T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Plastik Esaslı Kompozit Malzemelerin Sıcak Birleştirme İşlemlerinin İncelenmesi

Mak. Müh. Ümit HÜNER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Tez Yöneticisi: Yrd.Doç. Dr. E. Selçuk ERDOĞAN
EDİRNE-2008

T.C.

TRAKYA ÜNİVERİSTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Plastik Esaslı Kompozit Malzemelerin Sıcak Birleştirme İşlemlerinin İncelenmesi

Mak. Müh. Ümit HÜNER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Yöneticisi: Yrd. Doç. Dr. E. Selçuk ERDOĞAN

T.C.

TRAKYA ÜNİVERİSTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Plastik Esaslı Kompozit Malzemelerin Sıcak Birleştirme İşlemlerinin İncelenmesi

Mak. Müh. Ümit HÜNER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Bu tez …./…./…… tarihinde aşağıdaki jüri tarafından kabul edilmiştir

Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Mümin ŞAHİN

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. E. Selçuk ERDOĞAN

Jüri Üyesi-Tez Danışmanı

Yüksek Lisans Tezi
Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Günlük hayatta kullanım kolaylıklarından dolayı plastikler oldukça geniş yer tutmaya başlamıştır. Ağırlık/dayanım oranının düşük olması, maliyetin diğer malzeme türlerine göre düşük olması plastiklerin yaygınlaşmasında önemli etkenler olmuştur. Kullanım yerlerine göre çeşitli dayanımlarının takviye edilerek artırılabilmesi metal ve ya diğer malzemelerin kullanıldığı yerlerde kullanılmasına imkân sağlamaktadır.

İşlenebilme kolaylığı plastiklere ve plastik esaslı kompozit malzemelere önemli avantajlar sağlamaktadır. Ergime sıcaklıklarının düşük olması ısı ve basınç yöntemiyle kolalıkla şekillendirilmesi sağlamaktadır. Kompleks şekilli ve ya büyük ebatlı parçaların üretimi de mümkün olmasına rağmen çeşitli uygulamalarda parça bütünlüğünü sağlamak için ya da karmaşık yapıyı oluşturmak için "sıcak birleştirme" yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Büyük ebatlı su borularının birleştirilmesinde, sıvı ya da gaz tanklarının imalatında, plakaların birleştirilmesi gibi uygulamalarda "sıcak birleştirme" yöntemlerine ihtiyaç bulunmaktadır.

Bu çalışmada plastik esaslı kompozit malzemelerin sıcak birleştirme yöntemleri incelenmiştir. Malzeme olarak takviyesiz PP ve PVC levhalardan hazırlanan numunelerin çeşitli sıcak birleştirme yöntemleriyle birleştirilmiş halleri kullanılmıştır. Bu numunelerin ve çeşitli özelliklerdeki takviyeli plastik numunelerin kaynaklı hallerinin çekme ve sürünme davranışları incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Plastik malzeme, plastik esaslı kompozit, sıcak birleştirme, takviye elemanı

Master Thesis
Trakya University Graduate School of
Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

ABSTRACT

Plastics have been begun to use widely because of its using advantages in our daily life.There are some factors why plastics are used widely.Some of these are ;weight/strength ratio and its cost are low respect to other materials.It provides opportunity to use instead of metal or other materials with increasing strengths with reinforcement according to it's using position.

Processable facility ensures important advantages to plastics and plastic matrix composite materials.having lower melting temperature make plastics avaliable to forming easily with temperature and pressure method.Producing comlex shaped or bigger shaped parts are avaliable but 'welding process' is needed in order to form complicated structure or to enable complteness of part.Welding process is needed in some process like combining huge size water pipe,producing liquid or gas tanks or combining plastic sheets.

In this study plastic matrix composite material's welding process has been invesitgated.As a material ,samples which were obtained from unreinforced PP and PVC sheets and joint with various welding process,has been used.These samples' and reinforced plastic samples',having different features, welded states's behaviours has been investigated by tensile and creep tests.

Keywords:Plastic material,plastic matrix composites,welding process,reinforcement material.

ÖNSÖZ

Hazırlanan bu yüksek lisans tezinde cam elyaf, odun tozu vb. takviyeli olan ve takviyesiz olan plastiklerin çeşitli sıcak birleştirme yöntemleriyle bir araya getirilmiş numunelerinin çekme ve sürünme davranışlarındaki değişim araştırılmıştır. Bu suretle yapılan deneysel araştırmalar ayrıntılı bir biçimde çalışmanın içinde yer almaktadır.

Bu tezin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen Arş.Gör. Gürkan İRSEL'e, Arş.Gör.Olcay EKŞİ'ye, Arş.Gör. Kaan ÖZEL'e, çalışmalar sırasında malzeme temininde yardımını esirgemeyen Mak.Müh. Turgay ULUŞEN'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarım sırasında yanımda olan maddi ve manevi yardımlarını benden esirgemeyen kardeşime ve iş arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Takviyeli plastik malzemeleri sağlayan UMIST Polimer Mühendisliği laboratuarlarına ayrıca teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince danışmanlığımı yaparak beni yönlendiren Yrd. Doç. Dr. Selçuk ERDOĞAN'a teşekkür ederim.

OCAK 2008 Mak.Müh. Ümit HÜNER

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT ii
ÖNSÖZ iii
İÇİNDEKİLER iv
ŞEKİL LİSTESİ vi
ÇİZELGE LİSTESİ viii
GİRİŞ 1
1.POLİMER MALZEMELER 1
1.1 Polimer Malzemeler 1
1.2 Polimerlerin Elde Edilmesi 2
1.3 Polimerlerin Sınıflandırılması 3
1.3.1 Homopolimerler 3
1.3.2 Kopolimerler 4
1.3.3 Alternatif Polimerler 4
1.3.4 Graft Kopolimerler 4
1.3.5 Zincir yapılarının geometrik dizilişine göre polimerlerin sınıflandırılması 5
1.3.5.1 Amorf yapılı polimerler 5
1.3.5.2 Kristal Yapılı Polimerler 6
1.4 Polimerlerin Kristalleşmesi 6
1.5 PLASTİKLER 7
1.5.1 Plastiklerin Özellikleri 7
1.5.2 Plastiklerin Sınıflandırılması 9
1.5.2.1 Termoplastikler 10
1.5.2.2 Termoplastik Malzemeler 12
1.5.2.3 Termosetler 16
1.5.2.4 Elastomerler 17
2. KOMPOZİT MALZEMELER 20
2.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması; 21
2.1.1 Matris Malzemesine Göre Sınıflandırma 21
2.1.1.1 Metal Matrisli (Esaslı)Kompozitler(MMC) 21
2.1.1.2 Seramik Matrisli (Esaslı)Kompozitler(CMC) 22
2.1.1.3 Plastik Matrisli (Esaslı) Kompozitler 23
2.2 Elyaf Takviyeli Kompozitler 23
2.2.1 Plastik Matrisli Kompozitlerde Kullanılan Takviye Elemanları 26
2.2.1.1 Cam Elyaf(fiber) 26
2.3 Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri 28
2.3.1 El Yatırma Yöntemi 28
2.3.2 Püskürtme(Spray Up) Yöntemi 29
2.3.3 Elyaf(filament) Sarma Yöntemi 30
2.3.4 Pultrüzyon Üretim Yöntemi 31
2.3.5 Vakum Altında Şekillendirme 32
2.3.6 Ekstrüzyon Üretim Yöntemi 33

2.3.7 Enjeksiyon Üretim Yöntemi 34
2.4 Plastiklerin ve Plastik Esaslı Kompozitlerin Birleştirilmesi 38
2.5 PLASTİK MALZEMEMELERİN KAYNAĞI 39
2.5.1 Plastik Kaynağına Etki Eden Parametreler 40
2.5.2 Plastik Ve Plastik Esaslı Kompozitler İçin Birleştirme Yöntemleri 42
2.5.2.1 Sıcak Gaz Kaynağı (Hot Gas Welding) 42
2.5.2.2 Sıcak Plaka Kaynağı 44
2.5.2.3 Direnç (İmplant) Kaynağı 47
2.5.2.4 İndüksiyon Kaynağı 48
3. DENEYSEL ÇALIŞMA 54
3.1 Deneylerde Kullanılan Cihazlar 54
3.1.1 İndüksiyon Kaynağı İçin Kullanılan Rezistans Ve El Havyası 54
3.1.2 Numune Elde Etmek İçin Kullanılan Kalıp Ve Plastik Plakalar 57
3.2 Deneyler 59
3.2.1 Çekme Deneyi 59
3.2.1.1Çekme Deney Cihazı 61
3.2.1.2 Çekme Deney Numunesi 61
3.2.2 Sürünme Deneyi 62
3.2.2.1 Sürünme Deney Cihazı 63
3.2.2.2 Sürünme Deney Numunesi 65
4. DENEY SONUÇLARI 66
4.1 Çekme Deney Sonuçları 66
4.2 Sürünme Deney Sonuçları 71
TARTIŞMA 75
KAYNAKLAR 78
ÖZGEÇMİŞ 81

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Zincirsel yapıya ait şematik bir görünüm 1
Şekil 1.2 Bilinen bazı plastiklere ait monomerler ve bunların polimerler içindeki tekrar halleri 2
Şekil 1.3 Polietilen ve Polistren 3
Şekil 1.4 Amorf yapı 5
Şekil 1.5 Kristal yapılı polimerler 6
Şekil 1.6 Çeşitli malzemelerin gerilme uzama değerleri 9
Şekil 1.7 Polipropilen hazırlama reaksiyonu 12
Şekil 1.8 İzotaktik polipropilenin şematik gösterilişi 13
Şekil 1.9 Ataktik polipropilenin şematik gösterilişi 13
Şekil 1.10 ABS polimerinin tekrarlı zincir yapısı 14
Şekil 1.12 Bisfenol A ve Epiklorhidrin alkali 17
Şekil 1.13 Epoksi reçinesi 17
Şekil 1.14 Gerilme- Genleme diagramı 19
Şekil 2.1 Şematik olarak kompozit malzeme 26
Şekil 2.2 El yatırma yöntemi 29
Şekil 2.3 Spray up yönteminde kullanılan tabanca ve yöntemin şematik resmi 30
Şekil 2.4 elyaf sarma yöntemi 31
Şekil 2.5 Pultrüzyon Yöntemi 32
Şekil 2.6 Vakumla kalıplama 33
Şekil 2.7 Boru ekstrüzyon ünitesi 34
Şekil 2.8 Enjeksiyon makinesi 36
Şekil 2.9 Şematik olarak enjeksiyon makinesi 36
Şekil 2.10 Şematik olarak enjeksiyon vidası 37
Şekil 2.11 Enjeksiyonla üretilmiş parça örnekleri 38
Şekil 2.12 Sıcak gaz kaynağının şematik resmi 44
Şekil 2.13 Sıcak gaz kaynağına ait uygulama örnekleri 44

Şekil 2.14 Sıcak plaka kaynağına ait ticari makine resimleri 46
Şekil 2.24 Yukarıdaki proseste indüksiyon kaynağı prosesi şematik olarak gösterilmiştir 49
Şekil 2.25 Boru profilli bir parçanın indüksiyon kaynağındaki akım dağılımı 51
Şekil 2.26 İndüksiyon kaynağı devre şeması 51
Şekil 2.27 Sürekli indüksiyon kaynağı prosesi örneği 52
Şekil 2.28 Sürekli indüksiyon kaynağı prosesi şematik gösterimi 52
Şekil 2.29 Sürekli indüksiyon kaynağı sıcaklık-zaman grafiği 52
Şekil 3.1 Sarmal rezistans yan görünüş 55
Şekil 3.2 Sarmal rezistans ön görünüş 56
Şekil 3.3 El havyası ön görünüş 56
Şekil 3.4 El havyası yan görünüş 57
Şekil 3.5 Kesme kalıbı 58
Şekil 3.6 Kesme kalıbı ve itici 58
Şekil 3.7 Kesme kalıbının kullanıldığı plakalara örnek 59
Şekil 3.8 Çekme deneyine ait şematik bir gösterim 60
Şekil 3.9 Instron 8501 61
Şekil3.10 Çekme numunesine ait bir illüstrasyon 62
Şekil 3.11 Şematik olarak sürünme deney cihazı 64
Şekil 4.2.1 Takviyesiz PP-PP Bindirme Kaynağı Sürünme grafiği 71
Şekil 4.2.2 Takviyeli GWE 26 PP-PP Bindirme Kaynağı Sürünme grafiği 71
Şekil 4.2.3 Takviyesiz PP-PP Bindirme Kaynağı Sürünme Grafiği 72
Şekil 4.2.4 Takviyeli GWE 26 PP-PP Bindirme Kaynağı Sürünme Grafiği 72
Şekil 4.2.5 Takviyeli GWE 26 PP-PP Alın Kaynağı Sürünme grafiği 73
Şekil 4.2.6 Takviyesiz PP-PP Alın Kaynağı Sürünme Grafiği 73
Şekil 4.2.7 Takviyesiz 1100 L Nov. PP-PP Bindirme Kaynağı Sürünme Grafiği 74
Şekil 4.2.8 Takviyeli PP(1100LNov+arpylene kısa elyaf+uzun elyaf) PP-PP Bindirme Kaynağı Sürünme Grafiği 74

ÇİZELGE LİSTESİ

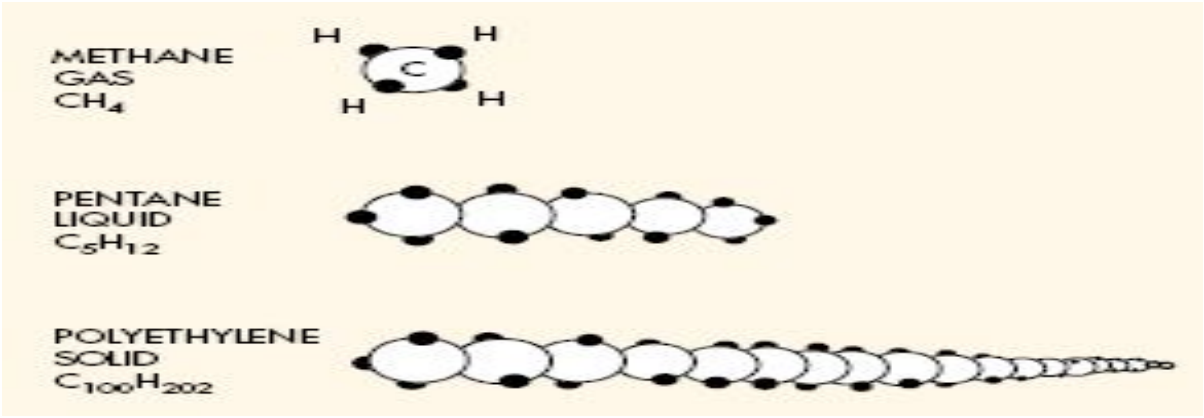
Çizelge 1.1 Polimerlerin Sınıflandırılması 5
Çizelge1.2Bazıtermoplastik malzemelerin karşılaştırmalı özellikleri 11
Çizelge 2.1 Metal Matris Kompozitlerin Bazı Mekanik Özellikleri 22
Çizelge 2.2 Dietz Albert. G. H. "Composite Materials" American Society for Testing and Materials, 1965 25
Çizelge 2.3 Aşağıdaki tabloda en çok kullanılan cam elyaf tiplerinde kullanılan cam çeşitleri ve bileşimleri (% ağırlıkça) 27
Çizelge 2.4 Termoplastikler için birleştirme yöntemleri 39
Çizelge2.5 Termosetler için birleştirme yöntemleri 40
Çizelge 2.6 Sıcak plaka kaynağıyla birleştirilen plastik/plastik film ve plastik esaslı kompozitlere ait kaynak sıcaklıkları 46
Çizelge2.7 Elktromagnetik birleştirmeye uyumlu plastik kombinasyonları 49
Çizelge 4.1.1 Takviyesiz PP-PP Alın Kaynağı Çekme Deneyi Sonuçları 66
Çizelge 4.1.2 Takviyeli PP-PP Alın Kaynağı Çekme Deneyi Sonuçları 66
Çizelge 4.13 Takviyesiz PP-PP Bindirme Kaynağı Çekme Deneyi Sonuçları 67
Çizelge 4.1.4 Takviyeli PP-PP Bindirme Kaynağı Çekme Deneyi Sonuçları 67
Çizelge 4.1.5 Takviyesiz PVC-PVC Bindirme Kaynağı Çekme Deneyi Sonuçları 68
Çizelge 4.1.6 Takviyesiz PP-PVC Bindirme Kaynağı 68

GİRİŞ

1.POLİMER MALZEMELER

1.1 Polimer Malzemeler

Kimyasal açıdan plastikler polimerler grubuna dâhildirler. Tekrarlayan uzun zincir yapıların bir araya gelerek oluşturduğu yapıya polimer denir. Plastiklerin ana ilkel maddeleri hidrokarbonlardır. Doymamış hidrokarbonlarda C atomları arasında iki veya daha fazla kovalan bağ vardır. C atomlarının yanında genellikle H,bazılarında CI, F, O, N ve S atomları bulunur. C atomları arasındaki çift kovalan bağdan biri genellikle sıcaklık, basınç veya katalizör yardımı ile koparılarak iki yan reaksiyon bağlarında birer elektron vardır, dolayısıyla birer valans enerji düzeyi boştur. Şekil 1'de zincirsel yapıya ait şematik bir görünüm verilmiştir.



Şekil 1.1 Zincirsel yapıya ait şematik bir görünüm

Polimerin adi	Monomer	Ana grup
Polietilen	CH2=CH2	$-CH_2-CH_2-$
Polivinil klorid	CH_2=CHCL	$-CH_2-CHCL$
Poliizobutilen	$CH_2=C(CH_3)(CH_3)$	$-CH_2-C(CH_3)(CH_3)-$
Polistiren	CH_2=CH 6	$-CH_2-CH-$ 6
Polikaprolaktam	$H-N(CH_2)_5-C(=O)-OH$	$-N(H)(CH_2)_5C(=O)-$

Şekil 1.2 Bilinen bazı plastiklere ait monomerler ve bunların polimerler içindeki tekrar halleri

1.2 Polimerlerin Elde Edilmesi

Her plastiğin yapı taşı monomerlerdir. Bu monomerler belli bir tepkimeye girerek bir araya gelir ve polimeri oluştururlar. Tepkime işlemi polimerizasyon olarak adlandırılır. Monomerdeki ikili bağlar polimerizasyon işlemiyle serbest kalarak tek bağlı bir yapı oluşturur ve bu yapılar bir araya gelerek polimerleri meydana getirirler.

Bir plastikte polimeri oluşturan ana gruplar plastik türüne göre değişik sayılarda olurlar. Ayrıca bu gruplar doğrusal, dallanmış ve ya çapraz bağlı bir yapı oluştururlar. Grupların bir moleküldeki sayısına "Polimerizasyon derecesi" denir.

1.3 Polimerlerin Sınıflandırılması

Polimerlerin kimyasal yapılarına, kaynaklarına, fiziksel özelliklerine ve molekül yapılarına göre bir genel sınıflandırılması yapılabilir. Mevcut polimer malzemelerden bir kısmi bu sınıflandırmanın dışına düşebilir.

Fiziksel özelliklerine göre sınıflandırmada, sınıflandırma kesin çizgilerle ayrılamayabilir. Yani ayni polimer hem elyaf hem de termoplastik sınıfı içinde yer alabilir. Örneğin; poliesterden hem elyaf hem de plastik malzeme yapmak mümkündür (Poliester iplik ve PET sise gibi). Buna benzer birçok örnek göstermek mümkündür. Plastik, elastomer ve elyaf tanımları, o malzemenin gerilme- uzama eğrisine bakılarak ortaya çıkar. Ayrıca, çeşitli plastik türleri için bu gerilme uzama eğrilerinde belirgin farklılıklar görülür. Diğer yandan termoset terimi hem sıcakta hem de oda sıcaklığında çapraz bağlı yapıya (termosete) dönüşebilen anlamına gelmektedir. [Keskin,1987]

Bir polimer molekülünü oluşturan, tekrarlanan ünitelerin artan sayısına bağlı olarak; tek cins içerenlere homopolimer, iki cins içerenlere kopolimer adi verilerek sınıflandırılabilir.

1.3.1 Homopolimerler

Bir polimer tek bir monomer biriminin tekrarlanmasından oluşuyorsa buna "**homopolimer**" denir. Örnek olarak, etilenden elde edilen polietilen ve strenden elde edilen polistren verilebilir.

A - A - A - A - A - A - Örnek : $-(-CH_2 - CH_2-)_n-$ Polietilen

Şekil 1.3 Polietilen ve Polistren

1.3.2 Kopolimerler

Eğer polimer molekülü iki farlı monomerin birleşmesinden oluşuyorsa buna "**kopolimer**" denir. Bu tür polimerler iki veya daha fazla monomerden meydana gelmektedir. Bu monomerlerin polimer zincirindeki dizilişine göre kopolimerler birkaç tipte olabilir. [Akyüz Ö. F. , 1999]

1.3.3 Alternatif Polimerler

Stiren-Maleik anhidrit kopolimeri [Aydın,2004]

Akrilonitril- vinilasetat kopolimeri [Aydın,2004]

Stiren- bütadien blok kopolimeri [Aydın,2004]

1.3.4 Graft Kopolimerler

Graft kopolimeri [Aydın,2004]

Yapilarina Göre Polimerler			Kaynaklarina Göre Polimerler	
Organik Polimerler	Inorganik Polimerler	Orgonmetalik Polimerler	Dogal ve Modifiye olimerler	Yapay Polimerler
1. Polietilen	1. Silika	1. Polisitikon	1. Selüloz	1. Polietilen
2. Selüloz	2. Alumina	2. Polifosfozen	2. Pektin	2. Sentetik kauçuk
			3. Protein	3. Naylon
			4. Etil selüloz	4. Polistiren
				5. Poliester

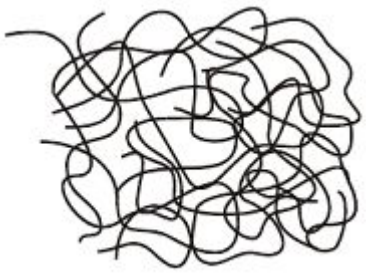
Fiziksel Özelliklerine Göre Polimerler			
Elastomerler	Elyaf	Plastik	
1.Stiren-botadien kauçugu (SBR)	1. Poliamid-6	Termoplastik	Termosetler
	2. Poliester	1. Polietilen	1. Asetol
	3. Polipropilen	2. Polistiren	2. Poliimiel
2. Cis-polibutadien	4. Poliakrilonitril	3. Polipropilen	3. PVC
3. Dogal kauçuk	5. Selüloz	4. Poliomid-6	4. Polietilen
4. Nitril kauçuk			
5. Klor kauçuk			

Çizelge 1.1 Polimerlerin Sınıflandırılması [Aydın,2004]

1.3.5 Zincir yapılarının geometrik dizilişine göre polimerlerin sınıflandırılması

1.3.5.1 Amorf yapılı polimerler

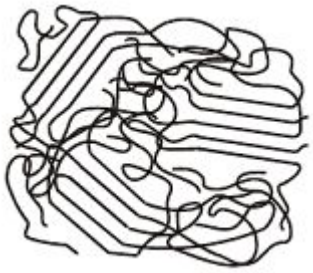
Amorf polimerler düşük sıcaklıkta katı ve parlayan özellik gösterirler. Yüksek sıcaklıkta yumuşak ve şekil verilebilir yapıdadırlar.



Şekil 1.4 Amorf yapı

1.3.5.2 Kristal Yapılı Polimerler

Kristal yapılı polimerlerde ise, polimer zincirlerinin bir bölümü bir araya gelerek düzenli bir biçimde dizilebilmekte, moleküller arasında tekrarlı ve düzenli boşluklar, mesafeler oluşabilmektedir. Böylece polimer yapı içinde üç boyutlu ve düzenli yapılar meydana gelebilmektedir. [Savaşçı Ö.T. vd. , 2002]



Şekil 1. 5 Kristal yapılı polimerler

Polimerlerin özellikleri üretim süresinde oluşun moleküler yapıya ve ayrıca deney koşullarına bağlıdır. Polimerler genellikle amorf yapılıdır ve kesin ergime sıcaklıkları yoktur. Yumuşamanın başladığı sıcaklıktan sonra viskozite sürekli azalır ve akıcı bir kıvam alır.[Ünal,2006]

1.4 Polimerlerin Kristalleşmesi

Polimerler genellikle amorf yapıya sahiptirler. Uzun ve karışık yapılı zincirlerin komşuları ile uyum sağlayıp düzenli yapı meydana getirmeleri çok zordur. Bir lineer polimerin genel görünüşü pişmiş makarnayı andırır, zincirler birbirleri ile dolaşmış halde bulunur. Ancak basit yapılı ve simetrik polimerlerde, polietilen gibi, bazı koşullarda yerel düzen oluşabilir. Amorf ana yapı içinde oluşan küçük kristal yapılı

bölgelere kristalitler denir. Kristalitlerin yoğunluğu amorf yapıya göre %5–10 kadar daha büyüktür. Kristalite derecesi arttıkça mekanik özellikleri ve yumuşama sıcaklığı yükselir. Metallerde gerilme-şekil değiştirme eğrileri akma başladıktan sonra yatıklaşır. Polimerlerde ise başlangıçta yatıktır, sonra dikleşir.[Ünal,2006]

Polimerlerde, diğer organik malzemelerdeki tam düzenli yapıya ulaşılamaz. Bunun nedeni polimer zincirlerinin uzunluğudur. Zincir dolanmaları, üst üste binmeler gibi nedenlerle kristal derecesi yüksek polimerlerde bile belirli miktarda düzensiz bölgeler bulunmaktadır. Polimer madde içindeki bu düzensiz bölgeler toplam hacmin % 10 ile %15'ini oluşturur. [Savaşçı Ö.T. vd. , 2002]

1.5 PLASTİKLER

1.5.1 Plastiklerin Özellikleri

Plastikler, normal sıcaklıkta genellikle kati halde bulunan, basınç ve isi kullanılarak mekanik yöntemlerle şekillendirilebilen veya kalıplanabilen organik polimerik maddelerdir.

Plastikler en yeni malzeme gruplarından olmasına rağmen, günlük hayatımızda en çok kullanılan malzemelerden birisidir. Kısa sürede kullanımları yaygınlaşmış ve ekonomik önem kazanmışlardır. Bunun asıl nedeni plastiklerin özelliklerinin ve çeşitliliklerin çok geniş bir aralıkta değişmesidir. Plastiklerin temel özellikleri şöyle sıralanabilir; [Yaşar H. , 2001]

- Yoğunlukları düşüktür. Yoğunlukları, 0.8 g/cm^3 ile 2.2 g/cm^3 arasında değişir. Bu özellik onların hafif olmalarını sağlar. Ağırlık/dayanım oranının önemli olduğu yerlerde yüksek dayanıklı plastikler hafifliklerinden dolayı tercih edilirler.

- Plastiklerin çoğu renksizdir. Bu yüzden istenilen rengi elde etmek için renk verici maddeler kullanılır. Pigmentlerle opak görünüş elde edildiği gibi çözünür organik boyalara şeffaf bir görünüş elde edilebilir. Polimetilmetokrilat gibi bazı polimerler çok berraktır. Bu özelliğinin yani sıra polimetilmetarilat hafif de olduğu için, hem optik camin yerine hem de uçak gibi araçlarda kullanılır. [Aydın,2004]

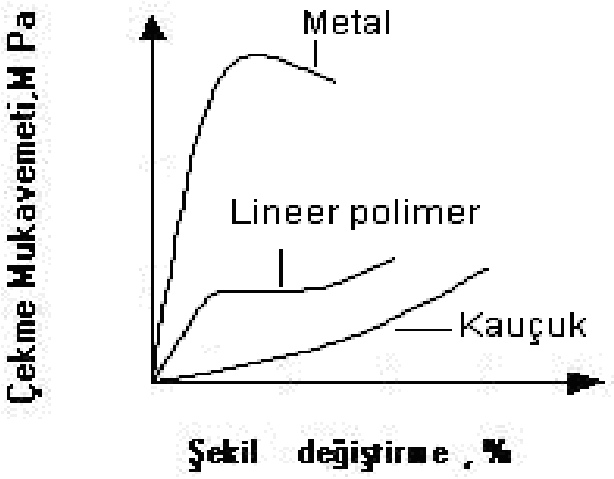
- Plastik maddelerinin yumuşak ve çizilmeye karşı az dirençli olmaları, kendileri için bir dezavantajdır. Termoplastiklerin sertliği, sıcak ve katılan plastikleştirici maddelerin artmasıyla azalır, yani yumuşar. Termosetler'de ise, sıcaklık artışı sertlik üzerinde pek önemli etki yapmaz. Plastikler cam, seramik ve metallere göre daha az serttirler. [Aydın,2004]

- Plastik maddelerde atom bağlantıları metallerdeki ilgili mekanizmadan çok farklıdır. Bu nedenler plastikler paslanmaya karşı metaller kadar duyarlı değillerdir. Bazı plastikler asitlere, bazlara ve tuz eriyiklerine karşı çok dirençlidirler. Bununla birlikte birçok durumda benzin alkol gibi organik solventlerde (eriticilerde) eriyebilirler. Bunun için CD kirlendiği zaman terebentin ile temizlenmemelidir; çünkü bu madde plastiğe zarar verebilir. Plastiği en iyi çözen solvent plastik bileşiminin benzeri bileşimdir.

- Plastiklerin en önemli ısısal özellikleri ısı iletkenliği, ısı genleşmesi (boyca),ısıya dayanıklılık, eğilme sıcaklığı, erime sıcaklığı, yumuşama sıcaklığı, yanma oranı ve yanma ürünlerinin incelenmesidir.
  Plastikler genelde çok küçük ısı genleşmesi katsayısı ve ısı iletkenlik katsayısına sahiptirler. Özellikle köpük plastik haline getirildikten sonra yalıtım değerleri daha da yükselir.

Eğilme, yumuşama ve erime sıcaklıkları daha çok termoplast ürünler için bahis konusudur. Termoset ürünler ise genelde daha yüksek ısısal özelliklere sahiptirler. Termoplastlar genelde 50–125°C sıcaklıktaki ortamlarda kullanılabildiği halde termosetler 110–300°C'ler de bile dayanıklıdırlar.

- Sahip oldukları mekanik özelliklerden dolayı işlenmeleri kolaydır.



Şekil 1.6 Çeşitli malzemelerin gerilme uzama değerleri

Bu şekilden de anlaşılacağı gibi plastikler metallerden daha düşük kuvvetlerde işlenebilirler. İşleme sıcaklıkları 400 ^{o} C' nin altında olmakla birlikte bu sıcaklık aralığı 120 ^{o} C ile 320 ^{o} C arasında değişmektedir. Bu sıcaklıkların düşük değerlerde olması, plastiklerin işlenebilmesi için gerekli enerji miktarının da az olmasını sağlar.[Ekşi,2007]

1.5.2 Plastiklerin Sınıflandırılması

Plastiklerin sınıflandırılması üç ana grupta yapılabilir.

- Termoplastikler
- Termosetler
- Elastomerler

1.5.2.1 Termoplastikler

Termoplastikler termal enerji (ısı) ve basınç uygulandığında kolaylıkla yumuşayan, deforme olabilen, akıcı durumda herhangi bir şekil de alabilen ve soğutulduğunda sertleşebilen malzemelerdir. Lineer polimerler grubuna dahil olan termoplastikler tekrar tekrar kullanılabilme özelliğine sahiptirler.Şekillendirilmeleri sırasında herhangi bir kimyasal değişikliğe uğramazlar. Termoplastikler,birden fazla ısıtma ve soğutma işlemine tabi tutularak kalıplanabilir. Bunun için termoplastiği oluşturan moleküllere ait atomlar birbiriyle bağlanarak zincirler meydana getirirler. Isıtıldığında, bu maddenin akıcılığını sağlar. Soğutulduğunda katılaşan atom zincirleri yeniden ısıtıldığında birbiri üzerinden kayan zincir şeritleri meydana getirirler.

Termoplastiklerin kullanılma süreleri, malzemenin yorgunluğuna bağlıdır ve kendi ağırlıkları altında 54ºC ile 120 ºC arasında, bazen de yapılarına bağlı olarak 260 – 270ºC'ye varan sıcaklıklarda bozunurlar. Bu nedenle termoplastiği isleme sırasında sıcaklık iyi kontrol edilmelidir. [Aydın,2004]

malzeme	ısıl cevap sıcaklığı @ 1.82 MPa (°C)	çekme dayanımı MPa	çekme modülü GPa	İmpakt dayanımı J/m	yoğunluk g/cm3	Dielektrik dayanımı MV/m	Dielektrik sabiti 60 Hz
ABS	99	41	2.3	347	1.18	15.7	3.0
CA	68	37.6	1.26	210	1.30	16.7	5.5
CAB	69	34	.88	346	1.19	12.8	4.8
PTFE		17.1	.36	173	2.2	17.7	2.1
PCTFE		30.9	1.3	187	2.12	22.2	2.6
PVDF	90	49.2	2.5	202	1.77	10.2	10.0
PB	102	25.9	0.18	NB	0.91		2.25
LDPE	43	11.6	0.17	NB	0.92	18.9	2.3
HDPE	74	38.2		373	0.95	18.9	2.3
PMP		23.6	1.10	128	0.83	27.6	
PI		42.7	3.7	320	1.43	12.2	4.1
PP	102	35.8	1.6	43	0.90	25.6	2.2
PUR	68	59.4	1.24	346	1.18	18.1	6.5
PS	93	45.1	3.1	59	1.05	19.7	2.5
PVC—rigid	68	44.4	2.75	181	1.4	34.0	3.4
PVC—flexible		9.6		293	1.4	25.6	5.5

malzeme	ısıl yapma sıcaklığı @ 1.82 MPa (°C)	çekme dayanımı MPa	çekme modülü GPa	İmpakt dayanımı J/m	yoğunluk g/cm3	Dielektrik dayanımı MV/m	Dielektrik sabiti 60 Hz
POM	136	69	3.2	133	1.42	19.7	3.7
PMMA	92	72.4	3	21	1.19	19.7	3.7
Polyarylate	155	68	2.1	288	1.19	15.2	3.1
LCP	311	110	11	101	1.70	20.1	4.6
Nylon 6	65	81.4	2.76	59	1.13	16.5	3.8
Nylon 6,6	90	82.7	2.83	53	1.14	23.6	4.0
PBT	54	52	2.3	53	1.31	15.7	3.3
PC	129	69	2.3	694	1.20	15	3.2
PEEK	160	93.8	3.5	59	1.32		
PEI	210	105	3	53	1.27	28	3.2
PES	203	84.1	2.6	75	1.37	16.1	3.5
PET	224	159	8.96	101	1.56	21.3	3.6
PPO(modified)	100	54	2.5	267	1.09	15.7	3.9
PPS	260	138	11.7	69	1.67	17.7	3.1
PSU	174	73.8	2.5	64	1.24	16.7	3.5

Çizelge1.2 Bazı termoplastik malzemelerin karşılaştırmalı özellikleri yukarıda verilmiştir.

Termoplastikler lineer moleküllere sahiptirler. Lineer moleküllerde zinciri oluşturan ünitelerin arasında çok kuvvetli kovalent bağlar bulunmaktadır. Moleküller arasında ise fiziksel bir bağ bulunmamaktadır. Sadece molekülleri bir arada tutan zayıf elektrostatik çekme kuvvetleri vardır. Bu moleküller arası kuvvet zincirlerinin birbirine göre hareketlerini engelleyen, ısıya karşı duyarlı bir kuvvettir. Dolayısıyla lineer molekül zincirlerinden oluşan bir termoplastik ısıtıldığında moleküller arsındaki kuvvet zayıflar, molekül zincirleri birbirlerine göre hareket bakımından sıvılara benzer şekilde serbest haline gelir ve malzemeye bir kalıpta kolayca şekil verilebilir. Malzeme soğutulduğunda, moleküller arası kuvvet büyür ve molekül zincirlerini verilen yeni şekilde dondurur. Ancak çok ısı verilirse molekül zincirleri kopar ve malzeme özelliklerinde bir yıpranma meydana gelir. Termoplastikleri, buharlaşma ile bileşimlerinin değişmemeleri şartıyla ile tekrar tekrar şekillendirmek ve kaynak yapmak mümkündür.

1.5.2.2 Termoplastik Malzemeler

Polipropilen (PP)

Polipropilen elyaftan filme kadar uygulaması olan çok yönlü bir termoplastiktir. Yapısında zincirdeki her bir karbona bağlı metil grubu bulunmaktadır. PP petrol ürünlerinden elde edilen propilen monomerinin polimerizasyonu ile elde edilir. Poliproilen hazırlama reaksiyonu aşağıda şekilde gösterilmiştir.[Mead ve Baker,2006]



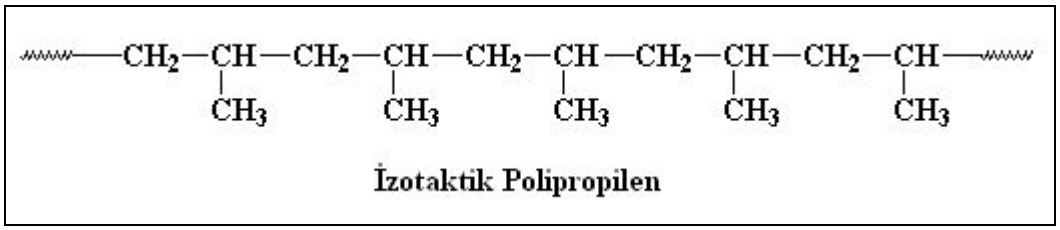
Şekil 1.7 Polipropilen hazırlama reaksiyonu

Polipropilenin ergime sıcaklığı 175°C civarında değişmektedir. Isıtma süresi oksidasyonu engellemek amacıyla minimum düzeyde tutulması gerekmektedir.

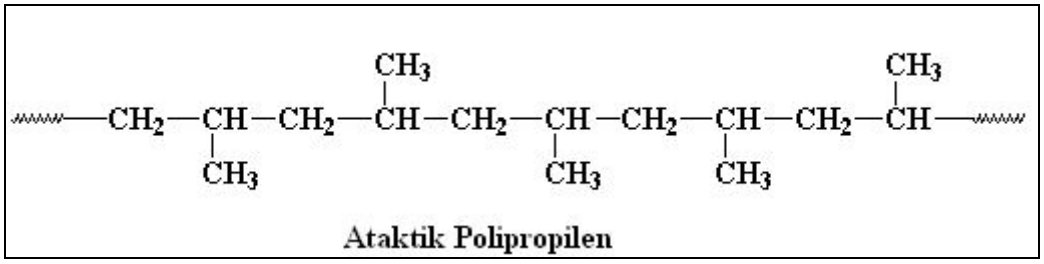
Polipropilen, bağıl yoğunluğu 0.905 olan hafif bir plastiktir. Mum beyazı görünümünde rijit bir ürün olup yüksek mekanik özelliklere sahiptir. Çekme dayanımı 350 kgf/cm2 dolaylarındadır. Mekanik özelliklerini nispeten yüksek sıcaklıklarda da korur. Darbe dayanımı yüksek olmakla beraber düşük sıcaklıklarda üretim ve deney koşullarına bağlı olarak değişim gösterir. Ancak propilen ve etilenin kopolimerizasyonu ile kırılganlık önlenir.[Yaşar,2001]

Polipropilen az doymuş veya doymamış lineer bir hidrokarbon polimer olup, izoaktik ve ataktik olmak üzere 2 grupta incelenir. İzoaktik polipropilen kristal yapıya sahip polimer, ataktik polipropilen ise amorf olup yapısı gelişigüzeldir. Polipropilenin özellikleri molekül ağırlığına bağlı olarak da değişmektedir. Molekül ağırlığı yüksek olan yumuşak, düşük molekül ağırlığı olan PP ise sert ve kırılgandır. Yüksek molekül

ağırlığı olan polimerin ergime direnci yüksektir. Düşük molekül ağırlığına sahip olan polimerin ise daha akıcı ve yapısal özellikleri daha iyidir.



Şekil 1.8 İzotaktik polipropilenin şematik gösterilişi



Şekil 1.9 Ataktik polipropilenin şematik gösterilişi

PP birçok makina ve beyaz eşya parçaları ile otomotiv sanayiinde kopolimer olarak akümülatör gövdesi yapımında kullanılır. Sağlık hizmetleri için enjektörlerle birçok hastane araç gereçleri PP'den yapılır. Elektrik alanında kablo, ayakkabı sanayiinde topuk, ince ve kalın lif, halat, boru, levha ve köpük malzeme yapımında PP'den yararlanılır. Makina halılarında arka yüzeyde dokuyu sağlamlaştırmak için de amorf PP kullanılır.[Yaşar,2001]

Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS)

ABS plastikleri 15'ten fazla tipi oluşturan, darbe dayanımı çok yüksek, katı, işlenmesi kolay, metal ve tahtaya alternatif, askeri ve sivil amaçlarla fazla miktarda kullanılan bir plastik türüdür. Yapı itibariyle termoplast sınıfın bir kopolimeridir. Kopolimeri oluşturan üç monomer, adından da anlaşılacağı üzere akrilonitril, butadien ve stirendir. Akrilonitril kimyasal direnç, ısı dayanımı ve açık hava koşullarına karşı direnç verir. Düşük sıcaklıkta sağlamlığı ve darbe dayanımı butadien tarafından, rijitlik, yüzey parlaklığı ve ısı ile biçimlendirilmesi de stiren ile sağlanır.[Yaşar,2001]

Yaygın olarak kullanılmalarına sebep olarak aşağıdaki avantajlar ve dezavantajlar gösterilebilir;

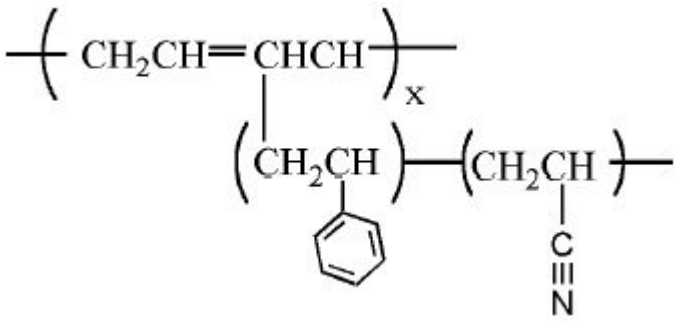
Avantajları;

- Yüksek darbe dayanımı,
- İyi sertlik,
- Kimyasallara karşı direnç,
- Mükemmel yüzey kalitesi,
- Yüksek sıcaklıkta boyut stabilitesi,

Dezavantajları;

- Opak görünüm,
- Zayıf yanma direnci.(plastik materials)

ABS polimerinin zincir yapısı aşağıda şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.10 ABS polimerinin tekrarlı zincir yapısı

Plastik işleme proseslerinde (enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon, şişirme kalıplama ve thermoforming) ABS kullanımı sonucunda mekanik özellikleri iyi ürünler elde edilebilmiştir. Otomotiv parçaları başta gelmek üzere,buzdolabı astarı,telefonlar,iş makineleri parçaları,televizyon parçaları… v.s. ABS'nin yaygın olarak kullanıldığı ürün gruplarıdır.[Mead ve Baker,2006]

Poli Vinil Klorür(PVC)

Polivinil klorür amorf plastiklerin başında gelir. PVC beyaz veya açık sari renkli toz polimeridir. Normal PVC %53-55 klor içerir. Polivinil klorürü 60ºC'ye kadar işletmek mümkündür. [Aydın,2004] Yaklaşık olarak 80 ^{o}C'de yumuşar. İleri derecede plastikleştirici katılmış polivinil klorür lastiğimsi kıvamdadır [Hazer, 1993]Isıtıldığında klorlanmış hidrokarbonlar tarafından çözünür.

PVC'nin oluşum denklemi aşağıdaki gibi örneklenebilir,

$CH_2 = CHCİ + CH_2 = CHCİ + ...$ n tane — $-CH_2 - CHCİ - CH_2 - CHC1 - ...n$

Şekil 1.11 PVC'nin oluşumu

Polivinil klorür halojen içerdiğinden dolayı yanmaya karşı dirençlidir. Açık alevle temasa geldiğinde yanmamaktadır. Kablo izolasyonunda plastikleştiriciler katılarak kauçuk gibi kullanılır. Trikrezil fosfat, dioktil ftalat, dibütil sebasat, polipropilen glikol, plastikleştirici olarak vinil monomerler katılır ve kauçuksu özellik verirler. [Hazer, 1993]

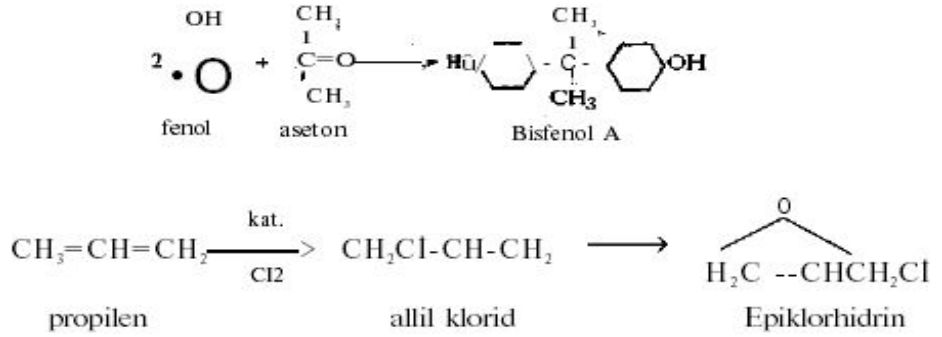
Asitlerin ve bazların etkisine karşı dayanıklıdır. Su, alkol ve benzin PVC'ye hiçbir etki göstermez. PVC yüksek elektroliz özelliğine sahiptir ve yanmayan bir polimeridir. PVC 140ºC'de yavaş yavaş, 170ºC'de ise kolaylıkla HCI ayrılmasıyla parçalanır ve polimerde çift bağ meydana gelir. Bu nedenle polimere stabilizatörler katılır. [Aydın,2004]

PVC sert ve fleksıbıl olarak iki çeşit kullanım alanı vardır. Sert PVC daha çok boru, pencere profili, duvar kaplamaları vb. alanlarda kullanılır. Bunlar hava şartlarına dayanıklı, mukavemeti yüksek, sert ve kendi kendine yanmazlık özelliklerine sahiptirler. Yumuşak veya fleksıbıl PVC türleri ise daha çok kablo sanayi, yer döşemeleri, oyuncak ve eldiven yapımında kullanılmaktadır. Özellikle düşük isi kararlılığına sahip olan PVC ısıtıldığı zaman metal yüzeylere yapışma özelliği çok yüksektir. PVC hava şartlarına olan yüksek dayanıklılığı, kolay islenebilmesi, metal yüzeye yapışma özelliğinin olması ve iyi elektriksel özelliklerinin bulunması nedeni ile kablo imalatında geniş yer almıştır. Su anda ülkemizde yapılan alçak gerilim kablolarının tamamına yakın kısmı PVC den imal edilmektedir. [Aydın,2004]

1.5.2.3 Termosetler

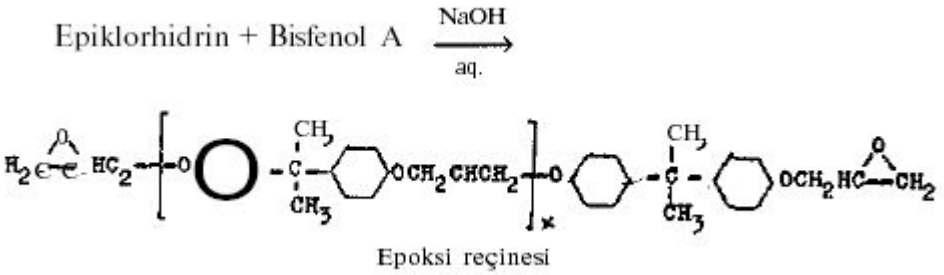
Termosetler; ısı ile katalizörle, mor ötesi ışımayla muamele edildiğinde genellikle çapraz bağlı bir yapı meydana getirerek, sertleşen ve artık tekrar ısıtıldığında yumuşamayan plastiklerdir. Ayrıca bu malzemeler çözünmezler. Makro moleküller birbirlerine çeşitli yerlerinden kısa aralıklarla kovalent bağlarla bağlanmış yani ağlanmışlardır. Bu ağ yapı sıcaklık ve basınç altında oluşur (sertleşir) ve tekrar çözülmez. Bu sebeple bir daha şekillendirildikten sonra kimyasal yapı bozulana kadar, tekrar yumuşatmak, şekillendirmek ve kaynatmak mümkün değildir. Sıcak ortamda kimyasal yapıları bozulana kadar önemli oranda yumuşamadıkları için sıcaklığa karşı daha dayanıklıdır.[Ünal,2006]

Aşağıda bazı termosetlerin zincir yapılarının örnekleri gösterilmektedir,



Şekil 1.12 Bisfenol A ve Epiklorhidrin alkali

Bisfenol A ve Epiklorhidrin alkali ve sulu ortamda epoksi reçinesi verir:



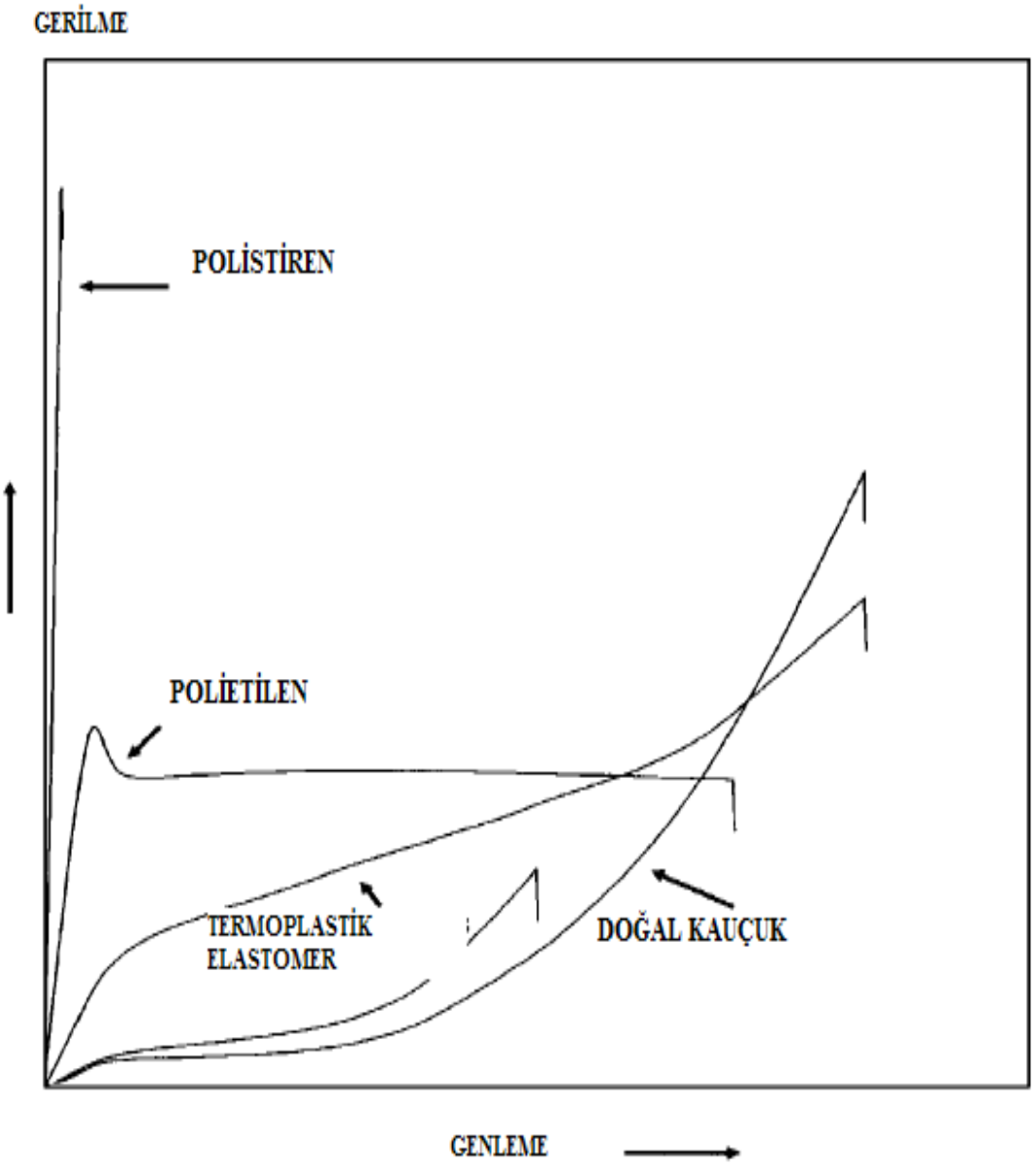
Şekil 1.13 Epoksi reçinesi

1.5.2.4 Elastomerler

Elastomer terimi kauçuk terimiyle birbirilerinin yerine kullanılabilirler. Elastomerler amorf yapılı polimerlerdir. Normal kullanım sıcaklıkları camsı geçiş sıcaklıklarının üzerindedir, böylelikle büyük oranda moleküler parça hareketi muhtemeldir.Sert plastikler normalde camsı geçiş sıcaklığının altında ya da oda sıcaklığında yarı kristalin olarak katıdırlar [Amed ve Baker,2006].

Elastomerler (elastiki=yay gibi, meros=parça) eritilmez ve çözülmezler, ancak şişebilirler. Elastomerler hafif çapraz bağlantılıdırlar (yani çapraz bağlantılar ayrıdırlar) ve bu nedenle oda sıcaklığında yumuşak, esnek bir durumda bulunurlar. Elastomerlere örnekler olarak otomobil lastikleri ve kauçuk contalar sayılabilir**.**

Plastiklerden farklı birçok mekanik ve fiziksel özelliği vardır. Aralarındaki farkı anlamak için aşağıda plastiklerle kauçuğu kıyaslayan mekanik bir özelliğe ait diagram verilmiştir.[Amed ve Baker,2006]



Şekil 1.14 Gerilme- Genleme diagramı

2. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzeme, kimyasal bileşenleri farklı birbiri içerisinde pratik olarak çözünmeyen iki veya daha fazla malzemenin kullanım yerindeki aranan özellikleri verebilecek daha uygun malzeme oluşumu için makro seviyede birleştirilmesi sonucu meydana gelen malzemelerdir. Makroskobik muayene ile yapı bileşenlerinin ayırt edilmesi mümkündür. Yapılarında birden fazla sayıda fazın yer aldığı klasik alaşımlar ise makro ölçüde homojen olmalarına karşılık mikroskobik muayene ile mikro ölçüde heterojen olduğu görülür. Kompozit malzemelerde yapı bileşenlerinin makro boyutta oldukları kabul edildiğinden bu kavram karışıklığı, bazı kural dışı durumlar olmakla beraber ortadan kalkmaktadır.[Yılmazoğlu,2004]

Polimerler yapıları gereği çelik ve diğer konvansiyonel malzemelerden farklıdırlar ve onların avantajlı yanları ön plana çıkartılarak kullanım alanları giderek genişlemektedir. Polimer ve polimer kompozitlerin başlıca hedefleri en az çelik kadar sağlam, olabildiğince hafif, yüksek kullanım sıcaklıklarına dayanıklı ve ekonomik malzeme üretimidir.

Çeşitli mühendislik uygulamalarında metallerin yerine tercihen kullanılan polimer kompozitler sadece hafiflik, mekanik dayanım gibi özellikler değil, insan dokuları ile uyum sağlayan ve sertlik derecesi ayarlanabilen yapay doku ve organlar gibi uygulamaların dışında, “optik elyaf” ve basınç ile elektrik üretebilen “piezoelektrik” özellikli ve istenildiği gibi işlenebilen özel sistemlerin yapımında da metal ve seramik malzemelerin yerlerine kullanılmaktadır.

Kompozit malzemelerin kullanılmasında ki bir diğer önemli noktada ekonomikliktir. Kimya endüstrisinde çeşitli reaktif veya çözeltilerin depolanmasında, taşınmasında çözeltilere karşı inert davranan, reaksiyon vermeyen malzemelerin seçilmesi gerekir. Bu iş için en uygun malzemeler paslanmaz çelikler ve plastiklerdir. Tamamen plastik bir malzeme mukavemetsiz, tamamen paslanmaz çelikten yapı ise çok

pahalıdır. Paslanmaz çeliğe göre çok daha ucuz olan düşük karbonlu çeliğin kimyasal maddeyle temas yüzeyinin plastik malzeme ile kaplanması hem yüksek mukavemetli hem de ucuz bir çözüm olacaktır.[Yılmazoğlu,2004]

Malzemede yerine göre sağlamlık, esneklik, hafiflik, çevre şartlarına (nem, güneş ışınları, gibi) dayanıklılık, darbe dayanımı, sertlik gibi günlük yasamda kullanılan terimlerle ifade edilen özellikler yanında daha bilimsel bir dille ısısal genleşme katsayıları, yorulma, çatlama ve kırılma, çekme, eğme dayanımları ve benzeri değerlerin uygunluğu aranır. Bütün istenen özellikleri tek bir metal, seramik veya polimer malzemede bulmak son derece ender rastlanan bir olaydır. 1950'lerden beri polimer kompozitler çok önemli bir boşluğu doldurmuştur. Bugün yaygın olarak uçak, roket, füze gövdeleri, yüksek kalitede spor malzemeleri, yapay kemik gibi maliyetin yüksekliğinin pek önemli olmadığı alanlarda kullanıldığı gibi lastik otomotiv sanayii, beyaz eşya, basınç dayanımlı boru ve deniz araç gövdeleri gibi geniş bir spektrumda işlev görmektedirler.

Kompozit malzemeler üç ana elemandan meydana gelmektedir;

- Matris malzemesi,
- Takviye elemanı,
- Bağlayıcı eleman.

2.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması;

2.1.1 Matris Malzemesine Göre Sınıflandırma

2.1.1.1 Metal Matrisli (Esaslı)Kompozitler(MMC)

Metal matrisli kompozitlerde matris malzemesi olarak, dökme demir, çelik, bakır, alüminyum ve bronz gibi metaller kullanılır. Takviye elemanı kullanılmayabilir veya metal bağlayıcılar kullanılabilir. Bu tür kompozitlerde takviye malzemesi olarak, metal, plastik, seramik, ağaç tozu, pudra, kullanılabilir. [Şahin Y. , 2000]

Bir metalik fazın bazı takviye malzemeleri ile eritme vakum emdirme, sıcak presleme ve difüzyon kaynağı gibi ileri teknikler uygulanarak MMC' ler elde edilirler. MMC'ler daha çok uzay ve havacılık alanlarında, mesela uzay teleskopu, platform taşıyıcı parçalar, uzay haberleşme cihazlarının reflektör ve destek parçaları vs. yerlerde kullanılır.

Metallerin tasarımı doğrusal esaslı olup küçük elastik uzamalar parçanın içinde gerilme ve uzama dağılımları hesaplandığında izotropik özellik gösterir. Eğilme, rijitlik ve yer değiştirme parametreleri malzemenin elastik sabitlerine, örneğin, elastik modülü, kayma modülü ve poison's oranı'na bağlıdır. Bu malzemeler genellikle izotropik özellik sergiler. Fakat zamana, sıcaklığa ve yükleme miktarına bağlı değildir. Kırılma mekanizması muhtemelen akma ile meydana gelir. Standartlar metalik malzemelerin yapısının homojen ve sünekliği nedeniyle mekanik özellikleri arasında farkların az olduğunu göstermiştir. Bu da gerilme yığılmalarının etkisini azaltır. Genellikle metallerin elastik modülleri yüksek bunun sonucunda uzamalar, deformasyonlar küçük ve tasarımlar da akma gerilmesi sınırına bağlıdır. Buna ilaveten, bir metal parçanın sınırlanmış bölgesi içinde gerilme yığınları malzemelerde oluşan bölgesel akma ile giderilebilir .[Yılmazoğlu,2004]

Özellik	SiC/Al	Grafit/Al	Çelik	Al
Özgül Ağırlık (g/cm^3)	2.6	2.2	7.8	2.6
Young Modülü (GPa)	117.2	124.1	206.8	68.95
Çekme Dayanımı (MPa)	1206	448.2	648.1	234.4
Isıl Genleşme Katsayısı (α m/m/°C)	12.4	18	11.7	23

Çizelge 2.1 Metal Matris Kompozitlerin Bazı Mekanik Özellikleri

2.1.1.2 Seramik Matrisli (Esaslı)Kompozitler(CMC)

Bu amaçla yapısal ve fonksiyonel nitelikli yüksek teknoloji seramikleri kullanılmaktadır. Başlıcaları Al_2O_3, SİC, Si_3N_4, B_4C, CbN, TiC, TİB, TİN, AIN' dir. Bu bileşikler değişik yapılarda olup amaca göre bir ya da bir kaçı beraber kullanılarak

CMC ler elde edilir. Sandviç zırhlar, çeşitli askeri amaçlı parçalar imali ile uzay araçları bu ürünlerin başlıca kullanım yerleridir.

Metal veya metal olmayan malzemelerin bileşiminden oluşan seramik kompozitler, yüksek sıcaklıklara karşı çok iyi dayanım göstermekle birlikte rijit ve gevrek bir yapıya sahiptirler. Ayrıca elektriksel olarak çok iyi bir yalıtkanlık Özelliği gösterirler. Bir metal faz, bir seramik faz, bir gözenek fazı ve daha çok karmaşık formlarda seramik ve metalin ilave fazlarından meydana gelmiştir. Endüstride kullanılan ve elmas olarak adlandırılan kesme aletleri en iyi örneklerdir. Bir kobalt matris içine dağılmış tungsten karpit parçalarından oluşan bu kompozit malzeme büyük bir dayanım sağlamaktadır.

2.1.1.3 Plastik Matrisli (Esaslı) Kompozitler

Matris malzemesi olarak polimerler kullanılmaktadır. Bağlayıcı olarak polimerler ve diğer kimyasal bağlayıcıların kullanımı mümkündür. Takviye malzemesi olarak cam, ağaç tozu, metal ve pudra kullanılabilir. [Şahin Y. , 2000]

İsteğe göre termoplastikler veya termoset plastikten oluşan matris ve cam ve ya karbon elyafın uygun kompozisyonundan üretilmektedir. Mekanik ve fiziksel özellikleri nedeniyle cam/karbon lifler birçok durumda metal, asbest, sentetik elyaf ve pamuk ipliği gibi liflere tercih edilebilirler. Ancak cam elyaflı kompozitler, büyük kuvvetleri iletmelerine rağmen camın kırılgan olmasından dolayı çok düşük dirençlidirler.

2.2 Elyaf Takviyeli Kompozitler

Bu kompozit tipi ince elyafların matris yapıda yer almasıyla meydana gelmiştir. Elyafların matris içindeki yerleşimi kompozit yapının mukavemetini etkileyen önemli bir unsurdur. Uzun elyafların matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmeleri ile elyaflar doğrultusunda yüksek mukavemet sağlanırken, elyaflara dik doğrultuda

oldukça düşük mukavemet elde edilir. İki boyutlu yerleştirilmiş elyaf takviyelerle her iki yönde de eşit mukavemet sağlanırken, matris yapısında homojen dağılmış kısa elyaflarla ise izotrop bir yapı oluşturmak mümkündür.[Ekşi,2007]

Elyafların mukavemeti kompozit yapının mukavemeti açısından çok önemlidir. Ayrıca, elyafların uzunluk/çap oranları arttıkça matris tarafından elyaflara iletilen yük miktarı artmaktadır. Elyaf yapının hatasız olması da mukavemet açısından çok önemlidir.

Kompozit yapının mukavemetinde önemli olan diğer bir unsur ise elyaf matris arasındaki bağın yapısıdır. Matris yapıda boşluklar söz konusu ise elyaflarla temas azalacaktır. Nem absorbsiyonu da elyaf ile matris arasındaki bağı bozan olumsuz bir özelliktir.

Elyaf takviyeli kompozitlerde kullanılan elyaf malzemeler, yeni malzemenin dayanım ve rijitlik gibi özelliklerini geliştirmekle birlikte kompozit malzemenin çalışma sıcaklığında da iyileştirmeler yapmaktadır. Elyaf takviyeli kompozitlerde kullanılan elyafların malzeme içerisindeki yönlenmeleri kompozit malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini direkt olarak etkilemektedir. Elyaflar örme ve şerit fitil şeklinde olabilmekle beraber, tabakalar halinde yönlü elyaflarda bulunmaktadır. Mekanik özellikleri büyük gelişme gösteren ve en çok kullanılan kompozit malzemeler, elyaf takviyeli olanlardır. Elyaflar, sürekli veya süreksiz olabilir. Cam, karbon, aramid, bor, SiC, Al_2O_3 ve metal gibi malzemeler elyaf olarak çok kullanılır. Takviye malzemesi olarak kullanılan bazı elyaf malzemelerin mekanik özellikleri tabloda gösterilmiştir. [Şahin Y. , 2000]

	Yoğunluk gr / cm^3	σ_{kop} $10^6 kg/cm^2$	σ_{kop} / ρ km	E $10^6 kg/cm^2$	E / ρ $10^2 km$
Alüminyum	2,63	0,62	24	0,73	28
Titanyum	4,61	1,9	41	1,15	25
Çelik	7,66	4,1	54	2,1	27
E Camı	2,5	3,4	136	7,72	29
S Camı	2,44	4,8	197	0,86	35
Karbon	1,38	1,7	123	1,9	140
Berilyum	1,82	1,7	93	3	160
Boron	2,52	3,4	137	4	160
Grafit	1,38	1,7	123	2,5	180

Çizelge 2.2 Dietz Albert. G. H. "Composite Materials" American Society for Testing and Materials, 1965

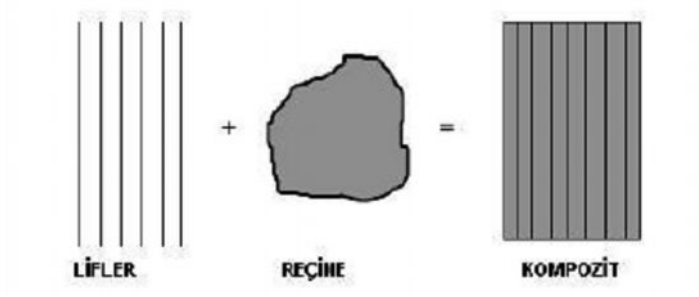
Kompozit malzemelerde kullanılan elyafların fiziksel biçimleri, oluşturulan yeni malzemenin özellikleri üzerinde çok önemli bir faktördür. Takviyeler temel olarak 3 farklı biçimde bulunmaktadırlar; parçacıklar, süreksiz ve sürekli elyaflar. Parçacık genelde küresel bir biçimde olmamasına rağmen her yönde yaklaşık olarak eşit boyutlardadır. Çakıl, mikro balonlar ve reçine tozu parçacık takviyelerine örnekler arasında sayılabilir. Takviye malzemelerinin bir boyutu diğer boyutlarına göre daha fazla olduğunda elyaflardan bahsetmeye başlarız. Süreksiz elyaflar (doğranmış elyaflar, öğütülmüş elyaflar veya whiskers-püskül) birkaç milimetreden birkaç santimetreye kadar değişen ölçülerde olabilmektedir. Çoğu lifin çapı birkaç mikrometreyi geçmemektedir. Bu nedenle elyafın parçacık halden lif haline geçişi için çok fazla bir uzunluğa gerek yoktur.

Sürekli elyaflar ise tel sarma yöntemi gibi yöntemlerde kesilmeden ip şeklinde kullanılmaktadır. Elyaflar en yüksek mekanik özelliklerini enlerinden daha çok boylarına gösteririler. Bu özellikler kompozit malzemelerin metallerde rastlanmayan aşırı anisotropik malzeme özelliği göstermelerine neden olur. Bu nedenle tasarım aşamasında elyafların reçine içindeki yerleşimleri ve geometrilerini göz önünde bulundurmak çok önemlidir. Malzemenin anisotropik özelliği tasarım aşamasında ürünün uygun yerinde kullanılarak avantaja dönüşebilir.

Bazı durumlarda malzemenin dayanımı artırmak, tüm yönlerde eşit mukavemet elde etmek için elyaflar kumaş olarak dokunurlar. Sürekli liflerle hazırlanan dokuma elyaf kumaşlarının farklı amaçlar için geliştirilmiş türleri vardır.[Shackelford,2001]

Matris (reçineler) termoset veya termoplastik olabilir. Takviye lifleri, uzun filament liflerden, dokuma kumaş, kısa kesilmiş lifler ve hasıra kadar değişik formlarda olabilirler. Her biçim ayrı özelliklerle sonuçlanır. Kompozit malzemenin özellikleri, liflerin kompozit içerisinde nasıl uzandığına çok kuvvetli biçimde bağlıdır. Bu kombinasyonların tümü ya da sadece biri kompozitlerde kullanılabilir.

Kompozitler hakkında hatırlanması gereken önemli bir nokta; yükü lifler taşımaktadır ve kompozit malzemenin dayanımı lif ekseni doğrultusunda en büyük değerdedir. Yük doğrultusunda yapılan filament lif takviyesi, matris malzemenin özelliklerini çok asan özelliklerle sonuçlanmaktadır. Aynı lif kısa lif haline getirildiğinde (kesildiğinde), filament liflere göre daha düşük özellikler gösterirler.[Ersoy,2005]



Şekil 2.1 Şematik olarak kompozit malzeme

2.2.1 Plastik Matrisli Kompozitlerde Kullanılan Takviye Elemanları

Cam elyaf
Aramid elyaf
Karbon elyaf kullanılır.

2.2.1.1 Cam Elyaf(fiber)

Cam elyaf polimer kompozitlerde en çok kullanım alanına sahip elyaflardır. Bugün termoset reçinelerle birlikte kullanılan takviye liflerinin 2/3' ünden fazlası cam

elyaflarıdır. Cam elyafın erime noktaları yaklaşık 840°C'dir. Cam elyafın ana maddesi silikadır. Elyaf içinde SiO2 seklinde bulunur.[Ersoy,2005]

Cam elyaf oldukça fazla ve kolay bulunabilmektedir. Aramid ve karbon elyaflarına göre oldukça ucuzdur. En çok kullanılan 3 tipi E-cam, S-cam ve S2- cam' dır.[Ersoy,2005]

Bileşen	E Camı	C Camı	S Camı
$Si0_2$	52.4	64.4	64.4
$Al20_3$,Fe_20_3	14.4	4.1	25.0
CaO	17.2	13.4	-
MgO	4.6	3.3	10.3
Na_20, K_20	0.8	9.6	0.3
Ba_20_3	10.6	4.7	-
BaO	-	0.9	-

Çizelge 2.3 Aşağıdaki tabloda en çok kullanılan cam elyaf tiplerinde kullanılan cam çeşitleri ve bileşimleri (% ağırlıkça)

En çok kullanılan E tipi camdır. Esas olarak elektrik amaçlı düşünülmesine rağmen iyi mekanik özelliklere ve ısıl dirence sahip olduğu için bugün birçok sanayi dalında kullanılmaktadır.

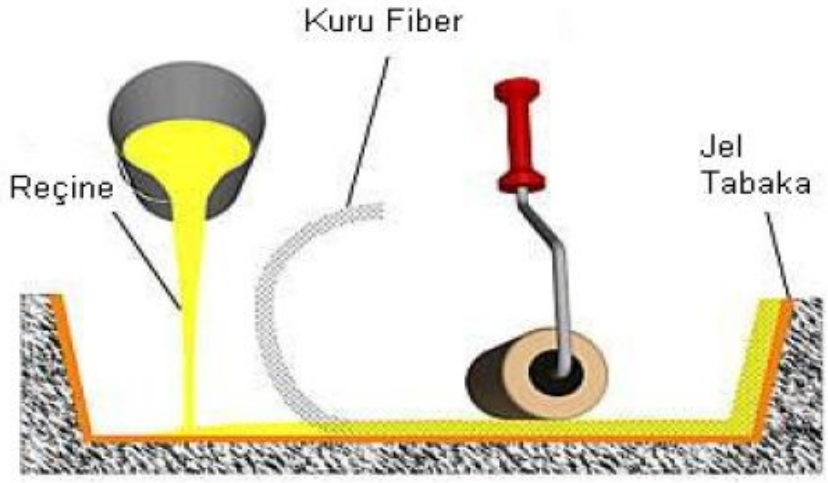
C camlarında C harfi, korozyona dayanımı temsil eder. C camlan kimyasal korozyona karşı oldukça dirençlidirler. Ancak mekanik özellikleri E camına göre daha kötüdür. Bunun yanında maliyeti de yüksektir.

S camlarında S harfi, yüksek mukavemet ve modülü temsil eder. S camı, hem E hem de C canımdan daha yüksek maliyete sahip olmasına rağmen çok daha yüksek mukavemet ve elastik modül özellikleri sergiler. Bunun yanında yüksek sıcaklıkta bile mukavemetini muhafaza edebilir.

2.3 Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri

2.3.1 El Yatırma Yöntemi

Fiberler hazırlanmış olan kalıp üzerine elle yatırılarak üzerine sıvı reçine emdirilir. Fiber yatırılmadan önce kalıp temizlenerek jelkot sürülür. Jelkot yapışmayı engelleme amaçlı kullanılan bir maddedir. Yarı şeffaf, jöle gibidir. Kalıba mek (sertleştirici) ve kobalt ile karıştırıldıktan sonra sürülür, isteğe göre renk pigmenti eklenir. Jelkot sertleştikten sonra fiber katları yatırılır. Reçine ise kompozit malzemenin hazır olması için en son sürülür. Bu işlemde elyaf kumasına reçinenin iyi nüfuz etmesi önemlidir. El yatırma tekniği en çok fiberglastan üretilen kompozit parçalar için kullanılır. El ile yayma yoğun isçilik gerektirmesine rağmen düşük sayıdaki üretimler için çok uygundur.



Şekil 2.2 El yatırma yöntemi

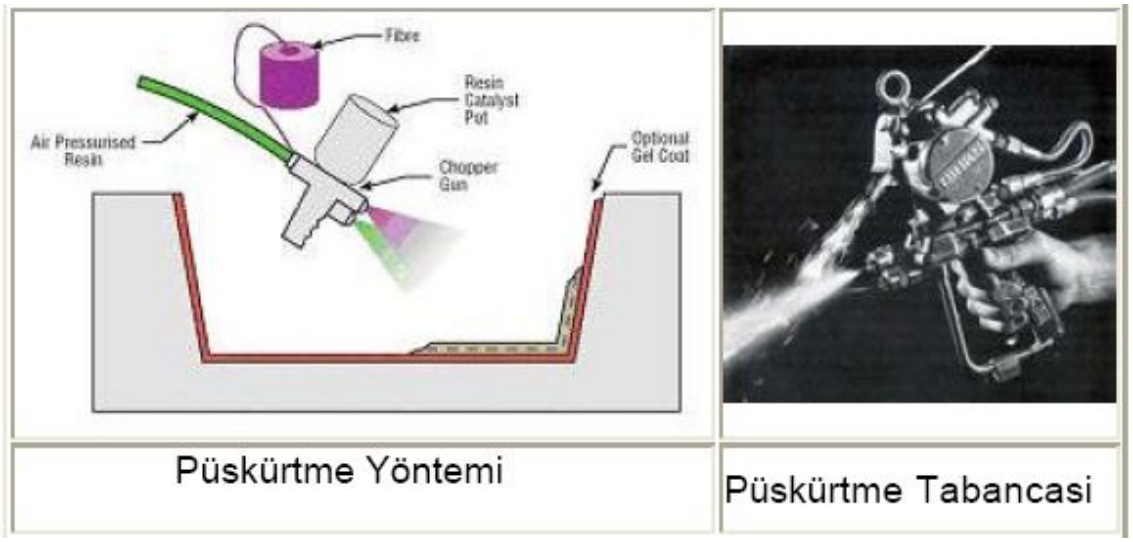
Cam lifinden dokunmuş kumaşlar, Kevlar ve karbon lifleri takviye elemanı olarak kullanılabilir. Ticari sektörde E-cam kullanımı baskındır. Parçanın gereksinimine göre, epoksi, polyester ve vinil ester reçineler el yatırma prosesinde kullanılır. Polyester

reçine tekne ve ticari malların üretiminde en çok kullanılan reçinedir. Cam şeritler de tekne gövdelerinin yapımında kullanılır.[Ersoy,2005]

El yatırma prosesi için gerekli kalıp tasarımı, diğer üretim prosesleriyle karşılaştırıldığında çok basittir. Çünkü, proses çoğunlukla oda sıcaklığında ve düşük basınç kür şartları gerektirir. Çelik, tahta, cam takviyeli plastik ve diğer maddeler kalıp malzemesi olarak kullanılabilir. Kalıp dişi veya erkek kalıp olabilir. Küvet yapımında bir erkek kalıp kullanılır. Tekne endüstrisinde, yat gövdelerinin yapımı için, tek yönlü cam takviyeli plastikten yapılmış dişi kalıp kullanılır. Kalıbın dış kabuğu, ahşap bir iskelet ile sertleştirilir.[Ersoy,2005]

2.3.2 Püskürtme(Spray Up) Yöntemi

Püskürtme prosesi el yatırma prosesi ile benzerdir. Reçine ile lifin, kalıp üzerine uygulanma metodu farklıdır. El yatırma prosesi emek yoğundur. Çünkü takviye ve reçine malzeme manuel olarak uygulanır. Püskürtme prosesinde ise, reçine ve takviye malzemeler, bir sprey tabancası kullanılarak, saatte 1000 – 1800 libre (450 kg- 800 kg) kapasite ile uygulanır. Bu proseste kesikli cam lifi ve reçine / katalizör kalıp üzerine biriktirilir. Tabanca es zamanlı olarak filament lif şeritlerini belirlenen uzunluklarda (20-40 mm) keser ve lifi reçine / katalizör arasından kalıba sevk eder. Püskürtme prosesi, el yatırma prosesinden çok hızlıdır ve daha ucuz bir seçenektir. Çünkü cam lifinin pahalı olmayan bir formu olan şeritlerden faydalanmaktadır.[Ersoy,2005]

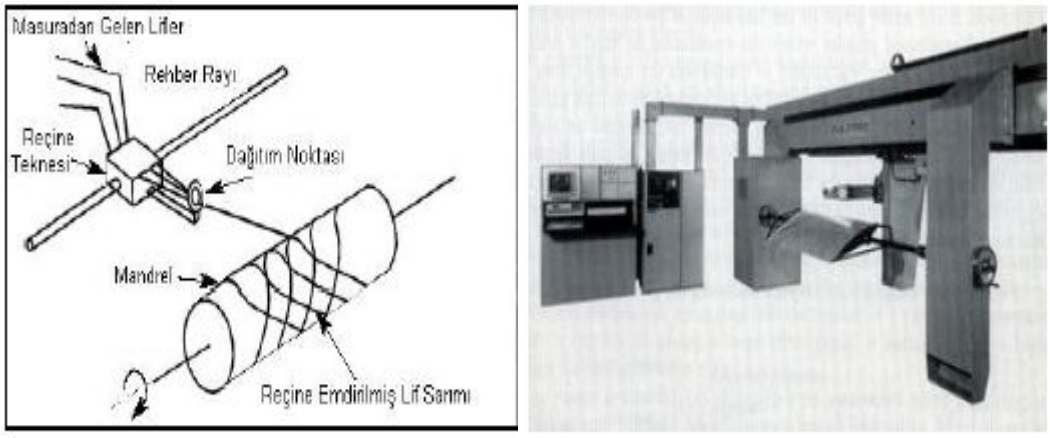


Şekil 2.3 Spray up yönteminde kullanılan tabanca ve yöntemin şematik resmi

Ürünün dayanımının çok önemli olmadığı yerlerde, püskürtme metodu en uygun seçenektir. Küvetler, yüzme havuzları, tekne gövdeleri, depolama tankları, kanal ekipmanları, mobilya bileşenleri bu proses kullanılarak üretilen ürünlerin bazı ticari kullanım alanlarıdır.[Ersoy,2005]

2.3.3 Elyaf(filament) Sarma Yöntemi

Bu yöntem özel biçime sahip ürünlerin seri üretimine uygundur. Elyaf sarma yöntemi sürekli elyaf liflerinin reçine ile ıslatıldıktan sonra bir makaradan çekilerek dönen bir kalıp üzerine sarılmasıdır. Sürekli liflerin farklı açılarla kalıba sarılmasıyla farklı mekanik özelliklerde ürünler elde edilebilir. Yeterli sayıda elyaf katinin sarılmasından sonra ürün sertleşir. Ardından döner kalıp ayrılır. Bu yöntemle yapılan ürünler genellikle silindirik, borular, araba şaftları, uçak su tankları, yat direkleri, dairesel basınç tanklarıdır.



Şekil 2.4 elyaf sarma yöntemi

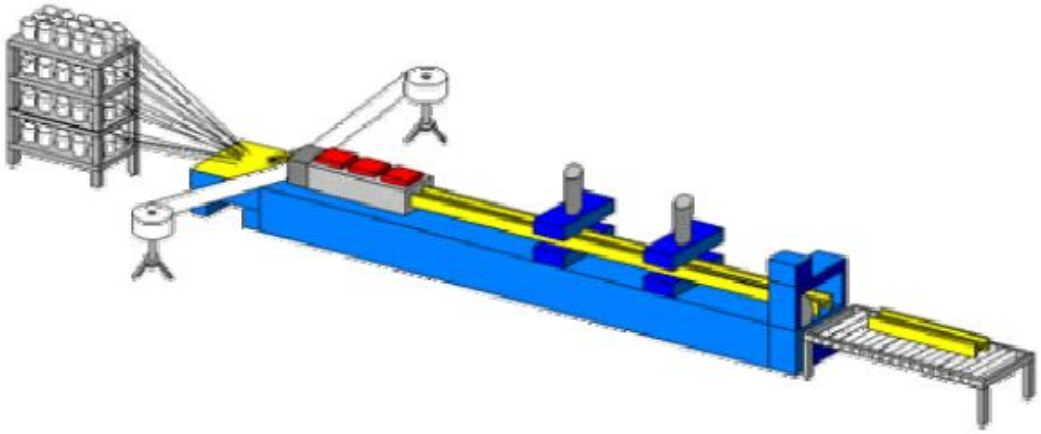
Genellikle, filament sarım için başlangıç malzemesi filament lifler (iplikler) ve sıvı termoset reçinelerdir. İplikler arka askıda makara formunda bekletilir ve dağıtım ünitesindeki bir reçine banyosu içerisinden geçirilir. Cam, karbon ve Kevlar lifleri filament sarım için kullanılır. Cam lifleri ucuz olduğundan kullanımı en yaygın olan liflerdir. Epoksi, polyester ve vinil ester reçineleri kullanılır. Polyester reçine ile cam lifi düşük maliyetli uygulamalar için oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.[Ersoy,2005]

2.3.4 Pultrüzyon Üretim Yöntemi

Pultrüzyon işlemi sürekli sabit kesitli kompozit profil ürünlerin üretilebildiği düşük maliyetli seri üretim yöntemidir. Pull ve Extrusion kelimelerinden türetilmiştir. Sisteme beslenen sürekli takviye malzemesi reçine banyosundan geçirildikten sonra 120-150 ºC'ye ısıtılmış şekillendirme kalıbından geçilerek sertleşmesi sağlanır. Kalıplar genellikle krom kaplanmış parlak çelikten yapılmaktadır. Sürekli elyaf kullanılmasından dolayı takviye yönünde çok yüksek mekanik mukavemet elde edilir. Enine yükleri karşılayabilmek için özel dokumalar kullanmak gerekmektedir.

Profil çekme prosesi düşük maliyetli, yüksek üretim kapasiteli bir prosestir. Bu

proseste, reçine emdirilmiş lifler, parça üretimi için bir kalıba gönderilir. Profil çekme prosesiyle sabit kesit ve kontinü uzunlukta parçalar üretilir.

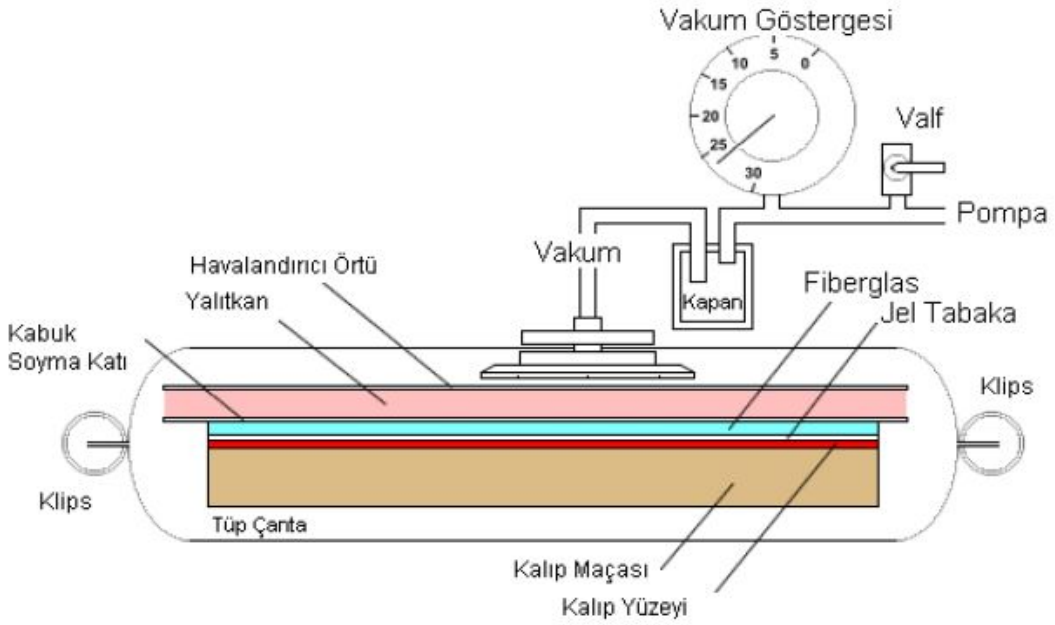


Şekil 2.5 Pultrüzyon Yöntemi

Malzeme, ısıtılmış kalıp içerisinden geçirildiğinde kısmen veya tamamen kür edilmiş olur. Profil çekme prosesi ile elde edilen parçalar düzgündür ve genellikle ard işlem gerektirmez. Profil çekme yaygın olarak, sabit kesitli katı ve boşluklu yapıların üretiminde kullanılır. Aynı zamanda, özel uygulamalar için temel şekillendirilmesi yapılmış parçaların üretiminde kullanılır.[Ersoy,2005]

2.3.5 Vakum Altında Şekillendirme

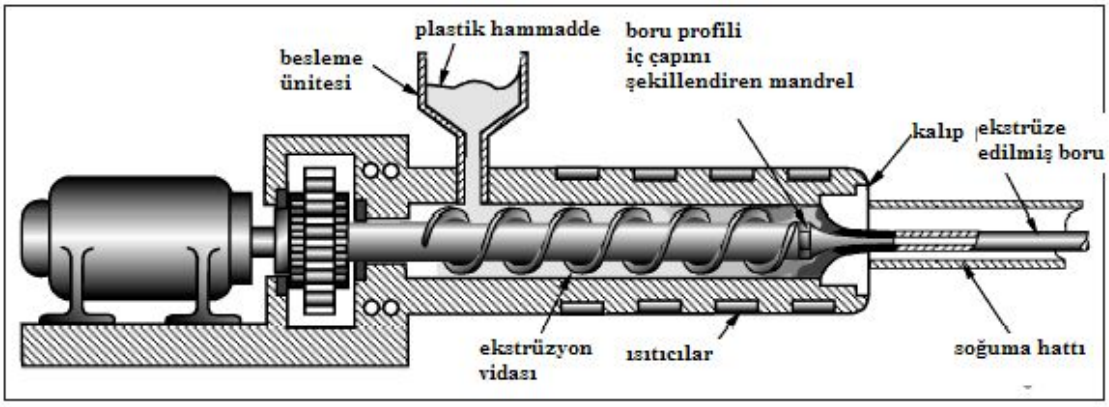
Prepreg katlar veya plakalar preslenmeden şekillendirilebilir. Kompozit malzeme (genellikle geniş sandviç yapılar) önce bir kalıba yerleştirilir, ardından bir vakum torbası en üst katman olarak yerleştirilir. İçerideki havanın emilmesiyle vakum torbası, yatırılan malzemenin üzerine 1 atmosferlik basınç uygulayarak aşağıya çekilir. Sonraki aşamada tüm bileşim bir fırına yerleştirilerek reçinenin kür işlemi için ısıtılır. Yaklaşık 1 saat zaman alır. Bu yöntem sıklıkla prepreg malzemelerden kompleks parçaların üretiminde kullanılır. Kompozit malzeme tamir işlemlerinde de bu yöntem kullanılmaktadır.



Şekil 2.6 Vakumla kalıplama

2.3.6 Ekstrüzyon Üretim Yöntemi

Plastik esaslı kompozit üretim yöntemleri içinde en çok kullanılan proseslerde biri olan ekstrüzyon yöntemi aşağıda şematik olarak gösterilmiştir. Granül ya da toz halindeki plastik ve hacimsel olarak oranlanmış elyaf besleyici üniteden atılır.Kovanın içinde mil yardımıyla taşınır aynı esnada ısıtıcı bantlar yardımıyla ergitme işlemi devam eder.Kovan içinde basınç ve sıcaklığın etkisiyle kompozit oluşum ergimiş halde kalıba doğru itilir.Ürün kalıp içinde şekillendirildikten sonra soğuma ünitesinden geçirilerek son şeklini alması sağlanır.



Şekil 2.7 Boru ekstrüzyon ünitesi

Ekstrüzyon işlemi sürekli bir proses olup açık kalıplama sistemi kullanılmaktadır. Plastik ekstrüzyon üretim yöntemiyle çoğunlukla termoplastiklerin işlenmesi söz konusudur. Termoplastik polimer molekülleri uzun zincirlidir ve gelişi güzel eğilmiş burulmuş, yumuşak ve eski şekline her zaman gelme eğilimindedir.[Turaçlı,2001]

İşlem hızı yüksek olan ekstrüzyon prosesiyle uzun profiller, borular, tüp uygulamaları, film üretimi yapılabilmektedir. Malzemeden faydalanma iyi olup, malzeme kaybı sadece kesme işlemi sırasında olmaktadır. Üretim oranı yüksek fakat boyutlarla sınırlıdır.

2.3.7 Enjeksiyon Üretim Yöntemi

Plastik enjeksiyonu kısaca; en az iki parçadan oluşan ve iki parça arasında kalıp boşluğu denilen bir boşluğa sahip bir kalıbın, kalıp boşluğuna ergimiş plastiğin belli bir basınçta enjekte edilmesi ve soğuyup katılaştıktan sonra kalıbın açılarak parçanın kalıptan alınması işlemi olarak ifade edilebilir.[Tuğ,2004]

Bu işlemin en önemli avantajlarının başında, seri imalata ve otomasyona uygunluğu gelmektedir. Ayrıca kompleks yapıdaki parçalar çok hızlı olarak imal edilebilmekte, birçok durumda da ek bir işlem gerektirmemektedir. Oyuncaklar, otomobil parçaları, ev eşyaları, çeşitli elektronik parçaları gibi günlük hayatta

karşılaştığımız plastik ürünlerin birçoğu plastik enjeksiyon yöntemi ile üretilmişlerdir.[Tuğ,2004]

Plastik enjeksiyon işleminin avantajları;

- Hızlı bir şekilde mal üretilmesini sağlama
- Yüksek hacimlerde mal üretilmesini sağlama
- Diğer işlemlere göre düşük maliyetli olma
- Otomasyona uygun olma
- Hemen hemen hiç son işlem gerektirmeme
- Çok değişik yüzey, renk ve şekillerde mal üretilebilmesini sağlama
- Seri üretim imkânı olmayan parçaların dahi seri üretimlerinin yapılabilmesini sağlama
- Malzeme kaybının çok az olmasını sağlama
- Aynı makinede ve aynı kalıpta farklı malzemelerin basılabilmesini sağlama

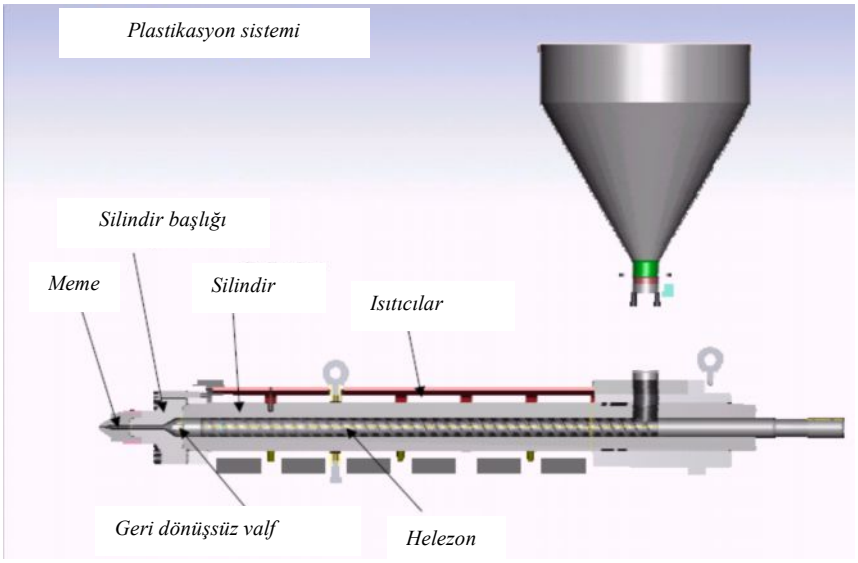
Plastik enjeksiyon makinesine ait örnek bir resim aşağıda gösterilmiştir;



Şekil 2.8 Enjeksiyon makinesi

Bir enjeksiyon makinesinin temel işlevleri şunlardır:

- Plastik malzemenin sıcaklığını basınç altında akış sağlayabilecek dereceye çıkarmak
- Makinenin kapalı tuttuğu kalıba plastiğin itilip katılaşmasını sağlamak
- Kalıbı açıp ürünü çıkarmak



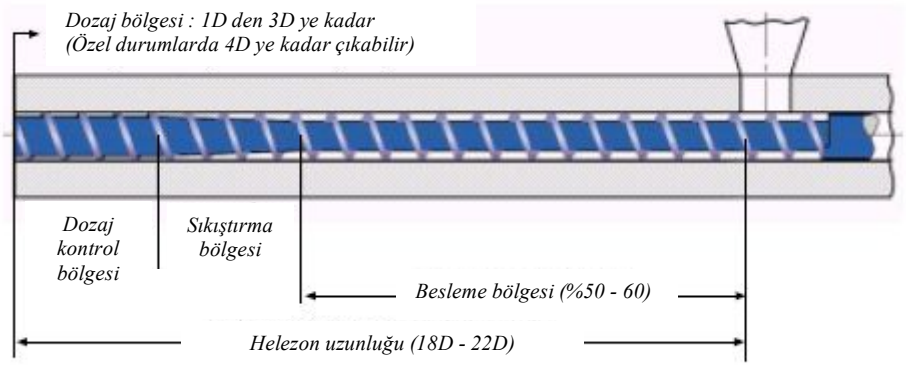
Şekil 2.9 Şematik olarak enjeksiyon makinesi

Normal şartlarda makine çalışırken huni doludur ve işlenecek hammadde direkt olarak huniden enjeksiyon grubunun besleme bölgesine, oradan da helezonun hareketleri sayesinde ısınıp eriyerek meme boşluğuna akar.
Plastik malzemeyi eriten ve kalıba basan helezon veya helezon sistemleri enjeksiyon makinesinin en önemli parçalarındandır.

Bir helezon sisteminin en büyük avantajlarından biri olarak, hem malzemeyi eriyik hale getirene kadarki taşıma, eritme ve homojenleştirme işlemlerini hem de enjeksiyon ve tutma basınçlarının uygulanması işlemlerini en ekonomik şekilde sağlaması olarak gösterebiliriz.[Tuğ,2004]

Helezonlar genellikle üç farklı bölgeden meydana gelirler:

- Besleme bölgesi
- Sıkıştırma bölgesi
- Dozaj kontrol (ölçme) bölgesi



Şekil 2.10 Şematik olarak enjeksiyon vidası

Besleme bölgesi: Bu bölgede tanecikli, parçacıklı veya toz halindeki katı malzeme taşınır ve sıkıştırma bölgesine iletilir. Bu bölgede helezonun akış derinliği malzeme düşük yoğunlukta olsa bile oldukça geniş tutulmuştur.

Sıkıştırma bölgesi: besleme bölgesinden alınan malzemenin sıkıştırıldığı kısımdır. Bu bölgede taşıma işleminin stabilitesi genelde malzemenin tam olarak erimesi ve sıkıştırma bölgesinin sonuna ulaşması için geçen zamana bağlıdır.

Dozaj kontrol (ölçme) bölgesi: Bu bölgede homojen hale gelmiş olan malzemenin sıcaklığı enjeksiyon yapılacak sıcaklığa yükseltilir ve malzeme kalıplanmaya hazır hale gelir.

Aşağıdaki şekilde enjeksiyonla üretilmiş parça örnekleri görülmektedir;



Şekil 2.11 Enjeksiyonla üretilmiş parça örnekleri

2.4 Plastiklerin ve Plastik Esaslı Kompozitlerin Birleştirilmesi

Mühendislik plastiklerinin birleştirilmesinde mekanik bağlayıcılar, yapıştırıcılar ve kaynak prosesleri görev alabilir. Mekanik bağlayıcılar iki parçayı hızlı bir biçimde birleştirebilirler fakat sıkı ve sızdırmaz bağlantı sağlayamazlar ve bölgesel gerilmeler polimerik metarialde boşluk hareketine neden olurlar. Yapıştırıcılar tamamen kusursuz bağlantı ve iyi nitelikler sağlayabilirler. Fakat bağlantıyı kontrol altında tutmak ve yapışma süresinin yavaşlığı durumu kötüleştirir. Yapıştırarak birleştirme işleminde proses hazırlığı ve yüzey temizliğine önem verilmesi gerekmektedir. Kaynakla ana parçaların özelliklerine yakın kaynak edilmiş (birleştirilmiş) parçalar elde edebiliriz. Plastik kaynağı termoplastiklerle sınırlandırılmıştır çünkü bu malzemeler ısı etkisiyle

yumuşarlar. Termoset polimerler ısı altında bir kez katılaşır ve tekrar yumuşamazlar. Termoplastik kaynağında gerekli olan ısı metallere gerekli olandan daha azdır.

PLASTİKLER İÇİN BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

PLASTİKLER	ORTAK BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİ							
	yapıştırıcılar	dielektrik kayn.	indüksiyon kayn.	mekanik bağl.	solvent kayn.	sürtünme kayn.	ısı kayn.	ultrasonik kayn.
termoplastikler								
ABS	X	...	X	X	X	X	X	X
Acetals	X	...	X	X	X	X	X	X
Acrylics	X	...	X	X	X	X	...	X
Cellulosics	X	...	...	...	X	X	...	...
Chlorinated polyether	X	...	...	X	...	...		...
Ethylene copolymers	...	X	...	...	...	...	X	...
Fluoroplastics	X	...	...	...	...	...	...	...
Ionomer	...	X	...	...	...	...	X	...
Methylpentene	...	...	...	...	...	...	...	X
Nylons	X	...	X	X	X	...	...	X
Phenylene oxide–based materials	X	...	...	X	X	X	X	X
Polyesters	X	...	...	X	X	X	...	X
Polyamide-imide	X	...	...	X	...	...	...	...
Polyaryl ether	X	...	...	X	...	...	...	X
Polyaryl sulfone	X	...	...	X	...	...	...	X
Polybutylene	...	...	...	...	...	...	...	X
Polycarbonate	X	...	X	X	X	X	X	X
Polycarbonate/ABS	X	...	...	X	X	X	X	X
Polyethylenes	X	X	X	X	...	X	X	X
Polyimide	X	...	...	X	...	...	...	...
Polyphenylene sulfide	X	...	...	X	...	...	...	...
Polypropylenes	X	X	X	X	...	X	X	X
Polystyrenes	X	...	X	X	X	X	X	X
Polysulfone	X	...	...	X	X	...	...	X
Propylene copolymers	X	X	X	X	...	X	X	...
PVC/acrylic alloy	X	...	X	X	...	...	...	X
PVC/ABS alloys	X	X	...	...	...	...	X	...
Styrene acrylonitrile	X	...	X	X	X	X	X	X
Vinyls	X	X	X	X	X	...	X	...

Çizelge 2.4 Termoplastikler için birleştirme yöntemleri

TERMOSETLER									
Alkyds	X	...	...		...	...	...	...	...
Allyl diglycol carbonate	X	...	...		...	...	...	...	...
Diallyl phthalate	X	...	...	X	...	...	...	...	...
Epoxies	X	...	...	X	...	...	...	...	...
Melamines	X	...	...		...	...	...	...	...
Phenolics	X	...	...	X	...	...	...	...	...
Polybutadienes	X	...	...		...	...	...	...	...
Polyesters	X	...	...	X	...	...	...	...	...
Silicones	X	...	...	X	...	...	...	...	...
Ureas	X	...	...		...	...	...	...	...
Urethanes	X	...	...	X	...	...	...	...	...

Çizelge2.5 Termosetler için birleştirme yöntemleri

2.5 PLASTİK MALZEMEMELERİN KAYNAĞI

2.5.1 Plastik Kaynağına Etki Eden Parametreler

Kaynak Süresi

Kaynak süresi plastik kaynağında çok önemli etkenlerden birisidir. Yapılan kaynağın bekleme süresinin uzunluğu ile kaynağın sağlamlığı arasında doğrusal bir ilişki vardır. Makinemizdeki kaynak süresi değişkenleri 0'dan 6 saniyeye kadar değişik parametre değerleri içermektedir. Genellikle en iyi sonuçlar 4. saniye civarında elde edilmektedir. Kaynak süresinin uzun olması kaynağın daha çok nüfuz etmesine neden olur ve daya çok etkili olur.

Baskı Gücü

Kaynağın baskı gücünün yüksek olması halinde malzemeye daha çok temas edeceği için daha iyi sonuçlar alınabilir. Baskı gücünün az olması durumunda ise kaynak istenilen derecede iyi olmaz. Kaynağın tutum yerleri zayıf olacağı için deformasyonlar hep kaynak bölgesinden olur. Baskı gücünün gereğinden fazla olması durumunda malzemeyi yakabiliriz. Makinemizde kaynak gücü 0 ile 13 kgF' lik basınç değerleri arasında değişmektedir. En iyi sonuçlar 1.5-2 mm kalınlıklarda 9 kgF' lik baskı en iyi sonucu verdiği gözlenmiştir.

Malzemenin Kalınlığı

Malzemenin kalınlığının çok olması durumunda kaynak tam nüfuz etmeyebilir. Bu sebepten dolayı malzeme kalınlığına göre gücünün ve süresinin çok iyi ayarlanması gerekir. Yalnızca PVC malzemelerinin kaynak edilebilme özelliğinden dolayı her malzeme için ayrı özellikler belirleme durumunda değiliz. Makinemizde piston strokunun büyük olmasından dolayı kalın malzemelerde de kaynak yapılabilir.

Kullanılan Amper

Makinede çalışılan amper değeri hiçbir zaman 1 amperi geçmemelidir. Aksi durumlarda makinenin elektrik tüpü yanar ve makinenin elektrik devresi sistem dışı kalarak makineye zarar verebilir. Genellikle en iyi sonular için amper değeri 0.8Amper olmalıdır.

Kaynak Hataları

a) Kötü dış görünüm

Sebep:

- Düzensiz Basınç
- Aşırı uzama
- Düzensiz ısıtma

Düzeltme

- Kaynak çubuğunun başlama, bitme ve hareket uygulama
- Düzgün açıda kaynak çubuğunu tutma
- Düşük üniform hava verme hareketi, malzeme ve kaynak çubuğunu ısıtma

b) Gerilme çatlakları

Sebep

- Uygun olamayan kaynak sıcaklığı
- Kaynak üzerinde aşırı gerilim
- Kimyasal sıçrama
- Temel malzeme ve kaynak çubuğunun bileşimi farklı ise
- Kaynağının oksidasyonu ve enerji kaybı

Düzeltme

- Tavsiye edilen kaynak sıcaklığı
- Çekilme büzülme ve yayılma için izin verilmeli
- Malzemenin bilinen kimyasal direnci ve çalışma sıcaklığı arasında kalınmalı
- Kaynak için soy gaz ve benzer malzemelerin kullanılması
- Tavsiye edilen uygulamalara başvurulması

c) Kötü erime

Sebep

- Hatalı hazırlama
- Uygun olmayan kaynak teknikleri
- Yanlış hız
    - Malzemenin soğuk olması

2.5.2 Plastik Ve Plastik Esaslı Kompozitler İçin Birleştirme Yöntemleri

2.5.2.1 Sıcak Gaz Kaynağı (Hot Gas Welding)

Endüstride imal edilen plastik malzemelerin hızla gelişmesinde ilk faktör sıcak gaz kaynağının çok yönlülüğü olmuştur. Bu kaynak işlemi, aşınma dayanımı, hafif ağırlık, dielektrik özellikler ve arzu edilen iyi darbe mukavemeti veren plastiklere ekonomik olarak uygulanmasına müsaittir. Sıcak gaz kaynağı endüstrideki büyük miktarlardaki kontrüksiyon donanımlarının gerçekleştirilmesinde ve ufak parçaların imal edilmesinde kullanılır.

Birleştirilecek levhalar, uygun kaynak ağızlarına ve aralıklarına sahip olmalıdır. Ana malzeme ile aynı bileşimde olan kaynak çubuğu kullanılır. Kaynak çubuğu ve kaynak ağzı kaynak tabancasına gelen sıcak gaz akışı ile birlikte ısıtılır. Eşleşen iki yüzey yumuşayıp erirken birlikte homojen bağ oluşturmak üzere sıkıştırılırlar.

Kaynak tabancaları ya gaz ya da elektrik ile ısıtılabilir. Çeşitli uygulamalar için doğrusal veya eğrisel şekillerde sağlanılabilen, birbirinin yerini alabilecek tiplerde kaynak tabancaları vardır. Genel kullanımlar için elektrikli ısıtma tabancaları daha üstündür. Kullanılan kaynak tabancasının tipi ne olursa olsun 200 ile 300 derecede değişen sıcak aralığını ve dakikada 15 ile 90 santimetreküp gazı sağlamalıdır. Normal basınçlar 0.4 atü'den 1 atü'ye kadar değişir. Optimum akış hızı 1 dereceye kadar 60

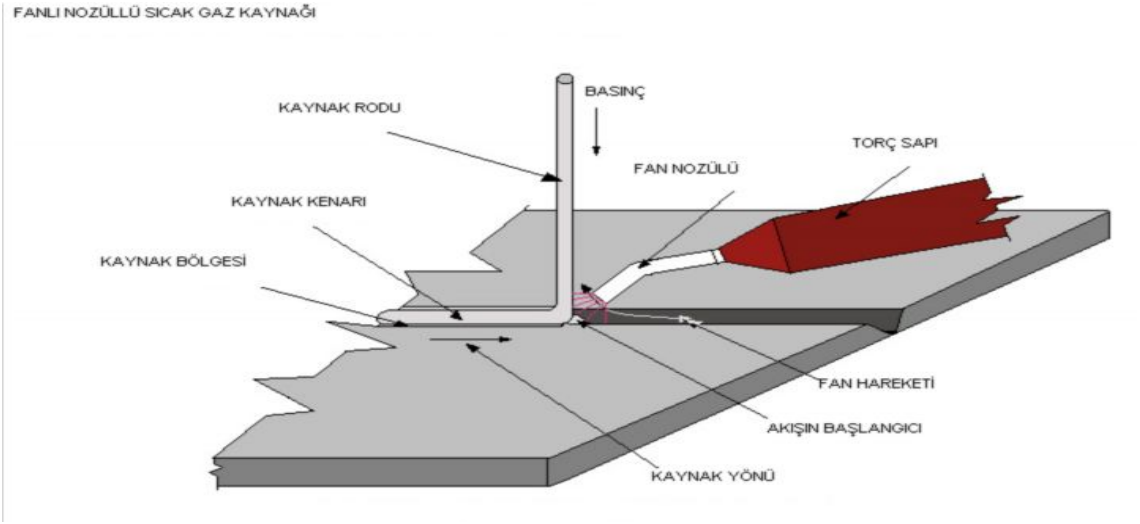
santimetreküptür. Tabancanın ucu ve kaynağın arasındaki uzaklık 3 milimetreden 12 milimetreye kadar değişir.[Safran,1986]

Elle yapılan bir prosestir. Gaz buharı, tipik olarak hava fakat bazen de nitrojen olabilir. Birleşme iki termoplastik parça arasında gazın malzemeyi yumuşattığı veya polimeri erittiği yerde parçaların içine doğru uygulanır.

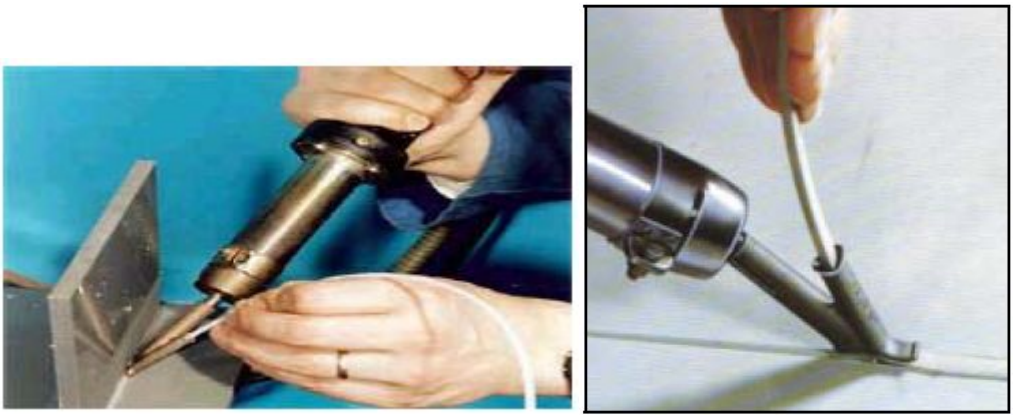
Doldurucu bir çubuk aynı zamanda gaz buharında ısıtılır ve iki parçanın arasına hazır birleştirme için yerleştirilebilir.

Kaynak, parçaların ve doldurucu çubuğun beraber birleştirilmesiyle oluşur, başarı büyük oranda operatörün becerisine bağlıdır. kaynak parametreleri gaz tipi, akışkanlık oranı, sıcaklık ve doldurucu çubuğun parçaları açısıdır (yaklaşık olarak 900 C de kaynayabilmesi için). Tipik gaz akışkanlık oranı dakikada 16-60 lt dir. [Orhan,2004]

Sıcak gaz kaynak aracının bir ısıtıcının gazı ısıtmasıyla bağlantılıdır ve gaz doğrudan parçaların üstüne püskürtülür. Eğer hava kullanılırsa, bu kompresör veya düzenli bir hava temizleyici ile sağlanabilir. Eğer nitrojen kullanılırsa, gazı sağlamak için ve bağlantıyı sağlamak için yapılır.[Orhan,2004]



Şekil 2.12 Sıcak gaz kaynağının şematik resmi



Şekil 2.13 Sıcak gaz kaynağına ait uygulama örnekleri

2.5.2.2 Sıcak Plaka Kaynağı

Plastiklerin kaynağı yöntemleri içinde en basit olanıdır. Sıcak plaka birleştirilmiş yüzeyler arasında onlar yumuşayana kadar kenetlenir.Plaka kaldırıldıktan sonra belli bir süre için parçalar kontrollü basınç altında tutulurlar.Eritilerek birleştirilmiş parçalar kaynak formunu alması için soğumaya bırakılır.Plastiğin yapışmasını önlemek amacıyla kaynak aracı ya da ısıtıcı parça elektrikli ısıtıcının içine yerleştirilir.Kaynak edilecek parçanın kalınlığına göre 180 ile 230 derece arasında sıcaklığa ihtiyaç duyulur.

Bu proses genellikle kimya endüstrisinde lağım sularının ve fabrika atığı kimyasal ürünlerin dağıtımında kullanılan plastik esaslı boruların birleştirilmesinde, doldurma tüplerinin birleştirilmesinde ve otomobillerin şişirme kalıplama ile elde edilmiş yakıt tanklarının bağlantısında kullanılır.

Günlük alanda kullandığımız bir çok üründe bu prosese rastlanır; elektrikli süpürgelerde, çamaşır ve bulaşık makinelerinin parçalarında,sinyal ışıkları ,arka ışıklar ve fren hidrolik yağı deposu gibi bir çok otomobil parçasında uygulama örneklerine rastlamak mümkündür.

Küçük uygulamalarda kaynak süresi 10, 30 saniye sürerken büyük ebatlı borularda 30 dakika sürebilmektedir. Sıcak plaka geleneksel uygulamalarda (300 derece sıcaklığa kadar olan uygulamalarda) alüminyumdan yapılır. Yüksek sıcaklıklarda ki kaynakta sıcak plaka çoğunlukla alüminyum bakır alaşımından oluşmaktadır. Sıcak plaka sıcaklığı çalışma yüzeyine en yakın noktaya yerleştirilmiş termosensörlerin yardımıyla elektronik regülatörler ile kontrol edilir.[Joshi,2001]

Isıtılmış plakanın sıcaklığının çok kesin kontrol edilmesi gerekir. Isı iletimi(kondüksiyon) ile ısıtılan doğrudan temaslı sistem kullanılınca sıcaklığın 200 ile 370 derece aralığında ayarlanması gerekmektedir. 540 dereceye kadar olan sıcaklıklarda radyasyonla olan ısıtmada bir aralık kullanılınca arzu edilir. [Safran,1986]

Sanayide kullanılan sıcak plaka kaynak makinelerine dair örnekler aşağıda gösterilmiştir.





Şekil 2.14 Sıcak plaka kaynağına ait ticari makine resimleri

plastik	sıcaklık °F	Film	sıcaklık °F
ABS	450	Coated cellophane	200–350
Acetal	500	Cellulose acetate	400–500
Phenoxy	550	Coated polyester	490
PE			
LD	360	Poly(chlorotrifluoroethylene)	415–450
HD	390	Polyethylene	250–375
PC	650	Polystyrene (oriented)	220–300
PPO	650	Poly(vinyl alcohol)	300–400
Noryl*	525	Poly(vinyl chloride) and copolymers (nonrigid)	200–400
PP	400	Poly(vinyl chloride) and copolymers (rigid)	260–400
PS	420	Poly(vinyl chloride)—nitrile rubber blend	220–350
SAN	450	Poly(vinylidene chloride)	285
Nylon 6, 6	475	Rubber hydrochloride	225–350
PVC	450	Fluorinated ethylene-propylene copolymer	600–750

Çizelge 2.6 Sıcak plaka kaynağıyla birleştirilen plastik/plastik film ve plastik esaslı kompozitlere ait kaynak sıcaklıkları

2.5.2.3 Direnç (İmplant) Kaynağı

Bu teknikte kaynak edilecek parçaların arasına iletken bir tel konur ve bu tel üzerinden elektrik akımı geçirilerek direnci nedeniyle ısınır ve etrafındaki termoplastiği erime sıcaklığına ısıtarak eritir. Erime ile kaynak oluşur. Parçaların arasına koyduğumuz bu tel parçalar arasında, kaynağın içinde kalır.

Kaynak sadece implantların bulundukları yerde oluştuğundan yöntem nokta kaynağına benzer ve tüm temas alanının birleştirildiği yöntemler tarafından oluşturulan kaynaklara göre oldukça zayıf bağlantılar elde edilir. Büyük bir alanın birleştirilmesi istendiğinde, endüksiyon ısısını ara yüzeyde yoğunlaştırmakta kullanılan demir tozu pastası veya metal bantlar kullanılır.

Direnç kaynağındaki önemli parametreler şunlardır:

- Uygulanan gerilim ve akım. (Akım 150 A kadar yüksek olabilir.)
- Kaynak süresince uygulanan basınç.
- Isıtma süresi.
- Ara yüzeyde kirlenmeden kaçınma. (Birleşme yüzeyinde erimiş malzemenin akışı
  sınırlandırıldığı için burada pislikler kalıp kaynağın dayanımını düşürebilir.)

Bu yöntemin en büyük avantajı, kaynak ekipmanının çok basit ve taşınabilir olmasıdır. Böylece kaynak imkânı parçaya götürülebilir. Temel kullanım alanı, su taşıma ve doğalgaz dağıtımında kullanılan 180 mm'den küçük çaplı PE boruların birleştirilmesidir.[Joshi,2001]

2.5.2.4 İndüksiyon Kaynağı

Bir indüksiyon alanı ile ısısının üretildiği yerdeki kaynak tekniğidir. En yaygın iki mekanizma karşımıza çıkar ki bu indüksiyon akımı ısısı ve histerezis kaybı gerekli ısısı bir indüksiyon alanı ile üretilebilmektedir.

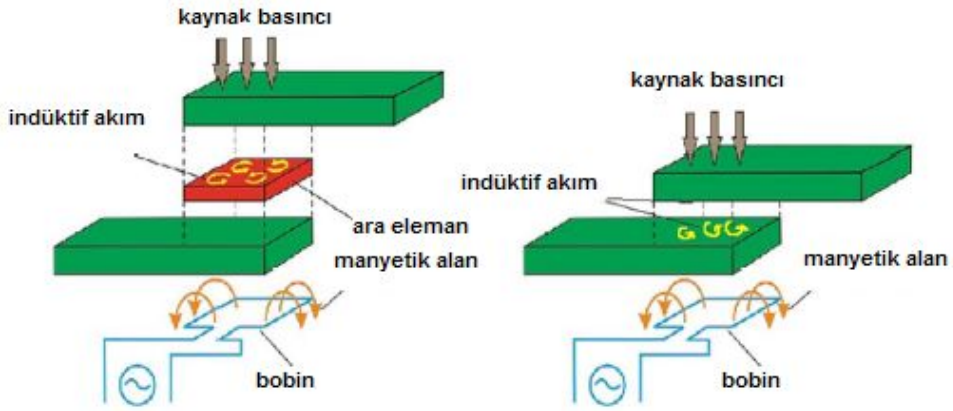
Elektrik iletimi birleşim çizgisinde istenildiği için gücü sağlayan yüksek bir frekansla bağlantı kurulduğunda, çalışan bir bobin birleşmenin yakın bir yerine yerleşir. Elektrik yüksek bir frekansta olduğu için çalışan bobinin içinden geçer ve değişken bağlantılı implantın dinamik bir manyetik alanı oluşturulur. İndüksiyon kaynağı için indüksiyon akım oluşumu ile elektrik akımları implantın içinde oluşur ve bunlar yeterli şekilde iletken malzemelerin yüksek sıcaklığına ulaştığında, çevredeki termoplastik parçalar yumuşar ve erir. Ancak birleşim için bir pres uygulandığında kaynak şekil alabilir.[Orhan,2004]

İndüksiyon kaynağı çok hızlı olabilir; kaynak zamanı 1, 2 saniye olabilir. Uygulamalara damgalanan plastik metal kapakları kaplar, plastik şişeler ve kaynaklanan metal ızgaralar, hoparlör ünitelerinin önü gibi alanlar ilave edilebilir. Bu alanda, implant kaynak yapılmış nesnenin bir parçasına sahiptir. İndüksiyon kaynağının veriminin yönlendirildiği özelliklerden bir tanesi de implantın manyetik geçirgenliğidir. Eğer yüksek bir geçirgenliğe sahipse, ısınma çok hızlı olur. Örneğin; ferromanyetik.

	ABS	Acetal	Acrylic	Nylon	PC	PE	PP	PS	PVC	SAN
ABS	X		X				X	X		
Acetal		X								
Acrylic	X		X				X	X		
Nylon				X						
Polycarbonate					X					
Polyethylene						X				
Polypropylene							X			
Polystyrene	X		X					X	X	
Polyvinyl chloride	X		X					X	X	
SAN										X

Çizelge2.7 Elktromagnetik birleştirmeye uyumlu plastik kombinasyonları

Bu kaynak prosesi ısıtma elemanın parçaya temas etmediği tek prosestir. Bobinden geçen akımın yardımıyla oluşan ısı, kaynak çizgisi boyunca etkili olur.



Şekil 2.24 Yukarıdaki proseste indüksiyon kaynağı prosesi şematik olarak gösterilmiştir.

İş parçasıyla bobin arasında oluşan ısı geçen akımla orantılı olduğundan elektrik akımıyla ilgili olan formüllerle aradaki ilişkiyi açıklayabiliriz;

Iw = Nc.Ic (W:iş parçası,C:bobini simgeler)

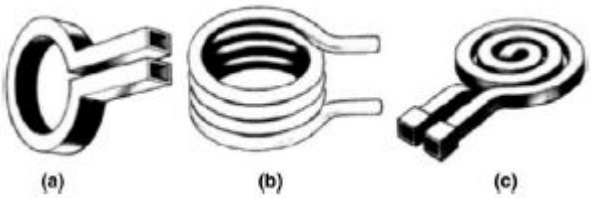
N:sarım sayısı

İş parçası üzerinde oluşan toplam enerji;

$E_w=P_w.t=I_w^2.R_w.t=Nc^2.I_c^2.R_w.t$ olur.

Gerçekte bu ifadede kayıplar oluşur bunun en büyük sebebi kaynak prosesinin hava ortamında gerçekleştirilmesidir.

İndüksiyon bobini iş parçalarına oldukça yakın olmalıdır. Bunun nedeni akımın yoğunluğunun mesafe arttıkça azalmasıdır. Bu da oluşacak ısıda kayba sebep olmaktadır. Kaynak zamanını da etkileyen bu faktörün dikkate alınması gerekmektedir. İndüksiyon kaynağında bobinin şekli de kaynak parametrelerini etkileyen önemli bir faktördür. Bobinin sarım şekli elektrik akımının oluşumunu elektromagnetizmanın şeklini tayin eder. Bu da farklı şekilde ısı alanları oluşumu demektir.Şekilleri değiştirerek kaynak edilecek parçanın geometrisine göre istenilen bölgede ısının oluşmasını sağlayabiliriz.[Ageorges,2000]

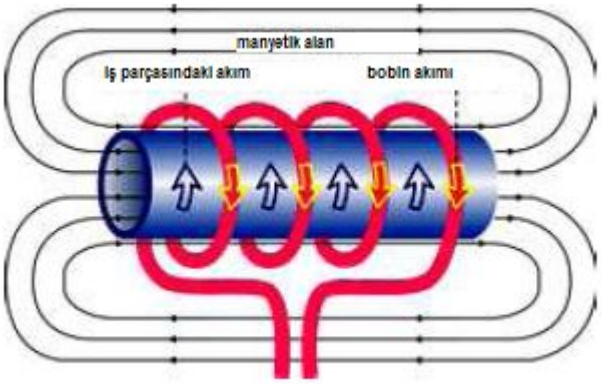


a) Tek sarımlı bobin

b) Selenoid sarımlı bobin

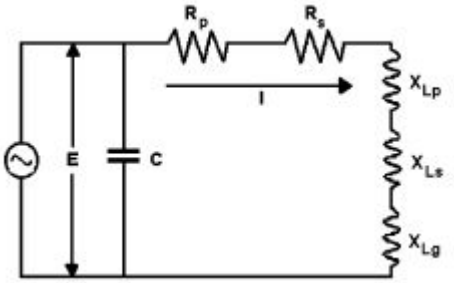
c) Pankek sarımlı bobin

Selenoid bir bobin yardımıyla oluşturulan ve boru profilli parçaların kaynağına örnek gösterilecek indüksiyon kaynağı prosesi aşağıda şematik olarak gösterilmiştir;



Şekil 2.25 Boru profilli bir parçanın indüksiyon kaynağındaki akım dağılımı

Bu proseste gerçekleşen elektrik akımı devre şeması şematik olarak şekilde gösterilmiştir;

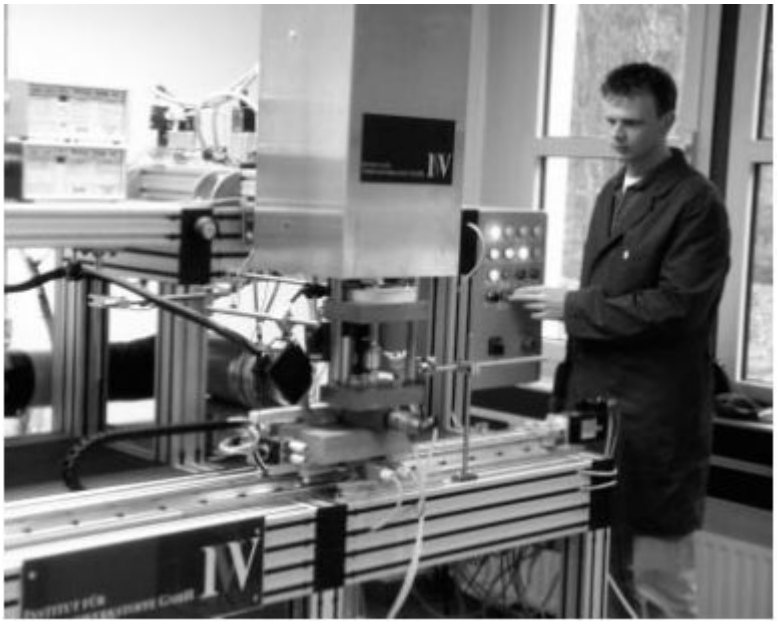


Şekil 2.26 İndüksiyon kaynağı devre şeması

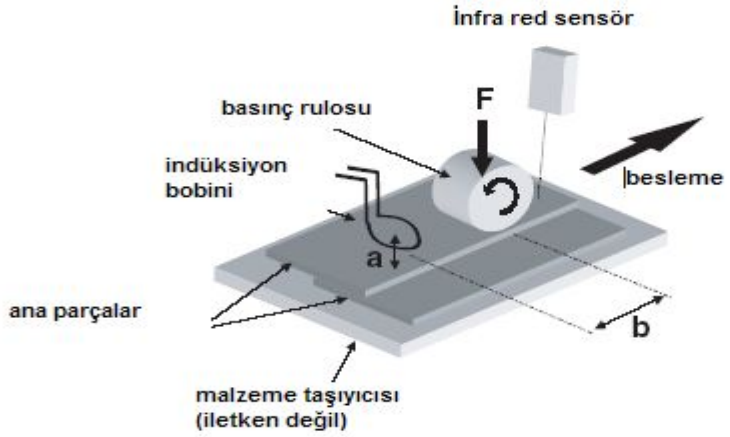
R_p :Bobinin direnci,

R_s :iş parçasında oluşan direnç,

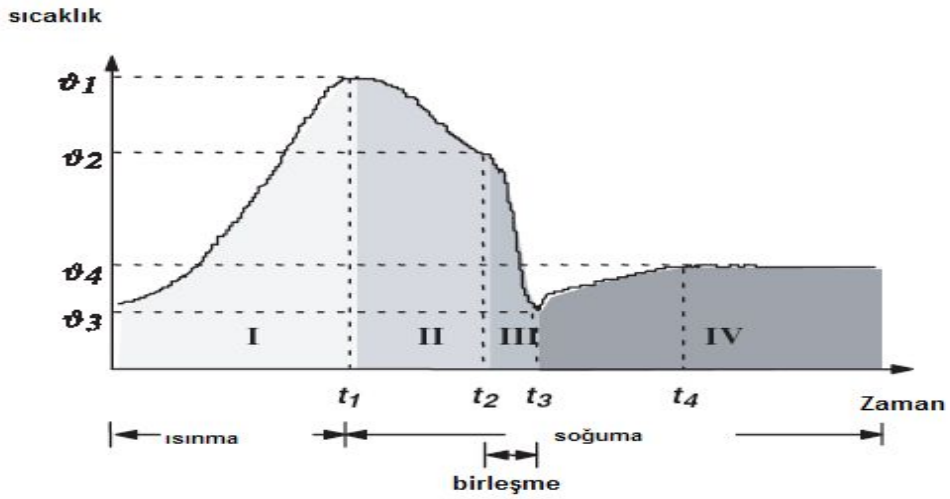
İndüksiyon kaynağının en büyük avantajı bobinin hareket ettirilmesiyle sürekli bir kaynak prosesi gerçekleştirmemiz mümkündür. Bobinin geçtiği bölgeden hemen sonra bir hadde rulosu geçerek birleştirme işlemini tamamlamaktadır.Örnek proses aşağıda gösterilmiştir;



Şekil 2.27 Sürekli indüksiyon kaynağı prosesi örneği



Şekil 2.28 Sürekli indüksiyon kaynağı prosesi şematik gösterimi



Şekil 2.29 Sürekli indüksiyon kaynağı sıcaklık-zaman grafiği

Devamlı indüksiyon kaynağı prosesinde ısı-zaman arasındaki ilişki yukardaki grafikte gösterilmiştir.

I- Bu bölgede bobin parçanın erime sıcaklığının üstünde bir sıcaklığa ulaşır. Baskı rulosunun hareketini tamamlamasına kadar sıcaklık artışı devam eder.

II- Baskı rulosunun hareketiyle beraber iş parçasındaki kaynak bölgesi soğumaya başlar. Buradaki ısı kaybı iletimle ısı geçişiyle havaya ve ruloya doğru olur.

III- Basıncın tam olarak gerçekleştiği, yani baskı rulosunun uniform bir kaynak bölgesi meydana getirdiği anda sıcaklık oldukça düşer ve ısının büyük çoğunluğu baskı rulosuna aktırılır.

IV- Birleştirme işlemi gerçekleştikten sonra ve baskı rulosuna hareketine devam etmeye başladığında sıcaklık bir miktar yükselir. Soğuma sıcaklığına kadar bu olay devam eder.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada takviyeli ve takviyesiz PP ile takviyesiz PVC malzemelerin indüksiyon kaynağı yöntemiyle birleştirilmeleri araştırılmıştır. Ayrıca PP ve PVC malzemeleri arasında ısıl birleştirmenin mümkün olup olmadığı gözlemlenmiştir. Kaynak kabiliyetini ölçmek için kaynaklanmış parçalara çekme ve sürünme deneyleri uygulanmıştır. Bu çalışmada, RÖCHLİNG firması tarafından üretilmiş takviye elemanı kullanılmayan PP ve PVC levhalardan çıkarılan ve UMIST (Polymer Engineering Department) tarafından üretilen, Novolen 2300LC (PP-PE kopolimer)+Arpilen (kısa elyaf yüklü granül) 3%, Novolen 1100L+Novolen 2300LC+ (uzun elyaf-2) 4% termoplastik levhalardan elde edilen standartlara uygun numuneler ile enjeksiyonla üretilmiş PP-EPDM (sırasıyla oranları 82%,16%)+2% (SiO_2), PP-EPDM (sırasıyla oranları 82%,15%)+3%(SiO_2), PP-EPDM (sırasıyla oranları 82%,11%)+3%(SiO_2)+ 4%(odun tozu) numuneleri kullanılmıştır. İndüksiyon akımı yaratacak bir rezistans ve çeşitli ısı üreticileri yardımıyla malzemelere kaynak birleştirme yöntemi uygulanmıştır. Elde edilen kaynaklı numuneler çekme deneyine ve sürünme deneyine tabi tutuldu.Bazı numunelerin ise sadece kaynak edilip edilemediği incelendi.

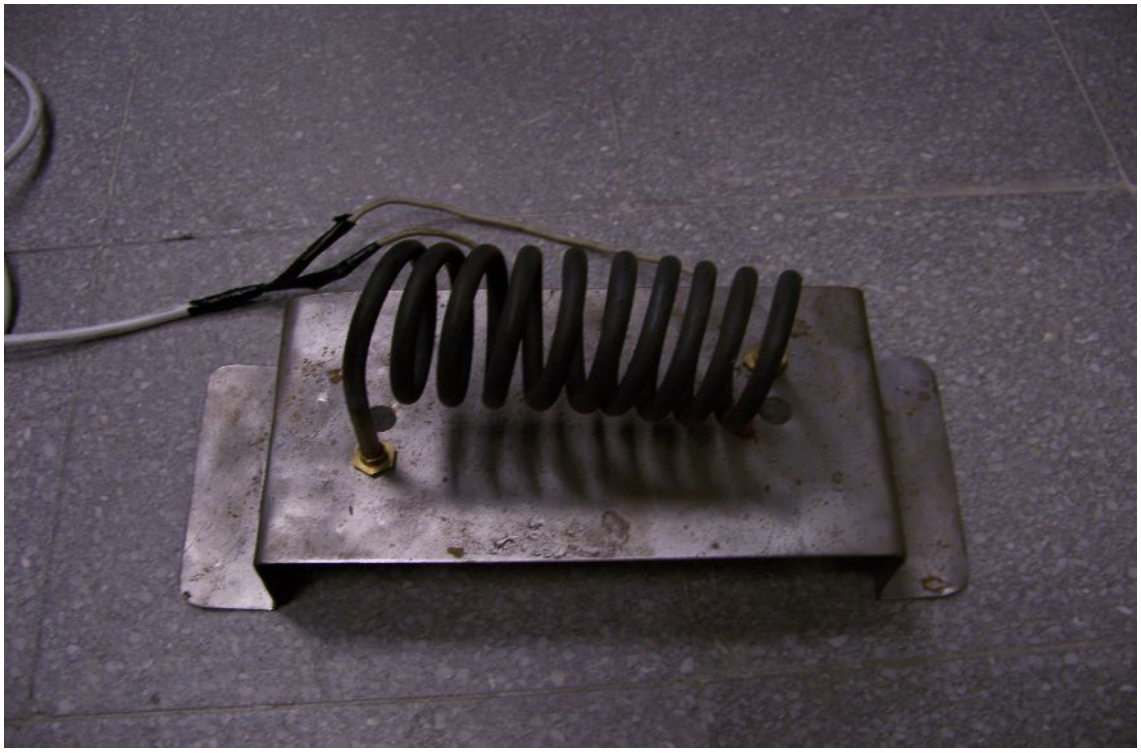
3.1 Deneylerde Kullanılan Cihazlar

Bu çalışmada standartlara uygun elde edilmiş numunelerin alın kaynağı, standart ölçü oluşturacak şekilde üst üste bindirme kaynağı işlemleri yapılmıştır. Daha sonra bu numunelere çekme deneyi ve sürünme deneyi yapılmıştır.Prosesler sırasında kullanılan cihazlardan sırasıyla bahsedilecektir.

3.1.1 İndüksiyon Kaynağı İçin Kullanılan Rezistans Ve El Havyası

Kaynak yapılacak olan takviyeli ve takviyesiz termoplastik parçaların kaynaklanması için 6 cm iç çapa sahip 25 cm uzunluğu olan sarımlı rezistans kullanılmıştır. 2 kW'lık gücü olan bu rezistansın hem dış yüzeyinde hem de iç yüzeyinde numuneler birleştirilebilmektedir. Tam güç çalıştığında rezistanstan yaklaşık

300 ^{o}C ‘ye kadar ısı elde edilebiliyor. Sıcaklık kontrolü manuel yapılmaktadır.Lazerli termometreyle sıcaklıklar kontrol edildi.Uygun sıcaklığa ulaşılınca elektrik akımı kesildi.



Şekil 3.1 Sarmal rezistans yan görünüş



Şekil 3.2 Sarmal rezistans ön görünüş

Yapılan çalışmalarda sıcak birleştirme için el havyası da kullanılmıştır. Standart ölçülü bazı numunelerin alın kaynağı ve üst üste bindirme kaynağında el havyası kullanılarak birleştirme yapılmıştır.



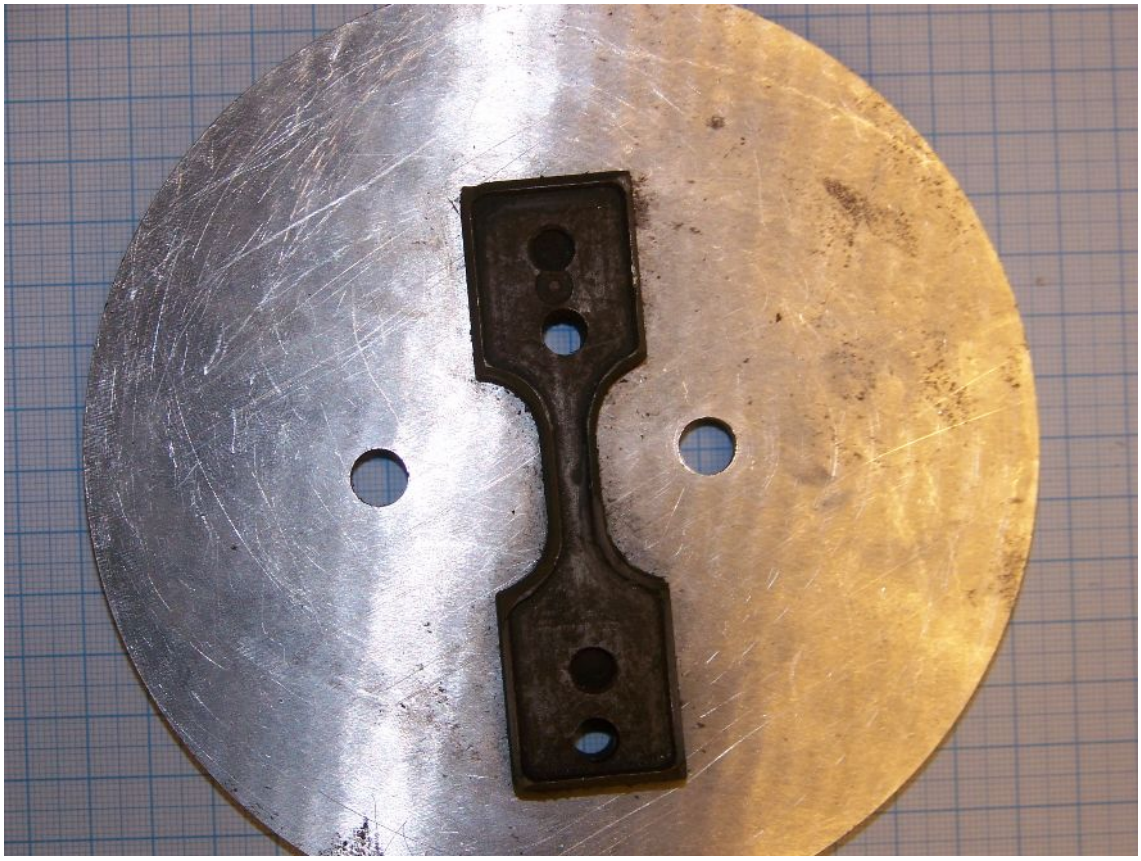
Şekil 3.3 El havyası ön görünüş



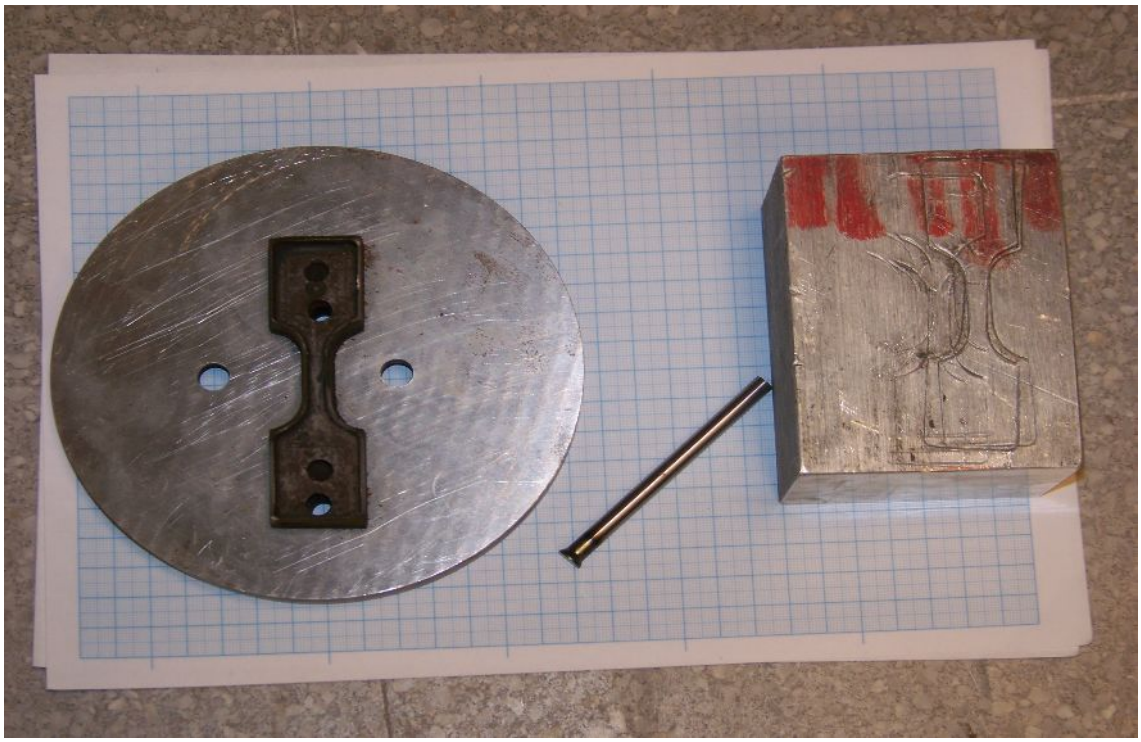
Şekil 3.4 El havyası yan görünüş

3.1.2 Numune Elde Etmek İçin Kullanılan Kalıp Ve Plastik Plakalar

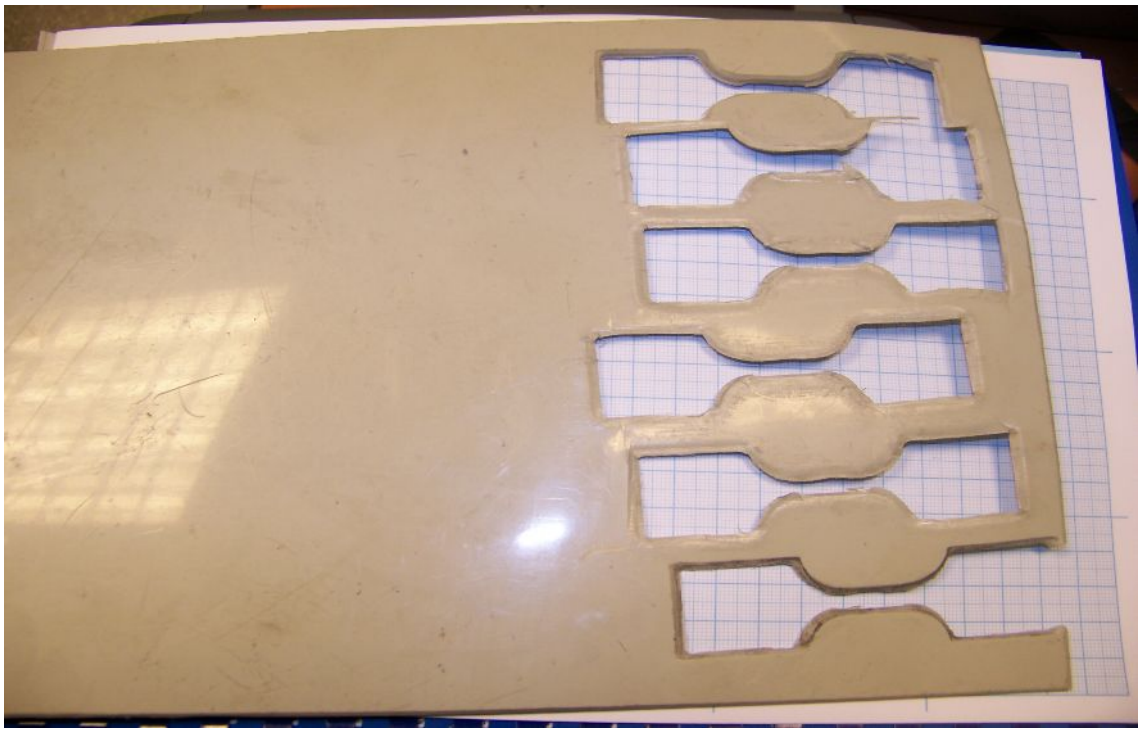
Küçük ölçülü standart numuneleri çıkarmak için kullanılan kalıplar aşağıda gösterilmiştir. Standart ölçülere göre hazırlanan kesme kalıbı plastik plakalardan istenilen ölçüde numune elde etmek için pres yardımıyla kullanılmıştır. Numune çıkarılacak plastik plakalar kalıbın üzerine yerleştirilip presle uygun yük uygulanmıştır. Daha sonra itici pimler yardımıyla kesilen numune kalıp dışına alınmıştır.



Şekil 3.5 Kesme kalıbı



Şekil 3.6 Kesme kalıbı ve itici



Şekil 3.7 Kesme kalıbının kullanıldığı plakalara örnek

3.2 Deneyler

3.2.1 Çekme Deneyi

Çekme deneyi malzemelerin mukavemeti hakkında tasarım bilgilerini belirlemek ve malzemelerin özelliklerine göre sınıflandırılmasını sağlamak amacı ile geniş çapta kullanılır. Çekme deneyi standartlara göre hazırlanmış deney numunesinin tek eksende, sabit kabul edilebilecek bir hızla ve sabit sıcaklıkta koparılıncaya kadar çekilmesidir. Deney sırasında, standart numuneye devamlı olarak artan çekme kuvveti uygulandığında, aynı zamanda da numunenin uzaması kaydedilir.

Çekme deneyi sonucunda numunenin temsil ettiği malzemeye ait aşağıdaki özellikler bulunabilir.

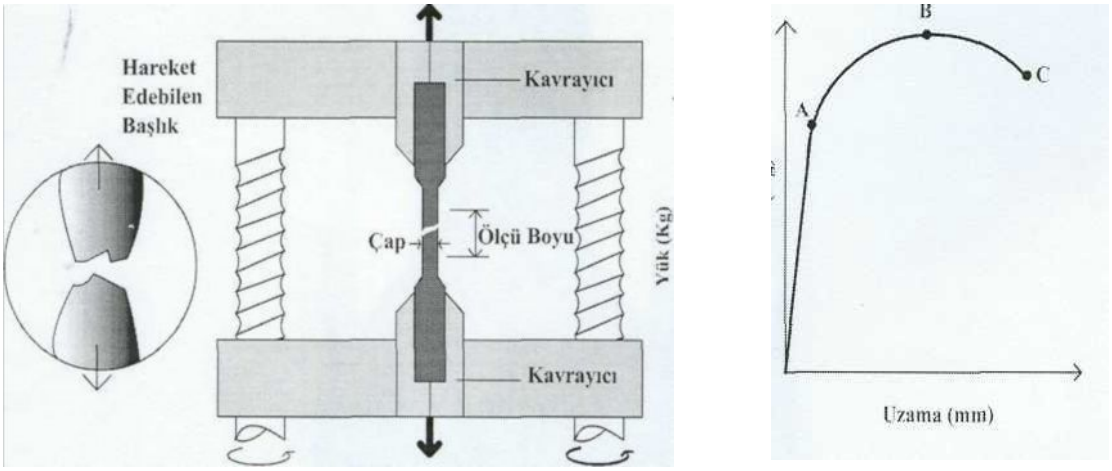
a. Elastisite Modülü e. Çekme Dayanımı

b. Elastik Sınırı
c. Elastikiyet
d. Akma Dayanımı
f. Tokluk
g. % Uzama
h. Kesit Daralması

Yapılan çalışmada çekme deneyinde kullanılmak üzere ekstrüzyonla elde edilmiş plastik plakalardan kalıp yardımıyla çıkarılan ve ya enjeksiyonla elde edilmiş standart ölçülere sahip numuneler elde edilmiştir.

Kaynakla birleştirme işlemi bittikten sonra çekme deneyi yapılmak üzere çekme deney cihazına numuneler yerleştirilir. Bundan sonra malzeme cinsine bağlı olmak üzere nümerik kontrollü deney cihazına gerekli parametreler yüklenir.

Malzemenin çekilirken belirlenen sabit hız değeri, malzemeden malzemeye değişen bir değerdir. Numune iki ucundan özel çekme test cihazının çenelerine bağlanıp, gittikçe artan bir yükle kopuncaya kadar çekilir. Bu esnada uygulanan F yükü ile buna karşı malzemenin gösterdiği uzama ölçülür. Deney sonucu elde edilen yük (F) ve uzama (ΔL) değerlerinden yararlanarak (F–ΔL) diyagramı elde edilir. Bu diyagrama çekme diyagramı da denir. [Savaşçı Ö.T. vd. , 2002]



Şekil 3.8 Çekme deneyine ait şematik bir gösterim.

3.2.1.1Çekme Deney Cihazı

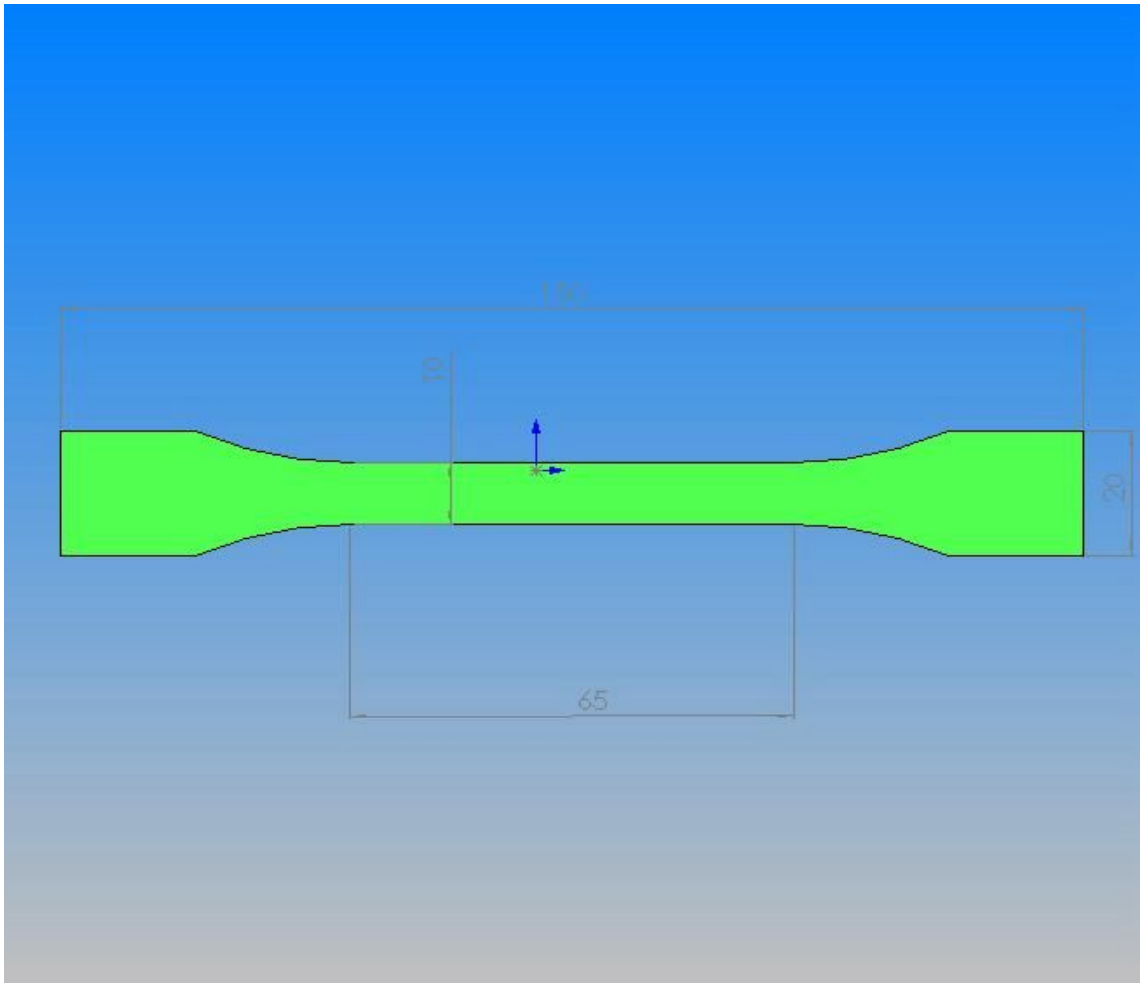
Çekme deneyi için INSTRON 8501 cinsi nümerik kontrollü cihaz kullanılmıştır. Numuneler çeneler arasına bağlanıp gerekli parametreler girildikten sonra sabit çekme hızıyla deney tamamlanmıştır.



Şekil 3.9 Instron 8501

3.2.1.2 Çekme Deney Numunesi

Bu çalışmada her bir çekme numunesinin çekmeye maruz bırakılan kesit alanları belirlenmiş ve çekme deneyi sırasındaki oluşan maksimum yük tespit edilmiştir. Daha sonra maksimum yükün ilk kesit alanına bölünmesiyle maksimum çekme dayanımı değeri bulunmuştur. Numuneler ISO standartlarına uygun biçimde enjeksiyon yöntemiyle elde edilmiştir. Daha sonra kaynakla birleştirme işlemi yapılarak teste tabi tutulmuştur.



Şekil 3.10 Çekme numunesine ait bir illüstrasyon.

3.2.2 Sürünme Deneyi

Plastiklerin ergime sıcaklıkları metal ve diğer malzemelere göre düşük olduğundan dolayı sıcaklıktan etkilenmeleri fazladır. Malzemelerde sıcaklığa bağlı olarak elastik yükleme bölgesi altında zamanla hasar meydana gelir. Buna sürünme(sünme) hasarı denir. Plastiklerde sürünme, gerilme ve sıcaklık etkisi altında polimer zincirlerinin açılması ve birbirine oranla konum değiştirmesiyle meydana gelir. Sürünme oranı, polimer malzemeler içinde gerilme ve sıcaklık değerleriyle son derece yakından ilişkilidir.

ε ; t süresi sonunda çekme sürünme gerinmesi, σ; Sürünme Gerilmesi, ε_o; Yükleme anında oluşan başlangıç gerinmesi, B, m, k; polimer malzeme için verilen sabitler olmak üzere;

$$\varepsilon = \varepsilon_o + B \cdot \sigma^m \cdot t^k \quad (1)$$

Başlangıç gerinmesi sürünme gerilmesinin polimer malzemenin çekme modülüne bölünmesi ile elde edilebilir. Birçok polimer malzeme için başlangıç gerinmesi çok küçüktür ve ihmal edilebilir. Bu durumda denklem;

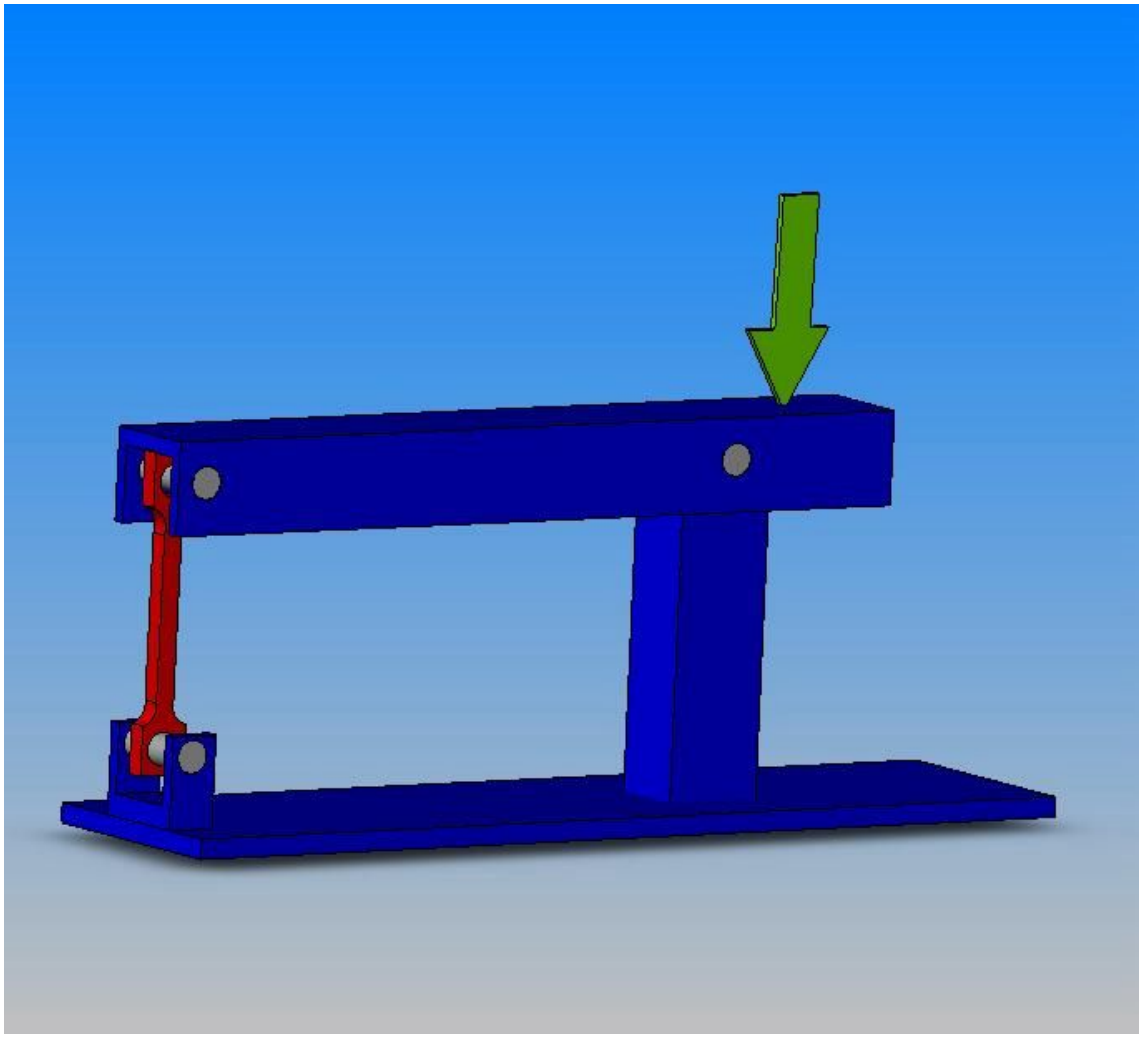
$$\varepsilon = B \cdot \sigma^m \cdot t^k \quad (2)$$

halini alır.[Eksi,2007]

Çalışmalar sırasında alın kaynağı yapılmış ve ya üst üste bindirme kaynağı yapılmış parçaların sürünme kabiliyeti ölçüldü.

3.2.2.1 Sürünme Deney Cihazı

Sürünme deneyi için SM 106 MK II sürünme aparatı kullanılmıştır. Kaldıraç sistemine dayanan bu cihazın bir ucuna numuneler bağlanır diğer ucuna ağırlık takılarak kuvvet uygulanması sağlanır. Ekstansometre yardımıyla zamana bağlı olarak numune boyundaki değişimler ölçülür.



Şekil 3.11 Şematik olarak sürünme deney cihazı.

Bu deney cihazında kaldıraç kolunun oranı 8'dir ve ağırlığı 0.4 kg'dır. Askı tertibatının ağırlığı 0.16 kg, pim numune ve diğer bağlantı parçalarının toplam ağırlığı ise 0.04 kgdır. Eğer askı tertibatına m kütlesi ilave edilirse, g; yerçekimi ivmesi olmak üzere,

F= (2.96 + 8.m).g [Newtons] ifadesiyle numune üzerine gelen kuvvet rahatlıkla hesaplanabilir. Numunede oluşan uzama miktarı bir kompratör yardımıyla ölçülmektedir. Geometriden dolayı, kompratörün hareketli ucu destek noktalarından itibaren, numunenin bağlandığı uca göre bir kat daha uzak bir mesafede olduğundan kompratörde ölçülen bir değer gerçek uzama miktarının iki katıdır.[Eksi,2007]

3.2.2.2 Sürünme Deney Numunesi

Sürünme deneyi için numuneler iki yöntemle elde edilmiştir. Kesme kalıbı yardımıyla çıkarılan numuneler kaynakla birleştirme yönteminden sonra sürünme deneyine tabi tutulmuştur.Plastik esaslı kompozit numuneler ise sıcak kesme ya da talaşlı şekil verme ile elde edilmiştir.

4. DENEY SONUÇLARI

4.1 Çekme Deney Sonuçları

Kaynak süresi (yaklaşık 1 dakika) ve kaynak basıncı bütün numuneler için aynıdır.

Çizelge 4.1.1 Takviyesiz PP-PP Alın Kaynağı Çekme Deneyi Sonuçları

I. NUMUNE Takviyesiz PP-PP alın kaynağı 170 ^{o}C	• Maksimum çekme dayanımı:18.5 MPa
II. NUMUNE Takviyesiz PP-PP alın kaynağı 200 ^{o}C	• Maksimum çekme dayanımı: 19.2 MPa
III. NUMUNE Takviyesiz PP-PP alın kaynağı 250 ^{o}C	• Maksimum çekme dayanımı: 19.8 MPa

Çizelge 4.1.2 Takviyeli PP-PP Alın Kaynağı Çekme Deneyi Sonuçları

I. NUMUNE Takviyeli(PP%82-EPDM%15 ve %3 SiO_2) PP-PP alın kaynağı 200 ^{o}C	• Maksimum çekme dayanımı:27.3 MPa
II. NUMUNE Takviyeli(PP%82-EPDM%16-SiO_2%2) PP-PP alın kaynağı 200 ^{o}C	• Maksimum çekme dayanımı: 18.8 MPa
III. NUMUNE Takviyeli (PP%82-EPDM%11-SiO_2%3 ve %4 odun tozu takviyeli)PP-PP alın kaynağı 200 ^{o}C	• Maksimum çekme dayanımı: 23.3 MPa

Çizelge 4.13 Takviyesiz PP-PP Bindirme Kaynağı Çekme Deneyi Sonuçları

I. NUMUNE Takviyesiz PP-PP bindirme kaynağı 170 ^{o}C	• Maksimum çekme dayanımı:23.7 MPa
II. NUMUNE Takviyesiz PP-PP bindirme kaynağı 200 ^{o}C	• Maksimum çekme dayanımı: 26.0 MPa
III. NUMUNE Takviyesiz PP-PP bindirme kaynağı 250 ^{o}C	• Maksimum çekme dayanımı: 27.8 MPa

Çizelge 4.1.4 Takviyeli PP-PP Bindirme Kaynağı Çekme Deneyi Sonuçları

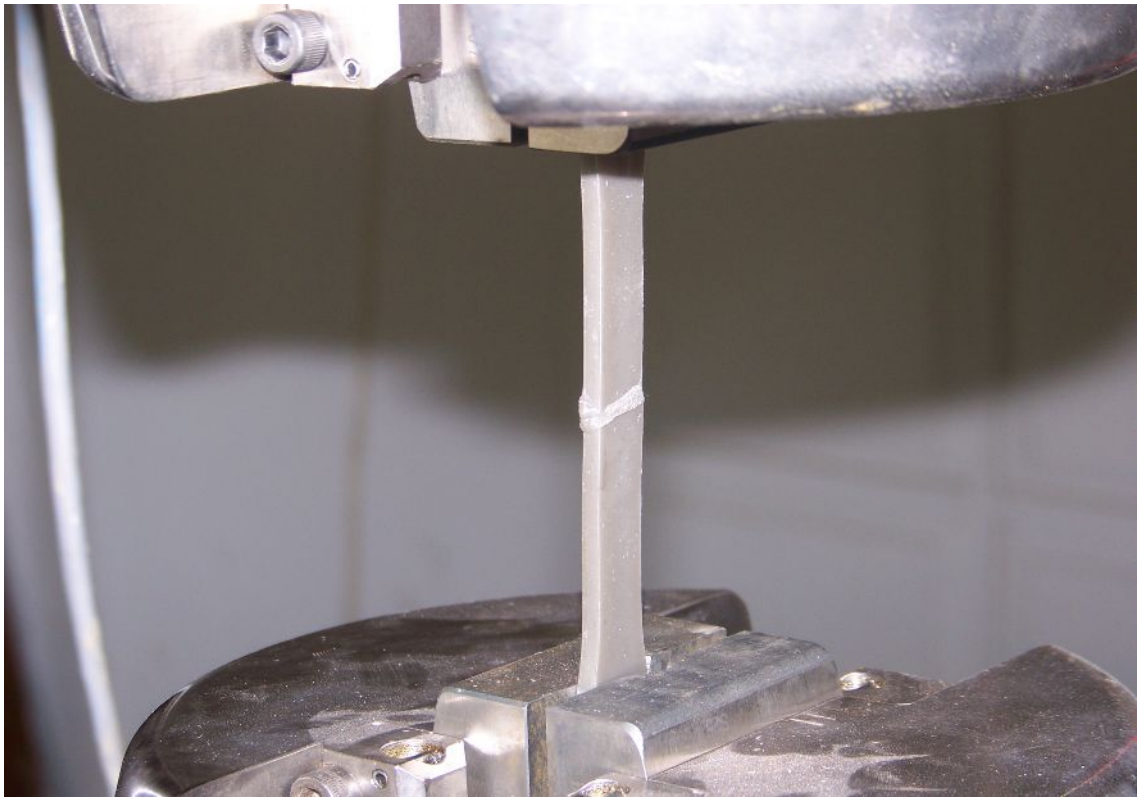
I. NUMUNE Takviyeli(Novolen 2300LC(PP-PE kopolimer)+Arpilen(kısa elyaf yüklü granül) 3% PP-PP bindirme kaynağı 170 ^{o}C	• Maksimum çekme dayanımı:17.4 MPa
II. NUMUNE Takviyeli(Novolen 2300LC(PP-PE kopolimer)+Arpilen(kısa elyaf yüklü granül) 3% PP-PP bindirme kaynağı 200 ^{o}C	• Maksimum çekme dayanımı:18.6 MPa
III. NUMUNE Takviyeli(Novolen 2300LC(PP-PE kopolimer)+Arpilen(kısa elyaf yüklü granül) 3% PP-PP bindirme kaynağı 250 ^{o}C	• Maksimum çekme dayanımı:18.7 MPa

Çizelge 4.1.5 Takviyesiz PVC-PVC Bindirme Kaynağı Çekme Deneyi Sonuçları

I. NUMUNE Takviyesiz PVC-PVC bindirme kaynağı 170 ^{o}C	• Maksimum çekme dayanımı:24.6 MPa
II. NUMUNE Takviyesiz PVC-PVC bindirme kaynağı 200 ^{o}C	• Maksimum çekme dayanımı: 25.0MPa

Çizelge 4.1.6 Takviyesiz PP-PVC Bindirme Kaynağı

I. NUMUNE Takviyesiz PP-PVC bindirme kaynağı 170 ^{o}C	• Kaynak başarısız
II. NUMUNE Takviyesiz PP-PVC bindirme kaynağı 200 ^{o}C	• Kaynak başarısız
III. NUMUNE Takviyesiz PP (220 ^{o}C)-PVC(170 ^{o}C) bindirme kaynağı	• Kaynak başarılı.Dayanım zayıf.Max. Çekme Dayanımı 5.3 MPa
IV. NUMUNE Takviyesiz PP(220 ^{o}C)-PVC(170 ^{o}C) bindirme kaynağı Ara Bağlayıcı Malzeme PE film	• Kaynak başarılı.Dayanım iyi.Max. Çekme Dayanımı 28.4 MPa
V. NUMUNE Takviyesiz PVC(170 ^{o}C)-Takviyeli(Novolen 2300LC(PP-PE kopolimer)+Arpilen(kısa elyaf yüklü granül) 3% PP(220 ^{o}C)	• Kaynak başarısız.



Şekil 4.1.1 Takviyesiz PP-PP Alın Kaynağı



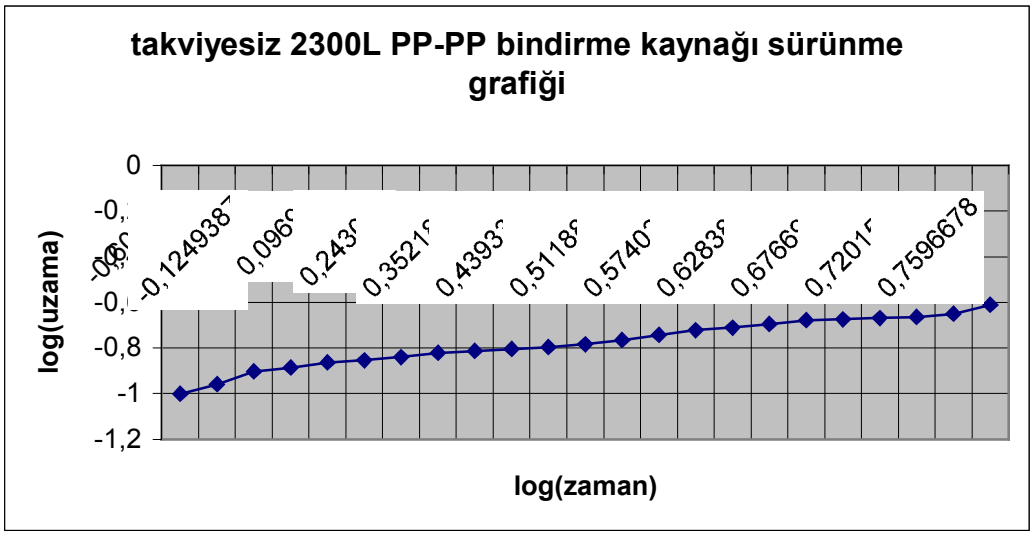
Şekil 4.1.2 Takviyeli PP-PP Alın Kaynağı



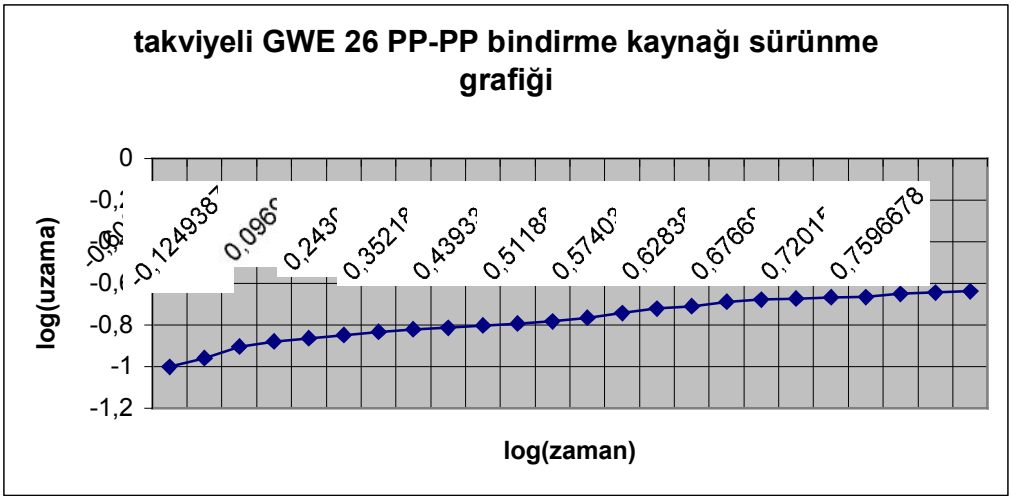
Şekil 4.1.3 Takviyesiz PP-PP Bindirme Kaynağı

4.2 Sürünme Deney Sonuçları

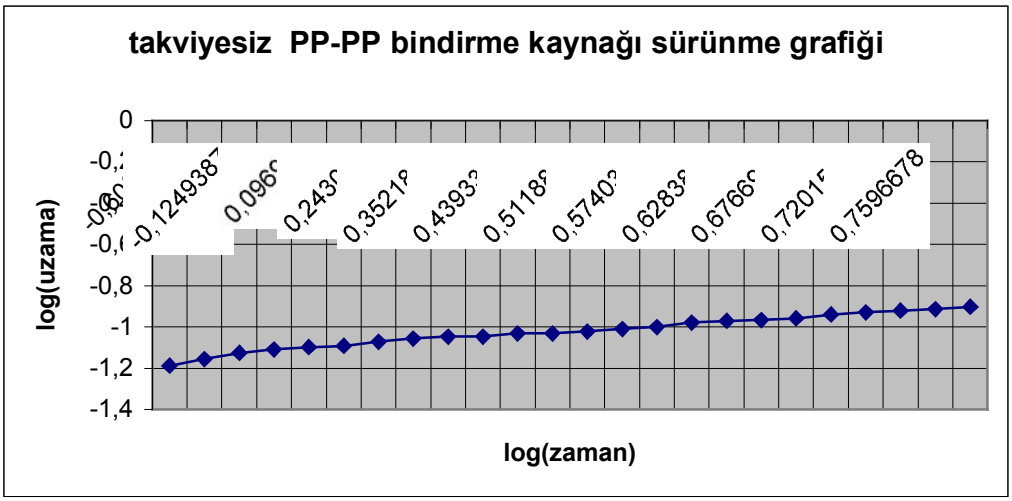
Alın kaynağı ve üst üste bindirme kaynağı yapılmış numuneler sürünme deneyine tabi tutulmuşlardır. Kaynak süresi (yaklaşık 1 dakika) ve kaynak basıncı bütün numuneler için aynıdır.



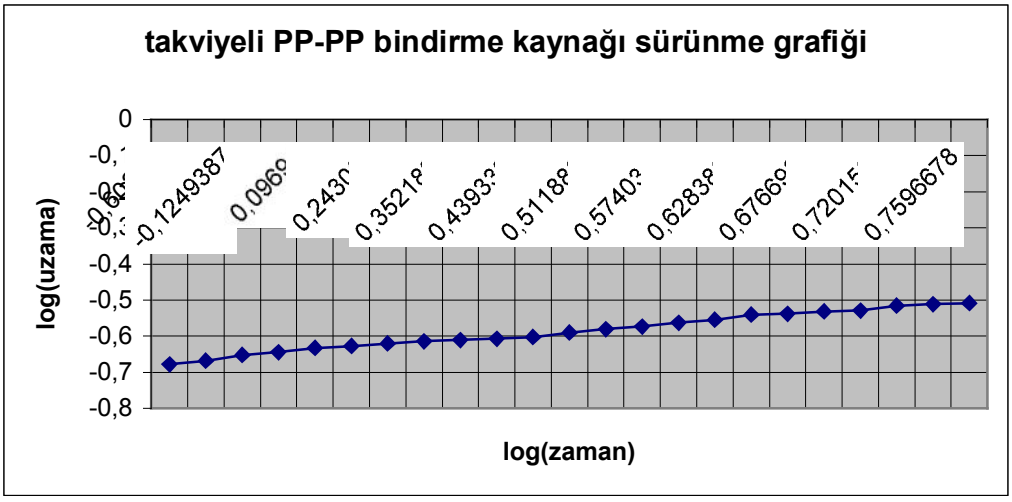
Şekil 4.2.1 Takviyesiz PP-PP Bindirme Kaynağı Sürünme grafiği,gerçek uzama miktarı:0,051mm



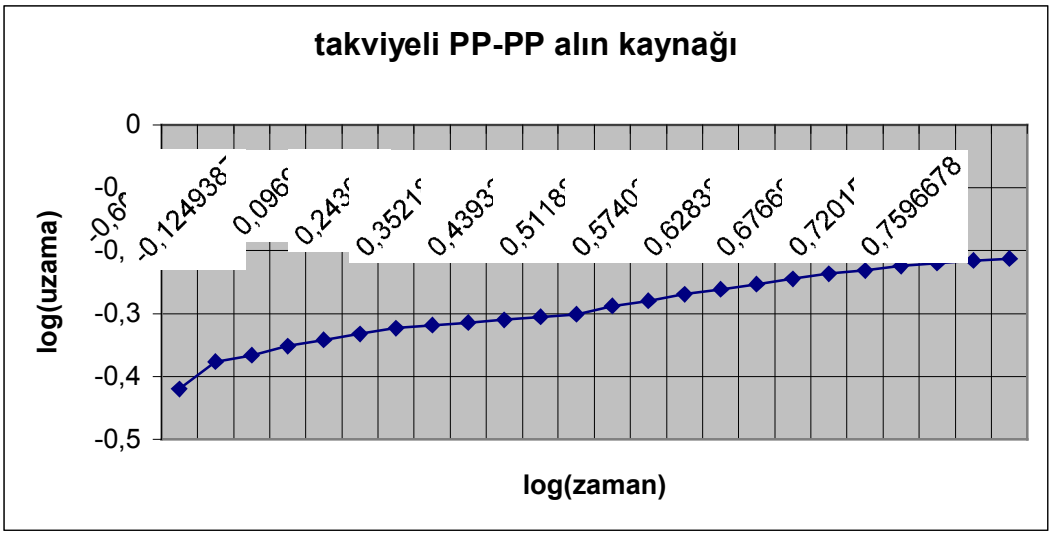
Şekil 4.2.2 Takviyeli GWE 26 PP-PP Bindirme Kaynağı Sürünme grafiği, gerçek uzama miktarı:0,031mm



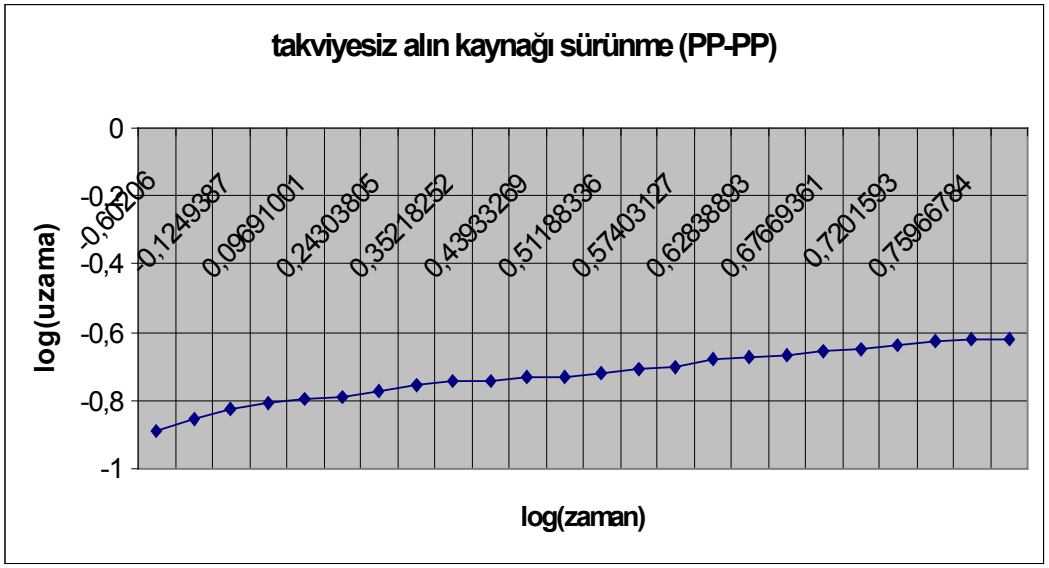
Şekil 4.2.3 Takviyesiz PP-PP Bindirme Kaynağı Sürünme Grafiği, gerçek uzama miktarı:0,025mm



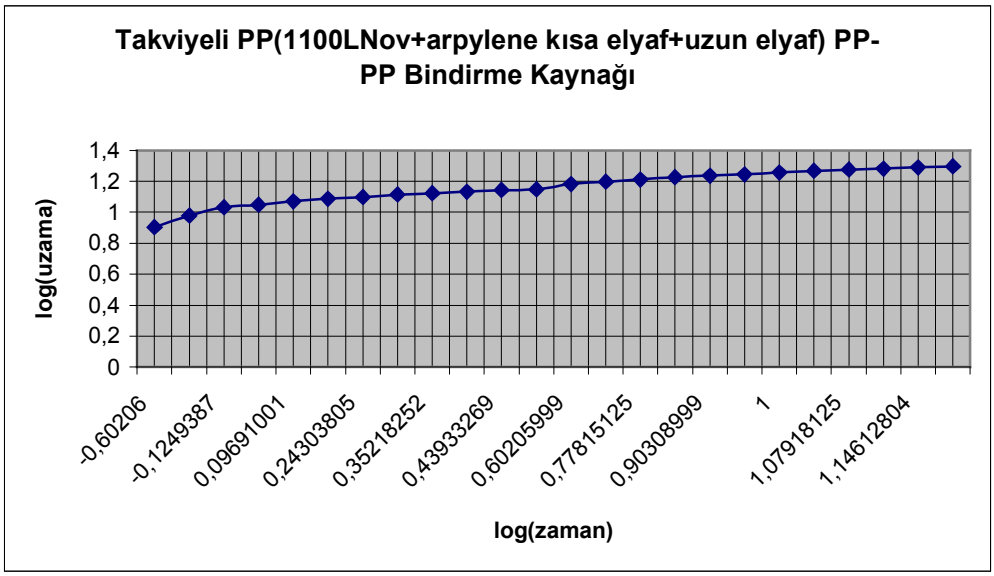
Şekil 4.2.4 Takviyeli GWE 26 PP-PP Bindirme Kaynağı Sürünme Grafiği gerçek uzama miktarı:0,006mm



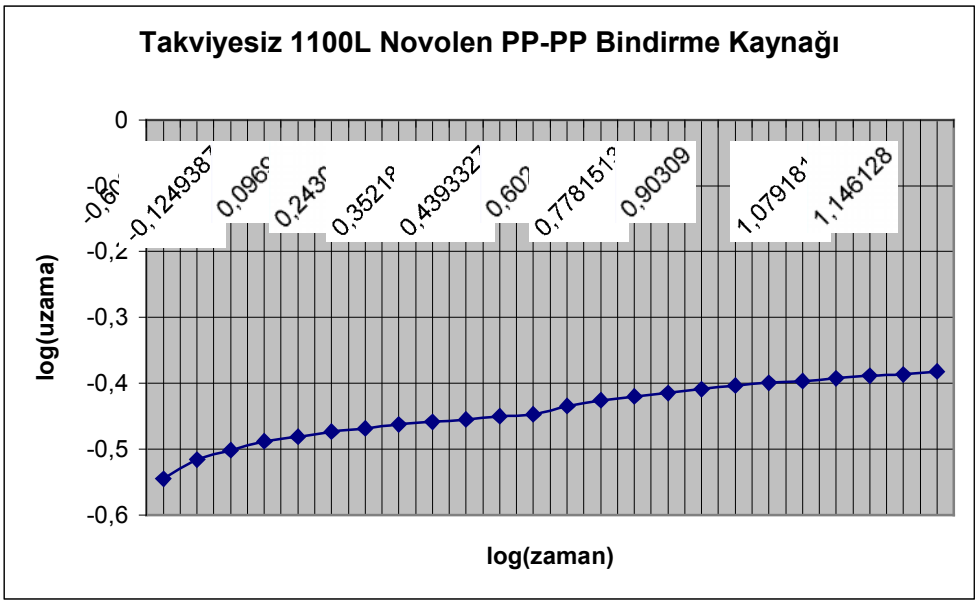
Şekil 4.2.5 Takviyeli GWE 26 PP-PP Alın Kaynağı Sürünme grafiği gerçek uzama miktarı:0,012mm



Şekil 4.2.6 Takviyesiz PP-PP Alın Kaynağı Sürünme Grafiği gerçek uzama miktarı:0,048mm



Şekil 4.2.7 Takviyeli PP(1100LNov+arpylene kısa elyaf+uzun elyaf) PP-PP Bindirme Kaynağı Sürünme Grafiği gerçek uzama değeri:0,018 mm



Şekil 4.2.8 Takviyesiz 1100 L Nov. PP-PP Bindirme Kaynağı Sürünme Grafiği gerçek uzama değeri:0,039 mm

TARTIŞMA

Bu çalışmada çeşitli takviye elemanları (cam elyaf, ağaç tozu ve inorganik maddeler) ile güçlendirilmiş plastikler ile takviyesiz plastik malzemelerin ısıl birleştirme yöntemleri incelenmiş ve bu yöntemler arasından "indüksiyon ile birleştirme" yöntemi kullanılarak birleştirilmiş plastiklerin çekme ve sürünme dayanımlarındaki değişimler araştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda takviyesiz PP levhalardan hazırlanan numunelerin indüksiyonla yapılan alın kaynağında sadece sıcaklık değiştirilmiş diğer parametreler sabit tutulmuştur.170 ^{o}C için maksimum çekme dayanımı 18,5 MPa olurken, 200 ^{o}C için 19,2 MPa , 250 ^{o}C için 19,8 MPa olduğu gözlemlenmiştir.Takviyesiz malzemeler için yapılan alın kaynağı işleminde sıcaklığın artmasıyla beraber çekme dayanımlarında artma görülmüştür.

Takviye elemanı içeren numunelerin alın kaynağında sıcaklık 200^{o}C de sabit tutulup takviye malzemesinin değişiminin kaynaklı parçaların maksimum çekme dayanımına etkileri gözlemlenmiştir.200^{o}C'de yapılan alın kaynağında takviyeli (PP%82-EPDM%15 ve %3 SiO_2) PP malzemenin maksimum çekme dayanımı 27,3 MPa, takviyeli (PP%82-EPDM%16-SiO_2%2) PP malzemenin maksimum çekme dayanımı 18,8 MPa, takviyeli (PP%82-EPDM%11- SiO_2%3 ve %4 odun tozu takviyeli) PP malzemenin maksimum çekme dayanımı 23,3 MPa olduğu gözlemlenmiştir. SiO_2 oranının artışı maksimum çekme dayanımında artışa sebep olduğu EPDM oranı düşük olmasına rağmen odun tozu takviyesinin de maksimum çekme dayanımında göreceli bir artış yarattığı tespit edilmiştir.

Takviye elemanı içermeyen PP numunelerin üst üste bindirme tekniğiyle birleştirilerek indüksiyonda yapılan kaynağında sıcaklıklar değiştirilip diğer parametreler sabit tutuldu. Bu numunelerin çekme deneyi sonunda maksimum çekme dayanımı 170^{o}C için 23,7 MPa, 200 ^{o}C için 26 MPa, 250 ^{o}C için 27,8 MPa olduğu tespit edildi. Bir başka termoplastik olan PVC için yapılan aynı deneyde maksimum çekme dayanımı 170^{o}C için 24,6 MPa, 200 ^{o}C için 25 MPa olarak elde edilmiştir.Bu deney sonuçlarına göre kaynak tekniği farklı olarak birleştirilen PP ve PVC numunelerde sıcaklık artışıyla beraber kaynak sonrası çekme dayanımlarında artış olduğu görülmüştür.

İndüksiyonla sıcak birleştirme yöntemiyle iki farklı termoplastik olan PP ve PVC'nin kaynak edilebilme kabiliyetleri de incelenmiştir. Aynı sıcaklıklarda yapılan birleştirme işlemlerinde yapılan kaynak başarısız olmuştur. PP ve PVC kaynağında 170 ve 200 ^{o}C' lerde üst üste bindirme kaynağı yapılmaya çalışılmış fakat sonuç alınamamıştır.Bunu takiben kaynak parametreleri tekrar gözden geçirildi ve PP ve PVC için uygun sıcaklıklar tespit edildikten sonra birleştirme işlemi tekrar yapıldı.PVC 170^{o}C civarında PP ise 200^{o}C civarında iken birleştirme işlemi yapıldı.Kaynak başarılı sonuç verdi fakat yapılan çekme testi sonucunda maksimum çekme dayanımı 5,3 MPa olarak tespit edildi.Aynı işlem yine aynı sıcaklıklarda fakat kaynak yüzeyleri arasına PE film yerleştirilerek yapıldı.Kaynak başarılı oldu ve çekme testi sonucuna göre maksimum çekme dayanımı 28,4 MPa olarak tespit edildi.Bu sonuçlara göre iki farklı termoplastik malzemenin kaynak edilmesinde, sıcaklık parametresinin ve uygun bağlayıcı bir malzemenin önemli bir faktör olduğu görüldü.

Sürünme deney sonuçlarına göre; indüksiyonla üst üste bindirme yöntemiyle birleştirilmiş numunelerde takviyesiz 2300 L PP'nin gerçek uzama değeri 0,051mm olurken takviyeli GWE26 PP numuneninki 0,031 mm olduğu görülmüştür. Yine aynı yöntemle birleştirilen aynı malzemelerde yük parametresi değiştirildiğinde takviyesiz 2300 L PP'de gerçek uzama değeri 0,025 mm olurken takviyeli GWE26 PP'de bu değerin 0,006mm olduğu görüldü. Bu sonuçlara göre takviyeli PP numunelerde sürünme dayanımı takviyesiz PP'ye göre daha fazladır. Uygulanan sabit yüke göre de sürünme hızı oranı da değişmektedir. İndüksiyonla yapılan ve üst üste bindirme tekniğiyle birleştirilen takviyesiz 1100L Novolen PP ve takviyeli(1100LNov+arpylene kısa elyaf+uzun elyaf) PP numunelerin sürünme deneyinde takviyesiz PP'nin gerçek uzama değeri 0,039mm olurken takviyeli PP numunenin 0,018 mm olduğu görülmüştür.

Alın kaynağı yöntemiyle birleştirilmiş numunelerde alınan sonuçlara göre takviyesiz PP'nin gerçek uzama değeri 0,048 mm olurken takviyeli PP'nin 0,012 mm'dir. Burada da kaynak yöntemi farklı olmasına rağmen takviyeli malzemelerin sürünme dayanımının daha yüksek olduğu görülmektedir.

P. Mitschang ve diğerleri yaptıkları çalışmalarda sürekli indüksiyon kaynağı prosesinde, kaynak güvenilirliğini artırmak için gerekli optimum proses parametrelerini önceden belirleyerek kaliteli kaynağı garanti altına alacak bir proses modeli

geliştirilmesini araştırdılar. Termodinamik modelleri geliştirerek indüksiyon kaynağı için gerekli optimum parametrelerin önceden tahmin edilebilmesini incelediler.

A. Kagan ve diğerleri yüksek performans uygulamaları için indüksiyon kaynağının avantajlarını araştırdılar. Takviyeli bir termoplastik için iki alternatif kaynak yöntemini kullanarak malzeme bileşimi, kaynak tasarımı ve kaynak sürecindeki şartların birbiri arasındaki ilişkiyi incelediler.

Y. Wu ve diğerleri indüksiyon kaynağında üst üste bindirme tekniğiyle birleştirilen termoplastik parçalarda kaynak zamanın diğer parametreler arasındaki önemini araştırdılar. Ayrıca kaynak zamanının sabit basınç ve sabit güç değerlerinde kaynak mukavemeti üzerindeki etkilerini incelediler.

J. Kim ve diğerleri karbon elyaf takviyeli termoplastiklerde düzlemsel ısı oluşumunu önceden tahmin etmek için bir nümerik model geliştirilmesini araştırdılar. Modeli muhtemel üç ısı oluşum mekanizmasına bağlayarak çapraz katlı ve açılı katlı takviyeli termoplastiklerde ısı alanı, malzeme ve proses parametreleri arasındaki ilişkiyi incelediler.

Literatürdeki çalışmalar doğrultusunda kaynak süresi ve kaynak basıncı sabit tutularak sadece sıcaklık parametresi değiştirilerek yapılan kaynak işlemlerinde takviyeli termoplastiklerden elde edilen numunelerinin çekme ve sürünme dayanımlarının daha yüksek olduğu görüldü. Bu da takviyeli plastiklerin kaynak işleminde ısı ve basınca maruz kalmasına rağmen dayanımını koruyarak, bu dayanımın aynı işlemlerden geçmiş takviyesiz plastiklerin kaynak sonrası dayanımlarından yüksek değerde olmasını açıklayabilir. Sıcaklık parametresinin değişimiyle değişen çekme dayanım değerleri de sıcaklık seviyesinin farkına bağlı olarak birleştirme işleminin malzemenin cinsine bağlı olarak optimum bir sıcaklığa ihtiyaç duymasıyla açıklanabilir.

KAYNAKLAR

Ageorges C. , Ye L. , Hou M. , 2001 , "Advances in fusion bonding techniques for joining thermoplastic matrix composites: a review", Composites: Part A 32 (2001) (839-857)

Akyüz Ö. F. , 1999, "Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş", PAGEV Yayınları, İstanbul, (41-55, 59-89, 102-106)

Aydın,H. ,2004, "PVC Üretimi ve Katkı Maddeleri",Eskişehir

Ekşi O. , 2007, "Plastik Esaslı Malzemelerin Isıl Şekil Verme Özelliklerinin İncelenmesi" , Edirne ,Y.L. Tezi

Ersoy M. S.,2005 ,"Lif Takviyeli Polimerik Kompozit Malzeme Tasarımı",Kahraman maraş, Y.L. Tezi

Hazer , B., ,1993, "Polimer Teknolojisi" , KATÜ Fen Edebiyat Fakültesi

Joshi A. M. , "Welding Of Plastics", (B.E Mechanical, A.M.I.Prod.E) ,www.metalwebnews.com

Kagan A. V. , Nichols J. R. ,2005, "Benefits of Induction Welding of Reinforced Thermoplastics in High Performance Applications" , Journal of Reinforced Plastics and Composites 2005; 24; 1345

Kim J. H. , Yarlagadda S. , Shevchenko B. N. , Fınk B. K. , Gıllespıe J. W. , 2003 , "Development of a Numerical Model to Predict In-plane Heat Generation Patterns During Induction Processing of Carbon Fiber-reinforced Prepreg Stacks" , Journal of Composıte Materıals, Vol. 37

Mead L. J. , Baker A. M. , 2006, “Handbook of Plastics Technologies”,The McGraw Hill Companies,USA

Mitschang P. , Rudolf R. , Neitzel M. , 2002, “Continuous Induction Welding Process, Modelling and Realisation”, Journal of Thermoplastic Composite Materials 2002; 15; 127

Orhan S.,2004,”Termoplastiklerin Kaynağı”,bitirme projesi,Sakarya Üniversitesi

Savaşçı Ö.T. , Uyanık N. , Akovalı G. , 2002, “Plastikler ve Plastik Teknolojisi” , PAGEV Yayınları, (7-46, 65-116, 196-248, 257-263, 298-318)

Shackelford, J. F. , Alexander W. ,2001 , “Materials Science and Engineering Handbook”, CRC Press LLC, 2001

Şahin Y. , 2000, “Kompozit Malzemelere Giriş” Gazi Kitabevi, Ankara, (8-14, 38-60, 79-87, 118-127)

Tuğ S.,2004, “Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Genel Bakış” , T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Çorlu Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Semineri

Turaçlı H. , 2003, “Ekstrüzyon Teknolojisine Giriş” , PAGEV Yayınları, İstanbul, 2.Baskı, (7-83)

Ünal O. ,2006 , “Yapı Malzemesi Ders Notları”,Akdeniz Üniversitesi,Yapı Öğretmenliği Bölümü

Ünal U. G.,2006, “Plastik Enjeksiyon Kalıp Tasarımı”,Proje çalışması,Balıkesir Üniversitesi

Wu Y. C. , Agosto B. ,2005 , “Implant Induction Welding of Nylon 6/6” ,Antec 2005/(1039-1045)

www.kimyamuhendisi.com

www.matweb.com

Yaşar H. , 2001, “Plastikler Dünyası”, MMO Yayınları, Ankara, 2. Baskı, (3-89,97,107,112,115,116,118,119,121,123,125,127,131,132)

Yaşar H. , 2001, “Plastikler Dünyası”, MMO Yayınları, Ankara, 2. Baskı, (3-89,97,107,112,115,116,118,119,121,123,125,127,131,132)

Yılmazoğlu Ü. , 2004, “Kompozit Malzemelerin Elasto-Plastik Davranışının İncelenmesi”, Bitirme projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü,İzmir

ÖZGEÇMİŞ

Ümit HÜNER 17.09.1981 tarihinde İstanbul'da doğdu. İlk öğrenimini İstanbul , orta öğrenimini Lüleburgaz'da tamamladı. 1999 yılında girdiği Trakya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden 2005 yılında mezun oldu. Askerliği tecilli olan Ümit HÜNER Eylül 2005'te Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2005 Aralık ayında Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü dahilinde Makine Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı.Halen bu kurumda görevine devam etmektedir.

Bekar olan Ümit HÜNER pek çok ticari CAD/CAM yazılımı ve İngilizce bilmektedir.