde kullanılan karpit (CaC_2) ark fırınlarında kireç taşı ile kok kömürünün arasındaki reaksiyon sonucunda elde edilir. Bu üretimde bir ton karpit için, 3000 ilâ 3500 Kwh'lık elektrik enerjisine ihtiyaç vardır[2].

2.4. Hidrojen Gazı

Kaynak tekniğinde hidrojen çok ince alüminyum ve kurşun sacların kaynak ve lehim işleri gibi çok nadir hallerde kullanılır. Alev sıcaklığı 2525 °C olduğundan sac kalınlığı arttıkça, tavlama zamanı da yükselir. Hidrojen piyasaya 40 litrelik tüplerde 150 atm basınç altında sevk edilir.

Hidrojen tatsız, kokusuz ve renksiz bir gazdır. 1 m³ hidrojen 10 gr olur, aynı hacimdeki oksijenden 15,9 defa daha hafiftir[3].

2.5. Metan Gazı

Metanın ısı değeri 8850 kcal/m³ olmasına rağmen alev sıcaklığı düşük olduğundan, çeliği sıvı hale getirmesi oldukça zordur. Yanma hızının düşük olması yüzünden, çok defa hidrojen, asetilen veya etilenle karıştırılarak, yanma hızının yükseltilmesine çalışılır. Buna rağmen böyle bir karışım kaynak tekniği için herhangi bir mana ifade etmez[3].

2.6. Propan ve Bütan Gazları

Her iki gazında ısı değerleri yüksek olmasına rağmen tutuşma hızları ve alev sıcaklıkları düşüktür. Bu sebepten ötürü daha ziyade kesme, tavlama ve lehimleme işlerinde kullanılır. Birer karbonlu hidrojen olan propan ve bütan gazları, tüplerde sıvı halde bulunur[3].

2.7. Hava Gazı

Hava gazı, çeşitli gazların karışımından ibarettir. Bunun takriben % 50 hidrojen, % 12 karbon monoksit, % 25 metan'dan ibaret olup, geri kalanı da etilen, azot ve karbondioksit teşkil eder.

Özgül ağırlığı $0,4 - 0,6 \text{ kg/m}^3$ ve ısı değeri $3500 - 4500 \text{ kcal/m}^3$ arasında değişir. Gerek ısı değerinin gerekse alev sıcaklığının düşük olması dolayısıyla kaynak tekniğinde nadiren ancak ince sacların kaynağında kullanılır. Bazen alev sıcaklığını yükseltmek için hava gazına asetilen karıştırılır(% 30 asetilen). Hava gazı daha ziyade kesme, lehimleme veya yüzey sertleştirme işlerinde kullanılan bir gazdır[3].

2.8. Benzin Buharı

Sıvı halinde bulunan benzinin buharı bilhassa su altında yapılan kesme işlerinde kullanılır. Sıvı benzinin özgül ağırlığı $0,7 \text{ kg/lt}$ ve ısı değeri de 10000 kcal/kg civarındadır[3].

2.9. Benzol Buharı

Benzol eskiden özel kaynak ve kesme işlerinde kullanılmasına rağmen, bugün yerini asetilene terk etmiş bulunmaktadır. Özgül ağırlığı $0,83 \text{ kg/lt}$ ve ısı değeri de 9600 kcal/kg 'dır[3].

2.10. Oksijen Gazı

Kaynak tekniğinde yakıcı gaz olarak kullanılan oksijen günümüzde havadan elde edilmektedir. Yaklaşık 50 yıl önce kaynak tekniğinde kullanılmak üzere gaz halinde nakledilmiştir. Daha sonraları oksijenin nakliye ve depolanmasında ekonomi sağlamak üzere, sıvı hale getirilmesi uygun olmuştur. 1 litre sıvı oksijenden 875 litre gaz oksijen meydana gelirken, gaz halinde 1 litre hacme 150 litre oksijen depolanabilir.

Gaz oksijen kokusuz, tatsız ve renksiz olup; kendisi yanmaz. Fakat bütün yanmalarda mutlaka bulunması gerekir. Sıvı oksijen mavimsi renkte olup, -183°C 'de sıvılaşır. Bir tehlike olmaksızın oksijen istenen basınca sıkıştırılabilir. Kaynak tekniğinde 150°C 'de sıkıştırılmış 40 litrelik tüplerde bulunur[2].

Boyle-Maryot kanununa göre 40 litrelik tüpteki oksijen miktarı:

$$P.V = 150 \times 40 = 6000 \text{ litre} = 6 \text{ m}^3$$

Oksijenin daha yüksek basınçlarda sıkıştırılmasını, tüp malzemesinin mukavemeti etkilemektedir. Son zamanlarda özel çelikten imâl edilen tüplerde 200 atmosferlik basınç değerlerine çıkılarak, 50 m^3 'lük tüplerde 10 m^3 oksijenin depolanması mümkün olmuştur. Böylece birim gaz miktarı ($1/9$ yerine $1/5$ veya $1/4$) başına taşınan tüp ağırlığı azaltılmış olmaktadır. Oksijenin depolama ve taşınmasını daha ekonomik hale getirmek için, sıvı hale getirilmesi gerekmektedir. Böylece %20 kadar bir hacim tasarrufu temin edilmektedir.

Fakat sıvı oksijenin depolama ve nakliyesinde kullanılacak tank ve tankerlerin çok iyi izole edilmesi gerekir. Çünkü sıvı oksijenin normal atmosferik basınçta sıcaklığı -183°C 'dir. Kullanma yerlerine getirilen sıvı oksijen, gazlayıcılar içerisinde bulundurulur[2].

2.11. Kaynak Alevi

Gaz eritme kaynağında meydana gelen kaynak alevi incelenirken, oksijen-asetilen alevinin incelenmesi uygun olacaktır. Çünkü en çok kullanılan alev türüdür. Kaynak alevinin incelenmesinde ısı, kimyasal, endüstriyel ve ekonomik karakteristiklerinin incelenmesi gerekir. Böylece en uygun gaz karışımının tespiti mümkün olur[2].

a-) Kaynak alevinin ısı karakteristiği: Kaynak yapılırken malzemenin bölgesel olarak eritilmesini sağlayan, kaynak alevinin ısı karakteristiğidir. Bu sebepten bir kaynak alevinin alev sıcaklığının mümkün olduğu kadar yüksek ve aynı zamanda, ısı değerinin de yüksek olması lazımdır. Isı karakteristik içerisine kaynak alevindeki sıcaklık dağılımı da girer[2].

b-) Kaynak alevinin kimyasal karakteristiği: Kaynak yapılacak malzemenin cinsine göre nötr, oksitleyici veya karbürleyici alev gerekebilir. Bu sebepten kaynak alevi istenen karakteri alabilmelidir[2].

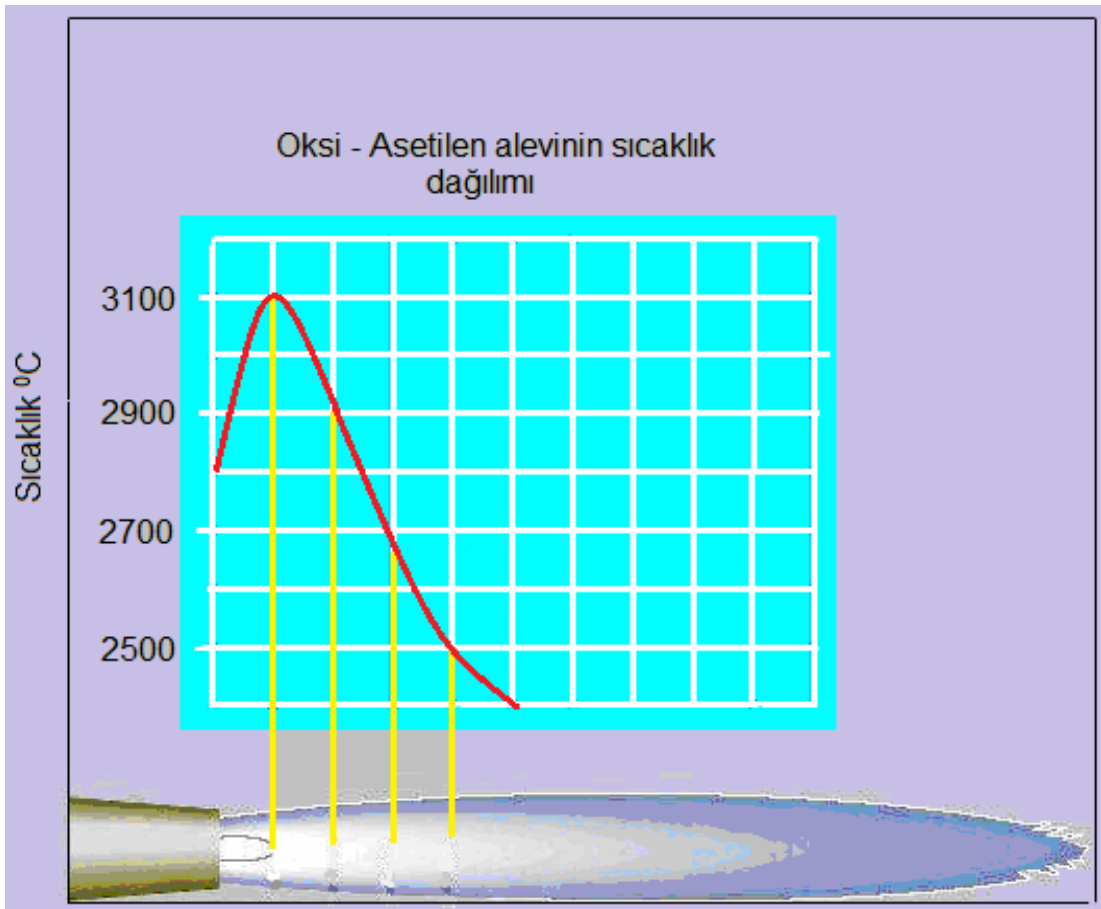
c-) Kaynak alevinin endüstriyel karakteristiği: Bu karakteristik, alevin kararlılık ve ayarlanabilme karakterini ifade eder. Alevin kararlılığı, yanma hızı ve yanıcı gaz ile oksijenin karışım oranına bağlıdır. Alevin ayarlanabilirliği, gaz karışımının alevlenebilme kabiliyeti sınırlarına bağlıdır[2].

d-) Kaynak alevinin ekonomik karakteristiği: Bir alevin ekonomik karakteristiği denilince kaynağın yapılma hızı, yanma için gerekli oksijen miktarı akla gelir. Kaynağın hızı, alev sıcaklığına bağlıdır. Oksijen miktarının artması, maliyeti artırır[2].

2.11.1. Oksi-asetilen alevi

Yanma alevi teorik olarak, bir hacim asetilen ile bir hacim oksijenin yanmasıyla meydana gelir. Gerçekte ise 1 m³ asetilenin tam olarak

yanabilmesi için, $2,5 \text{ m}^3$ oksijene ihtiyaç vardır. Kaynak üflecine gelen 1 m^3 asetilen için, oksijen tüpünden 1 m^3 oksijen çekilir. Geriye kalan $1,5 \text{ m}^3$ oksijende havadan temin edilir. Bu şekilde meydana getirilen aleve, nötr veya normal alev denir. Normal bir alev çekirdek bölgesi, redükleyici bölge ve yelpaze bölgesi olmak üzere üç bölgeden meydana gelir. Bu bölgelerin özellikleri ve bölgelerdeki reaksiyonlar aşağıdaki gibidir[2].



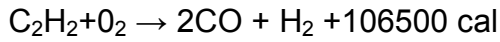
Şekil 2.1. Kaynak Alevinin kısımları[8].

Çekirdek bölgesi

Bu bölgede hiçbir reaksiyon meydana gelmez. Asetilen oksijen karışımı, alevlenme sıcaklığının altında bulunur[2].

Redükleyici bölge

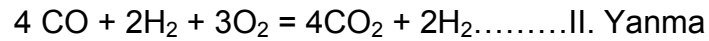
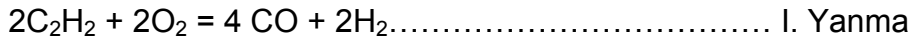
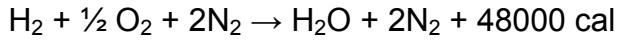
Redükleyici gazların bulunduğu ve sınırları belirli bir şekilde olan mavimsi-kahverengi bölgedir. Sabit (durağan) yanmanın meydana geldiği bölgedir. Gaz karışımının molekülleri bu bölgeyi çok hızlı olarak geçer ve sıcaklığın birdenbire yükselmesiyle, birinci kademe yanma adı verilen aşağıdaki reaksiyon meydana gelir:



En yüksek sıcaklık, kıvrak bölgesinin (yani çekirdeğin) ucundan itibaren 2-3 mm uzakta teşekkül eder. Bu uzaklık üflecın büyüklüğüne (gücüne) göre biraz değişebilir redükleyici bölgede yalnız CO ve H₂ gazları vardır[2].

Yelpaze bölgesi

Bundan önceki bölgelerin en dışında bulunan ve redükleyici bölge ürünleriyle havanın oksijeni arasında yanmanın meydana geldiği dış bölgedir. Alevin bu bölgesi her zaman oksitleyicidir ve bol miktarda azot ihtiva eder. Yelpaze bölgesinde çevredeki havanın oksijeni ile CO ve H₂ gazları arasında ikinci kademe yanma meydana gelir ve aşağıdaki reaksiyonlar oluşur:



Oksi-asetilen alevinin ısı karakteri ele alınacak olursa, en yüksek sıcaklığın mızrak bölgesinin ucundan itibaren 2 – 3 mm uzakta teşekkül ettiği görülmüştür. Mızrak bölgesinden yelpaze bölgesine doğru gittikçe sıcaklık hızla düşmektedir (Şekil 2.1).

Oksi-Asetilen ana reaksiyonu yalnız CO ve H₂ redükleyici gazlarını verir (alevin kimyasal karakteristiği). 3000 °C'de diatomik hidrojen molekülü (H₂) ayrışmaya uğrayarak, hidrojen atomlarına (H) ayrılır, maksimum sıcaklık olan 3100 °C'de alevdeki bileşenlerin oranları hacimsel olarak aşağıdaki gibidir:

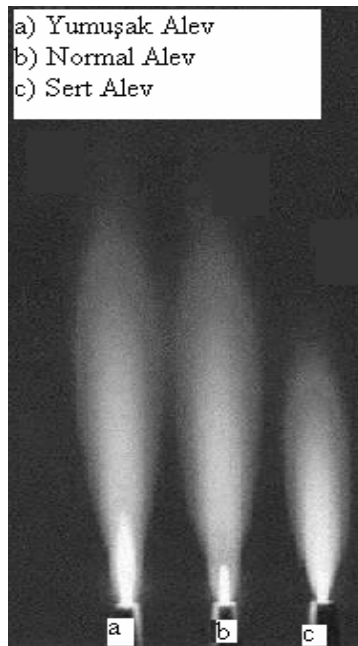
CO : %61, H₂ : %22, H : %17

Diğer alev türlerinde yanma ürünleri Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Kaynak alevlerinde yanma ürünleri[2].

Oksijenle Yakılan Gaz	Redükleyici Ürünler(%)			Oksitleyici Ürünler(%)		Nötr Ürünler(%)
	H	H ₂	CO	H ₂ O	CO ₂	N ₂
Asetilen	17	22	61	-	-	-
Havagazı	7	28	20	38	5	2
Propan Bütan	5	29	36	25	5	-
Hidrojen	7	45	-	48	-	-

Asetilen ile Oksijen arasındaki karışım kabiliyeti ele alınırsa, oksî-asetilen alevinin endüstriyel karakteri incelenmiş olur. Asetilen ile oksijen arasındaki karışım oranlarının değiştirilmesiyle üç tip alev elde edilmektedir[2].



Şekil 2.2. Alev çeşitleri[8]

a-) Karbürleyici (redükleyici) alev: Asetilen miktarının fazla, yani O_2/C_2H_2 oranının 1'den küçük olduğu alev türüdür. Karbonlayıcı alev, dökme demir ve alüminyum-alüminyum alaşımlarının kaynağında kullanılır[2].

b-) Oksitleyici alev: Oksijen miktarının fazla olduğu, yani $O_2/C_2H_2 = 1,30...2,50$ arasında olan alev türüdür. Oksitleyici alev alevle doğrultma, tavlama ve sertleştirme işlemlerinde ve pirinç malzeme kaynağında kullanılır[2].

c-) Nötr (normal) alev: Asetilen ve oksijen miktarlarının eşit olduğu alev türüdür. Bu alev türü kendi içinde yumuşak ve sert normal alev olarak ikiye ayrılır. Yumuşak normal alev, ince cidarlı çeliklerin ve sacların kaynağında; sert normal alev ise, kalın cidarlı çelik ve levhaların kaynağında kullanılır[2].

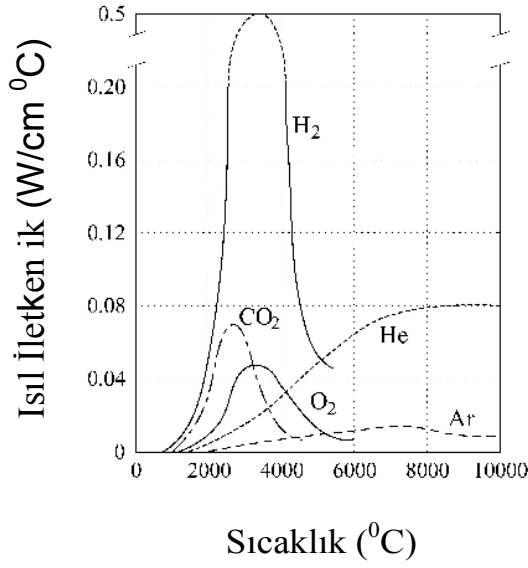
3. HİDROJENİN ÖZELLİKLERİ VE ÜRETİM YÖNTEMLERİ

3.1. Hidrojenin Özellikleri

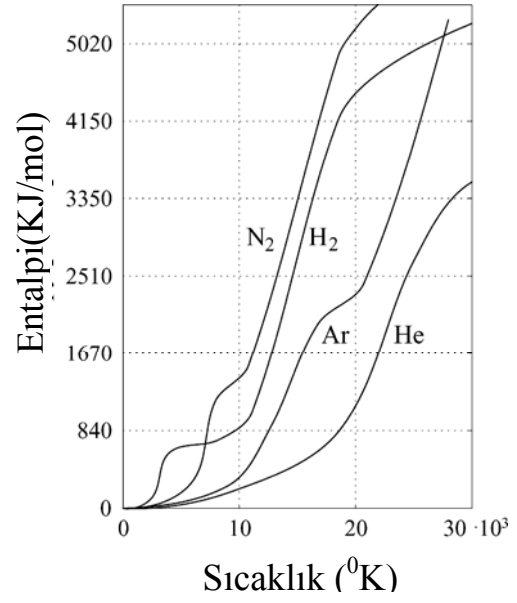
Hidrojen (H_2) en hafif element olup havada 100 ppm (%0,01) oranında bulunan kokusuz, renksiz, tatsız ve zehirsizdir. Yanıcı bir gazdır ve hava veya oksijen ile karışımda bulununca çok geniş bir aralık için patlayıcı özelliğe sahiptir. Önemli özellikleri ise Şekil 3.1 ve 3.2’de gösterilen yüksek ısı iletkenliği ve entalpisidir[9].

Çizelge 3.1. Hidrojenin Özellikleri[10].

Molekül Ağırlığı	mol/gr	2,016
Yoğunluk	Kg/m ³	0,0838
Üst Enerji Değeri	MJ/kg	141,90
Alt Enerji Değeri	MJ/kg	119,90
Kaynama Sıcaklığı	K	20,3
Kritik Değerler		
Sıcaklık	K	32,94
Basınç	Bar	12,84
Kendi Kendine Yanma Sıcaklığı	K	858
Havada Yanma Limiti	(vol.%)	4-75
Havadaki Sitokiyometrik Karışım	(vol.%)	29,53
Havada Yanma Sıcaklığı	K	2,318
Difüzyon Katsayısı	cm ² /sn	0,61
Özgül Isı (c_p)	kJ/(kg-K)	14,89



Şekil 3.1. Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak gazların ısı iletkenlikleri[9].



Şekil 3.2. Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak gazların entalpileri[9].

Doğada hidrojenin üç izotopu vardır. Bunlar: protium, dueterium ve tritium'dur. Bilinen standart hidrojen atomu (protium) en basit element olarak bilinir. Bir proton ve bir elektrodan oluşur. Hidrojen molekülü (H₂) ortho- ve para- hidrojen olarak iki ayrı şekilde bulunur. Her iki şekilde aynı kimyasal özelliklere sahiptir. Oda sıcaklığında bulunan hidrojenin % 75'i ortho- ve % 25'i para-hidrojendir. Para hidrojen düşük sıcaklıklarda durağan bir yapıya sahiptir ve sıcaklık düştükçe yoğunluğu artar, sıvı hidrojenin neredeyse tamamı bu şekilde bulunur[11].

Dünya nüfusunundaki ve uygarlık düzeyindeki artışlarla birlikte toplam enerji gereksiniminin artmasına karşın günümüzde kullanılmakta olan enerji kaynaklarının hızla tükenmekte olması alternatif enerji kaynaklarına olan gereksinimi zorunlu kılmaktadır. Petrol krizinin ve çevre sorunlarının etkisi altında yakın gelecekte içten yanmalı motorlarda kullanılan benzin mazot gibi petrol kökenli konvansiyonel yakıtlarında yerini alacak alternatif yakıtların bulunması gerekmektedir[12].

3.2.Hidrojen Elde Edilmesi

Enerjinin toplumların kalkınmasında çok önemli bir yere sahip olmasına karşın, özellikle fosil yakıtların enerji ihtiyacını karşılamada kullanılırken önemli derecede ekonomik, çevresel ve sosyal sorunlara yol açtığı tartışılmaktadır. Bu çerçevede hidrojen enerjisi bu problemlerin çözümünde önemli bir alternatif olarak görülmekte ve geleceğin enerji senaryolarında önemli bir yere sahip olacağı düşünülmektedir [13].

Günümüzde dünya hidrojen ihtiyacının %4'ü elektrolizle karşılanmaktadır. Düşük maliyeti nedeniyle endüstride hidrojen ihtiyacının büyük bir kısmı metanın buhar reformasyonu ile üretilen hidrojenden sağlanmaktadır. Fakat elektroliz yöntemi esnek üretim şartlarına sahip olması ve yüksek saflıkta hidrojen eldesi sağlaması nedeniyle alternatif yakıt sektöründe yerini korumaktadır. Ayrıca yeryüzü su kaynaklarının çok olması ve elektroliz sonucunda kirletici emisyonların oluşmaması sebebiyle tercih edilmektedir[14].

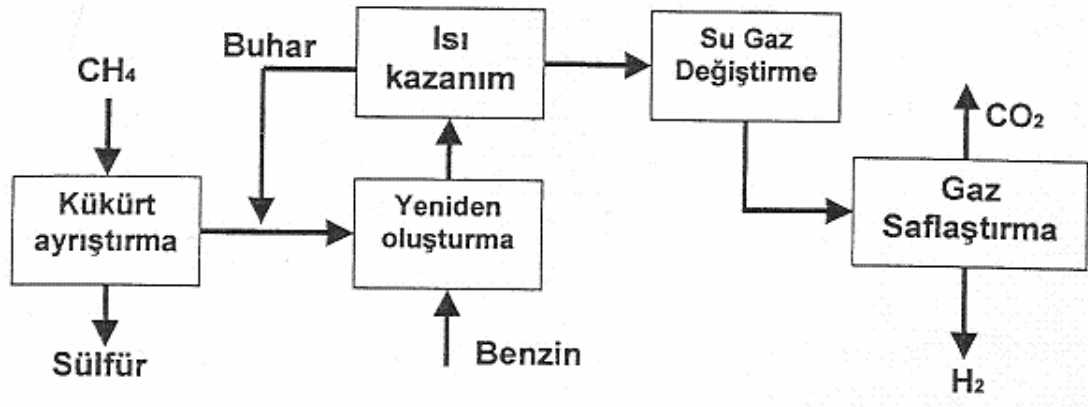
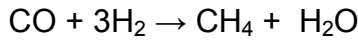
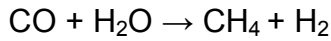
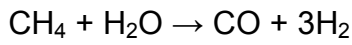
Bilindiği gibi hidrojen doğada fosil yakıtlar gibi bulunmamaktadır. Ancak fosil yakıtlar içinde hidrojen bulunmaktadır. Bu nedenle çeşitli kimyasal işlemler ile hidrojen elde edilmesi gerekmektedir[15].

3.2.1. Fosil yakıtlardan elde edilmesi

Hidrojen fosil yakıtlara alternatif olarak düşünülse de fosil yakıtların içerisinde hidrojen atomu bulunduğu da bir gerçektir. Bu kısımda fosil yakıtlardan hidrojen elde etme yöntemleri açıklanacaktır[15].

Doğalgazlardan buharlaştırma

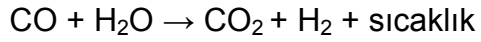
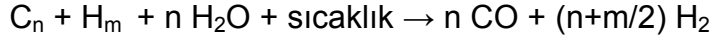
Doğalgazlardan buharlaştırma en etkili ve verimli hidrojen elde etme yöntemidir. İlk basamak gaz sentezlenmesi, ikinci basamak su gaz değişimi, üçüncü basamak ise gaz saflaştırmasıdır. Bu işlem sırasında ısı 700 – 925 °C'ye kadar çıkmaktadır. İşlem verimliliği %65 – 75 olup hidrojen maliyeti 6\$/GJ'dur[15].



Şekil 3.3. Doğal gazlardan buharlaştırma ile hidrojen elde edilmesi[15].

Kısmi oksijenleme

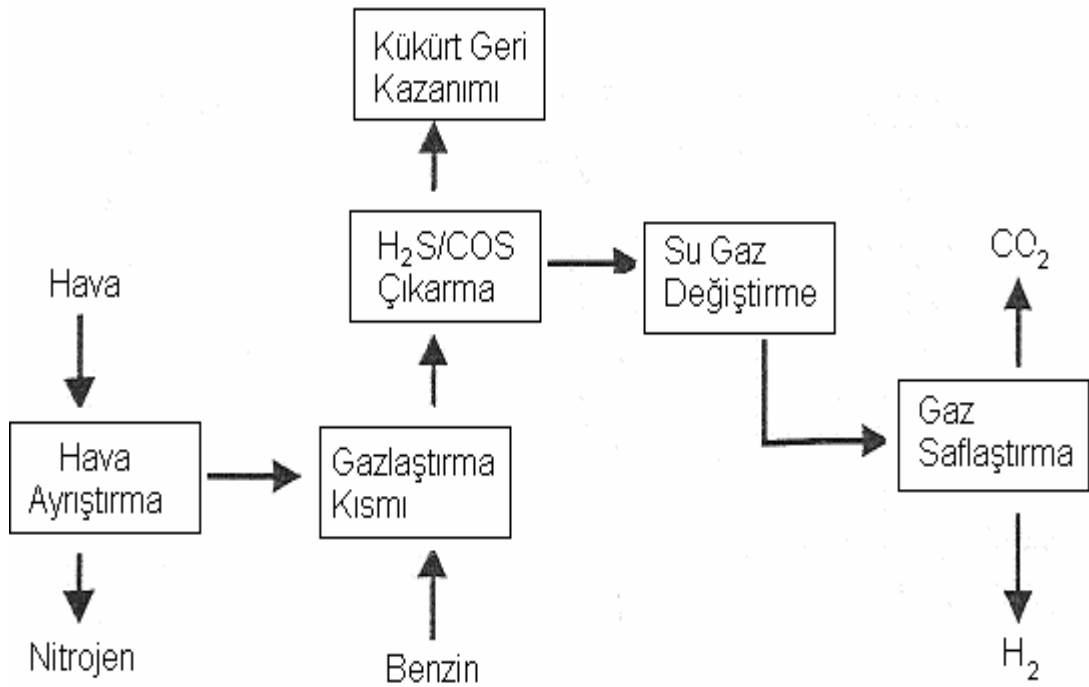
Kısmi oksijenleme doğalgazlardan buharlaştırmının gerçekleştirilemediği petrol yağlarından daha ağır hidrokarbonlarda (etanol ve benzinde) kullanılan bir yöntemdir. Genel olarak kısmi oksijenleme üç basamakta gerçekleştirilir. İlk basamak gaz sentezlenmesi, ikinci basamak su gaz değişimi, üçüncü basamak ise gaz saflaştırmasıdır. Bu işlem sırasında ısı 1150 – 1315 °C'ye kadar çıkmaktadır. İşlem verimliliği %50 olup hidrojen maliyeti 4\$/GJ'dir[15].



(artık fueloil de $n=1$ ve $m=1.3$)

Doğalgazın termal olarak parçalanması

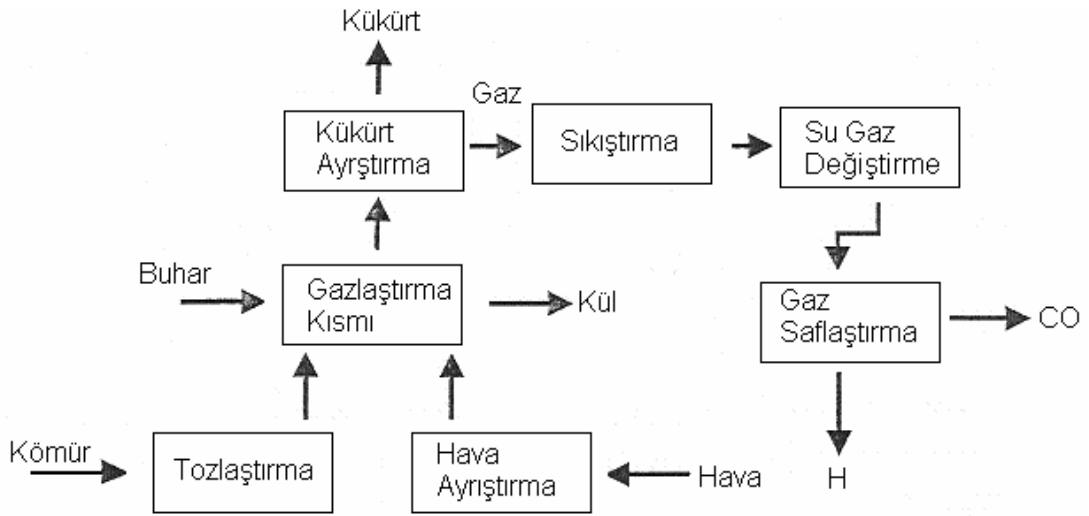
Doğalgaz 1400 °C'ye kadar sıcak hava ile ısıtılır ve hava akımı kesilir. Metan gazı bu ısıda ayrılır. Daha sonra ısı 800 °C' ye düşürülür ve hidrojen ayrıştırılır. Bu işlemde CO₂ oluşmaz[15].



Şekil 3.4. Kısmi oksijenleme ile hidrojen elde edilmesi[15]

Kömür gazlaştırılması

Toz haline getirilen kömür sıcak buhar yardımıyla yakılarak kül haline getirilir ve kükürdün ayrışması sağlanır. Oluşan ürün su ile saflaştırılarak karbonmonoksit ve hidrojenin ayrıştırılması sağlanır. Bu işlemde verimlilik %97 olup hidrojen maliyeti 12 \$/GJ'dir[15].



Şekil 3.5. Kömürün gazlaştırılması ile hidrojen üretimi[15].

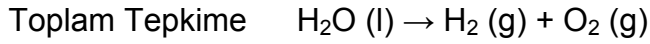
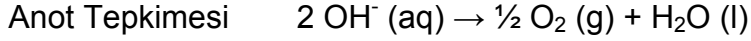
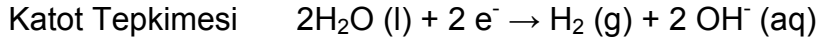
3.2.2. Sudan hidrojen üretimi

Dünya üzerindeki en büyük hidrojen kaynağı su olarak bilinmektedir. Bu nedenle sudan hidrojen elde edilmesi önemli bir kaynak oluşturmaktadır.[16]

Elektroliz

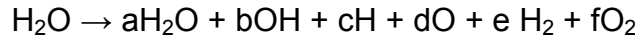
Elektroliz en çok bilinen, kullanılan ve fosil yakıtlardan hidrojen elde etmeden 50 yıl daha eski bir teknolojidir. Elektrolizde anot ve katot arasında oluşan elektron akımı ile hidrojen oluşturulur. Su içine NaCl, KOH, NaOH katılarak elektrik iletimi artırılır. Elektroliz için 1,75 – 2,05 V yeterlidir[16].

İşlem basamakları:



Suyun direk termal ayrıştırılması (Termoliz)

Su 2000 °K üzerinde kendiliğinden hidrojen ve oksijen atomlarına ayrılmaya başlar. Ancak ısı arttıkça verimlilik artar(2000 °K %1, 2500 °K %8,5, 3000 °K %24). Çok yüksek sıcaklıklarda verimli sonuçlar elde edilmesi bu yöntemin en büyük dezavantajlarıdır[17].



Termokimyasal yolla hidrojen üretimi

Direk ısı ayrışma çok yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Direk ısı ayrışmanın düşük sıcaklıklarda gerçekleşmesi için su içerisine kimyasal maddeler katılması gerekmektedir. Su içerisine kimyasal maddeler karıştırılarak düşük ıslarda direk ısı ayrışma gerçekleştirilmesine termokimyasal dönüşüm denir. 1960'lardan beri kullanılan bir yöntemdir. Ancak verimliliğinin istenen düzeyde olması için 2000 – 3000 kez işlemin tekrarlanabilmesi gerekebilmektedir[18].

Fotoliz yolu ile hidrojen üretimi

Direk güneş ışığı kullanılarak sudan hidrojen elde etme yöntemidir. Su içerisine redox katalizör, değişik mikroorganizmalar katılarak güneş ışığı yardımıyla oluşan kimyasal reaksiyon sonucunda hidrojen elde edilir[19].

3.2.3. Hidrojen üretim yöntemlerinin karşılaştırılması

Günümüzde en çok kullanılan hidrojen üretim yöntemi hafif hidrokarbonların (özellikle doğal gazın) reformasyonu yöntemidir. Ancak gelecekte fosil kaynakların rezervlerinin azalması ve çevreye vermiş olduğu zararlardan dolayı alternatif hidrojen üretim yöntemleri gerekmektedir. Günümüzde ek potansiyeli olan maliyetli olsa da yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişmesi ile elektroliz yönteminin daha fazla önem kazanacağı açıktır[20].

3.3. Hidrojen Depolama Yöntemleri

Hidrojenin kimyasal ve fiziksel özelliğinden kaynaklanan problemlerden dolayı depolama sorunları ortaya çıkmaktadır. Hidrojenin depolanmasında üç ana yöntem vardır. Bunlar; yüksek basınçlı gaz şeklinde depolama, kroyojenik (aşırı soğutulmuş) sıvı halde depolama (bu durumda hidrojen genellikle alçak basınçlıdır) ve metal hidrid şeklinde depolamadır.

Hidrojenin yakıt tankına doldurulmasında bir gecikme söz konusudur. Hidrojen gazının depoya doldurulması bugünkü taşıtlardaki deponun dolum süresinden oldukça yavaştır. Örneğin 90 km' lik bir yol için gerekli hidrojen, bugünkü yöntemlerle ancak 10 dakikada doldurulmaktadır. Günümüzdeki araştırmaların büyük bir kısmı bu sorun üzerine yoğunlaşmıştır[21].

3.3.1. Hidrojenin basınçlı gaz olarak depolanması

Bu yöntem en ekonomik çözüm şekli olmakla birlikte hidrojenin enerji yoğunluğunun oldukça düşük oluşu ve taşıt boyutlarına bağlı olarak basınçlı kapları belirli boyutlarda yapılma zorunluluğu nedeni ile depolanan hidrojen miktarı ağırlık olarak yetersiz kalmaktadır. Ayrıca, kullanılan basınçlı kapların emniyetli olmaları gerekmektedir. Bu nedenle, kabın boş ağırlığı da fazla olmaktadır. Bu durum küçük boyutlardaki taşıtlar için önemli sorunlar yaratmakta ve taşıtın bir depo yakıtla kat edebileceği mesafe kısalmaktadır[21].

3.3.2. Hidrojenin sıvı olarak depolanması

Hidrojenin sıvı halde depolanmasının bir takım yararları ve zararları vardır[21]:

- a) Ağırlık olarak nispeten hafif bir depolama şeklidir.
- b) Hidrojen yakıtı, yüksek basınç sıvı hidrojen pompası yardımı ile silindire, direkt olarak püskürtülebilir. Eğer gaz silindire ölü hacmin tam merkezinden püskürtülürse sıkıştırma oranı dizel motorlarındakine yakın bir değere çıkartılabilir.
- c) Taşıtta eğer klima ünitesi varsa sıvı hidrojen soğutma amaçlı kullanılabilir.
- d) Kontrolsüz yanma önlenir ve NO_x emisyonlarında azalma sağlanır.
- e) Sıvılaştırma için gerekli enerji büyüktür. Sıvılaştırma için hidrojen gazı kullanılmaktadır. Hidrojenin gaz halden sıvı hale geçerken bir kısmı buharlaşır. Bu sebeple faz değişiminin hızlı bir şekilde gerçekleşmesi gerekmektedir.

f) Sıvı olarak hidrojenin tanklarda depolanması ve kullanılması sırasında buharlaşma kayıpları meydana gelir. Hidrojenin tanklarda depolanması, düşük sıcaklıklarda gerçekleştiğinden kullanılacak yakıt tankının, ısı yalıtımının çok iyi yapılması gerekmektedir. Depo yalıtımının tam anlamı ile yapılması nedeni ile oluşan ısı transferi, depo basıncının artmasına neden olur. Basıncın artmasını önlemek için buharlaşan hidrojenin atmosfere atılması gerekir.

Hidrojenin minimum tutuşma enerjisinin düşük olması ve yüksek alev hızına sahip olması nedeni ile, kullanılan deponun herhangi bir kaza durumunda hasar görmesi emniyet açısından riskli olmasına rağmen, aynı zamanda hidrojenin yanma kabiliyetinin yüksek olması nedeni ile, en ufak bir gaz kaçağında çok kısa bir süre içinde ortama yayılarak yanıcı olmayan bir karışım oluşturması, bu riskli durumu oldukça azaltmaktadır. Hidrojenin dışarı sızması durumunda herhangi bir kıvılcımla tutuşması halinde, zayıf bir karışım oluşturmasından dolayı zayıf bir alev meydana gelir. Hidrojenin kendi kendine tutuşma sıcaklığı yüksektir ve alev süresinin kısa olmasından dolayı ortaya çıkan radyasyon ısısı düşüktür ve bunun sonucunda alev sıcaklığı düşük olur. Bu sebeplerden dolayı hidrojenin bir yakıt olup olmadığı sonucuna varılmadan önce, bu konuda yapılan araştırmalarda herhangi bir ciddi olaya rastlanmamıştır[21].

3.3.3. Hidrojenin metal hidrid olarak depolanması

Son yıllarda yakıt depolarında metal hidrid teknolojisinin kullanımı önem kazanmıştır. Metal hidridler önemli ölçüde hidrojen absorbe edebilmektedir. Örneğin bir metal hidrid depo aynı hacimli bir sıkıştırılmış hidrojen deposuna göre 100 kat daha fazla hidrojen depolayabilmektedir[22].

Metal hidrid uygulamaları hidrojen gazının bir takım metal alaşımları üzerine gönderilmesi ve bu alaşımlarla egzotermik bir reaksiyona girerek tüketilmesi şeklindedir. Bu reaksiyon sonucunda hidrojenin hacmi hemen hemen sıfır

olur. Eğer egzotermik reaksiyon sonucu açığa çıkan ısı enerjisi ile, aynı miktarda ısı enerjisi ortama verilirse, reaksiyon tersine çevrilerek hidrojen geri kazanılabilir. Reaksiyonu ters yönde oluşturacak ısı, soğutma suyu veya egzoz gazlarından sağlanabilir. Metal hidrid uygulamalarında metallerin seçiminde şu özellikler istenir:

- Düşük ayrışma ısısı,
- Hızlı ayrışma
- Düşük ayrışma basıncı
- Hidrojen depolama miktarının fazlalığı

Sistem ağırlığının büyük olması metal hidrid depolama şeklinin arabalar için kullanılmasını sınırlamaktadır.

Metal hidridler genel olarak düşük sıcaklık metal hidridi ve yüksek sıcaklık metal hidridi olmak üzere iki çeşittir. En yaygın kullanılanı FeTiH_x düşük sıcaklık metal hidrididir. Sıcaklık düşük olduğundan basınçta düşük olmaktadır. Yapılan enerji yoğunluğu hesaplamalarına göre, FeTiH_x maksimum miktarda hidrojen içermektedir. Hidrojenin maksimum yoğunluğu %1,88 olmaktadır. 30 litre petrole eşdeğer ısı değere sahip metal hidrid ağırlığı 435 kg olmaktadır. Bu ağırlığa hidrojenin egzotermik reaksiyona girerek tüketilmesi sonucu tüketilen hidrojeni tekrar geri kazanım için gerekli ısıyı sağlayacak, soğuk ve sıcak su borularının oluşturduğu ısı eşanjörü sistemi de eklenirse, ağırlık 790 kg olmaktadır. Termik petrole göre %20 daha yüksek olmasına rağmen, kullanılan taşıyıcı tank sistemi ile beraber düşünüldüğünde, petrolden ağırlıkça 20 kat fazladır[21].

Mg_2NiH_y , yüksek sıcaklık metal hidridi olarak bilinmektedir. Mg_2NiH_y 'nin kimyasal formülünde $y = 4$ olduğundan, sahip olduğu hidrojen yoğunluğu $FeTiH_x$ 'in iki misli olmaktadır. Fakat reaksiyonların yüksek sıcaklıkta olmasından dolayı tek başına kullanımı yerine düşük sıcaklık metal hidridleri ile beraber kullanılması düşünülmektedir[21].

3.3.4. Geliştirilmekte olan teknikler

Bugün kullanılmakta olan ve yukarıda açıklanan üç yöntemin dışında geliştirilmekte olan yeni tekniklerde mevcuttur. Bunların en önemlisi ve potansiyel teşkil edeni gazın katılar üzerine tutunması yöntemidir. Kimyasal olarak aktive edilmiş karbonlar yüksek basınç ve oldukça düşük sıcaklık altında yüzeylerinde hidrojen tutabilmektedir. Atmosferik basınç ve sıcaklıklarda ise gaz açığa çıkmaktadır. Günümüzde 6 MPa basınç ve 87 K sıcaklığında aktive edilmiş karbon, ağırlığının yaklaşık % 4,8'i oranında hidrojen tutabilmektedir. Ancak yeni geliştirilmekte olan ve mikroskobik karbon tüpü denen madde ile hidrojenin yüzeyde tutunma yüzdesi artırılabilir. Mikroskobik karbon tüpleri, mikroskobik gözenekleri ile hidrojenin kılcal yapıya daha fazla tutunmasını sağlamaktadır. Mikroskobik karbon tüpleri ile 82 $^{\circ}K$ ve 0,07 MPa basınçta ağırlıkça % 8,4 hidrojen depolanabilmektedir.

Araştırmacılar, ayrıca cam mikro küreler ile hidrojen taşınabilmesi potansiyeli üzerinde durmaktadırlar. Bu yöntemde 1 μm kalınlığında ve 25 ile 500 μm arası değişen çaplardaki cam kürelere, camın 200 ile 400 $^{\circ}C$ arasında artan geçirgenliği kullanılarak basınç altında hidrojenle doldurulmaktadır. Küre soğutulduğunda ise içindeki gazın dışarı çıkmasına izin vermemektedir. Küreler tekrar ısıtılarak hidrojen açığa çıkarılmaktadır. Küreler 1000 MPa basınca kadar kırılmalara dayanıklıdır ve 62 MPa basınçlı hidrojeni tutabilmektedir. Bu yöntemin en büyük avantajı 15 dakika gibi diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında kısa bir sürede kürelerin % 95'inin

doldurulabilmesidir. Küreler, ağırlıkça % 10 oranında hidrojen taşıyabilmektedir[20].

3.3.5. Depolama yöntemlerinin karşılaştırılması

Yukarıda anlatılan depolama yöntemleri birçok bakımdan birbirinden farklı özelliktedir. Hepsinin avantajlı ve dezavantajlı yönleri mevcuttur. Çizelge 3.2’de, mevcut depolama yöntemlerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 3.2. Mevcut hidrojen depolama yöntemlerinin karşılaştırılması[21]

	Hacimsel Depolama Kapasitesi	Kütleselel Özgöl Depolama Kapasitesi	Hacimsel Enerji Yoğunluğu	Kütleselel Özgöl Enerji Yoğunluğu
	(gH ₂ /l)	(gH ₂ /kg)	(kWh/l)	(kWh/kg)
Basıncılı Gaz	17,5	64	0,6	2,15
Sıvı Hidrojen	35	105	1,2	3,5
Metal Hidrid	80	10	2,7	0,35

Taşıtlarda kullanım için en iyi depolama yöntemini seçmek bu aşamada olanaksızdır. Zaten örnekleme projelerinde bulunan şirketler incelendiğinde, hepsinin farklı bir depolama yöntemini kullandığı görülmektedir.

Depolama yöntemlerini ekonomiklik ve güvenlik yönünden de karşılaştırmak mümkündür. Bu durumda en güvenli yöntem metal hidrid yöntemidir. Çünkü hidrojen metalle bir bileşik yapmıştır ve herhangi bir şekilde kaçak ihtimali yoktur. Ekonomiklik yönünde en avantajlı yöntem ise basınçlı gaz şeklinde depolamadır. Bu yöntem doldurma istasyonu ve depolama ekipmanları en ucuz yöntemdir. Ancak yöntemler ağırlık ve hacim yönden karşılaştırıldığında sıvı depolama yöntemi, taşıt ve doldurma istasyonunda özel yalıtım ve malzeme gerektirdiğinden aynı zamanda en pahalı yöntemdir[21].

3.4.Hidrojenin Oksi-Gaz Kaynak Yönteminde Kullanılması

Gaz ergitme kaynağı ve sert lehimleme sanayinin birçok dalında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Oksijen ile karışım halinde yakıt olarak kullanılan gazlardan en iyi sonucu asetilen ve propan vermektedir. Ancak, ilgili yakıtların servis masrafları (asetilen kazanının fiyatı, kalsiyum karbit, oksijen, ayar vanaları ve tüpler) üretim maliyetlerini arttırmaktadır. Ayrıca kullanılan ekipmanlar külfetli ve üretim sahalarında taşınarak kullanılması zor ekipmanlardır[5].

Dünya enerji kaynaklarının büyük çoğunluğunu oluşturan fosil yakıtların sınırlı oluşu, fiyatlarının sürekli artışı, insan ve çevreye olumsuz etkileri gibi nedenlerden dolayı, bütün dünyada ve özellikle de gelişmekte olan ülkelerde alternatif enerji kaynakları üzerine yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bunların içerisinde hidrojen geleceğin yakıtı olarak kabul edilmektedir. Hidrojen gazı çok yönlü kullanılabilirliği, yakıtın taşınması, enerji yoğunluğu, çevreye etkileri, efektif maliyet gibi alternatif enerji kaynaklarının genel özelliklerine tümü ile uyan tek enerji kaynağıdır. Geleceğin enerji kaynağı olarak gösterilen hidrojen doğal bir yakıt olmayıp, su, hava, kömür ve doğal gaz gibi değişik hammaddelelerden üretilen sentetik bir yakıttır[23].

Kaynak Enstitüsünde yapılan gözlemlerde kaynak mühendisliğindeki hidrojen kullanımında son yıllarda ciddi bir artış olduğu görülmektedir. Bu artışın temel

sebebi hiç kuşkusuz basit ve uygun maliyetli hidrojen üretimi yapan cihazlar ve hidrojenin bir gaz olarak sahip olduğu özelliklerdir. Ancak, hidrojenin kaynak mühendisliğindeki kullanımı yeni bir durum olmayıp, hidrojen uzun yıllar önce de kaynak işlemlerinde kullanılmış bir gazdır[9].

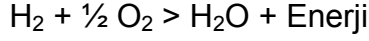
Hidrojen, gaz kaynağında kullanılan temel yanıcılardan biri iken asetilen kullanımının başlaması ile birlikte yanıcı gaz olarak kullanımı unutulmaya yüz tutmuştur. Ancak, mühendislik alanındaki gelişmeler hidrojen ve oksijenin elektroliz yolu ile elde edilmesine olanak tanımıştır[5].

Su dünya üzerinde en yaygın olarak bulunan doğal kaynaktır. Suyu kullanılabilir enerji haline çevirmek insanoğlunun hep hayali olmuştur. Geliştirilen son teknolojilerle birlikte hidrojen ve oksijen gazları sudan yüksek verimlilik ve güvenlikle üretilebilmektedir[9].

Sudan ucuz ve güvenli bir biçimde hidrojen üretebilecek cihazların gelişmesiyle birlikte gaz ergitme kaynağında hidrojen kullanımı da artmaktadır. Ancak, hidrojenin asetilenin tamamıyla yerini alması henüz gerçekleşmiş değildir. Hali hazırdaki durumda hidrojenin üstün yönleri sert lehimleme ve kesme işlemlerinde kendini gösterirken, kaynak alanında ise asetilenin hakimiyeti devam etmektedir[9].

Günümüzde kaynak, sert lehimleme, ısıl işlem ve diğer özel işlemler için ayrı ayrı veya karışım halinde oksijen ve hidrojen üretebilen, suyun elektrolizi ilkesine göre çalışan cihazlar mevcuttur. Bu gazların kullanılmasıyla yapılan kaynak, sert lehimleme ve metal kesme işlemlerinde ortaya çıkan sonuçlar son derece cezbedicidir. Su, kolay bulunabilir ve güvenli bir enerji taşıyıcısıdır. 1 cm^3 suyun elektroliz edilmesiyle 800 cm^3 gaz üretilir. Elde edilen kaynağın kalitesine göre kıyaslandığında üretim masrafları ve servis masrafları gibi yan masrafların toplamı oldukça düşük kalmaktadır[5].

Kaynak, sert lehimleme veya kesme işleminde kullanılan hidrojen ve oksijenin su buharına dönüşümü aşağıdaki denklemle ifade edilir:



Bu işlemin verimliliği %60 civarındadır. Yukarıdaki denklemin de açıkça gösterdiği gibi hidrojen bu işlemde yakıt olarak kullanılmaktadır. Oksi-hidrojen alevinin oksi-asetilen alevinden farkları : 2525°C gibi daha düşük alev sıcaklığı, renksiz alev olup oksi-asetilen alevi 3 aşamada yanarken, oksi-hidrojen alevi tek bir aşamada yanmasıdır.

Hidrojenin oksijenle yanması ile elde edilen alev “çok saf” olmanın yanı sıra mükemmel ısı güce ve ileri derecede “çözünürlüğe” (küçük bir yüzeyi ısıtma kabiliyeti) sahip olup bu sayede kaliteli ve hassas işlem yapılabilir.

Hidrojen, gaz kaynağı, sert lehimleme ve kesme işlemleri için geçtiğimiz yüzyılın başından beri kullanılmaktadır. Kaynak mühendisliğinde asetilen kullanımına başlanmadan önce gaz kaynak işlemleri için temel yakıt olarak kullanılmaktaydı. Gaz kaynağında kullanılan ilk şalumalar hidrojen ve oksijen yakmak için tasarlanmıştır. Örneğin, ilk oksi-hidrojen gaz şaluması 1903 yılında Draeger tarafından Griesheim’da piyasaya sürülmüştür[9].

Gaz şalumasındaki karışımların yanması durumunda hem karışımdaki hem de dış ortamdaki oksijen nedeniyle alev oksitleyici bir yapıda olur. Eğer operatör yeterli derecede tecrübeli ise demir dışı metallerin ve alaşımların kaynağını yapmak da mümkündür.

Şaluma imalatçıları çelik kaynağı yaparken hidrojen-oksijen karışımı içine hidrokarbonlu bileşiklerin de ilave edilmesini tavsiye ederler. Bu amaçla kullanılan hidrokarbonlar petrol, asetil, benzol ve naftalin olabilmektedir[5].

3.5. Oksi Hidrojen Kaynak Ünitesi

Oksi hidrojen kaynak ünitesinde, bir elektroliz düzeneği suyu hidrojen ve oksijen gazlarına ayırmaktadır. Bu düzenekte içinde ayrıştırılacak suyun bulunduğu bir gövde, gövde içinde bulunan su içine simetrik olarak katlanmış, köşeli çok sayıda elektrot ve elektrotları birbirine bağlamak için kullanılan elektrik kablo düzeneği yer almaktadır. Düzenekte ayrıca her bir gaz için ayrı çıkışlar, toplayıcılar ve tüketim noktaları vardır. Bunların yanı sıra su beslemesi, su besleme kontrol düzeneği ve su girişi de mevcuttur. Paralel kablo tesisatına elektriksel gücü bir elektriksel güç kaynağı sağlar. Suyun ayrışmasını kolaylaştırmak için ağırlıkça %2,2 veya daha az KOH içeren bir elektrolitik çözelti kullanılmaktadır. Ters çevrilebilen levhalar kullanılarak serbestçe yükselen hidrojen ve oksijen gazları yatay olarak gaz çıkışlarına yönlendirilebilirler veya yine bu levhalar kullanılarak serbest düşüş yapan mineraller bir toplama haznesine yönlendirilebilir[24].

Ünite, elektroliz işlemi esnasında ortaya çıkan hidrojen ve oksijen gazlarının ayrı tutulması için bir diyafram veya benzeri bir yapıyı gerektirmediği için bu gazların geleneksel elektroliz yöntemleriyle üretilmesine nazaran birçok üstün yöne sahip olmaktadır. Geleneksel elektroliz jeneratörlerinde bu iki gaz son derece patlayıcı bir karışım oluşturduğu için bu diyaframlar bir gereklilikten sunulan bu yenilikle birlikte bu iki gazın güvenli ve kullanışlı olması için alev tutucu gibi güvenlik önlemleri alınmakta, patlama oluşmasını önleyecek oranlarda karışımlar güvenli biçimde oluşturulabilmektedir. Bu güvenlik önlemleri, elektroliz buharını oluşur oluşmaz emen ve bu sayede aynı zamanda alev tutucu vazifesi de gören bir cihazı içerebilmektedir. Mevcut yenilik diyafram veya benzeri bir yapıyı ortadan kaldırdığı için elektrotların birbirine çok daha yakın yerleştirilmesine ve diyaframların oluşturduğu yüksek direnci ortadan kaldırdığı içinde üretilen gaz miktarın önemli bir artışa olanak vermektedir. Özet olarak, bu yenilik kaynak ve benzeri işlemlerin yapılabilmesi ufak boyutlarda cihazlar yapılmasına imkan vermekte ve ortalama bir kaynak işi için oldukça az yer kaplamaktadır ki, bunu geleneksel

kaynak yöntemleriyle yapmak daha önce bahsedilen zaafılarından dolayı oldukça zordur[25].

Ayrıca ünite hidrojen ve oksijen gazlarının basıncını sürekli olarak takip eden ve basınca göre hücrelerden geçen akım miktarını ayarlayarak gaz basınçlarını ayarlayan bir güvenlik sistemine sahiptir[25].

Oksi hidrojen kaynak ünitesinin amaçlarından bir tanesi elektroliz cihazları için gerekli olan çok büyük ve ağır gövdelere olan ihtiyacı ortadan kaldırmaktır.

Bu cihazla sulu çözelti içindeki elektrolitin yüzdesel miktarı azaltılmıştır. Daha önceki cihazlarda elektrolit çoğunlukla ısıtılıp basınçlandırıldığı için bu işlemler ortadan kaldırılmıştır.

Bu cihazla birlikte ortadan kaldırılan diğer önemli parçalar ise pompalar, fanlar vs gibi elektrolit çözeltiyi dolaştırmak için ve başka amaçlarla kullanılan yardımcı ekipmanlardır.

Yine benzer şekilde bu cihazla ilk yol vermede elektroliz aparatlarının bir soy gazla temizlenmesi ve suyun aparatlara beslenmeden önce filtrelenmesi ihtiyacı da ortadan kaldırılmıştır[24].

Amaçlardan bir tanesi de mevcut klasik gaz kaynağında var olan bazı zaafı yönleri ortadan kaldırmak için hidrojen ve oksijeni hızlı, güvenli ve uygun bir şekilde üretilip, kaynakta kullanıma hazır hale getirecek yöntem ve aparatları sağlamasıdır. Örneğin, oksijen ve asetilen gibi gazların tüpler vasıtasıyla kullanıldığı klasik kaynak işlerinde kullanıcıların tedarikçi depolarına uzak olması veya talep üzerine gazın gelmesinin uzun zaman aldığı işletmelerde bu büyük handikaplara yol açmaktadır. Bu tarzdaki kullanıcılar için talep geldiğinde üretimin garanti altına alınabilmesi için eldeki gazlar bitmeden çok daha önce sipariş vermek gerekmektedir. Bu gazların tüpleri de boş teslim

edilip dolunun alınması ilkesine dayandığı için çok ciddi atıklar oluşmakta, hatta çoğu zaman tüpler tamamen bitmeden dolum tesisine geri gitmektedir.

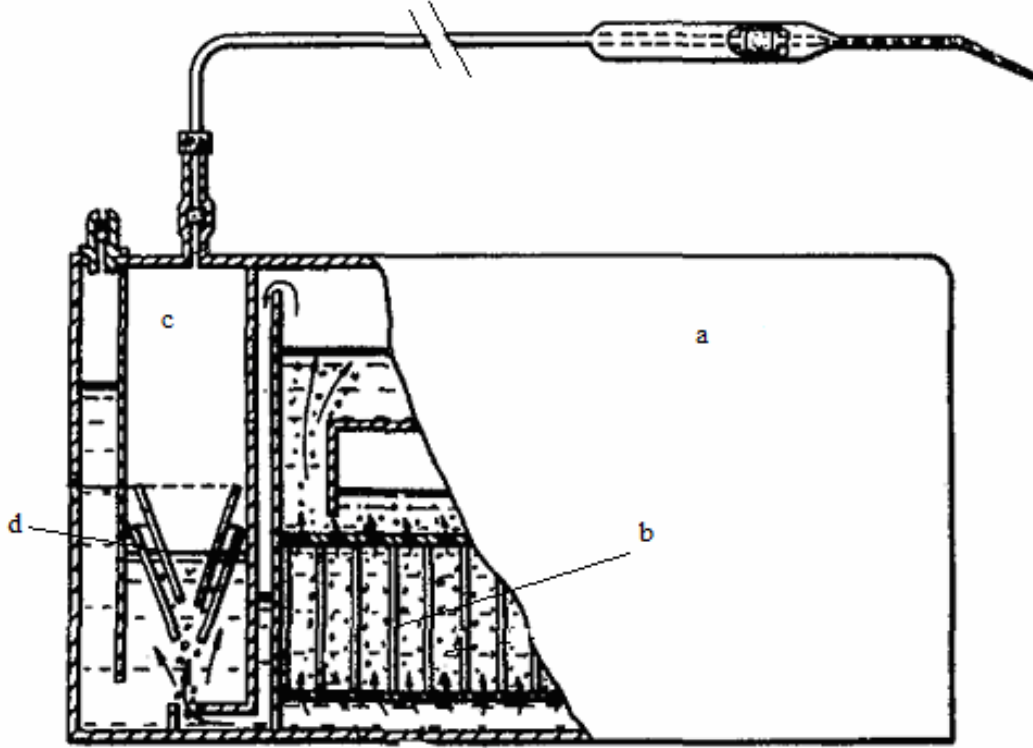
Sıkıştırılmış gaz kullanmanın başka olumsuz yönleri de tüplerden gaz sızması ihtimali, tüp ağırlıkları yüzünden yaşanan ticari anlaşmazlıklar nedeni ile teslimatta yaşanabilecek gecikmeler, yasal yükümlülükler nedeniyle oluşan masraflar, yüksek satın alma ve depolama maliyetleri ile taşıma vs maliyetlerdir[25].

Oksi-hidrojen kaynağının zayıf yönü ise hidrojenin birçok metal tarafından emilmesi gerçeğinden ileri gelir. Örneğin çelik kaynağı yaparken kaynak ortamında fazla hidrojen olmamasını temin etmek gerekir aksi takdirde hidrojen metal tarafından emilecek ve kaynak bölgesinde mukavemet kaybına ve gevrekliğe yol açacaktır. Diğer yandan oksijen fazlalığı da metalin yanmasına sebep olabileceği için aynı şekilde önlenmelidir. Bu nedenle oksi-hidrojen kaynağında yakıcı uç ağzındaki karışımın nötr bir alev oluşturacak biçimde ne fazla oksijen ne de fazla hidrojen içermemesi gereklidir[25].

Bu zaafly yönler, cihazın sunduğu oksijen ve hidrojenin elektrolitik bir hücrede elektroliz yoluyla eş zamanlı üretilmesi ve sonrasında da nötr bir alev verecek şekilde serbest olarak stokiyometrik bir karışım oluşturmasıyla aşılabılır. Yanıcı gaz istenilen yer ve zamanda üretilebildiği için tüplerin depolanması ve çoğu zaman teslimatı şüpheli olan gaz tüplerine bağıllık ortadan kaldırılabilir.

Özet olarak, bu tip üniteler ile hidrojen ve oksijenin kullanıldığı çeşitli kaynak işlemlerini gerçekleştirebilmek için üniversal bir kaynak aparat sistemi ortaya çıkmakta, oksijen ve hidrojen kullanmanın tüm üstün yönlerinden faydalanılmaktadır. Bu yenilik ile birlikte hammaddesi sadece ara sıra veya ihtiyaç olduğunda doldurulması gereken su olan küçük elektrolitik bir hücre ile yakıt üretme olanağı ortaya çıkmakta ve elektrik alınabilecek bir nokta olduğu sürece hidrojen-oksijen alev kaynağı için gerekli olan hidrojen-oksijen

karışımı anında hazır edilebilmektedir [25]. Oksi hidrojen kaynak makinesinin şematik gösterimi Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Oksi hidrojen kaynak ünitesinin şematik görünümü[25]
(a= Gaz üretici, b= Elektrot, c= Hazne,
d= Ters çevrilebilen levhalar)

3.6. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Oksi Hidrojen Kaynak Ünitesinin Özellikleri

Kullanılan oksi hidrojen kaynak ünitesi 2525 °C derece alev üretir. Bunu da suyu elektroliz ederek sudaki hidrojen ve oksijen gazlarını birbirinden ayırarak hidrojeni yanıcı madde olarak kullanılır. Basınç yükselmesi ve diğer hatalara karşı koruma sistemi vardır. Bu sistem otomatik olarak enerjiyi keser. Gazı da depolamadığı için herkesin güvenle ve tehlike yaşamadan rahatlıkla kullanabileceği bir makinedir[26].

Oksi hidrojen kaynak üniteleri, Gümüş üretim ve tamirinde, bakır – piring kaynaklarında, alüminyum kaynaklarında, pik kaynaklarında, oto kaporta ve

egzoz servislerinde, doğalgaz – kalorifer tesisat işlerinde oksijen ve asetilen tüplerine ihtiyaç duymadan güvenle kullanılabilir[26]. Oksi hidrojen kaynak ünitesinin resmi Resim 3.1’de ve teknik özellikleri de Çizelge 3.3’ de verilmiştir.



Resim 3.1. Oksi hidrojen kaynak ünitesi

Çizelge 3.3. Oksi hidrojen kaynak ünitesinin teknik özellikleri

TEKNİK ÖZELLİKLER	
Enerji	220 V
Maksimum Kw.	2,2
Maksimum gaz üretimi (lt/h)	450
Maksimum Amper	10
Kaynak Yapılan Metal Kalınlığı (Max)	3 mm
Gaz Basınç (Bar)	0,6
Saf Su Tüketimi (Ort) cm ³ /h	200
Ebat Ölçüleri (mm)	210x260x450
Ağırlık (kg)	21

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Amaç

Bu çalışmada, yanıcı gaz olarak hidrojenin oksit – gaz kaynak tekniğinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Dünya genelinde yapılan çalışmalarda hidrojenin değişik alanlarda alternatif enerji kaynağı olarak kullanılabilirliği artmaktadır. Oksit – Gaz kaynağında yaygın olarak kullanılan asetilenin dezavantajlarına karşı hidrojenin kullanılabilirliğinin artırılması da amaçlanmaktadır. Bu amaçla çelik ve alüminyum malzemeler üzerinde yapılan çalışmada hem oksit asetilen alevi hem de oksit hidrojen alevi ile kaynak dikişleri çekilmiş ve dikiş profilleri (nüfuziyet) ile mekanik ve mikroyapısal özellikleri incelenmiştir. Alınan sonuçların yakınlığı ile hidrojen gazının da gaz eritme kaynağında daha yaygın olarak kullanılabileceği ifade edilmeye çalışılmıştır.

4.2. Kaynak Yöntemleri, Parametreler ve Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada kimyasal bileşimi Çizelge 4.2 ve 4.3’de verilen 1,5 x 80 x 125 mm ölçülerinde st 37 çelik ve 3 x 80 x 125 1100 serisi Al malzemelere aynı kaynak yöntemleri ve parametreleri kullanılarak kaynak dikişleri çekilmiş, kaynak sonrası mekanik ve mikroyapısal özellikler incelenmiştir. Çalışmada kullanılan deney parametreleri, ekipmanlar, malzemeler, ilave teller, ölçüm ve analiz teknikleri aşağıda açıklanmıştır.

4.2.1. Kaynak yöntemleri

Deneysel çalışmada oksit – gaz kaynak tekniği kullanılmıştır. Yanıcı gaz olarak asetilen ve hidrojen kullanılarak hidrojenin etkisi araştırılmıştır.

4.2.2. Kaynak parametreleri

Her iki yanıcı gazla yapılan kaynak dikişleri aynı kaynakçı tarafından aynı kaynak hızında çekilmiş ve aynı büyüklükte üfleçler kullanılmıştır.

Çizelge 4.1. Kullanılan kaynak parametreleri

Kullanılan Yanıcı Gaz	Asetilen	Hidrojen
Kaynak Hızı	115 mm/dak	115 mm/dak
Üfleç Büyüklüğü	2 Numara	2 Numara

4.2.3. Kullanılan malzeme ve ilave teller

Kaynak işlemlerinde spektrometre analizi Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verilmiş olan 1,5 x 80 x 125 mm boyutlarında st 37 çelik ve 3 x 80 x 125 mm boyutlarında 1100 serisi Alüminyum malzeme kullanılmıştır. İlave metal olarak çelik malzeme için SG3 teli, alüminyum malzeme için Al 1100 teli ve alüminyum dekapanı kullanılmıştır.

Çizelge 4.2. Kullanılan çelik malzeme alaşım elementleri (% ağırlık)

Element	Oran (%)
Demir (Fe)	99,244
Karbon (C)	0,115
Mangan (Mn)	0,385
Silisyum (Si)	0,047
Fosfor (P)	0,020
Kükürt (S)	0,005

Çizelge 4.3. Kullanılan alüminyum malzeme alaşım elementleri (% ağırlık)

Element	Oran (%)
Alüminyum (Al)	99,573
Silisyum (Si)	0,119
Mangan (Mn)	0,009
Demir (Fe)	0,277
Magnezyum (Mg)	0,008
Krom (Cr)	0,003
Titanyum (Ti)	0,011

Çelik malzemelerin kaynaklı birleştirmelerinde genel yapı çeliklerinin ve boru çeliklerinin kaynaklarında kullanılan düşük alaşımlı kaynak teli olan SG3 teli kullanılmıştır. SG3 telinin kimyasal bileşimi Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. SG 3 Kaynak telinin kimyasal bileşimi[27]

Element	C	Si	Mn
Oran(%)	0,1	1,0	1,75

Alüminyum malzemelerin kaynaklı birleştirmelerinde saf alüminyum malzemelerin TIG ve Oksi – Gaz kaynağında kullanılan saf alüminyum kaynak teli olan Al 1100 teli kullanılmıştır. Ana metalle çok iyi renk uyumuna sahiptir. Korozyon direnci ve elektrik iletkenliği yüksektir. Al 1100 telinin kimyasal bileşimi Çizelge 4.5’de verilmiştir.

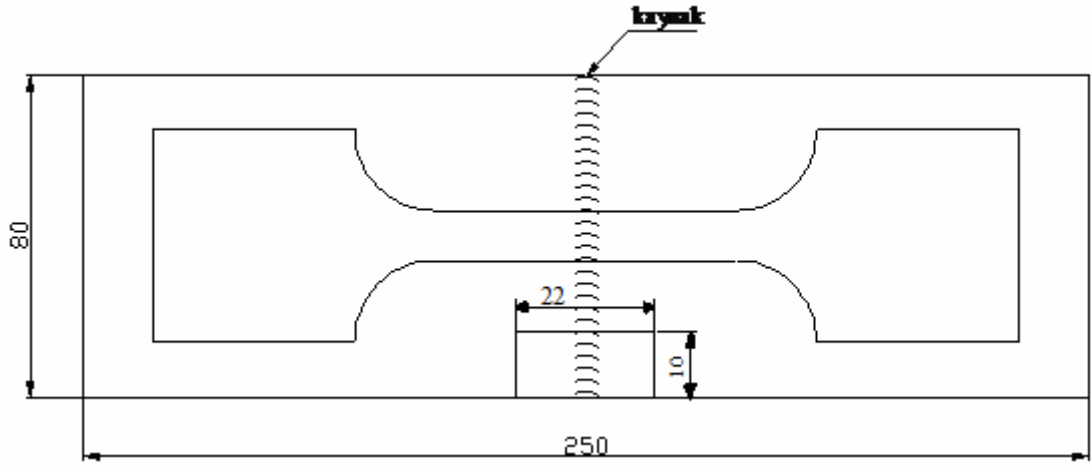
Çizelge 4.5. Al 1100 Kaynak telinin kimyasal bileşimi[28]

Element	Al
Oran(%)	99,5

4.3. Deneysel Metot

Deneysel çalışma Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metal Eğitimi Bölümünün oksi – gaz kaynak atölyesinde oksi – asetilen ve oksi – hidrojen kaynak üniteleri kullanılarak yapılmıştır.

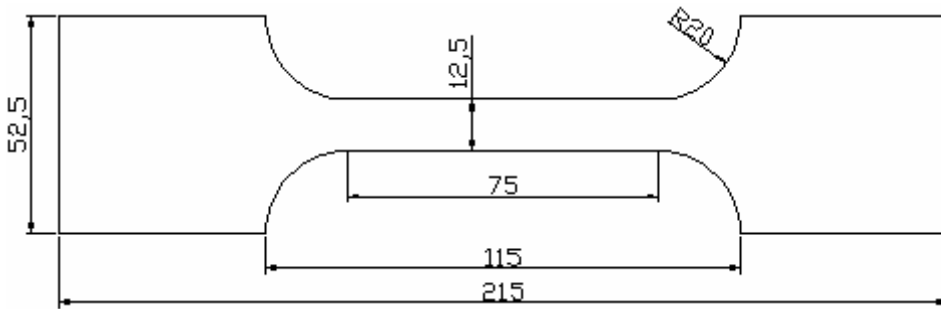
Her iki yanıcı gazla yapılan kaynaklı birleştirmelerde çelik ve alüminyum malzemeler Şekil 4.1’de görüldüğü gibi 80 x 125 mm boyutlarında hazırlanarak aynı kaynak parametreleri kullanılarak birleştirilmişlerdir.



Şekil 4.1. Kaynaklı birleştirme sonrası elde edilen numune ölçüleri

4.3.1. Çekme deneyleri

Kaynak yapılan numunelerden Şekil 4.2'de görülen TS 138 EN 10002-1 standart'ına uygun olarak çekme numuneleri çıkartılmıştır. Her iki gazın etkisini karşılaştırabilmek için iki yanıcı gazla da kaynatılan çelik ve alüminyum malzemelerden 3'er adet çekme numunesi hazırlanmıştır.

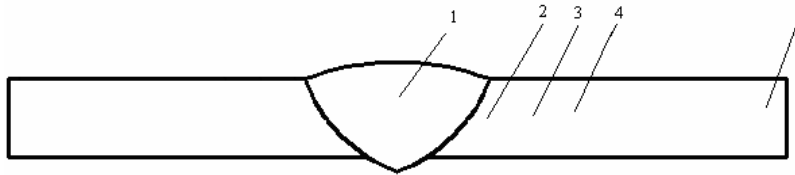


Şekil 4.2. Çekme numunesi ölçüleri [29]

Hazırlanan çekme numuneleri Instron marka deney cihazında 5 mm/dk hız ile çekme testine tabi tutulmuştur.

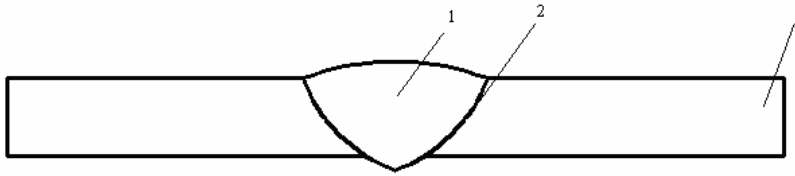
4.3.2. Sertlik Deneyleri

Sertlik ölçme işlemleri mikroskop bağlantılı HMV mikro sertlik ölçüm cihazında yaklaşık 20 saniye 1,961 N yük uygulaması sonucunda Vickers sertlik değerleri cinsinden yapılmıştır. Numunelerin mikro sertlik ölçümleri kaynak bölgesi, ITAB ve ana metaldeki değişik noktalardan yapılmıştır. Sertlik alınan bölgeler Şekil 4.3 ve Şekil 4.4.' de verilmiştir.



Şekil 4.3. Çelik malzeme sertlik alınan bölgeler

(1= Kaynak Metali, 2= İri Taneli Bölge, 3= İnce Taneli Bölge, 4= Kısmen Dönüşüme Uğramış Bölge, 5= Ana Metal)



Şekil 4.4. Alüminyum malzeme sertlik alınan bölgeler

(1= Kaynak Metali, 2= Geçiş Bölgesi, 3= Ana Metal)

4.3.3. Mikroyapı çalışmaları

Kaynaklanmış olan numuneler 10 x 22 mm ölçülerinde kesilmiş ve bakalite sıcak gömme yapıldıktan sonra 220, 400, 600, 800 ve 1200 numaralı SiC zımparaları ile zımparalanmıştır. Zımparalama işleminden sonra parlatma cihazında elmas pasta ile parlatılmıştır. Çelik numuneler % 2 nital dağlayıcı ile alüminyum numuneler ise 1ml HF, 1,5 ml HCl, 1,5 ml HNO₃, 95 ml saf sudan oluşan Keller dağlayıcı ile dağlanmıştır. Dağlama ve kurutma işlemlerinden sonra her iki yanıcı gazla da kaynatılan çelik ve Alüminyum numunelerin mikroyapı fotoğrafları alınmıştır. Kaynak metali ve ITAB'daki

değişimler incelenmiştir. Çekme testi sonucu oluşan yüzeylerden kırık yüzey fotoğrafları SEM cihazında çekilmiştir ve oluşan parçacıklardan da EDS analizi alınmıştır.

Kaynatılan numunelerin tane boyutunu belirlemek için mikro yapı fotoğrafları üzerinden aşağıda verilen çizgisel kesişme metodu ile ortalama tane boyutu ölçümü yapılmıştır[30]. Ortalama tane boyutu hesabında alüminyum malzemeler için dentrit kol boyu ve dentrit kolları arası mesafe (DAS) ölçümü, çelik malzemelerde perlit fazı tane boyutu ölçümü yapılmıştır.

$$D_{MLI} = (L_t \cdot V_f) / (N_p \cdot M) \quad D = D_{MLI} \times 1,776$$

D_{MLI} = Çizgisel Kesişme Uzunluğu

L_t = Toplam Çizgi Uzunluğu

V_f = Ölçülen Fazın Hacim Oranı

M = Büyütme Oranı

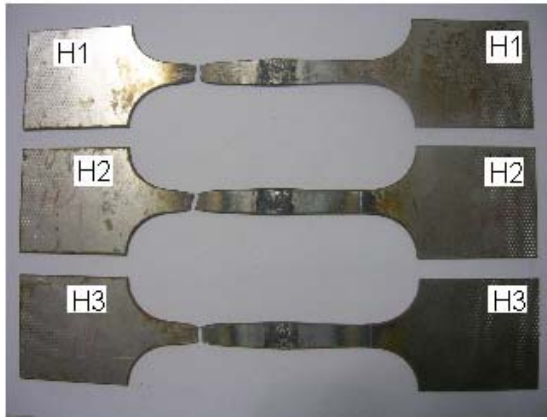
N_p = Çizgilerin Hücre Sınırını Kesen Nokta Sayısı

D = Fazın ortalama tane boyutu (μm)

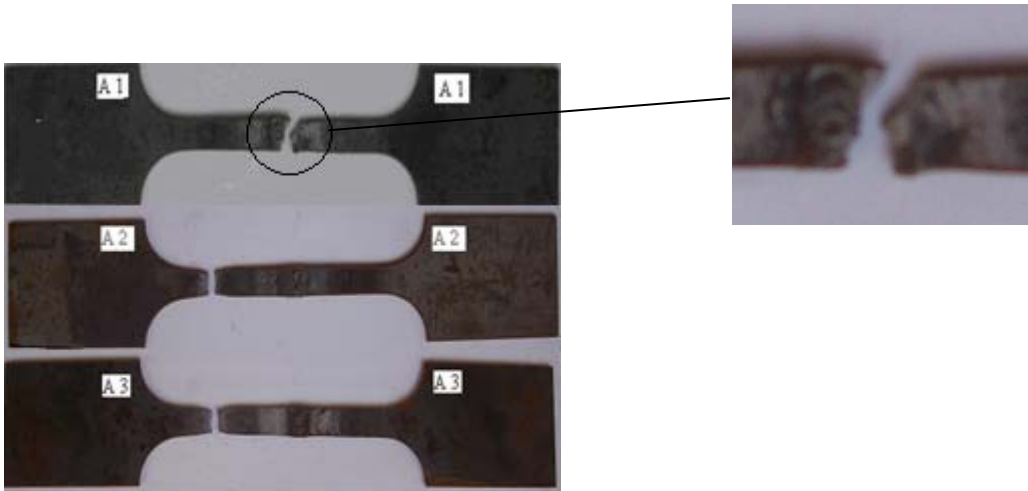
5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. Çekme Deneyi Sonuçları

Oksi hidrojen alevi kullanılarak birleştirilen çelik numunelerin çekme deneyi sonrasında çekilen fotoğrafları Resim 5.1’de oksi asetilen alevi kullanılarak birleştirilen numunelerin fotoğrafları Resim 5.2’de verilmiştir.



Resim 5.1. Oksi hidrojen alevi ile birleştirilen çelik malzeme çekme numuneleri

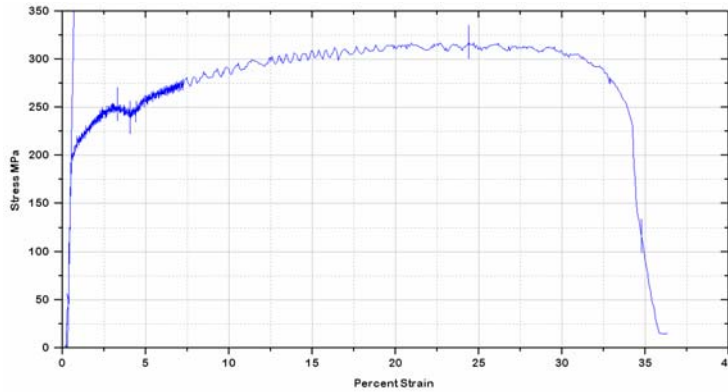


Resim 5.2. Oksi asetilen alevi ile birleştirilen çelik malzeme çekme numuneleri

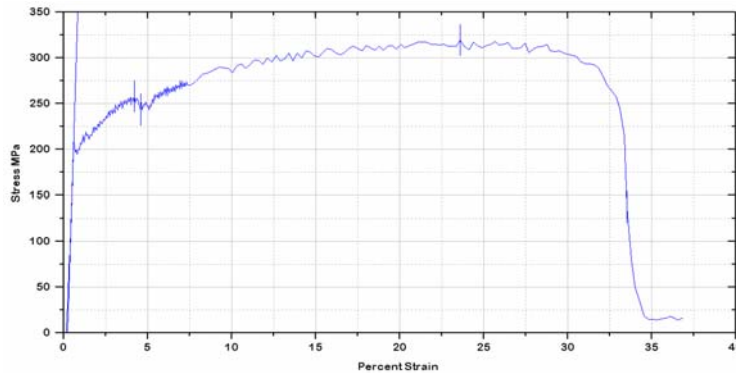
Numunelerdeki kopmaların A₁ numunesi hariç kaynaklı birleştirme dışında meydana geldiği açıkça görülmektedir. Numunelerin kopma bölgelerindeki kesit daralmasının gözle görülebilir bir şekilde belirgin olduğu söylenebilir.

Kaynaklı birleştirme yapılmamış çelik malzemeden çıkarılan çekme numunesinin akma dayanımı 240,5 MPa, çekme dayanımı 318,6 MPa, kopma dayanımı 118,4 MPa ve % uzama miktarı da 24,38 mm olarak ölçülmüştür.

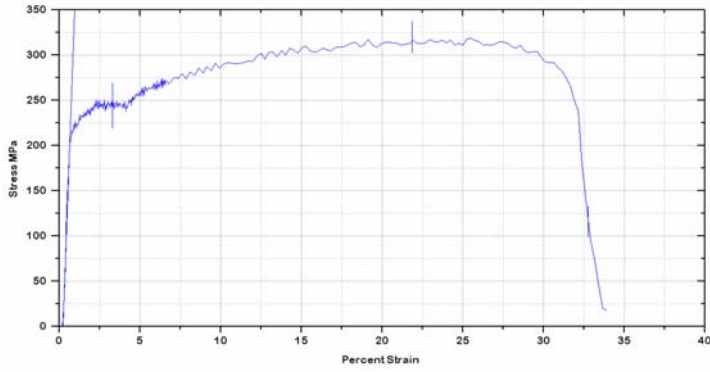
Çelik malzemelerin oksji hidrojen ve oksji asetilen alevleri ile kaynaklı birleştirmelerinin gerilim-%uzama grafikleri Şekil 5.1–5.6’da sonuçların tablo halinde sıralaması ise Çizelge 5.1’de verilmiştir.



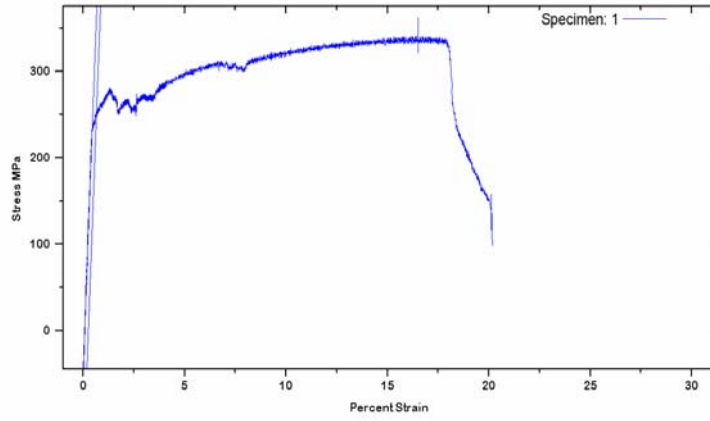
Şekil 5.1. Oksji hidrojen alevi ile birleştirilen çelik malzeme 1 numaralı çekme numunesi gerilim-%uzama grafiği



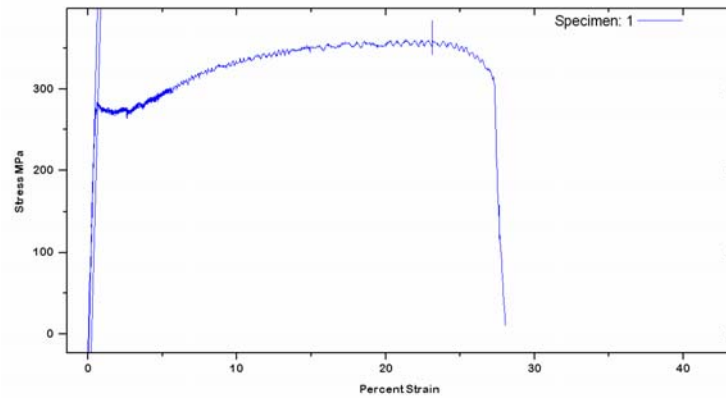
Şekil 5.2. Oksji hidrojen alevi ile birleştirilen çelik malzeme 2 numaralı çekme numunesi gerilim-%uzama grafiği



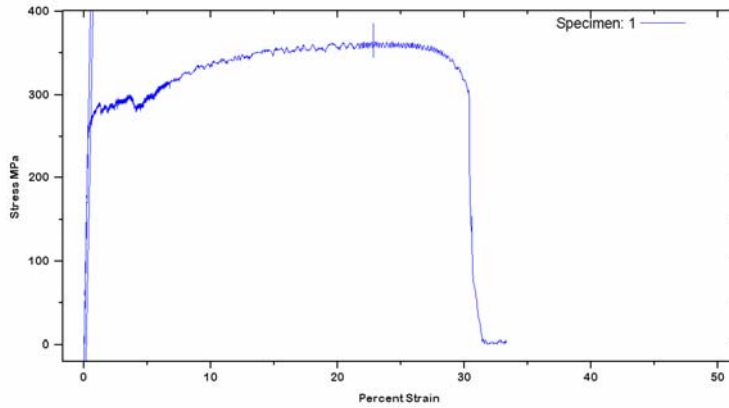
Şekil 5.3. Oksi hidrojen alevi ile birleştirilen çelik malzeme 3 numaralı çekme numunesi gerilim-%uzama grafiği



Şekil 5.4. Oksi asetilen alevi ile birleştirilen çelik malzeme 1 numaralı çekme numunesi gerilim-%uzama grafiği



Şekil 5.5. Oksi asetilen alevi ile birleştirilen çelik malzeme 2 numaralı çekme numunesi gerilim-%uzama grafiği



Şekil 5.6. Oksi asetilen alevi ile birleştirilen çelik malzeme 3 numaralı çekme numunesi gerilim-%uzama grafiği

Bütün grafikler düşük karbonlu çeliğin tipik gerilim-%uzama grafiğini yansıtmaktadır. Akmanın başladığı üst akma sınırı ve akmanın devam ettiği ortalama gerilim değeri olan alt akma sınırları belirgin bir şekilde grafiklerden okunmaktadır.

Oksi hidrojen alevinin kullanıldığı çelik numunelerde daha dar elastik deformasyon bölgesi ve daha geniş plastik deformasyon bölgesi gözlenirken, oksi asetilen alevinin kullanıldığı numunelerde oksi hidrojen alevinin kullanıldığı numunelere oranla daha fazla elastik deformasyon bölgesi ve daha az plastik deformasyon bölgesi tespit edilmiştir.

Çizelge 5.1. Çelik malzemelerin çekme deney sonuçları

Deney numunesi	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Dayanımı (MPa)	Toplam Uzama (%)
Oksi hidrojen 1	240,3	316,5	117,2	25,51
Oksi hidrojen 2	241,4	317,3	135,8	25,87
Oksi hidrojen 3	237,6	318,7	118,7	24,03
Oksi asetilen 1	249,6	341,4	137,2	20,11
Oksi asetilen 2	279,8	362,7	137,3	27,61
Oksi asetilen 3	264,8	364,7	132,6	28,60

Çizelge 5.2 incelendiğinde oksi hidrojen alevi ile yapılan kaynaklı birleştirmelerin akma dayanımı ortalamasının 239,7 MPa, çekme dayanımı ortalamasının 317,5 MPa ve kopma dayanımı ortalamasının 123,9 MPa olduğu, oksi asetilen alevi ile yapılan kaynaklı birleştirmelerin akma dayanımı ortalamasının 264,7 MPa, çekme dayanımı ortalamasının 356,3 MPa, kopma dayanımı ortalamasının 135,7 MPa olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.2. Çelik malzemelerin çekme deney sonuçları ortalamaları

Deney Numunesi	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Dayanımı (MPa)	Toplam Uzama (%)
Oksi Hidrojen	239,7	317,5	123,9	25,14
Oksi Asetilen	264,7	356,3	135,7	25,44

Her iki yanıcı gaz arasında akma, çekme, kopma dayanımları arasında bir kıyaslama yapıldığında oksi asetilen aleviyle yapılan birleştirmelerin akma dayanımı ortalamasının oksi hidrojen aleviyle yapılan birleştirmelere göre % 9 oranında, çekme dayanımı ortalamasının % 10 oranında, kopma dayanımı ortalamasının % 8 oranında yüksek olduğu görülmektedir.

Bunun nedeninin asetilen içindeki karbonun ve ilave teldeki manganın kaynak sırasında kaynak metaline ve ITAB' a yayınarak dayanımı artırması olarak söylenebilir.

Çizelge 5.3. Oksi Asetilen aleviyle yapılan birleştirme sonucu elde edilen kaynak metali alaşım elementleri (% ağırlık)

Element	Oran (%)
Demir (Fe)	97,802
Karbon (C)	0,146
Mangan (Mn)	1,117
Silisyum (Si)	0,633
Fosfor (P)	0,055
Kükürt (S)	0,007

Çizelge 5.4. Oksi Asetilen aleviyle yapılan birleştirme sonucu elde edilen ITAB alaşım elementleri (% ağırlık)

Element	Oran (%)
Demir (Fe)	99,009
Karbon (C)	0,125
Mangan (Mn)	0,491
Silisyum (Si)	0,119
Fosfor (P)	0,019
Kükürt (S)	0,010

Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4 incelendiğinde alaşım elementleri oranlarının artışı mukavemet artışını açıklamaktadır. Literatürdeki [31] çalışmalardan alaşım elementlerinden manganın artışıyla mikroyapıdaki asiküler ferrit oranının arttığı, primer ferrit oranının da azaldığı ve mikroyapıda incelmeye meydana geldiği bildirilmektedir. Çekme deneyi sonuçlarına bakıldığında numunelerin alaşım elementlerinin değişimiyle mukavemetlerin artışı literatürle uyum sağlamaktadır.

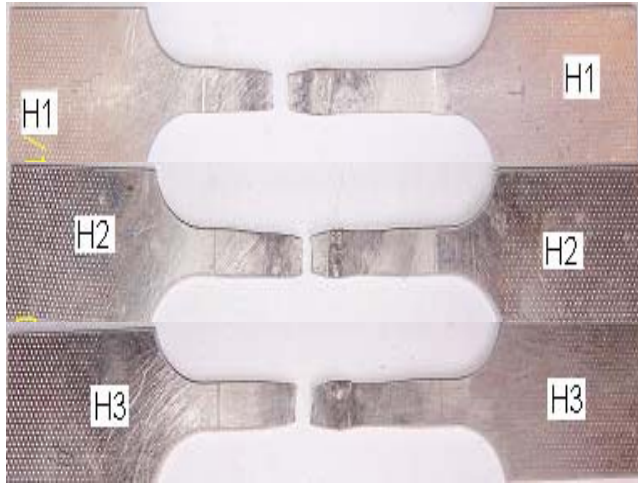
Mukavemetteki bu değişimin tane ebatı ile ilişkisini belirlemek amacıyla yapılan tane ebatı ölçüm sonuçlarına bakıldığında Oksi Asetilen alevi ile yapılan birleştirmelerin ana metal tane ebatı ortalamasının $88,13 \mu\text{m}$, Oksi Hidrojen alevi ile yapılan birleştirmelerin ana metal tane ebatı ortalamasının $137,93 \mu\text{m}$ olduğu görülmüştür. Kopmaların genellikle ana metalden olması nedeniyle ana metaldeki tane boyutu ortalamaları göz önüne alınmış ve oksitlen aleviyle birleştirilen numunelerin daha küçük tane ebatına ($88,13 \mu\text{m}$) sahip olduğu bulunmuştur.

Metalik malzeme özellikleri tane ebatı mukavemetlenmesi ile kontrol edilebilir. Tane boyutu küçültülerek tane sayısı ve böylece tane sınırları miktarı artırılabilir. Bir dislokasyonda bir tane sınırıyla karşılaşmadan önce, sadece kısa bir mesafede hareket eder ve böylece metalin dayanımını artırır. Metalin tane boyutu ile akma dayanımı arasındaki ilişkiyi Hall – Petch eşitliği ifade eder[32]. Tane boyutundaki değişim göz önüne alındığında oksitlen aleviyle birleştirilen numunelerin daha küçük tane boyutuna ve dolayısıyla daha yüksek mukavemete sahip olması literatürle uyum sağlamaktadır.

Çekme deneyi sonrasında çelik numunelerden elde edilen gerçek % uzama miktarları Çizelge 5.1’de, bu uzama miktarlarının ortalamaları Çizelge 5.2’de verilmiştir. Yüzde uzama miktarlarının ortalamalarına bakıldığında aralarında % 0,3’ lük bir fark olduğu görülmektedir.

Kaynaklı birleştirme yapılmamış alüminyum malzemedan çıkarılan çekme numunesinin akma dayanımı 35,45 MPa, çekme dayanımı 85,26 MPa, kopma dayanımı 33,54 MPa ve % uzama miktarı da 24,47 mm olarak ölçülmüştür.

Alüminyum malzemelerin çekme deneyi sonucunda oksji hidrojen alevi kullanılarak birleştirilen numunelerin fotoğrafları Resim 5.3 ve oksji asetilen alevi kullanılarak birleştirilen numunelerin fotoğrafları Resim 5.4'de verilmiştir.



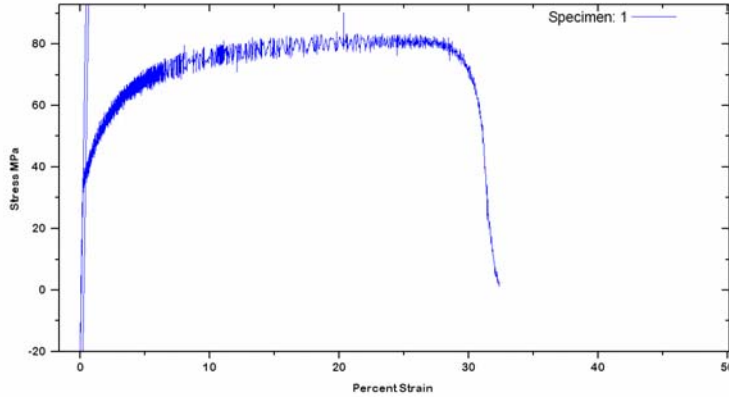
Resim 5.3. Oksji hidrojen alevi ile birleştirilen Al malzeme çekme test numuneleri



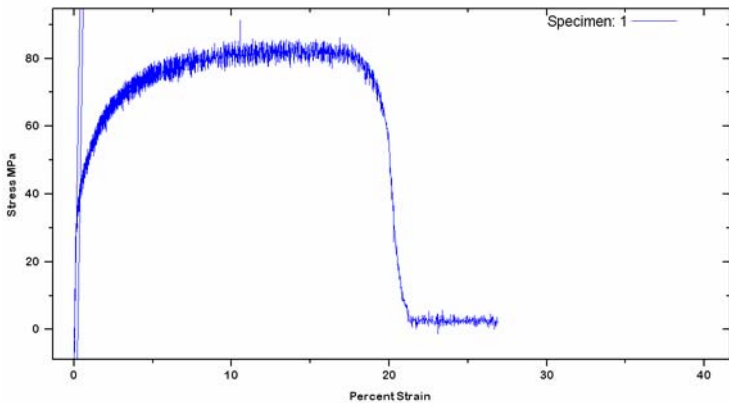
Resim 5.4. Oksji asetilen alevi ile birleştirilen Al malzeme çekme test Numuneleri

Numunelerdeki kopmaların kaynaklı birleştirme dışında meydana geldiği açıkça görülmektedir. Numunelerin kopma bölgelerindeki kesit daralmasının gözle görülebilir bir şekilde belirgin olduğu, bunun nedeninin ise sünek malzeme tavrı olduğu söylenebilir.

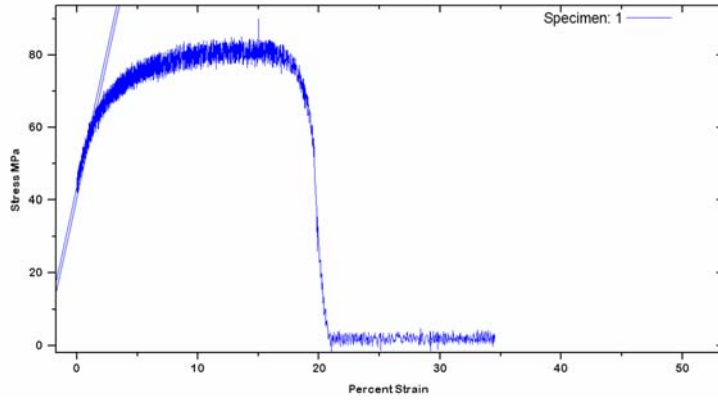
Alüminyum malzemelerin oksji hidrojen alevi ve oksji asetilen alevi kullanılarak yapılan kaynaklı birleştirmelerin gerilim - %uzama grafikleri Şekil 5.7 – 5.12’de sonuçların tablo halinde sıralaması ise Çizelge 5.5’de verilmiştir. Bütün grafikler alüminyumun tipik gerilim - %uzama grafiğini yansıtmaktadır.



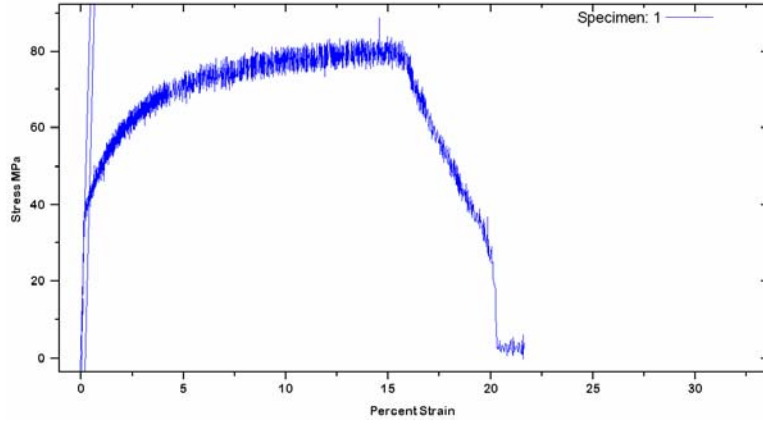
Şekil 5.7. Oksji hidrojen alevi ile birleştirilen alüminyum malzeme 1 numaralı çekme numunesi gerilim-%uzama grafiğı



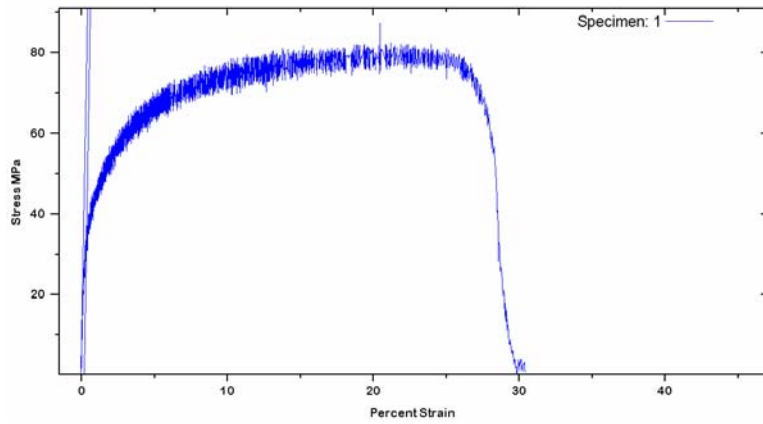
Şekil 5.8. Oksji hidrojen alevi ile birleştirilen alüminyum malzeme 2 numaralı çekme numunesi gerilim-%uzama grafiğı



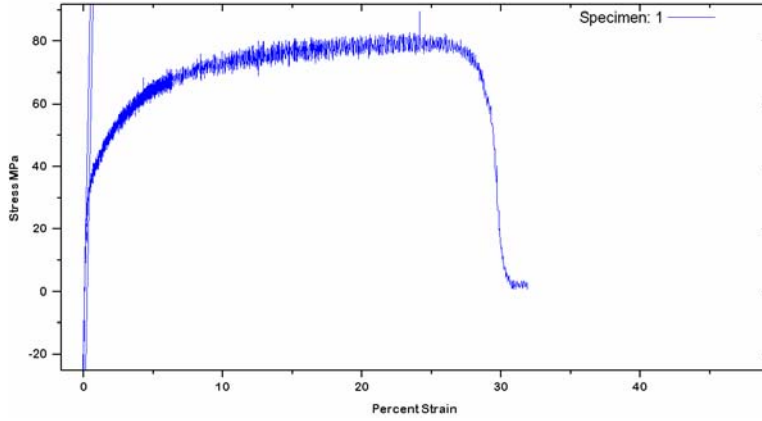
Şekil 5.9. Oksi hidrojen alevi ile birleştirilen alüminyum malzeme 3 numaralı çekme numunesi gerilim-%uzama grafiği



Şekil 5.10. Oksi asetilen alevi ile birleştirilen alüminyum malzeme 1 numaralı çekme numunesi gerilim-%uzama grafiği



Şekil 5.11. Oksi asetilen alevi ile birleştirilen alüminyum malzeme 2 numaralı çekme numunesi gerilim-%uzama grafiği



Şekil 5.12. Oksi asetilen alevi ile birleştirilen alüminyum malzeme 3 numaralı çekme numunesi gerilim-%uzama grafiği

Akmanın başladığı üst akma sınırı ve akmanın devam ettiği ortalama gerilim değeri olan alt akma sınırları belirgin bir şekilde grafiklerden okunamamaktadır.

Alüminyum malzemelerde elastik davranıştan plastik davranışa geçiş gerilimi kolaylıkla tespit edilemez. Bu durumda deneme akma denilen akma gerilimi belirlenir. % 0,2 gibi küçük kalıcı şekil değiştirmenin, parçanın performansında hasar sergilemediği kabul edilebilir. Orjinden % 0,2 uzamanın olduğu noktadan eğriye paralel bir çizgi çizilebilir. % 0,2 deneme akma gerilimi eğride çizginin kestiği nokta olarak kabul edilir[32].

Oksi hidrojen alevi ile birleştirilen Al numunelerin gerilim % uzama grafiklerine bakıldığında genel olarak daha dar elastik deformasyon bölgesi gözlenirken, oksi asetilen alevi ile birleştirilen numunelerde oksi hidrojen alevi ile birleştirilen numunelere oranla daha fazla elastik deformasyon bölgesi tespit edilmiştir. Plastik deformasyon bölgelerine bakıldığında oksi hidrojen aleviyle kaynatılan 1 numaralı numunede geniş bir plastik deformasyon bölgesi 2 ve 3 numaralı numunelerde ise daha dar bir plastik deformasyon bölgesi gözlenmektedir. Oksi asetilen aleviyle yapılan birleştirmelerde 1 numaralı numunede dar bir plastik deformasyon bölgesi diğerlerinde ise geniş bir plastik deformasyon bölgesi gözlenmektedir.

Çizelge 5.5. Alüminyum malzeme çekme deney sonuçları

Deney numunesi	Deneme Akma Dayanımı (MPa)(%0,2)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Dayanımı (MPa)	Toplam Uzama (%)
Oksi hidrojen 1	34,39	84,53	31,99	31,41
Oksi hidrojen 2	47,82	85,19	32,72	20,15
Oksi hidrojen 3	37,40	86,13	34,25	20,71
Oksi asetilen 1	39,80	83,86	28,45	20,85
Oksi asetilen 2	30,99	84,79	30,65	28,58
Oksi asetilen 3	32,15	83,54	30,85	29,69

Çizelge 5.6 incelendiğinde oksi hidrojen alevi ile yapılan kaynaklı birleştirmelerin deneme akma dayanımı (%0,2) ortalamasının 39,87 MPa, çekme dayanımı ortalamasının 85,28 MPa ve kopma dayanımı ortalamasının 32,99 MPa olduğu, oksi asetilen alevi ile yapılan kaynaklı birleştirmelerin deneme akma dayanımı (%0,2) ortalamasının 34,31 MPa, çekme dayanımı ortalamasının 84,06 MPa, kopma dayanımı ortalamasının 29,98 MPa olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.6. Alüminyum malzeme çekme deney sonuçları ortalamaları

Deney numunesi	Deneme Akma Dayanımı (MPa)(%0,2)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Dayanımı (MPa)	Toplam Uzama (%)
Oksi hidrojen	39,87	85,28	32,99	24,42
Oksi asetilen	34,31	84,06	29,98	24,64

Her iki yanıcı gaz arasında deneme akma, çekme, kopma dayanımları arasında bir kıyaslama yapıldığında (Çizelge 5.6) oksi hidrojen aleviyle yapılan birleştirmelerin deneme akma dayanımı (%0,2) ortalamasının oksi

asetilen aleviyle yapılan birleştirmelere göre % 5 oranında, çekme dayanımı ortalamasının % 1,4 oranında, kopma dayanımı ortalamasının % 2 oranında yüksek olduğu görülmektedir.

Petch [33] ve Kocaaslan [34], dentrit kol boyu ve dentrit kolları arası mesafe arttıkça deneme akma (%0,2) ve çekme dayanımının azaldığını bildirmiştir. Bu çerçevede mikroyapı fotoğraflarından yapılan ölçümlerde oksii asetilen alevi kullanılarak birleştirilen numunelerin dentrit kol boyları ölçümü yapılmış ve ortalamasının (10 adet ölçüm) 166,52 μm olduğu, dentrit kolları arası mesafe ortalamasının (10 adet ölçüm) ise 14,78 μm olduğu görülmüştür. Oksii hidrojen aleviyle yapılan birleştirmelerin dentrit kol boyları ölçümü ortalamasının (10 adet ölçüm) 117,83 μm , dentrit kolları arası mesafe ortalamasının (10 adet ölçüm) ise 7,83 μm olduğu görülmüştür. Oksii asetilen aleviyle yapılan birleştirmelerin dentrit kol boyları ortalaması ve dentrit kolları arası mesafe ortalaması oksii hidrojen aleviyle yapılan birleştirmelere göre fazla olduğu için oksii asetilen aleviyle yapılan birleştirmelerin % 0,2 deneme akma ve çekme dayanımı ortalaması oksii hidrojen aleviyle yapılan birleştirmelere göre daha düşük çıkmıştır. Elde edilen sonuçların Petch [33] ve Kocaaslan'ın [34] çalışmalarıyla desteklendiği görülmüştür.

Çekme deneyi sonrasında alüminyum numunelerden elde edilen gerçek % uzama miktarları izelge 5.3'de, bu uzama miktarlarının ortalamaları izelge 5.4'de verilmiştir. Yüzde uzama miktarlarının ortalamalarına bakıldığında aralarında % 0,2' lik bir fark olduğu görülmektedir.

5.2. Sertlik Deney Sonuçları

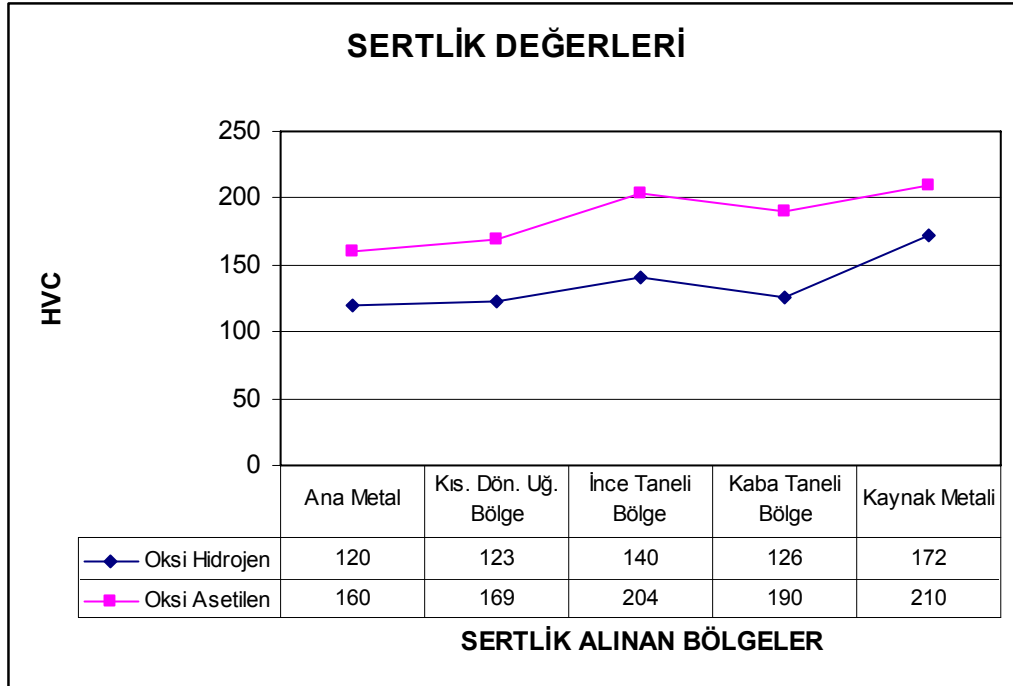
elik Malzemelerin oksii-hidrojen ve oksii asetilen kaynağı kullanılarak yapılan kaynaklı birleştirmelerinin sertlik deney sonuçları izelge 5.7'de ve sertlik değişim grafikleri şekil 5.13'de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Çelik malzeme mikro sertlik sonuçları

Yanıcı Gaz	Sertlik Alınan Bölge	Mikro Sertlik Değerleri (HVC)
Hidrojen	Ana Metal	120
	Kısmen Dönüşüme Uğramış Bölge	123
	İnce Taneli Bölge	140
	Kaba Taneli Bölge	126
	Kaynak Metali	172
Asetilen	Ana Metal	160
	Kısmen Dönüşüme Uğramış Bölge	169
	İnce Taneli Bölge	204
	İri Taneli Bölge	190
	Kaynak Metali	210

Sertlik değerleri ana metalden başlayıp kaynak metaline kadar mikroyapısal değişikliklerin meydana geldiği bölgelerden ölçüm yapılarak alınmıştır.

Çizelge ve grafik incelendiğinde yanıcı gaz olarak hidrojen gazı kullanılarak yapılan kaynaklı birleştirmelerin sertlik değerleri bütün bölgelerde asetilen gazı kullanılarak yapılan kaynaklı birleştirmelerin sertlik değerlerinden daha düşük çıkmıştır. Her iki kaynak yönteminin sertlik sonuçları ayrı ayrı incelendiğinde ana metalden kaynak metaline doğru elde edilen sertlik değerleri gaz ergitme kaynaklarındaki tipik sertlik değerleri ile benzerlik göstermektedir. Sertlik değerlerindeki değişim ana metalden kaynak metaline doğru gittikçe, kısmen dönüşüme uğramış bölge ve ince taneli bölgeye kadar bir artış gösterirken, iri taneli bölgede düşme gözlenmiş ve kaynak metali bölgesinde sertlikte tekrar bir artış olmuştur.



Şekil 5.13. Çelik malzemenin mikro sertlik değişimi grafiği

Oksi asetilen alevi kaynaklanan çelik malzemeye ait sertlik değerlerinin oksi hidrojen alevi ile yapılan kaynaklı birleştirme sertlik değerlerine göre daha yüksek çıkması malzeme içerisine karbon ve mangan difüzyonu olmasına bağlanmaktadır. Bunu literatürdeki [35] bilgilerde desteklemektedir. Literatüre göre [35] oksijen - asetilen oranı (O_2/C_2H_2) 1'den küçük olduğu zaman malzeme içerisine karbon difüzyonu olmaktadır. Bu karbon difüzyonundan dolayı da sertlik değerlerinin oksi asetilen aleviyle yapılan birleştirmelerde daha yüksek çıktığı söylenebilir. Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'e bakıldığında oksi asetilen aleviyle yapılan kaynaklı birleştirme sonrası karbon ve mangan miktarının arttığı bunun da deney numunelerindeki sertlik artışını beraberinde getirdiği söylenebilir[31].

Oksi asetilen aleviyle yapılan birleştirmelerin ana malzeme sertliğinin oksi hidrojen aleviyle yapılan birleştirmelere göre yüksek çıkmasının sebebi olarak tane boyutlarının farklı çıkması olarak söylenebilir. Metalin tane boyutu ile sertliği arasındaki ilişkiyi Hall – Petch eşitliği ifade eder[32]. Tane boyutundaki değişim göz önüne alındığında oksi asetilen aleviyle birleştirilen

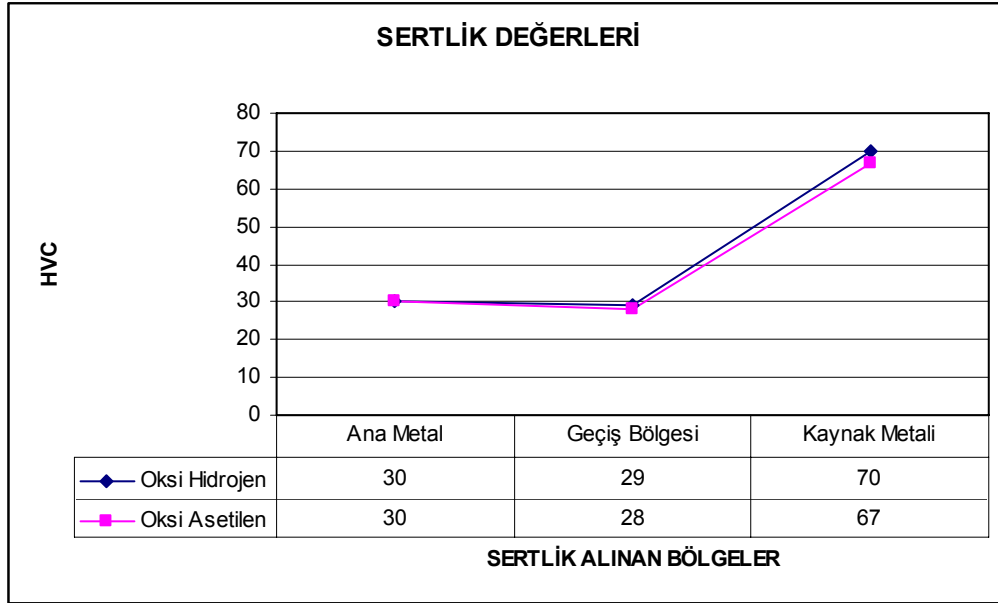
numunelerin daha küçük tane boyutuna ve dolayısıyla daha yüksek sertliğe sahip olması da literatürle [32] uyum sağlamaktadır.

Al malzemelerin oksî-hidrojen ve oksî asetilen alevi kullanılarak yapılan kaynaklı birleştirmelerinin sertlik deney sonuçları Çizelge 5.8’de ve sertlik değişim grafikleri Şekil 5.14’de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Alüminyum malzeme mikro sertlik sonuçları

Yanıcı Gaz	Sertlik Alınan Bölge	Mikro Sertlik Değerleri (HVC)
Hidrojen	Ana Metal	30
	Geçiş Bölgesi	29
	Kaynak Metali	70
Asetilen	Ana Metal	30
	Geçiş Bölgesi	28
	Kaynak Metali	67

Sertlik değerleri ana metalden başlayıp kaynak metaline kadar mikroyapısal değişikliklerin meydana geldiği bölgelerden ölçüm yapılarak alınmıştır.



Şekil 5.14. Alüminyum malzeme mikro sertlik değişim grafiği

Çizelge ve grafik incelendiğinde yanıcı gaz olarak hidrojen gazı kullanılarak yapılan kaynaklı birleştirmelerin sertlik değerleri ana metal hariç diğer bölgelerde asetilen gazı kullanılarak yapılan kaynaklı birleştirmelerin sertlik değerlerinden daha yüksek çıkmıştır.

Buna oksijen hidrojen alevinin daha dar bir bölgeyi ısıtmasından dolayı ısıdan etkilenen bölgenin daha dar olmasının ve alev sıcaklık değerinin düşük olmasının bundan dolayı da dentrit boyutlarının ve dentrit kolları arası mesafenin oksijen asetilen alevine göre daha küçük olmasının neden olduğu düşünülmektedir. Oksijen asetilen alevinin ise hem alev sıcaklık değeri yüksektir hem de ısıdan etkilenen bölge daha geniştir.

Alüminyum malzeme mikroyapı fotoğraflarında dentrit kol boyu ve dentrit kolları arası mesafe incelendiğinde; oksijen asetilen aleviyle birleştirilen numunelerin (DKB: 166,52 μm , DAS: 14,78 μm) oksijen hidrojen aleviyle birleştirilen numunelere (DKB: 117,83 μm , DAS: 7,83 μm) oranla daha büyük olduğu görülmüştür. Bu da oksijen asetilen aleviyle birleştirilen numunelerin sertliklerinin daha düşük olmasının nedenini açıklamaktadır.

Elde edilen sonuçlar Petch [33] ve Koçaslan'ın [34] çalışmalarıyla uyum sağlamaktadır.

Her iki grup ayrıca incelendiğinde ana metalden kaynak metaline doğru elde edilen sertlik değerleri gaz ergitme kaynaklarındaki tipik sertlik değerleri ile benzerlik göstermektedir. Sertlik değerlerindeki değişim ısı tesiri altındaki bölgede ana metaldekenden daha düşük çıkmıştır. En yüksek sertlik değerleri kaynak metali bölgesinde tespit edilmiştir. Bunun nedenin kaynak sırasında ergime ve katılaşma olayları sonrasında kaynak metalinde oluşan tanelerin daha ince yapıda olması olarak söylenebilir.

5.3. Mikroyapı Sonuçları

Oksi asetilen ve oksi hidrojen alevleri ile birleştirilen çelik malzemelere ait mikroyapı fotoğrafları Şekil 5.15-Şekil 5.16'da verilmiştir.

Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'daki mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde düşük karbonlu çelik malzemelere ait tipik ana metal, ısı tesiri altında kalan bölge ve kaynak metali bölgesi resimlerine rastlanmaktadır[36].

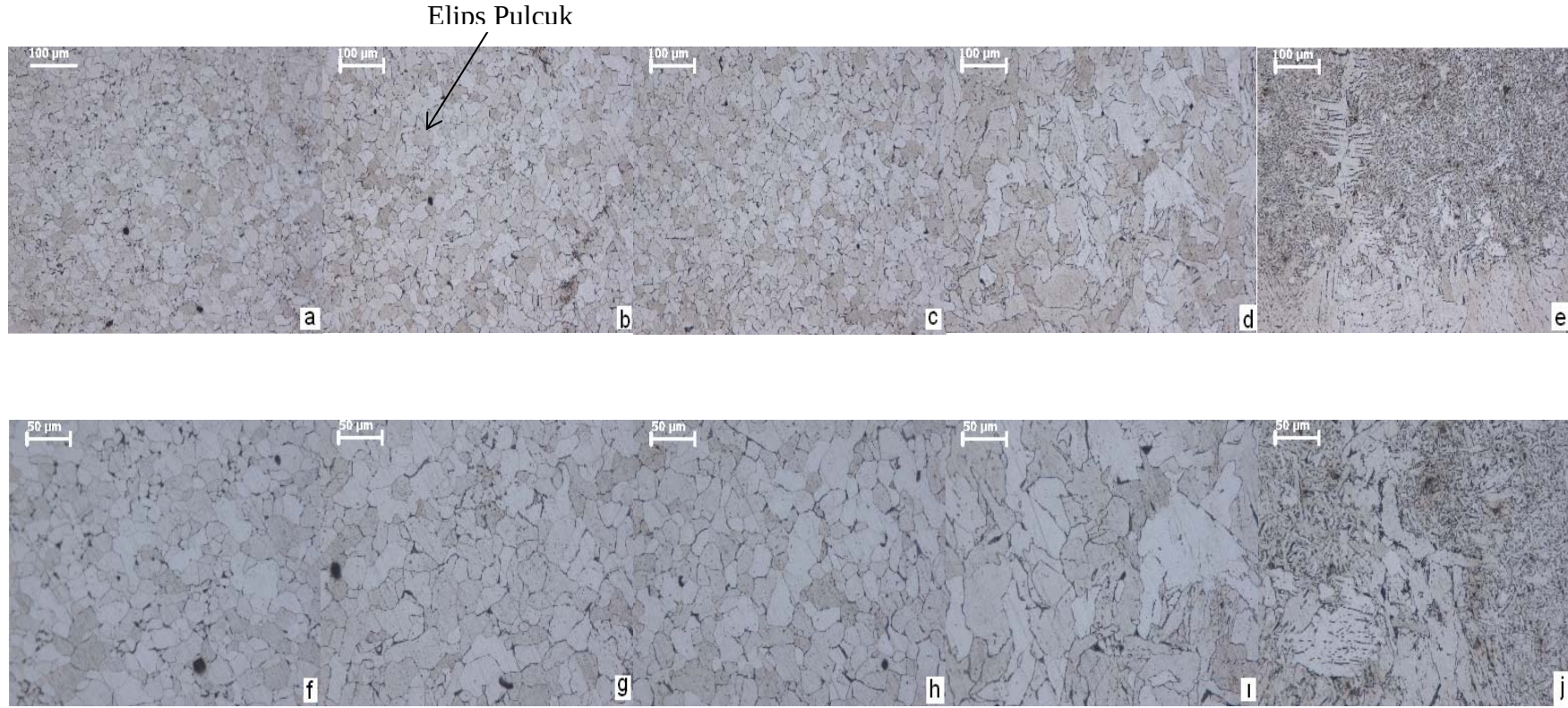
Şekil 5.15. a) 'da ana metalin ferrit ve perlitten oluştuğu, perlit fazının genellikle ferrit tane sınırlarında toplanmış olduğu ve fotoğraftaki koyu bölgelerin perlit fazını açık renkli bölgelerin ise ferrit fazını temsil ettiği söylenebilir. Ana metal mikro yapısının kısmen eş eksenli tanelerden oluşmasına rağmen sütunsal tanelerin de mevcut olduğu görülebilir.

Şekil 5.15. b)'deki kısmen dönüşüme uğramış bölge sıcaklığın daha düşük olması nedeni ile hızlı östenitlenmiş bir bölge olup, içerisindeki C ve Mn bileşimine bağlı olarak kısmen üst beyritin de oluştuğu (elipse benzer pulcuklar) bir yapı sergilemektedir[31].

İnce taneli bölgedeki taneler ısı girdisi ve tane irileşmesi için yeterince süre bulamadığından Şekil 5.15. c)'deki fotoğrafta da görüldüğü gibi yeni oluşmuş küçük tanelerin ebadındadır. Bu bölgedeki fazlar ince ferrit ve perlitten oluşmaktadır.

Şekil 5.15. d)'de kaynak metalinin hemen yanında olan ve kaynaklı birleştirme işlemi sırasında en yüksek ısıya maruz kalan iri taneli bölgede ferritin bir ağ örgüsü şeklinde olduğu ve yapının da kaba ferrit ve perlit fazlarından oluştuğu görülmektedir. Fotoğraftan tane yapısının düzensiz şekilli olduğu söylenebilir.

Şekil 5.15. e)'de oluşan kaynak metali mikroyapısı literatürde de [36] rastlanan bir görünüm sergilemektedir. Burada meydana gelen fazlar, widmanstatten kenar levhası ve asiküler ferrittir. Widmanstatten kenar levhası tane kenarında tane içine doğru uzayan kollar şeklinde oluşmuş ve asiküler ferrit taneleri ile çakışmış durumda görülmektedir. Fotoğrafta görüleceği gibi asiküler ferrit ise iğneye benzer bir şekilde ve üç boyutlu düşünüldüğünde mercimeğe benzer levhacıklar halindedir. Kaynak metalinde tanelerin duruş şekli olarak bir inceleme yapılırsa ısı merkezinden dışa doğru bir eğim sağlayarak oluştuğu söylenebilir. Oksi asetilen aleviyle yapılan birleştirmede kaynak metali tane ebatının ($38,5 \mu\text{m}$) oksi hidrojen aleviyle yapılan birleştirme kaynak metali tane ebatından ($61,5 \mu\text{m}$) küçük olduğu görülmektedir.

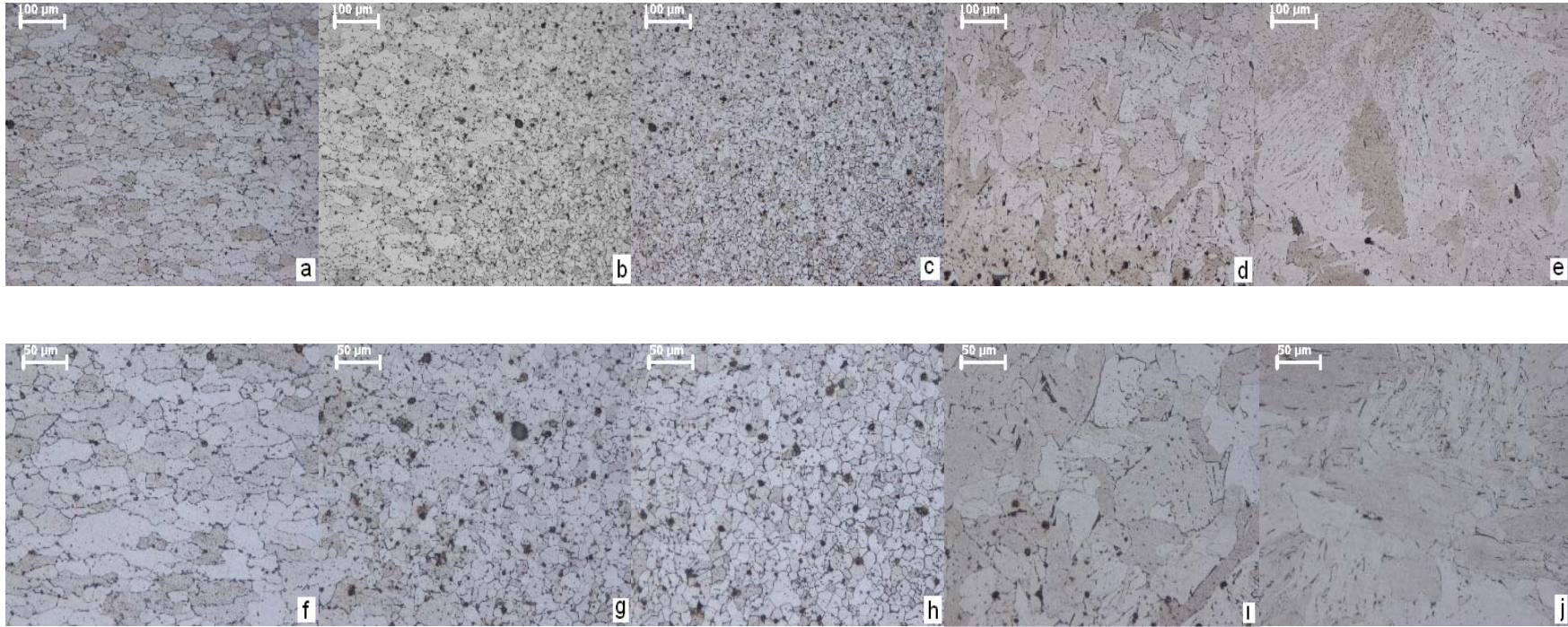


Şekil 5.15. Oksi Asetilen alevi ile kaynatılan çelik malzeme mikroyapı fotoğrafları (a= Ana Metal 10X, b= Kısmen Dönüşüme Uğramış Bölge 10X, c= İnce Taneli Bölge 10X, d= Kaba Taneli Bölge 10X, e= Kaynak Metali 10X, f=Ana Metal 20X, g= Kısmen Dönüşüme Uğramış Bölge 20X, h= İnce Taneli Bölge 20X, ı= Kaba Taneli Bölge 20X, j= Kaynak Metali 20X)

Oksi hidrojen alevi ile yapılan elik malzeme birleştirme mikroyapı fotoğrafları şekil 5.16'da görüldüğü gibi ana metal, kısmen dönüşüme uğramış bölge, ince taneli bölge, iri taneli bölge ve kaynak metali bölgelerinde şekil 5.15'deki elik malzemenin oksi asetilen kaynağı ile birleştirilmiş numunenin ilgili bölgeleriyle büyük oranda benzerlik göstermektedir.

Ancak oksi hidrojen alevi ile kaynaklanan numunelerin kaynak metali tane ebatlarının daha büyük olduğu mikroyapı fotoğraflarından görülmektedir. Yapılan ölçümlerde oksi hidrojen aleviyle yapılan birleştirme sonucu elde edilen kaynak metali tane boyutu 61,5 μm , oksi asetilen aleviyle yapılan birleştirme sonucu elde edilen kaynak metali tane boyutu 41,5 μm olarak bulunmuştur.

Oksi hidrojen alevi ile yapılan kaynaklarda ısı tesiri altındaki bölgede fazla sayıda gözenek oluştuğu görülmektedir. Bu gözeneklerin atomik hidrojenin çapının çok küçük olmasından dolayı ($0,46 \text{ A}^0$) kaynak sonrasında yayınımı ve soğuma sırasında metal dışına ıkamamasından dolayı olduğu söylenebilir.



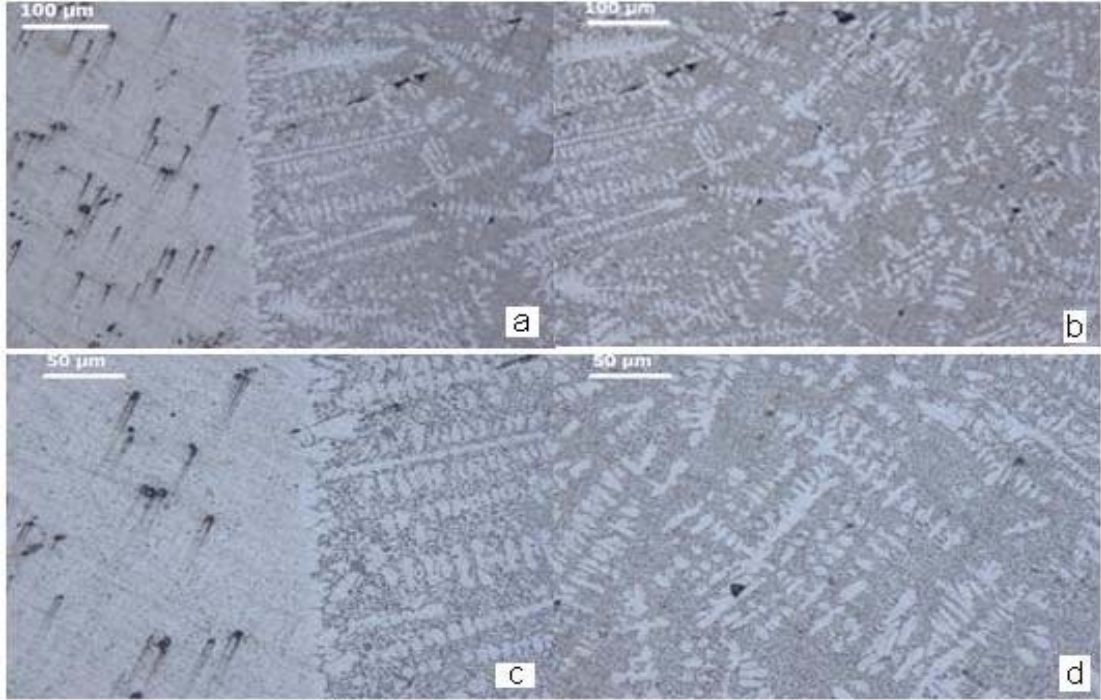
Şekil 5.16. Oksi Hidrojen alevi ile kaynatılan çelik malzeme mikroyapı fotoğrafları (a= Ana Metal 10X, b= Kısmen Dönüşüme Uğramış Bölge 10X, c= İnce Taneli Bölge 10X, d= Kaba Taneli Bölge 10X, e= Kaynak Metali 10X, f=Ana Metal 20X, g= Kısmen Dönüşüme Uğramış Bölge 20X, h= İnce Taneli Bölge 20X, ı = Kaba Taneli Bölge 20X, j= Kaynak Metali 20X)

Oksi asetilen ve oksi hidrojen alevi ile birleştirilen alüminyum malzemelere ait mikroyapı fotoğrafları Şekil 5.17 ve Şekil 5.18’de verilmiştir.

Şekil 5.17 ve Şekil 5.18 incelendiğinde alüminyum malzemenin tipik kaynaklı birleştirme mikroyapısı görülmektedir[31]. Kaynak metalinin dentritik tanelerden oluştuğu görülmektedir.

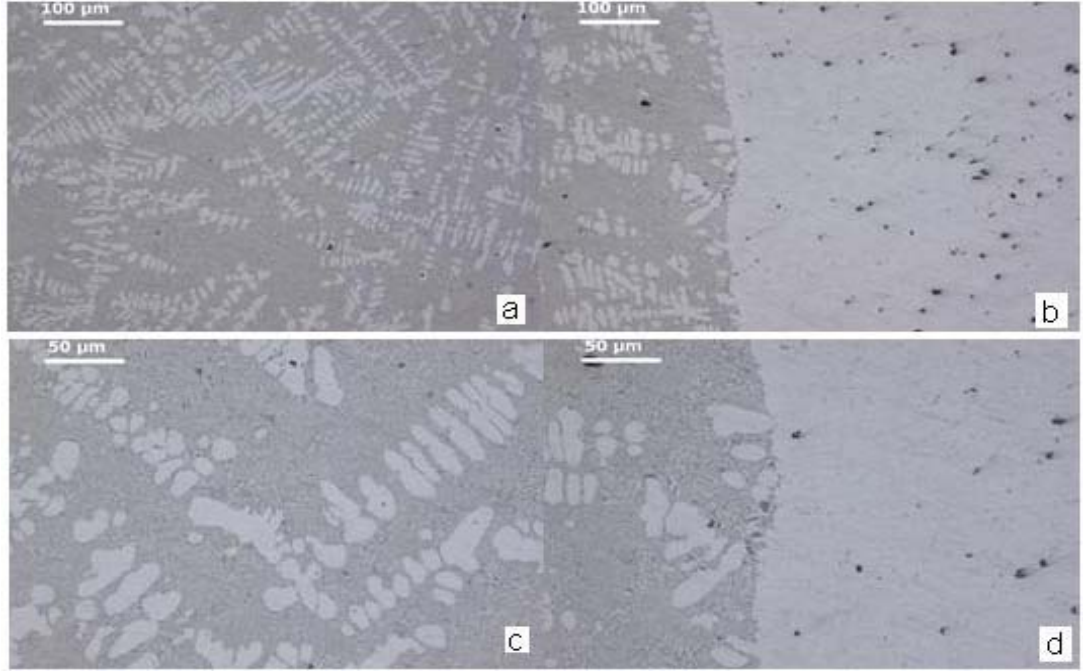
Oksi-asetilen alevi ile yapılan kaynaklı birleştirmenin mikroyapı fotoğrafları Şekil 5.17 de verilmiştir. Kaynak sırasında ana malzemeye aktarılan ısı girdisi ana malzemede tanelerin irileşmesine neden olarak kaynak öncesi yaklaşık 120 μm olan dentritleri 190 μm mikronlara çıkarmıştır.

Al gibi demir dışı metallerin kaynağında çeliklerdeki gibi farklı tane yapılı bölgeler meydana gelmemiştir. Esas metalin ergiyen tanelerinden itibaren epitaksiyel katılaşma başlamış ve kaynak merkezine doğru yönelmiş tanelerden oluşan kaynak metali oluşmuştur. Esas metal tarafında ise geçiş bölgesinden itibaren ısıнын miktarına bağlı olarak irileşen taneli bir bölge (190,4 μm) meydana gelmiştir. Geçiş bölgesinden sonra ise kaynak metali daha küçük yapılı dentritlerden (166,5 μm) oluşmuştur.



Şekil 5.17. Oksi Asetilen aleviyle kaynatılan Al malzeme mikroyapı fotoğrafları (a= Geçiş Bölgesi 10X, b= Kaynak Metali 10X, c= Geçiş Bölgesi 20X, d= Kaynak Metali)

Şekil 5.18’de alüminyum malzemenin oksi hidrojen alevi ile yapılan kaynağının mikroyapısı görülmektedir. Burada da yine bir geçiş bölgesinin görüldüğü bu bölgenin oksi asetilenle yapılan kaynakta olduğu gibi yaklaşık 600 mikron kalınlığında olduğu görülmektedir. Ancak kaynak metalinin dentritik yapısının oksi asetilenle yapılan kaynak metali mikroyapısındaki dentritlerden daha küçük olduğu (117,83 μm) dikkat çekmektedir. Bunun nedeni olarak oksi hidrojen alevinin oksi asetilen alevinden daha düşük ısı değere sahip olması şeklinde düşünülmektedir. Dentritlerin birbirlerini keser doğrultularda olduğu katılaşmanın kaynak merkezine doğru yönelmesinden dolayıdır. Katılaşma hep ısıl gradyanlara dik doğrultuda büyüyeceğinden kaynak işleminin hareketliliği sebebiyle gradyanlar değişmekte ve katılaşmada yeni ısıl gradyanlara dik yönler doğru yön değiştirmektedir. Böylece dentritler birbirlerine açılı olarak büyümektedirler.

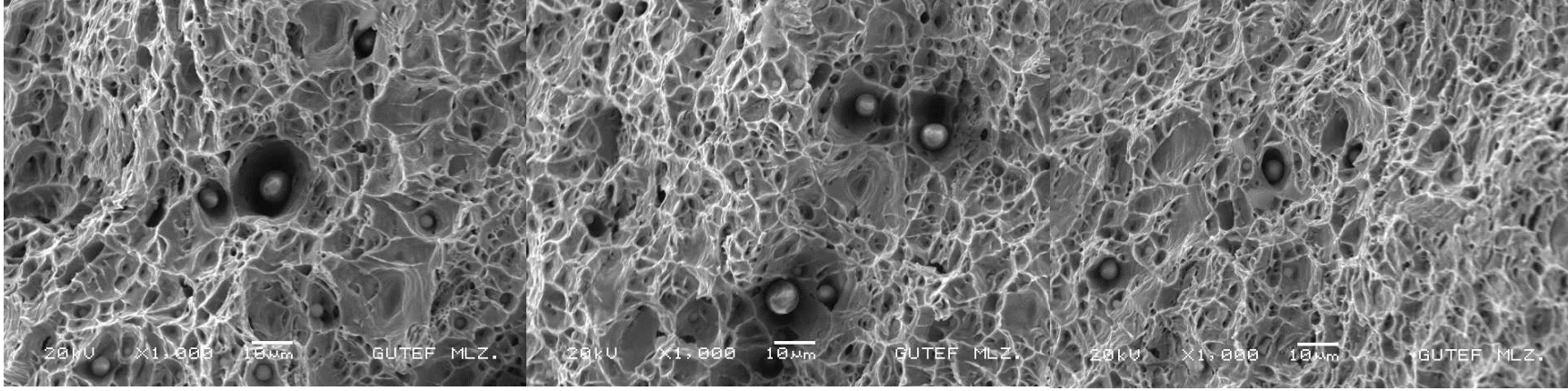


Şekil 5.18. Oksi Hidrojen aleviyle kaynatılan Al malzeme mikroyapı fotoğrafları (a= Kaynak Metali 10X, b= Geçiş Bölgesi 10X, c= Kaynak Metali 20X, d= Geçiş Bölgesi 20X)

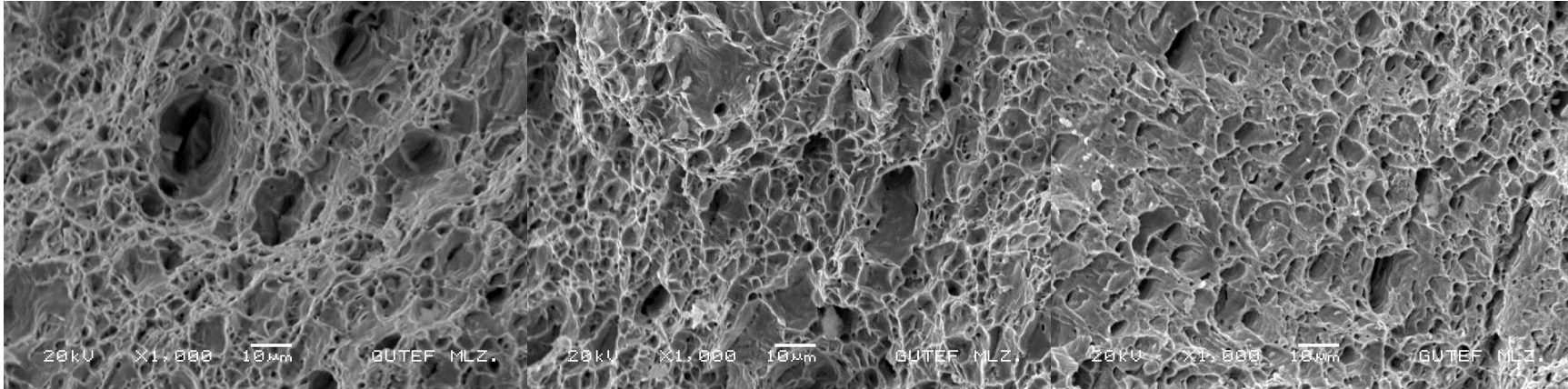
5.4. Kırık Yüzey

Oksi Hidrojen aleviyle kaynatılan çelik malzeme kırık yüzey fotoğrafları Şekil 5.19'da, Oksi Asetilen aleviyle kaynatılan çelik malzeme kırık yüzey fotoğrafları Şekil 5.20'de verilmiştir.

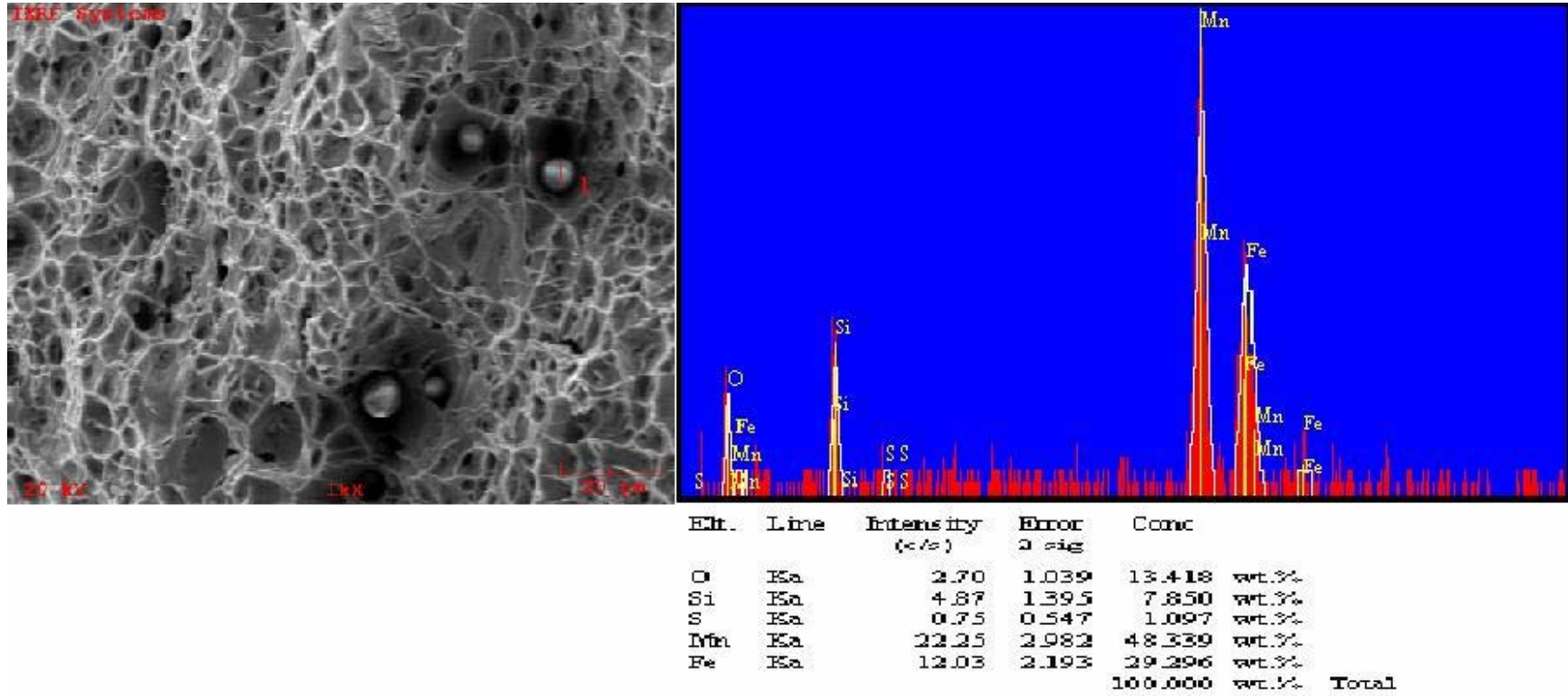
Şekil 5.19 incelendiğinde sünek bir kırılma tavrı görülmektedir. Şekilde küreler (Mangan Sülfür) şeklinde taneler oluştuğu ve kopmaların bu kürelerin etrafında genişleme ile başlayıp meydana geldiği söylenebilir. Şekil 5.20'deki çelik malzemenin oksii asetilen alevi ile birleştirilen numunelerden alınan kırılma yüzeyi fotoğrafında bazı bölgelerin kısmen gevrek kırılma sergilediği görülmektedir. Yine küreler şeklinde tanelerin oluştuğu fakat ya karşı yüzeyde kaldığı veya kopma anında düştüğü düşünülmektedir. Sadece oyuklar fotoğraftan görülmektedir. Oluşan bu kürelere ait EDS analizi Şekil 5.21'de verilmiştir.



Şekil 5.19. Oksi hidrojen aleviyle kaynatılan çelik malzeme kırık yüzey fotoğrafları 1000X



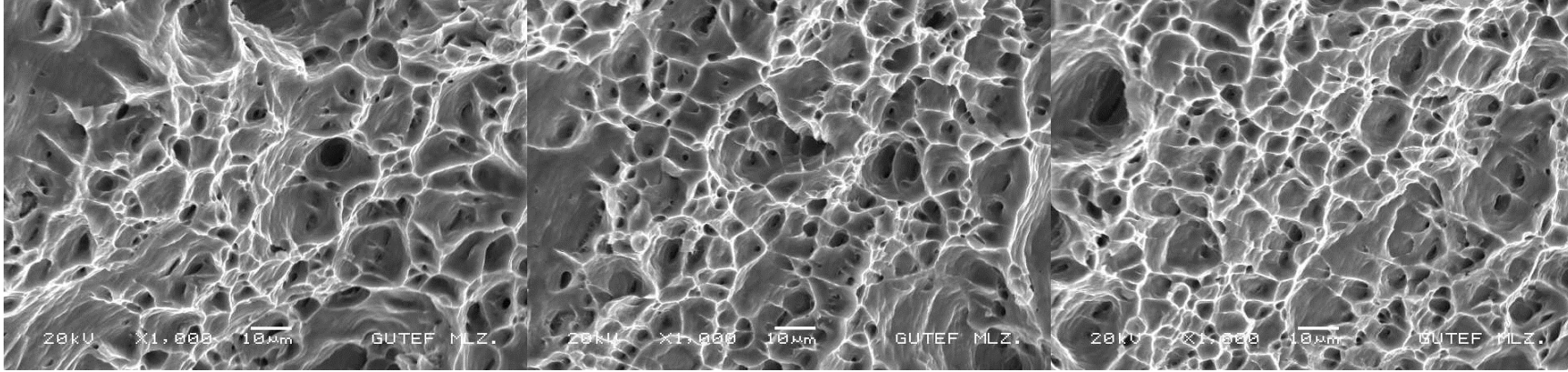
Şekil 5.20. Oksi asetilen aleviyle kaynatılan çelik malzeme kırık yüzey fotoğrafları 1000X



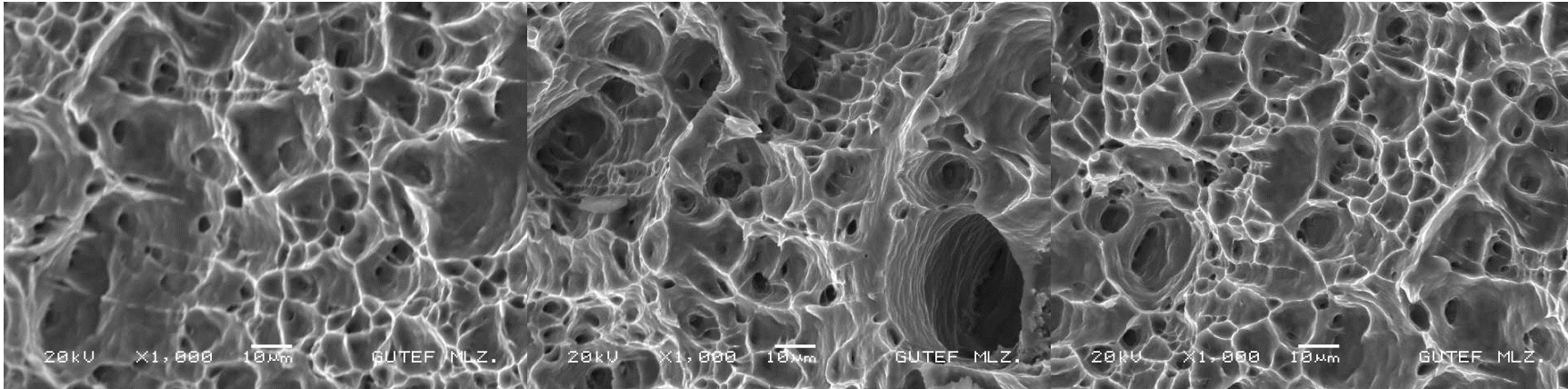
Şekil 5.21. Oksi hidrojen aleviyle kaynatılan çelik numune kırık yüzey (Oluşan Kürelerin) EDS analizi

Oksi Hidrojen aleviyle kaynatılan Alüminyum malzeme kırık yüzey fotoğrafları Şekil 5.22’de ve Oksi Asetilen aleviyle kaynatılan Alüminyum malzeme kırık yüzey fotoğrafları Şekil 5.23’de verilmiştir.

Şekil 5.22 ve Şekil 5.23’de alüminyum malzemelerin oksi hidrojen alevi ve oksi asetilen alevi ile yapılan kaynaklı birleştirmelerinin kırılma yüzeyi fotoğraflarında sünek bir kırılma tavrı sergiledikleri görülmektedir. Kopmaların fotoğraftaki oyuk şeklinde görülen yerlerden başladığı düşünülmektedir. Oksi asetilen aleviyle kaynatılan malzemeler oksi hidrojen aleviyle kaynatılan numunelere göre kısmen sünek, kısmen gevrek bir kırılma tavrı sergilediği söylenebilir.



Şekil 5.22. Oksi hidrojen aleviyle kaynatılan Alüminyum malzeme kırık yüzey fotoğrafları 1000X



Şekil 5.23. Oksi asetilen aleviyle kaynatılan Alüminyum malzeme kırık yüzey fotoğrafları 1000X

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hidrojen gazının ile oksi - gaz kaynak tekniğinde kullanılabilirliğinin incelendiği bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiş ve bazı önerilerde bulunulmuştur.

1. Oksi - asetilen alevi ile birleştirilen çelik malzemelerin akma, çekme, kopma dayanımları oksi hidrojen alevi ile yapılan birleştirmelere göre yüksek olduğu görülmüştür. Alüminyum malzemelerde ise oksi hidrojen aleviyle yapılan birleştirmelerin oksi asetilen alevi ile yapılan birleştirmelere göre akma, çekme ve kopma dayanımlarının yüksek olduğu görülmüştür.

2. Oksi asetilen ve oksi hidrojen alevleri ile birleştirilen çelik ve Alüminyum malzemelerin % uzama miktarları birbirlerine yakındır.

3. Çelik malzemeler için sertlik alınan bütün bölgelerde (ana metal, ITAB, kaynak metali) oksi asetilen alevi ile yapılan birleştirmelerin mikro sertlik değerleri oksi hidrojen alevi ile yapılan birleştirmelere göre yüksek çıkmıştır. Alüminyum malzemelerde ise ana metal sertliği aynı diğer bölgelerde (geçiş bölgesi, kaynak metali) ise oksi hidrojen aleviyle yapılan birleştirmelerin sertlik değerleri oksi asetilen alevi ile yapılan birleştirmelere göre yüksek çıkmıştır.

4. Hem çelik hem de Alüminyum malzemelerin mikroyapı fotoğraflarının birbirine benzerlik gösterdiği ancak oksi hidrojen alevi ile birleştirilen çelik malzemelerde kaynak sonrası hidrojen yayılımı nedeniyle ısı tesiri altındaki bölgede gözenekler oluştuğu görülmüştür.

5. Kırılma yüzeyi fotoğraflarından oksi hidrojen alevi ve oksi asetilen alevi ile kaynatılan numunelerin benzer bir kırılma tavrı sergiledikleri görülmektedir.

6. Oksi hidrojen kaynak üniteleri ile kendiliğinden nötr bir alev oluşturur ve dolayısıyla oksi asetilen kaynak yöntemindeki gibi nötr bir alev elde etmek için yapılması gereken ayarlamalara ihtiyaç duyulmaz. Bu sayede de zamandan ve atık gazdan tasarruf edilir.

7. Oksi asetilen alevinin yanması sırasında CO ve CO₂ gazları açığa çıkar. Oksi hidrojen alevi yanması sırasında herhangi bir duman oluşturmaz, kaynak sonrası atığı sadece su buharıdır.

8. Oksi asetilen kaynak ünitesinde asetilen kazanı, kalsiyum karpit, tüpler, regülatörler, tüplerin sevkıyatı v.s. hepsi ekstra masraflardır. Asetilen basıncı 1.5 atmosferi geçtiği zaman patlama riski vardır. Ayrıca tüp bittiğinde hemen yerine yenisi tedarik edilemeyebilir. Buların hepsi işlerde aksamaya neden olur. Bu ve bunun gibi zaatlardan dolayı oksi asetilen kaynak üniteleri yerine küçük taşınması kolay ve güvenli oksi hidrojen kaynak üniteleri kullanılabilir.

9. Elde edilen sonuçlara bakıldığında benzer mekanik özellikler ile kullanım kolaylığı ve ekonomik avantajlarından dolayı oksi – gaz kaynağında hidrojen gazının kullanılabileceği görülmüştür.

10. Farklı kalınlıktaki malzemelerin kaynaklanabilirlikleri araştırılmaya devam edilecektir.

11. Kaynakta ısı akışı ve ısı girdisinin tesiri araştırılmaya devam edilecektir.

12. Değişik kimyasal kompozisyona sahip çelik ve demir dışı malzemelerin oksi hidrojen kaynak üniteleri ile kaynaklanabilirlikleri araştırılmaya devam edilecektir.

KAYNAKLAR

1. Tezcan E., “Kaynak Teknolojisinde İş Sağlığı ve Güvenliği”, **TMMOB Makina Mühendisleri Odası Kaynak Teknolojisi VI.Ulusal Kongresi**, Ankara, 11-12 (2007).
2. Anık, S., “Kaynak Tekniği El Kitabı Yöntemler ve Donanımlar”, **Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü Gedik Eğitim Vakfı**, İstanbul, 27-28, 33-34, 38-41 (1991).
3. Anık, S., “Kaynak Tekniği Cilt 1” **İTÜ Makine Fakültesi Ofset Atölyesi**, İstanbul, 25-27(1980).
4. Ateş, H., “Feritik Süper Alaşımların Sürtünme Kaynağı ile Kaynaklanabilirliğinin Araştırılması”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 5 (2003).
5. Yurhey, V. I., “Special features of welding and brazing using electric gas generators of hydrogen-oxygen mixtures”, **Welding International**, 17: 5, 407 - 409 (2003).
6. Ertürk, İ., “Oksi Asetilen Kaynağı” **T.C. Devlet Bakanlığı**, 7-8, Ankara (1989).
7. Klas, W., “Welding Processes Handbook”, **Woodhead Publishing Limited**, Cambridge, England, 27 (2003).
8. İnternet: Milli Eğitim Bakanlığı, “Oksi Asetilen Boru Kaynağı” http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/ (2006).
9. Suban, M., Tuslek, J., Uran, M., “Use of hydrogen in welding engineering in former times and today” **Journal of Materials Processing Technology** 119:193-195 (2001).
10. Veziroğlu, T.N., Babir F., “Hydrogen Energy Technologies”, **UNIDO**, Vienna, 5-47 (1998).
11. Oğuz, A., E., “ Hidrojen Yakıt Pilleri ve PEM Yakıt Pilinin Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 6 (2006).
12. İnternet: Gazi Üniversitesi “Alternatif Yakıt Sistemleri” <http://www.obitet.gazi.edu.tr/sunular/5.ppt> (2008).

13. Aslan, Ö., Özcan, B., "Sustainable Development and Hydrogen Energy", **e-Journal of New World Sciences Academy**, Volume: 3, Number: 2, Article Number: C0044, ISSN:1306-3111(2008).
14. Ulusoy, I., "Hidrojen Enerjisi Teknolojilerinin Bugünü", Yüksek Lisans Tezi, **Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kocaeli, 5-6 (2005).
15. Steinberg, M., Cheng, H.,C., "Modern and Prosective Technolgies for Hydrogen Production from Fosil Fuels" **Oxford**, 2:699-740 (1998).
16. Hancock, O.,G., "A Photovoltaik – Powered Water Electrolyzer : Its Perfornce and Economics" **G.P. Putnam's Sons**, New York, 335-34 (1984).
17. Baykara, S.,Z.,Bigen, E., "An Overall Assessment of Hydrogen Production Solar Water Termolysis",**Int.J.Hydrogen Energy**, 14:881-889, (1989).
18. Engels, H., "Thermochmical Hydrogen Production", **Int.J.Hydrogen Energy**,12:291-295 (1987).
19. Willner, I.,Steinberger, B., "Solar Hydrogen Production Through Photo Biological", **Int.J.Hydrogen Energy**, 13:593-604 (1998).
20. Temelci, F., E., "Taşıtlarda Alternatif Yakıt Olarak Hidrojen Kullanımı", Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 18-43 (2000).
21. Murcak, A., Batmaz, I., İçingür, Y., "Hidrojenin İçten Yanmalı Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanılma Olanaklarının İncelenmesi", **7. Uluslararası Yanma Sempozyumu**, 2-8 (2002).
22. Murcak, A., "Dizel Motorlarında Hidrojenin Yakıt Olarak Kullanılmasının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisini Deneysel Analizi", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 12-15 (2003).
23. Kurt, A., Ateş, H., Uygur, I., Koç, M., "Weldability of Aluminum casting materials by oxy-hydrogen welding technique", **International Conference on Investment Casting (ICIC)**, India, 1-3 (2010).
24. Galluzzo, D., T., "Electrolysis Method For Decomposing Water Into Hydrogen Gas and Oxyen Gas", **United State Patent**, Patent No: 4,457,816, U.S.A., 1-7 (1984).

25. Brown, Y., “ Welding ”, **United State Patent**, U.S.A., Patent No: 4,014,777, 1-4 (1977).
26. Teknomak İleri Teknoloji Makine Güvenlik Sistemleri San. Tic. Ltd. Şti., “ Elektroliz Hidrojen Kaynak Makinesi Katalogu, “Türkiye Distribütörü, İstanbul (2008).
27. Gedik Kaynak Teknolojileri Ürün Katalogu, **Gedik Holding**, 113–114 (2008).
28. Oerlikon ürün katalogu, **Oerlikon Kaynak Elektrotları ve San. A.Ş.**, 15-25(2001).
29. “Metalik Malzemeler – Çekme Deneyi”, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara,27 (2004).
30. Pickering, F.B., “The Basis of Quantitative Metallography”, **Institution of Metallurgists**, The Camelton Press Ltd., London, 3-7 (1975).
31. Yüklér, İ.A., “Kaynak Metalí”, **Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakóltesi Metal Eğitimi Bölümü**, İstanbul, 1: 57-63 (1990).
32. Donald R. A., “ The Science and Engineering of Materials Third Edition”, **Wadsworth Publishing Company**, U.S.A., 71,103 (1994).
33. Petch, N. J., “ The Effect of Grain Size on Mechanical Properties of Materials ”, **Journal of Iron and Institute**, 174:25 (1953).
34. Kocaaslan, Ş., “ Al-%5.7 Zn-%2,6 Mg-%1,7 Cu Alaşımlarının Kum, Metal Kalıp ve Sıkıştırma Döküm Yöntemlerinde Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi ”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 89,90 (2004).
35. Kou, S.,” Welding Metallurgy Second Edition ”, **A John Wiley & Sons, Inc., Publication**, Canada, 74-75(2002).
36. Metals Handbook ,“Atlas of Microstructure of Industrial Alloys”, **American Society for Metals**, U.S.A., 7:18-19,242,271 (1972).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÇAKIR Muhammed Emin
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 25.10.1983 / Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 485 23 17
 Faks :
 e-mail : muhammed_emin6@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Metal Eğitimi Bölümü	2003
Lise	Ankara Aydınliköyler İnönü Lisesi	1999

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2003-2004	Emek Çelik Kapı	Kalite Kontrol
2004-2009	Gümüşhane TEML	Metal Tek. Alanı Öğretmeni
2009-	Ankara - Gölbaşı TEML	Metal Tek. Alanı Öğretmeni

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Hobiler

Masa Tenisi, Bilişim teknolojileri, Kitap okuma