

75363

**TERMOPLASTİK DOĞAL GAZ BORULARININ
ELEKTROFÜZYON KAYNAĞI VE KAYNAK
PARAMETRELERİNİN KALİTEYE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Cevat ÖZARPA

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Haziran 1998

Tezin Savunulduğu Tarih : 22 Haziran 1998

Tez Danışmanı

: Doç. Dr. Murat VURAL

Diğer Jüri Üyeleri

: Prof Dr. Selma AKKURT

: Prof Dr. Alpin Kemal DAĞSÖZ

[Signature] 22.07.1998
[Signature] 23.07.1998
[Signature]

HAZİRAN 1998

ÖNSÖZ

Ülkemizde özellikle sanayideki enerji kaynaklarına olan ihtiyacın artması, Dünya'da kullanılan ve genç bir enerji kaynağı olan doğal gaza yönelmeye sebep olmuştur. Fakat sanayinin yanında hava kirliliğinin tehlikeli boyutlara ulaştığı şehirlerimize de alternatif bir ısınma kaynağının yanında yeni bir soluk getirmiştir.

Şehir ve sanayi gaz dağıtım hatlarında bilinen çelik borular ve kaynak teknikleri kullanılmış fakat şehir içi dağıtım ve servis hatlarında ise döşenmesi kolay ve ekonomik olan termoplastik borular tercih edilmiştir. Bağlantılarda ise kesintisiz gaz ve tamir kolaylığı sağlayan elektrofüzyon kaynak tekniği tercih edilmiştir. Ülkemize doğal gazla birlikte giren bu kaynak tekniği yeni olması sebebiyle bilinmemekte ve uygulamalarda bazı hatalar yapılmaktadır.

Bu çalışmanın Elektrofüzyon kaynak tekniği ile ilgilenen kuruluşlara ve mühendislik dallarında okuyan öğrencilere ışık tutacağını ümit ediyorum.

Beni bu yeni konuda çalışma yapmaya yönlendiren ve her türlü yardımı gösteren Hocam Doç.Dr. Murat VURAL'a, maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen İGDAŞ Beyoğlu Bölge Müdürlüğünde çalışan yöneticilere ve meslekdaşlarıma, İstanbul Bölge Bakım Onarım Şefi Burhan ÖZCAN'a ve çalışanlarına, İGDAŞ Eğitim Müdürlüğü Yöneticilerine, İGDAŞ Kalite Müdürü Erdoğan TOZAN Beye, Makina Yüksek Mühendisi İzzet KARABAY, Uygur ERBİL, Cansel COŞKUN Beye ve yardım ve sabırlarından dolayı aileme teşekkür ederim.

İstanbul, 1998

Cevat ÖZARPA

İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

ÖNSÖZ	ii
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
1.1. Temel Bilgiler	1
1.2. Polimerlerin Sentezi	4
1.2.1. İlave polimerizasyonu	4
1.2.2. Yoğunlaşma polimerizasyonu	5
1.3. Polietilenin Üretimi	6
1.4. Polimerizasyon Prosesi	7
1.5. AYPE Ve YYPE'lerin Tanıtımı	8
1.5.1. Alçak yoğunluklu polietilen	8
1.5.2. Yüksek yoğunluklu polietilen	8
1.6. Plastiklerin Kimyasal Yapısı	9
1.7. Termoplastik Malzemelerin Şekillendirilmesi	10
1.7.1. Enjeksiyon işlemi (püskürtme preslemesi)	11
1.7.2. Ekstrüzyon	15
1.7.3. Reaksiyon şekillendirilmesi	17
BÖLÜM 2. TERMOPLASTİK BORULARIN KAYNAK	
YÖNTEMLERİNE GENEL BAKIŞ	19
2.1. Giriş	19
2.2. Kaynak kuralları	19
2.3. Sıcak Eleman Alın Kaynağı	20
2.3.1. Kaynak yöntemi	20
2.3.2. Kaynak tertibatı	21
2.3.3. Kaynak dikişi hazırlanması	21
2.3.4. Kaynak için hazırlıklar	22
2.3.5. Kaynağın yapılışı	23
2.4. Sıcak Eleman Manşon Kaynağı	24
2.4.1. Kaynak yöntemi	24

2.4.2. Kaynak tertibatı	25
2.4.3. Kaynak bağlantılarının hazırlanması	25
2.4.4. Kaynak işleminin yapılması	25
2.5. Elektrofüzyon Kaynak Tekniği	26
2.6. Boru Kaynağının Kontrol Edilmesi	26

BÖLÜM 3. ELEKTROFÜZYON KAYNAK TEKNİĞİ VE ELEKTROFÜZYON

FİTINGSLERLE YAPILMIŞ İYİ BİR BAĞLANTININ ÖZELLİKLERİ	27
3.1. Giriş	27
3.2. Füzyon Süreçleri	28
3.3. Niçin Elektrofüzyon	28
3.3.1 teknik nedenler	29
3.3.2. Pratik nedenler	30
3.3.3. İnsan faktörü	30
3.4. Elektrofüzyon sistemi	31
3.5. Elektrofüzyon Kaynağı İlkeleri	32
3.5.1 sıcaklık zaman parametresi	32
3.5.2. Zaman basınç parametresi	34
3.6. Elektrofüzyon Yapımı	37
3.6.1. Pozisyonlandırma	38
3.6.2. Doğrultma (Sadece Kangal Yapılmış Borular İçin)	39
3.6.3. Fittingslerin Montajı	40
3.6.4. Oynatmadan Muhafaza Etme	40
3.7. Elektrofüzyon Kaynak Tekniği	41
3.7.1. Elektrofüzyon kaynak yöntemi	41
3.7.2. Servis hattı kaynakları	42
3.7.3. Dağıtım hattı kaynakları	44
3.7.4. Manşon kaynakları	45
3.7.5. Canlı hat üzerinde T fittings kaynağı	46
3.7.6. Füzyon kaynak makinası	48
3.7.7. Kaynak işleminin yapılması	51
3.7.8. Kaynak işlemi safhaları	51
3.8. Kaynak Sonrası PE Hatlara Sızdırmazlık Testinin Yapılması	52
3.9. Kaynak İşleminde Kullanılan PE Elektrofüzyon Fittingsleri	53
3.9.1. Elektrofüzyon fittingslerin imalatı	53
3.9.2. Pe manşonlar	54
3.9.3. Sedil T Kapak Tıkaçlı Bağlantı Parçaları	56
3.9.3.1. Tutucu altlık	58
3.9.4. Diğer Bağlantı Parçaları (PE dirsekler, PE redüktörler, PE kapaklar vb.)	59
3.10. Güç Cihazları (Jeneratörler)	60
3.11. Kaynakta Kullanılan Teçhizat ve Aletler	61
3.11.1. Sedil T kısıkaçı	61
3.11.2 . Delme İşleminde Kullanılan Anahtarlar	62
3.11.3. Kayışla Çalışan Dikişli Çark Mandalı	62
3.11.4. Kazıyıcı	63
3.11.5. Kazıyıcı alet	63
3.11.6. Polietilen borular için hizalama Kelepçesi (Pozisyoner)	64
3.11.7. PE Boğma Aparatı	64

3.11.8. Boru kesici Makas ve Giyotin	65
3.11.9. Küçük Çaplı PE Boruların Doğrultma ve Sabit Tutma Aparatı	66
3.11.10. PE Servis Hatları İçin Kavrayıcı Pense	66
3.11.11. Polietilen Boru Aksamında Kaynak ve Hazırlık Ekipmanları	66
3.12. Değerlendirme	67
 BÖLÜM 4. DOĞAL GAZ ŞEBEKESİ POLİETİLEN TEKNİĞİ	 69
4.1. Giriş	69
4.2. Ölçü ve Değerler	71
4.2.1. İkincil şebekeler	72
4.2.2. Üçüncül şebekeler	72
4.3. Gaz Şebeke Yapıları	73
4.3.1. Basit yapılar	73
4.3.2. Karmaşık yapılar	73
4.4. Şebekenin Tahliyesi	74
4.5. Basınç Tanımları	74
4.6. Basınç sınıflandırması	74
4.7. Dört Bar Orta Basınç Dağıtım Tekniği	75
4.8. Dört Bar Polietilen Tekniğinin Özel Vasıfları	76
4.9. Polietilen Borular	76
4.9.1. Boruların imalinde polietilen reçine seçimi	77
4.9.2. Reçine ve borular	77
4.10. Mekanik Gerilimler ve Polietilenin Uzun Vadeli Davranışı	81
4.10.1. Yavaş gelişen çatlaklar	81
4.10.2. Hızla yayılan çatlaklar	82
4.11. PE Boruların Tasarımı	82
4.11.1. Etkili Güvenlik Faktörünün Hesaplanması ve İzinverilebilir İşletme Basıncı	83
4.11.2. Plastik Boruların Basınç Oranına Göre Seçimi	85
4.11.3. PE Borunun Boyutu Ne Olmalı	88
4.12. Polietilen Boru İmalatı	89
4.13. Polietilen Borunun Özellikleri	90
4.13.1 Fiziksel özellikleri	90
4.13.1.1. Hacim kütle	90
4.13.1.2. Doğrusal genleşme katsayısı	91
4.13.1.3 Isıl özellikleri	92
4.13.1.4 mekanik özellikleri üzerinde sıcaklığın etkileri	92
4.13.1.5 elektriksel özellikleri	92
4.13.1.6 iklimle bağlı yaşlanma, katalizörler	93
4.13.1.7 geçirgenlik	94
4.13.1.8. Abrasyon direnci	94
4.13.1.9. Esneklik	94
4.13.1.10. Yangında davranışı	95
4.13.2. Kimyasal Özellikleri	95
4.13.2.1. Gaz bileşimine karşı kimyasal direnci	95
4.13.2.2 Aktif gerilim barındıran ortamlarda baskı sonucu çatlak oluşumu	96
4.13.3. Mekanik Özellikleri	96
4.13.3.1 Ani darbelere karşı davranışı	97

4.14. Polietilen Tekniğinin Ekonomik Yönleri	97
4.14.1. Polietilen tekniği ekleri	98
4.14.2. Dört bar PE tekniği (dış çap ≤ 125 mm)	98
4.15. Beklentiler	101
4.16. Polietilen Boruların Dezavantajları	103
4.16.1. Yumuşak malzeme olması	103
4.16.2. Güneş ışınlarından etkilenme	104
4.16.3. Polietilen boruların kimyasal maddelere dayanımı	104
4.16.4. Ateşe ve sıcaklığa dayanımı	104
4.16.5. Düşük kullanım basıncı	104
4.16.6. Kırılabilirlik özelliği	105
4.16.7. Elektriklenme	105
4.16.8. Yüksek lineer termal uzama katsayısına sahip olması	106
4.17. Kaynak İşleminin Özeti	106
4.18. Değerlendirme	107

BÖLÜM 5. KAYNAK HATALARI VE NEDENLERİ 109

5.1. Yapılan Çalışmalar	109
5.2. Elektrofüzyon Kaynak Hataları ve Nedenleri	109
5.2.1. Kaynak Yapılacak Kısımların Kaynak Ve Soğuma Süresince Kötü Hava Koşullarından Korunmaması	109
5.2.2. Kaynak Yapılacak Borunun İçindeki Basıncılı Hava-Gaz Akımlarından Korunmaması ve Gaz Sıkışması	109
5.2.3. Boru Çevresindeki Ortam Sıcaklığının Yüksek veya Düşük Olması	110
5.2.4. Yarım Kalmış Bir Kaynağa Devam Etmek	110
5.2.5. Kaynak Bölgesinin Mekanik Zorlamalara Maruz Kalması	112
5.2.6. Kaynak Yapılacak Bölgelerin Yeterince Temizlenmemesi	114
5.2.7. Kaynak Öncesi Boruların Düzeltilememesi, Oval Boru Kullanılması	116
5.2.8. Düşük Gerilimle Kaynak İşleminin Yapılmaya Başlanması	117
5.2.9. Kaynak Süresinin Yanlış Uygulanması	118
5.2.10. Alın Kaynak İçin İmal Edilmiş Boruların Elektrofüzyon Tekniğinde Kullanılması	118
5.2.11. PE Boruların (Birinin Veya Her İkisinin) Manşon İçine Yeterince Girmemesi ve Boru Alınlarının Arasında Boşluk Bulunması	119
5.2.12. PE Boru Ağzılarının Birinin veya Her İkisinin Dik Kesilmemesi	120
5.2.13. Farklı Reçinelelerden İmal Edilmiş Boru ve Fitinglerin Kullanılması	121
5.2.14. Kullanılan Fittingsden Kaynaklanan Hatalar	121
5.2.15. PE Boruların Fittings İçerisine Gereğinden Fazla Sürülmesi	122

SONUÇLAR VE ÖNERİLER 124

KAYNAKLAR 127

EKLER 129

ÖZGEÇMİŞ

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No:</u>
Şekil 1.1. Polimerin yapısı	4
Şekil 1.2. İlave polimerizasyonu ile monomerlerin birleştirilmesi	4
Şekil 1.3 . İlave polimerizasyonu ile elde edilmiş iki çeşit “mer” in oluşturduğu kopolimer	5
Şekil 1.4 . Fenol ve Formaldehid ‘in reaksiyona girerek bakaliti oluşturması	5
Şekil 1.5. Polietilenin polimerizasyonu	7
Şekil 1.6 . YYPE ve AYPE’nin üretim şeması	8
Şekil 1.7. Enjeksiyon işleminin yapılışı	11
Şekil 1.8. Tek kademeli pistonlu enjeksiyon makinasının çalışma prensibi	12
Şekil 1.9 . Sonsuz vidalı enjeksiyon makinası	13
Şekil 1.10. Plastik malzeme ekstrüzyonu	15
Şekil 1.11. Ekstrüzyon makinasının şematik gösterilişi	16
Şekil 1.12. Boru kalıbının şematik gösterilişi	17
Şekil 1.13. PE boru imalatı ve boruların kangal olarak hazırlanması	17
Şekil 2.1.Sıcak eleman alın kaynağı	20
Şekil 2.2. Sıcak eleman bindirme kaynağı	20
Şekil 2.3 . Modern bir alın kaynak makinası	21
Şekil 2.4. Sıcak eleman alın kaynağında yığma çapağı oluşumu	24
Şekil 2.5. Sıcak eleman manşon kaynağı	24
Şekil 3.1 . Kaynak öncesi ve sonrası kaynak bölgeleri	32
Şekil 3.2 . Isı taransferleri bilgisayar modelleri	33
Şekil 3.3. Kaynak enerjisi ve çekme direnci	34
Şekil 3.4. Kaynak Enerjisi ve Sıcaklık	35
Şekil 3.5. Kaynak Süresi ve Sıcaklık	35
Şekil 3.6. Kaynak basıncı ve fittings ile boru arasındaki açıklık	36
Şekil 3.7. Soğuma sonrası gerilimler	37
Şekil 3.8. Elektrofüzyon kaynaklı montajlarda çekme ve ezme testleri	37
Şekil 3.9. Boru doğrultma ilkeleri	40

Şekil 3.10. Duvar tipi servis kutusu	42
Şekil 3.11. Ces 200 gömülü servis kutusu	43
Şekil 3.12 . Fleyır (flaire) resmi	44
Şekil 3.13. Yeni hat çekmede kullanılan sedıllar	44
Şekil 3.14. Polistop b:fitings	45
Şekil 3.15. Manşon kaynağı	46
Şekil 3.16. Canlı hatta kaynak yapma tekniğı	47
Şekil 3.17. Elektrofüzyon kaynak makinası	48
Şekil 3.18. Kaynak işlemi şematik gösterim	50
Şekil 3.19: Elektrofüzyon Kaynağının Safhaları	51
Şekil 3.20. Polietilen manşon fitings direç telleri	54
Şekil 3.21. PE Manşon	55
Şekil 3.22. PE Sedıl T fitings direnç telleri	56
Şekil 3.23. PE Sedıl T	57
Şekil3.24. Tutucu altlık	59
Şekil 3.25. PE 90 ° dirsekler	59
Şekil 3.26. PE 45° Dirsekler	60
Şekil 3.27 . Dirençli ve dirençsiz Redüktörler	60
Şekil 3.28. Taşınabilir bir jeneratör	61
Şekil 3.29. Sedıl T kıskacı	62
Şekil 3.30. Delme anahtarı	62
Şekil 3.31. Kazıyıcı	63
Şekil 3.32. İki farklı tip kazıyıcı alet	63
Şekil 3.33. Pozisyoner	64
Şekil 3.34. Farklı iki tip boğma aparatı ve uygulamaları	65
Şekil 3.35. Boru kesici makaslar ve giyotin	65
Şekil 3.36. Kavrayıcı pense	66
Şekil 4.1. Fransa'da yıllara göre kullanılan boru tiplerinin değişimi	71
Şekil 4.2. Dış gerilmeli boru	78
Şekil 4.3. Sarı ve siyah imal edilen değişik çaplarda PE borular	79
Şekil 4.4. Kangal PE borular	80
Şekil 4.5. Kasnağa sarılmış PE boru	80

Şekil 4.6. MRS PE 80 ‘den imal edilen plastik borular için ömür grafiği	83
Şekil 4.7. Birim uzunluk maliyetinin evrimi	99
Şekil 4.8. Ekstrüzyon sırasında PE boru çeperlerinde meydana gelen değişiklikler	102
Şekil 4.9. Kaynak işlemi sırasında PE borunun topraklanması	105
Şekil 5.1: Kaynak süresince kaynak bölgesinin kötü ortam şartlarına karşı korunması	109
Şekil 5.2. Soğuma beklemeden kaynağa devam edilmesi	111
Şekil 5.3. Fazla ısının yüklenmesi sonucu erime	112
Şekil 5.4. Kaynak süresince ve soğuma süresince pozisyoner kullanımı	113
Şekil 5.5. Kaynak bölgesinde kasıntı oluşumu	113
Şekil 5.6. Boru ve fittingsde kasıntı sonucu akma	114
Şekil 5.7. Temizliğin yetersiz olması sonucu kaynamamış bölge	115
Şekil 5.8. Ayırma işleminden sonra kirli yüzeyler	116
Şekil 5.9. Oval boru kullanılması sonucu kesim sırasında ayrılan kaynak bölgesi	117
Şekil 5.10. Düşük gerilim sonucu kaynak bölgesinde ayrılma	117
Şekil 5.11. Boru alınları arasında boşluk	119
Şekil 5.12. Rezistansların bir araya toplanması	119
Şekil 5.13. Malzemenin kısmen boru içine akması	120
Şekil 5.14. Boruların çapraz kesilmesi sonucu malzemede akma	120
Şekil 5.15. Farklı iki PE borulardaki erime	121
Şekil 5.16. Fittings bar-kod okuma	122
Şekil 5.17. Fittings tanıtma kartları	122
Şekil 5.18. Boruların manşon içerisine yanlış yerleştirilmesi	123
Şekil 5.19. Boruların kaynaklanacak bölgesinin işaretlenmesi	123

TABLO LİSTESİ

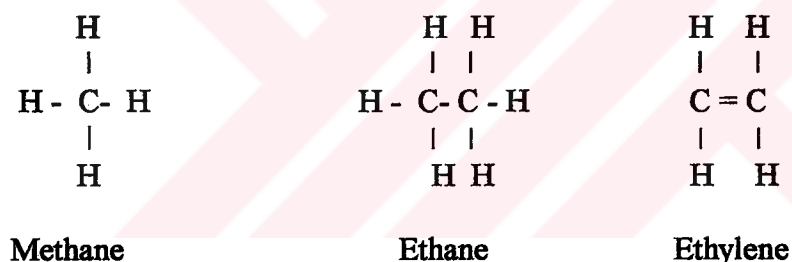
	<u>Sayfa No:</u>
Tablo 1.1. Polimer adlarının oluşturulması.	2
Tablo 2.1 . 20 ° C sıcaklık ve sakin havada ön ısıtma, geçiş ve birleşme süreleri	22
Tablo 2.2 . Sıcak eleman manşon kaynağında 20 °C ve sakin havada zaman değerleri	25
Tablo 3.1. Elektrofüzyon manşon montaj tablosu	38
Tablo 3.2 . Elektrofüzyon kaynak makinaları	49
Tablo 3.3. PE Manşonun ölçüleri (mm)	55
Tablo 3.4. Sedil T bağlantı parçasının standard ölçüleri (mm)	58
Tablo 4.1. Gaz basınçlarının sınıflandırılması	75
Tablo 4.2. PN, S serisi ve SDR ye göre örnek tablo	88
Tablo 4.3. Sıklıkla kullanılan pe boruların anma boyutları	88
Tablo 4.4. PE50 tipi polietilenin özellikleri	93

ÖZET

Bu çalışmada termoplastik doğal gaz borularının bağlantılarında kullanılan elektrofüzyon kaynak tekniği üzerinde durulacaktır. Termoplastiklerin genel özellikleri ve şekillendirilmeleri özet olarak anlatılacaktır. İkinci aşamada, termoplastik boruların bilinen kaynak teknikleri, donanımları ve kaynak işlemleri anlatılacaktır. Üçüncü aşamada, elektrofüzyon kaynak tekniği tercih edilme sebepleri; teknik nedenler, pratik nedenler ve insan faktörü bakımından incelenecek ve bilinen klasik termoplastik boru kaynak usulleri ile karşılaştırılacaktır. Aynı zamanda elektrofüzyon fittingsleri, kaynak donanımları, kaynak prensipleri, kaynak uygulamaları ve elektrofüzyon kaynak tekniği ile yapılmış iyi bir bağlantının özellikleri üzerinde durulacaktır. Daha sonra polietilen reçine seçimi, boru tasarımı, boruların özellikleri, avantaj ve dezavantajları detaylı olarak incelenecektir. Son olarakta, elektrofüzyon kaynak tekniği hataları ve nedenleri üzerinde durulacak ve bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ve öneriler sunulacaktır.

SUMMARY

As a result of their nature, properties, and unique advantages and limitations, nonmetallic materials have always played a significant role in manufacturing. More recently, wood has become less significant, and the term nonmetallic materials now brings forth an extensive listing of plastics, elastomers, ceramics and composites. Most of these are processed materials and wide variety of properties and characteristics can be obtained. It is helpful to have an understanding of the basic molecular structure of plastics. Most are based on hydrocarbons in which carbon and hydrogen combine in the relationship C_nH_{2n+2} , known as paraffins. Theoretically these hydrocarbons can be linked together indefinitely to form very large molecules etc. Methane, Ethane, Ethylene



More polyethylene is used than any other plastic materials. It is ubiquitous in containers of all sorts, packing and electrical insulation. Polyethylene is a type of polymer. Polymers are very large organic molecules made the successive linking together of small molecules. They are called monomers and provide the repeat units from which the poly (many) "mers" are built. Converting monomers into a polymer is called polymerization.

The use of plastic pipes in the gas industry was developed in many countries since the fifties. After a period of indecision, when PVC seemed to be the fittest material for mains, polyethylene has gained more and more ground, becoming the plastic mostly used for gas pipes.

Up to now, the mechanical characteristics of PE have been improved; this led to a better safety of the plants made of his materials and thus to an increase of demand.

In the past they used to classify PE into three families:

High density	PE HD	weight density .942 to .965 g/cm ³
Medium density	PE MD	weight density .930 to .942 g/cm ³
Low density	PE LD	weight density .915 to .930 g/cm ³

Polyethelene used in network contruction for gas and water distrubition must have an absolute gravity greater than .930 g/cm³; whereas, as far as PE having density lesser than .930 g/cm³ is concerned, the most common uses are tobe mainly found in construction of sewer outlets and watering systems.

Pipes to be used for construction of mains must be made of resins derived from ethelene polymerization with the adition of stabilizers and antioxidizers (carbon black, cadmium sulphide, etc.)

Gas pipes must be classsified according to their mechanical characteristics and type A or B PE pipes, as defined by UNI ISO 4437, may be used.

Properties of polyethylene are as follows; chamical resistance to gas constituents, resistance to chamical action, resistance of microorganisms of soil, stability to radiation, behaviour in the presence of flame, toxicological properties, stability at weather conditions, resistance to soil corresion, surface electric resistance, resistance to low tempature, resistance to abrasion, flexibility, density-weigh, expansion.

Polyethelene development is mainly due to the economy obtained both in investment and network manegement. The benefit comes from lightness and high flexibility of polyethylene pipes which allow to make trenches with smaller cross-section and greater posibility of adaptation to whatever laying profile.

Besides, whenever it is possible, and for diameters for which such an application is

provided for ND 63 max, the use of coils of pipes long even more than 100 metres, allows to lay pipes at high speed and a smaller number of welds. Further economy is to be found in lack of cost for cathodic protection, because polyethelene is not subject to deterioration due to stray currents in subsoil.

At present the most used process for polyethelene pipes manufacturing is extrusion because it makes it possible to make weldless pipes and, practically, of infinite length. Thus pipe length is set according to the exigencies for carriage and market requirements.

Trasformation of PE grains into fittings takes place by means of injection moulding. The material goes through an extruder that melts, homogenizes and by injection compresses the grain into the mould of the fitting to be manufactured. During the injection phase, the walls of the mould are at temperature of 70° C and are continuously cooled, that way allowing the fitting to cool down from 200-300 degrees to the mould temperature.

Sockets for connection of pipes and service lines are available both for network laying nad live lines. These fittings have a built-in electric resistance in the shape of a coil that almost completely covers the inside surface of the piece. When an electric current goes through it, the electric resistance heats up melting the connecting material surfaces welding the fitting on the pipe. The electroweldable pieces production is characterized by a special moulding process, because the heating electric coil is to be embedded together with its external contacts to the welding machine.

By welding it is designed a set of works by means of which the joining by fusion of material is obtained, in order to achive a permanent joint between two stretches of pipe, a stretch of pipe and a fitting or between two fittings.

Electrofusion welding is carried out by means of special welding machines that supply current to the electrical resistance embeded in to the socket or tap tee melting the material and welding together the pieces to be joined.

In the zone involved in the weld the wall thickness of the pieces to be joined should generally be equal. Welding must be performed in accordance with the following conditions:

- The involved area must be protected from negative atmospheric influence (rain, wind, snow etc.), during all the welding and cooling period;
- The welding zone must also be protected from air from inside pipes. For this purpose it must be guaranteed that at least one of the pipe end is closed either by means of plastic plugs supplied together with the consignment or other suitable means (rings, expansion plugs). All this in order to avoid that air going through the pipes could affect the welding outcome.
- Room temperature, as measured on the pipe, must be within 0° and +40°C.
- Whatever tensile stress on the joint must be avoided both during welding and through out its cooling period.
- The surfaces to be welded together must always be thoroughly finished and cleaned in accordance with the criteria characteristic of the used welding type.
- The equipment used for welding must be suitable for this work.

Electrofusion is currently acknowledged as being the most reliable and best suited jointing process for gas distributors and for distribution of fluids under pressure. Compared with butt fusion or socket fusion, the advantages of electrofusion are based on a combination of technical, practical and labor related features.

Due to technical reasons; In a butt or socket weld, the jointing principle is based on:

- Preliminary fusion of the surfaces to be welded using heated tools,
- Removal of these tools and relative displacement of the parts to be welded to ensure correct contact of the surfaces. This causes movements of material in fusion,
- Holding in contact and under pressure of the surfaces throughout the cooling phase.

Due to displacement of the material in fusion, this type of joint engenders internal stresses in the weld areas which are detrimental to the long term behavior of assembly. This effect is further aggravated when two resins of different fluidities are

used. Due to the geometry of the welded parts(sleeve or branch tapping), socket fusion is particularly subject to this problem.

With electrofusion technique, welding is made after assembly, and holding the parts to be welded with respect to each other. Therefore at the moment of welding, there is no movement between the pipe and the fitting. Material movements are very limited, resulting in low stress factors in the welding plane. This holds true even for two resins of different origins, the melt flow index MI 5 of which is between 0.3 and 1.4 g/10 min. Since the coupling are injected using compatible resins, total interchangeability between the pipe and the fitting is obtained, and consequently between two pipes of totally different types.

Due to practical reasons, socket and butt fusion techniques are complementary:

- Socket fusion applies only to pipes of diameters of 75 mm,
- Butt fusion requires a minimum pipe material thickness, and can therefore only be used with pipes of diameters of 50 mm prepared in straight sections only. These multiplies the number of joints and the width of trenches if assembly is to take place in the bottoms of the trenches.

Electrofusion enables assembly of pipes over a range of diameters of 20 to 200 mm. This is the only technique enabling the use of long pipes of diameters of up to 125 mm. Also, this is a complete technique which can be used simultaneously:

- Throughout all phases of network constructions,
- For under-pressure connection,
- For repair work.

While other techniques cannot be used alone and must be at least associated with electrofusion or mechanical fittings to obtain joints in pipes already installed, or for repair work. Moreover, with the electrofusion technique, universal assembly tools enable the operator to dispense with procurement problems, leaving him the possibility of altering this choice of fittings, in time, without having to acquire new tooling.

Due to human factor; when socket fusion and butt fusion are involved, dexterity is of the utmost importance in joint quality. Therefore, in this case, specialists are required to define and apply the various pressures and temperatures during the welding phase. Joint quality and therefore long-term behaviour depend directly on the operator. This has two consequences:

- Setting up of an important and delicate personnel training program, with periodic checking of welders' skill,
- The necessity of a weld inspection procedure either in the form of a visual inspection or using ultrasonics, which can only detect volumic defects, and cannot provide total assurance concerning weld quality.

The electrowelding technique dispenses with subsequent inspection. In fact, welding temperature and pressure simply a function of the coupling geometry and welding parameters, which are perfectly known and defined. Ideal welding conditions can therefore be repeated systematically from one weld to another. Welding is then performed using automatic machines. Electrofusion under these conditions therefore simply demand only slight training.

At the other hand, control of the jointing is very important for the quality. The method used for PE welding defines the importance which the visual testing has on the check of the joint quality.

For visual testing several defects and their possible origins may be given as follows;

- Defects; irregular outline of the bead on the pipe circumference, origins; non satisfactory preparation of the ends to be welded with consequent non-uniform heat distribution.
- Defect; dimension on the bead non equal to the foreseen value, origins; bad adjustment of the welding parameters (temperature, pressure, welding time).
- Defect; deep carving by the centre of the bead, origins; temperature values or welding pressure lower than estimated.
- Defect; superficial inclusions by the bead, origins; non satisfactory cleaning of the ends to be welded.

- Defect; exceeding brightness of the the bead surface, origins; overheating during the welding cycle.
- Defect; off-centering higher than 10% of the pipe/fiting thickness, origins; wrong centering or exceeding out-of-round of pipes.

There can be no doubt that electrofusion is a reliable assembly technique offering much higher performances than conventional techniques such as socket or butt fusion. The quality of an electrowelded assembly depends not only on the design of the fitting used, but also on the manner in which it is implemented.



BÖLÜM 1

GİRİŞ

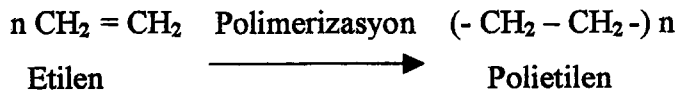
1.1. Temel Bilgiler

Malzemeler genel olarak dört ana grupta toplanabilir.

1. Metalik malzemeler
2. Organik malzemeler
3. Seramik malzemeler
4. Kompozit malzemeler

Organik ve seramik malzemeler metaldışı mühendislik malzemelerdir. Kompozit malzemeler ise metalik veya metal dışı mühendislik malzemeler olabilmektedir. Organik malzemeler Polimer olarak bilinen plastikler, elastomerler ve fiberlerdir. Bunlar karbonun (C) metal olmayan elementlerle (H, O, Cl, N) meydana getirdiği büyük moloküllü organik bileşiklerdir [1].

Polimerler, molokül ağırlığı yüksek olan kompleks organik molokül zincirleridir. Polimerler doğal ve yapay olarak iki gruba ayrılabilir. Yapay polimerler genellikle çok sayıda tekrarlanan “mono-mer” veya kısaca “mer” denilen basit ünitelerden oluşur. Bunların adlandırılmasında çok sayıda anlamına gelen “poli” sözcüğü ile “mer” sözcüğü birleştirilir. Örneğin etilen monomerinin polarizasyonu ile n monomer içeren polietilen elde edilmektedir [1].



“n” polimer zincirindeki monomer sayısını ifade eden polimerizasyon derecesidir. Endüstride kullanılan plastikler genellikle sentetik polimerlerdir. Elde edilen

polimerler tekrarlanan birimin kimyasal adının önüne “poli” sözcüğü konularak oluşturulur. (polietilen, poliester, poliamid vs.) Tekrarlanan ünitelerden oluşan doğal polimerlere örnek olarak selüloz, nişasta ve doğal kauçuk verilebilir [1].

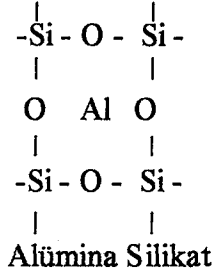
Endüstriyel uygulamada kullanılan plastikler genellikle sentetik polimerlerdir. Bu şekilde elde edilen polimerler grubu Tablo 1.1 ‘de verilmiştir.

Tablo 1.1. Polimer adlarının oluşturulması.

Tekrarlanan Birim	Birim Kimyasal Adı	Polimer Adı
$\begin{array}{c} -O-C- \\ \\ O \end{array}$	Ester	Poliester
$\begin{array}{c} -C-NH- \\ \\ O \end{array}$	Amid	Poliamid
$\begin{array}{cc} & \\ -C & -C- \\ & \\ & Cl \end{array}$	Vinilklorür	Polivinilklorür
$\begin{array}{cc} F & F \\ & \\ -C & -C- \\ & \\ F & F \end{array}$	Tetrafluoroetilen	Politetrafluoroetilen
$\begin{array}{cc} H & H \\ & \\ -C & -C- \\ & \\ H & H \end{array}$	Etilen	Polietilen

Polimerler kimyasal bileşimlerine göre organik ve inorganik polimerler olmak üzere iki gruba ayrılır. Organik polimerlerde karbon, hidrojen, oksijen, azot ve halojen atomları bulunur. Bir atomun polimer ara zincirinde bulunabilmesi için, en az iki değerlikli olması şarttır. Bu yüzden hidrojen ve halojenler ana zincir üzerinde bulunamazlar. Atomlar arası bağ enerjileri dikkate alınırsa; C-C bağ enerjisi 80 kcal/mol, O-O bağ enerjisi 34 kcal/mol ve N - N bağ enerjisi 37 kcal/mol olduğu için ana zincirin karbon atomlarından oluşturulma nedeni anlaşılacaktır.

İnorganik malzemelerde C yerine (Si) Silisyum, (Ge) Germanyum, (B) Bor ve (P) Fosfor gibi elementler bulunur. B–O bağ enerjisi 119,3 kcal/mol, Si-O bağ enerjisi 89,3 kcal/mol dür. Bağ enerjileri yüksek olduğu için inorganik polimerler daha yüksek ısı ve mekanik dayanıklılığa sahiptirler. Alümina silikat inorganik polimerlere örnek olarak verilebilir [1].

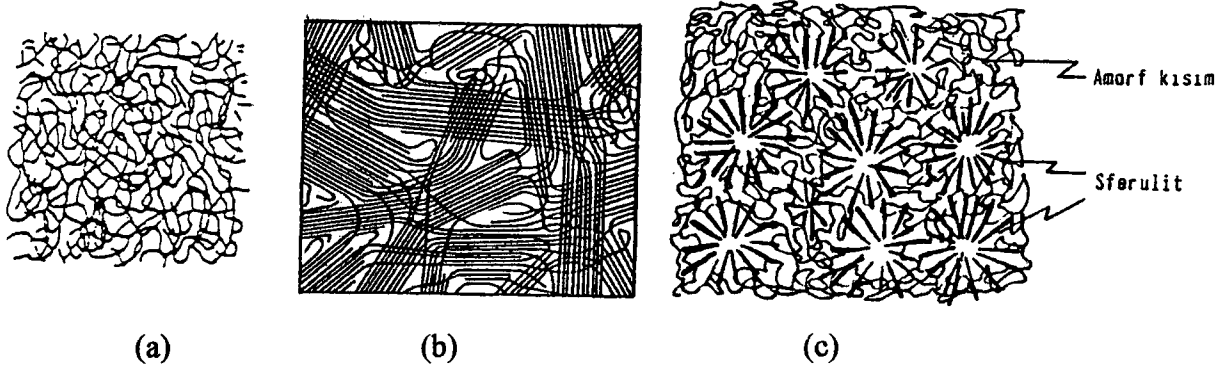


Polimerler yapılarına göre de; tek bir monomerin tekrarlanmasından elde edilmişse homopolimer diye, iki değişik monomerden oluşanlar kopolimer diye, üç farklı cins monomerden oluşanlar terpolimer diye adlandırılır. Polimerlerin sınıflandırılmasında kullanılan esas, işleme yöntemlerine göre yapılan sınıflandırmadır. Bu tip sınıflandırmada Termoplastikler ve Termosetler olmak üzere iki büyük gruba ayrılır.

Termoplastikler ısı ve basıncın altında yumuşayan ve akan bu haldeyken şekil verilebilen ve soğutulduğunda sertleşen plastiklerdir. Tekrar ısıtıldığında yumuşayan ve yeniden şekil verilebilen malzemelerdir. Bu işlemler sırasında hiçbir kimyasal değişikliğe uğramazlar. Bunun yanısıra uygun çözücülerle çözününebilirler ve çözücü döküm gibi yöntemlerle de şekillendirilebilirler. Genel olarak polimerler reaktör denilen tesiste polimerizasyonla elde edilirler. Polietilen, polistiren, akrilikler, naylon ve selulozikler termoplastik malzemelere örnek olarak gösterilebilir [1].

Termosetler, ısı işlemiyle bir defa istenilen şekli alabilen plastiklerdir ve tekrar ısıtılmakla şekillendirilemezler. Termosetler polikondansasyon reaksiyonu ile elde edilir ve çapraz bağlı bir yapıya sahiptirler. Termosetlerde polikondansasyon, polimerlerin reaktör denilen tesiste bir araya gelmesiyle başlar ve kalıplama işlemi ile sona erer.

Polimerler kullanım alanlarına göre plastikler, fiberler, kaplamalar ve yapıştırıcılar olmak üzere dört gruba ayrılabilir. Ayrıca polimerler fiziksel durumlarına göre de amorf, kristalin ve kısmi kristalin olarak üç gruba ayrılabilir (Şekil 1.1) [1,2].



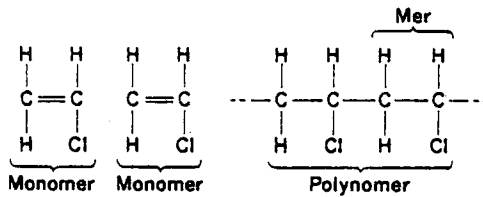
Şekil 1.1: Polimerin yapısı a) Amorf, b) Kristalin, c) Kısmikristalin

1.2. Polimerlerin Sentezi

Polimerler, polimerizasyon reaksiyonları ile elde edilmektedir. Polimerizasyon birçok moleküllerin biraraya bağlanma reaksiyonudur. Polimerizasyon reaksiyonları temel iki gruba ayrılır; yoğunlaşma ve ilave polimerizasyonu.

1.2.1. İlave Polimerizasyonu

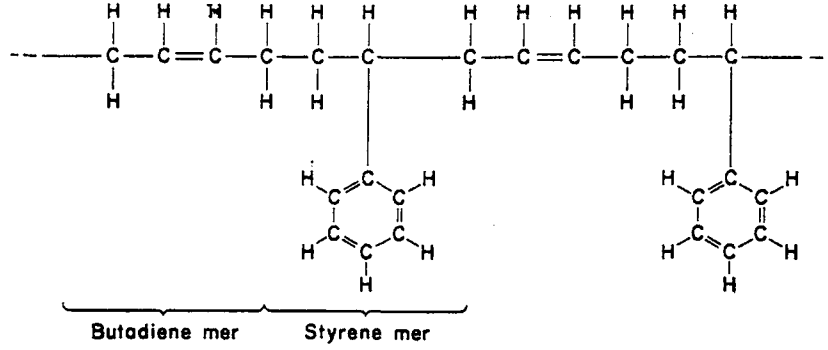
İlave polimerizasyonunda monomer'lerin tekrarlanarak daha büyük molekülleri oluşturması (polimer) işlemidir. Şekil 1.2'de ilave monomere bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 1.2: İlave polimerizasyonu ile monomerlerin birleştirilmesi

Reaksiyonun hızlandırılması için kullanılan $H_2O_2 \rightarrow 2OH$ gibi katalizör ile başlanıp zincir oluşturulur. Monomer miktarına bağlı olarak kullanılan katalizörler ortalama molekül ağırlığını veya zincirin uzunluğunu belirlerler. Polimerlerde kullanılan ve

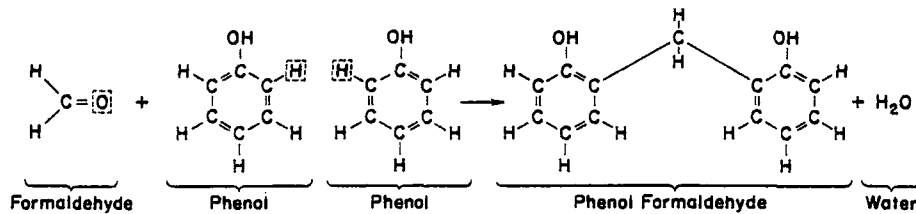
polimerin derecesini gösteren “n” sayısı ticari polimerlerde 75 ile 750 arasında değişmektedir. Kopolimerler ise, iki veya daha fazla çeşit “mer” in aynı zincir üzerinde bir araya gelerek oluşturduğu polimerlerdir. Şekil 1.3’de gösterilen bu işlem sayesinde gelişmiş fiziksel ve mekanik özelliklere sahip yeni plastikler üretililebilmektedir [1,3].



Şekil 1.3 : İlave polimerizasyonu ile elde edilmiş iki çeşit “mer” in oluşturduğu kopolimer

1.2.2. Yoğunlaşma Polimerizasyonu

Yoğunlaşma polimerizasyonuna (Polikondansasyon) örnek olarak; poliamidler, poliester polipeptidler, polisilikonlar ve poliüretanlar gösterilebilir. Bileşik atomlarının tamamının ürün molekülde görülebildiği ilave polimerizasyonunun aksine, yoğunlaşma polarizasyonu reaktif moleküllerin bir diğeri ile, su gibi küçük ürünleri elemesiyle meydana gelen kademeli birleşme işlemidir. Şekil 1.4’de 1910 yılında keşfedilen fenol ve formaldehid ‘in reaksiyona girerek bakaliti oluşturması gösterilmiştir. Kondensasyon polimerinin yapısı genelde; atomların birbirlerine güçlü bağlarla bağlandığı üç boyutlu kafes biçimidir [1,3].



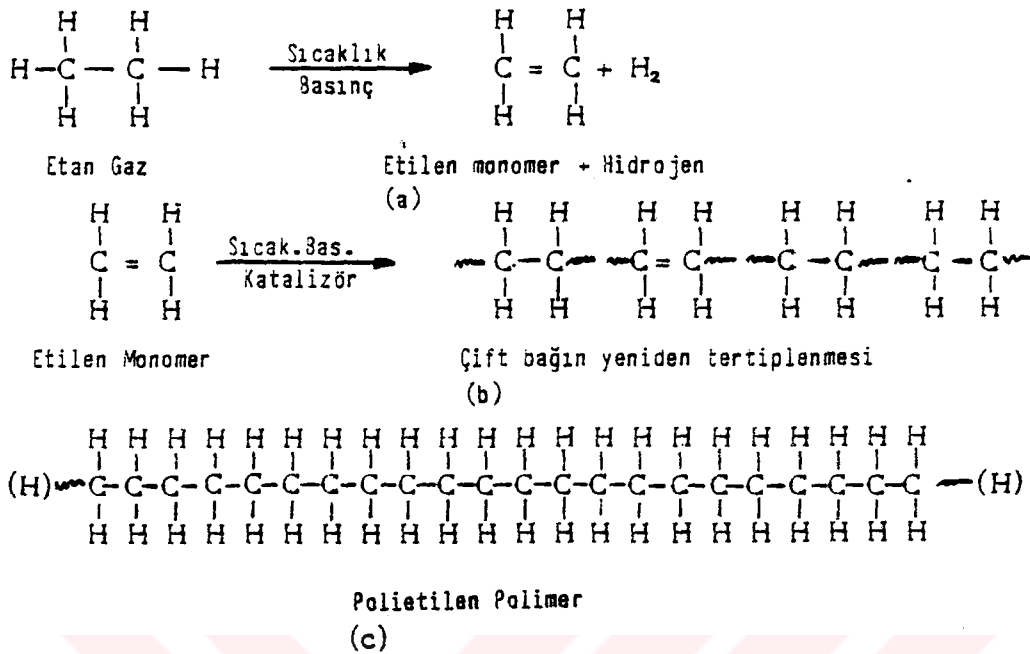
Şekil 1.4 : Fenol ve Formaldehid ‘in reaksiyona girerek bakaliti oluşturması

1.3. Polietilenin Üretimi

Diğer plastik malzemelere göre polietilen çok daha fazla kullanılmaktadır. Her çeşit ambalajlama, elektriksel izolasyonda ve değişik amaçlı borularda kullanımı yaygındır. Polietilen genellikle imalat işlemine ham petrol olarak başlar. Ham petrol hidrokarbonlar diye adlandırılan karbonun ve hidrojenin karışımını içeren koyu bir akışkandır. Ham petrol damıtılarak değişik yakıtlar, gaz yağı, nafta ve bitüm elde edilir. Daha sonra nafta ara ürünlere ayrılır. Etilen, polietilenin habercisi olan bir ara üründür. Etilen (C_2H_4) ham petrol harici doğal gaz ve kömürden de elde edilir [1,4].

Polietilen, polimer sınıfındandır. Etilen ise, bir polimer olan polietilenin imalatında kullanılan monomerdır. Kimyasal formülü ($CH_3 - CH_3$) olan etan molekülü sıcaklığın ve basıncın etkisi altında iki hidrojeni kaybeder ve elektronların yeniden düzenlenmesi ile karbon atomları arasında çift bağ ($CH_2 - CH_2$) oluşur. Bu şekilde karbon atomunun dört enerji bağı doymuş olur ve etilen monomeri denilen stabil bir ünite elde edilir (Şekil 1.5.a) [1].

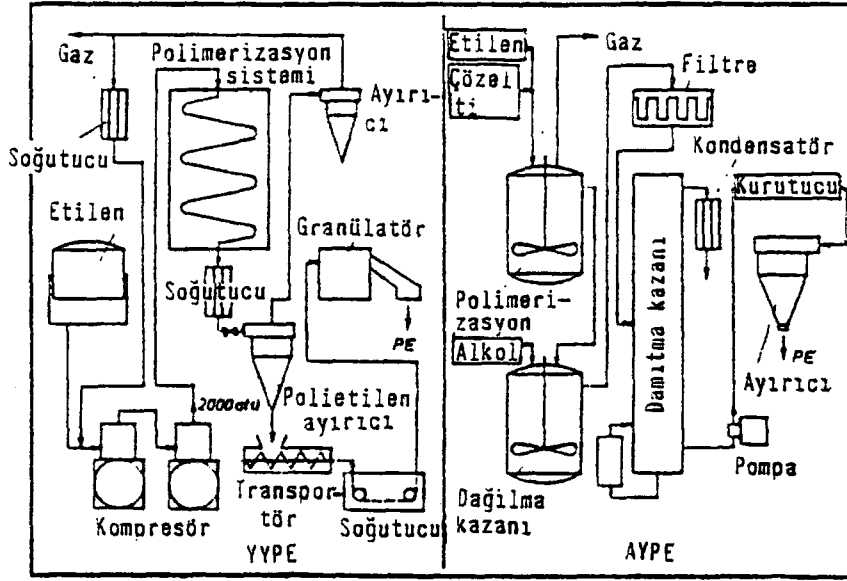
Bir reaktöre konulan milyonlarca monomer, sıcaklığın ve basıncın etkisi altında tutulur. Belirli katalizörlerin de mevcut olduğu bu ortamda, monomerleri oluşturan karbon atomlarının her iki tarafında birer serbest bağ oluşmakla beraber, karbon atomları arasındaki çift bağ tek bağa dönüşür. (Şekil 1.5.b) Serbest bağlar başka monomerlerin serbest bağları ile bağlanır ve zincir şeklinde kararlı bir bileşik meydana gelir. Monomerlerin devamlı olarak bağlanması ile zincir daha da büyür ve reaksiyon zincirin serbest uçlarına bağlanan başıboş hidrojenlere rastlayınca kadar devam eder. Başıboş hidrojenlere rastlayınca reaksiyon durur ve zincir tamamlanmış olur (Şekil 1.5.c). Bu zincir esasen tek bir moleküldür. Bu şekilde Polimerizasyon yöntemiyle polietilen polimer elde edilmiş olur [1].



Şekil 1.5: Polietilenin polimerizasyonu

1.4. Polimerizasyon Prosesi

Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE =HDPE) ve alçak yoğunluklu polietilen (AYPE=LDPE) 'in üretim şeması Şekil 1.6'da verilmiştir. YYPE için etandan elde edilen etilen ile soğutucudan kazanılan gaz iki kademeli bir kopresöre; buradan 2000 atü basınçla polimerizasyon sistemine gönderilmekte ve elde edilen polietilen bir soğutucudan ve ayırma cihazından geçirilmektedir. Buradan ayrılan polietilen sonsuz vida taşıyıcısı ile soğutulmakta ve bir granülatörde granül hale getirilmektedir. Ayırıcıdan elde edilen gazın bir kısmı kompresöre bir kısmı da dışarıya gönderilmektedir. AYPE'nin üretiminde; etilen ve çözücü ortamı polimerizasyon kazanına, buradan elde edilen ürün bir filtreden ve su buharı damıtma kazanından geçirildikten sonra bir pompanın yardımıyla kurutucu ve ayırma cihazına gönderilmektedir. [1]



Şekil 1.6 : YYPE ve AYPE'nin üretim şeması

1.5. AYPE Ve YYPE'lerin Tanıtımı

Piyasaya sunulmuş polietilenler 500 ile 2000 arasında tekrarlanan birimlerden oluşur. Moleküller birbirine çok yakın dizilmişlerse YYPE'i meydana getirirler. Genellikle polietilenler tok, fevkalade elektriksel ve kimyasal özellikleri, düşük sürtünme katsayısı, sıfıra yakın nem emme özelliği olan ve kolay işlenebilen reçinelerdir. Çalışma sıcaklıkları $-4,5^{\circ}\text{C}$ ila $+90^{\circ}\text{C}$ arasındadır. Çok sık karşılaşılan polietilenler alçak ve yüksek yoğunluklu olanlardır.

1.5.1. Alçak Yoğunluklu Polietilen

Alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) iyi tokluk ve esneklik, alçak sıcaklıklarda darbe mukavemetine ve film şeklinde berraklık gibi özelliklere sahiptir, ancak sıcaklığa karşı mukavemeti oldukça düşüktür. Oda sıcaklığında iyi kimyasal mukavemete sahip olan bu reçinenin mukavemeti sıcaklığın artması ile azalır. [1]

1.5.2. Yüksek Yoğunluklu Polietilen

Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE), çok daha büyük rijidliğe ve çekme mukavemetine sahiptir. Darbe mukavemeti biraz daha düşüktür, ancak düşük sıcaklığındaki değeri birçok termoplastik ile mukayese edilirse oldukça iyidir. [1]

1.6. Plastiklerin Kimyasal Yapısı

Polimerizasyon sırasında birbirinden bağımsız olan milyonlarca polimer zinciri mevcut monomerler bitinceye kadar aynı anda uzunluğu doğrultusunda büyür. Belirli miktarda hidrojen veya başka zincir durduran elementler ilave edilerek , az çok uzunlukları yaklaşık eşit olan zincirler elde edilebilir. Zincirin uzunluğu, plastik malzemenin özelliğini ve teknolojisini önemli şekilde etkiler. Zincir uzunluğunun büyümesi ile plastiğin tokluğu, sürünme mukavemeti, ergime sıcaklığı, ergime viskozitesi büyür ancak teknolojisi daha zor olur. Plastiği oluşturan tüm zincirler aynı uzunlukta imal edilemez; aralarında belirli farklar mevcuttur. Bu bakımdan bir polimeri oluşturan zincirlerin uzunluğu istatistik dağılım göstermektedir. Dolayısıyla polimerin molekül ağırlığı esasen tüm zincirlerinin ortalama molekül ağırlığıdır. Örneğin; etilen monomerinden ($\text{CH}_2 - \text{CH}_2$) elde edilen polietilen ($-\text{CH}_2 - \text{CH}_2 -$)_n ve zincirin molekül ağırlığı;

$$M = n.M_m \quad (1.1)$$

Burada;

M_m : Monomerin molekül ağırlığı

n : Polimerizasyonun derecesi [1].

Yoğunluk arttıkça, polietilenin kimyasal direnci de artar. Yoğunluk aynı kaldığı ve molekül ağırlığı arttığı sürece mekanik ve kimyasal zorlamalara karşı kırılma direnci artar. Molekül ağırlığı aynı kaldığı ve yoğunluk düşürüldüğü zaman kırılma direnci artar [5].

Yoğunluk ve molekül ağırlığının artması ile malzemede meydana gelen değişiklikler şu şekilde sıralanabilir; yoğunluk arttıkça;

ARTAR :

Kimyasal dayanıklılık

Çekme gerilimi

Mukavemet

Sertlik

Kristalleşme

Gaz sızdırmazlığı

AZALIR :

Gerilimlerin neden olduğu çatlaklar

Saydamlık

Esneklik

Molekül ağırlığı arttıkça;

ARTAR :

Atmosferik şartlara karşı dayanıklılık

Zorlamaya karşı çatlaklar

Esneklik

Çarpma gerilmesi

Yırtılma direnci

Genleşme

Bu nedenlerle yüksek yoğunluklu polietilen, genellikle gaz endüstrisinde ve özel parçaların imalatında kullanılır. Yüksek yoğunluklu PE den üretilmiş borular, genelde su ve gaz şebekelerinde, orta yoğunluklu olanları ise atıksu ve sulama sistemlerinde kullanılırlar. Yüksek yoğunluklu PE nin; kristalleşme derecesi % 60 –80, özgül ağırlığı 942-965 kg/dm³ dür [5].

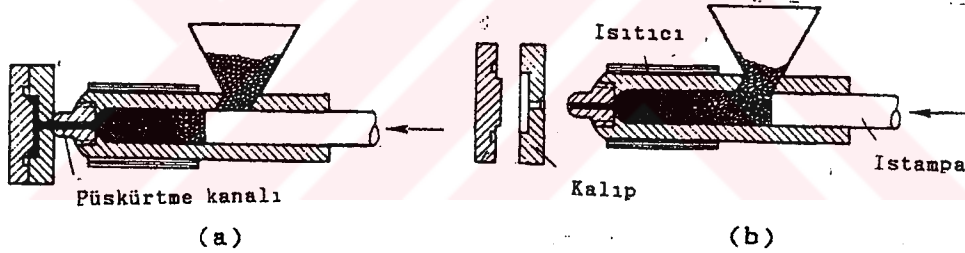
1.7. Termoplastik Malzemelerin Şekillendirilmesi

Polimer ham maddesi üretici tarafından genellikle çeşitli ilaveler ile birlikte tane veya toz olarak kurutulmuş halde piyasaya sunulur. Şekil verme işlemi genellikle üç usule göre gerçekleşir [6].

1.7.1. Enjeksiyon İşlemi (Püskürtme Preslemesi):

Enjeksiyon kalıplama seri imalat için en uygun imalat yöntemidir, genellikle termoplastiklere uygulanan bu yöntem bazı tedbirler alınarak termosetlere de uygulanabilir. Günümüzde PE, PS, PP, ABS, SAN, Naylon başta olmak üzere bir çok polimer bu yöntemle işlenmekte ve çok çeşitli ürün elde edilmektedir.

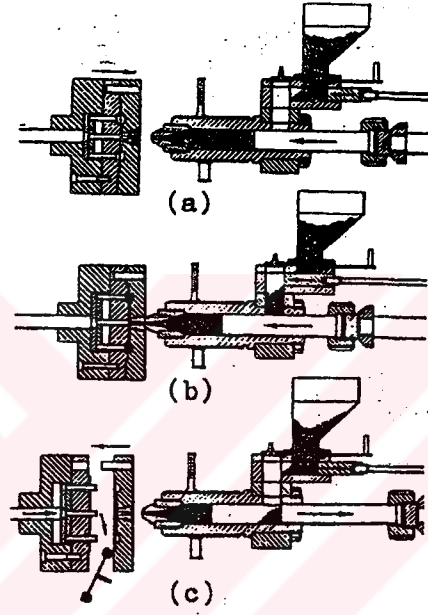
Genellikle enjeksiyon yöntemiyle parçalar üç kademede elde edilir. Bunlar ergitme, kalıp boşluğuna doldurma, soğutma ve parçayı kalıp boşluğu içerisinden çıkarma işlemidir. Prensip olarak bu işlem şu şekilde yapılır (Şekil 1.7). Toz ve granül şeklinde bulunan reçine besleme hunisinden bir silindire aktarılır, burada malzeme ısıtılarak ergimiş hale getirilir. Daha sonra bir piston (veya sonsuz vida) ile ergimiş reçine yüksek basınçla kalıbın boşluğuna sevk edilir (Şekil 1.7.a), parça soğutulur, daha sonra kalıp açılır ve parça yerinden düşer. Kalıbın açılması sırasında piston geriye çekilir ve huniden ısıtma silindirine reçine aktarılır (Şekil 1.7.b).



Şekil 1.7: Enjeksiyon işleminin yapılışı

Pratikte pistonlu ve sonsuz vidalı olmak üzere esasen iki çeşit enjeksiyon presi vardır. Şekil 1.8 'de tek kademeli pistonlu bir enjeksiyon makinasının seması gösterilmiştir. Makine yukarıda açıklanan prensibe göre çalışmaktadır. Şöyle ki Şekil 1.8.a'da reçinenin ısıtılması ve eritilmesi, Şekil 1.8.b'de reçinenin kalıp boşluğuna sevk edilmesi ve Şekil 1.8.c'de katılaştıktan sonra kalıbın açılması ve parçanın düşmesi ile birlikte pistonun geri çekilmesi ve besleme hunisinden silindire reçinenin aktarılması gerekmektedir. Pistonlu enjeksiyon makinası eski bir sistemdir. Bunun en büyük kusuru reçinenin düzenli bir şekilde ısıtılmamasıdır. Bunu ortadan kaldırmak için iki kademeli pistonlu enjeksiyon makinaları vardır.

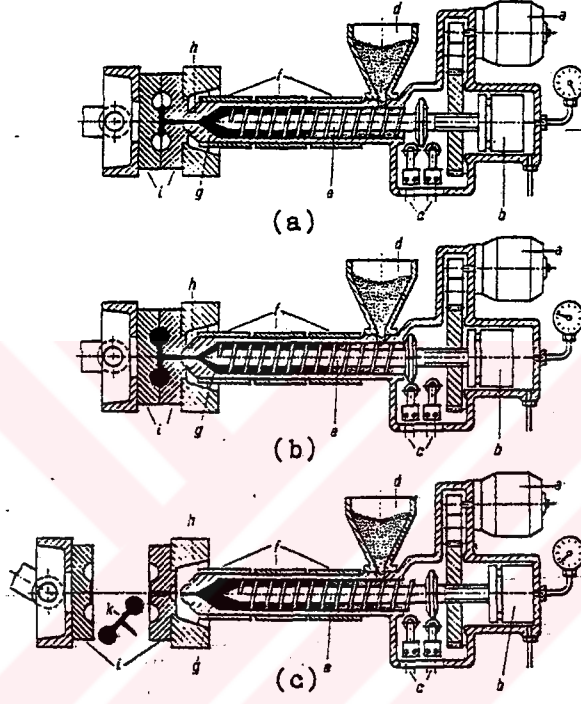
Burada reçine ayrı bir silindirde plastikleştirilir (yumuşatılır) ve sonra bir sonsuz vida veya piston ile ikinci kademeyi oluşturan silindire aktarılır ve buradan bir pistonla ergimiş reçine kalıp boşluğuna sevk edilir. Şekil 1.8'de tekkademeli pistonlu enjeksiyon makinesi gösterilmiştir [6].



Şekil 1.8: Tek kademeli pistonlu enjeksiyon makinesinin çalışma prensibi

Enjeksiyon makinalarında en iyi sonuç, reçineyi çok daha iyi hazırlayan sonsuz vidalı enjeksiyon makinasında elde edilir. Bu makinanın şeması ve çalışma prensibi Şekil 1.9'da gösterilmiştir. Burada; *a* vidanın döme hareketini sağlayan elektrik motoru, *b* vidanın ileri ve geri hareketini sağlayan hidrolik sistem, *c* vidanın ileri ve geri hareketini sınırlayan kontaktörler, *d* besleme hunisi, *e* sonsuz vida, *f* silindirin etrafındaki elektrik ısıtıcı, *g* plastik sıcak malzeme, *h* püskürtme memesi, *i* kalıp yarıları, *k* kalıplanmış parça. Bu sistemde besleme hunisinden silindire akan reçine, sonsuz vidanın dönme hareketi ile ısıtma silindirin içinde ileriye doğru ilerlemekte ve aynı zamanda ısıtıcının etkisi altında erimekte (Şekil 1.9.a). Isıtma silindirin ön kısmına yeteri kadar ergimiş reçine toplandığında sonsuz vida hidrolik sistemin yardımıyla ileri itilmekte ve ergimiş reçine kalıp boşluğuna basınçla sevk edilmektedir (Şekil 1.9.b). Sonsuz vida geri hareketi yapmakta silindirin ön kısmına

yeni bir devir için ergimiş reçine toplanmaya başlamakta; aynı zamanda parça soğuduktan sonra kalıp açılmakta ve parça yerinden düşmektedir (Şekil 1.9.c) ve bu şekilde bir iş devri tamamlanmış olmaktadır. [6]



Şekil 1.9 : Sonsuz vidalı enjeksiyon makinası

Her plastik malzeme için optimum bir enjeksiyon sıcaklığı vardır. Bu sıcaklık, malzemenin yeterli derecede viskoz olduğu ve hiçbir bozulma göstermediği sıcaklıktır. Bu bakımdan aşağıda bazı değerler verilmiştir.

Malzeme adı	Optimum enjeksiyon sıcaklığı
Alçak Yoğunluklu ve Orta Yoğunluklu Polietilen	163 – 260 °C
Yüksek Yoğunluklu Polietilen	204 – 316 °C
Polipropilen	204 – 288 °C

Kısmikristalin plastiklerde çekme % 1 – 4, amorf plastiklerde ise % 0,3 – 0,7 arasındadır. Özellikle kısmikristalin plastiklerde, kalıp basıncı artınca çekme azalır. Çekmenin azalması için kalıp soğutulurken, 15 – 20 saniye kadar bir süre basınç altında tutulur. Kalıp sıcaklığı yüksek olursa donma yavaş, kristalleşme oranı yüksek ve çekme az olur. Ürünün et kalınlığı ile yüzde çekme artar. Hızlı soğuma yapılırsa, malzemede kristallenme yavaş da olsa devam eder ve ürün zamanla büzülebilir (ikincil çekme).

Yüksek enjeksiyon basıncı, plastik eriğinin veya kalıplama sıcaklığının yüksek tutulması, soğutma hızının yükseltilmesi plastik üründe yönlenmeyi artırır. Genellikle yönlenme çekmeyi artıran bir faktördür. Enjeksiyon basıncı ve hızının yüksek olması da ürünle iç gerilmelere neden olur. İç gerilmeler de, yönlenme ile birlikte çatlama ve bükülmelere yol açar.

Polimer ısıtılmış bölmelerde yumuşatılır ve karıştırıcı kollarla veya salyangoz tipi karıştırıcılarla homojen bir eriyik halinde plastikleştirilir. Önemli olan husus bu kütlenin sıcaklığının çok dikkatli kontrol edilmesi ve ayarlanmasıdır. Polimer aşırı ısıtılmamalı ve sıcaklıkta gereğinden fazla bekletilmemelidir; aksi takdirde malzeme hasar görür (gevrekleşerek dağılır). Sıcaklıklar polimerin çeşidine göre 180 °C ve 300 °C arasında değişir. 1200 bar'a kadar varan basınçlar altında akması sırasında plastik kütlesi “ince bir sıvı” haline gelir, ve vizkositesi azalır. Kütle bu hali ile ısıyı uygun şekilde ayarlanmış bir kalıp içerisine püskürtülür.

İşlem sırasındaki şartların (püskürtme basıncı, kütlenin sıcaklığı, kalıbın sıcaklığı, kalıpta bekleme süresi) üretilen parçaların özellikleri ve görünüşü üzerine tesiri çok kuvvetlidir. Özellikle moleküllerin yönlenmesi ve kristalleşmesinin, yüzey kalitesi (mat, parlak) ve iç gerilmelere olan tesiri büyüktür.

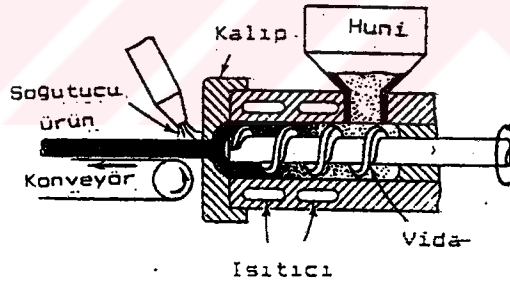
Daha sonra yapılacak daha düzgün sıcaklıktaki bir ısıtma sonucu iç gerilmeler çözülür ve kristalleşme derecesi yükseltilebilir.

Elektrofüzyon kaynağında kullanılan fittingsler (manşonlar, T'ler, redüksiyonlar vb.) eritilmiş polietilenin reçinenin bir kalıba enjekte edilmesi ile imal edilmişlerdir. [5,6]

Elektrofüzyon kaynağında kullanılan fittingsler (manşonlar, T'ler, redüksiyonlar vb.) eritilmiş polietilenin reçinenin bir kalıba enjekte edilmesi ile imal edilmişlerdir. [5,6]

1.7.2. Ekstrüzyon

Eksrüzyon, basınç altında eritilmiş plastik malzemenin bir başlıktan akışa zorlanarak şekillendirilmesi işlemidir. Ekstrüzyon, uzunlukları belli olmayan fakat kesitleri sabit olan boru, çubuk, levha ve film gibi yarı mamüllerin işleme yöntemidir. Esasen sürekli bir proses olan ekstrüzyonda (Şekil 1.10), toz veya granül halindeki reçine bir besleme hunisinden sürekli olarak bir ısıtma hunisine düşmekte, kıyma makinesinin çalışma prensibine benzer bir şekilde boruda bulunan bir sonsuz vidanın yardımı ile ileri itilmekte, silindirde ilerledikçe ısınmakta ve yumuşamaktadır. Silindirin ucuna ulaştığında burada bulunan ve mamülün kesit şeklini tayin eden bir kalıptan çekmeye zorlanmakta, meydana gelen profil, genişleme oranı da hesaba katılarak memenin şekline göre oluşur (borular için halkasal ağızlı memeler kullanılır). Kalıptan çıktıktan sonra düzenli bir şekilde soğutulmakta ve bir konveyör veya süreklilik esasına göre çalışan bir başka sistemle uzaklaştırılmaktadır.

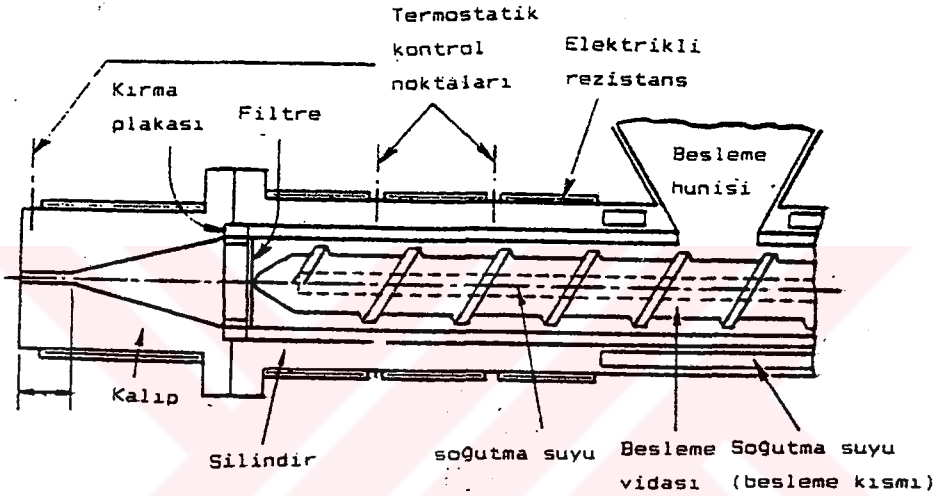


Şekil 1.10: Plastik malzeme ekstrüzyonu

Elde edilen mamül istenilen uzunluklarda kesilebilir. PE doğal gaz borularında büyük çaplarda (genelde DN 90 ve üzeri) boy boru olarak kesilir. Daha küçük çaplarda ise marakalara sarılarak kangal PE boru olarak anılan hale getirilir. Boruların ve kabloların etrafına tekrardan bir kılıf geçirilmesi yine ekstrüzyon usulü ile yapılır; ancak eğri püskürtme başlıklar kullanılır.

Genellikle termoplastik malzemeler için gerekli olan yöntem en çok PE, PVC, ABS; selülozikler ve PS için uygulanır. Şekil 1.11'de bir ekstrüzyon makinasının şeması

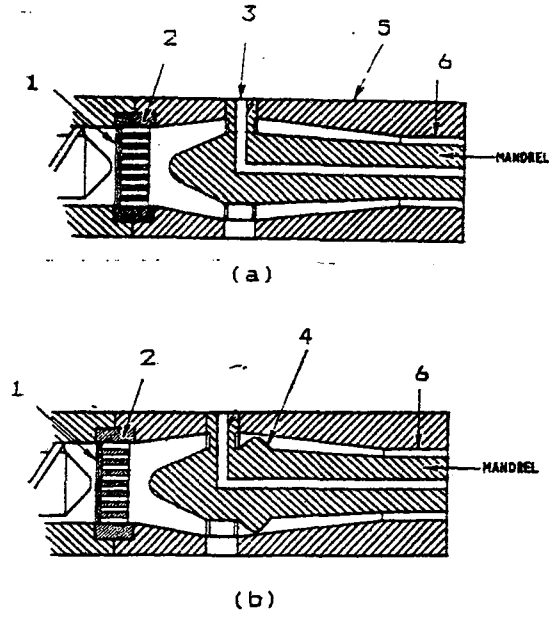
gösterilmiştir. Besleme hunisinden düşen malzeme, sonsuz vida tarafından ilerlemeye zorlanmakta; ilerleme sırasında gerek silindir cidarından aldığı ısı ile, gerekse kaymanın meydana getirdiği iç sürtünmeden dolayı ısınmakta ve yumuşamaktadır. Silindir sonunda, basınçları eşleştiren kırma plakası bulunmaktadır. Bu plakadan geçtikten sonra, malzeme kalıba girmekte ve kalıp ağzını kesit alanının şeklini almaktadır.



Şekil 1.11: Ekstrüzyon makinasının şematik gösterilişi.

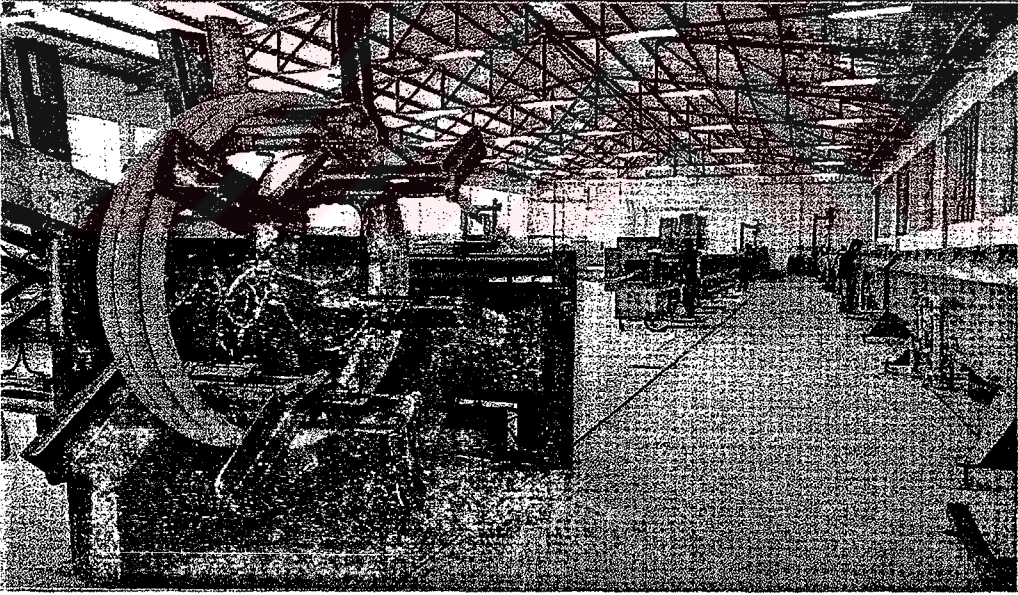
Isıtma genellikle silindirin çevresinde bulunan elektrikli ısıtıcılarla yapılır. Reçinenin yumuşaması, sadece ısı ve iç sürtünmelere dayanan sisteme kuru ekstrüzyon denilmektedir. Bunun yanı sıra, yüksek sıcaklıklarda alevlenme ve yanma tehlikesi gösteren selüloz nitrat gibi yumuşatma bir çözeltinin yardımıyla yapılır. Islak ekstrüzyon denilen bu yöntemde reçine daha düşük sıcaklıkta ısıtılır veya hiç ısıtılmaz.

Sıcak imalat yönteminden sonra malzemenin kalıptan çıktıktan sonra soğutulması gerekir. Soğutma malzeme üzerine direkt hava üfleyerek, kalıbı soğutarak veya malzemenin soğutma rulolarıyla temasa geçirilmesi ile yapılır. Şekil 1.12.a ve 1.12.b'de iki boru kalıbı gösterilmiştir. Burada kalıp soğutulmaktadır. Şekil 1.12.b'de kalıbın giriş kısmına "daha karalı bir akış sağlayan bir sınırlayıcı bilezik geçirilmiştir. Şekil 1.13'de PE boru imalatı ve boruların kangal olarak hazırlanması gösterilmiştir. [5,6]



- 1) eleme takımı; 2) plaka; 3) hava kanalı
4) sınırlayıcı bilezik; 5) kalıp dışı; 6) kalıp içi

Şekil 1.12: Boru kalıbının şematik gösterilişi



Şekil 1.13: PE boru imalatı ve boruların kangal olarak hazırlanması.

1.7.3. Reaksiyon Şekillendirilmesi

Büyük boyutlu parçalarda kalıbın kapatılması için gerekli kuvvet kontrol edilemeyecek kadar yükselir. Burada makro moloküllerin teşekkülünü

gerçekleştirecek kimyasal reaksiyon kalıp içerisinde oluşur (In-situ-polimerizasyon veya poliadisyon) [6].



BÖLÜM 2

TERMOPLASTİK BORULARIN KAYNAK YÖNTEMLERİNE GENEL BAKIŞ

2.1. Giriş

Termoplastik boruların kaynaklarında yaygın olarak üç çeşit kaynak yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar; sıcak eleman alın kaynağı (alın füzyon), sıcak eleman manşon kaynağı (soket füzyon) ve elektrofüzyon kaynağıdır. Genel anlamda birbirine benzeyen bazı kaynak kuralları bulunmaktadır.

2.2. Kaynak kuralları

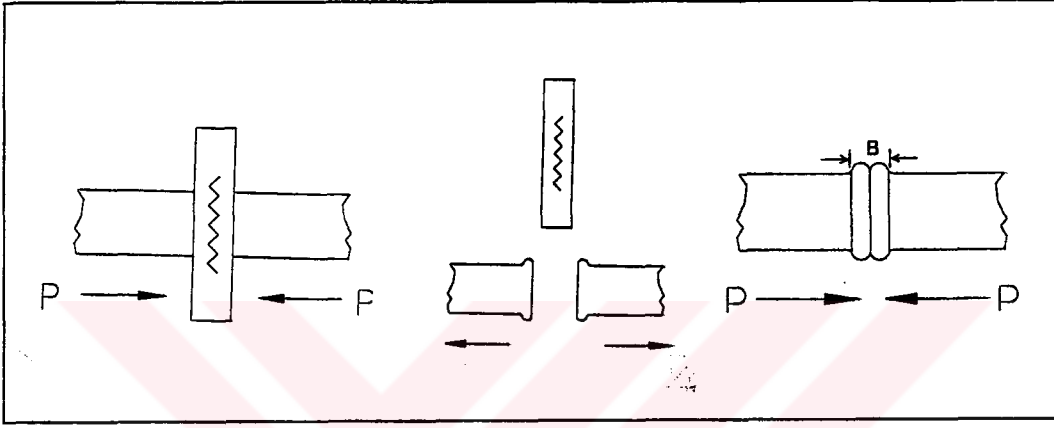
Kaynak bölgesi dış etkilere, rutubet, 0 °C 'nin altındaki sıcaklıklarından korunmalıdır. Gerekli önlemler alınarak (örneğin ön ısıtma, ısıtma, çadır altına alma) kaynak için gerekli boru çeper sıcaklığı sağlanabilirse, kaynakçının çalışmasını etkilemeyecek bir dış sıcaklıkta çalışabilir. Gerekirse bir deneme kaynağı ile kaynak sıcaklığının uygunluğu kontrol edilebilir. Eğer boru güneş ışığı veya başka bir dış etkenle düzensiz olarak ısınırsa (heterojen ısınma) kaynak yeri civarı örtülmelidir, düzgün sıcaklık dağılımı sağlandıktan sonra kaynak yapılmalıdır. [7]

Sert PE borular oval şekildedir. Kaynak yapılacak boru uçları düzeltilmelidir. Düzeltme bir sıcak gaz üfleci ile 50-100 °C ye ısıtarak dikkatli bir şekilde yapılır. Yuvarlak ağızlı bir mengene ile sıkılarak da düzeltme yapılabilir. Bağlantı yüzeylerinin temizliği kaynak işleminden hemen önce yapılmalıdır. Bütün kaynak yöntemlerinde kaynak işlemi ve tamamen soğuma süresi boyunca kaynak bölgesine yük etkimemelidir. [7]

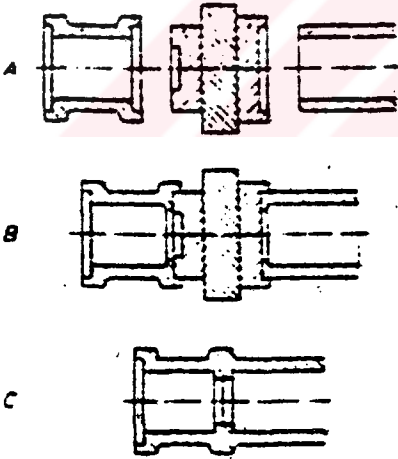
Kaynak işleri sürekli kontrol edilmelidir. Kaynak sırasında kaynak raporlarının tutulması tavsiye edilir.

2.3. Sıcak Eleman Alın Kaynağı

Sıcak eleman alın kaynağı kaynak tertibatı kullanılarak yapılır. İki türü vardır; sıcak eleman kaynağı (Şekil 2.1) ve bindirme dikişli sıcak eleman alın kaynağı (Şekil 2.2).



Şekil 2.1: Sıcak eleman alın kaynağı



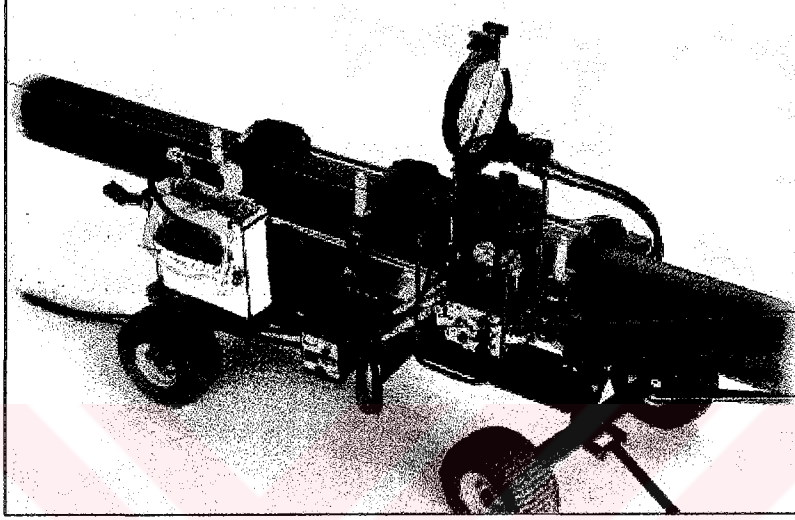
Şekil 2.2: Sıcak eleman bindirme kaynağı

2.3.1. Kaynak Yöntemi

Bağlantı yüzeyleri sıcak elemana karşılıklı olarak bastırılır, düşük basınçta kaynak sıcaklığına ısıtılır. Sıcak eleman uzaklaştırıldıktan sonra basınç artırılır ve birleşme sağlanır. [7]

2.3.2. Kaynak Tertibatı

Kaynak için kullanılan tertibatlar gerekli şartları sağlamalıdır ve hatasız kaynak dikişi yapabilmelidir. Şekil 2.3'de modern bir alın kaynak makinası gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Modern bir alın kaynak makinası.

2.3.3. Kaynak Dikişi Hazırlanması

Borular kaynak cihazına bağlandığında, kaynak yüzeyleri birbirine paralel olmalıdır. Hareketli boru parçasının doğrusal hareketi tekerlekli kızak veya salınım mekanizması ile sağlanır. Kaynak edilecek boru uçları, borular kaynak tezgahına bağlandıktan sonra, çift taraflı bir rende ile aynı anda düzeltilir. Kaldırılan talaş kalınlığı 0,2 mm'den küçük olmalıdır. Bindirme dikişli sıcak eleman alın kaynağında bir tertibatla sadece alın yüzeyinden talaş kaldırılır. Rende ile talaş kaldırıldıktan sonra boruların içine düşen talaş taneleri, süpürge, fırça veya kağıt yardımıyla temizlenmelidir, el ile dokunulmamalıdır. Aksi takdirde yüzeylerin yeniden temizlenmesi gerekir [7].

Borular işlenip temizlendikten sonra kaynak yüzeylerinin paralelliği kontrol edilir. Kontrol için kaynak edilecek yüzeyler birbirine temas ettirilir, kalan boşluk hiçbir yerde 0,5 mm yi geçmemelidir. Aynı zamanda boru uçlarının kayması kontrol edilir,

kayma değeri standartlarda verilen değerleri aşmamalıdır. Bindirme dikişli sıcak eleman alın kaynağında kontrol aynı şekilde yapılır. Boruların alın kaynağında kayma sınır değeri boru et kalınlığının % 10 'udur [7].

2.3.4. Kaynak İçin Hazırlıklar

Boru içinde oluşacak hava akımlarının soğutucu etkisinden dolayı boruların serbest uçları kapatılır. Kaynak başlangıcında sıcak eleman sıcaklığı (210 ± 10 °C) kontrol edilir. Sıcaklık bir termometre veya bir sıcaklık ölçüm kalemiyle kontrol edilir. Et kalınlığı 12 mm'den büyük olan borularda sıcak eleman sıcaklığı alt sınıra yakın seçilir. Ön ısıtma işlemine sıcak elemanın çalışma sıcaklığına çıkmasından 5 dakika sonra başlanabilir. Tablo 2.1'de çeşitli kaynak parametreleri için uygun değerler verilmiştir [7].

Tablo 2.1 : 20 ° C sıcaklık ve sakin havada ön ısıtma, geçiş ve birleşme süreleri

Et kalınlığı	P=0,15 N/mm ² 'de eşitleme		P=0,01 N/mm ² de ön ıstma	Müsaade edilen en büyük geçiş süresi	P=0,15 N/mm ² birleşme basıncında soğuma
	Ön ısıtmadan önce Şekil 2.3 'e göre yığma yüksekliği	Şekil 2.4 'e göre eşitleme süresi			
mm	mm	s	s	s	dakika
2...3,9	0,5	20	30...40	4	4...5
4,3...6,9	0,5	30	40...70	5	6...10
7,0...11,4	1,0	40	70...120	6	10...16
12,2...18,2	1,0	50	120...170	8	17...24
20,1...25,5	1,5	70	170...210	10	25...32
28,3...32,3	1,5	80	210...250	12	33...40

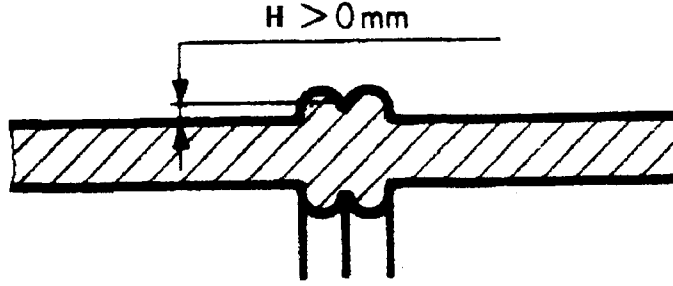
Düzgün bir sıcaklık dağılımı sağlamak kirlenme ve hasarı önlemek için sıcak eleman kaynak yönteminden önce ve sonra koruyucu kabında saklanmalıdır. Her kaynak işleminden sonra sıcak eleman temiz ve liflerine ayrılmayan kağıt ve izopropil alkol ile temizlenmelidir. Kaynağa başlamadan önce temas ve birleşme kuvveti tespit edilmelidir. Bunun için kaynak yerinde boru parçalarını hareket ettirmek için gerekli kuvvet (sürünme kuvveti) bulunur, tablodaki kuvvetle toplanır, toplam kuvvet kaynak sırasında borulara uygulanır.

Sürtünme kuvveti, boru parçaları yavaş hareket ettirilerek ölçülen kuvvettir. Direkt kuvvet ölçümü mümkün olmayan makinalarda, örneğin hidrolik makinalarda basınç ölçülür; basınç-alan formülü ile de kuvvet hesaplanabilir. [7]

2.3.5. Kaynağın Yapılışı

Kaynak sıcaklığına ısıtılmış sıcak eleman kaynak yapılacak parçaların arasına yerleştirilir. Boruların kaynak yapılacak yüzeyleri sıcak elemana bastırılır. Basınç, yüzeylerin tamamen temas etmesine kadar sürdürülür. Bu esnada her iki boru ucunda çevre boyunca yığma çapağı oluşmuştur. Bu andan itibaren ısınma süresi başlar ve basınç ısınma basıncına $\approx 0,01 \text{ N/mm}^2$ ye düşürülür. Tablo 1'e göre ısınma süresinden sonra bağlantı yüzeylerinden sıcak elemanlar çıkarılır. Sıcak eleman hasarsız ve kirlenmeden yüzeyler arasından çıkarılmalıdır. Bağlantı yüzeyleri hemen birleştirilmelidir. (minimum geçiş süresi) Basınç birleşme basıncına çıkarılır. Birleşme basıncı tamamen soğumaya kadar uygulanır. Kaynak dikişi yavaş yavaş düzgün olarak soğumalıdır. Soğutucu akışkan kesinlikle kullanılmaz. Soğuduktan sonra kaynak edilmiş borular kaynak tertibatından sökülebilir. [7]

Kaynak bittikten sonra çepeçevre düzgün bir yığma çapağı görülmelidir. Yığma çapağının düzgünsüzlüğü düzensiz malzeme akışını gösterir. Yığma çapağı yüksekliği (H) hiçbir zaman sıfır değerine düşmemelidir (Şekil 2.3). Diğer taraftan bindirme dikişli sıcak eleman kaynak yönteminde kaynak bölgesinde yığma çapağı oluşmaz.



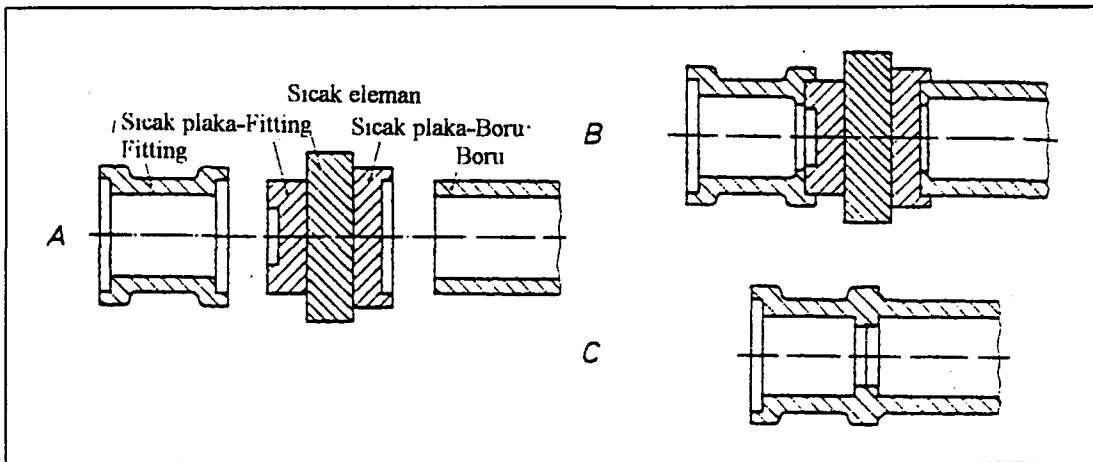
Şekil 2.3: Sıcak eleman alın kaynağında yığma çapağı oluşumu

2.4. Sıcak Eleman Manşon Kaynağı

63 mm'nin üzerindeki boru çaplarında uygun bir kaynak tesbit ekipmanı kullanmak gerekir.

2.4.1. Kaynak Yöntemi

Sıcak eleman manşon kaynağında parçalar bindirme şeklinde kaynak yapılır. Boru ucu ve manşon, manşon /boru şeklindeki bir sıcak eleman ile kaynak sıcaklığına ısıtılır ve kaynak yapılır. Boru ucu, sıcak eleman ve manşon boyutları birleşme basıncını oluşturur (Şekil 2.4). [7]



Şekil 2.4: Sıcak eleman manşon kaynağı

2.4.2. Kaynak Tertibatı

Özellikle küçük çaplı fittingsler için kullanılır. Makina termostatlıdır ve üzerinde elektrikle ısınan sıcak eleman bulunur.

2.4.3. Kaynak Bağlantılarının Hazırlanması

Bağlantı yüzeyleri kaynaktan hemen önce hazırlanır. Borunun bağlantı yüzeyi manşon imalatçısının öngördüğü şekilde hazırlanmalıdır. Manşon iç yüzü bir temizlik maddesiyle ve liflere ayrılmayan emici bir kağıt ile iyice temizlenir. Kaynak başlangıcında sıcak eleman sıcaklığı (260 ± 10 °C) kontrol edilir. Sıcaklık termometre veya sıcaklık ölçüm kalemyle ölçülür. Ön ısıtma işlemine, sıcak eleman kaynak sıcaklığına eriştikten 5 dakika sonra başlanır. Sıcak eleman temiz olmalıdır.

2.4.4. Kaynak İşleminin Yapılması

Ön ısıtma için manşon ve boru, sıcak eleman üzerine sonuna kadar geçirilir ve sıkıca tespit edilmiş halde tutulur. Tablo 2.2’de verilen ısıtma değerlerine göre ısıtma yapılır. [7]

Tablo 2.2 : Sıcak eleman manşon kaynağında 20 °C ve sakin havada zaman değerleri

Boru dış çapı mm	Isıtma PN 10 için saniye	Isıtma PN 6 için saniye	Geçiş saniye	Soğuma dakika
16	5	-		
20	5	-	4	2
25	7	-		
32	8	-		
40	12	-	6	4
50	18	-		
63	24	-		
75	30	15	8	6
90	40	22		
110	50	30	10	8
125	50	30		

Isınma süresinden sonra boru ve manşon hızlı bir şekilde sıcak eleman üzerinden çekilir ve hemen sonuna / işarete kadar iç içe geçirilir. Parçalar yaklaşık olarak ısıtma süresi kadar sabitlenmelidir. Soğuma süresinden sonra ancak bağlantı üzerine yük uygulanabilir. Her kaynak işleminden sonra eleman temizlenir. [7]

Boruların kaynağı çok önemli bir husustur, çünkü boruların içinden sıvı, doğal gaz, atık su gibi değişik akışkanlar akmaktadır. Özellikle doğal gaz gibi yanıcı gaz hatlarında küçük bir kaynak hatası çok büyük zararlara yol açabilir; bunun için boru kaynakları çok özenle ve muntazam bir şekilde yapılmalıdır. Boru kaynakçısı boru kaynağı üzerine eğitim görmüş olmalıdır. [7]

2.5. Elektrofüzyon Kaynak Tekniği

Elektrofüzyon kaynak tekniği ile ilgili bilgiler Bölüm 3'de verilmiştir.

2.6. Boru Kaynağının Kontrol Edilmesi

Tahribatsız kontrol;

-Göz ile

-Ultrasonik röntgen ile

Mekanik ve teknolojik yöntemlerle;

-Katlama deneyi

-Basınç / zaman deneyi

BÖLÜM 3

ELEKTROFÜZYON KAYNAK TEKNİĞİ VE ELEKROFÜZYON FITİNGSLERLE YAPILMIŞ İYİ BİR BAĞLANTININ ÖZELLİKLERİ

3.1. Giriş

Bölüm 2’de bahsedildiği üzere polietilen boruları monte etmekte kullanılan üç tür füzyon kaynağı vardır; Elektrofüzyon, soket füzyon yada alın füzyonudur.

Elektrofüzyon kaynağı soket ve alın füzyon kaynağı gibi klasik tekniklerle kıyas götürmez, güvenilir ve yüksek performanslı bir montaj tekniğidir. Elektrofüzyon kaynak yönteminde temel parametrelerin başında boruların hazırlanması (düz bölümler, kangallar yada boru sarma/açma tertibatları) ve montaj geometrisi gelir. Diğer parametre ise kaynak enerjisidir. Kaynakta kullanılacak sıcaklık değeri belli bir esneklik göstermekle birlikte, esas olarak kaynak öncesindeki montaj sıcaklığının bir fonksiyonu olarak değişir [5,8].

200 mm çapa kadar özel fittingslerle kaynak yapılabilmesine rağmen özellikle Ø125 mm’ye kadar olan borularda kullanılabilen güvenilir ve ekonomik bir kaynak tekniğidir. En güzel örnek ise; 1984 ile 1995 yılları arasında, Fıransız gaz kuruluşu olan GF şebekelerindeki (anahat servis hattı) toplam PE boru uzunluğu 21 000 km’ye ulaşmasıdır. Bu boruların tamamı elektrofüzyon kaynaklıdır ve kaynaklarda kullanılan toplam fittings sayısı 750 000’den fazladır. 21 000 km’lik bir şebekede bu kadar az fittings kullanılmasının nedeni, herhangi bir eke ihtiyaç duymaksızın uzun mesafeler boyunca boru çekilebilmiş olmasıdır. Bu imkanı veren, çapı 125 mm’ye kadar olan boruların kangal yapılabilmesi yada kasnaklara sarılabilmektedir [5].

Fakat yaygın olarak kasnaklara $\varnothing 63$ mm'ye kadar olan PE borular sarılmaktadır. 63 mm çapın üzerindeki boruların 6 veya 12 m boy boru olarak kullanılması faydalı olacaktır. Büyük çaplardaki kangal boru kaynakları daha fazla özen gerektirir. Ayrıca kaynak hatalarının da arttığı gözlenmiştir.

3.2. Füzyon Süreçleri

Tarihsel olarak polietilenin füzyonlanması işlemi, “eriyen” bölgelerin mekanik baskı altında tutulmasıyla ve ardından da, kaynak yapılacak bölgeye ısıtıcı elemanlar (demir) konulmasıyla başarılmıştır. Günümüzde karmaşık alın, soket ve yan çaper füzyon ekipmanları bulunmasına rağmen, yapılan füzyonun kalitesi hala büyük ölçüde operatörün tecrübesine, ustalığına bağlıdır [5,7].

İlk kuşak elektrofüzyon teknikleri şu tür katkılarda bulunarak füzyon güvenilirliğini artırmıştır.

- Füzyon yüzeyinin büyütülmesi,
- Soğuk halde bir ön-montaj imkanı getirmesi (ki bu, ön gerilmenin azalmasını ve uzun dönemli performansın artmasını sağlayacaktır),
- İnsani hata ihtimalini azaltması.

Bununla birlikte, kullanılacak montaj konfigürasyonu seçimine etki eden çeşitli parametreleri hesaba katma zorunluluğu, şu değerlerin önceden ayarlanmasını gerektiren karmaşık kontrol kutularının ortaya çıkmasına yol açmıştır [5,7].

- Boru çapı,
- Boru sıcaklığı,
- Gereken enerji (zaman).

3.3. Elektrofüzyon Yönteminin Tercih Nedenleri

Günümüzde elektrofüzyon, gaz dağıtım şirketlerinde ihtiyaca cevap veren, genel olarak basınçlı akışkanlarda güvenilir ve uygulaması kolay bir kaynak işlemi olarak

kabul görmüştür. Bu işlemin üstünlükleri üç ana başlıkta toplanabilir; teknik nedenler, pratik nedenler ve insan faktörü [5,7].

3.3.1 Teknik Nedenler

Bir alın yada soket kaynak işleminde birleştirme ilkesi şu esaslara dayanır.

- Isıtıcı aletler yardımıyla, kaynaklanacak yüzeylerin bir ön-füzyonla birleştirilmesi;
- Isıtıcı aletlerin çıkarılması ve yüzeyler arasında düzgün bir temas olup olmadığının anlaşılması için, kaynaklanan parçaların hafifçe yerlerinden oynatılması,
- Soğuma safhası boyunca yüzeylerin basınç altında temas halinde tutulması.

Kaynak yapılan malzemenin hareket ettirilmesinden dolayı bu tip bir ek, kaynak bölgesinde, ekipmanın uzun vadeli davranışı üzerinde zararlı etkileri olan iç gerilmeler meydana getirir. Bu gerilmeler, akışkanlıkları farklı iki reçine arasındaki eklerde daha da büyür [5,7].

Kaynatılan parçaların (manşon veya bransman alma parçaları) geometrik yapısından dolayı, bu sorun soket füzyonda daha da ağırlaşır. Sahada ve özellikle de bir kaynak üzerine dış bir gerilme (toprak tabakası, bükme) uygulandığında normal süresinden önce ortaya çıkan çeşitli arızaların altında bu sorun yatmaktadır. Alın kaynağı toplanında yada soket eklerinde bu tür gerilmelerin yol açabileceği arıza ve tehlikeleri en aza indirmek için, sadece aynı tip reçineden , hatta aynı reçineden yapılmış parçaların birbirine kaynaklanması şarttır [5,7].

Elektrofüzyon işleminde kaynaklama işlemi, montaj tamamlandıktan ve kaynaklanacak parçalar sıkıca bir araya geçirildikten sonra yapılır. O yüzden kaynak alınında boru ve fittings arasında herhangi bir oynama olmaz. Malzemenin hareket miktarı çok düşüktür ki, bu kaynak yüzeyindeki gerilme faktörlerinin de düşük olması anlamına gelir. Bu akışkanlık endeksi M15 (0,3-1,4 arası) olan, köken itibariyle farklı iki reçine arasındaki kaynaklarda da geçerlidir. Manşonlar

uygulanacakları borulara uygun reçineler yardımıyla imal edildiğinden boru ve fittings arasında, dolayısıyla da birbirinden (interchangeability) elde edilir [5,7].

3.3.2. Pratik Nedenler

Alın ve soket füzyon teknikleri kendi başlarına yeterli teknikler değil tamamlayıcı tekniklerdir:

- Soket füzyon sadece 75 mm çapındaki borularda kullanılabilir.
- Alın füzyonu, boru malzemesi et kalınlığının mümkün olduğunca az olmasını gerektirir; o yüzden de sadece çapı 50 mm'nin altındaki borularda ve ancak düz bölümlerde kullanılabilir. Bu ek sayısını ve hendek genişliğini (eğer montaj hendek tabanında gerçekleştirilecekse) artırır [5,7].

Oysa elektrofüzyon, çapı 20-315 mm arasındaki tüm boruların monte edilebilmesine imkan verir. Çapı 125 mm'ye kadar olan boruların uzun mesafeler boyunca kullanılabilmesini sağlayan yegane tekniktir. Ayrıca, aynı anda;

- Şebeke inşasının tüm safhaları boyunca her yerde,
- Basınç altında yapılan bağlantılarda ,
- Tamirat işlerinde kullanılabilir.

Fakat diğer teknikler tek başlarına bu amaçlar için yeterli değildir ve önceden döşenmiş borularda ek veya tamirat işlerinin yerine getirilmesi için, en azından elektrofüzyon yada mekanik fittingslerle birlikte kullanılmaları gerekir. Dahası, elektrofüzyon tekniği montaj alet ve parçalarının her yerde kullanılabilme özelliği, operatörü her ekte /tamiratta, yeni parça yada alet edevat temini için koşturmaktan kurtarır; bu teknikte operatörün tüm yapması gereken, uygun fittingsi seçmektir [5,7].

3.3.3. İnsan Faktörü

Soket ve alın füzyon kaynaklarında kaliteli bir ek için el mahareti nihayi bir önem taşır. O yüzden, kaynak işlemi aşamaları boyunca gereken basınç ve sıcaklıkları tanımlamak ve uygulamak için uzmanlara ihtiyaç duyulur. Yani kaynak kalitesi,

dolayısıyla da kaynağın uzun dönemli davranışı doğrudan kaynak operatörüne bağlıdır. Bunun iki sonucu vardır:

- Ayrıntılı bir personel eğitim programı hazırlama gereği ve kaynakçıların periyodik olarak kontrolü,
- Kaynakları gözle yada ultrasonik cihazlarla kontrol etme gereği (ki bu tür yöntemler ancak büyük hataların tesbitine yardımcı olur ve kaynağın kalitesi konusunda tam bir güvence veremezler).

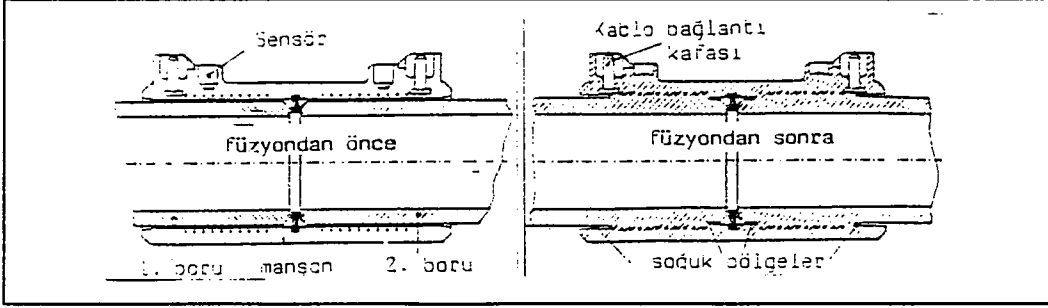
Elektrofüzyon kaynak tekniği işlem sonrası kontrol ihtiyacını ortadan kaldırır. Burada kaynak sıcaklığı ve basıncı eksiksiz bir şekilde tanımlanmış kaynak parametrelerinin ve kaplin geometrisinin bir fonksiyonudur. Bu nedenle ideal kaynak koşullarının bir kaynaktan diğerine sistematik olarak tekrarlanması mümkündür. Koşullar sağlandıktan sonra da kaynak işlemi otomatik makinalarla yapılır. Dolayısıyla elektrofüzyonda basit bir eğitim yeterlidir [5,7].

3.4. Elektrofüzyon Sistemi

Sistem, füzyon çemberine kumanda edebilmek için, füzyon bölgesi eriyen malzemenin ürettiği sıcaklık ve basınçtan yararlanır. İyi bir füzyon için gereken enerji miktarı beş faktöre bağlıdır:

- Fittingsin (manşon yada bransman T'si) tip ve çapı
- Füzyon öncesi boru ve fittings sıcaklığı
- Kontrol kutusundan çıkan voltaj değeri
- Boru ve kaplin arasındaki temasın durumu (sıkı veya gevşek); boru ve bransman T'si arasındaki basınç
- Uygulanan elektrik akımının, fittings içindeki rezistans tellerinin direncine uygun olması.

Elektrofüzyon fittingslerinde füzyon alanı, füzyon çemberinin oluşumu sırasında eriyen malzemeyi (ki belli bir basıncın ortaya çıkmasına yol açar) kuşatan iki “soğuk” bölge ile çevrelenmiştir (Şekil 3.1) [5].



Şekil 3.1 : Kaynak öncesi ve sonrası kaynak bölgeleri

3.5. Elektrofüzyon Kaynağının Prensipleri

Elektrofüzyonla düzgün bir ek yapmak için sadece tasarımı uygun bir fittings kullanmak yetmez, aynı zamanda belirli çalışma kurallarına da riayet etmek gerekir.

Bir elektrofüzyon fittingsin tasarımında ve montaj koşullarının tanımlanmasında hesaba katılması gereken konuların başında, kullanılan boruların çapları ve bunların hazırlanmasında baş vurulan yöntemler (kangal halindeki yada makaraya sarılmış haldeki boruların doğrultulması) gelir.

Diğer kaynak tekniklerinde PE parçaların kaynayıp kaynamadığını kontrolde üç temel parametre önem kazanır:

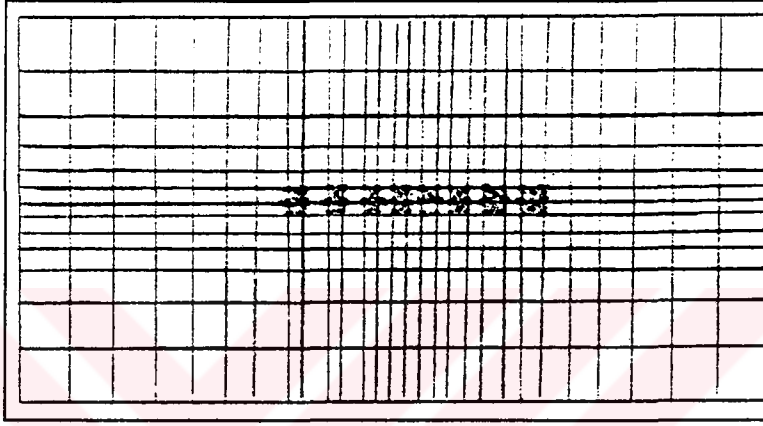
- Kaynaklanacak yüzeylerin sıcaklığı
- Kaynak ve soğuma aşamalarında yüzeylerdeki basma basıncı,
- Zaman.

Oysa elektrofüzyon tekniğinde bu parametreler karşılıklı olarak birbirine bağlıdır; çünkü sıcaklık ve basınç, her şeyden önce uygulanan elektrik enerjisinin etkisiyle gerek kaynak gerekse soğuma safhası boyunca, zamana bağlı olarak sürekli bir değişim gösterir.

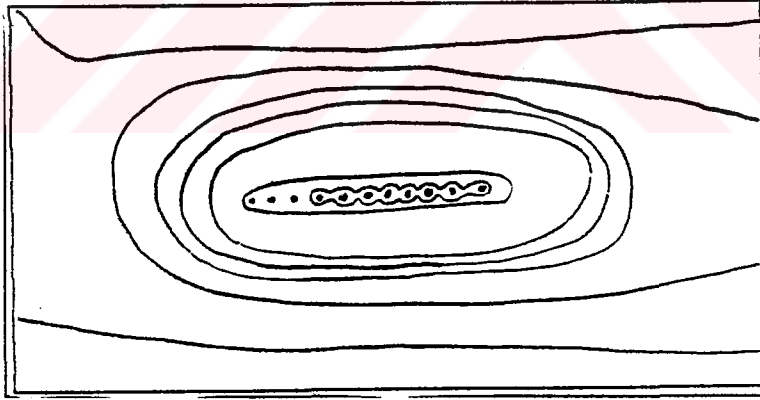
3.5.1 Sıcaklık Zaman Parametresi

Elektrofüzyonlanabilir bir fittingsde PE'nin kaynaşmasına harcanan enerji, fittings bünyesindeki bir ısıtıcı elemanın ürettiği joule etkisi ile elde edilir. Isı transferinde

sonlu eleman analizi (Şekil 3.2) göstermektedir ki, ısı dereceleri (gradients) çok yüksektir ve kaynak için gereken enerji miktarı fittings tasarımına (ebadlar, direnç telinin tipi ve yerleştirilme şekli) bağlı olarak büyük değişiklikler gösterir. Farklı manşon konfigürasyonlarının davranışı incelendiğinde görülüyor ki, kaynak yüzeyi birim alanı baz alındığında bu enerji miktarı 6 katlık (2 j/mm² ile 13 j/mm² arasında) bir farklılık gösterebilmektedir.



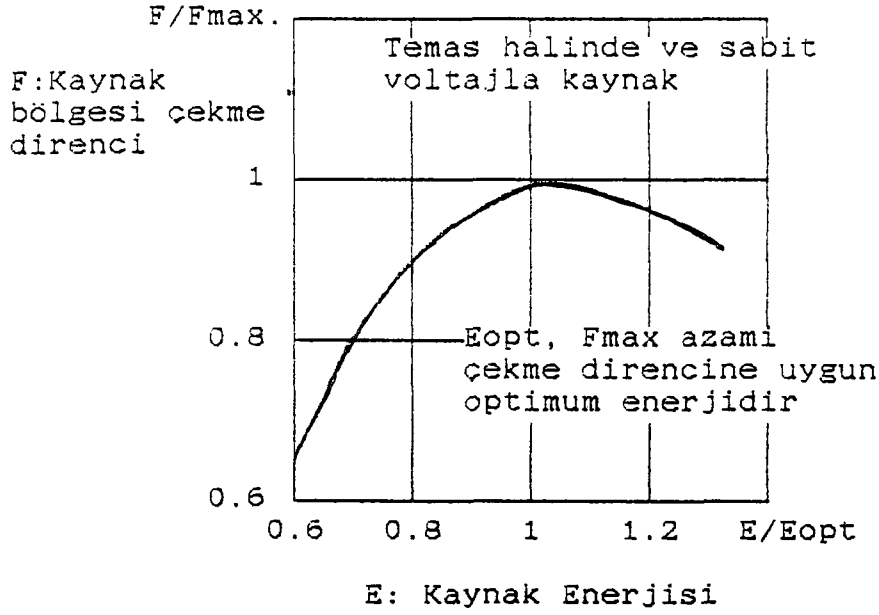
Sonlu elemanlar yardımıyla hesaplama



Kaynak sonundaki izotermal çizgiler

Şekil 3.2 : Isı transferleri bilgisayar modelleri

Elektrofüzyon tekniğinde kaynak enerjisi, dolayısıyla da kaynak sıcaklığı büyük hassasiyet arzeden parametreler değildir. Tam olarak söylemek gerekirse, manşon tasarımı düzgün olduğu sürece optimum kaynak enerji miktarından %10-20 arasındaki sapmaların kaynak kalitesini etkilemediği görülmüştür (Şekil 3.3). Enerji değerindeki bu esneklik, kaplin ve elektrik jeneratöründen kaynaklanan kaçınılmaz imalat tolerans paylarına yol açarak, montaj kalitesini kalite altına alır [5].



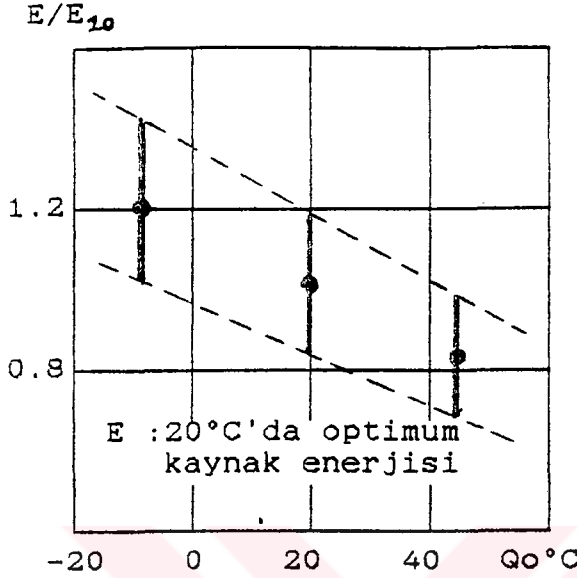
Şekil 3.3: Kaynak enerjisi ve çekme direnci

3.5.2. Zaman Basınç Parametresi

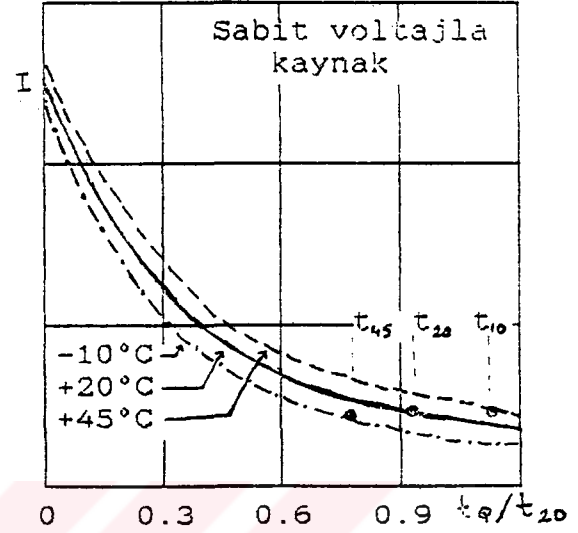
Kaynaklanacak iki yüzeyin birbirine bastırılması ve basınç altında tutulması işlemi, füzyon, malzemenin genişmesi ve fittingsde imalat sırasında “dondurulmuş” iç gerilmelerin serbest bırakılmasıyla gerçekleştirilir. Bu gerilimler, malzemenin tanınmasına, yönlendirilebilmesine ve ona ağ-tipi bir yapı kazandırılmasına bağlıdır ki bu, bugün boru ve fittings imalatında yüksek ve orta yoğunluklu polietilenlerle elde edilmesi güç bir durumdur; o yüzden söz konusu gerilimlerin etkisi sınırlıdır. Malzemenin genişmesiyle meydana çıkan basıncın etkisi, monte edilen parçaların işleme başlamadan önceki geometrik konumları (yani PE’nin elastik bir madde olmasından dolayı, soğuk haldeyken fittings ile boru yüzeylerinin birbirine tam basması yada arada belirli bir açıklık kalması) ile fittings içinde yayılan enerji miktarının bir fonksiyonudur.

Ancak, sahadaki iklim koşullarına bağlı olarak önemli farklılıklar gösteren (–10 ile +45 °C arası) montaj başlangıç sıcaklığını tümüyle bertaraf etmek mümkün değildir. Her durumda kaynak sıcaklığını kontrol altında tutmak ve kaynak kalitesini garantiye almak için, sağlanacak elektrik enerjisi miktarını söz konusu montaj başlangıç sıcaklığının bir fonksiyonu olarak ele almak ve 1 °C başına % 0,7

oranında değiştirmek şarttır (Şekil 3.4). Elektrik enerjisi genel olarak ya voltaj ya da akım ayarlı olduğundan , bu amaçla kullanılacak yöntem, akım uygulama süresini değiştirmekten ibarettir (Şekil 3.5). [5]



Q_0 : Montaj başlangıç sıcaklığı
 E : iyi bir ek için müsaade edilen enerji



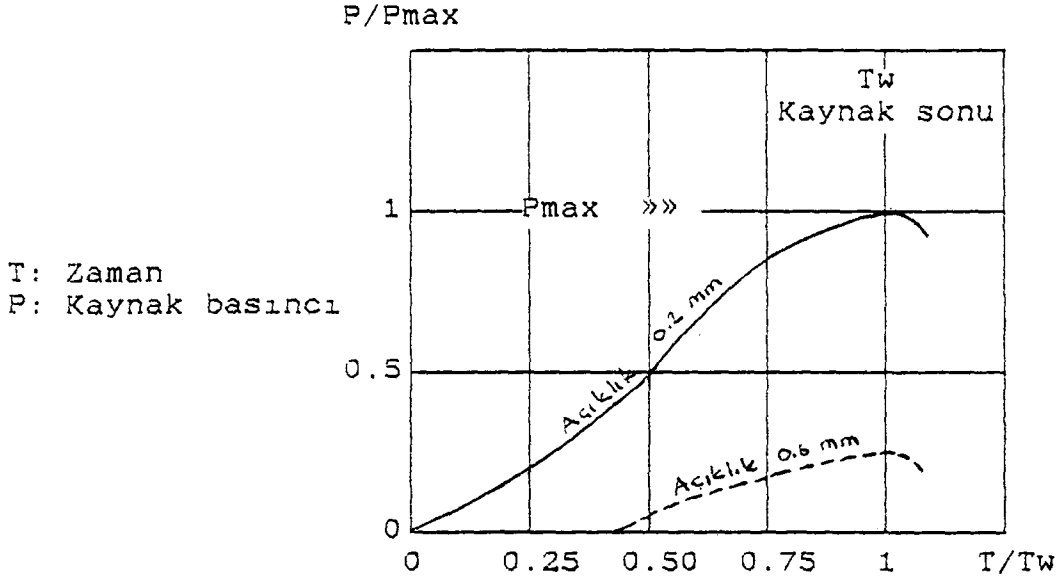
t_Q : Q başlangıç sıcaklığı ile kaynak süresi
 I : Akım mukavemeti
 I_{15} : Demir çelik direncine ve kaynak sıcaklığına oranı

Şekil 3.4: Kaynak Enerjisi ve Sıcaklık

Şekil 3.5: Kaynak Süresi ve Sıcaklık

Belli prototip parçalar (Şekil 3.8) ve elektrofüzyonlanabilir manşon üzerinde yapılan araştırmalar şu sonuçları vermiştir.

Yüzeyler arasında önemli bir açıklık bulunması, fittings'in yerleştirilmesini oldukça kolaylaştırır. Ancak açıklık arttıkça, bir yandan malzemenin temasa geçmesi için gereken zaman artacak, bir yandan da kaynak üzerinde oluşan basınç azalacaktır (Şekil 3.6). [5]

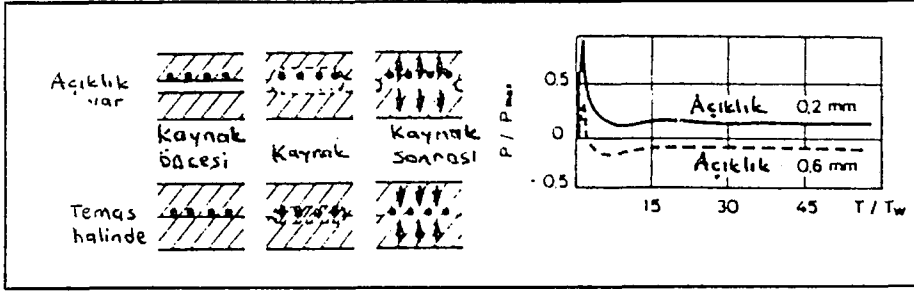


Şekil 3.6: Kaynak basıncı ve fittings ile boru arasındaki açıklık

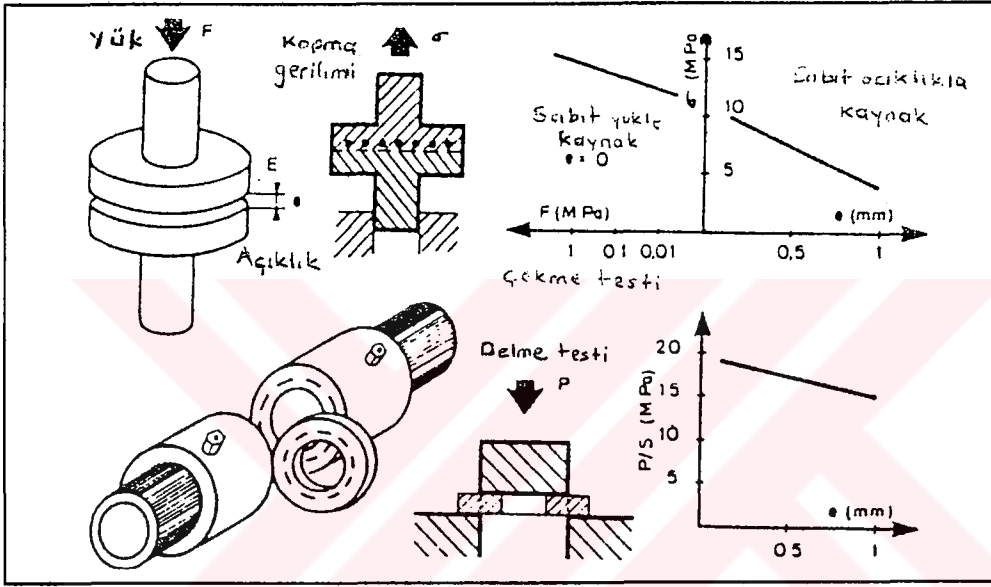
Bu basınç kaybı, kaynak enerjisinin artırılmasıyla kısmen telafi edilebilir. Fakat enerji artırıldığında, açıklığı doldurmak için erimesi gereken malzemenin miktar ve hareketinden dolayı, istenen basınç sınırına süratle ulaşılır (ki bu da, elektriksel aygıtın düzeninin bozulması, istikrarsızlaştırılması demektir). Bunun pratik bir sonucu vardır; kaynaktan sonra soğuma süresinin artması [5].

Başlangıçta yüzeyler arasında açıklık bulunması, eğer manşon büzülmesi yada borunun deformasyonu suretiyle telafi edilmemişse malzemenin soğumasından sonra kaynak bölgesinde yüksek gerilmelere sebebiyet verir (Şekil 3.7). Yüzeylerin tam oturmuş olması ise; tersine, kaynak sonrasında malzemede basma (compression) gerilmeleri oluşturur (Şekil 3.7) [5].

Nihai gerilmelerin etkisi (çekme yada basma), elektrofüzyon yapılmış bölgelerde yapılan çekme veya askıya alma (purchig) testleriyle analiz edilmiştir (şekil 3.7). Testlerde açıkça görülmüştür ki; başlangıçta bir açıklık bulunması ve bunun giderilmemiş olması montajın mukavemetini zayıflatırken; başlangıçtaki tam oturma hali, malzemenin sıkışmasına yardımcı olmakta; dolayısıyla da kaynak mukavemetini artırmaktadır [5].



Şekil 3.7: Soğuma sonrası gerilmeler



Şekil 3.8: Elektrofüzyon kaynaklı montajlarda çekme ve ezme testleri

3.6. Elektrofüzyon Yapımı

Kaynak işlemi basittir ve dört ana aşamadan oluşur:

1. Kaynaklanacak yüzeylerin hazırlanması, özellikle PE yüzeyindeki oksitlenmiş tabakanın kaldırılması,
2. Çeşitli aletler (pozisyonerler) yardımıyla, kaynaklanacak parçaların birbirine göre pozisyonlandırılması.
3. Özel bir kaynak takımı yardımıyla kaynak işleminin yapılması.

4. Ekipman tümüyle soğuyuncaya kadar parçaların aynı konumda muhafaza edilmesi.

Pozisyonlandırma ve kaynak işlemleri, ya düz bölümler halinde, ya kangal halinde (çapı 125 mm veya altındaki borular) yada kasnağa sarılı halde (bu son ikisi genelde kangal halindeki borular diye anılır) hazır bulunan boruların özel vasıflarına cevap vermelidir (Tablo 3.1) [5,7].

Tablo 3.1: Elektrofüzyon Manşonları Montaj Tablosu

Boru Çapı (mm)	Mutad Boru Ambalajı	Montaj tipi (boru ve manşon ebadına bağlı)	Manşon Montajı	Aletlerin İşlevi
$20 \leq \phi \leq 50$	Kangal	Açıklık veya temas	Elle	Sabit tutma
$63 \leq \phi \leq 125$	Düz Boru	Açıklık	Elle	Sabit tutma
		Temas	Araçlarla	Montaj Sabit tutma
	Kangal	Açıklık	Elle	Doğrultma Sabit tutma
		Temas	Araçlarla	Doğrultma Montaj Sabit tutma
$140 \leq \phi \leq 200$	Düz Boru	Açıklık	Elle	Sabit tutma
		Temas	Araçlarla	Montaj Sabit tutma

3.6.1. Pozisyonlandırma

Pozisyonlandırma şu işlemlerden oluşur:

- Kangal halindeki borulara bir manşon kaynaklanacağı zaman, boruların doğrultulması ve hizalanması (genel olarak doğrultma işlemi diye anılır),
- Fittingsin yerleştirilmesi (genel olarak montaj işlemi diye anılır).
- Kaynak ve aşamaları boyunca boru-fittings montajının sabit bir şekilde tutulması (genel olarak, hareket ettirmeden muhafaza etme diye anılır) [5,7].

3.6.2. Doğrultma (Sadece Kangal Yapılmış Borular İçin)

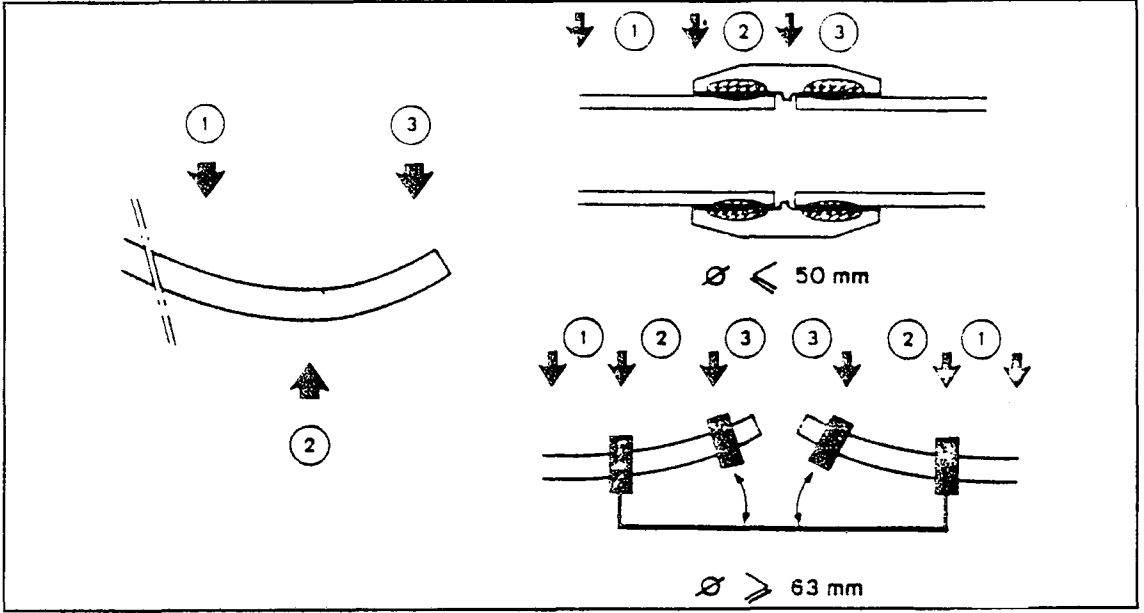
İşlem, her boru ağzına üç noktadan belirli bir kuvvet uygulanmasını gerektirir (Şekil 3.9). Bu kuvvetler, kullanılan manşonun tipine bağlı olarak farklı şekillerde uygulanır.

Çap ≤ 50 mm olan borular için uygulama şekli; doğrultma amaçlı kuvvetlere göre azdır ve doğrultma işinde sliv etkin bir yol oynar.

- Sarılmamış boru kısmının ağırlığıyla birinci noktaya baskı uygulanarak sabitlenir,
- İkinci nokta sliv (manşonu kolay yerleştirmek için kullanılan manşona benzer alet) ağzı hizasında tutulur,
- Üçüncü nokta sliv dibine kadar sokularak orada tutulur,
- Borunun ikinci ve üçüncü noktalardan doğrulması, içerde sliv ağzı ile sokulan kısmın tabanında oluşan alanın (ısıtılmayan bölgeler) kaynak süresi boyunca değişmeden kalacağı anlamına gelir (Şekil 3.9).

$63 \leq \text{çap} \leq 125$ mm olan borular için uygulama şekli; Kuvvetler, örneğin Şekil 3.9’da gösterilenler türden birtakım aletler yardımıyla uygulanır.

- Sarılmamış boru kısmının ağırlığıyla birinci nokta baskıyla sabitlenir,
- Doğrultma aletine bağlı kelepçeler yardımıyla ikinci nokta sabitlenir,
- Üçüncü noktası kelepçeler ayarlanarak doğrulma işlemi tamamlanır [5,11].



Şekil 3.9: Boru doğrultma ilkeleri

3.6.3. Fittingslerin Montajı

Kullanılan boru ve fittingslerin ebatlarına bağlı olarak montaj işlemi elle veya yardımcı aletlerle yapılabilir (Tablo 3.1). 50 mm'nin üstündeki çaplarda elle montaj, boru çapı ile manşon iç çapı arasında belli bir açıklık kalacağı anlamına gelir. Bu açıklık, boru imalat tolerans paylarına (dış çap ve "yuvarlaklık bozukluğu" tolerans payları) cevap verebilmelidir. Bazı koşullarda bu paylar yüksek değerlere ulaşır ki kaynak öncesinde bunların slivin büzülmesi suretiyle giderilmesi gerekir. 50 mm'den daha küçük çaplarda, manşonların ince olması ve polietilenin esneme özelliği arada açıklık olsun yada olmasın her tip fittingsin elle montajına imkan verir. Kangal halindeki boruların ve yardımcı montaj slivlerinin kullanıldığı durumlarda, montaj aleti genelde bir doğrultucu ile birlikte kullanılmalıdır [5,7].

3.6.4. Hareket Ettirmeden Muhafaza Etme

Her durumda bu işlem zorunludur. Böylece, tam bir soğuma elde edilinceye kadar, kaynaklanan parçaların birbirini üzerinden kayması bütünüyle engellenir. Bu amaçla kullanılan aletler genellikle bir doğrultucu ve montaj aletiyle birlikte işlev görür.

3.7. Elektrofüzyon Kaynak Tekniği

PE boruların gerek birbirine eklenmesi, boruların keplenmesi ve gerekse borulardan bransmanlar alınması için elektrofüzyon kaynak teknikleri kullanılmaktadır.

3.7.1. Elektrofüzyon Kaynak Yöntemi

Elektrofüzyon kaynak tekniği gereği PE borular yine PE malzemeden üretilmiş ve iç kısmına rezistans telleri yerleştirilmiş manşon, T, sedil, redüksiyon ve kep gibi fittings malzemeler ile eklenir ve/veya mevcut hatlardan bransman alınır. Fittings tipi yada çapı ne olursa olsun temelde aynı prensipler geçerlidir [5,9].

Elektrofüzyon tekniğinde esas, rezistanlara imalatçı tarafından belirlenen süre ve gerilim (voltaj) kadar enerji yüklemektir. Bu enerjiyi alan malzemeler yüzeysel olarak eriyip basınçlanarak karışır/kaynar. Bu sırada arayüzeydeki (erime bölgesindeki) sıcaklık 130 –250 °C 'ye kadar yükselir. Erime bölgesindeki sıcaklıkla hacmin artması ve dış kısmın düşük ısı iletkenlik sebebi ile soğuk olması kaynak basıncını sağlar. İşlemin sona ermesi ile birlikte soğuyarak katılaşır. PE malzemelerin düşük sıcaklıklarda eriyerek kaynamaları avantajdır. Ancak, aynı nedenler 50 cm'den daha yakın elektrik kablusunun ark yapması durumunda dezavantaja dönüşür [9].

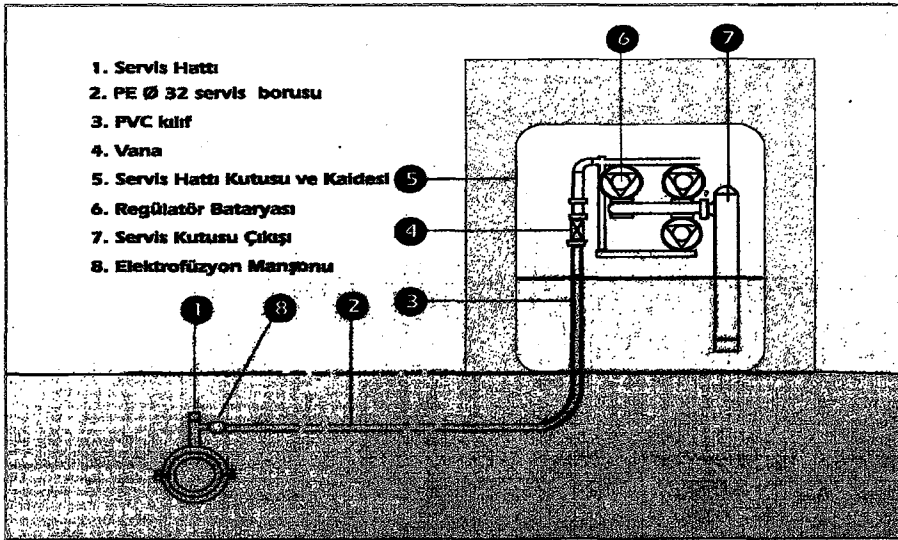
Kaynak sırasında malzeme ve ortam sıcaklıkları füzyon süresinin artma yada azalmasına neden olur. İmalatçı süreleri oda sıcaklığı bazlı olduğundan, bu sıcaklığın altında bir değerde çalışıyorsa füzyon süresi uzar. Füzyon sürelerinin olması gerekenin üstüne çıktığı durumlarda boruda aşırı erime olur ve malzeme yanarak erir. Sürenin kısa tutulduğu durumlarda ise gerekli enerji yüklenemediği için kaynak gerçekleşmez ve kaçaklara neden olur. Sürelerin doğru verildiği fakat gereken gerilimin (voltaj) yüksek olduğu durumlarda malzeme yanar, gerilim düşük ise füzyon gerçekleşmez [9].

Elektrofüzyon işlemleri kontrol kutusu adı verilen kaynak makinaları ile gerçekleşir. Bu makinalar, mekanik, manuel (değerlerin elle girildiği) ve otomatik (barkod okumalı) olarak çeşitlenir [9].

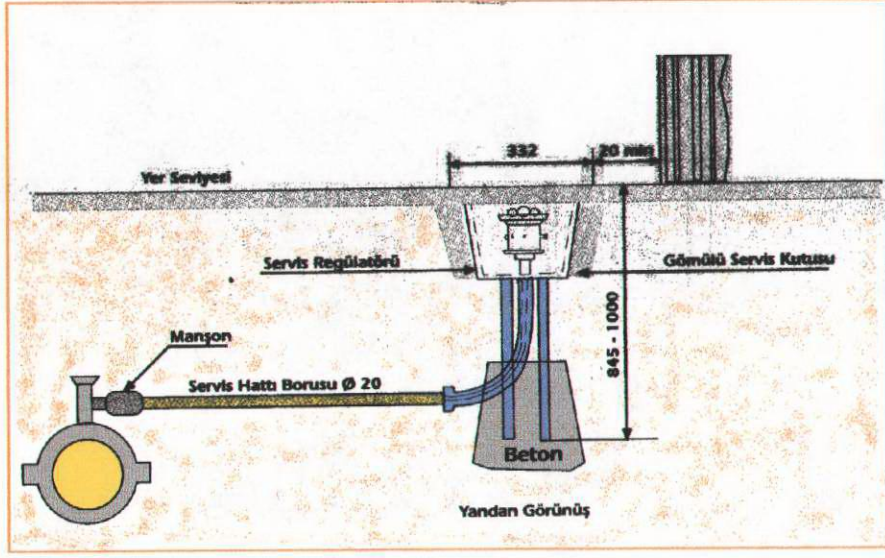
Kontrol kutusu kullanımında makine gücüne uygun şebeke gerilimi veya jeneratör seçilmelidir. Kaynak sırasında hata oluşursa bu hatayı bazı makinalar ekranlarında gösterirler. Kaynakçı, hata kodlarını ve çözüm yollarını bilmelidir. İşlem sonunda akma ve/veya çözülme büzülme olan, füzyon sırasında çatlama sesi veren işlemi iki kez yarım bırakan, soğutmadan yerinden oynatılan, pozisyonlar kullanılmayan, füzyon sırasında içinden ve/veya dışından su ile temas eden kaynaklar güvenilir imalatlardır, incelenip iptal edilmelidir [7,9].

3.7.2. Servis Hattı Kaynakları

63-110 ve 125 mm. Çaplı PE dağıtım hatlarından tüketime sunulmak üzere servis kutularına çekilen ve 20-32 ve en fazla olarak 40 mm çaplı PE hatlara “servis hatları” denir. Gazsız dağıtım hatları üzerinde yapılabileceği gibi daha ziyade gazlı hatlardan bağlanarak çalışılır. İstanbul gaz projesinde kullanılan S-200 ve S-300 (duvar tipi) Ces-200 (gömülü tip), olmak üzere üç değişik servis kutusu ile çalışılmaktadır (Şekil 3.10) [9].



Şekil 3.10 : Duvar tipi servis kutusu



Şekil 3.11: Ces 200 gömülü servis kutusu

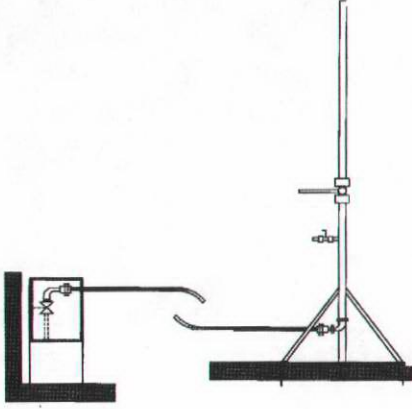
Sedıl T adı verilen ve semer şeklinde imal edilmiş PE fittings malzemelerinin ilgili çaplarda dağıtım hattı borularının üzerine kaynatılması ve bu sedılların T kısımlarından uygun çaplarda çekilen servis hattı borularının PE manşonlar yardımıyla eklenmesi sonucu servis hatları inşa edilmiş olur. Yapılan kaynak ve bağlantılarının pnömatrik testlerinin ardından semerler yardımıyla boruların delinmesi suretiyle doğal gaz servis kutularına gaz verilmiş olur [5,9].

Gazlı hatlar üzerinde yapılan tüm çalışmalarda olduğu gibi, servis hattı çalışmalarında önce emniyet faktörlerine dikkat edilmelidir. İmalatçı önerileri dikkate alınarak elektrofüzyon gerilimleri ve süreleri kullanılmalıdır. Yalnızca işlem yapılacak malzemenin bar-kod'u dikkate alınır, farklı bar-kod ile çalışılmamalıdır.

Servis hattı kaynakları ve uygun soğuma süreleri ardından 6 bar basınçta test yapılmalıdır. Semer (Sedıl T) ve manşon köpüklenerek kaçak kontrol edilip, basınç 1 bar'a kadar düşürüldükten sonra köpük kontrolü tekrarlanmalıdır. Yapılan testde problem yoksa fittings delinerek vanaya kadar gaz verilir. [9]

Vanaya uygun çapta fleyır (flaire) başlığı talıhlararak gaz tahliye işlemi (purge) yapılır. Bu işlemin amacı % 100 gaz elde etmektir. Tahliye işlemi sırasında "statik

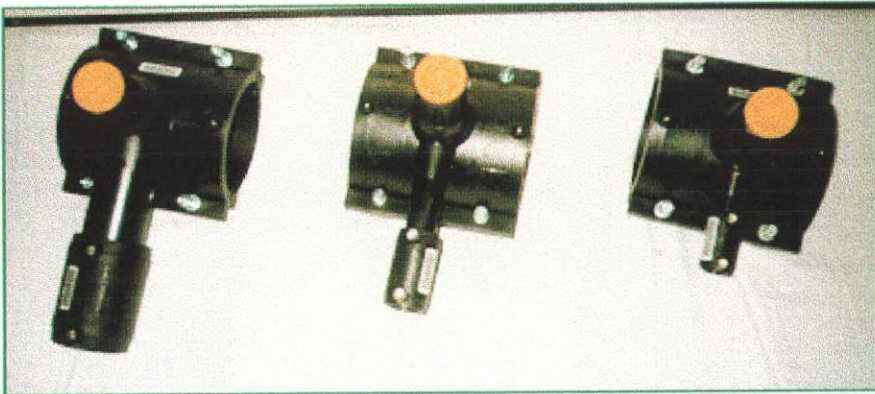
elektriklenme “ den doğabilecek gaz tutuşmalarına karşı da tedbir alınır. İşleme başlamadan önce yapılacak işlem kaynak föylerine işlenmeli, yapılan kaynakların makina üzerinde okunan numaraları föye yazılmalıdır. Daha sonra makinalardan alınacak print ile kaynakların kalitesi belgelenmelidir [4,9,11].



Şekil 3.12 : Gaz tahliyesinde kullanılan Fleyır (flaire)

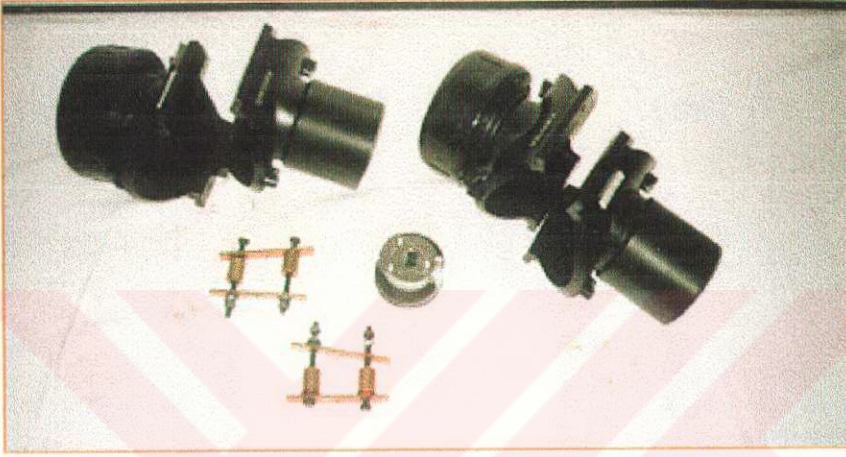
3.7.3. Dağıtım Hattı Kaynakları

Bu kaynaklar, mevcut hatlara aynı yada farklı çaplarda manşon bağlantısı ile hat ekleme işlemleridir. 63-63, 110-63 ve 125-63 mm ölçülerinde sedil T'ler (Şekil 3.13) yardımı ile gazlı hatlarda gaz kesme, boğma ve by-pass gibi işlemler yapmadan yeni hatların gazlanması mümkündür. Elektrofüzyon işlemlerinde imalatçı tavsiyelerine uymalı, uygun koşullarda testler yapılmalı ve delme işlemi sırasında çevre güvenliğine dikkat edilerek çalışılmalıdır. Sedil T'ler yardımıyla devreye alınan yeni hatların tahliye (purge) işlemleri unutulmamalıdır [5,9].



Şekil 3.13: Yeni hat çekmede kullanılan sedıllar.

110 ve 125 mm çaplarda yapılan Poli-stop ekipmanı ile çalışırken, 3 yollu bir fittings yardımıyla 110-110, 125-110 ve 125-125 mm çaplı yeni hatlar gazlanabilir (Şekil 3.14). Bu teknik gereği prensip, Sedil T ile yapılan çalışmalara benzemektedir. Yalnızca delme ve tapalama işlemi daha spesifik haldedir. Poli-stop ekipmanlarının diğer görevi ise, özellikle Ø125 mm PE borularda boğma yapılmadığı için gazı durdurmak ve sağlanan gazsız ortamda düşünülen çalışmayı gerçekleştirmektir.



Şekil 3.14: Poli-stop b:fitings

63 ve 110 mm çaplı PE borularda sıkça uygulana gaz kesme işlemi yapıldığında amaç yeni bir hattın eşit T (equal T) yardımıyla gazlanması ise, boğma yapılmasına karşın sızabilecek gazların uzaklaştırılması için mutlaka havalandırma amaçlı sediller kullanılmalıdır. Gazlanması düşünülen hat tarafından uygun debide hava basılarak kaynak için güvenli bir ortam sağlanmalıdır. [5,9,11]

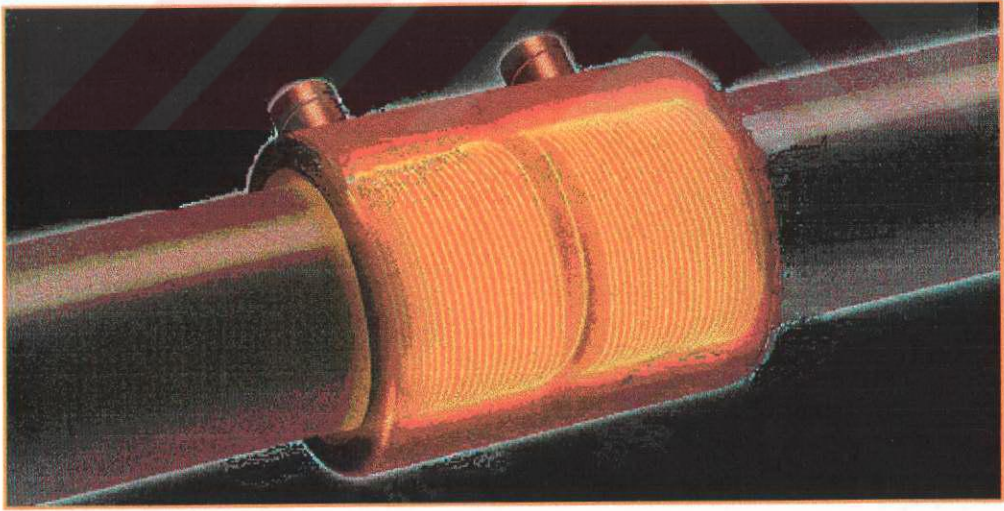
3.7.4. Manşon Kaynakları

Bir manşon kaynağı (Şekil 3.15) aşağıdaki işlem adımları takip edilerek gerçekleştirilmelidir. Burada tranşenin uygun şartlarda hazırlandığı ve gazsız ortamda çalışıldığı kabul edilmiştir.

- Boruların kaba temizliği,
- Boruların pozisyoner üzerine yerleştirilmeleri,

- Boruların çaplarına uygun makas kullanılarak düzgün bir şekilde kesilmesi
- Manon lsnn boru üzerine işaretlenmesi,
- Boruların kazınması,
- Manonun fiziksel kontrolü, imalat tarih ve serilerinin kontrol edilerek not alınması,
- Solvent kullanarak boruların ve manonun temizlenmesi,
- Manonun boruya geçirilmesi,
- Pozisyoner ile her iki borunun kesme yüzeylerinin alın altına getirilmesi,
- Manonun kesme yüzeylerine göre ortalanması,
- Manonda kasıntı olmamasına dikkat ederek pozisyonerin sabitlenmesi,
- Kontrol kutusunun soketlerinin yerleştirilmesi (manona elektrik bağlantısı),
- Bar-kod okutturularak kaynağa başlanması,
- Soğuma süresi sonuna kadar pozisyonere dokunulmamasının sağlanması,

Uygun şartlarda yapılan işlemlerin ardından test yapılmalıdır. Uygulama fittings özellikleri dikkate alınarak kaynak föyüne çizilip, füzyon numarası kaydedilmelidir [5,9,11].

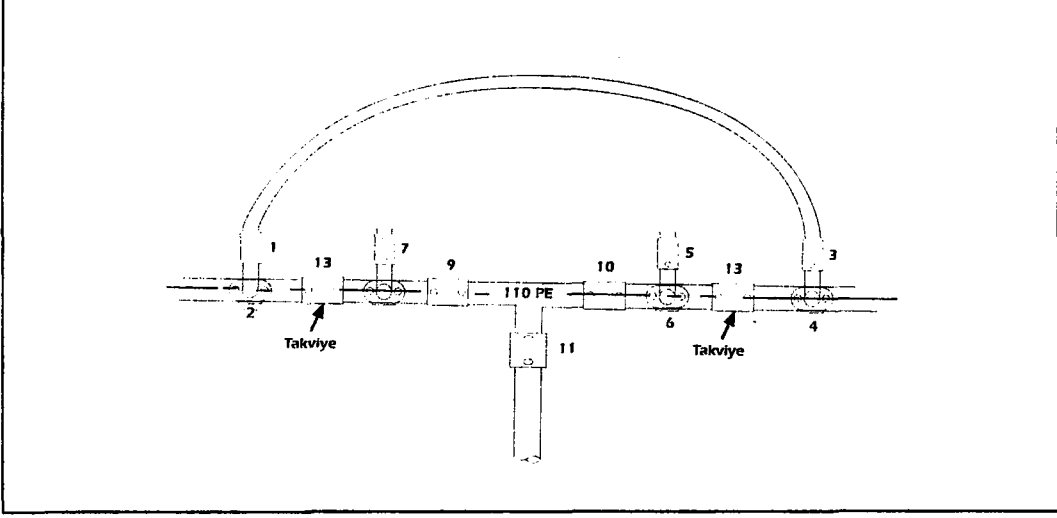


şekil 3.15: Manon kaynağı

3.7.5. Canlı Hat zerinde T Fittings Kaynağı

alışan hatlardan T fittings yardımı ile aynı yada farklı çaplarda branşman alma işlemidir. Gazlı hat üzerinde çalışılacağı için tranşe uzunluğu 5 mt.’den az

olmamalıdır. By-pass kurulacağı ve boğma yapılacağı için toplam füzyon sayısı 13 adettir. İşlemler çalışılacak borunun çapına bağlı olarak 2-4 saat kadar sürmektedir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16: Canlı hatta kaynak yapma tekniği

Bir T fittings kaynağı aşağıdaki işlem adımlarını takip ederek gerçekleştirilmelidir;

- T fittings bağlanacak nokta, by-pass sedılları konulacak noktalar havalandırma sedil yerleri ve boğma yapılacak noktalar belirlenerek işaretlenmelidir.
- By-pass ve havalandırma sedil yerleri hazırlanarak fittingsler monte edilip, pozisyoneler bağlanır. (2x4=8 adet füzyon peşpeşe yapılır).
- Soğuma sürelerinin ardından testler yapılır, sonuçlar olumlu ise sedıllar delinir.
- By-pass oluşturulunca boru boğucular tatbik edilir.
- Havalandırma sedıllarından biri yardımıyla arada kalan gaz boşaltılır.
- Topraklama yapılır.
- Havalandırma sedılları açık konumda iken kaçak araştırılır. Boğulan borulardan kaçan gaz kabul edilir. Sınırlarda ise çalışmalara devam edilir.
- T parçasının ölçüsü işaretlenerek, konulması düşünülen yerden kesme yapılır. Ölçülere göre bransman borusu da kesilir. Kullanılacak T fittings spigot (direnç telsiz düz fittings) olmalıdır, kendinden rezistanslı olanlar bu işlemler için uygun değildir.
- Borular pozisyoner üzerine yerleştirilir.
- T parçası monte edilir. Pozisyoner yardımıyla bransman alınacak boru birleştirilerek sabitlenmelidir.

- Sistem kaynak yapmaya hazır hale geldiğinde branşman boru tarafından boğulan borulardan kaçan gazı yenebilecek miktarda hava basılır.
- Basılan hava kaçan gazı süpürerek havalandırma sedıllarından tahliye olur.
- Hava basma sırasında havanın basınçlanarak kaynağa zarar vermesine izin verilmemelidir (mümkünse gaz vakum yapılarak tahliye edilmelidir). Füzyon işlemlerinin ardından soğuma süresi kadar beklenerek test yapılmalıdır.
- Test sonuçları olumlu ise, gaz verme işlemine geçilmelidir.
- By-pass durdurularak körlenip, test edilmeli ayrıca havalandırma sedılları da körlenip ve test edilmelidir.
- Boğulan boru yerleri düzeltme aparatı kullanılarak eski formuna getirilir.
- Boğucu tatbik edilen yerlere takviye manşonları kaynatılarak işlemler tamamlanır.
- Yapılan işlem kaynak föyüne çizilir fittings özellikleri ile kaynak numaraları yazmalıdır [5,9].

3.7.6. Elektrofüzyon Kaynak Makinası

Kaynak makinası kaynak edilecek parçalara uygun gerilimi sağlar ve manşon iç yüzeyinde yeterince malzeme erime sıcaklığına ulaşınca otomatik olarak akımı keser. Şekil 3.17'de bir elektrofüzyon kaynak makinası gösterilmiştir.



Şekil 3.17: Elektrofüzyon kaynak makinası.

Gelişen teknolojiyle birlikte kaynak hatalarını önlemek amacıyla farklı prensiplerle çalışan füzyon kaynak makinaları geliştirilmiştir (Tablo 3.2) [5,9].

Tablo 3.2 : Elektrofüzyon kaynak makinaları

KONTROL KUTUSU GERİLİMİ	GİRİŞ SOKET	UYGULAMA KOD	BAR KOD
Innogaz	55 V	Çift soketli-mekanik taşma	Yok
Thermoplast	55 V	Çift soketli-mekanik taşma	Yok
Bab's	55 V	Tek ve çift kullanılır	Var
Frialen	220 V	Tek –otomatik	Var
G. Fischer	220 V	Tek-otomatik	Var
Barbara	55 V	Tek ve çift kullanılır	Var
July	55 V	Tek ve çift kullanılır	Var

Kontrol kutusu enerji kablosu, Diesel-jeneratör güç kaynağının 48-67 volt arasında bir AC çıkış gerilimi veren güç kaynağına bağlanır ve bu durumda hemen “Power On / Enerji Var” lambası yanar.

İki adet füzyon kablosunun giriş bağlantılarına ait koruyucu kapaklar açıldıktan sonra, füzyon öncesi ön bir kontrol olarak, bu kabloların birer ucundaki iki adet sensör (basınca duyarlı eleman) üzerine parmakla hafifçe bastırılır. Sensöre yapılan her bir bastırma işlemini süresi kadar, “End Of Füsion/Kaynak Tamamlandı” haberini veren lambanın yanık kalması gereklidir. Füzyon kaynağına başlamadan önce ve manuel olarak yapılan böyle bir denemede lambanın yandığının görülmesi, sensörlerin sağlıklı bir şekilde çalıştığını kesinlikle belirler.

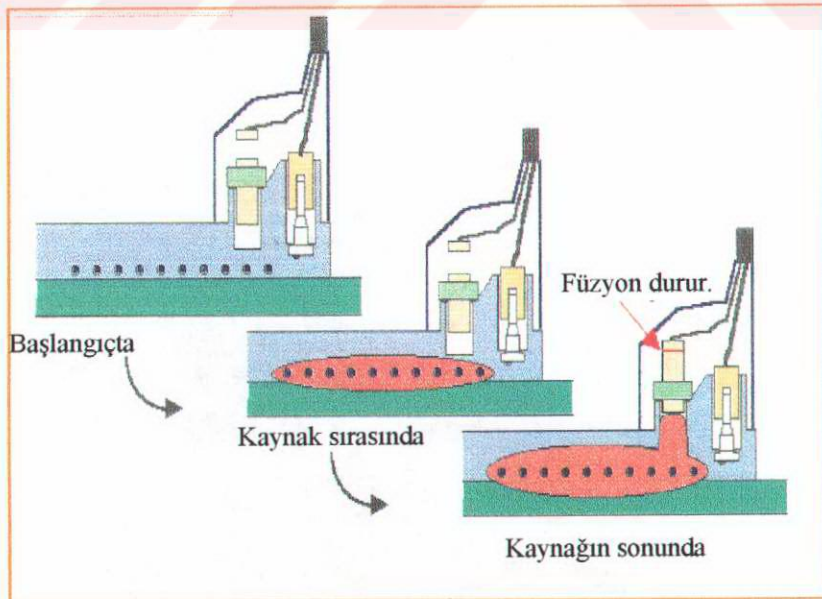
Manşon imalattan sonra elektrik bağlantısında kullanılacak iki ucunun üzerine bir önlem olarak geçirilmiş koruyucu kapaklar; artık kaynak işlemine başlanacağı için, yerlerinden çıkarılır ve bunun ardından manşonun giriş yerlerine yani fiş tabir edebileceğimiz yuvalara füzyon kablosunun uçları takılır.

Bundan sonra yeşil renkli “Fusion Start/Füzyon Başlatma” butonuna basılır. Bununla füzyon işlemi başlar ve “Fusion On /Füzyon (kaynak) Yapılıyor” lambası yanar.

Füzyon süresi tamamlandığında basınç sensörleri, polietilenin erimesi ile kendiliğinden harekete geçerek füzyon süresini sona erdirirken aynı anda “End Of Fusion / Füzyon Bitimi” lambasının, dolaylı olarak yanmasına da neden olurlar .

Füzyonun bitişinden sonra, gerekli soğuma zamanının geçmesi kesinlikle beklenir. Zira, buna riayet edilmeyip bağlantıya yapılacak herhangi bir müdahale bitirilmiş bu kaynağın bozulmasına ve hatalı çıkmasına sebep olur. Bu konuda emin bir yol izlemek için, kaynak işleminin bitiminden hemen sonra soğuma zamanı dakika cinsinden, birleştirme yapılan yerin yanına ve borunun üzerine yazılmalıdır. Kaynak işlemi bitirildikten 30 saniye sonra ve ek yerine herhangi bir müdahalede bulunmaksızın yalnızca manşon üzerindeki füzyon kablosunun bağlantı uçları çıkarılır (kaynak hareket ettirilmeden) ve bu uçların koruyucu kapakları örtülür [5,9].

Bundan sonra da, kaynak sırasında erimiş olan polietilenin genişerek manşon üzerindeki sensör yuvalarını tam olarak doldurup doldurmadığı gözle kontrol edilir (Şekil 3.18).



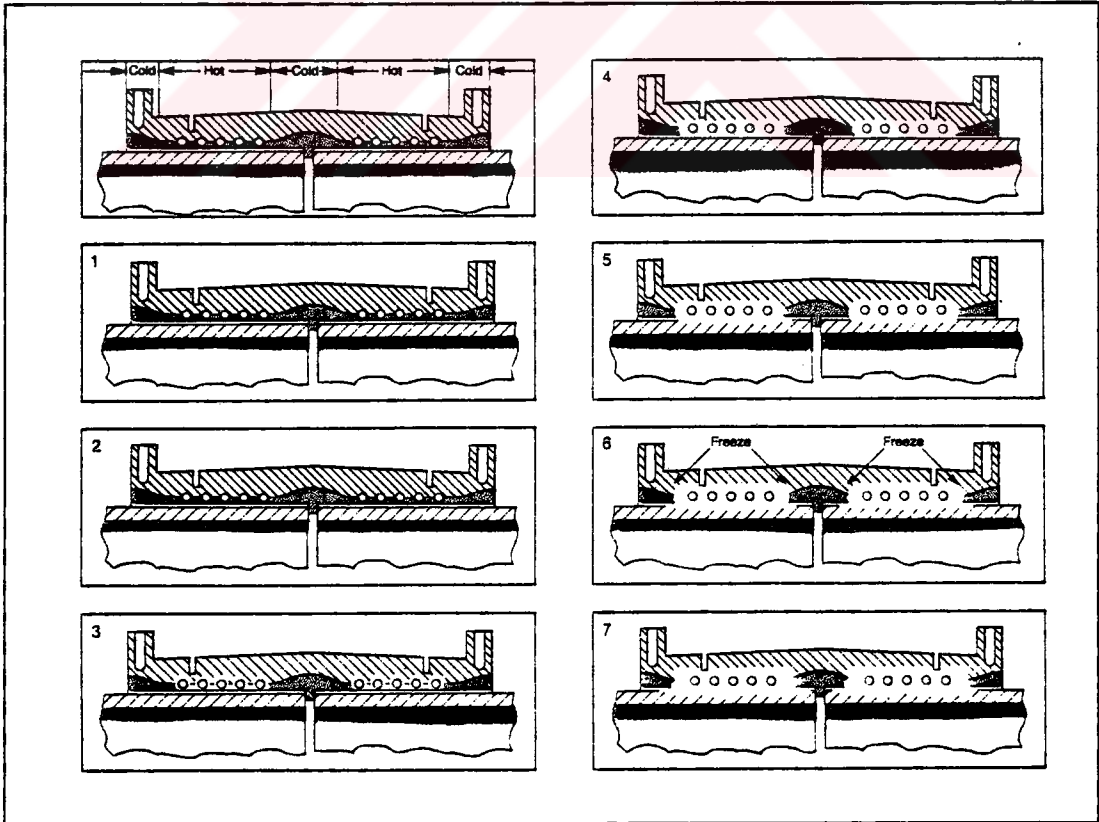
Şekil 3.18: Kaynak işlemi şematik gösterim

3.7.7. Kaynak İşleminin Yapılması

Kaynak değerleri kaynak makinasında boru çap ve nominal basıncına göre ayarlanır. Kaynak makinası kablolarla manşon üzerindeki elektrik uçlarına bağlanır. Elektrik verilir ve kaynak işlemi otomatik olarak gerçekleşir. Kaynak işlemi sırasında kaynak işlemi için gerekli akım kaynak makinasından kontrol edilir. Boru bağlantısı soğuma süresince hareket ettirilmemelidir. Soğuma süresi boru çaplarına göre değişmekle birlikte ortalama 10 dakikadır. Kaynak ve soğuma süreleri Ek A ve Ek B'de verilmiştir [5,14].

3.7.8. Kaynak işlemi Safhaları

Kaynak işlemi için gerekli parametreler hazırlanıp, kaynak makinası bağlantı kabloları manşona bağlandıktan sonraki kaynak safhaları şematik olarak Şekil 3.19'da gösterilmiştir.



Şekil 3.19: Elektrofüzyon Kaynağının Safhaları

Kontrol kutusundan gerilim uygulandığında manşon içindeki rezistans telleri ısınmaya başlar (2) ve hemen etrafındaki malzemenin erimesini sağlar (3). Manşonda rezistanslı bölgelere “sıcak” diğer bölgelere ise “soğuk” bölgeler denir. Manşondaki eriyen malzeme bölgesi büyüyerek boru yüzeyine doğru genişler(4). Boru yüzeyine olan ısı transferi ile boru malzemeside erimeye başlar (5). Eriyik soğuk bölgenin başlangıcında donar ve böylece sızdırmazlık sağlanmış olur (6). Bölgeye verilen enerji eriyik basıncının yükselmesine sebep olur. Eriyik basıncı gerekli değere ulaştığında elektrik akımı kesilir (7). Kontrol kutusundaki göstergede kaynağın tamamlandığını haber verir. [5,10]

3.8. Kaynak Sonrası PE Hatlara Sızdırmazlık Testinin Yapılması

Kaynak sonrası, PE hatlara gaz verilmeden önce sızdırmazlık testi yapılmalıdır. Test prensip olarak üç kademedan meydana gelir. Bunlar; ilk okuma, son okuma ve sonuç-kıyasdır. Test civalı manometre ile yapılır. Her iki ucu tapalanmış PE boru hattına bir kompresör yardımıyla yaklaşık 0,8-1 bar arası hava basılır. Hava basıldıktan sonra ısı dengesi sağlanması için yaklaşık 10 dakika beklenir ve aşağıdaki formül kullanılarak ilk okuma işlemi yapılır [15].

$$\text{İlk okuma} = L_i = U_1 + U_2 \quad X_1 = \frac{L_i \cdot 1013,3}{760} \quad (3.1)$$

$$X_{2=} = \frac{Q_1 \cdot 1013,3}{760} \quad (3.2)$$

$$X = X_1 + X_2 \quad (3.3)$$

Burada;

U_1 : Manometrede yükselen civa seviyesi, mm

U_2 : Manometrede düşen civa seviyesi, mm

Q_1 : Meteorolojiden alınan o gün için tespit edilen atmosfer basıncı

Hesaplar yapıldıktan sonra , boru hatları 48 saat testde bırakılır okumalar tekrarlanır.

$$\text{Son okuma} = L_s = U_1 + U_2 \quad Y_1 = \frac{L_s \cdot 1013,3}{760} \quad (3.4)$$

$$Y_2 = \frac{Q_1 \cdot 1013,3}{760} \quad (3.5)$$

$$Y = Y_1 + Y_2 \quad (3.6)$$

Son okuma işlemi de yapıldıktan sonra kıyas yapılır ve sonuçlar değerlendirilir. Sonuç olumsuz ise kaynak bölgeleri kontrol edilerek test yenilenir, test olumlu ise PE kaynağı uygulanmış borulara gaz verme işlemi yapılır.

Sonuç – Kıyas

$$X - Y < 13 \text{ mbar} \Rightarrow \text{okey} \quad (3.7)$$

$$X - Y = 13 \text{ mbar} \Rightarrow \text{risk sınırı} \quad (3.8)$$

$$X - Y > 13 \text{ mbar} \Rightarrow \text{onaylanmaz, kaçak var.} \quad (3.9)$$

3.9. Kaynak İşleminde Kullanılan PE Elektrofüzyon Fittingsleri

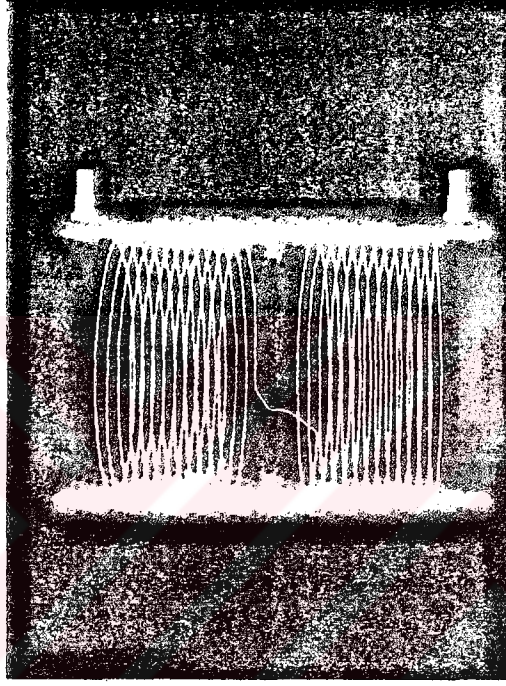
Elektrofüzyon kaynak tekniğinde kullanılan çok çeşitli fittingsler olmasına rağmen, sıkça kullanılan fittingsler şunlardır; manşon, sedil T, eşit T, dirsek, kep, redüksiyon.

3.9.1. Elektrofüzyon Fittingslerin İmalatı

Elektrofüzyon kaynağında kullanılan fittingsler (manşonlar, T'ler, redüksiyonlar vb.) eritilmiş polietilenin reçinenin bir kalıba enjekte edilmesi ile imal edilmişlerdir. Bu konu ile ilgili detaylar 1. Bölümde 1.7.1. Enjeksiyon İşlemi (Püskürtme Preslemesi) başlığıyla detaylı olarak anlatılmıştır.

3.9.2. PE Manşonlar

Manşonlar, polietilen reçinenin kalıba enjekte edilmesi ile yapılmıştır. Bobin şeklindeki bir elektrik direnci, manşonun tamamen et kalınlıkları içinde kalacak şekilde olmak üzere üretim sırasında ve manşon çevresi boyunca yerleştirilmiştir (Şekil 3.20).



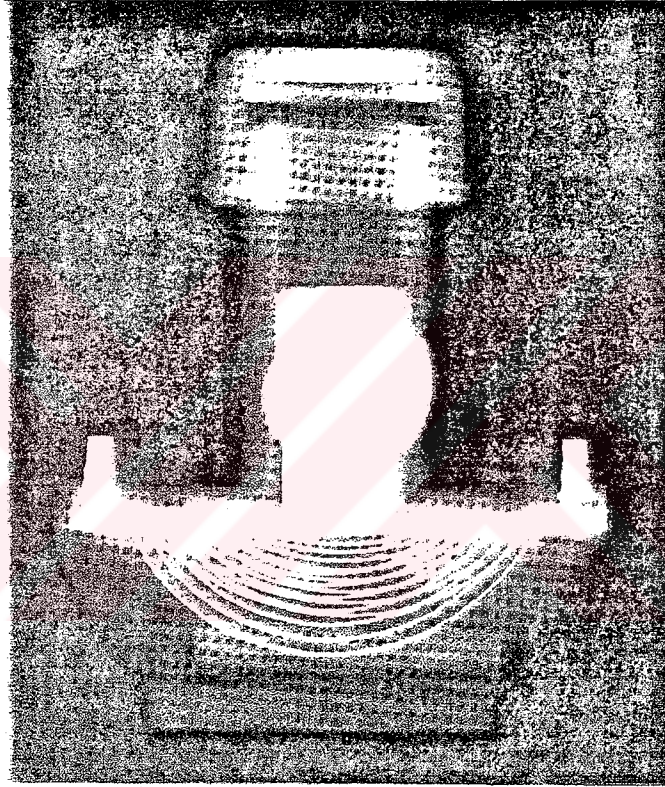
Şekil 3.20: Polietilen manşon fittings direnç telleri (radyografik görüntü)

Yeterli büyüklükteki füzyon bölgeleri, “soğuk” bölümler dahil, gerektiği şekilde ve manşon üzerinde çevrelenmiştir. Uç kısımlar ise, borunun manşonun içine rahatça girecek şekilde inceltilir ve eğim verilir [5,11,13].

Etraflarında birer izole koruyucu bulunan elektriksel iki bağlantı yeri, manşonun her iki ucunda olmak üzere ve elektrik kablosu uçlarının içlerine kolayca girebileceği şekilde yerleştirilmiştir. Çapı 63 mm ve daha yukarı ölçüdeki manşonlar; dirsekler, T parçaları, redüktörler ve başlıkların birleştirilmesi ve tamir edilmelerini kolaylaştırmak için, borunun üzerinde kayarak sürülebilir bir şekilde tasarlanmıştır.

3.9.3. Sedil T Kapak Tıkacı Bağlantı Parçaları

Bu tür bağlantı parçaları da, polietilen reçinenin kalıp içine enjekte edilmesi ile yapılmıştır. Manşonlarda olduğu gibi; bir elektrik direnci, bunları üretimleri sırasında her bir parçanın içerisine yerleştirilir (Şekil 3.22).



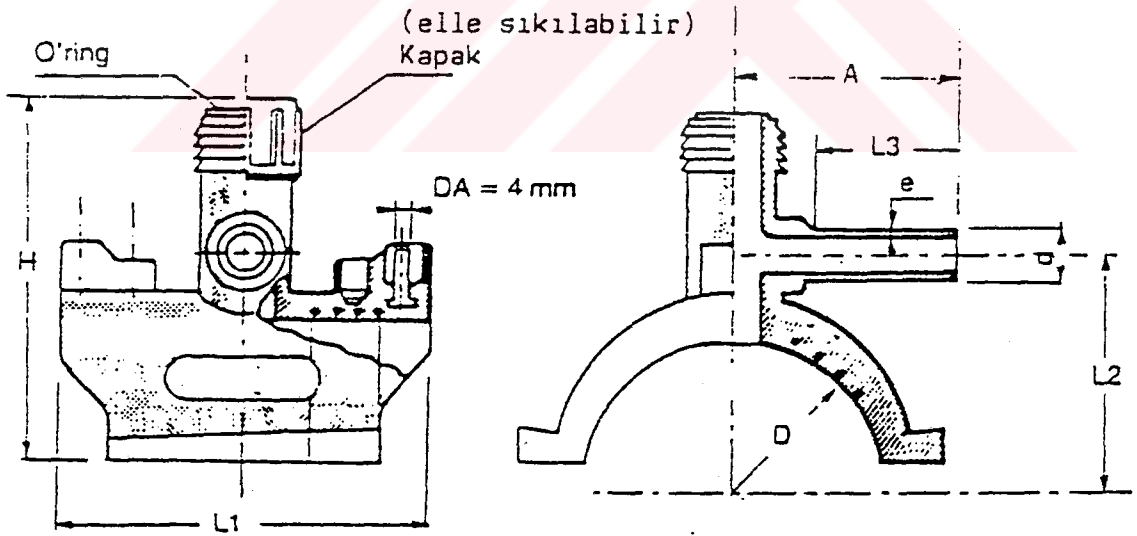
Şekil 3.22: PE Sedil T fittings direnç telleri (radyografik görüntü).

Bu bağlantı parçaları $\varnothing$ 125 mm dahil olmak üzere çapları bu ölçüye kadar olan borular için , tıpkı bir at eğeri gibi borunun sırtına geçecek ve boru yüzeyine oturacak tarzda tasarlanmıştır [5,11,13].

Daha büyük çaplı boruların bağlantısı söz konusu olduğunda veya dar kazılmış kanallarda çalışıldığında; eğer şeklindeki bu bağlantı parçasının altına, boruyu çevresi boyunca saran bir klemens (kıskaç) ayrıca yerleştirilir.

Yeterli büyüklükteki füzyon bölgeleri, iç ve dış taraftaki “soğuk” bölgeler de göz önünde tutularak, ek yapılacak yeri çevreler. Tıkaçlı bir T parçasının kullandığı yerin yanında, bir de delme aleti (perforatör) bulunur ve T bağlandıktan sonra boruyu delmek için kullanılır.

T bağlantı parçasının üst ucunda, polietilenden yapılmış bir kapak bulunur. Elle çalışan ve halka şeklinde (ring) contası bulunan bu vidalı kapak, sızdırmaz bir özelliğe sahiptir. Ancak bu özelliğin korunabilmesi ve ring contasının ezilmesini önlemek için kapağın uygun şekilde ve makul bir el kuvvetiyle sıkılması gerekir. İşte bunu sağlamak gayesiyle söz konusu kapak, bir “Pozitif Durdurucu” ile donatılmıştır. Aşağıda Tablo 3.4’de Sedil T (Şekil 3.23) bağlantı parçalarının standard ölçüleri verilmiştir.



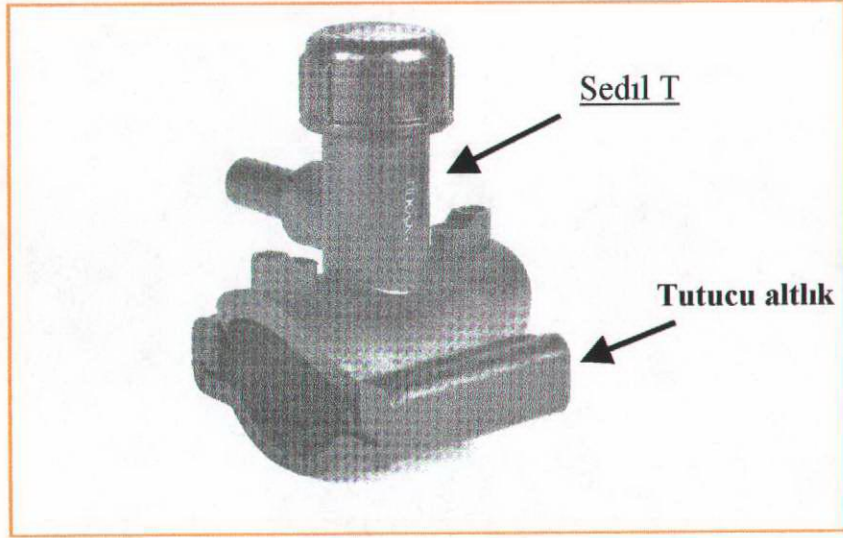
Şekil 3.23: PE Sedil T

Tablo 3.4: Sedil T Bağlantı Parçasının Standard Ölçüleri (mm)

D x d	H	L1	L2	L3	e
40x20	115	106	45	39	2.3
63x20	132	106	60	39	2.3
63x25	132	106	60	39	2.3
63x32	132	106	60	39	3
90x20	131	106	70	39	2.3
90x25	131	106	70	39	2.3
90x32	131	106	70	39	3
110x20	130	106	105	39	2.3
110x32	130	106	105	39	3
125x20	130	106	105	39	2.3
125x25	130	106	105	39	2.3
125x32	130	106	150	39	3
160x20	130	106	105	39	2.3
160x32	130	106	105	39	3
180x20	130	106	115	39	2.3
180x25	130	106	115	39	2.3
180x32	130	106	115	39	3
200x20	130	106	130	39	2.3
200x32	130	106	130	39	3

3.9.3.1. Tutucu Altlık

Borunun altına yerleştirilir. Borunun üzerindeki sedil T'nin çıkıntıları tutucunun yuvalarına geçirilerek sedil T ile tutucu birbirine bağlanır. Böylece sedilın kaynak yapılana kadar borunun üzerinde sabit bir şekilde kalması, işlemlerin kolay ve daha doğru olarak yapılması sağlanır (Şekil 3.24). Elektrofüzyon tutucu sedilı boruya sıkıca yapıştıracağı ve sabitleyeceği için ayrıca bir pozisyoner kullanılması gerekmeyecektir [5,11,13].



Şekil 3.24: Tutucu altlık

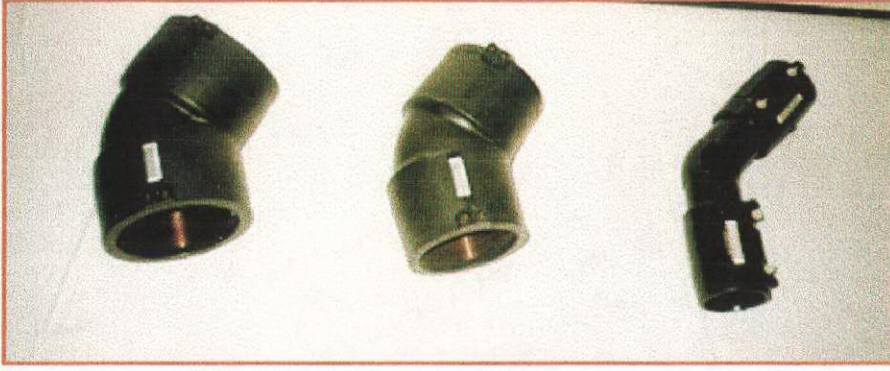
3.9.4. Diğer Bağlantı Parçaları (PE dirsekler, PE redüktörler, PE kapaklar vb.)

Özellikle doğal gaz dağıtım şebekelerinde kullanılan diğer bağlantı parçaları kalıp içine polietilen reçinenin enjekte edilmesi ile imal edilirler. Ancak bunlarda elektrofüzyon kaynağı için gerekli olan direnç teli bazan bulunmaz [5,11].

Bu ayrıcalıktan dolayı bunların bağlantıları, boru ile kendi aralarında elektrofüzyon manşonları kullanarak ve manşonların kaynak yapılması ile gerçekleştirilir. Örnek olarak: bir dirsekte 2 adet, bir T parçasında 3 adet veya borunun ucunu körletmek için kullanılacak bir kapak'ta bir tek manşonun, farklı çaplarda uygulamaları yapılabilir (Şekil 3.25, Şekil 3.26, Şekil 3.27)



Şekil 3.25: PE 90 ° dirsekler



Şekil 3.26: PE 45° Dirsekler



Şekil 3.27 :Dirençli ve dirençsiz Redüktörler

Önemli bir not olarak şu söylenebilir; PE hemen hemen ısıyı geçirmediğinden, boru veya bağlantı parçalarında yan yana kullanılacak manşonların, birbirlerine çok yakın olmaları, elektrofüzyon tekniği açısından bir sakıncalı durum oluşturmaz [5,11].

3.10. Güç Cihazları (Jeneratörler)

Elektrofüzyon kaynak işlemi için gerekli elektrik akımını sağlar. Jeneratör, benzin veya dizel motor ile çalıştırılır. Tekerlekli veya taşınabilir biçimde yapılmışlardır (Şekil 3.28). Ağırlıkları ortalama 35-40 kg'dır. Jeneratörün gücü 4 KVA'dır. Jeneratörden sağlanan akım bir transformatörden geçirilerek 55 volta düşürülür.

Sahada elektrofüzyon için gereken akım 55 voltur. Bu voltaj, jeneratör yerine, doğrudan şehir şebekesinden alınan 110 veya 220 volt gerilimindeki akımın bir

transformatörden geçirilmesi yolu ile sağlanabilir. Ancak kullanım pratikliği bakımından jeneratörler tercih edilir.

Taşınabilir jeneratörler 55 volt AC çıkış gerilimi verir ve 4 KVA gücündedir. Gerilim düşürücü transformatörün giriş gerilimi 220 volt ve çıkış gerilimi 55 volt'tur [11,16].

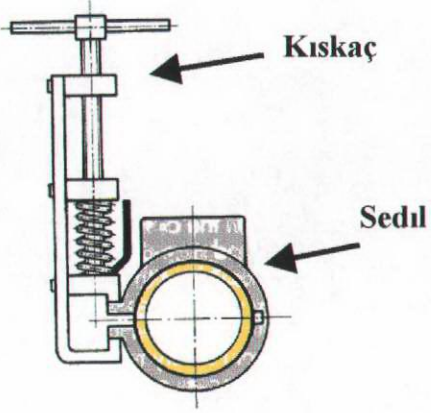


Şekil 3.28: Taşınabilir bir jeneratör.

3.11. Kaynakta Kullanılan Teçhizat ve Aletler

3.11.1. Sedil T Kiskacı

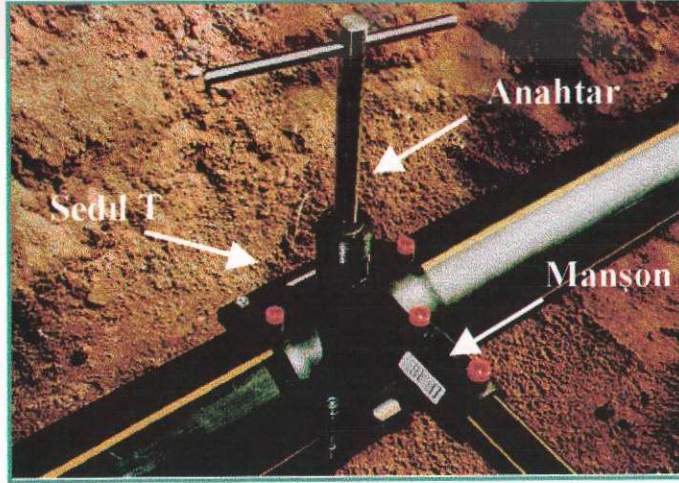
Bazı markalarda sedilin alt tutucusu cıvata somunla bağlanmakta bazı modellerde ise sedil kiskacı kullanılmaktadır (şekil 3.29). Kaynak işleminden hemen sonra kışkaç çıkarılma-malıdır, kaynak bölgesinin soğuması beklenmelidir [11,17].



Şekil 3.29: Sedil T kısıkaçı.

3.11.2 . Delme İşleminde Kullanılan Anahtarlar

Sedil T fittingsin kaynak işlemi tamamlandıktan sonra delme işleminde kullanılan ve fittinglerin boyutlarına göre değişen anahtarlardır (Şelil 3.30) [11,12].



Şekil 3.30: Delme anahtarı

3.11.3. Kayışla Çalışan Dikişli Çark Mandalı

160 mm ve daha büyük çaptaki sedil T bağlantı parçaları için kullanılır.

3.11.4. Kazıyıcı

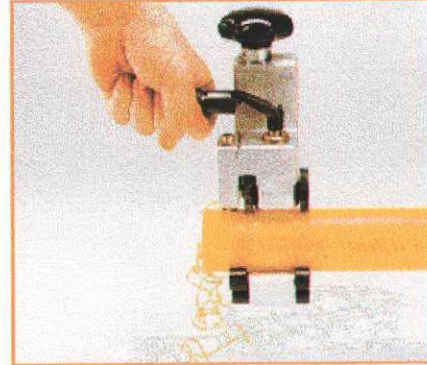
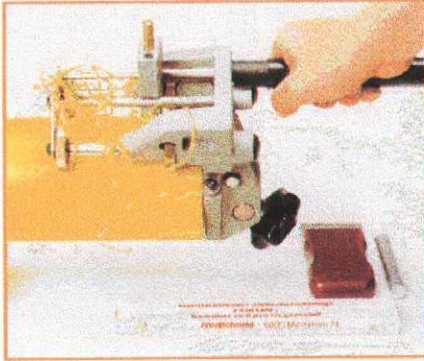
PE boru ve ekipmanların üzerindeki ince oksitlenmiş tabakayı sıyırmak ve daha iyi birleşme sağlamak için kullanılır. El ile tatbik edilir, işlem sırasında borunun zedelenmemesine özen gösterilmelidir (Şekil 3.31) [11,12].



Şekil 3.31: Kazıyıcı

3.11.5. Kazıyıcı alet

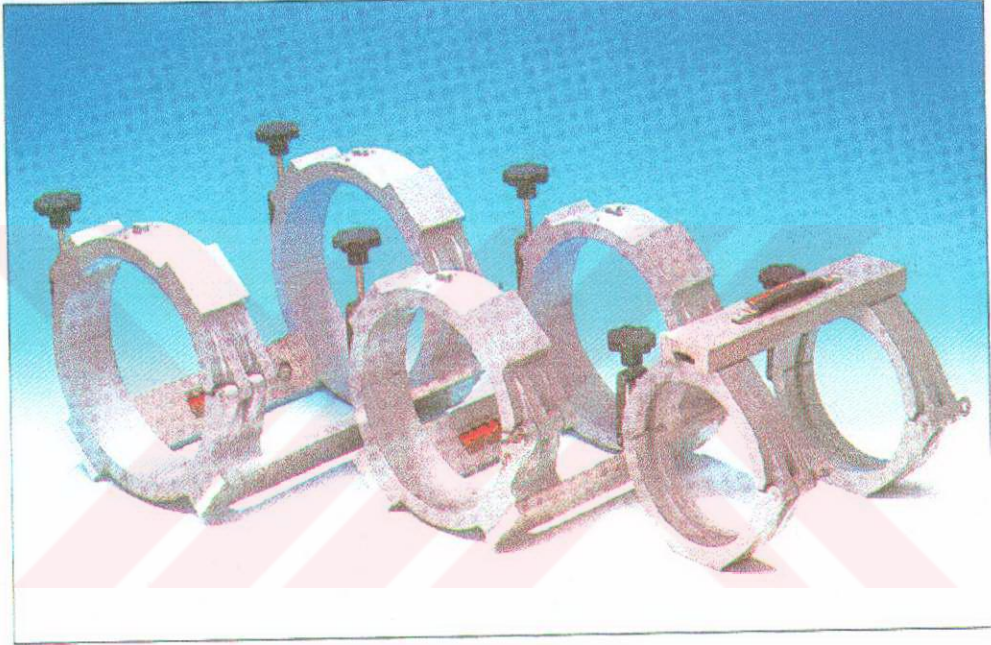
Manşon kaynaklarında daha düz ve temiz yüzeyler elde etmek için özel kazıyıcılar vardır. Bu alet, 63 mm'den 200 mm'ye kadar polietilen boruların üzerinde oluşan 0,2 mm kalınlığındaki oksidasyon tabakasının, borunun dış yüzeyinden çıkarmak için (kaynak yapılmadan önce) temizlenmesine yarar (Şekil 3.32) [11,18].



Şekil 3.32: İki farklı tip kazıyıcı alet

3.11.6. Polietilen Borular İçin Hizalama Kelepçesi (Pozisyoner)

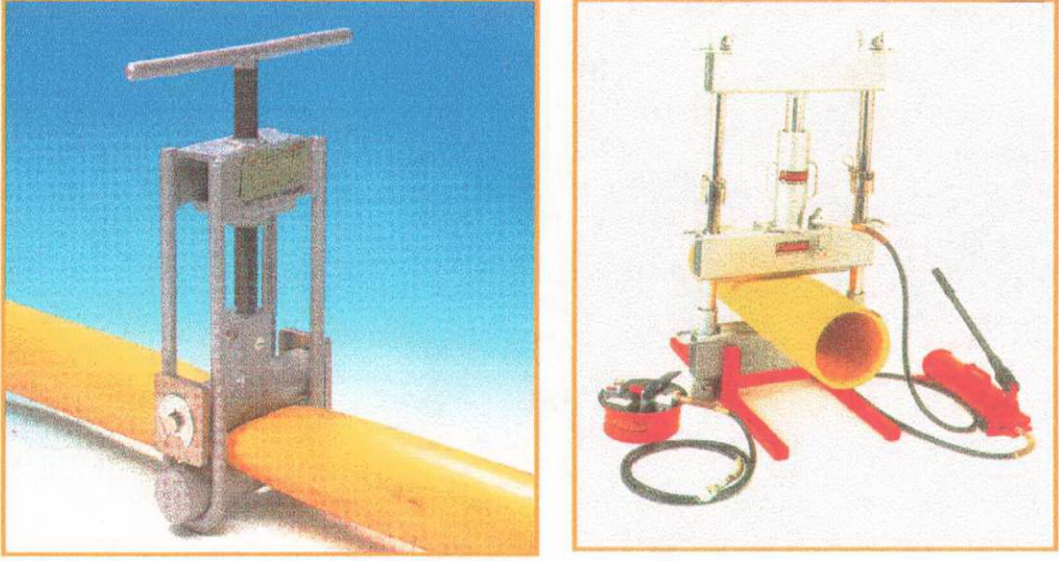
Bu tip bir kelepçe, PE boruların dört değişik çapı için kullanılır; 63 mm, 90 mm, 110 mm ve 125 mm PE boruların doğrultulması için, boru uçlarının aynı hizaya getirilmesi, kaynak işlemi süresince ve kaynaktan sonraki soğuma zamanı boyunca boruları sabit bir şekilde tutmayı sağlar (Şekil 3.33) [11,16].



Şekil 3.33: Pozisyoner

3.11.7. PE Boğma Aparatı

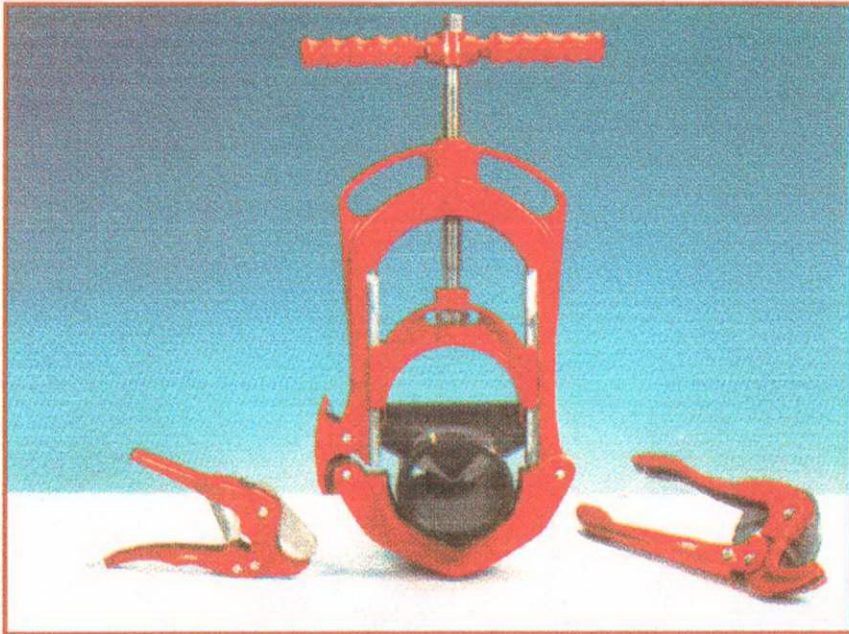
63, 90 ve 110 mm. çaplara sahip YYPE borularda, gerek acil durumlar karşısında uygun çapta PE boruların boğularak kontrolsüz gaz çıkışının durdurulması amacı ile, gerek operasyonel çalışmalarda gaz akışını kesmek ve gereken işlemleri yapabilmek amacı ile kullanılır. Uygulanması zaman alan ve rahat çalışılacak ölçülerde tranşe gerektiren bir ekipmandır (Şekil 3.34) [11,16].



Şekil 3.34: Farklı iki tip boğma aparatı ve uygulamaları

3.11.8. Boru kesici Makas ve Giyotin

Elektrofüzyon sırasında birleştirilecek parçaların karşılıklı gelecek yüzeylerin düzgün kesilmiş olması gerekir. Bunun için çapı 63 mm'nin altındaki borular için PE makas daha büyük çaplı borular için giyotin kullanılır (Şekil 3.35) [11,16].



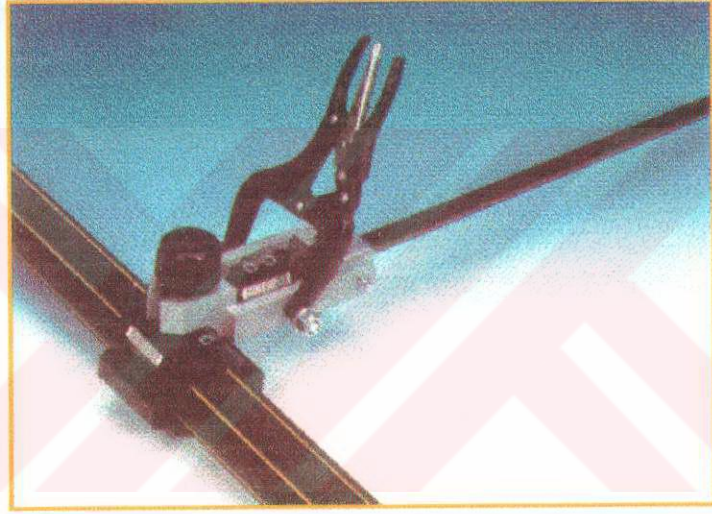
Şekil 3.35: Boru kesici makaslar ve giyotin

3.11.9. Küçük Çaplı PE Boruların Doğrultma ve Sabit Tutma Aparatı

20, 25, 32 ve 40 mm çaplı boruların birleştirilmesinde ve bunların doğrultması için kullanılır. Diğer bir ifade ile küçük pozisyonerdir. [11]

3.11.10. PE Servis Hatları İçin Kavrayıcı Pense

Dış çapı 20, 25 ve 32 mm olan servis hatlarının elektrofüzyon kaynağı yapılırken ve bundan sonraki soğuma zamanı boyunca sabitlemeye yarar (Şekil 3.36) [11,18].



Şekil 3.36: Kavrayıcı pense

3.11.11. Polietilen Boru Aksamında Kaynak ve Hazırlık Ekipmanları

Termoplast; RS 068 tip PLUTONARCH-TERMOPLAST, polietilen boru aksamı montajında elektrik kaynağı konnektörlerine, çıkış parçalarına ve fittingslere elektrik sağlamak üzere tasarlanmış yekpare, elektronik olarak kontrol edilebilen bir kaynak setidir.

Şu üç parametrenin önceden elle ayarlanmasından ve ekranda görülmesinden sonra, kaynak işlemi otomatik evreler halinde gerçekleştirilir:

Isıtma gücü, ısıtma süresi ve monte edilecek parçaların başlangıç sıcaklığı (ki bu parametreler polietilenin ergime noktasına kadar ısıtılması için gereken enerjiyi belirler.

Oleorrac kasnaklar üzerine sarılmış fazlasıyla uzun kangalların çözülmesi yada önceden monte edilmiş düz PE boruların (hendeğe indirme veya boru döşeme sırasında) çekilmesi amacıyla özel olarak tasarlanmış hidrolik bir vinçtir.

Çekme gücü: Hidrolik beslemeli devre basıncının bir fonksiyonu olarak, azami 1200 kg.

Kablo: 14 mm çapında polyester halyard , uzunluğu 250 ve 400 m olarak, azami 15 m/dk.

Bu parametrelerin tam olarak kontrol edilebilmesi, PE boruların esnek ve emniyetli bir şekilde çekilebilmesine izin verir.

Termoplast Julie, sahada kullanılmaya uygun seyyar, bilgisayarlı bir hizmet ünitesidir. Başta polietilen borularda elektrofüzyonlu bağlantılı olmak üzere tüm elektro-ısıtıcı donanımlara güç sağlamak için gereken bilgileri işler.

Posiplast 25, kasnaklara sarılmış 63- 125 mm çapındaki PE boru kangallarının doğrultulmasında, hizalanmasında ve pozisyonlandırılmasında kullanılan mekanik bir alettir.

Posiplast 1250 ve 2000, çapları 63 –200 mm arasındaki düz PE borularda hizalama ve pozisyonlandırma işlemlerinde kullanılan bir alettir. Genel olarak, kaynak sırasında fittingslerin pozisyonlandırılması, yuvasına sokulması ve sabit tutulması işlemlerini başarıyla yerine getirirler [5,11].

3.12. Değerlendirme

Soket ve alın füzyon kaynağı gibi klasik tekniklere oranla elektrofüzyon tekniğinin çok yüksek performansa sahip, güvenilir montaj tekniği olduğu görülmektedir.

Elektrofüzyon kaynağının kalitesi sadece kullanılan fittingsin tasarımına değil, aynı zamanda onun nasıl monte edildiğine de bağlıdır.

Bu konuda boruların durumu (düz, kangal veya kasnakta sarılı) ve montaj elemanlarının geometrik yapısı, şüphesiz temel parametrelerdir. Kaynak enerjisi, belli bir esneklik arz etmekle birlikte, kaynak öncesi montaj sıcaklığının bir fonksiyonu olarak değiştirilmelidir.



BÖLÜM 4

DOĞAL GAZ ŞEBEKESİ POLİETİLEN TEKİNİĞİ

4.1. Giriş

Doğal gaz dağıtım hatlarında döküm, çelik, bakır, alüminyum, PVC, PP ve PE esaslı malzemeler tarihi süreç içerisinde farklı zamanlarda ön plana çıkarak ve bu süreçte teknik imkanlar dahilinde kullanılmışlardır. İkinci Dünya Savaşı sonrası doğal gaz kullanımının artmasıyla birlikte doğal gazın dağıtım şebekesinde kullanılan teknikler üzerinde, özellikle organik maddelerden boru imali ve bunun doğal gaz dağıtımında kullanımı gibi konularda ciddi çalışmalar yapıldı. 1950'lerden sonra birçok ülkede plastik malzemelerden üretilen borular kullanılmaya başlandı. Bu değişim özellikle gazın yüksek basınçta sıkıştırılabilme olanağı ve bu nedenle de uzak mesafelere taşınabilme imkanı olduğunu gösterdi.

Özelikle, ülkemiz doğalgaz sektöründe de etkin rol oynayan şirketlerin çalışmalarına örnek olması bakımından, Fransız kamu şirketi olan GF (Gaz De France)'nin çalışmaları dikkat çekicidir. Malzeme üretimi ve ikmali konularında 1946 yılında kurulmuş GF halen Fransa'daki gaz nakil ve dağıtım şebekesinin hemen hemen tamamından sorumlu durumdadır [5,11].

1946'dan bu yana, bir yanda gaz tüketiminin artması diğer yanda doğal gazın kullanılmaya başlanmasına paralel olarak doğal gazı yük merkezlerine aktaracak yüksek basınçlı nakil sistemlerinin gündeme gelmesi GF'yi orta basınçlı dağıtım sistemlerine yönelik bir teknik tasarlama ve geliştirmeye sevk etti ki bu, 4 bar orta basınç dağıtım tekniği olarak bilinmektedir [5].

Bu tür orta basınçlı sistemlerde ilk başlarda sargılı, alın kaynaklı çelik borular kullanılıyordu. Mekanik özellikleri itibariyle çelik bu amaç için yeterli olmakla

birlikte, uygulamada başta korozyon sorunu olmak üzere bir çok sorunu da beraberinde getiriyordu.

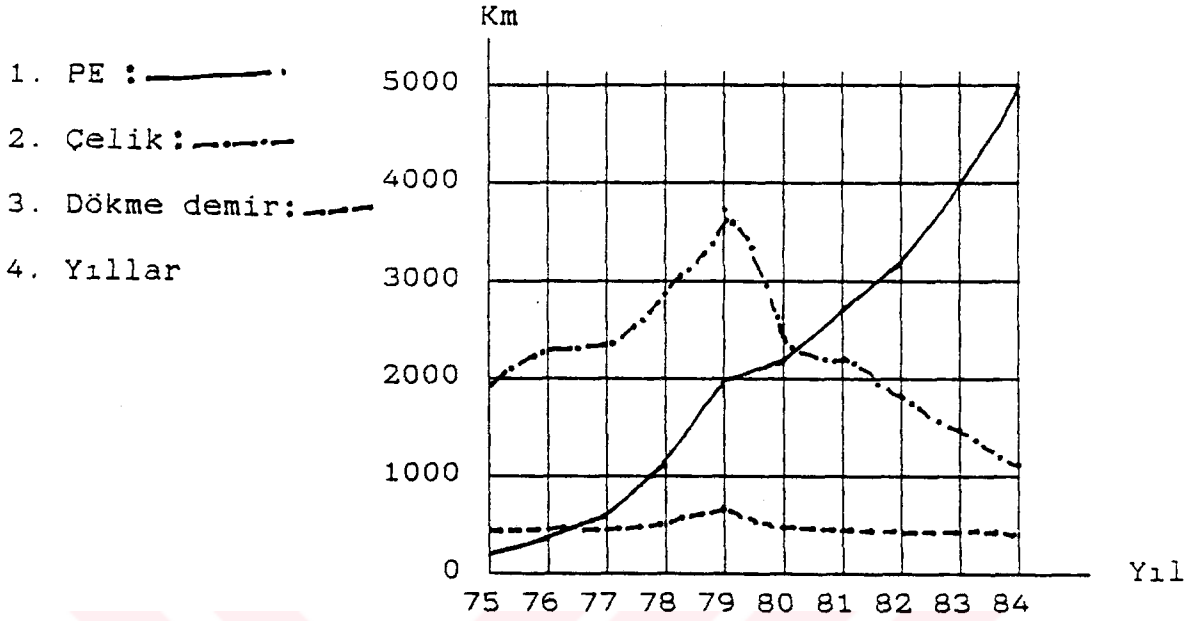
Bu durumda amaç, iyi mekanik özelliklere sahip ama aynı zamanda (dağıtım maliyetlerinin azaltılmasına imkan verecek) korozif olmayan malzemeler bulmaktı. PVC (polivinilklorür) üzerinde ilk deneyler ortalama 30 yıl önce yapıldı. Ancak karşılaşılan güçlükler (özellikle servis borularının fazla gevrek olması) GF'yi 1971'de PVC'yi bir yana bırakmaya sevk etti. Ardından 1930'lu yılların sonunda keşfedilen ve başka sahalarda kullanılan polietilen üzerinde çok önemli çalışmalar yapıldı. GF de PE (polietilen) ile ilgili olarak yürütülmekte olan çalışmalar üzerinde yoğunlaşmaya başladı.

Laboratuvar deneylerini ve kontrollü bir geliştirme işlemini takiben 1975 yılında servis borularında (20 ve 40 mm gibi küçük çaplı borular) PE kullanımına izin verildi. Boru bağlantılarında ise henüz mekanik fittingsler kullanılıyordu [5].

Aynı sıralarda GF, çapı (nominal dış çap) 125 mm'ye kadar olan PE borularından yararlanarak gaz dağıtım sistemleri inşa etme konusunda eksiksiz bir teknik geliştirmek için çaba gösteriyordu. Bu, büyük çaplı boruların kullanımında karşılaşılan tüm sorunların üstesinden gelebilecek, elektrofüzyon fittingsler yardımıyla ek yapılabilecek ve çalışmaların (bağlantı yapma, tapalama vb.) işletme basıncı altında yürütülebilmesine imkan verecek bir teknik olmalıydı [5].

Söz konusu teknik 1979 yılı itibariyle kullanıma hazır hale getirilmişti ve GF aynı tarihte onun tüm Fransa'da kullanılabileceğini açıkladı. Bugün halen dağıtım hatlarında en fazla kullanılan boru tipi PE borudur. Bu trend hakkında bir fikir vermek için Fransa'da yıllara göre kullanılan boru tiplerinin değişimi Şekil 4.1'de verilmiştir [5].

Bugün halen ülkemizde gaz kullanan beş şehrimizde (Ankara, İstanbul, Bursa, İzmit, Eskişehir) doğal gaz dağıtımını polietilen borularla yapılmaktadır.



Şekil 4.1: Fransa'da yıllara göre kullanılan boru tiplerinin değişimi.

4.2. Ölçü ve Değerler

Orta basınç B şebekelerinde çeşitli ölçü ve değerlerin tesbitinde şu noktalar baz alınır: Şebeke fiili tasarım basıncı 4 bar olmalı ve debi değerleri, ilerde şebeke genişletmeleriyle gündeme gelebilecek (tasarım çalışması döneminde öngörülen) durumları karşılamaya imkan vermeli [5,14].

Bu tür sağlıklı bir şebekeyi besleyen bir regülatör istasyonu tesisi için, tasarım çalışması dönemindeki öngörülerini de dikkate alarak, şebeke üzerindeki en elverişsiz nokta için % 2 lik bir risk payıyla en az 1 barlık basınç değeri hesaplanmalıdır.

Her koşul altında asgari boru çapları şöyledir ;

- İkincil şebekelerde : 100 mm.
- Gömülü üçüncül şebekelerde : 32 mm.
- Yerüstü üçüncül şebekelerde : 25 mm.

4.2.1. İkincil Şebekeler

Olağan hizmetlerde bu şebekelerin işletme basınçları 4 bar veya altındadır. Şebekeyi oluşturan borular gaz nakli ve dağıtımı gibi çifte işlev görür. Üçüncül hatların beslenmesine ve birbirine bağlanması sağlarlar. Bir veya bir kaç besleme kaynağından beslenebilirler ki bu kaynaklar ;

- Bir teslimat istasyonu ya da
- Bir regülatör istasyonu olabilir.

İkincil şebekeler, uzun vadede çapraz bağlanması planlanan şebekelerdir. Ebad ve çapları çeşitli kısıtlara ve gelecekteki muhtemel durumlara cevap verebilecek şekilde ve ilaveten uzun vadede ring ya da lup yapılması düşünülmeyen birincil hatlar gözönüne alınarak hesaplanır. Bir veya birkaç kaynaktan beslenebilen bu şebekelerin temel işlevleri şunlardır: 1.) Nakil, 2.) Üçüncül şebekelerin beslenmesi, 3.) Üçüncül şebekelerin başladığı düğüm noktalarının birleştirilmesi, 4.) Müşteri servis hatlarının mahallinden beslenmesi [5].

4.2.2. Üçüncül Şebekeler

Olağan hizmetlerde işletme basınçları 4 bar ya da altındadır. Şebekeyi oluşturan boruların işlevi müşteri servis borularının mahallinden beslenmesidir. Üçüncül şebekeler bir ve sadece bir düğüm noktasından beslenirler ve ilke olarak ne fiilen ne de gelecekte gaz naklinde kullanılmak üzere tasarlanmazlar. Bu boru şebekeleri hiçbir durumda ring veya lup yapılmazlar, yegane işleri mahalli müşteri servis borularının beslenmesidir [5].

4.3. Gaz Şebeke Yapıları

- İkincil şebekeler uzun vadede lüp yapılabilir.
- Üçüncül şebekelerden branşman alınabilir.
- Şebeke bir bütün olarak, tüm besleme kaynaklarının hizmette olduğu % 2 lik iklim risk sıcaklığında kendisinden beklenen işlevleri yerine getirmelidir.
- Şebekenin yapısı, tasarımına bağlı olarak basit veya karmaşık olabilir.

İşletme kolaylığı açısından bir mahalle / kasaba şebekesi basit tipte olmalıdır. Tesislerin karmaşıklığı yüzünden karmaşık tip şebeke yapımına ihtiyaç duyulursa, operatör, çeşitli “işletme sektörleri” oluşturmaya karar verebilir. Büyük kentsel bölgelerde şebeke işletmesi, uzaktan ölçme ve çalışma sistemlerini gerektirebilir [5].

4.3.1. Basit Yapılar

20.000-30.000 müşterili kentsel bölgelere uyarlandığı biçimiyle basit yapılı şebekeler bünyesinde şunlar yer alır: 1.) Belirli sayıda gaz kaynağı (genellikle bir ya da iki) :a.) Teslimat istasyonları, b.) Sıvılaştırılmış doğal gaz depoları, 2.) Muhtemelen bir birincil şebeke, 3.) İkincil ve üçüncül şebekeler [5].

4.3.2. Karmaşık Yapılar

Önemli kentsel bölgelere uyarlanmış biçimiyle karmaşık yapılar bünyesinde en az iki besleme istasyonu, bir birincil şebeke ve birkaç ikincil ve üçüncül şebeke yer alır [5].

4.4. Şebekenin Tahliyesi

Bir şebekeye tahliye düzenekleri koymaktan amaç, boru hattının izole edilmesinden sonra şebekenin hızla boşaltılarak basınç altından kurtarılmasıdır. Boşaltma işleminde tahliye boruları ve doğrudan açık havaya yada düşük basınçlı (çap olarak tahliye edilen gaz miktarını göğüsleyebilecek) bir şebekeye açılır.

Tahliye işlemi izolasyon aygıtı yakınındaki şebeke bölümü üzerinde yer alan tahliye (blow-down) vanalarından (çapı 150 mm ya da daha fazla olan borularda), küçük boşaltma vanalarından, purge tertibatlarından, sayaç kutuları veya bölge regülatörlerinden yapılabilir. Bu tür vana tertibatlarının yerleştirilmesinde dağıtım şirketi emniyet şubesinin koyduğu kurallar mutlaka dikkate alınmalıdır [5] .

4.5. Basınç Tanımları

- İşletme Basıncı (P_e) : Tesisin normal işletme basıncıdır ve işletme koşullarına bağlı olarak değişir.
- Azami İşletme Basıncı (P_{me}), (4 bar): Aşağı tarafta kalan kısmın gaz basınç ayarını yapan düzeneklerde herhangi bir ayar bozukluğu, arızalanma ya da hizmet dışı kalma gibi bir soruna yol açmaksızın, normal işletme koşulları altında şebekede ulaşılabilecek en yüksek fiili dağıtım basıncıdır.
- Direnç Testi Basıncı (P_{DT}), (6 bar): Normal işletme koşulları altında azami işletme basıncının 1.5 katına eşit basınç değeridir [5].

4.6. Basınç Sınıflandırması

Her ülkede gaz taşımacılığını ve/veya dağıtımını yapan firmalar (veya kuruluşlar) ayrı olarak kendi tekniğinin gereklerine ve imkanlarına göre dağıtım sisteminin esaslarını, sınıflarını ilk yatırım, işletme şartları, güvenlik vs gerekçelere göre

belirlemektedir. Aşağıdaki Tablo 4.1'de çeşitli ülkelerde gaz dağıtım ve taşımacılık işlemlerini yürüten kuruluşların belirlediği basınç aralıkları ve sınıfları görülmektedir.

Öncelikle firmalar müşterilerine gazı kullanım basıncında (alçak basınçta) veriyorlardı. Gaz dağıtımında kullanılan tekniklerdeki gelişmeler neticesinde bugün çok yüksek basınçlarda getirilebilen gaz müşterilere kullanım basıncına düşürülerek verilmektedir [5].

Tablo 4.1: Gaz basınçlarının sınıflandırılması.

Firma Sınıflandırma	British Gaz (İngiltere)	WFC (E:G)	Gaz de France (Fransa)	TG (Japon)
Yüksek Basınç	7 Bar	16 Bar	19.2 Bar	10 Bar
Orta A	7-2 Bar	16-4 Bar	19.2-4 Bar	10-3 Bar
Basınç B	2-0.075 Bar	4-1 Bar	4-0.4 Bar	3-1 Bar
C	-----	1-0.1 Bar	0.4-0.05 Bar	----
Alçak Basınç	0.075 Bar	0.022 Bar	0.05 Bar	Bar

4.7. Dört Bar Orta Basınç Dağıtım Tekniği

Bu teknik varlığını, yüksek basınçlı doğal gaz nakil sistemlerine borçludur. Geleneksel düşük basınçlı sistemler karşısında birçok üstünlüğü vardır:

- Sistemde oluşturulan basıncın muhafazası sayesinde işletmede esneklik
- Bireysel bir regülatör yardımıyla müşteriye sabit basınçta gaz sunulması sayesinde, hizmet kalitesinde yükselme,
- Regülatörün yukarı tarafındaki basıncın yetersiz olması yada aşağı tarafındaki basıncın fazla yükselmesi halinde regülatör kapandığı için, gelişmiş bir güvenlik,

- Bu teknikle elde edilen basınç sayesinde, çapı daha küçük ama nakil ve besleme kapasitesi yüksek borularla donatılmış yeni tesisler inşa edilebildiği için, tasarruf imkanı [5].

4.8. Dört Bar Polietilen Tekniğinin Özel Vasıfları

Orta basınçlı şebekelerin inşasında modern ve ekonomik çözüm olan PE boru kullanılmaktadır. Teknik, PE'nin hafiflik esneklik ve korozyondan etkilenmezlik gibi özel niteliklerinden azami yararlanma üzerine kuruludur.

Bu orjinal tekniğin temel özellikleri şöyle sıralanabilir:

- Yüksek uzunlukta boru kullanımına imkan vermesi,
- Polietilen elektrofüzyon fittingsleri yardımıyla ek yapılabilmesi.

Önerilen yöntemlere ilaveten malzeme kalitesinin de yüksek olması, bu tekniğin güvenliği son derece yüksek bir teknik olmasını sağlar [5].

4.9. Polietilen Borular

1950'li yıllarda bir yanda Prof. Ziegler, diğer yanda Philips şirketi, birbirinden habersiz olarak, dev bir polietilen ailesinin doğmasıyla sonuçlanacak ve gaz dağıtım şirketlerinin faaliyetlerinde büyük değişiklikleri gündeme getirecek polimerizasyon süreçlerini keşfettiler.

Polietilen boruların hafif, esnek, düşük sıcaklıklarda eriyebiliyor olması, boruların uzun mesafeler boyunca döşenebilmesine ve elektrik kaynağı gibi hem kolayca, hem de otomatik olarak yapılabilen kaynak tekniklerinin kullanılabilmesine izin veriyordu. Bu kullanım kolaylığına ilaveten, gaz dağıtım şirketlerinin ana uğraşlarından biri olan korozyon sorununu da tümüyle ortadan kaldırılıyordu [5].

PE'nin kıvamlı-elastik (viscoelastic) davranışı ayrıca, yeni bir kapıyı da aralıyor, şebeke tasarımında dikkate alınması şart olan şebeke ömrü sorununa getirdiği çözümle uzun vadeli bir güvenilirlik garantisi sağlıyordu ki; genelde gaz dağıtım şebekeleri en az 50 yıl olmak üzere tasarlanır. Fakat 100 yıl gibi süre içinde tasarımlanabilmektedir.

4.9.1. Boruların İmalinde PE Reçine Seçimi

Günümüzde yapıları farklı ve dolaysıyla fiziksel ve mekanik özellikleri birbirinden çok farklı birçok PE türü imal edilebilmektedir.

PE'nin mekanik davranışının tüm özelliklerini eş zamanlı olarak optimum hale getirmek çok zordur. Bu yüzden Polietilenin farklı özelliklerini öne çıkartan bir çok reçine düzenlemesi bulunmaktadır. Gaz borusu başta olmak üzere genel olarak boru amaçlı uygulamalarda şu özelliklere sahip reçineler kullanılır:

Yüksek veya orta yoğunluklu: $0,930 - 0,950 \text{ g/cm}^3$ (23 °C 'de nominal yoğunluk)

Erime endeksi düşük: $0,40-1,20 \text{ g/10 dk.}$ (190 °C'ta ve 5 kg altında ölçülen değer)

Moleküler ağırlık dağılımları son derece geniş. Avrupa pazarından temin edilecek gaz borusu reçinelerinin yapıları birbirine oldukça yakındır fakat, mekanik davranışları önemli farklılıklar gösterir [1,5].

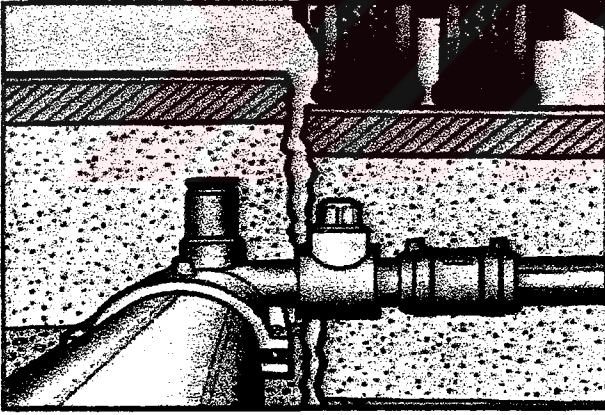
4.9.2. Reçine ve Borular

Borular, uluslararası standartlara uygun olarak A veya B tipi yüksek yada orta yoğunluklu PE reçinelerinden imal edilirler. Bu reçineler 20 C sıcaklıkta, 5 Mpa'lık bir basınç gerilmesine, herhangi bir sorun çıkarmaksızın 50 sene boyunca dayanabilirler.

Reçine seçimine yalnızca mekanik ölçütler zemininde karar verilir. Reçine ergime endeksinin 0,3-1,4 aralığında olması halinde bu seçim, ilke olarak, reçinenin sıvı hal viskositesine bağlı değildir. Boru ve ekler ergime endeksleri bu aralıkta kalan reçinelerden yapıldığı için elektrofüzyon kaynak tekniğinin uygun olmaması gibi bir durum yoktur [5].

Borular 5 serisindendir (PN 10 = SDR 11). Boru çaplarına karar verilirken aşağıdaki noktalar göz önünde bulundurularak büyük bir emniyet payı koyulur. Şöyleki;

- Belli doğal gazlarda bulunması muhtemel çığlenme sularının zararlı etkileri,
- Borunun döşeme sırasındaki dış gerilmelere (bükülme ve zorlamalar, dolgu maddelerinin ağırlığı vb.) dayanması için gerekli pay. Şekil 4.2'de dış gerilmeli boru gösterilmektedir [5,18].

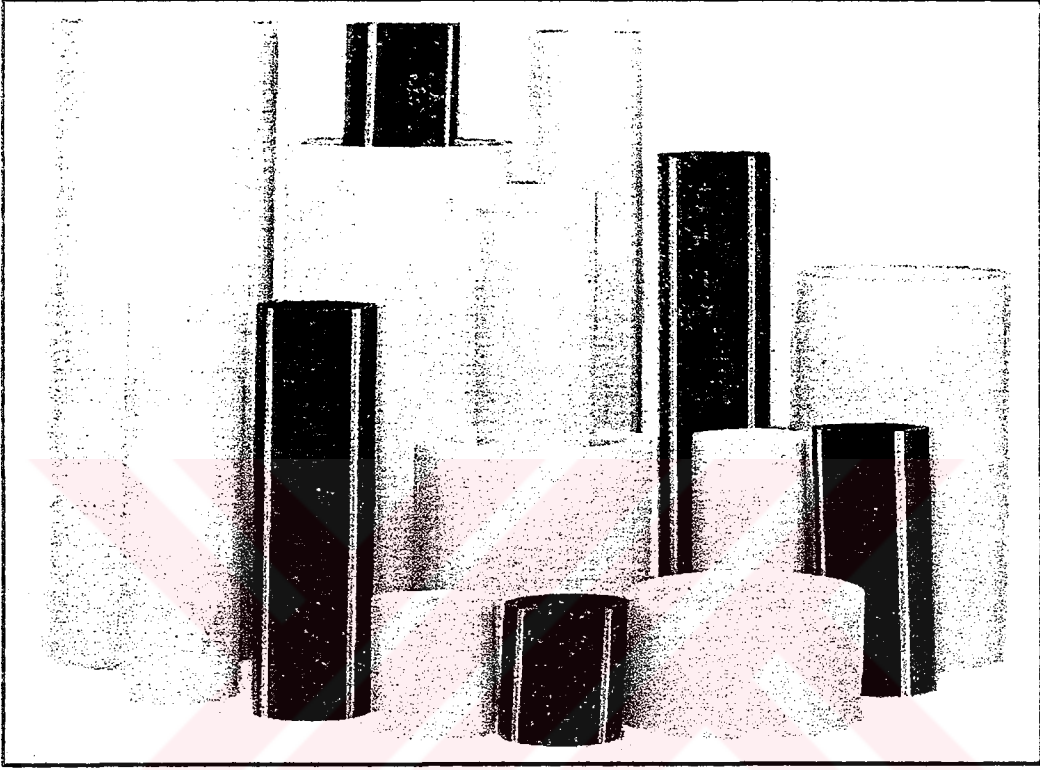


Şekil 4.2: Dış gerilmeli boru

Emniyet payı 50 yıl boyunca 2,5 kat daha fazla gerilmeye dayanabilen 4 Mpa boruların kullanılmasından ibarettir.

Gaz dağıtımında kullanılan borular genelde siyah renklidir (mor ötesi ışınlarla karşı – anti UV- en iyi korumayı sağladığı için izin verilen tek boya maddesi karbon

siyahıdır) ve üzerinde yumuşak haldeyken yedirilmiş işaret amaçlı sarı çizgiler vardır (Şekil 4.3). Bu borular, “4 bar PE gaz borularında imalat sırasında yapılması gereken muayene ve onay testlerini (yöntemlerini, sayısını, sıcaklığını, özelliklerini) tanımlayan standartlara uygun olmalıdır [5,17].

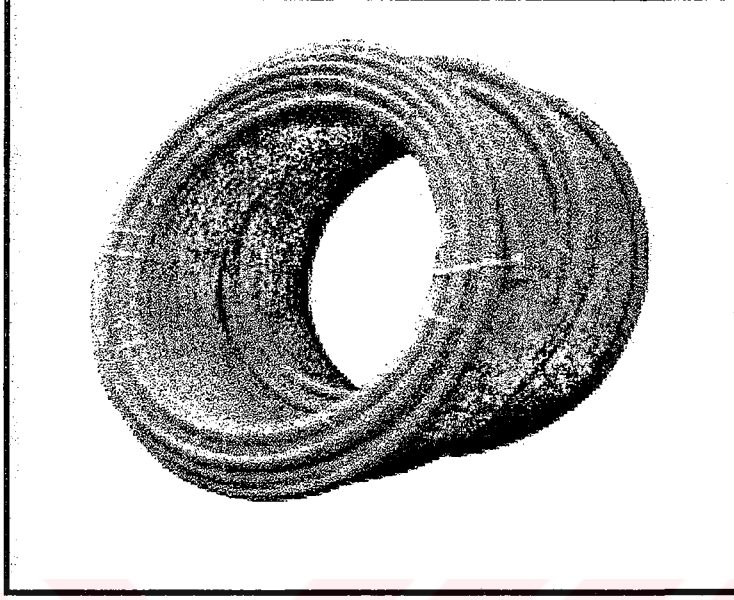


Şekil 4.3: Sarı ve siyah imal edilen değişik çaplarda PE borular.

Standartlara göre kabul edilen nominal dış çap ve ona karşılık gelen et kalınlıkları (mm) şöyledir:

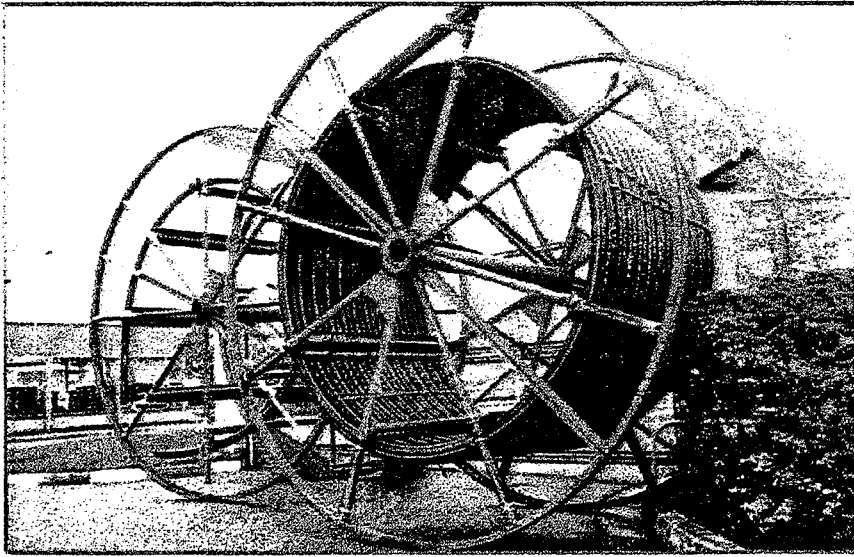
- Servis boruları için: 20/2,0 - 32/2,9 - 40/3,7
- Ana sistem için 40/3,7 - 63/5,8 - 90/8,2 - 110/10,0 -125/11,4 polietilenin esnek olması bu boruların ($\varnothing$ 63-125 mm arası), kangallar halinde, değişik kablo kasnaklarına sarılabilmesine izin verir. O yüzden PE borular sahaya istenilen uzunlukta sevk edilebilirler. (örneğin bir kablo kasnağına 300 metreden fazla 110 mm’lik boru sarılabilir.)

Bir kangal boru en fazla 50 Kg ağırlığında olduğundan, indirme, bindirme ve taşınması oldukça kolaydır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4: Kangal PE borular

Kablo kasnaklarının ebadları, borunu asgari sarılabilme çapı (dış çapın 20 katı) baz alınarak ve nakliye sırasında her hangibir özel tedbiri gerektirmeyecek şekilde ayarlanır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5: Kasnağa sarılmış PE boru

4.10. Mekanik Gerilmeler ve Polietilenin Uzun Vadeli Davranışı

Yeni bir ekipmana optimal bir yapı kazandırmak demek; onu, öngörülen ömründen önce deformasyona uğramasına yada kopmasına yol açacak mekanik etkilere dayanıklı bir tarzda tasarlamak demektir.

Metal malzemelerin tasarımında, malzeme azgari gerilme değerini onun ilerde maruz kalacağı muhtemel azami gerilme değerlerinden yüksek tutulması bu amaç için yeterlidir.

PE'de bu iş son derece karmaşıktır ve uzama gerilmesine yada deformasyona maruz kaldıklarında PE malzemeleri karakterize eden çatlama, sünme / büzülme ve gevşeme gibi olayların hesaba katılmasını gerektirir [5].

Mekanik yasalar bu olayları çözümlemek için bilgisayar modelleri kullanılmasını mümkün kılmakla beraber, hepsi de laboratuvar testlerine dayanan çeşitli yaklaşımlar mevcuttur. Bunlar esas olarak çatlama mekaniğini konu almakta ve yayılma hızlarına göre çatlakları ikiye ayırmaktadırlar [5].

4.10.1. Yavaş Gelişen Çatlaklar

Kusursuz bir şekilde imal edilmiş bir borunun çeperlerinde, mikroçatlak olarak değerlendirilebilecek çok küçük defolar vardır (malzemenin heterojen olması karbon siyahı, oksitlenmiş polimerler vb). Boru çeşitli gerilmelere maruz kaldığında bunlar zamanla gelişme istidadı gösterirler.

PE boruların yavaş çatlama mukavemetini saptamakta kullanılan sayısız test vardır. Şimdilerde en çok kullanılan test, özel bir hazırlık (kesme, çentme) gerektirmeksizin borunun doğrudan test edilmesine imkan vermek gibi bir üstünlüğü olan, hidrolik

basınç testidir. Hidrolik basınç testinde boru belirli bir sıcaklıkta belirli ve sabit bir iç basınca tabi tutulur [5].

4.10.2. Hızla Yayılan Çatlaklar

PE boru hatlarının hızla yayılan bir çatlak (200 m/s) sonucu kopmasına dair son derece belirsiz çeşitli bilgiler mevcuttur.

Fakat 4 bar'lık dağıtım şebekelerinde PN 10'luk ($D/e=11$) PE borularının kullanılmasından bu yana herhangi bir hızla yayılan çatlak olayı ile karşılaşılmamıştır. Bu türde meydana gelen çatlakların mekaniği hakkında henüz çok az şey bilinmektedir ve konu ile ilgili sayısız çalışma yapılmaktadır. Belirli ülkelerde daha risksiz işletme koşulları ve malzemelerin saptanmasına yönelik çeşitli yaklaşımlar kullanılmaktadır. PE üzerindeki işletme koşullarından ileri gelen gerilmeleri dört dörtlük değerlendirmek ve PE kritik gerilmesini tam olarak ölçmek zordur. Ancak yapılan çalışmalar, PE'nin kritik gerilme eşiğinin çok yüksek olduğu ve yalnızca kötü yapılmış eklerde karşılaşılabileceğini göstermektedir [5].

4.11. PE Boruların Tasarımı

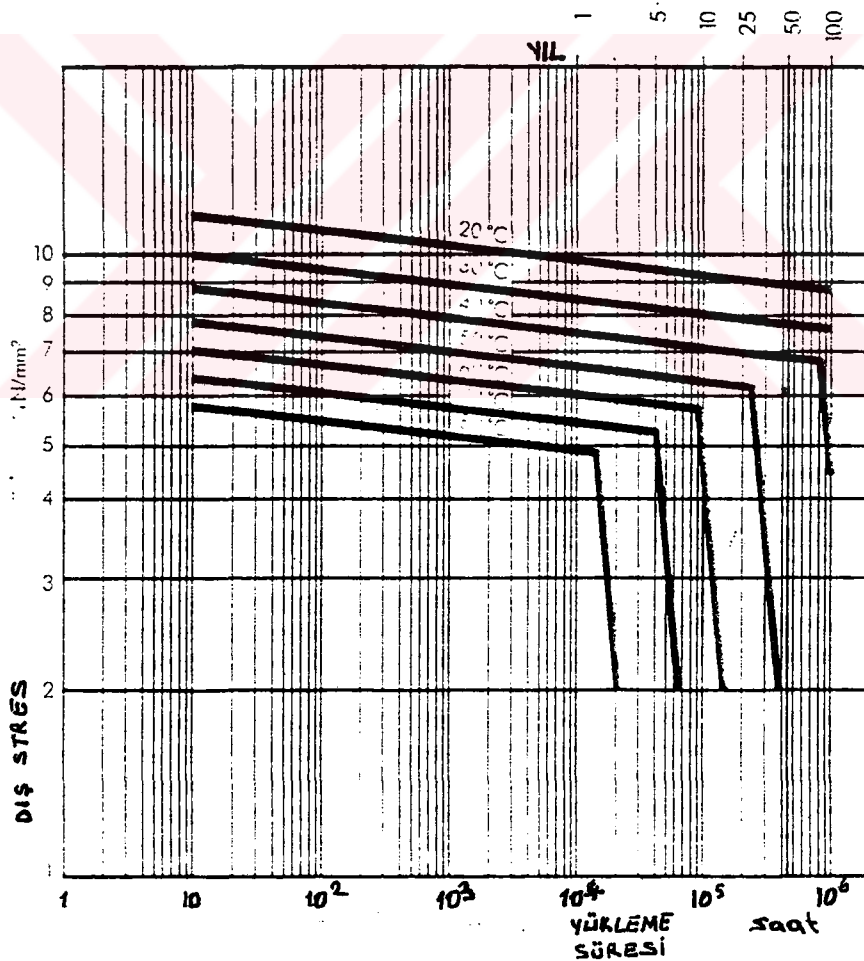
Boruların işletme koşullarında maruz kaldığı gerilme düzeyleri yalnızca yavaş tip kopmalara yol açar. O yüzden boruların tasarımında hidrolik basınç testi sonuçları esas alınır, ancak şu noktaları göz önünde bulundurarak büyük bir emniyet payı bırakılır:

- Belli gazlarda bulunması muhtemel bazı çığırma sularının olumsuz etkileri,
- Boruların işletme koşullarıyla bağlantısı olmayan gerilmelere dayanması zorunluluğu,
- Endüstriyel boru imalatının realiteleri,

Bu emniyet payı, laboratuvar koşullarında 20 °C'ta, 50 yıl boyunca 2,5 kat daha büyük gerilmelere dayanabilen boruların kullanılmasından ibarettir [5].

4.11.1. Etkili Güvenlik Faktörünün Hesaplanması ve İzinverilebilir İşletme Basıncı

Güvenlik faktörünün ve izinverilebilir işletme basıncının hesaplanması, bir malzemenin uzun dönemde kopma streslerinin bilinmesi için gereklidir. Şekil 4.6, PE MRS 80 için bir grafikdir. Bu grafik uzun dönemli kopma stresi K 'nın istenilen işletme ömrü ve çalışma sıcaklığına göre okunmasını sağlar +GF+ (George Fischer) fittingslerin ve valflerin et kalınlığı eşit basınç oranlarındaki borularda genelde daha incedir. Tüm hesaplamalar temelde boruların çap ve et kalınlığına göre yapılır [14].



Şekil 4.6: MRS PE 80 'den imal edilen plastik borular için ömür grafiği

Etkili güvenlik faktörü şu formül ile verilebilir:

$$C = \frac{K.20.e}{p.(d - e)} \quad (4.1)$$

Burda ;

C : Güvenlik faktörü

K : Karşılaştırılmalı stres, N/mm²

e : Verilen basınç oranında borunun et kalınlığı, mm

d : Borunun dış çapı, mm

p : Çalışma basıncı, bar

20 : Sabit

Anlaşılması bakımından bir örnek yapılabilir, şöyle ki;

Beklenen işletme ömrü : 20 yıl

Max. çalışma basıncı : 8 bar

Max. çalışma sıcaklığı : 40 °C

Malzeme : PE MRS 80

Beklenen basınç oranı : S5

Boru ölçüleri : 63 x 5.8 mm

Karşılaştırılmalı stres : K₂₀ Şekil 4.6 'dan 7 N/mm²

$$C = \frac{7.20.5,8}{8.(63 - 5,8).1,6} = 1,76 \geq 1,6$$

Benzer şekilde, max. izinverilebilir çalışma basıncını yukarıda belirtilen formülü şu formda kullanarak bulabiliriz.

$$P = \frac{20.e.K / C}{d - e} \quad (4.2)$$

yukarıdaki örnek bu formül kullanılarak hesaplanabilir. Fakat PE MRS 80 için güvenlik faktörü 1.6 alınmalıdır.

$$P = \frac{20.5,8.7}{(6,3 - 5,8).1,6} = 8,9 \text{ bar}$$

4.11.2. Plastik Boruların Basınç Oranına Göre Seçimi

Termoplastik boruların, uygulanan iç basınca göre boyutlandırılması mukavemet gereksinimine göre olup şu formülle hesaplanır.

$$e = \frac{p.d}{20.\sigma_{per} + p} \quad (4.3)$$

Burada;

e : boru et kalınlığı, mm

d : borunun dış çapı, mm

p : çalışma basıncı, bar

$\sigma_{Per.}$: izinverilebilir karşılaştırmalı stres (σ_s/C), N/mm²

20 : sabit

σ_s : izinverilebilir hesaplanan stres (MRS/10)

Standardlarda listelenmiş tüm boru boyutları bu formüle dayanır. Yalnızca küçük çaplarda sapmalar olur, bundan dolayı piratikde ve imalat tasarımlarında minimum et kalınlığı dikkate alınır [14].

İzinverilebilir çevresel stres kullanılan malzemeye bağlıdır, her ülkede bunlar aynı değildir. Genelde çok kullanılan değerler (20 °C ve 50 yıl ömür için) şöyledir;

PE MRS 80 $\sigma_{Per} = 5 \text{ N/mm}^2$

PCC-U $\sigma_{Per} = 10 \text{ N/mm}^2$

PP $\sigma_{Per} = 5 \text{ N/mm}^2$

PVDF

$$\sigma_{Per} = 16 \text{ N/mm}^2$$

Borular, fittingsler ve vanalar düzenli bir kritere göre seçilebilmesi için, standard basınç oranlarına göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma “nominal basınç” olarak tanımlanır ve uluslararası kullanımı yaygındır [14].

Nominal basınçta izinverilebilir basınç değeri bar olarak 20 °C de belirtilir. Bu kural şöyledir ki; aynı oranlı basınç bileşenleri ve aynı nominal çapta aynı birleşme boyutlarına sahiptir. Bunlar özellikle vanalar ve fittingsler için önemlidir.

Termoplastik borular için geliştirilen ve pratik olarak kullanılan bazı tanımlamalar mevcuttur, bunlar aynı basınç kapasiteli borular için kullanılmak üzere geliştirilmiş nötr basınç tanımlarıdır. Bu da boruların farklı alanlarda ve değişik durumlarda kullanılmasını önler. Kısaca, işin durumuna göre boru seçimi sağlanmış olur [14].

ISO 4065 boruları basınç oranlarına göre sınıflandırır. Böylece aynı basınç oranına ve seri numarasına sahip borular piyasada kullanılan nominal basınca göre de ayrılmış olur. Bu seriler “ S “ harfi ile gösterilir [14].

Seri numaraları şu formül ile belirlenir;

$$S = \frac{10 \cdot \sigma_{adm}}{p} = \frac{d - e}{2 \cdot e} \quad (4.4)$$

Burada S boyutsuz bir büyüklüktür. 110x10 mm PP boru için kısa bir örnek yazılabilir. Her iki formülle de aynı sonuca varılmış olur.

$$S = \frac{10.5}{10} = 5 \approx \frac{110 - 10}{2 \cdot 10} = 5$$

Sonuç olarak; çapı 110 mm ve et kalınlığı 10 mm olan bir boru S5 serisine girmiş olur.

Amerika Birleşik Devletleri'nde yaygın olarak kullanılan diğer bir sınıflama da "SDR" dir. SDR standard boyut oranı belirtmekte ve PE borularda çapın et kalınlığına oranını göstermektedir. Formülize edilirse şöyle göstermek mümkündür [14].

$$SDR = \frac{2 \cdot \tau_{HTG}}{p} + 1 = \frac{d}{e} \quad (4.5)$$

Burada;

d : Ortalama boru dış çapı, mm

e : En küçük cidar kalınlığı, mm

τ_{HTG} : Hidrostatik tasarım gerilmesi, Mpa

p : İşletme basıncı, Mpa

Hidrostatik tasarım gerilmesi, boru bağlantı parçası cidarının sürekli bir hidrostatik iç su basıncı altında dayanabileceği tahmin edilen en büyük çevre gerilmesidir .

SDR; TS 6270/ Nisan 1993 Standardına göre SBO (Standard Boyut Oranları) olarak tanımlanmıştır. Ayrıca S serileri ve SDR aşağıda gösterilen formülle de birbirine bağlanır [14,20].

$$SDR = 2 \cdot S + 1 \quad (4.6)$$

Yukarıda yapılan örnek bu formülde de uygulanacak olursa şu sonuca varılır;

$$SDR = \frac{110}{10} = 11 = 2 \cdot 5 + 1$$

Bu üç standardı da (PN, S ve SDR) ticari olarak görmek ve kullanmak mümkündür. PE fittingsler ve borular için bazı örnek sınıflandırmalar Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2: PN, S serisi ve SDR ye göre örnek tablo

Nominal Basınç	PN 6	PN 10	PN 16
Seriler (ISO 4065)	S 8	S 5	S 3.2
SDR	17 (17.6)	11	7.4

Doğal gaz tesisatlarında yaygın olarak kullanılan PE boru boyutları Tablo 4.3'de verilmiştir. Anma dış çapı 40 mm'den küçük olan borularda asgari et kalınlığı, SBO (SDR) formülü ile hesaplanan değer, 2 mm veya 3 mm değerlerinin hangisinin altında ise, o değere tamamlanarak bulunur [14].

Tablo 4.3: Sıklıkla Kullanılan PE Boruların Anma Boyutları

Anma Dış Çapı DN mm	Et Kalınlığı, t, mm		
	Standard Boyut Oranı (SBO - SDR) ve eşdeğeri		
	17,6	17	11
	S 8,3	S 8	S 5
25			
32			
40	2.3	2.4	3.7
63	3.6	3.8	5.8
90	5,2	5.4	8.2
110	6.3	6.6	10
125	7.1	7.4	11.4

4.11.3. PE Boru Boyut Seçimi

Aşağıda gösterilen formül; yaklaşık olarak gerekli boru boyutlarını, belirli bir gaz debisinde hesaplamak için kullanılır.

$$d_i = 18,8 \sqrt{Q_1 / v \cdot d_1} \quad (4.7)$$

veya;

$$d_i = 35,7 \sqrt{Q_2 / v} \quad (4.8)$$

Burada;

- v : akış hızı, m/s
d : boru iç çapı, mm
Q₁ : akış debisi, m³/s
Q₂ : akış debisi, m³/s

Kullanılmak istenen boru çapına göre akış hızı yaklaşık bir değer olmalı. Standardlarda akış hızları için şu değerler verilmiştir. Sıvılar; v = 0,5-1,0 m/s (vakum için), v = 1,0-3,0 m/s (taşıma için), gazlar; v = 10-30 m/s olarak verilmiştir. Boru çapı hesaplarında hidrolik kayıp hesapları dahil edilmez. Bunlar özel hesaplamalar gerektirir [5,14].

4.12. Polietilen Boru İmalatı

İyi bir boru imal etmek için iyi bir reçine zorunlu ama yeterli değildir. Gerçekten de, imalatı sırasında geçirdiği termodinamik tarih (zaman, hız, basınç ve sıcaklık) boruya , onun davranışlarını büyük ölçüde belirleyen özel morfolojiye (zincirin yapısı ve konumlanması, kristallik, iç gerilmeler) sahip bir madde kazandırır. Boru imalatı üç hassas işlemi gerektirir. Maddenin eritilmesi, ekstrüzyon şekillendirme ve soğutma. Tazyikle (screw) yapılan eritme silsile halinde ve homojen olmalıdır. Son sıcaklık çok yüksek olmamalı (yoksa oksidasyon sonucu maddenin bozulması zincirlerin kopması, yada çapraz bağlantı oluşumu gibi tehlikeler baş gösterir.) ama maddeyi tam kıvamında sıvılaştıracak kadar yüksek olmalıdır. Biçimlendirme ve soğutma süreçleri, özel bir makro-moleküler yapı elde etmek, iç gerilmeleri

gidermek ve böylece borunun kalitesini artırmak için özel ekipmanlara ve hassas çalışma tarzlarına ihtiyaç duyar. PE boru imalat teknolojisi ile ilgili detay bilgiler Bölüm 1’de Termoplastiklerin Şekillendirilmesi, Ekstrüzyon alt başlığıyla verilmiştir [1,5].

4.13. Polietilen Borunun Özellikleri

PE boruların özelliklerini üç başlık altın incelemek mümkündür.

- Fiziksel özellikler,
- Kimyasal özellikler,
- Mekanik özellikler.

4.13.1 Fiziksel özellikleri

Fiziksel özellikleri olarak şunların üzerinde durmak mümkündür; hacim kütle, doğrusal genişleme katsayısı, ısı özellikleri , mekanik özellikleri üzerinde sıcaklığın etkileri, elektriksel özellikleri, iklime bağlı yaşlanma, katalizörler, geçirgenlik, abrazyon (aşınma) direnci, esneklik, yangında davranışı.

4.13.1.1. Hacim Kütle

Daha önce de belirtildiği üzere gaz merkezli uygulamalarla ilgili seri 5 polietilenlerin 23 °C deki nominal hacim kütlesi alt sınırı $0,925 \text{ g/cm}^3$ olan bir yelpaze oluşturur. PE 5’in suya göre ortalama ağırlığı 0,95’tir; böylece özgül ağırlığı sudan daha hafif ve çelik ve dökme demirden sekiz kat daha hafif boruların yapılabilmesine imkan verir. Bu yönüyle PE 5, kanalizasyon yapımında önemli bir avantaja sahiptir [5].

4.13.1.2. Doğrusal Genleşme Katsayısı

Polietilen, yaklaşık 0,13 veya 0,20 mm/m/ °C'lık bir doğrusal genleşme katsayısına sahiptir ve bu çeliğin genleşme katsayısından 10 kat daha iyi bir değerdir. Bu yüksek değer bazan, gaz dağıtım şebekesindeki ana borulara yapılan dikey dirseklerin bel vermesini yada yer altı musluklarının deplase olmasını önlemek amacıyla alınan tedbirleri boşa çıkarabilmektedir.

Bununla birlikte, normal bir derinliğe gömülü kanalizasyonlarda, ortam sıcaklığı değişim aralığı oldukça zayıftır ve normal şartlarda yalnızca küçük oynama ve zorlamalara neden olabilir. Polietilen gerilmeleri gevşetme kabiliyeti ona, ısı kökenli gerilmelerin (constraints) büyük bir kısmını tekrar emme imkanı verir ki, bunlar malzeme üzerinde lokalize edilebilirler [5].

Kış aylarında bir donma riski olduğunda, borularda ki büzülme büyük olacaktır. Fakat polietilenin elastik bir malzeme olduğu dikkate alınır, polietilen boru ve bağlatılarda kırılma, çatlama söz konusu olmayacaktır. Bu özelliği onu geleneksel malzemelerden (dökme demir, çelik boru ve bağlantıları) ayırır. Sahip olduğu bu özellikle 0°C' nin daha altındaki sıcaklıklarda geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Polietilenin genleşmesi uzun boru hatlarında önemli bir parametredir. Genleşme miktarı hesabı aşağıda gösterilmiştir [5,15]:

$$\Delta L = L \cdot \Delta T \cdot C_{PE} \quad (4.9)$$

Burada;

ΔL : Boydaki uzama, mm

L : Boru boyu, m

ΔT : Sıcaklıktaki değişim, °C

Sıcaklığın artması boru boyunun artmasına neden olduğu gibi mekanik özelliklerindeki etkiler.

4.13.1.3 Isıl Özellikleri

Polietilen ısı iletkenliği düşüktür ($0,4 \text{ kcal.m.h } ^\circ\text{C}$); yani zayıf bir ısı ileticidir.

Ortalama özgül ısı $0,45 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ 'dir.

4.13.1.4 Mekanik Özellikleri Üzerinde Sıcaklığın Etkileri

Sıcaklık artışı, polietilenin az önce bahsettiğimiz türde önemli bir doğrusal genişlemeye uğramasına yol açtığı gibi, ayrıca, onun mekanik karakteristiklerini de etkiler, şöyle ki; ısıнын etkisiyle polietilen maddesi önce cam haline (sert ve gevrek), sonra geçiş haline (plastik, yumuşak), sonra kıvamlı-elastik hale (elastiklik yanında özlü, kıvamlı bir hal de kazanmasıyla karakterize edilen), en sonunda da sıvı hale geçer. Sıvı hali ortalama $130 ^\circ\text{C}$ 'ta ve kristalik halinin tüm maddeye yayılması ve onu bir sıvınıninkine benzer ve tamamiyle şekilsiz bir moleküler yapıya sokmasıyla ortaya çıkar. Daha yüksek sıcaklıklarda bu sıvının kıvamı giderek azalır, böylece örneğin boru imaline, ek yapımına yada $200 ^\circ\text{C}$ sıcaklıklarda kendisine polietilen kaynağı yapılmasına imkan verir [5].

4.13.1.5 Elektriksel Özellikleri

Polietilen çok iyi bir yalıtkandır ($20 ^\circ\text{C}$ 'ta direnci $10^{10} \Omega.\text{m}$). Bu vasıf ona, gömülü kanalizasyonlardan gelen ve doğal olarak toprağa akan elektrostatik yükleri biriktirme yeteneği kazandırır. Dahası, yalıtma gücünün yüksekliği nedeliyle elektrokimyasal korozyondan hiçbir şekilde etkilenmez, dolayısıyla da katodik koruma gibi bir şeye ihtiyaç göstermez. Buda yapılması gereken periyodik kontrollerin ortadan kalkması

korozyondan hiçbir şekilde etkilenmez, dolayısıyla da katodik koruma gibi bir şeye ihtiyaç göstermez. Buda yapılması gereken periyodik kontrollerin ortadan kalkması demektir. Polietilen borularda kullanılan PE50 tipi polietilen için fiziksel özellikler Tablo 4.4'de verilmiştir [5].

Tablo 4.4: PE50 Tipi polietilenin özellikleri.

<u>Özellikler</u>		Bükülme Sınırı	28 N/mm ²
Yoğunluk	0.953-0.955 g/cm ³	<u>Elektriksel Özellikler</u>	
Erime Endeksi	0.4 g/10 dak	Hacimsel Özdirenç	$>10^{16} \Omega\text{cm}$
Viskozite Endeksi	300 cm ³ /g	Yüzey Direnci	$>10^{13} \Omega$
<u>Mekanik Özellikler</u>		Dielektrik Gerilimi	700 Kv/cm
Akış Gerginliği	22 N/mm ²	<u>Isıl Özellikler</u>	
Akış Halinde Genleşme	%15	Lineer Genleşme Sabiti	$(1.7-2) \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$
Kopma Yüğü	32 N/mm ²	Isıl İletkenlik (20 °C)	0.43 W/m.K
Genleşme	%800	Yumuşama Sıcaklığı	127-131°C

4.13.1.6 İklima Bağlı Yaşlanma, Katalizörler

Polietilen, mor ötesi ışınlara (gün ışığı) ve ısıya karşı duyarlıdır. Mor ötesi ışınlar ve sıcaklık, PE moleküllerinin oksitlenme sürecini hızlandırır; ve bu süreç bazan onun mekanik özelliklerinde de değişmelere sebep olur ve daha sert ve daha gevrek hale gelmesine, dolayısıyla da boruların basınç altındaki ömrünün kısılmasına yol açar. Fakat bu olayın PE maddesini etkilemesi için, PE boruların (ki güneş ışığı altında ve fırtınalı açık hava koşullarında en az bir yıl stoklanmalarına imkan veren çeşitli katalizörler ile korunmuş durumdadırlar) bir yıl veya daha fazla bu tür açık hava koşullarına maruz kalabilmeleri gerekir. O yüzden, bu olay fazla abartılmamalıdır, polietilen bir kere gömüldükten sonra hem ısıdan hem de gün ışığından kesinlikle korunmuş demektir. Bu amaçla kullanılan katalizörler şunlardır:

Anti-oksidan ısı dayanaklılığı artırıcı (ısıya karşı koruma) katalizörler olarak, belirli kimyasal işlevlere sahip çeşitli organik moleküller; örneğin, aminler ve çok küçük oranlarda fenol türevleri (büyük bir kısmı) gibi.

Mor ötesi ışınlardan korumak için, %2,3 oranında (kütleye) hassas bir şekilde dağıtılmış karbon kömürü yada uygun renkli boyalar(bazı ülkeler, gaz dağıtımında borularda, örneğin sarı rengi tercih ediyor) [5].

4.13.1.7 Geçirgenlik

Poliytilen 50'nin geçirgenliği, 4 seri gaz borularının çeperlerinden çıkan doğal gaza ($0.6 \text{ m}^3/\text{km yıl /bar}$) eşittir ve normal durumlarda hiçbir önemi yoktur.

Poliytilen 50'nin hidrojen karşısındaki geçirgenliği, metan ve doğal gazlara karşı geçirgenliğinden (ortalama 3 kat) daha yüksektir ancak, boruda muhafaza ettiği gaz miktarı aynı büyüklükte olduğundan, bütünüyle ihmal edilebilir [5].

4.13.1.8. Abrazyon Direnci

Poliytilen borular sıvı ve katı maddelerin taşınması için uygundur. Bu özellik poliytilenin düşük elastisite modülünün sonucudur. PE boru ile çelik boru arasında içerisinde % 14 oranında kum bulunan su ile 7 m/s hızda yapılan deneyde poliytilenin direnci çelik boru direncinin 4 ~ 5 katı daha büyük olduğu tesbit edilmiştir [5].

4.13.1.9. Esneklik

poliytilenin bu özelliği özellikle soğuk havalarda ve boru döşenirken büyük yarı çaplı eğri ile yapılan dönüşlerde herhangi bir ek işleme gerek kalmaksızın kullanılabilir. En önemlisi de depremlere karşı direnci yüksektir.

4.13.1.10. Yangında Davranışı

Polietilen ateşte bir mum gibi eriyerek ve aynı tür bir kokuyla yanar o yüzden gerek depolarda gerekse sahalarda monte edildiği yerlerde tutuşma tehlikesine karşı tedbir alınmalıdır. Ancak , polietilen yandığında herhangi bir toksik ürün yaymaz [5].

4.13.2. Kimyasal Özellikleri

Polietilenin kimyasal özellikleri bakımından şu konular üzerinde durmak mümkündür. Gaz bileşimine karşı kimyasal direnci ve aktif gerilim barındıran ortamlarda baskı sonucu çatlak oluşumu.

4.13.2.1. Gaz Bileşimine Karşı Kimyasal Direnci

Polietilen oldukça inert bir maddedir ve asit, baz, vb. gibi bilinen zararlı ürünlere karşı (bunların büyük bir bölümü için, konsantrasyonu yüksek ve ısıtılmış dozlar dahil) direnci mükemmeldir. Bu sebeple kimyasal direnç bakımından polietilen çeşitli asitler, soda, organik ve inorganik solventler, tuzlar, alkol, petrol, su, yağ taşımacılığı için uygundur. Fakat etkili asitler, ketonlar, aromatik ve alifatik hidrokarbonlar, deterjanlar, halojenler vs. karşı kimyasal direnci iyi değildir.

Toprakta bulunması muhtemel çeşitli mikro-organizma ve bakterilerden etkilenmez. Henüz dağıtılmamış tutuşur gazın hassaslığı (tenuousness) konusunda yapılan araştırmaların sonuçları, doğal gazın kullanıma hazır hale getirilmesi için kullanılan ısıtıcılar ve kokulandırma elementlerinin (genel olarak buhar halinde oldukları sürece), pratik olarak, normal polietilen bölümler üzerinde herhangi bir etkisi olmadığını kanıtlar görünmektedir. Ancak bu ürünler sıvı halde ise, tıpkı doğal gazlarda görülen çiğlenmeler gibi, zamanla PE'nin yaşlanmasına yol açan zararlı

azami basınç değerine ilave bir emniyet katsayısı (2,5) eklenmesinin nedeni, doğrudan, PE borulardaki muhtemel çığlenme tehlikesini dikkate alma kaygısıdır. Öte yandan doğal gaz, bazı kaynaklara göre, gaz haldeyken tersi bir etki doğurmakta ve suya oranla 7 kat yüksek bir değerde polietilenin ömrünü uzatmaktadır. O yüzden sıvılaştırılmış petrol gazlarının (LPG) dağıtımı yalnızca ürün gaz halindeyken yapılır [5].

4.13.2.2 Aktif Gerilme Barındıran Ortamlarda Baskı sonucu Çatlak Oluşumu

Mekanik zorlamaların bulunduğu ortamlarda ısılatma kapasitesi yüksek (aktif-gerilmeli) bazı sıvılar, Polietilende birincil zorlamaların en yüksek olduğu bölgelerde, bölgeye dikey çatlakların zamanla malzeme çeperini yanlamasına katederek polietilen kısmın zayıflaması ve hasara uğramasına sebep olur.

Belli bir polietilenin süre olarak bu olaya dayanma kabiliyeti (ki, sıcaklık artışı olayı hızlandırır), “Çevresel Gerilmeli Çatlak Direnci” (ESCR) olarak adlandırılır [5].

Aktif-gerilme yaratıcı etmenlerin bulunduğu ortamlarda baskı altında çatlak oluşumu ile, borularda 80 °C ‘ta yapılan hidrolik test basıncı sırasında oluşan mikro-çatlakların uzun dönemde gelişmesi arasında bir paralellik bulunduğu tahmin edilmektedir [5].

4.13.3. Mekanik Özellikleri

Polietilenin mekanik özelliklerinin incelenmesi, çeşitli zorlamalar ile malzemede oluşan deformasyonlar (yani gerilmeli bir yapıya yada belli bir mekanik zorlamaya maruz kaldığında verdiği tepkiler) arasındaki bağıntıların tanımlanmasından oluşur.

Termoplastik polimerler alanında elastikiyet ya da plastiklik kaybı şeklinde çok fazla deformasyonla karşılaşılması (ki bu, bir yandan belirli kıvrımlı akışkanların belirli akış özelliklerinin masaya yatırılmasını gerektirmektedir. Öte yandan, deformasyonların kapsamı ve gündeme getirdiği karmaşık süreçler, bunlar farkedilmeden önce kullanılan mutlak malzeme direncinin yetersiz olduğunu göstermektedir), yeni bir bilimin yaratılmasına yol açtı (Reoloji “akış incelemesi” anlamına gelen Yunanca bir kökten türetilmiş bir kelime) [5].

Reoloji, polimerlerde zorlama ve kısıtlamalar ile deformasyonlar arasındaki bağıntı üzerindeki zaman faktörünün etkisini net bir şekilde ortaya koyar [5].

4.13.3.1 Ani Darbelere Karşı Davranışı

Polietilen ani darbelere karşı gayet dirençlidir. Fransa'da gaz dağıtımına uygun çap ve basınçlardaki boru serileri ile Gaz 4 serisinden PE boru üzerindeki deneylerde bir kazma darbesinin boruyu delse bile parçalayamadığı (shatter) görülmüştür. Belirli laboratuvar araştırma sonuçlarına göre, yalnızca 300 mm gibi büyük çaplarda ve 4 bar gibi basınçlarda hızlı çatlak yayılması meydana gelebilmektedir.

Şekillendirme ve soğutma sürecinde özgül bir moleküler düzenleme elde etmek, iç gerilmeleri azaltmak ve böylelikle borunun kalitesini yükseltmek için özel ekipmanlar kullanılmalı ve hassas bir çalışma tarzı tutturulmalıdır [5].

4.14. Polietilen Tekniğinin Ekonomik Yönleri

Polietilen tekniği incelendiğinde diğer termoplastik boru kaynak tekniklerine göre kaynak eklerinin ($\varnothing 125$ mm çaplarda ve altındaki uygulamalarda) son derece ekonomik olduğu görülmüştür.

4.14.1. Elektrofüzyon Kaynak Bağlantıları

Ekler büyük ölçüde saha organizasyonuna bağlı işler olduğundan, bir ekin tam maliyetini çıkarmak oldukça zordur. Fakat genel olarak ekler, toplam saha çalışması maliyetinin % 1'inden daha az bir maliyet oluşturur.

GF tarafından yapılan çalışmalar, boru birleştirme işlemlerinde elektrofüzyon kaynağı kullanmanın daha avantajlı olduğunu gösteriyor. Eğer fittingsin kendi fiyatını hesaba katmazsak, alın ve soket kaynaklarının, çok sayıda pahalı ve ancak kalifiye personel tarafından kullanılabilecek alete ihtiyaç duyduklarından, elektrofüzyon kaynağından daha pahalı olduklarını söyleyebiliriz [5].

Çapı 63 mm'ye kadar olan boru aksamında, elektrofüzyonlu bir fittingsle yapılan bir kaynağın toplam maliyetinin düşüklüğü, fittingsin getirdiği maliyet yükünü fazlasıyla telafi eder.

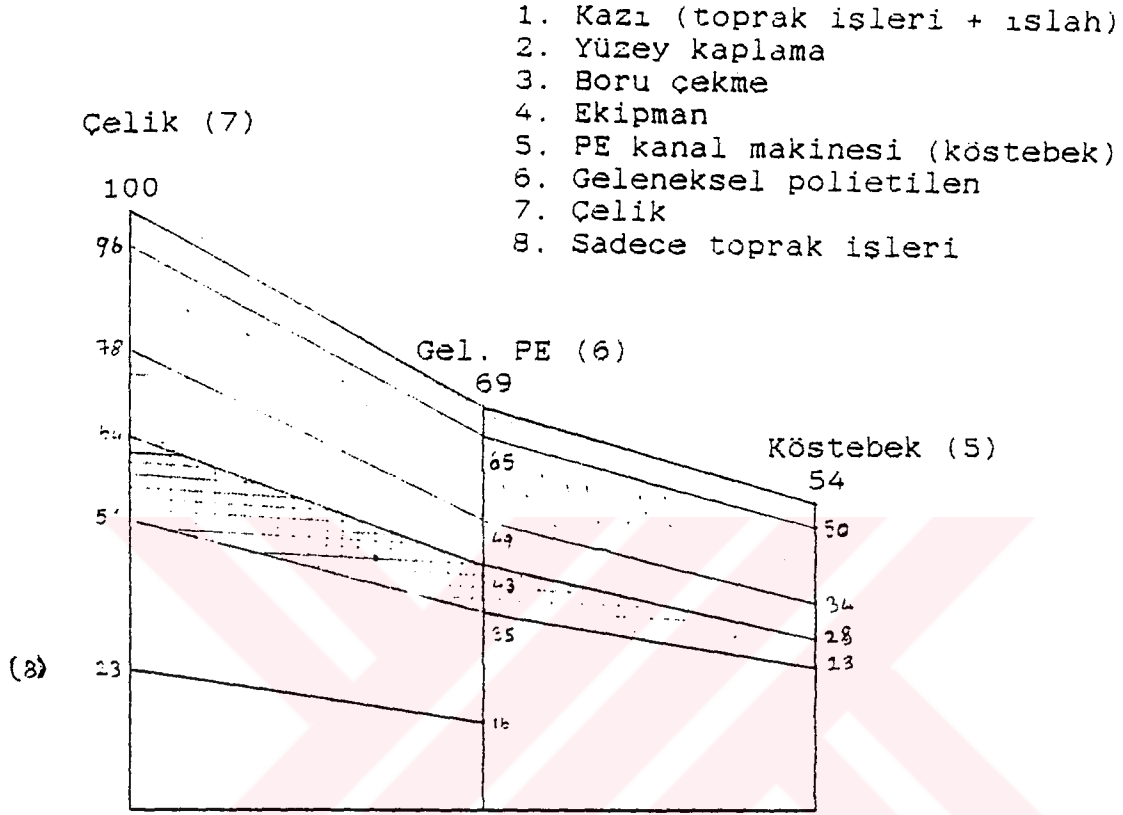
Çapı 63 mm'den fazla boru aksamında, bir elektrofüzyon kaynağının maliyeti geleneksel kaynaklardan biraz daha yüksektir. Fakat, PE borular çok uzun mesafelerde hiç kesilmeden kullanılabildiği için toplam kaynak sayısı azalmakta ve hat bir bütün olarak alındığında, toplam kaynak maliyeti düşmektedir [5].

Ayrıca, elektrofüzyon kaynağı sahada kullanımı kolay güvenilir ve seyyar, tek tip bir kaynak takımıyla yapılabilir (oysa diğer usuller bu takıma ilaveten çeşitli özel alet edevatı gerektirirler).

4.14.2. Dört Bar PE Tekniği (Dış çap ≤ 125 mm)

Örnek olması bakımından son birkaç yıldır GF'nin yaptığı yatırımlar incelendiğinde, PE sistem inşası ortalama birim uzunluk maliyetinin, çelik şebekelere oranla % 30

daha düşük olduğu görülür. Bu tasarruf, 4500 metrelik PE döşenen yarı-kırsal temsili bir araziye ait maliyet birim analizi (Şekil 4.7) ile de doğrulanabilir [5].



Şekil 4.7: Birim uzunluk maliyetinin evrimi

Bu araştırmanın bulguları şöyle sıralanabilir:

- Tek tek fiyatları yüksek olmakla birlikte PE fittingslerin toplam maliyet üzerinde çok küçük bir etkisi vardır; toplam maliyette esas payı boru fiyatları oluşturmaktadır ve çelik boru Polietilen borudan daha pahalıdır. Bu iki kalem (fittings ve donanım pahalı ama boru ucuz) baz alındığında, PE lehine %13 'lük bir kazanç söz konusudur [5].

Ancak toplam saha işleri maliyeti içinde ekipman maliyetinin yeri 1/5 ten azdır ve sadece ekipman maliyeti baz alındığında % 3'lük bir toplam kazanç söz konusudur [5].

– PE kullanımı ile sağlanan ana kazanç kalemini toprak işleri (kazı + ıslah + yüzey kaplaması) ve boru çekme oluşturur.

Geleneksel PE boru çekme tekniğinde, kazılacak toprak hacmi yaklaşık olarak 1/3 oranında azalır ki bu, aşağı yukarı yüzey kaplamasına eş değer bir kazanç demektir. Bu durumu ortaya çıkaran iki etmen sayılabilir:

- Bitişik bölümlerde yapılan harfiyatlar da önemli bir azalma meydana gelmesi : Şöyleki, kaynaklar için hendek dibinde daha az bir bölgeyi eşmek gerekir (uzun mesafelerde PE döşeme tekniği) ve çeşitli çelik parçalara (dirsek, çivi, payanda, vb.) yer açmak için gereken ilave kazılar (ki toprak altında çoğu kez başka ekipmanlar vardır) gereksiz hale gelir, fakat bu tür yerlerde PE boru bükülmek suretiyle yerlerine monte edilebilirler,
- Hendek genişliğindeki küçük azalmanın, maliyet üzerindeki % 10'lara varan olumlu etkisi,
- Köstebek (kazı yapmadan PE boru döşeme tekniği) kullanımıyla elde edilen sonuçların incelenmesi, geleneksel kazı aygıtlarıyla yapılan hafriyat işlerine oranla önemli maliyet tasarrufları sağlanabileceğini göstermektedir. Köstebek kullanımı, geleneksel çelik boru döşeme maliyetleri ile kıyaslandığında maliyeti yarı yarıya düşürür.
- Toplam çelik boru tekniği maliyeti ile kıyaslandığında ise, geleneksel PE kullanımı % 30 kadar daha ucuzdur ve bu rakam, köstebek gibi gelişmiş boru çekme aletlerinin kullanılmasıyla % 50'ye çıkarılabilir [5].

Şebekelerin PE borularla tüpleme (eskiden döşenmiş döküm borular içerisinde kazı yapılmadan PE boru geçirilmesi) yapılarak yenilenmesi de, finansal açıdan son derece ucuz bir tekniktir. Toprak işleri sadece tüpleme için gereken kazılara

indirilmiş, engeller ve servis hattı hendekleri gibi sorunlar tümüyle bertaraf edilmiş; dolayısıyla da toprak işleri maliyeti düşmüştür.

Öngörülen maliyet tasarrufları karşılaşılan engellerin sıklığına, tüpleme yapılacak boru hattının derinliğine ve yapılacak bağlantılarının sayısına bağlı olarak büyük değişiklikler gösterir. Bunula birlikte, geleneksel PE döşeme tekniğine oranla bu tekniğin ortalama % 50'lik bir maliyet tasarrufu temsil ettiği söylenebilir [5].

4.15. Beklentiler

Büyük çaplı PE tekniği bir dizi seçimin yapılmasını gerektirir.

- Düz olarak yalnızca 12 m'lik borular kullanmak : aslında büyük çaplı borularda boru boylarını daha uzun tutmak, kablo kasnaklarının ebadlarından dolayı pek mümkün değildir. Asgari boru sarım çapı, boru çapının 20 katından büyük olmalıdır. Ayrıca boru çekme ile ilgili bir takım sorunlar da vardır (boru kıvrıklığı kalıntı yarıçapı çok yüksektir. O yüzden boru doğrultmak için çok güçlü ve iri ekipmanlara ihtiyaç vardır).
- En azından küçük çaplı borularda ebat (et kalınlığı, çap, vb.) tespitinde kullanılan emniyet paylarına eşit bir emniyet payı bırakmak; bu eğer dış çap/et kalınlığı oranı aynı kalırsa (SDR 11) , 160 ve 200 mm'lik borularda son derece yüksek bir et kalınlığı demektir.

Reçin, et kalınlığı yüksek boruların üretiminde çok yüksek ısı gerilimlere maruz kalır ki bu, örneğin boruyu zayıflatan ve gerilim altında çatlamasına yol açan iç gerilimlere ya da morfolojik heterojenliğe neden olabilir [5].

Bu amaçla GF, fiziksel-kimyasal ve mekanik açıdan, farklı ekstrüzyon koşulları altında, büyük çaplı borularda (dış çap 200 mm) kullanılan polietilen maddesini incelemiştir. Bu inceleme; örneğin, boru çeperlerindeki kristallikte meydana gelen

Zamanla performansı daha iyi reçinelerin piyasaya çıkmasıyla et kalınlığı giderek düşürülebilir. Ancak bunun için çatlama mekaniği hakkındaki bilginin gelişmesi gerekir.

Ürün kontrolleri şu aşamada Ø125 mm ve altındaki PE borularda uygulanan çeşitli muayene ve kontroller (hidrolik basınç testi, germe testi, vb.) daha büyük çaplı borularda uyarlanamamaktadır. Tam olarak söylemek gerekirse Ø160 mm ve Ø200 mm'lik borular, büyük çaplı ve pahalı test aygıtlarını gerektirmektedir.

4.16. Polietilen Boruların Dezavantajları

polietilen boruların bilinen dezavantajları şunlardır: yumuşak malzeme olması, güneş ışınlarından etkilenmesi, yüksek lineer termal uzama katsayısına sahip olması, elektriklenme, ateşe ve sıcaklığa dayanımı vb.

4.16.1. Yumuşak Malzeme Olması

Polietilen borular yumuşak ve esnek olduklarından çizilme, zedelenme, aşınma ve delinme gibi etkilere karşı çok hassastırlar. Bunun için imalinden montajına kadar, taşıma ve yükleme esnasında borular sürüklenmemeli, çizilmemeli, ezilmemeli ve darbelere maruz bırakılmamalıdır. Ayrıca çivi, tel gibi sert ve sivri cisimler tarafından fırsat vermeyecek şekilde gerekli tedbirler alınmalıdır. Yükleme esnasında tel, halat, zincir, tabii ve suni liflerden yapılmış halat kullanılmamalı, keten, kenevir, pamuk, yün gibi malzemelerden yapılmış, boruya değen yüzeyleri lastik kaplanmış ve kaldırılacak yüke uygun kesitli kolonlar kullanılmalıdır. Tüm bu sebeplerden dolayı dikkatli bir çalışma gerektirir [5,10].

4.16.2. Güneş Işınlardan Etkilenme

Polietilen borular güneşin morötesi (ultraviyole) ışınlarından etkilenecek yapıların bozulmasına ve polimerdeki branşlaşmış halkaların kırılmasına yol açar, dolayısıyla mekanik özellikleri kötüleşir. Bu nedenle de bu duruma karşı gerek imalat safhasında gerekse depolanmasında önlem alınması gerekir. Ayrıca güneş ışığının etkisinden korumak amacıyla imalat sırasında hammaddesine karbon siyahı ($\approx \% 2$ ilave) karıştırılarak siyah renkte polietilen boru elde edilmektedir [5,10].

4.16.3. Polietilen Boruların Kimyasal Maddelere Dayanımı

Kuvvetli asitlere, aromatik ve alifatik hidrokarbonlara, ketonlara, halojenlere vs kimyasal maddelere karşı oldukça hassastır. Ayrıca sabun köpüğü ve bazı temizleyici çözücülere karşı hassastırlar. Bu yüzden şebekelerde sızdırmazlık kontrolünden sonra sabun köpüğü silinmeli ve bağlantı parçalarının temizliğinde çözücüler (solvent) kullanılmamalıdır [5,10].

4.16.4. Ateşe ve Sıcaklığa Dayanımı

PE borular ateş ve yüksek sıcaklığa karşı dayanıklı değildir. Özellikle yangın tehlikesinin olduğu yerlerde ve bina içi tesisatlarda kesinlikle PE boru kullanılmaz. Borular ısıнын tesiri altında kalmayacak yerlerde depolanmalı su veya buhar borularıyla ve sıcak yüzeylere temas ettirilmemelidir [5,10].

4.16.5. Düşük Kullanım Basıncı

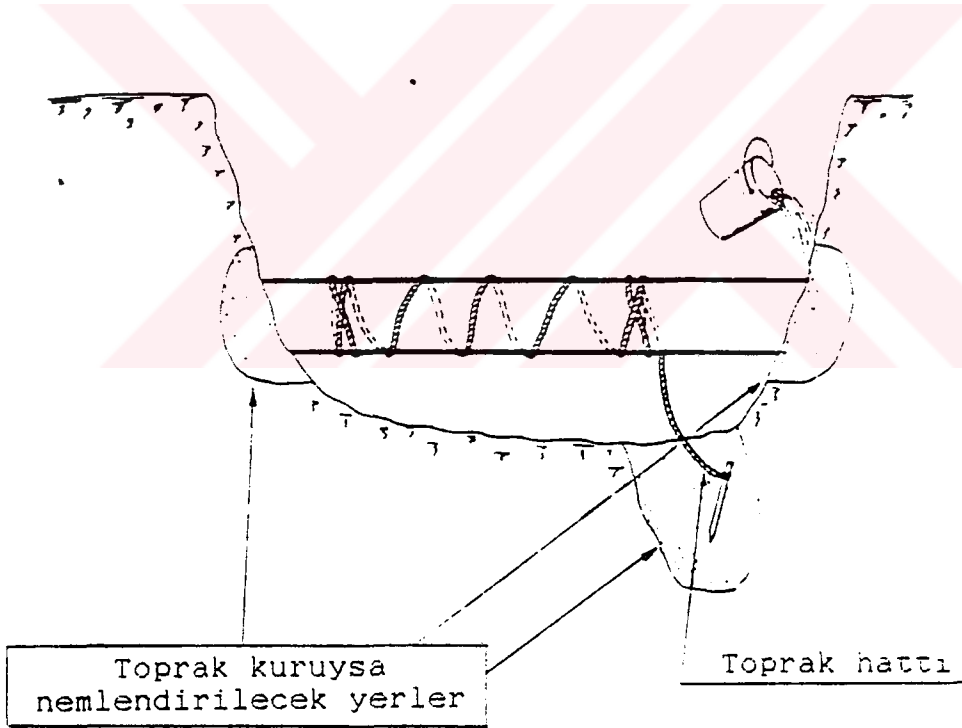
Polietilen boruların kullanım basıncı çok yüksek olamamaktadır. Genellikle polietilen borular için gaz taşınmasında 4 bar, sıvı taşınmasında 10 bar işletme basıncında 50 yıllık ekonomik ömür öngörülür [5,14].

4.16.6. Kırılmalık Özelliği

Polietilen borular $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de kırılmalık özelliğine sahiptirler. Bu yüzden çevre sıcaklığını çok düşük olduğu bölgelerde PE borular kullanılmamalıdır [5].

4.16.7. Elektriklenme

İçinden gaz geçirilen PE borularda sürtünmeden dolayı (gazın içerisinde toz varsa) oluşan elektrostatik yük operasyonlar sırasında uygun bir şekilde toprağa verilmelidir). Ayrıca, çalışma anında boru duvarı nemli tutulmalıdır (Şekil 4.9) [5].



Şekil 4.9: Kırnak işlemi sırasında PE borunun topraklanması

4.16.8. Yüksek Lineer Isıl Uzama Katsayısına Sahip Olması

Uzun mesafeler için yapılacak borulama sisteminde, kullanılacak malzemelerin genleşme derecesi önemli parametrelerdendir. Diğer malzemelere oranla PE yüksek genleşme katsayısına sahiptir. Bu sebeple termal uzama için, çevre şartlarındaki sıcaklık değişimleri şebeke dizaynında dikkate alınıp kompanse edilmelidir [5,10].

4.17. Kaynak İşleminin Özeti

Elektrofüzyon kaynağının temel prensibi; polietilenin, rezistans tellerinin sağladığı ısı ile erimesi ve genleşerek basınç oluşturmaya esasına dayanır.

Elektrofüzyon kaynak tekniğinin sağladığı avantajlar ve faydalar şöyledir:

- Uzun boru hatlarında daha az toprak kazılması ve yeniden kapatılması, katodik korumaya gerek duyulmaması, kullanılan teçhizatın ekonomikliği yanında, iş hızının yükselmesi gibi nedenlerle şebeke tesis maliyeti oldukça düşmektedir.
- Otomatik bir işlem neticesinde daha az kalifiye elemana ihtiyaç duyulmakta ve insan faktörünün kaynak kalitesine etkisini minimuma indirmektedir.
- Tamir gereken noktalara gaz akışını kesmeden kaynak yapılarak tamirata imkan vermektedir.
- Muhtelif PE reçineleriyle uygulanma imkanı vardır.
- Çok seri bir şekilde kaynak yapılmasına imkan verir.
- Kaynak sonrası basit kontrollerin dışında herhangi bir kontrol gerektirmez.
- Elektrofüzyon kaynağı alın ve soket füzyon kaynaklarına oranla geniş bir uygulama alanına sahiptir. Alın ve soket füzyon kaynak usülleri kendi başlarına yeterli kaynak teknikleri olmayıp sadece tamamlayıcı tekniklerdir [5,8,10].

4.18. Değerlendirme

Polietilen bize önemli avantajlar sağlamakta (yumuşak ve hafif olması, boru boyunun uzun tutulabilmesi); bu da onu ga dağıtım şebekesi inşasında kullanılabilecek ideal malzeme haline sokmaktadır.

Polietilenin fiziksel özellikleri geleneksel boru malzemelerine (dökme demir ve çelik vs.) oranla polietileni iyi bir alternatif olarak öne çıkarmaktadır.

4 bar PE tekniğinin yararlı ve başarılı bir teknik olduğu, gerek alet-edevat, döşeme ve diğer işlere (şebeke üzerindeki sonraki çalışmalar gibi) ilişkin sağladığı maliyet tasarruflarıyla (buna eğitim maliyetlerindeki azalmayı da eklemek gerekir) gerekse üstün güvenilirliğiyle kanıtlanmıştır.

Ek sayısını azaltan ve hendek genişliğini düşüren bir uygulama olarak uzun mesafeler boyunca boru çekilebilmesine, elektrofüzyon kaynağı gibi basit bir ek yönteminin ve çeşitli modern kazı ekipmanlarının kullanılmasına müsait olması ayrıca eski boru hatlarına tüpleme yapılmasına müsait olması gibi özellikleri bir arada düşünüldüğünde, bu tekniğin günümüzün en yüksek performanslı tekniği olduğu söylenebilir.

BÖLÜM 5

KAYNAK HATALARI VE NEDENLERİ

5.1. Yapılan Çalışmalar

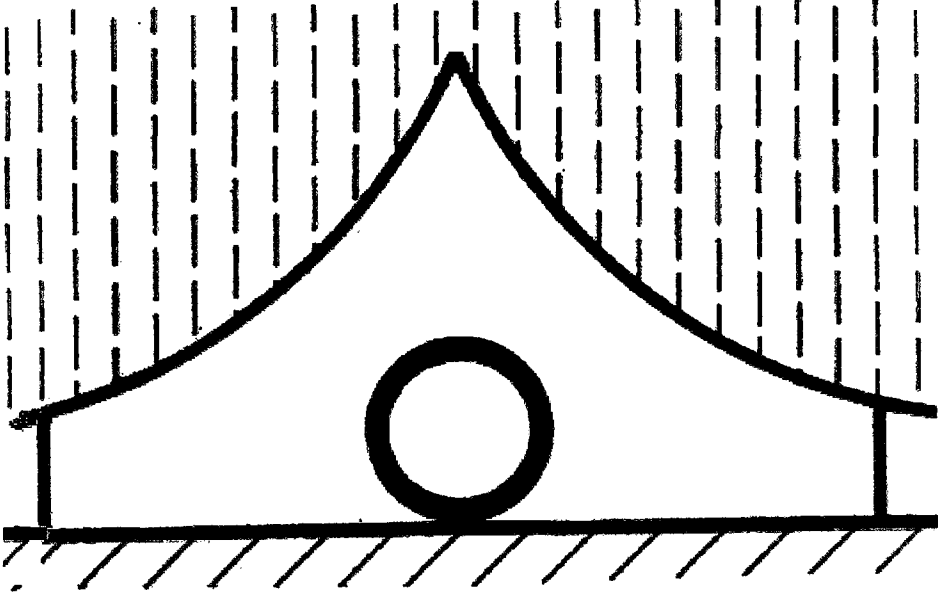
Bu çalışma kapsamında; elektrofüzyon kaynak tekniğiyle yapılmış, termoplastik doğal gaz borularının manşon kaynakları incelenmiştir. Hata tespit edilen kaynaklar kesilmiş ve makro filmleri çekilerek hata sebepleri üzerinde durulmuştur.

5.2. Elektrofüzyon Kaynak Hataları ve Nedenleri

5.2.1.Kaynak Yapılacak Kısımların Kaynak Ve Soğuma Süresince Kötü Hava Koşullarından Korunmaması

Kaynak işlemi süresince kötü hava şartları tüm kaynak tekniklerinde olduğu gibi elektrofüzyon kaynak tekniğinde de kaynak kalitesini etkiler. En önemlisi de kaynakçıları etkilediği için yeni hataların oluşmasına sebebiyet verir. Örneğin ansızın gelen şiddetli yağmur veya rüzgar kaynakçının acele etmesine ve kaynak prosedürüne yeterince uymamasına sebep olabilir. Bu yüzden gösterildiği gibi gerek görüldüğü durumlarda tedbir alınmalıdır (Şekil 5.1).

Ayrıca bu tür koruma sayesinde boru ve fittingsler güneşten kaynaklanacak ısınmadan, kaynak bölgelerinin kirlenmesi ve ıslanması gibi istenmeyen ve kaynak kalitesini direkt etkileyen kötü etkilerden korunmuş olur.



Şekil 5.1: Kaynak süresince kaynak bölgesinin kötü ortam şartlarına karşı korunması.

5.2.2. Kaynak Yapılacak Borunun İçindeki Basıncı Hava-Gaz Akımlarından Korunmaması ve Gaz Sıkışması,

Kaynak yapılacak boru içerisinde basınçlı havanın kalması durumu kaynak öncesi ve kaynak sonrası olarak değerlendirilebilir. Hasara uğramış boru kısımlarının değiştirilmesi veya canlı hat üzerinde T fittings kaynağı için yapılan manşon kaynaklarında karşılaşılmaktadır. Boğma bölgesinden boru içine sızan gazlar kaynak süresince tahliye sedıllarından vakumla alınmalıdır. Aksi taktirde basınç fazlaca yükselirse kaynak bölgesini etkileyecektir. Bu yüzden kaynak işlemi sırasında kesinlikle tahliye sedılları kullanılmalı ve tahliye hava basılarak değil vakumlama işlemi ile yapılmalıdır.

Diğer bir problem ise kaynak soğuma süresinin yeterince beklenmemesi ve acele edilerek tahliye sedıllarının kapatılması böylece boğma bölgesinden sızan gazların basınç oluşturmaya sebebiyet verilmesidir.

Ayrıca soğuma süresinin beklenmeden borunun gazla basınçlandırılması veya teste tabi tutulması henüz sıcak olan ve mukavemeti oldukça düşük olan boruların ve manşonun basınç yüksek ise genleşmesine veya manşon iç yüzeyi ile boru dış yüzeyi bölgesini etkileyerek hava boşluklarının oluşmasına veya gazın henüz soğumamış bölgeden sızıntı yapmasına sebebiyet verir. Yüksek basınçlarda problem tespit edilebilir fakat düşük basınçlarda kaynağın ömrünü azaltıcı etkilerde bulunur.

5.2.3. Boru Çevresindeki Ortam Sıcaklığının Yüksek veya Düşük Olması

Boru çevresindeki boru sıcaklığının düşük yada yüksek olması (0°C - 35°C arasında olmalı) önemsiz gibi görünen fakat kaynak kalitesini ve ömrünü azaltan hatalı bir işlemdir. Kaynak parametrelerinde kaynak süresi seçilirken dış ortam sıcaklığı dikkate alınır ve boru ve fittingslerin sıcaklıklarının ortam sıcaklığına yakın olduğu kabul edilir. Bu sebeple borunun veya fittingslerin kaynaktan önce farklı sıcaklıklarda bulunması (özellikle kış aylarında borular güneşde, fittingsler malzeme kutusunda ise) kaynak işleminden hemen sonra tespit edilemeyen fakat kaynağın ömrünü azaltıcı bir etkide bulunacaktır. Bu tür farklardan dolayı kaynak otomatik makinalarla yapılmış olsa bile kaynak süresi doğru tespit edilememiş (genelde kaynak süresi gerekenden az seçilecektir) olacak, bu sebeple akım gerekli sürece verilmeyecektir. Bu da kaynak süresinin düşük girilmesi veya düşük voltajla kaynak yapma işlem hatalarını ortaya çıkaracaktır.

5.2.4. Yarım Kalmış Bir Kaynağa Devam Etmek

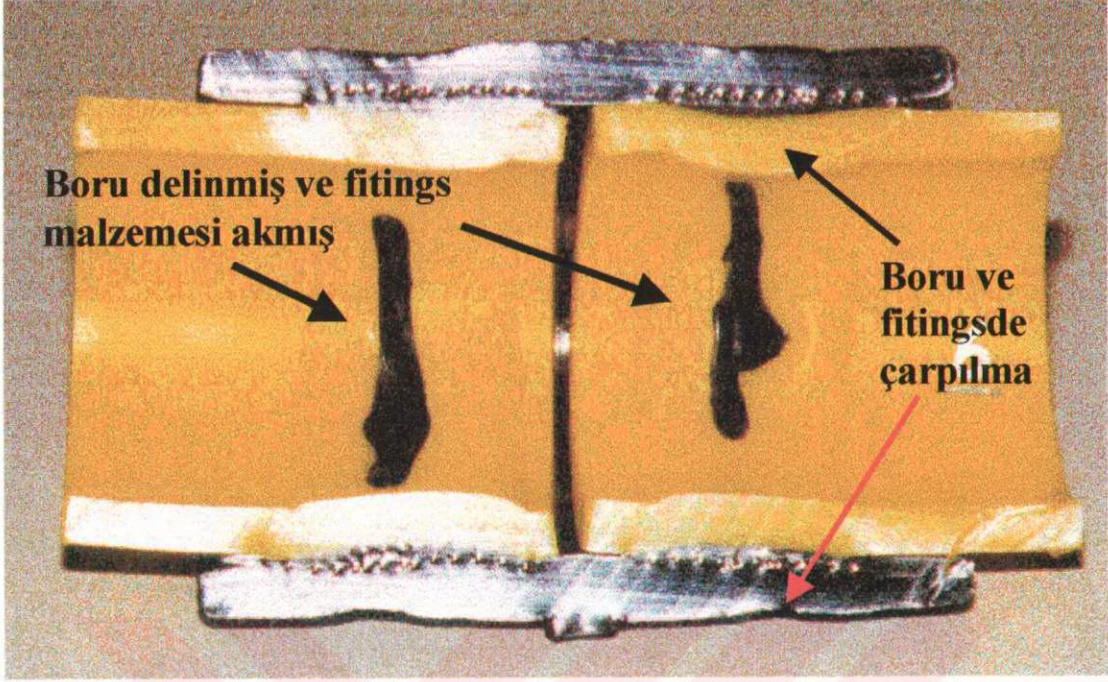
Elektrofüzyon kaynak tekniği işleminde bazan beklenmedik bir anda kaynak tamamlanamayabilir. Bunun sebepleri gerilimin kesilmesi, kaynak makinası fittings bağlantı soketlerin yerinden çıkması olabilir. Kaynak işlemi dikkatle izlenmemişse kaynağın kaçınıcı saniyede durduğu tespit edilemez. Bu tip kesintilerde eğer kaçınıcı saniyede kaynağın durduğu tespit edilmişse hemen ara vermeden eksik kalan süre kadar kaynağa devam edilerek işlem tamamlanır. Bu işlemde esas olan doğru süreyi tespit edip kaynak için gereken enerjiyi bu bölgeye vermektir. Genelde başka bir problem yoksa sonuç olumludur ve kaynak hatası görülmez.

Diğer taraftan kaynağın durduğu süre tespit edilememişse kaynak operatörün yapması gereken fittingsin iyice soğumasını beklemek ve kaynağı gereken sürede yeni bir kaynakmış gibi yeniden yapmaktır. Fakat operatör elektrofüzyon kaynak parametrelerini yeterince kavrayamamışsa kaynağı soğutmadan aynı sürede kaynağı yapacaktır. Bu tür işlemlerde kaynak kalitesi bozulmakta ve gözle görülebilir hatalar oluşmaktadır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2: Soğuma beklemeden kaynağa devam edilmesi.

Bu tip hatalar kaynak süresinin yanlış seçilmesi işlemine benzemektedir. Şekil 5.2'de görüldüğü gibi fittings ve borularda çarpılma ve erime olmuştur. Kaynak hatası gözle görülemeyecek kadar küçük ise hatasız kaynak kabul edilir ve devreye alınırlar. Fakat erime bölgesinde sıcaklık gereğinden fazla artacağından polietilen malzemenin özelliği bozulacak ve katılaşma işlemi sırasında kuvvetli bağlar oluşmayacak buda kaynak kalitesini ve ömrünü etkileyecektir. Boru ve fittingsdeki erime ve çarpılma Şekil 5.3'de gösterilmiştir.



Şekil 5.3: Fazla ısınn yüklenmesi sonucu erime.

5.2.5. Kaynak Bölgesinin Mekanik Zorlamalara Maruz Kalması,

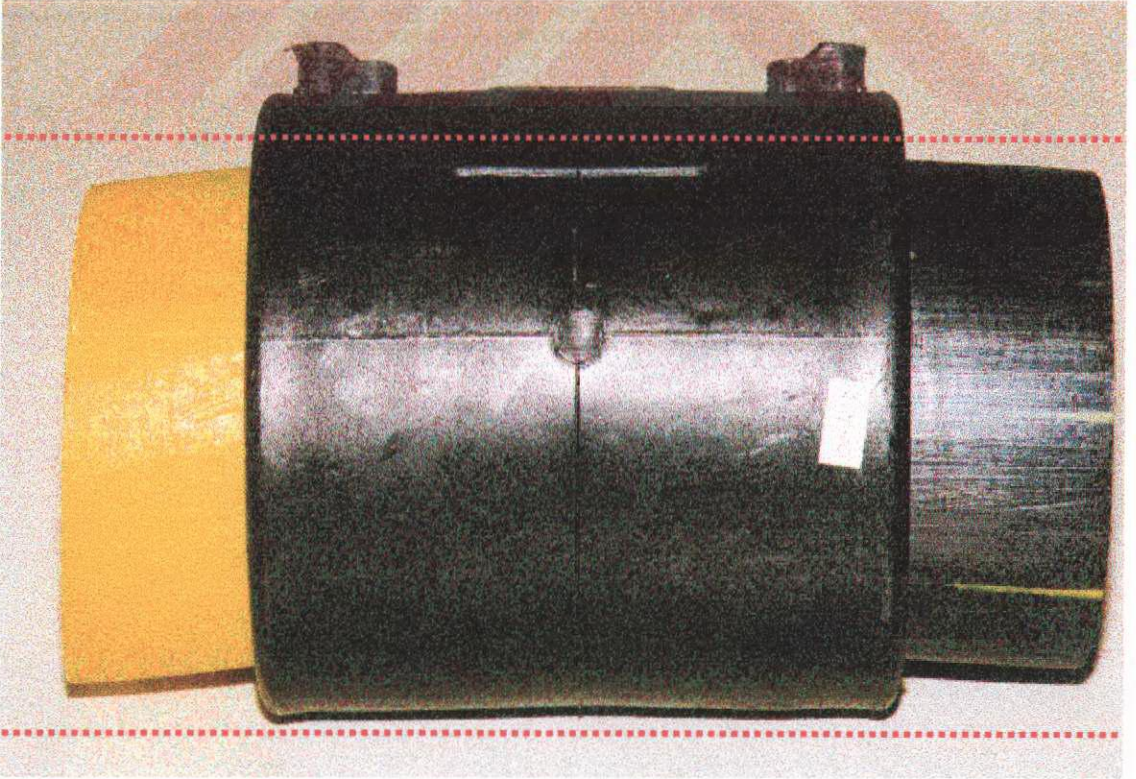
Kaynak kriterlerinden bir tanesi de kaynak ve soğuma süresince borunun ve fittingsin her hangibir yüke maruz kalmasını önlemektir. Borular kangal halinde geldiği için kaynaktan önce pozisyonier yardımıyla düzeltilmesi gerekir. Fakat bu işleme rağmen borunun özelliğinden dolayı eski halini almaya çalışır ki buda kaynak bölgesinde hataya götürecek yüklerin oluşmasına sebep olur.

Pozisyoniere en çok ihtiyaç duyulan zaman dilimi kaynak bölgesine gerekli ısınn verilip soğuma süresindeki geçen zamandır (Şekil 5.4). Pozisyonierler çoğunlukla kaynak bölgesindeki aşırı olmayan kasıntıları giderir ve boru fittingsi sabitler. Fakat bu kasıntı aşırı ise pozisyonierde yetersiz kalabilir ve hatalar oluşur (Şekil 5.5). Diğer bir hata ise soğumanın beklenmeden pozisyonierin sökölmesidir ki buda Şekil 5.5' e benzer sonuçlar doğurur.



Şekil 5.4: Kaynak süresince ve soğuma süresince pozisyoner kullanımı.

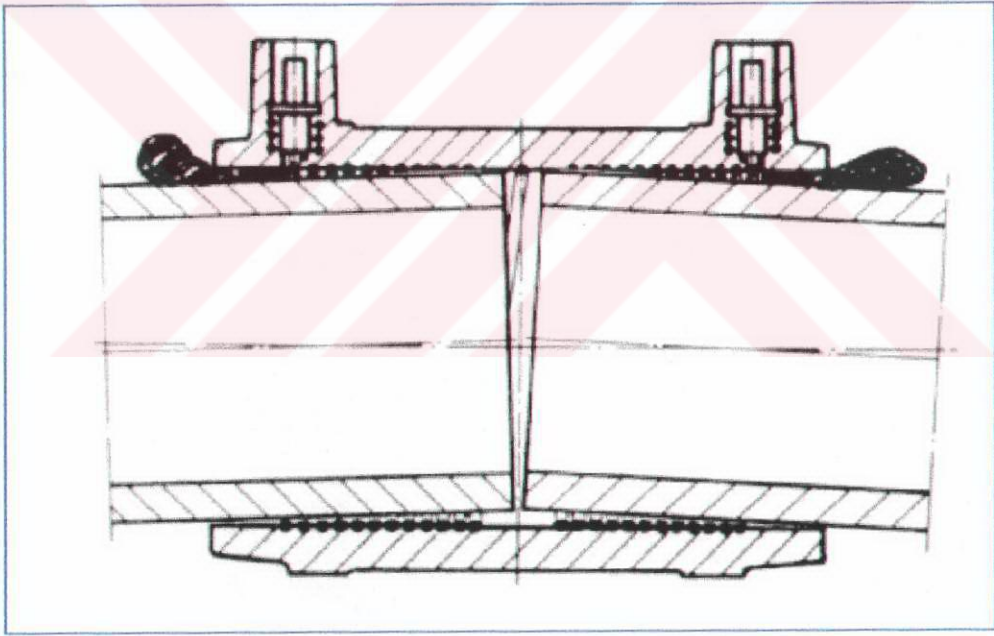
Kaynak işlemi teknik prosedüre uymayı gerektirir. Acele edilmeden kaynak işlemi gerçekleştirilmeli ve fittings kaynak makinası elektrik bağlantıları bile sökülmemelidir (ki buda bölgeye yük etki etmesini ve kaynağın istenilen kaliteye ulaşmasına mani olur).



Şekil 5.5: Kaynak bölgesinde kasıntı oluşumu.

Şekil 5.5'de kasıntının sonuçları görülmektedir. Boruların açılı durması ve kaynak bölgesine yeterli ısı verildikten sonra boru çapının da büyük olması ($\varnothing$ 110 mm.) sebebiyle fittingsinde kasılması ve boruların pozisyonuna gelmesi görülmektedir. Bu tür hatalar boru çaplarının büyümesiyle artmaktadır. En ideal kaynak çapı 63 mm'dir. Fakat kaynak için kangal borular değil de 6 ve 12 m boy borular kullanılırsa bu tür hatalar azalacaktır. Şekil 5.6'da bu durum şematik olarak gösterilmiştir.

Diğer taraftan büyük çaplı boru hatları yapılırken uzun borular kullanılarak bu tür hatalar azaltılmakta fakat hatlardan branşman alınırken ve tamir işlemlerinde hatalar yine artmaktadır. Bu tür hatalar gözle farkadilebilmekte ve kaynak bölgesinde akıntılar gözlenmektedir.

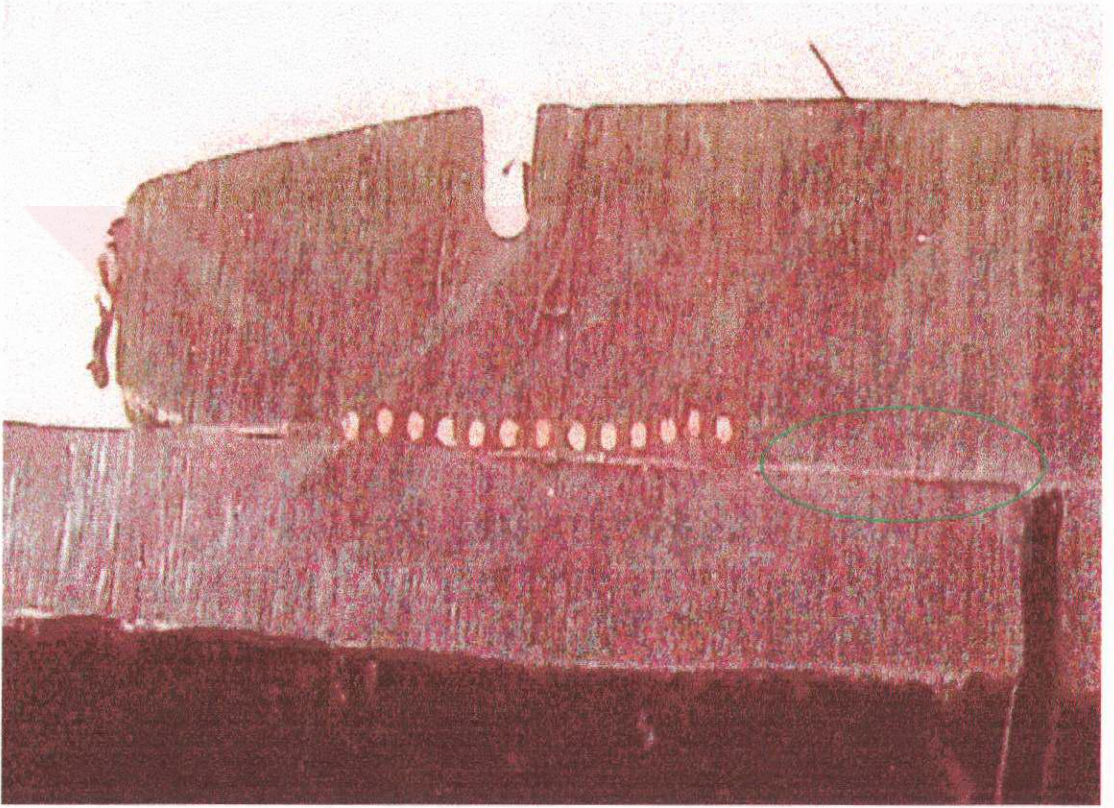


Şekil 5.6: Boru ve fittingsde kasıntı sonucu akma.

5.2.6. Kaynak Yapılacak Bölgelerin Yeterince Temizlenmemesi,

Sıcak eleman manşon kaynağı ve alın kaynağında olduğu gibi elektrofüzyon kaynak tekniğinde de kaynak edilecek yüzeylerin temizliği kaliteyi doğrudan etkileyen

kriterlerdir. Kaynak bölgeleri kaynaktan hemen önce 0,2 mm olacak şekilde oksitli tabaka kazınmalı ve izopropil alkol ile temizlenip liflerine ayrılmayan bir kağıt ile silinmelidir. Temizlikten sonra el ile temas edilmemelidir. Aksi durumlarda kaynak işlemi gerçekleşmez fakat dış görünüş itibariyle kaynak tamamlanmıştır ve fittings taşma bölgeleri de kaynağın bittiğini gösterecektir. Bu tür kaynaklar test sırasında tespit edilebilir aksi durumlarda ise kısabir süre sonra yük altında kalması sonucu kaynak bölgesi ayrılacaktır (Şekil 5.7).



Şekil 5.7: Temizliğin yetersiz olması sonucu kaynamamış bölge.

Yukarıdaki gösterilen şekilde boru ve fittings yüzeyleri arasındaki kaynamamış bölge hemen dikkati çekmektedir. Şekilde açık renkli çizgi halindedir ve sonuç ayırma işleminden sonra daha iyi görülmektedir (Şekil 5.8).



Şekil 5.8: Ayırma işleminden sonra kirli yüzeyler

5.2.7. Kaynak Öncesi Boruların Düzeltilmemesi, Oval Boru Kullanılması,

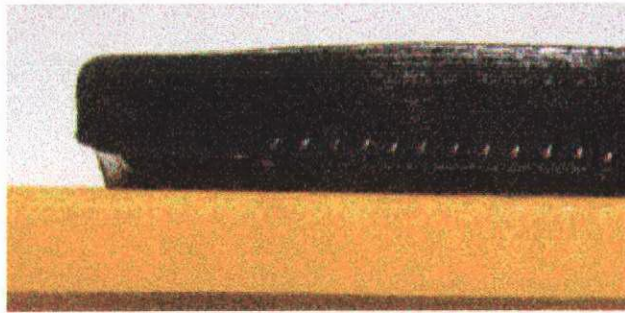
PE borular oval şekilde olabilmektedir bunun sebebi imalattan veya kesme işleminden kaynaklanabilir. Bu tip borular kaynaktan önce bir mengene veya boğma aparatı yardımıyla düzeltilirler . Düzeltme yapılmadan kaynak işlemi yapılmışsa imalat hatalı olacaktır. Kaynak işleminin tam olması için manşon iç yüzeyi ile boru dış yüzeyi arasındaki malzemenin eriyip basınç oluşturması gerekir fakat ovalite sebebiyle boşluklu geçme olacak basınç yeterince yükselmediği için kaynak tamamlanamıyacaktır. Oval boru kullanılarak yapılan kaynak henüz kesme aşamasında iken ayrılmıştır (Şekil 5.9).



Şekil 5.9: Oval boru kullanılması sonucu kesim sırasında ayrılan kaynak bölgesi.

5.2.8. Düşük Gerilimle Kaynak İşleminin Yapılmaya Başlanması,

Kaynağın gereken performansa ulaşabilmesi için kaynak bölgesinde gerekli basıncı ve ısıyı oluşturacak gerilim rezistanslara verilmelidir. Aksi durumlarda erime yeterince olmaz ve sonucunda kaynaşmayı sağlayacak basınç düşük olduğu için kaynak gerçekleşmez veya gereken ısıdan % 30 daha az gerilimin uygulanması kaynağı bitmiş gibi gösterir fakat kaynaktan beklenen kalite sağlanamaz. Şekil 5.10'da olduğu gibi ayrılma görülür.



Şekil 5.10: Düşük gerilim sonucu kaynak bölgesinde ayrılma

5.2.9. Kaynak Süresinin Yanlış Uygulanması

Elektrofüzyon kaynağında genelde sabit akımda (32-39 volt) ve imalatçıların bu gerilimleri de dikkate alarak tamamen laboratuvar şartlarında tespit ettiği kaynak süreleri uygulanmadığı takdirde kaynakta istenilen kaliteye ulaşılamaz. Fazla süre uygulamalarında Şekil 5.3'de olduğu gibi akma olur veya yetersiz süre uygulamalarında Şekil 5.9'daki durumlarla karşılaşılır. Bu tip hatalar şöyle sıralanabilir:

1. Yüksek gerilimle kaynak yapılması,
2. Gerilimin değişik sebeplerden dolayı kesilmesi,
3. Manuel makinalarda voltaj değerinin yanlış girilmesi
4. Manuel makinalarda süre dolmadan kaynak işlemine son verilmesi,
5. Hava sıcaklığına göre kaynak süresinin tablodan yanlış seçilmesi ve bu sebeple kaynak süresinin uzaması veya kısılması,
6. Bar-kod, magnetik kartla veya manuel girişlerde yanlış fittings tanıtma,

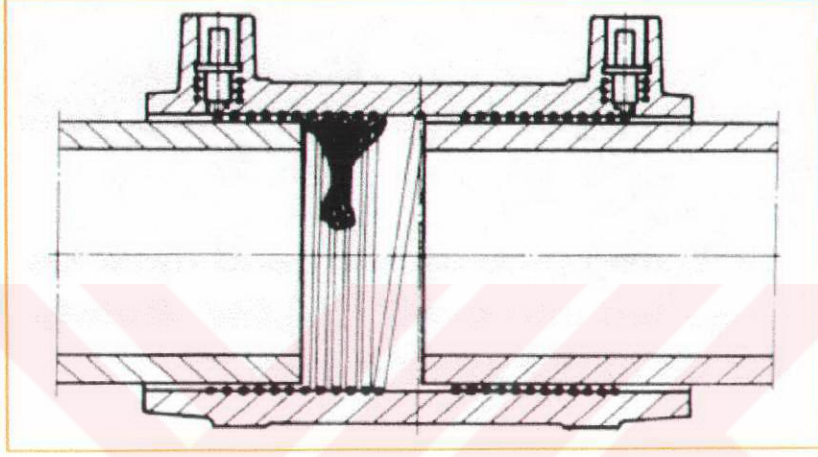
5.2.10. Alın Kaynak İçin İmal Edilmiş Boruların Elektrofüzyon Tekniğinde Kullanılması

PE borular dış çap esas alınarak imal edilirler ve bunlar A (hassas toleranslı) ve B (normal toleranslı) olarak iki sınıftır. Elektrofüzyon kaynak tekniğinde A sınıfı borular kullanılır, alın kaynağında ise normal toleranslı borular kullanılır. Örneğin, dış çapı 110 mm olan bir doğalgaz borusu hassas toleranslı imal edilirse, dış çaptaki tolerans +0,6 mm, normal toleranslı imal edilirse dış çaptaki tolerans +1,0 mm değerindedir. Fittingsler ise iç çapa göre toleranslı olarak imal edilirler. Bu yüzden iki yüzey arasındaki boşluktan dolayı meydana gelecek hatalar önlenmiş olur [19].

Diğer taraftan alın kaynak için imal edilmiş boruların dış çap toleransları hassas değildir. Bu tür boruların kullanılması neticesinde kaynak işlemi hatalı olacaktır. Mecburi durumlarda kaynak yapılacaksa toleranslar dikkate alınmalıdır.

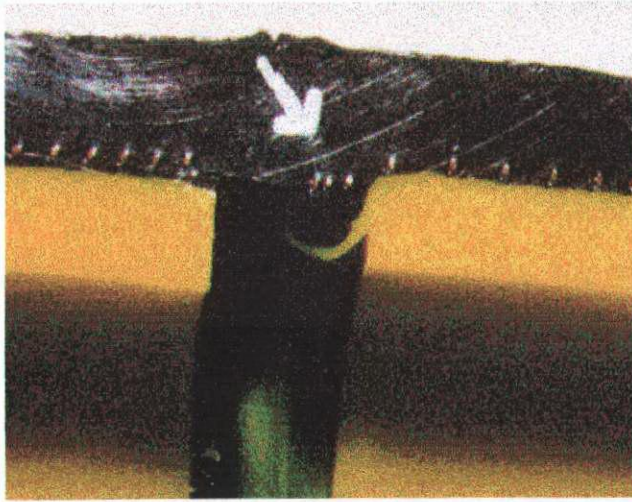
5.2.11. PE Boruların (Birinin Veya Her İkisinin) Manşon İçine Yeterince Girmemesi ve Boru Alınlarının Arasında Boşluk Bulunması

Kaynak işlemi sırasında PE borular fittingsler dikkate alınarak hazırlanmalıdır. Aksi durumlarda boru yerleştirildikten sonra boru alınları arasında boşluk kalır (Şekil 5.11). Bu işlem eriyen malzemenin boşluktan fittingsin içine akmasına sebep olacaktır.



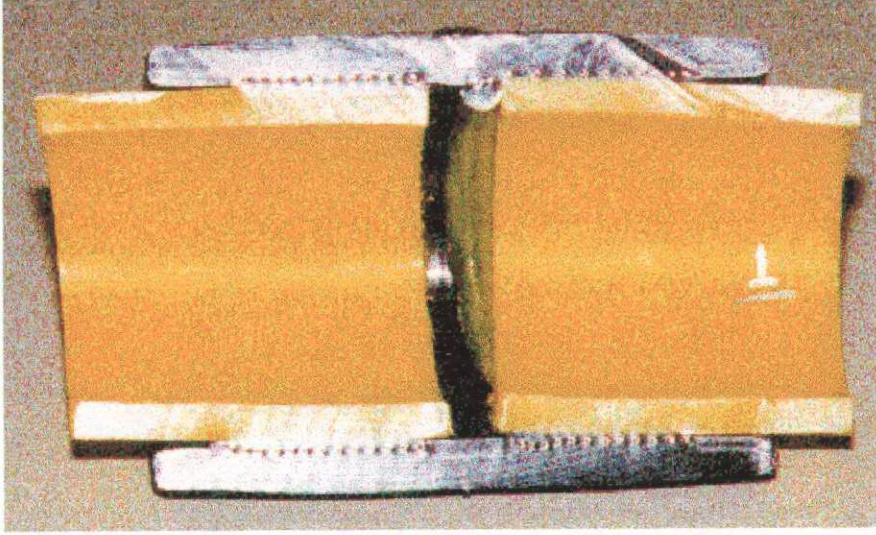
Şekil 5.11: Boru alınları arasında boşluk

Erime sonucu malzeme bu bölgede azalacağı için rezistanslar birbirine yaklaşırlar basan kısa devre yaparak ark sonucu kopabilirler (Şekil 5.12).



Şekil 5.12: Rezistansların bir araya toplanması

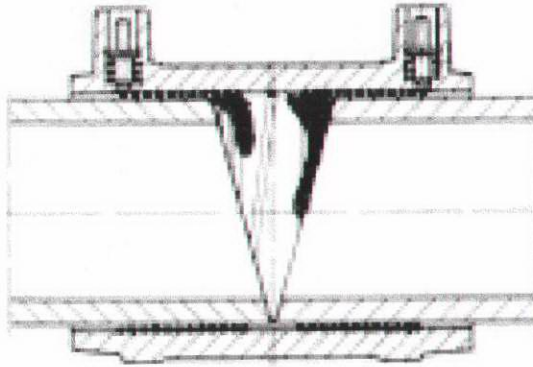
Boşluk fazla değilse kaynak tamamlanmış gibi hareket edilerek hat yanlışlıkla devreye alınabilir (Şekil 5.13). Fakat kaynak ömrü kısılacaktır.



Şekil 5.13: Eriyen malzemenin boru içine akması

5.2.12. PE Boru Ağzlarının Birinin veya Her İkisinin Dik Kesilmemesi,

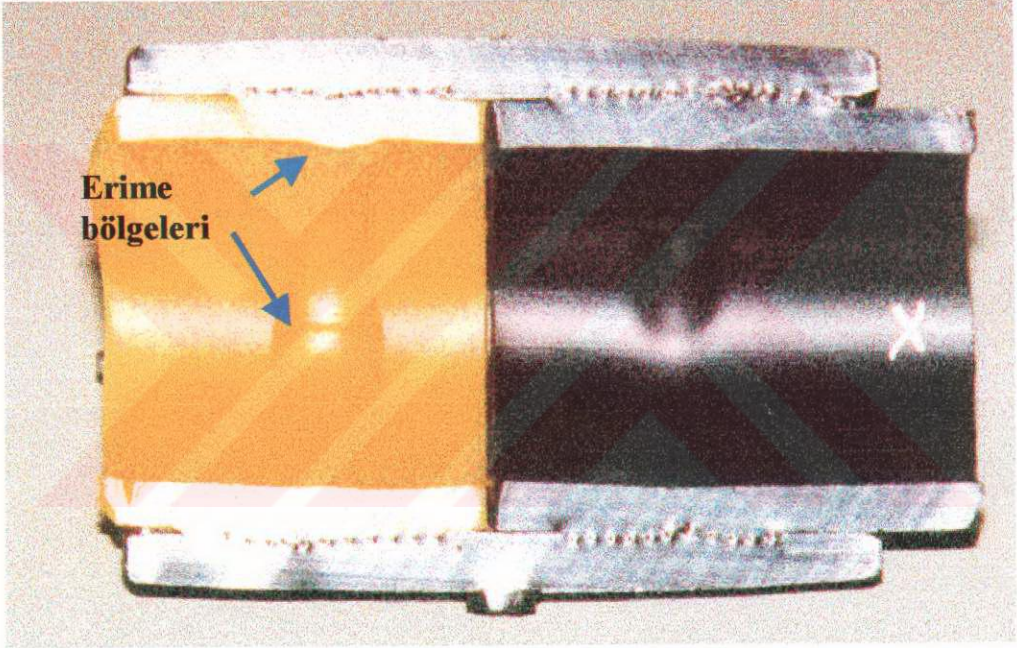
Boru alınlılarının dik değilse çapraz kesilerek kaynak edilmesiyle konu 5.2.11'de anlatılanlara benzer sonuçlar ortaya çıkar (Şekil 5.14).



Şekil 5.14: Boruların çapraz kesilmesi sonucu malzemede akma

5.2.13. Farklı Reçinelelerden İmal Edilmiş Boru ve Fitinglerin Kullanılması

Önceki bölümlerde bahsedildiği üzere kaynak işleminin gerçekleşmesi için manşon iç yüzeyi ile boru iç yüzeyi arasındaki malzeme erimelidir. Eriyen malzeme miktarı polietilen reçinenin özelliklerine bağlı olarak değişecektir. Farklı iki reçineden imal edilmiş fittings ve boru kullanıldığı zaman erimeler eşit oranda gerçekleşmeyeceği için kaynak kalitesi azalacaktır. Şekil 5.15'de farklı reçinelere imal edilmiş polietilen boruların kaynağı görülmektedir. Sarı bölgede erime fazla olmasına rağmen siyah bölgede daha azdır.



Şekil 5.15: Farklı iki PE borulardaki erime

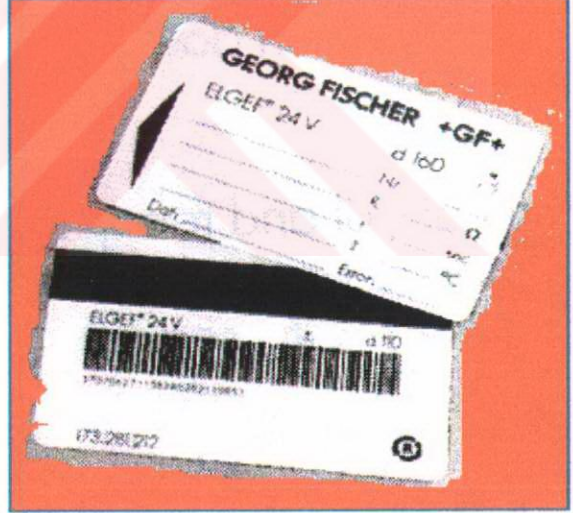
5.2.14. Kullanılan Fittingslerden Kaynaklanan Hatalar

Elektrofüzyon malzemeleri imalattan sonra kontrol edilmelerine rağmen bazı hatalı fittingslerle karşılaşmaktadır. Bunlar rezistansları kopmuş olabilir ki bu durumda hiç kaynak yapılamaz. İmalat sırasında rezistanslar birbirine yakın yerleştirilmişse kaynak başladıktan kısa bir süre sonra kısa devre sonucu teller kopmakta ve kaynak yarıda kalmaktadır.

Diğer karşılaşılan bir hata ise boruların oval olması gibi fittinglerinde standard dışında bir ovalliğe sahip olmasıdır. Bu tür fittinglerle kaynak işlemi yapılırsa oval boru kaynağına benzer sonuçlarla karşılaşılır.

Fittingslerin kullanım ömrü sınırsız değildir (ideal şartlarda 4 yıl). Bu yüzden fittingsler üzerinde imalat yılı ve ayı belirtilmiştir. Depolama koşullarına ve ambalajlarına göre kullanım süreleri değişmektedir. Güneş ışınlarından ve kötü depolama şartlarından etkilenen fittingslerin iç yüzeyinde oksitlenmiş tabakalar meydana gelirken bunların borularda olduğu gibi kazınması mümkün değildir [15].

Ayrıca malzemeler taşınırken fittingslerin üzerindeki bar-kodlar hasar görmüş ise optik kalemler tarafından okunamayacaktır (Şekil 5.16). Bu durumlarda fittings tanıtım kartları kullanılabilir (Şekil 5.17).



Şekil 5.16: Fittings bar-kodunun okunması Şekil 5.17: Fittings tanıtma kartları

5.2.15. PE Boruların Fittings İçerisine Gereğinden Fazla Sürülmesi

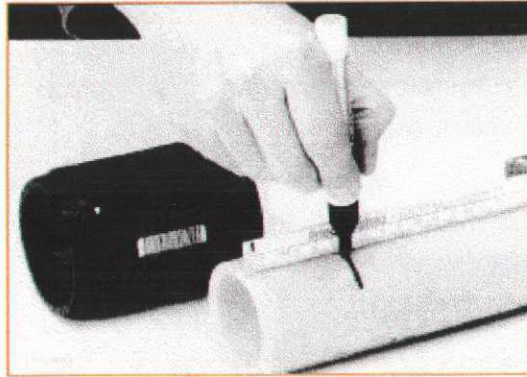
Kaynak işlemine başlamadan önce manşon içine girmesi gereken kısımlar işaretlenmeden montaj yapılırsa kaynak hataları meydana gelecektir. Yukarıda anlatıldığı gibi yetersiz sürüldüğü durumlarda malzemede akma görülecektir.

Manşonun orta noktasını geçtiği durumlarda ise kaynak işlemi dış görünüşü itibariyle tamamlanmış olacak fakat mukavemeti düşecektir (Şekil 5.18).



Şekil 5.18: Boruların manşon içerisine yanlış yerleştirilmesi .

Yukarıdaki şekilde "c" ile gösterilen boru parçasının manşonla kaynak edilmiş boru uzunluğu 31 mm olması gerekirken 17 mm'lik bölümü kaynaklanabilmiştir ki buda ihmal edilemeyecek kadar büyük bir hatadır. Fakat bu kaynak dış görüntüsü itibariyle normal kaynak gibi görünmektedir. Bu tür hataların önlenmesinin en pratik yolu manşon içerisine girecek boru bölgelerinin işaretlenmesidir (Şekil 5.19).



Şekil 5.19: Boruların Manşon içerisine girecek bölgesinin işaretlenmesi.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Plastik malzemelerin keşfiyle ve kullanıma başlamasıyla insanoğluru durmamış ve yeni arayışlar içerisinde plastiklerin kimyasal ve fiziksel özelliklerini geliştirerek metal, seramik ve cam gibi malzemelerin yerini almasını sağlamıştır. Plastiklerin kullanıma başlamasıyla plastıklere şekil verme teknolojisi gelişmiştir.

Plastiklerin kolay şekillendirilebilmesi, bilinen birçok malzemelere göre dayanımının, kimyasal direncinin yüksek olması ve en önemlisi de ekonomik olması plastiklerin sanayide yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır. Ayrıca termoplastik boruların da imal edilip kullanılması ve son 30 yıl içerisinde özelliklerinin geliştirilmesi ile sıvı ve gaz dağıtım hatlarında kullanılır hale gelmiştir.

Enerji kaynakları kesintisiz verilebildiği sürece tercih edilmektedir. Özellikle doğal gazın yaygın olarak kullanıma girmesi, gaz dağıtım firmalarını büyük bir arayışın içerisine itmiş ve sonunda da termoplastik boruların kullanıma başlanmasıyla büyük bir yol katedilmiştir. Termoplastik borularının bağlantılarında önceleri soket füzyon ve alın füzyon kaynakları kullanılmış fakat bu kaynak teknikleri tamir ve bakım işlerinde isteneni başaramadıkları için yerlerini oldukça yeni bir tekniğe bırakmışlardır. Özellikle gazın kesintisiz dağıtımını sağlayan bu yeni teknik elektrofüzyon kaynağıdır.

Termoplastik reçinelerin gelişmesi ve aynı malzemeden yapılan elektrofüzyon fittingslerinin keşfiyle yeni bir dönem başlamıştır.

Soket ve alın füzyon kaynağı gibi klasik tekniklere oranla elektrofüzyon tekniğinin çok yüksek performansa sahip ve güvenilir montaj tekniği olduğu görülmektedir.

Önceleri elektrofüzyon tekniği kullanımında problemlerle karşılaşmış fakat kaynak parametrelerinin tam olarak öğrenilmesi bu problemleri bertaraf etmiştir. Daha sonra

özel fittingler ve kaynak makinalarının geliştirilmesi bunun yanında kaynak prosedürlerinin oluşturulması ile kaynak hataları en aza indirilmeye çalışılmıştır.

Fakat yapılması gereken kaynakçılara kaynak işleminin yanında kaynak hatalarının da öğretilmesidir. Kaynak hataları oluşum sebepleri üzerinde durulmalıdır. Aksi takdirde hatalı kaynaklar uygun görülerek kullanımına izin verilebilir ki, bu da mal ve can emniyeti açısından büyük bir tehlike arz etmektedir.

Yaptığımız çalışma kapsamında kaynak hatalarının oluşum sebepleri üzerinde durulmuştur. Hataların oluşmasını önlemek için çareler önerilmiştir. Son bölümde sıkça karşılaşılan hatlar üzerinde durularak, önerilerde bulunulmuştur. En çok karşılaşılan hatalar şunlardır.

- Kaynak yapılacak kısımların kaynak ve soğuma süresince kötü hava koşullarından korunmaması,
- Kaynak yapılacak borunun içindeki basınçlı hava - gaz akımlarından korunmaması ve gaz sıkışması,
- Boru çevresindeki ortam sıcaklığının yüksek veya düşük olması (0°C - 35°C arasında olmalı).
- Kaynak bölgesinin mekanik zorlamalara maruz kalması,
- Kaynak yapılacak bölgelerin yeterince temizlenmesi,
- Pozisyonersiz, kasıtlı bağlamanın neden olduğu hatalar,
- Kaynak öncesi boruların düzeltilmemesi, oval boru kullanılması,
- Alın kaynak için imal edilmiş boruların elektrofüzyon tekniğinde kullanılması,
- Düşük gerilimle kaynak işleminin yapılmaya başlanması,
- Gerilimin değişik sebeplerden dolayı kesilmesi,
- Yüksek gerilimle kaynak yapılması,
- Bar-kod, magnetik kartla veya manuel girişlerde yanlış fittings tanıtma,
- Kaynak işlemine başlandığında değişik sıcaklıklara sahip malzemenin kullanılması (fittings, boru.),

- Kaynak işlemine (sedil T) başlamadan önce yeterince basıncın uygulanmamış olması,
- PE boruların (birinin veya her ikisinin) manşon içine yeterince girmemesi, boru alınlılarının arasında boşluk bulunması,
- PE boru ağızlarının birinin veya her ikisinin dik kesilmemesi,
- Kullanılan PE boru ve fittingslerinin özelliklerinin farklı olması (yoğunluk, erime sıcaklığı),
- Kullanılan fittingsden kaynaklanan hatalar, (kopmuş rezistans teli, rezistanların temas etmesi, oval fittings),
- Kaynak prosedürüne uymama (soğuma süresinin beklenmemesi, soğu gerçekleşmeden pozisyoner sökme, soketleri sökme, gaz verme, su verme),
- Kullanılan malzemeleri son kullanma tarihinin geçmesi,
- Kullanılan fittings'in standartlara uygun şekilde ambalajlanmaması,
- Manuel makinalarda voltaj değerinin yanlış girilmesi
- Manuel makinalarda süre dolmadan kaynak işlemine son verilmesi,
- Manşonlar yerleştirirken rezistansların bir araya toplanması,
- Boru yüzeyi kazınırken eşit kazınamama bazı bölgelerde derin kazıma yapılması,
- Değişik sebeplerden dolayı kaynaklanacak malzemelerin ıslanmış olması,
- Hava sıcaklığına göre kaynak süresinin tablodan yanlış seçilmesi ve bu sebeple kaynak süresinin uzaması veya kısılması,
- Her hangibir sebepten dolayı yarıda kalmış kaynak işlemine malzemenin soğumasını beklemeden yeniden aynı fittingse akım verilerek kaynak yapılması.

Yapılması gereken tüm fittings kaynakları için detaylı kaynak prosedürleri oluşturmak ve kaynakçıların bunlara uyması sağlanmaktadır. Ayrıca kaynak hataları ve tespit etme teknikleri kaynakçılara örneklendirilerek anlatılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **AKKURT, S.** Plastik Malzeme Bilgisi, İstanbul, Mart 1991
- [2] **SUDDEUTSCHES KUNSTSTOFF-ZENTRUM**, Schweissaufsicht für schweissarbeiten an Rohrleitungen aus PE-HD für die Gas-und Wasserversorgung-Lehrgangshandbuch, 1.Auflage 1993
- [3] **PAUL DE GORMO, E., KOHSE, A.** Materials and Processes in manufacturing, U.S.A. New York, 1988
- [4] **NEWBY, C.** Materials Principle's and Practice 1st Ed., 1990
- [5] **4 BAR POLİETİLEN TEKNİĞİ, İGDAŞ**, İstanbul, Ağustos 1995
- [6] **AKKURT, S.** Plastik Malzeme Teknolojisi, İstanbul, Ekim 1993
- [7] **ANIK, S., DİKİCİOĞLU, A., VURAL, M.** Termoplastik Malzemelerin Kaynağı, İstanbul, Mayıs 1994
- [8] **CHARACTERISTICS OF A GOOD JOINT BY ELECTROFUSION BOOKLET 2**, May 1987 SFP/U.F. OUEST Gaz de France.
- [9] **ŞEBEKELER EL KİTABI, İGDAŞ**, İstanbul 1998
- [10] **ÖZTÜRK, S.** Doğalgaz ve Uygulamaları, Ankara, Şubat 1991
- [11] **PE SERVİS HATLARINDA UYGULAMA EL KİTABI, İGDAŞ**, İstanbul, 1995
- [12] **POLYETHYLENE FITTINGS JOINTING SYSTEMS**, Euro Standard, Italy, September 1995
- [13] **ELECTROFUSION PLASTIC-PLASTIC FITTINGS**, Sofregas, France, November 1989
- [14] **PLASTIC PIPING SYSTEMS**, George Fischer, Sweden, 1994

[15] POLYETHYLENE PIPES IN GAS DITRIBUTION, Trammig, Italgas Gruppo, İtalya, 1998

[16] ELECTROFUSION, Fusion Group Plc, United Kingdem, 1995

[17] TECHNICAL INFORMATION AGRUGAS, AGRU,Austria, 1993

[18] FRIALEN TECHNICAL EQUIPMENT, Friatec AG, Mannheim, 1995

[19] İSTANBUL 2. ULUSLARASI DOĞAL GAZ SEMPOZYUMU BİLDİRİLERİ, Hilton, İstanbul, Kasım 1994

[20] TSE STANDARLARI, TS 6270, TS Pr EN 1555-2



EK A: Elektrofüzyon fittingsleri kaynak ve soğuma süreleri I

innogaz PE Industries		FUSION AND COOLING TIMES TEMPS DE SOUDAGE ET DE REFROIDISSEMENT TIEMPOS DE SOLDADURA Y ENFRIAMIENTO SCHWEIß UND ABKÜHLZEIT																																																																																																																																																				
Tech. Spec. : SOUD 130		Rev: 14 du 30/7/96																																																																																																																																																				
FUSION VOLTAGE = 39.5 ± 0.5 Volt																																																																																																																																																						
TENSION DE SOUDAGE - TENSION DE SOLDADURA - SCHWEIßSPANNUNG																																																																																																																																																						
COUPLERS - MANCHONS - MANGUITOS - ELEKTROSCHWEIßMUFFEN																																																																																																																																																						
FUSION TIMES TEMPS DE SOUDAGE TIEMPOS DE SOLDADURA SCHWEIßDAUER							COOLING TIMES REFROIDISSEMENT ENFRIAMIENTO ABKÜHLZEIT																																																																																																																																															
<table><tr><td></td><td>-10°C</td><td>0°C</td><td>+10°C</td><td>+20°C</td><td>+30°C</td><td>+40°C</td><td>+50°C</td></tr><tr><td>20 mm</td><td>24 sec.</td><td>23 sec.</td><td>22 sec.</td><td>21 sec.</td><td>20 sec.</td><td>19 sec.</td><td></td></tr><tr><td>25 mm</td><td>27 sec.</td><td>26 sec.</td><td>25 sec.</td><td>24 sec.</td><td>23 sec.</td><td>22 sec.</td><td></td></tr><tr><td>32 mm</td><td>40 sec.</td><td>39 sec.</td><td>37 sec.</td><td>36 sec.</td><td>35 sec.</td><td>33 sec.</td><td></td></tr><tr><td>40 mm</td><td>48 sec.</td><td>47 sec.</td><td>45 sec.</td><td>43 sec.</td><td>41 sec.</td><td>40 sec.</td><td></td></tr><tr><td>50 mm</td><td>67 sec.</td><td>65 sec.</td><td>62 sec.</td><td>60 sec.</td><td>58 sec.</td><td>55 sec.</td><td></td></tr><tr><td>63 mm</td><td>85 sec.</td><td>82 sec.</td><td>79 sec.</td><td>76 sec.</td><td>73 sec.</td><td>70 sec.</td><td></td></tr><tr><td>75 mm</td><td>84 sec.</td><td>81 sec.</td><td>78 sec.</td><td>75 sec.</td><td>72 sec.</td><td>69 sec.</td><td></td></tr><tr><td>90 mm</td><td>152 sec.</td><td>146 sec.</td><td>140 sec.</td><td>135 sec.</td><td>130 sec.</td><td>124 sec.</td><td></td></tr><tr><td>110 mm</td><td>191 sec.</td><td>184 sec.</td><td>177 sec.</td><td>170 sec.</td><td>163 sec.</td><td>157 sec.</td><td></td></tr><tr><td>125 mm</td><td>259 sec.</td><td>249 sec.</td><td>239 sec.</td><td>230 sec.</td><td>221 sec.</td><td>212 sec.</td><td></td></tr><tr><td>140 mm</td><td>281 sec.</td><td>270 sec.</td><td>260 sec.</td><td>250 sec.</td><td>240 sec.</td><td>230 sec.</td><td></td></tr><tr><td>160 mm</td><td>382 sec.</td><td>368 sec.</td><td>354 sec.</td><td>340 sec.</td><td>326 sec.</td><td>313 sec.</td><td></td></tr><tr><td>180 mm</td><td>472 sec.</td><td>454 sec.</td><td>437 sec.</td><td>420 sec.</td><td>403 sec.</td><td>387 sec.</td><td></td></tr><tr><td>200 mm</td><td>534 sec.</td><td>514 sec.</td><td>494 sec.</td><td>475 sec.</td><td>456 sec.</td><td>438 sec.</td><td></td></tr><tr><td>225 mm</td><td>392 sec.</td><td>381 sec.</td><td>371 sec.</td><td>360 sec.</td><td>344 sec.</td><td>328 sec.</td><td></td></tr><tr><td>250 mm</td><td>545 sec.</td><td>530 sec.</td><td>515 sec.</td><td>500 sec.</td><td>478 sec.</td><td>455 sec.</td><td></td></tr><tr><td>315 mm</td><td>763 sec.</td><td>742 sec.</td><td>721 sec.</td><td>700 sec.</td><td>669 sec.</td><td>637 sec.</td><td></td></tr></table>									-10°C	0°C	+10°C	+20°C	+30°C	+40°C	+50°C	20 mm	24 sec.	23 sec.	22 sec.	21 sec.	20 sec.	19 sec.		25 mm	27 sec.	26 sec.	25 sec.	24 sec.	23 sec.	22 sec.		32 mm	40 sec.	39 sec.	37 sec.	36 sec.	35 sec.	33 sec.		40 mm	48 sec.	47 sec.	45 sec.	43 sec.	41 sec.	40 sec.		50 mm	67 sec.	65 sec.	62 sec.	60 sec.	58 sec.	55 sec.		63 mm	85 sec.	82 sec.	79 sec.	76 sec.	73 sec.	70 sec.		75 mm	84 sec.	81 sec.	78 sec.	75 sec.	72 sec.	69 sec.		90 mm	152 sec.	146 sec.	140 sec.	135 sec.	130 sec.	124 sec.		110 mm	191 sec.	184 sec.	177 sec.	170 sec.	163 sec.	157 sec.		125 mm	259 sec.	249 sec.	239 sec.	230 sec.	221 sec.	212 sec.		140 mm	281 sec.	270 sec.	260 sec.	250 sec.	240 sec.	230 sec.		160 mm	382 sec.	368 sec.	354 sec.	340 sec.	326 sec.	313 sec.		180 mm	472 sec.	454 sec.	437 sec.	420 sec.	403 sec.	387 sec.		200 mm	534 sec.	514 sec.	494 sec.	475 sec.	456 sec.	438 sec.		225 mm	392 sec.	381 sec.	371 sec.	360 sec.	344 sec.	328 sec.		250 mm	545 sec.	530 sec.	515 sec.	500 sec.	478 sec.	455 sec.		315 mm	763 sec.	742 sec.	721 sec.	700 sec.	669 sec.	637 sec.
	-10°C	0°C	+10°C	+20°C	+30°C	+40°C	+50°C																																																																																																																																															
20 mm	24 sec.	23 sec.	22 sec.	21 sec.	20 sec.	19 sec.																																																																																																																																																
25 mm	27 sec.	26 sec.	25 sec.	24 sec.	23 sec.	22 sec.																																																																																																																																																
32 mm	40 sec.	39 sec.	37 sec.	36 sec.	35 sec.	33 sec.																																																																																																																																																
40 mm	48 sec.	47 sec.	45 sec.	43 sec.	41 sec.	40 sec.																																																																																																																																																
50 mm	67 sec.	65 sec.	62 sec.	60 sec.	58 sec.	55 sec.																																																																																																																																																
63 mm	85 sec.	82 sec.	79 sec.	76 sec.	73 sec.	70 sec.																																																																																																																																																
75 mm	84 sec.	81 sec.	78 sec.	75 sec.	72 sec.	69 sec.																																																																																																																																																
90 mm	152 sec.	146 sec.	140 sec.	135 sec.	130 sec.	124 sec.																																																																																																																																																
110 mm	191 sec.	184 sec.	177 sec.	170 sec.	163 sec.	157 sec.																																																																																																																																																
125 mm	259 sec.	249 sec.	239 sec.	230 sec.	221 sec.	212 sec.																																																																																																																																																
140 mm	281 sec.	270 sec.	260 sec.	250 sec.	240 sec.	230 sec.																																																																																																																																																
160 mm	382 sec.	368 sec.	354 sec.	340 sec.	326 sec.	313 sec.																																																																																																																																																
180 mm	472 sec.	454 sec.	437 sec.	420 sec.	403 sec.	387 sec.																																																																																																																																																
200 mm	534 sec.	514 sec.	494 sec.	475 sec.	456 sec.	438 sec.																																																																																																																																																
225 mm	392 sec.	381 sec.	371 sec.	360 sec.	344 sec.	328 sec.																																																																																																																																																
250 mm	545 sec.	530 sec.	515 sec.	500 sec.	478 sec.	455 sec.																																																																																																																																																
315 mm	763 sec.	742 sec.	721 sec.	700 sec.	669 sec.	637 sec.																																																																																																																																																
							5 minutes.																																																																																																																																															
							6 minutes.																																																																																																																																															
							6 minutes.																																																																																																																																															
							10 minutes.																																																																																																																																															
							11 minutes.																																																																																																																																															
							12 minutes.																																																																																																																																															
							13 minutes.																																																																																																																																															
							15 minutes.																																																																																																																																															
							20 minutes.																																																																																																																																															
							30 minutes.																																																																																																																																															
							30 minutes.																																																																																																																																															
							30 minutes.																																																																																																																																															
							30 minutes.																																																																																																																																															
							35 minutes.																																																																																																																																															
							16 minutes.																																																																																																																																															
							27 minutes.																																																																																																																																															
							27 minutes.																																																																																																																																															

REDUCERS - REDUCTIONS - MANGUITOS DE REDUCCION - ELEKTROSCHWEIßREDUKTIONEN																																														
FUSION TIMES TEMPS DE SOUDAGE TIEMPOS DE SOLDADURA SCHWEIßDAUER							COOLING TIMES REFROIDISSEMENT ENFRIAMIENTO ABKÜHLZEIT																																							
<table><tr><td></td><td>-10°C</td><td>0°C</td><td>+10°C</td><td>+20°C</td><td>+30°C</td><td>+40°C</td><td>+50°C</td></tr><tr><td>32/20 mm</td><td>25 sec.</td><td>24 sec.</td><td>23 sec.</td><td>22 sec.</td><td>21 sec.</td><td>20 sec.</td><td></td></tr><tr><td>32/25 mm</td><td>25 sec.</td><td>24 sec.</td><td>23 sec.</td><td>22 sec.</td><td>21 sec.</td><td>20 sec.</td><td></td></tr><tr><td>63/40 mm</td><td>73 sec.</td><td>70 sec.</td><td>68 sec.</td><td>65 sec.</td><td>62 sec.</td><td>60 sec.</td><td></td></tr><tr><td>90/63 mm</td><td>84 sec.</td><td>81 sec.</td><td>78 sec.</td><td>75 sec.</td><td>72 sec.</td><td>69 sec.</td><td></td></tr></table>									-10°C	0°C	+10°C	+20°C	+30°C	+40°C	+50°C	32/20 mm	25 sec.	24 sec.	23 sec.	22 sec.	21 sec.	20 sec.		32/25 mm	25 sec.	24 sec.	23 sec.	22 sec.	21 sec.	20 sec.		63/40 mm	73 sec.	70 sec.	68 sec.	65 sec.	62 sec.	60 sec.		90/63 mm	84 sec.	81 sec.	78 sec.	75 sec.	72 sec.	69 sec.
	-10°C	0°C	+10°C	+20°C	+30°C	+40°C	+50°C																																							
32/20 mm	25 sec.	24 sec.	23 sec.	22 sec.	21 sec.	20 sec.																																								
32/25 mm	25 sec.	24 sec.	23 sec.	22 sec.	21 sec.	20 sec.																																								
63/40 mm	73 sec.	70 sec.	68 sec.	65 sec.	62 sec.	60 sec.																																								
90/63 mm	84 sec.	81 sec.	78 sec.	75 sec.	72 sec.	69 sec.																																								
							5 minutes.																																							
							5 minutes.																																							
							12 minutes.																																							
							15 minutes.																																							

90° ELBOW - COUDE A 90° - CODO 90° - ELEKTROSCHWEIßWINKELN 90°																														
FUSION TIMES TEMPS DE SOUDAGE TIEMPOS DE SOLDADURA SCHWEIßDAUER							COOLING TIMES REFROIDISSEMENT ENFRIAMIENTO ABKÜHLZEIT																							
<table><tr><td></td><td>-10°C</td><td>0°C</td><td>+10°C</td><td>+20°C</td><td>+30°C</td><td>+40°C</td><td>+50°C</td></tr><tr><td>40 mm</td><td>51 sec.</td><td>49 sec.</td><td>47 sec.</td><td>45 sec.</td><td>43 sec.</td><td>41 sec.</td><td></td></tr><tr><td>63 mm</td><td>67 sec.</td><td>65 sec.</td><td>62 sec.</td><td>60 sec.</td><td>58 sec.</td><td>55 sec.</td><td></td></tr></table>									-10°C	0°C	+10°C	+20°C	+30°C	+40°C	+50°C	40 mm	51 sec.	49 sec.	47 sec.	45 sec.	43 sec.	41 sec.		63 mm	67 sec.	65 sec.	62 sec.	60 sec.	58 sec.	55 sec.
	-10°C	0°C	+10°C	+20°C	+30°C	+40°C	+50°C																							
40 mm	51 sec.	49 sec.	47 sec.	45 sec.	43 sec.	41 sec.																								
63 mm	67 sec.	65 sec.	62 sec.	60 sec.	58 sec.	55 sec.																								
							12 minutes.																							
							14 minutes.																							

TEE - TE - TE - ELEKTROANSCHWEIßENDEN T-STÜCKE																																						
FUSION TIMES TEMPS DE SOUDAGE TIEMPOS DE SOLDADURA SCHWEIßDAUER							COOLING TIMES REFROIDISSEMENT ENFRIAMIENTO ABKÜHLZEIT																															
<table><tr><td></td><td>-10°C</td><td>0°C</td><td>+10°C</td><td>+20°C</td><td>+30°C</td><td>+40°C</td><td>+50°C</td></tr><tr><td>25 mm</td><td>40 sec.</td><td>39 sec.</td><td>37 sec.</td><td>36 sec.</td><td>35 sec.</td><td>33 sec.</td><td></td></tr><tr><td>32 mm</td><td>51 sec.</td><td>49 sec.</td><td>47 sec.</td><td>45 sec.</td><td>43 sec.</td><td>41 sec.</td><td></td></tr><tr><td>63 mm</td><td>73 sec.</td><td>70 sec.</td><td>68 sec.</td><td>65 sec.</td><td>62 sec.</td><td>60 sec.</td><td></td></tr></table>									-10°C	0°C	+10°C	+20°C	+30°C	+40°C	+50°C	25 mm	40 sec.	39 sec.	37 sec.	36 sec.	35 sec.	33 sec.		32 mm	51 sec.	49 sec.	47 sec.	45 sec.	43 sec.	41 sec.		63 mm	73 sec.	70 sec.	68 sec.	65 sec.	62 sec.	60 sec.
	-10°C	0°C	+10°C	+20°C	+30°C	+40°C	+50°C																															
25 mm	40 sec.	39 sec.	37 sec.	36 sec.	35 sec.	33 sec.																																
32 mm	51 sec.	49 sec.	47 sec.	45 sec.	43 sec.	41 sec.																																
63 mm	73 sec.	70 sec.	68 sec.	65 sec.	62 sec.	60 sec.																																
							5 minutes.																															
							6 minutes.																															
							10 minutes.																															

EK B: Elektrofüzyon fittingsleri kaynak ve soğuma süreleri 2

innogaz PE Industries		FUSION AND COOLING TIMES TEMPS DE SOUDAGE ET DE REFROIDISSEMENT TIEMPOS DE SOLDADURA Y ENFRIAMIENTO SCHWEIß UND ABKÜHLZEIT					
Tech. Spec. SOUT 130		Rev: 14 du 30/7/96					
		FUSION VOLTAGE = 39.5 ± 0.5 Volt					
		TENSION DE SOUDAGE - TENSION DE SOLDADURA - SCHWEIßSPANNUNG					
		REPAIR SADDLES - SELLES DE REPARATION - ARMATURAS PARA BALON OBTURADOR SPERRBLASENARMATUR					
FUSION TIMES TEMPS DE SOUDAGE TIEMPOS DE SOLDADURA SCHWEIßDAUER		COOLING TIMES REFROIDISSEMENT ENFRIAMIENTO ABKÜHLZEIT					
	-10°C	0°C	-10°C	-20°C	-30°C	-40°C	-50°C
110 mm	157 sec.	151 sec.	146 sec.	140 sec.	134 sec.	129 sec.	15 minutes.
125 mm	157 sec.	151 sec.	146 sec.	140 sec.	134 sec.	129 sec.	15 minutes.
160 mm	315 sec.	303 sec.	291 sec.	280 sec.	269 sec.	258 sec.	15 minutes.
200 mm	169 sec.	162 sec.	156 sec.	150 sec.	144 sec.	138 sec.	15 minutes.
LOW VOLUME TAPPING TEES PRISES DE BRANCHEMENT PETIT VOLUME TOMA DE T EN CARGA DE PEQUEÑO VOLUMEN ANBOHRARMATUREN (KLEINES VOLUMEN)		Punched hole = 21 mm (17 mm für Ø 40/20,25,32) Diametre de perforation = 21 mm (17 mm pour Ø 40/20,25,32) Orificio de taladro = 21 mm (17 mm para Ø 40/20,25,32) Bohrung = 21 mm (17 mm für Ø 40/20,25,32)					
FUSION TIMES TEMPS DE SOUDAGE TIEMPOS DE SOLDADURA SCHWEIßDAUER		COOLING TIMES REFROIDISSEMENT ENFRIAMIENTO ABKÜHLZEIT					
	-10°C	0°C	-10°C	-20°C	-30°C	-40°C	-50°C
40 / 20,25,32 mm	29 sec.	28 sec.	27 sec.	26 sec.	25 sec.	24 sec.	10 minutes.
50 / 20,25,32 mm	58 sec.	56 sec.	54 sec.	52 sec.	50 sec.	48 sec.	10 minutes.
63 / 20,25,32 mm	67 sec.	65 sec.	62 sec.	60 sec.	58 sec.	55 sec.	10 minutes.
90 / 20,25,32 mm	67 sec.	65 sec.	62 sec.	60 sec.	58 sec.	55 sec.	10 minutes.
110 / 20,25,32 mm	67 sec.	65 sec.	62 sec.	60 sec.	58 sec.	55 sec.	10 minutes.
125 / 20,25,32 mm	67 sec.	65 sec.	62 sec.	60 sec.	58 sec.	55 sec.	10 minutes.
160 / 20,25,32 mm	67 sec.	65 sec.	62 sec.	60 sec.	58 sec.	55 sec.	10 minutes.
180 / 20,25,32 mm	67 sec.	65 sec.	62 sec.	60 sec.	58 sec.	55 sec.	10 minutes.
200 / 20,25 mm	67 sec.	65 sec.	62 sec.	60 sec.	58 sec.	55 sec.	10 minutes.
MEDIUM VOLUME TAPPING TEES PRISES DE BRANCHEMENT MOYEN VOLUME TOMA DE T EN CARGA DE MEDIO VOLUMEN ANBOHRARMATUREN (MITTIERES VOLUMEN)		Punched hole = 32 mm Diametre de perforation = 32 mm Orificio de taladro = 32 mm Bohrung = 32 mm					
FUSION TIMES TEMPS DE SOUDAGE TIEMPOS DE SOLDADURA SCHWEIßDAUER		COOLING TIMES REFROIDISSEMENT ENFRIAMIENTO ABKÜHLZEIT					
	-10°C	0°C	-10°C	-20°C	-30°C	-40°C	-50°C
63/40 mm	107 sec.	103 sec.	99 sec.	95 sec.	91 sec.	88 sec.	10 minutes.
90/40 mm	107 sec.	103 sec.	99 sec.	95 sec.	91 sec.	88 sec.	10 minutes.
110/40 mm	107 sec.	103 sec.	99 sec.	95 sec.	91 sec.	88 sec.	10 minutes.
125/40 mm	107 sec.	103 sec.	99 sec.	95 sec.	91 sec.	88 sec.	10 minutes.
160/40 mm	107 sec.	103 sec.	99 sec.	95 sec.	91 sec.	88 sec.	10 minutes.
180/40 mm	107 sec.	103 sec.	99 sec.	95 sec.	91 sec.	88 sec.	10 minutes.
200/32,40 mm	107 sec.	103 sec.	99 sec.	95 sec.	91 sec.	88 sec.	10 minutes.
225/32,40 mm	135 sec.	130 sec.	125 sec.	120 sec.	115 sec.	111 sec.	10 minutes.
HIGH VOLUME TAPPING TEES PRISES DE BRANCHEMENT GRAND VOLUME TOMA DE T EN CARGA DE GRAN VOLUMEN ANBOHRARMATUREN (GROSSES VOLUMEN)		Punched hole = 46 mm Diametre de perforation = 46 mm Orificio de taladro = 46 mm Bohrung = 46 mm					
FUSION TIMES TEMPS DE SOUDAGE TIEMPOS DE SOLDADURA SCHWEIßDAUER		COOLING TIMES REFROIDISSEMENT ENFRIAMIENTO ABKÜHLZEIT					
	-10°C	0°C	-10°C	-20°C	-30°C	-40°C	-50°C
110/63 mm	157 sec.	151 sec.	146 sec.	140 sec.	134 sec.	129 sec.	15 minutes.
125/63 mm	157 sec.	151 sec.	146 sec.	140 sec.	134 sec.	129 sec.	15 minutes.
160/63 mm	169 sec.	162 sec.	156 sec.	150 sec.	144 sec.	138 sec.	15 minutes.
200/63 mm	169 sec.	162 sec.	156 sec.	150 sec.	144 sec.	138 sec.	15 minutes.
225/63 mm	180 sec.	173 sec.	166 sec.	160 sec.	154 sec.	147 sec.	15 minutes.

ÖZGEÇMİŞ

18.11.1970 tarihinde Konya ili merkezinde Karatay İlçesinde doğdu. İlköğrenimini Konya Hakimiyeti Milliye İlkokulunda tamamladı. Orta öğrenimini Karatay Anadolu Lisesinde tamamladı. 1989 yılında Gaziantep Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümüne girdi. Haziran 1994'te bu bölümden mezun oldu. 1994 yılında İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Ana Bilim dalında lisans üstü eğitimine başladı.

