



**POLİETİLEN DOĞAL GAZ BORULARINDA KAYNAK YÖNTEMLERİNİN
İNCELENMESİ**

Gölnur TUZCU AKOĞLANOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİYEL TEKNOLOJİ EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2014

Glnur TUZCU AKOĞLANOĞLU tarafından hazırlanan ‘‘POLİETİLEN DOĞALGAZ BORULARINDA KAYNAK YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ’’ adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İbrahim ERTÜRK

Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Başkan: Doç. Dr. Abdullah KURT

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

ye: Doç. Dr. Behçet GÜLENÇ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Tez Savunma Tarihi : 18/09/2014

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. şeref SAĞIROĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Gölnur TUZCU AKOĞLANOĞLU

18/10/2014

POLİETİLEN DOĞAL GAZ BORULARINDA KAYNAK YÖNTEMLERİNİN
İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Gülnur TUZCU AKOĞLANOĞLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2014

ÖZET

Doğalgaz kullanımında gazı taşıyan borularının birleştirilmesi, yaşanan problemler sonucunda büyük bir öneme sahip olduğunu göstermektedir. PE doğalgaz boru hatlarının kurulumu veya kurulmuş olan boru hatlarının bakım ve onarımları yılın her zamanında farklı çevresel sıcaklıklarda yapılmaktadır. Yapılan bu işlemlerin güvenilirlikleri tamamen kaynak kalitesine bağlıdır. Çalışmada elektro-eritme kaynağı ile -30 °C ile 30 °C arasındaki on bir farklı sıcaklıkta aynı seride üretilmiş olan manşon ve boruların birleştirilmesinde uygulanmıştır. Elde edilen numunelere TS ISO 13954, TS ISO 13955, TS ISO 13956 ve TS EN 1555-3 standartlarında tanımlanmış test ve ölçümler uygulanmıştır. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde -18 °C ile 18 °C arası ortam sıcaklıkları en iyi sonuçların elde edildiği çevre sıcaklıkları olarak tespit edilmiştir. Bu sıcaklıkların dışındaki ortam sıcaklıkları elektro-eritme kaynağı ile birleştirme işlemi için uygun olmayıp, zorunlu hallerde kaynak sürelerinde ayarlamalar yapılarak kaliteli kaynak elde edilebileceği yapılan deneysel çalışmalarla ortaya konmuştur. Ayrıca doğalgaz transfer hatlarını taşıyan toprak katmanlarında meydana gelen yeryüzü hareketlerinin sebep olduğu esneme, bükülme, burulma, çarpılma vb. olumsuzlukların oluşturduğu tahribatlar hat güvenilirlikleri üzerinde büyük etkilere sahiptir.

Bilim Kodu : 705.3.019
Anahtar Kelimeler : Plastik Kaynak, Plastik Boru Kaynak Güvenirliği, Sıcak Eleman Alın Kaynağı, Elektro Eritme Kaynağı
Sayfa Adedi : 61
Danışman : Yrd. Doç. Dr. İbrahim ERTÜRK

INVESTIGATION OF WELDING METHODS OF POLYETHYLENE GAS PIPE

(M. Sc. Thesis)

Glnur TUZCU AKOĞLANOĞLU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

September 2014

ABSTRACT

Being combined the pipes which carry the gases during the usage of natural gas shows to have the major importance as a result of the experienced problems. Either setting the PE natural gas pipeline or having been settled ones maintenance and reparation are done at the different temperatures of every time of the year. The reliability of all those processes depends totally on the quality of the weld. On the study, electro dissociation welding has been used to be combined the pipes and the sleeves produced at eleven different temperatures between -30 °C and 30 °C but the same serial. It has been applied to the acquired samples the tests and measures which had been qualified as TS ISO 13954, TS ISO 13955, TS ISO 13956 and TS EN 1555-3 standards. When obtained data evaluated, it has been confirmed that the best results obtained under the temperatures between -18 °C and 18 °C. The temperatures except those are not available for combining by electro dissociation. Besides, it has been revealed by experimental studies that a high qualified welding can be achieved with the time of wending arranged under the unavoidable circumstances. Moreover, the damage, caused by some negations such as flection, bending, distortion, warping etc., occurring due to the earth movements on the earth stratum which carries the natural gas pipelines have a great deal of effect on line reliability.

Science Code :705.3.019

Key Words : Plaster, Welding, Plaster Pipe, Plaster Pipe Welding Reliability,
Warm Welding Electrodissociation

Page Number : 61

Supervisor : Assist. Prof. Dr. İbrahim ERTÜRK

TEŞEKKÜR

Çalışma sırasında bilimsel katkıları ile bana yardımcı olan, eğitimim sürecinde yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım ve hocam Gazi Üniversitesi Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Anabilim Dalı öğretim üyesi Yrd. Doç. İbrahim ERTÜRK' e en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Araştırma sürecinde büyük yardımlarını gördüğüm, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım hocam Doç. Dr. Adnan AKKURT' a teşekkürü bir borç bilirim.

Deneysel çalışmaların yapılmasında yardımcı olan TEGA Mühendislik Sanayi ve Ticaret A.Ş. kalite müdürü Sn. Lütfiye KILIÇ' a sonsuz teşekkür ederim.

Bana maddi ve manevi her türlü desteği veren aileme, en içten teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGE VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ	1
2. PLASTİKLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ	3
2.1. Plastiklerin Yapısı	6
2.1.1. Plastiklerin kimyasal yapısı	6
2.2. Plastiklerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi	12
2.2.1. Amorf yapıdaki plastiklerin mekanik davranışları	14
2.2.2. Kısmi-Kristalin yapıdaki plastiklerin mekanik davranışları	17
2.2.3. Mekanik özellikleri etkileyen faktörler	19
2.3. Plastiklerin Uygulamalı Mekanik Özellikleri	23
2.3.1. Elastomerlerin Gerilme-Gerinme davranışı	24
2.3.2. Yarı-kristalin polimerlerin gerilme-gerinme davranışı	24
2.3.3. Viskoelastik deformasyonun amorf polimerlerde davranışı	25
2.3.4. Basma dayanımı	26
2.3.5. Eğme dayanımı	27
2.3.6. Burulma dayanımı	27

	Sayfa
2.3.7. Elastiklik modülü (Modül, M)	28
2.3.8. Darbe dayanımı	29
2.3.9. Özgül ağırlık	29
2.3.10. Su absorpsiyonu	29
2.3.11. Sürtünme katsayısı (COF)	29
3. POLİETİLEN BORULARIN ÖZELLİKLERİ VE KAYNAK YÖNTEMLERİ	31
3.1. Termoplastik Boruların Kaynak Yöntemlerine Genel Bakış	32
3.2. Sıcak eleman alın kaynağı	33
3.3. Sıcak eleman manşon kaynağı	37
3.4. Elektrofüzyon Kaynak Tekniği	38
3.4.1. Elektrofüzyon yönteminin tercih nedenleri	38
3.4.2. Elektrofüzyon kaynağında kaynak kabiliyeti	39
3.4.3. Elektrofüzyon kaynak yönteminin işlem adımları	41
3.4.4. Kaynak hataları ve nedenleri	44
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	47
4.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler	47
4.1.1. Ana malzeme	47
4.1.2. Elektrofüzyon kaynak makinesi	48
4.1.3. Ayırma test tertibatı	50
4.2. Deneyin Yapılışı	50
4.2.1. Kaynak edilecek numunede kaynak bölgesinin işaretlenmesi ve temizliği	51
4.2.2. Numunelerin kaynatılması	52
4.2.3. Çekme ayırma ve sıyrarak ayırma testi	53
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	55

Sayfa

KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	61

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Polimer malzemelerin özelliklerine göre sınıflandırılması	8
Çizelge 2.2. En çok kullanılan termoplastikler ve kullanım alanları	9
Çizelge 3.1. Sıcak eleman kaynağında önerilen kaynak parametreleri	35
Çizelge 3.2. Sıcak eleman kaynağı problemleri ve muhtemel sebepleri	36
Çizelge 4.1. PE 100 doğalgaz borularının genel özellikleri	48
Çizelge 4.2. Deneyde kullanılan elektrofüzyon kaynak makinesi parametreleri	49
Çizelge 5.1. Ortam sıcaklığına bağlı birleştirilen numunelerin çekme-ayırma testlerinin değerlendirilmesi	55

Şekil	Sayfa
Şekil 2.23. Darbe dayanımı	29
Şekil 3.1. Sıcak elaman kaynağı	34
Şekil 3.2. Birleştirilmiş ürün	34
Şekil 3.3. Sıcak elaman kaynağı işleminin işlem basamakları grafiksel gösterimi	34
Şekil 3.4. Sıcak eleman maşon kaynağı	37
Şekil 3.5. Elektrofüzyon aşamaları	40
Şekil 5.1. Birleştirme ortam sıcaklığına bağlı uzama değişim grafiği	56

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Doymamış hidrokarbonun (etilen) açık formülü	6
Şekil 2.2. Polietilenin elde edilmişinin açık formülü	7
Şekil 2.3. Termoplastik malzemelerde zincir yapısı	8
Şekil 2.4. Termoset malzemelerde zincir yapısı	10
Şekil 2.5. Termoplastik ve termoset plastiklerin molekül zincirleri arasındaki farklar .	10
Şekil 2.6. Amorf yapı	14
Şekil 2.7. Gerilme ve uzama	15
Şekil 2.8. Camsı durumdaki amorf polimerin gerilme şekil değiştirme diyagramı	16
Şekil 2.9. Çeşitli sıcaklık derecelerinde tipik bir polimerin çekme diyagramları amorf polimerlerde sıcaklık artarsa; (E) azalır, $\sigma_{\text{Çek}}$ azalır ve $\% \epsilon$ artar	16
Şekil 2.10. Sıcaklık etkisi	17
Şekil 2.11. Kısmi-kristalin düzen ve kısmi-kristalin polimerlerin deformasyonu	18
Şekil 2.12. Yarı-kristalin polimerlerin plastik deformasyonu	19
Şekil 2.13. Kristalinlik ve molekül ağırlığı ilişkisi	20
Şekil 2.14. Polymerlerdeki -S- eğrileri	20
Şekil 2.15. Camsı dönüşüm sıcaklığı	21
Şekil 2.16. Molekül ağırlığına bağlı polymer özelliklerinin “Camsı Dönüşüm” ve “Ergime Sıcaklıkları” ile ilişkisi	22
Şekil 2.17. Çekme dayanımı ve uzama	24
Şekil 2.18. Gevrek tepki-plastik tepki	24
Şekil 2.19. Termoplastiklerin gerilme-gerinme davranışı	25
Şekil 2.20. Viskoelastik deformasyon	26
Şekil 2.21. Basma dayanımı	26
Şekil 2.22. Burulma dayanımı	28

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Denejde kullanılan polietilen (PE 100) plastik borular	47
Resim 4.2. Denejde kullanılan elektrofüzyon kaynak makinesi	49
Resim 4.3. a) Denejde kullanılan ayırma test tertibatı b) sıyrarak ayırma test tertibatı	50
Resim 4.4. Maşon kalınlığı kadar kaynak ağzının işaretlenmesi	51
Resim 4.5. Maşon kalığı kadar kaynak ağzının kazıyıcı ile tıraşlanarak temizlenmesi .	51
Resim 4.6. Kaynak ağzının izopropil alkol ile yüzey temizliğinin yapılması	52
Resim 4.7. Kaynak işlemleri gerçekleştirilecek boruların maşon içerisine yerleştirilmesi	52
Resim 4.8. Elektrofüzyon makinesine kaynak işleminin gerçekleştirilmesi	53
Resim 4.9. Kaynak işlemleri gerçekleştirilmiş numune	53
Resim 4.10. ISO 13954 standardına göre hazırlanmış çekme ayırma test numuneleri .	54

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

C	Karbon
E	Elastisite modülü
Fl	Flor
H	Hidrojen
N	Azot
O	Oksijen
Si	Silisyum
Tg	Camsı geçiş sıcaklığı
% e	Süneklik
σ_k	Akma mukavemeti
$\sigma_{çek}$	Çekme mukavemeti

Kısaltmalar

Açıklamalar

ABS	Akrilonitril bütadien stiren
AYPE	Alçak yoğunluklu polietilen
LAYPE	Lineer alçak yoğunluklu polietilen
OYPE	Orta yoğunluklu polietilen
PA	Polyamid
PE	Polietilen
PET	Polietilen terafitalat
PMMA	Polimetil metakrilat
PP	Polipropilen
PS	Polistren
PVC	Polivinil klorür
YYPE	Yüksek yoğunluklu polietilen

1. GİRİŞ

Plastik malzeme olarak bilinen suni polimerler, son 50-60 yıl içerisinde büyük gelişme göstererek günümüzde hacim olarak metallerle eşit oranda kullanılmaya başlanmıştır.

Plastik malzemenin girmiş olduğu alanlardan biri de doğalgaz boru hatlarıdır. PHILIPS firması ve diğer yandan Ziegler 1950'li yıllarda birbirlerinden habersiz olarak dev bir polietilen ailesinin doğmasıyla sonuçlanacak ve gaz dağıtım firmalarının faaliyetlerinde büyük değişiklikleri gündeme getirecek polimerizasyon sürecini keşfetmişlerdir.

Polietilen malzemeler yapıları durumu ile kaynak edilebilirliğinin keşfedilmesinden sonra birçok kaynak yöntemi üzerinde ciddi çalışmalara başlanmıştır. Zamanımızda plastiklerin özellikle değişik kaynak yöntemleri ile birleştirilmeleri birçok sebepten dolayı önem kazanmıştır. Bu sebeplerden bazıları şu şekilde sıralanabilir:

- Giderek karmaşık hale gelen yapıların montaj işlemleri sırasında karşılaşılan tasarım problemleri,
- Sabit ve değişken yükler altında kullanılan polimerik malzemelerin birleşim bölgelerinde ihtiyaç duyulan daha yüksek dayanım değerleri,
- Arızalı parçaların tamir ve bakımı,
- Belirli şekillerde üretilmiş termoplastik malzemelerin gerekli kısımlarının doldurularak istenen şekillere sahip parçaların üretilmesi,
- Üretim maliyetleridir.

Bu çalışmada polietilenin hafif, esnek ve düşük sıcaklıklarda eriyebilir olması göz önünde bulundurularak kaynak edilebilme kabiliyeti, elektrofüzyon ve sıcak eleman alın kaynağı yöntemleriyle incelenmiştir.

2. PLASTİKLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Plastikler oksijen, hidrojen, azot kükürt ve diğer elementlerin de yer aldığı organik bileşiklerdir ve birden fazla polimerik malzemeden oluşurken çeşitli uygulamalar için niteliklerini iyileştirmeye yarayan bir takım katkı maddeleri içerirler. Plastiklerin bu katkı maddeleriyle sentetik olma özelliklerinin yanı sıra yüksek kimyasal değişimlere maruz kalarak elde edilirler. Katı haldedirler ve şekillendirmek için ısı ile ergitilmesi söz konusudur.

Günümüzde plastiklerin kullanımı oldukça yenidir ve son yıllarda çeşitlilik bakımından büyük gelişmeler göstermiştir. Plastiklerin çeşitli işlemlerle kolay şekil değiştirme kabiliyetlerinin olması, hafif ve korozyona karşı dayanıklı olmaları birçok uygulama alanında avantaj sağlamıştır. Elektrik ve ısı yalıtkanlığı ise oldukça iyidir.

Plastikler, günümüzde elektrik, makine, uçak, ev aletleri, kırtasiye ve ambalaj vb. sanayinin birçok dalında kullanılmaya başlanmıştır. Plastiklerin bu kadar yaygın bir şekilde kullanılmasının nedeni ise ucuz, dayanıklı ve kolay işlenebilir olmasıdır.

Günümüzde tıp alanında insanların dokuları ve organları arasında plastikten yapılan yapay doku ve organlar gittikçe daha çok kullanılmaktadır. Kısaca hayatımızın birçok plastikleri yaygın kullanılmaktadır. Plastiklerin metalik ve diğer mühendislik malzemelerine göre oldukça farklı özelliklere sahip olduğunu unutmamalıyız.

Plastiklerin hammaddesi, doğal gaz, petrol, tuz ve kömür gibi doğal kaynaklardır. Plastikler, istenildiği şekilde kalıplanabilir ve şekillendirilebilirler.

Yunancada biçim verme anlamına gelen plastiğin üretimine ise polimerizasyon denilmektedir. Polimerizasyon, iki ya da daha fazla küçük molekülün daha büyük bir molekül oluşturmak üzere geçirdikleri kimyasal tepkime sürecidir olarak tanımlanmaktadır. Polimer ise tepkimenin sonucunda ilk bağların tekrar kurulması ile oluşan maddedir. Polimerler oluştuktan sonra püskürtme, enjeksiyon ya da sıkıştırma gibi tekniklerle toz, taneli ya da hamur halindeki plastik malzemelere dönüştürülür.

Plastik oluşumundan sonra endüstri ve çeşitli montaj alanları uygulamalarında yerini almaktadır. Plastiklerin büyük bir avantajı da ısıya karşı dayanıklı olmalarıdır. Plastikler amorf bir molekül yapısına sahiptirler ve bu nedenle katı halden sıvı hale geçişleri yavaş bir şekilde gerçekleşmektedir. Böylelikle işlenmeleri çok daha kolay olmaktadır. Atmosferin yaratmış olduğu çeşitli etkilere ve maruz kaldıkları kimyasallara karşı oldukça dayanıklıdırlar. Doğada kolay kolay yok olmazlar. Plastikler elektriği iletmedikleri gibi ısı iletkenlikleri de oldukça düşüktür. Ağırlık olarak hafiftirler, nem yapmazlar ve renksizdirler. Plastikleri renklendirebilmesi için yüksek sıcaklık gereklidir. Plastiklerin yoğunlukları yaklaşık 0,9-2,0 kg/m³ aralığındadır. Plastiklerin ısıl genişleme oranı fazladır, kısmen yanıcıdırlar [1].

Plastikler ısıya karşı çeşitli tepkiler göstermektedirler. Bu sebeple iki çeşit olup bunlar termoplastikler ve termosetler olarak isimlendirilirler. Plastik malzemeler yüksek moleküler bileşikler olup polimerler olarak da adlandırılırlar. Zincir veya ağ şeklindeki moleküllerine makro moleküller denir ve monomer denilen tek moleküllerden oluşmaktadırlar. Makro moleküller kimyasal reaksiyonlar neticesinde elde edilirler. Plastikler çok çeşitlidirler ve hangi gruptan olduğunu anlamak oldukça zordur. Aynı plastik çeşitli yöntemlerle şekillendirilmiş olabilir ve farklı isimler alabilirler.

Plastikler kimyasal yapıları bakımından metallere farklı özellik gösterirler. Metallerin atomları tamamlanmamış elektron kabuğuna sahiptir ve bu yüzden de kimyasal maddelere karşı dayanıksızdır. Plastik malzemelerin kimyasal yapısı moleküler yapıdadır ve doymuş moleküllerden oluşur. Plastik malzemelerin atomları ise kimyasal bağlar ile soy gaz karakterine sahiptir. Bu yüzden kimyasal maddelerin birçoğuna karşı dayanıklıdırlar. Plastik malzemelerin değişik olan bağ ve yapı türü, fiziksel davranışının metalik malzemelere göre tamamen farklı olmasını gerektirir.

PVC ve polietilenler üretimde en çok kullanılan plastik çeşitleridir. Ayrıca PVC ve polietilenlerin kaynak yöntemleri de oldukça yaygındır. Yüksek frekans kaynağı defter kabı, cüzdan, ayakkabı imali, deniz yatağı ve oyuncaklar imalinde oldukça büyük uygulama alanı bulmuştur. Bu arada, sıcak eleman kaynağı ülkemizde de geniş çapta bir kullanım alanına sahiptir. Sıcak eleman kaynağı, özellikle de sıhhi tesisat ve kalorifer borularının artık günümüzde termoplastik malzemelerden yapılması sonucu, oldukça fazla uygulama alanı bulmuştur [2].

Plastikler özellikleri geliştirilebilen, iyileştirilebilen özelliklere sahip maddelerdir. Plastiklerin özelliklerini iyileştirmek için kullanılan maddelerden bazıları şunlardır :

- Oksitlenme önleyiciler polimer yapının havadaki oksijen etkisiyle zarar görmesini önlemek için kullanılır,
- Pekiştiriciler plastiklerin mekanik elektriksel ve ısıl özelliklerini yükseltir, boyut kararlılığı sağlar,
- Ultraviyole ısınım dengeleyiciler güneş ışınları nedeniyle plastik malzemenin renginde ve yapısal özelliklerinde meydana gelen bozunmayı önler,
- Renklendiriciler gelen ışığın emilmesini sağlar,
- Yanma yavaşlatıcılar yangına karşı önlem sağlar,
- Statik elektriklenmeyi önleyiciler elektrostatik yük nedeniyle oluşabilecek yapışma, toz tutma, yanma ve patlama gibi sorunları önlemeye yardımcı olur,
- Plastikleştiriciler viskoziteyi ve sertliği azaltarak, plastiğin akışını ve işlenebilirliğini kolaylaştırır, kırılmasını azaltır, esnekliğini artırır,
- Bağlama etken maddeleri yüzey özelliklerini geliştirir,
- Biyo zehirleyiciler mikrobiyolojik bozunmaya karşı koruma sağlar,
- Takviye maddeleri dayanımı ve sertliği artırır,
- Genleştiriciler katı, sıvı veya gaz halindeki bazı kimyasallardır, polimere işleme sırasında katıldıklarında buharlaşarak sistemden ayrılır veya bozunarak hücresel boşluklu yapı oluştururlar,
- Özel katkıları elektriksel veya manyetik iletkenlik gibi özellikler kazandırır.

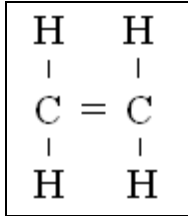
Sıcak gaz kaynağının çok yönlü bir şekilde kullanılması sanayide üretilen plastik malzemelerin hızla gelişmesine yardımcı olmuştur. Bu kaynak yöntemi; aşınma dayanımı, hafiflik, dielektrik özellikler ve darbe dayanıklılığı veren plastiklere ekonomik olarak uygulanmaya elverişlidir. Sıcak gaz kaynağı, endüstride özellikle ufak parça üretiminde ve yapı donanımlarında kullanılmaktadır.

2.1. Plastiklerin Yapısı

2.1.1. Plastiklerin kimyasal yapısı

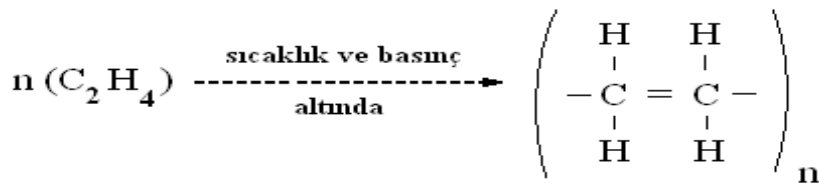
Plastikler sentetik malzemelerdir. Plastikler esas olarak karbonun hidrojen, oksijen, azot ve diğer organik veya inorganik elementler ile oluşturduğu monomerlerin kimyasal yöntemlerle birbirleri ile oluşturduğu, molekül ağırlığı yüksek ve zincir şeklinde bir yapıya sahiptir [1].

Plastik malzemeler sentetik reçine veya polimer olarak adlandırılırlar. Karbon atomlarının meydana getirdiği makro moleküllerin zincirler şeklinde birleşmesiyle de oluşurlar. Karbon atomunun 4 valansı olması nedeniyle bu atom 4 başka atomla birleşerek bir molekül meydana getirebilir. Bu dört atom olması halinde karbondan başka doymuş karbonlar elde edilir ki bunun en basiti CH₄ formülü ile gösterilen metandır. Karbon atomunu çevreleyen atomlar arasında karbon atomu da bulunuyorsa; bu defa doymamış hidrokarbonlar elde edilir. Karbon atomları arasında çift veya daha fazla sayıda bağı bulunan cisimler doymamış hidrokarbonlardır [3].



Şekil 2.1. Doymamış hidrokarbonun (etilen) açık formülü [3].

Şekli açık formülü ile ifade edilen bu etilen doymamış bir hidrokarbondur ve hidrokarbon molekülleri bir süre belirli basınç ve sıcaklık altında tutulursa; karbon atomlarını birbirine bağlayan bağlardan biri kopar ve serbest kalan bağlar hidrokarbon moleküllerinin birbirleri ile birleşmelerini sağlamaktadır. Bu sayede zincir şeklinde makro moleküller oluşmaktadır. Etilen'in anlatılan işlemlere maruz kalması sonunda aşağıdaki şekilde gösterilen reaksiyon sonunda polietilen adı verilen plastik malzeme üretilmiş olur.



Şekil 2.2. Polietilenin elde edilmişinin açık formülü [3].

Bir organik malzemenin yukarıdaki anlatılan şekilde ile büyümesine polimerizasyon denir. Polimerizasyon, bir monomer veya monomer karışımının polimere dönüştürülmesi işlemidir. Polimerizasyon derecesi, düzgün bir şekilde tekrarlanan gruplardan oluşmuş moleküllerde, molekül başına ortalama ana grup sayısı veya benzer monomerlerin polimerizasyonu sonucunda oluşan (veya teorik olarak oluşabileceği kabul edilen) moleküllerde, molekül başına ortalama mer (gerçek veya teorik) sayısıdır. Polimer molekülünün polimerizasyon derecesi, polimer moleküllerinin polimerizasyon derecelerinin ortalamasıdır. Polimerizasyon dereceleri verilirken ortalamanın ne şekilde alındığı (sayısal ve ağırlıkça) belirtilmelidir [4].

Plastiklerin kimyasal yapıları karbon atomlarının hidrojen (H), azot (N), oksijen (O), flor (F), silisyum (Si), klor (Cl) gibi atomların kovalent bağlarla bağlandığı uzun zincirlerdir. Bu uzun zinciri oluşturan kovalent bağlara birincil bağlardır. Bu bağlar genellikle yüksek enerjilidir, atomlar arasındaki uzaklık kısadır ve birbirini izleyen bağlar arasındaki açılar karakteristiktir [5].

Kovalent bağlar zincirleri oluşturan bağlardır, bu bağların yanında bu zincirleri kendi aralarında bir arada tutan bir bağ daha bulunmaktadır. Van der Walls bağları olarak isimlendirilen bu bağlar, kimyasal olarak reaksiyona girmeyen polimer molekülleri arasında oluşan bağlardır. Van der Walls bağlarının enerjileri kovalent bağlara göre zayıftır. Van der Walls bağları genellikle kısa mesafede etkindirler ve tüm zincir uzunluğu boyunca gerçekleşen bu bağ kuvvetleri oldukça büyüktür [1].

Polimerler, doğal ve yapay polimerler olarak ikiye ayrılırlar. Polimerler çok sayıda “mer” denilen basit birimlerden oluşur. Endüstriyel uygulamalarda kullanılan plastikler genellikle bu yapıda bulunan sentetik polimerlerdir. Polimerik malzemeler özellik olarak üç gruba ayrılmıştır.

Termal Özellikler	Yapısal Özellikler	Fiziksel Özellikler
<ul style="list-style-type: none"> • Termoplastikler • Termoset 	<ul style="list-style-type: none"> • Homopolimer • Kopolimer • Karışım polimerleri 	<ul style="list-style-type: none"> • Amorf • Kristalin • Kısmi – kristalin

Çizelge 2.1. Polimer malzemelerin özelliklerine göre sınıflandırılması [1].

Polimerler genellikle, ısıl bakımdan işleme yöntemlerine göre sınıflandırılmaktadır. Buna göre polimerler termoplastikler ve termoset plastikler olmak üzere iki büyük gruba ayrılır.

Termoplastikler: Isı etkisiyle yumuşayan ve kalıcı şekil değişimine uğramayan plastik türüdür. Bu tür plastikler ısıtıldıklarında akarlar, soğutulduklarında da içinde buldukları kabın şeklini alırlar. Molekülleri çapraz bağlanamazlar, doğrusaldır. Termoplastik malzemeyi meydana getiren polimerlerin birbirleriyle birleşmesi sonunda oluşan zincirler arasında herhangi bir bağlantı yoktur. Şekil 2.3.'te termoplastik malzemelerdeki zincir yapısını göstermektedir. Doğrusal (çizgisel) makromoleküller arasında kuvvetli bağlar yoktur. Çoğunlukla polimerizasyon ürünleridirler [6].



Şekil 2.3. Termoplastik malzemelerde zincir yapısı [6].

Termoplastik yapıdaki bir malzeme ısıtıldığında, camsı geçiş sıcaklığı (T_g) adı verilen kritik bir sıcaklığın üzerine çıkılınca elektrostatik kuvvetlerin azalmasıyla yumuşamaya başlar. Sıcaklığın artmasıyla birlikte malzemenin viskozitesi düşer; soğutulduğunda ise daha sert bir hale gelir. Sonuç olarak termoplastik malzemeler için herhangi bir buharlaşma ile bileşimleri değişmediği sürece tekrar tekrar görülebilir. Neticede termoplastik malzemeler ısı ve basınç altında yumuşayan, akan, ancak soğutulunca sertleşen, şekillendirilebilen ve bu işlemleri herhangi bir kimyasal değişikliğe uğramadan tekrarlı olarak yapabilen plastik malzemelerdir. Termoplastik yapıdaki bir malzeme istenildiğinde uygun çözücüler kullanılması ile çözünebilmektedir. Lineer ve dallanmış makromoleküller bir zincirlere sahiptirler. En çok kullanılan termoplastik malzemeler PVC PE, PP, PS, ABS ve PMMA gibi malzemelerdir ve bazı plastik malzemelerin endüstriyel kullanımları oldukça yaygındır [5].

Termoplastik Polimer	Uygulamalar
Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE)	Paketleme, borular, tanklar, şişeler, kasalar
Alçak yoğunluklu polietilen (AYPE)	Paketleme, sebze çantaları, oyuncaklar, kapaklar
Polipropilen (PP)	Şapkalar, yoğurt kapları, bavullar, borular, kovalar, halılar, batarya kılıfı
Polistren (PS)	Çoğunlukla saydam parçalar, yoğurt kapları, fast food, köpük pakaetleri, kasetler
Polyamid (PA)	Yataklar, Dişliler, civatalar, paten tekerlekleri, misina
Polietilen Terafitalat (PET)	Saydam karbonlu içecek şişeleri
Polivinil Klorür (PVC)	Gıda paketleri, ayakkabılar, zemin

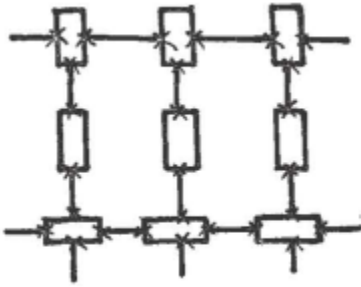
Çizelge 2.2. En çok kullanılan termoplastikler ve kullanım alanları [7].

Termoplastik maddeler katılaştığı zaman iki tip moleküler yapıdan birine sahip olurlar. Bu yapılar amorf yapılar veya yarı kristal yapılarıdır. Amorf polimerlerde, polimer zincirleri yapısal bir düzen göstermez. Moleküller arasında kendi kendini tekrar eden, düzenli boşluklar ve mesafeler yoktur. Amorf polimerler yeterince düşük sıcaklıklarda sert ve kırılğandır. Isıtıldıklarında camsı geçiş sıcaklığı (T_g) denilen bir sıcaklıkta yumuşar ve kauçuk gibi özellikler gösterirler [8].

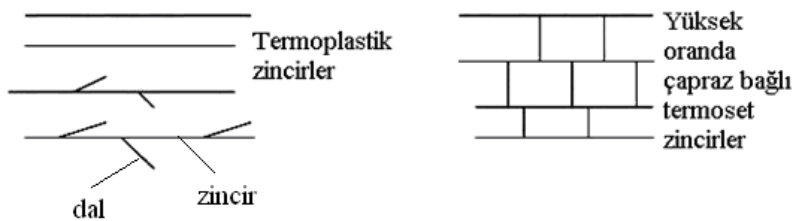
Yarı kristal polimerlerin örgüsünde ise amorf ve kristal yapılar bir arada bulunur. Bu polimerler camsı geçiş sıcaklıkları altında, amorf polimerler gibi kırılğandır. Camsı geçiş sıcaklığı üzerine çıktıklarında belli derecede yumuşaklık kazanmakla birlikte, yapı içerisindeki yarı kristal bölgeler, polimer örgüsünü sıkıca bir arada tutarlar. Bu malzemeler, amorf malzemelerin yumuşamasından farklı olarak keskin ergime noktaları gösterirler. Soğutuldukları zaman moleküler yapıları yüksek oranda düzenlidir ve kristal yapıdadırlar. Kristal bölgelerin ölçüsü, zincirlerin yapısı ve soğutma hızına bağlıdır. Yarı-kristal yapıdaki malzemeler, moleküler yeniden düzenlenme nedeniyle çekerler. Bazı malzemelerde bu çekme %20'lere varabilir [9].

Termoset Plastikler: Termoset plastikler büyük çapraz bağlı üç boyutlu moleküllerden meydana gelmiş yapılarıdır. Termoplastiklerde polimerler iki bağlı olmalarına karşılık, termosetlerde 3 veya 4 bağlıdır. Makromoleküller arasında kuvvetli bağlar oluşturarak 3 boyutlu ağ yapısına sahip olan bu plastikler çoğunlukla polikondansasyon ürünleridir. Polikondansasyon yapı moleküllerin su, amonyak gibi basit yan ürünler vererek birbirleriyle bağlanmasıyla oluşan yapıdır [2].

Termoset plastikler ısı işlemleriyle sadece bir defa istenilen şekli alabilen ve bu işlemleri kimyasal bozunmaya uğramaları sebebiyle tekrar şekillendirilemeyen plastik malzemelerdir. Termoset plastiklerin çözünme özellikleri yoktur. Termoplastik malzemelere göre de daha sert maddelerdir ve ısı dayanımları daha yüksektir. Kimyasal etkilere karşı daha az duyarlıdır. Termoset plastik malzemelerin polimerizasyonu iki kademe meydana gelmektedir. İlk kademe, lineer makromoleküller zincirlerinin çoğunluğu oluşturulduktan sonra polimerizasyon reaksiyonu durdurulur. Bu durumda lineer zincirlerde reaksiyona girmeyen kısımlar mevcuttur. Özellikle kalıpta meydana getirilen polimerizasyonun ikinci kademesinde, sıcaklığın ve basıncın etkisi altında reaksiyona girmeyen kısımlar sıvı hale getirilerek molekül zincirleri arasında çapraz bağların oluşumunu sağlayan reaksiyonlar meydana getirilir. Bu durumda molekül zincirleri arasında kuvvetli ve ısıya karşı tersinir olmayan kovalent bağlar oluşturulur. Molekül zincirleri arasında oluşturulan çapraz bağlar ancak çok yüksek sıcaklıklarda kopabilirler ve bu malzemenin yıpranmasına sebep olan zincirlerin kopması yani malzemenin giderek kömürleşmesi anlamına gelmektedir [10].



Şekil 2.4. Termoset malzemelerde zincir yapısı [6].



Şekil 2.5. Termoplastik ve termoset plastiklerin molekül zincirleri arasındaki farklar [9].

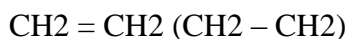
Polietilen Malzemeler 1930 yılında İngiliz kimyasal ürünler şirketi Imperial Chemical Industries' de tesadüfen bulundu. Başlangıçta, yaklaşık 2000 barlık çok yüksek basınçlar altında gerçekleştirilen bu tepkimenin teknolojisini kolayca uygulanabilir hale getirmek için uzun zaman aldı. Çok geçmeden mekanik ve elektriksel özelliklerinin farkına varılan

polietilen, birçok farklı alanda kullanılmaya başladı. 1950' li yıllara gelindiğinde kimyacı K. Ziegler, düşük basınç altında polimerleştirme tepkimesini geliştirdi. Bu yöntem 1970'li yıllarda polietilenin bütün çeşitleri yaygınlaştırıldı. Böylelikle o tarihten itibaren polietilen, dünya çapında en çok kullanılan plastik madde haline geldi [9].

İlk zamanlarda sadece alçak yoğunluklu polietilen üretilebiliyordu. Ancak şu anda yüksek yoğunluklu, lineer, orta yoğunluklu olmak üzere üç yeni polietilen türü üretilebiliyor. Her dört polietilen türünde de monomer etilen olup, polimer molekülünün değişik yapıları bu üç yeni türün ortaya çıkmasına neden olmuştur. Polimer molekülünü meydana getiren zincir şeklindeki makro moleküllerin değişik dallanma durumları polietilenin çeşitliliğini sağlar. Örneğin lineer alçak yoğunluklu polietilende dallanma yok denecek kadar azdır, yüksek yoğunluklu polietilende ise biraz fazla, orta yoğunluklu polietilende ise daha fazladır. Alçak yoğunluklu polietilende dallanma maksimum düzeyde olup dallanmanın uzun ve kısa oluşu da polimer özelliklerini etkiler. Bu dört cins polietilen de sanayinin temel polimerik malzemeleri olup çok farklı kullanım sahaları mevcuttur [10].

Polietilen beyaza yakın renkli, yarı geçirgen, yumuşatılabilen ve oldukça dayanıklı bir polimerdir. Piyasada satılan örnekleri ise şeffaf olanıdır. Şeffaflık derecesiyle yoğunluk arasında doğru orantı vardır. Yani yoğunluk arttıkça şeffaflık da artar. Piyasada polietilenler yoğunluklarına göre sınıflandırılırsa alçak yoğunluklu polietilen (AYPE), lineer alçak yoğunluklu polietilen (LAYPE), orta yoğunluklu polietilen (OYPE) ve yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) diye dört gruba ayrılır. Her dört polietilen türünde de monomer etilen olup, polimer molekülünün değişik yapıları ortaya çıkmaktadır. Polimer molekülünü meydana getiren zincir şeklindeki makro moleküllerin değişik dallanma durumları polietilenin çeşitliliğini sağlar. Dallanmanın uzun veya kısa oluşu polimer özelliklerini etkiler. Yoğunluk dolayısıyla şeffaflık arttıkça sertlik ve dayanıklılık artar, yumuşama sıcaklığı da yükselir. Bu türlere gaz ve sıvı maddelerin tesir etmesi de zorlaşır [11].

Polietilen bir katılma polimeridir. Etilen, polimerleşmeyi başlatıcı bir katalizör ile polimerleşir ve polietilen oluşur.



(Katalizör O₂, ısı, basınç)

Polietilen zincirindeki karbonlar farklı yönde yerleşmişlerdir. Polietilen, bir çözücüde çözünüp, soğutulur ve kristallendirilirse, tek kristal elde edilir. Polimer zincirindeki dallanmalar kristalliğin derecesini belirler. Dallanmanın az olduğu moleküler yapılarda kristalinite genellikle fazladır. Polimer içindeki kristallik arttıkça sertlik artar, mekanik ve kimyasal özellikler iyileşir ve sıvı ile gazlara dayanıklılık artar. Erime indeksi molekül ağırlığıyla ters orantılıdır. YYPE'lerin sertliği ve sağlamlığı daha fazla, erime akış indeksleri daha düşüktür. Polietilen sahip olduğu temel özellikler şu şekildedir [11].

- Hafiflik ve Kullanım Kolaylığı: Malzemelerin taşıma kolaylığı ve döşeme esnasındaki hareket kabiliyeti, alternatif malzemelere göre oldukça önemli bir avantaj sağlar.
- Esneklik: Yer hareketlerine dayanım, özellikle deprem kuşağındaki alt yapı çalışmalarında dikkate alınması gereken en önemli husustur.
- İyi Kaynak Özellikleri: Özellikle elektrofüzyon veya alın kaynağı ile birleştirilmiş PE boru hatlarında kaynak noktaları son derece sağlam olup, yapılan testler kaynak noktalarının eksiz boru bölgelerinden daha sağlam bir yapıda olduğunu göstermektedir.
- Dayanıklılık
- Sağlamlık
- Basınç altında ek yerlerinden çıkma ve kopma olmaması: Mükemmel kaynak özellikleri ek yerlerinden çıkma / kopma veya sızıntı olmasını engellemektedir.
- Çatlamaya Karşı Direnç
- Sıfır Korozyon
- Kimyasal Etkilere Karşı Direnç

2.2. Plastiklerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Plastikler ısı ve elektriği iletmeyen, hafif, işlenebilir, dayanıklı malzemelerdir. Elastik, plastik, vizkoelastik şekil değiştirme görülebilir. Kuvvet etkisi ile polimerlerdeki bağ açıları büyüyerek başlayan şekil değiştirme sonucu büyük bir elastik şekil değiştirme meydana gelir. Yine kuvvet etkisi ile polimerlerdeki zayıf bağlar arasında kısmi parçalanmalar meydana gelir. Gerilmenin sabit kalması durumunda ise polimerlerde sünme meydana gelir. Vizkoelastik davranış ise, gevşeme ve sürünme biçiminde oluşur. Sabit bir gerilmenin etkisi ile malzemede oluşan kalıcı şekil değişikliğine sürünme denir. Gevşeme

ise, sürekli şekil değiştirmekte olan malzemede gerilmelerin devamlı azalmasıdır [12]. Yüksek ısıda viskoz davranış gösteren bir polimer malzeme, daha düşük ısılarda farklı özellikler göstererek gevrek ve rijit olabilir.

Plastiklerin mekanik davranışlarını incelerken dikkate alınması gereken birinci konu plastiklerin mekanik davranışlarının malzemenin yapısına ve fiziksel haline bağlı olduğudur. Plastiklerin mekanik yapısı aynı zamanda meydana gelen gelişmelere, gerilmelere, sıcaklığa ve şekil değiştirme hızına bağlıdır. Plastikler hem elastik hem de viskoz davranış gösterirler. Bu duruma bağlı olarak bu malzemelerde normal sıcaklıklarda dahi sürtünme ve gevşeme olayları da görünebilir [1].

Mekanik davranışlar plastik malzemeye yük uygulandığında bünyede meydana gelen gerilme ve şekil değiştirmelerin incelenmesini ifade eder. Plastiklerin mekanik davranışları incelenirken şu hususların göz önüne alınması gereklidir [13]:

- Yapı bakımından plastikler amorf ve kısmi-kristalin halde bulunurlar. Amorf yapıda olanlar T_g :
Camsı-geçiş sıcaklığına bağlı olarak;
 $T < T_g$ ise camsı – katı
 $T > T_g$ ise Lastik veya sıvı halde olurlar
- Plastiklerde şekil değiştirmeler (ϵ) gerilmelerin (σ) yanı sıra sıcaklık (T) ve şekil değiştirme hızı ($\dot{\epsilon}$)'na da bağlıdır
- Plastikler yük altında “visko-elastik” davranış sergilerler. Sürtünme ve gerilim gevşemesi görülür. Bu olaylar ise; molekül ağırlığı, zincir uzunluğu, zincirlerin lineer, dallı, çapraz bağlantılı, network ağı oluşuna veya zincirlerin stereo düzeni olan (izotaktik, syndiotaktik ve ataktik) oluşuna bağlıdır [14].

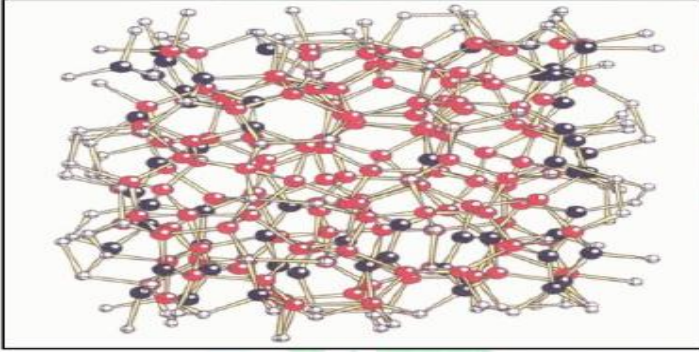
Bu yapılara bağlı olarak ;

- a) Büyük “yan grup R” varsa (T_g) yüksektir [13].
- b) Düzenli zincir yapısında olan Lineer, izotaktik, syndiotaktik plastikler kolay kristalin olurlar [13].
- c) Molekül ağırlığı düşük plastikler daha kolay kristalin olurlar [13].

- d) Molekül zincirlerin “dönme hareketi” onların rijit veya esnek olmalarını sağlar. Amorflarda T_g 'nin altında bu hareket durur. Rijit yapıdadır. Üstünde dönme hareketi olduğundan esnektir. Kristalin yapılarda dönme hareketi yoktur, rijittirler. Ergime noktasına yakın zincir dönmesi görülür [13].

2.2.1. Amorf yapıdaki plastiklerin mekanik davranışları

Amorf yapı, eriyik halden katı hale geçerken molekül zincirlerden dallanmış, çapraz bağlı ve ataktik yapıya sahip olan zincirler birbirine çok yaklaşamazlar ve AMORF bir yapı oluştururlar.



Şekil 2.6. Amorf yapı [1].

Amorf yapıya sahip olan plastiklerin çoğu gerilme kuvvetlerinin etkisi altında molekül zincirleri çekme yönünde bir yönelme göstermektedir. Bu yönelme özelliğine sahip amorf yapılar daha büyük bir direnç gücüne sahiptirler [1].

Amorf yapıdaki plastikler zorlandıklarında çekme yönüne doğru yönelme gösterirler. Molekül zincirleri arasındaki bağlar yönünden incelendiğinde, zincirlerin uzunluğu boyunca kovalent bağlar güçlü, fakat zincirler arası Van der Waals kuvvetleri zayıfsa “amorf yapı” oluşur. Zincirler arası hidrojen bağları ile bağlılık varsa “kısmi kristalin yapı” oluşur. Amorf yapı daha yumuşak ve tok bir yapıdır. Ergime sıcaklığı çekme mukavemeti ve yoğunluğu daha düşüktür. Kalıp içinde kristalin yapılar kadar kolay akmazlar. Teknolojik olarak işlenmeleri daha kolaydır.

Amorf yapı kristalin yapıya göre daha yumuşak ve tok olup, erime sıcaklığı, çekme mukavemeti ve yoğunluğu daha düşüktür. Amorf yapı polimerlerin üretim teknolojileri

daha kolaydır, ancak kalıp içerisinde kristal yapılar gibi kolayca akmazlar. Katkı maddelerinin ilavesiyle, özelliklerinde pek fazla değişiklik görülmez [1].

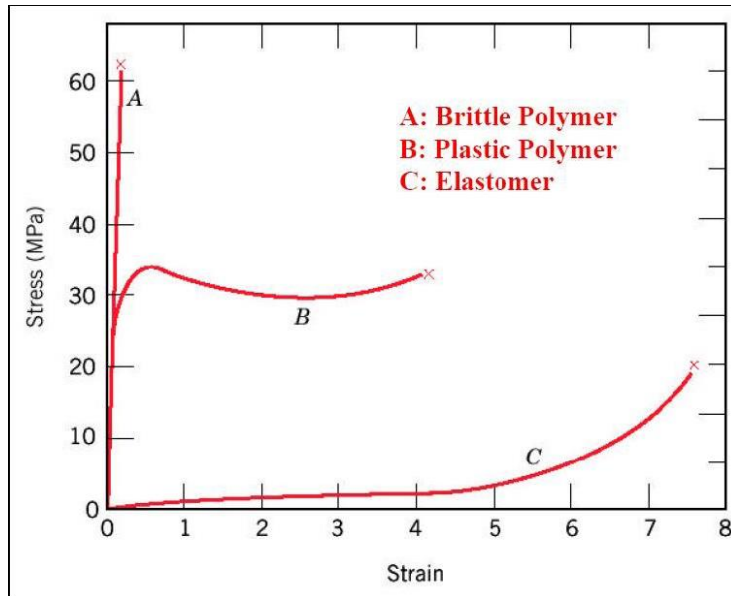
Gerilme ve uzama

Amorf Polymer'lerin gerilme-uzama davranışları, metallerinkine benzerdir. Aşağıda üç farklı polymer'in davranışı görülmektedir [15].

A : Gevrek plastik

B : Normal plastik

C : Elastomer-lastik



Şekil 2.7. Gerilme ve uzama [15].

Normal bir plastiğin gerilme-uzama eğrisinde;

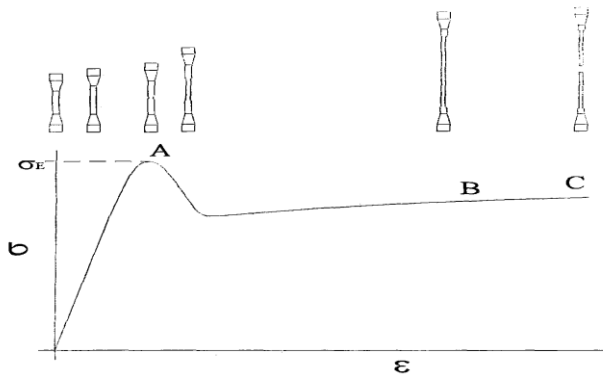
Elastisite modülü (E); tıpkı metallerdeki gibi hesaplanır [15]. ($\sigma = E * \epsilon$)

Süneliklik (% ϵ) = $(\Delta L / L_0) * 100$, tıpkı metallerdeki gibidir [15].

Akma mukavemeti σ_{ak} = (F_{ak}/A_0) Metallerden farklıdır. Elastik bölgeden hemen sonraki max. nokta akma mukavemetini belirtir [15].

Çekme mukavemeti, $\sigma_{çek}$ = F_{kop} / A_0 metallerden farklıdır. Etkiyen yük, akma yükünden düşüğe olabilir, yükseğe olabilir [15].

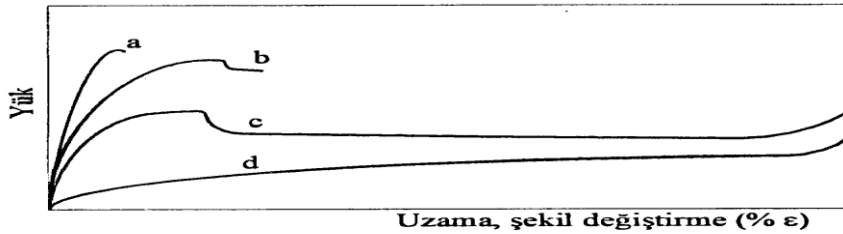
Camsı durumdaki düşük polimerler düşük gerilmelerde sadece elastik şekil değiştirirler. Ancak daha yüksek gerilmelerde malzemenin davranışı oldukça farklıdır. Gerilmeler alçak elastisite sınır gerilimi değerine eriştiğinde boyun oluşma şeklinde bir daralma meydana gelmekte ve bu boyun tüm kesite yayılmaktadır ve incelen malzeme bir miktar daha gerilmeye maruz kalınca kopmaktadır. Aynı zamanda T_g 'nin altında bulunan amorf polimerlerin elastik bölgesinde çok yavaş olmasına rağmen gevşeme şeklinde viskoelastik davranış görülmektedir [1].



Şekil 2.8. Camsı durumdaki amorf polimerin gerilme şekil değiştirme diyagramı [1].

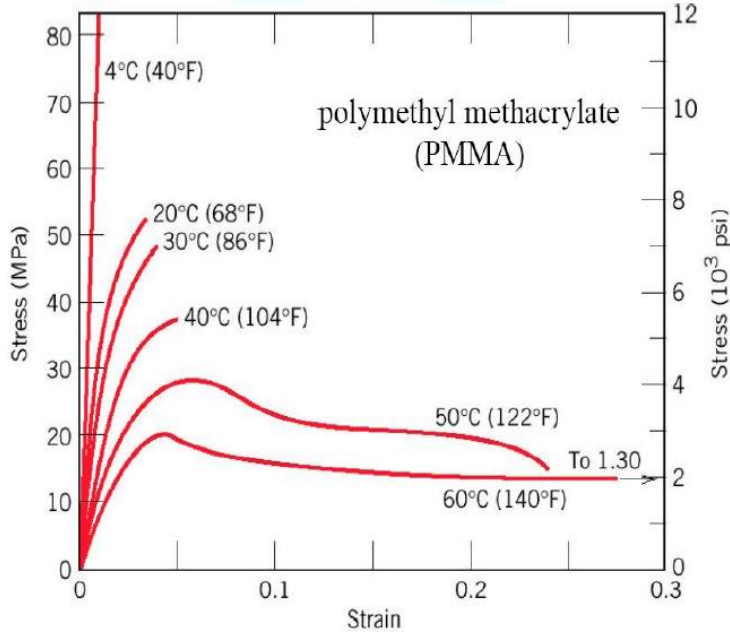
Sıcaklık etkisi

Amorf polimerler, camsı olan geçiş sıcaklığının (T_g) çok altındaki sıcaklarda (T_a) gevrek bir davranış gösterir. Bu durumda da kopma oldukça düşük şekil değiştirmelerde gerçekleşir ($\epsilon = \% 10$). T_g 'nin biraz altındaki sıcaklıklarda (T_b) sünek malzemelerde olduğu gibi kopmadan önce akma meydana gelir. Camsı geçiş sıcaklığına yaklaştıkça (T_c) akma bölgesi genişler ve plastik malzeme tam sünek bir malzeme gibi davranır. Camsı geçiş sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda (T_d) ise malzeme tamamen lastik yapıdadır.



$$T_a < T_b < T_c (T_g) < T_d$$

Şekil 2.9. Çeşitli sıcaklı derecelerinde tipik bir polimerin çekme diyagramları amorf polimerlerde sıcaklık artarsa; (E) azalır, $\sigma_{\text{Çek}}$ azalır ve $\% \epsilon$ artar [15].



Şekil 2.10. Sıcaklık etkisi [15].

2.2.2. Kısmi-Kristalin yapıdaki plastiklerin mekanik davranışları

Plastikler yapı itibariyle amorf ve kristalin olmak üzere iki halde bulunmaktadır. Ancak birçoğu bu iki yapıyı da bir arada bulundurlar ve amorf polimerik yapının içinde kristalin bölgeler görülmektedir. Bu nedenle plastiklerin çoğunluğunun yapısı “kısmi kristalin” dir. Lineer molekül zincirlerine sahip plastiklerde kristalin derecesi daha yüksektir.

Polimerler kolayca kristalin halin almaları için dallanmış zincir yapılarının birbirlerine yaklaşmaları gerekmektedir. Ancak amorf yapıdaki plastiklerdeki bu zincir yapıları birbirlerine yaklaşamadıkları için iyi paketlenmezler ve kristalin halini de alamazlar. Bu tür yapıdaki plastikler amorf durumdadırlar. Kristalin yapıya sahip olan plastikler amorf yapıya göre daha şekil değiştirmesi zor olup, yüksek ve keskin ergime sıcaklığına, büyük çekme direncine, sürtünme dayanıklılığına, ısı dayanıklılığına ve yüksek yoğunluğu sahiptirler. Yüksek ergime sıcaklığı ve viskozitesinden dolayı kristalin yapıdaki bir plastiğin teknolojisi zor olmasına karşın, şekil verilmesi oldukça kolaydır.

Camsı geçiş (T_g) ve ergime sıcaklığı (T_m) kristalin ve amorf yapıya sahip plastiklerin önemli özellikleridir. Camsı geçiş sıcaklığı polimerdeki amorf bölgelerin camsı duruma geçme sıcaklığı yani daha sünek durumdan sert bir yapıya ulaşma sıcaklığı olup, ergime sıcaklığı ise polimerdeki kristalin yapısını tamamen ortadan kalkarak polimerin sıvı hale

geçme sıcaklığıdır. Camı geçiş sıcaklığı, polimer molekül ağırlığının zincir içerisinde ünitelerin rijitliğini yani sağlamlığının ve çapraz bağlarının artması ile yükselmektedir. Plastiklerin camı geçiş sıcaklığı ve ergime sıcaklığı yanında bir de yıpranma sıcaklığı (Td) vardır. Tg, Tm ve Td sıcaklıkları, plastiklerin kullanma alanlarını, limitlerini ve işleme teknolojisini belirlemektedir.



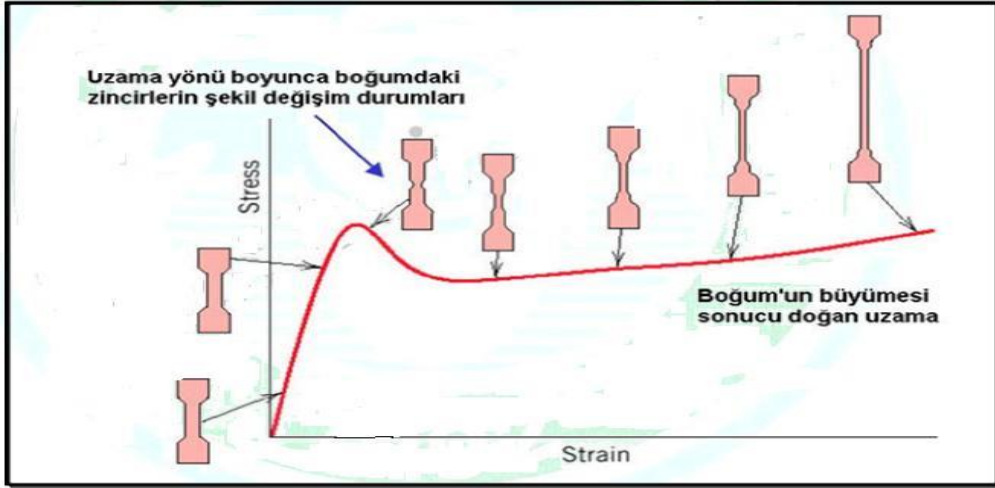
Şekil 2.11. Kısmi-kristalin düzen ve kısmi-kristalin polymerlerin deformasyonu [1].

Kısmi-kristalli bir yapı zorlanırsa şu sonuçlar ortaya çıkabilir [13].

- Amorf bağ zincirleri uzayabilir
- Çekme eksenine doğru, yani "lamelli kristalin"lerine doğru bir yöneliş olabilir
- Kristalin blok segmentleri ayrılabilir
- Çekme ekseni boyunca hem kristalin ve hem de amorf bölgeleri zorlanır

Yarı-kristalin polymerlerin deformasyonu

Kısmi kristalli plastiklerin çekme eğrisinin sadece elastik bölgesi sünek metalinkine benzer. Uygulanan gerilme artınca plastik malzemenin yapısında yapı değişikliği "Yeniden kristalleşme" olur [2].



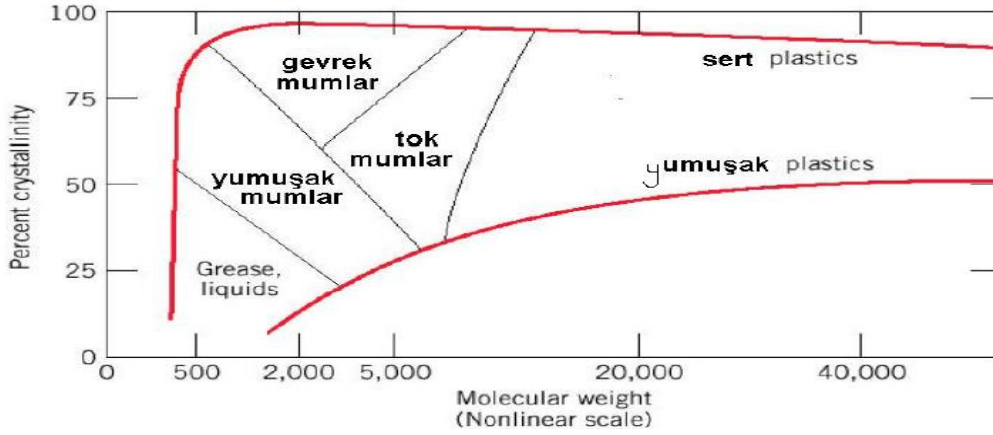
Şekil 2.12. Yarı-kristalin polymerlerin plastik deformasyonu [2].

$\sigma = \sigma_{krt}$ olduğunda “boğum” başlar. Zincirler sıraya dizilirken mukavemet kazanırlar. Boğum bölgesinde lokal mukavemet artar. Boğum, aynı zamanda numune boyunca yayılır ve uzar. Sünek metallere farklı olarak, bu olayda “deformasyon” ilk boğum bölgesinde sınırlı olarak kalır. Yük altında şekil değiştirme 10 kata kadar olabilir [2].

2.2.3. Mekanik özellikleri etkileyen faktörler

- 1) Sıcaklık ve strain(deformasyon) hızı etkili olur [1].
Şayet sıcaklık (T_0) artarsa ; (E) azalır, $\sigma_{Çek}$ azalır, % ϵ artar.
Şayet def. Hızı ($\dot{\epsilon}$) artarsa ; $\sigma_{Çek}$ artar , % ϵ azalır.
- 2) Zincir karışıklığı, güçlü moleküllerarası bağlanma; Van der waals, ve çapraz bağlanmalar “mukavemet”i artırır [1].
- 3) Çekme; Metallerde pekleşmenin benzeri, polymer’lerde” Boğum uzaması” na karşılık gelmektedir. Fiber ve film’lerin üretiminde kullanılır. Molekül zincirleri hayli yüksek oranda yönelmiş durumdadır. Yani çekilen malzemenin özellikleri anizotropik’tir. Yönle bağlıdır. Aynı hızdaki zincirlerin yönüne dik olan taraftaki mukavemet azalır [1].
- 4) Isıl işlem; Isıl işlem sonucu “kristalinlik boyutunda” ve “dizilme’lerde değişimler olur. Bu durumda şu sonuçlara neden olur: Çekilmemiş malzemede: Tavlama sıcaklığı artarsa , “E” de artma olur. σ_{ak} ve $\sigma_{çek}$ de artma olur. % ϵ da azalma olur. Halbuki bu değişimler metallerde tam zıttı’dır. Çekilmiş malzemede: Tavlama sıcaklığı artarsa, rekristalizasyon ve zincir yönlenmesi kaybı sebebiyle tam zıt değişimler söz konusudur [1].

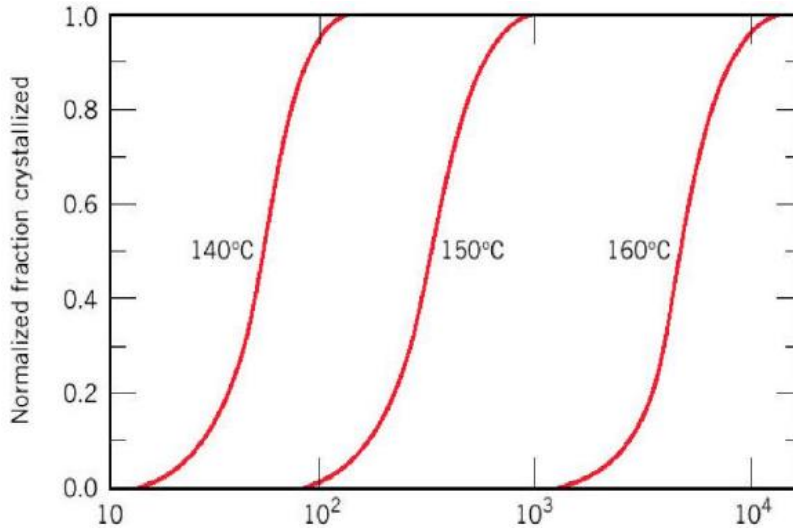
- 5) Molekül ağırlığı'nın etkisi: Molekül ağırlığı fazla ise polymer'in çekme mukavemeti $\sigma_{çek}$ artar [1].
- 6) "Kristalin'lik derecesi" artarsa, daha güçlü ikincil bağlanma, daha güçlü polymer fakat gevrek bir polymer malzeme yorumları yapılır [1].



Şekil 2.13. Kristalinlik ve molekül ağırlığı ilişkisi [1].

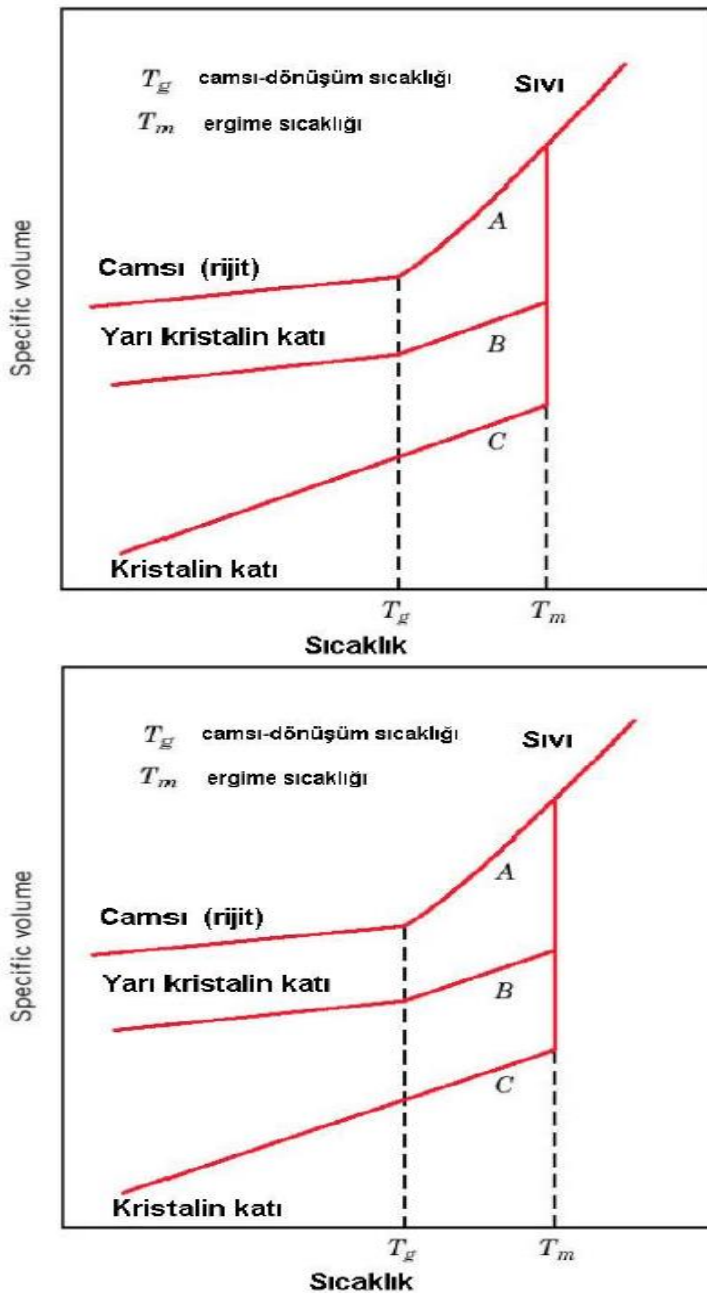
Kristalinlik, camsı dönüşüm, erime

Kristalleşme: Plastiklerin molekül zincirlerinin birbirlerine göre tertiplenmeleri ya "amorf" ya da "kristalin" şeklindedir. Polimerlerde kristalinlik önce çekirdekleşme olarak doğar, büyür sonra sıra sıra paralel zincir haline gelir. Kristalleşme hızı, tıpkı metallerdeki -S- eğrilerinde olduğu gibi, polymerlerdeki -S- eğrilerinden de bulunabilir. Çekirdekleşme yüksek sıcaklıklarda daha yavaş oluşur [16].



Şekil 2.14. Polymerlerdeki -S- eğrileri [16].

Camsı dönüşüm sıcaklığı: Plastikler ısıtıldıkları zaman, sıcaklığın artması ile molekül zincirlerinin dönme hareketi hızlanır, bağ kuvvetleri zayıflar. Tersine soğumaya başladığında dönme hareketi yavaşlar, belli sıcaklıkta durur. Sadece atomların kendi etrafındaki “titreşim hareketi” kalır Bu sıcaklığa “camsı dönüşüm sıcaklığı” (T_g) denir. “Camsı dönüşüm sıcaklığı - T_g ”, ergime sıcaklığının 0,5 - 0,8 katı arasında değişir ve (T_g) ile ifade edilir. Polymer bu camsı dönüşüm noktasının hemen altında rijit katı hale dönüşür. Bu noktanın üzerinde ise, henüz bozuk sıvı molekül yapısını muhafaza etmektedir [16].



Şekil 2.15. Camsı dönüşüm sıcaklığı [1].

Bilindiği gibi plastiğin ergimesi halinde özgül hacim, özgül ısı ve ısıl genişleme gibi özellikleri aniden değişir. Şekil 2.15'deki eğride;

(A) : Tam amorf bir yapı, T_g 'nin altında rijit, T_g ile T_m arası yumuşak T_m üzeri sıvı.

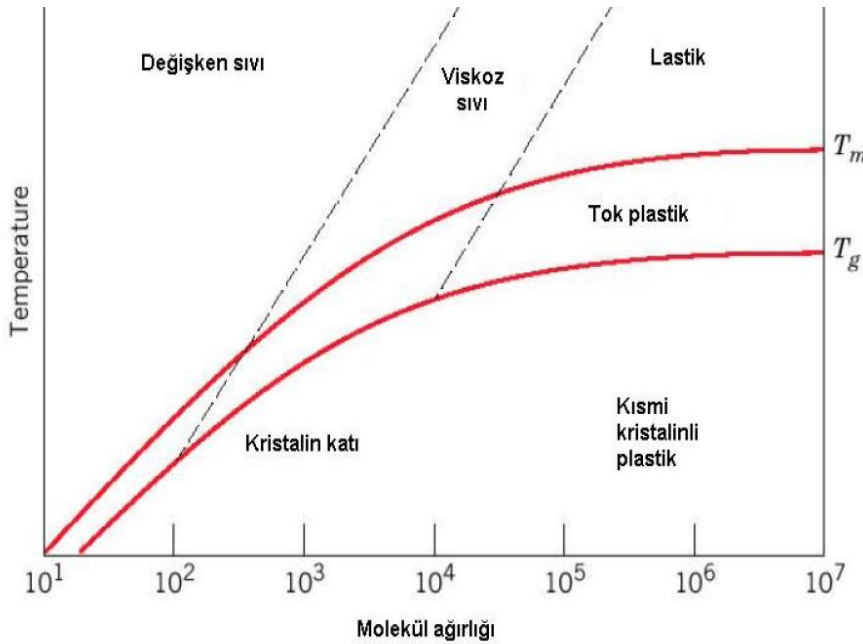
(B) : Kısmi kristalli yapı,

(C): Tam kristalin yapı,

Eriye: Plastiğin Eriye sıcaklığı (T_m) , ısıtma hızı ile malzemenin geçmişindeki durumu ile özellikle de kristalleşme sıcaklığına bağlı olarak artar. Eriye, Zincirin kendi içindeki kovalent bağ'ın kırılması anlamına gelir. Bu yüzden camsı (T_g) ve erime sıcaklıkları (T_m) [15] :

Katı (tek veya çift bağlı) – rijit zincirler, daha yüksek erime sıcaklığına sahiptirler.

Moleküldeki (boyut/ağırlık) oranı ve molekül ağırlığının artışı, erime sıcaklığını artırır. Molekül boyutu, yan grupların şekli, yan dallar, çapraz bağlanma, kusurlar, camsı(T_g) ve erime (T_m) sıcaklıklarını değiştirirler. Esas olarak aynı molekül özellikleri hem “erime” hem de “camsı dönüşüm sıcaklıklarını artırır ve de düşürür [16].



Şekil 2.16. Molekül ağırlığına bağlı polymer özelliklerinin “Camsı Dönüşüm” ve “Eriye Sıcaklıkları” ile ilişkisi [16].

2.3. Plastiklerin Uygulamalı Mekanik Özellikleri

- Plastiklerin uygulamalı mekanik özellikleri şu şekildedir [1].

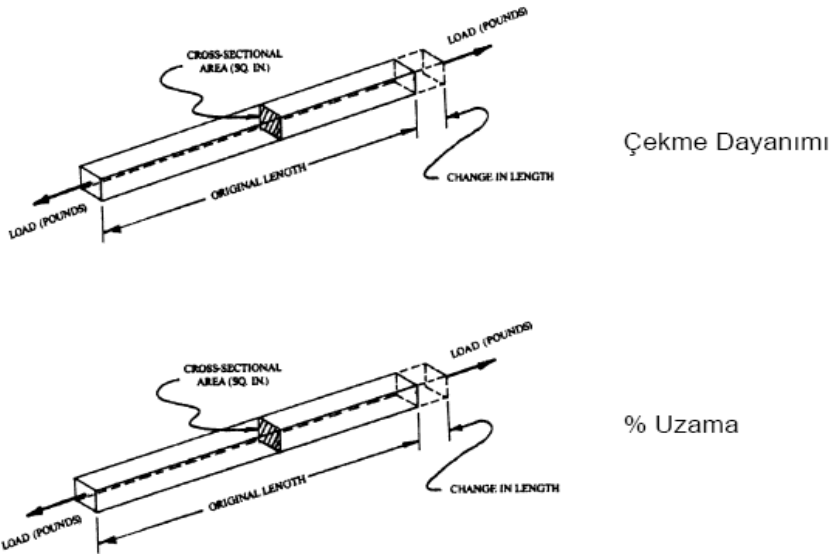
- Çekme dayanımı
- Elastiklik modülü
- Uzama değeri
- Basma dayanımı
- Sürünme dayanımı
- Darbe dayanımı
- Eğme dayanımı
- Burulma dayanımı
- Özgül ağırlık
- Su absorpsiyonu
- Sürtünme katsayısı

- Plastik parçanın performansını etkileyen mekanik unsurlar şunlardır :

- Yükün boyut ve uygulanması,
- Yüklemenin frekansı,
- Yükleme hızı,
- Parçanın maruz kalacağı sıcaklık ve bu sıcaklığa ne kadar maruz kaldığıdır [1].

- Plastik parçanın gerilme-gerinme davranışının bağlı olduğu unsurlar ise;

- Gerilme oranı
- Sıcaklık
- Ortamın kimyasal durumu (su bulunup bulunmadığı, oksijen, organik çözücüler vb.) [1].

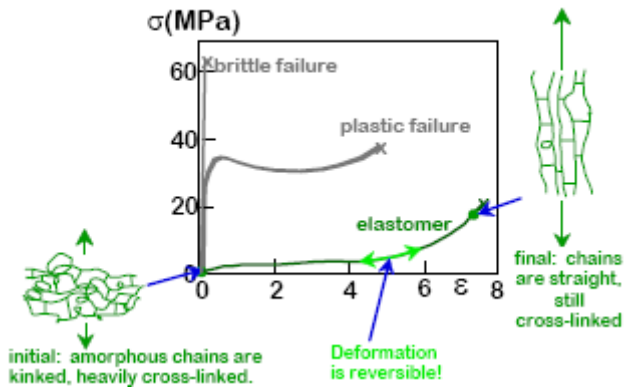


Şekil 2.17. Çekme dayanımı ve uzama [1].

2.3.1. Elastomerlerin Gerilme-Gerinme davranışı

Büyük geri alınabilir gerilmelere sahip plastiklerdir (%100 kadar), düşük gerinim seviyelerinde ve ortalama sıcaklıklarda üretilir [15].

Genellikle yüksek molekül ağırlıklı, kristalin olmayan, seyrek çapraz bağlıdır [16].



Şekil 2.18. Gevrek tepki-plastik tepki [16].

2.3.2. Yarı-kristalin polimerlerin gerilme-gerinme davranışı

Boyun verdikten sonra, boyun verme bölgesinde zincirler konumlandırılmış kuvvetlendiriciye iletilen yönelimde olurlar.

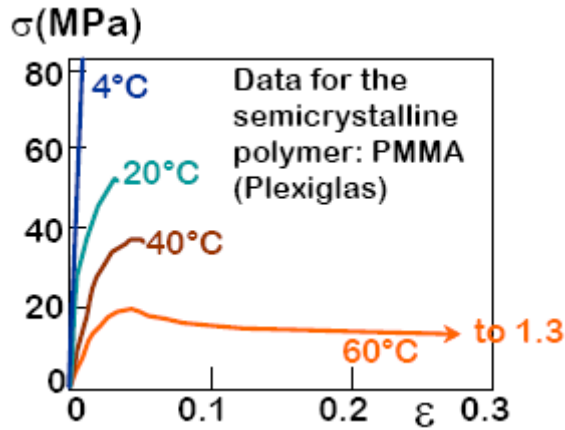
Uzama, kalibrasyon uzunluğu boyunca boyun verme bölgesinin yayılmasıyla ilerler. (boyun verme bölgesiyle sınırlanan deformasyonun olduğu metallere tersine)

Termoplastikler: Yumuşak (sünek), düşük sıcaklıkta plastik davranış, yüksek sıcaklıkta yüksek viskozite gösteren malzemelerdir. Birçok termoplastik 170 ° civarında ergime gösterir. Genellikle bilinen çözücülerde çözünür. Tipik olarak lineer polimer zincirler, az çapraz bağlı olup amorf veya kristal yapıya sahiptirler. Ancak katı halde %100 kristal yapıya sahip termoplastik yoktur [14].

Termoplastiklerin gerilme-gerinme davranışı şu şekilde değişkenlik gösterir :

- Azalan sıcaklıkla (T)
- Elastiklik modülü (E),
- Çekme Dayanımı (TS) artar.
- % Uzama (%EL) azalır.

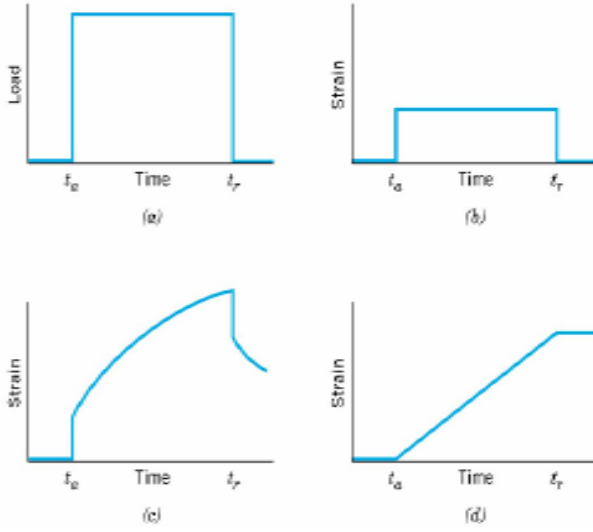
Artan gerilme oranı, azalan sıcaklık ile aynı etkiyi gösterir [14].



Şekil 2.19. Termoplastiklerin gerilme-gerinme davranışı [15].

2.3.3. Viskoelastik deformasyonun amorf polimerlerde davranışı

- Düşük sıcaklıkta cam gibi
- Orta sıcaklıklarda lastik katı (viskoelastiklik)
- Sıcaklık arttırıldıkça viskos sıvı oluşumu [14].

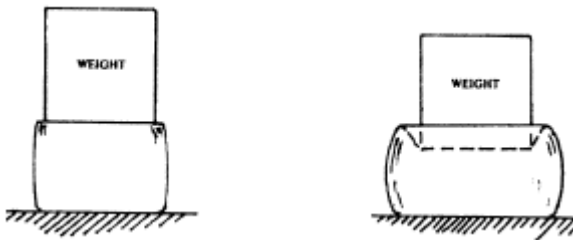


Şekil 2.20. Viskoelastik deformasyon [1].

Termosetler malzemelerin sahip olduğu özellikler şunlardır:

- Büyük çapraz bağlı (merlerin %10 – 50 si)
- Sert ve kırılğan
- Sıcaklık etkisiyle yumuşamayan
- Yüksek ergime noktasına sahip malzemelerdir. Örneğin; sertleştirilmiş lastik, epoksiler, polyester reçine [2].

2.3.4. Basma dayanımı



Şekil 2.21. Basma dayanımı [2].

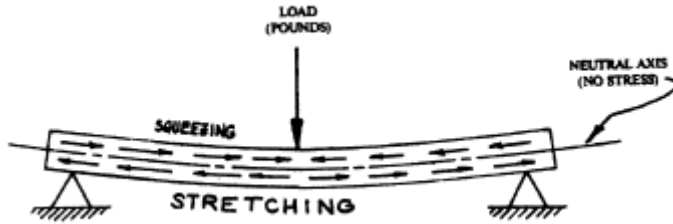
Bir cismin eksenini doğrultusunda etki eden kuvvetler birbirine yaklaşırsa, cismin bünyesinde (içyapısında) bir basılma (basınç) meydana gelir. Basılma anında cismin

bünyesindeki iç kuvvetlerin birim alanına gelen miktarına da Basılma Dayanımı denir. Kesit yüzeyine dik gerilim verdiğinde sembolü σ ve basınç şeklinde olduğu için (d) (Almanca druck = Basınç) σ_d işareti ile gösterilir.

Sürünme dayanımı da oda sıcaklığında “soğuk akış” olarak adlandırılır ve basma dayanımı ile ilgilidir. Sürünme sabit bir yük altında malzemenin şekil değiştirmeye devam etmesidir [1].

2.3.5. Eğme dayanımı

Eğme dayanımı, malzemelerin eğme zorlanmalarına karşı gösterdiği davranış olarak tanım nitelendirilir. İki mesnet üzerine yerleştirilmiş dikdörtgen veya yuvarlak kesitli deney numunesinin ortasına bir kuvvet uygulandığında oluşan şekil değişimine eğilme denir.

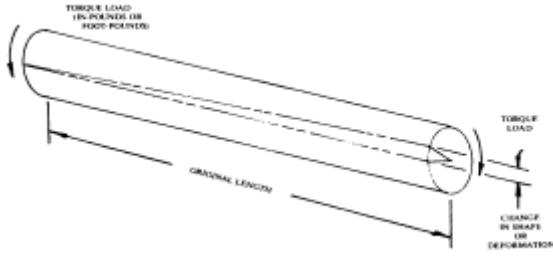


Şekil 2.22. Eğme dayanımı [2].

2.3.6. Burulma dayanımı

Burulma dayanımı, malzemenin bükülme yüküne karşı gösterdiği dayanma kabiliyetinin ölçüsü olarak nitelendirilir. Burulma yükü maruz malzemenin üst düzey dayanımıdır ve bu malzemenin kopmadan önce dayanabileceği maksimum burulma baskısıdır.

Malzemeye uygulanan kopma modülü ve yırtılma dayanımı ise başka alternatif kuvvetlerdir. Bir ucundan sabitlenen prizmatik ya da silindirik çubuk, eksenine doğrultusunda dik bir düzlemde etki yapan kuvvet çifti ile diğer ucundan döndürmeye zorlanırsa döndürme momenti (M_d) meydana gelmektedir. Çubuk kesitinin, eksenine etrafında dönmesine “Burulma” ve meydana gelen dayanımına da “Burulma Dayanımı” denilmektedir.



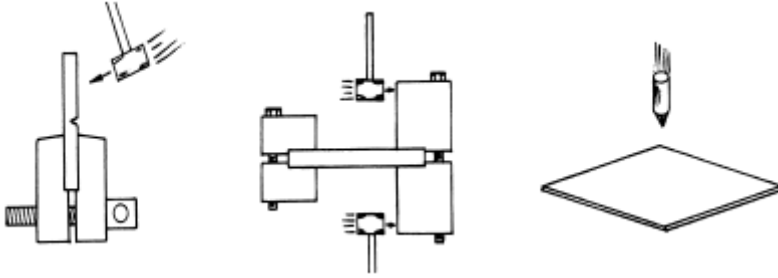
Şekil 2.23. Burulma dayanımı [1].

2.3.7. Elastiklik modülü (Modül, M)

Elastiklik modülü, gerilim fonksiyonu olarak gerinim değişim hızı olarak adlandırılır. Gerilim-gerinim diyagramının düz çizgi kısmının eğimidir. Elastisite modülünün tanjantı; gerilim-gerinim diyagramının herhangi bir noktasındaki eğimidir. Elastisite modülünün sekantı; verilen herhangi bir gerilim ya da gerinim değerinde, gerilimin gerinim ile bölünmesinden elde edilmektedir. Bu değer; gerilim-gerinim oranı olarak da adlandırılmaktadır. Elastisite modülünün tanjant ve sekant değerleri; malzemenin oransal sınırına kadar birbirine eşittir. Gerilim-gerinim diyagramıyla temsil edilen yük çeşidine bağlı olarak elastisite modülü; elastisitenin basma modülü (ya da basma anındaki elastisite modülü), elastisitenin eğme modülü (ya da eğme anındaki elastisite modülü), elastisitenin yırtılma modülü (ya da yırtılma anındaki elastisite modülü), elastisitenin çekme modülü (ya da çekme anındaki elastisite modülü) ya da elastisitenin burulma modülü (ya da burulma anındaki elastisite modülü) olarak raporlanabilmektedir. Elastisite modülü; karmaşık modülden kaynaklanabilen, dinamik test ile belirlenebilmektedir. Yalnız başına kullanılan modül genellikle, elastisitenin çekme modülünü olarak bahsedilmektedir. Kesme modülü; neredeyse her zaman burulma modülüne eşit olup, her ikisi de rijitlik modülü olarak adlandırılmaktadır. Çekme ve basma anındaki elastisite modülü yaklaşık olarak birbirine eşittir ve Young modülü olarak bilinmektedir. Rijitlik modülü; E'nin Young's modülü (psi), G'nin Rijitlik modülü (psi) ve r'nin Poisson's oranı olduğu $E = 2G(r+1)$ eşitliği kullanımıyla Young's modülü ile ilişkilidir. Elastisite modülü; elastik modül ve elastisite katsayısı olarak da adlandırılmaktadır.

Elastisite modülü özgül rijitlik olarak da adlandırılır. Dayanımlarla birlikte kullanılır (eğme modülü, çekme modülü vb.) ve daha yüksek modül, daha rijit malzeme anlamına gelir [16].

2.3.8. Darbe dayanımı



Şekil 2.24. Darbe dayanımı [13].

Darbe dayanımı malzemenin darbe adını taşıyan, aniden uygulanan bir yüke karşı dayanımını ifade eder. Buna bağlı olarak malzemenin aniden uygulanan bir yükte veya şekil değiştirmede kopmama özelliği olarak açıklanır. Darbe mukavemeti izod testi, çekme darbe testi vb. adları taşıyan çeşitli deney yöntemleri ile tayin edilir. Genelde plastikler, darbelere karşı çok iyi bir davranış gösterirler. Bununla beraber darbe dayanımı düşük sıcaklıklarda azalır. Termosetler ve kuvvetlendirilmiş termoplastikler sıcaklığının değişiminden daha az etkilenirler [13].

2.3.9. Özgül ağırlık

Malzemenin yoğunluğu ile ilgili olup malzemenin kütlesini tespit etmede kullanılabilir. Özgül ağırlığı 1,0'dan az olan plastik malzemeler suda yüzer [1].

2.3.10. Su absorpsiyonu

Şişme yüzdesiyle ölçülür [1].

2.3.11. Sürtünme katsayısı (COF)

Kaymaya (kayganlık) dirençtir. Düşük COF = daha çok kayganlık (en düşük COF'e "buz"un sahip olduğunu düşünün) anlamına gelir. Statik COF ilk hareketten son harekete kadar sabittir. Dinamik COF daima devinimlidir [1].

3. POLİETİLEN BORULARIN ÖZELLİKLERİ VE KAYNAK YÖNTEMLERİ

Etilenin polimerleştirilme tepkimesi, 1930 yılında tesadüfen İngiliz kimyasal ürünler şirketi Imperial Chemical Industries' de bulundu. Ama başlangıçta, yaklaşık 2000 barlık çok yüksek basınçlar altında gerçekleştirilen bu tepkimenin teknolojisini kolayca uygulanabilir hale getirmek için yıllar gerekti. Çok geçmeden mekanik ve elektriksel özelliklerinin farkına varılan polietilen, birçok farklı uygulamada kullanılmaya başladı. Daha sonra, 1950' li yıllarda kimyacı K. Ziegler, düşük basınç altında polimerleştirme tepkimesini geliştirdi. Bu yöntem 1970'li yıllarda polietilenin bütün çeşitleri yaygınlaştırıldı. Böylelikle o tarihten itibaren polietilen, dünya çapında en çok kullanılan plastik madde haline gelmiştir [9].

Geçmişte alçak yoğunluklu polietilenler üretilirken şu anda yüksek yoğunluklu, lineer, orta yoğunluklu olmak üzere üç yeni polietilen türü de hayatımıza girmiştir. Bu dört polietilen türünde monomer etilen olup, polimer molekülünün değişik yapıları bu üç yeni polietilen yapının ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Polimer molekülünü meydana getiren zincir şeklindeki makro moleküllerin değişik dallanma durumları polietilenin çeşitliliğini sağlar. Örneğin lineer alçak yoğunluklu polietilende dallanma yok denecek kadar az, yüksek yoğunlukluda biraz fazla, orta yoğunluklu polietilende ise daha fazladır. Alçak yoğunluklu polietilende ise dallanma maksimum düzeyde olup dallanmanın uzun ve kısa oluşu da polimer özelliklerini etkiler. Bu dört cins polietilen de sanayinin temel polimerik malzemeleri olup çok farklı kullanım sahaları mevcuttur. Çöp torbasından elektriksel yalıtıma kadar uzanan çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır [9].

Günümüzde yapıları, fiziksel ve mekanik özellikleri birbirinden çok farklı PE türü imal edilmektedir. Gaz merkezli uygulamalarla ilgili polietilenlerin 23 °C deki nominal hacim kütlesi alt sınırı 925 kg/m³ olan bir yelpaze oluşturur ve suya göre ortalama ağırlığı 0,95'tir. Yaklaşık 0,13 veya 0,20 mm/m/ °C'lık bir doğrusal genişleme katsayısına sahiptir. Isıl iletkenliği düşüktür, (0,4 kcal.m.h Ç) ve ortalama özgül ısı 0,45 cal/g °C'dir. Sıcaklık artışı, polietilenin önemli bir doğrusal genişlemeye uğramasına yol açtığı gibi, ayrıca, onun mekanik karakteristiklerini de etkiler. Polietilen çok iyi bir yalıtıcıdır (20 °C'ta direnci

10^{10} Qm). Mor ötesi ışınlar (gün ışığı) ve ısıya karşı duyarlıdır. Mor ötesi ışınlar ve sıcaklık, PE 128 moleküllerinin oksitlenme sürecini hızlandırır. Gaz borularının çeperlerinden çıkan doğal gaz (0.6 m³/km yıl /bar)'dır. Polietilen borular esnektir ayrıca sıvı ve katı maddelerin taşınması için uygundur ve direnci çelik boru direncinin 4 - 5 katı kadar olduğu tespit edilmiştir. Gaz bileşimine karşı kimyasal direnci yüksektir. Ayrıca ani darbelere karşı gayet dirençlidir.

3.1. Termoplastik Boruların Kaynak Yöntemlerine Genel Bakış

Plastik malzemelerin kaynağında, malzeme özellikleri, çalışma koşulları, zamana bağlı özelliklerindeki değişimler, kaynak sonrası sertleşme eğilimi, malzemenin kimyasal ve ısı direncinin yanı sıra işlem güvenliği ve işlem sonrası güvenilirlik ve bütün bunların dışında ekonomiklik göz önünde tutulmalıdır. Belirtilmiş olan bu özellikler termoplastik malzemelerde mevcuttur. Bunun dışında kalan plastik malzemelere kaynak işi uygulanamamakta ya da birleştirilmiş olan parçalardan hedeflenen verim alınamamaktadır. Termoplastiklerin dışında kalan plastik malzemelerin birleştirilmesinde yapıştırma veya mekanik elamanlarla birleştirilme yöntemleri kullanılmaktadır [19].

Plastik malzemelerin kaynağında kaynak dikişinin çevresinde ısıdan etkilenmiş bölge oluşur. Kaynak sırasında kullanılan basınç ve polimerin akışı sonucunda normal olarak kaynak bölgesinde kristal mikro yapıların çeşitli türleri oluşur. Bu durum örneğin polipropilen gibi yarı kristalin plastiklerde sıkıştırılmış akış ve hızlı soğuma da belirli bir miktarda kristal yapıların oluşmasına yol açar. Metallerde olduğu gibi, ısıdan etkilenmiş bölge ana malzemedan daha zayıf olur. Isıdan etkilenmiş bölgedeki artık kaynak gerilmelerinden dolayı, agresif sıvılar ve çözücülerin etkisiyle korozyon oluşumu bu bölgede daha hızlı olacaktır. Ergitilmiş metaller kaynak banyosuna rahat akarak kaynak ağzını doldururken, viskoz akışkan olan plastiklerde malzeme kaynak yapılan yere bastırılarak ya da itilerek dolgu yapılır. Bu şekilde uygulanan basınçlarla akış yönündeki zincirlerin yer değiştirmesi ile karşılaşılır. Bu da birleşme hattı boyunca anizotropiye neden olur. Örneğin, bunun sonucunda birleşme hattı düzleminde enlemesine olan düzleme nazaran daha düşük çentik darbe veya çekme mukavemeti elde edilir [19].

Termoplastik boruların kaynaklarında yaygın olarak üç çeşit kaynak yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar; sıcak eleman alın kaynağı (alın füzyon), sıcak eleman manşon kaynağı (soket füzyon) ve elektro füzyon kaynağıdır.

Plastiklerin kaynağında kullanılan alın füzyon, soket füzyon ve elektrofüzyon kaynak yöntemlerinin her birinin bir diğerine göre üstünlükleri ve zayıf yönleri vardır. Polietilen (PE) doğalgaz borularının birleştirilmesinde sıcak eleman (alın) kaynak yöntemi ve elektrofüzyon (elektro ergitme) kaynak yöntemi yoğun kullanılan boru kaynak yöntemleridir. Plastik kaynağında parametrelerinin doğru bir şekilde seçilmesi kaynak için hedeflenen sonucu son derece etkilemektedir.

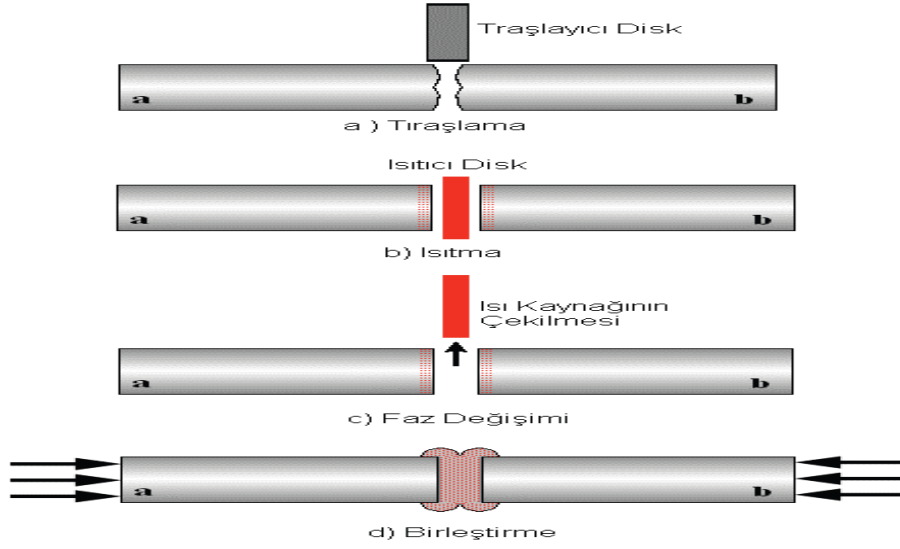
Isı uygulanan dış yüzeyler yumuşak bir hal alırken plastiklerin kötü ısı iletkenliklerinden dolayı doğrudan alev tercih edilmez. Doğrudan alev uygulanan plastik yanmaya başlar. Bu şekilde ısınmış plastikler basınçlı hava veya su ile ani bir şekilde soğutulurlarsa kaynak bölgelerinde istenmeyen gerilmeler oluşur.

Basınç Erimiş plastik viskoz olduğundan yani rahat akmadığından birbiri içinde kayan liflerin bir basınç ile desteklenmesi gereklidir.

Plastik malzemelerin ısıl iletkenlikleri çok düşüktür. Bu sebeple ısı girdisi süresi ve soğuma süresi çok dikkatli bir şekilde ayarlanmalıdır. Kaynak ısısının uzun süre ortamda kalması ısıl hasarlara yol açar. Plastiklerin ısıtma ve soğutma sırasındaki genleşmeleri ve büzülmeleri metallere göre biraz daha fazla olduğundan oluşabilecek sorunlara dikkat edilmelidir [19].

3.2. Sıcak eleman alın kaynağı

Sıcak eleman alın kaynağı yöntemi plastiklerin birleştirilmesinde kullanılan en basit, güvenilir, sağlam ve ekonomik bir yöntem oluşu, en çok tercih edilen yöntemlerden olmasının başlıca sebebidir. Bu yöntemde kaynak ile birleştirilecek yüzeyler sıcak eleman ile temasla veya ışınlama ile ısıtılır, yeterince yumuşatıldıktan sonra basınç altında ek bir malzeme kullanmadan ya da kullanılarak birbirlerine basınç altında bastırılarak birleştirilir. Isıtma şekline göre doğrudan (direkt) ya da dolaylı ısıtma (endirekt) sıcak eleman kaynağı olarak da adlandırılmaktadırlar [20].

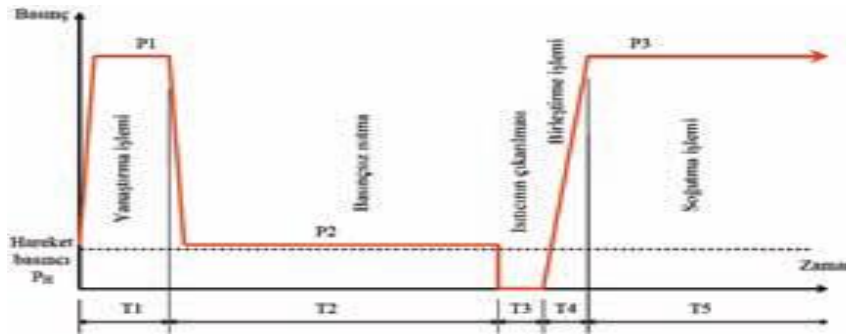


Şekil 3.1. Sıcak elaman kaynağı [20].



Şekil 3.2. Birleştirilmiş ürün [21].

Şekil 2,3'de ki grafik incelendiğinde beş zaman aralığında işlemin gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 3.3. Sıcak elaman kaynağı işleminin işlem basamakları grafiksel gösterimi [22].

Yanaştırma: Birbirine Kaynatılacak borular birleşme yüzeylerden ısıtıcıya paralel bir şekilde yanaştırılır. Paralellik durumu dudak yüksekliğinin tipine bağlı olarak belirlenir. Yanaştırma işlemi P_1 basıncı altında T_1 süresi boyunca yapılır. T_1 (yanaştırma süresi) süresi oluşan dudak yüksekliğine göre belirlenir.

Basınçsız Isıtma: Bu işlemde alın kaynak yüzeylerini ısıtıcıdan ayırmadan basınç düşürülür. Birleşme bölgeleri ısıtıcı ile yaklaşık sıfır basınçta temas halindedir. Bu sırada ısı boru eksenine doğrultusunda yol alırken bu sürenin normal şartlarda kısa tutulması halinde, erimiş plastik kısmın derinliği alın kaynak için gerekli olan derinlikten daha kısa olmaktadır. Isıtma süresinin normal şartlardan uzun tutulmasında alın kaynak bölgesi aşırı derecede eriyecek veya bozunacaktır.

Isıtıcının Çıkarılması: Basınçsız ısıtma işlemi sonunda birleşme bölgeleri ısıtıcıdan uzaklaştırılır. Isıtıcı malzemeden uzaklaştırıldıktan sonra çok hızlı bir şekilde birleştirme işlemi gerçekleştirilmelidir. Eğer gecikme olursa oksitlenme ve soğuma nedeniyle alın kaynağının kalitesi bozulur. Isıtıcı çıkarıldıktan sonra borular birbirine yanaştırılır ve yanaştırma işlemi kesinlikle ısıtılmış yüzeylerin birbirine çarpması şeklinde olmamalıdır. İstenilen P3 basınç değerine (ara yüzey basıncı) lineer bir şekilde çıkılmalıdır.

Soğutma esnasında birleştirme basıncı P3 (ara yüzey basıncı) sabit tutulmalıdır. Birleştirme işleminden sonra düzgün ikili dudak oluşmalıdır. Dudak boyutları ve şekli kaynağın düzgünlüğünü gösterir. Birleştirilen boruların eriyik akışına bağlı olarak farklı dudak şekilleri oluşabilir. Dudak yükseklik değeri her zaman sıfırdan büyük olmalıdır [22].

Sıcak eleman kaynağında sıcaklık, ısıtma süresi, soğutma süresi, ısı kaynağı uzaklaştırma süresi ve basınç etkin parametrelerdir. İnce et kalınlıklarında yüksek sıcaklığa gereksinim duyulmakta iken büyük et kalınlıklarında ise düşük sıcaklık gerektirmektedir.

Alın kaynak prosesinde önerilen alın kaynak parametreleri					
Cidar Kalınlığı	Yanaştırma Süresi	Basınçsız Isıtma Süresi	Isıtıcının Çıkarılma Süresi	Birleştirme	
	Isıtıcı Üzerinde Gözlenen Borunun Dudak Yüksekliği	Isıtma Süresi=10xCidar Kalınlığı		Birleştirme Süresi	Soğutma Süresi
mm	mm (min)	s	s (max)	s	s (min)
4,5	0,5	45	5	5	6
4,5...7	1,0	45...70	5...6	5...6	6...10
7...12	1,5	70...120	6...8	6...8	10...16
12...19	2,0	120...190	8...10	8...11	16...24
19...26	2,5	190...260	10...12	11...14	24...32
26...37	3,0	260...370	12...16	14...19	32...45
37...50	3,5	370...500	16...20	19...25	45...60
50...70	4,0	500...700	20...25	25...35	60...80

Çizelge 3.1. Sıcak eleman kaynağında önerilen kaynak parametreleri [22].

Fazla dudak genişliği	Aşırı ısıtma; fazla birleştirme kuvveti
Dudak orta kısmında oluşan boşluk yüksekliği çok fazla	Fazla birleştirme kuvveti; Yetersiz ısıtma; Isıtma esnasında basınç
Dudak üst kısmı düz	Fazla birleştirme kuvveti; Aşırı ısıtma
Boru etrafında üniform olmayan dudak	Hatalı yerleştirme (merkezleme); Arızalı ısıtma aparatı; Yanlış ekipman; Yetersiz tıraşlama
Dudaktan çok küçük	Yetersiz ısıtma; Yetersiz birleştirme kuvveti
Dudaklar boru dış yüzü üzerine dönmemiş	Dudak orta kısmında oluşan boşluk az; Yetersiz ısıtma ve yetersiz birleştirme basıncı Dudak orta kısmında oluşan boşluk çok; Yetersiz ısıtma ve fazla birleştirme kuvveti
Dudaklar çok büyük	Fazla ısıtma süresi
Dudak dış kenarı kare şeklinde	Isıtma esnasında basınç uygulanmış
Pürüzlü dudak yüzeyi	Alın kaynak bölgesine alın kaynak esnasında hidrokarbon bulaşmış

Çizelge 3.2. Sıcak eleman kaynağı problemleri ve muhtemel sebepleri [23].

Doğal gaz transferinde kullanılan PE boruların kaynağı, insan hayatı, endüstriyel uygulamalar ve çevre ile ilgili yaşanan olumsuz sonuçları düşünüldüğünde oldukça önemlidir. Uygulanan PE kaynak yöntemleri arasında en ucuz ve en kolay uygulanan yöntem olmasından dolayı yoğun kullanımı söz konusudur. Başarılı bir sıcak eleman alın kaynak elde edebilmek için belirtilen şu hususlara dikkat etmek gerekir [24] :

- Alın kaynak yapılacak malzemelerin birbirleriyle uyumlu olmasına dikkat edilmelidir
- Nem, rüzgar veya düşük sıcaklıktaki ortamlarda, alın kaynak parametrelerinin etkilenmemesi için makine çalışma alanı bu etkilerden korunmalıdır
- Alın kaynak yapılacak boruların alınlarının ısıtma süresi sonunda aynı sıcaklıkta olmasını garanti edebilmek için alın kaynak bölgesi direkt gün ışığı vb. etkilerden korunmalıdır. Alın kaynak işlemi öncesinde kaynatılacak boruların alınları toz, çapak v.b. olmaması için temizlenmelidir
- Borular, alın kaynak işlemine başlanmadan önce kafalara sağlam olarak bağlanmalıdır. Bu hem parçaların tam olarak merkezlenip doğru bir alın kaynak elde edilebilmesi için gereklidir, hem de parçaların tıraşlama sırasında kafadan kurtulup, operatöre zarar vermesini önlemek açısından önemlidir
- Alın kaynak işlemi sırasında (soğuma süresi dahil) alın kaynak yapılan parçalar hiçbir şekilde mekanik bir kuvvete ve zorlamaya maruz bırakılmamalıdır. Alın kaynak yapılan borunun diğer kısmı, kolay hareket edebileceği kayıcı bir zemin üzerinde bulunmalıdır.

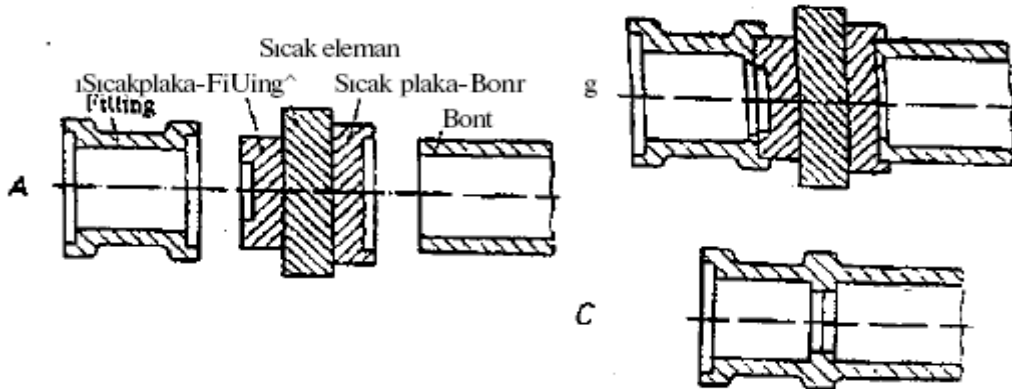
Bu, alın kaynak bölgesine kuvvet uygulanmadan ileri-geri beslemenin sağlanabilmesi açısından gereklidir

- Tıraşlayıcı bıçağının gerekli keskinlikte olduğundan emin olunmalıdır. Belirli zaman aralıklarında bıçak bilenmeli ya da değiştirilmelidir
- Isıtıcının teflon kaplamasında derin çizik, çentik v.b olmamalıdır. Bunun için belirli aralıklarla ısıtıcı yüzeyi kontrol edilmelidir.

3.3. Sıcak eleman manşon kaynağı

Bu kaynak yönteminde polietilen malzemeden üretilmiş bir ek parça ve alüminyum kalıplar kullanılır. Kaynak edilecek boru ile ek parça aynı PE malzemeden yapılmış olmalıdır. Kaynak esnasında ek parçanın iç yüzeyi ve alüminyum kalıplarla borunun dış yüzeyi aynı anda ısıtılmalıdır. Yüzeyler yeterince eridikten sonra önce ısıtıcı sonra kalıplar çıkarılarak, borunun ve ek parçanın erimiş yüzeyleri birbirlerine homojen şekilde birleştirilir ve ardından soğutulur.

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. Özellikle küçük çaplı fittingsler için kullanılır. 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. Prensip sadece aynı tip malzemelerin birleştirilmesidir (PE ile PE). Bu yöntemle küçük çaplı boru ve ek parçalar birleştirilmekle birlikte genel olarak PPRC tesisat boru ve ek parçalarının birleşiminde kullanılır [16].



Şekil 3.4. Sıcak eleman manşon kaynağı [16]

3.4. Elektrofüzyon Kaynak Tekniği

Basınçlı su ve gaz taşıyan boruların kaynağında kullanılan elektrofüzyon kaynak yöntemi için ekleme parçası geometrisi, ısı oluşumu mekanizması ve malzeme türüne bağlı olarak farklı tasarım geliştirilmiştir. Halen kullanılan tasarımlar, ilk defa 1970'lerde ortaya çıkmıştır.

Elektrofüzyon kaynağı 16-500 mm dış çaplardaki boruların birleştirilmesinde kullanılmaktadır. Bu kaynak yönteminde sargı haline getirilmiş direnç teli bulunan ekleme parçaları kullanılır. Öncelikle kaynağı gerçekleştirilecek boruların uçları dik ve düzgün bir şekilde kesilir. Birleştirilecek boruların yüzey temizlikleri kazınarak yapılır. Borular ekleme parçası ile aralarında herhangi bir hareket olmayacak şekilde sabitlenmelidir. Ancak bu ekleme parçasının içerisinde yer alan durdurucu, boru uçlarının birbirlerine değmesini önler. Kaynak işlemi sırasında direnç telinin üzerinden akım geçmeye başladığı andan itibaren ısınma gerçekleşir ve polimerlerin ergimesi sağlanır. Kaynak işleminde meydana gelen olaylar, önısıtma, ekleme parçasının ısıl genleşmesi, ısı nüfuziyeti ve birleşim bölgesinin soğuması olarak sıralanır.

3.4.1. Elektrofüzyon yönteminin tercih nedenleri

Elektrofüzyon yönteminde kaynak donanımı hafiftir, ucuzdur ve kolay taşınabilir. Bu durum çalışma bölgesinin dar, boru hareketinin kısıtlı olduğu sahalarda kullanım ve onarım işlemlerini kolaylaştırır.

- İşlem kontrol cihazında herhangi bir ayar yapılmadan, üreticinin hazırladığı barkodun okutulması ile uygun parametrelerle hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilir.
- Özellikle büyük çaplı borularda operasyon hızı diğer yöntemlerden üstündür.
- Yarı otomatik karakteri sayesinde operatör kaynaklı hataları en aza indirilmiştir.
- İşlemin ilerleyişi, ekleme parçalarındaki indikatörler sayesinde görsel olarak takip edilebilir.
- Gelişmiş kontrol cihazları sayesinde işlem verileri saklanır, bilgisayara aktararak incelenebilir.

- Farklı et kalınlıklarındaki borular veya farklı dereceden borular (PE80 ve PE100 gibi) bu yöntemle rahatlıkla birleştirilebilir.
- Malzemenin mekanik dayanım değerlerinde ve boru iç çapında değişikliğe neden olmaz.

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 sebeptendir ki bunlar; teknik nedenler, pratik nedenler ve insan faktörüdür.

Teknik açıdan; elektrofüzyon işleminde kaynak işlemi, montaj tamamlandıktan ve birleştirilecek parçalar sıkıca bir araya geçirildikten sonra yapılır. O yüzden kaynak alanında boru ve fittings arasında herhangi bir oynama olmaz.

Pratik açıdan; 20-315 mm arasındaki tüm boruların monte edilebilmesine imkân verir. Çapı 125 mm'ye kadar olan boruların uzun mesafeler boyunca kullanılabilmesini sağlayan tek tekniktir. Ayrıca, şebeke inşasının tüm safhaları boyunca her yerde, basınç altında yapılan bağlantılarda, tamirat işlerinde kullanılabilir.

İnsan Faktörü açısından; 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 makinelerle yapılır. Dolayısıyla elektrofüzyonda basit bir eğitim yeterlidir.

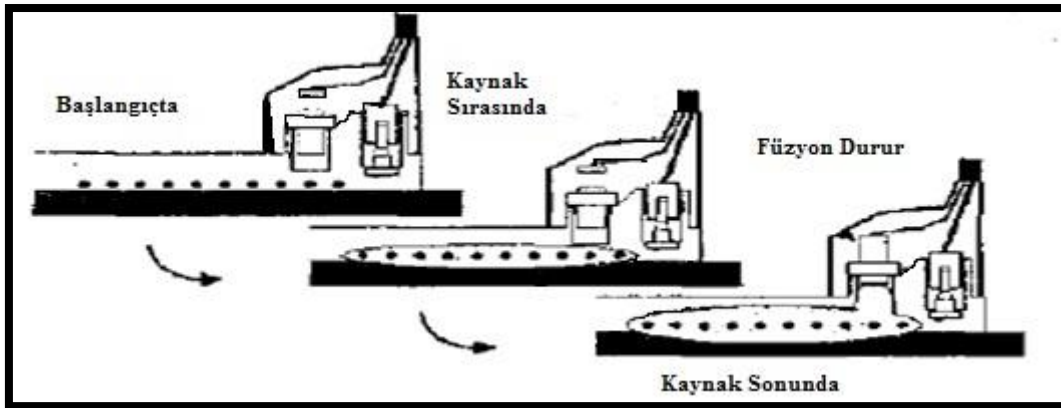
3.4.2. Elektrofüzyon kaynağında kaynak kabiliyeti

Elektrofüzyon kaynağında sabit gerilim altında verilen enerjinin miktarı genellikle uygulama süresi ile kontrol altında tutulur. Süre uzadıkça verilen enerji miktarı ile kaynak bölgesinin sıcaklığı artar. Ara yüzeyde polimerin sıcaklığı ergime değerinin üzerine çıkmalı, ancak direncin kısa devre yapması (sargıların birbirine teması) veya polimerin bozunmasına neden olacak aşırı basınç ve sıcaklık artışlarına ulaşılması önlenmelidir. Kontrol cihazı içinde bulunan trafo sayesinde jeneratörden aldığı enerjinin, gerilim

değerini kaynak için gerekli düzeye düşürür. 220 v giriş gerilimini 40-48 v'a düşüren trafolar, en çok 16A çekecek şekilde sigortalıdır. Bu nedenle kontrol cihazları genellikle 2800-3500 W arasında değişen güçlerde imal edilirler.

Cihazlarda genellikle kaynak yapılabilecek çap aralığı belirtilir. Bu durum şu şekilde açıklanabilir. Direncin çektiği güç büyüklüğü ile ters orantılıdır ve sıcaklığı arttıkça bir miktar düşer. 40 v gerilim ile kaynak yapıldığında 1,87 E dirence sahip Ø 63 mm manşon çektiği başlangıç gücü ortalama 855 W' ken 1,30 E dirence sahip Ø 110 mm bir manşonda bu değer 1230 W'dır. Dolayısıyla boru çapı büyüdükçe ergitilmesi gereken malzeme miktarı ve bunun için gereken ısı enerjisi artmaktadır. Bu nedenle büyük çaplı borularda daha düşük direnç seçilerek çekilen güç artırılır ve kullanılacak cihazların kapasitesi buna uygun olarak seçilir.

Elektrofüzyon kaynağında çıkış parametrelerindeki değişiklikler ekleme parçasına iletilen güçte sorunlar ortaya çıkarabilmekte ve kaynak kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sebeple kontrol cihazları kullanılmaktadır. Kontrol cihazları ekleme parçası imalâtçısının talimatına uygun olarak eritme çevrimini gerilim, akım ve zaman veya enerji gibi çıkış eritme parametrelerini gerçekleştirmektedir. Bu sayede iyi bir kaynak kalitesine sahip olmak mümkündür.



Şekil 3.5. Elektrofüzyon aşamaları [22]

Kontrol cihazları için çeşitli standartlar mevcuttur. TS ISO 12176-2'ye göre beş tip kontrol cihazı tanımlanmıştır:

- Ön ayarlı kontrol cihazı: İmalâtçı tarafından ayarlanan ve önceden belirlenen bir veya birkaç seçmeli gerilim veya akım veya enerji veya zaman seviyesinde üretilen, kademeli bir çıkış gücü temin eder.
- Değişken kontrol cihazı: Bir dış kaynaktan belirlenen değişken parametrelere göre üretilen kademeli bir çıkış gücü temin eder.
- Çok modlu kontrol cihaz: Birkaç gerilim ve akım seviyesinde üretilen kademeli bir çıkış gücü temin eden ve değişken bir sistem ile ilişkili en az bir ön ayarlı sisteme sahip, farklı imalâtçıların imal ettiği ekleme parçaları için gerekli olan, farklı enerji ihtiyacını, her sistemin kapasitesi içinde karşılar.
- Çok amaçlı kontrol cihazı, birkaç gerilim veya akım seviyesinde üretilen kademeli veya sürekli çıkış gücü temin eder.
- Üniversal kontrol cihazı, değişken bir sistemden gelen, birkaç gerilim ve akım seviyesinde üretilen kademeli veya sürekli bir çıkış gücü sağlamalıdır

3.4.3. Elektrofüzyon kaynak yönteminin işlem adımları

Elektrofüzyon kaynağı, hazırlık, füzyon ve soğuma olmak üzere üç aşamada gerçekleşir. Kaynak işleminin yapılışı ile ilgili olarak DVS 2207-1'de ve PPI TN-34'de çeşitli prosedürler verilmiştir. Ayrıca üreticilerden de bu konuda bilgi edinilebilir.

Hazırlık işlemlerin doğru şekilde yapılması elektrofüzyon kaynağında çok önemlidir. Bu aşama manuel olarak yürütüldüğü için operatörün yeteneği ve yeterliliği belirleyicidir. PPI TN-34'de bu konu özellikle vurgulanmıştır. Kaynak işleminin, yalnızca polietilen ve füzyon kaynağı konusunda kapsamlı bilgiye ve tahribatlı muayene yeterliliğine sahip, yetkili bir eğitmenen eğitim almış kişilerce yapılması gerektiği bildirilmiştir.

Füzyon aşaması ise kontrol cihazına gereken parametrelerin girilmesinden sonra otomatik olarak gerçekleştirilir. Parametreler manuel olarak veya ekleme parçası üzerindeki barkodun okutulmasıyla girilebilir. İkinci yöntem daha hızlıdır ve hatalı girişi önler bu nedenle genellikle tercih edilir.

Kontrol cihazının, gereken süre kadar uyguladığı enerjiyi kesmesinden sonra, soğuma aşaması başlar. Bu asama parçaların tamamen katılaşması için geçen süreyi kapsar. Bu süre genellikle ekleme parçaları üzerinde belirtilir. Genel kontrol cihazları bu süreyi gösterir. Bu süre boyunca parçalara herhangi bir kuvvet uygulanmamalıdır.

Plastik malzemelerin kaynak işlemi gerçekleştirilmeden önce yüzey hazırlığı yapılmalıdır. Çünkü malzemeye elle dokunmak bile kaynak edilecek bölgenin kirlenmesine neden olur. Malzemenin iyi bir yüzey temizliği kaynak kalitesini etkileyen faktörlerin en önünde yer alır. Kaynak esnasında birleştirilecek yüzeylerin bir kazıma aleti yardımıyla tıraşlanarak temizliği yapıldıktan sonra bir çözücü ile yüzey üzerindeki yağ vb. kirler arındırılır. Otomatik olarak yapılan kaynak uygulamalarında yüzey işlemine gerek duyulduğunda başvurulur.

Aşağıda maddeler halinde verilen kontrol ve hazırlıkların yapılması hatasız bir kaynak işlemi için önemlidir.

Boru çapı

Boru çapı, hassas ölçme şeridi ile ölçülür ve ölçülen çapın, çalışılan sıcaklık için ilgili standartta (örneğin ASTM F714) belirtilen değerlere uygunluğu kontrol edilir. Standart çaplar 23°C için belirlenirler.

Boru ovaliği

Boru kaynak işleminden önce mutlaka yuvarlak hale getirilmelidir. Bunun için borunun yuvarlaklıktan sapma değerleri belirlenmelidir. Ölçme şeridi ile boru çapının yüksek ve alçak değerleri tespit edilir. Eğer bu değerler imalatçı değerlerinde değilse yuvarlatma kelepçeleri kullanılarak boru yuvarlaklığı sağlanmalıdır.

Çap azalması

Boru uçlarında çap azalması olup olmadığı kontrol edilir. Çap azalması varsa, boru ucundan geriye doğru 50 mm mesafeyi geçmemelidir. Aksi halde boru uçları tekrar kesilir.

Boru uçlarının kesilmesi

Boru uçları 90°'ye yakın dik, dikkatli bir şekilde kesilmelidir.

Boruların hizalanması

Boruların montaj sırasında, herhangi bir gerilme altında olmayacak şekilde hizalanmış olduğu kontrol edilir.

Güç Kaynağı

Uygun bir güç kaynağı kaynak işlemi için oldukça önemlidir. Kullanılacak güç kaynağının kesintisiz bir şekilde güç ileteceğinden emin olunmalı ve imalatçının gerilim ve frekans değerleri için önerileri dikkate alınmalıdır.

Uzatma Kabloları

Bazı imalatçılar uzatma kablosu kullanımını önermemektedir. Kablo kullanımı gerekliyse, kullanmadan önce üreticiye danışılmalıdır.

Kontrol Cihazı

Manşona gerekli elektrik akımını iletmek için uygun bir kontrol cihazı kullanılmalıdır. Manşon ve kontrol cihazı imalatçılarının malzemelerin uyumlulukları konusunda danışılmalıdır.

Kazıma Aletleri

Boru yüzeylerinin kaynak işlemine hazırlanması için ekleme parçası üreticisinin önerileri doğrultusunda kazıma aletleri kullanılmalıdır. Saha şartlarında, manşonun boru ucuna tamamen itilmesi gerekirse, manşonun kazınmamış boru üzerinden kayarken bulaşacak kirden koruması amacıyla, boru ucu manşon uzunluğu kadar kazınmalıdır.

İşaretçiler / Kalemler

Borunun üzerine saplama derinliği işaretlenmede veya işlem sonunda manşon üzerine gerekli notların yazılmasında, yağsız, çabuk kuruyan, sabit mürekkepli kalemler kullanılmalıdır.

Temizleyici / Silme Bezi

Kaynak edilmek üzere kazınan boru yüzeylerinin temiz, boyasız ve tiftiksiz bir bez kullanılarak % 96 veya üzeri derişimde izopropil alkol ile yüzey temizliği gerçekleştirilmelidir.

Oram Şartları:

Ekleme parçası imalatçısının, kaynak işlemleri için önerdiği ortam sıcaklığının alt ve üst sınırlarına dikkat edilmelidir. Büyük çaplı manşonlar, özel füzyon zamanı veya ön ısıtma gerektirebilir. Ayrıca, elektriksel ekipmanların nemli ortamlarda kullanılması ile ilgili gereken önlemler alınmalıdır.

3.4.4. Kaynak hataları ve nedenleri

Elektrofüzyon kaynağı gibi gelişmiş bir teknolojiyle kaynak işlemi yapılmasına rağmen kaynak işlemleri gerçekleştiren operatörden kaynaklı hatalar sonucunda istenilen kaynak kalitesi elde edilemeyebilir.

Kaynak işleminin gerçekleştirileceği ortamın atmosferinde nem ve güneşin olması, bunun yanı sıra kaynak bölgesinin ıslanması kaynak kalitesini etkileyen faktörlerdir. Kötü hava şartlarından kaynakçılarında etkilenmesi yine kaynak hatalarına sebebiyet vermektedir.

Kaynağı gerçekleştirilecek borunun bulunduğu ortam sıcaklığı yine kaynak kalitesini etkileyen önemli bir husustur. Kaynak işlemi gerçekleştirecek ortamın sıcaklığı 0°C - 35 °C arasında olmalıdır.

Elektrofüzyon kaynak tekniğinde kaynak makinesinin yaşanan herhangi bir gerilim kesilmesi, kaynak işleminin olması gerekenden önce sonlanmasına neden olacaktır. Bu durum kaynak işlemleri gerçekleştirecek operatörün fittings bağlantı soketlerini yerinden çıkarmış olmasıyla gerçekleşmiş olabilir. Böyle bir 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.

Kaynak işlemi gerçekleştirilmeden önce herhangi bir yüke maruz kalan boruların pozisyoner yardımıyla düzeltilmesi gereklidir. Aksi takdirde kaynak kalitesi bu durumdan olumsuz olarak etkilenecektir.

Polietilen doğalgaz borularının kaynağında kaynak edilecek birleşme yüzeylerinin temizliği oldukça önemlidir. Kaynak yüzeyinin temizliği kaynak kalitesini büyük ölçüde etkilemektedir. Kaynak bölgeleri kaynaktan hemen önce oksitli tabaka tıraş edilerek kazınmalı ve solvent ile temizliği yapılmalıdır. Temizleme işleminde sonra herhangi bir şekilde el ile teması olmamalıdır. Aksi halde kaynak işlemi gerçekleşmediği gibi kaynak edilmiş görüntüsü ortaya çıkabilmektedir. Bu aşamadan sonra fittings taşma bölgeleri de kaynağın bittiğini gösterecektir.

Polietilen boruların imalat ve kesmeden kaynaklı ovaliklerinin bozulması yine kaynak hatasına sebep olmaktadır. Bu nedenle tip borular kaynaktan önce bir mengene veya boğma aparatı yardımıyla düzeltilirler.

Kaynağın istenen performansa ulaşabilmesi için kaynak bölgesine gerekli ısıyı ve basıncıyı oluşturacak gerilim rezistanslara verilmelidir. Elektrofüzyon kaynağında genelde sabit akımda (32-39 volt) kaynak işlemi gerçekleştirilmektedir ve imalatçıların bu gerilimleri de dikkate alarak tamamen laboratuvar şartlarında tespit ettiği kaynak süreleri uygulanmadığı zaman kaynakta istenilen kaliteye ulaşamamaktadır. Fazla süre uygulandığında aşırı derecede erime ve akma olurken yetersiz süre uygulamalarında ise kaynak işlemi gerçekleşmez.

PE borular dış çap göz önünde bulundurularak üretilirler ve bunlar A (hassas toleranslı) ve B (normal toleranslı) olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Elektrofüzyon kaynak tekniğinde A sınıfı borular kullanılırken alın kaynağında ise normal toleranslı borular kullanılmaktadır. Alın kaynağı için üretilmiş boruların dış çap toleransları hassas değildir.

Kaynak edilecek polietilen borular fittingsler dikkate alınarak hazırlanmalıdır. Boruların yerleştirilmesinde herhangi bir boşluk söz konusu olduğunda kaynak işlemi sırasında

eriyen malzemenin fittings içerisine dolmasına neden olacaktır. Bu sebeple sağlıklı bir kaynak işlemi gerçekleştirilemeyecektir.

Kaynak işlemi sırasında kullanılan boru fittingsin farklı reçinelerden imal edilmiş olması kaynak hatasına yol açmaktadır. Malzemelerin erime sıcaklıkları farkı sebebiyle istenen erimeler eşit oranda gerçekleşmeyeceğinden hatalı kaynak yapılmasına söz konusudur. Kaynak işleminin gerçekleşmesi için manşon iç yüzeyi ile boru iç yüzeyi arasındaki malzeme erimelidir.

Elektrofüzyon malzemeleri üretimlerinden sonra kontrol edilmelerine rağmen bazen hatalı fittingslerle karşılaşmaktadır. Fittingslerin standart dışında bir ovalliğe sahip oval olması oval borunun kaynağında yaşanacak benzer sorunları ortaya çıkarmaktadır. Fittingslerin kullanım ömrü sınırsız değildir (yaklaşık 4 yıl) kaynak işleminde dikkate alınmalıdır.

Kaynak işlemine başlamadan önce manşon içine girmesi gereken kısımlar işaretlenmeden montaj yapılırsa kaynak hataları meydana gelecektir. Yetersiz sürüldüğü durumlarda malzemede akma görülecektir. Manşonun orta noktasını geçtiği durumlarda ise kaynak işlemi dış görünüşü itibariyle tamamlanmış olacak fakat diğer ucu yeterince içeride olmadığı için mukavemeti düşecektir.

Elektrofüzyon kaynağında temel veriler, fitting imalatçısı tarafından sağlanır. Bu bakımdan imalatçı firmanın kaynak ortam koşullarına uyulması gerekir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada Çizelge 4.1.'de kimyasal kompozisyonu verilen polietilen (PE 100) plastik boru numuneleri ile deney gerçekleştirilmiştir. Deney gerçekleştirilmeden önce birleştirme yüzeylerinin düzgünlüğü kontrol edilmiş ve daha sonrasında birleştirme işlemine geçilmiştir. Numuneler Çizelge 4.2.'de verilen elektrofüzyon kaynak makinesi ile insan eli değmeden birleştirilmiştir.

4.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

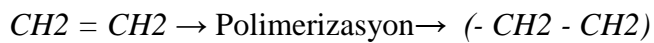
4.1.1. Ana malzeme

Deneysel Çizelge 4.1.'de kimyasal kompozisyonu verilen polietilen (PE 100) plastik boru kullanılmıştır.



Resim 4.1. Deneyde kullanılan polietilen (PE 100) plastik borular

Polietilen *PE* nin kimyasal kompozisyonu :



Çizelge 4.1. PE 100 doğalgaz borularının genel özellikleri

Fiziksel Özellikler	PE 100	Birim	Isı	PE 100	Birim
Yoğunluk	0,959	g/cm ³	Özgül Isı	1,9	J/gC
Viskozite Sayısı	360	cm ³ /g	Vicat Yumuşama Sıcaklığı	128	°C
Eriyik Akış Hızı (190 °C /5kg)	0,2 - 0,60	g/10 dak	Termal Kararlılık	>20	dakika
Mekanik Özellikler			Renk vb. Özellikler		
Akma Mukavemeti	>22	MPa	Karbon Siyahı Muhtevası	2 - 2,5	%
Akmadaki Uzama	9	%	Karbon Siyahı Dağılımı	<3	Grade
Kopmadaki Uzama	>600	%	Yavaş Çatlak İlerlemesi Direnci (4,6 Mpa 80 °C Çentikli)	>3000	Saat
Çekme Modülü	900	MPa	Doğrusal Genleşme Katsayısı	$1,8 \times 10^{-4}$	C ⁻¹
Charpy Darbe Muk. Çentikli +23°C	26	kJ /cm ²	Elektriksel Özellikler		
Charpy Darbe Muk. Çentikli -20°C	13	kJ /cm ²	Elektrik Mukavemeti	>20	kV /mm
Elastik Modülü	1100	MPa	Hacim Direnci	>10 ¹³	m
Akmada Gerilme Dayanımı	25	MPa	Yüzey Direnci	>1000 ¹³	-
Kopmada Uzama Gerilmesi	>350	%	Bağlı Gerginlik	2,6	-

4.1.2. Elektrofüzyon kaynak makinesi

Kaynak işlemi için hazırlanan test numuneleri TEGA Mühendislik Sanayi ve Ticaret A.Ş firması bünyesinde bulunan ve sıcaklık, basınç, zaman ayarları yapılan elektrofüzyon kaynak makinesi kullanılmıştır.



Resim 4.2. Deneyde kullanılan elektrofüzyon kaynak makinesi

Çizelge 4.2. Deneyde kullanılan elektrofüzyon kaynak makinesi parametreleri

Teknik Bilgiler	
ISO 12176-2 Sınıfı	P2 3 U S1 V AK (D) X
Giriş Voltajı	230V ~/AC, (185V-380V)
Giriş Akımı	16A
Şebeke frekansı	50Hz (40-70Hz)
Güç Faktörü	$\cos \phi < 0.6 - 0.9$ (Phase Angle Control / Faz Açısı Kontrol)
Fizyon kaynak gerilimi	8-48V
Fizyon kaynak gücü	60A (max.: 80A)
Enerji Ayarı	Sıcaklık Düzeltmesi
Güç kullanımı	3200VA
Sıcaklık Aralığı	-10°C ile +50°C
Koruma Sınıfı	IP54, Sınıf 2
Kaynak Terminaleri	4,0mm (4,7mm isteğe bağlı)
Önerilen Çalışma sıcaklığı	-10°C + 45°C
Şebeke gerilimi	180V – 264V AC
Güç Kapasitesi	3.5 KW
Kaynak zaman aralığı (soğuma hariç)	Min.20dk. Max. 30 dk.

4.1.3. Ayırma test tertibatı

PE plastik borular farklı ortam sıcaklıklarında birleştirilip numuneler 24 saat oda sıcaklığında tutulmuştur ve ardından Resim 4.3.'de yer alan ayırma test tertibatı 26 mm/dak ve sıyrarak ayırma test tertibatıyla 100 mm/dak bir hızla numuneler ayırma kuvvetine tabii tutulmuştur. Bu işlem numune tam ayrılana veya kısımlarından birinde kopma meydana gelinceye kadar devam etmiştir.



a



b

Resim 4.3. a) Denede kullanılan ayırma test tertibatı b) sıyrarak ayırma test tertibatı

4.2. Deneyin Yapılışı

125 mm çapında PE100 plastik boruların birleştirilmesinde Tablo 4.2 özellikleri ve birleştirme parametreleri verilmiş olan kaynak makinesi kullanılmıştır. Doğru bir karşılaştırma olabilmesi için ortam sıcaklığının dışındaki tüm parametreler eşit tutulmuştur. Hazırlanmış olan numunelere TS ISO 13954, TS ISO 13955, TS ISO 13956 ve TS EN 1555-3 standartları çerçevesinde testler ve ölçümler uygulanmıştır. İşlemler sonucunda bazı testlerden sayısal sonuçlar elde edilmiş, bazı testlerden ise birleşme bölgesindeki değişim ve olumsuzluklar değerlendirilerek, her hangi bir hasarın oluşup oluşmadığı gözlenmiştir. Yapılan her test 25 °C oda sıcaklığında, çekme testi 26 mm/dak'lık ve sıyrarak ayırma testi 100 mm/dak'lık sabit hızda, testin özelliğine göre 3 ile

8 arasında değişen sayıda numunelerde uygulanmıştır. Uygulamadan elde edilen sayısal sonuçlar aritmetik ortalamalar alınarak değerlendirilmiştir.

Deney esmasında yapılan tüm işlemler aşağıdaki sıra ile gerçekleştirilmiştir.

4.2.1. Kaynak edilecek numunede kaynak bölgesinin işaretlenmesi ve temizliği

Kaynak işlemine geçilmeden önce numunede boru ağzından yaklaşık 5 cm içeriye doğru yani maşon uzunluğu kadar işaretlendikten sonra kazıyıcı yardımıyla bu işaretlenen yüzey kazınarak temizlendi ve son olarak izopropil alkol ile yüzey temizliği gerçekleştirildi.



Resim 4.4. Maşon kalınlığı kadar kaynak ağzının işaretlenmesi



Resim 4.5. Maşon kalınlığı kadar kaynak ağzının kazıyıcı ile tıraşlanarak temizlenmesi



Resim 4.6. Kaynak ağzının izopropil alkol ile yüzey temizliğinin yapılması

4.2.2. Numunelerin kaynatılması

Kaynağı gerçekleştirilecek borular maşon içerisine birleştirilmek üzere yerleştirildiler (Resim 4.7.). Malzeme kademeli olarak derin dondurucu ve etüv içerisinde $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında ısıtılıp soğutulularak her ortam sıcaklığı için 5 saat bekletildikten sonra birleştirme işlemi gerçekleştirildi.



Resim 4.7. Kaynak işlemi gerçekleştirilecek boruların maşon içerisine yerleştirilmesi



Resim 4.8. Elektrofüzyon makinesine kaynak işleminin gerçekleştirilmesi



Resim 4.9. Kaynak işlemi gerçekleştirilmiş numune

4.2.3. Çekme ayırma ve sıyrarak ayırma testi

PE plastik borular farklı ortam sıcaklıklarında birleştirildikten sonra oluşturulan numuneler 24 saat oda sıcaklığında tutulmuştur. Numunelerden çekme-ayırma testine tabi tutulanlar 26mm/dak'lık, sıyrarak ayırma test tertibatına tabi olan numuneler 100 mm/dak'lık bir hızla ayırma kuvvetine tabii tutulmuş ve numune tam ayrılana ya da bağlantı bölümden kopma meydana gelinceye kadar yük altında tutulmuştur. Belirlenen sıcaklık aralıklarında yer alan her ortam için kaynak sağlamlığı test edilmiştir. Yapılan incelemelerde çekme – ayırma testi sonunda sünen malzemede sünme yırtılma tespit edilmiştir. Standartlarda da belirtildiği gibi sünenek oluşan kopmaların tamamı % 100 kaynamış kabul edilmektedir.

Ayrıca tüm numunelerde birleşme bölgesinde herhangi bir ayrılma gözlenmemiş olup, PE boru birleşme bölgesinde yırtılmıştır.



Resim 4.10. ISO 13954 standardına göre hazırlanmış çekme ayırma test numuneleri

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

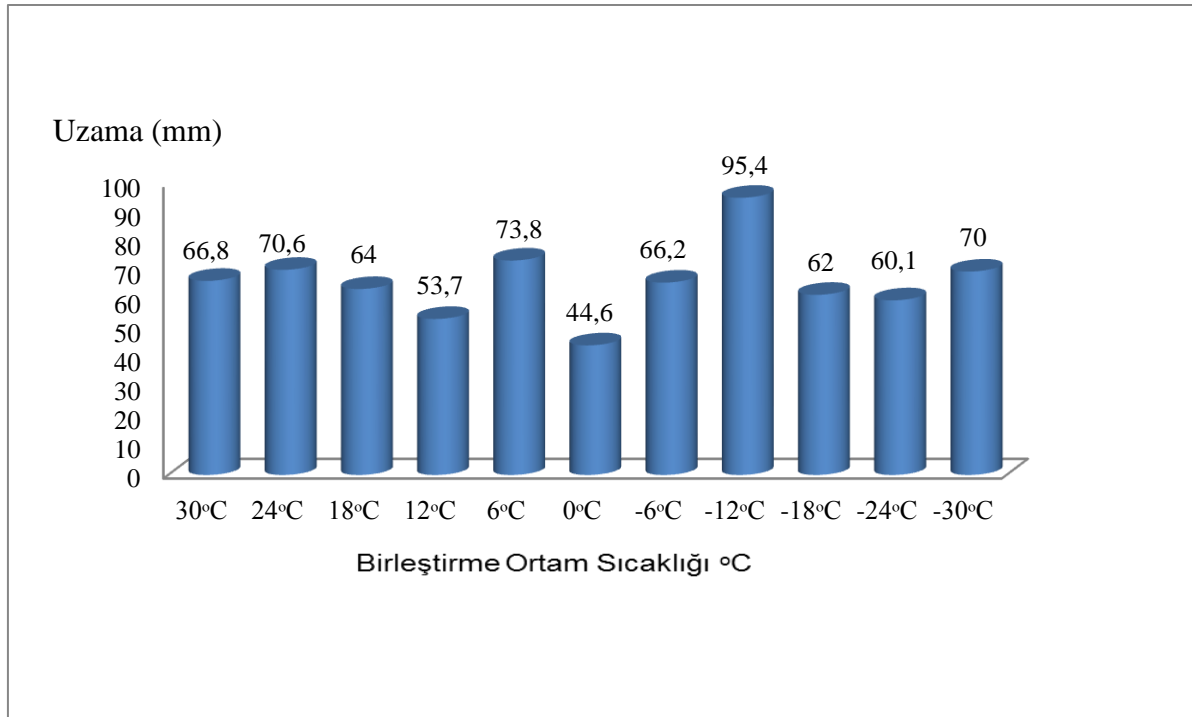
-30 °C ile +30 °C sıcaklık aralıklarında birleştirilen numunelerden 8 adet numuneye çekme-ayırma testi uygulanmıştır. Bu testin sonucunda elde edilen veriler Çizelge 5.1.'de sunulmuştur. Yine belirlenen ortam sıcaklıklarında hazırlanmış olan sıyrarak ayırma test numunelerinden 4 adet seçilmiş ve bu numunelere uygulanan testler sonucunda kopma bölgelerinde tam bir sünme meydana geldiği için tüm sıcaklıklarda % 100 başarı elde edilmiştir.

Çizelge 5.1. Ortam sıcaklığına bağlı birleştirilen numunelerin çekme-ayırma testlerinin değerlendirilmesi

Birleştirme Ortam Sıcaklığı (°C)	Toplam Birleştirme Süresi (Sn)	Ayrılma (%)	Kaynama (%)
30 °C	251	%0 - %5	%100 - %95
24 °C	253	%0 - %1	%100 - %98
18 °C	259	%0	%100
12 °C	262	%0	%100
6 °C	266	%0	%100
0 °C	269	%0	%100
- 6 °C	272	%0	%100
-12 °C	275	%0	%100
-18 °C	279	%0	%100
- 24 °C	285	%10 - %15	%90 - %85
-30 °C	299	%15 - %20	%75 - %60

-30°C, -24°C, -18°C, -12°C, -6°C +6°C, +12°C, +18°C, +24°C ve +30°C sıcaklıklarda kaynak kalitesini arttırmak için kaynak süreleri arttırıldı ve azaltıldı. Uygulamalar esnasında kaynak süresi fazla önemsenmemekle birlikte aslında kaynak kalitesini etkileyen önemli bir faktördür. Çünkü özellikle doğal gaz borularının kaynağı açık hava şartlarında yapıldığında çeşitli hava değişimlerine maruz kalmaktadır. -30 °C 'de ve açık havada gerçekleştirilecek bir kaynak işleminde kaynak edilecek malzemenin işlem gerçekleşinceye kadar üzerinin kapatılması ve sıcaklığının olabildiğince sabit tutulması gerekmektedir. Diğer bir taraftan ise +30 °C'de yapılacak kaynak işleminde malzemenin güneş ışınlarından ve yüksek sıcaklıktan üzeri kapatılarak korunması gerekmektedir.

Yapılan deneyde -18°C ile +18°C sıcaklık aralıklarında sünme miktarı değerlendirildiğinde %100 iyi bir kaynama elde edilmiştir. Özellikle -12°C'de sünme miktarı maksimum seviyede olmuştur. Yapılan çekme deneyinde uygulanan kuvvetin çokluğundan çok sünme miktarının fazlalığı kaynak kalitesini ortaya koymuştur.



Şekil 5.1. Birleştirme ortam sıcaklığına bağlı uzama değişim grafiği

Elektrofüzyon kaynağındaki en önemli sorunlardan biri de maşon içerisine yerleştirilecek kaynak yüzeyinin temizliğidir. Kaynak işleminden önce boru veya ek parçası iyi

kazınmayıp yağ, kir, oksit gibi kaynak kalitesini olumsuz yönde etkileyecek durumlar giderilmeli aksi takdirde kaynak kalitesi olumsuz etkilenecektir.

KAYNAKLAR

1. Akkurt, S. (2006).”Amorf Polimerlerin Mekanik Davranışları ve Kopma Özellikleri”, *İ.T.Ü Dergisi*, 44 (5-6): 51
2. Anık, S., Dikicioğlu, A., Vural, M. (2002). “Termoplastik Malzemelerin Kaynağı”, *Kaynak Tekniği Derneği*, İstanbul 2
3. Tosun, O.(2010).”Kütahya-Seyitömer Bitümlü Şistinin Düşük Yoğunluklu Polietilenle (Dype) Karışımının”, Farklı Sıcaklıklarda Pirolizinden Elde Edilen Sıvı Fazların Karakterizasyonu, Ankara,
4. Bilici, İ. (2012).“Pet Atıkları Kullanılarak Kompozit Malzeme Üretiminin Araştırılması” *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. 2* (73): 467-471
5. Pişkin, E. (1987). “Polimer Teknolojisine Giriş”, *İnkılâp Kitapevi, İstanbul*,
6. Postacıoğlu, B.(1986).“Baglayıcı Maddeler”, *Beton, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası*, (1):58
7. Savaşçı Ö.T. , Uyanık N. , Akovalı G. , 2002, “Plastikler ve Plastik Teknolojisi” , PAGEV Yayınları, (7-46, 65-116, 196-248, 257-263, 298-318)
8. Sacak, M. (2008). “Polimer Kimyası”, *Gazi Kitapevi, Özbaran Ofset Matbaacılık*, Ankara
9. Goodship, V. (2004) “Troubleshooting Injection Moulding”, *Smithers Rapra*, 40-44
10. Mutluay, H., Demirak, A. (1996). “Malzeme Bilgisi”, *Beta Basım-Yayım- Dağıtım AŞ.*, İstanbul,
11. Fischer, G.(2003).”Plastik Piping Systems”, *Sweden*,
12. Birley, A. W., Haworth, B., Batchelor, J. (2008).“Physics of Plastics”, *Oxford University Press, New York*,
13. Brydson J. A., ‘Plastics Materials’, Butterworth-Heinemann, Seventh edition, Oxford, 2006.
14. Akkurt, A. (2012). “PE Doğalgaz Borularının Birleştirmelerinde Kullanılan Elektro-Eritme ve Sıcak Elaman Kaynak Yöntemlerinin Güvenirliklerinin Araştırılması”, *International Conference on Welding Technologies and Exhibition, Ankara*,
15. GEV–ATB–(2009). “Plastik Malzemeleri Birleştirme Yöntemleri”, Gedik Eğitim Vakfı, ASTM D2657-97, 2002, Standard Practice for Heat Fusion Joining of Polyolefin Pipe and Fittings, Volume 8.04. American Society of Testing and Materials, Baltimore.

16. Hawkeye Industries Inc. (2008). "Fabricated Fitting Butt Fusion Procedure", Technical Bulletin: TB-0308-FF, FPR IDC and NIDC Fittings; ASTM F2620-06, 2006;DC. 1991, Practice for Heat Fusion Joining of Polyethylene Pipe and Fittings.
17. Starostin, N. P., Ammosova, O.A. (2009). "Thermal Processes in Butt-Welding Polyethylene Pipe at Low Ambient Temperatures", Russian Engineering Research, 29, 1
18. Crawford, S. L., Cumblidge, S. E., Hall, T. E., Anderson, M. T. (2008). "Preliminary Assessment of NDE Methods on Inspection of HDPE Butt Fusion Piping Joints for Lack of Fusion", Prepared for the U.S. Nuclear Regulatory Commission under U.S. Department of Energy,
19. Murch, M.G., Troughton, M.J. (1993). "A Study of the Applicability of the Tensile Weld Test for Thick Walled Polyethylene Pipe", TWI, 757

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : TUZCU AKOĞLANOĞLU, Gülnur
 Uyuşu : T.C
 Doğum Tarihi ve Yeri : 27.05.1984, Ankara
 Medeni Hali : Evli
 Telefon : 0536 9515470
 E-mail : gulnur.tuzcu@gmail.com



Eğitim Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Endüstriyel Teknoloji Öğretmenliği	2010
Ön Lisans	Gazi Meslek Yüksek Okulu/ Endüstriyel Elektronik Bölümü	2004
Lise	Yenimahalle Anadolu Meslek Lisesi/ Elektronik Bölümü	2002

İş Deneyimi

Yer	Görev
2011 - (...)	Milli Eğitim Bakanlığı
	Teknik Öğretmen

Yabancı Dil

İngilizce



GAZİ GELECEKTİR..