

62743

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SUALTI KAYNAK-KESME YÖNTEMLERİ VE
PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Mak. Müh. Recep KALYONCU

F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr.Müh.Can KARAHASANOĞLU

Juriiyesi : Prof. Nurdullah Gültekin

Tez Danışmanı : Y.Doç.Dr. CAN KARAHASANOĞLU

Üye : Prof. Dr. Nihal TEKİN

İSTANBUL, 1997

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
ÖZET	III
SUMMARY	V

BÖLÜM 1. SUALTINDA KAYNAK

1.	GİRİŞ	1
2.	SUALTINDA KAYNAK İŞLEMİNİN TEKNİĞİ	3
2.1	Kaynak Tutucuları Ve Elektrotlar	3
2.2	Malzemeler Ve Donanım	4
2.3	Çeşitli Ekipman Ve Teçhizatlar	6
2.4	Kaynak Uygulamaları Ve Önlemler	7
2.5	Teknik	8
3.	SU ALTI KAYNAK YÖNTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI	10
3.1	Tamamen Yaş Ortamda Yapılan Kaynak	10
3.1.1	Karşılaşılan Sorunlar	11
3.1.2	Donanım	12
3.1.3	Yumuşak Çelik Elektrotlar	13
3.1.4	Ostenitik Elektrotlar	15
3.1.5	Akım Sürekliliğine Tesir Eden Faktörler	17
3.1.6	Su Altında ark Kaynağının Enerji Karakteristikleri	18
3.1.6.1	Su Altı Arkının Geometrisi	18
3.1.6.2	Su Altı Arkında Voltaj Dağılımı	20
3.1.6.3	Su Altı Kaynağında Ark Kolonu Sıcaklığı	22
3.1.7	Uygulama Örneği	24
3.1.7.1	Beslenme Suyu Püskürtme Borusunun Yaş Su Altı Kaynağı ile Onarımı	24
3.1.7.2	Yabancı Cisimlerin Tanımlanması	24
3.1.8	Kaynak İşleminin Kabiliyeti	26

3.1.8.1	Kaynak Malzemeleri	27
3.2	Lokal Korumalı Ortamda Yapılan Kaynak	27
3.2.1	Koruyucu Gaz Altında Kaynak	27
3.2.1.1	Su Altı Kaynağı İçin CO ₂ Kullanımı	27
3.2.1.2	Su Perdesi Tipi, Su Altı CO ₂ Ark Kaynağı Metodunun Prensibi	30
3.2.1.3	Su Perdesinin Etkisi	31
3.2.1.4	Koruma Durumu	32
3.2.1.5	Tek Paso Kaynağı	34
3.2.1.6	Çift Paso Kaynağı	34
3.2.1.7	Mıg Ve Tıg Otomatik Sistemde Kaynak Kullanılması	35
3.2.1.8	Uzaktan Kumandalı Ve Görüntülü Kaynak Yönteminin Geliştirilmesi Ve Neticeleri	36
3.2.1.9	Su Altı Otomatik Kaynak Yönteminden Örnek Uygulama	38
3.2.2	Plazma Ark Kaynağı	38
3.2.2.1	Giriş	38
3.2.2.2	Donanım Ve Özellikleri	39
3.2.3	Toz Altı Ark Kaynağı	40
3.2.3.1	Giriş	40
3.2.3.2	Deneysel Donanım, Esas Metal Ve Kaynak Malzemeleri	41
3.2.3.2.1	Kaynak Ve Sonuçları	42
3.2.3.2.2	Havada Yapılan Kaynak İle Kıyaslama	43
3.2.3.2.3	Kaynağın Mekanik Özellikleri	44
3.3	Tamamen Korunmuş Ortamda Yapılan Kaynak	46
3.3.1	Atmosfer Şartlarında Kuru Kaynak	47
3.3.2	Yüksek Basınç Altında Kuru Kaynak (Hyper Barc)	48
3.3.2.1	Su Altı Kaynak Odası İçerisinde Kaynak (Habitat Welding)	48
3.3.2.2	Su Altı Kaynak Kutusu İçerisinde Kaynak (Dry-Box)	50
3.3.2.3	Alttan Açık Kuru Kaynak Odası İçerisinde Kaynak (Dry-Chamber)	50
3.3.2.3.1	Alttan Açık Kuru Kaynak Odasında Kaynak Uygulaması	51
4.	SU ALTI KAYNAK MEKANİZMASI	54
4.1	Kaynakta Yayınabilir Hidrojen	54

4.2	Hidrojenin Kaynak Dışına Yayınmasının Prosesi	55
4.3	Yaş Su Altı Kaynağında Yüksek Mukavemetli Çelik İçin TRC Testi (Tensile Restraint Cracking Test)	57
4.4	Deney Aparatları ve İşlemler	58
4.4.1	Kullanılan Malzemeler ve Kaynağın Şartları	58
4.4.2	TRC Testi (Tensile Restraint Cracking)	59
4.4.3	Kırılma Yüzeyinin Gözlenmesi	60
4.4.4	Kaynak Bölgesinin Mikro Yapısı	60
4.5	Su Altı Yaş GMA Kaynağında Azaltılmış Hidrojen (Gaz Metal Ark)	61
4.6	Bir Katkı Olarak Freon-12	62
4.7	Deneysel Araştırmalar	63
4.8	Kaynak sonrası Yapılan Isıl İşleme Çatlakların Önlenmesi	64
4.8.1	Deneysel Metot ve Malzemeler	65
5.	SU ALTI TAHRİBATSIZ MUAYENE YÖNTEMLERİ	66
5.1	Manyetik Parçacık İncelemesi, Radyografi ve Ültrason	66
6.	AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI	68
6.1	Sonuçlar	68
7 -	SONUÇ	69

BÖLÜM 2. SU ALTINDA KESME

1.	GİRİŞ	73
2.	SU ALTINDA KESME İŞLEMİNİN TEKNİĞİ	74
3.	SU ALTI KESME YÖNTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI	75
3.1	Metal-Ark Kesme Yöntemleri (Karbon-Ark)	75
3.1.1	Örtülü Elektrotla Kesme	75
3.1.1.1	Su altı Ark Kesme	75

3.1.2	MIG Usulü İle Kesme	77
3.1.2.1	Kesme Prensibi ve Uygulaması	77
3.1.3	Su Jeti İle Kesme	78
3.1.3.1	Eriyen tip Elektrot ve Su Jeti Metodu Kullanılarak, Metallerin Su Altında Kesilmesi	78
3.1.3.1.1	Giriş	78
3.1.3.1.2	Genel Prensip ve Karakteristikler	78
3.1.3.1.2.1	Prensip	78
3.1.3.1.2.1	Karakteristikleri	80
3.1.3.1.3	Deneysel Donanımlar ve Malzemeler	81
3.1.3.1.4	Kesme İşlemi	82
3.1.3.1.5	Yiv Kesmesi	84
3.1.3.1.6	Değişik Kalınlıktaki Alüminyum ve Çelik Plakaların Kesilmesi	84
3.2	Oksi-Ark İle Kesme Yöntemi	86
3.2.1	Kullanma Yerleri	89
3.2.2	Elektrotun Kullanımı	89
3.2.3	Boru Elektrot Tipleri	90
3.2.4	Oksi-ark Kesmesinde Temas Tekniği ile Su Altında Yumuşak Çeliğin Kesimi	91
3.2.4.1	Giriş	91
3.2.4.2	Kesmenin Teknik Prensibi	91
3.2.4.3	Temas Tekniği Donanım Kullanılarak Yapılan Kesmenin Sonuçları	92
3.2.4.3.1	Çelik Plakanın Düz Kesimi	92
3.2.4.3.2	Çelik Borunun Kesilmesine Ait Uygulama	92
3.2.4.6	Ağırlık Tekniği ile Kesme	95
3.2.4.6.1	Ağırlık Metodu ile Oksi-ark Kesmesi ve Yumuşak Çeliğin Kesimi	95
3.2.4.6.1.1	Giriş	95
3.2.4.6.1.2	Deneysel Donanım	96
3.2.4.6.1.3	Değişik Kalınlıktaki Plakaların Kesme Sonuçları	97
3.3	Oksi-Gaz İle Kesme Yöntemi	99
3.3.1	Donanım	99
3.3.2	Deneysel Donanım ve Kullanılan Malzemeler	100
3.3.3	Kullanılan Malzemeler	101

3.3.3.1	Ön Isıtmalı Gaz	101
3.3.4	Oksi-Yakıt (Gaz) Kesmenin Tekniği	102
3.3.5	Kullanılan Yakıtlar	103
3.3.5.1	Hidrojen	103
3.3.5.2	Asetilen	103
3.3.5.3	MAPP Gazı (Metilasetilenpropadin)	104
3.4	Plazma Arkı İle Kesme	104
3.5	Patlayıcı İle Kesme	106
3.6	Termal Mızrak (Isıl Lens) İle Kesme	107
3.7	Mekanik Kesme Yöntemi	108
3.7.1	Pnömatik Sistemler	109
3.7.2	Hidrolik Sistemler	109
3.7.3	Elektrikli Sistemler	109
4.	DALGIÇLAR VE EMNİYET	110
4.1	Problemler ve Ön Tedbirler	110
5.	SU ALTI KESME YÖNTEMLERİNİN AVANTAJLARI	111
6.	SU ALTI KESME YÖNTEMLERİNİN DEZAVANTAJLARI	112
7.	SONUÇLAR	113
8.	Y.T.Ü MAKİNE FAKÜLTESİ İMAL USULLERİ ANA BİLİM DALI LABORATUARINDA YAPILAN PRATİK UYGULAMA ÇALIŞMALARI	114
	KAYNAKLAR	116

ÖNSÖZ

Su altı metal malzemeleri kesme ve kaynak yapma tekniğinin geliştirilmesindeki amaç , açık denizlerdeki petrol aramalarının hızlanması nedeni ile ve son on yıl içerisinde büyük ilerlemeler olmasından kaynaklanmıştır. Bu konuda, sadece petrol aramaları değil, diğer tesis ve onarımlarında su altında gerçekleştirilmesi de önem kazanmıştır. Bu itibarla, su altı kaynağı ve kesme teknolojisi giderek gelişmekte hatta çok derin sularda, insan faktörünü de ortadan kaldırıp, bu işleri robotlar vasıtası ile su altında yapmak için bilim adamları büyük projeler üretmektedirler.

Su altı kaynak ve kesme yöntemlerini içeren bu projenin bana verilmesi ile ülkemizde çok iyi bilinmeyen ve uygulaması çok az olan bu konu oldukça ilginç gelmiştir. Bu nedenle, büyük bir özveri ve merakla çalışmalarımı sürdürdüm. Adı geçen projenin bana verilmesine vesile olan İmal Usulleri Ana Bilim Dalı Başkanı ve Makine Fakültesi Dekanı sayın hocam Prof. Nurullah GÜLTEKİN 'e , ayrıca Tez danışmanım ve çalışmalarında bana yardımcı olan ve beni yönlendiren sayın hocam Yar. Doç. Dr. Müh. Can KARAHASANOĞLU 'na teşekkür ve saygılarımı bütün samimiyetimle arz ederim.

HAZİRAN 1997

Recep KALYONCU
Makina Mühendisi

ÖZET

Bu projede su altında yapılan kaynak ve kesme işlemleri, ele alınmaktadır. Su altında yapılan kaynak ve kesme tekniklerinin geliştirilme amacı, petrol platformları, liman ve dokların inşaat ve onarımlarının yapılması, boru hatlarının döşenmesi ve gemi kurtarma çalışmalarıdır.

Su altı kaynağı 3 şekilde yapılmaktadır ; Yaş, Lokal korumalı ve Kuru ortamlarda yapılan kaynak işlemlerdir.

Tamamen yaş ortamda yapılan kaynak işleminde kaynak ve kaynakçı etrafı çevreleyen su etkisine maruz kalmaktadır. Hareket serbestisi, su altı yaş kaynağı, verimli ve ekonomik su altı kaynak işlemi yapmaktadır. İşlem hızlı ve ucuz yapılabilir, çünkü yardımcı ekipmanların kurulmasına gerek yoktur ve kullanılan ekipmanlar standart kaynak ekipmanlarıdır.

Yaş kaynağın dezavantajı suyun neden olduğu hızlı soğumadır. Bu durum, kaynağın çekme gerilmesini, mukavemetini, ve sertliğini artırır, ancak sürekliliğini ve çarpma mukavemetini azaltır. Ayrıca süngerleşme ve lokal basınç bölgeleri oluşturan hidrojen absorpsiyonuna neden olur.

Diğer bir problem, Kaynak bölgesinin zor görünebilmesi veya hiç görünememesidir. Yaş ortamda kaynak esas olarak metal ark kaynağı olarak icra edilir.

Lokal korumalı kaynak yöntemi, bir koruma ortamı ve bir kaynak elektrodu veya telini içerir. Koruma ortamı arkın stabilitesini ve kaynak potasından ark gazları ile su buharının çıkmasını sağlar. Bu koruma ortamı MIG, TIG, CO₂ ortamları olabileceği gibi plazma ark ve toz altı yöntemi de olabilir.

Plazma ark kaynağında, kolayca üretilebilmekte, suda kararlılığını koruyabilmekte, parçanın üflece uzaklığındaki değişmelere karşı daha az bir duyarlılık göstermektedir.

Toz altı kaynağının amacı, kaynak bölgesindeki soğuma hızını toz ile yavaşlatmak ve kaynağın kırılgenliğini azaltmaktadır. Su altında ise, bu toza viskoziteyi arttırmak için cam suyu katılır. Otomatizasyona uygundur.

Tamamen korunmuş ortamlarda kaynak, yani kuru kaynak işlemi temel olarak, iki şekilde yapılır. Yüksek basınç ortamında yapılan kaynak (hyperbaric) atmosferik basınç altında yapılan kaynaktır. Bu işlemin dezavantajı kurulmak zorunda olunan ek donanımlardır.

Okyanus ve açık denizlerdeki, büyük projelerin yapımında su altı kaynak işleminde olduğu gibi su altı kesme işlemine de ihtiyaç vardır.

Bunlardan bir tanesi olan metal arkı ile kesme yönteminde, su altı metal ark kaynağı ile aynı ekipmanı kullanılır. Farkı daha yüksek akım değerlerine ihtiyaç duyulmasıdır. Kullanılan ekipmanlardan, biri olan örtülü elektrotlar esasen metalik ark elektronlarının benzeridir. İlave olarak suya karşı geçirmez oluşlarıdır.

Diğer bir ekipman ise, MIG usulüdür. Sürekli beslenen kaynak teli ile iş parçası arasında ark oluşurken, telin etrafından yollanan gaz ile koruyucu bir ortamı meydana getirir ve eriyen metal uzaklaştırılır.

Su jeti metodunda ise gaz yerine basınçlı su jeti püskürtülerek ergimiş metalin uzaklaştırılması daha etkin bir şekilde sağlanır.

Su altında kesmede ikinci bir yöntem oksijen ark yöntemidir. Oksijen ark işleminde esas ısı kaynağı olarak bir elektrik arkı kullanılır. Ark, bir oksijen jetinin iş parçasının üflendiği içi boş elektrotun ucundan çıkar. Ark iş parçasını ısıtır. İş parçası da hem ısıya hem de oksidasyona maruz kalır. Oksijen gazı bir egzotermik reaksiyon oluşturur ve daha sonra oksitleri üfleme sureti ile bir kenar yüzeyi meydana getirir.

Oksi gaz yönteminde ise, ark yerine yanıcı bir gazın oksijenle yakılması sonucu oluşan bir ön ısıtma alevi vardır. Yanıcı gaz olarak yaygın bir şekilde hidrojen (10-150 feet derinlikte daha iyi yanar), asetilen (25 feet derinliğe kadar), MAPP_Metil asetilen propadin (çok derin sularda kullanılır) veya propan kullanılır. Sıvı yakıtlı uygulama da yapılmıştır.

Diğer bir yöntem plazma arkı ile kesmedir. Bu yöntemde suya dayanıklı standart plazma elektrot tutucuları kullanılır. Tungsten elektrotla iş parçası arasında ark oluşturulduğunda iyonize olmuş gaz orifisten püskürerek bir plazma jeti meydana getirir. Plazma jeti iş parçasını keser ve bir kenar yüzeyi oluşturur.

Patlayıcılar deniz altındaki kurtarma işlemlerinde yıllardır kullanılmaktadır. En yaygın yöntemlerinden biri kesilmesi gereken bölgeye bağlanılan patlayıcılar ile tahrip işleminin yapılmasıdır.

Termal mızrak veya ısı lens yönteminde, çelik çubuklarla paketlenmiş bir çelik tüpten yararlanır. Oksijen silindirik çubuğun merkezinden dışarı doğru üflenir. Çubuğun egzoz ucu dışarıdan kızıl hale gelinceye kadar ön ısıtmaya tabi tutulur.

Su altı mekanik kesme yöntemlerinde ise, dönel kesiciler, tek uçlu kesiciler veya aşındırıcı taşlama diskleri kullanılmak sureti ile, kesme işlemi gerçekleştirilir. Su altında çalıştırılabilir hale getirilmiş pnömatik, hidrolik veya elektrikli motorlar kullanan bu tip kesicilerle su altı kesme işlemi yıllardır uygulanılarak gerçekleştirilmektedir.

SUMMARY

In this thesis, underwater welding and cutting is studied. These procedures are used for building or repaired petroleum platforms, docks, pipe lines and salvage works.

Underwater welding is performed in three methods; wet, local shielded, completely shielded or dry.

In wet welding; the weld and the welder are exposed to the surrounding water. Freedom of movement makes wet welding efficient and economical. Operation can be carried out faster with lower costs, because there is no need to build accessory settings and the equipments used are standard welding machines.

The disadvantage of wet welding is the rapid quenching of the weld metal caused by the surrounding water. Although this effect increases the tensile strength and hardness of the weld. It also decreases ductility and impact strength and increases porosity and causes hydrogen absorption which produces local pressured zones.

Another problems are limited or no visibility at all and instability of are wet welding is mainly performed as metal are welding.

Local shielded welding contains a shielding effect and an electrode or wire. Shielding environment maintains the stability of are and exhausting of are gases and water from the weld puddle. This shielding effect can be MIG, TIG, CO₂ or plasma arc and powder shielded welding.

In plasma are cutting, arc can be produced easily. It can keep stability, it is not too much sensitive for the gap between torch and workpiece.

The aim in powder shielded welding is to lower the rapid cooling and fragility of weld. In underwater applications in order or increase the viscosity of powder against waves. It is mixed with sodium silicate. This method is suitable for automation.

Completely shielded welding or dry welding is carried out in two ways; in hyperbaric environment and in atmospheric pressure environment. The disadvantage of this procedure is to need additional equipments.

At big projects in oceans and offshore it is needed not only underwater welding. It is needed to the underwater cutting as well.

In metal arc cutting, which is one of underwater cutting methods, the same equipment and consumables as underwater metal arc welding are used. The only difference is that metal arc cutting needs higher current densities. One of these equipment is carried waterproof electrodes.

Another equipment is MIG method. While an arc is maintained between continuously fed weld wire and workpiece, gas which is blew around the wire creates a shielded environment and blows the molten metal out.

In water jet method molten metal is blown out more sufficiently by means of jet instead of gas.

Second procedure in underwater cutting is oxy-arc method. In this method an elektric arc is used as heating source. Oxygen is blown to the workpiece though a tubular electrode which creates arc with workpiece. Arc heats the workpiece, oxygen gas produces an exothermic reaction blows the oxides out and built a kerf.

In oxyfuel cutting, there is no arc a preheating flame which is created by oxygen and a flammable gas instead. Common gases used are hydrogen (burns better between 10-150 feet), acetylene (down to 25 feet), MAPP-Methylacetylenpropadyno (In deep water) or propane. Liquid fuel is also used.

In plasma-arc cutting method, waterproofed standard plasma electrode tungsten electrode and workpiece. Ionized gas is blown through the orifice to form a constricted

plasma jet. Plasma jet melts all material instantly and is blown out of the kerf.

Explosive have been used for many years in underwater salvage operations. The most common technique is to use of contact demolition charges that involve the using of bulk explosives fastened to the structure in questions.

Thermic lance basically consists of a steel tube packed with steel rods. Oxygen is blown through the tube out, the exhaust end of the tube is preheated to read heat.

In underwater mechanic cutting is carried out with rotating cutters, single tip cutters or abrasive discs. This procedure has been used with waterproof pneumatic, hydraulic or electrical motors for long years.





BÖLÜM 1. SUALTINDA KAYNAK

1. GİRİŞ

Sualtı ark kaynağına Birinci Dünya Savaşı sırasında İngiliz donanmasının gemileri üzerindeki geçici onarımlarını yapmak üzere 1917 yılında elektrik ark kaynağı ile başlandı.

Onarımlar gemi gövdesi üzerindeki perçin katoların etrafındaki sızıntıları önlemek amacıyla taşıyordu. 1932 yılında Moskova kaynak laboratuvarında denemeler yapılırken aynı yıl içinde Almanya'da "Dortmund-Noerder Nüttevein" sualtında kullanılacak kaynak elektrotu hakkında, patent almak için müracaat etti. 1933 yılında ise, Wilhelmshafen gemi tersanesinde, dalgıçlar sualtında kaynak işlerine başladılar.

Önce dalgıçlar denizin 4 m. derinliğine inerek normal elektrik ark kaynağı aletlerini tecrübe ettiler. Fakat bu denemeler olumlu sonuç vermedi. Deniz suyunun iyi bir elektrolit ve iletken olmasından dolayı bazı problemler ortaya çıktı. Deniz suyunu iletken olması elektrot tutucusunun ve açık kablo bağlantılarının elektrik akımını iletmesine neden olmaktadır. elektrot tutucusu, dalgıcın madeni başlık veya elbisesine temas ettiği takdirde cereyan çarpma tehlikesi mevcuttur. Deniz suyu kaynak olayı esnasında elektroliz sebebi ile bazı elemanların ayrışma ve toplanmasına neden olur. Bu sebeple, normal elektrik ark kaynağı pensleri 1-2 saatlik çalışma sonunda kullanılmaz hale gelmektedir.

Bu olaylar, sualtında kaynak için özel cihaz ve vasıtaların kullanılması mecburiyetini doğurmuştur. Bu nedenle, yakın zamana kadar su altı kaynağı, kurtarma işlemi, gemilerin onarımı gibi yerlerde kullanılırken son 10 yıl içinde oldukça yaygın bir uygulama haline geldi. Özellikle 1973 yılında petrol ihraç eden ülkeler birliğinin (OPEC) petrol fiyatlarını arttırması kararı nedeni ile, deniz altında petrol ve gaz çıkarılmasına olan ekonomik ilgi arttı, bu da su altı kaynağına olan gereksinimi arttırdı. Çok yakın zamanlara kadar su altında, kaynak yaş ortamda arkın oluşturulması ve devam ettirilmesi şeklinde her türlü ihtiyaca cevap verebilen kaynak yöntemi bundan

böyle kullanılmaz hale gelmiş ve bunun yerine yüksek atmosfer basıncı (HYPER BARIC) altında oda denilen kuru ortamda arkın oluşturulması ile kullanıma geçilmesi yaygın hale gelmiştir. Bu odaların büyüklüğü ihtiyaca göre değişmekle birlikte büyük olanları, kaynakçıların daha rahat çalışmasına ve dinlenmesine imkan vermektedir. Fakat bu odaların su altında kaynakta bütün problemleri hallettiği düşünülmemelidir.

Su altı kaynak teknikleri giderek gelişmekte ve su altında yapılması planlanan projeler artık kolaylıkla uygulama alanına alınmaktadır. Günümüzde, derin sularda yapılan tesislerde kaynak işlemlerini, insan faktörünü ortadan kaldırarak robotlara yaptırmaya başlanılmıştır.



Şekil 1.1 Su altında kaynak yayılışı görülmektedir

2. SU ALTINDA KAYNAK İŞLEMİNİN TEKNİĞİ

Sualtı kaynak işlemleri, günümüzde iyi gelişmiş bir teknik olarak görülmektedir. Genelde su üzerinde (havada) geliştirilen fakat su altı ortamında çalışabilecek şekilde tadilat yapılarak donanım ve metotları uygulama alanına girmiştir. Bu teknikler ve ekipmanlar 200 feet gibi nispeten derin olmayan sularda iş görürler. Derin sularda kullanılacak ekipman ve teknikler henüz tam olarak geliştirilmemiştir. Fakat bu yoldaki gelişmeler, hiç şüphesiz derin sulara uygun donanım, yakıt ve tekniklerin geliştirilmesi ile olumlu bir şekilde sonuçlanacaktır.

Bu konuda, hem kimyasal yakıtlar hem de elektrik arkı su altında gerekli ısıyı üretip, kaynak işleminde kullanırlar, ancak gaz kullanımı tehlikesi nedeni ile, elektrik ark kullanımı daha yaygındır.

2.1 Kaynak Tutucuları ve Elektrotlar

Kaynak işlemi, yumuşak çeliğin su üzerindeki kaynağında kullanılan normal doğru kutuplu bazı elektrotları kullanan elektrik ark metotları ile su altında-yüksek amper gerektirmesine karşın kolayca yapılabilmektedir. Gaz kaynağı su altında yapılmaz.

- **Elektrot Tutucu** : Elektrot tutucu, dalgıca sadece yarım turluk bir dönme hareketi ile kısa sürede çubukların değiştirebilmesine izin verecek bir şekilde imal edilmektedir. Acil durumlarda, normal bir yay tipi elektrot tutucu kullanılabilir, fakat uygun bir izolasyon yapmak güçtür. Bu parça pirinç boru ve bir kaç donanım parçasından kolayca bir tutucu yapılabilir.

- **Elektrotlar** : Metal elektrotlar suya dayanıklı olmalıdırlar. Uçları iş parçası ile iyi bir temas sağlamak için yeteri kadar çıplak metale hafifçe topraklanmalıdır. Pek çok dalgıcın kendi mahalli markalarını tercih etmelerine rağmen, su geçirmez su altı kaynak elektrotları genelde ve sadece 5/32 inch ve 3/16inch ölçülerinde üretilirler.

2.2 Malzemeler ve Donanımı

Gazlar; Oksijen, Hidrojen ve basınçlı hava, üretici firmalar açısından uygun ve standart tüpler, 9 inch iç çapında, 51 inch yüksekliğinde ve yaklaşık 130 libre ağırlığındadır. Tüpler 2100 ile 2250 psi basınçta doldurulurlar ve yaklaşık 244 feet³ gaz içerir. Tanklar her bir imalatçı firma koduna göre renk alırlar. 300 feet³lük bir asetilen tankı 240 lb. gelir ve 20 lb. yakıt içerir. MAPP, sıvı haldedir ve 100 librelük bir tüp 60 libre gaz içerir.

- **Kaynak Çubukları** : Tavsiye edilen kaynak çubukları Tablo 1.1'de liste halindedir. 3/16 inchlik kaynak çubuğun iyi sonuçları verir ve 1/8 veya 5/32 inch'lik çubuğun tercih edildiği hafif levhalar haricinde, mümkün mertebe kullanılmalıdır. Westinghouse, Flexarc SW ve Lincoln Fleetweld 37 çubukları yatay, dikey ve üstten kaynakta iyi sonuçlar verir. Amerikan Kaynak Kurumu (American Welding Society) E-6013 sınıfındaki diğer çubukların çoğu, yatay ve dikey konumlarda başarılı olduklarını kanıtlamışlardır. Tablo 1.2 yedek-diğer çubukları göstermektedir. Kaynak elektrotu su geçirmezlik çözeltileri şellak : 30 L 2093 uygundur. Asetonda çözülmüş selüloit (1/2 libre 1 galon) mükemmel olarak suya dayanıklı bileşim oluşturur. Kısa süreli su altında kalmalar için sadece bir defa daldırma yeterli olmasına karşın, bütün çubuklar 2 defa daldırılmaları uygundur. Herhangi bir mederan plastik sprey veya temiz vernik de aynı işi görür.

Tablo 2.1 Önerilmiş kaynak çubukları

Elektrot	Ölçü (inç)	Kaynak pozisyonu	Akım (A)	12 inç'in yanması için zaman (sn)
Westinghouse Flexarc SW	5/32	H	170-210	56-44
		V	170-210	56-44
		OH	170-190	56-50
	3/16	H	220-260	59-50
		V	220-260	59-50
		OH	190-210	66-61
Lincoln Fleetweld 37	3/16	H	220-260	60-49
		V	220-260	60-49
		OH	200-220	66-60

Tablo 2.2 Sualtı kaynağı için yedek kaynak çubukları

Elektrot	Ölçü (inç)	Kaynak pozisyonu	Akım (A)	12 inç'in yanması için zaman (sn)
A.O.Smithweld 15	3/16	H	220-260	55-45
		V	220-260	55-45
Metal and Thermit Murex Alternex	1/4	H	250-290	86-77
	3/16	V	210-250	55-45
		OH	210-250	55-45
Hollup Sureweld C	1/4	H	190-210	60-55
	3/16	H	230-270	90-73
Reid-Avery RACO 7		V	200-240	83-73
	1/4	H	200-240	83-73
3/16		V	210-230	74-65
	Metal and Thermit Morex Type A	H	210-230	74-65
General Electric G.E. W-25		V	200-240	55-49
	OH	200-240	61-57	
	H	170-190	61-57	
3/16	V	180-220	61-51	
	V	180-220	61-51	

Acil durumda, boya, cila veya şellak da kullanılabilir. Çubukları suya dayanıklı yapmanın en iyi yolu dahi, uzun süreli su altında kalmaya karşı tam koruma yaparız. Dalgıç yanında sadece 30 dakika içerisinde kullanılabilen miktarda çubuk taşınmalıdır. Çubukların dalgıca hızla ve dalgıcın küçük bir hareketi ile olabileceği bir şekilde planlanması gerekmektedir.

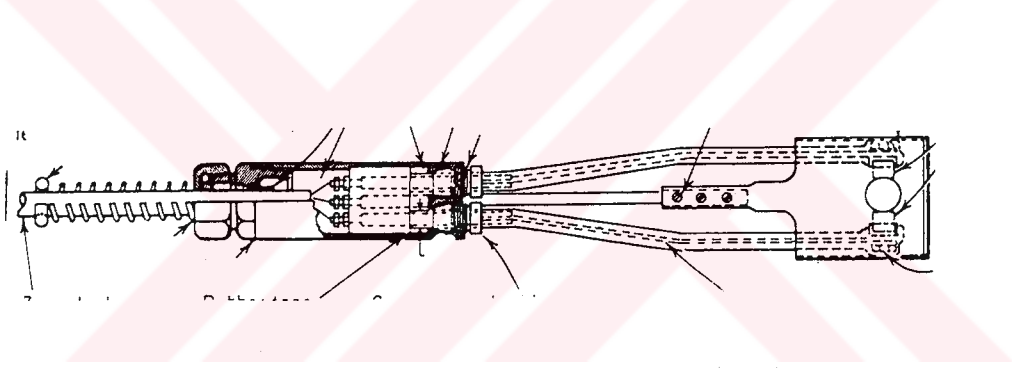
- **Akım Kaynağı** : Kaynak işlemi yapmak için tipik bir akım kaynağı bir standart kaynak makinesidir. Derinlik bir noktaya kadar, akım sağlayan jeneratör kapasitesini belirler. 200 feet'e kadar olan derinlikler için 300 A DC akımı genellikle yeterlidir. Bu derinliğin altında ise jeneratör kapasitesi en az 350-400 A olmalıdır. Artan derinlik için daha fazla kablo eklendiğinden, kablonun artan direncini ve bağlantılardaki ek voltaj kayıplarını telafi etmek için voltaj arttırılmalıdır. AC akımı ise yaklaşık %10 arttırılmalıdır. Çünkü ark saniyede 120 kez söner ve bu da dengelemeyi arttırır. İlk etütten sonra ekipman, personel, gerekli gaz, çubuk ve ilgili donanımın temini gibi konular planlanmalıdır.

2.3 Çeşitli Ekipman ve Teçhizatlar

Kaynak makinesine ek olarak, üfleçlere, hortumlara, kaynak kablolarına, oksijen, yakıt ve diğer teçhizatlara ihtiyaç vardır.

- **Manifoldlar** : Yakıt ve oksijenin hızlı harcanmasından dolayı, genellikle kesintisiz bir gaz akışı sağlamak için manifoldlar vasıtası ile birbirine set halinde bağlı 3-5 tüp yakıt ve oksijene ihtiyaç duyulur.

- **Su Altı Lambaları** : Bir gaz lambası aydınlatma yapsa da, dalgıcın bir su altı lambası olmalıdır. Çünkü üfleç pek çok kez söner ve onu tekrar yakabilmek için çok vakit kaybedilir. Tipik bir aydınlatıcı Şekil 1.2'de görülmektedir.



Şekil 1.2 Tipik su altı aydınlatma lambası

- **Kaynak Yüz Levhaları** : Bir 6 veya 8 numaralı kaynak camı, çok temiz sularda dalgıcın gözünü korumak için gereklidir. Görünürlüğün düşük olduğu sularda buna ihtiyaç yoktur.

- **C, Kelepçeler**: Kabloları iş parçasına topraklamak ve dalma cihazlarını tutmak için gereklidir.

- **Emniyet Anahtarı** : En az 200 Amperlik bir emniyet anahtarı olmalıdır. Dalgıcın isteğine göre kolayca açılıp kapanabilmesi açısından kaynak makinesi ile üfleç arasında uygun bir yere takılmalıdır.

2.4 Kaynak Uygulamaları ve Önlemleri

Gemilerde onarım amaçlı su altı kaynak işlemleri normalde sadece yarı kalıcı bir özelliğe sahiptir. Dalgalı suda gemiler esner ve çok hızlı soğuma sebebi ile, su altı kaynakları mukavemetlerinin %50 'sini kaybederler. Bu nedenle bu tür kaynaklar sadece geçici onarımlar olarak kabul edilmeli ve gemi karaya çıkarıldığında değiştirilmelidir. Bununla birlikte uygun kaynak yapıldığında çelik yapılara ve levhalara yapılan parça yamalar pek çok uygulama için kalıcı bir onarım olarak kabul edilebilir. Küçük çatlakların ilerlemesini önlemek için, çatlağın her iki ucu delinmeli ve üzerine levha kaplanmalıdır. Sızdıran perçinler ve küçük deliklerin üzerleri kaynak yapılabilir.

Daha küçük levhalar dalgalı denize maruz kaldıklarında bozulmalarına karşın 10x20 feet'lik çelik levhalar gemilere başarı ile kaynak edilmekte ve muhafaza edilebilmektedir. En iyisi, kaynak işlemini başta bazı birleştirme usulleri ile, cıvata gibi bağlantılarla birlikte uygulamaktır. Kaynağın yırtılmasını önlemek için bu gibi yakın bir bağlantı şarttır. 1/16 inch'in üzerindeki bir boşluğa izin verilmez. Çok acil durumlarda 1/8 inch'lik boşluklar çubuğu normalden daha hızlı beslemek sureti ile dolgu yapılmalıdır. Bu metot genellikle boşluğu doldurur ancak, kırılmaya veya yırtılmaya maruz kalarak zayıf bağlantılara neden olur. Daha zayıf bir ilk birleştirme, daha etkisiz bir kaynağın yapılmasına (ne kadar ustaca yapılmış olur ise olsun) sebebiyet verir.

Yapılan testler göstermektedir ki, tavsiye edilen 3/16 inch elektrot kullanıldığında ve kaynaklar 3/16 inch ölçüsünde iş parçasına yatay pozisyonda doldurulduğunda, 1 inch'lik düz çizgi kaynak boyunca yaklaşık 10.000 lb. mukavemete sahip olmaktadır. Belirli bir statik yükü taşıyacak bir kaynağın uzunluğunu hesaplariken, emniyet faktörü katsayısı 6 olarak alınmalıdır. Tablo 2.3

Tablo 2.3 Tipik kaynak gerilmeleri

Elektrot ölçüsü (inç)	Paso sayısı	Mukavemet (lb/lin.inç)	Hesaplama da kullanılacak mukavemet (emniyet faktörü 6)
5/32	3	12000	2000 (padeye için 1400) lb
3/16	1	10000	1600 (padeye için 1000) lb

Kaldırılacak ağır bir cisme, padeye eklendiğinde, padeye kaynağı, çekme doğrultusu ne olursa olsun kaynağın yırtılmasını önleyecek güçte olmalıdır.

2.5 Teknik

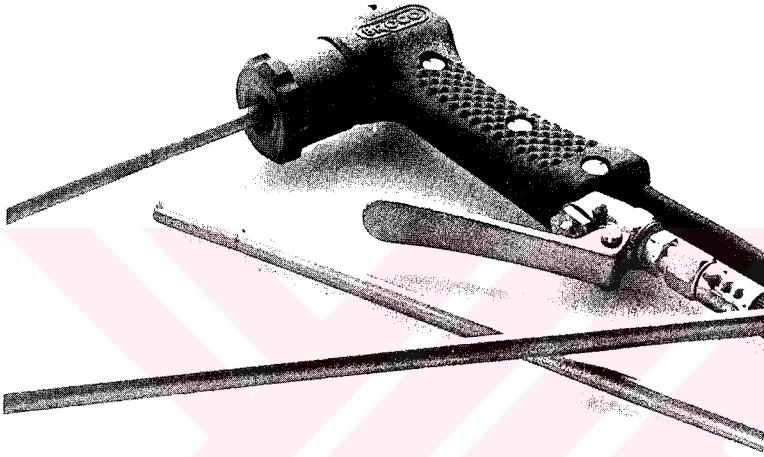
Su altı kaynağında en kolay ve en uygun teknikle otomatik beslemeli yani (self-consuming) kendiliğinden elektrotu harcayan bir usuldür. Bu metotla dalgıç kaynak elektrotunun ucunu iş parçasının karşısına yerleştirir ve 30 derecelik bir açı verir. (Dalgıcın tercihinine ve kullanılan çubuğun tipine göre bu açı 15°-45° arasında değişebilir). Dalgıç daha sonra akımı verir ve ark oluştuktan sonra çubuğun kendi kendine harcanması amacı ile hafif bir basınç uygular çubuk harcandığı sürece aynı açı muhafaza edilir.

Dikey bir kaynak için, dalgıç üstten başlar ve aşağıya doğru iner. Normal olarak yatay bir kaynaktan biraz daha düşük akım gereklidir. Üstten kaynak için izin verilebilir akım aralığı çok dardır. Aşırı bir akım kaynak boncuklarının damlamasına neden olur veya hiç boncuk (billur) oluşmaz.

Bütün su altı kaynakları, dalgıca sınırlı görüş olan yerlere çubuğu bükmeden koruyacak bir rehber vermek amacı ile doldurma tipi yapılır. Kaynağa başlamadan önce iş parçası tamamen temizlenmelidir. Şayet birden fazla paso atılacaksa ikinci paso yapılmadan önce bir önceki paso temizlenmelidir.

- **Akım Gereksinimleri** : Su altı kaynağı için gerekli olan amperaj, atmosferdekine oranla daha yüksektir ve özellikle dikey ve üstten pozisyonlarda uygun akımlar kritiktir.

Akımı dzenlemek için uygun bir ölüm aleti yoksa deneysel olarak tavsiye edilen 12 inch'lik elektrot için yanma zamanına ulaşincaya kadar akım ayarlanabilir. Tablo 1.1'de yatay, dikey ve üstten kaynak için tavsiye edilen akım değerlerini, Tablo 1.2 ise yedek çubukları ve tavsiye edilen akımları vermektedir.



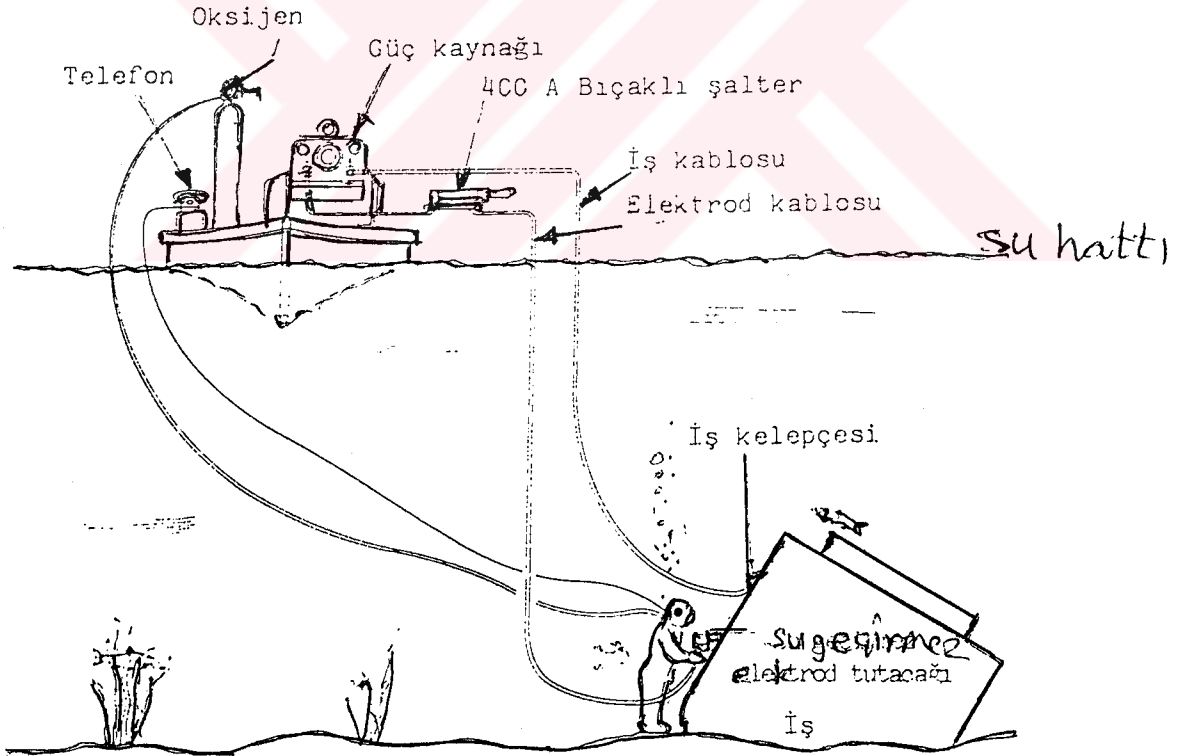
Şekil 2.3 rtl elektrot ve tutucusu

3. SU ALTI KAYNAK YÖNTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Elektrik ark kaynağı ile başlayan su altı kaynak usulleri çeşitli kaynak metotlarının geliştirilmesi ile oldukça ileri bir safhaya gelinmiştir. Günümüzde su altı kaynağında kullanılan kaynak yöntemleri ise aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır :

3.1 Tamamen Yaş Ortamda Yapılan Kaynak

Metal Ark Kaynağı : Genelde yaş ortamda elle yapılan metal ark kaynağı suya karşı mukavim, örtülü elektrot kullanılarak gerek ark ve gerekse kaynakçının su içinde bulunarak uygulanan kaynak yapım biçimidir. 50 m. derinliğe kadar kolay ekonomik bir çözüm olan bu usulde basit ekipman kullanılarak su altı tesislerinin birçok parçasına kolaylıkla uygulanabilmektedir.



Şekil 3.1 Su altında metal ark kaynağı işleminin şematik gösterimi

Bu yöntemde kaynakçı, aynı zamanda dalgıç su altında arkı tutmaz. Bunun

yerine bağlantı kısmına elektrotu yerleştirir, akım verir bu esnada elektrot uygun basınç ve açıda tutulur ve elektrot kendi kendine tükenir. Kaynakçı için hazırlanmış oluk olmaksızın düz bir paso atmak imkansızdır. Çok paso yapmak mümkündür. Fakat iki veya üçüncü pasodan sonra kaynak ağzı taşmakta ve oluk formu bozulduğu için kararsız hale gelmektedir.

Yaş ortamda yapılan elektrik ark kaynağının kullanım alanları ise; sızdırma çatlakları, su altındaki gemi gövdelerinde meydana gelen aralıklar, liman ile köprü ayağı ve platform tesislerinde, sahil tesislerinde, çelik levha kazıklarının tamiri gibi alanlarda uygulama yapılır.

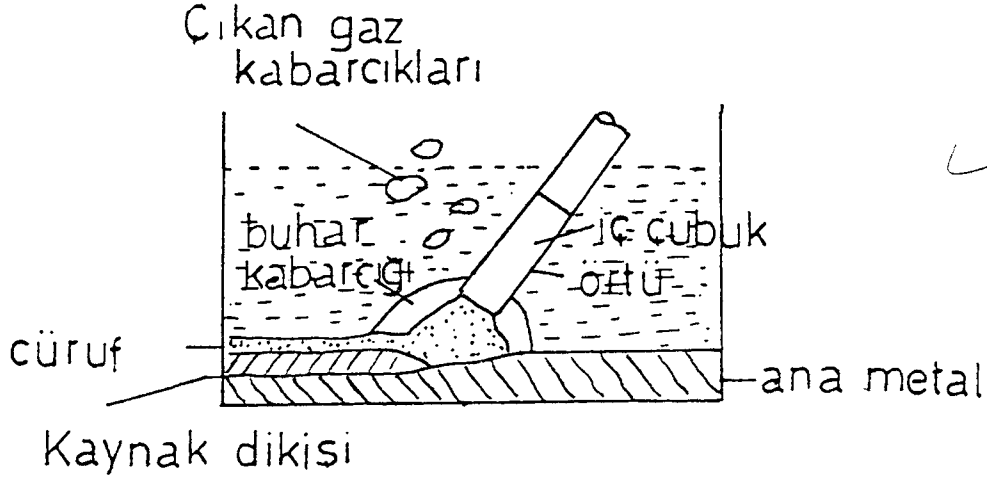
3.1.1 Karşılaşılan Sorunlar

Havada yapılan kaynağa göre su altında yapılan kaynak işleminde aşağıdaki problemlerle karşılaşılır :

- I - Kaynakçı (Dalgıç) sorunu : kaynak işlemini yapan eleman bir basınç altında çalıştığı için hareket kabiliyeti zordur.
- II - Meydana gelen gaz kabarcıkları nedeni ile ve ışık yetersizliği sebebi ile de görüş azlığı vardır.
- III - Arkın kararsızlığı ve sık sık dönmesi
- IV - Kaynak bölgesinin havadakine göre 15 defa daha çabuk soğuması ve dolayısı ile sert ve gevrek bir yapı oluşmasına neden olur.
- V - Yüksek sıcaklıkta arkın etrafında ayrışan ve iyonize olmuş gazlardan çıkan hidrojen ve bu hidrojen erimiş haldeki metal tarafından absorbe (bünyesine alma) edilir. 100 gr kaynak metali içinde 60 ml. hidrojenin absorbe edilmesini karşılamaktadır. Katılma sonucu kaynak dikişi üzerinde biriken moleküller hidrojen yerel basınçlar meydana getirir.

Her iki nedenle yani hızlı soğuma neticesinde yapıdaki sertleşme ve hidrojen

birikmesi sebebi ile kaynaktan sonra görülen ve soğuk adı verilen çatlaklar meydana gelir.



Şekil 3.2 Elektrik ark kaynağı ile elle yapılan kaymakta kaynak noktasının şematik şekli

3.1.2 Donanım : Metal arka yapılan su altı yaş kaynağı için gerekli olan teçhizat aşağıda açıklanmıştır :

- I - 300 Amperlik motor ile tahrikli jeneratör veya doğru akım (DC) transformatörü,
- II - 300 Amper kapasiteye göre tasarımı yapılmış ve yalıtılmış elektrot tutucusu (pens),
- III - 300 Amperlik topraklama maşası,
- IV - 600 Amper tek veya çift taraflı emniyet anahtarı,
- V - Yetecek uzunlukta kaynak ve topraklama kablosu,
- VI - Dalış kaskı için koruyucu yüz lensi (mercek),

Topraklama maşası, işlemi kesmeyen ve kaynağı en yakın noktaya yerleştirilir. Kaynakçı daima zeminle yüz yüzedir ve böylece vücudunu elektrot ve zemin arasındaki akımdan korur. Emniyet anahtarı ile su altından yukarıdaki kaynak makinesinde kumanda edilebilecek şekilde olmalıdır. Anahtar kaynak makinesi ve kaynak iğnesi arasına yerleştirilmelidir. elektrot tutucuları suya karşı çok iyi yalıtılmış olmalıdır. Normal örtülü elektrot kullanıldığı takdirde kısa bir süre sonra elektrot çözülür ve

çıplak duruma geçer. Bu da elektroliz olayı sonucunda bir takım gaz kabarcıklarının meydana gelmesine sebep olur.

Kaynak devresindeki tüm bağlantılar metal parçaları ile suyun temas haline geçmemesi için tamamen yalıtılmalıdır. Şayet yalıtımda deniz suyuna kaçak var ise metal iletkenle temas haline geçecek akım azalacak ve ark erimeyecektir. Buna ek olarak bakır kablonun kaçak yerinde elektroliz nedeni ile hızlı bir bozulma meydana gelecektir.

- **Elektrotlar** : Su altı kaynak yapımında kullanılacak elektrotların yapılarındaki sahip olması gereken özellikleri :

- I - Çatlamaya karşı dayanıklı olmak ve büzülme nedeni ile çatlama meydana gelmesi istenmez,
- II - Suda sertleşmemelidir,
- III - Su altındaki bütün kaynak biçimleri için kullanılabilirler,
- IV - elektrot örtüsü klor iyonunun etkisi ile bozulmamalıdır,
- V - Korumucu örtü, suyu, kaynakçının görüşüne mani olacak kadar olmamalıdır,
- VI - Arkın tutuşması esnasında örtünün, parçaya çarparak dağılmaması için elastiki olmalıdır.

3.1.3 Yumuşak Çelik Elektrotlar

Su altında kaynak yapımı için en iyi kaynak özelliğine sahip elektrot olarak E 6013 yumuşak çelik elektrotu imal edilmiştir. Karbon eşdeğeri (CE)'nin 0.40'dan düşük olduğu çelik esas (ana) malzemesi üzerinde en iyi yaş kaynak E 6013 elektrotu ile yapılmaktadır.

$$CE = C + \frac{M}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (3.1)$$

Tablo 3.1'de yumuşak çelik elektrotlar ile yapılan deneylerin sonuçlarını özetlemektedir. Karbon eşdeğeri 0.40'dan fazla olan çeliklerde yapılan deneylerde çatlamlar görülmektedir. Fakat karbon eşdeğeri 0.40'dan düşük olan çeliklerde yapılan deneylerin neticesinde çatlak görülmemiştir. Yumuşak çelik elektrotlarla yaş kaynak edilen karbon eşdeğeri 0.40'dan fazla olan çelikler yapılan testlerde hidrojenin neden olduğu çatlaklara maruz kalmaktadırlar. Yaş kaynaktaki sorun ise çevreleyen suyun her pasoyu hızlı bir şekilde soğutmasıdır. Bu tip bir çatlak Şekil 3.3'te gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Yumuşak çelik elektrotların parametreleri (özellikleri)

Test number	Material spec.	Parent metal carbon equiv.	Maximum VHN HAZ hardness	Maximum Rockwell C hardness	Ultimate tensile strength, ksi	Failure location*	Location of any cracks	Restraint	Porosity level	Remarks
1-4	A283C	0.385	401	27.8	70.5	WM		Yes	Fair	
1-5	A283C	0.385	401	34.0	69.0	PL		Yes	Fair	
2-630C	A283C	0.306	369	26.5	64.7	WM		No	Excessive	
2-625C	A283C	0.306	313	23.0	59.3	WM		No	Excessive	102ft
3-672C	A283C	0.355	408	<20				Yes	Fair	
3-672C	A36	0.455	446		56.1	WM	HAZ	Yes	Fair	
H-747C	A36	0.480	427	43.0	58.6	WM		No	Fair	63ft
4-751C	A283C	0.306	374	<20	65.6	WM		No	Fair	
4-752C	A283C	0.306	336	22.5	65.8	PL		No	Fair	
6-866C	A442-60	0.382	343	25.5	62.3	WM		Yes	Fair	
10-35D	A442-60	0.382	390	32.0	70.7	PL		Yes	Good	
14-140D	A283C	0.313	389	29.5	63.0	PL		Yes	Good	
14-141D	A442-60	0.392	374	30.0	70.7	PL		Yes	Fair	
15-173D	A515-70	0.445	445	44.9	65.4	WM	HAZ	Yes	Fair	
15-174D	A283C	0.303	349	<20	63.6	PL		Yes	Fair	
17-287D	A283C	0.288	355	25.0	58.0	WM		Yes	Excessive	166ft
18-286D	A515-70	0.445	472	43.5	66.8	WM	HAZ	Yes	Fair	
20-357D	A283C	0.303	370	22.5				No	Fair	
21-420D	A36	0.309	356	23.0				No	Fair	
34-570D	A283C	0.318	354	32.0				Yes	Excessive	
35-733D	A36	0.309	400	27.0	69.9	PL		No	Fair	Vertical
35-733D	A36	0.309	379	29.5	67.2	WM		No	Fair	Horizontal
35-733D	A36	0.309	405	21.0	68.0	WM		No	Fair	Overhead
35-734D	A36	0.309	405	34.0	66.4	WM		No	Fair	Vertical
35-734D	A36	0.309	404	28.0	71.3	WM		No	Fair	Horizontal
35-734D	A36	0.309	385	26.0	68.3	WM		No	Fair	Overhead
36-732D	A36	0.309			65.3	WM		No	Excessive	Yield = 62.4ksi
37-735D	A36	0.379	419	36.0				No		Cruciform - vertical
37-736D	A36	0.379	455	29.5				No		Cruciform - vertical
37-736D	A36	0.379	432	36.0				No		Cruciform - horizontal
37-736D	A36	0.379	430	36.6				No		Cruciform - overhead
38-737D	A36	0.395	425	34.5	68.5			No		Cruciform - vertical and overhead
38-738D	A36	0.395	427	37.0	68.0	PL		No		Cruciform - vertical and overhead
39-739D	MS pipe	0.186	208	<20				Yes		
47-151E	Pipe	0.438	469	38.5				Yes		
56-389E	A515-60	0.329	300	23.0	67.1	WM	HAZ	No	Fair	
58-830E	A36	0.364	379	24.0				Yes		Hot tap
60-878E	A36	0.363	452	38.0				Yes		Lap weld - pressurised pipe
69-248F	X-60	0.393	407	37.5	74.5	WM		Yes	Fair	All position - pipe butt weld
71-208F	Corten A	0.435	381	31.3	76.6	WM		No	Fair	
74-973C	A283C	0.290	344	26.0				Yes	Excessive	
77-544F	A36	0.426	466	42.2	53.0	WM	HAZ	No		
78-543F	A283C		380	27.9	63.8	PL		No	Good	
84-715G	A537A	0.428	394	35.0	70.0	WM	HAZ	Yes	Fair	100ft
85-716G	A537A	0.428	416	36.0	66.5	WM	HAZ	Yes	Fair	150ft

* WM = weld metal
PL = plate



Şekil 3.3 Yumuşak çelik elektrot ile yapılan kaynakta, hidrojenin neden olduğu çatlak

Yumuşak çelik yaş kaynağı, kuru ortam kaynağından daha çok boşluk (gözenek) oranına sahiptir. Fakat dağılımı düzgündür. Böylece enine azaltılmış kesit gerilme sonuçları CE'ri 0.40'dan düşük çeliklerde elde edilmektedir. Azaltılmış kesit gerilme sonuçları Tablo 3.'de gösterilmiştir. Yumuşak çelik yaş kaynağının muayenesinden anlaşılmıştır ki, erimezlik, nüfuziyet eksikliği, kabul edilmeyen cüruf yoktur.

3.1.4 Ostenitik Elektrotlar

Çoğunlukla ostenitik elektrotların kullanımı, yüksek karbon eşdeğerine sahip çelikleri, hidrojenin sebep olduğu paso altı çatlaklardan korur. Ostenitik elektrot ile yapılan bir kaynakta metalin makro yapısı esas ana metalin imali yapılması esnasından gelen büyük miktardaki hidrojeni tutmaya ve paso altı çatlaklarından korumaya sahiptirler. Tablo 3. 2 ostenitik elektrotlarla yapılan deneylerin özetini vermektedir.

Tablo 3.2 Kaynak malzemelerinin vurma sonundaki V çentiği

Welding location	Electrode	Test temp., °F	Energy, ft lb	Lateral expansion, mils	Shear, %
Under water	6013	70	24	44	63
Under water	6013	30	22	29	58
Under water	6013	0	17	24	37
Under water	6013	-30	10	14	15
Dry land	6013	70	59	67	90
Dry land	6013	30	46	50	62
Dry land	6013	0	28	30	35
Dry land	6013	-30	25	29	35
Under water	High nickel	30	61	60	100
Under water	High nickel	-30	54	54	100
Under water	High nickel	-60	61	62	100

Bazı zorlama şartları altında, bazı paslanmaz çelik elektrotlar yayınma bölgesi çatlaklarına maruz kalırlar. Tipik bir yanma bölgesi çatlağı Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Paslanmaz çelik elektrotla yapılan kaynakta yayınma bölgesi çatlağı

Çatlak esas metalin etrafında erime hattına bitişik haldedir. Yanma bölgesi krom ve nikel gibi alaşım elemanlarının yayınmasından oluşur. Bu da hidrojen kırılmasına sebep veren sert bir martenzitik yapıdır. Paslanmaz çelik elektrotlarla yapılan yaş kaynaklar kuru ortamda yapılan kaynağa göre daha fazla boşluğa sahiptirler. Boşluk ince ve iyi bir şekilde dağılmıştır. Kaynakta erimemezlik ile curuf oluşumu yoktur. Yayınma bölgesindeki çatlaklar problemi, elektrot seçimi, düşük zorlama ile birleştirme tasarım kullanımı ve kaynak teknikleri ile kontrol edilmektedir. Yüksek nikelli kaynak deneyleri göstermiştir ki, karbon ve düşük alaşımlı çeliklerde kullanılan bu tip kaynak metali paso altı çatlağı ve yayınma bölge çatlağına hassas olmadıkları görülmüştür.

3.1.5 Arkın Sürekliliğine Tesir Eden Faktörler :

Yaş ortamdaki su altı kaynağında arkın kararsızlığı oldukça sorun yaratmaktadır. Elektrotun izole edilmesi ile arkın sürekliliği artar. Fakat ilave olarak ;

I - Suyun tuzluluk Oranı,

II - Suyun PH oranı arkın sürekliliğine olumsuz yönde etki temektedir. Arkın sürekliliğinde, su içerisinde bulunana iyonların büyük bir rolü vardır. Sodyum ve potasyum iyonları arkın sürekliliğini arttırırken klor arkı söndürmektedir. Tuzlu, asitli ve bazik esashı sularda yapılan denemeler neticesinde şu sonuçlar alınmıştır :

a) Suyun tuzluluğunun Etkisi : sodyum iyonunun etkisine göre klor iyonunun etkisi daha az olması nedeni ile, tuzluluk oranı arttığında, sodyum iyonunun etkisi ile arkın kararlılığı artmaktadır.

b) Bazik (esas) su ortamında yapılan kaynak ile asitli ortamda yapılan kaynak arasında arkın kararlılığı yüzünden oldukça farklı olduğu görülmektedir. NaOH sebebi ile oluşan bazik ortamda sodyum iyonları nedeni ile ark düzenli olmakta, HCl nedeni ile oluşan asitli ortamda klor iyonları sebebi ile de ark düzensiz olmaktadır.

3.1.6 Su Altında Ark Kaynağının Enerji Karakteristikleri :

3.1.6.1 Su Altı Arkının Geometrisi :

Yüksek hız film çekme makinesi kullanarak ~cinematography~ erimiş kaynak metali, kaynak yapılan plakanın kenarına düşen damladan X ışını fotoğrafını alma imkanı vardır. Aynı zamanda, elektrot ve eriyen kaynak banyosunun en dip kısmı arasındaki mesafeyi de ölçme imkanı vardır. Su altında kaynak boyu 2-3 mm.'yi geçmeyen ark ile yapılamaz. Yapılan deneyler, başlangıçtaki maksimum ark boyu 7-8 mm. arasında değişir : ölçümler 73 voltluk devre voltajı ve 250-300 A.'lik kaynak akımında yapılmıştır. Eğer ark boyu artırılır ise kaynağın oluşumu bozulur. Ark kolonunun çapını belirlemek için yapılan deneylerde akım 10-500 A arasında ve 73 V açık devre voltajı olarak uyarlanmıştır. Sabit ark boyu, negatif ve pozitif elektrot için 2 mm.'dir. Deneyde yalnızca ark süresi değiştirilmiştir ve bunun limitleri de 0.014 ve 0.1 saniyedir. Bütün bu limitler içinde, Elektrotun dibi erimeden ve ilk damla düşmeden önce, çapın 1.5 mm. ve 4 mm. arasında değiştiği görülmüştür. Ölçümler daha sonra arkın 0.014-0.024 ve 0.05 saniye kadar yandığı sürelerde yapılmıştır. Baskı çapı daha sonra 1.3 ve 2.15 mm. Arasında değiştirildiği zaman baskı daha derin olur ve Elektrotun sonunda bir oyuk (crater) meydana getirir. Bu arada çap 2.15 mm.'de sabittir.

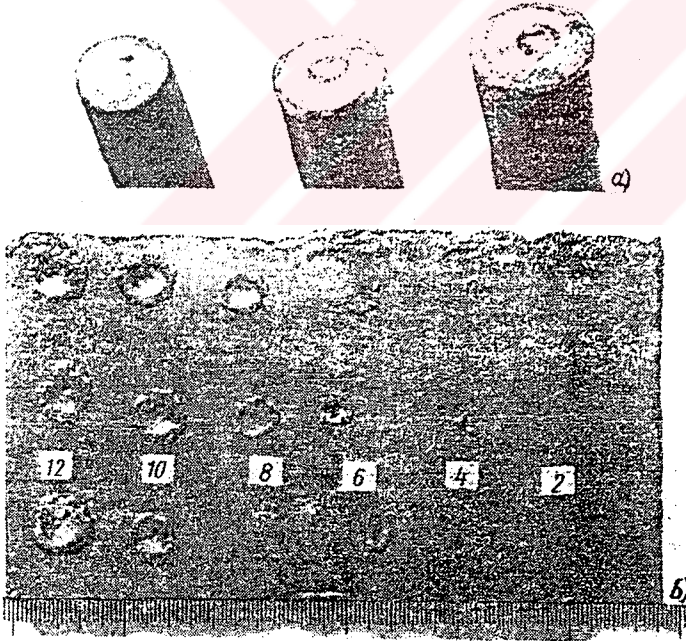
Bu kesitteki bir elektrot, arkın bütün alanı kapsayabilmesi için daha büyük bir akım gerektirir. Elektrotun daha fazla eritilmesi arkın, elektrot ucunda dağılır.

Farklı kutuplar kullanıldığında plaka üzerindeki baskıyı mukayese ederek ve bunları elektrot sonundaki baskı ile karşılaştırarak ark kolonunun, kaynak çubuk elektrot yapıldığı zaman bir silindir olarak ele alınması ve kaynak 1.2 mm.'lik (Tablo 3.3) bir ince tel ile yapıldığında, tabanı iş parçası üzerinde üst kısmı kesilmiş bir koni olarak göz önüne alınması gerekir. 4 mm. çaplı elektrot ve 1.2 mm. çaplı ince tel ile kaynak yapıldığında, elde edilen ölçümlerden ark kolonu çapı ve arasındaki ilişki $d = A\sqrt{I}$ şeklinde ifade edilebilir. Bu ifade teorik ve deneysel çalışmaları doğrular. Genel A katsayısı 0.11 alındığında ilişki tatmin edici sonuçlar verir.

Böylece su altı arkı belli şartlar altında iki çeşit baskı altında kalabilir; hidrojenin soğuma etkisi ve sıvı kolonun basıncı ve bir sıkıştırmadır. Voltaj-akım karakteristik eğrisi su altı arkı için konkavdır.

Tablo 3.3 Akım büyüklüğü ile ark baskı çapının değişimi

Akım (A)	Baskı çapı (mm)		Ark kolonu çapı (mm)	
	Elektrod	İnce tel	Ref.2'den	A=0.11 iken
100	1.0	1.1	1.0	1.1
200	1.2	1.5	1.41	1.55
300	1.9	2.2	1.73	1.8
400	2.1	-	-	2.2
500	2.4	-	2.0	2.42



Şekil 3.5 Arkın plaka üzerinde ve elektrotun ucunda bıraktığı baskı izleri
a) $\phi 6$ mm elektrot b) $\phi 3$ mm çelik plaka

3.1.6.2 Su Altı Kaynak Arkında voltaj Dağılımı :

Ark boyunun ölçümünde, kaynak boyunca ve ince tel Elektrotlar kullanılmıştır. Ölçümler tatlı ve tuzlu suda farklı akım kutuplarında yapılmıştır. Bu ölçümler, ölçü tespitlerinin bir grafik ve analitik (çözümleyici) metotla yapılmasını sağlamıştır. Ölçümler neticesi göstermiştir ki, çubuk ve tel elektrot ile yapılan su altı kaynağında, Elektrotun yanındaki bölgenin ve ark kolonunun meyil derecesi ~gradient~ su altı kaynağında farklıdır. Katot üzerinden yapılan Elektrotun akmasındaki (emisyonundaki) farklı şartlardan ileri gelir. İnce tel kullanılması halinde, yüksek akım yoğunluğu nedeni ile, büyük ısı toplanması (konsantrasyonu) ve dolayısı ile ark kolonunun yüksek iletkenliği, arkın potansiyel eğilimini akım ve ark boyunun değişmesi ile değişir. Ark kolonunun potansiyel eğilim derecesinin değişmesi farklı boydaki ark boşlukları için belli aralıktaki akımla sınırlı, su altı kaynağının bir karakteristiğidir. Bu, hidrojenin ark içine sızması ve hızlı soğumayla sonuçlanan değişimdir. Hidrojenin sızması boşluk 3mm.'den fazla olduğu zaman kolonda hidrojenin hareket etmesi için yer bulması gerçeğine dayanır. Eğer ark boşluğu küçükse, yer kısıtlaması hidrojenin de iyonize etkisini azaltır.

Hareket eden arkın enerji karakteristikleri yüksek hız X ışını cinphotography ile incelen işi zaman elektroda yakın bölgelerin voltajı ve ark kolonunun potansiyel eğilim derecesini kaydetmek mümkündür. Bunlar 34.5 V. ve 4.8 V/mm.'dir.

Akım anlayışına uygun olarak, elektroda yakın bölgelerin voltajı Amper başına üretilen enerji dengesinden de hesaplamak mümkündür.

$$Q_m + Q_v = V_k - \phi \quad (3.2)$$

$$Q_m + Q_v = V_a - \phi \quad (3.3)$$

Q_m = Erime esnasında tüketilen enerji Q_v = Buharlaştırma esnasında tüketilen enerji

V_k = Katot voltajı V_a = Anot voltajı ϕ = Çalışma fonksiyonu

Yukarıdaki eşitlikler V_k ve V_a burada çözülür ise ;

$$V_k = Q_m + Q_v + \varphi \quad (3.4)$$

$$V_a = Q_m + Q_v - \varphi \quad (3.5)$$

Elektrotlardan sonraki bölgelerde üretilen ve erime sırasında tüketilen enerji aşağıdaki ifade ile bulunabilir :

$$Q_m = A \times K_m \quad (3.6)$$

A = Bir katsayı olup değeri 0.575

K_m = Elektrot malzemesinin erime katsayısı

Su altındaki kaynaқта ısı işlemler sınırlıdır (localized) ve çubuk Elektrotlar kullanıldığı zaman, bunlar pratik amaçlar için soğuk kalmaktadırlar ve ince tel Elektrotlar kullanıldığı zaman ise kabartı 12-15 mm.'den fazla değildir. Bu yüzden Elektrotun yan yüzeylerinden ısı yayılımıla harcanan enerji dikkate alınamayacak kadar küçüktür.

Bu konuda bilim adamlarına göre Elektrotlar buharlaşırken harcanan enerji şu formül ile bulunabilir.

$$Q_v \cong 0.06 \times K_m \frac{W_k - q}{\mu} \quad (3.7)$$

W_k = Kristal kafasının bağlayıcı enerjisi

q = Eriyen metalin ısı içeriği (1.14×10^8 J/k mol)

μ = elektrot metalinin atomik ağırlığı (55.85 Demir için)

Elektrot malzemesinin kilo mol başına, kristal kafası bağlayıcı enerjisi, katı halden gaz haline geçme (sublimation) ve iyonizasyon enerjileri toplamına eşittir.

$$W_k = W_s + W_i \quad (3.8)$$

Alıcı ;

$$W_s = 9.4 \times 10^4 \times T_v, \text{ J/kmol}$$

$$W_i = 9.65 \times 10^7 U_i, \text{ J/kmol}$$

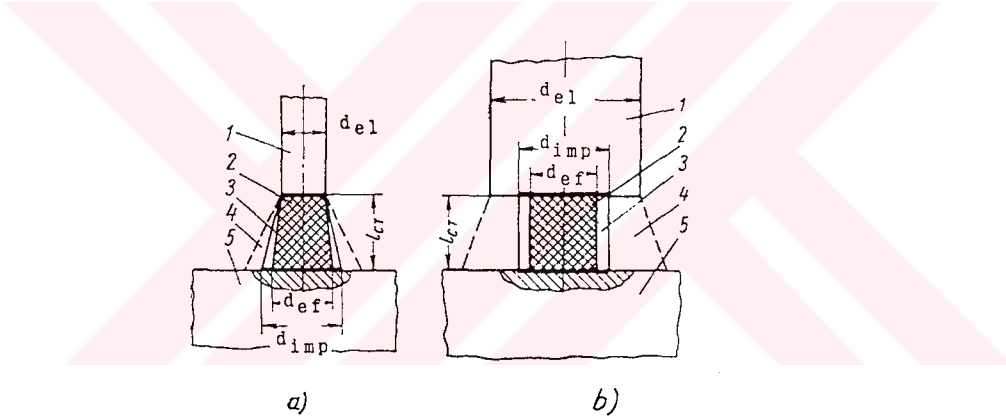
$$T_v = 3013^\circ\text{K}$$

$$U_i = 7.83 \text{ V}$$

Bu değerleri eşitlikte yerine koyarak demir elektronlarının buharlaşma esnasında harcanan enerjisi basit olarak aşağıdaki eşitlikle bulunabilir.

$$Q_v = 0.99 \times 10^6 \text{ Km} \quad (3.9)$$

$\text{Km} = \text{kg} / \text{A saniye}$



Şekil 3.6 Ark kolonunun hesabı için diyagramlar

a) İnce tel elektrotla kaynak b) Çubuk elektrotla kaynak

- 1) Elektrot 2) Ark kolonunun etkili bölgesi 3) Elektriksel iletken bölge
4) Corona 5) İş parçası

3.1.6.3 Su Altı Kaynağında Ark Kolonu Sıcaklığı

Su altı kaynağında ark kolonunun sıcaklığını, doğrudan ölçmek çok zor olması nedeni ile, bu ölçüm (değer) hesap ve deneylerden elde edilen sonuçlar yardımı ile

hesaplanabilir. Hesaplamalarda, arkın yan yüzeyleri boyunca radyasyon enerjisini kaybettiği varsayılmıştır. Halbuki bir kaynak arkı tamamen kara cisim olarak göz önüne alınmaz. Çünkü uzun dalgalara çevrilir. Bu nedenle, arkın yayınma gücünü hesaplayabilmek için bir katsayı ele almak icab eder. Bu katsayı ***** =0.6 olarak kabul edilebilir. Stefan-Boltzmann Kanununa uygun olarak ark kolonunun sıcaklığı aşağıdaki formül ile bulunabilir :

$$T^4 = \frac{I \cdot E \cdot I_{ac}}{\alpha \cdot \sigma \cdot F} \quad (3.10)$$

I_{ac} = Ark boyu (cm)

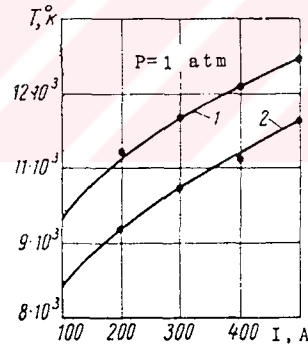
α = Absorbsiyon katsayısı

T = Ark kolonunun sıcaklığı

F = Radyasyon Yüzeyi (cm²)

IE = 1 cm. uzunluğundaki kolonun radyasyon gücü

σ = Stefan-Boltzmann



Şekil 3.7 Ark kolonunun sıcaklığının ark akımı ile değişimi

$$T = \sqrt[4]{\frac{I \cdot E \cdot I_{ac}}{\alpha \cdot \sigma \cdot F}} = \sqrt[4]{\frac{I \cdot E}{\alpha \cdot \sigma \cdot \pi \cdot d_{ef}}} \quad (3.11)$$

$$d_{ef} = \text{çubuk elektrot çapı} \quad F = \frac{d_{ef}^2}{4}$$

3.1.7 Uygulama Örneği

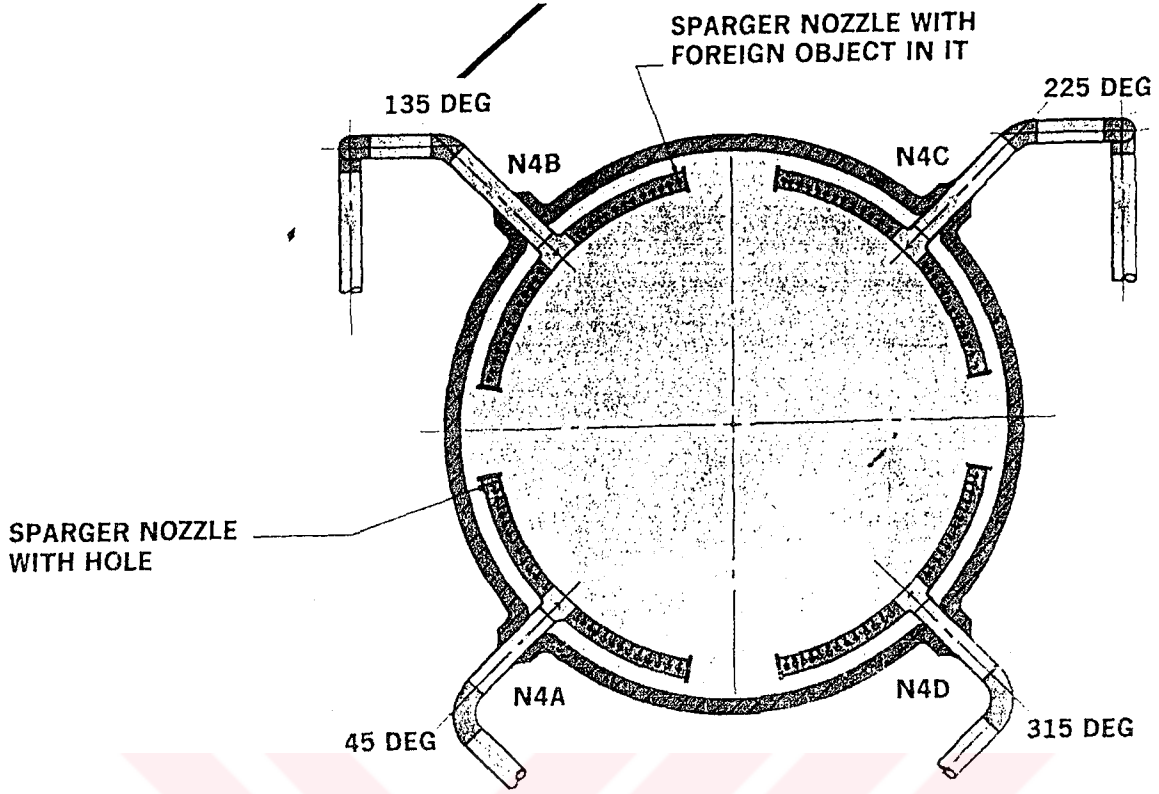
3.1.7.1 Besleme Suyu Püskürtme Borusunun Yaş Su Altı Kaynağı İle Onarımı

İkinci olarak yeniden doldurma zaiyatı River Bend Station istasyonunda 15 Mart 1989'da meydana geldi. Zaiyat sırasında, inceleme grubu besleme suyu püskürtücülerine genel bir su altı, gözle inceleme işlemi yaptı ve hasarlı bir nozul (meme) bulundu. Daha detaylı bir inceleme ise nozul püskürtme borusunda yabancı bir cisim varlığına ve cismin bir kısmının nozulun bir kısmını ve borusunun bir parçasında gerip şişirdiği ortaya çıkardı. Ayrıca başka bir inceleme de ayrıca başka bir püskürtücüde ikinci bir yabancı cisim bulundu.

Yabancı cisimlerin çıkarılması ve püskürtücü ile nozulların tamir edilmeleri gerekiyordu, beş röntgen filmi temas radyasyon seviyesi ve 43 feet (13.1 m)'lik saf su derinliği, kaynak ekibi için zor fakat yapılması zor olmayan bir problemdi. Yaş su altı kaynak işlemi olarak buhar tutucusu (dreyn) kanallarının tamirati için geliştirilmiştir. Bu işlemler püskürtme borularının tamirati nedeni ile uygundur. Günler süren hazırlık, dizayn, model eğitimi ve temizleme işlemleri, tamirat başına 10 dakikadan az bir kaynak ark zamanı ve 1.85 (man-rem) adımdan az bir radyasyon ile sonuçlandı.

3.1.7.2 Yabancı Cisimlerin Tanımlanması

Fiber optik kablo ve uzaktan kumandalı bir video kamera ile yapılan ayrıntılı incelemeden sonra, cisimlerin kovan kelepçeleri olduğu belirlendi. 45° püskürtücüde Şekil 3.8 kelepçenin bir tarafındaki delikli civata nozula doğru çekilmişti. Kelepçenin geri kalan kısmı püskürtme borusunun içinde duruyordu. Operasyon sırasında besleme suyu akışı kelepçeyi kaldırmaya ve civatanın nozul içinde titreşmesine izin vermeye yeterliydi. Bu hareket, nozulün bir tarafındaki bir deliği ve boru çeperinin bir kısmını aşındırmıştır. Şekil 3.9 135° püskürtücüde kelepçe, püskürtme borusunun içinde, nozulun altında duruyordu. Her iki kelepçede sökülebilir ve su besleme püskürtme nozulleri onarılmalıydı.



Şekil 3.9 Püskürtme borusu şeması

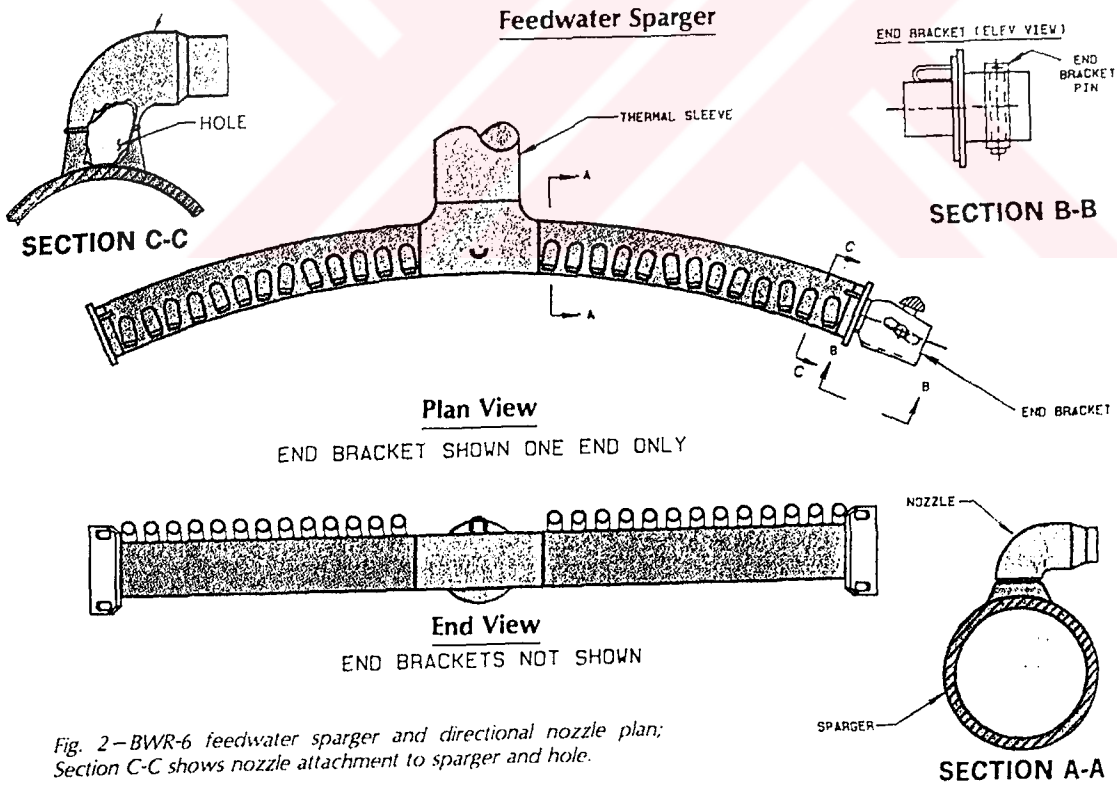


Fig. 2-BWR-6 feedwater sparger and directional nozzle plan; Section C-C shows nozzle attachment to sparger and hole.

Şekil 3.9 Püskürtme borusu ve nozulu C-C kesiti

3.1.8 Kaynak İşleminin Kabiliyeti

Tip "0" kaynakları diğer bir belirlenmiş, kod kullanım esasına müsaade etmek için seçildi. Bu konuda, mühendisler su altı ortamından etkilenmeyen bütün esas değişmeler için ASME IX.Bölüm kodunun kullanılmasını kararlaştırdılar.

Kodların değişkenleri kullanılarak 3/8 inch'lik (9.5 mm) SA240 tipi 304 plakanın üzerinde kaynak yönteminin elverişli hale getirilmesi işlemi yapıldı. Bağlantı detayı 3/8 inch'lik taban ağızlı ve destek çubuklu, açığağızlı bir 60°'lik açıda idi. Kaynak işlemi sırasında çekmeyi önlemek amacı ile, kaynak parçaları çift destekle sağlandı. Kaynak parçaları, hem 5 hem de 20 feet (1,52 m. Ve 6,09 m.) derinlikteki temiz suda 3 G pozisyonunda kaynak edildi. Kaynak işlemi aşağıya doğru yapıldı. Tablo 3.4'te özetlenmektedir.

Tablo 3.4 Test sonuçlarının özeti

Azaltılmış bölüm gerilme testleri	Derinlik (ft)	Gerilme Değeri (psi)
Numune 1	5	91900
Numune 2	5	92900
Numune 3	20	90200
Numune 4	20	91600

Kaynak metalin çekme gerilmesi 89,500 psi'dir. Gözle yapılan, makro eğilimle, X-ışını ve metalurjik testlerin hepsi tatmin edici idi.

Konum (pozisyon) için bölüm, IX ve derinlik oranı için AWS D3.6 kullanılarak kaynak işlemi 5 feetten 53 feet'e (16,15 m) kadar olan bütün derinlikler ve pozisyonlar için sınırlandırılmıştır.

3.1.8.1 Kaynak Malzemeleri

Su altı kaynak elektrotları, elektrot örtüsünün rutubeti emmesini önleyici özel işlemler gerektirir. Bu da genellikle dalgıçlık kurumları tarafından kontrol edilen bir uygunluk işlemidir. Bu yüzden, kullanıcı kurum, özel bir imalatçı firmanın temin ettiği elektrotları kullandı. Dalgıçlık kurumu özel patentli bir kaplama ile kaplanmış uygun bir kaynak elektrotu kullanıldı. Bu özel Elektrotun firması, elektrotu kullananlara basınçlı elektrot taşıma deposu vermiştir. Bu depo Elektrotun kullanımından önce su ile daha kısa süre temas etmesini sağlamaktadır. Kaynak malzemesini onaylamak amacı ile 3/4 inch'lik ek bir test levhası kullanılmıştır. Kaynak çökeltisinin referansı kullanıcı kurumun sertifikalı test laboratuvarında SFA 5.4 kriterine göre yapılmıştır.

3.2 Local Korumalı Ortamda Yapılan Kaynak

- **Giriş ve İşleme Tekniği** : Bu yöntemde kaynakçı aynı zamanda dalgıç, su içerisinde olup, ark ise ya sadece ergimiş bölge lokal olarak kurutulmuş veya kaynak birleştirmesinin bir bölgesi sudan arındırılmış halde çeşitli kaynak metotları ile kaynak yapılması mümkün olacaktır.

Tabiidir ki local kurutma yapıldığında hidrojen oluşması aynı zamanda hızlı soğutmanın da etkisi ile meydana gelecek metalurjik hatalar önlenmiş olur.

3.2.1 Koruyucu Gaz Altında Kaynak

3.2.1.1 Su Altı Kaynağı İçin CO₂ Kullanımı

CO₂ 1000-1500 l/h_r'lik optimum bir akışta kaynak işlemini daha kolay sağlar. Öte yandan, arkın düzenini bozarak dikey kaynağın yapılmasını zorlaştırır. Yine CO₂ olmaksızın yapılan birleştirmelerin mekanik dayanımlarında, CO₂ kullanılarak yapılan birleştirmelere nazaran daha az bir düşme olduğundan bahsedilebilir.

Su altı kaynak işleminde ark için CO₂ temini önerilir, zira CO₂ bu şartlarda kısmen gerekli olan oksitleyici bir atmosfer sağlar. Çünkü, su altı arkı etrafındaki gaz fazı esas olarak kaynak esnasında malzemeye nüfuz eden ve sürekliliği azaltan hidrojen içerir.

Oksitleyici etkisinin yanında, CO₂ ark etrafındaki kabarcıkların içindeki hidrojenin basıncını ve aynı zamandaki eşitlik ile ifade edilen metal içerisindeki hidrojenin çözünebilmesini de azaltır.

$$[H] = K \sqrt{PH_2}$$

Burada [H] = hidrojenin metal içindeki çözünebilmesi, (%) K = sıcaklığa göre alınan bir sabit ve PH₂ = çevreleyen atmosfer içindeki moleküler hidrojenin kısmi basıncıdır. Tablo 3.5

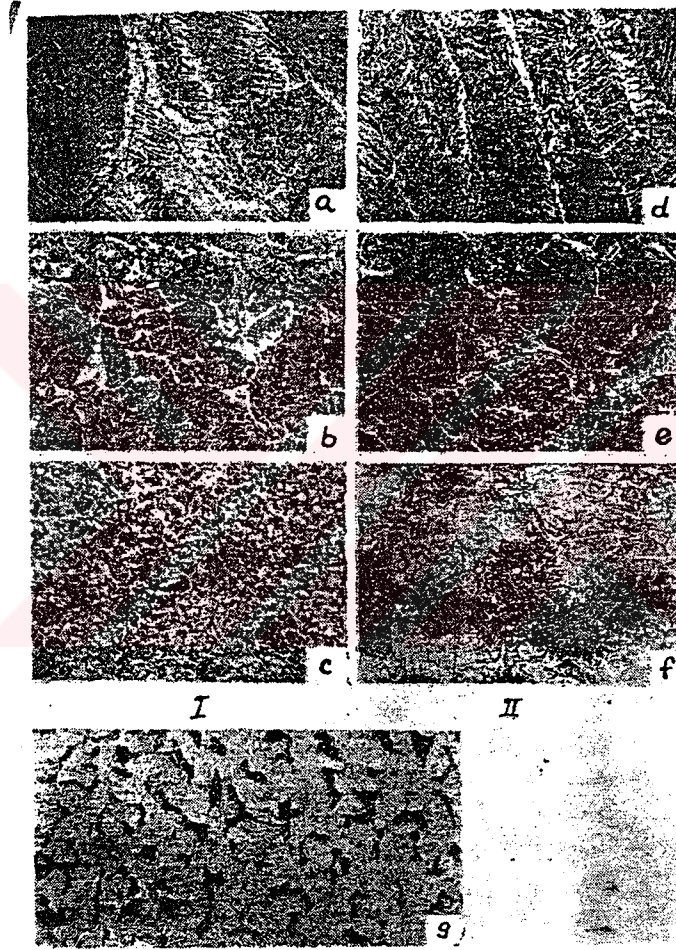
Tablo 3.5 CO₂' nin Kaynakta Sertliğe Etkisi

Kaynak Şartları	Donanım		Kaynak Parçalarında Ölçülen Vickers Sertliği			
	Kaynak	Ark	Kaynak	Kaynakta Birleşim Yerleri		Esas Metal
	Akımı(A)	Voltajı(V)		1. Kısım	2. Kısım	
1.2. mm çaplı tel ve CO ₂ yok	240	38	240-287	258-271	221-254	145-148
1000 l/hr CO ₂ beslemeli	240	38	388-390	357-360	332-348	145-148

Şayet CO₂ akışı optimum değer 920-1480 l/hr'den düşük ise CO₂ jetinin koruyucu etkisi yetersizdir. Eğer CO₂ akışı fazla ise, bu güçlü gaz jeti, damlanın elektrotunun ucunda biriktirmesine izin vermeden akmasına sebep olur. CO₂ kullanıldığı zaman enerji tüketimi %20 daha yüksektir. Zira üzerindeki soğutma olayını

dengelemek için ek kayıplar verir.

Düzgün kaynak şartlarına uyularak yapılan, kaynakta (kaynak akımı 200-240 A ve elektrot çapı 1.2 mm.) kaynak yüksek yoğunluğa sahiptir. Nüfuziyet iyi, kaynak dikişinde kesilme yoktur ve HAZ dardır. Fakat 1.5 mm. çaplı gözenekler ortaya çıkar. Eğer CO₂ kullanılır ise; bu gözenek oluşumuna olan meyil arkın suda bulunduğu derinlik ile artar.



Şekil 3.10 1.2mm çaplı elektrot ile yapılan kaynağın mikroyapısı

I. - CO₂ yok II. - CO₂ kullanılmış

a,d: kaynak b,e: kaynağa birleşik bölge

c,f: esas metale birleşik bölge

g: esas metal

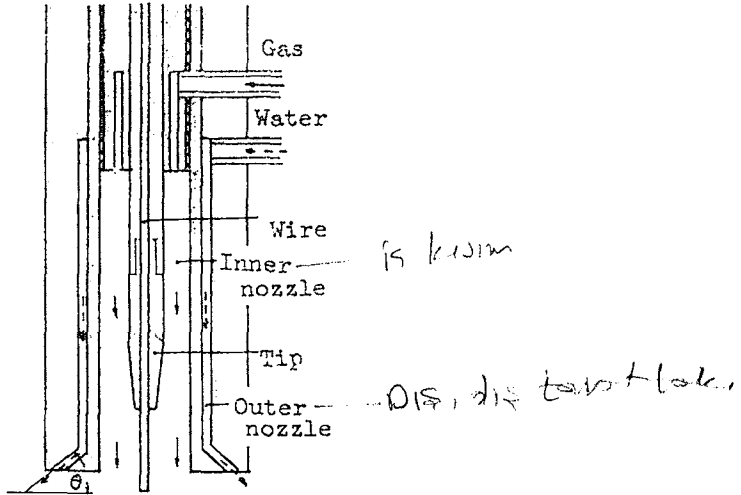
Şekil 3.10'da görüldüğü gibi kaynak ferrit-perlit yapısına sahiptir. Bu yapıda

karpit tane sınırları dağılmıştır. (a) HAZ'da karakteristik olarak genişletilmiş perlitik tane sınırlarında, esas metale bitişik ince tane sınırlarına keskin geçişler vardır. Esas metal yumuşak çeliğin karakteristiği olan ferrit-perlit karışımıdır. %30 oranında perlit içerir. Şayet CO₂ temin edilirse metastabil sertleştirilmiş bir yapı ortaya çıkar. Eğer CO₂ kullanılmaz ise esas metal %30 perlit içeren ferrit-perlit karışımıdır.

3.2.1.2 Su Perdesi Tipi, Su Altı CO₂ Ark Kaynağı Metodunun Prensipleri

Bu metod Şekil 3.11'de görüldüğü gibi çeşitli koruyucu nozul (meme) içerir. Koruyucu gaz iç memeden dışarı doğru aynı konvansiyonel CO₂ ark kaynağı metodunda olduğu gibi, akar ve su perdesi ise iç gazın kaçmasını önleyen ve koruyucu gazın etkisini arttıran dış memeden halka şeklinde dışarı akar.

Güvenilir kaynaklı birleştirmeler bu meme ile yapılabilir. Şekil 3.12'de sadece CO₂ aktığı ve su perdesinin bulunmadığı halini göstermektedir. Gaz büyük kabarcıklar halinde, koruma bölgesinin daralmasına sebebiyet vererek memenin yanından doğru kaçar. Şayet bu şartlar altında su perdesi kullanılırsa, Şekil 3.12(b)'de gaz kabarcıklarının küçüldüğü ve koruma alanının genişlediği gözlenmiştir.



Şekil 3.11 Bu yöntemde kullanılan su perdesi tipi meme (nozül)



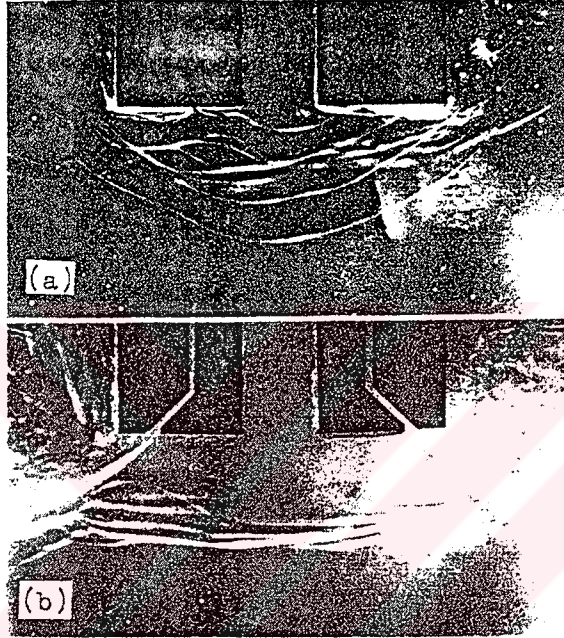
Şekil 3.12 a) Su perdesiz
b) Su perdeli koruma

3.2.1.3 Su Perdesinin Etkisi

İki Boyutlu Modelin Kullanımı İle İnceleme:

Koruma etkisinin kolaylık gözlenebilmesi için iki boyutlu bir model göz önüne alınmış, bu modelde 10 defa büyütülmüş pozlar alınarak, su perdesinin koruma etkisi incelenmiştir. Şekil 3.13(a)'da görülen, su perdesinin kullanılmadığı ve koruyucu gaz mesafesinin kısa olduğu hali göstermektedir. Buna ilaveten değişen aralık çok geniştir ve bazen su meme ucuna doğru geriye itilir. Şekil 3.13(b)'de su perdesinin kullanıldığı ve su akış açısının 45° olarak ayarlandığı durumunu gösterir. θ (teta) açısı ne kadar büyük olursa ulaşım mesafesi o kadar kısaldır. Fakat değişen aralıkta dar konuma gelir.

Su perdesinin kullanımının etkisi şu şekilde özetlenebilir ; şayet su perdesi yok ise, CO₂ gazı memeye bitişik taraftan kesikli olarak büyük kabarcıklar halinde kaçar. CO₂ gazının kaçtığı anda su geriye doğru itilir. Eğer su perdesi var ise, bununla birlikte CO₂ gazının kaçması zorlaşır ve ancak küçük kabarcıklar halinde sürekli olarak kaçar.



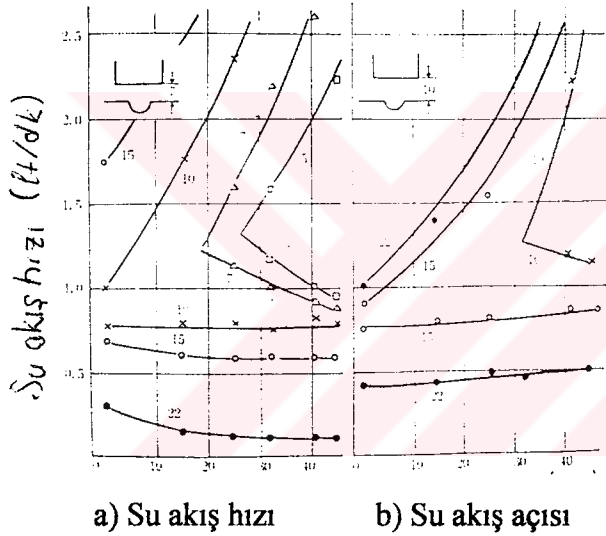
Şekil 3.13 İki boyutlu modelde koruma etkisinin gözlenmesi

a) Su perdesiz b) Su perdeli

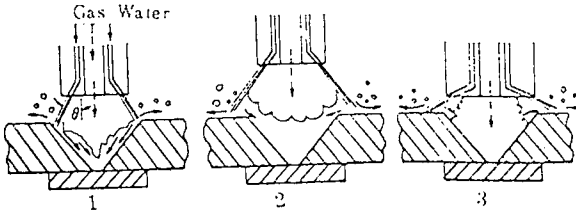
3.2.1.4 Koruma Durumu

Şekil 3.14'te iki boyutlu model kullanılarak metal banyosunun koruma etkisini göstermektedir. Şekildeki rakamlar gaz çıkış hızını gösterir. Üst ve alt limitler arasındaki akış hızı uygun bir korumayı uygun gören aralığı belirler. Yani eğer su perdesinin hızı alt limitten daha düşük ise çevredeki su metal banyosuna girer ve eğer üst limitten de fazla ise su ceketini esas metalden çarparak geri döner ve metal banyosu içine girer. Bu nedenle, su akış açısına uygun bir koruyucu gaz hızı seçimi gerekir.

Gerçek kaynakta ve ince plakaların alın kaynağı θ açısı 30° - 60° 'dir. Perde suyu hızı ise 5-10 l/min ve koruyucu gaz akışı hızı 40-60 l/min'dir. Kalın plakaların alın kaynağı halinde ise iyi bir kaynak işlemi elde etmek için, kaynak ağızlarının iyi hazırlanması gerekir. Şekil 3.15 (1)'de görüldüğü gibi, şayet su perdesi akış açısı θ küçük ise, su perdesi kaynak ağızına çarpar, buradan yansır ve metal banyosuna dalar. Bu durumu önlemek için,yani suyu kaynak ağızından korumak bakımından, üfleci ya yukarıda tutmak gerekir Şekil 3.15(2) yada θ açısının Şekil 3.15(3)'deki gibi geniş tutmak gerekir. Bununla birlikte (2) halinde üfleç mesafesi uzun olduğu için koruma etkisi azalır. Sonuçta (3) metodun uygulanması tavsiye edilir.



Şekil 3.14 Su akış hızı ve açısı arasındaki ilişki



Şekil 3.15 Su akışının koruma üzerine etkisi

3.2.1.5 Tek Paso Kaynağı

Şekil 3.16 dikiş kordonunun görüntüsü ve radyografik muayenesi sonucunu göstermektedir. Burada 3.2 mm. kalınlıkta yumuşak çelik plakaların kapalı aralık kaynağı yapılmıştır. Su ceketı (perdesi) hızı 3 l/dak'dır. Şekil 3.13 (a)(b)'de kaynak hızının 30 cm/dak daha düşük olması halinde kaynakta gaz kabarcıkları yoktur. Şayet hız, bu değerin üzerinde ise (b)'den görüldüğü gibi gaz kabarcıkları görünmeye başlar. Bunun sebebi boşlukta su kalması ve eriyen metal içindeki, bu suyun kaynak hızı yüksek olduğu için tamamen buharlaşacak zamanı bulamayışdır.

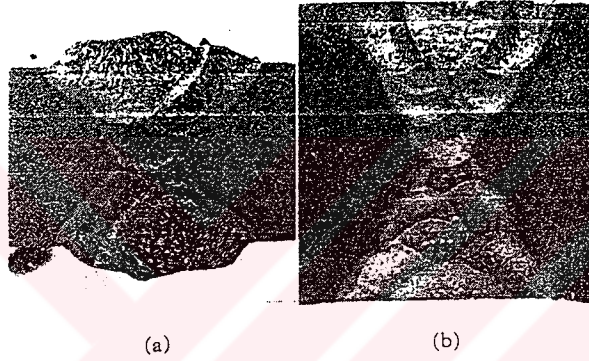


Şekil 3.16 Kaynak hızının etkisi

3.2.1.6 Çok Paso Kaynağı

Kaynak hızı, özlü elektrot kullanılması halinde 120 cm/min kadar çıkartılabilir. Fakat bu elektrot teli otomatik kaynağa uygulanırsa, kaynak dikişi üzerinde her bir paso için giderilmesi zor olan curuf problemi ortaya çıkar. Tam aksine normal elektrot kullanılması halinde ise kaynağı hızlandırmak mümkün değildir. Buna karşın burada curuf oluşumu yoktur.

Verilen belli bir kaynak akımı için yüksek kaynak hızı daha çok paso gerektirir. Halbuki düşük kaynak hızı son derece az paso sayısı gerektirir. Bu nedenle, 20-30 cm/min kaynak hızı bir sorun yaratmaz ve bu nedenle katı tel elektrot yeterli sayılır. Kalın bir plaka için kaynak ağzı hazırlığı gerekir. Su perdesi ve koruyucu gaz akış hızı sıra ile 6 l/min ve 50-60 l/min'dir ve CO₂, Argon yada karışık gaz sevk edilir. Şekil 3.17 (a) 60°'lik kaynak ağzı hazırlanmış 20 mm. kalınlıkta yumuşak çelik plakanın kaynak edilmiş halinin makro yapısını göstermektedir. Şekil 3.17 (b)'de ise yine 60°'lik kaynak ağzı 40 mm. kalınlıkta ve her iki tarafından yedi pasoda kaynak yapılmış yumuşak çeliğin makro yapısını göstermektedir.



Şekil 3.17 Kaynağın makroyapısı

3.2.1.7 MIG ve TIG Otomatik Sistemde Kaynak Uygulaması

- Giriş

MIG Kaynağı : Metal Inert Gas Welding, **TIG Kaynağı** : Tungsten Inert Gas Welding kısaltmalarından isimlendirilmiştir.

Su altı yapı tekniklerinin geliştirilmesine duyulan ihtiyaç gittikçe artmaktadır. Özellikle çok büyük açık denizlerdeki tesisler, yüzer hava alanları ve yüzer fabrikaların tesislerinde bu ihtiyaç kendisini göstermiştir. Bu ihtiyaçlar doğrultusunda yapılan yoğun araştırmalardan sonra sonuçlara ulaşılmıştır.

I - Kaynak işlemi, su altı kameraları ile beraber, otomatik kaynak ekipman

kullanılarak gerçekleştirilir. Böylece kameralar yardımı ile kaynak işlemi karadan, kontrol odalarından gözlemlenerek, uzaktan kontrol edilerek yönetilebilir. Bu, su içerisinde operatörsüz kaynak sisteminin gerçekleştirilmesi günümüzde kolayca yapılmaktadır.

II- MIG kaynak sistemi, 100 mm. çaplı kaynak yapabilen bu otomatik su altı kaynak sisteminde kullanılır. Ark' yakın olan lüle dizayn kılavuzundan fişkırtılan su ile çevrilir. Çünkü dengeli bir gaz alanı, ancak üflecin altında oluşturulabilir. Ayrıca buradaki kaynak kalitesini MIG yöntemi kullanılarak atmosferde de elde etmek mümkündür.

III - Bir inch kalınlığa kadar olan çelik plakaların kaynatmada gerekli mekanik özellikleri, plakanın çekme kuvveti 40 kg/cm^2 veya 50 kg/cm^2 olduğu zaman elde edilir. Kaynak kırıkları, çekme kuvveti 60 kg/cm^2 olduğu zaman daha hızlı soğumanın edeni ile meydana gelir.

IV - Su altı kaynak tekniği ile 200 m. uzunluğunda 100 m. genişliğinde, 20 m. derinliğinde bir açık deniz fabrikası yaptığımızı farz edersek, yedeğe alıp çekme sırasında oluşan dinamik dalga yüküne dayanmak için gerekli mukavemet elemanı hemen hemen gereksiz hale gelecektir. Böylece gerekli çelik miktarının %20 azaltılması imkanı doğacaktır.

3.2.1.8 Uzaktan Kumandalı ve Görüntülü Kaynak Yönteminin Geliştirilmesi ve Neticeleri

Günümüzdeki çalışmalarla geliştirilmiş olan su altı kaynak yöntemi pek çok avantajlara sahiptir. Kayna çizgisi ve tamamlanmış kaynaklar televizyon ekranında gösterilmektedir. Kaynak işlemi ve üfleç pozisyonu uzaktan kontrollüdür. Su altı otomatik kaynak donanımı aşağıdadır.

- I - Bir otomatik taşıyıcı,
- II - Üfleç pozisyonunu tam olarak ayarlamaya yarayan donanım,
- III - Üfleç pozisyonunu yukarıdan takip eden alet,

- IV - Kaynak Üfleci,
- V - T.V. kamerası,
- VI - Su altı TV. kaynak aydınlatma lambası.

İlave Ekipman :

- I - Güç kaynağı,
- II - Tel besleyicisi, (itici motor ve tel makarası ile birlikte)
- III - Bağlantı kabloları için ana istasyon kutusu.

Uzaktan kumanda kontrolü ise şu şekilde yapılmaktadır ; kontrol kablosu, su altı otomatik kaynak makinesinin operasyon tablosu ile alakalı dik bir yazı makinesi tipindedir. Kaynak işlemi, kaynak çizgisini ve sonuçlarını TV monitöründen izleyecek biçimde uzaktan kumandalıdır. Kontrol tablosunda TV monitörü, gaz göstergeleri ve çeşitli kontrol araçları mevcuttur.

- Yöntemin Çalışma Testi

Bütün sistem çalıştırılmış ve bir deneme testi yapılmıştır. Bir ön hazırlıktan sonra kaynak işlemi otomatik olarak başlamıştır. Su jeti ve gaz, kuru alan oluşturmaya başlamışlardır. Tel besleme işlemi yapılmış, ark açılmış ve dengeli bir halde ilk kaynak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra kaynak işlemi sürekli bir hale gelmiştir. Kaynak işlemi televizyon kamerası ile takip edilerek devam ettirilmiştir. Kaynak üfleci kaynak pozisyonundan çıktığı zaman, kontrol paneli vasıtası ile yerine oturtulmuştur. Kaynak, örnek işlem parçasının sonuna geldiğinde durdurma düğmesine basılarak işlem durdurulmuştur. Daha sonra da su jeti ve gaz beslemesi durdurularak kaynak operasyonu tamamlanmıştır. Bu yolla 5 veya 6 kaynak pasosu için dengeli kaynak sonuçları elde edilmiştir. Netice olarak insansız su altı kaynak sisteminin dengeli ve güvenilir kaynak bağlantıları yapılabileceği anlaşılmıştır.

3.2.1.9 Su Altı Otomatik Kaynak Yönteminden Örnek Uygulama

Bir açık deniz yüzer fabrikası inşa edilmesi için sorumlu olan kişiler iki metod arasında tercih yapmak zorundadırlar. Bu metotlardan birincisi komple tüm fabrikayı günümüzün en gelişmiş, büyük geniş tanker inşaat doklarının üzerine kurmak, sonrada onu deniz üzerinde istenilen yere kadar çekmektir. Bu durumda, yapıyı çekme şekline maruz kalınacak dalga dinamik yüküne dayanabilecek ölçüde sağlam yapmak zorundadır. Bu şekilde gerekli olan çelik miktarı %20 artar ve bu da çelik konstrüksiyon maliyetinde kaçınılmaz bir artışa neden olur. Böylece hiçbir fizibilitesi (işe yararlılığı) kalmaz. İkinci durumda ise; parçaları birleştirmek için aşağıdaki iki yoldan birini seçmek gerekir.

I - Açık hava ortamında kaynak yapılması,

II - Su altında otomatik kaynak yapılması.

Birinci seçenekte, suyun kaldırma kuvvetinden doğan bükme kuvveti kaynak bölgesine uygulanır. Bu gerilime karşı koyabilmek için konstrüksiyonun ağırlığı aşağı yukarı rakamsal olarak %10 arttırılmalıdır. Ekonomik açıdan ikinci seçenekteki su altı otomatik kaynağını kullanmak daha uygundur. Üstelik, su üzerinde çekme esnasında genişliğin ikiye bölünmüş olması da ayrı bir avantajdır. Bu sayede, yapılan konstrüksiyonun Süveyş ve Panama kanallarından geçmesi mümkün olacaktır.

3.2.2 Plazma Ark Kaynağı (Cam Suyu Koruyuculu)

3.2.2.1 Giriş

Günümüzde laboratuvar çalışmalarını aşarak, pratikte denenmeye başlayan ve olumlu sonuç veren bir uygulama da; ideal bir kaynak yapımına yakın sonuçlar veren su altı plazma ark kaynağı olmuştur. Bilim adamları çeşitli koşulları ve değişik kaynak yapılarını kapsayan büyük bir denemeyi tamamen su altı şartlarında gerçekleştirerek sonuçlarından günümüzde faydalı bir işlem olarak kabulü sağlanmıştır. Sözü edilen

denemede plazma arkının taşıdığı aşağıda belirtilen özelliklerden faydalanılmıştır.

- I - Plazma arkı kolayca üretilebilmekte, suda kararlı bir durumda tutulabilmekte ve parçanın üflece uzaklığının değişmelerine karşı daha az bir duyarlılık göstermektedir.
- II - Plazma arkından çevreye enerji transferi ve erime etkinliği daha yüksektir.
- III - Plazma arkı, üfleç ağzıyla daraltılmakta, böylece doğrultusu çok iyi olmaktadır.
- IV - Plazma jeti tüm dalış süresince çalışır. Bir ışık kaynağı gibi işlem görür ve kaynakçının kolay çalışmasını sağlar.

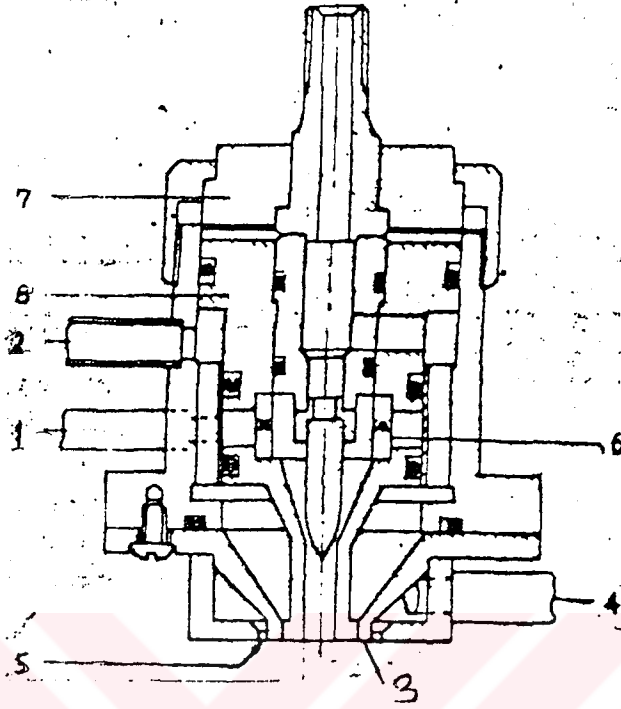
3.2.2.2 Donanım ve Özellikleri

Bu çalışma için plazma arkının üfleci Şekil 3.18'de gösterilmiştir. Koruyucu sıvının kaynak noktasını çevreleyen suyun dalga hareketlerinden korunmak ve koruyucu sıvının fişkırmasını sağlamak için önüne dairesel bir boşluk bırakılır.

Üflecim ana boyutları aşağıda belirtilmiştir :

- Elektrot çapı :6.3 mm.
- Lüle çapı :5.5 mm.
- Lülenin doğrusal kısmının uzunluğu :17 mm.
- Koruyucu sıvı için kanal (yarık) çapı :18 mm.
- Lüle içindeki akış açısı :40°
- Kanal (yarık) aralığı :2.0 mm.

Burada kullanılan koruyucu sıvı tankta bulundurulmaktadır ve pompa ile ark bölgesine gönderilir. Koruyucu sıvı olarak kullanılan cam suyu (soda silikat) istenilen konsantrasyonda kalacak şekilde su ile karıştırılır ve yoğun olarak görev yapar. Cam suyunun kimyasal formülü " $\text{Na}_2\text{O}_n\text{SiO}_2$ " dir ve "n" sayısı yaklaşık 2 olarak kabul edilir. Deneyle tatlı su ile yapılmıştır.



Şekil 3.18 Plazma torcu

- | | |
|---------------------------|--------------------------|
| 1. Plazma gazının girişi | 2. Soğutma suyu girişi |
| 3. Soğutma suyu çıkışı | 4. Koruyucu sıvı girişi |
| 5. Koruyucu su için yarık | 6. Plazma gazının geçişi |
| 7. Yalıtkan | 8. Yalıtkan |

3.2.3 Toz Altı Ark Kaynağı

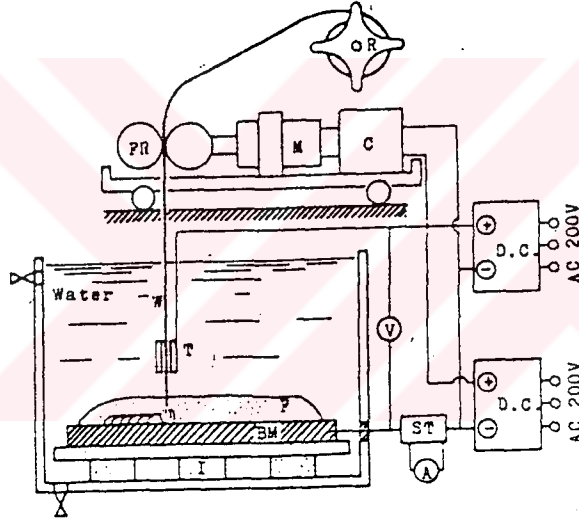
3.2.3.1 Giriş

Yaş su altı kaynağı çevredeki suyun sebep olduğu hızlı soğuma nedeni ile sertleşmeden dolayı istenilen şekilde uygulanmamaktadır. Ayrıca, sürekliliğin azalmasına ve bağlantının mukavemetinin düşmesine sebep olan çözünmüş hidrojen kaynakta bol miktarda bulunur.

Bununla beraber, su altında toz altı-ark kaynağı işlemi, kaynak bölgesindeki soğuma hızını toz ile düşürerek ve kaynağın kırılman olmasını önlemek gibi özelliklerine haizdir. Dahası, su altında toz altı ark kaynağı suyun altında mekanizasyon ve otomasyonun zor olduğu, kaynakçının güçlükle hareket ettiği şekilde bile uygun bir kaynak yöntemi olarak kabul edilebilmektedir.

3.2.3.2 Deneysel Donanım, Esas Metal ve Kaynak Malzemeleri

Şekil 3.19 deneysel donanım düzenlenmesini göstermektedir. Deneyler tatlı suda yapılmış ve esas metalin yüzeyi 100 mm. Su derinliğine yerleştirilmiştir. Alçalan tip doğru akım elektrik kaynağı kullanılmış olup elektrot kutbu pozitifdir.



Şekil 3.19 Deneysel donanım

BM : Esas metal	R : Tel makarası	W : Tel	M : Motor
F : Toz	C : Voltaj kontrolü	I : Yalıtıcı	ST : Değiştirici
T : Temas ucu	A : Akım ölçer	V : Voltmetre	FR : Besleme rulosu

Tablo 3.6 Esas metal ve telin kimyasal bileşimi

	C	Si	Mn	P	S
SM-41	0.17	0.039	0.92	0.014	0.024
US-36	0.14	0.034	2.11	-	0.010

İlk olarak, kaynak telini ve tozunu seçmek için hazırlık deneyleri yapılmıştır. Tel olarak US 36 ve eriyen toz olarak da MF 43 seçilmiştir. Tel çapı 2.4 mm.'dir. Esas metal ise 9 mm. kalınlıkta SM 41 çeliğidir.

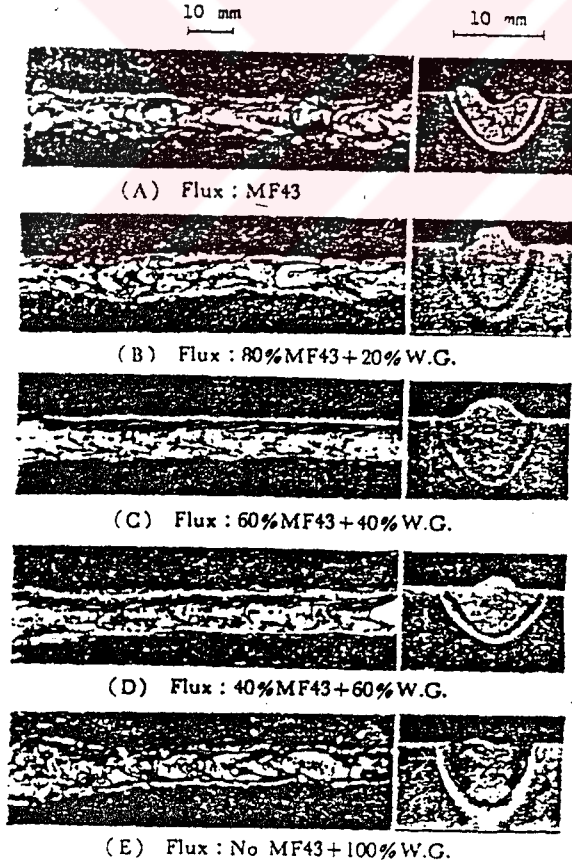
3.2.3.2.1 Kaynak ve Sonuçları

- Kaynak Şartlarının Seçimi :

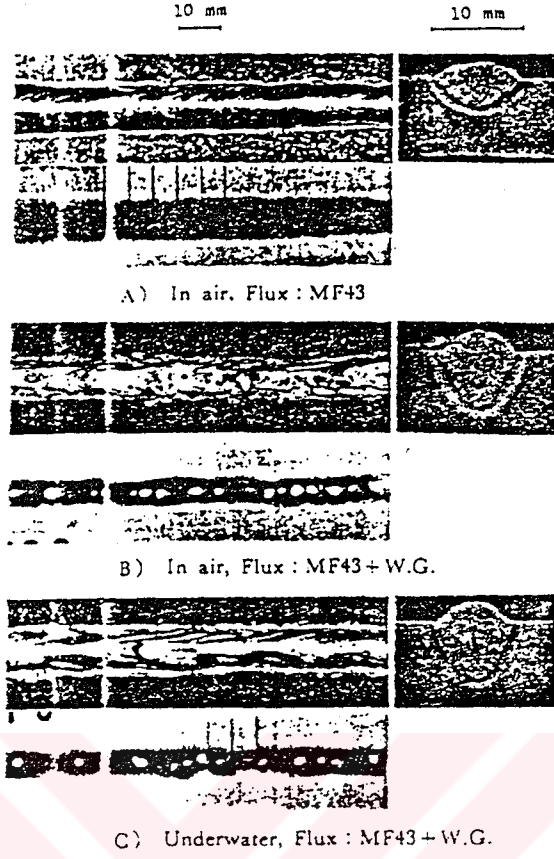
Su altında, toz altı ark kaynağında, kaynak tozuna viskoz (yoğunluk) olarak cam suyu katılır. Böylece, kaynak tozunun su hareketinden dolayı dağılması ve sürüklenmesi önlenir ve kaynak kabiliyeti artırılır. Şekil 3.20 kaynak tozu ile karıştırılan su camının etkisini 340 A akımda, 60 cm/min (d) hızda yapılan kaynakta elde edilen makro yapıları göstermektedir. Yani (A) su cam ilavesiz kaynak tozu ile yapılan kaynakta elde edilen makro yapı, (B), (C) ve (D) ise sırasıyla %20, %40 ve %60 oranında göstermektedir. (E) ise su camı koruması altında elde edilmiştir. (A) halinde ark kararsızdır. Arkı çevreleyen suyun ve kabarcıkların etkisi ile kaynak tozu üflenmektedir. Ve bu sebeple tozun arkı çevreleyen sudan koruma etkisi yetersiz kalmaktadır. (B) halinde ise ark belli bir dereceye kadar stabil yani kararlıdır. Fakat kaynak yine iyi değildir. Bu duruma rağmen tozun üflenmesini önlemek ve koruyucu etkisini arttırmak için ilave %20 cam suyu etkili değildir. (E) halinde ise koruyucu olarak %100 cam suyu kullanılarak kaynak yapıldığı zaman dikiş yüzeyine bir çok çukur ve alttan kesikli kaynak üreten ark oldukça kararlıdır. Bu olaylara ait olarak içerisine %30-%60 cam suyu verilen kaynak tozu, kaynak arkını kararlı ve oldukça iyi birleştirmeler elde edilebilir. Özellikle (C)'de gösterildiği gibi %40 cam suyu ilaveli tozla kaynak yapmak, düzgün dalgalı dikiş ve iyi bir görünüş elde edilmesini sağlar. Yani cam suyu kaynak tozunun üflenmesini önleyerek koruma etkisini artırır. Bütün bu deneylerden çıkartılan sonuç, kaynak akımı 340 A, kaynak hızı cm/d seçilmeli ve %40 cam suyu ilaveli kaynak tozu kullanılmalıdır.

3.2.3.2.2 Havada Yapılan Kaynak ile Mukayese

Şekil 3.21, (A), (B) ve (C) kaynak dikiş kesitinin makro yapısını ve X-ışını muayenesinin sonuçlarını vermektedir. Yapılan kaynakta kullanılan akım 340 A ve kaynak hızı 60 cm/d'dir. (A) kaynağı, havada ve içerisine cam suyu karıştırılmayan kaynak tozu ile yapılmıştır. (B) yine havada ve %40 cam suyu ilaveli tozla kaynak edilmiş (C) ise yine %40 cam suyu karıştırılmış kaynak tozu ile sualtında kaynak yapılmıştır. Resimlerden açıkça görülmektedir ki (A) kaynağı düzgün bir dikiş yüzeyine sahiptir ve gaz kabarcığı gibi hataları yoktur. (A)'ya kıyasla su altında yapılan (C)'de ise daha iyi bir sıra dikişi görüntüsü olmasına rağmen, kaynak metali içinde 0.5-1.5 mm. çapında gaz kabarcıkları mevcuttur. Bununla birlikte havada kaynak edilen (B) ve (C) kaynağında elde edilen sonuçların aynı elde edilir. Bu sonuçlardan şu ortaya çıkar; cam suyu ilaveli kaynak tozu kaynak bölgesini çevreden korur ve kaynakta kalan gaz kabarcıkları suya geçirilir.



Şekil 3.20 Su camının görünüş ve makro yapıya etkisi



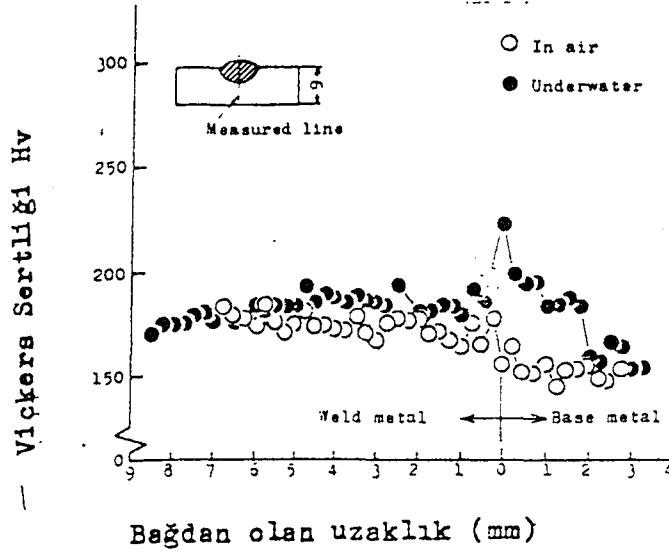
Şekil 3.21 Su altında,havada yapılan kaynakta makro yapı ve X ışını muayenesi

3.2.3.2.3 Kaynağın Mekanik Özellikleri

Kesitteki Mikro-Vickers sertliği (yük:500g) Şekil3.22'de gösterilmiştir. Buradan havada yapılan kaynak ile mukayese imkanı vardır. Şekilden de anlaşılacağı gibi havada ve su altında yapılan kaynakta elde edilen sertlik arasında büyük bir fark yoktur.

Tablo 3.7 Kaynak Şartları

Çevre	Kaynak Akımı	Ark Voltajı	Kaynak Hızı(cm/d)
Havada	340 A	27-30 V	60
Su altında	340 A	35-36 V	60



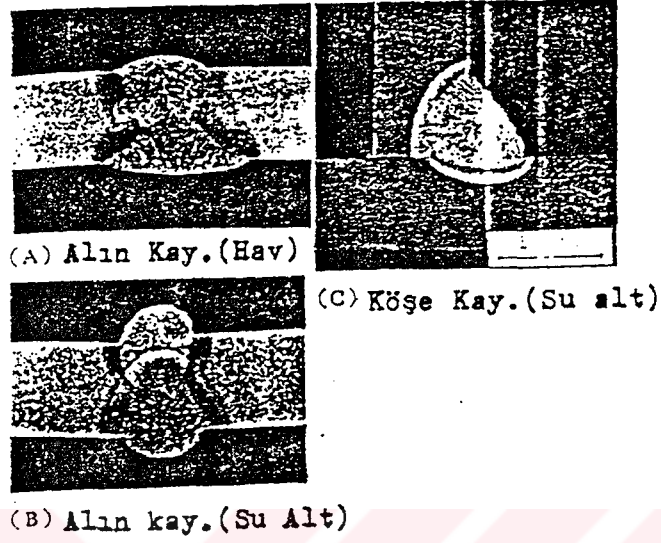
Şekil 3.22 Kaynağın sertlik dağılımı

Diğer taraftan havada yapılan kaynağın Vicker sertliği, su altı kaynağındakine nazaran daha azdır. Yani su altı kaynağındaki sertlik Hv 220, havadaki ise Hv 160 sertlik mertebesindedir.

Tablo 3.8 Kaynağın Mekanik Özellikleri

Kaynak Noktası				Kaynak Metali		
Çevre	Mukavemet kg/mm ²	Uzama %	Çatlağın yeri	Mukavemet kg/mm ²	Nokta verimi	Uzama
Havada	44.2	27.9	Esas metal	55.4	108	16.1
Suda	43.8	20.9	Esas metal veya kaynak	42.2	82	8.0
Esas metal	44.7	35.1	-	51.2	100	25.8

Tablo3.8'de verilen değerler havada ve suda yapılan kaynaklarda gerilme deneylerinin sonuçlarıdır.



Şekil 3.23 Kaynağın makro yapısı

3.3 Tamamen Korunmuş Ortamda Yapılan Kaynak

-Giriş

Su altında kuru ortamda yani tamamen korunmuş ortamda kaynak yapımı genel olarak iki şekilde yapılması mümkündür.

I - Atmosferik basınç altında yapılan kaynak,

II - Yüksek basınç altında yapılan kaynak.

Tamamen korunmuş ortamda yapılan kaynak yüksek kalitede birleştirmelerin yapılmasını mümkün kılar. Bunlara ek olarak kaynak işlemi çok daha hızlı şekilde yapılması imkanı doğurur. Bu da önemli ölçüde faydalar sağlar.

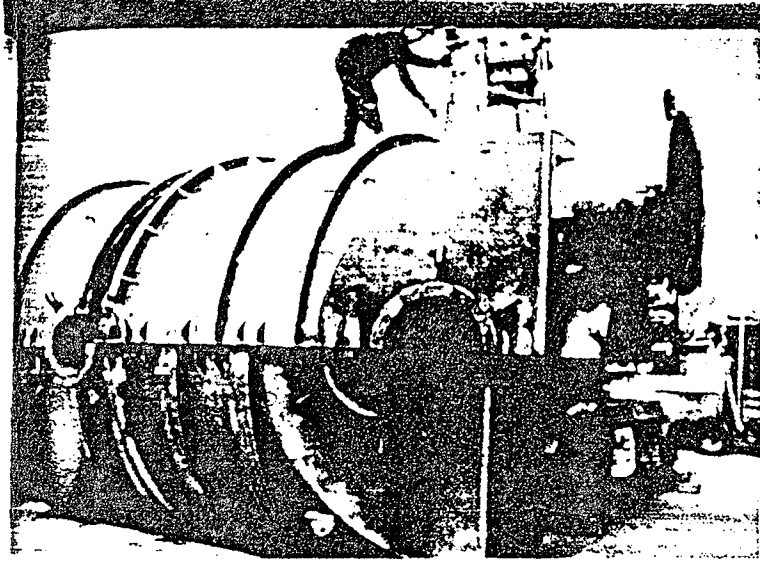
Korunmuş (kuru) ortamda kaynak için günümüzde geçerli olan üç kaynak yöntemi vardır. Bunlar : I-Elektrik ark , II-MIG, III- TIG kaynak yöntemleridir. Elektrotun kullanılması sırasında çıkan büyük miktarda duman yüzünden elektrik ark kaynağı, korunmuş (kuru) ortamda kaynak için pek elverişli değildir. Örtülü elektrotlar kullanıldığı zaman geniş bir hava dolaşımı, filtreleme ve soğutma sistemi uygulanmalıdır. Kuru ortam alanı hızlı bir şekilde duman ile dolacağından, kaynakçının düzgün çalışması için bu uygulama gereklidir. Nispeten daha hızlı bir kaynak uygulaması kabul edilir TIG Kaynağı, su altı çalışmalarının kapsamına giren bütün metallerin kaynak yapımında kullanılabilir.

3.3.1 Atmosfer Şartlarında Kuru Kaynak

Son yıllarda özellikle denizlerden petrol çıkarmak için su altı çalışmaları ilerletilmiş ve bir atmosfer çalışma sistemleri bu derinliklerde gerekli olmuştur. Su altında kaynak için geliştirilen bu odanın içi kuru ve yaklaşık 1 atmosferde tutulur. Kaynak odası kaynak yapılacak bölgeye yerleştirilir ve içerisindeki su tahliye edilir. Böylece içindeki basınç yaklaşık 1 atmosferdir. Su altı kaynak odasına yapılan kaynak işleminde odacığın havasının nefes alınabilir ölçüde tutulması ile kaynak çalışmaları, normal atmosferde hava alma cihazları kullanılmadan yürütülebilir. Kaynak odasındaki bir bar basıncındaki hava, dolayısıyla su altı kaynakçıları yüksek basınçtaki kuru ortamda yapılan kaynağa göre bir dalgıç ekipmanı da kullanmazlar.

Yetmişli yılların başından beri, bilim adamları su altı petrol borularının atmosferik basınç kaynağı için çeşitli deneme taslakları ile uğraştıktan sonra 1975'te Fransa'da [Weldap] sistemini geliştirdiler. Bu sistemde 3 m. çaplı kaynak odası, onun üzerinde alet ve bakım odası (4.2 m. çaplı) ve buna bağlı personel aktarma (transfer) kabini bulunmaktadır. Weldap'ın inmesi istenen derinlik 900-1000 m'dir.

Atmosfer şartlarındaki su altı kaynağına büyük maliyetlere rağmen 650 m. derinliğe kadar yüksek basınçlı kaynağa nazaran daha düşük maliyettedir.



Şekil 3.24 Sualtı kaynağı için 1 atm basınçta hava tankı

3.3.2 Yüksek Basınç Altında Kuru Kaynak (Hyper Baric)

Yüksek basınç altında kaynak 3 şekilde yapılır :

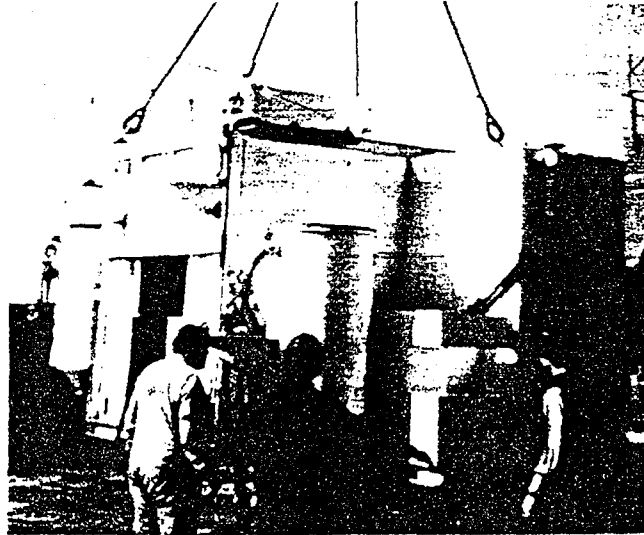
3.3.2.1 Su Altı Kaynak Odası İçerisinde Kaynak (Habitat Welding)

Kaynak odasının, (Habitat Welding) kaynak bölgesini ve kaynakçıyı tamamen içine almasına ve kaynağın tamamen kuru ortamda yapılmasına imkan sağlayan yöntemeye dayanır. Kaynakçının dalış takımlarını kullanmasına lüzum yoktur. Yapılan kaynakta elde edilen birleştirmenin özellikleri su üzerinde yapılan kaynak dikişine benzerdir. Fakat donanım pahalı ve detaylıdır. Su altı kaynak odası içinde alınması gereken önlemler şu şekilde sıralanabilir :

Hayat destek donanımı, kaynak atmosferi için gaz sağlanması yanı sıra iki yönlü telefon haberleşmesine yarayan, sürekli gözetleme için TV-Video kamerası, aletler ve kaynak için elektrik enerjisini kapsamaktadır.

Kaynak işlemi sırasında büyük bir ısı ortaya çıktığından ve oda içindeki atmosferinde izin verilemeyecek bir düzeye düşeceğinden hava düzenlenmesinde uygulanmaktadır. Kaynak için gerekli güç birimi, diğer donanımlar ile birlikte normal olarak yüzeyde bulunmaktadır. Elektrot teli, kontrol ünitesi ve bunun gibi parçalar odaya yerleştirilir.

Kaynak için koruyucu gaz sistemi yüksek atmosfer başlangıcında kullanım için dizayn edilmiştir. Derinliğin artması ile bu yüksek basınç kaynak için sorun yaratır. Kaynak odasındaki atmosfer esas olarak %3 ila %6 oksijen içeren azottan oluşur. Tehlikesi solunum koşulları için odadaki herhangi bir yangın tehlikesine karşı önlem alınmalıdır. Hem kaynakçı hem de yardımcısı odanın içerisinde ateşe dayanıklı elbise ve solunum maskesi ile çalışabilir. Kaynakçı ve yardımcısı su altı kaynak odasına taşımak için bir basınç azaltıcı hücre kullanılır. Genellikle bu odalarda kullanılan kaynak usulleri örtülü metal ark, gaz metal ark, kaynak tozu özlü ark, gaz tungsten ark ve plazma arktır.



Şekil 3.25 Hava basıncı ile korunmuş sualtı kaynak odası

3.3.2.2 Su Altı Kaynak Kutusu İçerisinde Kaynak (Dry-Box)

Kaynak işlemi, küçük, şeffaf, gaz dolu bir oda içerisinde yapılır. Kutu kaynak edilecek bölgenin tamamı veya bir bölgesini kapsayabilir. Kaynakçı su içerisinde ve bu kutunun dışındadır. Burada Gaz Metal Arkı kaynak yöntemi uygulanır. Tel, beslenme tabancasından çıkan gaz bu kutudaki suyu boşaltır. Kaynakçının kendisi su içerisinde fakat elleri bu kutu içinde kaynak işlemi yapmaktadır.

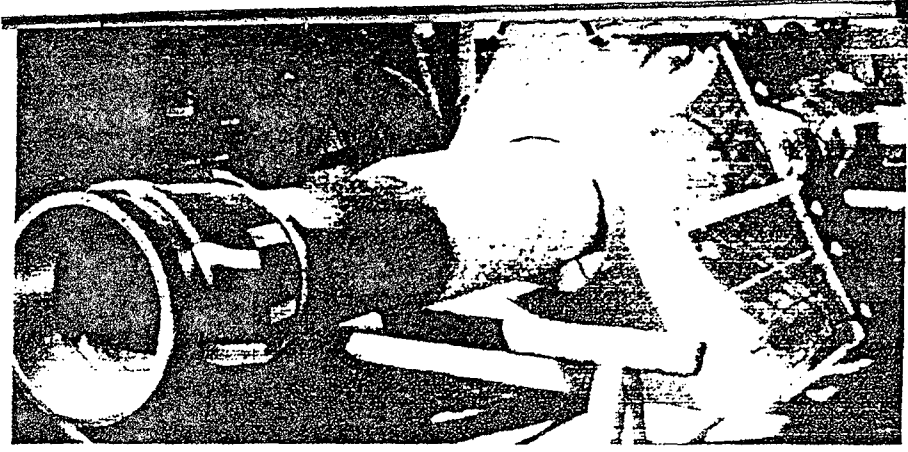
Kaynak kutusu yöntemi ağır taşıma donanımını gerektirmez. Buna karşın kaynak işlemi sırasında, kutu içerisindeki duman ve buhar görüşü azaltır.



Şekil 3.26 Kaynak kutusu içinde kaynak yapımı

3.3.2.3 Alttan Açık Kuru Kaynak Odası İçerisinde Kaynak (Dry - Chamber)

Bu yöntemde de yine basit bir şekilde, alttan açık bir kaynak odası kullanılır. Fakat bu defa kaynakçının başı ve omuzları bu oda içerisinde.

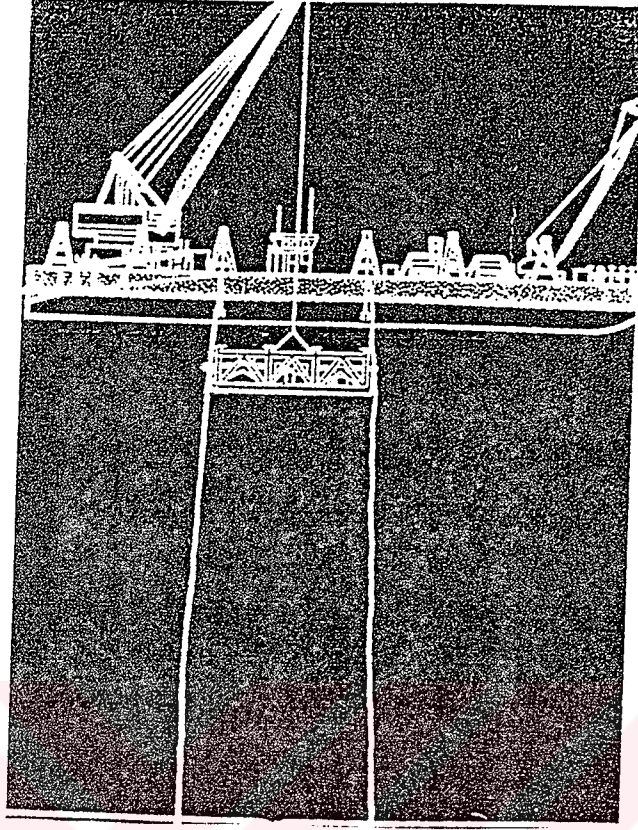


Şekil 3.27 Alttan açık kuru kaynak odası

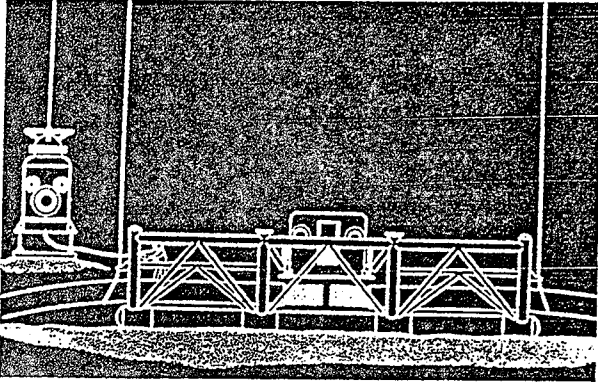
3.3.2.3.1 Alttan Açık Kuru Kaynak Odasında Kaynak Uygulaması

Su Altında Kuru Ortamda Boru Kaynağı :

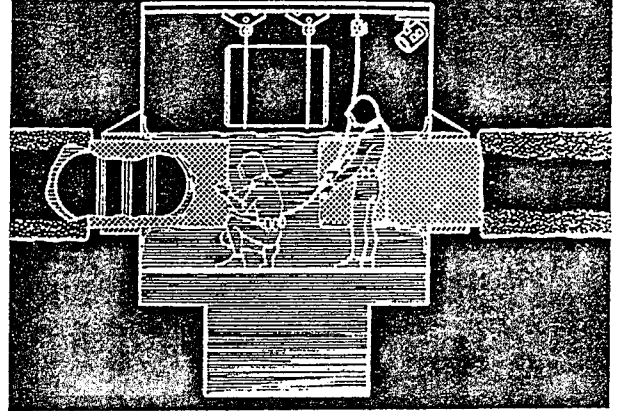
Amerika'da Taylor tarafından geliştirilen ve kısaca (Submersible Pipe Alignment Rig) SPAR adı verilen ve boru hatlarının kaynağında kullanılan bu donanım, su altında kaynak yapılmak için geliştirilmiştir. Yapısal olarak bu donanım, basınçlı silindirik hücrelerin birleşimidir. Bunlar hidrolik olarak çalışan tırnak ve ana çerçeveye sahiptirler. Kaynak odası bu 4 çerçevenin merkezindedir. SPAT'ın fonksiyonu (görevi) boru hattını sıralamak, bir araya getirip kaynak için elverişli olan pozisyona getirmektir. SPAR'ın diğer önemli bir görevi de; boruları zararsız bir şekilde yerleştirmektir. Bu nedenle, boru çapı, et kalınlığı, çelik türü iyi hesaplanmalı ve bilinmelidir. Su altında kaynak yapılırken kaynakçılar borunun ağzını sızdırmaz bir conta ile kapatırlar. Kaynak odasının üstüne asılan bu contaya "Pup" adı verilir.



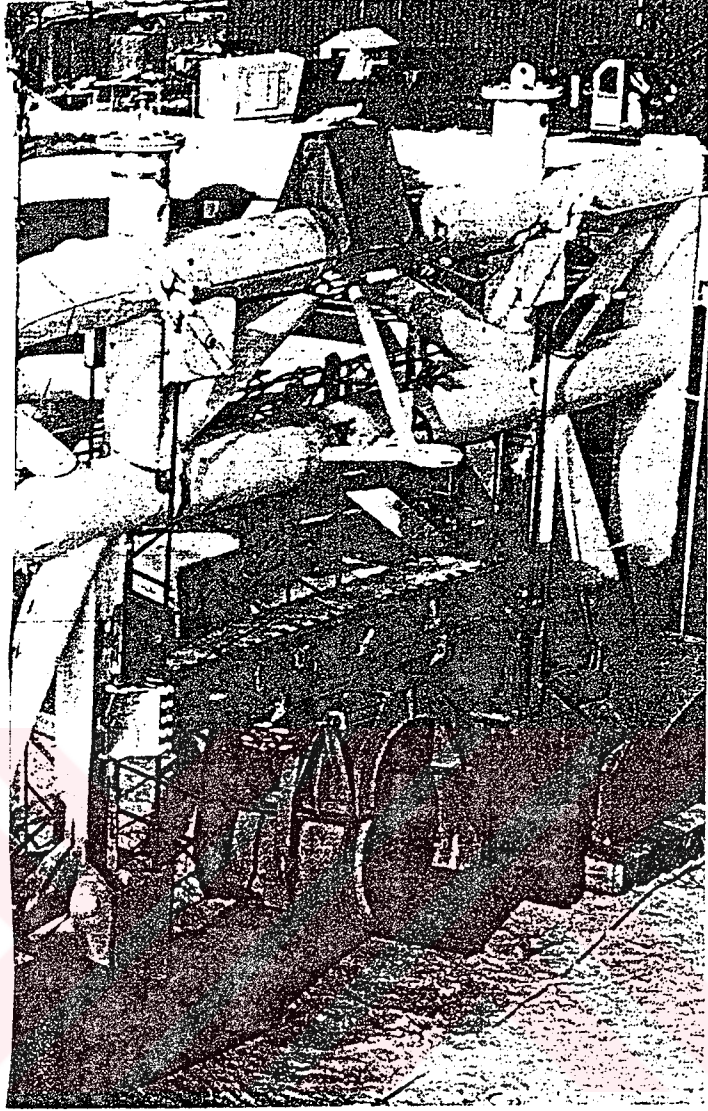
Şekil 3.28 SPAR'ın deniz yatağı üzerindeki boru kesiti üzerine indirilmesi



3.29 Boruların tırnaklanıp kaldırıldığı ve kayna pozisyonuna getirildiği haldeki SPAR'ın görünüşü



3.30 Kaynak odası



Şekil 3.28 Daldırılabilir boru sıralama ekipmanı

4. SU ALTI KAYNAK MEKANİZMASI

4.1 Kaynakta Yayınabilir Hidrojen

Tablo 4.1 örtülü elektrot kullanarak havada ve su altında yapılan kaynakta yayınan (nüfuz eden) hidrojen miktarını göstermektedir. Kaynak akımı 150 A'dır. Yayınabilir hidrojen miktarı 100 gram çökelti metali (H_D) başına düşen hidrojen ile ölçülür. Bundan başka yayınabilir hidrojen miktarı, ortalama kesit alanından hesaplanan kaynak metalinin (H_W) ağırlığının 100 gram başına düşen hidrojen de hesaplanabilir. Tablo 4.1'den görüleceği gibi hidrojen miktarı su altı kaynağında daha fazladır.

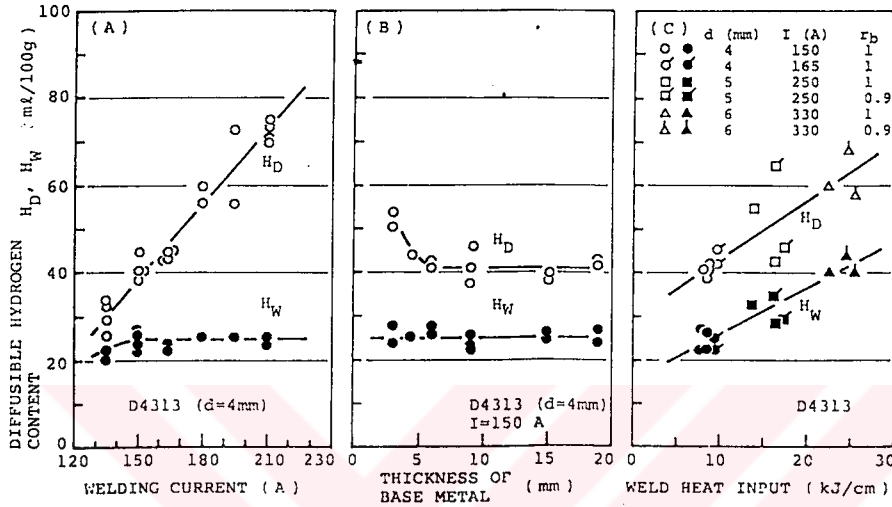
Tablo 4.1 Kaynakta yayınabilir hidrojen miktarı

Elektrot Tipi	Yayınabilir Yanabilir hidrojen Miktarı (ml/100 g)			
	H_D		H_W	
	Su altında	Havada	Su altında	Havada
D4301	39	25	26	17
D4303	36	23	25	15
D4311	46	25	22	12
D4313	41	24	25	12
D4327	32	19	21	13

Şekil 4.1 (A), (B) ve (C) kaynak akımı, esas metalin kalınlığı ısı girişinin su altında kaynak yayınabilir hidrojen miktarı üzerindeki etkisini gösterir. Burada kullanılan elektrot yüksek titanyum oksit tipi elektrottur. Bu durumda ısı girişi, tanklı çaptaki elektrot farklı akım şiddeti veya dikiş boyu/elektrot boyu oranının değişimi ile değişmektedir.

Şekilde de görüldüğü gibi (H_D) artan kaynak akımı ve ısı verilmesi ve azalan esas metal kalınlığı ile artar. Bununla birlikte, (H_W) değerleri 25 ml/100 gr civarında bir

kararlılık gösterir. Diğer taraftan ısı girişi miktarı ile artış eğilimi gösterir. Özellikle 6 mm çapında elektrot kullanıldığı zaman (H_W) 40 ml/100 gr gibi büyük bir değer alır. Sonuç olarak; büyük miktarda hidrojen HAZ içindeki eriyen metalden ve bu kaynak içinde kalır sonuçta da; hidrojen deneyinde yüksek miktarda (H_W) ölçülür.



Kaynak akımı (A)

Esas metal (mm)

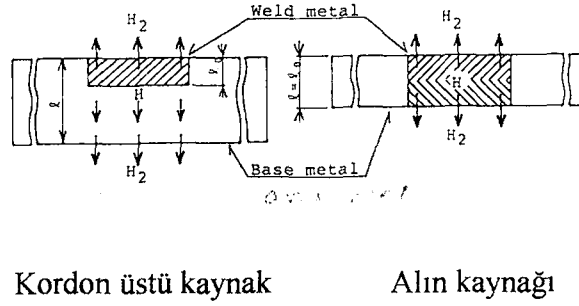
Isı girişi (kJ/cm)

Şekil 4.1 Kaynak şartlarının yayınabilir hidrojen miktarına olan etkisi

4.2 Hidrojenin Kaynak Dışına Yayınmasının Prosesi

Şekil 4.2 (a) ve (b) hidrojenin yayınma prosesi (işlemi) gösterilmektedir. Yani kaynak içinde hidrojenin dağılımı aşağıda ifade edilen biçimde iki tür analiz yapılır:

- Bir pasolu kordon üstü plaka kaynağında kaynak metalinin kesit şekli, l_0 derinliğinde ve l kalınlığında bir dörtgen olarak farz edilir.
- Bir pasolu alın kaynağında, kaynak metalinin kesit şekli l_0 kaynağında dörtgen olarak farz edilir. Kaynakta hidrojen konsantrasyon oranı $u = c/c_0$ verilir.



Şekil 4.3 Şematik kaynak kesitleri

a) Kordon Üstü Plaka Kaynağında :

$$U = 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n\pi} (1 - \cos n\pi l_0) \sin n\pi X \cdot \exp(-n^2 \pi^2 l_0^2 \tau) \quad (4.1)$$

b) Alın Kaynağında :

$$U = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{(2n-1)\pi} (\sin 2n-1)\pi X \cdot \exp[-(2n-1)^2 \pi^2 \tau] \quad (4.2)$$

D = Çelik içinde hidrojenin yayınma katsayısı

x = Kaynak yüzeyinden olan mesafe

t = zaman

C₀ = Kaynaktaki ilk hidrojen konsantrasyonu

C = Kaynaktaki hidrojen konsantrasyonu

$$X = x/l \quad \tau = Dt/l_0^2 \quad L_0 = l_0/l$$

(1) formülündeki eşitliği x için 0'dan l'e entegre ederek (integral) ve L₀'a bölmek sureti

ile ve aynı şekilde ,

(2) formülünden, eşitliğini O'dan l'e entegre ederek kaynaktaki yayınabilir hidrojen miktarı oranını R_c elde ederiz. R_c ise artık hidrojen miktarı Q'nun ilk hidrojen miktarı Q_0 'a oranıdır.

a) Kordon Üstü Plaka Kaynağında :

$$R_c = \frac{4}{\pi^2 l_0} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{[1 - \cos(2n-1)\pi L_0]}{(2n-1)^2} \cdot \exp[-(2n-1)^2 \pi^2 L_0^2 \tau] \quad (4.3)$$

b) Alın Kaynağında :

$$R_c = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \cdot \exp[-(2n-1)^2 \pi^2 \tau] \quad (4.4)$$

4.3 Yaş Su Altı Kaynağında Yüksek Mukavemetli Çelik İçin TRC Testi (Tensile Restraint Cracking Test)

- Giriş

Kaynak çatlakları yüksek mukavemetli çeliklerin kaynağında en önemli bir problemdir. Özellikle yüksek mukavemetli çeliklerin kaynağında kök çatlaklar, kaynağın sertlik ve gevşekliğinden yayılabilir. Hidrojen miktarı ve gerilme etkisinde kalmaktadır. En azından kök çatlaklarını önlemek için yukarıdaki faktörlerden biri azaltılmalıdır.

Su çevresi nedeni ile yüksek bir söndürücü oran ortaya çıkmakta ve bol miktarda hidrojen kullanılmakta ve neticede yüksek mukavemetli çeliğin su altındaki kaynağında hidrojen çatlakları en önemli sorun haline gelmektedir.

Su altında kaynak çok çeşitli şekillerde yapılmaktadır ve bunlardan birisi örtülü elektrotlarla yapılan yaş su altı kaynağıdır. Bu tip kaynak, uygulamada çok kolaydır ve her formdaki parçalar için uygulanabilme avantajına sahiptir. TRC testi ile kaynak çatlağı ve hidrojen, çatlağa karşı hassasiyeti, özellikleri araştırılmaktadır.

Kırılma yüzeyi ise bir elektron mikroskobu ile gözlenmektedir. Bu çalışmanın amacı gerilme zorlaması ve kopma zamanı, gerilme zorlaması ve kırılma yüzeyi biçimi arasındaki münasebetin araştırılmasıdır.

4.4 Deney Aparatları ve İşlemler

4.4.1 Kullanılan Malzemeler ve Kaynağın Şartları

TRC testi için kullanılan örnekler 19 mm kalınlıktaki St60 çeliğinden ve örtülü elektrot, piyasadan temin edilen bir titanyum oksitli kireç tipi (JIS D5003) yüksek mukavemetli çeliğe uygun 4 mm çaplı, yeterince kurutulmuş fakat su geçiren bir elektrottur. Numunelerin kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri ve hepsi elektrot metalinin özellikleri. Tablo 4.2’de gösterilmektedir.

Tablo 4.2 Numune ve Metal Çökeltisinin Kimyasal Bileşimi ve Mekanik Özellikleri

I - Kimyasal Bileşim :

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Ca	Sn	Mo	Ces	Pcn
St60	0.14	0.46	1.32	0.016	0.013	0.07	0.5	0.27	0.019	0.036	0.41	0.25
D5003	0.07	0.07	0.38	0.017	0.012							

$$I- \text{Ces} = C + \frac{\text{Si}}{24} + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Ni}}{40} + \frac{\text{Cr}}{3} + \frac{\text{Mo}}{4} + \frac{\text{V}}{14}$$

$$II- \text{Pcn} = O + \frac{\text{Si}}{80} + \frac{\text{Mn} + \text{Ca} + \text{Cr}}{20} + \frac{\text{Ni}}{20} + \frac{\text{Mo}}{60} + \frac{\text{V}}{10} + 5S$$

II - Mekanik Özellikler :

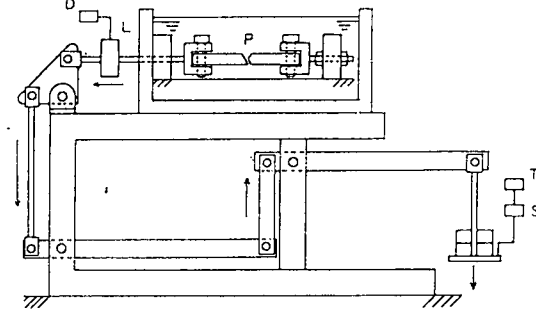
	Elastikiyet sınırı (kgf/mm)	Gerilme Mukavemeti (kg/mm ²)		Uzama %
		Düz	Çentikli	
St60	44	64	62	33
D5003	49	54	-	31

Su altı kaynağında, kaynak şartları, kaynak akımı (220-230 A) ark voltajı 30-35V ve ortalama kaynak hızı 5 cm/d, neticede ortalama ısı girişi 29.3 KJ/cm ve suyun derinliği yaklaşık 100-150 mm'dir. Havada yapılan kaynakta ise kaynak akımı 170-180 A, ark voltajı 25-30 V ortalama kaynak hızı 15 cm/d ve ısı girişi 19.3 KJ/cm'dir. Sıcaklık 25-30°C ve nem ise yaklaşık %75'tir.

4.4.2 TRC Testi (Tensile Restraint Cracking)

TRC testi, kök çatlaklarının hassasiyetini değerlendirebilmektedir. TRC test makinası 10 ton kapasiteli ve yatay olarak yerleştirilmiş bir çekme makinasıdır. Bu test cihazı havada ve suda yapılan her iki kaynak için kullanılabilir ve Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Yük, bir kol vasıtası ile ağırlık olarak uygulanmakta ve böylece deney süresince sabit bir yük olarak kalmaktadır. Yük suda yapılan kaynaktan sonra yaklaşık 10 saniye havada yapılan kaynaktan sonra 120 saniye kadar uygulanmaktadır. Her iki halde de ısının etkisi altındaki bölgede sıcaklık yaklaşık 150°C'dir.

Uygulanan yük, numuneye doğrudan bağlanan bir yük hücresine bağlı dijital bir yük göstergesinin çıkışından hesaplanmaktadır ve uygulanan gerilme bu yükün alana bölümüdür. Numunenin biçim ve büyüklüğü Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Bu araştırmadaki numunede üç çeşit vardır : Eğik Y oluğu düz Y oluğu ve 45 derecelik kanal açılmış tiptir. Bu oluklar 30 mm uzunlukta ve 2 mm kök boşluğa sahiptirler.



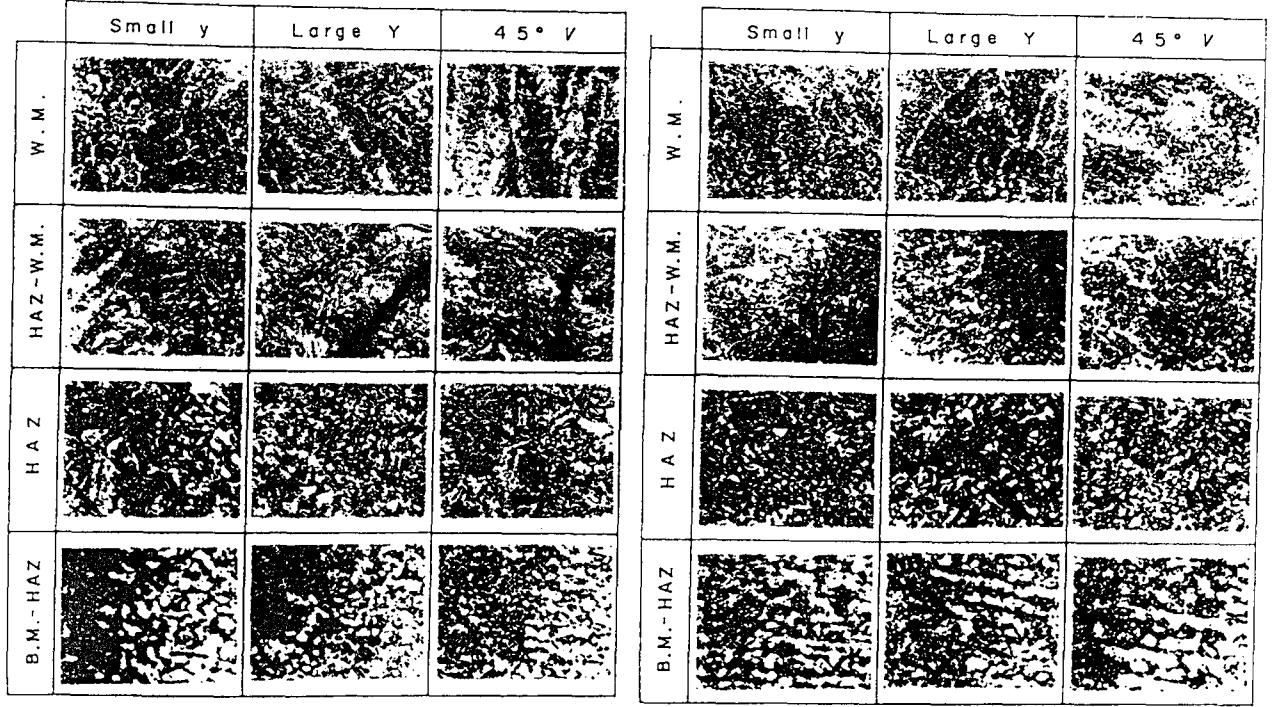
Şekil 4.4 TRC deney makinası D : Dijital gösterge odası L : Yükleme odası
P test parçası S : Anahtar T: Zaman ölçer (saat)

4.4.3 Kırılma Yüzeyinin Gözlenmesi

Kırılma yüzeyleri bir elektron mikroskobu ile inceden inceye incelenmelidir. İncelemeden önce, üzerindeki lekeleri giderilmek üzere asetona batırılır. İnceleme 25 KV'lık bir şua voltajı, 10 mm'lik çalışma aralığı ve yaklaşık 120 A'lık şua akımında yapılmaktadır.

4.4.4 Kaynak Bölgesinin Mikro Yapısı

Metalografik muayenede, numuneler parlatıldı ve %2.5 nital asidi kullanılarak dağlandı. Optik bir mikroskop altında gözlenen tipik bir kaynak bölgesi mikro yapısı Şekil 4.5'te gösterilmektedir.



Şekil 4.5 Çökelti ve kaynak metalinin makro yapıları

a) Su altı kaynağı b) Havadaki kaynak

Sualtı kaynağında mikro yapı ;

a) Sönmeden sonra bir iri taneli yapı ve temiz bir martenzitik yapıdır. Martenzit ve hidrojen birleşmesi sık sık çatlama ve gevşek davranışı ile birleştirilir. Su altı kaynağındaki hızlı sönme martenzitik üretir.

Ayrıca ısı etkisi bölgesinde mikro çatlak görülmüştür.

b) Havada yapılan kaynakta mikro yapı ferrit ve beynit (bainite) ve "düşük ısıda su verilmiş çelik"ten meydana gelmektedir.

4.5 Su Altı Yaş GMA Kaynağında Azaltılmış Hidrojen (Gaz Metal Ark)

Burada söz konusu edilen konu, su altı yaş metal arkı (GMA) CO₂ korumalı kaynakların hidrojenle birleşmesini azaltmak amacı ile yapılan deneylerin neticesini ifade etmektedir. Literatürde bu tipte bir deney uygun görülmektedir. Ancak daha önceki araştırmaların belirli şartlarının kaynak metali tarafından emilen hidrojeni

azaltılabileceği sonucu ortaya çıkarılmıştır.

Bilim adamı Savich tarafından yapılan su altı yaş kaynağındaki hidrojen kapsamına ait bazı deneysel sonuçlar bu kapsamın voltaj ve koruyucu gaza bağlı olarak değiştiğini göstermiştir.

Bilim adamı tarafından daha önce yapılan deneylerde hidrojen absorbsiyonunun (ortadan kaldırma) ark voltajına bağlı olarak değiştiğini ve tuzlu suda az bir şekilde azalttığını göstermiştir.

Bu hal iyice ortaya konmuştur ki, CO₂ koruyuculu kaynakta eergimiş damlacıkların ark bölgesinde harcandığı zaman alaşım elementlerinin oksidasyonu yolu ile oluşan kaybını etkilemektedir. Su altı ark kaynağının hidrojen bakımından zengin atmosferinde, ergimiş damlacıkların harcandığı zamanın hidrojen absorbsiyonunu da benzer bir şekilde etkileyebileceği sonucuna varılmıştır.

Ark voltajının hidrojeni yakaladığı, fakat etkisinin küçük olduğu bulunmuştur. optimum voltaj ayarlarında da çalışmak her zaman mümkün olmadığından hidrojen fayda vardır. un azaltılmasının diğer yönlerden de araştırılmasında fayda vardır. Yapılan ilk tahmin, su altı yaş kaynak yapılması sırasında suyun znp hidrojen oluşturulmasının önlenmesinin mümkün olmayacağı, bundan dolayı da, hidrojenin toplanmasını azaltmak için tek mantıklı alternatif, suyu ergime havuzunda znmeyecek bir şekilde dönüştürmek olacaktır.

4.6 Bir Katkı Olarak Freon-12

Literatürde anlatılan konu göz önüne alındığında, CO₂ akışı ile karıştırılan ve hidrojen ilk reaksiyona girip ergimiş çeliğin içinde znebilir bir bilezik oluşturan bir aktif gaz ilavesi çok etkin olabilir. Hidrojenin klor ve flor halojenlerine karşı güçlü bir ilgisi vardır ve dolayısı ile hidrojeni HCl ve HF'ra dönüştürmek en ideal bit tercih

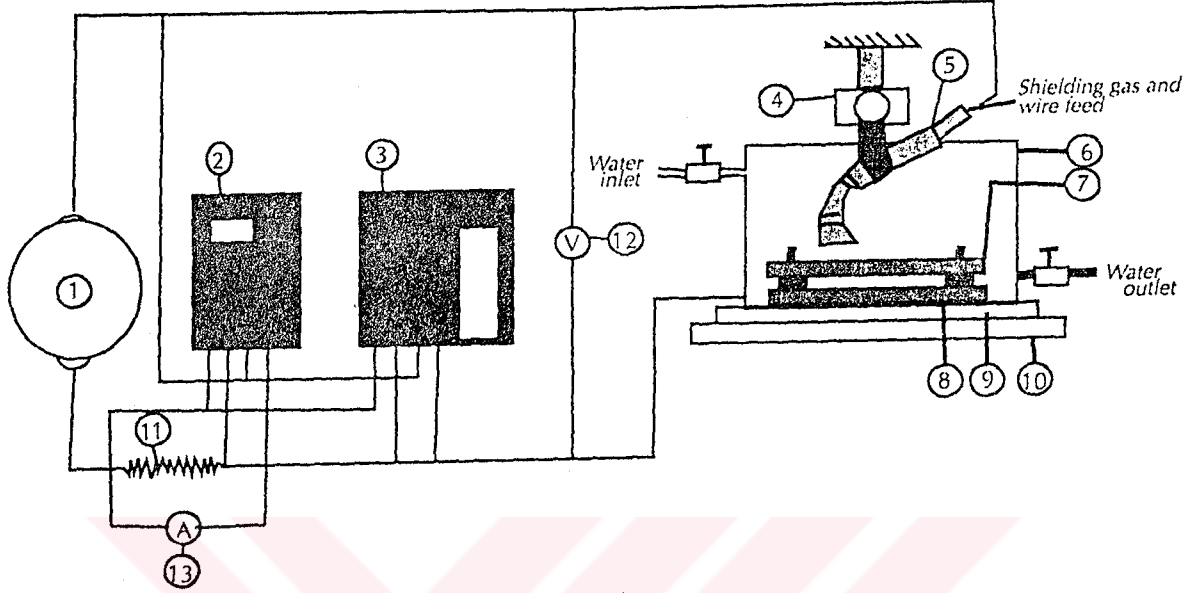
olabilir. Klor ve florun element formunda kullanımı aşırı aşındırıcı, paslandırıcı ve zehirleyici özellikleri nedeni ile tavsiye edilmez. Bununla birlikte, klor ve florun her ikisinin birden yaygın bir soğutucu gaz olan FREON-12'de mevcut olduğu anlaşılmıştır. FREON-12 üzerinde yapılan bir çalışma bir gazın zehirleyici ve yanıcı olmadığını ortaya çıkarmıştır. ASA standardı B9.1 tarafından grup 1 olarak sınıflandırılmıştır. Grup 1 tutuşmama ve patlamama özelliklerine karşı en az tehlikeli olan ve ihmal edilebilir zehire sahip gruptur. ABD yangın sigortaları ulusal heyetine göre, FREON-12, insanların oksijen almasını engelleyebilecek kadar yüksek bir konsantrasyon oranına erişmeyi haricinde zararsızdır. Öldürücü seviye, havada hacimsel olarak %28.5-%30.4 oranındaki FREON-12'de 2 saattir. Böyle bir konsantrasyonun oluşması, açık ortamlarda çalışırken kayda değer oranda değildir ve su altı yaş kaynakta hemen hemen imkansızdır. Ayrıca, su altında çalışan dalgıç / kaynakçı kendi oksijen kaynağına sahip olduğundan, kaynak bölgesinde oluşan gazlardan etkilenmez. FREON-12 175°C (347°F)'ta kadar oldukça stabil bir birleşiktir ve kuru ortamlarda kimyasal olarak aktif değildir. Çelik veya bakır gibi konstrüksiyon malzemeleri ile reaksiyona girmez. Açık bir alev veya bir elektrikli ısıtıcı ile temas ettiğinde kolayca ayrışıp zehirli ürünler oluşturur. FREON-12 kolayca sıvı hale getirilebilir ve tüplerde depo edilebilir. Çok derin sularda çalışma yapılırken, gaz halinde tutulabilmesi için suni olarak ısıtılması gerekebilir.

Yukarıdaki bilgilerden yola çıkılarak CO₂ akışı ile karşılaştırılarak kullanılmasını ve bunun hidrojenin toplanması üzerindeki etkisinden, üzerinde çalışmasında karar verildi. FREON-12 bir etkiyi araştırmak üzere kullanıldı ve ark atmosferinde klor ve flor serbest bırakarak kolayca ayrışabilen klor ve flor içerikli diğer katkıların hidrojen absorpsiyonunda istenilen azalmaya ulaşmada eşit etkinliğe sahip oldukları düşünülmüştür.

4.7 Deneysel Araştırmalar

FREON-12'nin CO₂ akımına ilavesinin hidrojen absorpsiyonuna olan etkisini

belirlemek için havada ve hem de temiz suda deneyler yapılmıştır. Hidrojen absorpsiyonunda IIV standart prosedürü kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil 4.6 Kaynak tanesi ayrışması için kullanılan düzeneğin şeması

- | | | |
|---------------------------|----------------------------------|------------------------|
| 1. Jeneratör | 2. Saklama osiloskobu | 3. 2 kanallı kaydedici |
| 4. Hareketli makine bloğu | 5. CO ₂ kaynak üfleci | 6. Su tankı |
| 7. İş parçası | 8. Sehpa | 9. İzolasyon parçası |
| 10. Makine yatağı | 11. Paralel devre | 12. Voltmetre |
| 13. Ampermetre | | |

4.8 Kaynak sonrası Yapılan Isıl İşleme Çatlakların Önlenmesi

- Giriş

Su altında kaynak işleminde kaynaktan sonra çevredeki suyun hızlı soğutma etkisi ve yayınabilir hidrojenin etkisi ile sertleşme ortaya çıkmakta, bu durum sık sık çatlakların meydana gelmesine sebep olmaktadır. Öte yandan su altında kaynakta mekanik özellikleri geliştirmek amacı ile, kaynak sonrası ısıl işlem yöntemleri araştırılmaktadır. Bununla ilgili olarak, kaynaktan sonra yayınabilir hidrojeni dışarı atmak ve parçayı tekrar ısıl işlemine tabi tutmak sureti ile çatlakları önlemek mümkündür.

4.8.1 Deneysel Metot ve Malzemeler

Esas metalin yüzeyi 200 mm derinlikteki tatlı suyun dibine yerleştirilmiştir. Doğru akım, gücü düşük tip karakterindeki elektrik kaynağı kullanılmış ve negatif kutuplu elektrot kullanılmıştır. D 5003 kireç-titanyum tipi 4 mm kalınlığındaki elektrotlar kullanılmıştır. Kaynaktan önce elektrotlar fırında 100°C'de iki saat süre ile kurutulmuştur. Kaynak şartları Tablo 4.2'de verilmiştir. Esas metal olarak SM50 A çelik plakalar kullanılmıştır. SM41 A çelik plakaları esas olarak yayınabilir hidrojen miktarının ölçümünde kullanılmıştır.

Esas malzemelere ait kimyasal birleşim Tablo 4.3'te verilmiştir. Kaynak sonrası ısıtma işleme ait deneyler şu şekilde yapılmıştır :

İlk önce 130 mm uzunluğundaki plakanın 150x150x12 mm ebetlerindeki esas metal üzerine kaynak yapılır. Kaynaktan sonra, kaynak yeri yıkanır ve cüruf atılır. Daha sonra kaynak yeri sabit sıcaklıktaki banyoya daldırılır. Bu banyoda belli bir süre kaldıktan sonra, suda soğutulur ve oda sıcaklığında havada 7 gün bekletilir. Daha sonra kaynaktan 5 kesit, elektrolitik parlatma yöntemi ile parlatılır. % 2 dağlanır ve çatlaklar optik mikroskopla gözlenir. Paso altı çatlak oranı Cu, çatlak boyu toplamının, paso genişliğine oranı olarak tanımlanır.

Tablo 4.2 Kaynak şartları

Elektrot	D5003 (φ4mm)
Kaynak akımı	175 A
Ark voltajı	30 - 36 V
Kaynak hızı	30 - 33 cm/s
Isı girişi	10-12 kJ/cm
Elektrot açısı	60°

Tablo 4.3 Esas metallere ait kimyasal bileşim

	C	Si	Mn	P	S	C _{es}
SM 50 A	0.16	0.37	1.45	0.02	0.008	0.417
SM 41 A	0.12	0.22	0.64	0.018	0.018	0.236

5. SU ALTI TAHRİBATSIZ MUAYENE YÖNTEMLERİ

5.1 Manyetik Parçacık İncelemesi, Radyografi ve Ultrason

Geleneksel NDE metodları uzaktan kumandalı su altı uygulamalarına adapte edilmiştir. Manyetik parçacık incelemesi manipülatör (işletici) vasıtasıyla, esas olarak dalgıç metodlarını kullanan, tarafından yapılmaktadır. Bir manipülatörle idare edilen çatal şeklindeki manyetik kol kaynağın karşısına yerleştirilir. Uzaktan kumandalı bir cihazın (ROV) üzerine koyulan küçük bir pompa kaynağın üzerine Horesent manyetik parçacıklar içeren bir mürekkep jeti püskürtür. O, ondan itibaren manipülatörün üzerindeki bir siyah ışık ve renkli kamera, yüzeydeki teknisyeni tarafından kullanılarak, çatlakların kıvrımlarını belirleyen parçacıklar izlenir. (ROV - Remotely Operated Vehicle: Uzaktan kumandalı araç)

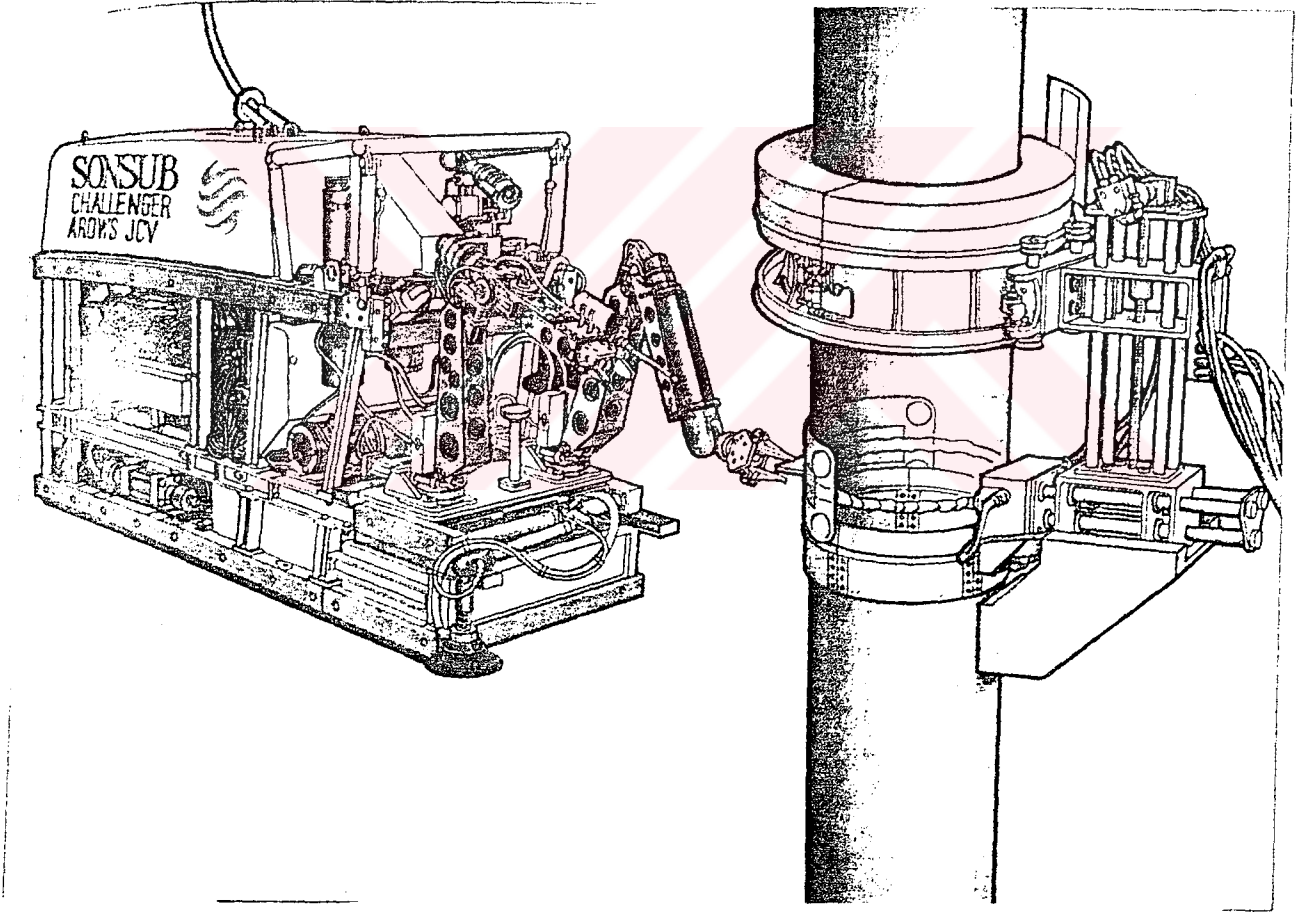
Radyografik ve ultrasonik test hassas bir konumlama ve hareket kontrolünü sağlamak için çok özel aletler kullanılır. Şekil 5.1 Okyanuslardaki çeşitli ortamlarda, görme şartlarında ve su üstü hava şartlarında maliyete değer, uygun, tahribatsız test yapmak amacıyla günümüzde kullanılan ikinci üretilen cihazı göstermektedir.

Şekil 5.1'deki cihaz radyografik amaçla düzenlenmiştir. Alet ileri ve geri sistemlerine göre yerleştirilir ve daha sonra ROV, takımı inceleme yapılacak yere taşır. Takımın üst tarafında bulunan deniz kabuğu biçimindeki kelepçe bir silindirin etrafında gezer ve silindir boyunca dolaşan bir raylı arabanın üzerinde gezdiği rijit bir iz açar.

Motor ve raylı arabanın tekerlekleri arasındaki A500 to-1'lik bir dişli oranı silindir etrafında hassas bir konumda kontrolü sağlar. Arabanın üzerinde sağ uç tarafa hidrolik mekanizma monte edilmiştir ve bu mekanizma 18 inch üzerinde bir strokta dikey konumda kalmayı sağlar. Alt sağ taraftaki mekanizma ise yatay hareketi sağlar.

1000 feet'ten der4in sulardaki konvansiyonel yapılar için sığ sulardaki tesisler

için kullanılan klasik geniş dizayn marjinalerini uygulamak genelde pratik değildir. 1300 feetten derin sularda daha karmaşık yapı tiplerine ihtiyaç vardır. Yüzer yapım sistemi bağlantıları ve destek platformları germe kolu platformları (TLP=Tension Leg Platform) ilk yükleme yolları gibi elemanlar alışlagelmişin dışında inceleme yöntemlerine ihtiyaç gösterirler. Böylece NDE'ye olan gereksinim artar ve 1000 feet'in altında dalmak pratik olmadığından işlem uzaktan kumandalı olarak yapılmalıdır. Klasik yapılardaki tecrübeler uzaktan kumandalı cihaz (ROV=Remotely Operated Vehicle) teknolojisi bu yeni ihtiyaçları karşılayabilir.



Şekil 5.1 Bir su altı yapısının incelenmesi için tasarlanan ROV tesis şeması

6. AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

6.1 Sonuçlar

I - GMA (Gaz Metal Ark) kaynağında CO₂ koruyucu Freon-12 ilavesinin hem havada hem de su altında, kaynakların hidrojen absorpsiyonunda önemli bir azalmaya neden olduğu anlaşılmıştır. Bu azalma oranının ilave edilen Freon- 12 oranına bağlı olduğu bulunmuştur. 18 lt/d'lık CO₂ ile karıştırılmış 0.5 lt/d'lık Freon-12'nin açık hava kaynaklarının hidrojen içeriği 6 ml/100 gr çöken metalden 1.8 ml/100 gr çöken malzemeye azaltılırken su altı kaynaklarındaki hidrojen absorpsiyonunu 30-40 ml/100 gr çöken metalden yaklaşık 10 ml/100 gr çöken metale indirmek için 4 lt/d Freon-12 ile 15 lt/d CO₂ karışımına ihtiyaç göstermiştir.

II - Su altında Freon-12 ilaveli halinde çöken tanelerin esas olarak hacimlerini koruduğu görülmüştür.

III - Freon-12 ilavesi metal aktarımı üzerinde sürekliliği arttırıcı bir etki yaratmış ve kısa devre frekansında bir azalmaya ve sürekli ark süresinde artışa neden olmuştur.

IV - Freon-12 ilaveli kaynağın mikro yapı ve mikro sertliği üzerine yapılan bir çalışma çok önemli değişiklikler getirmemiştir. Aynı CO₂ kaynağına nazaran CO₂ de Freon-12 ilave edildiğinde ortalama kaynak metali sertliği , havada yaklaşık %6 ve suda yaklaşık %19 artmıştır. Sertlikteki bu artış, kaynak yapımı esnasında oluşabilen karbonun absorbe edilmesine bağlanabilir. Bu durum, kaynak sırasında ısı girişini arttırmak sureti ile dengelenebilir.

V - Bu yazıdaki bütün çalışmaların yalnızca Freon-12 kullanılan CO₂ kaynağı üzerinde olmasının yanısıra, şu noktayı da belirtmekte fayda vardır ki; ark bölgesinde Freon-12 gazı veya klor ve flor desteğinin etkili bir yolu bulunduğu sürece bu methot herhangi bir ark kaynak işlemine uygulanabilir. Örneğin; elektrot kaplamasının formülünde moleküler elekler kullanılırsa, bunlar Freon-12 ile doldurulabilir. Akım erimesi ve ayrışma sırasında elektrottan ayrılabilir ve böylece kaynak bölgesinden hidrojen uzaklaştırılmış olur.

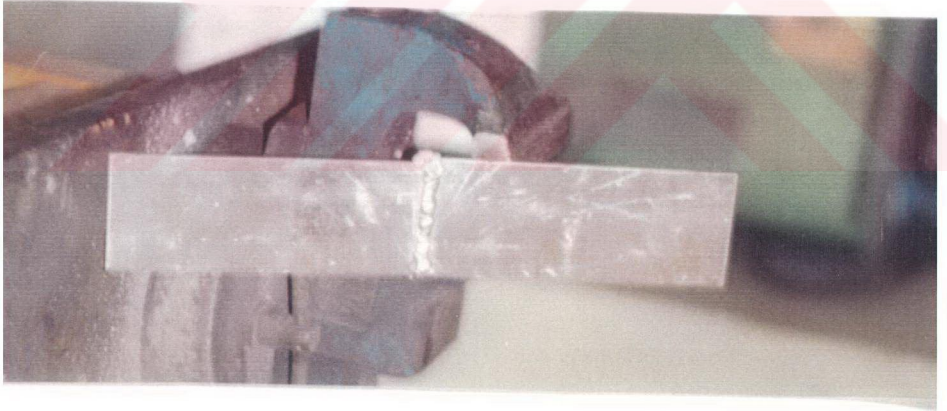
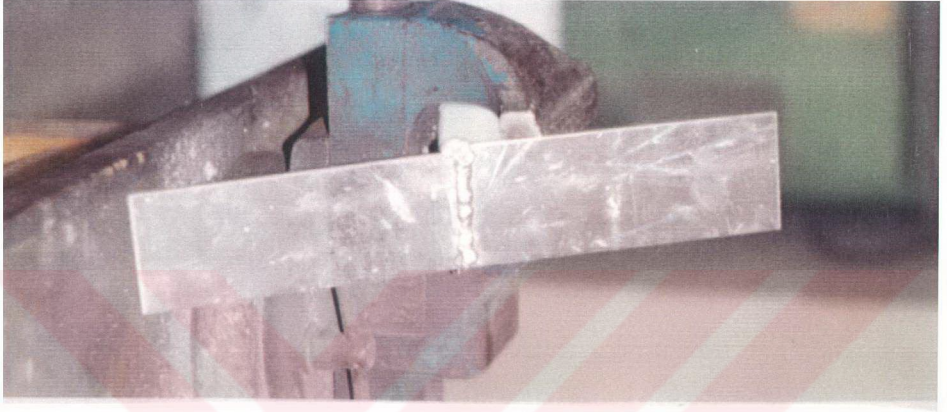
NOT : Freon-12 gazı, klor ve flor gazlarının bileşiminden meydana gelmiştir.

7 - SONUÇ

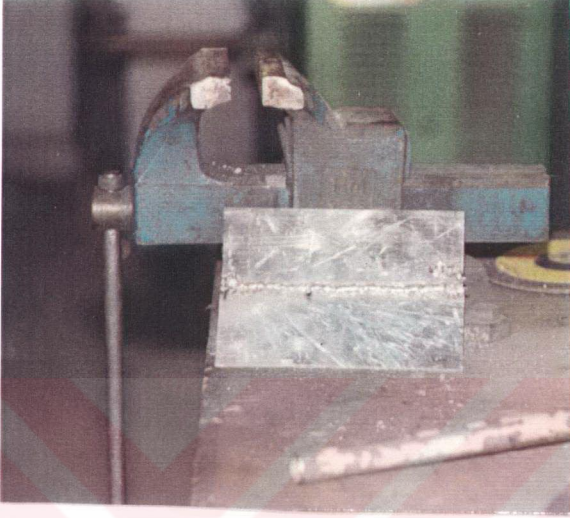
Su altında yapılan tüm kaynak yöntemleri günümüzde bilindiği gibi önem kazandı ve bu nedenle, su altında tesislerinde boru hatlarının döşenmesinde ve yüzer durumdaki gemilerin onarımlarının kolaylıkla uygulanabilmektedir. Su altı kaynak uygulamalarında, yapılan çalışmalar sonucunda gereğinde düşük maliyetler her türlü onarım ve tamiratların yapıldığı görülmüştür.

Su altı kaynağında geliştirilen yeni yöntemlerle, kaynak dolgusunda meydana gelen hidrojen nüfuziyeti azaltılmakta ve sonucunda da kaynak dikişinin mukavemetinin artırıldığı yapılan testlerle anlaşılmıştır.

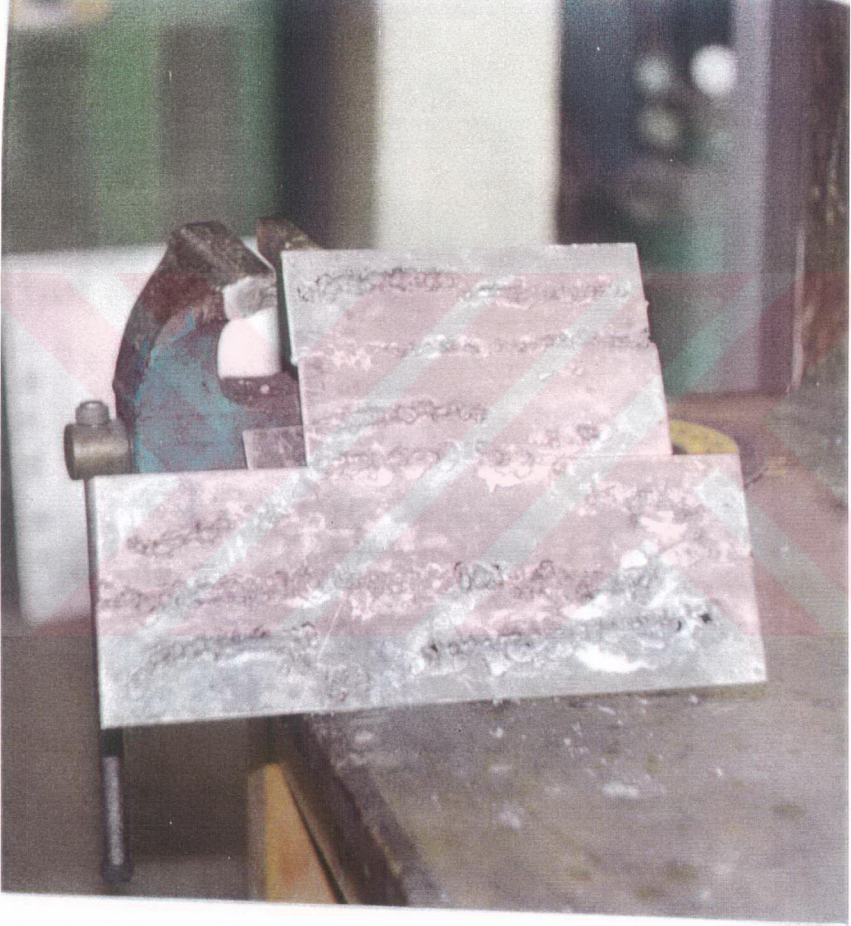
Diğer taraftan yapılan araştırmalar doğrultusunda, su altı kaynak yöntemleri hem daha kolay hale gelmekte, hem de çalışma alanları genişletilmektedir. Buna ek olarak, su altı kaynak uygulamalarında, insan faktörü de ortadan kaldırılarak bunun yerine robotlarla bu işleri yapma yönüne gidilen çalışmalar yürütülmektedir. Su altı kaynak yöntemlerinin uygulanması ve sonrasında yapılan işlemlerin kalitesinin tespiti için su altı denetleme ve inceleme ekipman ve ekiplerinin geliştirilmesi ve yetiştirilmesinde önem verilmesi gerekliliği vardır.



- TIG yöntemi ile hava ortamında yapılan alüminyum kaynağı



- MIG yöntemi ile hava ortamında yapılan alüminyum kaynağı



- MIG yöntemi ile su ortamında yapılan alüminyum kaynağı



BÖLÜM 2. SUALTINDA KESME

1. GİRİŞ

Su altında kesme işlemi ilk olarak 1908 yılında Almanya'da, sonra da 1927 yılında ABD'de yapıldı. Sonuç olarak su altında alevle kesme sürekli ve birbirini izleyen bir gelişme yaşadı. Özellikle 2.Dünya Savaşı ve daha sonra yaşanan petrol krizi sebepleri ve sonunda açık denizlerde petrol arama, platformlarına olan ihtiyaç su altında kesme tekniğinin gelişmesini sağladı.

Su altında kesme teknolojisi denizlerde yapılması düşünülen tesislerin gerçekleştirilmesinde büyük önem taşıdığı açıkça ortaya çıkmıştır. Denizlerde gemilerin onarımı, boru hatlarının döşenmesi ve diğer sistemlerin inşasında kesme işlemi başarı ile kullanılmıştır. Su altında kesme işlemi iki ana metotla yapılmakta, bunlardan birincisi alevle kesme ikincisi ise oksijen-ark yöntemidir.

Genelde kullanılan kesme metotları havada yapılan kesme işleminde kullanılan metotlardan esasta önemli bir farklılık yoktur. Bunu söylerken de, doğaldır ki su altında kesme işleminin zor yönleri vardır. Donanım farklılığı ve yetişmiş dalgıç gibi unsurlar farklılık arz eder. Bu bilgiler ışığında su altında kesme işlemi zor ve riskli bir uygulamadır.

2. SU ALTINDA KESME İŞLEMİNİN TEKNİĞİ

Bir açık alev prosesi kullanılan su altında kesme işlemi 1908 yılında yapılmıştır. Kesme işlemi sonuçlarının başarılı olduğu söylenemez. Çünkü suyun aleve tesir eden direnci alev stabilitesine ve ön ısıtma işlemine olumsuz yönde etkisi vardır. Ön ısıtma ayrıca suyun hızlı soğutma etkisi ile dengeleniyordu. Üflecin konumunda kesme alevinin üzerinde doğrudan bir tesiri vardır. Birkaç yıl sonra özel olarak havalandırılmış kuşak ilavesi ile, alevin stabilitesini arttırdığı tespit edildi. Buna rağmen su üstü oksiasetilen üfleç sistemleri sığ sulardaki su altında kesme işlemlerinde bazen kullanıldı. Oksi-asetilen kullanılmasına diğer bir engel de suyun derinliğine bağlı olarak artan ortam basıncını yenmek için nispeten yüksek çalışma basıncına ihtiyaç duyulmasıdır. Asetilen 15 psi'nin üzerindeki basınçlarda buharlaşabilir hale gelmektedir. Bu durum Oksi-asetilenin azami çalışma derinliğini 25 feet olarak sınırlar. ABD Deniz Kuvvetlerinin kullandığı ilk su altı kesme işlemi Rome adlı buharlı bir 1926 yılının Eylül ayında çarpışarak suyun 130 feet derinliğe batan denizaltının kurtarılması girişimidir. Bu derinlikte bulunan bir geminin kesme işlemi yapılamamıştır. Sadece bazı kısımları kesilmiştir. Bunun üzerine bu derinlikte kesme işlemi yapabilecek bir üfleç geliştirildi. Böylece 25 feet'in altında bir derinlikte ilk defa bir üfleç kullanılmış oldu.

Su altında kesme işleminin tekniği ve prensibi havada yapılanın aynı olmasına karşın, kesme aparatı donanımında bazı farklılıkların olduğu bir gerçektir. Kesilecek metal herhangi bir ısı kaynağı kullanılarak ergime sıcaklığının üstüne çıkılır ve kullanılan yöntem uygun olarak tespit edilen kat boyunca malzeme kesilerek ayrılması sağlanır.

3. SU ALTINDA KESME YÖNTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

3.1 Metal-Ark Kesme Yöntemleri (Karbon-Ark)

Su altında ark kesme yöntemi, su altı elle kumandalı koruyucu metal-ark kaynağı ile aynı ekipmanları kullanmaktadırlar. Farkı, karbon-ark kesmenin daha yüksek akım yoğunluklarına ihtiyaç duymasıdır. Kesme işlemi elektrik arkı tarafından oluşturulan bir ergime işlemidir. Ergimiş metal iyi bir operatörün meziyetini gerektiren ve elektrotun kısa yavaş yavaş bir hareketi ile kenar yüzeyinden dışarı doğru itilmesidir.

Suya dayanıklı, örtülü metal-ark kayak elektrotları su altı kesme işleminde kullanılır. Karbon-ark kesme için gerekli olan güç kaynağı 400 A DC jeneratördür. 300 A ve 40 voltluk akım ve 4.8 mm çapındaki bir elektrot 6.4 mm kalınlığa kadar olan çelik plakaları kesebilir. Daha kalın malzemeler için 400 A'lık bir jeneratörde 40 voltluk bir akım ve 4.8 mm veya 6.4 çaplı elektrot tavsiye edilir.

İyi bir operatör, uygun bir güç kaynağı yardımı ile malzeme kompozisyonu ve kalınlık ne olursa olsun hemen hemen her metali kesebilir. Bununla birlikte yumuşak çelik plakaların kesilmesinde elde edilen kesme hızı, oksî-fuel ile kesme hızından çok daha düşüktür. Koruyucu metal-ark kesme yöntemi, 6 mm'den ince çelik ve demir olmayan her

kalınlıktaki malzemelerde oksî-fuel tekniğine göre küçük bir avantaja sahiptir.

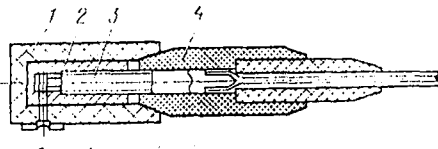
3.1.1 Örtülü Elektrotla Kesme

3.1.1.1 Su Altı Ark Kesme

Bu proseste özel ön tedbirler zaruridir. Akım kayıpları en aza indirmek için elektrottan önceki akım taşıyan bütün parçaların uygun bir şekilde izole edilmesi gerekir. Bu bilhassa, sadece sudan daha yüksek bir elektriksel iletkenliğe sahip olan

deniz ve deniz suyunda yapılan operasyonlarda uygulanır. Şekil 3.1’de metalik elektrotlar için dizayn edilmiş bir elektrot tutucusunu göstermektedir. Tutucu, basit bir silindir şeklindedir. Metalik parçalar iyi izole edilmiştir. Elektrot iyi bir elektrik teması sağlayan dişli tip bir tutucu içine takılır.

Su altı ark kesme boyunca, aşağıdaki elektrot tipleri kullanılır. Harcanan kapalı metalik elektrotlar, karbon ve grafit elektrotlar, harcanabilir metalik elektrotlar çok geniş alanda kullanılır, daha yüksek üretim oranlarında kesme yapar. Bu elektrotlar 6-7 mm iç çapında ve 350-400 mm uzunluğunda düşük karbonlu çelik çubuklardan yapılır. Çubukların üzerine 2 mm kalınlığında kaplama yapılır. Rutubete direnç göstermek amacı ile, kaplamalar parafin, seluloyid, vernik veya diğer rutubete dayanıklı malzemelerden yapılır. Görüntünün iyi olmadığı yerlerde sabit hale geldiğinde kesme yönünü gösteren ağaç bir cetvel kullanmak pratik olarak iyidir. Kesilen metal ve elektrot yoğun bir soğumaya maruz kaldığından, akım değeri açık havadakinden %10-20 daha yüksek olmalıdır. Tablo 3.1’de 10 metre derinliğe kadar yapılan ve harcanabilir metalik elektrot kullanılan çeliğin su altında kesilmesine uygun parametreleri sıralandırmıştır. Su altında kesmede, dokunma tekniği ve negatif elektrotu kullanmak uygundur. Ark uygunluğu kaplamanın yüksek kalitesine bağlıdır.



Şekil 3.1 Su altı ark kesme için elektrot tutucusu

1. İzolasyon burcu; 2. Diş açılmış tutucu; 3. Akım taşıyıcı çubuk; 4. Tutucu

Tablo 3.1 Su Altı Kesme İşlemi Değişkenleri

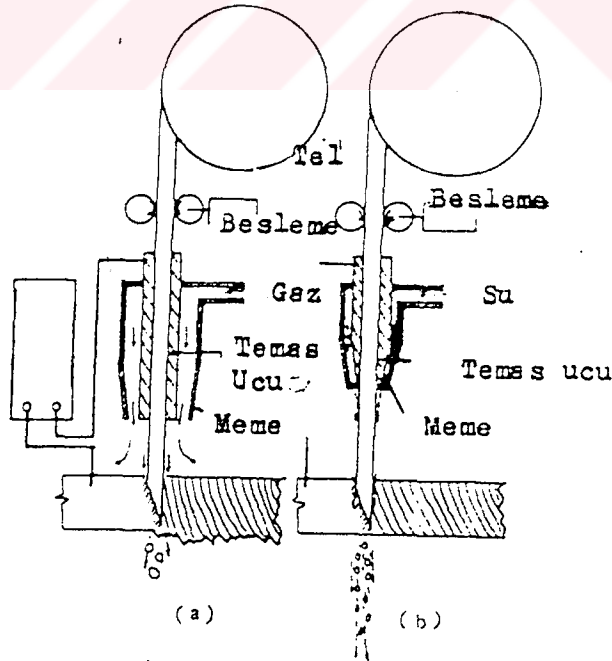
İş parçası kalınlığı (mm)	5	10	15	20	30	40	50	60
Akım (A)	500	600	700	800	900	1000	1000	1000
Kesme Hızı (m/saat)	10.5	4	1.7	0.7	0.3	0.2	0.16	0.12

3.1.2 MIG Usulü ile Kesme

Bu usulde örtülü elektrot yerine koruyucu gaz atmosferi altında sürekli çıplak bir tel kullanılır. Eriyen metalin ark etrafında akma meylinin bulunması ve çok miktarda cüruflla ayrılan uçlar arasında köprüler teşekkül etmesi bu yöntemin iki mahsurlu yönüdür. Japonya'da yapılan çalışmalar sonucu bu mahsurlar ortadan kaldırılmıştır. Eriyen metalin uzağa püskürtülmesi için koruyucu gaz yerine yüksek basınçlı su jeti kullanılmıştır.

3.1.2.1 Kesme Prensibi ve Uygulaması

Bu teknik, Japonya'da geliştirilmiştir. MIG-Gaz koruyuculu metal-ark kesme işlemine çok benzer. Burada eriyen metal yüksek basınçlı su jeti yardımı ile kesme bölgesinden uzaklaştırılır. Geride temiz bir yüzeyle bir miktar cüruf kalır. Kesme işleminin temel prensibi malzemenin erimesine dayanmaktadır. Demir ve demir olmayan metaller rahatlıkla uygulanabilir. Elektrot olarak ince bir tel elektrot kullanılması nedeni ile, sık sık elektrot değiştirmeye gerek yoktur.



Şekil 3.2 Kesme Metodunun Şematik Görünüşü

a) MIG kesmesi b) Eriyen elektrot ve su jeti ile metal-ark kesmesi

Bu usulde, üfleç elle tutulmadığından (otomatik sistemde) elektrik çarpma tehlikesi daha azdır. Sonuç olarak diğer yöntemlere göre daha emniyetlidir.

3.1.3 Su Jeti İle Kesme

3.1.3.1 Eriyen Tip Elektrot ve Su jeti Metodu Kullanılarak Metallerin Su Altında Kesilmesi

3.1.3.1.1 Giriş

Okyanus ve açık denizlerdeki büyük yapıların inşasında, su altı kaynak işlemine olduğu kadar, su altı kesmeye de ihtiyaç duyulur. Bugüne kadar bilinen usul oksii-ark kesmesi idi, bu da yüksek teknoloji gerektirmektedir. Rusya'da plazma jeti metodu denenmiş, fakat aşırı büyüklükteki üfleci, elektrik tehlikesi ve donanım maliyetinin yüksek olması sebepleri ile kullanılmamıştır. Japonya'da ise LP gazı ve alevle kesme denenmiş fakat yavaş olması, yüksek beceri gerektirmesi sebebi ile kullanıma geçilememiştir. İşte bu aşamalarda eriyen metal elektrot tipi ve su jeti Metodu ile kesme işlemi denenmiştir. Bu metot yumuşak çelik, paslanmaz çelik ve alüminyuma tatbik edilebilmektedir. Günümüze kadar alınan sonuçlar olumludur.

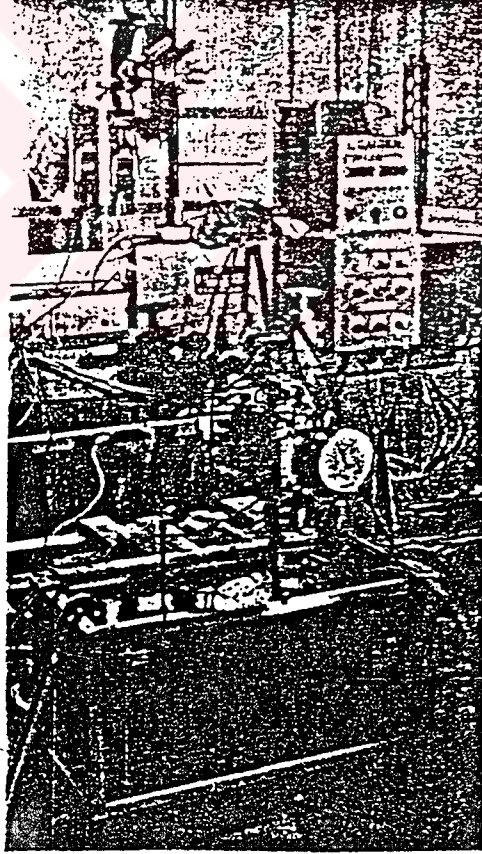
3.1.3.1.2 Genel Prensip ve Karakteristikler

3.1.3.1.2.1 Prensip

Şekil 3.3 şu ana kadar bilinen MIG kesme Metodunun prensibini göstermektedir. Bu metot da ark, tel ve parça arasında meydana getirilmekte ve parça eriyerek kesilmektedir. Fakat bazı eksikliklerde olmaktadır. Yani; ya erimiş metal kesme bölgesinin kenarı boyunca akmakta ve ark oluşumunun arkasından hazırlanmış ağızlar arasında karşılıklı birbirine yapışma meydana getirmekte yada eğer iş bir tarafa kesilebilir ise daha fazla cüruf Şekil 3.4'te görüldüğü gibi meydana gelmektedir. Şekil 3.3 (b)'deki yöntemde ise örtücü gaz kullanılmaz ve yüksek basınçlı su, eriyen metali, kesilen bölgeden uzaklaştırmak ve kesme işini tamamlamak için yüksek hızlarda püskürtülmektedir.



Şekil 3.3 Alt kısımda kalan cüruf



Şekil 3.4 Bu deneyde kullanılan kesme donanımı

23.1.3.1.2.1 Karakteristikleri

Bu kesme Metodu aşağıdaki karakteristiklere sahiptir :

I - Değişik Metaller Kesilebilir : Oksi-ark metodunda sadece elik kesilebilir. Fakat eriyen elektrot tipi su jeti ile kesme metodunda kesilecek parça ark ile eritilmekte ve eriyen metal su jeti ile uzaklaştırılmaktadır. Bu nedenle bu metot yalnız yumuşak çeliğe değil aynı zamanda alüminyum, bakır ve alaşımlarına da tatbik edilebilir.

II - Yüksek alışma Verimi : Püskürtülen su aynı zamanda soğutma görevini de yerine getirdiği için, 10-12 mm çapında bir meme ağzı yeterlidir, böylece üfleç olabildiğince küçültülebilir. (1200 A'lık akım kullanılması halinde) Ayrıca, kaynağı yapan kişi vücudunu su içerisinde dengede tutmakta zorluk eker ve bu yüzden el hareketlerinde yanlışlık yapabilir. Bu sebeple şayet meme ve iş parçasının arasındaki mesafe büyük bir aralığın üzerinde tutulursa kesme işlemi kolaylıkla yapılmaktadır. Yüksek verimliliğin bir diğer sebebi de, kaynakçının üflecisi kesilen parçalar ayrılırken su amurlaşmadığı için rahatça hareket ettirebilme imkanına sahiptir.

III - Düşük Maliyet : Sürekli ve uzun bir kesme, uzun bir tel elektrot sayesinde mümkün olmaktadır. Kesme hızı yüksektir ve sadece tel eriyebilmektedir. Bütün bu etkenler düşük maliyete yardımcı olur.

IV - Yüksek Emniyet : 1200 A'lık akım kullanılması halinde, ark voltajı 20-30 volt olur. Bu sabit yada yükselen voltaj karakteristiğine sahip güç kaynağı kullanmayı mümkün kılar ve sonuç olarak ikinci voltaj düşürülebilir. Neticede su altı şartlarında düşük elektrik şoku tehlikesi vardır.

Tablo 3.2 Yumuşak Çeliklerin Eriyen Tip Elektrot ve Su Jeti ile Metal-ark Kesmesine Ait Karakteristikler

Kalınlık (mm)	Akım Şiddeti (Amper)	Kesme Hızı (cm/dak)	Ark Gerilimi (volt)	Kesme Aralığı	
				Üstte	Altta
9	500	40	25-30	2.8-3.2	3.0-4.5
	1000	150			
16	600	30	25-30	2.8-3.2	3.0-4.5
	1000	30			
20	600	30	28-33	3.0-3.5	3.5-5.0
	1000	60			
30	1000	25	30-35	3.0-3.5	3.7-5.5

Tablo 3.3 Paslanmaz Çeliklerin Eriyen Tip Elektrot ve Su Jeti ile Metal-ark Kesmesine Ait Karakteristikler

Kalınlık (mm)	Akım Şiddeti (Amper)	Kesme Hızı (cm/dak)	Ark Gerilimi (volt)	Kesme Aralığı	
				Üstte	Altta
12	600	50	35	1.8-2.0	2.0-4.5
	1200	140	40		
20	700	45	35	2.3-2.8	4.0-5.0
	1200	90	40		
30	1200	55	40	2.3-2.8	4.5-6.0
40	1200	35	45	2.3-2.8	4.5-6.0

3.1.3.1.3 Deneysel Donanımlar ve Malzemeler

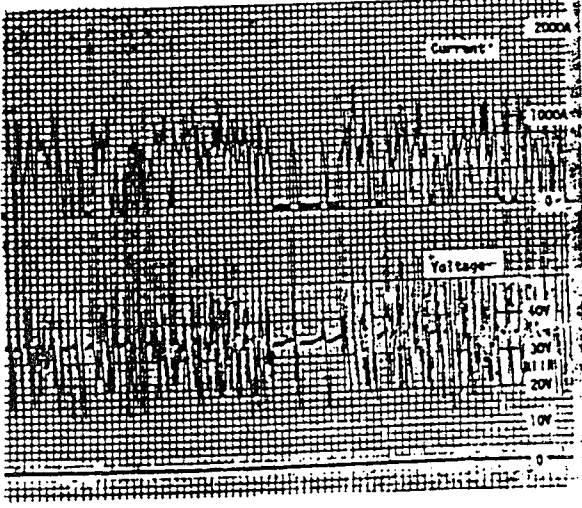
Kullanılan cihaz Şekil 3.3'te gösterilmektedir. Bu donanımlar konvansiyonel CO₂ ark cihazlarından farklıdır. Su tankı tuğla kaplı ağaçtan yapılı, 1.5 m yükseklikte, 1 m genişlikte ve 0.3 m derinliğindedir ve kesme 0.2 m derinlikte yapılmıştır. 12 mm çaplı küçük hafif meme üfleç bağlanmıştır. Bu çalışma için kaynak tozu özlü 2.4 mm çapında tel ve 1.6 mm, 2.0 mm ve 2.3 mm çapında piyasa tipi çinko

kaplı çelik tel kullanılmıştır. Tel beslemesi sabit besleme sistemine bağlanmıştır. Kaynak makinesi 1000 A'lık MG tipi sabit voltaj karakteristikli ve ters kutuplamalı seçilmiştir. Memeden dışarı püskürtülen su jetinin basıncı 5 kg/cm_2 ve bu şartlarda su hacmi 6.2 litre minimumdur.

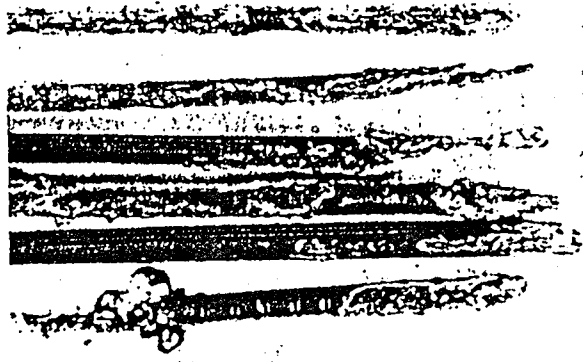
Yumuşak çelik kalınlığı 9-30 mm, paslanmaz çelik kalınlığı 12-45 mm ve alüminyum kalınlığı 9-55 mm'dir.

3.1.3.1.4 Kesme İşlemi

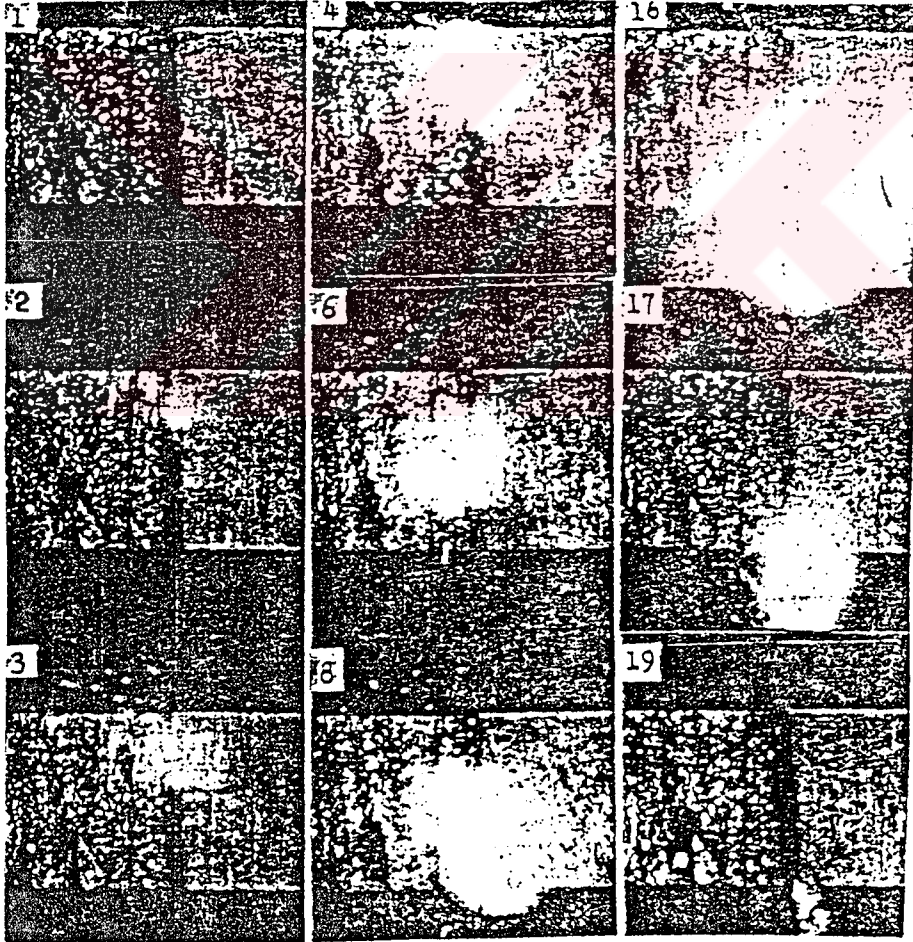
Şekil 3.4'te kesme işlemi yapılırken, akım ve voltaj gösteren oscillogram'dan kesme şartlarındaki değerler alınmıştır. Bu Oscillogram'dan görülen ark kesitli olarak tutuşturulmaktadır. Şekil 3.5'te kesmeden sonraki tellerin durumunu göstermektedir ve arkın uç üzerinde yanarken bıraktığı izler kenardan okunabilmektedir. bu ya ark telin ucunda tuttuğu, yada sönmeye rağmen tel parça içinde beslenmektedir ve ark yeniden ateşlendiğinde telin ucu parçaya temas eder. Eğer kesme hızı, tel besleme hızına nazaran çok yüksekçe, kesme imkansızlaşır, sadece telin ucu parçaya temas eder telin bir parçası erir. Sonuçta telin büyük bir bölümü erimemiş olarak kalır. Şekil 3.6 kalın tabakaları keserken arkın hareketini göstermektedir. Bu fotoğraf saniyede 2000 frame çekme kapasiteli bir yüksek hız kamerası ile çekilmiş ve arkın tepeden dibe doğru yüksek hız dolu hareketi görülmektedir. Bu, suyun püskürtülmesinin etkisi olarak değerlendirilmektedir. Karşılıklı yapışmalar içinde tekrar oluşturulan eriyen metali önlemenin yanında, su jeti kesme bölgesindeki kesilen kısmı uzaklaştırmak için hemen atma görevini yapar ve her zaman temiz su püskürtür. Aynı zamanda arkı aşağı doğru hızla sevk etmek de bir diğer görevdir. Bazen ark altta söner, bu durumda tel parçaya temas ederek arkın tekrar yanmasına neden olur. Bazen paralel ark olarak adlandırılan ve arkın alt tarafta tamamen sönüp tepede görünmesi olarak ortaya çıkan bir durum görülür. Bu olay tekrar edilerek tabakanın kesme işlemi tamamlanır.



Şekil 3.4 Optimum kesme şartlarında akım ve voltaja ait osilogram



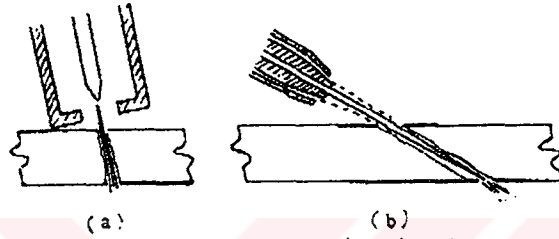
Şekil 3.5 Kesme sonunda tel uçlarının görünüşü



Şekil 3.6 Ark hareketinin yüksek hızlı kamera ile görünüşü

3.1.3.1.5 Yiv Kesmesi

Plazma kesme işleminde, tungsten elektrot meme içine sokulduğu için, üfleç eğildiği zaman nozul Şekil3.7'de görüldüğü gibi iş parçası ile temas eder. Buna rağmen eriyen elektrot ve su jeti ile kesme metodunda meme çapı çok küçük ve meme iş parçası arasındaki mesafe (b)'de görüldüğü gibi büyük olmasına karşın, tel uzayabilir ve parça içerisinde çalışabilir. Yapılan denemeler sonucunda kesme işleminin 60 derecede gerçekleştiği gözlenmiştir.

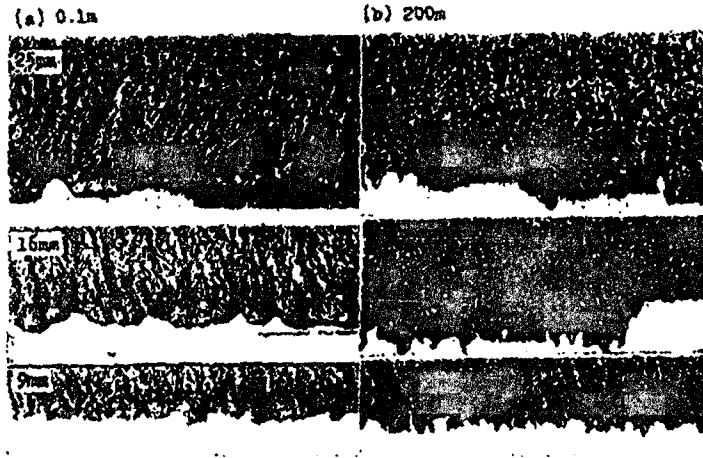


Şekil 3.7 Yiv Kesmenin Şematik Görünümü

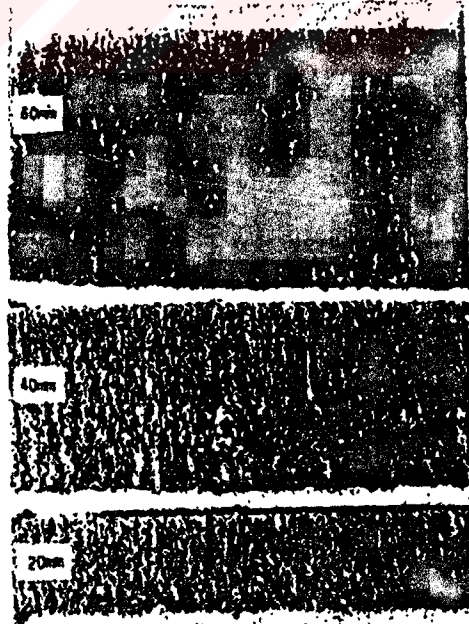
a) Plazma kesmesi; b) Eriyen elektrot ve su jeti ile kesme

3.1.3.1.6 Değişik Kalınlıktaki Alüminyum ve Çelik Plakaların Kesilmesi

Şekil 3.8 (a) ve (b) değişik kalınlıktaki yumuşak çelik plakaların 0.1 ve 200 m derinlikteki kesme yüzeylerini, Şekil 3.9'de ise aynı yüzeylerin görüntüsünü alüminyum için 200 m derinlikteki kesme işleminde vermektedir. Kesme yüzeyleri derinlikten etkilenmemekte, fakat sığ sularda alt kısma yapışan cüruf kalıntıları, büyük parçacıklar halinde ve derin sularda ise ince parçacıklar halindedirler. Alüminyum kesme işleminde az miktarda cüruf ortaya çıkar. Fakat bunlarda tel fırçalama işlemi ile giderilir. Tablo 3.4'te plakaların kesme şartları verilmiştir.



Şekil 3.8 Yumuşak çelik plakaların 0.1 ve 200m derinlikte kesilen yüzeylerinin görünümü



Şekil 3.9 200m derinlikte alüminyum plakaların kesme yüzeyleri

Tablo 3.4 2.4 mm Çaplı Çelik Tel ile Yumuşak Çelik ve Alüminyum İçin Su Altında Kesme Şartları

Malzeme	Plaka Kal. (mm)	Su Der. (m)	Su Basıncı (kg/cm ²)	Su Hacmi (l/dak)	Ark voltajı (V)	Akım (A)	Kesme Hızı (cm/dak)
Yumuşak çelik	9	0.1	+ 5	6	38	800	120
		200	+ 5	6	48	800	120
	16	0.1	+ 5	6	40	1000	75
		200	+ 5	6	50	1000	75
	25	0.1	+ 5	6	40	1000	35
		200	+ 5	6	50	1000	35
Al	20	0.1	+ 3.5	4.2	40	1000	100
		200	+ 3.5	4.2	50	1000	100
	40	0.1	+ 3.5	4.2	40	1000	40
		200	+ 3.5	4.2	50	1000	40
	60	0.1	+ 3.5	4.2	40	1000	15
		200	200	+ 3.5	4.2	50	1000

3.2 Oksi-Ark İle Kesme Yöntemi

Oksi-ark veya hava-karbon-ark kesme yönteminde esas ısı kaynağı olarak bir elektrik arkı kullanılır. Bir oksijen jetinin iş parçasına üflediği içi boş bir elektrotun ucundan çıkar. Ark, iş parçasını ısıtır, iş parçası da hem ısıya hem de oksidasyona maruz kalır. Oksijen gazı bir egzotermik oksidasyon reaksiyonu oluşturur ve daha sonra oksitleri üfleyerek bir kenar yüzeyi meydana getirir.

Elektrotlar, suya dayanıklı, akan, eriyen malzeme ile üzeri kaplanmış, çelik borulardan yapılmıştır. kesme işlemi boyunca suyun ön ısıtma etkisini azaltmasını önlemek için kesme ucunun etrafında ayrılmış erilmiş malzeme ile kaplama ve oksijenden oluşan bir gaz balonu, arkı kararlı hale getirir ve aynı zamanda suyu kesme ortamından uzaklaştırır. Elektrot kaplaması, çelik tüpünden çok daha yavaş erir ve

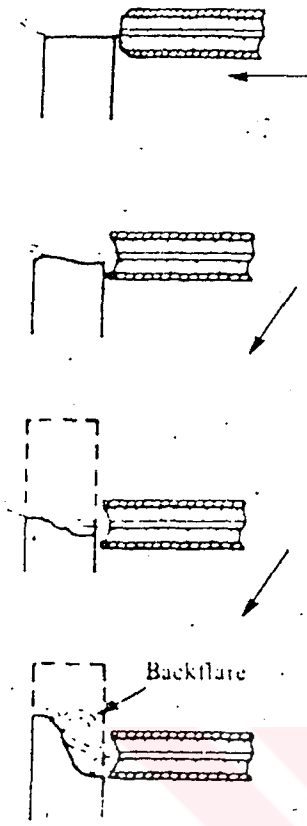
böylece elektrotun ucunda bir kap oluşturur. Bu da kaplamayı metal ile temas halinde tutarak işlem yapmayı mümkün kılar, bu da uygun ark boşluğunu sağlar. Tipik bir kaplamalı çelik tüp elektrot 355 mm uzunluğundaki 8 mm çapındaki ve 3 mm iç çapında (13.97x0.31x0.19 inç)'dir.

Su atında kesme işleminde kullanılan diğer elektrot tipleri, seramik, silisyum karborandum veya zımpara taşı ve karbon borularıdır. Boru yüzeyine 0.8 mm kalınlığında çelik kaplama malzemesi püskürtülür ve bu kaplanmış boru suya dayanıklı bir tabaka ile izole edilir. Seramik ve silisyum karbür elektrotlar yüksek sıcaklıklarda oksijenle kolay kolay reaksiyona girmezler ve çelik elektrotlardan daha uzun bir ömre sahiptirler. Karbon elektrotlar genellikle bakır ile kaplıdır. Bir pirinç temas ucu ile birleşiktir. Elektrotlar suya dayanıklı bir kaplama tabakası ilke izole edilmişlerdir.

Kaplamalı çelik elektrotların kesme hızları 400-650 mm/d (15.75-25.60 in/min) arasında artarken, iş parçası kalınlıkları da 25 mm'den 6 mm'ye kadar azalır. (0.98-0.24 inch) Kesme hızı arttıkça ve iş parçası kalınlığı azaldıkça oksijen harcamı 0.37 m³/m'den 0.23 m³/m'ye (13.06-8.12 ft³/ft) azalır. Kesme arttıkça elektrot harcamı da 0.48 kg/m'den 0.31 kg/m'ye azalır. İş parçası kalınlığı arttıkça oksijen basıncı da 1.3 bar'dan 4 bar'a doğru artar. Su derinliği her bir metre arttığında ve her 10 m uzunluğunda hortuma karşılık 0.1 bar ek basınca ihtiyaç vardır.

Seramik kesme elektrotları kullanıldığında, kesme hız aralığı 200 mm/d'dan 325 mm/d'ya (7.87-12.79 in/min) oksijen harcamından bir değişiklik olmaksızın azalır. Bununla birlikte artan elektrot ömründen dolayı belirli bir kesme yoğunluğu için gerekli olan elektrot değişimi sayısı azalır. Kesme uzunluğu seramik elektrotlarda oldukça fazladır.

Eşitlik noktası 19 mm (0.75 inch) kalınlıktadır. Bu kalınlığın üzerinde, daha sık elektrot değişimine rağmen çelik elektrot daha verimlidir.



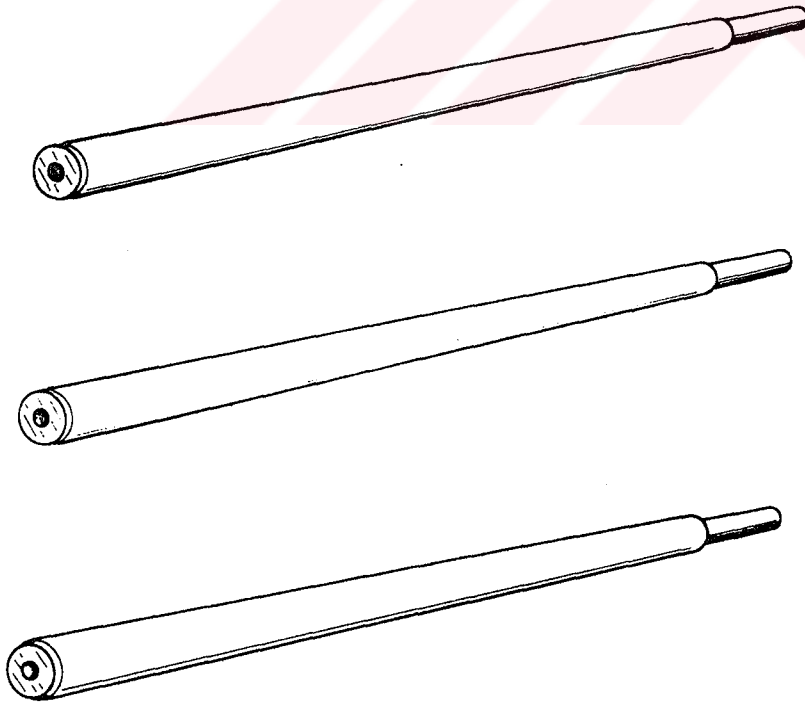
a) O₂ valfi açık, akım basılı halde elektrot ok yönünde bastırılır.

b) Elektrot aynı noktada tutulur. Kesme başladığında basınç yönü ok doğrultusunda değiştirilir

c) Kesme devamınca elektrot hafifçe bastırılır.

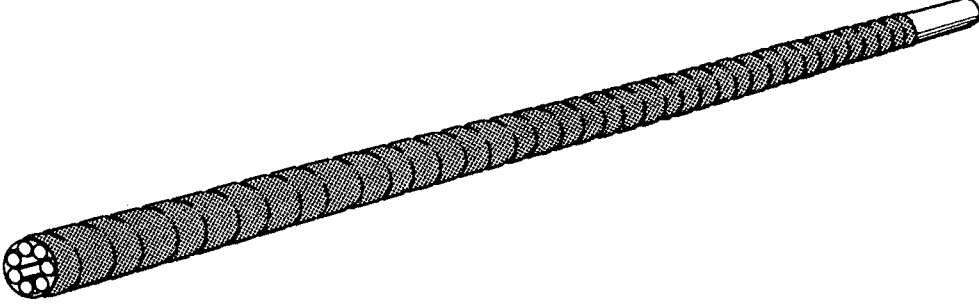
d) Yanlış uygulama sonucu yarım kesme olması halinde, önce tepe kısmı kesilmeli sonra kesmeye devam edilmelidir.

Şekil 3.10 Çelik boru elektrot ile sualtı oksiyark kesme



amaca uygun değişik
tipe, örtülü boru
elektrotlar

a) Çelik boru elektrotlar



b) Siyah bant ile izole edilmiş yüksek ısı elektrotu

Şekil 3.11 Sualtı oksis-ark kesme elektrotları

3.2.1 Kullanma Yerleri

Sulu demir oksitler sadece ısı vermekle kalmayıp, aynı zamanda erimeyi kolaylaştırdıklarından boru elektrotlarla sadece saf düşük alaşımlı demirler değil, yanmaya dirençli, paslanmaz çelik, gri dökme demir, yüksek alaşımlı çelik ve demir olmayan bakır, pirinç, tunç gibi metaller de kesilebilir.

3.2.2 Elektrotların Kullanımı

Daha önce gördüğümüz metal ark yönteminde kullanılan dolu elektrotla erimiş sulu eriyik metali, testere hareketiyle kesme bölgesinden uzaklaştırılırken oksis-ark kesme işleminde bu tarz sadece demir döküm, yüksek alaşımlı çelik ve demir olmayan malzemelerde kullanılır. Saf ve düşük alaşımlı çeliklerde ise boru elektrot cereyanının gelmesi ve O_2 akımının açılmasından sonra kuvvetli bir basınçla dik olarak parça üzerine itilir. Ve bu basınç devam ettirilerek parçanın dış yüzeyi üzerinde istenen kesim hattı üzerinde götürülür. Bu tarzda 50 mm. kalınlığında parçalar kesilebilir.

3.2.3 Boru Elektrot tipleri

I - Çelik boru elektrotlar

I.1 - 5/16" (7.94 mm) dış çap

I.2 - 14" (35.65 cm) uzunluk

I.3 - 1/8" (3.18 mm) iç çap

I.I - Tutuşma sıcaklığının üzerinde kullanılması nedeni ile ve süratli yanmalarına rağmen çelik borular, diğer tip dökme demir ve pirinç borulardan daha üstündürler.

I.II - Elektrot kaplamaları AC/DC düz kutup Metodunun kullanıldığı bütün kesme çeşitleri için kullanılır.

I.III - İmalatları esnasında termoplastik kaplanılarak su geçirmez hale getirilirler.

I.IV - Avantajları ; kesme tekniği basit ve çabuk olabilir. 50 mm kalınlıktaki metal kolayca kesilebilir. Kesme işlemi hızlıdır. Temiz ve düzgün kesme yapılıır. 400 A'lık bir jeneratör veya transformatör katidir.

I.V - Dezavantajları ; kısa yanma süresinde yapılıır. Görüş az olan kesme işlemi sonunda meydana gelen aralığın dar oluşu sebebi ile, gerekli muayenesinin yapılması zordur.

II - Yüksek Isı Elektrotları (Ultra-Thermic)

II.1 - Çelik bir tüp içinde 7 küçük çaplı çubuktan meydana gelmiştir.

II.1.1 Yedi çubuktan birisi özel alaşımlıdır ve bağımsız olarak ark mevcut olduğu ve O₂ akımı devam ettiği sürece yanma olur.

II.1.2 Geri kalan altı çubuk çeliktir.

II.2 - Elektrot boyutları 18" (46 cm) uzunluk, iki ayrı çapı vardır.

3/8" (9.52 mm), 1/4" (6.35 mm)

II.3 Elektrotlar yalıtkan madde ile izole edilmişlerdir.

II.4 Avantajları ;

II.4.1 Kesme tekniği basit ve kolay geliştirilir.

II.4.2 Elektrik akımının kesilmesine izin verir.

II.4.3 Kesme işlemi çabuk yapılıır.

II.4.4 Bütün demir ihtiva eden ve etmeyen metaller, ayrıca iletken olmayan

maddelerin kesilmesinde kullanılabilir.

II.4.5 Güç ihtiyacı 400 A bir jeneratör yeterli olup, gerçekte 150 A'dır.

3.2.4 Oksi-Ark Kesmesinde Temas Tekniği ile Su Altında Yumuşak Çeliğin Kesimi

3.2.4.1 Giriş

Su altında otomatik oksi-ark kaynağı olarak geliştirilmiş iki yeni yöntem vardır. Bunlardan birincisi temas tekniği, ikincisi ise ağırlık tekniği olarak bilinmektedir. Temas tekniğinde kesme elektrotu esas metale temas etmekte ve taşıyıcı yanma hızına bağlı olmaksızın hareket etmektedir. Deneysel sonuçlara göre 5 m uzunluğunda çelik plakanın kesilmesi 1 m/mm'lik hızla bir metre uzunluğundaki elektrotlarla yapılmaktadır. Yine 920 mm çapında standart çelik borunun kesme işlemi 2-3 dakikada olmaktadır.

3.2.4.2 Kesmenin Teknik Prensibi

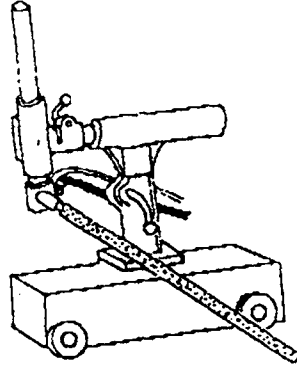
Oksi-ark kesme metotlarının prensibi egzotermik reaksiyonun yumuşak çeliğe ve çelik boru elektrottan dışarıya doğru püskürtülen oksijenin kullanımına dayanır. Ark, esas metal ve elektrot arasında oluşturulur. Otomatik ark kaynak tekniğinde elektrotu örten kaplama iki çeşit görevi yerine getirir. Elektrotu esas metalden yalıtarak, kısa devreyi önlemek ve arki stabilize etmek, böylece elektrot esas metal ile çok hafif bir şekilde temas haline gelir ve gaz alevi kesme makinesine bağlı olarak Şekil**1'de gösterildiği gibi kullanılır. Bu kesme tekniği oksi-ark temas tekniği olarak isimlendirilir. Bu tekniğin sakıncalarından biri otomatik taşıyıcı aparata ihtiyacı nedeni ile maliyet yüksektir. Fakat, aşağıda belirtilen birçok iyi yönleri vardır.

I - Uzun mesafe, kesme işlemlerinde kesme aparatı hafif ve düşüktür.

II - Kesme hızının seçimi kolaydır.

III - Çelik boruların içeriden ve dışarıdan kesilebilir.

IV - Yüksek kesme hızları sağlanabilir.



Şekil 3.11 Sualtı elektrot taşıyıcısı

3.2.4.3 Temas Tekniği Donanım Kullanılarak Yapılan Kesme Sonuçları

3.2.4.3.1 Çelik Plakanın Düz Kesimi

Kesme işleminde bir metre boyunda uzun bir elektrot kullanıldığı zaman verilen belli bir kesme uzunluğu için gerekli elektrot değiştirme sayısı azdır. Elektrot taşıyıcısı boyu kısalmış ve hafif temas açısı sayesinde taşıyıcı dengelenmiş olduğundan iyi bir kesme sonucu elde edilir.

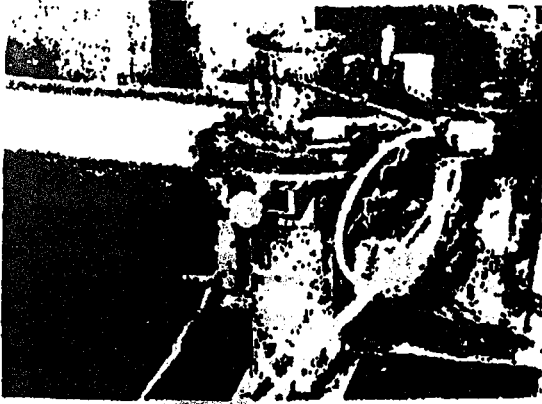
3.2.3.2 Çelik Borunun Kesilmesine Ait Uygulama

Temas tekniği halen, elektrot değiştirme işleminin kesme aparatının her bir boru için yukarı çekildiği ve bu arada elektrot değiştirilebildiği için zor olmadığı çelik boru kesiminde kullanılmaktadır. Şekil 3.12 boru kesme aparatını göstermektedir. Bu durumda, çelik boru, esas metal etrafında dönen elektrota bağlı aparatı sabitlemiştir. Şekil 3.13'te 250 mm çaplı 12-16 mm et kalınlıklı boruların kesme sonucunu göstermektedir. Her bir boru için 40-45 saniyede başarılı kesme yapılmaktadır.

Su altı kesme işleminin asıl uygulaması Şekil 3.14'te gösterildiği şekilde rıhtım inşaatlarında kullanılan çelik boru yığınlarının çıkartılmasıdır. Bu amaç için kullanılan

kesme aparatının şematik görünümü Şekil 3.15'te verilmiştir. Bu aparat çelik borunun içine daldırılır ve borunun iç duvarına 3 adet sabitleştirme tırnağı ile sabitlenir. Sabitlemek birçok tırnak vasıtası ile sağlanır ve bu borunun iç duvarına doğru hava silindiri vasıtası ile dayandırılmış şeklindedir. Kesme bahsedilen hava silindiri çalışan şafta bağlı elektrotların dönmesi ile gerçekleştirilir. Bu durumda kesme olayı karşı tarafa göre yatay pozisyonda olan iki adet elektrotla yapılabilir. Elektrotun dönme açısı $180+x$ 'dir, x burada verildiği kabul edilen ek kesme açısıdır. Elektrot boru içerisinde sınırlı bir alana yerleştirilmek zorunda olduğu ve mümkün olduğu kadar da uzun olmak zorunda olduğu için eğik durumda, yüksek bir γ oranı ve 12 mm çaplı bir elektrot kullanılır. Çelik borunun çapı 200 cm'den veya et kalınlığı 30 mm'den fazla olduğu zaman kesme elektrotları, boyu bir metreden fazla elektrot yapılmadığı için ayrıca 3 veya 4 artırılmalıdır. Şekil 3.16 çelik boruya yerleştirilen kesme aparatını göstermektedir. 920 mm çapında 12 mm et kalınlığındaki borular kesilmiştir. 300-330 A'lik ark akımı 5 kg/cm² 'lik oksijen basıncı gibi kesme şartları altında yukarıda sözü edilen borunun kesme işlemi 2-3 dakikada tamamlanmıştır.

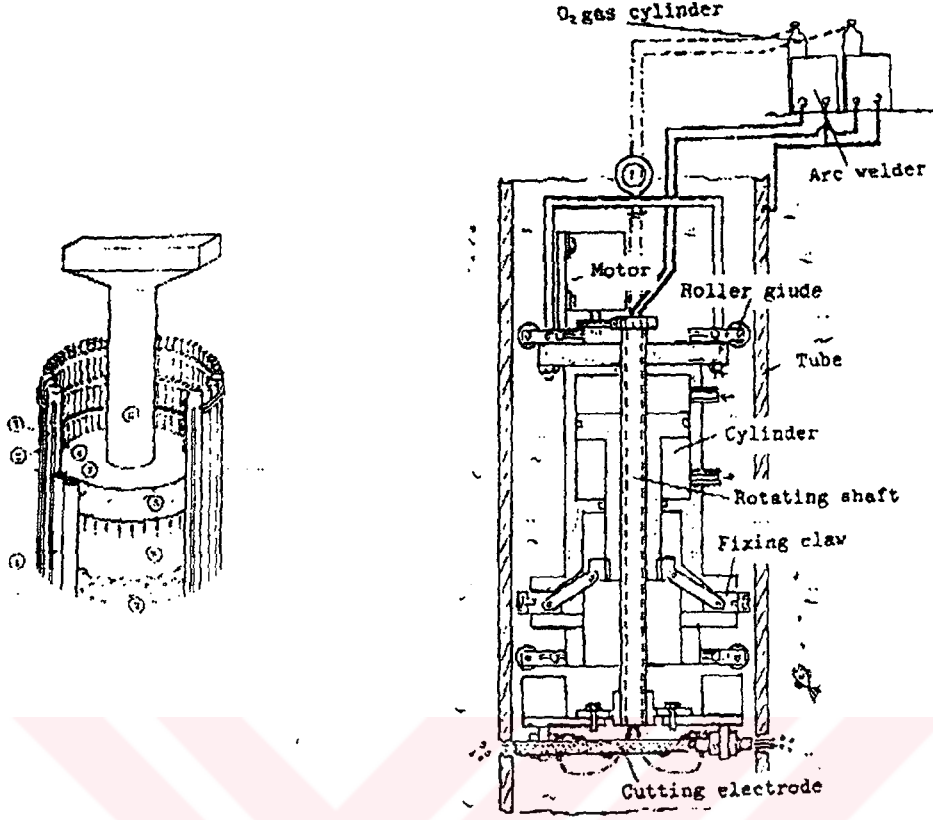
Baskın Yayıncılık Kurumu
Baskın Yayıncılık Kurumu



Şekil 3.12 Boruyu dıştan kesme cihazı



Şekil 3.13 Ø250mm 12-16mm et kalınlıklı boruların kesilmesinin sonucu



Şekil 3.14 boruyu içinden kesme için kullanılan donanım

3.15 Çelik borular için kesme aparatı



Şekil 3.16 Liman inşaatlarında kullanılan çelik boru yığını

Bu kesme aparatının taşlama kesicisi, disk kesicisi, oksî-fuel alev üfleci gibi konvansiyonel kesme aparatlarına karşı aşağıda belirtilen üstünlükleri vardır :

- a) Yüksek kesme hızı,
 - b) Kesme aparatı daha ucuz ve ağırlık bakımından daha hafiftir. Aparatın taşınması ucuz ve kolaydır.
 - c) Sadece yuvarlanan kılavuz boyu, elektrot destek plakası ve sabitleme tırnaklarının ayarlanma zorunluluğu vardır.
- 600-2500 mm çaplı borular bu aparat kullanılarak kesilebilir.

3.2.4.6 Ağırlık Tekniği İle Kesme

3.2.4.6.1 Ağırlık Metodu İle Oksi-Ark Kesmesi ve Yumuşak Çeliğin Kesimi

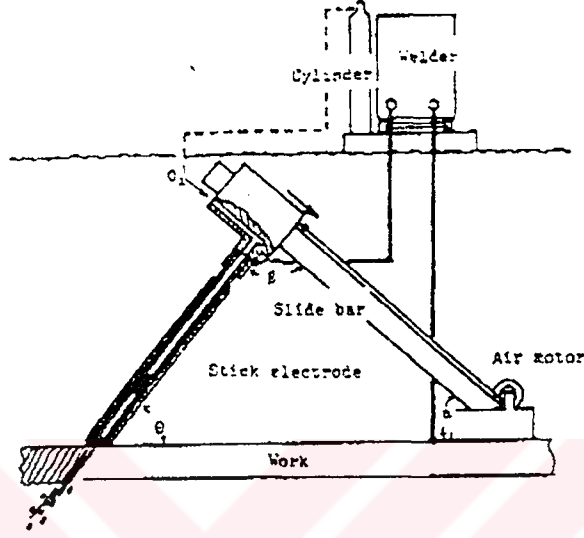
3.2.4.6.1.1 Giriş

Su altında oksi-ark kaynağı ve kullanılmasının kolay olması nedeni ile pratikte uygulama alanı bulmuştur. Fakat bu metodunda elektrik şoklarına karşı emniyetinin düşük olması, düzgün ark elde etmek için düşük hız mecburiyeti ile yüksek beceri gerekliliğinin olması gibi sakıncalı yönleri vardır. Bu mahsurları gidermek için ağırlıklı oksi-ark tekniği olarak nitelenen otomatik oksi-ark kesme metodu geliştirilmiştir. Bir metre boyunda elektrot kullanılarak düz ve yatay pozisyonda kesme işlemi yapılmış ve başarılı olmuştur.

Donanım standart ağırlıklı kaynağın donanımına benzer, fakat kaynak elektrotu yerini boru şeklindeki kesme elektrotuna bırakmıştır ve ortasından oksijen püskürtülür. Sistemin başlıca avantajı elektrik tehlikesinin az olmasıdır. Mekanik sistem çalışırken su altında operatöre ihtiyaç yoktur. Donanım sadece yatay pozisyonda kolay ve çabuk çalışır. Daha kaliteli bir kesme yüzeyi elde etmek için elektrotu kayma yönüne dik tutup arkın sürekliliği sağlanmaktadır.

Şekil 3.17 ağırlıklı oksi-ark kesme tekniğinin prensibini göstermektedir. Ağırlıklı oksi-ark kaynağı yumuşak çeliğin egzotermik reaksiyonu ve meydana getirilen ark ile eritilmesi sağlayan iş parçasına püskürtülen oksijeni kullanan bir yöntemdir. Koruyucu örtü ile kaplı çubuk kesme elektrotu daima ok yönünde belirtilen bir gerilme

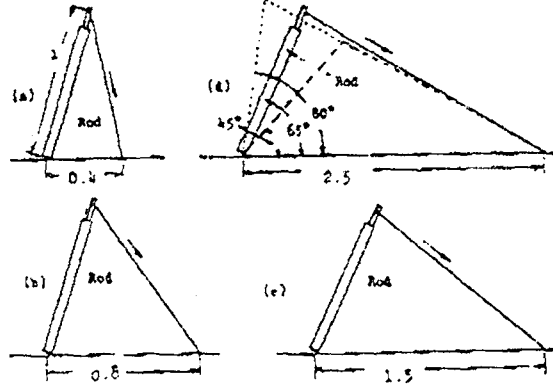
kuvveti altındadır. Çubuk elektrot eritildikten sonra bile, iş parçası ile bir yalıtıcı gibi koruyucu örtünün ortası boyunca temasını devam ettirir. Böylece, çubuk elektrot kısa devre yapmadan sürekli ark üretirken hareket eder. Bu da kesmenin otomatik olduğunu belirtir.



Şekil 3.17 Ağırıklı kesme metodunun şeması

3.2.4.6.1.2 Deneysel Donanım

Şekil 3.18'de 1 metre büyük boy denilen ve bu deneyde geniş bir şekilde kullanılan aparatı göstermektedir. Ayrıca bir su tankı kullanılmış ve kesme işlemi 30 cm derinlikte düz pozisyonda yapılmış, fakat yatay pozisyondaki kaynak işleminde geniş bir havuz kullanılmıştır. Çubuk kesme elektrotları 5 ve 8 mm iç çapları 1.9 ve 3.2 mm olan 0.4 ila 1.6 mm kalınlığında ilmenit tipi toz kaplı ve su geçirmez vernik sürülmüş içi boş kesme çubuklarıdır. Fakat 5 mm çaplı bir çubuk elektrot sadece kama tipi deneyde kullanılmıştır.



Şekil 3.18 Manipulasyon oranı değişimi

Bu deneyin amaçlarından biri de, iş emniyetinin kontrol edilmesidir. Şayet ark makineleri seri bağlanır ise, ikincil yüksüz voltaj yükselir ve tehlikeyi artırır. Fakat gerçekte sadece aparat önceden yerleştirilir. Kesme işareti donanım alanına uzak bir destek gemisinden verilir ve kesme otomatik olarak yapılır. Böylece tehlike asgariye indirilebilir. Çubuk elektrot ve iş parçası arasındaki temas açısı θ (teta) Şekil 3.18 (a)'da gösterilmiştir. Şekil 3.18(d)'de gösterildiği gibi θ (teta)'ya 45° - 65° ve 80° 'lik açılar vererek ve α (alfa) ve β (beta) açılarını çubuğu kaydırıp değiştirerek işletme oranı L/l sırasıyla 0.4-1-1.5 ve 2.5 olarak değişir. (Kesme boyu L/a , elektrot boyu l) Eğer θ (teta) açısı büyük ise ve çubuk elektrot örtü ile desteklenmiyorsa, bu sebeple çubuk kesme oluğuna düşer, şayet kesme oluğu küçük ise, çubuk elektrot sabit tutulabilir bu da plakanın eğik kesilebileceği ve kesme kalınlığının artacağı anlamına gelir.

3.2.4.6.3 Değişik Kalınlıktaki Plakaların Kesme Sonuçları

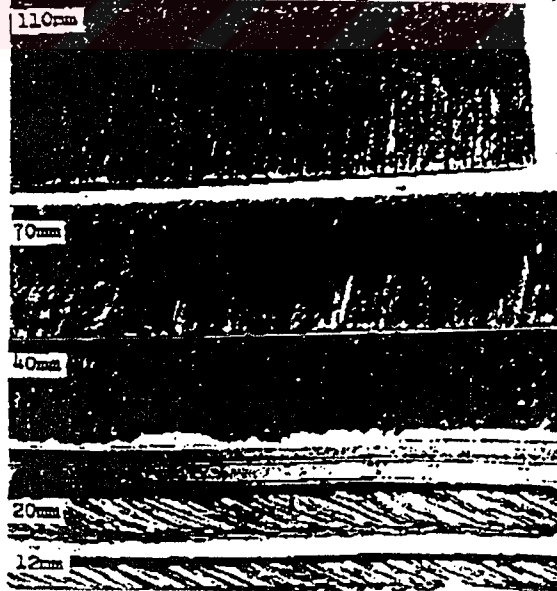
12,20,40,70 ve 110 mm kalınlıktaki yumuşak çelikten plakaların su altında kesilme işlemi, 1 metre uzunluğunda çubuk elektrotlar kullanılarak yapılmıştır. Ark akımı değişik değerlerde seçilebilir, fakat mümkün olduğu kadar yüksek kesme hızı daha iyi olduğu için sadece 300 A seçilmiştir. Bu deneyde kesme oksijen basıncı $2-5 \text{ kg/cm}^2$ dir. Pratikteki uygulamada mümkün merteye ince plaka ve mümkün olduğu

kadar düşük oksijen basıncı seçmek daha ekonomiktir. Çünkü ince plakaların kesmesinde düşük oksijen basıncı yeterli olmaktadır. Tablo 3.5'te 1 metre boyunda elektrot kullanılarak elde edilen kesme ölçülerini ve kesme uzunluğunu göstermektedir. Şekil 3.19 değişik kalınlıktaki kesme yüzeylerini göstermektedir. Şekil 3.20'de 70 mm kalınlıktaki yumuşak çeliğe ait alt ve üstten kesme sonuçlarını göstermektedir. Üst tarafta iyi bir kesme sonucu elde edilmiş, buna karşın alt tarafta (b)'de ve sol kısımda cüruf görülmektedir. Fakat bu cüruf bir tornavida ile kazınarak (b)'nin sağında görüldüğü giderilmesi mümkün olabilir.

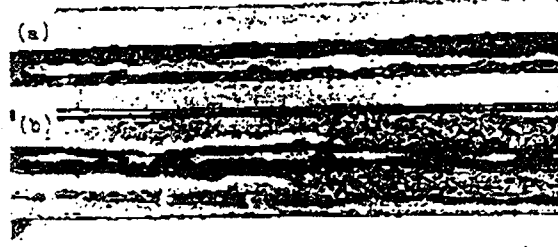
Tablo 3.5 Değişik Plaka Kalınlıkları İçin Kesme Karakteristikleri

Plaka Kalınlığı (mm)	Ark Akımı (A)	Ark Voltajı (V)	O ₂ Basıncı (kg/cm ²)	Kesme (cm/dk)	Manipulasyon Oranı	1 m Çubukla Kesme Boyu (cm)
110	300	4750	5	17	0.4	40
70	300	4750	5	35	0.8	80
40	300	4750	4	60	1.5	150
20	300	4750	3	95	2.5	250
12	300	4750	2	95	2.5	250

1 m uzunluğundaki 8 mm çapında çubuk elektrot



Şekil 3.19 Değişik kesme kalınlıklarında kesme yüzeyi

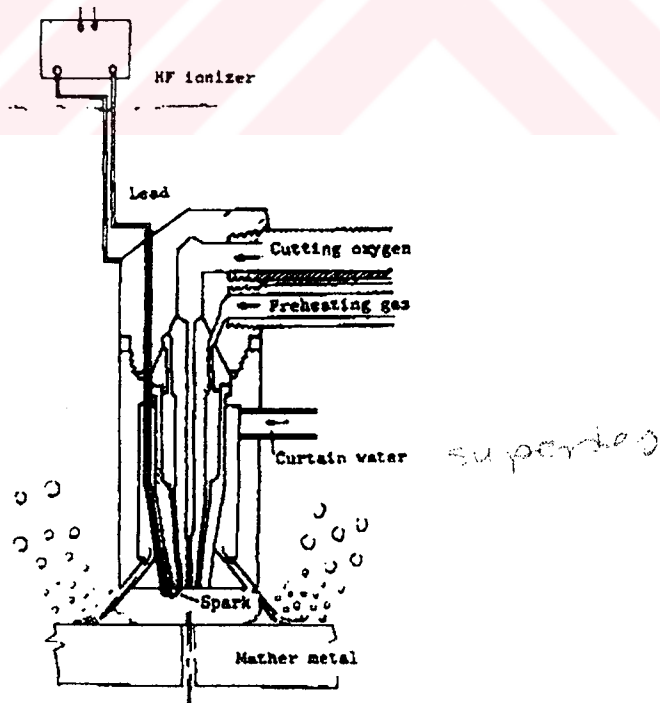


Şekil 3.20 Üst görünüm (a) ve alt görünüm (b)

3.3 Oksi,Gaz ile Kesme Yöntemi

3.3.1 Donanım

Su altı kesme için kullanılan donanım bir kaç istisna dışında, su üzerinde kullanılanın aynıdır. Kesme ucunu çevreleyen basınçlı hava için ek bir bağlantısı olan özel bir üfleç aynı zamanda basınçlı hava kaynağı gereklidir. Kesme ucunu çevreleyen koruyucu silindir suyu uzaklaştırır ve örtü silindirdeki delikler havanın tahliyesini sağlarlar. Isı iletimi nedeni ile su altında kullanılan üflecin ucundaki ön ısıtma delikleri, su üstünde kullanılan benzer üfleçtekilerden daha büyük olmalıdır. Şekil 3.21



Şekil 3.21 Su ceketli tipi üflecin yapısı

3.3.2 Deneysel Donanım ve Kullanılan Malzemeler

Su altı kesme deneyi için deneyde kullanılan üfleç bir taşıyıcıya irtibatlanmış ve su tankına daldırılmıştır. Ön ısıtma gazının su altında ateşlendiği derinlik 30 cm'dir. Fakat yanan gaz ve su altında çok sayıda küçük kabarcıklar meydana getirir. Bu şartlarda yapılan kesme deneyi boyunca derinlik 30 cm basınç ve su perdesinin akış hızı da sırası ile 2kg/cm^2 ve 22 l/d 'dir. Şekil 3.22 ve Şekil 3.23



Şekil 3.22



Şekil 3.23 Sualtındaki ön ısıtma gazının ateşleme durumu

Şekil 3.22 Bu deneyde kullanılan aparatın genel görünümü

3.3.3 Kullanılan Malzemeler

3.3.3.1 Ön Isıtmalı Gaz

Su üzerinde yapılan kesme işleminde, asetilen ön ısıtma gazı olarak en iyi gaz

olduğu bilindir. Çünkü alev şiddeti yüksek bir basınçla patladığı için artan derinlikle ön ısıtma gazının basıncının arttığı su altı kesme işleminde tavsiye edilmez. Bu yüzden hidrojen, LPG, kerosene ve benzin gibi sıvı yakıtlar kullanılır. Fakat bu gazların bir sakıncası düşük gaz alev şiddetinde oluşlarıdır.

Bu mahsuru ortadan kaldırmak için LPG+Metil-asetilen kullanılabilir. Bu asetilen gaz kullanılabilir. Bu asetilene benzer şekilde ayrışır ve patlar, bu sorumluluktan LP gazı ile karıştırılarak, kısmi basıncıda düşürülerek kullanılabilir. Bu gazın bir sakıncası da buharlaşma basıncı nedeni ile 10 m'nin altındaki derinliklerde kullanışlı değildir. Şayet buharlaşma basıncı yüksek olan etilen gazı kullanılırsa, kesme işlemi yüksek derinliklerde uygulanır.

Tablo 3.6 Değişik kesme kalınlıkları için sualtı kesme şartları

Kalınlık mm	Kesme ucu delik çapı mm	Ön ısıtma gazı				Kesme gazı		Kesme hızı cm/dk
		O ₂		L _p		O ₂		
		Basınç kg/cm	Akış Hz l/cm	Basınç kg/cm	Akış Hz l/cm	Basınç kg/cm	Ak Hz l/dk	
9	1.6	1	40	0.7	8	1	50	80
19	1.6	1	40	0.7	8	4	10	55
25	1.6	1	40	0.7	8	5	120	45
35	1.6	1	40	0.7	8	7	160	40
50	1.9	1.5	50	1.0	10	7	210	30

3.3.4 Oksi- Yakıt (Gaz) Kesmenin Tekniği

Su altı oksî-yakıt(gaz) kesme mekanizması hava ortamında yapılan kesme ile aynıdır. Çelik, bir oksî-gaz alevi ile ön ısıtma yapılır ve yüksek hızlı bir oksijen jetinin, ön ısıtmaya tabi tutulmuş metale yöneltilir. Oksijen jeti, çeliği okside eden ve eriten bir egzotermik reaksiyona sebep olur. Oksijen, aynı zamanda oksitleri ve ergimiş metali üfleyerek kesme bölgesinden uzaklaştırır ve bir kenar şekli verir.

Su altı yaş kesme yönteminde suyun, oksî-gaz üfleci alevinin ön ısıtma etkisini yok etmesini önlemek amacı ile, kesici uç etrafında bir gaz balonu oluşturacak şekilde dizayn edilmelidir. Gaz balonu, alevi düzenli tutar ve aynı zamanda suyu kesme ortamından uzaklaştırır. Gaz balonu oluşturmak için genellikle genişletilmiş hava kullanılır. Balonun kararlılığını arttırmak için kesici uca koruyucu bir kap takılır. Koruyucudaki delikler yanmış gazların yüzeyi terk etmesini sağlar. Gaz jetinin etrafını çevreleyen suya karşı tepkisini azaltmak için kısa bir hamlaç kullanılır. Basınç altında sıvılaşmayan ve kimyasal olarak kararlılığını ve denkliliğini koruyan çeşitli yakıt gazları kullanılmaktadır. Asetilen 5 metre derinliğe kadar olan sığ sularda kullanımı uygundur. Propan 20-50 metre derinliğe kadar kullanılmaktadır. Hidrojen ise hem sığ hem de derin sularda 1000 metre de kullanılabilen en yaygın yakıttır. Hızlı soğumayı ve hidrostatik basıncın etkisini yenmek için, oksî-hidrojen tarafında 13 bar, oksijen tarafında 5 barlık bir basınca ihtiyaç duyarlar. Derinliğin oluşturduğu ek basıncı dengelemek için metre başına 0.1 bar ve 10 m hortum uzunluğu için 0.1-0.2 bar ek basınca ihtiyaç vardır.

Su altında kesme işleminde kullanılan gaz üfleçleri küçük kibrit olarak anılan bir alev içerirler. Bu alev küçüktür ve bu yüzden yanma hacmi tehlikesizdir. Dalgıç kesmeye hazır olduğunda bu kibrit alevi, kesme nozulündeki ön ısıtma alevini ateşler.

Oksî-yakıt kesme işlemi yumuşak ve düşük alaşımlı çeliklerin kesilmesinde kullanılmaktadır. Korozyona dirençli çeliklere ve demir olmayan metallere uygun değildir. Optimum kalınlık aralığı 10 ila 40 mm arasındadır. Daha ince plakaların kesilmesi zordur. Zira plakayı çevreleyen su plakayı hızlı soğutur. Bu da kesme sırasında ateşleme ısısına ulaşılmasını zorlaştırır.

Plaka kalınlığının artması ile kesme hızı azalır. Normal çalışma kalınlığı aralığında (10 ila 40 mm) ve 1.5 ila 30 m derinlik aralığında oksî-yakıt kesme hızı 10 m/h'ten 1 m/h'e düşer. Aynı zamanda oksijen sarfiyatı da artar. Harcama oranı 6-27 m³/h

arasında değişmektedir.

3.3.5 Kullanılan Yakıtlar

3.3.5.1 Hidrojen

Yaygın yakıt hidrojendir. Dalgıcın dalabildiği her derinlikte kullanılabilir. Ancak 10-150 feet arasında daha iyi yanar.

3.3.5.2 Asetilen

Hidrojen kolay bulunamıyor ise yakıt olarak asetilen kullanılabilir. Bazı üfleç modelleri özel uç gerektirse de oksî-hidrojen üfleci ile birlikte kullanmak mümkündür. 25 feet'ten derin yerlerde asetilen ile kesme yapılmalıdır. Zira daha derin yerlerde yanma kararlı değildir ve tehlikeli patlamalara neden olabilir.

3.3.5.3 MAPP Gazı (Methylacetylenepropan)

Stabilize edilmiş metil asetilen propadin gazıdır. Nispeten yeni olan ve ticari olarak, şimdi kullanılmakta olan bu gaz suyun altında veya üzerindeki gaz ile kesme işlemlerini gerektiren projelerde asetilen ve hidrojenin yerini alabilir. Hidrojenden çok daha ekonomik, asetilenden de çok daha kararlı bir gazdır.

MAPP 350 psi derinliklere kadar stabildir ve yüzlerce feet'lik derinliklerde kullanılabilir. Boya, pas ve haddelenmiş levha boyunca kesme yapar. Su üzerinde kesme için, eğer geniş orifisli bir uç temin edilmesi halinde, standart oksî asetilen üfleci kullanılabilir. Su altında ise özel bir üfleç ucu gerekir.

3.4 Plazma Arkı İle Kesme

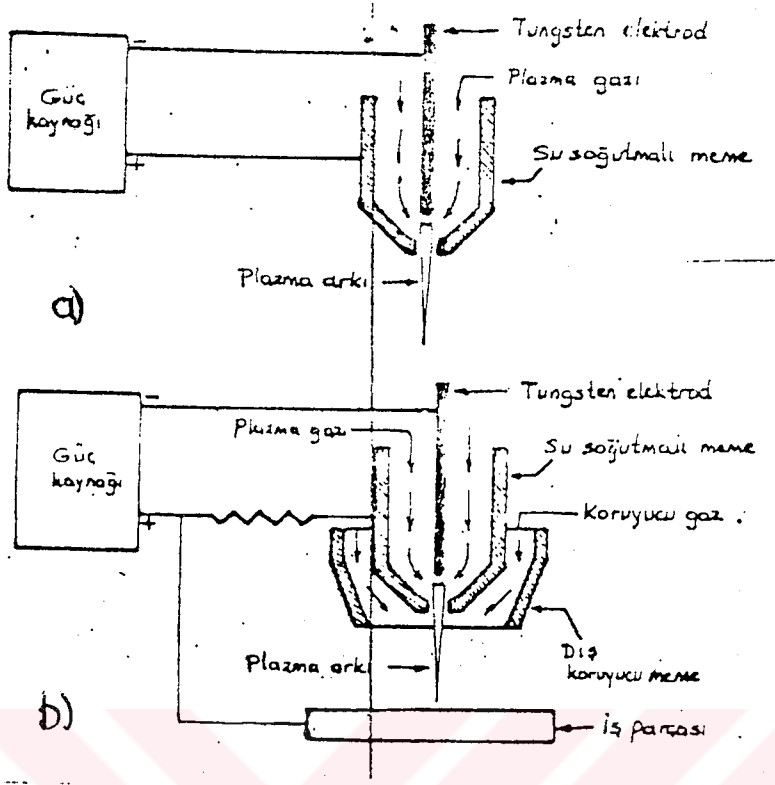
Su altı plazma ark kesme yönteminde, suya dayanıklı standart plazma üfleçleri

kullanılır. Tungsten elektrotla, iş parçası arasında ark oluşturulduğunda, iyonize olmuş gaz orifisten püskürtülerek bir plazma jeti meydana getirir. Plazma jeti iş parçasını keser ve bir kenar yüzeyi oluşturur. Paslanmaz çeliklerin kesilmesinde, oksitler de plazma jeti tarafından eritilir ve buhar haline getirilir.

Kayıtlara geçen ilk su altı plazma ark ile kesme işlemi ABD ve İtalya'da nükleer reaktör tanklarında, nükleer ünitelerin sökülmesinde kesme işlemi yapılmıştır. Nükleer tanklarda plazma ark ile kesmenin pek çok avantajları olmuştur. Bu işlemin otomasyonu kolaydır. Kesme işlemi uzaktan kumanda ile yapılabilir ve kesme hızları yüksektir. (Oksi-yakıt kesme işleminde 3-8 kat daha hızlıdır)

Su altı plazma ark kesme yöntemi, nükleer reaktör elemanlarının bakımının yapılmasında sık sık kullanılmaktadır. Örneğin basınçlı su reaktörünün termal koruyucusunun (3 m çaplı ve 76 mm duvar kalınlığı) sökülmesi için, 7 m derinlikteki su altından plazma ark yöntemi kullanılarak, koruyucu kalkan 39 parça halinde kesilmiştir. Kesme işlemi yukarı doğru 250 mm/d hız ve 210 V, 982 A değerleri ile yapıldı. Kesme derinliği 13 mm'dir.

Su altı plazma ark kesme işlemi hemen hemen bütün malzeme cinslerinin metal olmayanlar dahil kesilmesinde kullanılabilir. Hafif ve derli toplu dizayna sahip plazma üfleci ile elle veya uzaktan kumanda edilerek, kolayca kesme işlemi yapılabilir. Plazma ark kesme ekipmanının kısmen maliyetinin yüksek olmasına rağmen, yüksek kesme hızından dolayı toplam kesme maliyeti düşüktür. Su altı plazma ark kesme yöntemi tüm su altı uygulamalarında önemli bir yöntemdir.



Şekil 3.24 a) Direkt arklı plazma sistemi b) İndirekt arklı plazma sistemi

3.5 Patlayıcı İle Kesme

Patlayıcılar, deniz altındaki kurtarma işlemlerinde yıllardır kullanılmaktadır. En yaygın teknik, sorunlu bölgeye bağlan^m patlayıcılar kullanılarak tahrip işleminin yapılmasıdır. Konulacak malzemenin yerleştirilmesi ve ölçüsü daha çok tecrübe ile belirlenir. Oluşan kesme ve yırtılma işlemi çok düzensizdir ve bitişik eleman ve yapılara oldukça zarar verirler.

Patlayıcı kesme yöntemi kalıplandırılmış (şekillendirilmiş) patlayıcı kullanılarak kontrollü kesme yapılabilir. Basit bir şekilli patlayıcı özel olarak seçilmiş ve bakır - alüminyum veya kurşun gibi yumuşak bir metalden yapılmış bir metal kutunun içine konmuştur. İşlem başladığında metal astar dağılır ve yüksek hızlı bir partikül jeti halinde, iş parçasına püskürtülür. Partiküller ait olarak küçük bir alan üzerinde bir çarpma enerjisini yoğunlaştıran bir hat boyunca birbirlerine yaklaşırlar

Kalıplandırılmış patlayıcılar, levhaların düzgün bir şekilde kesilmesinden, delik açılmasına ve standart geometrik şekillerin komple çıkartılmasına kadar çok geniş bir alan için geliştirilmektedir. Kıyıda uzak bir petrol platformunda silindirik kısımların içeriden veya dışarıdan kesilmesi amacıyla bir seri şekillendirilmiş patlayıcı dizayn edilmiştir. Bu yüzden kalıplandırılmış kaplarda nitrogliserin (azotlu gliserin) kullanılarak kazıklarla kesmede de kullanılabilir. Patlayıcıların dikkatli bir şekilde yerleştirilmesi, kazığın çökme yönünün kontrolüne müsaade eder.

100mm kalınlığındaki çelik levhaları, 150mm çapındaki çelik kablolar ve 1.2 m çapa, 38mm kalınlığa kadar çelik dökümlü kazıkları kesebilecek patlayıcılar geliştirilmiştir. Kalıplandırılmış (biçim verilmiş) patlayıcılar çok daha hassas kesme işlemleri yapılmaktadır. Patlayıcılar verimli olarak kullanıldıkları için bitişik yapılarından etkilenme riski çok daha azdır.

3.6 Termal Mızrak İle Kesme (Isıl Lens)

Termal mızrak kesmede, esas olarak çelik çubuklarla paketlenmiş bir çelik tüpten yararlanır. Oksijen silindirik çubuğun egzost ucu dışarıdan kızıl hale getirilinceye kadar ön ısıtma yapıldığında, çelik diğer malzemeleri metalik ve metalik olmayan, eritmek ve sürekli bir işlem oluşturmak üzere çok yüksek bir sıcaklıkta egzotermik yanar. Şayet malzeme okside olabiliyorsa yumuşak çelik gibi, mızrak ve mızraktan geçen oksijen ve çelik arasındaki egzotermik reaksiyondan dolayı oluşan sıcaklık sonunda metal erir. Bu da hızla bir kesme deliğinin oluşmasına neden olur. Eğer malzeme kolayca okside olmuyorsa, beton, tuğla veya pirinç gibi malzeme çok fazla oksijen sayesinde erir ve üflenerek ayrılır gider. Isı mızrağı bir delik oluşturduğu için, delikler serisi birbirine yakın olmalıdır. Böylece bir kesmenin oluşabilmesi için delikler arasında köprülerin oluşması sağlanır.

Piyasa tipi termik mızrakları daha yoğun bir ısı kaynağı oluşturmak için yumuşak çelik çubuklar içerisine koyulurlar. Oksijen tellerin arasındaki boşluklardan

akar. En yaygın mızrak tipleri 9.5 - 21mm itibarı (nominal) çaplı ve yaklaşık 3m uzunluğunda borulardır. Mızraklar mızrak tutucularına bir gaz akış kontrol valfi ile birlikte vidalanır. Tutucu genellikle oksijen silindirlerinde hortum ve basınç regülatörü ile bağlanır. 9.5 ve 19mm çaplı mızraklarla oluşturulan delik ölçüleri sırasıyla 38 ve 73mm çaplarındadır.

Termik mızrak, su altında 40mm iken daha ince çeliklerin kesilmesinde yaygın olarak kullanılmazlar. Bununla birlikte, diğer yöntemlerle kolayca kesilmeyen çok kalın bölümlerin kesilmesinde kullanılırlar. Gemilerin arka bölümlerinin dökümlerinin kesilmesi işlemi bu yöntemlere bir örnektir. Bu teknik betonların kesilmesinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Ve belki de sualtı betonarmelerin kesilmesine en uygun metot olarak uygulanmaktadır.

3.7 Mekanik Kesme Yöntemi

Sualtı mekanik kesme yöntemi, döner kesiciler, tek uçlu kesiciler (torna etme tipi kesiciler) veya aşındırıcı taşlama diskleri kullanılır. Bu tip kesiciler, sualtı kullanımına uygun hale getirilmiş, pnömatik veya hidrolik motorlar kullanılarak yıllardır uygulanmaktadır.

Mekanik kesme işlemleri termal kesme yöntemleri ile karşılaştırıldığında çok yavaştır. Genellikle yüksek kalite istenen uygulamalarda kullanılır. Mevcut sualtı boru hatlarında kaynak açılarının hazırlanması buna bir örnektir. Yüksek hızla dönen kesicinin, boru etrafında döndürülmesi amacıyla bir zincir gergi sistemi kullanılır. Basit bir kare kesimden karmaşık kaynak ağzlarına kadar çeşitli şekillerde kesme yapılabilmesi amacıyla çeşitli şekillerde kesici diskler takılabilir.

Sualtı mekanik kesme işlemi için üç tip güç kullanılmaktadır. Akışkan (hidrolik) güç sistemleri 45 - 50m derinliğe kadar kullanılabilirler çünkü akışkan ve hava bu derinliğe kadar, yüzeyden geçebilir. Derinlik arttıkça hidrolik boruların çapları zorunlu

olarak artar ve hem su altında hem de su üstünde kullanma problemlerine neden olur. Hat kayıplarını yenmek için daha fazla güce ihtiyaç vardır. Pnömatik aletlerin derinlik sınırlama nedenleri ise egzost nedeniyle oluşan karşı basınç ve artan hat uzunluğundan dolayı oluşan basınç kaybıdır.

Su altında kullanılan ilk elektrikli takım, 1960 yıllarının sonlarında ABD deniz kuvvetlerinin önderliğinde ve bir kuruluştaki geliştirildi. 200 Watt sualtı elektrikli takımın ana elemanları (stator ve rotor) suya açık elektrik akımına karşı izolasyonlu bir şekilde ve korozyona dirençli malzemelerden yapılmıştır. Konstrüksiyon basitleştirmek ve ağırlığı azaltmak amacıyla dişli kutusu suya bırakılmıştır. Bu dizaynın avantajları, küçük ve hafif olması, keçe yatak olmaması ve bu yüzden motorun çeşitli derinliklerdeki değişimlerden etkilenmemesidir. Son zamanlarda AC motorları yerine DC motorlarının kullanılmasına dair çalışmalar yapılmaktadır. DC motorun takım hızını daha iyi kontrolüne izin verecek ve doğrudan doğruya akülerden beslenecek, dalgıçların kablolarla uğraşmasını ortadan kaldıracaktır.

3.7.1 Pnömatik Sistemler

Bu sistemde kesme aparatları havanın bir kompresör yardımı ile basıncından yararlanarak tahrik edilmesidir. Basıncılı hava hortumlar yardımı ile suyun altına ulaştırılır.

3.7.2 Hidrolik Sistemler

Bu sistemde de genelde akışkan yapın kompresör vasıtası ile hidrolik basıncından yararlanılarak kesme aparatlarının tahriki sağlanır. Burada da hidrolik basınçlı yağ suların altına hortumlar yardımı ile ulaştırılır.

3.7.3 Elektrikli Sistemler

Elektrikli güç sistemi sonuçta bir elektrik motoru olup, iyi izole edilerek suyun altında kesme takımlarını tahrik ettirilerek iş parçalarının kesilmesi sağlanır. Elektrik enerjisini suyun altına iyi izole edilmiş kablolar vasıtası ile nakledilir.



4. DALGIÇLAR VE EMNİYET

Su altında yanma ve kaynak işlemlerinin başarılı ve hızlı bir şekilde yapılması akıllıca bir planlama ve ekipman ve personelin uygun bir şekilde seçimine bağlıdır. Aşağıda mevcut pek çok şart, düşük görüntü, med ve cezir olayı, akım, sıcaklık ve iş parçasının korunumu gibi dalgıca bir engel teşkil eder. En tecrübeli personeli kullanmak her zaman akıllıca bir davranıştır. Emniyet açısından tutucu ve üfleçler dalgıç ile su üstü platformundaki personel arasında bir iletişim olmadan çalıştırılmamalıdır.

4.1 Problemler ve Ön Tedbirler

Su üstünde yüksek basınçlı tüpler ve yüksek amperajlı kaynak makinelerinin kullanımı için alınan ön tedbirlere ek olarak bu ekipmanlar su altında kullanıldığı zaman başka birçok sayıda emniyet problemi oluşur. Sualtı yanma ve kaynağından sorumlu olan kişi bütün ekipmanların iyi bir şekilde muhafazasını sağlamada, tüplerin emniyet içinde tutulmasında elektrik kablolarının izole edilmesine ve dalgıçların ve çalışma alanındaki diğer personelin maruz kalabilecekleri kaza ihtimallerini azaltacak ön tedbirlerin alınmasında hassasiyet gösterilerek dikkatli olunmalıdır.

5. SU ALTI KESME YÖNTEMLERİNİN AVANTAJLARI

- I. Metal Arkı İle Kesme : Su üstünde kullanılan metal-ark kesme donanımı izole edilerek su altında da kullanılmalıdır. Gaz gerektirmez metal olmayan malzemeleri de kesebilir.
- II. Oksi-Ark İle Kesme : Basit ve ucuz donanım, kolay uygulanabilme imkanı vardır. Tekniği de pratik bir uygulama yöntemidir. Ön ısıtmaya gerek yoktur.
- III. Oksi-Gaz (yakıt) İle Kesme : Oksi-asetilen ve oksi-hidrojen kullanımlarında daha yüksek alev sıcaklığı, çok iyi buharlaşma basıncı elde edilir, tamiri kolay portatif donanım vardır. 40mm kadar metallerin kesilmesi çok kolaydır. Oksi-MAPP gazı kullanılması halinde, meme iş parçası arasındaki elektrik şoku tehlikesi yoktur. Metal olmayan cisimleri de kesebilir. Mesafe ayarı çok kolaydır. Beceri gerektirmez.
- IV. Plazma Arkı İle Kesme : Bu yöntemde 75 mm kalınlıklara kadar metallerin kesilmesinde, oymasında yivlendirilmesinde kolaylık sağlar. Yüksek kesme hızı, kesme yüzeyinde düzgünlük sağlanır. Sık elektrot değişimi gerektirmez ayrıca metal olmayan malzemelerin kesilmesidir.
- V. Patlayıcı İle Kesme : Kullanım basit ve uzaktan kumanda ile yapılabilir. Hızlı kesme olmadığı gibi bu konuda çok beceri gerektirmez.
- VI. Mekanik Kesme : Bu yöntemde boru hatlarının yivlendirilmesi gibi şekil verme kolaylığı sağlar. İşlemin yapılmasında beceri gerektirmez. Sistem otomatik olarak çalışabilir.
- VII. Termal Mızrak (Isıl Lens) İle Kesme : Basit ve ucuz donanım kullanılır. Her malzemenin kesilmesi yapılır. Su altında da kesme işlemi için beceri gerektirmez.

6. SU ALTI KESME YÖNTEMLERİNİN DEZAVANTAJLARI

- I. Metal Arkı İle Kesme : Kesme hızı yavaştır. Kesme işleminin yapılmasında büyük beceri gerekir
- II. Oksi-Ark İle Kesme : Kesme işlemine başlandıktan sonra sık sık elektrot değiştirme külfeti vardır. Kesme yüzeyi çok düzgün değildir. Kırılgan elektrot ve yavaş çalışma olur.
- III. Oksi-Gaz (yakıt) İle Kesme : İki bar'ın üzerinde asetilen kararlı değildir. Kesme işlemi yavaştır ve beceri gerektirir.
- IV. Plazma Arkı İle Kesme : Kesme yüzeyi çok kabadır. Bitişik üniteleri tahrip edebilir. Basit geometrik şekiller elde edilebilir.
- V. Mekanik Kesme : Basit geometrik şekilli parçalar kesilebilir. Çalışma hızı yavaştır.
- VI. Termal Mızrak (Isıl Lens) İle Kesme : Kesmede kaba kesme yüzeyi elde edilir. Buhar patlama tehlikesi vardır.

7. SONUÇLAR

Sualtı kaynak, kesme ve kaynağın incelenmesi, sualtı çalışmaları için giderek bir ihtiyaç halini almaktadır. Su altı kaynak kesme ve incelemede kullanılan teknolojilerin çoğunun yeni geliştirilmiş olmasına rağmen, günümüzde en çok ihtiyaç duyulan çalışmalar mevcut teknolojiyi endüstriyel kullanım alanına intikal ettirebilmek amacıyla su altı kaynak kesme ve de inceleme konularında belgeli elemanlar (kaynakçı/dalgıçlar) yetiştirmek için eğitim programları geliştirilmektedir.

Su altı çalışma yöntemleri ile ilgili donanım ve işlemleri için kalifiye elemana ihtiyaç olması dolayısıyla, bu çalışmaların maliyetleri yüksektir. Ayrıca su içinde yapılan çalışmalar suyun hızlı soğutma özelliği nedeniyle meydana gelen malzeme sertleşme ve gevreklikleri ısı işlemler ile düşürülüyorsa da halen bu konu tam olarak çözülmüş değildir. Bunun yanı sıra hidrojenin sebep olduğu çatlakların da tam olarak önlenemediği söylenemez. Bütün bunlara rağmen su altı çalışmalarına günümüz teknolojisinde daha da geliştirilerek araştırma ve çalışmaların devam etmesi gerekmektedir.

Yine bu konuda yapılan çalışmaların başında su altı dalgıç, kaynakçı yetiştirmenin yanı sıra insan faktörünü ortadan kaldırarak, çok derin sularda, kaynak ve kesme işlemlerini yaptırmak üzere robotlar geliştirilmektedir.

8. Y.T.Ü. MAKİNE FAKÜLTESİ İMAL USULLERİ ANA BİLİM DALI LABORATUARLARINDA YAPILAN PRATİK UYGULAMA ÇALIŞMALARI

Laboratuvarların kaynakhane kısmında 2mm kalınlıktaki DKP saçtan 100x60x60cm ebadında üstü açık havuz görevini yapacak, 2.5 mm çaplı örtülü elektrot kullanılarak ark kaynağı ile su tankı imal ettik. Bu tanka tatlı su doldurduk. Su içerisinde önce :

- 1) 5mm-8mm-10mm ve 12mm kalınlıkta yumuşak çelikten lamaları sıra ile kestik kesme işleminde redresör kullandık. Kesme işlemlerinde, denemek suretiyle Amper ayarlamalarını yaptık. 150A'de 5mm kalınlıktaki malzeme kararlı olarak kesildi. 10 ve 12mm kalınlıktaki malzemeler ise 200A civarında bazen kararsız olarak kesme işlemini gerçekleştirdik. El becerimiz iyi olmadığı için kesme yüzeyleri kaba olarak kesildi. Su derinliği fazla olmadığından, dolayısıyla soğumada hızlı değildi. Bunun için kesme amperajı 200 A yeterli oldu. Oysaki derin sularda bu amperaj 300-400 A arasında değişmektedir.
- 2) Yine aynı şekilde, ve yukarıdaki kalınlıklarda yumuşak çelik malzemeler üzerine yiv $\phi 2.5\text{mm}$, $\phi 3.25\text{mm}$ çaplı örtülü elektrotlar ile ark kaynağı yapmaya çalıştık. 10mm ve 12mm kalınlıktaki malzemeler üzerine $3\phi 2.5\text{mm}$ çaplı örtülü elektrot ile su içerisinde 175A'de kaynak yapabildik. Kaynak dikişi zaman zaman kararsızlıklar gösterdi. Biz bu kararsızlıklar el becerimizin iyi olmayışı, redresörün eski oluşu ve donanımın su içinde çalışmaya elverişli olmama gibi özelliklere bağlamak suretiyle yorumladık.
- 3) Başta hocam Yrd. Doç. Dr. Müh. C. Karahasanoğlu olmak üzere bizim asıl amacımızın su içerisinde örtülü elektrot ile Alüminyum kaynağı yapmaktır. Bunun yanı sıra aynı yöntemlerle MIG ve TIG kaynak dikişi ve kesme işlemi yapma oldu. Piyasadan aldığımız:
 - a) 4mm kalınlıkta AlSi (Alüminyum silikat) plaka

- b) 5mm kalınlıkta yine aynı malzeme kullandık
- 4) Bu malzemeler üzerinde kesme ve kaynak yapmak için $\phi 2.4\text{mm}$, $\phi 3.25\text{mm}$ çaplı örtülü Alüminyum elektrot aldık. Bu alüminyum elektrotları fırında 1000°C 'de 1 saat kuruttuk. Hava ortamında 60A ile kaynak dikişini yapmaya çalıştık. Ark kararlı değildi, buna sebep te el melekemizin iyi olmayışından kaynaklandığı şeklinde yorumladık.
- 5) Hava şartlarında 2.4mm ve 3.25mm çaplı Alüminyum ve çıplak elektrotlar ile TIG ve MIG kaynakları yaptık. Bu kaynak dikişleri ve kesme, acemi olmamıza rağmen beğenilir nitelikte idi.
- 6) Örtülü elektrot ve MIG yöntemi ile 4mm ve 5mm kalınlıktaki Alüminyum levhaları su tankı içerisinde (tatlı suda) 80A'de kesme işlemi yaptık, kesme yüzeyi kaba olup aynı zamanda kesme yapılırken ark kaynağı kararlı değildi. MIG usulü ile kesme işlemi gerçekleştirdik. MIG usulü ile su içerisinde alüminyum plakaya kaynak dikişini yapabileme başarısını da gösterdik. Kaynak işlemi 70A'e ayarlandı. Örtülü elektrot ve MIG usulü kaynak yaptığımız malzemelerin resimleri aşağıda çıkartılmıştır. Alüminyum elektrotlar ve plakalar %95 Al_3 % 5 Si malzemeyi içerirler.
- 7) Havada yapılan alüminyum kaynağında, alüminyum plakalar önce 150°C civarında ön tavlama tabi tutuldu, ondan sonra örtülü elektrot ile kaynak işlemleri yapıldı.

NOT : MIG ve TIG yöntemleri ile havada yapılan alüminyum kaynağı ile MIG yöntemi ile su ortamında yapılan alüminyum kaynak çalışmaları ile ilgili resimler kaynakla kesme bölümünün sonunda sayfa 70, 71 ve 72'de gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] W.F.FEY, Underwater Cutting and Welding, Handbook of Ocean and Underwater Engineering, McGRAW-HILL, pp 4.23
- [2] C.E.GRUBS Underwater wet welding with manual arc electrodes, Welding Inst. 1977 pp17-33
- [3] D. CHANDIRAMANI Hydrogen reduced in wet underwater GMA welds, Welding Journal, March 1994, Vol.73, Number 3, pp45
- [4] C.R.YEMINGTON Underwater NDE beyond Diver Depths, Welding Journal, 1990, pp63-65
- [5] G.D.MAHAN Wet underwater weld repair of feed water sparger pipe, Welding Journal, January 1990, pp26-30
- [6] A.HASUT Y.SUGA, N.SEKIMIZU, On underwater submerged arc welding, TWS vol.11, No.1, pp.9-20
- [7] N.M.MADATOV Energy characteristics of the underwater welding, Welding Production, 1966 vol 13 pp 19-27
- [8] N.M.MADATOV Use of CO₂ for underwater welding, Welding Production, 1967 vol14' pp 21-25
- [9] H.YARA Y.MAKISHI, Y.KIKUTA, H.MATSUTA, The trc test for high strength steel in underwater welding, Transaction of The Japan Welding Society, 1988, vol 19 pp75-80

- [10] M.HAMASAK J.SAKAKIBARA, M.WATENABE, Underwater butt welding of mild steel with water curtain type CO₂ arc welding method, Transaction of The Japan Welding Society, 1975, vol6, pp3-9
- [11] Y.SUGA On prevention of cracks in underwater wet welds by post weld heat treatment, Transaction of The Japan Welding Society, 1986, vol 17, pp38-43
- [12] Y.SUGA Effect of diffusible hydrogen on mechanical properties of underwater welding joints, Transaction of The Japan Welding Society, vol16, pp29-34
- [13] DELAUNE PT Offshore structural repair using specification for underwater welding, Welding Journal, 1987, AWS36, pp32-43
- [14] DELAUNE PT Hyperbaric underwater welding Part 1, 1979, PT1, pp17-25
- [15] DELAUNE PT Hyperbaric underwater welding Part 2, 1979, PT2, pp28-35
- [16] M.KHANAPETOV Welding and cutting of metals, MIR pub., pp197-198
- [17] Department Of The Navy, Underwater cutting and welding, 1969,
- [18] C.L.TSAI Underwater welding, cutting and inspection, Welding Journal, 1995 February, pp55-62
- [19] M.HAMASAKI Underwater cutting of metals using consumable electrode type water jet method, Transaction of The Japan Welding Society, 1975, vol6, pp10-17

- [20] M.HAMASAKI Underwater cutting using a consumable electrode water jet technique at a great water, Transaction of The Japan Welding Society, 1981, vol12, pp3-7
- [21] M.HAMASAKI Underwater gas cutting, Transaction of The Japan Welding Society, 1978, vol9, pp17-22
- [22] M.HAMASAKI Underwater oxy-arc cutting of mild steel using contact technique, Transaction of The Japan Welding Society, 1977, vol8, pp17-21
- [23] M. HAMASAKI Underwater cutting of mild steel using gravity technique, Transaction of The Japan Welding Society, 1976, vol7, pp3-8
- [24] C.KARAHASANOĞLU Su Altında Kaynak ve Kesme, Y.T.Ü. Makine Fak.
Doktora Tezi, Mart 1984