

**T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Plastik Esash Malzemelerin
Isıl Şekil Verme Özelliklerinin İncelenmesi**

Mak. Müh. Olcay EKŞİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Tez Yöneticisi: Yrd.Doç. Dr. Selçuk ERDOĞAN
EDİRNE-2007**

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PLASTİK ESASLI MALZEMELERİN
ISIL ŞEKİL VERME ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

Mak. Müh. Olcay EKŞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Yöneticisi: Yrd. Doç. Dr. Selçuk ERDOĞAN

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PLASTİK ESASLI MALZEMELERİN
ISIL ŞEKİL VERME ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

Mak. Müh. Olcay EKŞİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

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

Prof. Dr. H. Erol AKATA

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Mustafa ÖKSÜZ

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Selçuk ERDOĞAN

Jüri Üyesi-Tez Danışmanı

ÖZET

Plastikler günlük hayatımızda önemli bir yer tutmaktadırlar. Zaman içerisinde plastik malzeme bileşimleri alanında sağlanan gelişmelerle birlikte, plastik malzemeler takviye edilerek daha üstün özelliklere sahip olmaları sağlanmıştır. Bu gelişmeler plastik kompozit malzemelerin en az saf haldeki selefleri kadar kullanılmasını sağlamıştır.

Ergime sıcaklıklarının diğer malzeme gruplarına göre düşük olması plastik malzemelere işlenebilirlik kolaylığı sağlamaktadır. Birçok üretim yöntemiyle plastikler ve plastik esaslı malzemeler üretilebilir. Fakat en çok kullanılan yöntemler, ısı ve basınç yardımıyla yeni malzeme üretimini sağlayan yöntemlerdir. Bu yöntemler içerisinde “ısı ile şekillendirme yöntemi” geniş bir uygulama alanına sahiptir. Otomotiv, elektrik, elektronik, sağlık ve özellikle ambalaj sektöründe çok sık kullanılan bir üretim metodudur.

Bu çalışmada plastik matrisli kompozitlerin ısı ile şekillendirilebilirliği araştırılmıştır. Malzeme olarak takviyesiz PP, PVC levhalar kullanılmış çeşitli sıcaklık ve basınçlarda şekillendirilmiş ve bu levhalardan alınan numuneler yardımıyla bu malzemelerin çekme ve sürünme davranışları araştırılmıştır. Aynı işlemler farklı takviyeli plastik levhalar içinde uygulanmış ve takviye elemanının, ısı ile şekillendirme üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Plastik malzeme, plastik esaslı kompozit, ısı ile şekillendirme, takviye elemanı.

ABSTRACT

Plastics constitute a wide range of our daily life. With the improvements about the plastic material compounds in the latest time, it is provided that plastic materials have advanced properties by reinforcing plastics with other materials. These developments provide the plastic matrix composites to have a usage as much as unreinforced plastic materials.

Plastics have lower melting temperatures according to other material groups. That provides plastics to have a good formability. Plastics and plastic matrix composites can be manufactured with a lot of producing techniques. But the most used processes are the techniques that provide to manufacture new plastic products with heat and pressure. In these techniques thermoforming have a big usage area. Thermoforming is a manufacturing process which is used in automotive, electric, electronic and especially in packaging industry.

In this study, formability of plastic matrix composites by heating has been investigated. As a material PP and PVC unreinforced sheets were used. These materials were formed in different temperature and pressure conditions. Some specimens were cut and taken from these sheets by machining. Tensile and creep characteristics of these materials were also investigated.

Keywords: Plastic material, plastic matrix composite, heat formability, reinforcing material.

ÖNSÖZ

Hazırlanan bu yüksek lisans tezinde, cam elyaf takviyeli olan ve takviye malzemesi içermeyen plastik levhaların ısıll şekillendirilmesi sonrasında çekme ve sürünme özelliklerindeki değişim araştırılmış, bu levhalara ısıll şekil verilmesinden önce ve sonra alınan sonuçlar karşılaştırılarak sonuca gidilmiştir. Bu surette yapılan deneysel çalışmanın içeriği ve niteliği çalışma içerisinde ayrıntılı bir şekilde yer almaktadır.

Bu tezin hazırlanmasında yardım ve özverilerini esirgemeyen Arş. Grv. Ümit HÜNER'e, Arş Grv. Sencer KARABEYOĞLU'ya, Arş Grv. Gürkan İRSEL'e, tez çalışması süresince teknik yardım sağlayan ÇORLU PLASTİK A.Ş. sahibi Sayın Mak. Müh. Mehmet Murat GÜR'e, DSİ XI. Bölge Müdürlüğü çalışanı İrfan DÖNMEZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca her zaman yanımda olan ve bu yolda beni hem maddi hem manevi destekleriyle cesaretlendiren eşime, anneme, babama, kardeşime, ve tez çalışmam boyunca üstün bilgi ve becerisiyle bana destek veren amcam Ferruh EKŞİ'ye teşekkürü bir borç bilirim.

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

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

HAZİRAN 2007

Mak. Müh. Olcay EKŞİ

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1. POLİMER MALZEMELER

1.1 Polimerlerin Sınıflandırılması	5
1.1.1 Kimyasal bileşimlerine göre polimerlerin sınıflandırılması	5
1.1.1.1 Organik polimerler	5
1.1.1.2 İnorganik polimerler	5
1.1.2 Fiziksel özelliklerine göre polimerlerin sınıflandırılması	6
1.1.2.1 Plastikler	6
1.1.2.1.1 Termoplastikler	6
1.1.2.1.2 Termosetler	7
1.1.2.2 Fiberler	8
1.1.2.3 Elastomerler	9
1.1.3 Zincir yapılarına göre polimerlerin sınıflandırılması	10
1.1.3.1 Polimer zincirinde konfigürasyon, konformasyon, Taktisite	11
1.1.4 Monomer birleşimine göre polimerlerin sınıflandırılması	13
1.1.5 Zincir yapılarının geometrik dizilişine göre polimerlerin Sınıflandırılması	15
1.1.5.1 Amorf polimerler	16
1.1.5.2 Kristal yapılı polimerler	16
1.2 Plastiklerin Tarihi Gelişimi	18
1.3 Plastiklerin Özellikleri	20
1.4 Plastiklerin Üretimi	25
1.4.1 Katılma polimerizasyonu	25
1.4.2 Yoğuşma polimerizasyonu	26
1.5 Mühendislik Plastikleri	27
1.5.1 Malzeme seçimi	27
1.5.2 Plastik malzeme seçiminde dikkate alınan özellikler	28
1.5.2.1 Mekanik özellikler	28

1.5.2.2 Isıl özellikler	28
1.5.2.3 Elektriksel özellikler	28
1.5.2.4 Kimyasallara ve diğer çevresel etkilere dayanıklılık	29
1.5.2.5 Görünüm özellikleri	29
1.5.2.6 Üretim yöntemiyle ilgili özellikler	29
1.5.3 En çok kullanılan bazı mühendislik plastikleri	30
1.5.3.1 Polietilen (PE)	30
1.5.3.2 Polipropilen (PP)	32
1.5.3.3 Polistiren (PS)	34
1.5.3.4 Polivinil klorür (PVC)	36
1.5.3.5 Akrlonitril butadien stiren (ABS)	37
1.6 Kompozit Malzemeler	39
1.7 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	42
1.7.1 Matris malzemesine göre sınıflandırma	42
1.7.1.1 Metal matrisli kompozitler	42
1.7.1.2 Seramik matrisli kompozitler	42
1.7.1.3 Plastik matrisli kompozitler	43
1.7.2 Takviye malzemesine göre sınıflandırma	43
1.7.2.1 Elyaf takviyeli kompozit malzemeler	44
1.7.2.2 Parçacık takviyeli kompozit malzemeler	49
1.7.2.3 Tabakalı kompozit malzemeler	50
1.8 Takviye Edilmiş Plastikler	52
1.8.1 Termoplastik matrisli cam elyaf takviyeli kompozitler	53
1.8.2 Termoplastik matrisli karbon elyaf takviyeli kompozitler	55
1.8.3 Termoplastik matrisli aramid elyafı takviyeli kompozitler	56
1.9 Plastik Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri	57
1.9.1 Ekstrüzyon üretim yöntemi	57
1.9.1.1 Ekstrüzyon yöntemi ile levha üretimi	63
1.9.1.2 Ekstrüzyon üretim yönteminin kullanım alanları ve elde edilen ürünler	68
1.9.2 Enjeksiyon üretim yöntemi	69
1.9.3 El yatırma Üretim Yöntemi (Hand - lay up)	71

1.9.4 Püskürtme yöntemi (Spray-up)	73
1.9.5 Basma ve transfer kalıplama yöntemi	74
1.9.6 Helisel sarma yöntemi	75
1.9.7 Reçine enjeksiyonu yöntemi	77
1.9.8 Hazır kalıplama metodu (SMC)	78
1.9.9 Torba kalıplama yöntemi	78
1.9.10 Pultrüzyon üretim yöntemi	79
1.9.11 Otoklav üretim yöntemi	80
1.10 Plastiklere Isının Etkisi ve Isıl Davranışlar	81
1.11 Isı Geçişi ve Isı Geçiş Mekanizmaları	86
1.11.1 İletimle ısı geçişi	86
1.11.2 Işınım ile ısı geçişi	88

BÖLÜM 2. ISIL ŞEKİL VERME

2.1 Isı ile Şekillendirme	91
2.1.1 Vakum ve ısı ile şekillendirme	92
2.1.2 Basıncılı hava ile ısıl şekillendirme	95
2.1.3 Mekaniksel ısıl şekillendirme	96
2.1.4 Stamp Forming	99

BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler	103
3.2 Deneylerde Kullanılan Cihazlar	105
3.2.1 Hidrolik pres ve kalıplar	105
3.2.2 Isıtıcılar	108
3.3 Deneyler	109
3.3.1 Çekme deneyi	109
3.3.1.1 Çekme deney cihazı	110

3.3.1.2 Çekme deney numunesi	111
3.3.2 Sürünme deneyi	111
3.3.2.1 Sürünme deney cihazı	113
3.3.2.2 Sürünme deney numunesi	113
4. DENEY SONUÇLARI	
4.1 Çekme Deney Sonuçları	115
4.2 Sürünme Deney Sonuçları	118
TARTIŞMA	124
KAYNAKLAR	128
ÖZGEÇMİŞ	131

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Propilen monomeri ve Polipropilen	1
Şekil 1.2 Polietilen zincirinin şematik gösterimi	2
Şekil 1.3 Vinil klorid mer ünitesi ve PVC polimer zincirinin kimyasal yapısı	2
Şekil 1.4 Bazı Polimerlerin zincir yapıları ve Mer üniteleri	3
Şekil 1.5 Zeolitin yapısı	6
Şekil 1.6 1-) Termoplastiklerin polimer zincir yapıları, 2-) Termosetlerin polimer zincir yapıları	8
Şekil 1.7 Çeşitli polimerlerden yapılmış fiberlerin görünüşleri	8
Şekil 1.8 Gerilme etkisi altında polimer zincirlerinin şematik gösterimi	9
Şekil 1.9 Elyaf, Kauçuk ve Plastik malzemenin Gerilme-Genleme diyagramı	10
Şekil 1.10 Zincir yapılarına göre polimerler	11
Şekil 1.11 İzotaktik, sindiotaktik, ataktik polistiren	12
Şekil 1.12 Polipropilen zincir yapısı	13
Şekil 1.13 Random kopolimerin şematik gösterilişi	14
Şekil 1.14 Ardarda Kopolimerin şematik gösterilişi	14
Şekil 1.15 Blok Kopolimerin şematik gösterilişi	14
Şekil 1.16 Aşırı Kopolimerin şematik gösterilişi	15
Şekil 1.17 Amorf polimerin şematik gösterilişi	16
Şekil 1.18 a) Kristalin polimerin şematik gösterilişi, b)Yarı kristalin polimerin şematik gösterilişi	16
Şekil 1.19 Değişik malzemelerin Gerilme-Genleme diyagramı	22
Şekil 1.20 Katılma polimerizasyonunun şematik gösterimi	25
Şekil 1.21 Yoğuşma polimerizasyonunun şematik gösterimi	26
Şekil 1.22 Etilen monomerinin şematik gösterilişi	31
Şekil 1.23 Etilen monomeri ve polietilenin şematik gösterimi	31
Şekil 1.24 Polietilenden imal edilmiş ürünler	31

Şekil 1.25 Polipropilenin şematik gösterilişi	32
Şekil 1.26 İzotaktik polipropilenin şematik gösterilişi	33
Şekil 1.27 Ataktik polipropilenin şematik gösterilişi	33
Şekil 1.28 Polipropilenden imal edilmiş ürünler	33
Şekil 1.29 Polistiren polimerinin zincir yapısı	34
Şekil 1.30 Polistiren polimerinin şematik gösterimi ve stiren monomeri	34
Şekil 1.31 Polistirenden imal edilmiş ürünler	35
Şekil 1.32 Polivinil klorürden imal edilmiş ürünler	36
Şekil 1.33 a) Polivinil klorür polimerinin zincir yapısı b)Polivinil klorür ve klorür monomeri	37
Şekil 1.34 a) ABS terpolimerini oluşturan monomerler b)ABS terpolimerinin zincir yapısı	38
Şekil 1.35 Fiber takviyeli seramik malzemenin kesitinden alınan büyütülmüş bir görüntü	43
Şekil 1.36 Değişik fiber malzemelerin Gerilme-Genleme eğrileri	45
Şekil 1.37 a) Kısa cam elyaf ile takviye edilmiş bir malzemenin kırılma yüzeyi b)Fiber takviyeli termoplastik matrisli bir kompozit	46
Şekil 1.38 Matris malzemesi içerisinde elyaf dağılımı	47
Şekil 1.39 Partikül takviyeli kompozitlere örnekler	50
Şekil 1.40 Tabakalı kompozit üretiminin şematik gösterimi	51
Şekil 1.41 Demet halinde cam elyaf ve cam elyafların mikroskopik görünümü	54
Şekil 1.42 Cam elyaf takviyeli bazı ürünler	55
Şekil 1.43 Şematik bir ekstrüzyon hattı	58
Şekil 1.44 Kovan imalatından bir görüntü	60
Şekil 1.45 Çeşitli ekstrüzyon vidaları	60
Şekil 1.46 Vida mekanizmasının bölümleri	61
Şekil 1.47 Isıtıcı rezistanslar (Isıtıcı bantlar)	63
Şekil 1.48 Levha ve film üretiminde kullanılan kalıpların şematik gösterimi	65
Şekil 1.49 PP, PS, ABS kullanılarak levha üretilen bir üretim hattı	66

Şekil 1.50 Yarıkalıplı ekstrüzyon yönteminde kalıp ve malzeme akışı	66
Şekil 1.51 Üfleli film ekstrüzyonu üretim yöntemi ve şematik gösterilişi	67
Şekil 1.52 Kalenderleme üretim yöntemi ve şematik gösterimi	68
Şekil 1.53 Ekstrüzyon yöntemiyle üretilmiş ürünler	69
Şekil 1.54 Enjeksiyon üretim yöntemiyle üretilmiş bazı ürünler	71
Şekil 1.55 El Yatırma üretim yöntemi	72
Şekil 1.56 Püskürtme yöntemi	73
Şekil 1.57 Transfer Kalıplama Yöntemi	74
Şekil 1.58 Basma Kalıplama Yöntemi	75
Şekil 1.59 Helisel Sarma Yöntemi	76
Şekil 1.60 Reçine Enjeksiyonu Yöntemi	77
Şekil 1.61 SMC Hazır kalıplama yöntemi	78
Şekil 1.62 Torba Kalıplama Yöntemi	79
Şekil 1.63 Pultrüzyon Üretim Yöntemi	80
Şekil 1.64 2) Amorf yapıdaki polimerin sıcaklık eğrisi, 1) Kristal yapıdaki polimerin sıcaklık eğrisi	83
Şekil 1.65 Birden fazla camsı geçiş sıcaklığı gösteren bir plastiğin sıcaklık-özgül hacim değişimi	85
Şekil 1.66 İletimle bir boyutlu ısı geçişi	87
Şekil 1.67 Isı iletimi için an denkleminin şematik gösterimi	88
Şekil 1.68 Işınım ile Isı Geçişi	90
Şekil 2.1 Vakum ve Isı ile Şekillendirme Yöntemi	92
Şekil 2.2 Vakum ve ısı ile şekillendirmede erkek kalıp uygulaması	93
Şekil 2.3 Vakum ve ısı ile şekillendirme yönteminde, erkek kalıp uygulamalarında, levha cidar kalınlığı dağılımının düzenlenmesinde uygulanan vakum yöntemi	94

Şekil 2.4 Vakum ve ısı ile şekillendirme yönteminde, dişi kalıp uygulamalarında, levha cidar kalınlığı dağılımı	95
Şekil 2.5 1) Polimer esaslı levhaya ergime sıcaklığı göz önünde bulundurularak uygun sıcaklığa kadar ısı verilmesi 2) Basınçlı hava verilerek ısınmış levhanın kalıbın şeklini alması	96
Şekil 2.6 1) Polimer esaslı levhanın uygun sıcaklığa kadar ısıtılması 2) Üst kalıpla alt kalıbın kapanması sonrasında levhanın şekillendirilmesi	97
Şekil 2.7 Isı ile şekillendirme yöntemiyle üretilmiş ürünler	98
Şekil 2.8 Stamp Forming üretim yönteminin şematik gösterimi	100
Şekil 2.9 Üretim öncesinde PolyFlow yazılımıyla yapılan simülasyon örnekleri	102
Şekil 3.1 Deneyleerde kullanılan levhaların şematik gösterimi	104
Şekil 3.2 Bilgisayar kontrollü hidrolik pres	106
Şekil 3.3 Kalıpların tasarım aşamasındaki görünümü	106
Şekil 3.4 Erkek ve dişi kalıp yarılarının görünümleri	107
Şekil 3.5 Isıtıcı cihazın tasarım aşamasındaki görünümleri ve ısıtma cihazı	108
Şekil 3.6 Numunelerin talaşlı şekil verme yöntemiyle hazırlanması aşamasından bir görüntü	109
Şekil 3.7 ISTRON çekme deney cihazı	110
Şekil 3.8 Deneyleerde kullanılan ASTM D 638 Type 4 çekme numunesi	111
Şekil 3.9 SM 106 MK II sürünme deney aparatı için hazırlanmış sürünme deney numunesi	114
Şekil 4.1 Novolen 1100L+Novolen 2300LC+ (uzun elyaf-2) 4% malzemesinin ısıl şekil verilmiş hali	117
Şekil 4.2 Isıl şekil verilmiş takviyesiz PP ve PVC malzemelerin görünümleri	117
Şekil 4.3 Isıl şekil verilmemiş PP malzeme, gerçek uzama miktarı: 0,187 mm	118
Şekil 4.4 Isıl şekil verilmemiş PVC, gerçek uzama miktarı: 0,031 mm	118
Şekil 4.5 Isıl şekil verilmiş PP, gerçek uzama miktarı: 0,14 mm	119
Şekil 4.6 Isıl şekil verilmiş PP, gerçek uzama miktarı: 0,126	119
Şekil 4.7 Isıl şekil verilmiş PP, gerçek uzama miktarı: 0,165 mm	120
Şekil 4.8 Isıl şekil verilmiş PP, gerçek uzama miktarı: 0,095 mm	120
Şekil 4.9 Isıl şekil verilmiş PVC, gerçek uzama miktarı: 0,021 mm	121

Şekil 4.10 Isıl şekil verilmiş PVC, gerçek uzama miktarı: 0.0225 mm	121
Şekil 4.11 Isıl şekil verilmiş cam elyaf takviyeli malzeme, gerçek uzama miktarı: 0,076 mm	122
Şekil 4.12 Isıl şekil verilmemiş cam elyaf takviyeli malzeme, gerçek uzama miktarı: 0,09 mm	122
Şekil 4.13 Isıl şekil verilmiş cam elyaf takviyeli malzeme, gerçek uzama miktarı: 0,126 mm	123
Şekil 4.14 Isıl şekil verilmemiş cam elyaf takviyeli malzeme, gerçek uzama miktarı: 0,15 mm	123

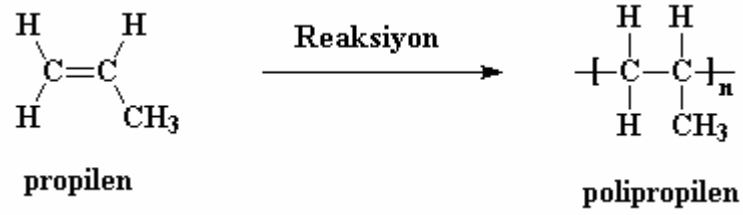
ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1 Bazı Termoplastikler ve özellikleri	21
Çizelge 1.2 Bazı Termosetler ve özellikleri	21
Çizelge 1.3 Takviye malzemesi olarak kullanılan bazı elyaf malzemelerin mekanik özellikleri	44
Çizelge 1.4 Eş genleme durumunda elastisite modülü ve çekme dayanımı hesabı	48
Çizelge 1.5 Eş gerilme durumunda elastisite modülü ve çekme dayanımı hesabı	49
Çizelge 3.1 PVC malzemenin mekanik özellikleri	104
Çizelge 3.2 PP malzemenin mekanik özellikleri	104
Çizelge 4.1 Isıl şekil verilmemiş PP ve PVC levhalardan alınan numunelerin çekme deneyi sonuçları	115
Çizelge 4.2 Isıl şekil verilmemiş takviyeli termoplastik levhalardan alınan numunelerin çekme deneyi sonuçları	115
Çizelge 4.3 Isıl şekil verilmiş takviyeli termoplastik levhalardan alınan numunelerin çekme deneyi sonuçları	116
Çizelge 4.4 Isıl şekil verilmiş PP ve PVC malzemelerden alınan numunelerin çekme deneyi sonuçları	116
Çizelge 4.5 İstenen sıcaklığa ısıtıldıktan sonra 5 dakika suda bekletilerek tavlanan ve daha sonra tekrar ısıtılarak şekillendirilmiş PP malzemedен alınan numunelerin çekme deneyi sonuçları	116

GİRİŞ

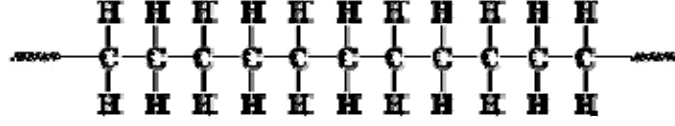
1.POLİMER MALZEMELER

Polimerler, çok sayıda makro molekülün düzenli bir şekilde, kimyasal bağlarla bağlanarak oluşturdukları yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerdir. “**Poli-**” kelimesi Latince “birden fazla, çok” anlamındadır. “**Mer**” adı verilen ünitelerin tekrarlanması sonrasında polimerler meydana gelir. Diğer bir deyişle polimerler “monomer” denilen birimlerin bir araya gelmesiyle oluşmuşlardır. [Savaşçı T. vd. , 2002]



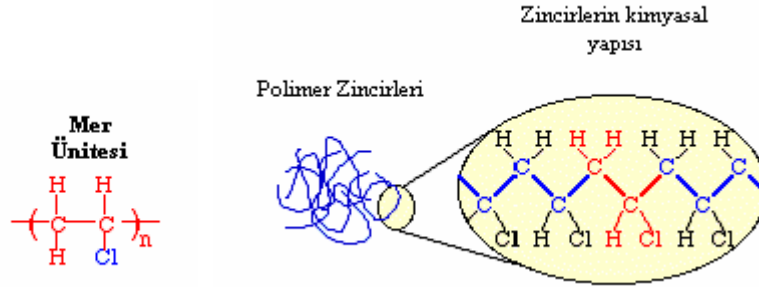
Şekil 1.1 Propilen monomeri ve Polipropilen

Yukarıda görüldüğü gibi propilen monomerinin polimerizasyonu sonrasında polipropilen polimeri meydana gelmiştir. Polimerler yüksek molekül ağırlıklı, uzun zincirli bir yapı gösteren makromoleküllerden oluşmuşlardır.



Şekil 1.2 Polietilen zincirinin şematik gösterimi

Örneğin polietilen bir polimerdir. Polietilen içerdiği polimer zincirlerinde, birbirine kovalent bağlarla bağlı binlerce küçük molekül bulunur. Birbirine kovalent bağlarla bağlı bu moleküller bir araya gelerek polimer zincirlerini oluşturur. İşte bu polimer zincirinde binlerce kez tekrarlanan bu birimlere “**mer**” adı verilir. [Savaşçı T. vd. , 2002]

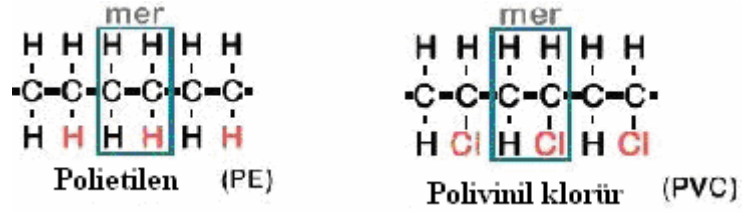


Şekil 1.3 Vinil klorid mer ünitesi ve PVC polimer zincirinin kimyasal yapısı

Polimer molekülleri, mer’lerden oluşur. Polimerlerin malzeme olarak kullanılabilmesi için çeşitli yöntemlerle işlenmesi gerekmektedir. Polimerler çoğu zaman tek başlarına, saf olarak işlenmezler. Polimerler işlenirken beraberinde, renklendiriciler, güneş ışığına karşı koruyucular, plastikleştiriciler, kaydırıcılar ve benzeri dolgu malzemeleriyle karıştırılarak, bir ön karışım hazırlanır. Bu karışım “kompond” olarak adlandırılır. Bu karışımlardan çeşitli üretim yöntemleriyle (Plastik Enjeksiyon, Plastik Ekstrüzyon, Şişirme Kalıplama Yöntemi, Isıl Şekillendirme

Yöntemi vb.) ürün ve yarı ürün elde edilir. Bu üretim yöntemleriyle elde edilmiş ve son şekli verilmiş ürün “**plastik**” olarak tanımlanır. Makromolekül yapısı polimerlerde; selefindeki malzemelerde bulunmayan faydalı özellikler ortaya çıkarmıştır. [Savaşçı T. vd. , 2002]

Bir polimer zincirinde binlerce mer bulunabilir. Fakat en az iki mer bir araya gelerek bir polimer oluşturulabilir. Oluşan bu polimer zinciri iki merden oluşmakta ve en küçük polimer molekülünü oluşturmaktadır. Bir polimer zincirinde bulunan mer sayısı polimerin fiziksel özelliklerini etkileyebilmektedir. Öyle ki; bir polimer, ihtiva ettiği polimer zincirlerindeki mer sayısı az iken sıvı halde bulunup, bu sayı arttıkça yoğunluğun ve vizkozitenin artmasıyla akışkanlığını kaybedebilir. Hatta çok yüksek mer sayılarında bu polimer katı halde bile bulunur.



Şekil 1.4 Bazı Polimerlerin zincir yapıları ve Mer üniteleri

Polimerleri meydana getiren polimer zincirlerindeki mer sayısının az olması, bu polimere özel bir isim kazandırır. Böyle polimerlere “**oligomer**” adı verilir. Polimer zincirlerindeki mer sayısının çok yüksek olması halinde ise polimer, “**makromolekül**” olarak adlandırılır. Polimer molekülleri, büyük molekül ağırlıklı uzun zincirler halinde moleküllerden meydana gelmişlerdir. Polimerlerin bu yapıda olmalarının, polimerlerin özelliklerine etkisinin tartışılabilmesi için polimerlerde “**molekül ağırlığı**” ve “**polimerleşme derecesi**” kavramlarından söz edilmelidir. Polimerleşme derecesi; bir polimer molekülündeki tekrarlayan monomerlerin yani merlerin, sayısını göstermektedir ve molekül ağırlığı ile arasında şöyle bir bağıntı bulunmaktadır. [Yaşar H. , 2001]

MA (Polimer) = (PD) x MA (Monomer)

MA= Molekül Ağırlığı (Molecular Weight)

PD= Polimerleşme Derecesi (Degree of Polymerisation)

Polimerleri meydana getiren zincirlerin hepsi aynı molekül ağırlığına sahip değildirler. Polimer zincirleri farklı boylarda ve şekillerde olduklarından molekül ağırlıkları da birbirinden farklıdır. Bu nedenle polimerlerde tek bir molekül ağırlığından değil de ortalama bir molekül ağırlığından bahsetmek gereklidir. Polimerleşme derecesi ve molekül ağırlığı, polimerlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde değiştirmektedir. Normal şartlarda gaz halinde bulunan etilen monomeri, polimerizasyon işlemi sonrasında elde edilen düşük molekül ağırlıklı polietilen, sıvıdır. Molekül ağırlığı arttıkça, polimerleşme derecesinin de 600-1000 değerlerini alması durumunda, malzeme katı haldedir ve istenen mekanik özelliklere sahip olabilmektedir. [Savaşçı T. vd. , 2002]

1.1 Polimerlerin Sınıflandırılması

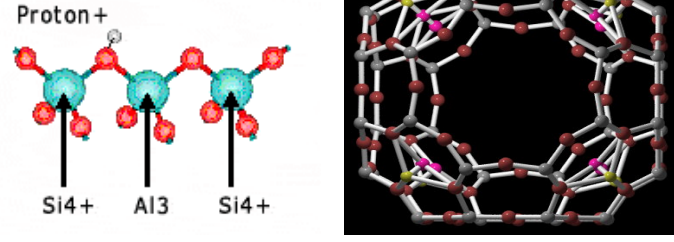
1.1.1 Kimyasal bileşimlerine göre polimerlerin sınıflandırılması

1.1.1.1 Organik polimerler

Organik polimerler karbon, hidrojen, oksijen, azot ve halojen atomlarından oluşmaktadır. Bir atomun polimer ana zinciri üzerinde bulunabilmesi için en az iki değerlikli olması şarttır. Bu nedenle hidrojen ve halojen atomları ana zincir üzerinde bulunamazlar. Diğer bir yeterlilik şartı ise ana zincir üzerinde bulunan atomlar arasındaki bağ enerjisinin yeterli olmasıdır. C-C bağ enerjisi 80 kcal/mol ; O-O bağ enerjisi 34 kcal/mol ve N-N bağ enerjisinin 37 kcal/mol olduğu göz önünde bulundurulursa en yüksek bağ enerjisine karbon atomları sahiptir. Bu nedenle organik polimerlerin çoğunda ana zinciri karbon atomları oluşturur. [Akkurt S. , 1991]

1.1.1.2 İnorganik polimerler

İnorganik polimerlerde ana zincirde silisyum (Si) , germanyum (Ge), bor (B), fosfor (P) gibi elementlerin atomları bulunur. Ana zincirde bulunan atomların bağ enerjileri organik polimerlerde bulunan atomların bağ enerjilerinden daha yüksek değerlerdedir. Bu nedenle organik polimerlerin kullanım alanları oldukça geniş olmasına rağmen, inorganik polimerler daha iyi ısıl dayanıma ve daha yüksek mekanik dayanıklılığa sahiptirler. Doğal ve sentetik zeolitler (Alümina silikat) inorganik polimerlere örnek olarak verilebilir. [Akkurt S. , 1991]



Şekil 1.5 Zeolitin yapısı

1.1.2 Fiziksel özelliklerine göre polimerlerin sınıflandırılması

1.1.2.1 Plastikler

1.1.2.1.1 Termoplastikler

Plastikler lineer veya dallanmış dev moleküllerden yani makromoleküllerden oluşmuşlardır. Termoplastiklerde, makromoleküller arasında kimyasal bağ bulunmaz. Bu bağların bulunmaması termoplastiklerin tekrar tekrar işlenebilmesine imkân sağlamaktadır. Aynı zamanda termoplastikler kimyasal çözücülerde çözülebilmektedir. Termoplastikleri makromoleküllerin dizilişine göre ikiye ayırmak mümkündür. Eğer makromoleküllerin dizilişi rasgele gerçekleşmiş ise malzeme “amorf” olarak adlandırılır. Amorf malzemelere katkı malzemeleri katılmadığı sürece şeffaf bir görünüme sahiptirler. Bazı termoplastiklerde yer yer makromoleküllerin dizilişleri bir düzen ihtiva eder. Bu tarz termoplastikler “yarı kristal” olarak adlandırılır. Plastiklerde, makromoleküller karmaşık ve birbirine dolaşmış bir yapı ihtiva eder. Bu da plastik malzemelerin % 100 oranında kristalli bir yapıya sahip olmasını engeller. Bu yüzden plastik malzemelerde kristalli bölgeler arasında amorf bölgelerde yer alır. Kristalleşmiş bölgelerin tüm alana oranı “kristallik derecesi” olarak adlandırılır. Fakat daha basit

zincir yapısına sahip olan plastik malzemelerin kristallik derecesi daha yüksektir. [Yaşar H. , 2001]

Katı hal: Malzeme sert ve tok bir davranış gösterir

Termoelastik hal: Bu durumda malzeme yüksek elastikiyet değerlerine sahiptir

Termoplastik hal: Bu durumda malzeme akışkan bir sıvı halindedir.

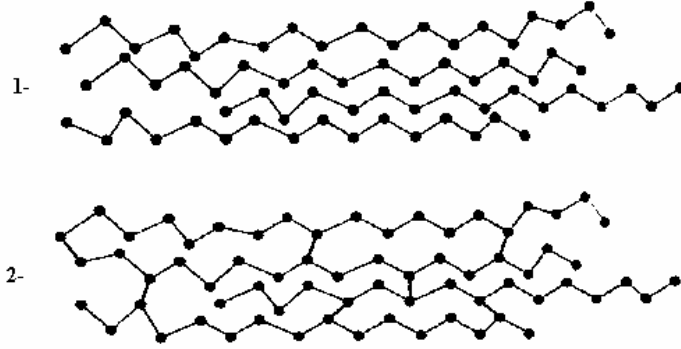
Termoplastikler ısıtılırlar, ergitilirler ve sonunda şekillenmiş bir ürün eldesi sağlanabilir. Daha sonra katılaştırmış termoplastik yeniden ısıtılabilir ve ergitildikten sonra yeniden kalıplanarak ürün haline getirilebilir. Her ne kadar geri dönüşüm söz konusu olsa da termoplastiklerin ısıtılıp ergitme ve soğutma işlemleri belirli tekrarlarla sınırlı kalmalıdır. Aksi takdirde termoplastiğin fiziksel özelliklerinde değişiklikler görülmektedir. Termoplastiklere örnek olarak polietilen, polistren ve polipropilen verilebilir.

1.1.2.1.2 Termosetler

Isı verilmesi sonrasında yalnız bir defa istenilen şekli alabilen plastiklerdir. Şekillendirilmiş bir termoset plastiğe yeniden ısı verilerek tekrar şekillendirmek mümkün değildir. Termoset malzeme tekrar ısıtılırsa bozunmaya uğrar. Termosetler çapraz bağlı bir yapıya sahiptir. Bu plastiklerde polimerizasyon işlemi malzemeyi ihtiva eden monomerlerin bir araya getirildiği reaktörde başlar ve kalıplama işlemi sırasında biter. Termosetler oda sıcaklığında sıvı halde bulunurlar. Geçirdikleri çeşitli kimyasal işlemlerden sonra katı hal alabilirler. Isıtıldıklarında sertleşirler. Termosetlere örnek olarak polyester, epoksi , PVC ve asetol verilebilir. [Yaşar H. , 2001]

Termosetlerdeki polimer zincirleri arasında kuvvetli bağlar oluşur ve bunun neticesinde üç boyutlu ağ yapısı meydana gelir. Bu da termosetleri termoplastiklere göre daha dayanımlı ve rijit yapar. Termosetler de polimerizasyon işlemi ile elde edilirler. Termosetlerin polimerizasyonu genelde iki aşamalı bir süreçtir.

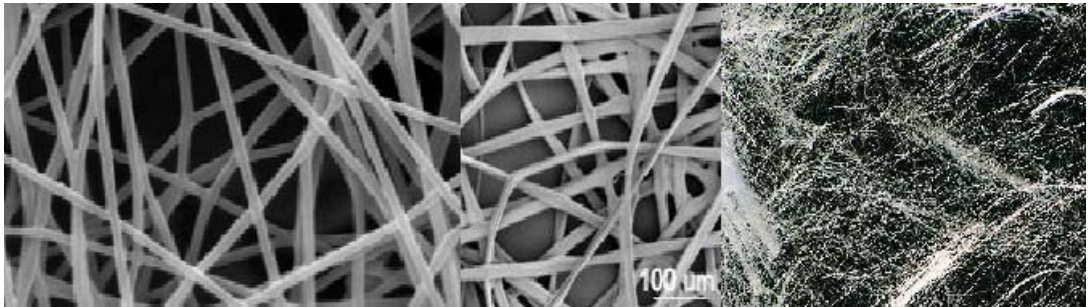
İlk aşamada termoseti oluşturacak monomerler bir araya getirilir. İkinci aşama ise üretim sürecinin içerdiği kalıpta meydana gelir. Yüksek basınç ve sıcaklıkta monomerler reaksiyona girer ve polimer zincirleri oluşur. Bu durumda polimer zincirlerinde reaksiyona girmemiş birimler bulunmaktadır. Basınç ve sıcaklık etkisi ile polimer zincirleri arasında yan bağlar meydana gelir ve kalıplanmış bir termoseti oluşturan polimer zincirleri arasında ağ yapısında bağlar oluşur. [Yaşar H. , 2001]



Şekil 1.6 1-) Termoplastiklerin polimer zincir yapıları 2-) Termosetlerin polimer zincir yapıları

1.1.2.2 Fiberler

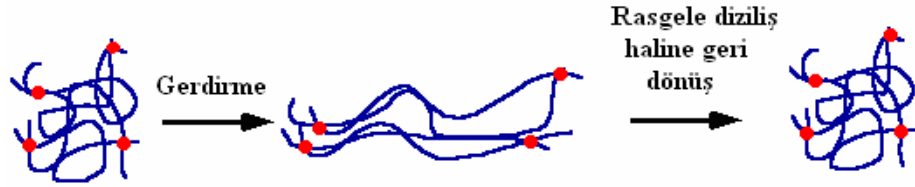
Örnek olarak PA 6, PA 66, PP, PAN, PET vb. polimer malzemeler kullanılarak, fiber üretimi yapılabilir.



Şekil 1.7 Çeşitli polimerlerden yapılmış fiberlerin görünüşleri

1.1.2.3 Elastomerler

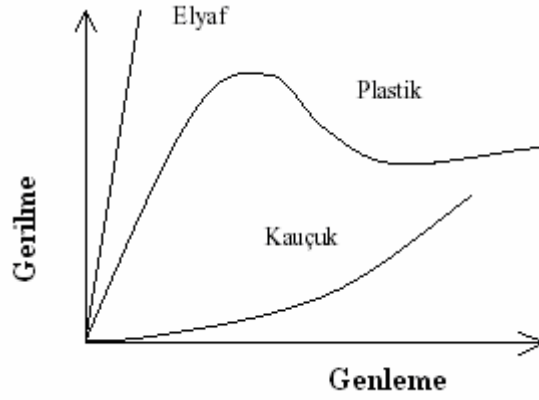
Elastomerler, termosetler gibi çapraz bağlı bir yapıya sahiptirler ve uzun zincirli yapıdadırlar. Maruz kaldıkları çok küçük gerilmeler sonrasında bile çok büyük elastik deformasyonlara uğrarlar. Bazı elastomerler ilk boyutlarına nazaran % 500 ve üzerinde uzama gösterebilirler. Ve sonrasında eski boyutlarına dönebilirler. Yüksek elastik şekil değiştirme kabiliyetine sahip olmalarının nedeni; polimer zincirlerinin birbirine zayıf çapraz bağlarla bağlı olmasıdır. En çok bilinen elastomer kauçuk'tur. Çapraz bağların sayısının artırılması elastomerin daha dayanımlı ve rijit bir yapı kazanmasını sağlar.



Şekil 1.8 Gerilme etkisi altında polimer zincirlerinin şematik gösterimi

Elastomerlerde gerilme öncesinde polimer zincirleri olağan konumunda iken, gerilme sonrasında zincirler gerilme yönünde açılarak malzemenin elastik olarak deformasyona uğramasına neden olurlar. Gerilme kaldırıldığında ise polimer zincirleri eski konumlarına geri dönerler.

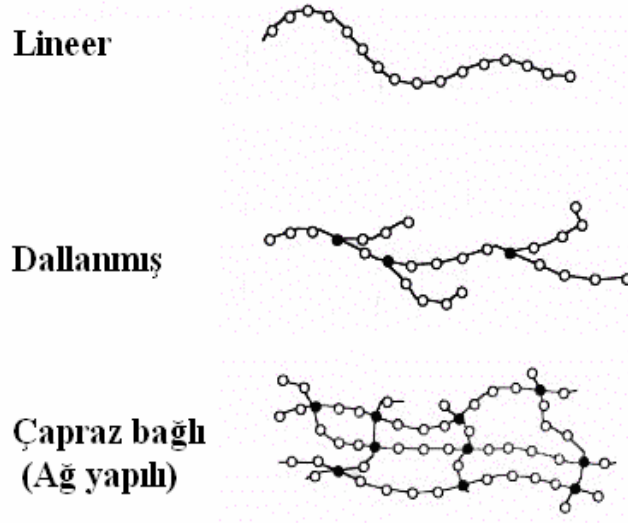
Şekil 1.9 Elyaf, Kauçuk ve Plastik malzemenin Gerilme-Genleme diyagramı



Gerilme-Genleme diyagramından da görüldüğü gibi; elyaf ve plastiklere göre elastomer olan kauçuk, daha düşük gerilmelerde yüksek genleme değerlerine ulaşmıştır.

1.1.3 Zincir yapılarına göre polimerlerin sınıflandırılması

Zincir yapılarına göre polimerleri 3 ana grupta toplayabiliriz. Polimer molekülleri, eğer uzun zincir şeklinde ise “**lineer**”, bu zincire bağlı olarak bazı yan zincirler varsa “**dallanmış**”, polimer zincirleri birbirine ara zincirler ile bağlanarak üç boyutlu ağ yapı oluşturuyor ise, “**çapraz bağlı**” olarak tanımlanır.[Akyüz Ö. F. , 1999]



Şekil 1.10 Zincir yapılarına göre polimerler

Polimer zincirleri belirli bir hareketliliğe sahiptir. Polimer zincirleri arasında oluşan zayıf Van der Waals bağları dışında, eğer polimer zincirinde bir polar grup (PVC'deki klor gibi) bulunursa daha kuvvetli bağların oluşumu söz konusudur ve zincirler birbirinden bağımsız olarak hareket edemez. Polimer zincirlerinin çok uzun ve bükümlü olması zincirlerin birbirine dolaşmış olmasına neden olabilir. Polimer zincirleri adeta birbirine dolaşmış ipliklerden oluşan bir yumağı andırır. [Akyüz Ö. F. , 1999]

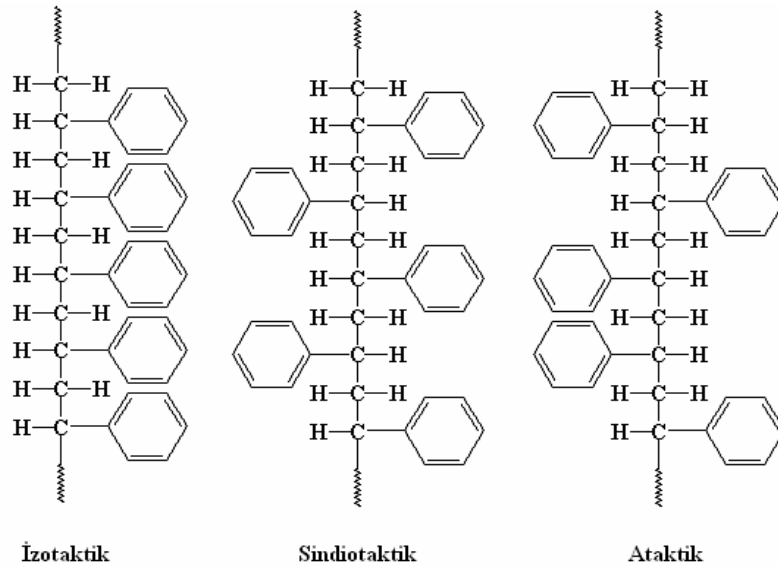
1.1.3.1 Polimer zincirinde konfigürasyon, konformasyon , taktisite

Polimer zincirlerinin doğrusal ve dallanmış olmaları yanında, diğer organik bileşiklerde de görüldüğü gibi, değişik atomların veya grupların, polimer zincirindeki tertibine bağlı olarak, polimer zincir yapısında farklılıklar oluşmaktadır. Bu farklılıklar polimer zincirinin değişik **konfigürasyon**larını oluşturur. Polimer zincirinin

konfigürasyonu, atomlar arası bağ kopartılmadıkça veya polimer zinciri kimyasal olarak yeniden düzenlenmedikçe, değiştirilemez. [Akyüz Ö. F. , 1999]

Bir polimer zinciri, atomlar arasındaki tek bağlar etrafında dönebilir. Böylece aynı zincir üzerinde farklı düzenlemeler oluşur. Örneğin bir polimer zinciri gerdirilerek, bir düzlem üzerinde zig-zag görünümü alması sağlanabilir. Aynı polimer zincirinin daha az gerdirilerek, bükümlü veya yumak şeklinde bir yapıya kavuşması sağlanabilir. Bu değişik zincir şekilleri **konformasyon** olarak adlandırılır. [Akyüz Ö. F. , 1999]

Polimer zincirinin konfigürasyonuna bağlı olarak, polimerlerde **taktisite** kavramı oluşmuştur. Polimer zincirindeki karbon atomlarının üzerinde bulunduğu düzleme göre ne yönde sıralandığı taktisitenin tanımını oluşturur. Böylece değişik uzay yapıları polimerler oluşur. Bu yapıdaki polimerlere stereo düzenli polimerler (uzay yapıları polimerler) denir. Böylelikle aynı kimyasal yapıya sahip olan polimerlerin, **izotaktik**, **ataktik** ve **sindiotaktik** gibi farklı yapıları bulunabilir. Üç farklı taktisite üç farklı zincir dizilişine yol açmaktadır. Örneğin izotaktik ve sindiotaktik PP polimer malzeme olarak yaygın bir şekilde kullanılırken, ataktik PP vasat mekanik özellikleri nedeniyle pek kullanılmamaktadır. [Akyüz Ö. F. , 1999]



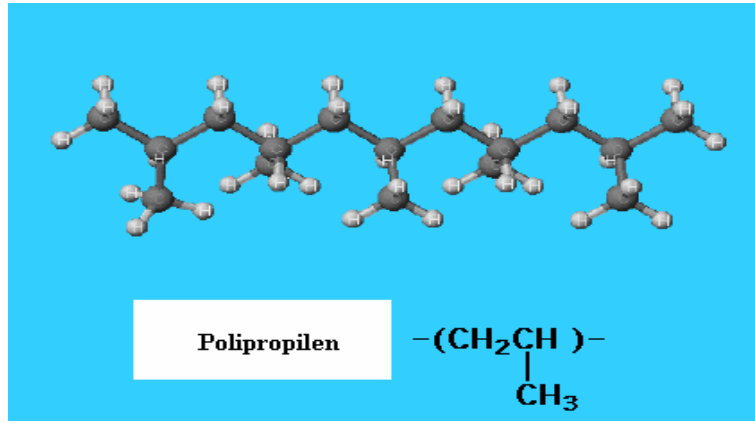
Şekil 1.11 İzotaktik, sindiotaktik, ataktik polistiren

1.1.4 Monomer birleşimine göre polimerlerin sınıflandırılması

- Homopolimerlerde polimer zincirinde tekrar eden birim yani mer, aynıdır.



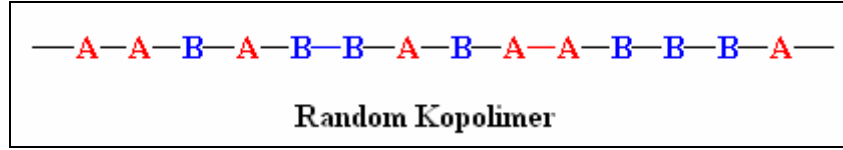
Bu tür polimerler tek bir monomerin polimerizasyonu sonrasında elde edilir. Homopolimerlere örnek olarak polietilen verilebilir.



Şekil 1.12 Polipropilen zincir yapısı

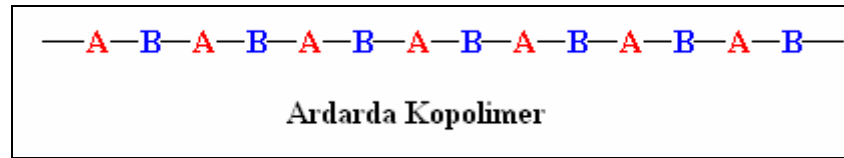
Kopolimerlerde ise, polimer zincirinde tekrarlanan birim türü birden fazladır. Bu tür polimerler iki veya daha fazla monomerden meydana gelmektedir. Bu monomerlerin polimer zincirindeki dizilişine göre kopolimerler birkaç tipte olabilir. [Akyüz Ö. F. , 1999]

- Rasgele (Random) Kopolimer; bu tür kopolimerlerde farklı türdeki monomer birimleri, zincir boyunca gelişigüzel dizilir. [Savaşçı Ö.T. vd. , 2002]



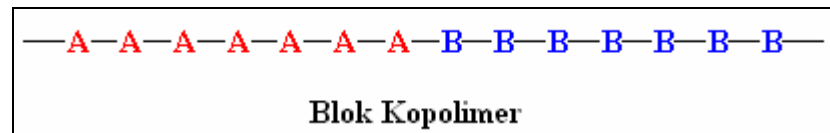
Şekil 1.13 Random Kopolimerin şematik gösterilişi

- Ardarda (Birbirini izleyen) Kopolimer; bu tür kopolimerlerde değişik tür monomer birimlerinin polimer zinciri boyunca dizilişinde bir düzen bulunmaktadır.[Savaşçı Ö.T. vd. , 2002]



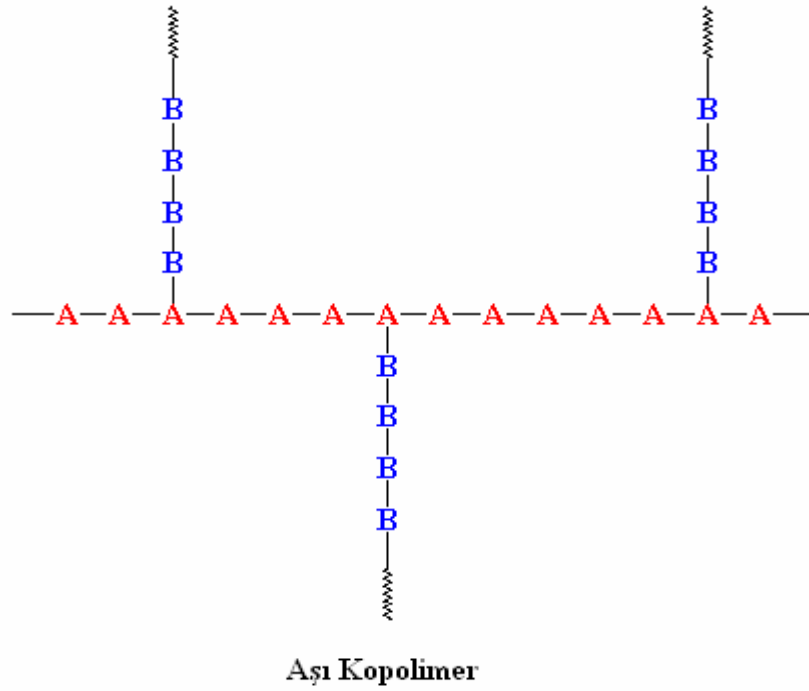
Şekil 1.14 Ardarda Kopolimerin şematik gösterilişi

- Blok Kopolimer; bu tür kopolimerlerde polimer zinciri her bir monomerin belirli boyutlardaki polimerlerinin bloklar halinde birbirine bağlanması ile oluşmaktadır. [Savaşçı Ö.T. vd. , 2002]



Şekil 1.15 Blok Kopolimerin şematik gösterilişi

- Aşı (Graft) Kopolimer; bu tür kopolimerlerde bir monomerden elde edilen polimer zincirine, başka bir monomerden elde edilen, nispeten daha kısa polimer zincirleri yan zincir olarak bağlanmaktadır. [Savaşçı Ö.T. vd. , 2002]



Şekil 1.16 Aşı Kopolimerin şematik gösterilişi

1.1.5 Zincir yapılarının geometrik dizilişine göre polimerlerin sınıflandırılması

Polimer zincirlerinin geometrik yapısı, polimerlerin fiziksel özelliklerini etkileyen değişkenlerden biridir. Böylelikle polimerleri, zincir yapılarının geometrik şekline göre sınıflandırabiliriz. Polimerleri zincir yapılarının geometrik şekline göre Amorf polimerler ve Kristal yapı polimerler olarak iki ana bölümde inceleyebiliriz.

1.1.5.1 Amorf polimerler

Amorf polimerlerde, polimer zincirleri bir düzen içinde bulunmaz. Moleküller arasında tekrarlı ve düzenli boşluklar oluşmaz. Bu tür polimerler, düzenli bir biçimde bir araya gelerek dizilemeyen, karışık ve dağınık olarak bir arada bulunan polimer zincirlerinden oluşmaktadır. [Savaşçı Ö.T. vd. , 2002]

Amorf Polimer

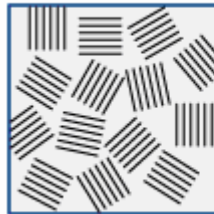


Şekil 1.17 Amorf polimerin şematik gösterilişi

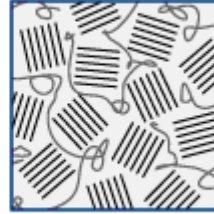
1.1.5.2 Kristal yapı polimerler

Kristal yapı 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]

Kristalin Polimer Yarı Kristalin Polimer



a



b

Şekil 1.18 a) Kristalin polimerin şematik gösterilişi, b)Yarı kristalin polimerin şematik gösterilişi

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

Ancak polimer, polimer zincirlerinin küçük veya büyük parçalar halinde hareketine olanak sağlayan bir şekilde camsı geçiş sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklıkta bekletilirse, zamanla polimer zincirleri dzenli biçimde dizilmeye başlayabilir. Böylelikle polimer malzemenin kristal yapısı geliştirilebilir. [Savaşçı Ö.T. vd. , 2002]

Polimerlerde, kristalli kısmın büyüklüğü, şekli ve miktarı polimerin fiziksel özelliklerini büyük ölçüde etkilemektedir. Bazı polimerlerde ise çekme ve gerdirme sonrasında polimer zincirlerinin yönlenmesi sağlanmaktadır. Polimerin bir yönde çekilme ve gerdirilmesi, polimer zincirlerinin gerdirme yönüne paralel olarak yönlenmesini sağlar. Hem amorf hem de kristalli polimerlerde gerdirme işlemi sonrasında polimer zincirlerinin yönlenmesi mümkündür. Gerdirme işlemi sonrasında gerdirme yönüne dik boyutta malzeme özellikleri önemli boyutta değişmektedir. Bu işlem elyaflarda kullanılarak, elyafın kopma dayanımının geliştirilmesi sağlanmıştır. [Savaşçı Ö.T. vd. , 2002]

1.2 Plastiklerin Tarihi Gelişimi

17. yüzyılda bir İngiliz olan John Osborne doğal bir polimer olan boynuzu kullanarak kalıplama işlemleri gerçekleştirmiştir. Bir sonraki yüzyılda gelişmeler birbirini takip etmiş, 19. yüzyılda boynuz kalıplama endüstrisi, orta ölçekli taleplere cevap verecek konumda seri üretimle üretilebilir konuma gelmiştir. 19. yüzyılın bitişiyle birlikte fizik ve kimya gibi çeşitli alanlarda hızlı bir bilimsel gelişme meydana gelmiştir. Bu hızlı gelişme endüstriyel isteğe bağlı olarak gerçekleşmiştir. Bunun nedeni artık istenen özelliklere sahip malzemelerin doğada bulunmayışıdır. Bu da endüstriyel üreticileri farklı malzemeler oluşturma yoluna götürmüştür. Bununla birlikte içerisinde ilk plastiklerinde bulunduğu birçok malzeme grubu ortaya çıkmıştır. Tropikal ağaçlardan toplanan zamklar kullanılmış, özellikle lastik ve güteperka'nın (gutta percha) 1847'de Bewley tarafından ilk plastik ekstrüderin yapılmasıyla kullanımı artmıştır. Güteperka'nın ilk kullanımı 1850 yılında denizaltı kablolarının koruma ve izolasyonunu sağlamak üzere gerçekleşmiştir. Kauçuk malzemesi üzerine Thomas Hancock ve erkek kardeşi Charles, yaygın bir şekilde çalışmalar yapmış ve sonunda kauçuk vulkanizasyonunu gerçekleştirmiştir. (1839) Bu olay gerçekleştiğinde aynı anda bu keşif Amerika'da Goodyear tarafından yapılmıştır. Fakat Hancock kardeşlerin gerçekleştirdiği bu olay, ilk maksatlı ve amaçlı bir çalışma sonrasında, doğal bir polimerden, modifikasyonlardan sonra kullanılabilir bir kalıplama malzemesi üretme çalışmasıdır ve başarıyla sonuçlanmıştır. Fransa'da Lepage albumin (yumurta akı) ve ağaç tozuyla birlikte çalışmış ve dekoratif amaçlı plakların imali ile uğraşmıştır. Zaman içerisinde birçok kişi bataklık kömürü (turba), deniz yosunu, kâğıt ve deri gibi malzemeler üzerinde çalışarak bu malzemelerin modifikasyonlar sonucunda kalıplamaya uygun hale getirilmesi için deneyler yapmışlardır. Örnekler 19. yüzyılın ortalarından sonra artmaktadır. Organik kimyacılar bu zamandan sonra yaptıkları bazı denemelerinde rastlantısal olarak bazı yüksek molekül ağırlıklı maddeler sentezlediler. Bu yüzyılın ikinci yarısından itibaren polimer konusundaki araştırmalar gelişmiş ve yeni polimer türleri geliştirilmiştir. Bu alanın öncüsü Alman kimyager Herman Stauding'dir. Herman Stauding ilk defa polimerizasyon koşullarının polimer oluşumu üzerine etkisini tanımlamıştır. Stauding kimyanın bu alanında yaptığı çalışmalarla 1953

yılında Nobel ödülünü almıştır. Bu alanda ilk kez çalışan araştırmacılar doğal polimerleri taklit ederek işe başlamışlar ve 1930 yılında Wallace Carothers Nylon'u sentezlemeyi başarmıştır. İkinci dünya savaşından bu yana birçok polimer laboratuvarlar da üretilmiş ve ayrıca birçok polimer endüstriyel ölçekte üreilmeye başlamıştır. Endüstriyel organik kimyacılar ise daha çok polimer kimyası alanına kayarak çalışmalarını bu yönde sürdürmeye başlamıştır. Bunun sonucu olarak günümüzde sayısız polimer türü geniş bir uygulama alanın da çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır

1.3 Plastiklerin Özellikleri

Zaman içerisinde bilim ve teknolojiye meydana gelen ilerlemeler, ilk zamanlarda çok az olan malzeme kullanımını, hem malzemelerin çeşitliliklerini hem de değer ve kalitelerini yükseltmeleri doğrultusunda hızlı bir şekilde arttırmıştır. Uzun bir süre boyunca kullanılan metal, odun ve seramik gibi malzemelerin yanında plastikler ancak 20. yüzyılın başlarında tanınmaya ve kullanılmaya başlanmıştır. Günümüze dek hızlı bir gelişim süreci geçiren plastikler sahip oldukları birçok nitelik açısından diğer malzemelerden üstün hale gelmiş, otomotiv, elektronik ve haberleşme başta olmak üzere bir çok alanda kullanılan malzeme cinsi olmuştur. [Yaşar H. , 2001]

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 diğer malzemelere göre azdır. Metallerden ve seramiklerden daha hafiftirler. Yoğunlukları, 0.8 g/cm^3 ile 2.2 g/cm^3 arasında değişir. Düşük yoğunluk değerleri hafif olmalarını sağlarken, ağırlık/dayanım oranının önemli olduğu sistemlerde yüksek dayanıma sahip plastikler, en çok tercih edilen hafif malzeme sınıfı haline gelmiştir.
- Değişken mekanik özelliklere sahiptirler.

Çizelge 1.1 Bazı Termoplastikler ve özellikleri

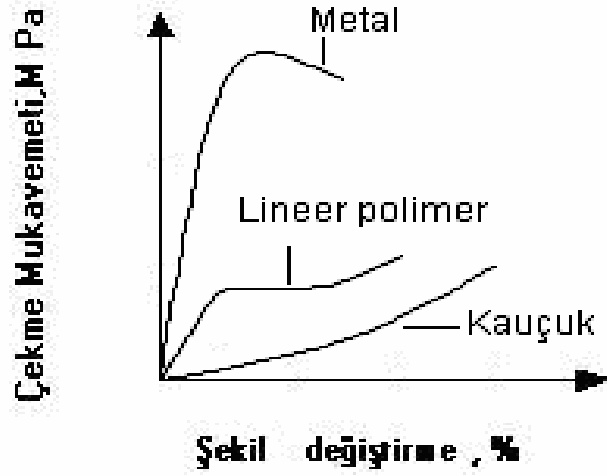
Termoplastikler				
Malzeme	Malzeme Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Çekme Mukavemeti MPa	Elastisite Modülü MPa	Kullanım Sıcaklık sınırı °C
Polietilen(A.Y.) (PE)	0,92-0,93	7-17	105-280	80
Polietilen (Y.Y.) (PE)	0,95-0,96	20-37	420-1260	100
Polivinilklorür (PVC)	1,5-1,58	40-60	2800-4200	110
Polipropilen (PP)	0,90-0,91	50-70	1120-1500	105
Polistiren (PS)	1,08-1,10	35-68	2660-3150	85
Akrilonitril-Bütadien-Stiren (ABS)	1,05-1,07	42-50	-	75
Polimetilmetakürilat (PMMA)	1,11-1,20	50-90	2450-3150	125
Politetrafloretillen Teflon)	2,1-2,3	17-28	420-560	120
Naylon 6.6	1,06-1,15	60-100	2000-3500	82
Selülozikler	1,2-1,3	20-50	-	60

Çizelge 1.2 Bazı Termosetler ve özellikleri

Termosetler				
Malzeme	Malzeme Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Çekme Mukavemeti MPa	Elastisite Modülü MPa	Kullanım Sıcaklık sınırı °C
Fenolikler	1,27	35-60	2800-9200	170-250
Polyesterler	1,28	45-95	2100-4600	150-175
Epoksiler	1,25	28-90	2800-3500	150-260
Melaminler	1,50	35-70	7000-11200	150-200

Metallerden daha düşük çekme dayanımı ve elastisite modülü değerine sahip olmalarına rağmen bu değerler geniş bir çerçevede değişmektedir. Öyle ki; cam elyaf takviyeli plastiklerin çekme dayanımları, en hafif metallerden biri olan alüminyum ile yarışır hale gelmiştir. Günümüzde bazı dolgu malzemeleri kullanılarak metallerden daha yüksek mekanik dayanıma sahip plastikler oluşturulabilmiştir.

- Şekil verilebilirlikleri kolay ve işlenmesi basit proseslerden ibarettir.



Şekil 1.19 Değişik malzemelerin gerilme-genleme diyagramı (σ - ϵ)

Yukarıdaki şekilden de görülebileceği gibi plastikler, metallere göre daha düşük kuvvetler altında şekil değiştirebilirler. İşleme sıcaklıkları $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altında olmakla birlikte bu sıcaklık aralığı $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $320\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında değişmektedir. Bu sıcaklıkların düşük değerlerde olması, plastiklerin işlenebilmesi için gerekli enerji miktarının da az olmasını sağlar. Seri üretime yani yüksek üretim miktarlarındaki üretime imkan sağlayan otomasyon tekniklerine uygun oldukları gibi zaman alıcı ve yüksek maliyet gerektiren son işlemlere ihtiyaç duymadan karmaşık yapıları ürünlerin imalatına da uygundur.

- İlave edilen katkı malzemeleriyle özellikleri değiştirilebilir. Bu katkı malzemeleri;
 1. Malzemenin özelliklerini değiştirmeyen, ekonomik nedenlerle kullanılan mineral ve kalsit gibi dolgu maddeleri
 2. Malzemenin elastisite modülü ve çekme dayanımı gibi mekanik özelliklerini geliştiren cam elyaf ve karbon elyaf gibi takviye edici dolgu malzemeleri
 3. Malzemenin rengini değiştirmeye yarayan renk pigmentleri

4. Malzemeye, bazı çalışma özelliklerini ve mekanik özelliklerini değiştirmek üzere katılan yumuşatıcı maddeler
 5. Malzemenin alev direncini artırıp yanıcılığının azaltılması doğrultusunda ilave edilen alev geciktiriciler
 6. Malzemenin bozulmasını engellemek için kullanılan malzemeler
- Plastikler ısıyı ve elektriği hemen hemen hiç iletmezler yada az iletirler. Plastiklerin ısıyı metallere nazaran oldukça az iletmeleri, plastiklerin yalıtım malzemesi olarak kullanılmasını sağlamıştır. Plastiklerin ısıyı yalıtması iyi bir özellik olarak değerlendirilse de yüksek ısı yalıtımı kalıp içerisindeki ergimiş plastiklerin soğumasını geciktirmektedir. Bu da plastik enjeksiyon gibi ergimiş plastiğin kalıp içerisine enjekte edilmesinden sonra kalıp içerisindeki ergimiş plastiğin soğutulması esasına dayanan üretim yönteminde zorluklar getirmektedir. Isının yalıtılması ergimiş haldeki plastiğin soğumasını zorlaştırır. Ve dolayısıyla soğuma zamanı uzayarak üretim prosesinin verimi azalmaktadır. Düşük elektrik iletkenlikleri plastikleri elektrik yalıtıcı malzemeler arasına dahil etmiştir. Bazı plastiklerin elektriği iletmesi istenebilir. Bu; ayakkabı tabanının imalinde plastiğin kullanılması sonrasında statik elektrik birikmesini engellemek söz konusu olduğunda ortaya çıkan bir durumdur. Plastiğin elektriği iletmesi için karbon siyahı gibi katkı malzemeleri de kullanılabilir. [Akyüz Ö. F. , 1999]
 - Bazı plastikler saydam bir görünüme sahiptirler. Bu özellik plastiklerin gözlük camı, kompakt disk, optik disk üretimine uygun kılmaktadır. Saydam görünümlü bu plastik malzemeler camdan daha kolay işlenebilmelerinin yanında oldukça gelişmiş optik ve mekanik özelliklere sahiptirler.
 - Plastikler kimyasal maddelere karşı yüksek dirence sahiptir. Plastiklerin atom yapılarının metallere farklı olması nedeniyle, korozyona karşı metallere daha fazla direnç gösterirler. Dirençli oldukları kimyasal ortamlar çok olmamasına rağmen plastikler bu özellikleri yardımıyla birçok uygulama alanı kazanmışlardır. Buna ev aletleri, araç yakıtına karşı dayanıklı otomobil

parçaları, gıda ve kozmetik sanayinde ambalajlama amacıyla kullanılan plastikler örnek olarak verilebilir. Plastikler organik çözücülerde çözünebilmektedir. Bu da plastiklerin kullanım alanları belirlenirken göz önünde bulundurulmalıdır. [Akyüz Ö. F. , 1999]

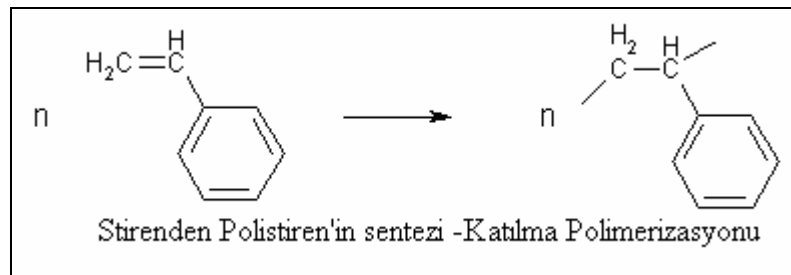
- Plastikler çeşitli yöntemlerle yeniden kullanılabilir hale getirilebilir. Bir kısım plastikler geri dönüşümlüdürler. Geri dönüşüm işlemlerinin uygulanması öncesinde ekonomik olarak en faydalı çözüm düşünülmeli, gerektiğinde yakılarak malzeme geri dönüşümü sağlanmadan, enerji geri dönüşümü sağlanmalıdır.
- Plastiklerin hammadde olarak üretilmesi de selefindeki malzemelere göre(metaller, seramikler ve diğer kompozitler) daha az enerji gerektirmektedir. Bu yüzden plastiklerin üretilmesinde kullanılan üretim yöntemleri de düşünüldüğünde plastik üretimi ekonomik bir hal almaktadır. [Akyüz Ö. F. , 1999]

1.4 Plastiklerin Üretimi

Her plastiği oluşturan polimer malzemenin, bir monomeri bulunmaktadır. Grup halindeki monomerler bir tepkime ile polimer zincirini oluştururlar. Polimeri oluşturan monomerler ana grup haline geçerken çift bağların açılması gibi bazı yapısal değişikliklere uğrarlar. Polimerizasyon süreçleri, Carothers ve Flory tarafından iki ana grupta toplanmıştır. Bunlar “**KATILMA**” (Addition) ve “**YOĞUŞMA**” (Condensation) polimerizasyonlarıdır. [Yaşar H. , 2001]

1.4.1 Katılma polimerizasyonu

Katılma polimerizasyonu, monomer çift bağlarının belirli sıcaklık, basınç ve katalitik etki koşullarında açılarak ürünün mol kütlesine bağlı miktarlarda birleşmesiyle meydana gelmektedir. Bu tür polimerizasyonda genelde yan ürünler oluşmaz. Bu yolla elde edilen termoplastikler, tek bir tür monomer kullanılması halinde homopolimer, birden fazla türde monomer kullanılması halinde ise, kopolimer olarak adlandırılır.

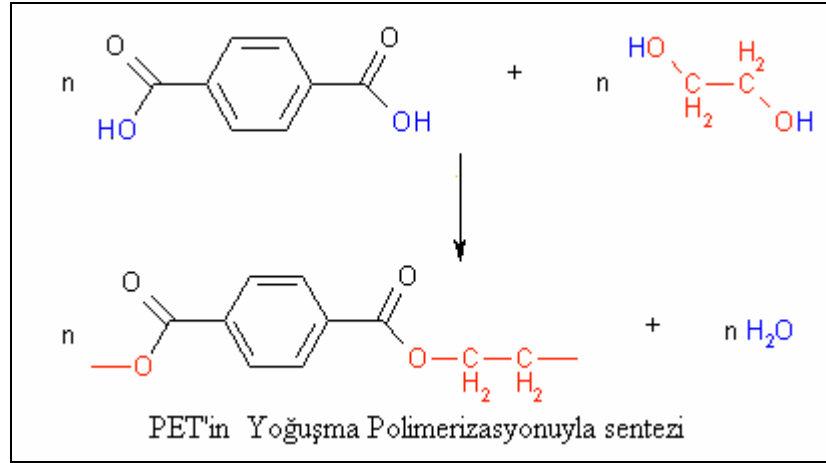


Şekil 1.20 Katılma polimerizasyonunun şematik gösterimi

Katılma polimerizasyonu ile elde edilen, önemli termoplastikler PA, PC, PE, PMMA, PP, PS, ABS. [Yaşar H. , 2001]

1.4.2 Yoğuşma polimerizasyonu

İki veya daha fazla tür monomerin özel koşullarda bir kimyasal tepkimeye girerek belirli sayılarda birleşmeleri ve ortamdan bazen su bazen de amonyak ve başka küçük bir molekül ayrılarak bir polimer oluşturmalarıdır.



Şekil 1.21 Yoğuşma polimerizasyonunun şematik gösterimi

Termosetler Yoğuşma polimerizasyonu ile elde edilebilir. Bunlar ısı ile yumuşamazlar. Ancak basınç ve ısı uygulanmasıyla bir kalıpta biçimlendirilebilirler.

[Yaşar H. , 2001]

1.5 Mühendislik Plastikleri

1.5.1 Malzeme seçimi

İstenenler özellikler doğrultusunda uygun malzemenin seçilmesi için gerekli iki önemli olgu vardır.

- Malzemenin işlevini yerine getirebilmesi
- Malzemenin maliyeti

Malzemenin işlevini yerine getirebilmesi, sahip olduğu özellikler dahilinde gerçekleşir. Malzemenin mekanik, elektriksel, kimyasal, optik, estetik ve diğer birçok özelliği, malzemenin görevini yerine getirebilmesinde büyük rol oynar. Maliyet ise malzeme için gerekli hammadde ve malzemenin ürün haline getirilebilmesi için gerekli tüm harcamaları kapsar.

Maliyet, kullanılması muhtemel olan malzemenin seçiminde önemli bir rol oynarken asıl amaç malzemenin istenen işlevi yerine getirebilmesidir. Örneğin üretilmesi istenen dayanıklı ve elektriği ileten bir ayakkabı tabanı ise, seçilen malzemenin elektriği iletmesi ve aşınma direnci özelliklerinin yerine getirilmiş olması esastır. Statik elektriğin birikmemesi için elektriği ileten ve aşınma direnci yüksek malzemeler arasından maliyeti en düşük olan malzeme seçilir. Malzeme seçilirken, üründen beklenenler ayrıntılı bir şekilde belirlenmelidir. Belirlenen özelliklere göre malzeme seçimi yapılmalıdır. Üründen beklenen özellikler doğrultusunda çeşitli plastik malzeme grupları seçilebilir. Örneğin üretilmesi istenen bir büyüteç camı ise, şeffaf görünümlü olmayan tüm plastik grupları seçim dışında kalır. Üretilmesi istenen üründen beklenen özellikler ne kadar fazla ise kullanılması istenen malzemenin seçilmesi o kadar zorlaşır. Plastik bir saklama kabının yapımında gerekli malzeme için çoğu plastik malzeme kullanılabilir. Fakat söz konusu olan bir yolcu taşıma uçağının parçası olursa, istenen özellikler o kadar fazladır ki; tüm plastiklerin kullanımı imkânsız hale gelebilir. Bu yüzden bilinen malzeme gruplarının karıştırılmasıyla çeşitli kompozit malzemeler elde edilerek bu tür özel parçaların üretimi gerçekleştirilebilir. [Ezdeşir A. vd. , 1999]

1.5.2 Plastik malzeme seçiminde dikkate alınan özellikler

1.5.2.1 Mekanik özellikler

Üründen beklenen mekanik özellikler dahilinde malzeme seçimi yapılabilir. Bu mekanik özellikler ürünün, çekme, basma, eğilme, burulma, bükülme, yorulma, darbe dayanım özelliklerini içine alan özelliklerdir. Tüm bu istenenler doğrultusunda süneklik, tokluk, rijitlik, sürtünme özellikleri ve aşınmaya karşı direnç alanlarında da malzeme istenen değerlere sahip olmalıdır. [Ezdeşir A. vd. , 1999]

1.5.2.2 Isıl özellikler

Ürünün kullanılacağı en düşük ve en yüksek sıcaklık aralığı belirlenmeli ve ürün hakkındaki ergime sıcaklığı, ısı geçirgenliği, ısıl genleşmesi, bozunma sıcaklığı gibi termal özellikler göz önünde bulundurulmalıdır. Kullanılacak olan ürünün çalışma sıcaklık aralığının etkin bir şekilde belirlenmemesi durumunda büyük sorunlar ortaya çıkabilir.

1.5.2.3 Elektriksel özellikler

Malzemenin seçilmesinde ürünün sahip olması istenen elektriksel özellikleri de büyük rol oynar. Eğer üretilmesi istenen yalıtkan bir ayakkabı tabanı ise malzeme yalıtkan plastikler içerisinde seçilir. Aksi takdirde üretilmesi istenen elektriği ileten bir ayakkabı tabanı ise karbon siyahı takviyesi göz önünde bulundurularak elektrik iletkenliği arttırılabilen plastikler arasından malzeme seçimi yapılabilir.

1.5.2.4 Kimyasallara ve diğer çevresel etkilere dayanıklılık

Elde edilmesi istenen ürünün çalışma ortamında bulunan malzemelerle içerisinde bulunduğu etkileşim dikkate alınmalıdır. İşletme şartlarında bulunan çözücü maddelere karşı malzemenin tek başına dirençli olup olmadığı dikkate alınmalı, aksi takdirde ortamdaki çözücü maddelere karşı kaplama yoluyla çözüm aranmalıdır.

1.5.2.5 Görünüm özellikleri

Ürünün görünümü istenildiği takdirde büyük önem kazanmaktadır. Malzemenin işlenmesinden sonra estetik ve istenen görünüme sahip olması esastır. Aksi takdirde ürün üzerine, görünüm özelliklerinin iyileştirilebilmesi için çeşitli proseslerin uygunluğu araştırılır. Bu hususların dikkate alınmasıyla birlikte malzeme seçimi gerçekleştirilebilir.

1.5.2.6 Üretim yöntemiyle ilgili özellikler

Elde edilmesi istenen ürünün sahip olması gereken özellikler yanında, ürün geometrisi ve ürünün imal edildiği malzemenin türü gibi karakteristikler üretim yönteminin belirlenmesinde önemli rol oynar. Örneğin üretilmesi istenen plastik bir tabak ise, bunun için en ekonomik üretim yöntemi seçilmelidir. Üretim yöntemi seçilirken prosesin enerji gereksinimi, yatırım maliyeti (Plastik enjeksiyon makinası, Plastik enjeksiyon kalıbı v.b.) göz önünde bulundurulmalı ve yöntem seçilmelidir. [Ezdeşir A. vd. , 1999]

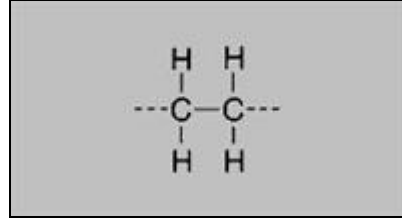
1.5.3 En çok kullanılan bazı mühendislik plastikleri

1.5.3.1 Polietilen (PE)

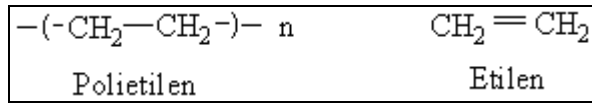
Etilen monomerinin polimerizasyonu sonrasında oluşan, uzun zincirli bir yapıya sahip makromoleküllü polimer “**Polietilen**” olarak adlandırılabilir. Polietilen bir homopolimerdir. Tarihte ilk üretilen polietilen, alçak yoğunluklu polietilen olarak adlandırılan AYPE’dir. [Ezdeşir A. vd. , 1999]

II. dünya savaşı sırasında alçak yoğunluklu polietilenin üretimi hızlandırılmış, elektronik, elektrik nakli, paketleme, kalıplama alanında hammadde olarak kullanılmıştır. Daha sonrasında, Ziegler-Natta adıyla anılan yeni bir katalizörün bulunmasıyla, etilen monomeri daha düşük basınçta polimerizasyon işlemine tabi tutulabilmiş ve yapısının daha düzenli olması sağlanmıştır. Böylece yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) ve düz zincirli alçak yoğunluklu polietilen (LDPE) üretimi söz konusu olmuştur. [Yaşar H. , 2001]

Daha sonraları, Metalosen adı verilen katalizörlerin bulunmasıyla polietilen zincir boyu kolaylıkla kontrol edilebilir bir konuma gelmiştir. Böylelikle hemen hemen eşit uzunluktaki zincirlerden oluşan polietilen elde edilmiştir. Metalosen adı verilen katalizörle polimer üretimi son yıllarda gelişmiştir. Ve bu katalizör yardımıyla üretilen polietilenin fiziksel özellikleri üstündür. Yoğunluğu $0,94 \text{ gr/cm}^3$ olan ve düşük basınç şartlarında üretilen polietilenler, düz zincirli alçak yoğunluklu polietilen olarak adlandırılırlar. Düz zincirli alçak yoğunluklu polietilen LLDPE olarak adlandırılır. AYPE ile LLDPE’ nin yoğunlukları aynı olmasına rağmen, LLDPE düz zincirli bir yapıya sahip olduğundan dolayı işleme özelliği AYPE ’den farklıdır. Sahip olduğu fiziksel özellikler AYPE ’ye nazaran üstünlükler içerir. [Yaşar H. , 2001]

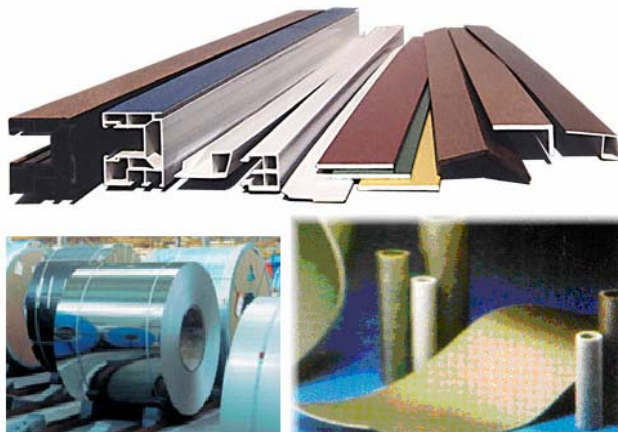


Şekil 1.22 Etilen monomerinin şematik gösterilişi



Şekil 1.23 Etilen monomeri ve polietilenin şematik gösterimi

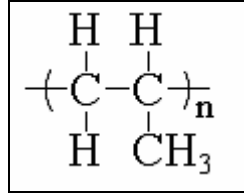
Günümüz plastikleri içerisinde en fazla üretim oranına sahip olan polietilenin toplam üretimi plastiklerin üretiminin % 40'ını oluşturmaktadır. Alçak yoğunluklu polietilen, yüksek yoğunluklu polietilen gibi türleri üretilmektedir. Birçok plastik işleme yöntemiyle şekillendirilebilen polietilen, film, levha, profil v.b. ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır. [Ezdeşir A. vd. , 1999]



Şekil 1.24 Polietilenden imal edilmiş ürünler

1.5.3.2 Polipropilen (PP)

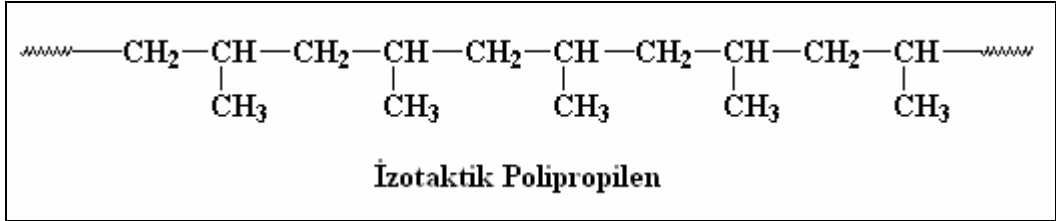
Polipropilen yarı şeffaf, beyaz renkli ve oda sıcaklığında katı halde bulunan bir termoplastiktir. Ergime noktası 175 ° C civarındadır. Birçok bükülmeden sonra dahi sertliğini korur. Isı ve ışığın etkisiyle kolayca bozunabilir. Kolay bir şekilde renklendirilemez. Düşük su absorpsiyonu ve su geçirgenliği vardır. Bugün dünyada 150'den fazla üretilmiş polipropilen türü bulunmaktadır. Bu kadar fazla türde üretilen polipropilenin bulunması, beraberinde polipropilenin kullanım alanlarını da geliştirmiştir.



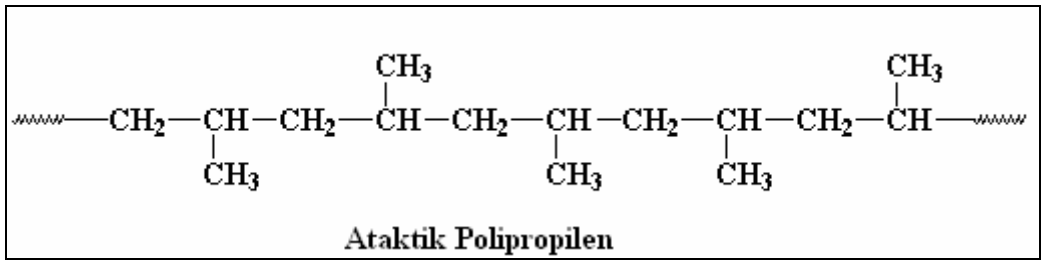
Şekil 1.25 Polipropilenin şematik gösterilişi

Polipropilen, paketlenme filmi, otomobil parçası, çeşitli ev aletleri, ev eşyası, tel ve kablo kaplamalarında, gıda maddesi ambalajında, kaplama ve laminasyon malzemesi olarak, halı ve yer döşemesi yapımında, halat ve çuval lifi üretiminde, akü kabı üretiminde, meşrubat şişesi kasalarında, laboratuvar donanımı yapımında, oyuncak yapımında, radyatör ızgaralarında, sentetik çim yapımında, plastik boru üretiminde, mühendislik plastiklerinin uygulamalarında, optik ve elektrik malzemelerin imalatında, profil, levha, halı, keçe, paspas ve ilaç ambalaj sanayisinde kullanılmaktadır. Polipropilen 1950'li yılların ortalarında NATTA tarafından bulunmuştur. Polipropilen, bir gaz olan propilen monomerinin polimerizasyonu sonrasında elde edilmektedir. Uygulanan yöntem katılma polimerizasyonudur. Polipropilenin yoğunluğu 0.905 gr/cm³'tür. Hafif bir plastiktir. Rijit bir termoplastik olan polipropilen yüksek mekanik özelliklere sahiptir. Çekme dayanımı yaklaşık olarak 3500 N/cm²'dir. Mekanik özelliklerini yüksek sıcaklıklara kadar koruyabilmektedir. Darbe dayanımı yüksektir.

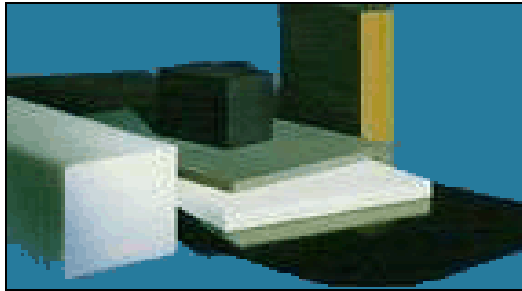
Elektriksel özellikleri çok iyi olan polimer, kimyasal maddelere karşıda direnç gösterir. Polipropilen bir termoplastik ürün olarak, birçok plastik işleme yöntemiyle şekillendirilebilir. Levha, film, profil ve tel haline getirilebilir. [Ezdeşir A. vd. , 1999]



Şekil 1.26 İzotaktik polipropilenin şematik gösterilişi



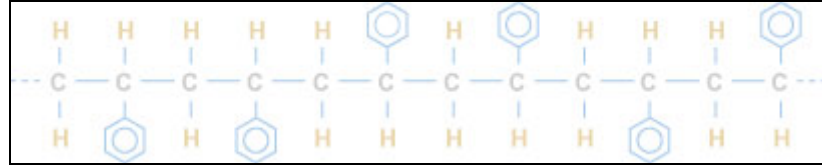
Şekil 1.27 Ataktik polipropilenin şematik gösterilişi



Şekil 1.28 Polipropilenden imal edilmiş ürünler

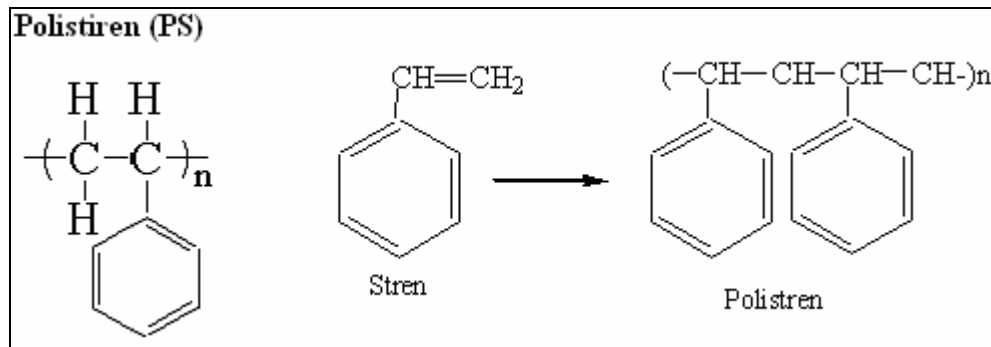
1.5.3.3 Polistiren (PS)

Stiren monomerlerinin birleşerek oluşturduğu polimer, Polistiren olarak adlandırılır. Polistirenin zincir yapısı aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 1.29 Polistiren polimerinin zincir yapısı

Polistirenin polimer zincirleri içerisinde 700 ile 1300 monomer bulunmaktadır. 100 °C'nin altında şeffaf ve katı, 100 °C'nin üstünde ise yumuşak ve akışkan bir hal gösterir. Ticari anlamda ilk polistiren üretimi Amerika Birleşik Devletleri'nde 1938 yılında gerçekleştirilmiştir. Stiren monomerinin polimerizasyonu sonrasında elde edilen polimer, genel amaçlı polistiren olarak da adlandırılır. Polistiren polimerinin kullanım yerleri, gıda ambalajı, radyo ve televizyon kabinleri, teyp ve video kasetleri, buzdolabı parçaları, dekoratif yapı malzemeleri, masa, sandalye, mobilya, mutfak gereçleri, oyuncak sanayidir. Polistirenin yapısı; [Yaşar H. , 2001]



Şekil 1.30 Polistiren polimerinin şematik gösterimi ve stiren monomeri

n = tekrarlayan birim sayısı (750-1300)

Genel amaçlı polistirenin yoğunluğu, $1.02 \text{ gr/cm}^3 - 1.06 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişmektedir. Camsı geçiş sıcaklığı ise, $T_g = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ 'tır. Polistirenin diğer termoplastiklere nazaran avantajlı olmasının sebebi, amorf bir yapıya sahip olmasıdır. Kristal yapıda olmadığından camsı halden ergimiş hale geçerken az enerji harcanır. Kristalleşme için gerekli bir enerjiye ihtiyaç duyulmaması, polistirenin hızlı kalıplanmasını mümkün kılar. Camsı geçiş sıcaklığının üzerinde, viskoelastik ergiyik şeklinde plastik enjeksiyon ve plastik ekstrüzyon kalıplama yöntemleriyle az enerji sarfiyatıyla kalıplanabilir. Polistirenin amorf yapıda olması polietilen yada polipropilen gibi kristal yapıdaki polimerlere göre kalıplama esnasında çekme miktarının çok az olmasına neden olur. [Ezdeşir A. vd. , 1999]



Şekil 1.31 Polistirenden imal edilmiş ürünler

Polistiren polimeri kullanılarak çeşitli ürünlerin imalatı söz konusudur. Bunların arasında levha, film ve profil üretimi büyük yer tutmaktadır. Polistiren kolaylıkla levha, film, profil ve köpük plastik haline getirilebilir. Akışkanlığının çok iyi olması ve ısıl kararlılığa sahip olması polistireni ideal bir polimer haline getirir. Bu sayede polistiren çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. [Yaşar H. , 2001]

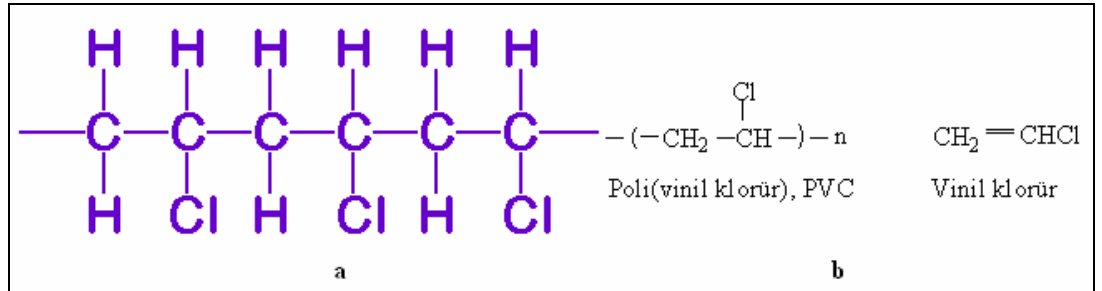
1.5.3.4 Polivinil klorür (PVC)

Sert, yumuşak, opak ve saydam türleri bulunan polivinil klorür, genelde plastikleştirci malzemelerle birlikte kullanılarak işlenmekte ve ürünler meydana getirilmektedir. Üretim kolaylığı, maliyetin düşüklüğü, çevre koşullarına dirençli olması gibi etmenler göz önünde bulundurulunca PVC'nin kablo yapımında oldukça yaygın kullanılmasının nedeni ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte PVC, çok geniş uygulama alanlarına sahiptir. Yer döşeme malzemeleri, yumuşak oyuncak bebekler, su hortumları, çeşitli plastik eşyaların yapımı, PVC'nin kullanımı sonrasında yapılabilmektedir. [Yaşar H. , 2001]



şekil 1.32 Polivinil klorürden imal edilmiş ürünler

PVC, vinil klorür monomerinden hazırlanan bir polimerdir.

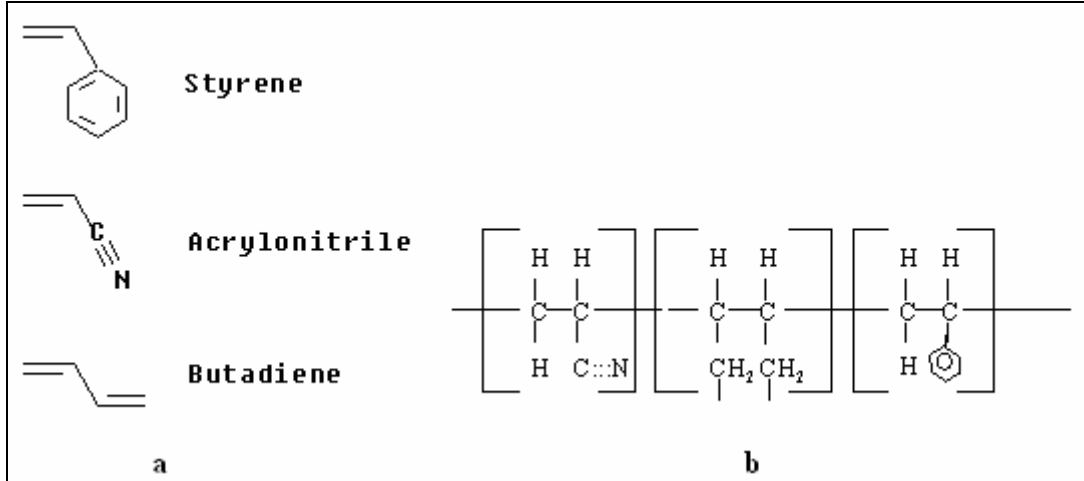


Şekil 1.33 a) Polivinil klorür polimerinin zincir yapısı b) Polivinil klorür ve klorür monomeri

Özgül ağırlığı, $1,4 \text{ gr/cm}^3$ civarındadır. Yumuşak PVC yetersiz mekanik özelliklere sahip olmakla birlikte, çekme dayanımı $140\text{-}240 \text{ kgf/cm}^2$ kadardır. Çeşitli katkı malzemelerinin ilavesiyle birlikte rijit hale getirildiğinde, çekme dayanımı $400\text{-}500 \text{ kgf/cm}^2$ değerine ulaşmaktadır. Genel anlamda fiziksel dayanımı ve elektriksel yalıtımı iyidir. Bir termoplastik olan PVC, hemen hemen tüm plastik işleme yöntemlerine uygundur. Levha, film, boru ve profil olarak kolayca şekillendirilebilir. [Ezdeşir A. vd. , 1999]

1.5.3.5 Akrilonitril butadien stiren (ABS)

Darbe dayanımı çok yüksek, katı, işlenmesi kolay, metal veya tahtaya alternatif, askeri ve sivil amaçlarla fazla miktarlarda kullanılan bir plastik türüdür. Termoplastik olan ABS bir terpolimerdir. Üç monomerin birleşiminden meydana gelmektedir. Bu monomerler, akrilonitril, butadien ve stirendir. Akrilonitril kimyasal direnç, ısı dayanımı ve açık hava koşullarına karşı direnç verir. Düşük sıcaklıkta sağlamlığı ve darbe dayanımını butadien, rijitlik, yüzey parlaklığı ve ısıyla şekillendirilebilmeyi stiren monomeri sağlar.



Şekil 1.34 a) ABS terpolimerini oluşturan monomerler b)ABS terpolimerinin zincir yapısı

Ekstrüze edilmiş ABS'nin çekme dayanımı, 175-560 kgf/cm² değerleri arasında değişmektedir. Açık hava koşullarında uzun zaman kalan ABS plastiğinin mekanik özellikleri negatif yönde etkilenmektedir. Özgül ağırlığı saf polimer için 1.02-1.06 gr/cm³ civarındadır. Elektrik yalıtımı çok iyidir. ABS'nin kullanımı sonrasında; televizyon ve güç donanım kabinleri, anahtar kutuları, çeşitli farlar, aynalar, telefon gövdeleri, büro iş makineleri gövde ve parçaları, boru ve bağlantıları, çanta ve bavul, askeri amaçlı tüfek dipçikleri ve daha birçok parçanın üretimi yapılmaktadır. [Yaşar H. , 2001]

1.6 Kompozit Malzemeler

Kompozit malzeme kavramı, II. Dünya savaşı esnasında eldeki mevcut malzemelerin tek başlarına teknoloji karşısında belli ihtiyaçlara cevap verememesi ile başlamış ve o zamandan beri bu malzemelerin üretimi ve mekanik özellikleri üzerine araştırma ve geliştirme faaliyetleri genişleyerek devam etmiştir. Kompozit malzemelerin geliştirilmesindeki tahrik edici güç, imal edilen ve tasarlanan sistemlerdeki ağırlık/dayanım oranının zamanla önem kazanmasıdır. Kompozit malzemeler belirli uygulama alanlarında üstün fiziksel ve mekanik özellikler elde etmek amacıyla kullanılmaktadırlar. [Şahin Y. , 2000]

Kompozit malzeme; iki veya daha fazla sayıdaki malzemenin bir araya gelerek, aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini yeni oluşacak malzemeye kazandırmak amacıyla, sıcaklık ve basınç gibi dış etkiler yardımıyla, kimyasal ve mekanik bir bağ oluşumu sonrasında oluşan yeni malzemedir. Bir kompozit malzeme genel anlamda üç ana elemandan meydana gelmektedir, bunlar;

- Matris malzemesi
- Takviye elemanı
- Bağlayıcı eleman

En çok bilinen kompozit malzemelere örnek olarak, karbon elyafı plastikler, otomobil lastikleri verilebilir. Kompozit malzeme, eldeki tüm bileşenlerin sıcaklık ve basınç gibi dış etmenler tahriki ile makro düzeyde birleştirilmesi sonrasında elde edilir. Örneğin çelikteki krom ve vanadyum bir karışım oluşturur ve bu bir kompozit değildir. Çünkü çelik bir alaşımdır ve alaşımlarda atomsal ve molekül bir birleşim söz konusudur. Bu nedenle alaşımlar kompozit malzeme olarak değerlendirilmezler. Kompozit malzemeler, yalnız başına bir malzemenin sahip olmadığı üstün özelliklerin yeni bir malzemedeki toplanabilmesi için, üstün özelliklere sahip olan diğer malzemelerle karıştırılması sonrasında oluşur. Bu malzemelerde aranan temel özellikler;

- Yüksek dayanım

- Yüksek rijitlik
- Yüksek yorulma dayanımı
- İyi aşınma direnci
- Isıya karşı yüksek direnç
- İyi korozyon direnci
- Yüksek ısı ve elektrik iletkenliği
- Düşük yoğunluk
- Estetik görünüm ve iyi yüzey kalitesi

Malzemedeki, bu özelliklere ek olarak geliştirilmesi istenen özellik uyarınca birçok geliştirme yapılabilir. Yeni oluşturulacak malzemedeki hangi özelliğin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi isteniyorsa bu doğrultuda matris ve takviye elemanı seçilerek üretim yöntemi belirlenir. Böylelikle bir kompozit malzemenin oluşumu sağlanır. Kompozit malzemeler bazen avantajları yanında dezavantajları da beraberinde barındırırlar. Örneğin istenen malzemenin üretilmesi için çeşitli güçlüklerin varolması, üretim için gereken maliyetin yüksek olması, istenen ürün parametrelerinin tam sağlanamaması, üretilen malzemenin geri dönüşümlü olmayışı sayılabilir.

Mühendislikte kullanılan malzeme grupları temel olarak 3 grupta toplanabilir.

- Metal esaslı malzemeler
- Polimer esaslı malzemeler
- Seramik esaslı malzemeler

Bu malzeme gruplarının birbirine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Ancak bu malzemelerin kullanımı söz konusu olduğunda en çok aranan özellikler, akma dayanımı, elastisite modülü, kırılma tokluğu, yoğunluk, yüksek sıcaklıklara dayanma direnci gibi karakteristiklerdir. Bunlardan orta ve yüksek yoğunluğa sahip ancak tokluk ve dayanım özellik çiftinin en uygun olduğu grubu sayılan metaller, makine ve metalürji mühendisliği alanında en yaygın olarak tercih edilen malzeme türü olarak kabul görürler. Metaller saf halde yumuşak ve dayanımı düşüktürler. Ancak metallerden bazı alaşımların oluşturulması, soğuk şekil verme ve ısı işlemleriyle dayanımları arttırılabilir. Metaller maruz kaldıkları ani yüklemeler sonrasında bile kırılmayarak etki eden tüm yükü sisteme dağıtabilirler. Örneğin çelik maruz kaldığı bir zorlanma karşısında kırılmaz ve akma dayanımı aşıldıktan sonra akar, yükü tüm elemanlara iletir ve sistemin güvenliğini korur. Ayrıca metallere döküm ve

plastik şekil verme gibi yöntemlerle de şekil verilebilir. Kompleks montajlarda kaynak ve vida ile birleştirilebilirler. [Şahin Y. , 2000]

Plastikler, yoğunlukları metallere nazaran oldukça düşük olan bir malzeme grubudur. Plastikler ile çok karmaşık kesitlere ve geometrilere sahip olan parçalar kolaylıkla üretilbildiği gibi plastiklerin talaşlı işlenmesi de kolaydır. Ergime sıcaklıkları düşüktür, çevresel etmenlere karşı kullanımları tehlikelidir, düşük mekanik özellikleri vardır. [Şahin Y. , 2000]

Seramikler ise düşük yoğunluklu, çok dayanıklı ve sert bir yapıya sahiptirler. Buna rağmen oldukça gevrekler. Seramikler ısı ve kimyasal etkilere karşı dirençlidirler. Ancak yüksek ergime sıcaklığı ve sertlikleri işlenmelerini zorlaştırır. Seramikler yalıtıkcıdır. Kırılgan bir karakteristikte olmaları sınıfındaki diğer malzemelere göre seramikleri dezavantajlı kılar. Üretim maliyetleri yüksektir. Bu yüzden üretim yönteminin seçimi ve tasarım büyük bir dikkatle yapılmalıdır.

Seramiklerin, polimerlerin ve metallerin birbirine nazaran üstün ve zayıf özellikleri bulunmaktadır. İhtiyaç duyulan bir parça veya sistemin oluşturulabilmesi için birçok karakteristiğe gerek duyulabilir. Plastik kadar hafif, metal kadar tok ve seramik kadar sert bir malzemenin oluşturulması imkânsız olmasına rağmen günümüzde bu malzemelerin sahip oldukları üstün özelliklere yakın değerler sunan malzemeler üretilmektedir. İşte kompozit malzeme kavramı bu ölçüde önem kazanmaktadır. Kompozit malzemeler, diğer malzeme grupları yanında 4. bir malzeme grubu olarak değerlendirilebilir. [Şahin Y. , 2000]

1.7 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

1.7.1 Matris malzemesine göre sınıflandırma

Kompozit malzemeleri kullanılan matris malzemesine göre üç ana grupta toplayabiliriz.

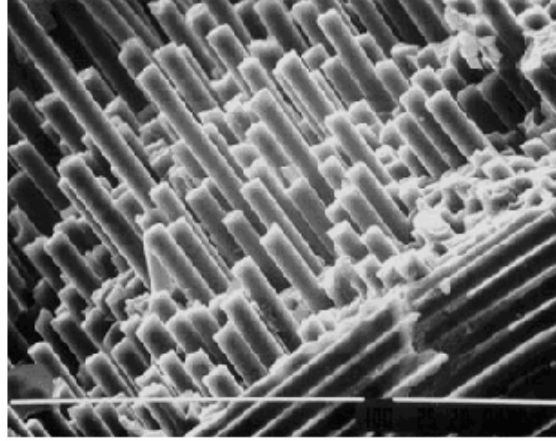
- Metal matrisli(esaslı) kompozitler
- Seramik matrisli(esaslı) kompozitler
- Polimer matrisli(esaslı) kompozitler

1.7.1.1 Metal matrisli kompozitler

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]

1.7.1.2 Seramik matrisli kompozitler

Matris malzemesi seramiktir. Bağlayıcı eleman kullanılmayabilir ya da metal, seramik ve diğer kimyasal bağlayıcılar kullanılır. Takviye elemanı olarak ise metal, plastik, seramik ve ağaç tozu kullanılabilir. [Şahin Y. , 2000]



Fiber Takviyeli Seramik

Şekil 1.35 Fiber takviyeli seramik malzemenin kesitinden alınan büyütülmüş bir görüntü

1.7.1.3 Plastik matrisli 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]

1.7.2 Takviye malzemesine göre sınıflandırma

Diğer bir sınıflandırma ise kompozit malzemelerde kullanılan takviye malzemelerine ve elde edilmesi istenen optimum özelliklere göre yapılabilir. Bu sınıflandırma uyarınca;

- Elyaf takviyeli kompozitler (Fibre Reinforced Composites)
- Parçacık takviyeli kompozitler(Particulate Reinforced Composites)
- Tabakalı kompozitler (Structural Composites)

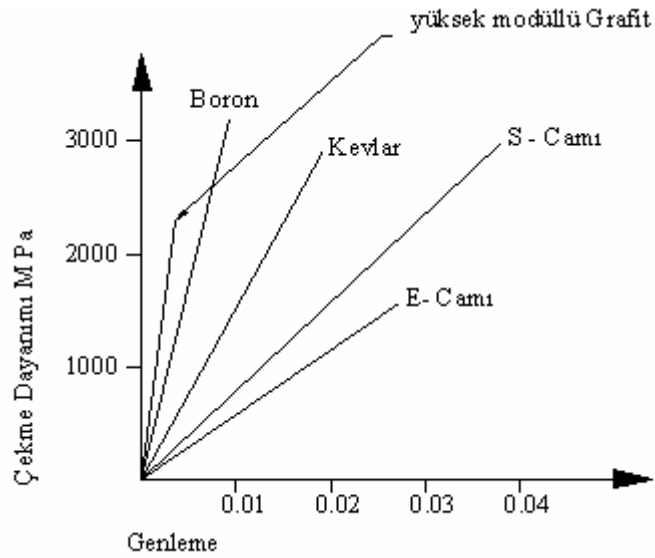
1.7.2.1 Elyaf takviyeli kompozit malzemeler

Elyaf takviyeli kompozitler, elastisite modülü ve dayanımı düşük matris malzemesi içine yüksek bükülmezlik ve rijitlik değerlerine sahip olan elyafların ilave edilmesiyle meydana getirilmektedir. Bu elyafların matris malzemesi içerisine ilave edilmesiyle elde edilen kompozit malzemenin çekme dayanımı yorulma dayanımı rijitlik ve bükülmezlik özelliklerinde iyi yönde artışlar olur. Kompozit malzeme içerisindeki elyaf yoğunluğu kompozit malzemenin özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Elyaf (Fiber) takviyeli kompozit malzeme bir yüke maruz kaldığında matris malzemesi yükü takviye malzemesine iletir ve yükün büyük bir kısmı takviye malzemesi tarafından karşılanır. 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 yönelmeleri kompozit malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini direkt olarak etkilemektedir. Elyaf lar 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. Elyaf lar, sürekli veya süreksiz olabilir. Cam, karbon, aramid, bor, SiC, Al₂O₃ ve metal gibi malzemeler elyaf olarak çok kullanılır. Takviye malzemesi olarak kullanılan bazı elyaf malzemelerin mekanik özellikleri tabloda gösterilmiştir. [Şahin Y. , 2000]

Çizelge 1.3 Takviye malzemesi olarak kullanılan bazı elyaf malzemelerin mekanik özellikleri

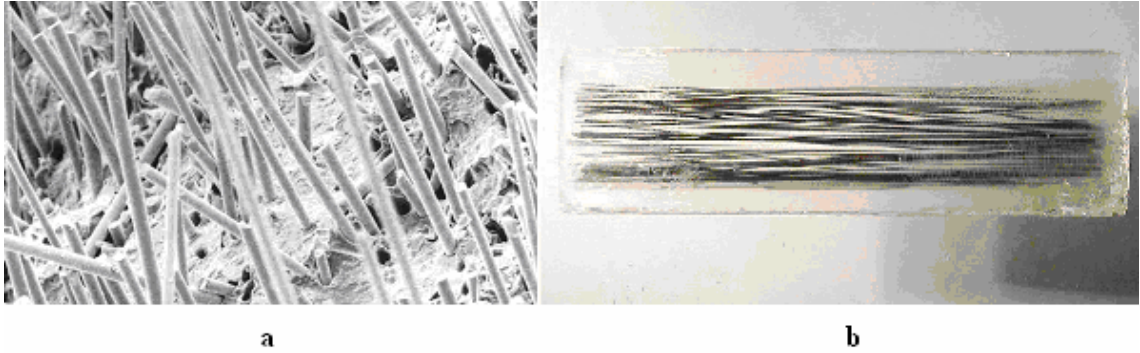
Malzeme	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastiklik Modülü (GPa)	Kopma Uzunluğu (%)
E-camı	2.54	3448	72.4	2.75
S-camı	2.49	4585	85.5	-
Bor	2.68	3448	413.7	0.7
Karbon	1.85	2900-2000	520-220	0.5-1.3
Kevlar 49	1.44	2706	131	2.5

İlk üretilen sürekli elyaflar boron ve SiC olmasına rağmen sonrasında karbon ve alumina esaslı elyaflarda uzun olarak üretilmişlerdir. Elyaf takviyeli kompozitlerde genelde elyaf yönlendiği için elde edilen yeni malzeme anizotropiktir. Sürekli elyaflar yönlendirme özelliklerinden dolayı diğer takviye elemanlarına göre daha üstün özelliklere sahiptirler. Tek yönde çekme zorlanmasına maruz kalan bölgelerde yönlendirilmiş uzun elyaflar nedeniyle maksimum dayanım özellikleri sergilenir. Ancak elyaf eksenine dik doğrultuda düşük özellikler elde edilir. Çünkü elyaf eksenine dik doğrultuda çekme zorlanmasına karşı direnç gösteren ve yükü taşıyan matris malzemesidir. Bu sorunu gidermek için hem elyaf eksenine dik hem de elyaf eksenine paralel doğrultuda kuvvet uygulandığında mekanik özellikleri iyileştirmek için ise değişik açılarda takviyelendirme yapılmak suretiyle bu doğrultularda daha yüksek özelliklerin elde edilmesi mümkün olabilmektedir. [Şahin Y. , 2000]



Şekil 1.36 Değişik fiber malzemelerin gerilme-genleme eğrileri

Kısa elyaf olarak adlandırılan elyaflar yaklaşık olarak, 3-5 μm çapında ve yaklaşık 0.5-6 mm uzunluğunda üretilirler. Kısa elyaflarla takviye edilerek üretilen kompozit malzemeler, takviye elemanının ergiyik içinde malzeme ile birleşimi için sıkıştırılmalı döküm yöntemi ile preformlara basınçlı olarak ergiyik emdirilir. Ergiyik içinde takviye elemanının hacimsel oranı, sıvının vizkozitesinin yükselmesi ile sınırlandırılmıştır. Preform halindeki elyaflara sıvı metal emdirilirken hacim oranları önem arz ettiğinden elyaf oranı yaklaşık % 33 civarında olup bu değer üzerine çıkıldığında istenilen özellikleri elde etmek zorlaşmaktadır. [Şahin Y. , 2000]



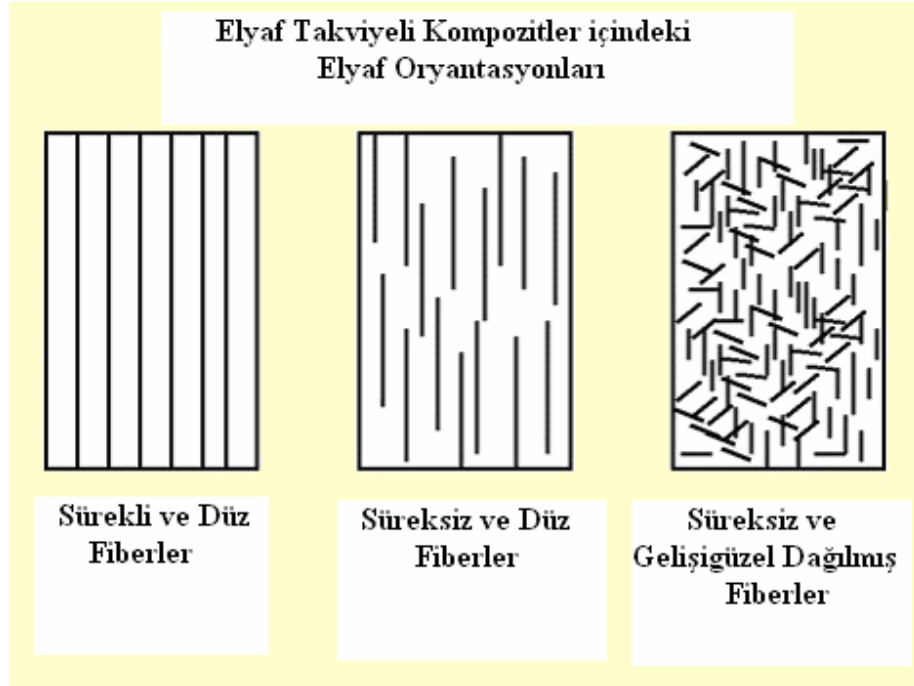
Şekil 1.37 a) Kısa cam elyaf ile takviye edilmiş bir malzemenin kırılma yüzeyi b)Fiber takviyeli termoplastik matrisli bir kompozit

Kısa elyaflar malzeme içerisinde rasgele yönlendirilmektedirler. Kısa elyaflı kompozit malzemeleri üretmenin en kolay yollarından biri sıkıştırılmalı döküm tekniğidir. Bu yöntemle motorlarda kullanılan piston başlığı üretimi yapılmaktadır. Pistonun baş kısmında sık karşılaşılan termal yorulmayı önlemek için genellikle kısa elyaf kullanılır. Toz metalürjisi ve plazma püskürtmeli çökertme metotları aracılığı ile kısa elyaflı kompozitler üretilmektedir

Toz metalürji metodunda mekanik yükler nedeniyle elyaflar hasar görebilmekteyken plazma püskürtme metodunda şekil ve ölçü faktörlerinin sınırlı olması nedeniyle, üretilen kompozitin özelliği düşük olabilmektedir. Ancak sürekli elyaf takviyeli kompozitlere nazaran kısa elyaflı kompozitlerin üretim işleminin hızlı

olması ve şekil verme işleminin kolay olması nedeniyle kısa elyaflar takviye malzemesi olarak tercih edilmektedir. [Şahin Y. , 2000]

Uzun elyaflar kompozit malzemelerde son yıllarda sıkça kullanılmaktadır. Uzun elyafla takviye edilmiş plastik kompozitlerin mekanik ve termo-mekanik özellikleri daha üstün bulunmuştur. [Erdoğan E. S. , 2001]

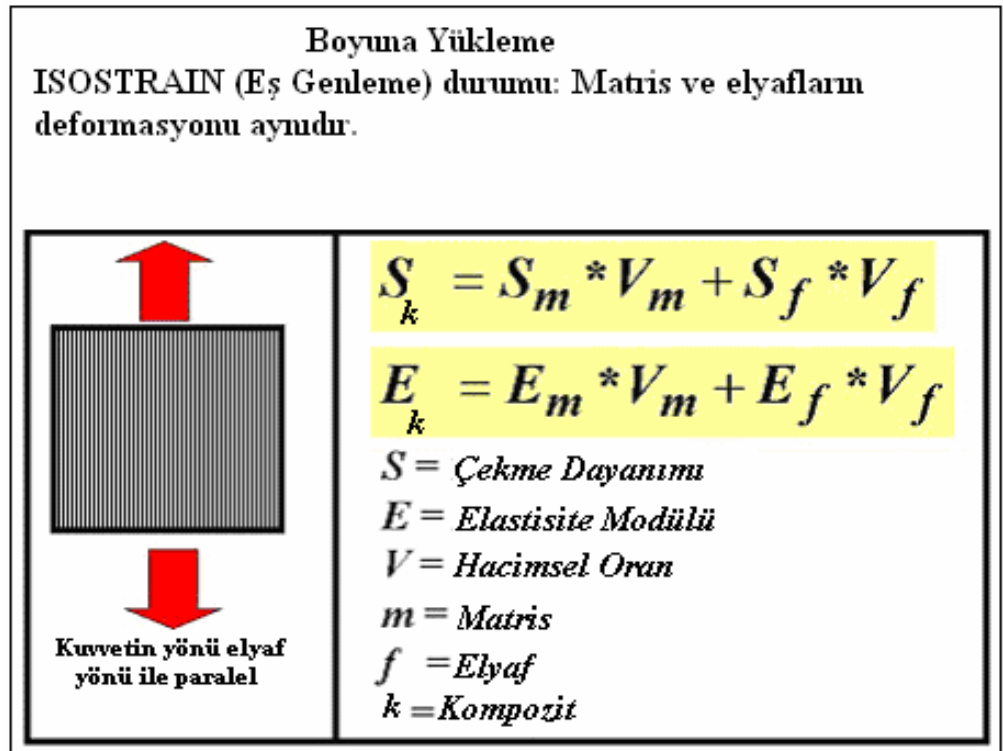


Şekil 1.38 Matris malzemesi içerisinde elyaf dağılımı

Kompozit malzeme içerisinde takviye malzemesi olarak kullanılan elyafların boyutları her ne olursa olsun, elyafların matris malzemesi içerisindeki dağılımı ve oryantasyonu büyük önem taşımaktadır. Elyaf genellikle malzeme içerisinde iki boyutlu olarak rasgele yönlendirilmektedir. Bu tip yönlendirilmiş bazı kompozitler sodyum silis'ten oluşan orta sululukta bir bağlayıcı ile tutularak katı preform(ön biçim verilmiş şekil) haline getirilir. Bu işlemden sonra preslenir veya santrifüj sistemi ile iyice sıkıştırılıp kurutularak fırınlanır. Ön biçimlenmiş elyaflar genellikle gelişigüzel veya iki boyutlu yerleştirilerek yönlendirilir. Bu tür üretim yöntemlerinde preformların dar alanlar ve küçük oyuklar gibi belli kısımlara yerleştirilip emdirilmesine müsaade etmesi ile üretim maliyetini düşürür. Bundan dolayı bu sıvı metal emdirilme tekniği diğer

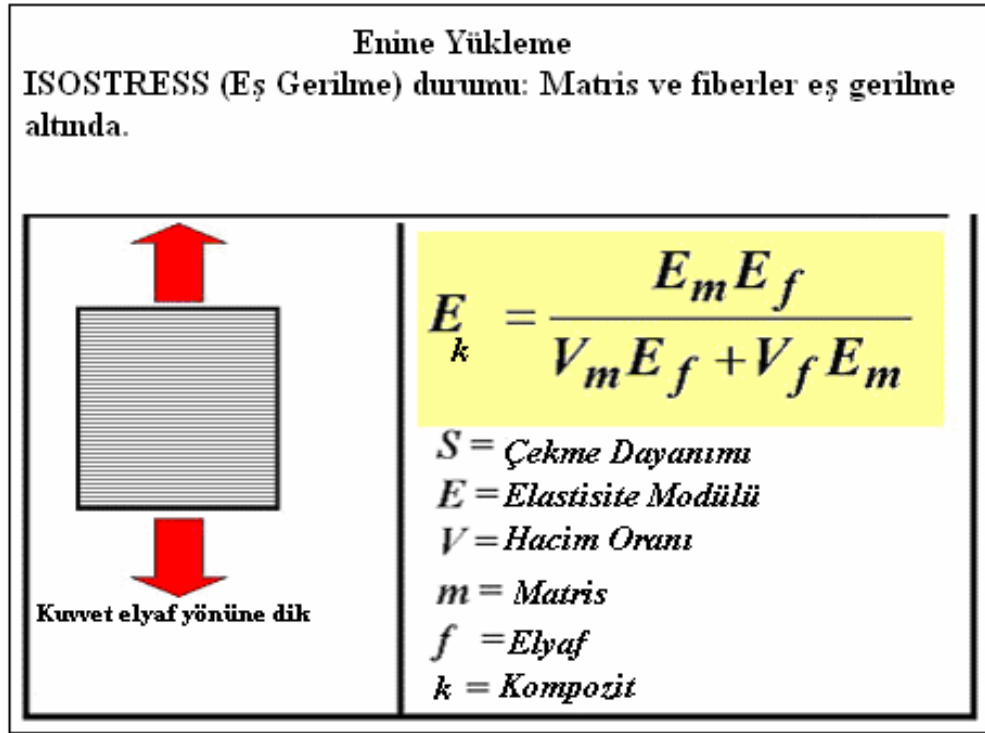
tekniklerle karşılaştırıldığında daha cazip görünmektedir. Ancak yönlendirme açısı, yer değiştirme, akış alanına, işlem durumuna ve bunlarla birlikte elyafların boyuna, hacim oranına ve kalıbın şekline bağlıdır. Elyafların kompozit içerisinde gelişigüzel yerleştirilmeleri ne kadar düzenli olursa hacim oranı o kadar artar. Kompozitin tüm yönlerdeki mekanik özellikleri elyafların yerleştirilmelerine bağlı olarak değişir. İşlem düzgün yapılırsa tüm yönlerde birbiriyle hemen hemen aynı değerler elde edilebilir. Tüm bu etmenler göz önüne alındığında, sürekli elyaf takviyeli bir malzeme elyaf yönüne paralel bir yükleme etkisi altında iken, kompozit malzemenin elastisite modülü ve çekme dayanımı hesabı tablodaki yol izlenerek bulunabilir.

Çizelge 1.4 Eş genleme durumunda elastisite modülü ve çekme dayanımı hesabı



Sürekli elyaf takviyeli bir kompozit malzeme eğer elyaf yönüne dik doğrultuda bir yükleme etkisi altında ise, malzemenin elastisite modülü ve çekme dayanımı yine çizelge 1.5'teki yol izlenerek bulunabilir.

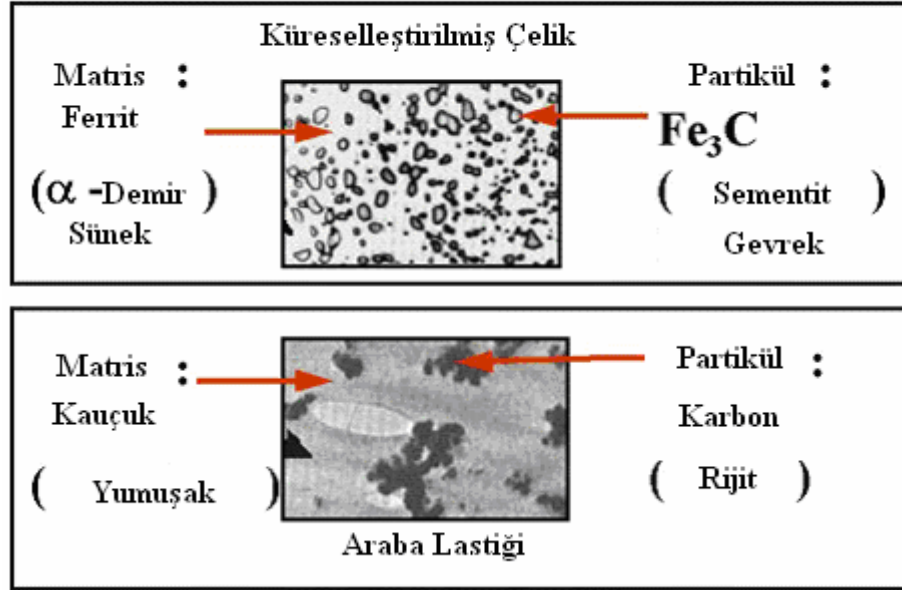
Çizelge1.5 Eş gerilme durumunda elastisite modülü ve çekme dayanımı hesabı



1.7.2.2 Parçacık takviyeli kompozit malzemeler

Parçacık takviyeli kompozitler tek veya iki boyutlu makroskobik partiküllerin veya sıfır boyutlu olarak kabul edilen mikroskobik partiküllerin matris ile oluşturdukları malzemeler olup ortalama gömülen parçacık boyutu 1 μm 'den büyük ve elyaf hacim oranı % 25'ten fazla kullanılmamaktadır. En çok kullanılan parçacıklar ise Al_2O_3 ve SiC'den oluşan seramiklerdir. [Şahin Y. , 2000]

Partikül Takviyeli Kompozitler

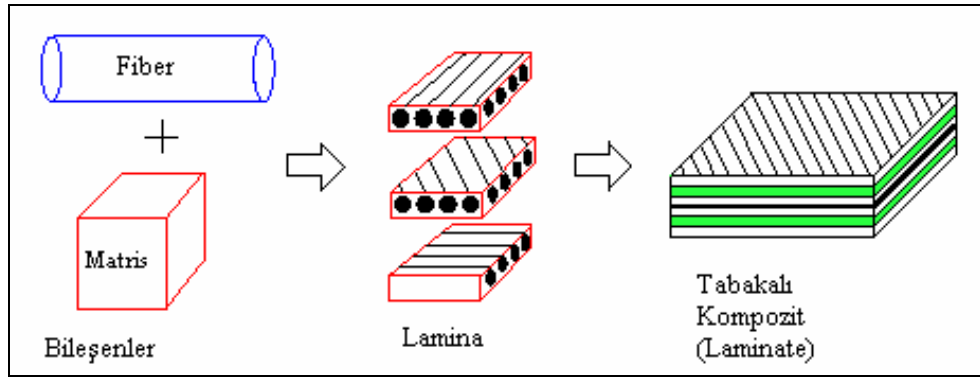


Şekil 1.39 Partikül takviyeli kompozitlere örnekler

1.7.2.3 Tabakalı kompozit malzemeler

Tabakalı kompozit malzemeler, temel malzeme eksenleri doğrultusunda yönlendirilmiş elyaf ve diğer takviye malzemeleriyle takviye edilmiş, değişik yönlerdeki tabaka ve katmanların üst üste konularak bir araya getirilmesi ile oluşmaktadır. Tabakalı kompozitler matris malzemesi içerisinde rasgele yönlendirilmiş elyaflar, tek yönlü elyaflar ve farklı yönlerde yönlendirilmiş elyaf takviyeli tabakalardan oluşabilirler. Tabakalı kompozitler için asıl ulaşılması gereken amaç, kompozitin maruz kalacağı yüklere uyum sağlaması için dayanım ve rijitliğin doğrusal bağımlılığından avantaj sağlamaktır. Dolayısıyla tabakalı kompozitler bu amaç doğrultusunda geliştirilmelidirler. Tabakalı kompozit malzeme içerisindeki her tabaka istenen doğrultuda yönlendirilmiş elyaflarla takviye edilebilir ve bu tabakalar birbirilerine istenen açılarla birleştirilebilirler. Örneğin elimizde 10 tabakadan oluşan bir tabakalı

kompozit malzemenin olduğunu ve 6 adet tabakanın bir yönde ve diğer 4 adet tabakanın ise bu tabakalara dik biçimde (90^0) konumlandırıldığını düşünelim. Sonuçta bir doğrultuda yönelimli kompozitin dayanım ve rijitliği yaklaşık % 50 değerinden fazla olacaktır. Her iki doğrultuda uzamalı rijitlik oranı yaklaşık 6/4'tür. Eğilme rijitliği orta yüzey için belli değildir. Tabakalı kompozitlerde her bir tabakanın bitişiğindeki tabakadan bağımsız olarak deforme olma eğilimi olduğu için kayma gerilmeleri oluşabilir. Bu bütün tabakalarda temel malzeme doğrultularındaki farklı yönlenme kadar farklı özelliklerden de ileri gelebilir. Bu kayma gerilmeleri, tabaka kenarları yakınında en büyük olur ve delaminasyon başlama sebebi olur. Elyaf takviyeli kompozit malzemeler geniş özelliklerine bağlı olarak tek veya çok katlı kompozit malzemeler olarak da sınıflandırılabilir. Tek katlı kompozitler birkaç farklı tabakadan yapılabilir. Her tabaka aynı yönlenme ve özelliklere sahip, sonuçta tüm tabakalar tek katlı tabakalı malzeme olarak düşünülebilir. Kesikli elyaf takviye içeren ve kalıpla üretilen kompozitlerde elyaf dağılımı kalınlık boyunca üniform dağılmamasına rağmen farklı tabakalara sahip olarak değerlendirilmez ve tek katlı kompozit sayılır. [Şahin Y. , 2000]



Şekil 1.40 Tabakalı kompozit üretiminin şematik gösterimi

1.8 Takviye Edilmiş Plastikler

Plastikler, çekme dayanımı, darbe dayanımı, ısı mukavemeti, boyut kararlılığı vb. özelliklerinin iyileştirilmesi için başka malzemelerle takviye edilirler. Takviye malzemeleri **elyaf** (fiber) ve **dolgu** (filler) dolgu şeklinde olabilirler. Bu iki malzeme grubu arasında kesin bir fark olmamasına rağmen şu ayırım yapılabilir. Elyaf takviye sistemi genellikle plastiklerin çekme, darbe ve ısı mukavemet gibi sıralanan özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılır. Elyaf takviye malzemelerinin plastiklerin kuvvetlendirilmesinde kullanımı pahalı bir uygulamadır. Dolayısıyla iyileştirme derecesi, malzemenin fiyat artışıyla orantılı bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Dolgu takviye sistemi ise genellikle plastiklerin maliyetini düşürmek amacıyla kullanılmaktadır. Ancak mika, kil, CaCO_3 gibi mineral dolgu maddeleri, oluşan malzemenin ısı iletkenliğini artırır, soğutma sırasında şekil değiştirmeleri azaltır, kalıplama zamanını düşürür. Aynı zamanda dolgu malzemelerinin kullanımı, oluşan malzemenin mekanik özelliklerinden çekme dayanımında azalmaya neden olabilir. Bu azalma dolgu miktarının artması ile artar. Bu nedenle plastiklerin mekanik özelliklerini iyileştirme amacıyla daha ziyade elyaf takviye sistemi kullanılır. Takviye edici elyaf sistemi ile dolgu takviye sistemi arasındaki ikinci fark, takviye malzemesi, kullanılan matris malzemesinin türüne ve yapısına bağlıdır. Takviye elemanı olarak genellikle cam karbon ve aramid gibi bileşikler kullanılmaktadır. Dolgu malzemeleri ise lifli olan asbest, kâğıt ve lifli olmayan mika, kil, talk, silikatlar ve CaCO_3 gibi bileşiklerdir. Dolgu takviye sisteminin iyi sonuçlar vermesi için mutlaka matris malzemesi içinde homojen olarak dağılması gerekmektedir. Bu da dolgu malzemesinin tane büyüklüğünün oldukça küçük olmasına bağlıdır. Elyafın takviye malzemesi olarak kullanılmasında üç önemli olgu göz önünde bulundurulmalıdır.

- Elyafın matris malzemesi tarafından iyi ıslatılması
- Matris ile elyafın temas yüzeyinde herhangi bir kimyasal reaksiyonun meydana gelmemesi
- Elyafın iyi yüzey karakteristiklerine sahip olması

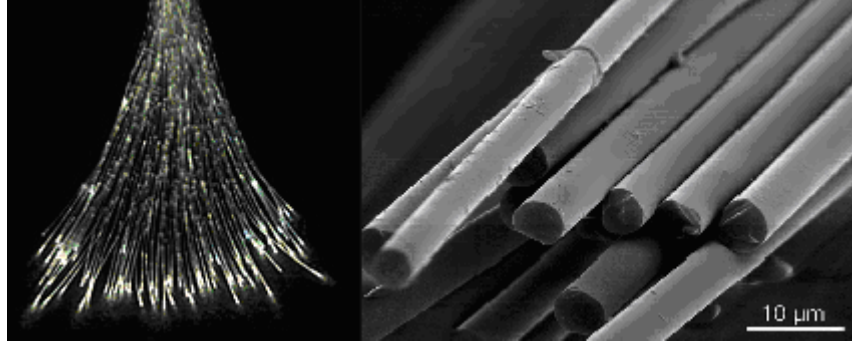
Eğer elyaf matris malzemesi tarafından verimli bir şekilde ıslatılmazsa temas yüzeylerinde boşluklar oluşur. Buda temas yüzeyinde matris ve takviye elemanı

arasında oluşan mekanik bağları zayıflatır. Islatma yeteneğinin iyileştirilmesi için elyaf takviye elemanı uygun malzeme seçilerek ince bir film şeklinde bu malzeme ile kaplanır. Kaplama malzemesinin kimyasal yönden kararlı bir yapıda olması ve matris ile reaksiyona girmemesi gerekir. Elyaf takviyesi olarak cam elyaf, alumina elyafı (Al_2O_3), ve karbon elyafı kullanılır. [Akkurt S. , 1991]

1.8.1 Termoplastik matrisli cam elyaf takviyeli kompozitler

Genellikle takviye malzemesi olarak % 55,2 SiO_2 ; % 14,8 Al_2O_3 ; ve % 7,3 B_2O_3 ’ den oluşan “E” camı kullanılır. Bu malzeme 1500 ile 1550 °C’ ye kadar ısıtılmış bir fırında, platin alaşımından yapılan bir kap içerisinde ergitilir, kabın deliklerinden akmaya başlamasından sonra belirli bir kuvvetle çekilip, demetler halinde sarılması ile elde edilir. Pratikte cam elyafın fitil, dokuma ve keçe şeklinde olmak üzere üç kullanım şekli vardır. Cam fitil, elyaf demetlerinin fitil şeklinde sarılması; cam dokuma, cam fitillerinin hasır şeklinde sarılması; cam keçe, cam demetlerin kırılmış halde birim alana homojen olarak dağılması ile elde edilir. Cam fitil takviye edilen plastiğe en yüksek çekme mukavemetini verir. Çekme mukavemeti dayanımı söz konusu olduğunda bunu sırası ile cam dokuma ve cam keçe izler. Cam fitil, malzeme içerisinde tek yönde (cam lifleri yönünde) çekme mukavemetini artırırken cam dokuma iki yönde, cam keçe ise her hangi bir yönde malzemenin mukavemetini artırır. Plastiklerde takviye malzemesi olarak kullanılan E camının yanı sıra çekme mukavemeti E camından 1/3 oranında daha yüksek olan fakat oldukça pahalı S camıda kullanılmaktadır. Bununla birlikte bazı kullanıcılar, özellikle uçak ve askeri alanlarda elverişli olan, özellikleri S camına yakın ve maliyeti E ile S camı arasında olan S-2 camını kullanmaktadır. E camının çekme mukavemeti $\sigma_K = 3654 \text{ N/mm}^2$, elastisite modülü $E = 75.845 \text{ N/mm}^2$ ve yoğunluğu $\rho = 2,53 \text{ g/cm}^3$ tür. Takviye malzemesi olarak üretilen diğer cam elyaf türlerine nazaran daha kolay üretilebilir ve daha ucuzdur. Kuvvetlendirici olarak

kullanılan cam elyaflar, reçine ile uyum sağlamak için bir sistem tarafından kaplanır ve elyaflar arası aşınmayı en aza indirmek için yağlanır. [Akkurt S. , 1991]



Şekil 1.41 Demet halinde cam elyaf ve cam elyafların mikroskopik görünümü

Genelde tüm termoplastikler cam elyaf ile takviye edilebilmelerine rağmen, en çok naylon, PP, PS, AB, SAN kullanılır. Termoplastiğin cam elyaf ile takviye edilmesi malzemenin mekanik özelliklerini 2 veya daha fazla oranda artırır. Naylonun çekme mukavemeti cam elyaf ile takviyesi sonrasında $68,95 \text{ N/mm}^2$ 'den $206,85 \text{ N/mm}^2$ ve üzerine çıkmıştır. Plastik malzeme içerisinde kullanılan cam elyafların boyu ne kadar uzunsa mukavemet o oranda artar. Sürekli elyaf ise kullanıldığı eksen doğrultusunda en yüksek dayanımı sağlar. Ayrıca çekme elastisite modülü, boyut kararlılığı ve yorulma dayanımı iyileşir. Cam elyaf takviye malzemeleri kullanıldıkları malzemenin darbe dayanımını ve çentik hassasiyetini de etkiler. Değişim plastiğin türüne bağlı olarak olumlu veya olumsuz olabilir. Değişimin olumlu yönde gelişmesi ve çentik darbe dayanımının artması bile çoğu uygulama alanında yetersiz gelebilmektedir. Cam elyaf ile kuvvetlendirilmiş termoplastikler, sanayinin değişik alanlarında kullanılmaktadır. Örneğin cam elyaf ile takviye edilmiş naylon dişli çark yapımında, polipropilen ise otomobillerin havalandırma gövdeleri ve kapıların iç kısımlarında kullanılmaktadır. Takviye edilmiş yüksek yoğunluklu polietilen ise el bagajları, palet gibi elemanların yapımında kullanılmaktadır. Modüler Kabin Sistemleri, cam elyafı ile güçlendirilmiş polyester panellerin arasına poliüretan köpüğün enjekte edilmesi ve sertleştirilmesi yöntemi ile (sandwich system) üretilmiştir. [Akkurt S. , 1991]



Şekil 1.42 Cam elyaf takviyeli bazı ürünler

1.8.2 Termoplastik matrisli karbon elyaf takviyeli kompozitler

Oldukça yeni bir uygulama olan karbon elyafı ile kuvvetlendirme, naylon 6/6 polyester ve polifenilen gibi termoplastiklerin kuvvetlendirilmesinde kullanılmaktadır. Karbon elyafları, selüloz, poliakrilonitril ve naylon gibi organik polimer elyaflarının inert bir ortamda karbonizasyonu sonrasında elde edilmektedir. Karbonizasyon işlemi 1000 °C'de yapılmakta ve daha sonra elyaflar 1500 °C ile 2500 °C arasında ısıl işleme tabi tutulmaktadır. Bu ısıl işlem elyafın mekanik özelliklerini oldukça iyileştirmektedir. Elyafın özelliklerinde görülen bu iyileşme, molekül zincirlerinin tercih edilen bir yöne yönelmelerinden ve elyafın kendine ait bir pürüzlülüğe sahip olmasından ileri gelmektedir. Elyaf üzerindeki bu gözenekli yapı elyafın yüzey alanını etkilemekte ve organik reçine ile iyi bir bağlantı yapmasını sağlamaktadır. [Akkurt S. , 1991]

Kuvvetlendirme işlemi için kullanılan karbon elyaflar cam elyafa nazaran daha pahalıdır. Fakat karbon elyaf takviyeli malzemenin çekme, sürünme, yorulma, aşınma mukavemeti ve tokluk gibi özellikleri cam elyaf takviyeli sefine oranla daha gelişmiştir. [Akkurt S. , 1991]

1.8.3 Termoplastik matrisli aramid elyafı takviyeli kompozitler

Aramid elyafların mukavemeti genellikle çelik tellerin mukavemetinden daha yüksektir. Fakat kırılmış parçacıklar halinde cam veya karbon elyafları gibi iyi bir bileşim meydana getiremezler. Aramid elyafı ile takviye edilmiş termoplastik matrisli kompozitler yüksek aşınma mukavemetine sahiptirler. Bununla beraber takviye edildikleri malzemenin düşük sürtünme katsayısı ve genişleme katsayısı gibi özelliklere sahip olmasını sağlarlar. Bu nedenle aramid elyaf takviyeli termoplastik esaslı kompozitler aşınma ve sürtünmenin önemli olduğu kaymalı yatak ve kızak gibi elemanların imalatında kullanılabilir. Ayrıca dişli çark, kompresör vanaları ve pompa rotorlarında aramid elyaf takviyeli plastikler kullanılmaktadır. [Akkurt S. , 1991]

1.9 Plastik Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri

1.9.1 Ekstrüzyon üretim yöntemi

Plastik ekstrüzyon üretim yöntemi takviyeli plastik yani plastik matrisli kompozit malzeme üretimi için kullanılan bir üretim yöntemidir. Bu üretim prosesini diğer üretim yöntemlerinden farklı kılan yönü ise plastik ekstrüzyon üretim yönteminin sürekli bir proses olmasıdır. Ekstrüzyon üretim yöntemi kullanılarak boru, profil, levha, film ve kapalı tel örgü(covered wire fence) yapıdaki ürünlerin eldesi mümkündür. Plastik ekstrüzyon üretim yöntemiyle üretilen ürünlerde genellikle termoplastikler kullanılmaktadır. Kullanılan termoplastiklere örnek olarak;

- Polietilen(PE)
- Polipropilen(PP)
- Polivinilklorür(PVC)
- Polistiren(PS)
- Polimetilmetakrilat(PMMA)
- Naylon(PA) verilebilir.

Plastik ekstrüzyon üretim yönteminde hammadde olarak hazır plastik granüller (prepreg granules) kullanılmaktadır. Bununla birlikte içerisinde takviye malzemesi içeren “in-stu” granüllerde kullanılmaktadır. Bu da göstermektedir ki; plastik ekstrüzyon üretim yöntemi saf hammadde şeklindeki plastiklerin işlenmesine olanak sağlarken, aynı zamanda in-stu granüllerin kullanılmasıyla da takviyeli plastik üretimine yani kompozit malzeme üretimine imkân vermektedir. [Schwartz M. , 1992]



Şekil 1.43 Şematik bir ekstrüzyon hattı

Plastik ekstrüzyon üretim yönteminde kullanılan sistem çoğunlukla bir üretim hattı olmasına rağmen, ekstrüzyon işlemini gerçekleştiren ekstrüder, sistem içerisinde önemli bir yer tutar. Bir ekstrüder genel olarak şu elemanlardan oluşur;

- Besleme Hunisi
- Kovan
- Vida mekanizması
- Isıtıcılar
- Tahrik sistemi

Besleme hunisi; katı granüller halinde ekstrüdere yapılacak olan besleme işlemi için gereklidir. Plastik ekstrüzyon üretim yöntemi dahilinde iki türlü besleme işlemi gerçekleştirilmektedir.

1. Doğrudan besleme
2. Dolaylı besleme

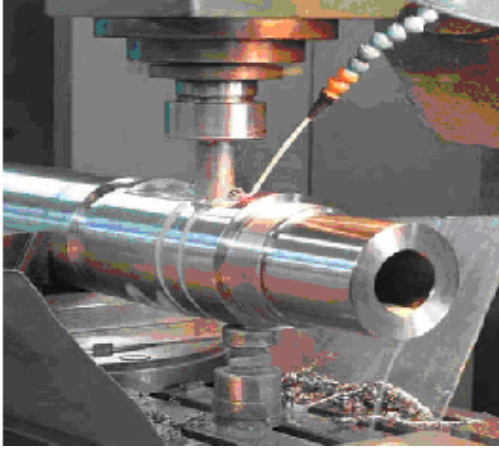
Doğrudan besleme işlemi, ekstrüzyon işleminde kullanılacak olan matris ve takviye elemanlarının ayrı ayrı besleme hunisinden ilave edilmesiyle gerçekleşir. Dolaylı besleme işlemi ise ekstrüzyon işleminde kullanılacak olan matris ve takviye malzemesi “in-stu” yöntemiyle üretilmiş granüllerden ibarettir. Bunların besleme hunisinden boşaltılmasıyla işlem gerçekleştirilmiş olur. Besleme işlemi elde edilmesi istenen malzemenin mukavemeti içinde büyük rol oynar. Bundan dolayı besleme yöntemi iyi belirlenmelidir. Doğrudan besleme yönteminde katı haldeki matris ve takviye

malzemesi besleme hunisinden içeriye girdiği anda, sıcaklık matris malzemesinin ergime sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklarda olsa da ergime olayı belirli bir zaman alır. Ergime için geçen süre zarfında takviye malzemesi, kovan, matris malzemesi ve vida arasında çeşitli zorlanmalara maruz kalır. (eğilme vb.) [Schwartz M. , 1992]

Bu zorlanmalar içerisinde takviye malzemesinin karşılaştığı zorlanmalardan eğilme zorlanması yüksek değerlere ulaşır. Sonrasında takviye malzemesi eğilme zorlanmasına karşılık, ulaşabileceği maksimum eğrilik yarıçapına ulaşır ve devamında hasara uğrayarak kırılabilir. Takviye malzemesinin boyunun kısalması, elde edilmesi istenen ürünün dayanımını azaltıcı yönde etki eder. Dolaylı yoldan besleme işleminde ise; in-stu granüller besleme bölgesinde takviye malzemesinin maruz kalacağı mekanik zorlanmalar karşısında takviye malzemesinin boyundaki deformasyon miktarını en aza indirger. Takviye malzemesinin etrafındaki matris malzemesi ergiyene kadar takviye malzemesini maruz kalacağı etkilerden korur.

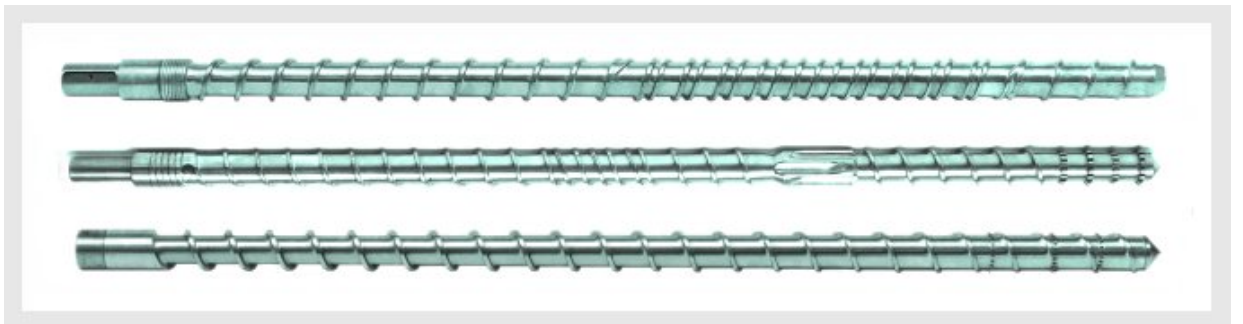
Kovan; içerisinde vida mekanizmasını barındırır. Boş bir silindir geometrisine sahiptir. Ergime olayı kovanın içerisinde meydana gelir. Vidanın kovan içerisindeki malzemeyi, dönerek ileri doğrultuda yönlendirmesi, artan sıcaklıkla beraber basıncında artmasına neden olur. Bundan dolayı kovan malzemesi yüksek sıcaklığa ve yüksek basınca dayanıklı bir yapıya sahip olmalıdır. Aynı zamanda ergiyen matris malzemesi bir plastik olduğundan dolayı, kovan malzemesiyle ergiyen matris malzemesi arasındaki sürtünme koşulları dikkate alınmalıdır.

Kovanın iç yüzeyi sürtünmenin en aza indirgenmesi dolayısıyla özel malzemelerle kaplanabilir. Aynı zamanda kovan dış yüzeyinde besleme hunisi, ısıtıcılar, soğutma kanalları gibi elemanları da barındırır.



Şekil 1.44 Kovan imalatından bir görüntü

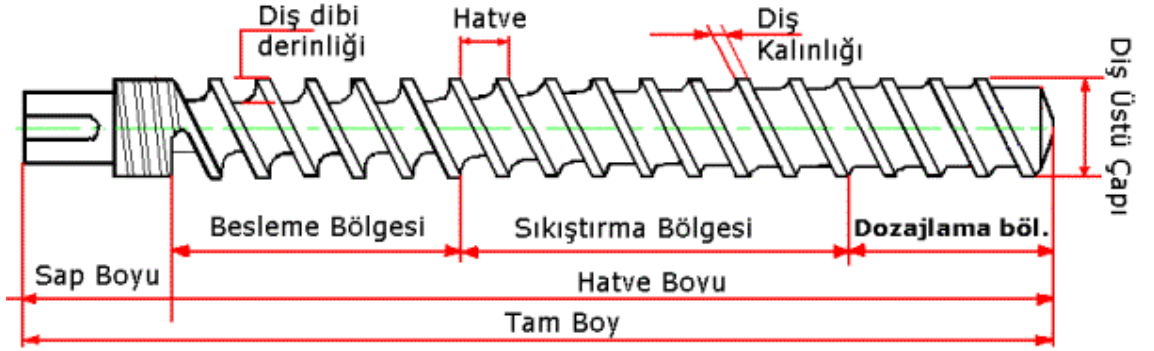
Vida mekanizması, kovan içerisinde yer alır. Bir tahrik sistemi dâhilinde yataklanmış olduğu düzlem dâhilinde kovanla eşmerkezli olarak dönme hareketi yapmaktadır. Vida yüzeyi oldukça pürüzsüz olmalıdır. Dolayısıyla vida üzerine üretilmesi istenen malzemenin karakteristiklerini karşılayan kaplama işlemleri yapılabilir. Dönme hareketi yapan vida aynı zamanda mesnetli bir yapıya sahiptir. Kovan içerisinde artan sıcaklık ve basıncın da etkisiyle vida mekanizması çeşitli zorlamalara maruz kalır. Bunlardan en önemlileri eğilme ve burulma etkisidir. Böylelikle anlaşılmaktadır ki; vida mekanizması dayanımı yüksek çelik malzemeden imal edilmelidir.



Şekil 1.45 Çeşitli ekstrüzyon vidaları

Vida mekanizması üç bölümden oluşur.

- Besleme bölgesi
- Sıkıştırma bölgesi
- İşlem ve Dozajlama bölgesi



Şekil 1.46 Vida mekanizmasının bölümleri

1- Besleme Bölgesi:

Besleme bölgesi vidanın huniden malzemeyi aldığı kısımdır. Vida boyunun %25-30 unu oluşturur. Bu bölgede diş dibi derinliği sabittir. Bu dişler sayesinde plastik malzeme belirli bir basınç artışı sağlanarak besleme hunisinden alınarak ileriye doğru itilir. [Turaçlı H. , 2003]

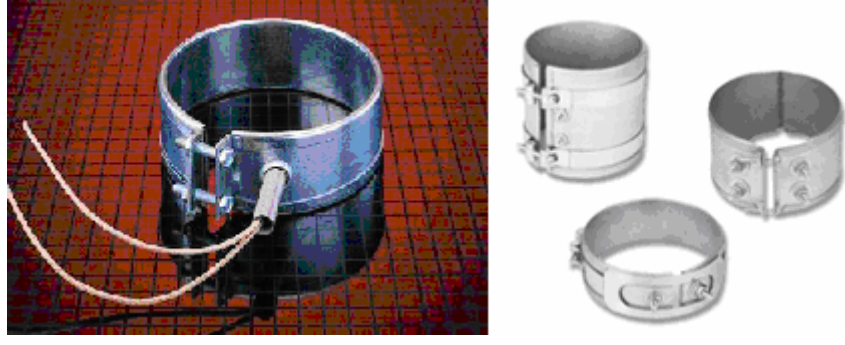
2- Sıkıştırma Bölgesi:

Bu bölgede diş dibi derinliği gittikçe azalır. Böylece plastiğin sıkışması ve basıncın artmasıyla eriyerek homojen bir hal alması sağlanır. Sıkıştırma sırasında ortaya çıkan hava ve nem gaz alma ünitesi bulunan makinelerde gaz alma ünitesinden dışarı çıkar, gaz alma ünitesi bulunmayan makinelerde oluşan gaz hareketin ters yönüne giderek huniden dışarı çıkar. Bu bölgenin bir diğer özelliği de sıkıştırma oranıdır. Bu oran besleme bölgesindeki hacimsel büyüklüğün ölçme bölgesindeki hacimsel büyüklüğe oranıdır. [Turaçlı H. , 2003]

3- İşlem ve Dozajlama Bölgesi:

Bu bölgede homojenleşmiş plastik ileriye doğru pompalanır. Bu bölgede dış dibi derinliği sabittir. Bu bölgede plastik sabit hızda mümkün olduğu kadar yüksek basınçla kalıba pompalanır. Ölçme pompalama bölümü yalnız bir bölümden oluşacağı gibi iki bölümden de oluşabilir. İki bölümden oluşarlarda ölçme kısmında erimiş plastiğin içindeki gazların atılması veya vakumla alınması için bir boşaltma hattı vardır. Vidadaki bölge uzunlukları işlenecek malzemeye bağlıdır. Plastik hammadde türüne göre vida geometrileri değişiklikler göstermektedir. Ürün kalitesini artırmak için ekstrüder vidalarına standart bölgeler dışında başka bölgelerde ilave edilir. Örneğin ölçme bölgesi veya başlık önüne mikser ilaveleri yerleştirilerek ergiyiğin homojenliği artırılabilir. [Turaçlı H. , 2003]

Breaker plate, adı verilen parça bir ekstrüzyon üretim hattı içerisinde ki küçük bir parçadır ve ana elemanlar arasında yer almaz. Ancak, ekstrüder içerisinde bulunan dairesel kesitli ve üzerinde birden çok deliğin yer aldığı ve daha çok bir eleği andıran bu parça ekstrüzyon işlemi içerisinde büyük önem taşımaktadır. İşlem bölgesiyle kalıp arasında bulunarak çıkış bölgesindeki basıncın yani arka basıncın artırılmasını sağlar. Bu fonksiyonu karmaşık kesitli ve doldurulması için yüksek debide malzeme akışı gerektiren profil kalıplarda yararlıdır ve kalıp profilinin boş kalmasını engeller. Breaker plate, vida dişlisi yönündeki rotasyonel akışı vida eksenine doğrultusunda yönlendirir. Plastik içindeki yapancı maddeleri süzer. Erimemiş granülleri ayırır. Plastik ekstrüzyon üretim yöntemi, proses itibariyle ısıyla plastik granülleri şekillendirerek kalıba iletir ve bitmiş ürünler elde etmemizi sağlar. Bundan dolayı bir ekstrüderde ısıtma ve dolayısıyla ısıtıcı elemanlar önemli yer tutar. Çoğu ekstrüderde ısıtma işlemi için ısıtıcı bantlar kullanılır. Isıtma için gerekli enerji çoğunlukla elektrik ile sağlanır. Isıtıcı bantlar kovanın üzerinde konumlandırılmışlardır. Kovan boyunca ısıtıcı bantların sağladığı ısı miktarı değişebilmektedir. Ergime işlemi için gereken ısının büyük bir kısmı ısıtıcı bantlar tarafından sağlanır. Fakat aynı zamanda plastik granülleri kovan içerisine girdikleri andan itibaren vida ve kovan iç yüzeyiyle sürekli temas halindedir. Buda ister istemez bir ısı açığa çıkmasına neden olur. Açığa çıkan ısı miktarı plastik granüllerin ergimesi için gereken ısı miktarından düşüktür. [Turaçlı H. , 2003]



Şekil 1.47 Isıtıcı rezistanslar (Isıtıcı bantlar)

Plastik ekstrüzyon üretim sisteminde kullanılan ekstrüder bir vida mekanizmasına sahiptir. Bu vidanın proses itibariyle belirli bir devirde dönmesi gerekmektedir. Buda genellikle bir elektrik motoru tarafından sağlanmaktadır. Vidanın devir sayısı malzemen malzemeye değişeceği gibi, üretilen mamülün geometrisine ve hacmine göre değişmektedir. Bundan dolayı vidanın döndürülmesinde kullanılan elektrik motorunun devri ayarlanabilir niteliktedir. [Turaçlı H. , 2003]

1.9.1.1 Ekstrüzyon yöntemi ile levha üretimi

Plastik ekstrüzyon üretim yöntemi sürekli bir proses olması dolayısıyla kullanılan kalıplar bu üretim yöntemine özgüdür. Bir genelleme yapılmamasına rağmen plastik ekstrüzyon üretim yöntemi çoğunlukla bir açık kalıp uygulamasıdır. Plastik ekstrüzyon kalıplarının diğer bir karakteristiği de yatırım maliyetinin yüksek olmasıdır. Ayrıca plastik ekstrüzyon kalıplarının tasarım esasları oldukça hassas ve tecrübe gerektiren esaslardır. 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. Bu zincirler ergimiş haldeki plastik, aktığı zaman kalıptan zorlanarak çıkarken moleküller

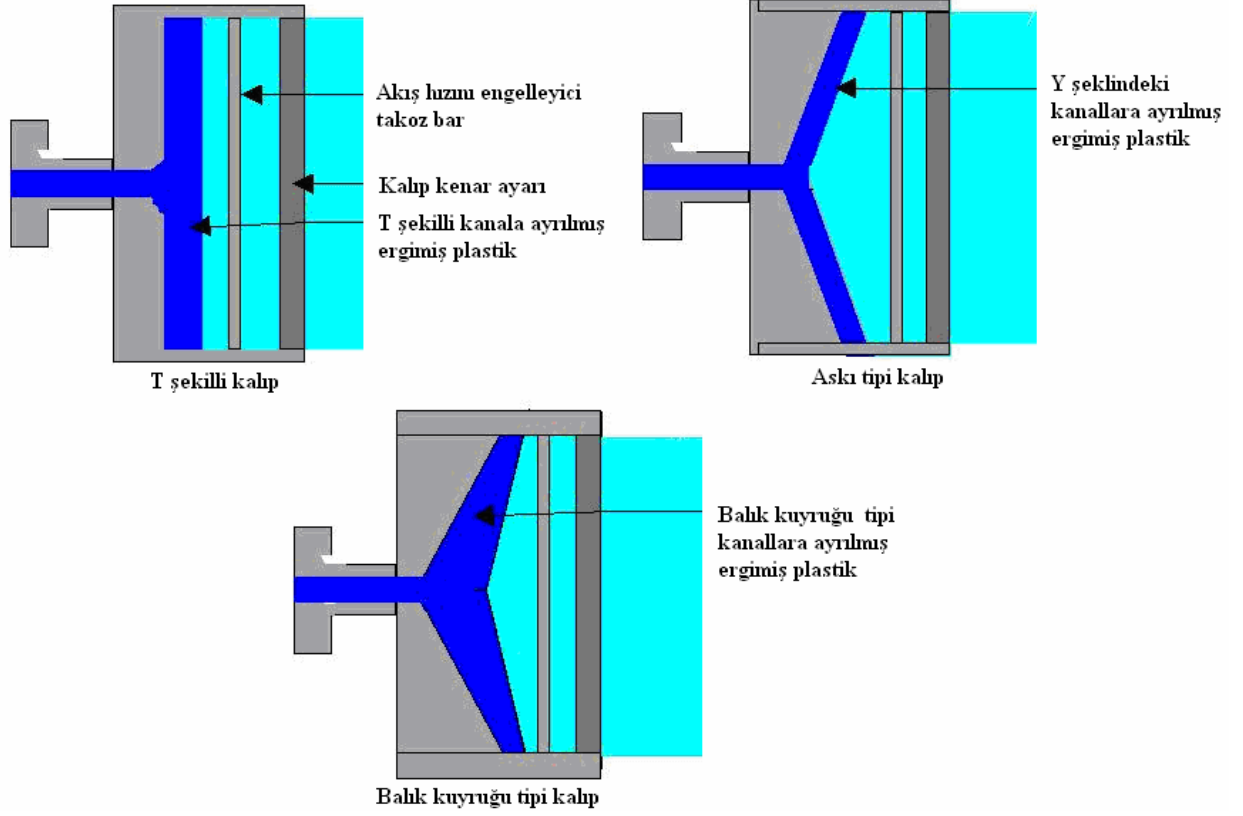
kısmen düzelmiş ve kuvvet yönünde yönlendirilmiştir. Ergimiş plastik, kalıptan çıkarken moleküllerinin çoğu kalıp eksenine paralel yönde yönelir. Kalıp duvarlarının sınırlaması kalktığında ekstrüder çıkışında moleküller tekrar kıvrımlı yapıya dönme eğilimindedirler. Ekstrüzyon yönünde ters etkiyle ekstrüdere dik yönde ergimiş plastikte şişme meydana gelir. Bu olaya kalıp şişmesi adı verilir. Bu sebepten dolayı ekstrüderden çıkan plastik profilin kesit alanı, bu ürün hızlı çekilmedikçe kalıp çıkışındaki alandan daha büyük olur. Normal şartlarda kalıp şişmesi bazı önlemlerle azaltılabilir. [Turaçlı H. , 2003]

- Ekstrüzyon verimini azaltarak;
- Ergime sıcaklığını artırarak;
- Kalıp paralelinin uzunluğunu artırarak
- Çekme hızını artırarak

Görüldüğü gibi bir ekstrüzyon kalıbının tasarımında üretilmesi istenen malzemenin türü, ısı ve diğer mekanik zorlanmalar altındaki etkisi ve diğer karakteristik özellikleri ekstrüzyon işlemi dahilinde değerlendirilmeli ve kalıp tasarım aşaması sürdürülmelidir. Tasarlanan ve üretim aşaması tamamlanan ekstrüzyon kalıplarıyla çok çeşitli ürünler imal edilebilir. Üretilmesi istenen her malzeme için farklı geometriye sahip olan farklı yapıdaki kalıplara ihtiyaç duyulur. Farklı ürünlerin üretiminde boru, tüp ve profil kalıpları önemli bir yer tutar [Turaçlı H. , 2003]

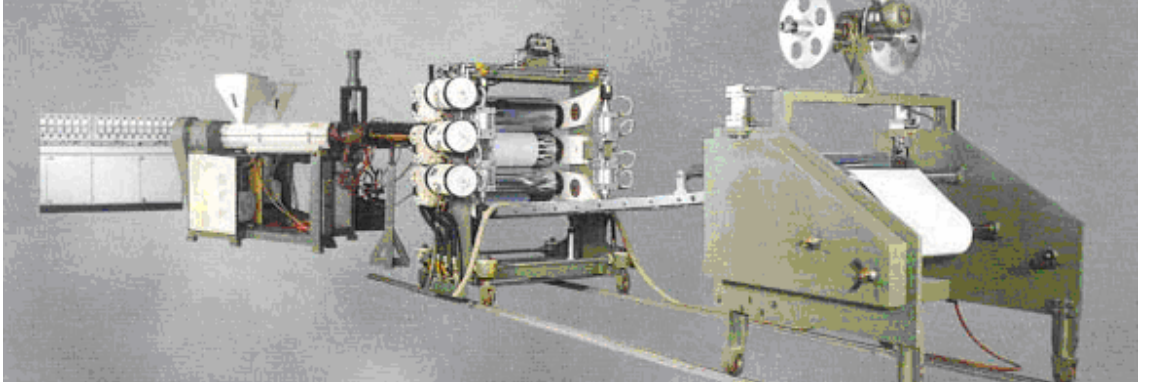
Levha ve film üretimi için tasarlanmış kalıplar şunlardır:

- T şeklindeki kalıplar
- Askı tipi kalıplar
- Balık kuyruğu tipi kalıplar [Turaçlı H. , 2003]



Şekil 1.48 Levha ve film üretiminde kullanılan kalıpların şematik gösterimi

Kalınlıkları 0.5 mm ile 12.5 mm arasında olan plastik yassı ürünler levha olarak adlandırılır. Plastik levha üretimi, düzlemsel ürün imalatında ve termoforming için yarı mamul eldesinde kullanılır. Plastik levha üretiminde görev alan makineler bir sistem ihtiva eder. Eğer üretilen yassı malzemenin kalınlığı 0.5 mm'nin altında ise elde edilen ürün film olarak adlandırılır. Film malzeme, ambalaj malzemelerinin üretimi için örneğin, çöp poşetlerinin, alışveriş poşetlerinin ve paketlenme malzemelerinin üretiminde kullanılır. Levha ve film üretiminde kullanılan üretim hattına ait bir örnek aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

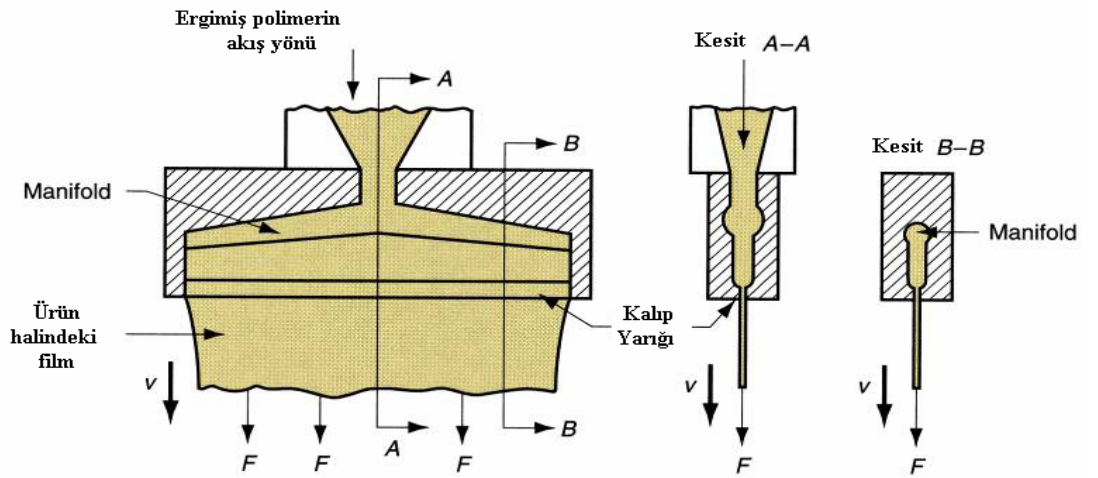


Şekil 1.49 PP, PS, ABS kullanılarak levha üretilen bir üretim hattı

Termoplastiklerin çoğu ekstrüzyon üretim yöntemiyle levha ya da film olarak üretilir. Fakat genelde kullanılan malzemeler, DYPE, PP, PVC, PS termoplastikleridir. En yaygın olarak kullanılan üretim yöntemleri,

- Yarık kalıplı ekstrüzyon “Slit-Die”
- Üfleli film ekstrüzyonu
- Haddeme “Kalenderleme”

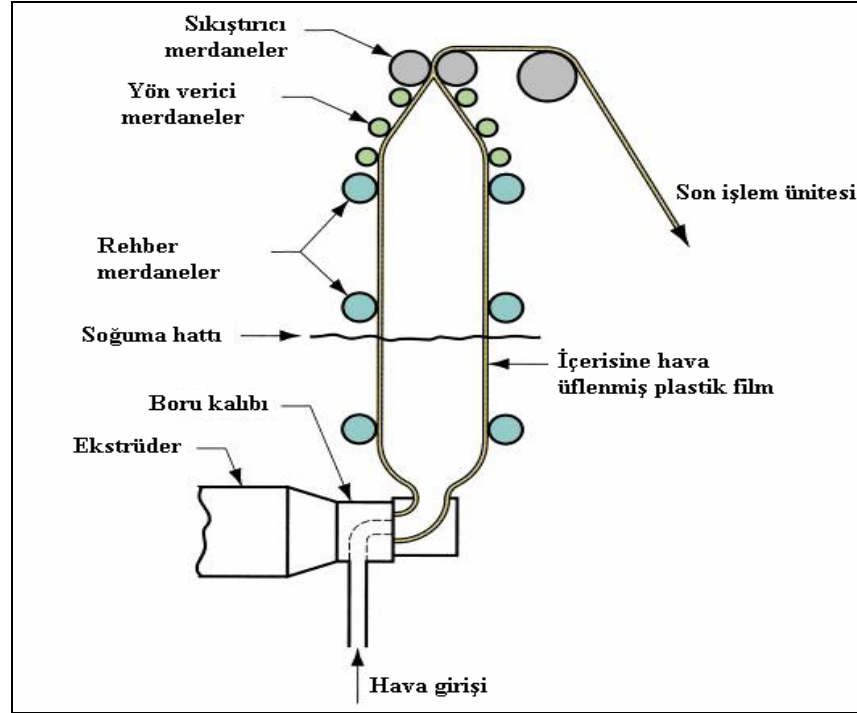
Yarık kalıplı ekstrüzyon metoduyla, levha ve filmler ince bir yarık içeren kalıp yardımıyla üretilir. Yarık genişliği 3 m'ye kadar artabildiği gibi yarık darlığı 0.4 mm kadar dar olabilir. [Groover M. P. , 2002]



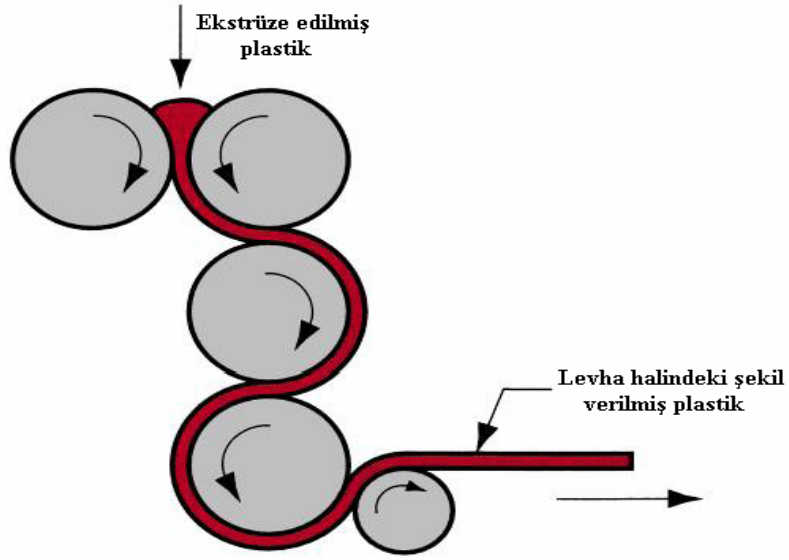
Şekil 1.50 Yarık kalıplı ekstrüzyon yönteminde kalıp ve malzeme akışı

Şişirmeli film ekstrüzyonu yönteminde üfleme ve ekstrüzyon teknikleri birleştirilmiştir. Yöntem bir borunun ekstrüzyonuyla başlar. Malzeme daha soğuyup katılaşmadan hava üflenerek mandrelli bir kalıp içerisinde geçirilir. Tüpün içine hava üflenerek düzgün cidar kalınlığı ve uygun çap elde edilir. Alışveriş poşetleri bu yöntemle elde edilir. [Groover M. P. , 2002]

Kalenderleme üretim yönteminde, ekstrüze edilmiş malzeme belirli bir sıcaklıkta bir dizi merdanelerden geçirilir. Böylelikle istenen kalınlık elde edilmiş olur. Bu üretim yönteminde makineler için gerekli yatırım pahalıdır. Ancak üretim hızı yüksektir. Merdaneler arasında belirli bir basınç ve sıcaklıkta şekil alan malzemede gelişmiş yüzey hassasiyeti ve boyut kararlılığı sağlanabilir. Bu yöntemde sık kullanılan malzemelerden biri PVC'dir. PVC kullanılarak, yer kaplamaları, duş perdeleri, vinil masa örtüleri, havuz kaplamaları, şişme bot ve oyuncaklar üretilebilir. [Groover M. P. , 2002]



Şekil 1.51 Üfleme film ekstrüzyonu üretim yöntemi ve şematik gösterilişi



Haddeleme “kalenderleme”

Şekil 1.52 Kalenderleme üretim yöntemi ve şematik gösterimi

1.9.1.2 Ekstrüzyon üretim yönteminin kullanım alanları ve elde edilen ürünler

Plastik ekstrüzyon üretim yöntemiyle çeşitli geometrilere sahip profiller, boru ve tüp üretimi, film ve levha üretimi, plastik kaplı teller ve iplik veya tel kafes örgülü boru ve hortum imalatı yapılabilir.



Şekil 1.53 Ekstrüzyon yöntemiyle üretilmiş ürünler

1.9.2 Enjeksiyon üretim yöntemi

Çok yüksek üretim miktarlarında çok büyük hacimli karmaşık geometrili parçalar üretmek için tekli veya çok parçalı kalıplar kullanılarak cam elyaf takviyeli plastik granüllerin ergitilerek yüksek basınç altında işlenmesi ve sonunda ürün elde edilmesi yöntemidir. Farklı termoplastik malzemelerle çok değişik mekanik, kimyasal, ısıl, elektriksel özellikler elde edilebilir. Enjeksiyon üretim yöntemiyle elyaf takviyeli plastik matrisli kompozit malzemeler elde edilebilir. Plastik matrisli kompozit

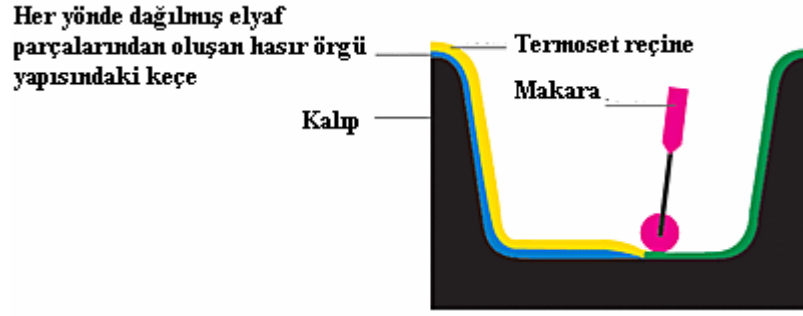
malzemeler, gerek elyaf yani takviye malzemesi içeren in-stu granüllerle besleme ünitesinden yapılan direk ilave ile yada matris malzemesi olan plastik granüllerin ve takviye malzemesi olarak kullanılacak elyaf malzemenin ayrı ayrı besleme ünitesine ilavesi ile işlenir. Kovan içerisine matris, takviye, bağlayıcı ve diğer katkı malzemelerinin ilave edilmesinden sonra kovan dışındaki ısıtıcı bantların veya ısıtıcı rezistansların verdiği ısı kovan içerisindeki matris malzemesinin ergimesini sağlar. Bu karışım kovan içerisindeki enjeksiyon vidasının dönme hareketiyle karıştırılır. Böylelikle homojen bir karışım elde edilmesi sağlanır. Kalıplanma için uygun hale gelen ergimiş malzeme yüksek basınç altında kalıplardaki boşluklara basılır. Bu basınç basılan malzemenin özelliğine göre maksimum 200Mpa değerine kadar çıkabilir. Kalıplanan plastik kontrollü soğuma etkisi altında soğutulur. Kalıbın açılması ile elde edilen ürün kalıptan iticiler yardımıyla alınır ve sonrasında malzeme üzerindeki yolluk ve diğer nedenlerle oluşan çapaklar alınır. Böylelikle enjeksiyon üretim yöntemiyle elyaf takviyeli kompozit malzeme üretimi sağlanmış olur. Kalıp olarak, tek veya çok parçalı sertleştirilmiş takım çeliğinden yapılan kalıplar kullanılır. Enjeksiyon üretim yöntemiyle daha ziyade termoplastik malzemeler kullanılır. Örnek olarak naylon, asetal, polikarbonat, polietilen, polipropilen ve polisülfün verilebilir. Enjeksiyon üretim yönteminin diğer yöntemlere nazaran avantajı çok büyük hacimli, yüksek boyut hassasiyetine sahip ve yüksek karmaşık yapıya sahip parçaların üretiminin yapılabilmesidir. [Turaçlı H. , 1999]



Şekil 1.54 Enjeksiyon üretim yöntemiyle üretilmiş bazı ürünler

1.9.3 El yatırma Üretim Yöntemi (Hand - lay up)

Düşük ve orta hacimli temas kalıplama yöntemidir. Kayık teknesi, tanklar, bina panelleri ve sandık gibi büyük boyutlu yapısal parçalar için kullanılan en basit yöntemdir. Genellikle keçe dokuma biçimindeki elyaflar, takviye elemanı olarak seçilir. Fakat ek dayanım ve elastisite modülü kazandırmak için belirli konumlarda dokuma şeklindeki elyaflar yanında sürekli cam elyaf ve karbon elyaflarda yerleştirilir.

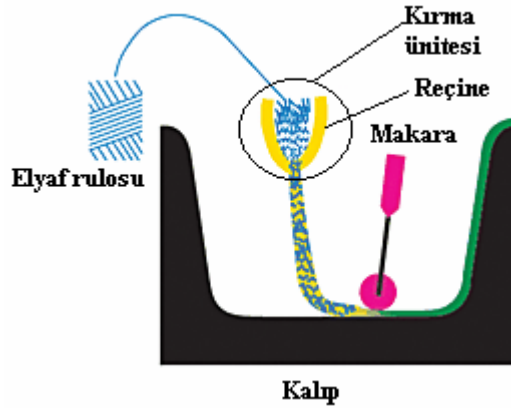


Şekil 1.55 El Yatırma üretim yöntemi

Kalıp reçine ile kaplanılmadan önce kalıptan parça ayrılmasını sağlamak için polivinil alkol, silikon sürülür. Sonra vizkozitesi yüksek reçine, fırçayla kalıp içine sürülür. Daha sonra elyaf demeti hazırlanarak dolgu maddeli reçine, elyaflar üzerine emdirilir. Bu şekilde istenilen yön, doğrultuda ve hacim oranlarında arzulanan kalınlığa ulaşıncaya dek işlem devam ettirilir. Ancak işlem sırasında hava kabarcıklarını yok etmek için rulolar ile hazırlanan malzeme ezilir. Hazırlanan malzeme kalıptan dışarı çıkarılır. Bu işlemde reçine olarak oda sıcaklığında sertleşen genel amaçlı polyesterler ve belli epoksilerde kullanılmaktadır. El yatırma yöntemi diğer kompozit malzeme üretim yöntemleri arasında en kolay metot olup, kalıplama ve takım maliyeti oldukça düşüktür. Bu üretim yöntemi dâhilinde parçalar üzerinde tasarım değişiklikleri kolayca yapılabilir. Kalıplar tek veya çok parçalı olabilir. Bitmiş parça yüzeyini iyileştirmek için vakum altında da işlem yapılması mümkündür. Bu işlemde elyaf dağılımının düzensiz olduğu kalınlıktaki değişimler nedeniyle düşük kalitede parçalar üretilir. Ancak basit takımlar kullanıldığından, yatırım maliyeti genellikle düşük, prototip veya model gibi az sayıda parça üretimi istendiğinde tercih edilir. Kullanılan elyaf hacim oranı da sınırlı olup yaklaşık % 30 civarındadır. [Şahin Y. , 2000]

1.9.4 Püskürtme yöntemi (Spray-up)

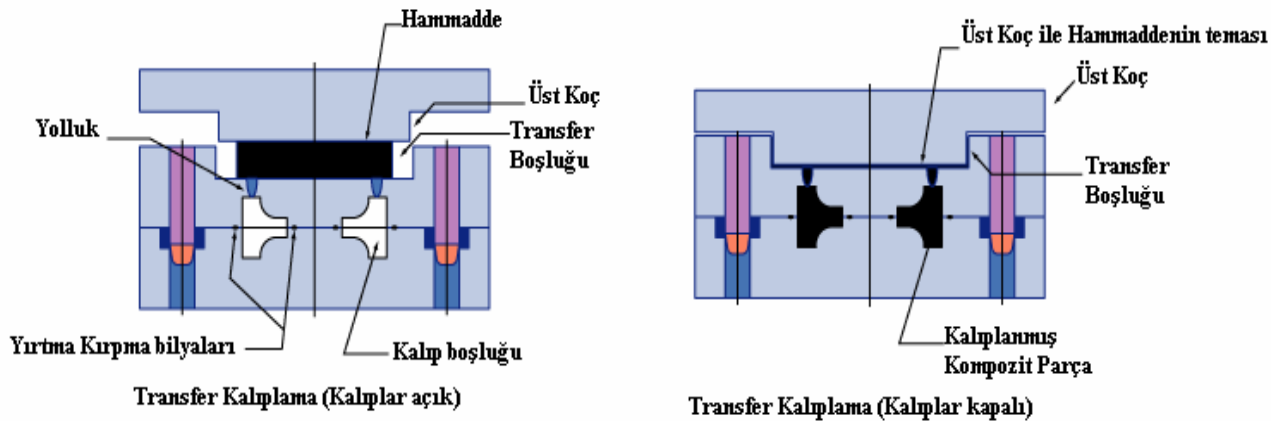
El yatırma metoduna benzeyen bu yöntem, üretilmesi istenen düşük ve orta hacimdeki tekneler ve kayıklar, tanklar, duş ünitesi gibi elemanların karmaşık geometriye ve büyük hacme sahip olması durumunda tercih edilir. Kırıcı ve püskürtme ünitesi arasından sürekli cam elyaf demeti beslenir. Bu aygıt aynı zamanda elyafları kırarak kalıp üzerine reçineyi kataliz eder. Bu nedenle kalıplanan katmanlar arasındaki havayı boşaltabilmek ve gerekli kalınlığı elde edebilmek için elyaf ve reçine ilave edilir. Katılma genellikle oda sıcaklığında gerçekleşir ve ısı kullanılarak katılma işlemi hızlandırılabilir. Ana malzemeyi püskürtmeden önce kalıp içerisine silikon sürülür. Bunun nedeni daha iyi yüzey kalitesi elde edebilmektir. Reçine olarak yine polyesterler kullanılır. Bu metot parça karmaşıklığı fazla ise oldukça verimlidir. Bu tekniğin avantajı basit, maliyeti düşük olması, taşınabilir aygıt ve parça boyutu sınırlamasının olmamasıdır. [Şahin Y. , 2000]



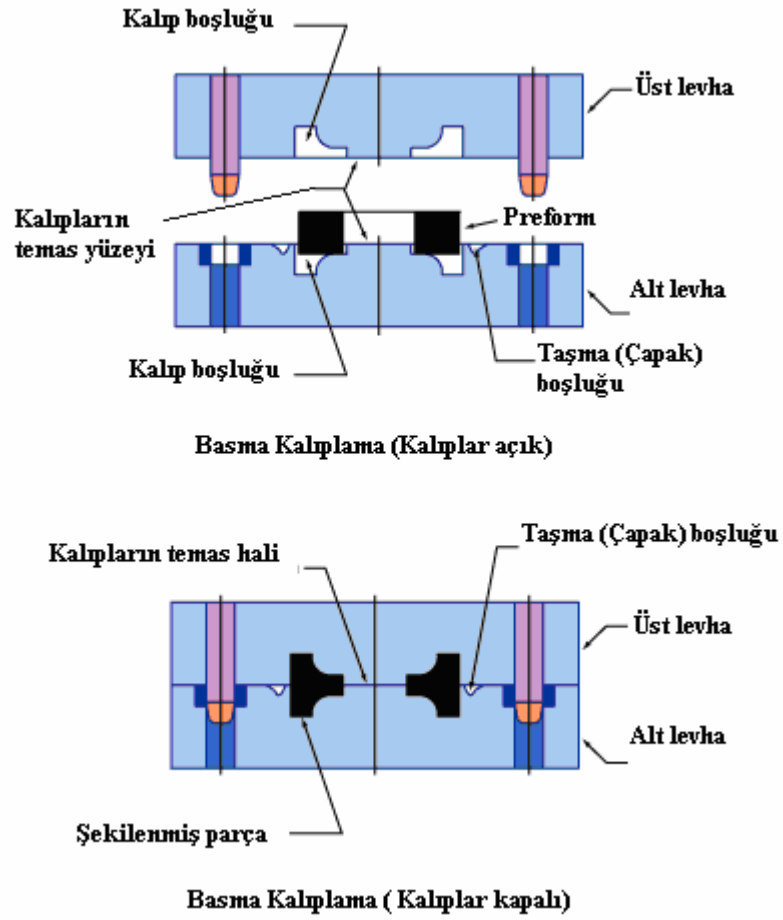
Şekil 1.56 Püskürtme yöntemi

1.9.5 Basma ve transfer kalıplama yöntemi

Yüksek dayanımlı cam elyaf takviyeli plastiklerin üretimi için uygun bir üretim yöntemidir. Yüksek dış boyut değerlerine sahip parçalarda oldukça iyi bitmiş yüzey kalitesi elde etmek mümkün olmaktadır. Basma kalıplama yönteminde çoğunlukla termosetler kullanılır. Tümleşik kalıplar, hidrolik veya modifiye edilmiş mekanik kalıplama presine sabitlenir. Kalıplanacak levha, reçine eklenmiş preform, keçe şeklinde hazırlanmış cam elyaf kalıp boşluğuna yerleştirilir. Daha sonra alt ve üst kalıplar kapanır. Malzeme 105 -160 °C arasında ısıtılır ve 1-14 MPa arasında basınç uygulanır. Kalınlık, ölçü ve parça şekline göre ısı çevrimi 1-5 dakika arasında uygulanabilir. Bu işlemlerin sonrasında kalıp açılarak bitmiş parça dışarıya alınır. Bu üretim yöntemiyle araba ön tamponları, ev aygıtları ve elektrik parçaları üretilmektedir. Bu işlemlerde kullanılan kalıplar dökme demir veya alüminyum döküm kalıplardır. Bu kalıplar tek parçalı veya çok parçalı nitelikte olabilirler. Transfer kalıplama metodu kısmen basma kalıplama metoduyla benzerlikler içerir. Transfer kalıplama yönteminde kalıplanacak kompozit levha veya önceden hazırlanmış preform, ısı kaynağında belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılır. [Şahin Y. , 2000]



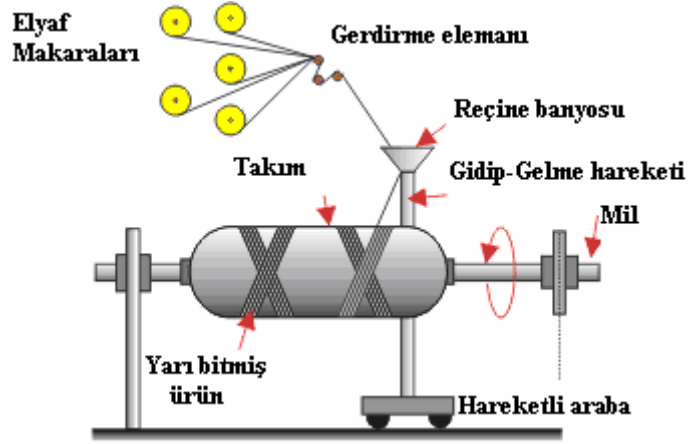
Şekil 1.57 Transfer Kalıplama Yöntemi



Şekil 1.58 Basma Kalıplama Yöntemi

1.9.6 Helisel sarma yöntemi

Bu metotlarla uzun şaftlar, pervaneler, basınçlı kaplar, roket gövdesi ve boru gibi silindirik parçaların üretimi yapılır. Bu işlemler sırasında sürekli elyaf ön katalizlenmiş reçine ile ıslatılır ve mandrel yani dönen mil üzerine belirli açılarda sarılır. Sarma işlemi, beklenen işleme yüklerini karşılamak, elyafları istenen doğrultuda yönlendirmek için yapılır. Sarma sırasında elyaflar belirli bir gerilme etkisi altındadırlar. Helisel sarma yönteminde elyafın beslendiği sistem eğer bir hareketli araba ise, ileri geri hareket ederek elyafın mandrel üzerine helisel bir şekilde sarılmasını sağlar.

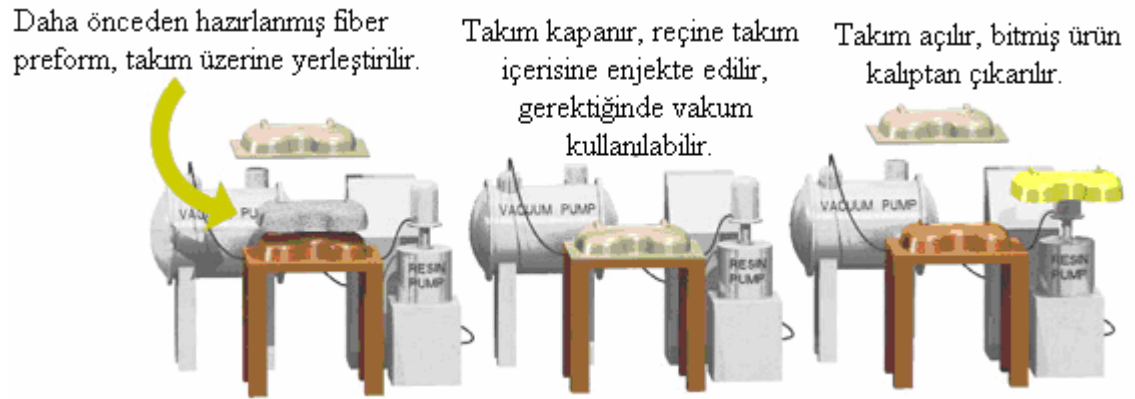


Şekil 1.59 Helisel Sarma Yöntemi

Reçine sertleştirildikten sonra mandrel çıkartılarak, sertleşme oda sıcaklığında ya da ısı sıcaklıkta tamamlanır. Kapalı parçalarda kalıplar sertleşme işlemi gerçekleştikten sonra içeriden çıkarılabilir şekilde tasarlanmalıdır. Bu yöntemde hızlı ve yeterli elyaf yerleştirilmesi, özellikle bitik tabakalar arasında fazla reçineli olan bölgelerin ve ceplerin oluşumunu minimize etmek çok önemlidir. Geometrisi yüksek kompleks değerler içeren parçalarda ise çok eksenli nümerik kontrollü tezgahlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu üretim yönteminde kullanılan bu ek sistemlerin maliyetiyle birlikte, toplam maliyette artmaktadır. Helisel sarma metodunda, üretilmesi istenen katmanlı parçaların tasarımı daha önceden yapılabilir ve bu tasarımlar bilgisayar yazılımlarında simüle edilebilir. Bununla birlikte karmaşık geometrili parçaların üretimi söz konusu olduğunda ön eklemeli ve değişik geometrilerde mandreller kullanılabilir. [Şahin Y. , 2000]

1.9.7 Reçine enjeksiyonu yöntemi

Bu üretim metodunda dişi ve erkek olmak üzere iki kalıp kullanılarak iki yüzü düzgün ürün elde edilir. Reçine enjeksiyonu için üretilmiş olan özel cam keçe, kalıp üzerine yerleştirilir ve kalıplar kapatılır.

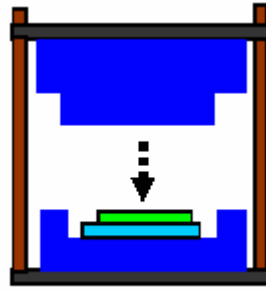


Şekil 1.60 Reçine Enjeksiyonu Yöntemi

Önceden hazırlanmış olan bir reçine, enjeksiyon noktasından, basınç altında polyester, kalıp içine enjekte edilir. Reçine enjeksiyonu metodu ile daha seri ve ekonomik olarak, el yatırma metoduna oranla daha kaliteli ürün elde edilir. [Şahin Y. , 2000]

1.9.8 Hazır kalıplama metodu (SMC)

Ürün boyutuna göre 3-6 dakikalık bir kalıplama süresi sağlayan hızlı, seri bir kalıplama metodudur. Önceden hazırlanmış, pestil veya hamur haldeki cam elyafı – polyester dolgu ve katkı malzemeleri karışımının, 150-170 C sıcaklıkta, 50-120 kgf/cm² basınç altında çelik kalıplarda şekillendirilmesi metodudur. [Şahin Y. , 2000]

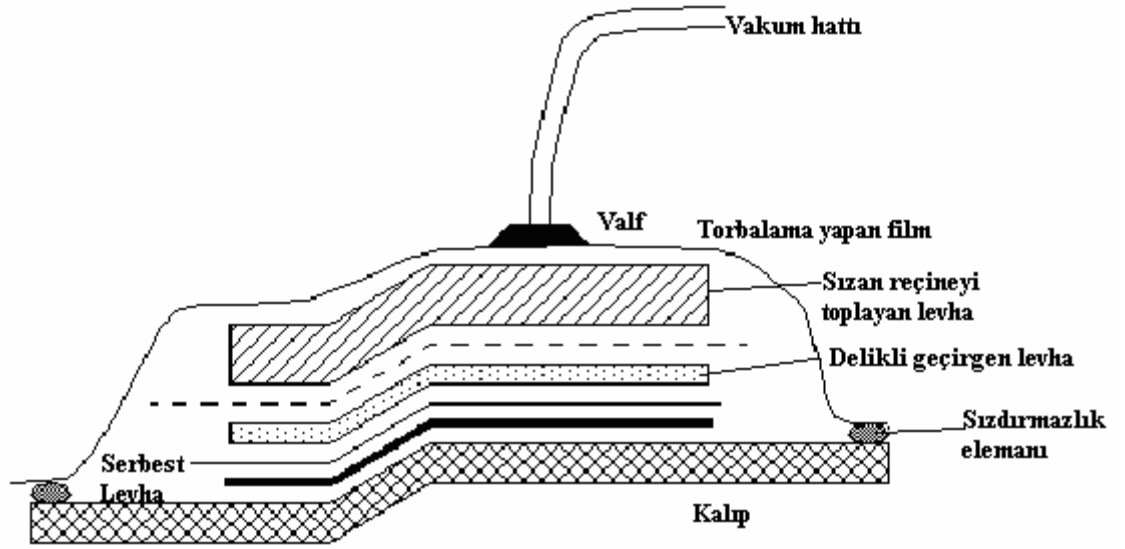


(SMC) Pres Kalıplama

Şekil 1.61 SMC Hazır kalıplama yöntemi

1.9.9 Torba kalıplama yöntemi

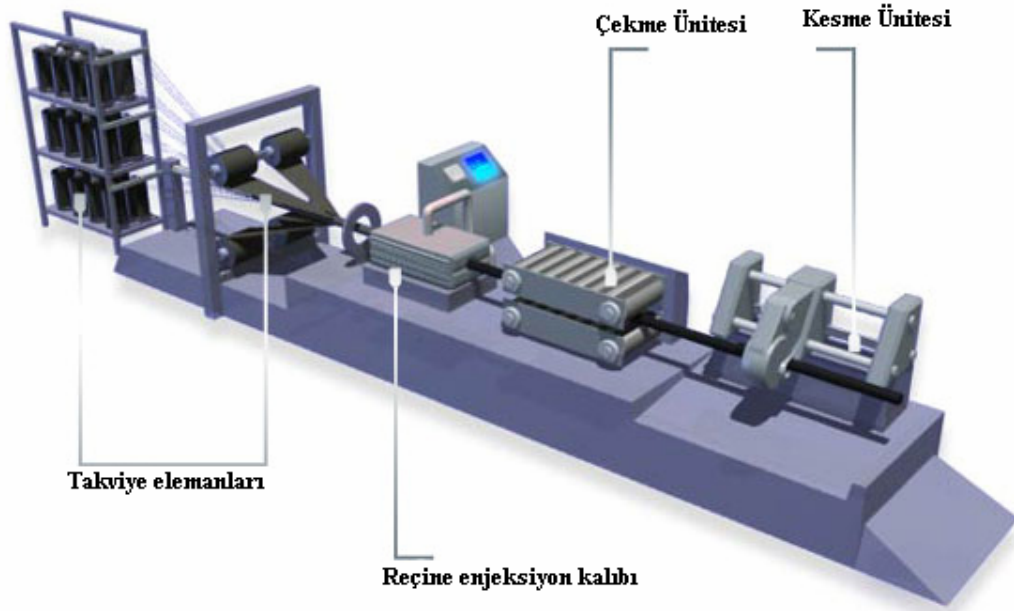
Kalıp içine yatırılan takviyeli reçinenin, sıkıştırma ve sertleştirme işleminin esnek bir membran altında gaz veya sıvı basıncının uygulanmasıyla sağlandığı bir prosestir.



Şekil 1.62 Torba Kalıplama Yöntemi

1.9.10 Pultrüzyon üretim yöntemi

Bu üretim yönteminde, elyaf hacim oranı % 75 olan kompozit malzemeler üretilebilir. Elyaf demeti reçineye daldırılır ve bir ön kalıptan geçirilir. İçindeki hava ve fazla reçinenin atılması sağlanır. Sonra ısıtılmış kalıptan geçirilerek fırına gönderilmesi sağlanır. Ön biçim verilmiş malzeme son kalıplama ünitesinden de geçtikten sonra kompozit malzeme elde edilmiş olur.



Şekil 1.63 Pultrüzyon Üretim Yöntemi

1.9.11 Otoklav üretim yöntemi

Termoset kompozit malzemelerin performanslarını artırmak için elyaf/reçine oranını artırmak ve malzeme içinde oluşabilecek hava boşluklarını tamamen gidermek gerekmektedir. Bunun sağlanması için malzemeye yüksek ısı ve basınç uygulanır. Torba Kalıplama yöntemindeki gibi sızdırmaz bir torba ile elyaf/reçine yatırmasına basınç uygulanabilir. Fakat 1 atmosferden fazla düzenli ve kontrol edilebilir bir basıncın uygulanabilmesi için dışsal basınca ihtiyaç duyulur. Bu uygulama için, otoklav yönteminde de uygulanan ve kompleks şekillerde en çok kontrol edilebilen metot, dışarıdan sıkıştırılmış gazın kompozit malzemenin içinde bulunduğu kaba verilmesidir. Otoklav kesin basıncın, ısının ve emişin kontrol edilebildiği basınçlı bir kaptır. Torba Kalıplama yöntemi ile benzerdir. Fırın yerine bir otoklav kullanılır. Böylece özel amaçlar için yüksek kalitede kompozit üretebilmek için kür şartları tam olarak kontrol edilebilir. Bu yöntem diğerlerine oranla daha uzun sürede uygulanır ve daha pahalıdır.

1.10 Plastiklere Isının Etkisi ve Isıl Davranışlar

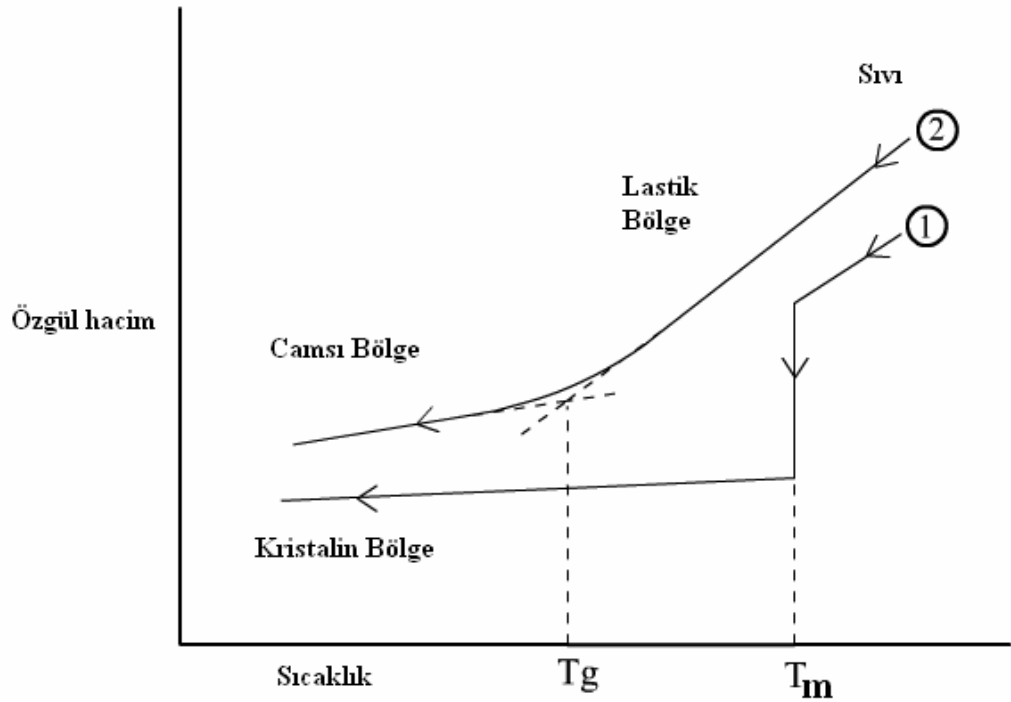
Temel kavramlar kapsamında plastiklerin davranışlarının belirlenmesinde önemli olan iki önemli sıcaklıktan söz etmek gerekmektedir. Bütün plastik malzemelerde aşağı değerlerine inildiğinde, polimer zincirinde hareketliliğin hemen hemen kaybolduğu ve polimer zincirinin neredeyse hareketsiz hale geldiği bir sıcaklık bulunur. Bu sıcaklığa camı geçiş sıcaklığı (T_g , glass transition temperature) adı verilir. Bu sıcaklığın üstüne çıkıldığında polimer zincirlerinin hareketlerine olanak sağlayacak yeterli termal enerjiye ulaşılır ve böylelikle polimer zincirlerinin hareketliliği sağlanmış olur. Amorf yapıdaki plastiklerde polimer zincirlerinin meydana getirdiği bu hareketler sonrasında elastik yada plastik karakteristikte davranışlar gözlemlenebilir. T_g , camı geçiş sıcaklığının altına inildiğinde polimer zincirlerinin tüm hareketleri durağanlaştığından malzeme sert ve genellikle gevrek ve kırılgan bir özellik gösterir. Plastikler ısıtılıp, belirli bir sıcaklığa ulaşıldığında malzemenin kristal yapı elemanlarının tümü, ergimiş kısımla denge haline gelir. Yani kristal bölgelerde katı kristal ile ergimiş kısım denge halindedir. Düşük molekül ağırlıklı diğer kristal yapı malzemelerin aksine plastiklerde keskin bir ergime sıcaklığı yerine ergime sıcaklık aralığı gözlenmektedir. Bunun nedeni, kristal yapı bölgelerde yapıların tam ve mükemmel bir biçimde birbirinin aynı olmamasıdır. Gözlenen bu sıcaklığa ergime noktası (T_m , melting temperature) denilmektedir. Plastik malzemelerde kristallenmenin mükemmeliyeti arttıkça, T_m ergime sıcaklığı yükselmekte, ergime sıcaklık aralığı azalmaktadır. [Savaşçı Ö.T. vd. , 2002]

Genellikle plastikler 100-180 °C sıcaklık aralığında uzun süreli kullanım için tavsiye edilebilirler. PTFE (Teflon) ve polifenilen sülfid gibi başka plastikler 250 °C'a kadar servis ömrüne sahiptirler. Verilen sıcaklık aralığı her ne kadar belirli olsa da plastikler oldukça geniş bir sıcaklık aralığında yumuşama gösterirler. Yüksek sıcaklıklarda plastiklerin kullanılabilmesini tayin eden yöntem yumuşama ve eğilme sıcaklığıdır. Plastiklerin en önemli termal özelliklerinden bir tanesi, ısı iletkenliğidir. Genellikle plastikler ısıyı iyi iletmezler, dolayısıyla plastiklerin ısı iletkenlik katsayıları da düşüktür. Metallerin ısı iletkenlikleri 200-10000 cal/cm.san.°Cx10⁴ arasında iken, plastiklerin ısı iletkenlikleri 2,0-8,0 cal/cm.san.°Cx10⁴ arasındadır. Plastiklerin ısı iletkenlikleri

iletkenliklerinin iyi olmaması nedeniyle sürtünme ve tekrarlı gerilmeler dolayısıyla malzeme içerisinde ki sıcaklık artışı ısı birikimine neden olur. Bu olay ısıl yorulmayla sonuçlanır. Isıl yorulmanın azaltılabilmesi için plastik malzemeler katkı maddeleri ilave edilir. Bu amaçla en çok kullanılan katkı maddeleri metal tozları(alüminyum, bakır vb.) veya çeşitli elyaflar(cam elyaf, karbon elyaf vb.) olarak sıralanır. Katkılı plastiklerin ısıl iletkenlikleri katkısız saf plastiklere nazaran en az 10 kat daha fazladır. Plastiklerin ısıl iletkenlikleri molekül ağırlığının yanı sıra kristallik derecesi ve yönlenme gibi faktörlere bağlıdır. Kristallik derecesi ve yönlenme artarsa ısıl iletkenliği de artar. Plastiklerin başka bir termal özelliği de ısıl genleşmedir. Plastiklerin işlenmesinde önemli bir rol oynayan ısıl genleşme katsayısı metallere göre çok daha büyüktür ve değer olarak $2-20 \times 10^{-5}$ (cm/cm°C) arasında değişir. Plastik malzemeye takviye etmek amacıyla ilave edilen elyaflar, malzemenin ısıl genleşmesini oldukça azaltır. Örneğin polistiren'e % 60 oranında cam elyaf ilavesiyle ısıl genleşme katsayısı yarıya inmektedir. Isıl genleşme özelliği, ısıl iletkenlik gibi molekül ağırlığı ve diğer yapısal faktörlerle değişir. Plastik kristallik derecesi ve çapraz bağ yoğunluğunun artmasıyla ısıl genleşme katsayısı azalır. Polimer zincirlerinin yönlenmesi durumunda ise, yönlenme yönünde genleşme sayısı azalırken buna dik yönde artar. Bununla birlikte plastik malzemenin ısıl genleşme katsayısı malzemenin ergime ve camsı geçiş sıcaklığının altında ve üstünde olmak üzere farklılık gösterir. Plastiklerin ısıya karşı dayanıklılığı çok önemli bir faktördür. Genellikle termoplastikler herhangi bir dış yükün etkisi altında kalmadan 60-120°C'da, bazı çeşitleri ise 260°C gibi yüksek sıcaklıklarda bozulurlar. Bu yüzden plastik malzemeler ile yüksek sıcaklıklarda çalışılırken düşük yükler seçilmelidir. Termosetler daha sert ve ısıya daha dayanıklı plastiklerdir. Sıcaklığın artması sonrasında rijitliğini ve sertliğini belirli bir sıcaklığa kadar koruyabilirler. Ancak belirli bir sıcaklıktan sonra bozulurlar ve kömürleşirler. Termosetler genellikle 150-230°C arasındaki sıcaklıklarda uzun süreli yüklemelere dayanabilirler. Bazı termosetler 260°C'a kadar dayanabilirler. Asbest ve cam dolgu gibi dolgu malzemeleri, plastik malzemenin ısıl direncini artırır. Sıcaklığın artmasıyla plastik malzemenin değişen fiziksel halleri ayrıca malzemenin yapısının amorf, kristalin ve yarı kristalin olmasına da bağlıdır. Sıcaklık, molekül zincirlerini oluşturan ünitelerin dönme hareketini etkiler. Sıcaklığın artması ile bu hareket hızlanır. Molekül zincirleri arasındaki bağ kuvvetleri zayıflar ve zincirler birbirine göre daha bağımsız hale gelir. Sıcaklığın azalması ile dönme hareketi yavaşlar,

belirli bir sıcaklıkta durur, sadece atomların kendi etrafındaki titreşim hareketi kalır. Bu durumdaki sıcaklığa camsı duruma geçiş sıcaklığı da denir. Bu sıcaklığın altında malzeme camsı hal denilen rijit ve sert bir yapıda bulunur. Genellikle gevrek bir karakteristik gösterir ve kırılmandır. Camsı hal malzemenin yapısına bağılı olmayıp aslında soğutma hızıyla ilgilidir.[Akkurt S. , 1991]

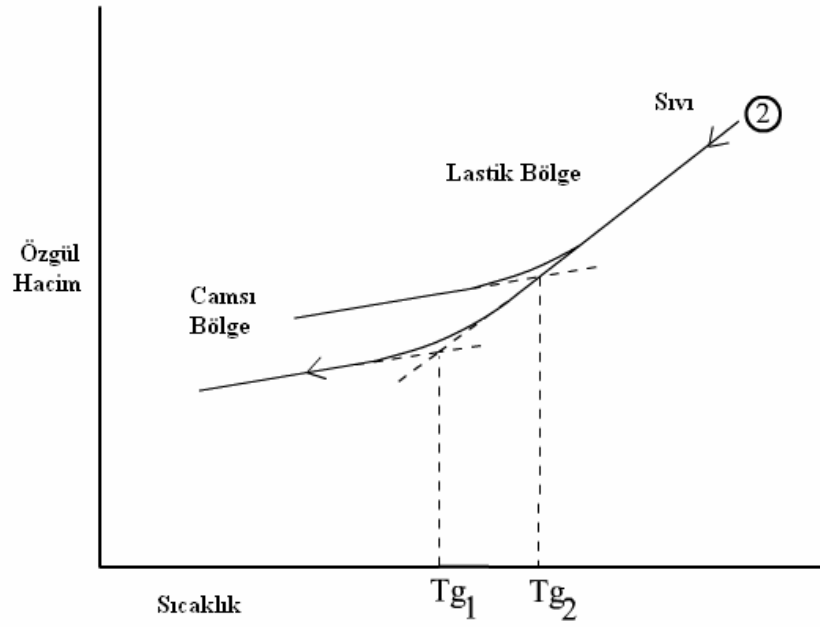
Camsı hale geçiş, soğutma hızının kristallenme hızından yüksek olduğu zamanlarda gerçekleşebilir. Camsı duruma geçiş sıcaklığına ikinci duruma geçiş sıcaklığı da denir. Camsı halden sıvı hale geçiş plastiklerin yapısına bağılıdır. Malzemenin ergimesi, özgül hacim, özgül ısı ve ısı genleşme gibi karakteristiklerinin ani değişimine yol açar.



Şekil 1.64 2) Amorf yapıdaki polimerin sıcaklık eğrisi 1) Kristal yapıdaki polimerin sıcaklık eğrisi

Plastiklerin özgül hacminin sıcaklıkla değişimi yukarıdaki grafikte verilmiştir. Amorf plastiklerin camsı katı halinden sıvı haline geçişi 2 no'lu eğriye göre gerçekleşmektedir. Amorf yapıdaki plastik camsı bölge sınırlarında camsı bir yapıya

sahiptir. Sıcaklık giderek arttığında, ünitelerin enerjisi büyür ve bu enerji potansiyel enerji bariyeri denilen bir enerjiden daha yüksek olduğunda molekül zincirlerinin oluşturan ünitelerin hareketi başlar. Zincir daha büyük esneklik kazanır, moleküler arası bağlar zayıflar ve malzeme lastik gibi bir hal alır. Ünitelerin iç enerjisi, potansiyel enerji bariyeri ile eşit olduğu durumdaki sıcaklık esasen camsı geçiş sıcaklığı olarak tanımlanır. Bunu takiben sıcaklığın artması ile ünitelerin hareketi hızlanır, zincirler kısmi olarak da olsa bağımsız hale gelir ve sıvı gibi davranmaya başlar. Bu gerçekleşen olaylardan, tam amorf plastiklerin belirli bir ergime sıcaklığının olmadığı sonucunu çıkarabiliriz. Amorf haldeki plastikler camsı halinden yumuşamış yani lastik gibi hala geçişte camsı geçiş sıcaklığına riayet ederler. Bununla birlikte lastik gibi halden sıvı hale geçiş belirli bir sıcaklıkta değil de bir sıcaklık aralığında gerçekleşir. Tam kristalin yapıdaki plastiğin özgül hacminin sıcaklıkla değişimi 1 no'lu eğriyi takiben gerçekleşir. Tam kristalin malzemenin camsı geçiş sıcaklığı bulunmaz. Plastik malzeme katı halden ısıtılmaya başladığında malzeme, T_m sıcaklığında aniden sıvı hale geçer. Bahsedilen sıcaklıklar arasında, T_g , camsı geçiş sıcaklığını ifade eder ve zincir ünitelerinin harekete geçtiği ve malzemenin camsı halden lastik hale geçtiği sıcaklıktır. T_m sıcaklığı ise ergime sıcaklığı olarak adlandırılır ve kristalin yapının bozulup malzemenin sıvı hale geçtiği sıcaklıktır. Plastiklerin camsı hali, rijit ve kristalin olmayan gevrek bir yapıdır. Ancak plastik malzemenin gösterdiği bu gevrek karakteristik, malzemenin cinsine ve sıcaklığa bağlı olarak değişebilir. Bir takım plastikler belirli bir camsı geçiş sıcaklığında camsı halden lastik hale geçerken bazıları, birden fazla camsı geçiş sıcaklığına sahiptir. Örneğin, naylon 66'nın camsı geçiş sıcaklığı 50°C 'dir. Fakat bu malzemenin -120°C 'de ikinci bir camsı geçiş sıcaklığı vardır. Bu göstermektedir ki; bu malzemede ilk camsı geçiş sıcaklığında zinciri oluşturan ünitelerin hareketleri tam olarak durmamıştır. Üniteye bağlı bazı grupların hareketleri halen devam etmektedir. Örneğin naylonda bulunan metil grubunun hareketi -120°C 'de durmaktadır. [Akkurt S. , 1991]



Şekil 1.65 Birden fazla camsı geçiş sıcaklığı gösteren bir plastiğin sıcaklık-özümlü hacim değışimi

Camsı geçiş sıcaklığının değeri, moleküller arası kuvvetlerin, moleköl ağırlığının, zincir içerisinde ünitelerin rijitliğinin ve çapraz bağların büyümesi ile artar. Aynı zamanda plastıklere ilave edilen yumuşatıcılar T_g değerinini düşürür. Eğer bu malzemenin camsı geçiş sıcaklığı artarsa kristallik derecesi azalır.

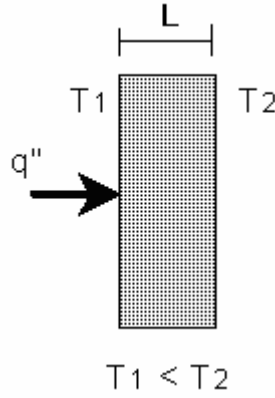
1.11 Isı Geçişi ve Isı Geçiş Mekanizmaları

Ortam veya ortamlar arasında eğer bir sıcaklık farkı var ise bu ortamlar arasında er veya geç bir ısı geçişi söz konusu olacaktır. Böylelikle ısı geçişinin tanımını yapmak istersek, aralarında sıcaklık farkı bulunan ortamlar arasındaki enerji aktarımıdır. Isının geçişini sağlayan çeşitli mekanizmalar yani türleri mevcuttur. Katı veya akışkan bir durgun ortam içinde, sıcaklık farkı nedeniyle gerçekleşen ısı geçişi, iletimle ısı geçişi olarak adlandırılır. Bununla birlikte bir yüzey ile hareket halindeki bir akışkan arasındaki sıcaklık farkının doğurduğu ısı geçişi ise, taşınım ile ısı geçişi olarak adlandırılır. Üçüncü bir ısı geçiş mekanizması ise ısı ışınım ısı geçiş yöntemidir. Sonlu sıcaklığa sahip tüm yüzeyler, elektromagnetik dalgalar halinde enerji yayarlar. Farklı sıcaklıktaki yüzeyler arasında eğer herhangi bir engel teşkil eden ortam yok ise ışınım ile net ısı alışverişi gerçekleşir. [Derbentli T. vd. , 2001]

1.11.1 İletimle ısı geçişi

İletimle ısı geçişi, maddenin katı ve akışkan fazında, moleküler ve atomik düzeyde gerçekleşir. İletim bir maddenin daha yüksek enerjili parçacıklarından daha düşük enerjili parçacıklarına, bu parçacıklar arasındaki temas ve etkileşim sonrasında enerjini aktarılması olarak düşünülebilir. İletim ile gerçekleşen ısı geçişini bir gazı göz önüne alarak açıklamaya çalışalım. İçinde sıcaklık farkı olan bir gaz ele alınsın. Durgun halde olduğu ve kitlesel hareketlerin bulunmadığı kabul edilsin. Bu gaz ki farklı sıcaklığa sahip yüzeylerin bulunduğu hacmi kaplıyor olsun. Herhangi bir noktadaki sıcaklık o noktadaki gaz moleküllerinin sıcaklığıyla yakından ilişkilidir. Gaz moleküllerinin sahip oldukları enerji, dönme ve titreşim hareketlerinden olduğu kadar, gaz moleküllerinin serbest ötelenme hareketleriyle de yakından ilgilidir. Daha yüksek sıcaklıktaki moleküller, daha düşük sıcaklıktaki moleküllerle sürekli olarak çarpışmaktadır. Böylelikle ısı geçişi iletimle ve daha yüksek sıcaklıktaki molekülden

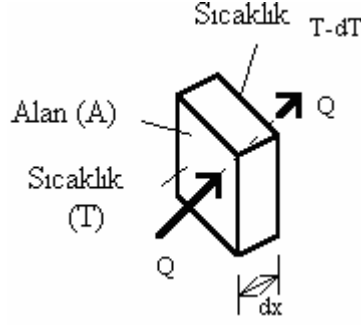
daha düşük sıcaklıktaki moleküle doğru olmaktadır. Yani sıcaklığın azaldığı yönde iletimle ısı geçişi olur. [Derbentli T. vd. , 2001]



Şekil 1.66 İletimle bir boyutlu ısı geçişi

Sıvılardaki moleküller arasındaki aralık daha az ve moleküller arasındaki etkileşim daha fazla olmasına rağmen, iletimle ısı geçiş mekanizması yine aynı yöntemle enerji akışına olanak verir. Benzer olarak bir katı içinde iletimle ısı geçişi, kafes titreşimleri şeklindeki atomik faaliyetlere bağlanabilir. İletimle ısı geçişine birçok örnek verilebilir. Bir fincan sıcak kahveye aniden daldırılan metal kaşığın kahve dışındaki ucunun ısınması, kaşık boyunca enerji aktarımının iletimle gerçekleşmesi sonrasında meydana gelir. Kış günleri ısıtılan odalardan dışarıya muntazam enerji yani ısı kaybı gerçekleşir. Bu olay oda içerisindeki sıcak havanın oda duvarı ile etkileşimi sonrasında oda duvarından iletimle geçen ısı geçişiyle dış ortama verilmesiyle sağlanır. Isı geçişi işlemlerini uygun an denklemleriyle ifade etmek mümkündür. Bu denklemler birim zamanda aktarılan enerji miktarını hesaplamak için kullanılabilir. Isı iletimi için an denklemi, Fourier Yasası ile ifade edilir.

- $q''_x = -k \frac{dT}{dx}$, k (W/mK)



Şekil 1.67 Isı iletimi için an denklemi ifadesinin şematik gösterimi

Isı akısı q''_x (W/m^2), ısı geçişi doğrultusuna dik birim yüzeyden, birim zamanda belirtilen doğrultuda geçen ısıdır. Bu doğrultudaki sıcaklık gradyanı, dT/dx ile doğru orantılıdır. Orantı katsayısı k (W/mK), iletim katsayısı olarak adlandırılır ve malzemenin türüne bağlı olan bir özelliktir. Eksi işareti ise ısının sıcaklığın azaldığı yönde gerçekleştiğinin bir göstergesidir. Sıcaklık dağılımının doğrusal olduğu sürekli rejimde sıcaklık gradyanı;

- $dT/dx = (T_2-T_1)/L$ olarak ifade edilir. Bununla beraber ısı akısı ise;
- $q''_x = -k \cdot [(T_2-T_1)/L]$ ifadesiyle gösterilir.

1.11.2 Işınım ile ısı geçişi

Işınım, maddenin atom ve moleküllerinin elektron düzeninde olan değişimler sonucunda yayılan elektromanyetik dalgalar veya fotonlar aracılığıyla gerçekleşen enerji aktarımıdır. İletim ve taşınımından farklı olarak, ışınlama ile ısı geçişi cisimler arasında boşluk olması durumunda da vardır. Işınım ile ısı geçişi ışık hızında gerçekleşir. Güneşten dünyaya gelen ısı, arada boşluk olduğuna göre iletim ve taşıma yoluyla yayılamaz. Bu yayılım ışınlamadır. Isı geçişi uygulamalarında söz konusu olan, bir cismin belirli bir sıcaklıkta olmasından dolayı yaydığı ısı ışınımıdır. Mutlak sıfır sıcaklığın üzerinde sıcaklığa sahip olan tüm cisimler ısı ışınımı yayarlar. Işınım bir

hacim olgusudur. Tüm katı, sıvı ve gazlar ışınımı belirli ölçüde yayarlar, geçirirler ve yutarlar. Fakat katı cisimler için ışınım, bir yüzey olgusu olarak ele alınabilir. Çünkü metal, tahta, taş gibi cisimlerin iç bölgelerinde yayılan ışınım yüzeye ulaşmadan yutulur. Sadece yüzeye birkaç mikron uzaklıktaki bir bölgede yayılan ışınım, yüzeyden dışarı çıkar. Benzer bir biçimde yüzeye gelen ışınım da birkaç mikron kalınlığındaki bölgede yutulur. T_s mutlak sıcaklığındaki bir yüzeyden birim zamanda yayılabilecek ışınım Stefan-Boltzmann Kanunuyla belirlenir. [Derbentli T. vd. , 2001]

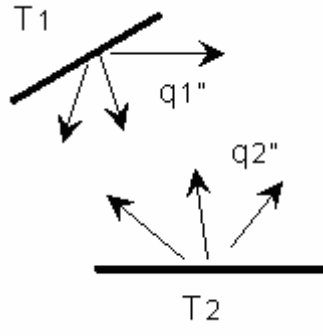
- $Q_{Yayılan,max} = \sigma AT_s^4$

Burada A yüzey alanı, $\sigma = 5,67 \cdot 10^8$, W/(m²K⁴) ise Stefan-Boltzmann sabitidir. Belirli bir sıcaklıkta en çok ışınımı yayan mükemmel yüzey siyah cisim diye bilinir. Bu yüzey tarafından yayılan ışınım da siyah ışınımı diye adlandırılır. Siyah cismin gerçek bir yüzey olmadığı vurgulanmalıdır. Gerçek bir yüzey tarafından yayılan ışınım, aynı sıcaklıkta bir siyah cisim tarafından yayılan ışınımından azdır ve aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

- $Q_{yayılan} = \epsilon \sigma AT_s^4$

Burada ϵ yüzeyin yayma oranıdır. Yayma oranını değeri 0 ile 1 aralığında olup, bir yüzeyin yayma oranı, siyah cisme yakınlığının ölçüsüdür. Siyah cismin yayma oranı $\epsilon = 1$ olarak alınır. Yayma oranı ϵ , yüzey alanı A, mutlak sıcaklığı T_s olan bir yüzeyin, $T_{\text{Çevre}}$ sıcaklığındaki çok daha büyük bir yüzey tarafından çevrelendiği durum göz önüne alındığı zaman, iki yüzey arasındaki ortamın ışınımı yaymadığı, yutmadığı veya saçmadığı kabul edilsin. Bu durumda birim zamanda ışınım ile ısı geçişi;

- $Q_{yayılan} = \epsilon \sigma A(T_s^4 - T_{\text{çevre}}^4)$ ifadesiyle hesaplanabilir. [Derbentli T. vd. , 2001]



Şekil 1.68 Işınmılla Isı Geçişi

2. ISIL ŞEKİL VERME

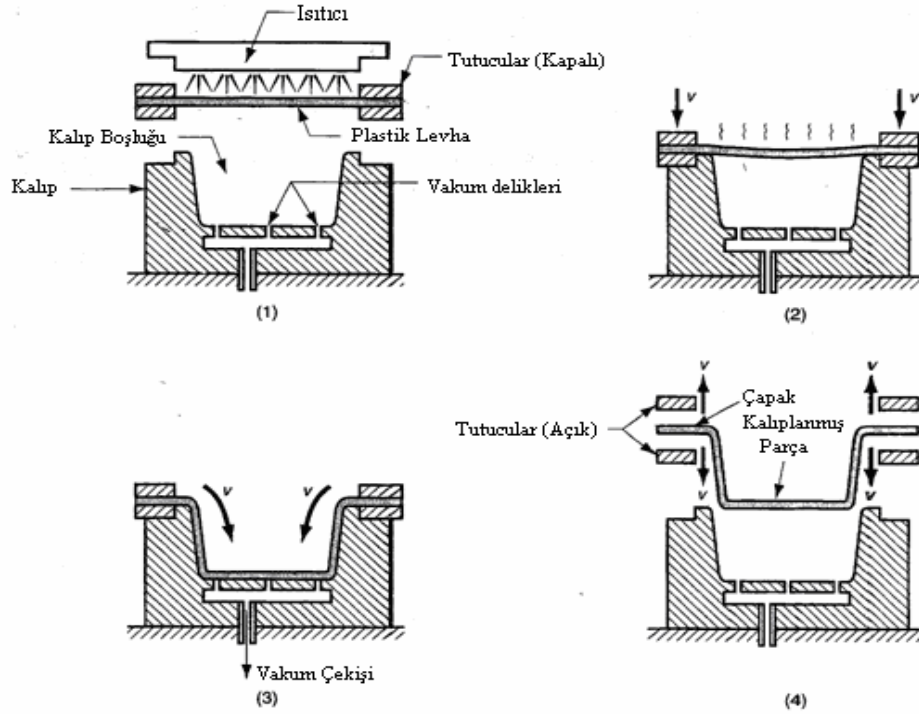
2.1 Isı ile Şekillendirme

Isı ile Őekillendirme, termoplastik dűzlemsel levhaların ısıtılarak, kullanılan kalıplar yardımıyla istenen Őeklin verilmesi aŐamalarından oluŐan bir prosestir. Isı ile Őekillendirme prosesi, műŐteri űrűnlerinin paketlenmesi ve ambalajlanması sektűrűnde oldukça geniŐ bir kullanım alanına sahiptir. Bununla birlikte ısı ile Őekillendirme űretim yűntemiyle, belirli ayrıtlara sahip olan sokak lambaları, buzdolabı kapılarındaki plastik iç paneller, banyolarda kullanılan kűvetler ve banyo tekneleri űretilmektedir. Isı ile Őekillendirme yűntemi, proses içerisinde gerçekteŐen sűreç gűz űnűne alındıĐında iki ana baŐlık altında incelenebilir. Bu ana baŐlıkları ısıtma ve Őekillendirme olarak sıralayabiliriz. Isıtma, çoĐunlukla baŐlangıçta kullanılan Őekil verilecek levhaya altından ve űstűnden, yaklaŐık olarak 125mm(5in.) mesafede konumlandırılmıŐ radyant ısıtıcılarla saĐlanır. Levhanın ısıtılmasında, ıŐınım ile ısı geçii sűz konusu olduĐundan levha ile ısıtıcı arasında herhangi bir engelleyici unsur bulunmamaktadır. Isıtma aŐaması sırasında Őekillendirilecek levha, imal edildiĐi polimer tűrűne, kalınlıĐına ve rengine baĐlı olarak Őekil vermeye uygun sıcaklık seviyesine ıŐıkarılmalıdır. Őekillendirme aŐaması sűz konusu olduĐunda ise, ısı ile Őekillendirme yűntemi űç farklı Őekilde incelenebilir. [Throne J.L. , 1987]

- Vakum ve ısı Şekillendirme(Vacuum Thermoforming)
- Basıncılı hava ile ısı Şekillendirme(Pressure Thermoforming)
- Mekaniksel ısı Şekillendirme (Mechanical Thermoforming)

2.1.1 Vakum ve ısı ile şekillendirme

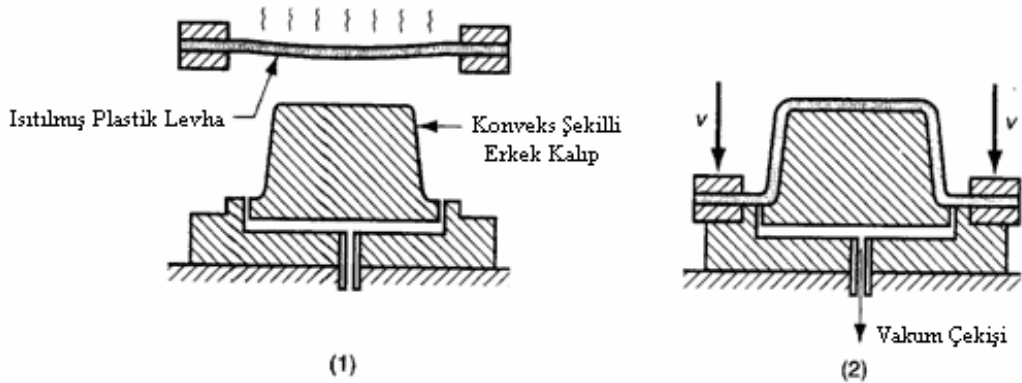
1950'lerde geliştirilmiş ısı ile şekillendirme metotlarından biridir. Bu yöntemde, ilk olarak şekil verilecek uygun sıcaklığa kadar levha ısıtılır. Daha sonra negatif basınç oluşumuyla, ısıtılmış ve yumuşamış levha kalıp boşluğunun şeklini alır. Böylelikle vakum oluşumu, ısıtılmış levhanın kalıbın şeklini almasına yardımcı olan kuvvet oluşumunu sağlar. [Throne J.L. , 1987]



Şekil 2.1 Vakum ve Isı ile Şekillendirme Yöntemi

Öncelikle şekil verilmesi istenen plastik veya plastik esaslı levha, tutucular vasıtasıyla sabitlenir. Sıkıca sabitlenen levha çoğunlukla radyant ısıtıcılar yardımıyla ısıtılır. Isıtılmış levha alt kalıpta oluşan negatif basınçla birlikte kalıp boşluğuna doğru hareket eder ve kalıp yüzeyine temas ederek kalıp boşluğunun şeklini alır. Bu sırada

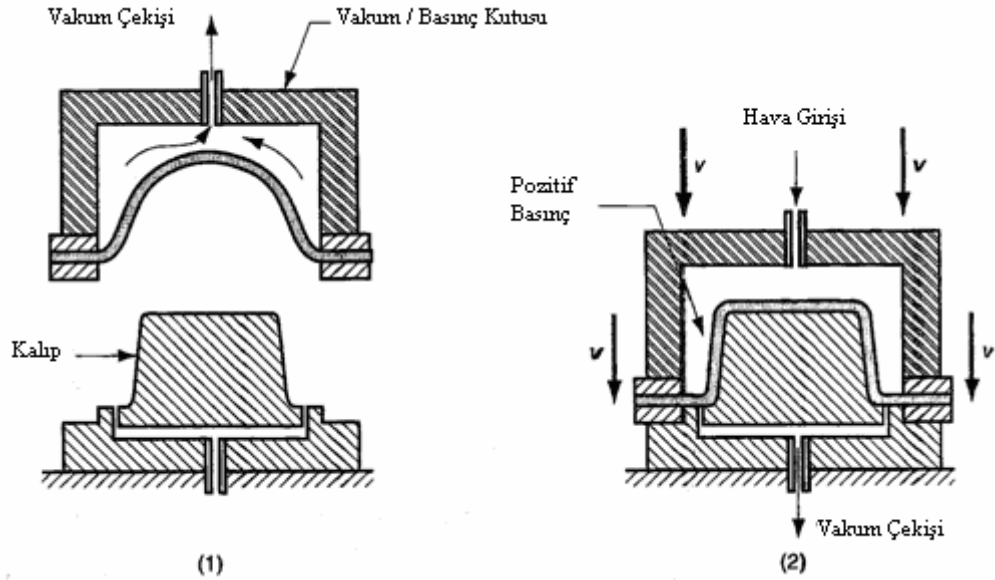
kalıp içerisindeki hava, vakum oluşumunu sağlayan deliklerden dışarıya atılır. Bu deliklerin çapı 0.8 mm(0.031in.) olarak sınırlandırılmalıdır. Delik çaplarının büyümesi vakum etkisi altındaki şekillenmiş levha üzerinde istenmeyen izler bırakabilir. Kalıpla temas halinde olan levha zamanla soğur. Ve bir sonraki işlemle kalıptan çıkarılıp alınır. Kalıptan çıkarılan parça tutucularında açılmasıyla çapaklarının alınması için kesim ünitesine gönderilir. Vakum ve ısı ile şekillendirme yönteminde, dikkat edilmesi gereken önemli unsurlar bulunmaktadır. Bunlardan ilki kullanılan kalıpların geometrik yapılarıdır. Eğer vakum ve ısı ile şekillendirme yönteminde kullanılan kalıp konveks yapıya sahip olan bir erkek kalıpsa şekillendirilen levhanın, alt yüzeyi uygulanan vakumla birlikte kalıp yüzeyine yapışır ve levha şekillenir, ancak şekil verilmiş yarı ürünün iç yüzeyi kalıp dış yüzeyiyle temas halindedir. Buda kalıpla temas halinde olmayan levha dış yüzeyinin daha pürüzsüz bir yapıya sahip olmasını sağlar. Bu özellik ürünün dış yüzeyi söz konusu olduğunda önem kazanır. [Throne J.L. , 1987]



Şekil 2.2 Vakum ve ısı ile şekillendirmede erkek kalıp uygulaması

Yukarıdaki şematik uygulamada da görüldüğü gibi şekil verilecek levha tutucularla sıkıca sabitlenir. Daha sonra tutucularla sabitlenmiş levha, konveks şekilli erkek kalıp üzerine düşürülür. Daha sonra vakum deliklerinin yardımıyla da levha kalıp yüzeyine yapışır ve şekillenir. Fakat bu sırada levhanın kalıp tarafında kalan yüzeyi, erkek kalıbın üst yüzeyiyle şekillendirme işlemi bitmeden temas eder. Bu bölge, kalıpla

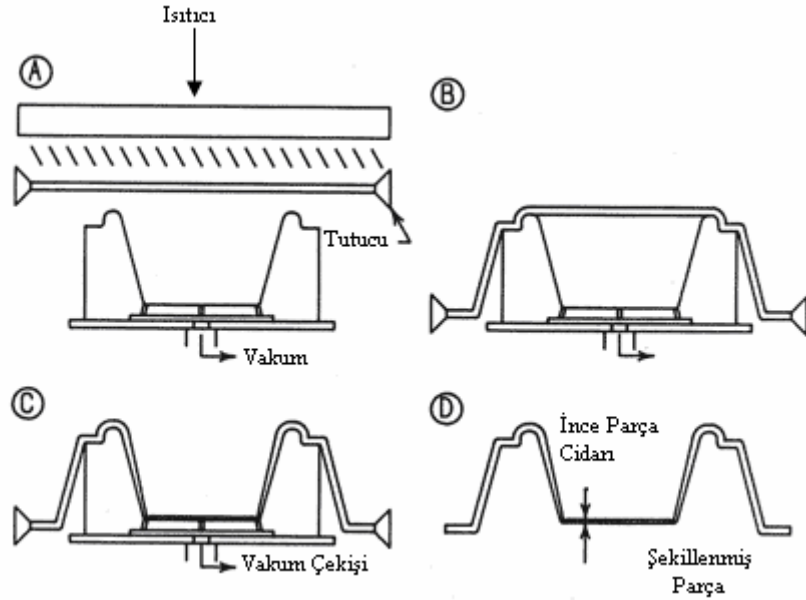
erken temas ettiği için erken soğur ve katılaşır. Böylelikle bu bölgede gerdirmeye ve şekil değiştirme diğer bölgelere nazaran daha az gerçekleşir. Buda, bu bölgedeki levha cidar kalınlığının, yan duvarlara nazaran daha fazla olmasına neden olur. Levha cidar kalınlığı dağılımının bu uygulamada iyileştirilebilmesi için levha şekillendirilmeden önce bir ön gerdirmeye ve vakuma maruz bırakılmalıdır. Bu işlem sonrasında şekil verilecek levhanın yarı dairesel bir şekil kazanması sağlanır. Böylelikle ısıtılmış levhanın kalıp yüzeyine teması eş zamanlı hale getirilmiş olur. Buda yarı mamuldeki cidar kalınlığının daha üniform olmasını sağlar. [Throne J.L. , 1987]



Şekil 2.3 Vakum ve ısı ile şekillendirme yönteminde, erkek kalıp uygulamalarında, levha cidar kalınlığı dağılımının düzenlenmesinde uygulanan vakum yöntemi

Vakum ve ısı ile şekillendirme yönteminde, konkav geometriye sahip bir dişi kalıbın kullanılması ise daha farklı sonuçlara yol açar. Dişi kalıp uygulamalarında, ısıtılmış levha uygulanan vakum etkisiyle kalıp yüzeyine en kısa ve kolay yoldan temas etmek ve kalıbın şeklini almak ister. Isıtılmış levhanın kalıba en son temas eden bölgelerinde şekil değişimi en fazladır. Yani bu bölgelerde, diğer bölgelere nazaran

daha fazla malzeme akışı meydana gelmiştir. Bunun sonucu olarak bu bölgelerde levha cidar kalınlığı daha küçük değerlere sahiptir. [Throne J.L. , 1987]



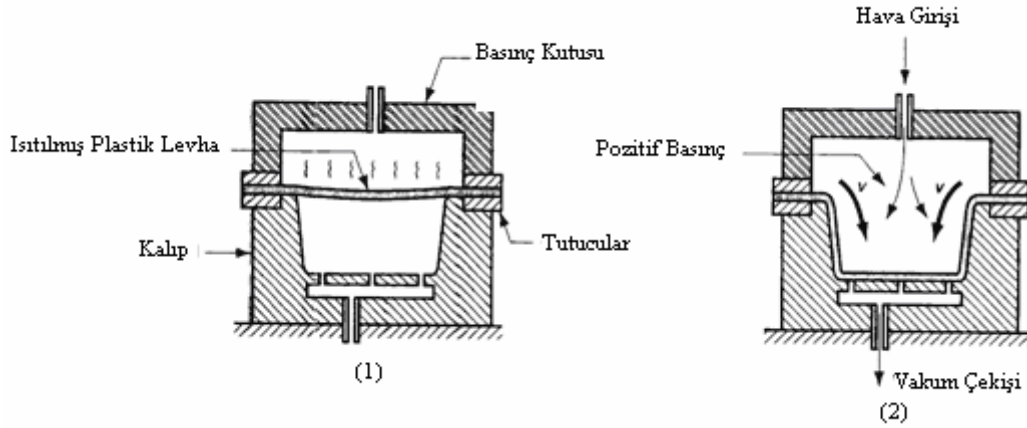
Şekil 2.4 Vakum ve ısı ile şekillendirme yönteminde, dişi kalıp uygulamalarında, levha cidar kalınlığı dağılımı

2.1.2 Basınçlı hava ile ısıll şekillendirme

Vakum ve ısı ile şekillendirme yöntemine alternatif olarak ortaya çıkmış, buna karşın kalıp içerisinde negatif basınç değil de pozitif basıncın oluştuğu bir üretim yöntemidir. Şekil verilecek levha sıkıca tutturucular aracılığıyla sabitlenir. Daha sonra ısıtma işlemi radyasyonla ve elektrikli ısıtıcılar yardımıyla, kullanılan malzemenin ergime sıcaklığı da göz önünde bulundurularak belirlenen bir sıcaklık değerine ulaşıncaya kadar devam eder. Yumuşayan ve şekil verme işlemi için uygun hale gelen levha kalıp içerisine basınçlı hava üflenmesiyle kalıp yüzeyinin şeklini alır. Levhanın kalıpla teması sonrasında soğuma işlemi başlar ve levha soğuyarak katılaşır. Kalıp

açılarak şekillenmiş levha çıkarılır istenmeyen kısımlar kesilerek parçadan uzaklaştırılır. Basınçlı havayla ısıtılmış levhaya ergime sıcaklığı kadar ısı verilmesi 2) Basınçlı hava verilerek ısınmış levhanın kalıbın şeklini alması

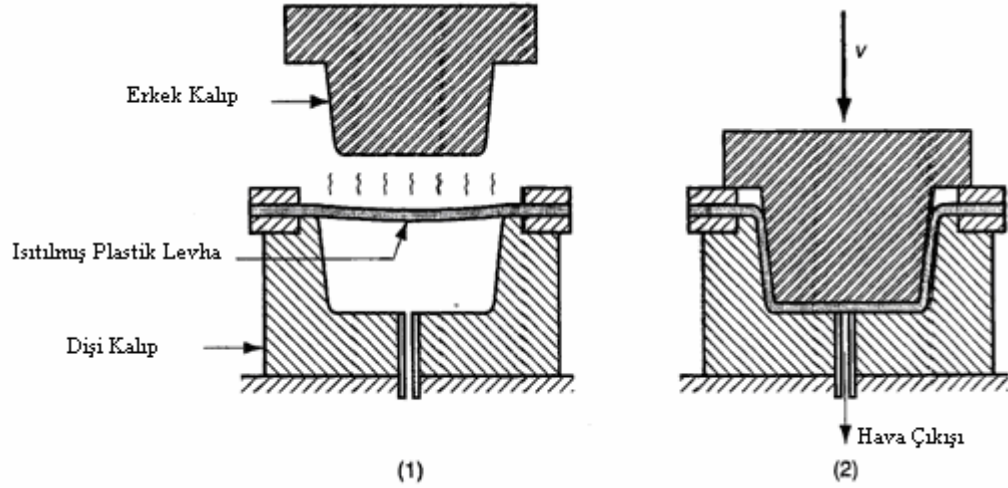
[Throne J.L. , 1987]



Şekil 2.5 1) Polimer esaslı levhaya ergime sıcaklığı göz önünde bulundurularak uygun sıcaklığa kadar ısı verilmesi 2) Basınçlı hava verilerek ısınmış levhanın kalıbın şeklini alması

2.1.3 Mekaniksel ısıtılmış şekillendirme

Bu yöntemde, tutucular yardımıyla sabitlenmiş levha öncelikle gerekli sıcaklığa ulaşıncaya kadar ısıtılır. Daha sonra şekillendirme için takım üst ve alt yarıları kapanarak ısıtılmış levhayı, iki kalıp yarıları arasında kalan boşluğun şeklini almasını sağlar. Yani levhanın şekillenmesi kalıp üst ve alt yarılarının açılıp kapanma hareketleriyle mümkün olmaktadır. Mekaniksel ısıtılmış şekillendirme yönteminde pozitif veya negatif basınç oluşumu söz konusu değildir. Yani vakum ve basınçlı hava bu yöntemde kullanılmaz. Bu üretim yönteminde üretilen parçanın boyut toleransı daha iyi kontrol edilebilmekle birlikte, dezavantajı ise iki ayrı kalıp yarisına ihtiyaç duyulmasıdır. Fakat buna karşın takım maliyeti diğer yöntemlere göre daha azdır.



Şekil 2.6 1)Polimer esaslı levhanın uygun sıcaklığa kadar ısıtılması 2)Üst kalıpla alt kalıbın kapanması sonrasında levhanın şekillendirilmesi

Bahsedilen tüm proseslerde kullanılan malzemenin türü oldukça büyük önem taşır. Malzeme seçiminde dikkat edilecek hususlar, mekanik özellikler, malzeme ekonomisi, yüksek ve düşük sıcaklık özellikleri, bağıl yoğunluk, darbe dayanımı, neme ve çatlamaya karşı direnci, oksijen ve hava geçirgenliği, saydamlık ve berraklık, ambalajlamaya uygunluk, süreç kolaylığı ve maliyettir. Isı ile şekillendirme yöntemiyle endüstriyel kullanıma sahip birçok ürün imal edilebilir. Isı ile şekillendirme yöntemiyle, gıda konteynerlerinden porsiyonluk yoğurt kaplarına ve buna benzer küçük ambalajların üretimi yapılabilir. [Throne J.L. , 1987]



Şekil 2.7 Isı ile şekillendirme yöntemiyle üretilmiş ürünler

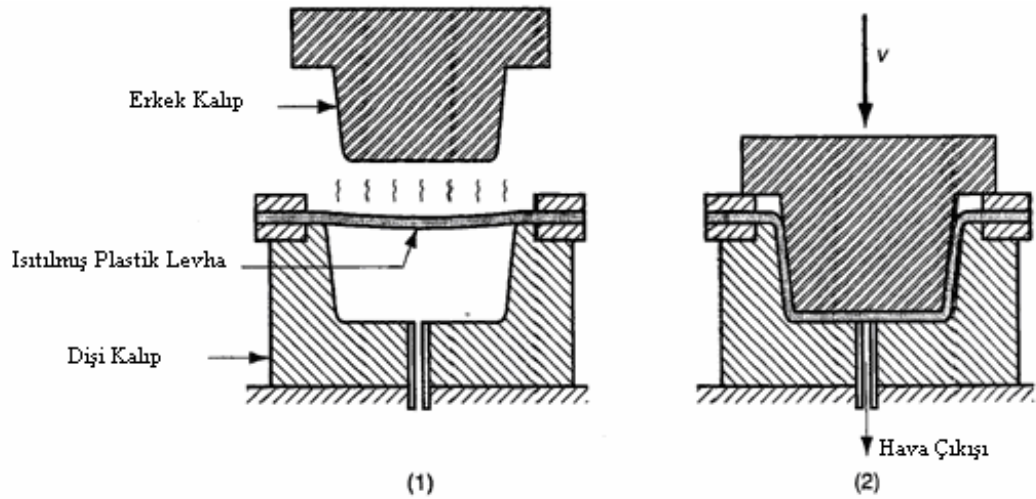
2.1.4 Stamp Forming

Bu üretim yöntemi, oldukça rijit ve dayanıklı olan polimerlerin ısı ile şekillendirilmesinde kullanılır. Seleflerine nazaran yüksek eğilmezlik ve dayanım gösteren polistiren köpük, bu üretim yöntemiyle şekillendirilebilir. Ayrıca “Stamp Forming” üretim süreciyle, polimer matrisli kompozitlere de şekil verilmesi mümkündür. Polimer matrisli malzemeler şekil verme sürecine tabi tutulurken, saf polimer malzemelere nazaran daha yüksek ısıtma sıcaklıkları ve daha yüksek basınç değerleri kullanılır. Şekil verme süreci çeşitli aşamalardan meydana gelmektedir. Bu aşamalar;

- Polimer veya polimer matrisli kompozit levhanın tutucular tarafından sabitlenmesi
- Levhanın şekil verme işlemine uygun hale gelebilmesi için gerekli sıcaklığa kadar ısıtılması
- Karşılıklı erkek ve dişi kalıpların hareketiyle, kalıp yarılarının kapanması, levhanın kapalı kalıplar arasında soğuyup katılaşması
- Yarı mamulün kalıpların açılmasıyla çıkarılması ve istenmeyen kısımlarının kesici takımlar vasıtasıyla kesilip alınması.

Üretim sürecinin başlangıcında levha sıkı ve mukavim bir şekilde tutucular tarafından sabitlenir. Sonrasında erkek ve dişi kalıp yarıları arasında şekil verme işlemi için uygun konumuna getirilir. Bunun sonrasındaki aşama ise levhanın gerekli sıcaklığa kadar ısıtılmasıdır. Isıtma işlemi ince ve orta kalınlıktaki levhalarda radyasyonla, radyant ısıtıcılar ile yapılırken, yüksek kalınlıktaki levhalar ise güçlendirilmiş konveksiyon hava fırınlarında ısıtılmaktadır. Erkek ve dişi kalıp yarılarının genelde düşey yönde yaptığı açılıp kapanma hareketi bir hidrolik pres yardımıyla sağlanır. Kalıp yarılarının kapanması sonrasında şekil verme işlemi başlar ve iki kalıp yarısı tamamıyla kapanana kadar devam eder. Oluşan parçanın cidar kalınlığı, iki kalıp yarısı arasındaki boşluğun değerleri oranında değişmektedir. İşlem sırasında genellikle dişi kalıp içerisinde, hava tahliye kanalları yer alabilir. Bu kanallar şekil verme sürecinde levha ile dişi kalıp arasındaki havanın boşaltılmasını sağlar. Levha cidar kalınlığı, levhanın kalıp ile temasa geçtiği zamana da bağlıdır. Örneğin şekil verme işlemi için hazırlanmış ve ön

gerdirme işlemine tabi tutulmuş, ısıtılmış levhanın kalıp ile ilk temasa geçen kısımlarındaki cidar kalınlığı daha fazla, kalıp yüzeyi ile sonraları temasa geçen kısımlardaki cidar kalınlığı ise daha az olmaktadır. Kalıp sıcaklığı nispeten ısıtılmış levha sıcaklığından daha düşüktür. Bu nedenle şekil verme işlemi sırasında kalıp yüzeyi ile ilk temasa geçen noktalarda ısı kaybı nedeniyle, soğuma ve katılaşma meydana gelir. Bu bölgelerde, malzeme akışı yani şekil değiştirme durur ya da azalır. Kalıp yüzeyi ile sonra temas eden bölgelerde ise, şekil değişimi devam etmekte ve böylece levha cidar kalınlığı azalmaktadır. Bu azalma, ta ki levhanın tümüyle kalıp yüzeyi ile temas etmesine kadar devam eder. Şekil verme işleminde kapanan kalıp yarılarının levhaya uyguladığı basınç, belirli değerler almaktadır. Bu basınç değeri 1 MPa(150 psi) ile 0.34 MPa(50psi) arasında değişmektedir. Uygulanan basıncın değeri, şekil verilecek malzemeye, ısıtılan sıcaklığa ve malzemenin kompozit veya saf polimer malzeme olması gibi değişkenlere bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir. Kalıplar arasında soğuyarak şekillenmiş yarı mamul, kalıpların açılmasıyla çıkarılır ve alınır. Sonrasında istenmeyen kısımlar bir kesme ünitesi tarafından kesilerek alınır. Son şeklini alan ürün istif edilerek paketlenir. [Throne J.L. , 1987]



Şekil 2.8 Stamp Forming üretim yönteminin şematik gösterimi

Stamp Forming üretim yöntemiyle, buzdolabı kapılarında kullanılan plastik rafların üretimi, banyo küvetlerinin üretimi, çeşitli paketleme elemanlarının üretimi, otomotiv sanayinde kullanılan bazı parçaların üretimi, bilgisayar ve diğer donanım elemanlarının gövdelerinin üretimi, çeşitli makinelerde kullanılan ara elemanların üretimi yapılabilir. [Throne J.L. , 1987]

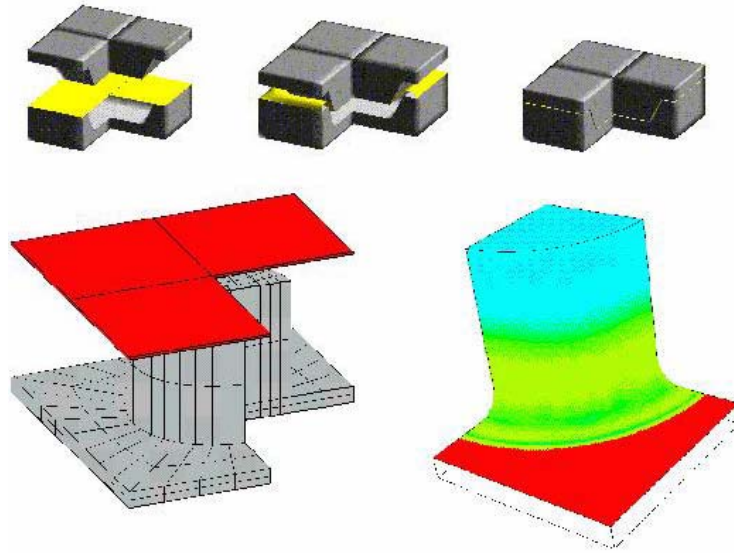
Stamp Forming üretim yöntemiyle sadece termoplastikler şekillendirilebilir. Termosetlerin bu üretim yöntemiyle şekillendirilmesi mümkün değildir. Bunun nedeni ise levha veya film haline getirilen termoset malzemelerin tekrar ısıtılamamasıdır. Sıkça kullanılan termoplastik malzemelere örnek olarak, ABS, PMMA, selülozikler, YYPE, AYPE, PP, PS, PVC, PE verilebilir. Bu üretim yöntemiyle değişik sektörlere ürün imal edilmesi mümkün olmuştur. Stamp Forming üretim yöntemiyle takviyeli termoplastik levhalarında şekillendirilmesi söz konusudur. Takviye elemanı olarak kullanılan fiberler gerek bir doğrultuda gerekse iki veya 3 doğrultuda dayanımı arttırmak için kullanılır. Uzun elyaf takviyeli termoplastik matrisli kompozit levhaların Stamp Forming üretim yöntemiyle işlenmesiyle, uzun elyaflar doğrultusunda dayanımı artırılmış parçalar imal edilmektedir. Bununla beraber termoplastik matris malzemesi içinde keçe ve dokuma şeklinde elyaf takviyesi kullanılarak iki veya üç yönde dayanımı artırılmış ürünlerde elde edilebilmektedir. Stamp Forming üretim yöntemiyle, termoplastik matrisli elyaf takviyeli kompozit levhalar kullanılarak, tekne gövdeleri, duş kabinleri, reklâm panoları, araç tamponları gibi parçalar üretilir. [Groover M. P. , 2002]

Bu üretim yöntemini diğerlerinden farklı kılan özelliklerden biriside kullanılan kalıplardır. Kalıp yapımında kullanılan malzemeler çeşitlilik göstermekle beraber, genelde alüminyum kalıplar tercih edilmektedir. Bu kalıpların tercih edilmesinin nedeni, dayanıklı bir yapıya sahip olmasının yanında, ucuz ve kolay işlenebilir olmasıdır. Stamp Forming üretim yönteminde kullanılan kalıplar, ısıtılmış levhanın üzerine sıkıca bastırılarak şekillenmesini sağlayan pürüzsüz bir ahşap blok kadar basit olabilir. Bunun yanında hareketli parçaları, mafsalı kesit elemanları, karmaşık ayırma yüzeyleri, gerdirme ve kalıp içi çapak kesme takımlarıyla bir enjeksiyon kalıbı kadar da karmaşık yapıya sahip olabilir. [Throne J.L. , 1987]

Kalıbın yapımında kullanılacak malzemenin seçimi oldukça önemlidir. Malzeme seçimi üretilmek istenen ürünün sayısına ve üretim çevriminin süresine göre değişmektedir. Eğer az sayıda ürün üretilmek istenirse ve yüksek sıcaklık ve basınç

değerlerine çıkılmayacaksa kalıp malzemesi olarak ahşap ve plaster(alçı taşı) kullanılabilir. Aksi takdirde elde edilmek istenen parça adedi binlerle ifade ediliyorsa, yüksek sıcaklık ve basınca ihtiyaç duyuluyorsa kalıp malzemesi olarak daha dayanımlı malzemeler kullanılmalıdır. Alüminyum ve çelik malzemeler önerilen malzemelerdir. [Throne J.L. , 1987]

Kalıp içerisinde hava giriş ve çıkışını sağlayan birçok delik ve boşluk bulunabilir. Kalıp yüzeyi parçaya son şeklini verecek şekilde işlenmeli ve parça kalıptan çıkarılırken kalıp yüzeyine yapışmamalıdır. Kalıp yüzeyi parçaya istenen geometrik şeklin kazandırılabilmesi için yeteri kadar sert olmalı ve kalıp muhafaza ambarında beklerken nemden etkilenmemeli ve boyutlarını bir sonraki operasyona kadar koruyabilmelidir. Kalıplar prototip ürün tasarımından sonra tasarlanır ve üretilir. Kalıp üretimi genellikle talaşlı şekil verme yöntemiyle CNC torna ve CNC frezeler yardımıyla gerçekleştirilir. Aynı zamanda kalıplar üretime alınmadan mevcut kalıp ve parça tasarımı bilgisayar ortamında simülasyonlarda kullanılır. Bu yazılımlar T-SIM, PolyFLOW vb. yazılımlardır.



Şekil 2.9 Üretim öncesinde PolyFlow yazılımıyla yapılan simülasyon örnekleri

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada, cam elyaf takviyeli termoplastik levhalara ve takviye edilmemiş PP ve PVC levhalara değişik sıcaklıklarda ve değişik basınçlarda şekil verme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan takviyeli ve takviyesiz levhaların şekil verme işlemi sonrasındaki çekme ve sürünme davranışları araştırılmıştır. Bu çalışmada, RÖCHLİNG firması tarafından üretilmiş takviye elemanı kullanılmayan PP ve PVC levhalar ile 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 levhaları kullanılmıştır. Bu levhalar belirli sıcaklıklara kadar ısıtılıp, şekil verme işlemi için tasarlanmış kalıplar yardımıyla belirli basınçlarda şekil verme işlemine tabi tutulmuşlardır. Şekil verilmiş levhalardan alınan çekme deneyi ve sürünme deneyi numuneleri yardımıyla deneyler yapılmış, şekil verme işlemi ve sonrasındaki çekme ve sürünme özellikleri araştırılmış ve birbiri ile karşılaştırılmıştır.

3.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, RÖCHLİNG firması tarafından üretilmiş takviye elemanı kullanılmayan PP ve PVC levhalar ile 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 levhaları kullanılmıştır. RÖCHLİNG firması tarafından üretilen PP ve PVC malzemenin mekanik özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

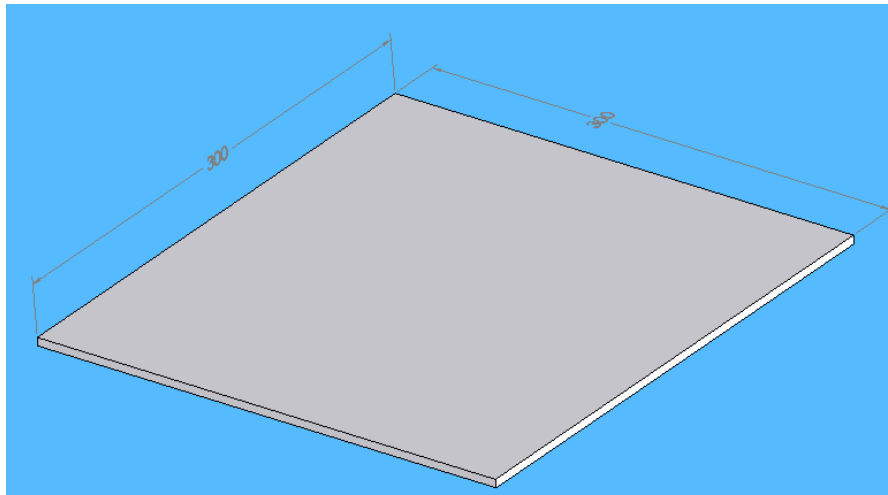
Çizelge 3.1 PVC malzemenin mekanik özellikleri

Yoğunluk	DIN EN ISO 1183	1,47 g/cm ³
Çekme akma gerilmesi	DIN EN ISO 527-1	55 N/mm ²
Kopmada % uzama	DIN EN ISO 527-1	20
Elastisite modülü	DIN EN ISO 527-1	3100 N/mm ²
Basma dayanımı	ISO 3597-3	78 N/mm ²
Sertlik(Shore D)	DIN EN ISO 868	85

Çizelge 3.2 PP malzemenin mekanik özellikleri

Yoğunluk	DIN EN ISO 1183	0,92 g/cm ³
Çekme akma gerilmesi	DIN EN ISO 527-1	33 N/mm ²
Kopmada % uzama	DIN EN ISO527-1	50
Elastisite modülü	DIN EN ISO527-1	1400 N/mm ²
Sertlik(Shore D)	DIN EN ISO	72

Deneylerde kullanılan PP ve PVC malzemeler 300mm*300mm ebatlarında kesilerek hazırlanmıştır. Levhaların kalınlıkları 3 ile 5 mm arasında değişmektedir.

**Şekil 3.1 Deneylerde kullanılan levhaların şematik gösterimi**

Deneysel çalışmada kullanılan cam elyaf takviyeli malzemeler birden fazla termoplastik malzemenin karışımından oluştuğu için mekanik özellikleri daha önceden belirlenmemiştir. Yapılan deneyler sonrasında ısıll şekillendirme öncesi ve sonrası için söz konusu malzemelerin sürünme ve çekme karakteristikleri hakkında sonuçlar elde edilmiştir. Cam elyaf takviyeli malzemelerden deneysel çalışma için 300mm*300mm ebatlarında levhalar halinde kullanılmıştır. Levhaların kalınlıkları 1 ile 1.5 mm arasında değişmektedir.

3.2 Deneylerde Kullanılan Cihazlar

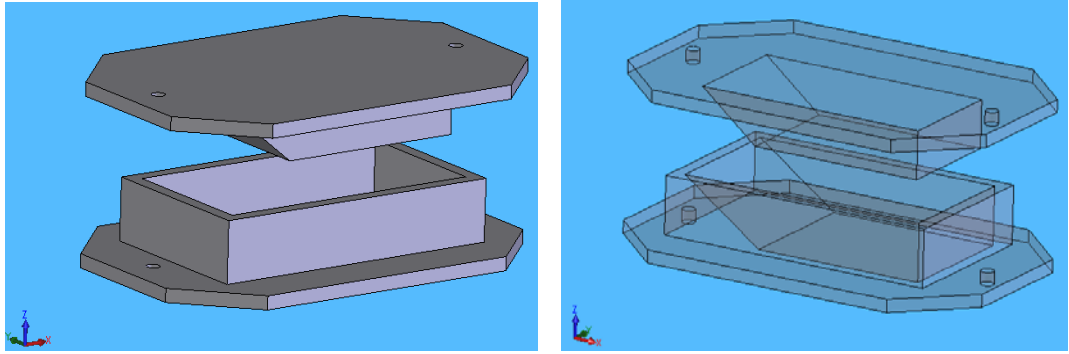
Yapılan deneysel çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. Termoplastik levhaların ısıll şekillendirilmesi(Stamp Forming) ve şekil verilmiş levhalardan sürünme ve çekme karakteristiklerinin belirlenmesi için gerekli numunelerin talaşlı şekil verme yoluyla çıkarılması. Kullanılan cihazlar bahsi geçtikçe tanıtılacaktır. Öncelikle ısıll şekil verme işlemi için kullanılan cihazlar hakkında bilgi verilecektir.

3.2.1 Hidrolik pres ve kalıplar

Termoplastik ve cam elyaf takviyeli termoplastik levhaların ısıll şekillendirilmesinde 150 ton kapasiteli bilgisayar kontrollü hidrolik pres kullanılmıştır. Bilgisayar kontrol ünitesinden presin iki tablasının strok ayarı ve uygulanması istenen kuvvet değeri belirlenmektedir. Kalıplar presin iki tablası arasına yerleştirilmiştir. Alt kalıp ve üst kalıp arasına yerleştirilen ısıtılmış düzlemsel levha presin iki tablasının kapanmasıyla ısıll şekillendirme işlemi gerçekleştirilmiş olur



Şekil 3.2 Bilgisayar kontrollü hidrolik pres



Şekil 3.3 Kalıpların tasarım aşamasındaki görünümü

Isıl şekil verme işleminin diğer önemli bir elemanı ise kalıplardır. Bu kalıplar, söz konusu malzemelerin çekme ve sürünme özelliklerinin araştırılması esasına dayanarak, deneysel kullanım amaçlı tasarlanmış ve üretilmiştir. Kalıpların tasarımında SolidWORKS katı modelleme yazılımı kullanılmıştır. Tasarım işlemi bittikten sonra kalıpların üretimi gerçekleştirilmiştir. Kalıp malzemesi olarak C 1040 malzemesi

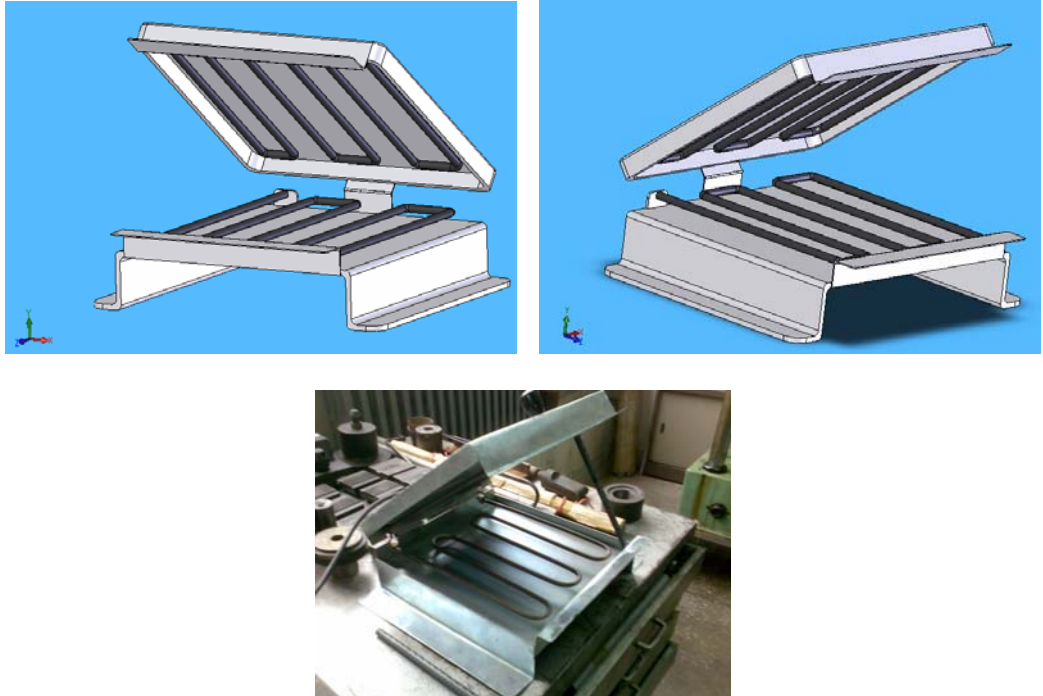
seçilmiş, üretim ise talaşlı şekil verme ve kaynak prosesleriyle yapılmıştır. Stamp Forming işleminin gerçekleştirilebilmesi için bu üretim yöntemine has makine ve buna bağlı sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak bu çalışmada deneysel bir amaç güdüldüğü varsayılırsa, Stamp Forming makinesi, hidrolik pres ve kalıpların kullanımı yardımıyla oluşturulmuştur. Gerçekte bu üretim yönteminde malzemenin şekillendirici sistem içine verilmesi sürücüler yardımıyla yapılmaktadır. Fakat bu çalışmada levhalar tek tek hazırlanarak manüel olarak sisteme besleme yapılmıştır.



Şekil 3.4 Erkek ve dişi kalıp yarılarının görüntüleri

3.2.2 Isıtıcılar

Stamp Forming işleminde ısıtıcıların önemi büyüktür. Gerçekte ısı ile şekillendirme üretim yöntemlerinde ısıtma çeşitli şekillerde yapılabilir. Isıtma gerek radyasyonla, gerekse zorlanmış taşınılma gerçekleştirilebilir. Yapılan deneysel çalışma için 3 kW gücünde ısı yayan elektrikli rezistanslar seçilmiştir. Gerekli rezistanslar bir ısıtıcı kasa içine yerleştirilmiştir. Bu sistem deneysel kullanım için tasarlanmış ve üretilmiştir. Deneysel çalışma sırasında levha, ısıtıcı rezistanslar arasına yerleştirilmiş ve istenilen sıcaklığa kadar beklenmiştir. Sıcaklık değeri yakalandığında, levha alınarak ısıl şekillendirme ünitesine yerleştirilmiştir. Isıtıcı 3kW gücünde olduğu için istenilen sıcaklıklara kolayca ulaşılmış ve sıcaklık kontrolü temas olmaksızın sıcaklık ölçebilen bir cihaz tarafından kontrol edilmiştir. Isıtıcı cihaz içindeki rezistanslar kasa içinde çift yönlü yerleştirilmiş, böylelikle levhanın daha hızlı ve düzgün ısınması sağlanmıştır. Sıcaklık deneyler sırasında 150 °C ile 300 °C arasında değişmektedir.



Şekil 3.5 Isıtıcı cihazın tasarım aşamasındaki görünümleri ve ısıtma cihazı

3.3 Deneyler

3.3.1 Çekme deneyi

Plastik malzemelerin statik yükler etkisi altındaki davranışının incelenmesi için uygulanan ve mühendislik açısından önemli bir tahribatlı muayene yöntemidir. Çekme deneyi sonucu bulunan malzeme özellikleri doğrudan mühendislik hesaplarında kullanılabilir. Çekme deneyinin yapılabilmesi için öncelikle malzemedan, belirlenmiş standartlara göre çekme numuneleri hazırlanır. Bu örnekler genelde enjeksiyonla doğrudan veya basınçla kalıplanan plakalardan talaşlı şekil verme yöntemiyle kesilip hazırlanır. Örneklerin şekil ve boyutları kopma anında oldukça uzama gösteren ve göstermeyen plastik malzemeye bağlı olarak seçilir. [Savaşçı Ö.T. vd. , 2002]

Deneyisel çalışmada kullanılan malzemeler ekstrüzyon yöntemiyle üretilmiş levhalardan ibarettir. Bu levhalara, değişik sıcaklık ve basınçlarda şekil verildikten sonra şekillenmiş plastik malzemenin düzlemsel yüzeyinden çekme numuneleri talaşlı şekil verme yöntemiyle çıkarılır. Söz konusu çalışmada ısıl şekil verilen malzemenin özellikleri araştırıldığı için, daha önceden ısıl şekil verilmemiş levhadan da aynı numuneler çıkartılarak hazırlanır. Böylelikle ısıl şekillendirmeye maruz olan ve olmayan malzemelerin çekme özellikleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.6 Numunelerin talaşlı şekil verme yöntemiyle hazırlanması aşamasından bir görüntü

Deneyde kullanılacak numune çekme deney cihazında tutucu çeneler arasına sıkıştırılır. Deney cihazındaki tutucu çenelerin sabit bir hızda birbirinden uzaklaşarak malzemeyi gerdirmesi sağlanır. Malzemenin çekilirken belirlenen sabit hız değeri, malzemedan malzemeye değişen bir değerdir. Numune iki ucundan özel çekme test cihazının çenelerine bağlanıp, gittikçe artan bir yükü 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]

3.3.1.1 Çekme deney cihazı

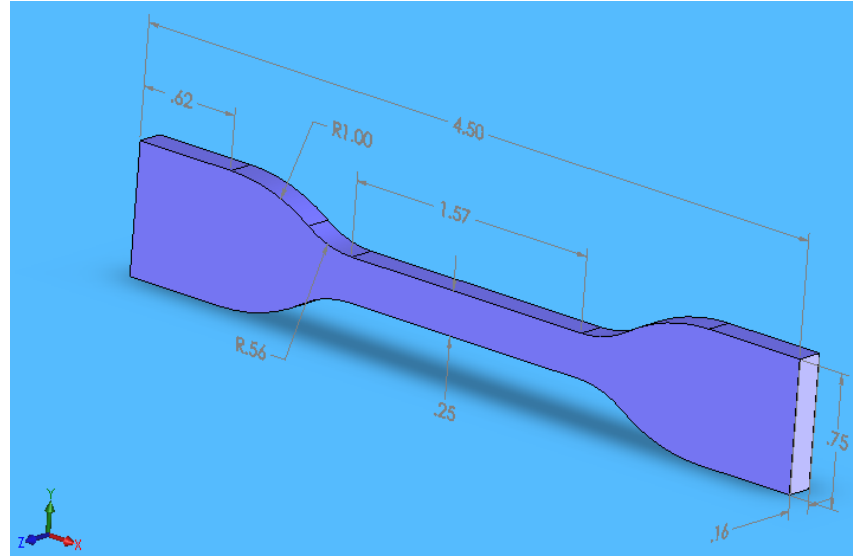
Çekme deneylerinde kullanılan deney cihazı INSTRON çekme deney cihazıdır. Çekme numuneleri tutucular arasına dikkatle yerleştirilmiş ve sabit çekme hızlarıyla çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.7 INSTRON çekme deney cihazı

3.3.1.2 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. Çekme deneyinde kullanılan malzemelerden ASTM D 638 Type 4 numunesi talaşlı şekil verme yöntemiyle kesilip hazırlanmıştır.



Şekil 3.8 Deneylerde kullanılan ASTM D 638 Type 4 çekme numunesi

3.3.2 Sürünme deneyi

Yaygın olarak kullanılan plastiklerin çalışma ortamları ve bu ortamlardaki çalışma şartları plastiklerin davranışlarını birebir etkilemektedir. Bu etmenlerden ortam sıcaklığı plastik malzemenin çalışmasını büyük ölçüde etkiler. Çalışma sıcaklığı, kullanılan malzemenin ergime sıcaklığının % 40'ı seviyesine ulaştığında ($0,4 T_m$ ° K)

sürünme olayı baş göstermektedir. Plastiklerin ergime sıcaklıkları metallere ve seramik esaslı malzemelere göre daha düşük olduğundan oda sıcaklığında plastiklerde sürünme olayı gözlemlenebilir. Sabit gerilme etkisi altındaki plastiklerin boyutlarında zamanla değişiklikler meydana gelir. Örneğin bu sabit gerilme plastik malzeme üzerinde çekme etkisi sonrasında oluşmuş ise, malzeme belirli bir süre uzayacak ve daha sonra sürünme hasarına uğrayacaktır. Polimerler “mer” adı verilen ünitelerin bir araya gelerek meydana getirdiği uzun polimer zincirlerinden oluşur. 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. Bütün polimerlerin sürünme karakteristiğini verecek bir denklem kullanmak zor olduğundan bir çok ampirik formül geliştirilmiştir. Genel mühendislik plastikleri için aşağıdaki ifade kullanılabilir.

ϵ ; t süresi sonunda çekme sürünme gerinmesi, σ ; Sürünme Gerilmesi, ϵ_0 ; Yükleme anında oluşan başlangıç gerinmesi, B, m, k; polimer malzeme için verilen sabitler olmak üzere;

$$\epsilon = \epsilon_0 + B \cdot \sigma^m \cdot t^k \quad (1)$$

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;

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

halini alır. Bu ifadeler kullanılarak sürünme gerilmesi ve sürünme gerinmesi yani deney sırasında malzemede meydana gelen uzama ölçülebilir. Sürünme deney numuneleri talaşlı şekil verme yöntemiyle ısıl şekil verilmiş malzemenin düzlemsel yüzeyinden çıkartılır. Isıl şekillendirilmemiş levhalardan ise ayı yöntemle sürünme deney numuneleri çıkartılmış ve böylelikle deney sonrasında karşılaştırma amacı güdülmüştür.

3.3.2.1 Sürünme deney cihazı

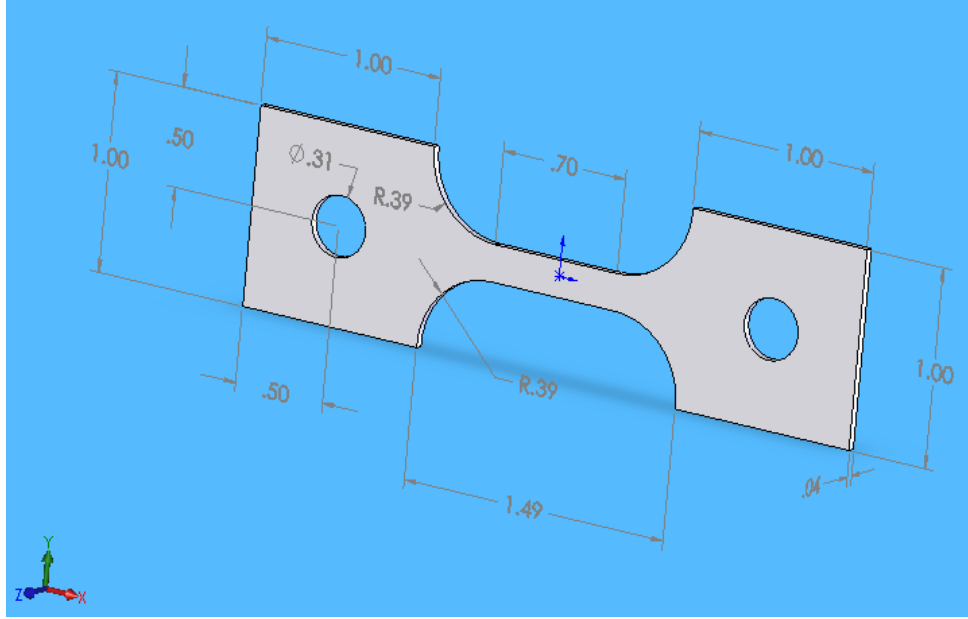
Numuneler yardımıyla sürünme deneyinin yapılabilmesi için bu çalışmada SM 106 MK II sürünme aparatı kullanılmıştır. Bu aparat kuvveti numuneye basit bir kaldıraç mekanizması yardımıyla uygular. Numunenin bir ucu kaldıraç kolunun bir ucuna diğer ucu da kaldıracın gövdesine pimler yardımıyla bağlanır. Kaldıraç kolunun diğer ucundaki yük, askı tertibatına asılan ağırlıklar yardımıyla ayarlanabilir. 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 kg'dır. Eğer askı tertibatına m kütlesi ilave edilirse, g; yerçekimi ivmesi olmak üzere,

$$F = (2.96 + 8.m).g \quad [\text{Newtons}]$$

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.

3.3.2.2 Sürünme deney numunesi

Deneyisel çalışmada kullanılmak üzere SM 106 MK II sürünme deney aparatında kullanılan sürünme deney numunesi hazırlanmıştır. Bu numunenin boyutlandırılması aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Numuneler talaşlı şekil verme yöntemiyle hazırlanmışlardır.



Şekil 3.9 SM 106 MK II sürünme deney aparatı için hazırlanmış sürünme deney numunesi

4. DENEY SONUÇLARI

4.1 Çekme Deney Sonuçları

Çizelge 4.1 Isıl şekil verilmemiş PP ve PVC levhalardan alınan numunelerin çekme deneyi sonuçları

Isıl şekil verilmemiş PP levhadan alınan numunelerden elde edilen çekme deney sonuçları	<ul style="list-style-type: none"> • Maksimum çekme dayanımı: 38.728 MPa • % Kopma uzaması: % 2.243
Isıl şekil verilmemiş PVC levhadan alınan numunelerden elde edilen çekme deney sonuçları	<ul style="list-style-type: none"> • Maksimum çekme dayanımı: 59.463 MPa • % Kopma uzaması: % 4.849

Çizelge 4.2 Isıl şekil verilmemiş takviyeli termoplastik levhalardan alınan numunelerin çekme deneyi sonuçları

Isıl şekil verilmemiş Novolen 2300LC(PP-PE kopolimer)+Arpilen(kısa elyaf yüklü granül) 3%, levhadan alınan numunelerden elde edilen çekme deney sonuçları	<ul style="list-style-type: none"> • Maksimum çekme dayanımı: 30.631 MPa • % Kopma uzaması: % 0.45
Isıl şekil verilmemiş Novolen 1100L+Novolen 2300LC+ (uzun elyaf-2) 4%, levhadan alınan numunelerden elde edilen çekme deney sonuçları	<ul style="list-style-type: none"> • Maksimum çekme dayanımı: 33.727 MPa • % Kopma uzaması: % 0.786

Takviyesiz PP, PVC levhalardan ve cam elyaf takviyeli termoplastik levhalardan talaşlı şekil vermeye uygun numuneler çıkarılmış ve çekme deneyleri yapılmıştır.

Çizelge 4.3 Isıl şekil verilmiş takviyeli termoplastik levhalardan alınan numunelerin çekme deneyi sonuçları

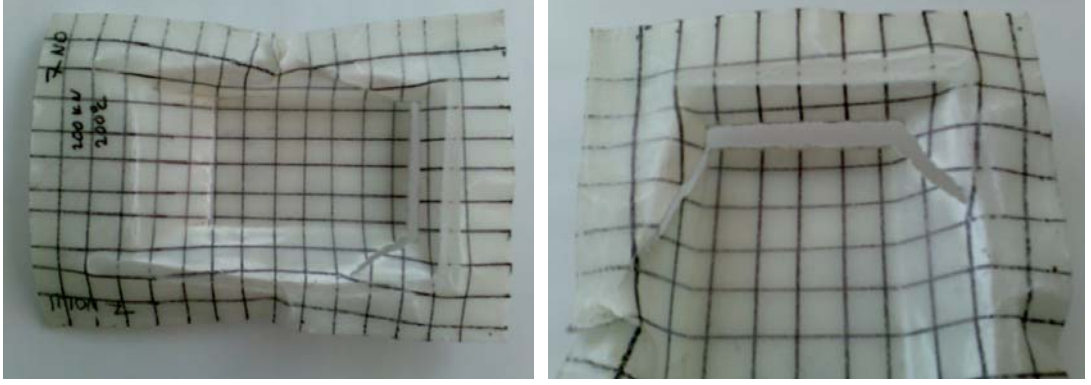
Isıl şekil verilmiş Novolen 2300LC(PP-PE kopolimer)+Arpilten(kısa elyaf yüklü granül) 3%, levhadan alınan numunelerden elde edilen çekme deney sonuçları	<ul style="list-style-type: none"> • Maksimum çekme dayanımı:44.824 MPa • % Kopma uzaması: % 0.787 • Uygulana yük: 150 kN • Isıtılan sıcaklık: 200 °C • Strok ayarı: 50 mm • Bekleme süresi 200 sn
Isıl şekil verilmiş Novolen 1100L+Novolen 2300LC+ (uzun elyaf-2) 4%, levhadan alınan numunelerden elde edilen çekme deney sonuçları	<ul style="list-style-type: none"> • Maksimum çekme dayanımı:55.178 MPa • % Kopma uzaması: % 0.277 • Uygulanan yük: 200 kN • Isıtılan sıcaklık: 200 °C • Strok ayarı: 50 mm • Bekleme süresi: 200 sn

Çizelge 4.4 Isıl şekil verilmiş PP ve PVC malzemelerden alınan numunelerin çekme deneyi sonuçları

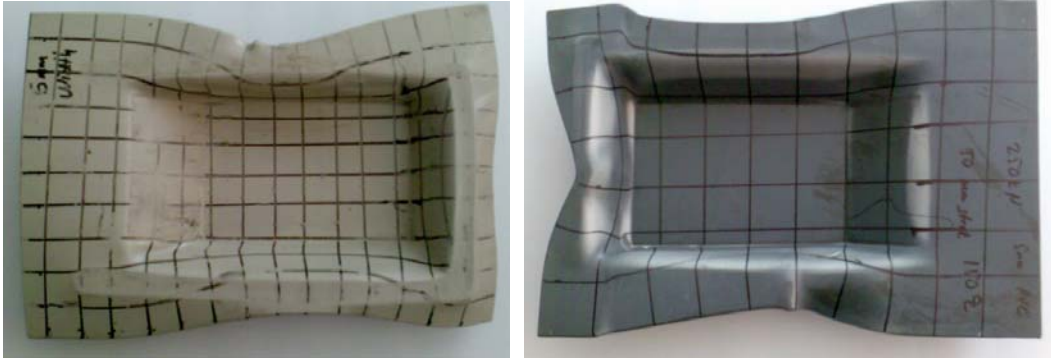
Malzeme	Uygulanan Kuvvet (kN)	Isıtılan Sıcaklık (°C)	Bekleme zamanı (sn)	Strok ayarı (mm)	Maksimum çekme dayanımı(MPa)	% Kopma uzaması
PP	50	200	200	50	39.319	4.787
PP	150	300	200	50	41.071	3.628
PVC	150	250	200	50	60.097	3.920
PVC	250	150	200	50	59.884	2.055

Çizelge 4.5 İstenen sıcaklığa ısıtıldıktan sonra 5 dakika suda bekletilerek tavlanan ve daha sonra tekrar ısıtılarak şekillendirilmiş PP malzemedan alınan numunelerin çekme deneyi sonuçları

Malzeme	Uygulanan Kuvvet (kN)	Isıtılan Sıcaklık (°C)	Bekleme zamanı (sn)	Strok ayarı (mm)	Maksimum çekme dayanımı(MPa)	% Kopma uzaması
PP	200	200	200	50	39.936	2.557
PP	250	250	200	50	39.982	2.608



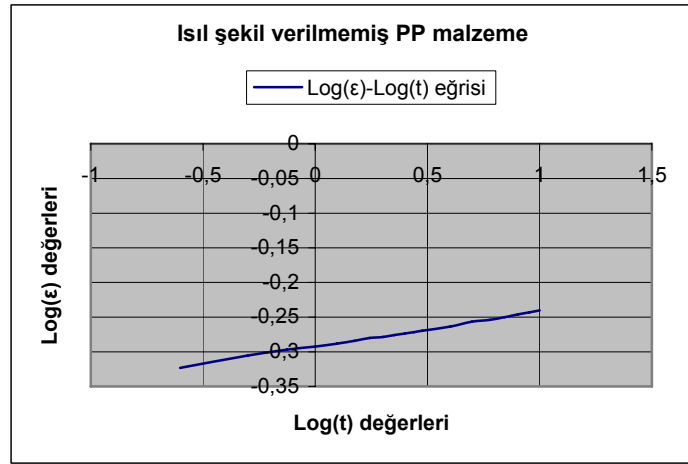
Şekil 4.1 Novolen 1100L+Novolen 2300LC+ (uzun elyaf-2) 4% malzemesinin ısıll şekil verilmiş hali



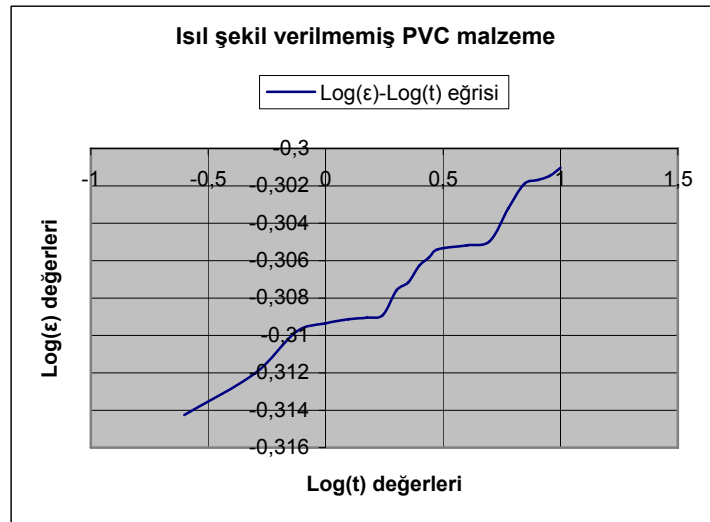
Şekil 4.2 Isıl şekil verilmiş takviyesiz PP ve PVC malzemelerin görünüşleri

4.2 Sürünme Deney Sonuçları

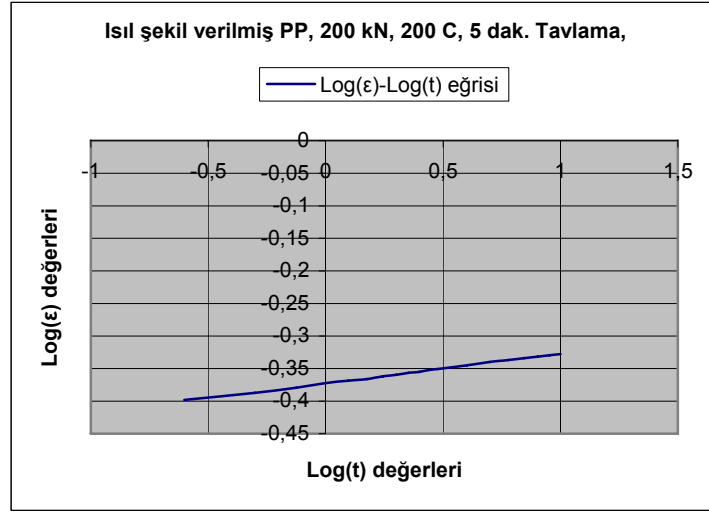
Isıl şekil verilen malzemelerden ve ısıl işlem görmemiş malzemelerden gerekli sürünme numunesi alınarak sürünme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Böylelikle ısıl işlem öncesinde ve sonrasında sürünme davranışının değişimi incelenirken, basınç ve sıcaklığın etkisi araştırılmıştır.



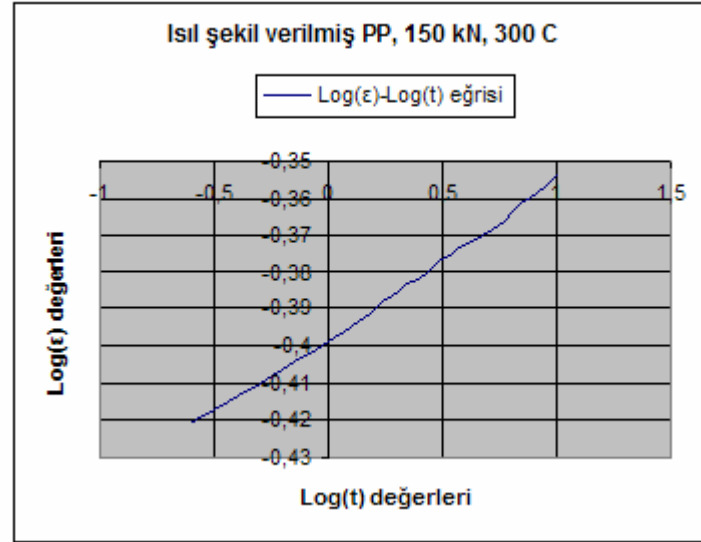
Şekil 4.3 Isıl şekil verilmemiş PP malzeme, gerçek uzama miktarı: 0.187 mm



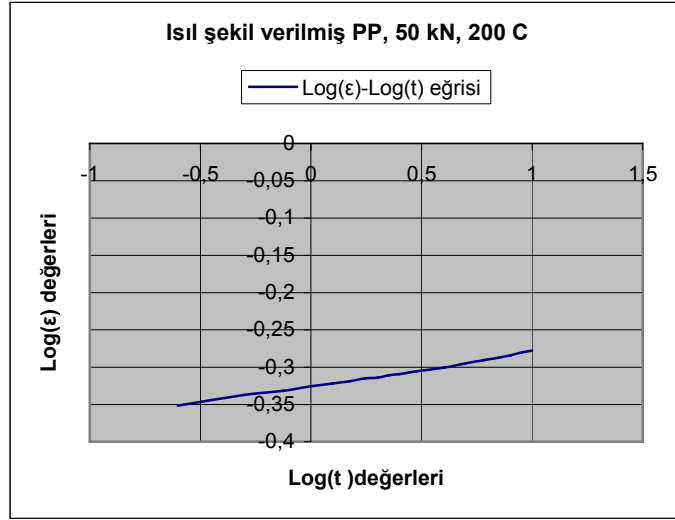
Şekil 4.4 Isıl şekil verilmemiş PVC, gerçek uzama miktarı: 0,031 mm



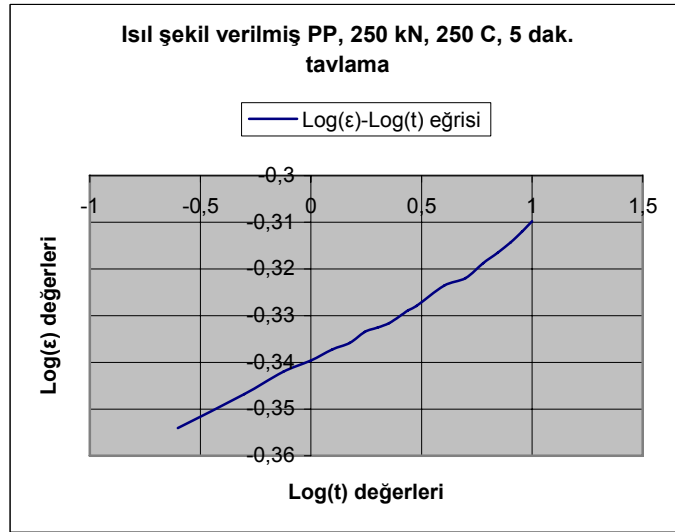
Şekil 4.5 Isıl şekil verilmiş PP, gerçek uzama miktarı: 0,14 mm



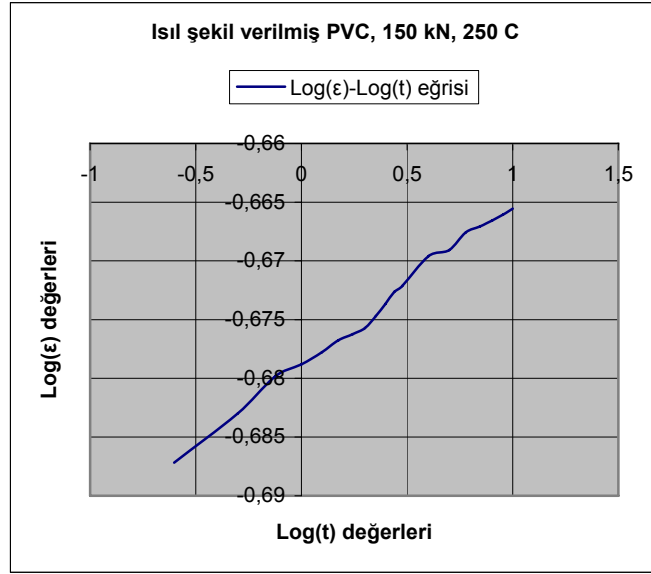
Şekil 4.6 Isıl şekil verilmiş PP, gerçek uzama miktarı: 0,126



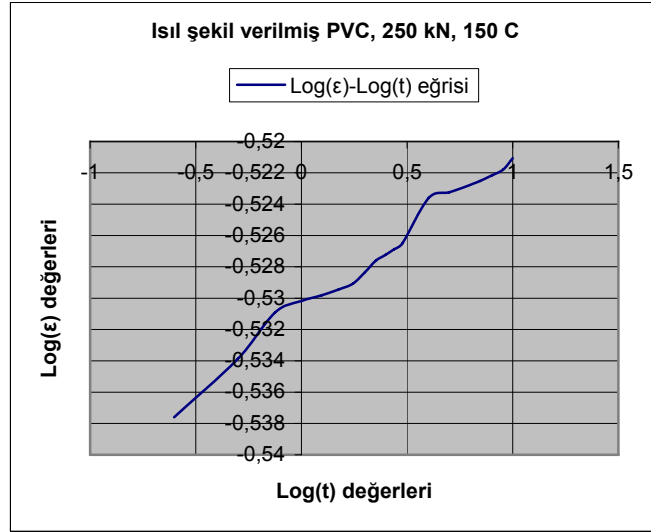
Şekil 4.7 Isıl şekil verilmiş PP, gerçek uzama miktarı: 0,165 mm



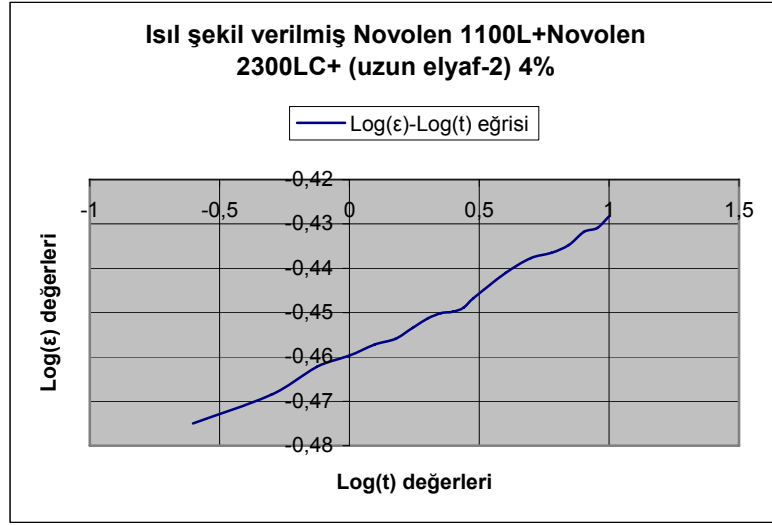
Şekil 4.8 Isıl şekil verilmiş PP, gerçek uzama miktarı: 0,095 mm



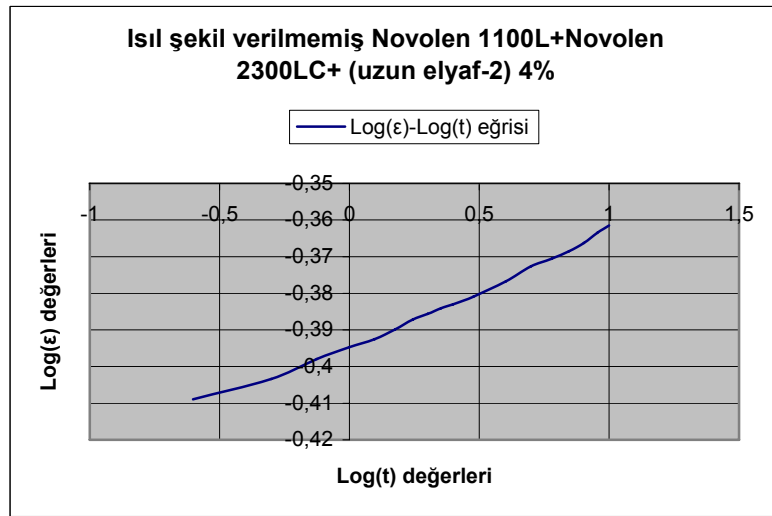
Şekil 4.9 Isıl şekil verilmiş PVC, gerçek uzama miktarı: 0,021 mm



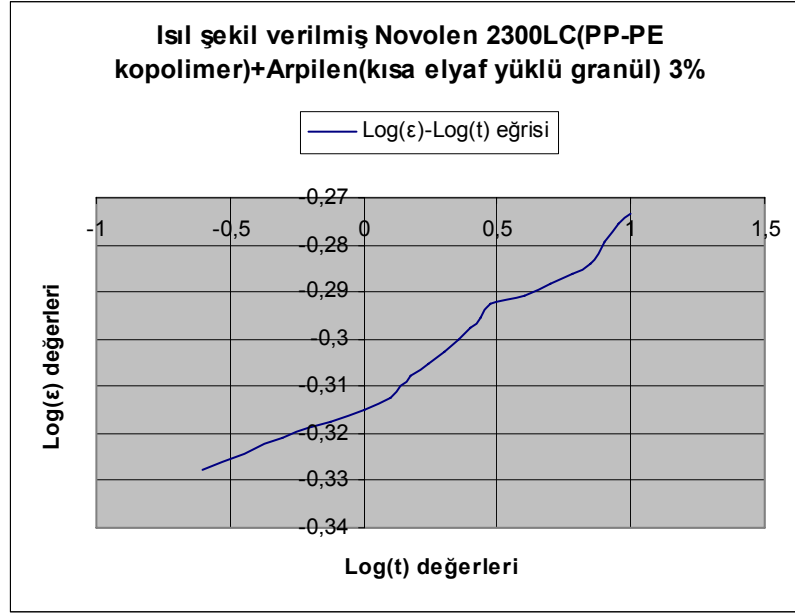
Şekil 4.10 Isıl şekil verilmiş PVC, gerçek uzama miktarı: 0.0225 mm



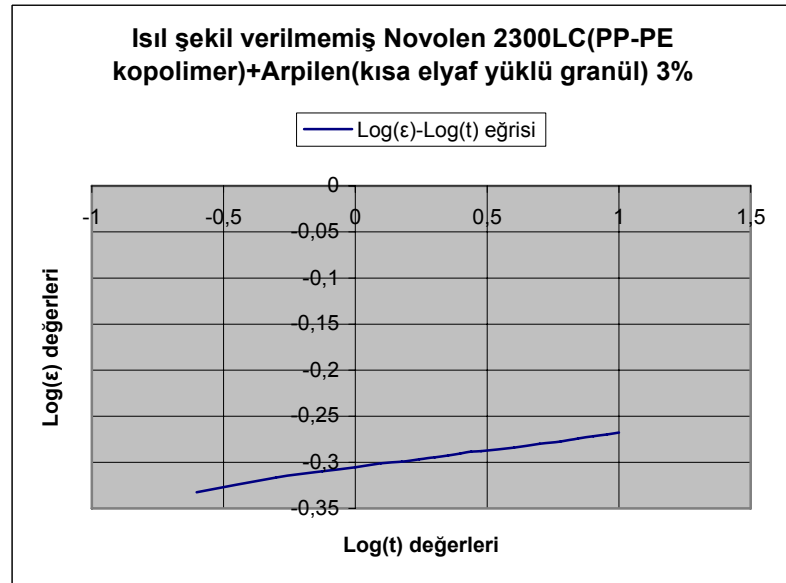
Şekil 4.11 Isıl şekil verilmiş cam elyaf takviyeli malzeme, gerçek uzama miktarı: 0,076 mm



Şekil 4.12 Isıl şekil verilmemiş cam elyaf takviyeli malzeme, gerçek uzama miktarı: 0,09 mm



Şekil 4.13 Isıl şekil verilmiş cam elyaf takviyeli malzeme, gerçek uzama miktarı: 0,126 mm



Şekil 4.14 Isıl şekil verilmemiş cam elyaf takviyeli malzeme, gerçek uzama miktarı: 0,15 mm

TARTIŞMA

Bu çalışmada cam elyaf takviyeli plastik levhalar ve takviye malzemesi içermeyen plastik levhalar ısı ve basınç etkisiyle şekillendirilmiş, bu değişkenlerin malzemelerin sürünme ve çekme özelliklerini nasıl değiştirdiği araştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda ısıl şekil vermeden önce takviye elemanı içermeyen PP levhadan alınan numunelerle, malzemenin maksimum çekme dayanımı; 38.7 MPa olarak belirlenmiştir. PP levhaların ısıl şekil verme işlemi sırasında sıcaklık ve basınç değerleri değiştirilmiş diğer parametreler sabit tutulmuştur. 50 kN ve 200 °C şartlarında şekil verilen PP malzemenin maksimum çekme dayanımı; 39.3 MPa, 150 kN ve 300 °C şartlarında şekil verilen PP malzemenin maksimum çekme dayanımı; 41.0 MPa olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda takviye malzemesi içermeyen PP düzlemsel levha halindeki malzemenin çekme dayanımı, ısıl şekil verme işleminden sonra sıcaklığın ve basıncın artmasıyla artış eğilimi göstermektedir.

Takviye elemanı içermeyen plastik malzemelerde sıcaklık ve basıncın etkisini daha iyi araştırabilmek için deneylerde yine bir termoplastik olan PVC’de kullanılmıştır. Isıl şekil verme işlemi öncesinde PVC malzemenin maksimum çekme dayanımı; 59.4 MPa olarak tespit edilmiştir. PVC malzemenin 150 kN ve 250 °C işlem şartlarında ısıl şekil verilmesinden sonra maksimum çekme dayanımı; 60.0 MPa, 250 kN ve 150 °C şartlarında ısıl şekil verilmesinden sonra ise maksimum çekme dayanımı; 59.8 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda PVC malzemenin de ısıl şekil verme işlemi sırasında artan sıcaklık ve basınçla birlikte çekme dayanımı artış göstermektedir. Ancak ısıl şekil verme işleminde sıcaklığın 250 °C’den 150 °C’ye düşürülmesi maksimum çekme dayanımını azaltmaktadır. Bu sonuçlar doğrultusunda sıcaklığın 150 °C ve 250 °C aralığında PVC malzemenin maksimum çekme dayanımıyla lineer değiştiği görülmektedir.

Deneylerde cam elyaf takviyeli malzemelerde kullanılmıştır. Bu malzemelerde, ısıl şekil verme işlemindeki sıcaklık ve basınç değişimlerinin çekme özellikleri üzerindeki etkisiyle birlikte, takviye elemanının ısıl şekil verme sonrasında malzemenin çekme özellikleri üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. Örneğin, ısıl şekil verilmemiş Novolen 2300LC(PP-PE kopolimer)+Arpilen(kısa elyaf yüklü granül) 3%, levhadan

alınan numunelerden elde edilen maksimum çekme dayanımı; 30.6 MPa iken 150 kN ve 200 °C'de ısıtılmış Novolen 2300LC(PP-PE kopolimer)+Arpilen(kısa elyaf yüklü granül) 3%, levhadan alınan numunelerden elde edilen maksimum çekme dayanımı; 44.8 MPa olarak tespit edilmiştir. Cam elyaf takviyeli bu termoplastik esaslı kompozit malzemede cam elyaf takviyesi ısıtılmış işlemi sonrasında, malzemenin maksimum çekme dayanımını artıran eğilimde değişim yaratmıştır.

Diğer bir cam elyaf takviyeli malzeme olan ısıtılmamış Novolen 1100L+Novolen 2300LC+ (uzun elyaf-2) 4%, levhadan alınan numunelerden elde edilen maksimum çekme dayanımı; 33.7 MPa olarak tespit edilmiştir. 200 kN ve 200 °C şartlarındaki ısıtılmış işleminden sonra malzemenin maksimum çekme dayanımı; 55.1 MPa olarak belirlenmiştir. Yine bu cam elyaf takviyeli düzlemsel levha halindeki malzemede de cam elyaf takviyesi ısıtılmış işlemi sırasında artan sıcaklık ve basınçla birlikte maksimum çekme dayanımını artırmıştır.

Sürünme deneyleri sonucunda, ısıtılmış işlemi sonrasında sıcaklık ve basınç değişkenlerinin malzemenin sürünme özellikleri üzerine olan etkisini görebilmek için, her bir malzeme için Log(t)-Log(ϵ) diyagramı çizilmiştir. Takviye malzemesi içeren ve takviye malzemesi içermeyen termoplastik malzemelerin sabit gerilme etkisi altında numune boylarında meydana gelen gerçek uzama miktarları tespit edilmiştir. Sürünme özelliklerindeki değişim gerçek uzama miktarlarına dayandırılarak belirlenmiştir. Isıtılmamış PP malzemede, gerçek uzama miktarı: 0.187 mm olarak belirlenirken, 200 kN ve 200 °C'de(5 dak tavlama) ısıtılmış PP malzemede, gerçek uzama miktarı; 0,14 mm, 150 kN ve 300 °C'de ısıtılmış PP malzemede gerçek uzama miktarı; 0,126 mm, 50 kN ve 200 °C'de ısıtılmış PP malzemede, gerçek uzama miktarı; 0,165 mm, 250 kN ve 250 (5 dak tavlama) ısıtılmış PP malzemede, gerçek uzama miktarı; 0,095 mm olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde, Isıtılmamış PVC malzemede, gerçek uzama miktarı; 0,031 mm belirlenirken; 150 kN ve 250 °C'de ısıtılmış PVC malzemede gerçek uzama miktarı; 0,021 mm, 250kN ve 150 °C'de ısıtılmış PVC malzemede gerçek uzama miktarı; 0.0225 mm olarak belirlenmiştir. Bütün bu sonuçlara dayanarak takviye malzemesi içermeyen termoplastik malzeme olan PP ve PVC'de ısıtılmış işlemi sonrasında sıcaklık ve basıncın artması, sabit gerilme etkisi altındaki numunelerde

gerçek uzama miktarını azaltmaktadır. Gerçek uzama miktarının azalması ise sürünme dayanımının arttığı yönde yorumlanabilir.

Sürünme deneyi sonrasında ısıllı şekil verilmemiş Novolen 1100L+Novolen 2300LC+ (uzun elyaf-2) 4%, levhadan alınan numunelerden elde edilen, gerçek uzama miktarı; 0.09 mm, ısıllı şekil verilmiş Novolen 1100L+Novolen 2300LC+ (uzun elyaf-2) 4%, levhadan alınan numunelerden elde edilen, gerçek uzama miktarı; ise 0.076 mm olarak tespit edilmiştir. Aynı şekilde, ısıllı şekil verilmemiş Novolen 2300LC(PP-PE kopolimer)+Arpilen(kısa elyaf yüklü granül) 3%, levhadan alınan numunelerden elde edilen gerçek uzama miktarı; 0.15 mm ve ısıllı şekil verilmiş Novolen 2300LC(PP-PE kopolimer)+Arpilen(kısa elyaf yüklü granül) 3%, levhadan alınan numunelerden elde edilen gerçek uzama miktarı; 0.126 mm'dir. Görüldüğü üzere, cam elyaf takviyeli malzemelerde de ısıllı şekil verme işlemi sonrasında malzemelerden elde edilen numunelerin gerçek uzama miktarlarında azalma görülmektedir. Deneysel çalışmalarda söz konusu cam elyaf takviye malzemesi içeren malzemelerin ısıllı şekil verme işleminden sonra sürünme özelliklerinin iyileştiği sonucuna varılmaktadır.

K. Friedrich ve diğerleri çalışmalarında tasarladıkları kalıp yardımıyla cam elyaf takviyeli polipropilen kompozit parçaları yarı tüp şeklinde ısıllı şekil verme yöntemiyle şekillendirdiler ve cam elyaf takviyeli PP kompozitler için optimum proses koşullarını araştırdılar. Isıllı şekil verme işlemindeki sıcaklık, pres kapama hızı, kapama basıncı gibi parametrelerin değişimini incelediler. [K. Friedrich, M. Hou, 1998]

Shun-Fa Hwang ve diğerleri bölgesel ısıtılmış termoplastik matrisli bir kompozit deney örneğini kullanarak, Stamp Forming işlemi için gerekli üç parametreyi araştırdılar. Bu parametreler işlem sıcaklığı, ısıtma oranı ve malzemenin kalıpta tutulma zamanı olarak belirlendi ve sonuç olarak işlem sıcaklığı parametresinin en önemli unsur olduğu sonucuna vardılar. İşlem sıcaklığı arttığında fiberlerin burkulması ve delaminasyonda azalma görüldüğünü belirlediler. [Shun-Fa Hwang, Kun-Ji Hwang, 2002]

M. Hou yaptığı çalışmalarda Stamp Forming işlemi için yarı küresel bir kalıp tasarlamış ve uzun elyaf takviyeli polipropilen matris kullanarak, basma sıcaklığı, basma hızı, kalıbın kapalı kalma zamanı gibi parametreler üzerine çalışmış ve kalıp geometrisinin fiber burkulması üzerine etkisi araştırmıştır. [M. Hou, 1997]

Literatürdeki araştırmalar doğrultusunda ısıl Şekil verme işlemi, takviye elemanı iÇermeyen ve takviye elemanı iÇeren sŖz konusu termoplastik malzemelerde Çekme ve sŖrŖnme dayanımında artıŐa sebep olmuştur. Bunun nedeni basınĀ yolu ile de ısıl Şekil vermenin yanı sıra yapılan işlemler doğrultusunda polimerik zincirlerin iş gerilmeleri arttıarak buna bağlı malzemenin dayanımını yŖkseltmesi olarak aĀıklanabilir. Stampforming işleminin termoforming işlemine gŖre farklılığı, termoforming işleminde sıcaklık ve bŖyŖk zorlamalar meydana getirmeyen kŖĀŖk kuvvet uygulamasına karşın stampforming işleminde sıcaklığın yanı sıra nisbeten daha yŖksek basınĀların kullanılıyor olmasıdır.

KAYNAKLAR

- Akkurt S. , 1991, “Plastik Malzeme Bilgisi”, Birsen Yayınevi, İstanbul, (7-55, 75-89, 91-112)
- Akyüz Ö. F. , 1999, “Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş”, PAGEV Yayınları, İstanbul, (41-55, 59-89, 102-106)
- Birley A. W. , Haworth B. , Batchelor J. , 1991, “Physics of Plastics”, Oxford University Press, New York, (1-34, 37-57, 93-159, 163-244)
- Booker J.D. , Raines M. , Swift K.G. , 2001, “Designing Capable and Reliable Products”, Butterworth-Heinemann, Oxford, (329,330)
- Brydson J. A. , 1999, “Plastics Materials” , Butterworth-Heinemann, Seventh edition, Oxford, (1-15, 59-74, 158-181)
- Carvill J. , 1993, “Mechanical Engineer’s Data Handbook”, Butterworth-Heinemann, Oxford, (242-250, 257-259)
- Crawford R. J. , 1998 , “Plastics Engineering” , Butterworth-Heinemann , Third edition, Oxford, Chapter 1, Chapter 2 , Chapter 3 , Chapter 4
- Derbentli T. , Genceli O.F. , Güngör A. , Hepbaşlı A. , İlken Z. , Özbalta N. , Özgüç F. , Parmaksızoğlu C. , Şubat 2001, “Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri”, Dördüncü basımdan çeviri, , İstanbul
- Ezdeşir A. , Erbay E. , Taşkıran İ. , Yağcı M. A. , Cöbek M. , Bilgiç T. , 1999, “Polimerler I” , PAGEV Yayınları, İstanbul , (17-167)
- Gibson, R. F. , 1994, “Principles of Composite Material Mechanics”, McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS, (1-28, 382-387)

Groover M. P. , 2002, “Fundamentals of Modern Manufacturing” , John Wiley & Sons, Inc. , Second edition

K. Friedrich, M. Hou, 1998, “On stamp forming of curved and flexible geometry components from continuous glass fiber/polypropylene composites”, Composites, Part A, Volume 29A

M. Hou, 1997, “Stamp forming of continuous glass fibre reinforced polypropylene”, Composites, Part A, Volume 28A

Rosato D. , Rosato D. , 2003, “Plastics Engineered Product Design” , Elsevier, Oxford, Chapter 6

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

Schwartz M. , 1992, “Composite Materials Handbook” Second Edition, McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS, USA, Chapter 1(1.1-1.35), Chapter 2(2.53), Chapter 4(4.56), Chapter 5(5.46)

Shun-Fa Hwang, Kun-Ji Hwang, 2002, “Stamp forming of locally heated thermoplastic composites”, Composites, Part A, Volume 33

Smallman R.E. ,Bishop R. J. , 1999, “Modern Physical Metalurgy and Materials Engineering”, Butterworth-Heinemann , Oxford , Sixth edition , (32-42, 351-366)

Smith E. H. , 1994, “Mechanical Engineer’s Reference Book” , Butterworth-Heinemann, Twelfth edition, Oxford, Chapter 7(7.5 , 7.6 , 7.7)

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

Throne J.L. , 1987, “Thermoforming” , Hanser Publishers, Munich, Chapter 1(13-36), Chapter 2(39-61), Chapter 3(65-94), Chapter 4(97-115), Chapter 5(120-127), Chapter 6(155-173), Chapter 7(175-196)

Turaçlı H. , “Enjeksiyon Hataları ve Çözümleri” , PAGEV Yayınları, İstanbul, 2. Baskı, (9-15)

Turaçlı H. , 1999, “Enjeksiyoncunun El Kitabı” , PAGEV Yayınları, İstanbul, (55-69, 72-173)

Turaçlı H. , 2000, “Enjeksiyon Kalıpları İmalatı,” , PAGEV Yayınları, İstanbul, (34-38)

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

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)

Yıldırım H. , 2003, “Plastik Teknolojisi Seminer Notları” , MMO Yayınları, MİEM, İstanbul

ÖZGEÇMİŞ

Olcaý EKŐİ 18.11.1981 tarihinde Lüleburgaz'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Lüleburgaz'da tamamladı. 1999 yılında girdiği Trakya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliđi bölümünden 2003 yılında bölüm 3.'sü olarak mezun oldu. Askerliđini Kısa Dönem Er olarak, Aralık 2003 ile Mayıs 2004 tarihleri arasında yaptı. Eylül 2004'te Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliđi Anabilim dalında Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2005 Ocak ayında Trakya Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi kadrosunda Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2006 yılında Çorlu Mühendislik Fakültesinin yeni açılan Namık Kemal Üniversitesine dâhil olmasıyla halen bu kurumda görevine devam etmektedir.

Evli olan Olcaý EKŐİ pek çok ticari CAD/CAM yazılımı ve İngilizce bilmektedir.