

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SMC YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN ÜÇ BİLEŞENLİ
KOMPOZİTTE MEKANİK VE FİZİKSEL
ÖZELLİKLERİN OPTİMİZASYONU**

128747

Metalurji Müh. Nihal KARAMAN

**F.B.E. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet ÜNAL

Doç.Dr. Adem Bakkaçoğlu
Prof.Dr. Aysegül Akdoğan

İSTANBUL, 2002

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KÜTÜPHANE MERKEZİ**

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ÖNSÖZ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. SMC KOMPOZİTLERİNDE KULLANILAN REÇİNELER.....	3
2.1 Polyester Reçine	3
2.1.1 Polyester Reçine Alt Maddeleri.....	5
2.1.1.1 Glikoller	5
2.1.1.2 Doymamış Asitler	5
2.1.1.3 Doymuş Asitler.....	5
2.1.1.4 Monomerler	6
2.1.1.5 İnhibitörler.....	6
2.1.2 Doymamış Polyester Reçine Üretimi.....	6
2.1.2.1 I. Yöntem.....	6
2.1.2.2 II. Yöntem	7
2.1.2.3 III. Yöntem	8
3. SMC KOMPOZİTLERİNDE KULLANILAN FİBERLER.....	9
3.1 Yüzey Tülleri.....	10
3.2 Cam Fiberler.....	11
3.3 Kullanılan Başlıca Cam Fiberler	12
3.3.1 Kırpılmış Demet	12
3.3.2 Keçe	12
3.3.3 Cam Dokuma.....	13
3.4 Cam Fiber Üretimi	14
4. SMC KOMPOZİTLERİNDE KULLANILAN DOLGU MADDELERİ.....	15
4.1 Karbonatlar	17
4.1.1 Kalsiyum Karbonat.....	17
4.1.2 Magnezyum Karbonat.....	18
4.2 Silika ve Silikatlar.....	18

4.2.1	Kum ve Silikatlar	18
4.2.2	Talk	18
4.2.3	Kieselguhr	18
4.3	Alüminyum Silikat ve Killer	18
4.3.1	Kaolen	18
4.3.2	Arduvaz	19
4.3.3	Mika	19
4.3.4	Vermikülit	19
4.4	Alev Geciktirici Dolgu Maddeleri	19
4.4.1	Antimonoksit	19
4.4.2	Alüminyumtrihidrat	20
4.4.3	Barit	20
4.5	Viskozite Arttırıcı Katkı Maddeleri	20
4.6	Pigmentler ve Boyalar	21
4.7	Işık Stabilizatörleri	21
4.8	Bağlayıcılar	22
4.9	Katalizörler	22
4.10	Kalıp Ayırıcılar	24
5.	SMC ÜRETİM YÖNTEMİ	25
6.	SMC KOMPOZİTLERİNİN KALIPLANMASI	28
6.1	SMC İçin Kullanılan Kalıp Malzemeleri	29
6.2	Kalıp Tasarımında Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar	30
6.2.1	Parça Dizaynının Kalıp Dayanımına Etkileri	30
6.2.2	Parça Dizaynının Kesme Kenarlarına Etkileri	31
6.2.2.1	Tavsiye Edilen Kesme Kenarı Dizaynı	31
6.2.2.2	Bıçak Kenarları	31
6.2.2.3	Ters Kesme	32
6.2.2.4	Yarıçaplı ve Açılı Kesme	32
6.2.3	Parça Dizaynının Parçanın Kalıptan Çıkarılmasına Etkileri	33
6.2.3.1	Parçanın Çıkarılması İçin Tasarım Açıları	33
6.2.3.2	İtici Pimler	33
6.2.3.3	Hava Boşlukları	34
6.2.4	Parça Dizaynının Kalıp Bakımına Etkileri	34
6.2.4.1	Kalıp Koruma	34
6.2.4.2	Kesme Kenarları	34
6.2.4.3	Kirşler	35
6.2.5	Vida Kılavuzlu Levhalar	35
6.2.5.1	Bağlantı Yerleri	36
6.2.5.2	U-Somun ve J-Somun	36
6.3	SMC Plakasının Kesilmesi ve Kalıba Yerleştirilmesi	36
6.4	Kalıplanan Parçanın Kalıptan Çıkarılması	37
7.	SMC ÜRETİM YÖNTEMİNDE RASTLANAN HATALAR	39
7.1	Yüzey Gözenekliliği Hatası	39
7.2	Yüzeyde Kabarcık Hatası	39
7.3	Benekli Yüzey Hatası	39
7.4	Mat Yüzey Hatası	40
7.5	Kalıplama Malzemesinin Kalıba Yapışması veya Sıkışması	40

7.6	Ürünün Bükülmüş Olması.....	40
8.	SMC KOMPOZİTLERİNİN AVANTAJLARI	41
9.	SMC BİLEŞİMİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ.....	45
9.1	Reçinenin Mekanik Özelliklere Etkileri	46
9.2	Cam Fiberin Mekanik Özelliklere Etkisi	47
9.3	Reçine ve Fiber İçeriğine Bağlı Olarak Levha Yoğunluğunun Hesaplanması	51
10.	SMC KOMPOZİTLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN TAYİNİ.....	53
10.1	Elastiklik Modülünün İncelenmesi	53
10.2	Çekme Özelliklerinin Tayini (TS 3860)	56
10.3	Eğilme Mukavemetinin Tayini (TS 4650-2).....	61
10.4	Yük Altında Eğilme Sıcaklığı (TS 1400).....	62
10.5	Darbe Mukavemetinin Tayini (ASTM D 256-90b).....	64
10.6	Kızdırma Kaybının Tayini (TS 1177).....	64
10.7	Su Absorbsiyonunun Tayini (TS 702)	65
10.8	Alev Dayanım Deneyi (TS 8697, EN 60598-1)	66
10.9	Sertlik Değerinin Tayini (ASTM D 2538-87).....	66
10.10	Özgül Ağırlık Deneyi (TS 1818, ASTM D792-86).....	67
11.	SMC ÜRÜNLERİNİN KULLANIM ALANLARI.....	70
11.1	Otomobillerdeki Yapısal Parça Uygulamaları	70
11.2	Kamyonlardaki SMC Uygulamaları	72
11.2.1	Kamyonlardaki Yapısal Uygulamaları	72
11.2.2	Kamyonlarda Dış Gövde Uygulamaları.....	73
11.2.3	Kamyonlardaki Rüzgarlık Uygulamaları	74
11.2.4	Kamyonlardaki Kaporta İçi Uygulamaları.....	74
11.3	Toplu Taşıma Araçlarındaki Uygulamaları.....	75
11.4	Elektronik Alanındaki Uygulamaları	77
11.5	İnşaat ve Konstrüksiyonlarındaki Uygulamaları	78
12.	DENEYLER.....	81
12.1	Yoğunluk Deneyleri (TS1818, ASTM D 792-86).....	82
12.2	Eğme Dayancı Deneyi (TS 4650-2).....	88
12.3	Darbe Dayancı Deneyi (ASTM D256-90b)	93
12.4	Çekme Dayancı Deneyleri (TS 3860).....	98
12.5	Kırık Yüzey Görüntüleri	103
13.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	105
	KAYNAKLAR.....	107
	EKLER	109
	Ek 1 Monomer Türleri ve Özellikleri.....	110
	Ek 2 Sertleştirilmiş Tipik Reçine Özellikleri.....	111
	Ek 3 Dolgu Maddeleri ve Özellikleri.....	112



SİMGE LİSTESİ

T_g Cam geçiş sıcaklığı



KISALTMA LİSTESİ

A-Camı	Alkaline Glass
ATH	Aluminium Trihyhidrate ($Al_2(OH)_3$)
BMC	Bulk Moulding Compounds
C-Camı	Corrosion Resistance Glass
CARMAT	Carroseric Materiaux
CTP	Cam Elyafi Takviyeli Plastik
E-Camı	Electrical Resistance Glass
FEM	Finite Elements Method
GRP	Glass Reinforced Plastic
HDT	Heat Deflection Temperature
HET	Hegzokloro-endo-metilen-tetrahidro-ftalik anhidrid veya klorendik anhidrid
IMC	In-Moulding Coating
LPA	Low Profile Agent
PVAc	Polivinil asetat
PA6	Poliamid 6
PA66	Poliamid 66
PP	Polipropilen
R-Camı	Resistance Glass
S-Camı	Strength Resistance Glass
SAN	Stiren akrilo nitril
SMC	Sheet Moulding Compounds
TGV	Trés Grande Vitesse
UP GF	Unsaturated Polyester Glass Fiber

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Polyester reçinenin oluşum reaksiyonu (Hamid, 1993)	3
Şekil 3.1	Cam fiber üretim şeması (Vetrotex, 1998)	10
Şekil 5.1	SMC imalat yöntemi (Inoplast, 1998)	25
Şekil 5.2	Bilgisayar kontrollü doyum yöntemi; reçine tabakaları arasındaki cam fiberin görünümü (Inoplast, 1998)	26
Şekil 5.3	Olgunlaştırma askılarında SMC ruloları (Inoplast, 1998)	27
Şekil 6.1	Fransız Inoplast firmasının SMC kalıplamada kullandığı pres (Inoplast, 1998)	28
Şekil 6.2	Düz kalıp kesitleri (Inoplast, 1998)	30
Şekil 6.3	Açısal kalıp kesitleri (Inoplast, 1998)	31
Şekil 6.4	Kesme kenarlarında parça tasarım şartları (Inoplast, 1998)	31
Şekil 6.5	Bıçak kenarları (Inoplast, 1998)	32
Şekil 6.6	Ters kesme kenarları (Inoplast, 1998)	32
Şekil 6.7	Kesme kenarı (Inoplast, 1998)	32
Şekil 6.8	Dönüş flanşı ve girişler (Inoplast, 1998)	33
Şekil 6.9	İtici pimler (Inoplast, 1998)	34
Şekil 6.10	Girişler (Inoplast, 1998)	35
Şekil 6.11	Somun-vida bağlantısı (Inoplast, 1998)	35
Şekil 6.12	Somun aralık deliği (Inoplast, 1998)	36
Şekil 6.13	SMC'nin iğne manipülatörleri ile yerleştirilmesi (Inoplast, 1998)	36
Şekil 6.14	SMC parçasının kalıptan çıkarılışı (Inoplast, 1998)	37
Şekil 8.1	Ses sönümleme test sonuçları (Inoplast, 1998)	42
Şekil 9.1	Termoplastik reçinede cam içeriğine bağlı olarak çekme mukavemetinin değişimi (Vetrotex, 1998)	46
Şekil 9.2	Termoplastik reçinede cam içeriğine bağlı olarak eğme modülünün değişimi (Vetrotex, 1998)	47
Şekil 9.3	Cam fibere bağlı olarak çekme mukavemetinin değişimi (reçine yoğunluğu: 1,2) (Vetrotex, 1998)	48
Şekil 9.4	Cam fibere bağlı olarak çekme modülü değişimi (reçine yoğunluğu: 1,2) (Vetrotex, 1998)	49
Şekil 9.5	Cam fibere bağlı olarak eğme mukavemetinin değişimi (reçine yoğunluğu: 1,2) (Vetrotex, 1998)	50
Şekil 9.6	Cam fibere bağlı olarak eğme modülünün değişimi (reçine yoğunluğu: 1,2; reçinenin eğme modülü: 3000 MPa) (Vetrotex, 1998)	51
Şekil 9.7	Ağırlıkça cam içeriğine bağlı olarak, levhanın yoğunluk değişimi (Vetrotex, 1998)	52
Şekil 9.8	Hacimce cam içeriğine bağlı olarak, levhanın yoğunluk değişimi (Vetrotex, 1998)	52
Şekil 10.1	Kompozit malzemedeki gerilim dağılımının şematik gösterimi	53
Şekil 10.2	Çekme mukavemeti tayini için kullanılan deney numuneleri (TS 3860)	56
Şekil 10.3	Görünür uzama/kuvvet eğrisi (TS 3860)	60
Şekil 10.4	Üç noktalı yüklemede, yükleme uygulayıcısı ve destek diyagramı (TS 4650-2)	61
Şekil 10.5	Eğilme sıcaklığı deney cihazı (TS 1400)	63
Şekil 10.6	Barcol sertlik ölçme cihazı (ASTM D 2538-87)	67
Şekil 11.1	Açılabilir tavan şasi (Inoplast, 1998)	70
Şekil 11.2	MOSAIC ön yüzü (Cam Elyaf San. A.Ş., 1996)	71
Şekil 11.3	Citroen AX'in ara kapağı (Inoplast, 1998)	72
Şekil 11.4a	FEM hesaplaması ile gerilim dağılımı (Inoplast, 1998)	72
Şekil 11.4b	SMC tekerlek kutusu ve kabin basamakları (Inoplast, 1998)	72

Şekil 11.5	Mercedes Benz kamyonunun kabin basamakları (Inoplast, 1998)	73
Şekil 11.6	SMC ön paneller (Inoplast, 1998)	73
Şekil 11.7	SMC ile üretilen spoiler örnekleri (Inoplast, 1998)	74
Şekil 11.8	SMC motor karter tabanları (Inoplast, 1998)	74
Şekil 11.9	SMC ile üretilmiş TGV'ler (Inoplast, 1998)	75
Şekil 11.10a	Berlin treninin SMC sütunları (Inoplast, 1998)	76
Şekil 11.10b	Monte edilmemiş SMC kapı kenar paneli (Inoplast, 1998)	76
Şekil 11.11a	Kademeli SMC bagajlık (Inoplast, 1998)	76
Şekil 11.11b	InterRegio treninin iç kısmındaki SMC bagajlık (Inoplast, 1998)	76
Şekil 11.12	Pencere çerçevesi (Inoplast, 1998)	77
Şekil 11.13a	Rutubete dayanıklı lamba (Inoplast, 1998)	78
Şekil 11.13b	Ölçü kabini (Inoplast, 1998)	78
Şekil 11.14	SMC su ızgaraları (Inoplast, 1998)	78
Şekil 11.15	Meisinger firmasının ürettiği drenaj ızgaraları (Cam Elyaf San. A.Ş., 1997) ..	78
Şekil 11.16	Sınai depolama kapları (Cam Elyaf San. Tic. A.Ş., 1996)	79
Şekil 11.17	Çatı zemini (Inoplast, 1998)	79
Şekil 11.18	GRP balkonlar (Inoplast, 1998)	80
Şekil 11.19	Telefon kabini (Cam Elyaf San. A.Ş., 1997)	80
Şekil 12.1	Deney numunelerinin çıkarıldığı SMC plakası	81
Şekil 12.2	Plakalardan deney numunelerinin çıkarılması	82
Şekil 12.3	Orta kısım yoğunluk deneyi grafiği	83
Şekil 12.4	Etek kısmı yoğunluk deneyi grafiği	84
Şekil 12.5	Teorik yoğunluk grafiği	85
Şekil 12.6	Orta kısım, etek kısmı ve teorik yoğunluk grafiği	86
Şekil 12.7	SMC plakaların orta kısımdan uzaklaştıkça yoğunluk değerlerindeki değişim	86
Şekil 12.8	Orta ve etek yoğunlukları farkının cam hacim oranı ile değişimi	87
Şekil 12.9	Teorik ve orta nokta yoğunlukları farkının cam hacim oranı ile değişimi	88
Şekil 12.10	Boyuna (L) ve enine (T) ekseninde eğme dayançları	90
Şekil 12.11	Etek kısmındaki eğme dayançları	91
Şekil 12.12	Boyuna ekseninde yoğunluk ve eğme dayancı	91
Şekil 12.13	Enine ekseninde yoğunluk ve eğme dayancı	92
Şekil 12.14	Etek kısmı, yoğunluk ve eğme dayancı	93
Şekil 12.15	Boyuna (L) ve enine (T) ekseninde darbe dayançları	95
Şekil 12.16	Etek kısmındaki darbe dayançları	96
Şekil 12.17	Boyuna ekseninde yoğunluk ve darbe dayancı	97
Şekil 12.18	Enine ekseninde yoğunluk ve darbe dayancı	97
Şekil 12.19	Etek kısmı, yoğunluk ve darbe dayancı	98
Şekil 12.20	Boyuna (L) ve enine (T) ekseninde çekme dayançları	100
Şekil 12.21	Etek kısmındaki çekme dayançları	100
Şekil 12.22	Boyuna ekseninde yoğunluk ve çekme dayancı	101
Şekil 12.23	Enine ekseninde yoğunluk ve çekme dayancı	102
Şekil 12.24	Etek kısmı, yoğunluk ve çekme dayancı	102
Şekil 12.25	% 20 cam hacim oranlı N.3 numunesinde kırık yüzeyin genel görünümü	103
Şekil 12.26	N.3 numunesinde kırık yüzeyin yüksek büyütme kırık yüzey görüntüsü	104
Şekil 12.27	N.3 numunesi kırık yüzeyinde, fiber dağılımının görüntüleri	104

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Doymamış polyester alt maddeleri ve ürüne kazandırdığı özellikler (Hamid, 1993).....	4
Çizelge 2.2	I. yöntem ile üretilecek doymamış polyester bileşimine örnek	7
Çizelge 3.1	Değişik camların özellikleri (Cam Elyaf San. A.Ş., 1984).....	11
Çizelge 4.1	SMC için kullanılan katalizörler (Cam Elyaf San. A.Ş., 1997).....	23
Çizelge 5.1	SMC üretiminde kullanılan tipik bileşim (Cam Elyaf San. A.Ş., 1997).....	25
Çizelge 5.2	Sınıf “A” SMC kompozisyonu (Inoplast, 1998).....	26
Çizelge 6.1	Kalıp malzemelerinin karşılaştırılması (Cam Elyaf San. A.Ş., 1998).....	30
Çizelge 6.2	Parçanın çıkarılması için tavsiye edilen açılar (Inoplast, 1998)	33
Çizelge 8.1	SMC parçalar için alev dayanımı ve standartları (Inoplast, 1998)	42
Çizelge 9.1	SMC’nin mekanik özellikleri (www.composite.com.au).....	45
Çizelge 9.2	SMC mekanik özelliklerinin karşılaştırılması (Inoplast, 1998).....	45
Çizelge 10.1	Deney numunelerinin boyutları (TS 3860).....	57
Çizelge 10.2	Bazı malzemelerin Barcol sertlik değerleri (ASTM D 2538-87).....	67
Çizelge 12.1	Numunelerin kimyasal kompozisyonları ve sistematik sınıflaması.....	81
Çizelge 12.2	Plakadan çıkarılan deney numuneleri.....	82
Çizelge 12.3	Yoğunluk deneyi hesaplamaları.....	83
Çizelge 12.4	Yoğunluk deneyi sonuçları	83
Çizelge 12.5	Teorik yoğunluk hesaplamaları.....	85
Çizelge 12.6	Orta nokta ve etek arasındaki yoğunluk farkı	87
Çizelge 12.7	Teorik ve orta nokta arasındaki yoğunluk farkı	88
Çizelge 12.8	Eğme deneyi hesaplamaları	89
Çizelge 12.9	Eğme deneyi sonuçları	90
Çizelge 12.10	Darbe deneyi hesaplamaları.....	94
Çizelge 12.11	Darbe deneyi sonuçları	95
Çizelge 12.12	Çekme deneyi hesaplamaları	99
Çizelge 12.13	Çekme deneyi sonuçları.....	99

ÖNSÖZ

CTP üretimi, kompozisyonda kullanılan cam elyafı ve reçine özelliklerine bağlı olarak değişik yöntemlerle hazırlanmaktadır. Bu çalışmada, SMC yöntemi ile üç bileşenli kompozit malzeme üretimi incelenmiş olup, çalışma genelinde konunun ilerleyişi, kompozit malzemenin üretiminde kullanılacak bileşenler ve alternatifleri, SMC yöntemi ile üretilen kompozit malzemelerin üretilmesi ve kullanım alanları, kompozit malzemenin çeşitli deneylere tabi tutularak mekanik ve fiziksel özelliklerinin değerlendirilmesi başlıkları altında toplanabilir.

Çalışmamda beni yönlendiren tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Ahmet Ünal'a, deneysel araştırmaların ilerlemesini sağlayan Sayın Yrd. Doç. Ergün Keleşoğlu'na, sarf edilen emeklerin cevapsız kalmadığını öğreten Sayın Prof. Dr. Nişan Sönmez'e, şartlar ne olursa olsun desteklerini ve güvenlerini yanımda bulduğum ailem ve dostlarıma teşekkürü bir borç bilirim.



ÖZET

SMC, polyester reçine, cam elyaf fiber takviyesi ve dolgu maddelerinden oluşan üç bileşenli kompozit malzemelerin kalıplamasında kullanılır. İnhibitör, katalizör, kalıp ayırıcıları gibi dolgu maddeleri ve işlem ilaveleri performans veya mekanik özellikleri geliştirici ilavelerdir. Bu üretim teknolojisi, matris malzemesi ile kısa ve sürekli fiberleri birleştirilmesinin geniş alanda yapılmasını sağlar. Kalıplama sırasında malzemenin akış davranışı, yük kalıbı ile farklılaşmaktadır. Malzemenin akışında gerçekleşen fiber yönlenmesi mekanik özellikleri oldukça fazla etkilemektedir. Yüksek kalite ve bedel etkinliği gerektiren uygulamaların ihtiyaç duyulduğu her endüstride tasarımcılar ve mühendisler için SMC kompozitler alternatif bir malzemedir. Ürünler, yolcu arabaları, kamyonlar gibi genel nakil uygulamalarında, fiziki özellikler ve görünüşleri nedeniyle elektriksel ve inşaat uygulamalarında geniş ölçüde kullanılmaktadır. Yeterli korozyon dayanım özellikleri sağlanması nedeniyle, genellikle yapısal veya gövde parçalarının üretiminde de kullanılırlar.

Bu çalışma, cam elyaf takviyeli polimer matris kompozitlerinin mekanik ve mikroyapısal davranışlarını incelemek amacıyla yapılmıştır. Kompozitlere ilave edilen cam elyaf oranları ağırlıkça %10 ile %30 oranında değişmektedir. Mekanik özellikleri belirlemek için yoğunluk, eğme, darbe ve çekme deneyleri yapılmıştır. Mikroyapı incelemeleri için ise taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, yapılan çalışmalar ile ilişkilendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kompozit, ortoftalik reçine, E-camı, hazır kalıp bileşimi, mekanik özellikler.

ABSTRACT

SMC made from a polyester resin, glass fiber reinforcement, and fillers is used for three component composite materials mouldings. Additional ingredients such as low-profile components, cure initiators, thickeners, process additives and mould release agents are used to enhance the performance or the processing of the material. This manufacturing technology offers a wide range of possibilities to combine short and continuous fibres with matrix material. Material flow behavior during moulding was different by the charge pattern. It became clear that mechanical properties were greatly influenced by the fiber orientation occurred during material flow. The presented here are valid for designers and engineers in any industry where applications requiring high quality and good cost effectiveness are needed. Products provide a wide range of physical properties and appearance characteristics enabling their use in diverse applications such as passenger cars, trucks public transport, electrical and construction. Especially, SMC is used either for body parts or for structures, and if their corrosion resistance is sufficient, it becomes important to manage their durability.

In this study, mechanical and microstructural properties of glass fiber reinforced polymer matrix composites are examined. Glass fiber volume fractions are altered from 10% up to 30% in the composite. To study the mechanical properties, experimental tests such as, density tests, bending tests, impact tests and tensile tests utilized, and on the other hand, the scanning electron microscope techniques are used for microstructural study. The obtained results are correlated at graphs and also tabulated depending upon the glass fiber volume fractions involved.

Keywords: Composite, orthophthalic resin, E-glass, sheet moulding compounds, mechanical properties.

1. GİRİŞ

Polimerler, fiziksel ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla, rijit fiberler ile güçlendirilirler. Dolgu maddelerinin ilavesi de, fiziksel ve mekanik özellikleri geliştirmekle beraber, üretim maliyetini düşürmektedir. SMC, bu tür güçlendirilmiş ve dolgu ilaveleri ile yapılmış polimerlerin en iyi örneğidir.

SMC kompozitlerinde, temel olarak dört alt madde kullanılmaktadır: termoset reçine, fiber, dolgu maddeleri ve ilaveler. Alt maddelerin değişik bileşimleri ve yönlendirilmiş fiberler sayesinde, güçlendirilmiş SMC'ler elde edilir (Hamid, 1993). Başka bir deyişle, SMC bileşenlerinde ve işlem tekniklerinde yapılacak değişiklikler, farklı türde SMC'lerin üretilmesini sağlamaktadır. Bunlar, rasgele fiber dağılımlı SMC (SMC-R); sürekli fiber dağılımlı SMC (SMC-C) ve yönlendirilmiş fiber dağılımlı SMC (SMC-D) olarak adlandırılır. (Jutte, 1989).

SMC teknolojisi iki farklı üretim adımını içerir: Birleştirme ve kalıplama. Birleştirme sırasında, fiber hariç bütün alt maddeler, hamur oluşturmak amacı ile karıştırılırlar. Birleştirmenin formatı, alt maddelerin çeşitli türlerine bağlıdır. Örneğin reçine olarak termoset reçine, doymamış polyester, epoksi, fenolik veya başka bileşenler kullanılabilir. Bunun yanı sıra madde ve proses özelliklerini geliştirmek için kullanılan ilavelerinde değişik türleri mevcuttur. Bunlar, dolgu maddeleri, başlatıcılar, düşük-profil katkı maddeleri, koyulaştırıcı (kıvamlaştırıcı) maddeler, iç kalıp ayırıcıları, viskoziteyi azaltıcı ve ıslatma maddelerini içerir.

Kullanılan dolgu maddeleri daha çok kalsiyum karbonat, alüminyumtrihidrat olmakla beraber, cam, karbon, kevlar fiberleri, SMC için kullanılan güçlendirici fiberler arasındadır. Bugün, SMC parçaların çoğunluğunda, termoset reçine olarak, cam fiber ve kalsiyum karbonat ile güçlendirilmiş stiren ve doymamış polyester; koyulaştırıcı olarak polivinilasetat, magnezyum oksit veya hidroksit gibi düşük-profil ilaveleri; kalıp ayırıcı olarak, çinko asetat; inhibitör olarak, p-benzoguinon; başlatıcı olarak ta, t-bütilperoksibenzoat gibi peroksitler kullanılır (Hamid, 1993).

SMC kalıplama prosesi oldukça basittir. Bu nedenle de, karmaşık şekilli ürünlerin imal edilmesi kolaydır. SMC ürünlerin yüzey düzgünlüğü, üstün noktalarıdır (Fujita vd., 1999).

Sonuçta cam fiber içeriği ve yönüne bağlı olarak, statik mekanik özellikler değiştirilebilir. SMC ürünleri, aynı performansa sahip çelik malzemeden daha hafif, Al'dan ise göreceli olarak daha az üretim maliyetlidir (Jutte, 1989).

SMC ürünler, ulaşım araçları, su tankı, banyo teknesinin yapısal parçaları ve diğer bir çok uygulamada kullanılmaktadır (Fujita vd., 1999). Maksimum SMC tüketimi, otomotiv endüstrisindedir. Bunun dışında SMC tüketimi genel değerlendirme ile, sadece Kuzey Amerika pazarında SMC tüketiminin yıllık oranı, 100.000.000.- kg'dır (Hamid, 1993).



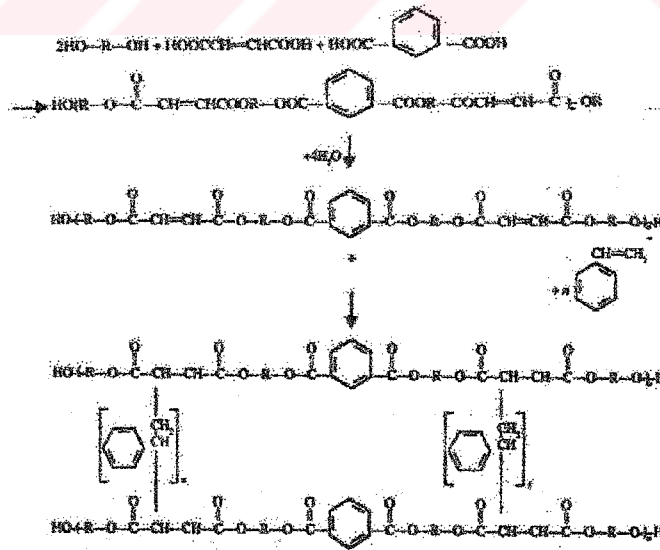
2. SMC KOMPOZİTLERİNDE KULLANILAN REÇİNELER

SMC üretiminde kullanılan reçine türleri aşağıdaki gibidir. Önemli olan husus çok miktarda dolgu kabul edilmesi, bu dolgu miktarına rağmen cam elyafını ıslatabilmesi, katalizör ile uzun süre reaksiyona girmeden kalabilmesi, yüksek ısıda çabuk sertleşebilmesidir (Inoplast, 1998).

2.1 Polyester Reçine

Doymamış polyester reçineler uygun bir katalizör ile bağ oluşturan termoset özellikli reçinelerdir (Cam Elyaf San. A.Ş., 1984). Reçine olarak yüksek reaktiviteli ve kimyasal olarak viskoziteyi yükseltebilen, ortoftalik veya özel amaçlar için izoftalik polyester reçine kullanılır. Genel olarak, dikarboksilli asitlerle polihidrik alkollerin reaksiyonu sonucu elde edilirler. Ayrıca, bisfenolik polyester ve fenolik reçineler de kullanılmaktadır. Kompozitlere plastiklik özelliğini polyester reçine kazandırmaktadır. Kimyasal bir reaksiyon ile polimerize edilerek sert, çözilemeyen ve erimeyen bir madde haline dönüşür ve aldığı biçimi daha sonra ısı etkisiyle değiştirmezler (Brydson, 1982; Inoplast, 1998; Gadow vd., 2000; Cam Elyaf San. A.Ş., 1998). Fiziksel özelliklerinin mükemmel olması nedeniyle, kimyasal ortamlara dayanım istenen parçaların üretiminin tasarlanmasına imkan sağlarlar. Diğer avantajları ise, boyanabilirliğinin olması, dolgu maddesi ve fiberlerle güçlendirilebilmesidir.

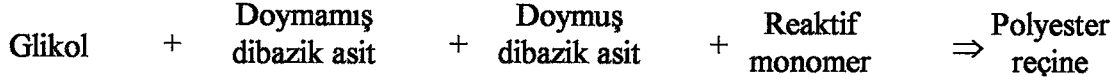
Polyester reçineler, hidroksil grubuna ait kimyasal bileşiklerdir (Hamid, 1993).



Şekil 2.1 Polyester reçinenin oluşum reaksiyonu (Hamid, 1993)

Basit bir polyester reçine, propilen glikol, doymamış melaik anhidrid ve doymuş ortoftalik

anhidrid ile hazırlanır. Her ikisinin oranında yapılacak değişiklikler, polyester reaktivitesini etkilemektedir. Anhidrid oranının artması halinde, polyester reaktivitesi de artar.



Polyester reçinede ayrıca stiren monomeri de bulunur. Stiren monomerinin etkileri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- polyester zinciri için çözücü oluşturmak,
- viskoziteyi azaltmak,
- şebeke ağı için bağlanmayı sağlamak.

Ticari reçinelere inhibitör de ilave edilir. Bunlar, stoklama sırasında polyesterin jelleşmesini önlemek için, polyester üretiminden sonra ambalajlama sırasında kullanılırlar (Brydson, 1982; Hamid, 1993).

Çizelge 2.1 Doymamış polyester alt maddeleri ve ürüne kazandırdığı özellikler (Hamid, 1993)

Alt Madde	Alt Madde Türü	Ürün Özelliği
Doymamış anhidridler ve dibazik asitler	Maleik anhidrid	Üretim maliyeti düşük; HDT yüksek.
	Fumarik asit	Reaktivite, HDT ve sertlik yüksek; polyester yavaş şekillenir.
Doymuş anhidridler ve dibazik asitler	Ftalik (ortoftalik) anhidrid	Üretim maliyeti düşük; HDT, esneklik yüksek; çekme mukavemeti iyi.
	İzoftalik anhidrid	HDT yüksek, kimyasallara ve suya karşı dayanım; çekme ve eğilme mukavemeti yüksek.
	Adipik asit, aselaik asit ve sebazik asit	Esnek; darbe dayanımı iyi.
	Klorendik anhidrid	Alev dayanımı.
	Tereftalik	HDT ve mukavemet yüksek.
	Tetrakloroftalik anhidrid	Alev dayanımı.
Glikoller	Propilen glikol	Üretim maliyeti düşük; su dayanımı iyi; esneklik; darbe dayanımı; stiren ile bağdaşabilme.
	Dipropilen glikol	Esneklik; darbe dayanımı iyi.
	Etilen glikol	Üretim maliyeti düşük; ısı dayanımı ve çekme mukavemeti yüksek.
	Dietilen glikol	Esneklik; darbe dayanımı iyi.
	2,2,4-trimetil-1,3-pentandiol glikol	Düşük yoğunluk; korozyon dayanımı.
	Bisfenol A propilen oksit	HDT yüksek; esneklik; korozyon dayanımı ve çekme mukavemeti iyi.
	Hidrojenlenmiş bisfenol A	HDT yüksek; esneklik; korozyon dayanımı ve çekme mukavemeti iyi.
	Tetrabrombisfenol A	Alev dayanımı.

2.1.1 Polyester Reçine Alt Maddeleri

2.1.1.1 Glikoller

En basiti, etilen glikoldur. Polyester üretiminde kullanılabilirler, ancak kristalleşme eğilimli ürün oluşturmazlar ve stiren monomeriyle bağdaşmazlar.

Propilen glikol, kristalleşmeye neden olmayan, stiren monomeri ile bağdaşan ve ucuz sayılabilen bir glikoldur.

Esnek polyester üretiminde, dietilenglikol kullanılır. Esnekliğin yanında kimyasal dayanım özelliğine sahip polyester üretilmek isteniyorsa, dipropilenglikol kullanılmalıdır. Alkali kimyasal maddelere dayanım ve hidrolitik stabilite özellikleri istendiğinde, kullanılacak glikol, neopentilglikoldur. Neopentilglikol, stirenle bağdaşmayan bir glikol olduğundan, başka bir glikol ilavesi yapılmalıdır. Söz konusu kimyasal dayanımın çok yüksek olması isteniyorsa, bisfenol A veya hidrojenlenmiş homoloğu kullanılmalıdır.

2.1.1.2 Doymamış Asitler

Çapraz bağlanmanın oluşmasını sağlarlar. Kullanım oranının artması, bağlanmayı, reaktivliği ve HDT'yi arttırırken; çekme dayanımını ve kırılmada uzamayı azaltır.

En çok kullanılan doymamış asitler, melaik asit, fümariik asit, kloromelaik asit, itakonik asit ve sitrakonik asittir. Sitrakonik asit, pahalı bir doymamış asittir.

2.1.1.3 Doymuş Asitler

Dibazikasit veya anhidrid için doymuşluk, peroksit katalizörler ile reaksiyona girecek serbest çift bağın bulunmamasıdır. Ancak aromatik halka bulunabilir.

Doymamış polyester üretiminde;

- ortoftalik anhidridler, kristalleşme problemlerini giderirler. Berraktırlar, ucuz ve kolay temin edilebilirler. Bunun dışında stiren monomeri ile bağdaşabilme özelliğine sahiptirler.
- doymamış izoftalik asit, su dayanımı ve kimyasal maddelere karşı dayanım istenen polyester için kullanılır.
- tetraftalik asit, diğer ftalik asitlere benzer özellikler gösterir.
- alev geciktiricilik için, klorlu veya bromlu asitler tercih edilmelidir. Örneğin, tetrakloroftalik anhidridi, HET anhidridi.

2.1.1.4 Monomerler

Viskoziteyi düşürecek şekilde çözücü fonksiyon göstermesi ve çapraz bağ (şebeke ağ yapısı) ile bağlanmayı sağlaması amacıyla kullanılırlar. Ucuz olması ve temininin kolay olması nedeniyle en çok kullanılan monomer stirendir.

Ultraviyole stabilitesi ve berraklık istendiğinde metilmetakrilat veya n-bütülmetakrilat kullanılmalıdır.

Alev geciktirici özelliğin fazla olmasının istendiği durumlarda, diklorostiren veya dibromostiren gibi halojenli monomerler tercih edilmelidir. Fakat bu tür monomerler pahalıdır. Aynı şekilde yanmazlık özelliği en iyi diallilbensülfanat ile elde edilmektedir. Fiyatının yüksek olması diallilbensülfanatın kullanımını sınırlamaktadır.

Isıya dayanımın olması istenen polyesterlerde ise, triallilsülfanat kullanılmalıdır.

2.1.1.5 İnhibitörler

Polyester polimeri, monomer içinde çözüldüğü zaman oda sıcaklığında katalizör olmaksızın jelleşme başlar. Bunu önlemek için inhibitörler kullanılır. İnhibitörler genellikle redükleyici kimyasal maddelerdir. Serbest radikalleri hidrojen atomu vererek absorblarlar.

En çok kullanılan inhibitörler t-bütilkatekol ve değişik benzokinonlardır. Yaklaşık %0,01-0,03 oranında kullanılırlar. İnhibitörün kullanım oranı, reçine cinsine veya tropikal iklimde kullanılıp kullanılmadığına bağlıdır. Uygulamada ise optimum stabilite ve reaktiviteyi sağlayacak oranda kullanılmalıdır (Brydson, 1982; Cam Elyaf San. A.Ş., 1984).

2.1.2 Doymamış Polyester Reçine Üretimi

2.1.2.1 I. Yöntem

Propilenglikolmaletat ve ortoftalik asit ile yapılacak SMC polyesterlerinin üretiminde kullanılan yöntemdir. Üretim hızlıdır. Bunun nedeni de, polyesteri oluşturacak bütün alt maddelerin, üretim reaksiyonuna direkt eklenmesi ve işlemin tek adımda bitirilmesidir.

Bütün içerikler, reaktöre şarj edildikten sonra, reaksiyon tamamlanana kadar (max. 230°C) ısıtılır. Reaksiyonun tamamlandığını, polyester reçinenin molekül ağırlığı, viskozitesi ve son asit sayısı belirler.

Uygulama

Çizelge 2.2 I. yöntem ile üretilecek doymamış polyester bileşimine örnek

Malzemeler	Miktar (gr)
Propilenglikol	578,2
Maleikanhidrid	674,4
Toluhidroquinon	4,8
(%25 solüsyon stirende)	

Polyester, sürekli azotlu ortam sağlanan reaktör içine, bütün propilenglikol, maleikanhidridin üçte biri ve toluhidroquinonun 1,6 gr yüklenmesi ile yapılır. Sıcaklık 88°C'ye yükseltilir ve dört saat sonra asit sayısı 35'tir. Daha sonra maleikanhidridin geri kalanı ilave edilir ve sıcaklığın 149°C'de olmasının kontrolü yapılır. 1 saatlik süreye kadar içeriklerin sıcaklığı 155-160°C'ye ve sonrasında 205°C'ye arttırılır. Asit sayısı 29-32 arasındadır. 177°C'de stirenin ilave edilmesinden sonra asit sayısı 21-25 arasındadır ve reçine saybolt viskozitesindedir. Son polimer, stiren ile sulandırıldığında, 30 dakika 120°C'de jelleşmeden stabil durumdadır.

2.1.2.2 II. Yöntem

İzoftalik veya tereftalik asit ile yüksek kalitede reçine üretmek için kullanılan yöntemdir. Kimyasal maddelere ve yüksek ısıya dayanımın fazla olması istenen, fiziksel özellikleri mükemmel polyester reçineler elde edilir.

Polimer yapısı en iyi bu yöntem ile kontrol edilir.

Uygulama

İnert gaz ortamında reaktöre, glikol şarj edilir. Glikol 120-150°C olduğunda izoftalikasit ilave edilir ve reaktör sabit tutularak, gaz üfleme başlanır.

Kondansatör ceketini kısmi olarak sıcak su ile doldurulur. Isı girdisi yükseltilerek, reaksiyon kütlesi ısıtılır. Reaksiyon 190°C'de başlar. Kondansatör ceketinde yavaş su akışıyla, reaktörün ısısı korunur. Bu ilk iki aşamanın özellikleri, reaksiyon suyu veya asit sayısı ile değerlendirilir.

İkinci aşamada, reaksiyonun teorik suyunun analizi ile, ilk aşama sırasında kaybedilen glikol miktarı belirlenir. Bu kaybı ortadan kaldırmak için yeterli miktarda glikol şarj edilir.

Eğer doymamışlık için kullanılan kaynak maleikanhidrid ise, anhidrid eklenmeden önce reaksiyon kütlesi 100-160°C'ye soğutulmalıdır. 200°C civarında bir sıcaklıkta reaktöre

fumarik asit ilave edilir.

Doymamış asit veya anhidridten sonra, herhangi bir glikol ilave edilir ve reaktör yeniden kapatılıp, ısıtılır. İkinci aşama sırasında maksimum sıcaklık 230°C olmalıdır. Eğer reçine rengi kritikse, maksimum sıcaklık 210°C olmalıdır.

Asit sayısı ve viskozite belirlenir.

Esterleşmenin tamamlanması için, stiren reçineye karıştırılır.

2.1.2.3 III. Yöntem

Bu yöntemle üretilen polyester reçineler, yüksek kaliteye sahip, reaktivitesi yüksek reçinelerdir.

II. üretim yöntemden farkı, izoftalik veya tereftalik asit ile yürütülen reaksiyonun ikinci aşamasındadır. Teorik reaksiyon suyunun %50'si toplandıktan sonra, reaksiyon karışımının örneği oda sıcaklığında soğutulur, doymamış asit ilave edilir. Bu erken ekleme ilk aşamanın süresi kısaltır.

Sonuç olarak, işlem süresinin kısaltılması açısından II. yöntem alternatifidir (Hamid, 1993).

3. SMC KOMPOZİTLERİNDE KULLANILAN FİBERLER

Takviye malzemeleri, reçine sistemlerinin mekanik özelliklerini arttırmak amacı ile kullanılır. Bu takviye malzemeleri içinde pratikte en çok kullanılan cam fiberlerdir ve sürekli fitil, dokuma, keçe gibi değişik türlerde kullanılırlar.

Son zamanlarda, çok yüksek mekanik mukavemete sahip olan karbon fiberlerinin geliştirilmesi özellikle mukavemet ve hafifliğin önem kazandığı havacılık endüstrisine yeni boyutlar getirmiştir.

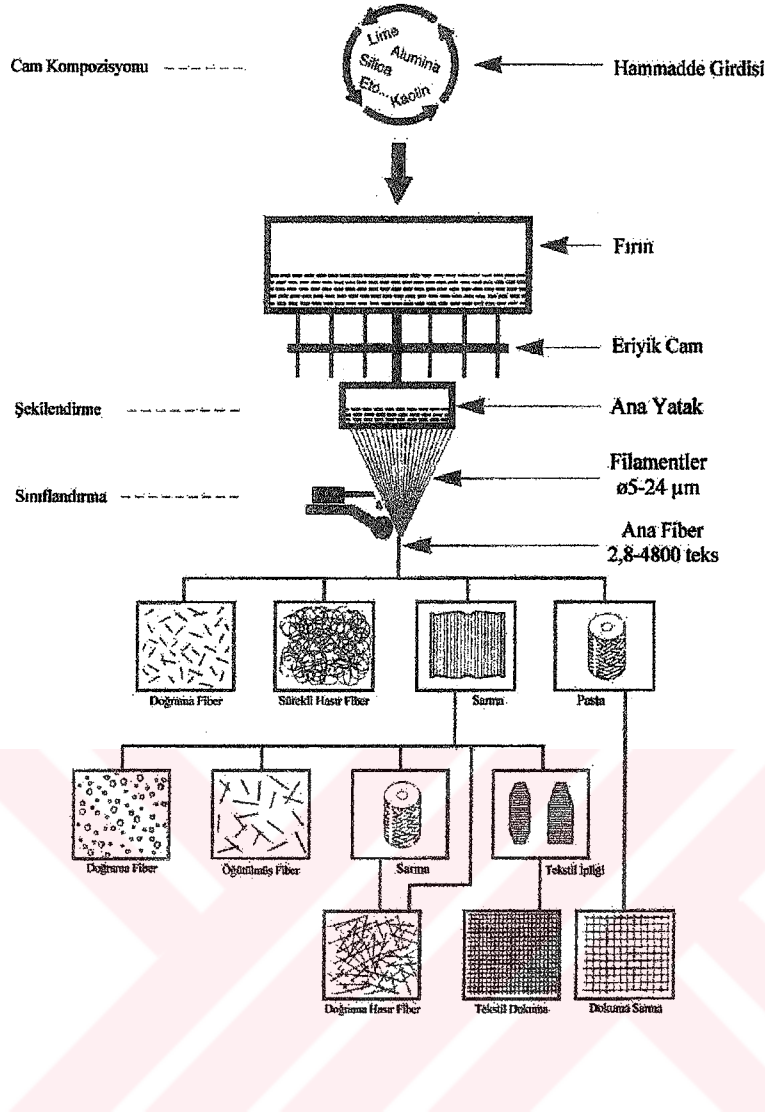
Öte yandan diğer yeni bir uygulaması da, aromatik poliamid fiberler (Kevlar) dir. Bu tür fiberlerin kullanılması cam fiber takviyeli kompozite göre %30, alüminyum alaşımına oranla %50 civarında ağırlık tasarrufu sağlamaktadır.

Ayrıca takviye malzemesi olarak poliakrilonitril, polietilenteraftalat, asbest, pamuk, selüloz fiberleri de kullanılmaktadır (Cam Elyaf San. A.Ş., 1984).

Fiberler değişik mineral camlarından elde edilmektedirler. En çok bilinen fiber, silika'ya (SiO_2) ilave edilmiş kalsiyum oksit, bor, sodyum, demir ve alüminyumdan oluşur. Bu camlar genellikle amorf yapıda olmalarına rağmen, yüksek sıcaklıklarda sürekli ısıtmalarda kristalleşmeler görülebilir. Bu olay genellikle fiberlerin dayanım özelliklerinde azalmaya neden olur.

Sürekli lifli cam fiberler, hammaddenin bir tank içersinde ergitilmesiyle elde edilirler. Tankın içindeki ergimiş madde üzerinde 200-300 adet delik bulunan platin yataklarına aktarılır. Cam bir çekim altında akar ve iyi lifler mekanik olarak aşağılara doğru sıkıştırılır. Bu sırada cam deliklerden aşağı doğru akar ve 500-1000 m/dak hızla sürekli fiber şeklinde silindirlere sarılır. Fiber çapının kontrolü, tank içindeki camın baş tarafının düzeltilmesiyle ve camın viskozitesiyle yapılır. Cam fiber takviyesiyle, polyesterin üstün plastiklik ve elektriksel özelliklerine cam fiberin mekanik dayanımı da eklenmektedir.

Cam fiber olarak, $\sim\phi 13,9 \mu\text{m}$ çapında ve 12-50 mm uzunluğunda kırılmış cam kullanılmaktadır (Schwartz, 1992; Gibson, 1994; Inoplast, 1998).



Şekil 3.1 Cam fiber üretim şeması (Vetrotex, 1998)

3.1 Yüzey Tülleri

Yüzey tülü veya yüzey keçesi olarak bilinen takviye malzemesi, fiberlerin tesadüfi bir dağılım içinde olduğu, keçe şeklinde yapılmış, reçinece zengin ve düzgün yüzeyli bir tabaka oluşturan malzemedir.

Yüzey tülü veya keçe 0,08 mm'den 0,34 mm kalınlığa kadar, metrekaresi 30 gr'dan 60 gr'a kadar üretilmektedir. Cam fiberlerden yapılan yüzey tüllerinde genellikle kimyasal dayanım ve hava koşullarına dayanım sağlamak amacı ile C-camı kullanılmaktadır.

Yüzey tülünün avantajları:

- Kimyasal dayanım ve hava koşullarına dayanım sağlamak üzere reçinece zengin bir tabaka oluşturma olanağı,

- Jelkot tabakası ile CTP laminat arasında daha sağlam bağ kurma olanağı,
- Jelkot yüzeyinde yıldız çatlamlara engel olması,
- Yüzeyde cam fiber görüntüsünü önlemek,
- Yüzeyin darbelerden daha az etkilenmesi için belli bir esneklik sağlaması.

CTP ürünlerin son katı olarak da yüzey tülü kullanılması halinde, bozuk yüzey görüntüsü önlenilebileceği gibi, levha üzerindeki kalınlık farklılıklarını da dengelemek mümkündür.

3.2 Cam Fiberler

Çizelge 3.1 Değişik camların özellikleri (Cam Elyaf San. A.Ş., 1984)

	Cam Fiber Çeşitleri				
	A	C	E	R	S
SiO ₂ (%)	72,00	64,60	52,40	60,00	64,40
Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₂ (%)	1,50	4,10	14,40	25,00	25,00
CaO (%)	10,00	13,40	17,20	9,00	-
MgO (%)	2,50	3,30	4,60	6,00	10,30
Na ₂ O, K ₂ O (%)	14,20	9,60	0,80	-	0,30
B ₂ O ₃ (%)	-	4,70	10,60	-	-
BaO (%)	-	0,90	-	-	-
Spesifik yoğunluk	2,45	2,45	2,56	2,58	2,49
Kırılma indisi	1,512	1,520	1,548	-	1,523
Tek lif çekme dayanımı (GPa)	3,10	-	3,60	4,40	4,50
Çekme modülü (GPa)	72,00	-	76,00	85,00	86,00
Yumuşama noktası (°C)	700	690	850	990	-

Fiber haline dönüştürülebilecek değişik cam bileşimleri vardır; ancak ticari nedenlerle bunların çok azı kullanılmaktadır. Önceden, cam fiber üretiminde A-camı diğer bir adı ile alkali camı kullanılmaktayken; şimdi E-camı yani elektrik dayanımlı cam kullanılmaktadır. E-camı, çok az alkali içeren boronsilikat camıdır ve çok üstün elektriksel ve mekanik özelliklere sahiptir. Ayrıca kimyasal dayanımı da yüksektir.

Cam fiber üretiminde kullanılan bir diğer cam cinsi, C-camıdır. Kimyasal dayanımı çok üstün bir cam cinsidir ve özellikle yüzey tülü üretiminde kullanılır.

Cam fiberler içinde en çok kullanılan fiber, yüksek dayanım, sıkılık, iyi elektriksel ve aşınma özellikleri nedeniyle E camıdır. C camı, kimyasal korozyona E camından daha dayanıklı olmasına karşın daha zayıf dayanım gösterir ve pahalıdır. S camı ise E camından daha pahalı olmasına karşın yüksek elastiklik modülü nedeniyle yüksek dayanımlı olmasından dolayı

tercih edilir. Ayrıca S camının ısı dayancı, E camına göre daha da yüksektir.

Özel uygulamalar için çok yüksek mekanik dayanımlı R ve S camları da geliştirilmiştir. Bunlar uçak endüstrisinde kullanılmaktadır.

3.3 Kullanılan Başlıca Cam Fiberler

Hazır kalıp bileşimi üretiminde kullanılan fiberler orta sertlikten çok sertliğe kadar değişen sertlik değerlerine sahiptir. Kolay kırılabilme, maksimum reçine penetrasyonu sağlayabilme, demet bütünlüğünü kalıplamadaki akma sırasında koruyabilme niteliklerine sahip olmalıdır.

Yüzeyde dalgalanmaları ve fiber görüntüsünü önlemek için bazı özel önlemler alınmıştır. Fiber çapı 10-17 mikron arasında değişmektedir ve genellikle tek splitli demet kullanılır.

3.3.1 Kırpılmış Demet

Kırpılmış demet, hazır kalıp bileşimi hamuru için veya termoplastiklerin takviyesi için kullanılmaktadır. Uzunlukları, 3 mm ile 50 mm arasında değişmektedir. Ayrıca sürekli cam fiberleri öğütürerek 0,08 mm'den 0,2 mm'ye kadar değişen uzunlukta cam fiberler elde etmek mümkündür. Bu tür fiberler genellikle dolgu malzemesi olarak kullanılırlar. Ayrıca levha yüzeyinde çatlamları ve çekmeleri engellemek ve reçineye tiksotropik özellik kazandırmak içinde kullanılmaktadırlar. Ağırlıkça %40 oranına kadar kullanılmaları mümkündür.

3.3.2 Keçe

Stiren buharlaşma miktarının kanunla kısıtlanması sonucu daha az kullanılır hale gelmiştir. Özellikle kapalı kalıplarda keçe ile CTP üretimi en çok kullanılan üretim prosesi haline gelmişlerdir.

Keçe, kırpılmış cam fiberlerinin tesadüfi bir dağılımından sonra birbirine eklenerek tek düze bir yapı meydana getirmesi ile oluşur. Genellikle kırpılmış fiber boyu 50 mm'dir ve keçe ağırlığı 225-600 gr/m² arasında değişmektedir.

Cam keçeler, değişik amaçlara yönelik, değişik niteliklerde üretilmekle beraber, fiberlerin birbirine bağlanması genelde iki türde olmaktadır: Sıvı bağlayıcı genellikle polivinil asetat emülsiyonu ile; toz bağlayıcı, bisfenolik polyester ile bağlanmayı sağlar.

Bağlayıcı miktarı ve cinsi, keçelere göre farklılık göstermektedir. Bazı keçe türlerinde çabuk çözünen bağlayıcı %3-6 arasında, bazı tür keçelerde geç çözünen bağlayıcı %13-17 arasında

kullanılmaktadır. Yüksek çözünürlüklü bağlayıcı kullanılan keçeler, kısa jelleşme süreli reçineyle, kısa zamanda iyi ıslanma gerektiği durumlarda kullanılmalıdır. Presle kalıplama prosesinde ve hazır kalıp bileşiminin hazırlanmasında, reçineyle fiberin akmasını önlemek için, geç çözünen bağlayıcı keçe kullanılmalıdır.

Cam fiber genellikle tüm polyester reçinelerle uyuşabilir. Krom ve silan bağlayıcılar ile kaplanır. Bazı keçeler, epoksi reçine sistemleri içinde diğerlerine oranla daha iyi sonuç verirler. Bağlayıcıların epoksi reçine sistemleri içinde tamamen erimeleri çok nadirdir ve genellikle sertleşmiş levhada fiber belirgindir.

3.3.3 Cam Dokuma

Cam dokumalar fitillerden ve bükümlü ipliklerden hazırlanmış olarak iki sınıfa ayrılırlar:

Fitil dokuma, E-camından üretilmiş cam fitillerin bükümsüz olarak dokunmasıyla oluşturulur. Fitiller önceden özel bağlayıcı uygulaması ile dokuma prosesinde hazırlanmıştır.

Genellikle dokumalar E-camından yapılırlar. Fakat özel olarak kimyasal dayanımı arttırmak amacı ile C-camından da dokuma yapıldığına rastlanmıştır.

Bükümlü iplikle dokumadan sonra bu bağlayıcı yakılır veya yıkanır ve yerine, kullanılacak reçine sistemiyle uyuşabilen nitelikte nihai bağlayıcı uygulanır. Eğer sıcak temizleme nispeten düşük sıcaklıkta yapılırsa, uygulanmış bağlayıcı bozulabilir ve dokumayı karartır. Ancak çok yüksek sıcaklık uygulaması ile tam beyaz kumaş elde edilebilir. Sıcak temizleme ile bağlayıcı giderilmiş dokumaya, kullanılacak reçine sistemiyle uyum sağlamak amacı ile, değişik bağlayıcılar uygulanabilir. Bunların bazıları; krom, silan, vinilsilan ve aminosilandır ve kullanım amacına göre hazırlanmalıdır.

Cam fiber ile bu bağlayıcıların kullanılmasının bir önemli etkisi, su içerisinde kalan laminantın su absorpsiyonunu azaltmasıdır. Sonuç olarak, sürekli suda kalan levhaların performanslarını, ömürlerini arttırırlar, bükülme mukavemetlerindeki düşmeyi azaltırlar.

Cam kumaşlar, elektrik tesisatlarında, baskılı devrelerde, devre kesici tüplerinde, taşıt gövdelerinde, tank, tekne gibi birçok alanlarda kullanılmaktadırlar. Keza cam dokumalarda birçok alanda mukavemeti ve rijitliği arttırmak için kullanılırlar. Aynı zamanda üretim maliyetini düşürücü etkileri de vardır (Cam Elyaf San. A.Ş., 1984).

3.4 Cam Fiber Üretimi

E-camı, çok sayıda hassas boyutlu delikleri olan, platin alaşımından yapılmış, ısıtılmış kovanlarda dökülür. Sabit ısıda ve yüksek hızda bir bobine sarılan cam fiberler, belirli toleranslar dahilinde istenilen çapta çekilir.

Tüm cam fiber, üretimi sırasında bağlayıcı ile kaplanır. Bu bağlayıcı, hem cam fiberin kullanım özelliğini belirler, hem de lifler arasında aşınmayı engeller. Ayrıca dokuma veya kumaşlarda liflerin bir arada durmasına da yardımcı olur.

Cam fiber üzerine uygulanan bağlayıcı dört değişik ana maddeden oluşur:

- Reçinenin cam fibere bağlanmasını sağlayan “coupling agent” (Genellikle bir organik silikon bileşiği veya silandır).
- Bir film oluşturuucu polimer (Genellikle polivinil asetat emülsiyonu).
- Bir yağlayıcı madde (Genellikle asit amid’dir).
- Antistatik özellik gibi fibere özellik katan diğer maddeler.

Cam fiber, fiber çapına göre sınıflandırılmaktadır. Buradan da “teks” sayısı ortaya çıkmaktadır. “Teks” sayısı yaklaşık 400 liften oluşan cam fiber demetinin 1000 metresinin gr olarak ağırlığıdır. Örneğin ortalama fiber çapı 10 mikron ve 1000 metresi, 80 gr gelen demetin teks 80’dir.

4. SMC KOMPOZİTLERİNDE KULLANILAN DOLGU MADDELERİ

Dolgu maddeleri, sertleştirme prosesi esnasında veya sertleşmiş halde reçine sisteminin özelliklerini değiştirmek için kullanılır (Cam Elyaf San. A.Ş., 1984). Kalsit, dolomit, kil, alüminyumtrihidrat ve diğer katkı maddeleri, yüksek oranlarda kullanıldığında SMC'nin akış özelliklerini değiştirmekte; darbe dayanımını ve rijitliğini arttırmaktadır. Aynı zamanda, termal genleşme katsayısını, boyutsal çekmeye karşı dayanımı ve alev dayanımı da olumlu yönde etkilemektedir.

Dolgu maddeleri, ürün başına düşen matris miktarını azalttığından üretim maliyetinin de düşürülmesini sağlamaktadır. Ayrıca katılacak pigment oranını belirlemeyi sağlar; çekme oranını azalttığı için de, geniş ve düzgün yüzey elde edilir. Polyester reçine türleri, sertleşme sırasında dolgusuz olarak %5-9 arasında hacimsel çekme özelliğini taşımaktadırlar. SMC gibi yüksek dolgu maddesi içeren karışımlarda bu çekme oranı %0,15 seviyesine indirilmiştir. Boyut hassasiyeti ve yüzey performansının önem taşıdığı “düşük kendini çekme” ve “boyut hassasiyeti” nitelikli SMC bileşimi uygulamalarında bu çekme oranı da fazla geldiği için, hacimsel çekme oranını daha da düşürmek amacı ile yüksek molekül ağırlıklı termoplastik katkı kullanılmaktadır ve çekme oranı %0,05 oranına kadar düşürülmüştür. Bu SMC bileşimler, “A” sınıfı yüzey kalitesine sahiptirler (Inoplast, 1998; Cam Elyaf San. A.Ş., 1998; Gadow vd., 2000).

Düşük-profil dolgu maddeleri (LPA), reçineye ilave edildiği zaman, kalıplanan parçada düzgün yüzey elde edilir ve hacimsel çekme sıfıra yakın bir değere indirilir. Zayıf polyester bağının üzerine, polivinilasetat (PVAc) ince bir tabaka oluşturarak, düğümlü (nodular) üç boyulu bir ağ yapısı oluşturur. Bu durum, birçok mekanizmayla açıklanmaya çalışılmıştır; fakat, en iyi dolgu maddeleri ve bunların etkileri deneme yanılma yöntemleri ile geliştirilmiştir. Belirleyici kriter olarak, çekme oranları ve elde edilen yüzey kaliteleri dikkate alınmaktadır (Chan-Park, 1989).

Dolgu maddelerinin kullanımından azami faydayı sağlayabilmek için, kalıplama prosesini ve son kullanım amacını göz önüne alarak, dolgu maddesi seçimi ve kullanılacak dolgu maddesi miktarı belirlenmesi doğru yapılmalıdır. Dolgu maddesi seçiminde başlıca faktörler: üretim maliyeti, yoğunluk, reçinenin dolgu maddesi tarafından absorpsiyonu, dolgu madde miktarı, partikül çap dağılımıdır (Cam Elyaf San. A.Ş., 1984).

Dolgu maddelerinde bulunması istenen özellikler:

- Dolgu Maddesi Miktarı, reçine miktarını etkilemektedir. Miktarın artmasıyla, pahalı olan

reçine miktarının azaltılması mümkündür. Dolayısıyla üretim maliyetinin düşürülmesinde önemli bir faktördür ve geliştirilmiş yüzey yumuşaklığı sağlarlar. Farklı dolgu maddesi ve reçine miktarının değişimi, gerçek SMC hamuru için yükleme viskozite eğrilerinden belirlenmelidir.

- Dolgu Maddesinin Şekli, kireçtaşı ve diğer mineraller, tercih edilmiş kristal sınırlar boyunca, kristalize katılardır. Bu nedenle tanımlı şekil olarak, kübik, rombohedral, tane ve fiber gibi dolgu maddesi şekillerinin farklılığına sebep olurlar. Her ne kadar bu idealleştirilen şekiller, mineral dolgu maddelerinde seyrek gözlenilse de, dolgu maddelerinin şekil farklılıkları polimer sistemlerinde performansta büyük etkilere neden olmaktadır.
- Dolgu Maddesinin Hacmi ve Kütlesi, yoğunluğuyla ilgili olduğundan, dolgu maddesinin yoğunluğu da önemli bir özelliktir. Çünkü dolgu maddesinin yoğunluğu, parça yoğunluğunu direkt etkilemektedir (Hamid, 1993).
- Dolgu Maddesinin Boyut Dağılımı, genellikle dolgu maddelerin partikül çapları 0,015-80 μ arasında değişmektedir. Hangi oranda dolgu maddesi kullanılırsa kullanılsın, partikül çapı küçüldükçe reçine sisteminin viskozitesinde artış görülür (Cam Elyaf San. A.Ş., 1984). Reçinenin fazlalaşması durumunda dolgu maddesinin boyut dağılımı azaltılmalıdır. Azaltılan dolgu maddesinin boyutuna bağlı olarak, reçine ile yapışmayı sağlayacak yüzey artacağından, ayrılmalar engellenecektir (Hamid, 1993).

Levha sistemlerinde, dolgu maddeleri kullanıldığında, partikül çapının 10 μ 'un altında olması tercih edilir. Ancak proses esnasında dolgu maddeleri, cam fiber arasından süzülmecek boyutta olmalıdır.

Dolgu maddelerinin avantajları iki sınıfta sıralanabilir. (Yazılı olan avantajlar, bütün dolgu maddeleri için geçerli değildir)

Dolgu maddesinin sıvı reçine sistemi üzerindeki etkileri:

- viskoziteyi artırır,
- hacmi artırır,
- titrostropi özelliği oluşturur,
- polyester reçinelerle, sertleşmeyi çabuklaştırır veya geciktirir,
- egzotermi düşürür,
- aşındırıcı dolgu maddeleri, kalıplama prosesi esnasında kalıbın aşınmasına neden olur.

Dolgu maddesinin sertleşmiş reçine özellikleri üzerindeki etkileri:

- üretim maliyetini düşürür,
- opaklaştırır (dolgu maddelerinin çoğu)
- darbe mukavemetini artırır,
- eğme mukavemetini artırır,
- sertliği artırır,
- çekmeyi azaltır,
- su absorpsiyonunu artırır,
- aşınma dayanımını artırır,
- elektriksel ve termal özellikleri değiştirir,
- alev geciktirir,
- yük altında deformasyon sıcaklığını artırır,
- aşındırıcı dolgu maddeleri işlenmeyi zorlaştırır.

Dolgu maddelerinin çoğunda rastlanan dezavantaj, reçine sisteminde hava kabarcığı bırakması, dolayısıyla ürünün gözenekli olmasına neden olmasıdır. Bu problem, karıştırma işleminin dikkatle yapılmasıyla giderilebilir (Cam Elyaf San. A.Ş., 1984).

4.1 Karbonatlar

4.1.1 Kalsiyum Karbonat

Polyester reçine sistemleriyle birlikte en çok kullanılan dolgu maddesi kalsiyum karbonattır (Hamid, 1993). Bunun en önemli sebebi de, kalsiyum karbonatın düşük maliyetli olmasıdır. SMC bileşiminin seçiminde, son üründe düşük çekme özelliği sağlar. Dolgu maddesi önemli bir bileşen olarak dikkate alınmaz ama SMC imalatı sırasında, cam fiberin ıslatılmasında, başlangıç akışkanlığının sağlanması için önemli bir rolü vardır. Çünkü kalsiyum karbonatın özellikleri, karışımın viskozitesini değiştirmektedir (Colom, 1990). Partikül çapları üretim metoduna bağlıdır. Yarı amorf şekildeki kalsiyum karbonatlar yüksek reçine emme özelliğine sahiptir.

Levha hazır kalıplama bileşimlerinde genellikle dolgu maddesi olarak kalsiyum karbonat kullanılır. Fakat son ürünün kuvvetli asitlere dayanması isteniyorsa, kalsiyum karbonat kullanılmamalıdır.

Aşındırıcı dolgu maddesi olmaması nedeniyle, sertleşmiş reçine sistemleri kolayca işlenebilmektedir.

4.1.2 Magnezyum Karbonat

Doğada magnezit veya dolomit şeklinde bulunur. Düşük ısı etkisinde hafif bir karbonat meydana getirir. Isı ve konsantrasyon yükseldikçe, molekül ağırlığı yüksek karbonat oluşur. Magnezyum karbonat reçine sistemlerinde antimontrioksit ile birlikte alev geciktirici dolgu maddesi olarak kullanılabilir.

4.2 Silika ve Silikatlar

4.2.1 Kum ve Silikatlar

Polyester ve epoksi reçine sistemleri için kullanılan dolgu maddesidir. Öğütülmüş silikat veya toz kuartz, yüksek aşınma dayanımı gerektiği zaman dolgu maddesi olarak kullanılır. Düşük ısı genleşmesi ve iyi elektriksel yalıtkanlık özelliği gösterirler. Daha çok elektrik alanındaki uygulamalarda, epoksi reçine sistemleri için dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır.

4.2.2 Talk

Sulu magnezyum silikattır ve çok yumuşak bir mineraldir. Termoset reçine sistemlerinde kullanıldığı zaman elektriksel yalıtkanlık, ısı ve rutubet dayanımı sağlar (Hamid, 1993).

4.2.3 Kieselguhr

Silisli alglerden olan diatomeaların opal maddesinden yapılmış olan sert kısımlarıdır (Okay, 1967). Diatomik fosil kalıntılarında bulunan silikattır. Termoset reçine sistemlerinde ısı dayanımını arttırmak, elektriksel özellikleri düzenlemek için kullanılan bir dolgu maddesidir. Aşındırıcı dolgu maddelerindendir; bu nedenle kalıp yüzeyini bozar (Hamid,1993).

4.3 Alüminyum Silikat ve Killer

Termoset reçinelerde akmayı kontrol etmek ve titrostropi sağlamak için dolgu maddesi olarak kullanılabilir.

4.3.1 Kaolen

Temel bileşimi alüminyum silikattır. Yapısı nedeniyle düzgün ve parlak yüzeyler gerektiğinde kullanılabilir. Son derece ince olarak, akmayı kontrol etmek ve titrostropi sağlamak için katkı maddesi olarak kullanılabilir. Üstün elektriksel özellikler gerektiğinde kalsine kaolen kullanılır.

4.3.2 Arduvaz

Toz şeklinde aşınma dayanımı sağlayan kesif tortulu kildir. Çoğunlukla kalıp yüzeyinin dayanıklı olması için kullanılır. Arduvaz dolgu maddeli bileşimler mekanik uygulamalarda zorluk çıkarırlar ve işlenebilmeleri için özel aparatların kullanılması gerekmektedir.

4.3.3 Mika

Potasyum-alüminyum-silikat bileşenlerinden meydana gelmiştir. Potasyum atomları, silikat katları arasında zayıf bağlar kurarlar. Bunun sonucunda kalınlığı 25 μ 'dan daha az ince levha yapısı oluşur. Bu levhalar mükemmel dielektrik dayanımı, düşük ısı iletimi ve iyi bükülme özellikleri gösterirler.

Laminat mika, rijitliği artırır; üstün boyutsal stabilite verir ve üretim maliyetini düşürür.

4.3.4 Vermikülit

Hafifliğin önemli olduğu uygulamalarda, polyester ve epoksi reçine sistemleri için vermiculit düşük yoğunluklu dolgu maddesi olarak kullanılır.

4.4 Alev Geciktirici Dolgu Maddeleri

Antimontrioksit, alüminyumhidroksit ve çeşitli borat ve fosfatları içerirler. Alev geciktirici katkı maddeleri, alev geciktiricilikte dengeyi sağlamak üzere, reçine üreticileri tarafından polyester reçine sistemlerine katılır. Bu denge genellikle birden fazla alev geciktirici katkı maddesini kullanmasıyla mümkün olmaktadır ve uzun süreli geliştirme çalışmaları sonunda sağlanabilmektedir. Alev geciktiricilik, sisteme inert dolgu maddeleri katılarak ve levhadaki reçine miktarı düşürülerek artırılabilir.

Polyester reçine sistemleri ile çoğunlukla, klorlu bileşikler; epoksi reçine sistemleri ile bromlu bileşikler kullanılır. Elektriksel uygulamalarda klorlu bileşimler tercih edilmez; bunun yerine bromlu epoksi reçineler kullanılır.

4.4.1 Antimonoksit

Alev geciktiriciliği sağlamak için, halojenli reçinelere katılarak kullanılan yüksek yoğunlukta tozdur. Yalnız ışık geçirgen olmayan levha üretiminde kullanılabilir. Polyester ve epoksi sistemlerde aynı oranda etkilidir (Cam Elyaf San. A.Ş., 1984).

Yanma esnasında antimontrioksit mevcut halojenle reaksiyona girer ve yanma için gerekli

oksijeni ortamdan çekerek, uçucu antimonklorür veya antimonbromür haline dönüşür (Cam Elyaf San. A.Ş., 1984; Hamid, 1993).

4.4.2 Alüminyumtrihidrat

Alev geciktiriciliği sağlamak için tek başına kullanılan beyaz bir tozdur (Cam Elyaf San. A.Ş., 1984). Bayer alüminyumtrihidratın minimum saflığı, %99; özgül ağırlığı, 2,42 gr/cm³; kırıcı indeksi, 1,579'dur.

Aynı partikül boyutunda kireç taşına göre daha az reçine gerektirir (Hamid, 1993).

200°C civarında alümina ve su olarak ayrışır ve oluşan su buharı alevi bastırır. Bu durum sonucunda da alev geciktirici özellik ortaya çıkar (Cam Elyaf San. A.Ş., 1984). Antimona göre, alev geciktiriciliği etkileyen gazlar, zehirli olmadığından alüminyumtrihidrat önem taşımaktadır (Hamid, 1993).

4.4.3 Barit

SMC bileşimlerinde X ışını donukluğu için kullanılırlar. Bu dolgu maddesi ile oluşturulmuş son ürünlerde mükemmel asit dayanımı mevcuttur. Silika dolgu maddeleriyle karşılaştırıldığında, daha abrasif dolgu maddeleridir.

Özgül ağırlıklarının yüksek olması nedeniyle, uygulamalarda zorluk çıkarırlar (Hamid, 1993).

4.5 Viskozite Arttırıcı Katkı Maddeleri

İstenilen derecede tiksotropi elde etmek üzere, viskoz tiksotropik pastalar ticari olarak bulunmaktadır.

Viskozite arttırıcı katkı maddelerinin en çok kullanılanlarından biri, 0,015 µ partikül çapında ve çok yüksek yüzey alanına sahip olan silika aerojeldir. Tiksotropiyi sağlamak için genellikle %2 civarında katılması yeterlidir. Polyester ve epoksi reçinelerle tesirli şekilde kullanılabilir. Etkisini kuvvetlendirmek için, düşük oranda su veya glükol ilavesi gerekebilir.

Epoksi reçine sistemleri ile, tiksotropiyi sağlamak için, viskozite arttırıcı katkı maddesi olarak silika aerjel kullanıldığında, küçük miktarda (%0,5) trietanolamin asetat, polihidrik alkol veya su ilavesi gerekebilir.

Polyester reçine sistemleriyle kullanılan diğer viskozite arttırıcı maddeler arasında, hidrojene edilmiş hint yağı, uzun zincirli alifatik amin, modifiye edilmiş bentonit killer sayılabilir.

Diğer bazı dolgu maddeleri reçinelere katıldıklarında değişik derecelerde viskozite artırırlar, ancak bu maddelerin silika aerojel'e oranla daha fazla katılması gerekir ve polyester reçinelerin reaktivitelerini önemli ölçüde değiştirirler.

4.6 Pigmentler ve Boyalar

Polyester ve epoksi reçine sistemleri şeffaf boyalarla veya pigmentlerle renklendirilebilirler. Boyalar, polyester reçine sistemlerinde kullanıldıklarında, peroksit katalizörlerle; epoksi reçinelerle kullanılması durumunda ise, aminle ve anhidrid sertleştiriciyle kendi arasında reaksiyon vermemelidirler.

Pigmentler ticari olarak toz halinde veya polyester, epoksi gibi reçinelerde veya ftalat plastifiyanlarda dağılmış halde bulunabilirler. Ayrıca karıştırma aygıtı veya karıştırma işlemi gerektirmemesi nedeniyle üreticilerin çoğunluğu dispersiyon halindeki pigment pastaları tercih etmektedirler.

Bazı pigmentlerin polyester sistemleri ile kullanıldıklarında hızlandırıcı veya geciktirici etkileri olabilir. Epoksi reçine sistemlerinin sertleşmesinde bu tür etkileri genellikle yoktur.

Üreticilerin gereksinimlerini karşılayacak çeşitlilikte pigment pastalar piyasada mevcuttur. Renk pastalarının reçineyi renklendirmesinde, sertleşmenin renk üzerindeki etkisi göz önüne alınmalıdır. Bu nedenle, renkler sıvı reçine sistemlerinde değil, sertleşmiş reçine sistemlerinde test edilmelidir.

Her pigment pasta, her çeşit reçine sistemine uygun değildir. Hangisinin uygun olduğu deneyler sonucu seçilmelidir ve büyük ölçüde kullanıma geçilmeden önce deneme yapılarak uygunluk testi yapılmalıdır.

4.7 Işık Stabilizatörleri

Dış hava koşullarında kullanılacak polyester reçine ürünlerin ve ışık geçirgen levhaların uzun süre güneş ışınları etkisinde sararma göstermemeleri önemlidir. Renk atmasının başlıca nedeni, reçine sisteminin degregasyonuna yol açan UV ışınlarına maruz kalmasıdır. Bu problemin giderilmesi amacı ile reçine sistemine %1'e kadar UV stabilizatörleri ilave edilebilir. Bu amaçla kullanılan bileşimler 2-hidroksi-4-metoksi benzofenon, fenil salisilat ve asetilsalisilik asit gibi hidroksi benzofenon türevleridir. Bu bileşimler trietil fosfit ve epoksi yağlarla karışım halinde kullanılabilir.

4.8 Bağlayıcılar

Bağlayıcılar cam fiberler üzerine, reçine matrisinin cama bağlanmasını sağlamak amacıyla uygulanırlar. Bu uygulamanın amacı, sıvı içine daldırılmış kompozitin mekanik özelliklerini arttırmaktır. Bağlayıcı kullanıldığı taktirde sıvı -özellikle su- reçine matrisi ile cam arasındaki bağı zayıflatır veya tahrip eder. Bağlantı bozukluğu levhada mekanik özelliklerin düşmesine neden olur. Cam fiberlere uygun bir bağlayıcı uygulanarak, mukavemet değerlerindeki bu azalma önemli ölçüde giderilebilir. Bağlayıcılar dolgu maddeleri ile birlikte de kullanılabilirler. Bir diğer uygulama da silan bağlayıcıların reçine sistemi içinde bulunan dolgu maddelerini etkilemek üzere sisteme ilave edilmesidir. Örneğin alev geciktirici amaçla kullanılan alüminyum hidroksit ile uygulandıklarında, sistemin viskozitesini düşürerek yanma dayanımını arttıran dolgu maddesinden, daha fazla kullanılabilmesine imkan vermektedir.

Silan bağlayıcılar dolgu maddesi kullanım miktarını arttırmak amacı ile diğer dolgu maddeleriyle birlikte de kullanılabilirler. Normal kullanım oranı %0,5-1 arasındadır.

Cam takviye malzemelerinde her ne kadar genellikle silan esaslı bağlayıcılar kullanılıyorsa da, bazen krom esaslı bağlayıcılar da kullanılmaktadır. Başlıca silan bağlayıcı türleri şöyle sıralanabilir:

- Vinil trietoksi silan
- Metil trietoksi silan
- Metil trimetoksi silan
- Vinil tris (2-metoksi etoksi) silan
- Metakrilaksi propil trimetoksi silan
- Amino propil trietoksi silan

Bu silan bağlayıcı türleri dışında birçok silan esaslı bağlayıcı mevcuttur.

Dolgu maddesinin yapışmasını arttırmak amacı ile reçine matrisine ilave edilebilen uygun diğer bağlayıcı türleri de organo-titanyum bileşikleridir. Bunlar dolgu oranına göre %0,5-1 oranında kullanılırlar ve dolgu maddesinin daha fazla ilave edilebilmesini sağlarlar. Polyester reçineler için bu amaçla kullanılan organo titanyum bileşiklerinin en önemlisi izopropil tridodesil benzen sülfanil titanittir (Cam Elyaf San. A.Ş., 1984).

4.9 Katalizörler

Polyester reçinelerin polimerize edilerek sertleştirilmesi, bir katalizör kullanımı

gerektirmektedir. Sertleşmenin hızlı olmasını sağlamak amacıyla ilave edilen katalizörler, kalıplama sırasında oluşan 120-160°C sıcaklıklarda reaksiyona girmektedirler. Ancak hızlı sertleşme, özellikle karmaşık şekilli kalıplarda akma bozukluklarına neden olabilir. Aynı zamanda, pestilin kullanım süresini de olumsuz olarak etkileyebilir.

Katalizör olarak, çeşitli organik peroksitler kullanılmaktadır. Peroksitler, genel tanım olarak, bünyesinde yan yana iki oksijen atomu bulunduran kimyasal maddelerdir.

Peroksitlerin katalizör olarak kullanılması, serbest radikallerine kolayca ayrılabilmesi ve monomer zincirlerini ucuna kendini bağlayarak reaksiyonu başlatabilme özelliğinden kaynaklanmaktadır. Reaksiyonu başlattıktan sonra radikaller, sırası ile ortamda bulunan bütün monomer zincirlerinin birbirine bağlanmasını sağlayarak bünyeden çekilmektedir. Yani, katalizör olarak kullanılan peroksitler, reaksiyonu başlatmakta, sürdürmekte ve polimerize olan moleküllerin bünyesinde kalmamaktadır. Peroksitlerin radikallerine ayrılması, ışık etkisi, ısı etkisi veya kimyasal katkıların etkisi ile oluşmaktadır.

Işığın peroksitler üzerine etkisi, "Light Curing" için kullanılanların dışında kontrolsüz bir reaksiyon oluşturduğundan, peroksitlerin kapalı ve ışısız bir ortamda depolanması tavsiye edilir.

Peroksitler, ısı altında da reaksiyona sokulabilmektedir. Farklı nitelikteki peroksitler, farklı sıcaklıklarda reaksiyona girmektedir. Bu nedenle, sıcak kalıplama metotları kullanıldığında, yüksek sıcaklıklarda reaksiyona giren peroksitler kullanılmaktadır.

Çizelge 4.1 SMC için kullanılan katalizörler (Cam Elyaf San. A.Ş., 1997)

Cinsi	Kullanıldığı Sıcaklık (°C)	Kullanıldığı Oran (%)	Kimyasal Yapısı
t-Bütil hidroperoksit	60-110	0,5-3	Hidro peroksit
Dizopropil benzen mono hidroperoksit	60-110	0,5-3	Hidro peroksit
Benzoil peroksit	80-150	1-2 (Toz)	Diaçil peroksit
t-Bütil perbenzoat	90-150	1-3	Peroksi ketal
Ditersiye bütil peroksit trimetil siklohegzanon	70-150	1-3	Peroksi ketal

Oda sıcaklığında yapılan kalıplamalarda, peroksitleri reaksiyona sokmak için, indirgen özellikli kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Bunlar, genellikle kobalt ve vanadyum metallerinin organik tuzlarıdır (Kobalt naftanat, Kobalt oktoat v.b.).

4.10 Kalıp Ayırıcılar

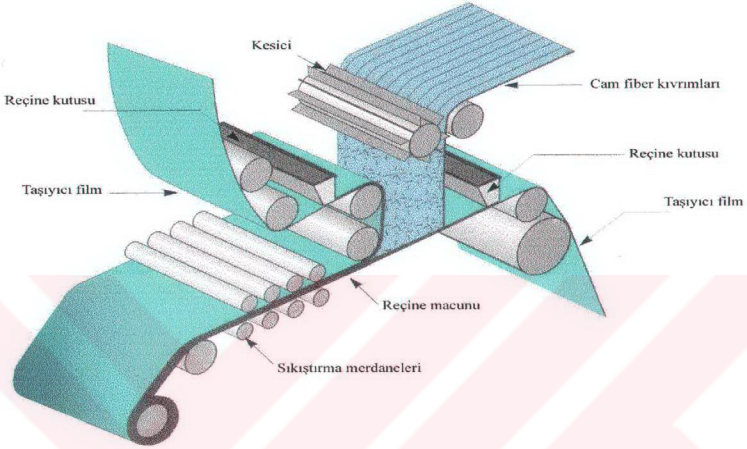
Kalıp ayırıcılar, kalıp ile şekillendirilen ürün arasında çok ince bir film tabakası oluşturarak, şekillendirilen ürünün kalıptan kolaylıkla çıkartılması ve kalıba zarar verilmemesi amacı ile kullanılmaktadır. İç kalıp ayırıcı olarak, 130°C'nin üstündeki sıcaklıklarda metal stearatlar kullanılmaktadırlar.

Piyasada bir çok kalıp ayırıcı markası ve çeşitleri bulunmakla birlikte, kullanılan temel hammaddeler ve işlev olarak birbirine çok yakın özellikler göstermektedir (Cam Elyaf San. A.Ş., 1998).

İç kalıp ayırıcılar, özellikle sıcak kalıplamalarda kullanıldığı için SMC'de tercih edilen kalıp ayırıcılardır ve reçine içine katılarak kullanılmaktadırlar. Ortam sıcaklığında, reaksiyona girmemesi nedeniyle, kullanılan reçine özelliklerinde herhangi bir değişiklik oluşturmamakla birlikte, kalıplama sırasında, kalıp ısısının etkisi ile, kalıp ayırıcı, ürünün kütlesi içinden, kalıp yüzeyine doğru harekete geçmekte ve kalıpla, ürün arasında ince bir film tabakası oluşturmaktadır (Cam Elyaf San. A.Ş., 1984).

5. SMC ÜRETİM YÖNTEMİ

SMC ürünleri, enine kesitte sıvı, fiber ve tozlaştırılmış bileşenlerin, genellikle 4 mm kalınlığında ve 1.500 mm uzunluğunda levha ürünleridir. Tabakalar, silindirlerle sıkıştırılarak, büyük kovanlarda sarılır. Şekil 5.1’de SMC imalat yöntemi şematik olarak verilmiştir.



Şekil 5.1 SMC imalat yöntemi (Inoplast, 1998)

SMC levhalar, genellikle iki kademeli bir proses ile üretilmektedir. Birinci kademede, polyester reçine dolgu ve katkı maddeleri, yüksek hızlı bir mikserde karıştırılarak yüksek viskoziteli bir pestil haline getirilmektedir.

Çizelge 5.1 SMC üretiminde kullanılan tipik bileşim (Cam Elyaf San. A.Ş., 1997)

Girdiler	SMC kompozisyonu (ağırlıkça) %
Polyester reçine	100
t-Bütil perbenzoat (katalizör)	2-3
Çinko stearat (kalıp ayırıcı)	3-4
Magnezyum oksit (viskozite arttırıcı)	2-3
Dolgu maddesi	140-180
Pigment	5-8
Termoplastik katkı	5-20
Cam elyafı takviyesi	50-100

Çizelge 5.2 Sınıf “A” SMC kompozisyonu (Inoplast, 1998)

Malzeme Bileşenleri	% Ağırlık	% Hacim
Polyester Reçine	20-27	33-42
Cam	25-30	18-30
Dolgu Maddesi	40-50	29-39
Diğerleri (başlatıcılar, yoğunlaştırıcılar, kalıp ayırma maddeleri, vb.)	3-5	6-8

Reçine yapıştırıcı uygulanmadan önce, sıyırma bıçağı ile taşıyıcı filmin üzerindeki çöküntüler düzeltilir. Sıyırma bıçağı kontrollerinden sonra reçine uygulanır.

Eş zamanlı olarak, silindirik kuyruklu döner bıçak cam fiberleri kırarak reçine kaplanmış taşıyıcı film üzerine besleme yapar. Fiberler, genellikle 25 mm (fakat 12 mm ile 50 mm arasında) değişen boyutlarda, rasgele biçimlenmiş şekilde reçine yapıştırıcı üzerine serilir; fakat, genellikle taşıyıcı filmin ilerleyiş yönüne bir parça paralel konumda kendiliğinden düzenlenme görülür. Taşıyıcı filmin hızı ile camın miktarı kontrol edilebilir. Kırpma işlemi, işlem akış yönündedir. Üzeri tekrar reçine yapıştırıcı ve taşıyıcı film tabakaları ile kaplanır. Şekil 5.2’de kırılmış cam fiberleri görülmektedir. Sandviç formuna gelen reçine yapıştırıcı ve cam fiberleri, sıkıştırma silindirlerinden geçirilip, yapışma sağlanırken; tabakalar içersinde bulunan hava kabarcıkları da tahliye edilir. Sıkıştırma silindirlerinden çıkan SMC tabakalar sarılarak veya katlanarak kovanlarda saklanır. Tabakalar, stiren buharlaşmayı engelleyecek şekilde, bir film ile kaplanarak depolanılmalıdır.



Şekil 5.2 Bilgisayar kontrollü doyurma yöntemi; reçine tabakaları arasındaki cam fiberin görünümü (Inoplast, 1998)

Sıyırma bıçağında SMC reçine tabakasının viskozitesi, 20.000-40.000 mPa.s’dir (akıcı

kıvamlı, bal yoğunluğunda). SMC, kalıplama için kullanılmadan önce yaşlandırılmalı ya da olgunlaştırılmalıdır (Şekil 5.3). Bu süre yoğunlaştırma kimyasında göreceli düşük viskoziteli reçineye uygun olmalıdır. SMC istenilen kalıplama viskozitesine yaklaşık 3 ile 5 gün arasında ulaşmaktadır. Süre, hızlandırılmış ısıtma teknikleri kullanılarak ve kimyasal teknoloji de değişimler yapılarak kısaltılabilir, neredeyse anlık pişirmeler sağlanabilir. Bu noktada SMC tabakasının viskozitesi $40-100 \times 10^6$ mPa.s civarına ulaşmaktadır (yüzeye yakın bir yoğunluk).



Şekil 5.3 Olgunlaştırma askılarında SMC ruloları (Inoplast, 1998)

SMC’de kalıplama viskozitesine ulaşıldıktan sonra da yoğunlaşma devam eder ve bu yüzden sınırlı raf ömrüne sahiptir. Genellikle SMC, üretim gününden birkaç hafta ya da birkaç ay içinde kullanılmalıdır. Bu zaman çerçevesi, SMC fomülasyonuna ve depolama şartlarına bağlı olarak uzatılabilir ya da azaltılabilir (Cam Elyaf San. A.Ş., 1998; Schwartz, 1992; Gibson, 1994; Inoplast, 1998; Ünal vd., 2000; Gadow vd., 2000).

6. SMC KOMPOZİTLERİNİN KALIPLANMASI

SMC'nin en önemli özelliği, sıcak pres altında kalıplanmasıdır. Böylece, seri üretim yapılabilmesi, karmaşık şekillerin kalıplanabilmesi, farklı cidar kalınlıklarının elde edilmesi mümkün olmaktadır.

SMC'nin kalıplanmasında en çok kullanılan metot, basınç altında kalıplamadır. Kalıplamada kullanılacak hidrolik preslerin, kalıp yüzeyine 50-70 kgf/cm²lik bir basınç uygulayabilecek nitelikte olması gerekmektedir.

Büyük seri üretimlerde, krom kaplanarak sertleştirilmiş çelik malzemeden; küçük seri üretimlerde, yumuşak metal malzemeden yapılan kalıpların yaklaşık 170°C sıcaklığa kadar ısıtılması, genellikle elektrik rezistans çubukları ve sıcak yağ dolaşımı ile sağlanmaktadır.

SMC pestil, belirlenmiş ölçülere göre kesildikten sonra, tartılmakta ve üzerindeki taşıyıcı-koruyucu polietilen film tabakası kaldırıldıktan sonra kalıp yüzeyinin yaklaşık %60-80'ini kaplayacak şekilde kalıp içine yerleştirilir.

Kalıplama süresi sonunda kalıp açılır ve kalıplanmış ürün, kalıptan çıkartılarak bir master üzerinde soğumaya bırakılır. Soğutma işleminde master kullanılmasının amacı, ürünün deforme olmasını önlemektir. Kalıplanan ürün soğutulduktan sonra kenar düzeltme işlemi yapılır ve gerekiyorsa boyanabilir. Boyama işlemini kalıp içerisinde de yapmak mümkündür. Preslenen ürün kalıptan çıkarılmadan önce, karmaşık bir düzeneğe ile toz veya sıvı haldeki renkli kalıplama malzemesi püskürtülerek, renklendirme işlemi kalıp içinde sağlanabilmektedir. Böylece, parçanın daha sonra ek işlem olan boyanmasına gerek kalmamakta ve çok daha düzgün yüzey performansı elde edilmektedir.



Şekil 6.1 Fransız Inoplast firmasının SMC kalıplamada kullandığı pres (Inoplast, 1998)

SMC'nin kalıplanmasında kullanılan hidrolik preslerde, son yıllarda yapılan gelişmeler sayesinde, paralellik kontrolü, açma/kapatma oranları kontrolü gibi parametreler kontrol altına alınabilmekte, tüm kontrol işlemlerinin bilgisayar aracılığı ile yapılması ve kaydedilmesi mümkün olabilmektedir. Ayrıca kalıba otomatik besleme ve boşaltma da yapılabilmektedir. Bu tür gelişmeler, özellikle seri üretim ihtiyacı olan otomotiv sektöründe kullanılmaktadır (Cam Elyaf San. A.Ş., 1997; Schwartz, 1992; Gibson, 1994; Inoplast, 1998).

6.1 SMC İçin Kullanılan Kalıp Malzemeleri

SMC gibi yüksek basınçlı ve sıcak şekillendirme metotlarında kullanılan çelik kalıplar, erkek ve dişi olmak üzere iki parçalı olarak üretilmektedir.

Çelik kalıplar, polyester kalıplarda olduğu gibi bir model gerektirmemekte, çelik blok, kalıp tezgahında mekanik olarak işlenerek hazırlanmaktadır. Bu nedenle, çelik kalıp yapımı için özel metal işleme tezgah donanımı gerekmektedir.

Çelik kalıplar, genellikle atölye dışında, özel kalıp imalatçılarına yaptırılmaktadır. Çelik kalıpların bünyesinde su buharı veya kızgın yağ dolaşımı ile ısıtma sağlamak üzere rezistans yuvaları yapılması gereklidir. Ayrıca, şekillendirilen ürünün kalıptan kolay çıkmasını sağlamak üzere itici sistem de olmalıdır.

Çelik kalıp kullanılarak yapılan sıcak kalıplamalarda ısı dağılımı çok önemlidir ve kalıp yüzeyinde iki farklı noktada ölçülerek sıcaklık farkı toleransı, literatürde $\pm 2^{\circ}\text{C}$ olarak belirtilmektedir.

Çelik kalıplarda dikkate alınması gereken bir diğer nokta ölçülendirmedir. Reçinenin çekme özelliklerinin yanı sıra, çelik malzemenin ısısal genleşme özellikleri de ölçülendirme için önemli bir etkidir. Kullanılacak çelik kalıpta, kalıplanacak ürünün kenar düzeltme işlemlerinin en aza indirilmesi için, kalıbın taşma kanallarının dar tutulması gerekmektedir.

SMC kalıplamada kullanılan diğer bir malzeme ise metal döküm kalıplardır. Az sayıda ürün kalıplanacaksa, göreceli olarak ucuz kalıplardır.

Önceden tasarlanmış şekle uygun bir model üzerine döküldükten sonra yüzeyi hassas olarak işlenmektedir. Yumuşak bir yüzeye sahip hafif metalden yapıldığı için işlenmesi hem göreceli daha kolay, hem de daha ucuza mal olmaktadır. İşleme şekli ve prensipleri bakımından çelik kalıplarla benzerdir; fakat kalıp ömrü olarak çelik kalıplardan daha kısadır ve daha düşük yüzey performans özelliklerine sahiptirler (Cam Elyaf San. A.Ş., 1997).

Çizelge 6.1 Kalıp malzemelerinin karşılaştırılması (Cam Elyaf San. A.Ş., 1998)

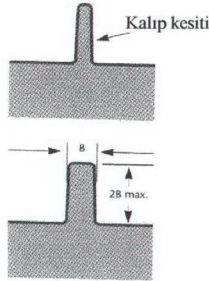
Özellikler	Malzeme	
	Alüminyum döküm	Çelik
Kalıp cinsi	Alüminyum	Krom kaplı çelik
Yüzey cinsi	Alüminyum	Krom kaplı çelik
Kalıplama adeti	10000-30000	250000-500000
Göreceli maliyet	7	20
Avantajı	Minimum hassasiyet	Yüksek performans/ kullanım ömrü
Dezavantajı	Kırılganlık/küçük kalıp	Yüksek üretim maliyeti/ ağırlık
Yorum	Düzgün yüzey için yeterli değildir.	Seri üretim için uygundur

6.2 Kalıp Tasarımında Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

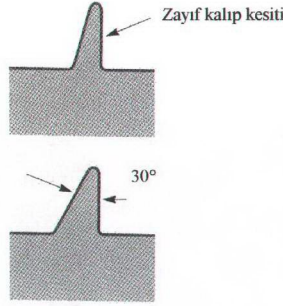
SMC bileşimi belirlendiğinde, tasarım mühendisi, hacimsel çekilmeye neden olacak faktörleri dikkate alarak kalıbı tasarlanmalıdır. Üretim onayı verilmeden önce, SMC bileşiminde yapılacak değişiklikler, parça uygunluğu ve performans açısından doğrulanmalıdır.

6.2.1 Parça Dizaynının Kalıp Dayanımına Etkileri

Tipik kalıplama basınçlarında (50-100 Bar), malzemenin akışı nedeniyle kalıpta oluşan gerilmeler dikkate alınmalıdır. Dengesiz akışlardan dolayı ortaya çıkan bu tür gerilmeler, kalıp yüzeyinde bükülme veya kırılmalara neden olmaktadır. Bunu önlemek amacıyla kalıp projesinde, kalıp kesiti daraltılmaktadır. Kalıp içinde yeterli kuvvetin ayarlanabilmesi için SMC parçalarda, herhangi bir kalıp kesitinin yüksekliği, et kalınlığının iki mislini geçmemelidir (Şekil 6.2). Açısal kalıp kesitleri, 30°'den daha az olmamalıdır (Şekil 6.3).



Şekil 6.2 Düz kalıp kesitleri (Inoplast, 1998)

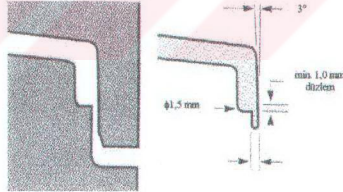


Şekil 6.3 Açısal kalıp kesitleri (Inoplast, 1998)

6.2.2 Parça Dizaynının Kesme Kenarlarına Etkileri

6.2.2.1 Tavsiye Edilen Kesme Kenarı Dizaynı

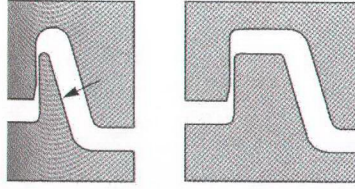
Kesme kenarı için aşağıdaki tasarım kriteri incelenmelidir. Taslaktaki gibi dönen kenarlarda, açı minimum 3° olmalıdır. Kalıp boşluğu ve çekirdek yarımlarının birbirlerine temas etmemesini sağlamak için, minimum 1 mm nominal düz açıklık sağlanmalıdır. Parça kenarında, yüzey normali sağlanmalıdır. Kalıp bitiğinde, $\pm 20^\circ$ ve $\phi 0,05-0,15$ mm yarıçapında açısal toleransa izin verilmelidir (Şekil 6.4).



Şekil 6.4 Kesme kenarlarında parça tasarım şartları (Inoplast, 1998)

6.2.2.2 Bıçak Kenarları

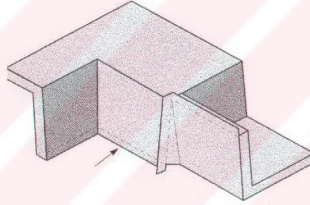
Bıçak kenarlarından kaçınılmalıdır. Bıçak kenarları, basınç altındaki kalıplamada, ince kalıp kesitinde eğilmelere veya kırılmalara neden olabilir. Bunları önlemek için, parça kenarlarına minimum 5 mm yanlık (flange) eklenmelidir (Şekil 6.5).



Şekil 6.5 Bıçak kenarları (Inoplast, 1998)

6.2.2.3 Ters Kesme

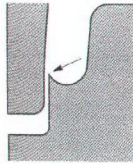
Bütün taslak parçanın dış kenarı etrafında, aynı yönde yönlenmenin olması tavsiye edilmektedir. Kesme kenarlarının ters döndürülmesi mümkün olmasına rağmen, kalıp karmaşıklığı ve bakım koşulları azaltılmalıdır (Şekil 6.6).



Şekil 6.6 Ters kesme kenarları (Inoplast, 1998)

6.2.2.4 Yarıçaplı ve Açılı Kesme

Basıncılı kalıplamada, parçaların kesme kenarları, keskin kesme açıları ve yarıçapları ile tasarlanmamalıdır. Kesme kenarlarındaki keskin açı ve yarıçaplar, kalıplama basıncını dayanamayan erkek kalıpta çok ince kenarı gerektirmektedir (Şekil 6.7).

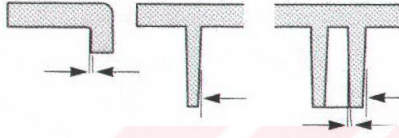


Şekil 6.7 Kesme kenarı (Inoplast, 1998)

6.2.3 Parça Dizaynının Parçanın Kalıptan Çıkarılmasına Etkileri

6.2.3.1 Parçanın Çıkarılması İçin Tasarım Açıları

Görünmeyen alanlar için, malzeme akışı ve parçanın kalıptan çıkarılmasının kolay olması için tasarımın mümkün olduğu kadar açık tutulmalıdır. Bitişik bir panel ile dar toleranslı dönüş flanşları için tasarım açısı $1,5^\circ$; diğer dönüş flanşlarında tasarım açısı, $3-5^\circ$ 'dir. Görünmeyen kirişlerde her yerde $1,0^\circ$; A sınıfı yüzeylerdeki kirişlerde her yerde $0,5^\circ$ 'lik tasarım açısı kullanılmalıdır.



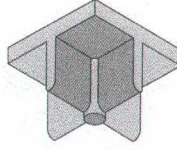
Şekil 6.8 Dönüş flanşı ve kirişler (Inoplast, 1998)

Çizelge 6.2 Parçanın çıkarılması için tavsiye edilen açılar (Inoplast, 1998)

Kalıp Bölümü	Görünmeyen Yüzeyler	A Sınıfı Yüzeyler
Dönüş flanşları	$1,5^\circ$	Kalıp kaplamasında $1,5^\circ$ Kalıp kaplaması ile $3,0^\circ$
Kirişler	Her bir yanda $1,0^\circ$	Sadece bölgelendirilmiş alanlar içinde her bir yana $0,5^\circ$
Dış çıkıntılar	İtici kovan ile $0,25^\circ$ İtici kovansız $1,5^\circ$	Gerekli itici kovan ile $0,25^\circ$
İç çıkıntılar	$0,25^\circ$	$0,25^\circ$

6.2.3.2 İtici Pimler

Kalıplanan parçanın kalıptan çıkarıldığı an paralelliğini koruması ve kalıptan kolaylıkla çıkarılması için, kalıpların çoğunda itici pimler veya hava üfleme boşlukları bulunur. Bunlar kalıptan bağımsız olabileceği gibi, kalıpla kombinasyon halinde de olabilirler. İtici pimler, özellikle kirişler gibi küçük tasarımlı parçalar için kritik durum arz ederken, bazı durumlarda iki kirişin kesişim bölgesine de itici pim çıkıntıları yerleştirmek avantajlı olabilmektedir. Çünkü kirişler, kalıptan çıkarma basıncını uygulamak için rijit bir alan sağlarlar.



Şekil 6.9 İtici pimler (Inoplast, 1998)

6.2.3.3 Hava Boşlukları

A sınıfı kalıplanmış parçaların kalıptan çıkarılmasını kolaylaştırmak amacıyla, kalıplarda hidrolik hareketlendirilmiş hava boşluklarının olması arzu edilmektedir. Bunlar, parça üzerinde iz bırakmaksızın parçanın gizli/delinmiş bölgesine yerleştirile bilinmektedir.

6.2.4 Parça Dizaynının Kalıp Bakımına Etkileri

6.2.4.1 Kalıp Koruma

SMC bileşimindeki cam fiberler, zamanla kalıp yüzeyinin aşınmasına neden olurlar. Kalıp ana metalinin aşınmasını engellemek ve kalıbı daha uzun süreli kullanabilmek için; kalıp yüzeyi, ana metalden daha sert olan bir malzemeyle kaplanmalıdır. Kaplama malzemesi olarak, genellikle nikel ve krom kullanılmaktadır. Ayrıca kalıp yüzeyi ile sürtünmeyi azalttığından, malzeme akışının daha iyi olmasını sağlamaktadır. Kalıp ana metalinin üzerindeki Cr-Ni kaplama zamanla aşınır. Ana metal görülecek kadar bir aşınma veya kalıplanan parçanın yüzey kalitesinin istenilen sınırların altına düşmesi söz konusu ise, kaplamanın yenilenmesi gerekir. Genellikle kaplama yenilemeye, 100.000-150.000 kalıplama sonunda gerek duyulur. Ancak dar yarıçap veya kırımların olması durumunda kalıplama sayısı 50.000'e kadar düşebilir.

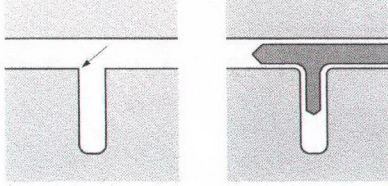
Kaplamanın yenilenmesi sırasında kalıp kullanılamayacağından, kullanım süresinin mümkün olduğunca uzun tutulması avantajlıdır. Bunun içinde kritik olmayan yüzeylerde, kritik yarıçapın daha büyük seçilmesi gerekmektedir.

6.2.4.2 Kesme Kenarları

Kesme kenarları uygun olarak dizayn edildiğinde, uygun sıcaklık ve paralelliğin sürdürüldüğü yerde kullanıldığı süre içerisinde en az bakımı gerektirir. Genellikle kalıp tekrar kalıplama için kaldırıldığında tekrar parlatılır.

6.2.4.3 Kirişler

Kiriş içeren kalıplar genellikle kalıp kırılması yüzünden aşırı bakım gerektirirler. SMC kalıp boşluğunda aktığında, kalıbın dış köşeleri, kalıp yüzeylerinden daha fazla aşınırlar. Kirişlerin tabanını oluşturan yüzeyler zamanla daha geniş taban oluşturarak aşınmaya başlarlar (Şekil 6.10). Daha geniş taban malzemesi kütlesini artırır ki, o bölgede çekme ve giriş çukuru artar.

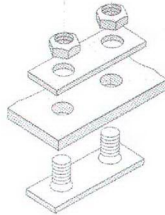


Şekil 6.10 Kirişler (Inoplast, 1998)

6.2.5 Vida Kılavuzlu Levhalar

Vida kılavuzlu levhalar, kabul edilen bağlantılar için vida dişleri ile düz ya da şekilli metalden oluşur. Vida dişleri, metal içinde kaynak somunlar, kafeslenmiş somun montajları ya da şekilli vida dişleri içeren şekillerde yapılabilmektedir.

Büyük alan üzerine yükleri dağıtmak için kullanılırlar ve yüklerin çıkıntı oluşturma dayanımlarını aştığı yerlerde tavsiye edilmektedirler. Vida kılavuzlu levhalar, iki panel arasında bağlama, perçinleme ve tutturma yöntemlerini içermektedir. Levhalar sadece iç panellerde ve görünmeyen alanlarda kullanılmalıdır.



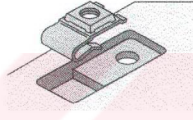
Şekil 6.11 Somun-vida bağlantısı (Inoplast, 1998)

6.2.5.1 Bağlantı Yerleri

Panellerde oluşturulan boşluklar ile yapılan vida dişli bağlantılar SMC paneller için kullanılan en yaygın birleştirme yöntemidir. Paneldeki boşluk ölçüsü, bağlantı ölçüleri ve ilave toleranslar yardımıyla belirlenebilir. Boşluk için kenar mesafesi, çapın yarısına eşit olmalıdır; fakat, hiçbir zaman 5 mm'den küçük olmamalıdır. Cıvata-conta montajları, bağlantı etrafında yüklerin dağıtılması için kullanılmalıdır.

6.2.5.2 U-Somun ve J-Somun

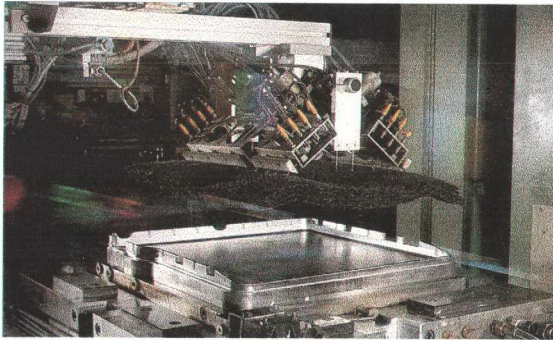
U somun ve J somun için aralık delikleri, SMC panelleri içinde kolaylıkla oluşturulabilmektedir.



Şekil 6.12 Somun aralık deliği (Inoplast, 1998)

6.3 SMC Plakasının Kesilmesi ve Kalıba Yerleştirilmesi

SMC, kalıplama için hazır olduğu zaman, malzeme kesme masasına yayılır ve önceden belirlenmiş ölçü ve şekilde kesilir. Kesme masası, genellikle kalıba uygun yakınlıktadır. Kesme işlemi, bazı yüksek hacim uygulamaları otomatikleştirilmesine rağmen (Şekil 6.13), genellikle basma operatörü vasıtasıyla bir mastar ve math bıçağı ile elle yapılır.



Şekil 6.13 SMC'nin iğne manipülatörleri ile yerleştirilmesi (Inoplast, 1998)

Kesilmiş parçalar, sonra yığılır ve kalıp boşluğunu doldurmak için uygun şekil ve hacim olarak belirlenmiş bir yük modelinin içinde birleştirilir. Yük modeli, normal olarak ön üretim kalıplama denemeleri esnasında fabrika proses mühendisi tarafından geliştirilir.

Yük modeli sonra yük ağırlığının doğruluğunun onaylanması için tartılır ve bundan dolayı gerekliyse eğer malzeme ilave ederek ya da kaldırarak ayarlanır. Proses değişikliklerinden kaçınmak için mümkün olduğu kadar tam ve sürekli olarak yük modelini dengelemek ve birleştirmek önemlidir.

Önceden birleştirilmiş yük, sonra ön üretim kalıplama denemeleri esnasında ısıtılmış kalıp yüzeyine yerleştirilir. Büyük ya da kanşık parçalar üzerinde yük, kısımlar içine yerleştirilebilir. Uygun yerleştirme, tekrarlayan yüksek kaliteli parçalar için kılavuzdur. Yük model yerleşiminde bir değişme, malzeme akış özelliklerinde bir değişmeye sebep olabilir. Sonuçta, fiber yönelmesi düşük gerilmelerden yüksek gerilme alanlarına kadar örnek hatlarının tekrar yerleşimi ya da çeşitli yüzey hataları olabilir.

6.4 Kalıplanan Parçanın Kalıptan Çıkarılması

Pişirmeden sonra, kalıp açılır ve parça kalıp yüzeyinden dışarı çıkarılır. Basit parçalar için bazı kalıplar kullanılamaz. Bu parçalar emme kalıpları, kamalar ya da sıkıştırılmış hava ile uzaklaştırılır. Bunlar parçada gerilmelerden kaçınmak için parçanın kaldırılması esnasında kullanılmalıdır (Şekil 6.14).



Şekil 6.14 SMC parçasının kalıptan çıkarılışı (Inoplast, 1998)

Bazen sıcak parçalar dikkatlice elle işlenmelidir ve genellikle çevre sıcaklığında soğuması için destek askılar üstüne yerleştirilir. Genellikle, bu zamanda parçadan herhangi bir kenar çapağını kaldırmak avantajdır. Çapak, parça hala sıcakken bir bıçak ile kolayca kaldırılır fakat parça soğurken çok güç olur (Inoplast, 1998).



7. SMC ÜRETİM YÖNTEMİNDE RASTLANAN HATALAR

7.1 Yüzey Gözenekliliği Hatası

- Kalıplanacak malzeme kalıba göre az olabilir.
 - Miktarı arttırın.
- Kalıplama malzemesi çok akıcı olabilir.
 - Kalınlaştırıcı dolgu maddesi kullanın.
 - Basınç uygulamayı geciktirin.
 - Kalıp tasarımını değiştirin.
- Kalıplama malzemesi çok kalın olabilir.
 - Malzeme akışkanlığını kontrol edin.
 - Basıncı daha erken uygulayın.
 - Presleme basıncını arttırın.
 - Kalıp tasarımını değiştirin.
- Kalıp sıcaklığının çok yüksek olması nedeniyle bazı kısımların önceden sertleşmesi.
 - Kalıp sıcaklığını azaltın.
 - Basıncı daha erken uygulayın.
 - Basıncı arttırın.
- Hava kabarcığı.
 - Kalıp tasarımının doğru yapıldığından emin olun.

7.2 Yüzeyde Kabarcık Hatası

- Kalıp yer yer soğuk olabilir.
 - Homojen ıstımayı sağlayın.
- Hava kabarcıkları olabilir.
 - Kalıptaki hava çıkışlarını kontrol edin.
- Kalıplama malzemesi rutubetli olabilir.
 - Malzemeyi kuru yerde saklayın.

7.3 Benekli Yüzey Hatası

- Kalıp çok sıcak olabilir.
 - Kalıp sıcaklığını düşürün.
- Aşırı ısınmadan dolayı pigment dekompoze olabilir.

- Sertleşme sıcaklığını düşürün.
- Kalıplama malzemesi bozulmuş olabilir.

7.4 Mat Yüzey Hatası

- Kalıp yüzeyi yeterince parlatılmış olabilir.
- Kalıp ayırıcı eleman fazla konulmuş olabilir.
 - Fazlasını silin.
- Kalıplama malzemesi rutubetlenmiş olabilir.
 - Kuru yerde saklayın veya kullanmadan önce kurutun.
- Kalıp yüzeyi soğuk olabilir.
 - Isıyı yükseltin.
- Ürün yeterince sertleşmemiş olabilir.
 - Kalıplama süresini uzatın veya sertleştirme sıcaklığını arttırın.

7.5 Kalıplama Malzemesinin Kalıba Yapışması veya Sıkışması

- Kalıplama malzemesi çok yumuşak veya çok rutubetli olabilir.
 - Kurutun ve önceden ısıtın.
- Düşük çekme.
 - Kalıp tasarımınızı eğimleri arttıracak şekilde değiştirin.
- İtici sayısı az olabilir.
 - İticilerin sayısını arttırın.
- Ters eğim olabilir.
 - Kalıp tasarımınızı değiştirin veya uygun şekilde yapılmış parçalı kalıp kullanın.

7.6 Ürünün Bükülmüş Olması

- Kalıp sıcaklığı homojen olmayabilir.
 - Tüm kalıp yüzeyinde sıcaklık dağılımının eşit olmasına dikkat edin. Yüzeydeki sıcaklık farkı 2-5°C'den daha çok olmalıdır.
- Aşırı ısı çıkışı olabilir.
 - Sertleşme sıcaklığını düşürün.
 - Kalıplama malzemesini değiştirin.
 - Kalınlığı azaltın (Cam Elyaf San. A.Ş., 1984).

8. SMC KOMPOZİTLERİNİN AVANTAJLARI

- Hafiflik ve yüksek mekanik dayanımı bir arada sağlayabilme,
- Yüksek darbe dayanımına sahip olma ve şok absorblama özelliği,
- Kolayca laklanabilme/boyanabilme ve kalıp içinde yüzeyin kaplanabilmesi,
- Metal gömme parçaların kolayca yerleştirilmesi sayesinde montaj kolaylığı,
- Otomatik proseslere uygunluk,
- Geri dönüştürülebilme ve bileşiminde geri dönüştürülmüş malzeme kullanabilme,
- Çevre koşullarından (Yağmur suyu, toz, güneş ışığı, korozyif ortam vb...) etkilenmeme,
- 1,1-60 mm arasında çeşitli kalınlıklarda kalıplanabilme,
- Kalıp dizayn olanakları geniştir, bir çok eleman aynı üniteye birleştirilebilir,
- Preslenmesi kolay ve çabuktur (Pres süresi 1-3 dakika),
- Çekme değeri düşüktür (%0,05 - %0,1),
- Elektriksel değerleri yüksektir, tam elektrik izolasyonu sağlar,
- İyi elektrik yalıtım özelliği,
- Yüksek alev dayanımına sahip olması nedeniyle bileşime bağlı olarak yanmazlık özelliğine sahiptir,
- Isı dayanımı,
- Soğukta kırılgan olmama,
- Düzgün yüzey,
- Taşıyıcı konstrüksiyonlar için mekanik değerleri yüksektir,
- Dış etkenlere dayanıklıdır.
- Çok geniş bir tasarım esnekliğine sahip olma,

SMC ile farklı yollarla ağırlıktan kazanç söz konusudur. Bunlardan biri, duvar kalınlığının ince olmasıdır. Kuvvetlendirici maddelerin ilavesi ile mükemmel mekanik özelliklerle beraber kalınlığı az olan parçalar üretmek mümkündür. Diğer, SMC yoğunluğunun düşük olmasıdır. Düşük yoğunluklu dolgu maddelerini ilavesi ile malzemenin yoğunluğu düşürülmektedir.

SMC'nin en büyük avantajlarından biri fonksiyon bütünlüğüdür. Montaj bölgelerinde çalışma adımlarının ve zamanının azaltılması yani tabaka panellerinde multifonksiyonel sistem üretimi mümkündür. Direkt kalıplanabilme bütünlüğünde, vida-somun, mil, menteşe gibi montaj araçları uygulanabilmektedir. İnce duvar kalınlığına sahip büyük parçaların kalıplanabilmesinin yanı sıra, parça içinde istenen bölgelerde duvar kalınlığının değişimi söz konusudur. Geometri ve kuvvetlendirme bütünlüğü mevcuttur. Parçaların yüzey kalitesi iyidir.

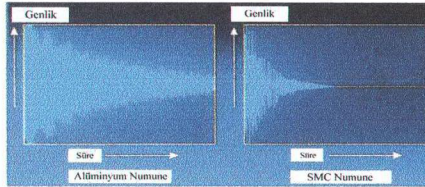
SMC parçalara zımbalama, matkapla delme, frezeleme, testereleme, kesme gibi işlemlerle de son şekilleri verilebilir. Bunun dışında SMC parçaların ısı performans, inceliğine, açık/kapalı boyanmasına ve yoğunlaştırılmasına bağlı olarak değişir.

SMC parçalar, yüksek ateş dayanımına ve düşük duman emisyonu sahiptirler. Çizelge 8.1’de, SMC parçaları için istenen ateş dayanımı ve Avrupa standartları verilmiştir. Cam içeriğinin hacimce oranı ve ATH içeriği ayarlanarak, SMC panellerin mekanik ve ateş dayanım özellikleri değiştirilebilmektedir.

Çizelge 8.1 SMC parçalar için alev dayanımı ve standartları (Inoplast, 1998)

Ülke	D	F/I/SP
Standart	DIN 5510	NNF 16101
Ateş	S4	M1
Duman	SR2	FO
Diğerleri	ST2	CO ₂ çözümü: 0,92 kg/m ² CO ₂ çözümü: 0,26 kg/m ²

Hafiflik ve gürültüyü azaltması, şekillendirme serbestliği ve fonksiyonel bütünlüğünün olması, karmaşık şekillerinde üretimini mümkün kılmaktadır. Bunun dışında, Al veya çelikten yapılmış motor karter kapakları ile SMC’den yapılan kapaklarda da yapılan ses sönümleme testlerinde; SMC’de sönümlemenin daha iyi olduğu belirlenmiştir. Deney sonuçları, genlik-zaman grafiğine taşındığında; aynı süre içerisinde alüminyum kapakta genlik 9db değerini gösterirken, SMC kapakta 1,5-2,0 db değerini göstermektedir (Şekil 8.1) (Inoplast, 1998).



Şekil 8.1 Ses sönümleme test sonuçları (Inoplast, 1998)

Motor kapak parçalarında, plastik ve metal malzeme arasında kıyaslama yapılırken dayanım ve ısı direnci göz önüne alınmaktadır. Bu iki özelliğin yanı sıra gürültünün azaltılması açısından önemli etkenlerden biri olan titreşim sönümleme özelliğinin de dikkate alınması

gerekir. Plastikler, elik ve alüminyuma göre daha iyi titreşim sönümleme zelligine sahiptirler; fakat, bu özellik yüksek ısı dayanımına sahip reçinelerin veya cam fiberlerin ilave edilmesiyle azalmaktadır.

Organik polimerler, Tg sıcaklığının yakınlığında, titreşim sönümleme performansı için, tepe noktası değeri göstermektedir. Böylece motor gürültüsü azaltılmakta ve titreşim sönümleme özelliği yüksek SMC'nin geliştirilmesi mümkün olmaktadır. Liduka vd. (1996) yaptıkları çalışmada, titreşim sönümleme zelligini geliştirmek amacıyla, Tg sıcaklığının değiştirilmesi için üç ayrı SMC bileşiminden faydalanmışlardır: Yüksek Tg'ye sahip vinil ester reçinesi, düşük Tg'ye sahip doymamış polyester reçinesi ve kalınlaştırıcı ilave edilmiş poliisosiyanat reçinesi. Sonuçta, karbüratör kapağına yaptıkları deneyde, gürültünün yaklaşık 1,0 db'ye kadar azaltıldığı grlmştr (Liduka vd., 1996).

Bu malzemelerin korozyon direnci, reçine bağlanması ve doldurucu içeriği vb. gibi bağlı olmayan, iyileştirilmemiş moleküllerin polyesterde bulunmasına bağlıdır. Yapılacak alışmalar temelde, su içerisinde, SMC bileşimdeki doymamış polyester reçinenin azalmasını kapsamaktadır. Düşük sıcaklıktaki polyester reçine bağlanmasında propilen glikol/fumerat/isoftalat'a dayanan su absorpsiyonu izler ve Fick Kanunu ile açıklanabilir. Ancak yüksek sıcaklıklarda, hidroliz, şişme, li ve osmoz/kabarma (şişme) nedeniyle, Fick Kanunu uygulanmamalıdır. Bisfenol-A/fumarat/isoftalat polyesteri ve vinil estere dayanan bisfenol-A polyesteri, yüksek sıcaklıkta, sterik engel molekülleri taşırır, bu durumda Fick Kanunu ile modellenebilir. Sonuçta, iyileştirilmiş reçinede, osmoz basıncı ile aralık şeklindeki çatlağın bulunması sağlanır. Ayrıca reçinenin su absorblaması ile oluşan hidroliz ve şişme gerilmeleri, yüzey çatlağını azaltabilir (Ma ve Tsai, 1988a).

Ma vd. (1988b) yaptıkları çalışmada, düşük profil ilavesi, dolgu maddesi ve cam fiber içeren doymamış polyester kompozitinin su içindeki davranışları; 93°C sıcaklıkta çeşitli daldırma sürelerinde bükülme özellikleri, sıcaklığın fonksiyonu olarak cam fiber içeriğindeki değişim ve elektron mikroskobuyla, ara yüzey yapışması (adhezyon), bağlanmanın azalması, tabakalar halindeki dizilim morfolojisi incelemişler. Sonuçta zayıf ara yüzey yapışmasında, polimer/CaCO₃ veya polimer/düşük profil katkı maddesi ara yüzeyinde korozyon direncinin düştüğü gözlenirken, polimer/takviye fiber ara yüzey bağlanmasının yani SMC'nin korozyon direncinde bir düşüş gözlenmemiştir (Ma ve Tsai, 1988a;1988b).

Geleneksel yöntem ve metal malzemelerin, işlem adımlarının ve üretim süresinin fazla olması nedeniyle üretim maliyetleri yüksektir. SMC malzemenin kullanılması, işlem adımlarını

azalttığından daha kısa bir zamanda üretimi mümkün kılmaktadır. Üretim maliyetini düşürücü diğer etkiler ise SMC'nin pigmentlerle renklendirilebilmesi ve renkli parçaların oluşturularak boyama masrafının ortadan kaldırılması, SMC parçaların dayanıklı olması nedeniyle bakım ve onarım masrafının en aza indirgenilmesi, korozyona dayanıklı olmalarının kullanım ömürlerini uzatmasıdır (Jutte, 1989; Chan-Park vd., 1996; Cam Elyaf San. Tic. A.Ş., 1997; Inoplast,1998).



9. SMC BİLEŞİMİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Çizelge 9.1 SMC'nin mekanik özellikleri (www.composite.com.au)

Özellikler	ASTM No	Birim	Min. Değeri	Max. Değeri
Cam içeriği	-	%	5	60
Fiber uzunluğu	-	mm	25	Sürekli
Spesifik yoğunluk	0792	-	1,7	1,9
Su absorbsiyonu	0570	%	0,1	0,5
<i>Mekanik Özellikler</i>				
Çekme mukavemeti	D638	MPa	50	380
Çekme modülü	D638	GPa	10	13
Eğme mukavemeti	D790	MPa	120	520
Eğme modülü	D790	GPa	9,0	23,0
Basma mukavemeti	D695	MPa	150	350
Uzama	D638	%	0,4	0,5
<i>Isıl Özellikler</i>				
UL 94	-	-	V2	V0
Oksijen içeriği	BS 5734	%	22	5
HDT doğrusal sıcaklığı	D638	°C	>200	>200
Termal genleşme katsayısı	D696	°C ⁻¹	2 x 10 ⁻⁵	1,8 x 10 ⁻⁵
<i>Elektriksel Özellikler</i>				
Elektriksel mukavemet	D149	MV/m	8,5	9,5
İzolasyon direnci	D257	Log Ω	13,0	13,5
Ark direnci	D459	Saniye	175	190
Yüzey direnci	D257	Log Ω	13,0	13,5
Dielektrik sabiti 60 Hz	D149	-	5,1	5,6

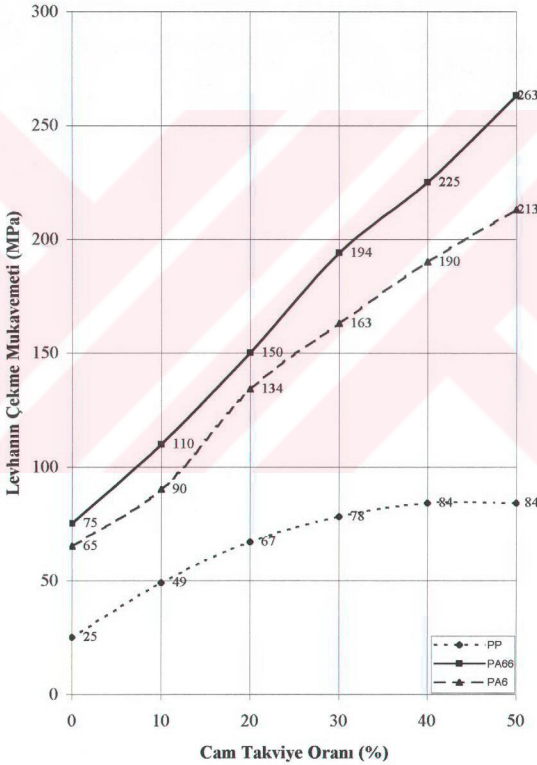
Aşağıdaki tablo tipik düşük profilli SMC (UP GF 25) ve çok yapılı SMC (UP GF 50 ve UP GF 20/40C) için mekanik özelliklerin karşılaştırılmasını göstermektedir.

Çizelge 9.2 SMC mekanik özelliklerinin karşılaştırılması (Inoplast, 1998)

Özellikler	UP GF 25	UP GF 50	UP GF 20/40C
Çekme Dayanımı, MPa	65-80	124-204	330,7
Çekme Modülü, Gpa	8,5	12,2-19,1	206,7
Eğme Dayanımı, MPa	155-200	248-380	-
Eğme Modülü, Gpa	8,5-14,0	11,6-16,4	-
Darbe Dayanımı, kJ/m ²	60-90	120-200	-
Yoğunluk, gr/cm ³	1,7-2,0	1,85-2,00	7,86
Doğrusal Isıl Genleşme Katsayısı, 10 ⁻⁶ /K	14-18	13-17	12,1

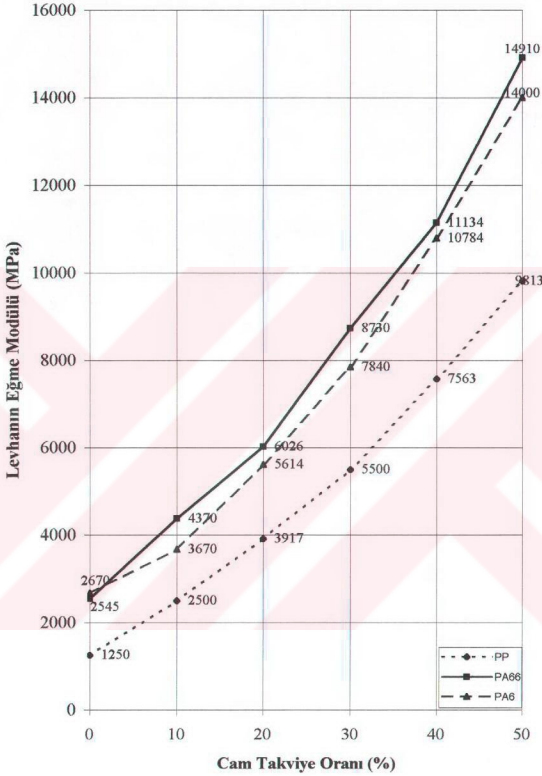
9.1 Reçinenin Mekanik Özelliklere Etkileri

SMC'nin mekanik özelliklerini etkileyen bir diğer faktörde, kullanılan matris malzemesi olan termoset veya termoplastik reçinedir. Şekil 9.1'de üç ayrı reçinenin cam fiber takviyesine göre çekme mukavemetleri gösterilmektedir. Reçineye yapılan cam fiber takviye oranının artmasıyla, levhanın çekme mukavemeti de artmaktadır. Grafiğe göre, takviyesiz PP, PA66, PA6 reçinelerinin çekme mukavemetleri sırasıyla 25, 75, 65 MPa iken; örneğin hacimce %30 oranında cam fiber takviyesi yapıldığında çekme mukavemetlerinin 78, 194, 163 MPa olduğu gözlenmiştir.



Şekil 9.1 Termoplastik reçinede cam içeriğine bağlı olarak çekme mukavemetinin değişimi (Vetrotex, 1998)

Şekil 9.2’de söz konusu reçinelerin cam fiber takviyesi oranına göre, levhanın eğme modülü değerleri gösterilmektedir. Buna göre, takviyesiz PP, PA66, PA6 levhalarının eğme modülleri sırasıyla 1250, 2545, 2670 MPa iken, %30 cam fiber takviyeli levhaların eğme modülleri 5500, 8730, 7840 MPa değerlerine ulaşmaktadır.



Şekil 9.2 Termoplastik reçinede cam içeriğine bağlı olarak eğme modülünün değişimi (Vetrotex, 1998)

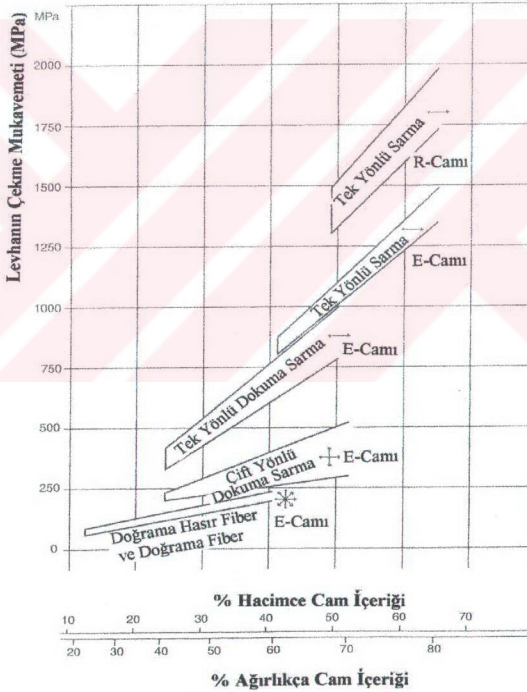
9.2 Cam Fiberin Mekanik Özelliklere Etkisi

Kullanılan cam fiberin cinsi ve dokuma şekli, levhanın mekanik özelliklerinde farklı değerlere ulaşmasına neden olmaktadır. Bu faktörler dikkate alınarak, levhanın çekme mukavemeti,

çekme modülü, eğme mukavemeti ve eğme modülü incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara varılmaktadır.

R-camı ile üretilmiş SMC levhanın çekme mukavemeti, E-camı ile üretilen SMC levhanın çekme mukavemetinden daha yüksektir.

Termoset reçine matrisli SMC levhalarında, en iyi matris ve fiber yapışması, hacimce %25-30 cam fiber kullanıldığında elde edilmektedir. Bu oran ve E-camı fiberinin üretim aşamasındaki kullanım şekli de göz önüne alınarak bir kıyaslama yapıldığında; SMC levhada boyuna tek yönlü sarma fiber kullanıldığında, diğerlerine oranla daha yüksek çekme mukavemeti değeri elde edilmekteyken, doğrama fiber kullanıldığında en düşük çekme mukavemeti değerine rastlanmaktadır (Şekil 9.3).



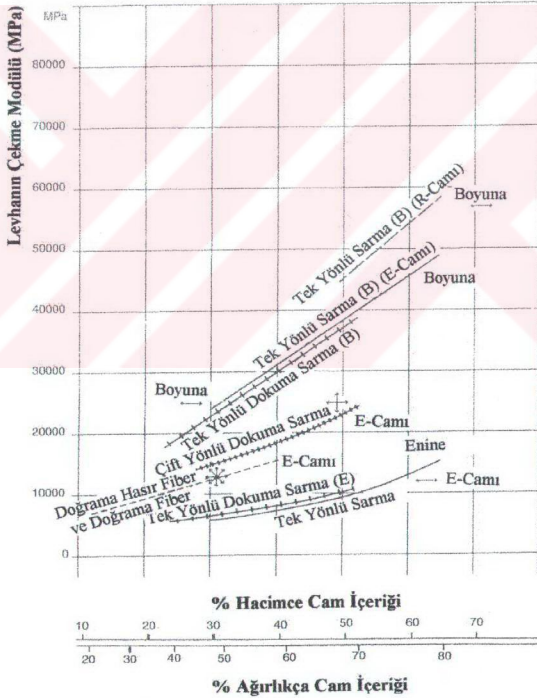
Şekil 9.3 Cam fibere bağlı olarak çekme mukavemetinin değişimi (reçine yoğunluğu: 1,2) (Vetrotex, 1998)

Çekme mukavemeti değerinde olduğu gibi, R-camı fiberli levhanın çekme modülü, E-camı fiberli levhadan daha yüksektir.

E-camının üretim aşamasındaki kullanım şekline göre;

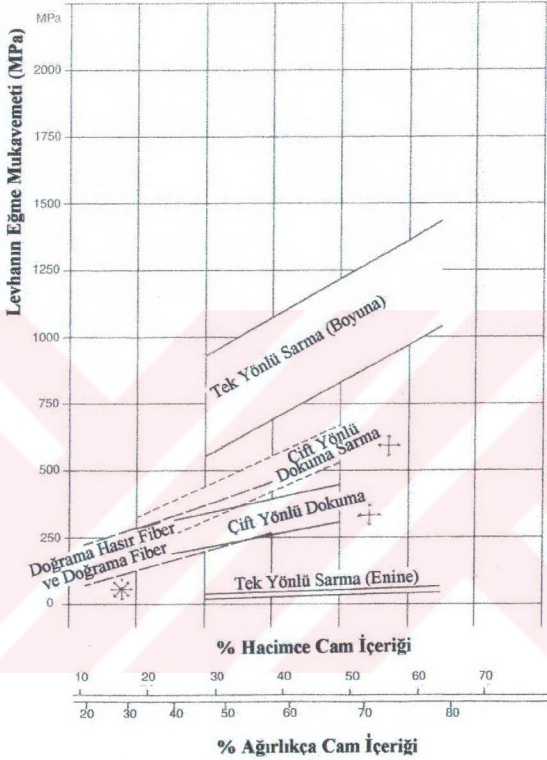
Tek yönlü sarma fiber, boyuna kesitte kullanıldığında, levha en yüksek çekme modülü değerine sahipken; enine kesitte kullanıldığında, en düşük çekme modülü değeri göstermektedir.

Çift yönlü dokuma sarma fiber ve rasgele dağılımlı doğrama fiber kullanılan levha, tek yönlü sarma (B) fiber kullanılan levhaya göre daha düşük çekme modülüne sahiptir. Aynı zamanda çift yönlü dokuma sarma fiberli levha, rasgele dağılımlı doğrama fiberli levhadan daha yüksek çekme modülü vermektedir (Şekil 9.4).



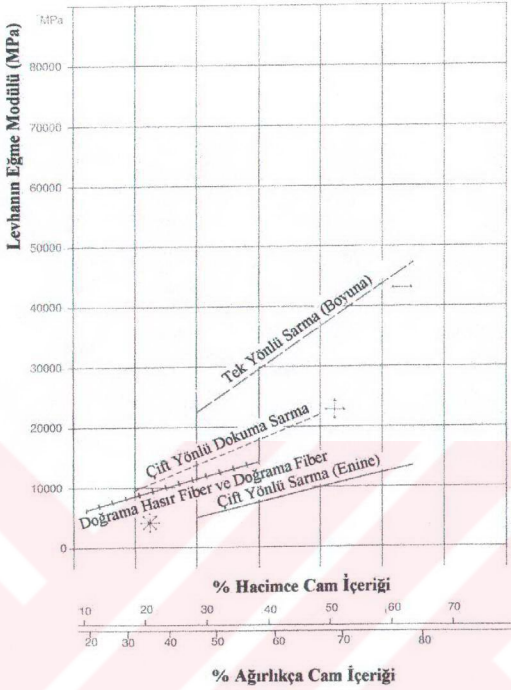
Şekil 9.4 Cam fibere bağlı olarak çekme modülü değişimi (reçine yoğunluğu: 1,2) (Vetrotex, 1998)

Şekil 9.5'te, tek yönlü sarma fiberin boyuna kesitte kullanıldığı levhanın eğme mukavemeti değeri, diğerlerine göre en yüksek değeri gösterirken; enine kesitte kullanıldığında en düşük değeri göstermektedir.



Şekil 9.5 Cam fibere bağlı olarak eğme mukavemetinin değişimi (reçine yoğunluğu: 1,2) (Vetrotex, 1998)

Levha diğer mekanik özelliklerinde olduğu gibi, en yüksek eğme modülü değerini de tek yönlü sarma fiber (B) kullanıldığında göstermektedir (Şekil 9.6).



Şekil 9.6 Cam fibere bağlı olarak eğme modülünün değişimi (reçine yoğunluğu: 1,2; reçinenin eğme modülü: 3000 MPa) (Vetrotex, 1998)

9.3 Reçine ve Fiber İçeriğine Bağlı Olarak Levha Yoğunluğunun Hesaplanması

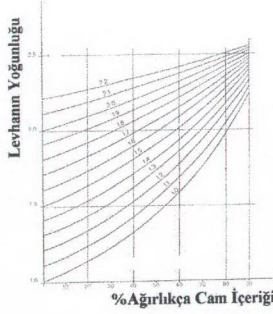
SMC levhanın yoğunluğu, cam fiber içeriğinin bileşim içindeki ağırlıkça ve hacimce yüzdelere bağlı olarak iki şekilde hesaplanabilir.

Ağırlıkça cam fiber içeriğine bağlı olarak, levhanın yoğunluğu formülü ile hesaplanmaktadır.

$$\rho_c = \frac{100}{\frac{\beta}{\rho_G} + \frac{100 - \beta}{\rho_r}} \quad (1.1)$$

Formüldeki ρ_c , levhanın yoğunluğunu; β , ağırlıkça cam fiber oranını (%); ρ_G , cam yoğunluğunu; ρ_r , koyulaştırılmış reçine yoğunluğunu ifade etmektedir.

Ya da daha evvel yapılmış hesaplamalara bağlı olarak çizilmiş % ağırlıkça cam içeriği-levha yoğunluğu grafiğinden belirlenebilir.



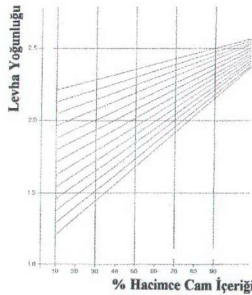
Şekil 9.7 Ağırlıkça cam içeriğine bağlı olarak, levhanın yoğunluk değişimi (Vetrotex, 1998)

Aynı şekilde, üretilecek SMC levha bileşimindeki hacimce cam fiber oranına bağlı olarak, levha yoğunluğu formülü ile hesaplanmaktadır.

$$\rho_c = \frac{\varphi \cdot \rho_G + (100 - \varphi) \cdot \rho_r}{100} \quad (1.2)$$

Formüldeki ρ_c , levhanın yoğunluğunu; φ , hacimce cam fiber oranını (%); ρ_G , cam yoğunluğunu; ρ_r , koyulaştırılmış reçine yoğunluğunu ifade etmektedir.

Ya da Şekil 9.8'deki grafikten hacimce cam fiber içeriğine göre levhanın, yoğunluğunun belirlenmesi mümkündür.

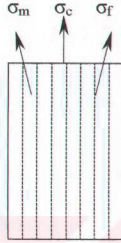


Şekil 9.8 Hacimce cam içeriğine bağlı olarak, levhanın yoğunluk değişimi (Vetrotex, 1998)

10. SMC KOMPOZİTLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN TAYİNİ

10.1 Elastiklik Modülünün İncelenmesi

Bu tür malzemelerin elastiklik modülü, çekme deneyi sonuçlarıyla bulunabileceği gibi, kompozitteki bileşenlerin oranları ve elastiklik modülleri belli olduğu durumlarda karışımlar kuralından da hesaplanabilir.



Şekil 10.1 Kompozit malzemedeki gerilim dağılımının şematik gösterimi

Eşit gerilim koşulunun ($\varepsilon_c = \varepsilon_f = \varepsilon_m$), geçerli olduğu durumlarda fiberlere paralel yönde ki zorlama (1.1) eşitliğindeki gibi ifade edilir.

$$\sigma_{II} = \sigma_c = \sigma_f + \sigma_m \quad (1.1)$$

Fiberin elastiklik modülünün, matris elastiklik modülünden büyük olması durumunda ($E_f > E_m$), yükün büyük bir kısmı fiberlerce taşınır.

Fibere gelen yük (P_f), fiber gerilimi (σ_f) ve fiber alanının (A_f) çarpılmasıyla hesaplanır, (1.2) eşitliğindeki gibi,

$$P_f = \sigma_f \cdot A_f \quad (1.2)$$

matrise gelen yük (P_m) ise, matris gerilimi (σ_m) ve matris alanının (A_m) çarpılmasıyla hesaplanır, (1.3) eşitliğindeki gibi ifade edilir.

$$P_m = \sigma_m \cdot A_m \quad (1.3)$$

Toplam yük (P), matris ve fibere gelen yüklerin toplamıyla bulunur.

$$P = P_f + P_m \quad (1.4)$$

1.2 ve 1.3 eşitlikleri, 1.4 eşitliğinde yerine konulduğunda, toplam yük, 1.5 eşitliğindeki gibi ifade edilir.

$$P = \sigma_f \cdot A_f + \sigma_m \cdot A_m \quad (1.5)$$

Eşit gerinim koşulu olduğu için, elastiklik modülü de, 1.6 eşitliğine göre hesaplanır. Eşitlikteki A , toplam alanı simgelemektedir.

$$E_{II} = \varepsilon_f \cdot \frac{A_f}{A} + \varepsilon_m \cdot \frac{A_m}{A} \quad (1.6)$$

Matris ve fiber alanlarının, toplam alana bölünmesiyle, bileşenlerin hacimce oranları bulunur ve 1.6 eşitliği, 1.8 eşitliğiyle de ifade edilir.

$$V_f = A_f / A \text{ ve } V_m = A_m / A \quad (1.7)$$

$$E_{II} = \varepsilon_f \cdot V_f + \varepsilon_m \cdot V_m + \dots \quad (1.8)$$

1.8 eşitliği aynı zamanda karışımlar kuralı olarak da bilinir. Bu eşitliğe bakıldığında matris içindeki fiber oranının artmasıyla kompozitin elastiklik modülünün de lineer olarak artacağı görülmektedir. Ancak plastik matrisli kompozitlerde de aynı özellik görülmesine rağmen, zamanla matriste oluşan çökelmeler (gerilme altında gevşeme gibi.) ile dayanım düşse bile, orjinal eğriye paralel bir eğri elde edilir.

1.5 eşitliği, A 'ya bölünerek, gerilme eşitliği (1.9) elde edilir.

$$\sigma_{II} = \sigma_f \cdot \frac{V_f}{A} + \sigma_m \cdot \frac{V_m}{A} \quad (1.9)$$

$V_f + V_m = 1$ olduğu için,

$$\sigma_{II} = \sigma_f \cdot V_f + \sigma_m \cdot V_m \quad (1.10)$$

Üzerine, fiberlere paralel yönde zorlama gelen bir kompozit, yükün artmasıyla birlikte; önce matriste kopma gösterir. Kopan matristeki yükün tamamı fiberlere transfer olur ve daha sonra fiberler kopar.

$$\frac{P_f}{P_n} = \frac{E_f}{E_n} \cdot V_f \quad (1.11)$$

Fiberlere dik yönde bir zorlama olması durumunda, zorlamanın yönündeki gerilmeler, dik

yöndeki gerilmenin, elastiklik modülüne bölünmesiyle hesaplanıp, 1.12 ve 1.13 eşitlikleriyle ifade edilirler.

$$\varepsilon_f = \frac{\sigma_{\perp}}{E_f} \quad (1.12)$$

$$\varepsilon_m = \frac{\sigma_{\perp}}{E_m} \quad (1.13)$$

zorlama yönündeki toplam gerinim,

$$\varepsilon_{\perp} = \varepsilon_f + \varepsilon_m$$

$$\varepsilon_{\perp} = \varepsilon_f V_f + \varepsilon_m V_m \quad (1.14)$$

1.12 ve 1.13 eşitlikleri, 1.14 eşitliğinde yerine konulduğunda,

$$\varepsilon_{\perp} = V_f \cdot \frac{\sigma_{\perp}}{E_f} + V_m \cdot \frac{\sigma_{\perp}}{E_m} \quad (1.15)$$

$\sigma_{\perp} = \varepsilon_{\perp} E_{\perp}$ gösteriminden yararlanılarak, 1.16 eşitliği elde edilir.

$$E_{\perp} = \frac{E_f \cdot E_m}{E_f \cdot V_f + E_m \cdot V_f} \quad (1.16)$$

Bu tür zorlamalarda matrise gelen gerilme büyük olduğundan uygulamaya yönelik çalışmalarda matrisin poisson oranı (γ_m) da dikkate alınmalıdır.

$$E_{\perp} = \frac{E_f \cdot E'_m}{E_f \cdot V_f + E'_m \cdot V_f} \quad (1.17)$$

$$E'_m = E_m / (1 - \gamma_m^2) \quad (1.18)$$

Sonuç olarak, bu tür kompozitlerin elastiklik modülü,

$$E_C = E_f V_f + E_p V_p + E_m V_m + \dots \quad (1.19)$$

Çekme dayanımı (σ_C),

$$\sigma_C = \sigma_f V_f + \sigma_p V_p + \sigma_m V_m + \dots \quad (1.20)$$

Kayma modülü (G_c),

$$G_c = G_f V_f + G_p V_p + G_m V_m + \dots \quad (1.21)$$

Kayma modülü, parçacık hacim oranının artmasıyla artar. Bu tür kompozitin şekillendirilebilme kabiliyeti (η , viskozite), kayma modülü ile orantılıdır.

$$\frac{\eta_c}{\eta_m} = \frac{G_c}{G_m} \quad (1.22)$$

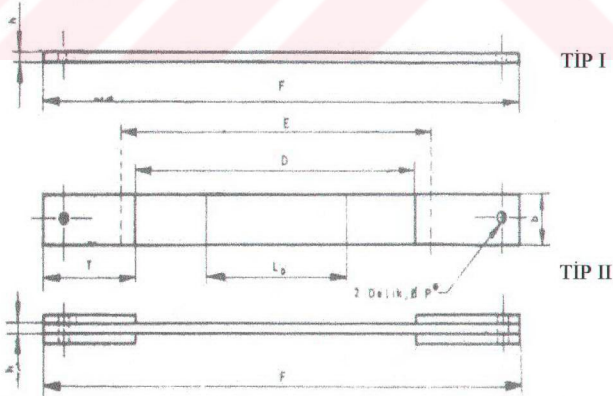
Kompozitin şekil değiştirme kabiliyeti

$$\eta_c = \eta_m (1 + 2,5 V_p + 14,1 V_p^2) \quad (1.23)$$

eşitlikleriyle hesaplanır (Ünal, 2000).

10.2 Çekme Özelliklerinin Tayini (TS 3860)

Deney numuneleri, I. Tip (dikdörtgen şekilli ve uç kısımları düzgün) ve II. Tip (dikdörtgen şekilli ve uç kısımları paralel kenarlı olarak kalınlaştırılmış) olmak üzere iki şekilde hazırlanır. Her iki tip içinde genişlik 25 mm'dir. Ancak kullanılan matris nedeniyle çekme dayanımının düşük olması halinde genişlik 50 mm veya daha büyük alınmalıdır. Deney numunesinin kalınlığı 2-10 mm arasındadır.



Şekil 10.2 Çekme mukavemeti tayini için kullanılan deney numuneleri (TS 3860)

Çizelge 10.1 Deney numunelerinin boyutları (TS 3860)

Boyut	Tip I	Tip II
F Toplam uzunluk minimum	25	250
C Uç kısımların genişliği	-	-
h Kalınlık	2-10	2-10
B Paralel kenarlı orta bölümün uzunluğu	-	-
b Paralel kenarlı orta bölümün genişliği	25 veya 50±0,5	25 veya 50±0,5
L₀ İlk ölçüm uzunluğu	100±0,5	100±0,5
E Çeneler arasındaki uzaklık	170±5	170±5
D Uç parçaları arasındaki uzaklık	-	150±5
T Uç parçaların boyu en az	-	50
P Ortalayıcı deliklerin çapı	3 ^{+0,25} _{-0,05}	3 ^{+0,25} _{-0,05}

I. Tip ve II. Tip deney numunelerinin tercihi yapılırken, önce I. Tip deney numunesi ile deney yapılır. Deneyin olanaksız olması veya sonuç vermemesi (kayma veya çenelerde kopma vb.) halinde, II. Tip deney numunesi kullanılır.

Deney numuneleri, TS 3783'e uygun olarak hazırlanmış düz plakalardan, elmas veya karborandum testere ile kesilir. Deney numuneleri bitirilmiş üründen kesilecekse (örneğin üretim aşamasında veya mal tesliminde kalite kontrol deneyleri için), numuneler özellikle düz veya eğriliği en az olanlardan alınmalıdır. Kalınlıklarını azaltmak amacıyla yüzeyleri tıraşlanmamış deney numuneleri olanaklar ölçüsünde öncelikle kullanılmalıdır.

II. Tip deney numuneleri, deneyi yapılan malzemeden, boyu hazırlanması amaçlanan deney numunelerinin boyuna, genişliği ise gerekli deney numunelerinin sayısına uygun olacak şekilde bir levha kesilir. Uç kısımlarının yapımı için, öncelikle elastiklik modülü deneyi yapılan malzemeninkinden daha küçük olan malzemeden ve genişliği deney sırasında çeneler arasındaki uzunluk uçları arasındaki uzunluktan en az 20 mm daha fazla olacak şekilde paralel yüzeyli şeritler kesilir. (Uç parçalarının yapımı için, kalınlığı deneyi yapılan malzeme kalınlığının 2-3 katı olan şeritler de kullanılabilir.)

Kesilen şeritler, şekilde belirtildiği gibi bağlanır.

- Şeritlerin yapıştırıcı sürülecek bütün yüzeyleri ince zımpara kağıdı ile ovulur.
- Zımparalanan yüzeyler uygun bir solventle temizlenir.
- Yapıştırmak için, üreticisinin belirttiği kullanım talimatına uyularak, soğukta sertleşen bir yapıştırıcı kullanılır.
- Bir araya getirilen parçalar yeteri kadar bir süreyle baskı altında tutulur.

Yapıştırma işleminde kullanılan yapıştırıcının, kopma uzaması deneyi yapılan malzemeninkinden daha büyük olacak şekilde esnek bir yapıda olması arzu edilir.

Cam takviyeli malzemeler genellikle anizotropik özellik gösterirler. Bu nedenle deney numunelerinin ya anizotropinin en az iki temel yönüne veya daha önceden belirlenmiş yönlere (örneğin levhanın boyunca veya enince) uygun olarak kesilmesi istenir.

Deney numunelerinin her bir kesim yönü ve aranılan her özellik (elastiklik modülü, çekme dayanımı vb.) için en az beş deney sonucu gereklidir. Deney sırasında, çenelerden kayan; çenelerde veya çenelerden 10 mm'den uzaklıktaki yerlerden kopan; hatalı çalışma koşullarında deneyi yapılan veya belirli nedenlerden ötürü sürekli olarak uyumsuz sonuçlar veren deney numuneleri ile elde edilen sonuçlar değerlendirmeye katılmaz.

Deney numuneleri, TS 720'de belirtilen sıcaklık ve nemde en az 16 saat kondisyonlanmalıdır.

Deney hızı, deney makinesi boşta çalışırken çenelerin birbirinden ayrılma hızı olarak tanımlanır. Bu hız, nitelendirme deneyleri için yaklaşık %1-2 kadar bir artış sağlayacak şekilde seçilmelidir. Bu şekilde uygulanan bir seçimle aşağıdaki deney hızları elde edilir.

Nitelendirme deneyleri; uzamanın ölçüldüğü deneyler ve gerilmede elastik modülünün tayin edildiği deneyler için dakikada 2 mm'dir. Rutin kalite kontrol deneyleri için, dakikada 5 mm'dir. Belirtilen deney hızları, deney makinesi boşta çalışırken $\pm\%10$ toleransla sağlanmalıdır.

Deney sonunda aşağıdaki formüller yardımıyla, deney sonuçları hesaplanır.

- Maksimum Kuvvetteki Çekme Gerilmesi

Çekme gerilmesi, deney numunesinin paralel kenarlı dar bölümünde başlangıç kesitinin birim alanının herhangi bir anda taşıdığı çekme kuvvetidir. Maksimum kuvvetteki çekme gerilmesi (δ), kgf/cm^2 cinsinden 2.1 eşitliği ile hesaplanır.

$$\delta = \frac{F}{bh} \quad (2.1)$$

Burada;

F : Maksimum çekme kuvveti, (kgf/cm^2)

b : Deney numunesinin deney başlangıcındaki ortalama genişliği, (cm)

h : Deney numunesinin deney başlangıcındaki ortalama kalınlığı, (cm)

- Maksimum Kuvvetteki Uzama

Referans işaretleri arasında uygulanan çekme kuvvetine bağımlı olarak artan uzaklığın bu işaretler arasındaki başlangıç uzaklığına oranının yüzdece ifadesidir. Maksimum kuvvetteki (μ), 2.2 eşitliği ile hesaplanır.

$$\mu = \frac{(Z_r / R).100}{L_o} = \frac{100.Z_r}{R.L_o} \quad (2.2)$$

Burada;

Z_r : Görünür uzama/kuvvet eğrisinden (Şekil 10.3) elde edilen maksimum kuvvetteki görünür uzama^(*), (mm)

R : Ekstensometrenin büyütme oranı

L_o : Ekstensometrenin ölçüm boyu, (mm)

- Başlangıçtaki Tanjant Modülü

Başlangıçtaki tanjant modülü, uzama/kuvvet eğrisinin başlangıcındaki teğetin eğimidir. Başlangıçtaki tanjant modülü (E_t), kgf/cm² cinsinden 2.3 eşitliği ile hesaplanır.

$$E_t = \left(\frac{L_o.R}{A_o} \right) \cdot \left(\frac{\Delta F_1}{\Delta Z_1} \right) \quad (2.3)$$

Burada;

L_o : Ekstensometrenin ölçüm boyu, (mm)

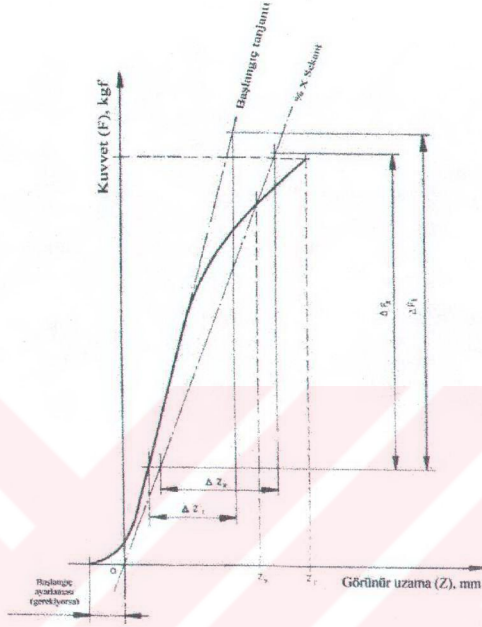
R : Ekstensometrenin büyütme oranı

A_o : Deney numunesinin başlangıçtaki kesit alanı, (cm²)

ΔF_1 : Kuvvet değişimi, (kgf) (Şekil 10.3)

ΔZ_1 : Görünür uzama/kuvvet eğrisinde ΔF_1 'i karşılayan görünür uzama değişimi, (mm)

^(*) : Kopma anındaki görünür uzama, görünür uzama/kuvvet eğrisinden ekstensometrenin büyütme oranı için düzeltme yapmadan, milimetre cinsinden doğrudan okunan değerdir.



Şekil 10.3 Görünür uzama/kuvvet eğrisi (TS 3860)

Bazı deney aygıtlarıyla elde edilen eğriler başlangıç değerlerinde teğet çizmeyi olanaksız kılacak şekilde sapmalar gösterir. Bu gibi durumlarda eğrinin başlangıç noktasını uzama eksenini boyunca kaydırarak düzeltmek gerekir (Şekil 10.3). Veya %0,1 gerilme oranındaki sekant modülünün belirlenmesi ve elde edilen değer başlangıç tanjant modülü olarak kaydedilmesi önerilmektedir.

- Çekme Sekant Modülü

Çekme sekant modülü, uzama/kuvvet eğrisinin başlangıcı ile eğri üzerinde herhangi bir görünür uzama yüzdesine (%X), karşı gelen nokta arasında çizilen düz bir çizginin eğimidir. Çekme sekant modülü (E_x), kgf/cm^2 cinsinden 2.4 eşitliği ile hesaplanır.

$$E_x = \left(\frac{L_o R}{A_o} \right) \cdot \left(\frac{\Delta F_x}{\Delta Z_x} \right) \quad (2.4)$$

Burada;

L_0 : Ekstensometrenin ölçüm boyu, (mm)

R : Ekstensometrenin büyütme oranı

A_0 : Deney numunesinin başlangıçtaki kesit alanı, (cm²)

ΔF_x : Herhangi uzama oranını (%X) karşılayan kuvvet değişimi, (kgf) (Şekil 10.3)

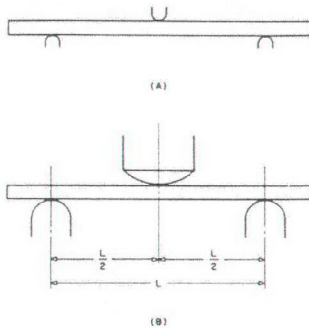
ΔZ_x : Görünür uzama/kuvvet eğrisinde ΔF_x 'i karşılayan görünür uzama değişimi, (mm)

10.3 Eğilme Mukavemetinin Tayini (TS 4650-2)

Bu deney metodu, ön işlem görmemiş numunelere veya ön işleme tabi tutulmuş numunelere uygulanır. Ön işleme tâbi tutulması istenmeyen numuneler TS 720 / ISO 291'e göre 24 saat kondisyonlanmalıdır. Kaynar suda ön işlem görmüş numuneler, bu işlemten en geç 6 saat sonra deneye tabi tutulmalıdır. Deney, ISO 178 göre yapılır. 10x4,5x80 boyutlarında numune hazırlandıktan sonra, üç noktada eğme deneyi uygulanır (Şekil 10.4).

Prensip olarak deneye tabi tutulan numuneye daha önceden kızdırma kaybı deneyinin uygulandığı ve deney sonucunda, cam içeriğinin %65±3 (m/m) olarak tespit edildiği kabul edilir. Cam içeriğinin istenilen değere sahip numunelerin hazırlanması yeteneği, tecrübeyle kazanılır. Şüphe edilen durumlarda, eğilme mukavemeti deneyinde kullanılan ön işlem görmemiş en az üç adet deney numunesine de kızdırma kaybı deneyi yapılır ve cam yüzdesi kesin olarak tespit edilir.

Yük uygulayıcısının standart hızı, 10 mm/dak. olmalıdır. Mesnetler arası mesafe, 55 mm'dir.



Şekil 10.4 Üç noktalı yüklemeye, yükleme uygulayıcısı ve destek diyagramı (TS 4650-2)

Deney uygulandıktan sonra, eğilme mukavemeti 3.1 eşitliği ile hesaplanır.

$$\sigma_{eg} = M_{eg,max.}/W \quad (3.1)$$

Burada;

$M_{eg,max.}$: Max. eğme momenti (F.L / 4)

W: Kesitin karşı koyma direnci. ($W=b.h^2/6$)

Deney sonunda numunelerden herhangi birinin cam içeriği, kütlece %62-68 arasında değilse, deney için yeniden numune çubukları hazırlanır. Ön işlem görmüş veya ön işlem görmemiş 10 deney parçasından alınan sonuçların ortalaması eğilme mukavemeti olarak rapor edilir.

10.4 Yük Altında Eğilme Sıcaklığı (TS 1400)

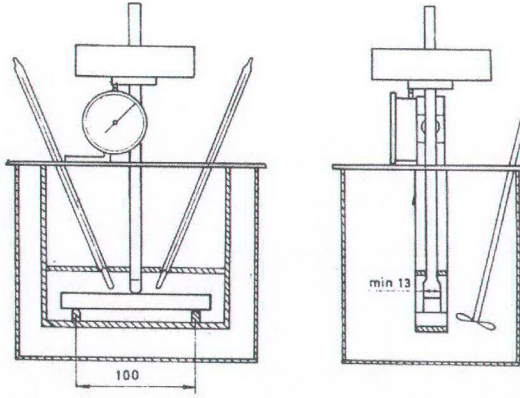
Bu deney, levha halinde kalıplanmış, normal sıcaklıkta sert, kalınlığı 0,32 cm veya daha çok kalın malzemelerin yük altında eğilme sıcaklığının tespit edilmesini kapsar.

Her lif gerilme deneyi için en az iki deney numunesi gereklidir. Deney numuneleri, 12,7 cm boyunda, 1,27 cm eninde ve 0,32-1,3 cm kalınlığında olmalıdır. Kalınlığı 0,100-0,320 cm arasında olan numuneler, kalınlıkları 0,32 cm'den büyük olacak şekilde birleştirilerek denenebilir. Homojen gerilme dağılımı sağlamak için, birleştirilen deney numunelerinin genişlikleri aynı olmalıdır. Birleştirilmiş deney numunelerinin uçları birbirlerine uygun bir yapıştırıcı ile yapıştırıldıktan sonra kenarlar zımpara kağıdı ile düzeltilir. Uygulanan kuvvet doğrultusu, her deney numunesinin kenarlarına dik olmalıdır.

Deney numuneleri, deneyden önce TS 720'ye göre kondisyonlanmalıdır.

Deney numunesini tutan destekler, birbirlerinden 10 cm uzakta, deney numunesi üzerine ve desteklerin tam ortasına yük uygulanabilecek biçimde yerleştirilmiş olmalıdır. Destegın ve basınç uygulayan parçanın basan ucunun kenarları 0,32 cm yarı çapında yuvarlatılmalıdır. Deney numunesini tutan destekleri üst levhayı birleştiren dikey kısımlar ve yük uygulanan çubuk, genleşme katsayısı birbirinin aynı olan maddeden yapılmalıdır.

Deney numunesinin daldırılacağı banyonun ısı iletici sıvısı uygun olarak seçilmelidir. Isı iletim ortamı, numunenin sertliğini etkilemeyecek nitelikte seçilmelidir. Mineral yağlar 115°C'a; silikan yağlar kısa sürelerde 260°C'a kadar ısıtılabilir. Banyo, deney süresince iyice karıştırılmalı ve sıcaklığı $2\pm0,2^{\circ}\text{C/}$ dakika hızla artıracak bir cihazla donatılmalıdır.



Şekil 10.5 Eğilme sıcaklığı deney cihazı (TS 1400)

Uygulanacak yük, lif gerilmesi $18,5 \text{ kgf/cm}^2 \pm \%2,5$ olacak şekilde aşağıdaki formülle hesaplanır. Yük uygulandıktan sonra 5 dakika sonra gösterge sıfıra ayarlanır ve ısıtmaya başlanır. Bu 5 dakikalık bekleme süresi, birçok maddenin oda sıcaklığında ve verilen lif gerilimindeki gözlenen karışanması içindir. 30 dakika içinde meydana gelen eğilmenin büyük bir kısmı ilk 5 dakikada olur.

$$P = 2 \cdot S \cdot b \cdot d^2 / 3 \cdot L \quad (4.1)$$

Burada;

P : Deney numunesinin ortasına uygulanan yük,(kg)

S : Deney numunesinin en büyük lif gerilmesi.

b : Deney numunesinin genişliği, (cm)

d : Deney numunesinin kalınlığı, (cm)

L : İki destek eksen arasındaki uzaklık, (cm) (genellikle 10 cm)

İkinci aşamada işlem, hesaplanan ve $4,6 \text{ kgf/cm}^2 \pm \%2,5$ 'lik lif gerilmesine kadar yük uygulanarak deneyin birinci kısmında anlatıldığı şekilde tekrarlanır. $4,6 \text{ kgf/cm}^2$ lif gerilmesinde, 0,25 mm'lik bir eğilme meydana getiren sıcaklık, eğilme sıcaklığı olarak kaydedilir.

10.5 Darbe Mukavemetinin Tayini (ASTM D 256-90b)

Numune ISO 2018'e göre, 10x4,5x80 boyutlarında hazırlanır. Mesnetler arası mesafe, eğme deneyinden farklı olarak, 62 mm ayarlandıktan sonra, numune deneye tabi tutulur ve darbe dayancı aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\delta_d = W / A_k \quad (5.1)$$

Burada;

W : Kırma için gereken darbe enerjisinin miktarı, (kp)

A_k : Kırılan bölgenin kesit alanı, (mm²)

10.6 Kızdırma Kaybının Tayini (TS 1177)

İncelenen malzeme içerisinde yalnızca cam ve tamamen yanabilen bir reçine bulunuyorsa, kızdırma kaybı reçine miktarına eşittir. Kuvvetlendirici olarak kullanılan cam genellikle dolgu veya cila gibi yardımcı maddelerle kaplıdır. Bu maddelerin büyük kısmı kızdırma sırasında tamamen uzaklaştırılır. Böylece kızdırma kaybı olarak tayin edilmiş olur.

Numune içinde takviye camdan başka yanıcı olamayan mineral dolgu maddeleri varsa veya deney şartlarında tamamen yanmayan reçine gibi maddelerin bulunması halinde bu maddeler kızdırma kalıntısının incelenmesi ile tespit edilebilir ve ağırlık farkı yardımıyla kül tayini yapılır.

İnceleme için, her bir numunenin ağırlığı, minimum 10 gr olan, en az dört deney numunesi alınmalıdır. Numune kalınlığı, 5 mm'den fazla olmamalıdır. Test edilecek maddenin kalınlığı 5 mm'den çok ise numune inceltilmelidir. Cam takviyenin her kalınlıkta düzgün dağılım göstermemesi halinde, numuneler, bütün madde kalınlığını temsil edecek şekilde alınmalıdır. Numuneler incelenecekse, inceltme işlemi, numune içindeki cam miktarının maddedeki cam miktarına uygun oranda kalmasına dikkat edilerek, yapılmalıdır.

Deneye başlamadan önce, uygun malzemeden yapılmış deney kabı (porselen veya platin kroze veya porselen kayak), muffle fırınında son iki tartım arasındaki fark maksimum 1 mg oluncaya kadar ısıtılır. Deney kabı, bir desikatör içinde oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra tartılır (m₁). Numune, deney kabına konularak tekrar tartım yapılır (m₂). Deney numunesi yanıcaya kadar alevde ısıtılır. Yakma işlemi numunenin orta hızla yanacağı ve yanma sonunda yalnız kül ve karbon kalacak bir sıcaklıkta (625±20°C) muffle fırınında

yapılır. Deney kabı ve içindeki kalıntı, desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulur ve tartım yapılır (m_3). Birbirini izleyen iki tartım arasındaki fark 1 mg'den az oluncaya kadar işleme devam edilir.

Her deney numunesi için kızdırma kaybı (P_k), ilk madde ağırlığının yüzdesi olarak, 6.1 eşitliğiyle, formülle hesaplanır.

$$P_k = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \cdot 100 \quad (6.1)$$

P_k olarak hesaplanan değerlerin aritmetik ortalaması, sonuç olarak alınır.

10.7 Su Absorbsiyonunun Tayini (TS 702)

Deney, kalıplanmış veya levha şeklindeki numunelerin, belirli sıcaklıktaki suya belirli bir süre batırıldıklarında, absorbe ettikleri su ağırlığının tayini için uygulanır. Elde edilen su absorpsiyon değerleri, bu maddelerin belli rutubet şartlarındaki durumlarını gösterir, absorbe edecekleri maksimum su miktarını göstermez. Absorbe edilen su, malzemenin boyutlarını etkilediği gibi, elektriksel ve mekanik özelliklerini de etkilemektedir.

Deney numunesi, $50 \times 50 \pm 1$ mm boyutlarında hazırlanır. Numunenin kalınlığı levha kalınlığına eşittir. Kesme yüzeyleri pürüzsüz olmalı ve kesme işleminden dolayı yüzeylerde yanmış kısımlar bulunmamalıdır.

Matris malzemelerinde, suda çözünen maddelerin bulunması, su absorpsiyon değerinin yanlış elde edilmesine; dolayısıyla malzemenin rutubet şartlarındaki durumunun yanlış yorumlanmasına yol açar. Bu nedenle, matris malzemesinde, suda çözünen madde bulunup bulunmadığı önceden kontrol edilmelidir. Buna göre, deney iki ayrı şekilde yapılmalıdır:

Metot A, suda çözünen maddelerin ortamda önemli miktarda bulunmaması halinde: üç adet deney numunesi, $50 \pm 2^\circ\text{C}$ 'de tutulan etüvde, 24 ± 1 saat bekletilerek kurutulur. Desikatörde soğutulduktan sonra, her biri %0,1 hassasiyetli tartıda tartılır (tartım W_1). Deney numuneleri, tartım işleminden sonra, $23 \pm 3^\circ\text{C}$ 'de tutulan ve içerisinde damıtık su bulunan banyoya daldırılır. Daldırma işlemi sırasında, numune yüzeylerinin birbirine veya banyo cidarlarına değmemesine dikkat edilmelidir. 24 ± 1 saatlik daldırma süresinden sonra numuneler banyodan çıkarılır ve bütün yüzeylerdeki su, temiz ve kuru bir bez numunesi veya süzgeç kağıdı ile uzaklaştırılır. Numuneler banyodan çıkarıldıktan bir dakika sonra tekrar tartılır (tartım W_2).

Su absorbsiyon değeri, ($W_2 - W_1$)'e eşit olup, miligram olarak gösterilir. Analizi yapılan maddenin su absorbsiyon değeri, deneyi yapılan numunelerden elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması olarak verilir.

Metot B, suda çözünen maddelerin ortamda önemli miktarda bulunması halinde: Metot A uygulandıktan sonra, deney numuneleri, $50 \pm 2^\circ\text{C}$ 'de tutulan etüvde, 24 ± 1 saat bekletilerek, tekrar kurutulur. Kurutulan numuneler, desikatörde soğutulur ve tekrar tartım yapılır (tartım W_3).

Su absorbsiyon değeri, ($W_2 - W_3$)'e eşit olup, miligram olarak gösterilir. Analizi yapılan maddenin su absorbsiyon değeri, deneyi yapılan numunelerden elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması olarak verilir.

10.8 Alev Dayanım Deneyi (TS 8697, EN 60598-1)

960°C 'ye ısıtılmış 4 mm çapında ucu bükülmüş bir tel kullanılarak deney yapılır. Bükülen uç, numune yüzeyine 2 N kuvvet etkisinde, 30 saniye değdirildikten sonra oluşan iz ölçülür.

Bunun dışında hazırlanan numuneye yakma testi uygulanır. Yakma testi sonunda, numune de herhangi bir deformenin olmaması istenir.

10.9 Sertlik Değerinin Tayini (ASTM D 2538-87)

Bu test metodu cam takviyeli ve takviyesiz olmak üzere tüm rijit plastik malzemelerin Barcol cihazı kullanarak sertliklerinin ölçülmesini kapsar. Değerler standartta belirtildiği gibi SI birimleri ile verilir.

Barcol cihazının küçük boyutları ve taşınabilirliği sabit ve büyük parçalı malzemelerin sertliklerinin üretim sonrasında kolaylıkla ölçülmesini sağlar.

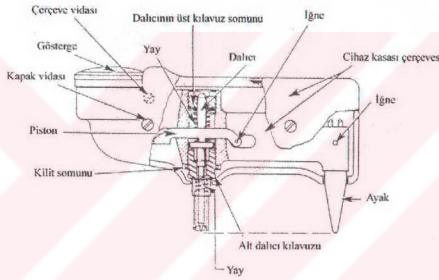
Deneyin yapılacağı numune yüzeyi pürüzsüz ve hiçbir mekanik hasara uğramamış olmalıdır. Numuneler en az 1,5 mm (0,0625 in.) kalınlık ve cihazın ucundan her yöne en az 3 mm uzaklığa sahip olacak büyüklükte olmalıdır.

Batıcı uç sertleştirilmiş çelik malzemeden yapılmıştır. Tepe açısı 26° olan konik ve 0,157 mm'lik (0,0062 in.) bir iz çapına sahiptir. Gösterge saati, 100 bölümden oluşmakta ve her bir bölüm 0,0076 mm (0,0003 in.) batma derinliğine karşılık gelmektedir. Değer yükseldikçe sertlik artar.

Numune (veya kalibrasyon disk) sert bir yüzeye yerleştirilir. Eğer yüzey yumuşak olursa deney sonuçları hatalı olabilir. Cihaz numune üzerine yerleştirilir. Cihazın ayakları da numune üzerine veya yer yoksa numune ile eşit kalınlıkta sert bir yüzeye yerleştirilmelidir. Böylece cihazın ucu numuneye dik hale gelir.

Ucun yeri ayarlandıktan sonra uygulama çabuk bir şekilde yapılır. Gösterge saati maksimum değerine ulaşana kadar sabit artan bir yük numuneye uygulanır. Bu esnada cihazın ucu kesinlikle sabit tutulmalıdır. Herhangi bir kayma ya da titreme ölçümün doğruluğunu etkiler.

Cihazın kalibrasyonu üretici firma tarafından cihazla birlikte verilen sert ve yumuşak alüminyum diskler kullanılmalıdır. Aynı alaşım ve özelliklerde olmadıkça başka diskler kullanılmamalıdır.



Şekil 10.6 Barcol sertlik ölçme cihazı (ASTM D 2538-87)

Çizelge 10.2 Bazı malzemelerin Barcol sertlik değerleri (ASTM D 2538-87)

Malzeme	Barcol Sertlik Değeri				
	Ortalama	S_R^A	S_R^B	I_R^C	I_R^D
SAN	35	1,04	2,93	3	8
BMC	39	0,95	3,75	3	11
Takviye edilmiş SAN	44	1,11	2,25	3	6
Polyester Levha	55	1,45	1,93	4	5
SMC	61	1,14	2,15	3	6

10.10 Özgül Ağırlık Deneyi (TS 1818, ASTM D792-86)

Numunenin özgül ağırlığının ve yoğunluğunun ölçülmesi ile ilgili standartlar, bu ölçümlerin iki ayrı test yöntemi ile yapılabilmesini içermektedir.

Metot A, 1-50 g'lık bir parça numunenin sudan hafif batırıcılar yardımı ile saf su içinde tartılmasını içerir ve sudan etkilenmeyen numuneler için uygundur.

Deney için 0,1 mg hassasiyette analitik terazi, numuneyi asmak için korozyona dirençli tel, korozyona dirençli, özgül ağırlığı en az 7 g/m³ olan, pürüzsüz yüzeyli, muntazam şekilli, numunenin batmasını sağlayacak kadar ağırlıkta batırıcı, suyu ve numuneyi içine alacak genişlikte batırma kabı ve $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ($\pm 2^{\circ}\text{F}$) hassaslıkta bir termometre ve saf su gereklidir.

Test edilecek numune 1 cm³'ten küçük olmamak kaydıyla herhangi şekil ve ağırlıkta olabilir. Her 1 g ağırlık için en az 1 mm kalınlığında olması gereken uygun numune 1-5 g ağırlık uygundur. Numune kesimi sırasında sürtünmeden dolayı açığa çıkan ısı ve gerilmelerin yoğunluğu değiştirici boyutta olmamasına dikkat edilmelidir. Numune yüzeyindeki yağ, kir gibi tüm yabancı maddeler temizlenmelidir.

Teraziye, terazi kefesinin üstündeki kancadan daldırma kabının desteğine yetiyecek uzunlukta, bir tel bağlanır ve numune kap desteğinin 2,5 cm (1 in.) üstünde olmak üzere tele bağlanır ve $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta, asılı numune (eğer kullanıldıysa batırıcılar) tamamıyla suya daldırılır. Kap numuneye kesinlikle değmemelidir. Numuneye temas eden baloncuk var ise uzaklaştırılmalıdır.

Numune su içindeyken istenilen hassasiyette ikinci kez tartılır Bu tartım, su absorpsiyonunu engellemek için en hızlı şekilde yapılmalıdır.

Her örnek için en az iki numune ile deneyin yapılması tavsiye edilmektedir.

Numunenin özgül ağırlığı, 9.1 eşitliği ile formülle hesaplanır.

$$Spgr_{23/23^{\circ}\text{C}} = \frac{a}{a + w - b_a} \quad (9.1)$$

Burada;

a : Numunenin ilk ağırlığı

w : Sıvı içinde numene ve aparatların ağırlığı

b : Aparatların ağırlığı

Özgül ağırlığa bağlı olarak, yoğunluğun hesaplanması ise,

$$\rho = Spgr_{23/23^{\circ}\text{C}} \times 0,9975 [\text{mg}/\text{m}^3] \quad (9.2)$$

formülü ile yapılmaktadır.

Metot B, saf su haricinde bir sıvı kullanmak suretiyle 1-50 g arasındaki sudan etkilenen veya sudan hafif numunelerin test edilmesinde kullanılır.

Metot A'daki terazi, tel ve daldırma kabına ek olarak 25 ml'lik termometreli piknometre ve sıcaklığı $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de ayarlamak için sabit sıcaklık banyosu gerekir.

Daldırma sıvısı numuneyi etkilemeyecek; çözülmesine, şişmesine veya kabarmasına yol açmayacak, numuneden daha az özgül ağırlığa sahip ve ıslatıcı nitelikte olmalıdır.

Numuneler metot A'daki standartlarda, olmak suretiyle deney prosedürü de yine aynıdır.

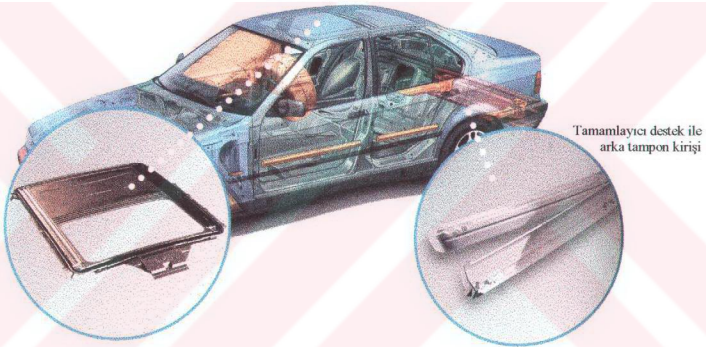


11. SMC ÜRÜNLERİNİN KULLANIM ALANLARI

11.1 Otomobillerdeki Yapısal Parça Uygulamaları

Audi, BMW, Mercedes-Benz ve Porsche gibi Alman otomobil ürünlerinde ön ve arka panel parçalarında fonksiyonelliği, dizayn ve şekillendirme yönünden avantajlı olması nedeniyle uzun süredir kullanılmaktadır. Buna modern otomobiller için birinci hedef olan, emniyet ve konfor da ilave edilebilir (Jutte, 1989).

BMW uygulamalarında, muhtelif dizayn modüllerinde geniş şekil serbestliği, pürüzsüz dizayn ve düşük cw değeri nedeniyle tamponlarda kullanılırlar. Ayrıca sürekli cam örgü içeren SMC yapılarda sertliğin mükemmel olması, çarpma esnasında yapı yüzeyinde oluşabilecek eğilmenin az olmasını sağlamaktadır.



Şekil 11.1 Açılabilir tavan şasi (Inoplast, 1998)

BMW açılabilir tavan şasi

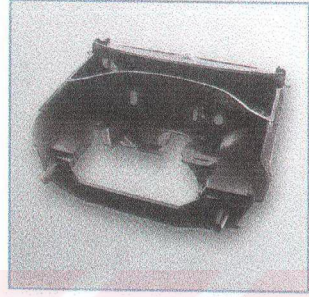
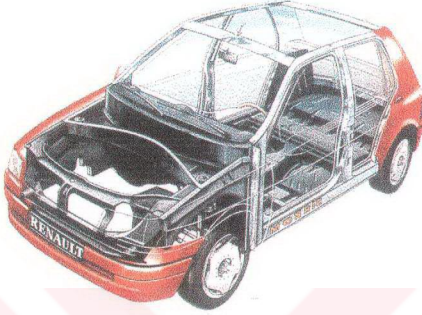
- *Tamamlayıcı alüminyum kılavuz yatakları ile düşük yoğunluklu SMC
- *Sıkılık test toleransı mümkün
- *Parça yüksekliği 53mm'den 35 mm'ye düşer
- *Düşük cw değeri ile geniş ve pürüzsüz yüzey kalıplanabilme
- *Parçaların yüksekliğinin minimuma inmesinden faydalanılarak tünel açıklığı artırılır.

BMW tampon kirişi

- *Serbest şekillendirme (metalik malzemelerde zor)
- *Düşük sermaye
- *Korozyona karşı dayanım
- *Düşük cw değeri ile pürüzsüz yüzey üretebilme
- *Çarpma esnasında düşük eğilme oranı
- *Sürekli cam örgü nedeniyle yüksek eğme mukavemeti ve düşük ağırlık

Diğer bir uygulaması da, açılabilir tavan şasilerdir. Kısmi tamamlayıcı alüminyum kılavuzlama yataklarının yüksekliğinde, 53 mm'den 35 mm'ye azalma elde edilir ki, bu

durum, yolcular için geniş tünel açıklığı sağlamaktadır. Üretimin ilk adımında modüller kalıplanır, son birleştirmede ful otomatik operatörler ile bağlantı noktalarından birleştirilir. SMC'den yararlanılarak ağırlığın daha fazla düşürülmesi, özellikle düşük yoğunluklu SMC'ler için tek amaçtır. Bu modül, farklı otomobil modelleri için 2 milyon kere üretilmiştir.



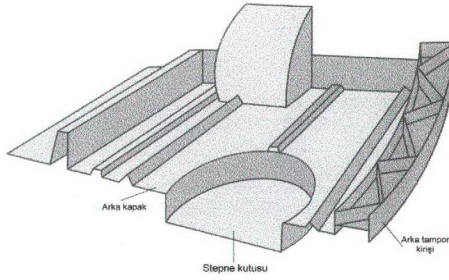
Şekil 11.2 MOSAIC ön yüzü (Cam Elyaf San. A.Ş., 1996)

1990 yılında başlayan EUREKA programı içinde geliştirilen MOSAIC projesi kapsamında, dört yıl süren bir çalışma sonucunda, Renault-Clio otomobillerinde ilk kez “yapısal parça” üretiminde SMC kompozitleri kullanılmıştır. Kullanılan kompozit malzemenin %45 cam elyafında takviye edilmiş vinilester ve polyester reçinelerin bileşiminden hazırlanan olduğu belirtilmiştir.

Çelik malzeme kullanılarak yapıldığında 60 ayrı parçadan oluşturulan blok, kompozit malzemelerle 9 parçadan oluşturulabilmektedir. Bunun dışında çelik yapılar, 30 adet olan birleştirme ve montaj yerleri kompozit malzemede 3'e indirilmiştir. Bu şekilde oluşan bir konstrüksiyonla da, işçilik maliyetinde %90 oranında bir tasarruf sağlanmıştır.

Günde 50-2000 adet otomobil üretimi için ekonomik olduğu hesaplanan bu yöntemle üretilen otomobillerin darbe dayanımlarının da beklenenin üzerinde olduğu belirtilmektedir.

1985 yılında başlayan CARMAT programında şahıs otomobillerinin arka kapak konstrüksiyonu, mukavim SMC ile üretmeye çalışılarak, Citroen AX üzerinde çalışılmıştır. CARMAT programı dahilinde otomobil arka kesitinin kombine üretimi mümkün olmaktadır. Kompozit arka kapağın orijinali 40 parça çelik malzemeden yapılmaktayken; SMC ile üretilmesi parçanın tek olarak elde edilmesini sağlamıştır (Şekil 11.3). Bu şekilde ağırlık tasarrufu sağlanmakta, SMC'nin korozyon dayanım özelliğinden faydalanılmaktadır.



Şekil 11.3 Citroen AX'in ara kapağı (Inoplast, 1998)

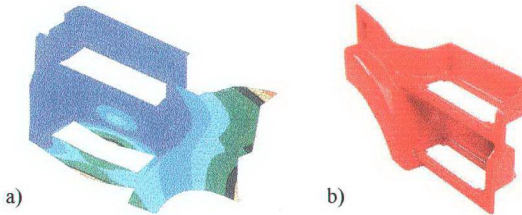
BMW 3.5, BMW 7, Audio 100, Mercedes S-Class ve Peugeot 405 otomobillerinde de SMC, arka tampon kirişi yapımında kullanılmaktadır. Audio 100, Renault 21 ve Opel Omega' da stepne kutusu SMC ile üretilmektedir.

11.2 Kamyonlardaki SMC Uygulamaları

Kamyonlarda SMC parçalar temel olarak dört uygulamada kullanım yeri bulmuştur.

11.2.1 Kamyonlardaki Yapısal Uygulamaları

Fiyat düşüklüğü, hafifliği, korozyon dayanımı, fonksiyon bütünlüğünün olması ve renkli parçaların üretilmesi nedeniyle SMC kompozitler; tampon, giriş basamakları, korsa tamponlar ve çok fonksiyonlu taşıyıcılar gibi yapısal parçalarda kullanılmaktadır. Günümüzde, FEM hesaplamalarıyla gerilim dağılımının (Şekil 11.4.a) belirlenmesi ile, çelik malzeme kullanılırken istenen mekanik özellikler SMC kompozitleri ile de yakalanmıştır. Şekil 11.5'de Mercedes Benz kamyonlarındaki kabin basamakları gösterilmektedir.



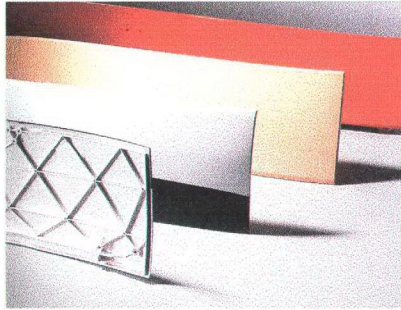
Şekil 11.4 (a) FEM hesaplaması ile gerilim dağılımı; (b) SMC tekerlek kutusu ve kabin basamakları (Inoplast, 1998)



Şekil 11.5 Mercedes Benz kamyonunun kabin basamakları (Inoplast, 1998)

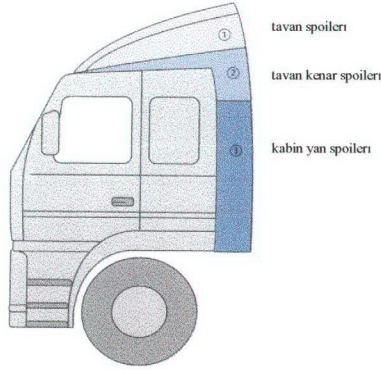
11.2.2 Kamyonlarda Dış Gövde Uygulamaları

IMC düşük basınç veya yüksek basınç ile şekillendirilerek elde edilmiş düşük-profil SMC parçalarında A sınıfı kaliteli yüzeyin elde edilmesi, şekillendirme serbestliğinin ve mekanik özelliklerinin iyi olması nedeniyle; ön panel, ızgara, kapı ve çamurluk imalinde de kullanılmaktadır. Şekil 11.6'da düşük-profil SMC veya standart SMC ile üretilmiş ön paneller gösterilmektedir.



Şekil 11.6 SMC ön paneller (Inoplast, 1998)

11.2.3 Kamyonlardaki Rüzgarlık Uygulamaları

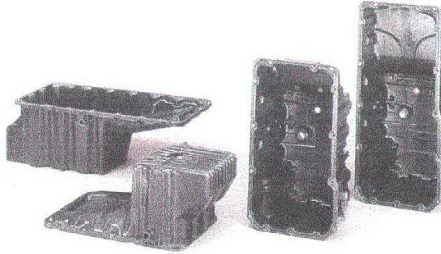


Şekil 11.7 SMC ile üretilen spoiler örnekleri (Inoplast, 1998)

SMC kompozitlerin kalitelerinin artması ve ekonomikliği nedeniyle, tavan ve tavan kenar spoiler'ları ile kabin yan spoiler'ları üretimi de yapılmaktadır. Tavan spoiler'ları gibi büyük boyutlu parçalarda 3-4 mm et kalınlığı yeterli olmaktadır. 40-t-kamyon sürücü kabin spoiler'larında yeterli dayanım göstermesinin yanında sadece 30-35 kg ağırlığındadır.

11.2.4 Kamyonlardaki Kaporta İçi Uygulamaları

Hafiflik ve gürültüyü azaltması, şekillendirme serbestliği ve fonksiyonel bütünlüğünün olması, karmaşık şekillerinde üretimini mümkün kılmaktadır. Alüminyum ve çelikten yapılan motor karter tabanlarının, yukarıda sayılan özellikler ve sönüm özelliğinin iyi olması nedeniyle kullanım alanı bulmuştur.



Şekil 11.8 SMC motor karter tabanları (Inoplast, 1998)

Bunun dışında kamyonlarda, motor kapağı ve emme manifoldu olarak ta kullanılmaktadır. Bu tür parçalardan istenen gürültü sönümü; hafiflik; -40°C ve 160°C sıcaklıkları arasında dayanım; yağ, mazot, fren yağı, soğutma sularına karşı kimyasal dayanım; titreşime karşı mekanik dayanım gibi özellikleri, SMC ile üretilmiş parçalarla karşılamak mümkündür.

11.3 Toplu Taşıma Araçlarındaki Uygulamaları



Şekil 11.9 SMC ile üretilmiş TGV'ler (Inoplast, 1998)

Toplu taşıma araçlarında kullanılacak SMC parçaların eğme mukavemetinin, 160 N/mm^2 ; E modülünün, 10.000 N/mm^2 ; çekme mukavemetinin 85 N/mm^2 ; darbe mukavemetinin 70 kJ/m^2 ; ısıl deformasyon sıcaklığının 200°C olması istenir.

Toplu taşıma parçalarından istenen diğer özellikler:

- Ateşe karşı dayanım (Yanma direnci)

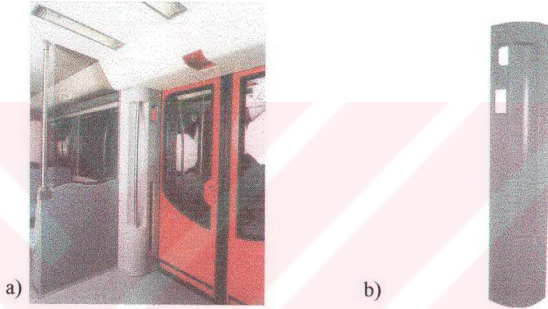
Toplu taşıma aracı olan lokomotiflerde, ateşe dayanım kritik noktadır. Genellikle trenin tünel içindeki hareket hali veya sabit hali kritik koşuldur. Duman emisyonu gibi kritik durumlarda, yolcuların tahliye edilmesi, tünel koşuludur. Bununla beraber, malzeme karakteristiği, yüksek ateş dayanımı, düşük duman emisyonu olmalıdır.

- Konstrüksiyon ağırlığının düşüklüğü

SMC ile farklı yollarla ağırlıktan kazanç sağlanmaktadır. Bunlardan biri, duvar kalınlığının ince olmasıdır. Kuvvetlendirici maddelerin ilavesi ile mükemmel mekanik özelliklerle beraber kalınlığı az olan parçalar üretmek mümkündür. Diğer, SMC yoğunluğunun düşük olmasıdır. Düşük yoğunluklu dolgu maddelerini ilavesi ile malzemenin yoğunluğu düşürülmektedir. Aynı zamanda cam içeriğinin hacimce oranı ve ATH içeriği ayarlanarak, mekanik ve ateş dayanım özellikleri değiştirilebilmektedir.

- Fonksiyon bütünlüğü

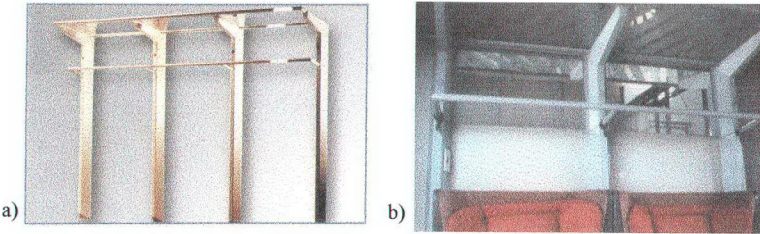
SMC'nin en büyük avantajlarından biri fonksiyon bütünlüğüdür. Lokomotif üretiminde, montaj bölgelerinde çalışma adımlarının ve zamanının azaltılması yani tabaka panellerinde multifonksiyonel sistem üretimi mümkündür. Direkt kalıplanabilme bütünlüğünde, vida-somun, mil, menteşe gibi montaj araçları uygulanabilmektedir. İnce duvar kalınlığına sahip büyük parçaların kalıplanabilmesinin yanı sıra, parça içinde istenen bölgelerde duvar kalınlığının değişimi söz konusudur. Geometri ve kuvvetlendirme bütünlüğü mevcuttur. Parçaların yüzey kalitesi iyidir (Şekil 11.10). Ayrıca hoparlör, el freni ve çeşitli elektriksel donanım gibi fonksiyonel parçaların yerleştirilebilmesi için, parça içi boşluklar oluşturulabilir.



Şekil 11.10 (a) Berlin treninin SMC sütunları; (b) monte edilmemiş SMC kapı kenar paneli (Inoplast, 1998)

- Yapısal sistemler

SMC'nin yüksek mekanik özelliklere sahip olması, bagajlık gibi yapısal parçalarda da kullanımını sağlamaktadır. Uygulamaları Şekil 11.11'de gösterilmektedir.



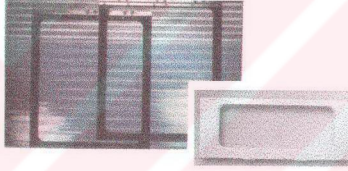
Şekil 11.11 (a) Kademeli SMC bagajlık; (b) InterRegio treninin iç kısmındaki SMC bagajlık (Inoplast, 1998)

- Kalıplama davranışları

SMC parçalara zımbalama, matkapla delme, frezeleme, testereleme, kesme ile de son şekilleri verilebilir. Bunun dışında SMC parçaların ısıl performansı, inceliğine, açık/kapalı boyanmasına ve yoğunlaştırılmasına bağlı olarak değişir.

- Ekonomiklik

Şekil 11.12'de görülen pencere çerçevesi, geleneksel yöntem ve metal malzeme ile yapıldığında 20'den fazla işlem uygulanmaktadır. Oysa ki SMC malzeme kullanıldığında, tek bir işlem adımıyla 5 dakikadan daha kısa bir zaman diliminde üretilabilmektedir. Üretim maliyetini düşürücü diğer etkiler ise SMC'nin pigmentlerle renklendirilebilmesi ve renkli parçaların oluşturularak boyama masrafının ortadan kaldırılması, SMC parçaların dayanıklı olması nedeniyle bakım ve onarım masrafının en aza indirgenilmesi, korozyona dayanıklı olmalarının kullanım ömürlerini uzatmasıdır.

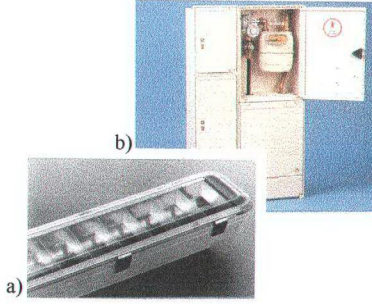


Şekil 11.12 Pencere çerçevesi (Inoplast, 1998)

- Temizlenebilme fizibilitesinin kolay olması

11.4 Elektronik Alanındaki Uygulamaları

Tavan ışık ekipmanları veya endüstriyel reflektör gibi aydınlatma uygulamalarında, alüminyum ve çelik yaygın kullanılsa da; kompozit malzemelerin kullanıldığı başlıca iki ürün vardır: pist aydınlatma, rutubete dayanıklı lambalar (Şekil 11.13a) ve ölçü kabinleri (Şekil 11.13b). Aydınlatma ürünlerin kompozit malzeme ile üretilmesindeki avantajlar şöyle sıralanabilir: toz ve suya karşı koruma özelliği iyi, kalıplanabilme, yüksek şok dayanımı, termal şoklara ve korozyon atmosfere karşı dayanım gösterme, su sızdırmazlık. Bunların dışında ölçü, ince duvar kalınlığı, dış açabilme, perçinlenme vb. işlemler, kalıptan direkt yarım menteşe oluşturabilme gibi fonksiyonel özelliklerde dikkate alınmaktadır. Elektrik, gaz ve su için ölçü kabinlerinin kasaları da SMC ile üretilmektedir. Kabinlerde tercih edilmesinin başlıca nedenleri, rijitlik ve izolatörlük özelliği ile yük güç dayanımı için yüksek sıcaklığa dayanımıdır.

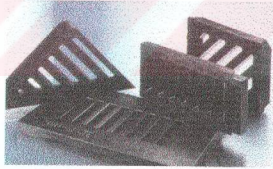


Şekil 11.13 (a) Rutubete dayanıklı lamba; (b) ölçü kabini (Inoplast, 1998)

11.5 İnşaat ve Konstrüksiyonlarındaki Uygulamaları

Drenaj ızgaraları ve kapakları:

SMC ile üretilmiş kompozitin yükleme kapasitesi yüksektir, anti korozyiftir ve fonksiyonel bütünlüğü vardır. Bunun dışında üretim maliyetinin düşüklüğü de kullanım yerine göre bu malzemeyi cazip kılmaktadır. Üretim maliyetini etkileyen faktörler çok sayıda üretimin yapılabilmesi, minimum bakım istemesi, taşıma ve montaj kolaylığıdır. Sayılan özellikler nedeniyle SMC, drenaj ızgaraları ve kapaklarında da kullanılmaktadır.



Şekil 11.14 SMC su ızgaraları (Inoplast, 1998)



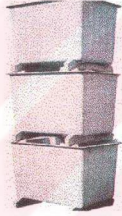
Şekil 11.15 Meisinger firmasının ürettiği drenaj ızgaraları (Cam Elyaf San. A.Ş., 1997)

Alman plastik kalıplayıcısı olan Meisinger firması, değişik boyuttaki drenaj ızgara ihtiyaçlarını karşılamak üzere 2 ila 15 tonluk tekerlek yüküne dayanacak mukavemetteki modüler ızgaraları SMC metodu ile kalıplamaktadır. Aynı firma tarafından üretilen bodrum havalandırma pencerelerinin de, kullanışlılığı nedeni ile büyük bir kullanım potansiyeli oluşturduğu belirtilmektedir.

Depolar:

Basınçta şeklini değiştirmeme, korozyon ve kirlenmeye karşı direncinin fazla olması ile depo tabakalarında da kullanılmaktadır. Depolarda bu özelliklerin dışında üretim maliyetinin de düşük olması istenir ki, SMC'nin taşınabilme, montaj ve bakım kolaylığının olması bu isteğe de cevap vermektedir.

Özellikle gıda ve kimya endüstrisi için yapılan değişik boyutlu, tek parça depolama kapları, kuvvetlendirilmiş tabanı ve alt yüzeyine takılan ayaklar sayesinde fork lift ile kaldırılarak üst üste depolanabilmektedir. Ayrıca tabanına monte edilen tekerleklerle, depolamanın yanı sıra, tesis içi nakliye amacıyla da kullanılabilirler (Şekil 11.16).



Şekil 11.16 Sınai depolama kapları (Cam Elyaf San. Tic. A.Ş., 1996)

Çatı zemini ve GRP balkonlar:



Şekil 11.17 Çatı zemini (Inoplast, 1998)

Sızdırmaz olması, korozyon dayanımının yüksek olması, taşıma-monte edilebilme kolaylığı dolayısıyla üretim maliyetinin düşüklüğü, termal ve akustik izolasyon özeliği göstermesi nedeniyle, balkon ve çatı zeminlerinde kullanılmaktadır. Şekil stabilitesi ve dayanımı yüksektir. Ayrıca çatı arası ve restorasyon için ideal bir mimari malzemedir.



Şekil 11.18 GRP balkonlar (Inoplast, 1998)

Bu uygulamaların dışında cazip renk seçeneğinin olması ve yukarda sayılan özellikleri nedeniyle posta kutusu üretiminde kullanılmaktadır.

Telefon Kabinleri:

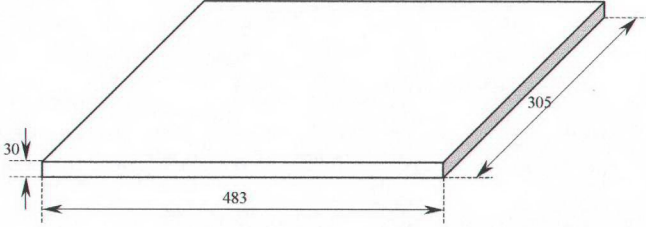
Almanya’da kullanılan telefon kulübelerinde, CTP malzeme kullanılmaktadır. Siemens’in bir yan kuruluşu olan RXS/Hagen firması tarafından, SMC metodu ile kalıplanan telefon kulübeleri, dört taşıyıcı silindirik kolona bağlanan iki adet cam yan duvar ile CTP arka panel, çatı ve taban modüllerinden oluşmaktadır. (Cam Elyaf San. A.Ş., 1997; Inoplast, 1998; Keimer vd., 1999; Marrissen vd.,1999).



Şekil 11.19 Telefon kabini (Cam Elyaf San. A.Ş., 1997)

12. DENEYLER

Deneylerde kullanılacak SMC kompozit plakaları, Kimelsan Kimya Elektrik San. ve Tic. Ltd. Şti.'de 4 mm kalınlığında üretilmiştir.



Şekil 12.1 Deney numunelerinin çıkarıldığı SMC plakası

Plaka bileşimlerinde, polyester reçine oranı sabit tutulup, E-Camı ve dolgu malzemesi olarak kullanılan CaCO_3 oranı, ters orantılı değiştirilerek farklı özelliklere sahip kompozit levhalar incelenmiştir. SMC plakalarının beş farklı bileşimde olması nedeniyle, numuneler numaralandırılmıştır. Numunelerin kimyasal kompozisyonları ve sistematik sınıflaması Çizelge 12.1'de gösterilmiştir.

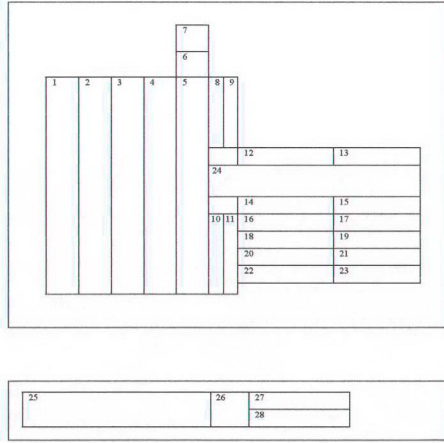
Çizelge 12.1 Numunelerin kimyasal kompozisyonları ve sistematik sınıflaması

Numune Numarası	Tip	Bileşim (%)			
		Polyester	Dolgu Maddesi	E-Camı	Diğerleri
N1	%10	1,20	3,00	0,50	0,3
N2	%15	1,20	2,75	0,75	0,3
N3	%20	1,20	2,50	1,00	0,3
N4	%25	1,20	2,25	1,25	0,3
N5	%30	1,20	2,00	1,50	0,3

* 5 kg'lık şarj için hazırlanmıştır.

Numuneler, ISO 2818'e göre, dekopaj testeresi ile plakalardan kesilerek çıkartılmış, daha sonra zımparalanarak ile numune kenarları düzeltilmiştir. Buna göre N1, %10 cam hacim oranını; sırasıyla N2, %15 cam hacim oranını; N3, %20 cam hacim oranını; N4, %25 cam hacim oranını; N5, %30 cam hacim oranını göstermektedir.

Numunelerin hazırlanması ve sistematik sınıflaması işlemlerinden sonra, mekanik özelliklerin belirlemesi için numuneler gerekli deneylere tabi tutulmuştur.



Şekil 12.2 Plakalardan deney numunelerinin çıkarılması

Çizelge 12.2 Plakadan çıkarılan deney numuneleri

Orta Kısım		
Enine ekseninde çekme deneyi numunesi	1, 2, 3, 4, 5	
Yoğunluk deneyi numunesi	6, 7	
Boyuna ekseninde eğme deneyi numunesi	8, 9	
Boyuna ekseninde darbe deneyi numunesi	10, 11	
Enine ekseninde eğme deneyi numunesi	12, 14, 16, 18, 20, 22	
Enine ekseninde darbe deneyi numunesi	13, 15, 17, 19, 21, 23	
Boyuna ekseninde çekme deneyi numunesi	24	
Etek Kısım		
Çekme deneyi numunesi	25	
Yoğunluk deneyi numunesi	26	
Eğme deneyi numunesi	27	
Darbe deneyi numunesi	28	

12.1 Yoğunluk Deneyleri (TS1818, ASTM D 792-86)

Yoğunluk deneyleri için, bileşimleri farklı SMC plakalarından 20x20x4 mm boyutlarında olan numuneler, plakaların orta ve etek noktalarından, kesilmiştir.

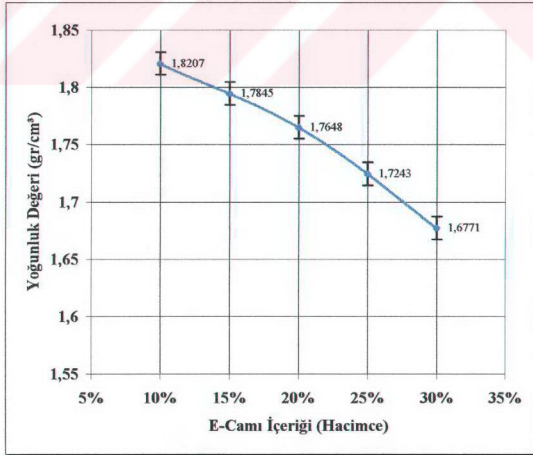
Numune ağırlıkları, 0,01 tamlıkta dijital terazide tartılmış, SMC plakalarının yoğunlukları hesaplanmıştır ve ölçülen sonuçlar, Çizelge 12.3 ve Çizelge 12.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 12.3 Yoğunluk deneyi hesaplamaları

Numune Numaraları		Numune Boyutları (cm)			Numune Hacmi (cm ³)	Numune Ağırlığı (gr)	Yoğunluk (gr/cm ³)
		a	b	h			
N.1	Orta1	2,009	2,011	0,375	1,5150	2,7332	1,8041
	Orta2	2,016	2,072	0,383	1,5998	2,9393	1,8373
	Etek	2,149	2,065	0,395	1,7529	1,7781	1,7781
N.2	Orta1	2,158	2,073	0,334	1,4941	1,8053	1,8053
	Orta2	2,186	1,922	0,330	1,3865	1,7637	1,7637
	Etek	2,068	2,056	0,397	1,6876	1,7662	1,7662
N.3	Orta1	1,945	1,973	0,334	1,4838	1,7364	1,7364
	Orta2	1,936	2,027	0,333	1,5579	1,7932	1,7932
	Etek	2,095	2,381	0,371	1,8505	1,7482	1,7482
N.4	Orta1	2,106	2,135	0,330	1,2817	1,7287	1,7287
	Orta2	2,078	2,265	0,331	1,3068	1,7198	1,7198
	Etek	2,113	2,184	0,390	1,8400	1,6646	1,6646
N.5	Orta1	2,014	2,118	0,379	1,6167	1,6868	1,6868
	Orta2	2,014	2,125	0,382	1,6349	1,6673	1,6673
	Etek	2,201	2,293	0,397	2,0036	1,5812	1,5812

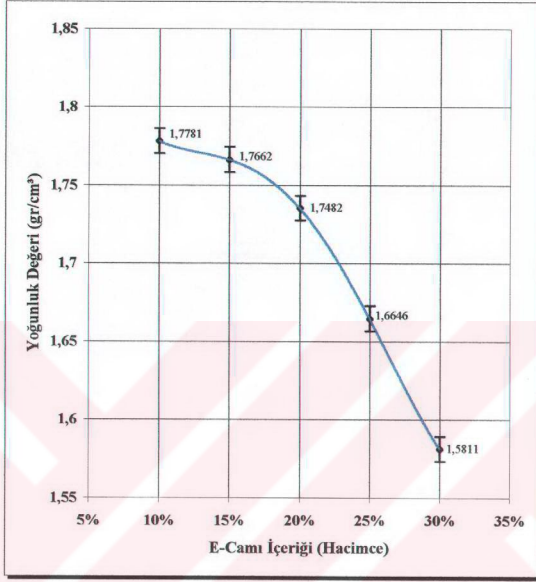
Çizelge 12.4 Yoğunluk deneyi sonuçları

Cam İçeriği (%)	10	15	20	25	30
Orta	1,8207	1,7845	1,7648	1,7243	1,6771
Etek	1,7781	1,7662	1,7482	1,6646	1,5811



Şekil 12.3 Orta kısım yoğunluk deneyi grafiği

Parça geometrisi göz önüne alınarak yüzey köşegeninin ortasına karşılık gelen noktalardan çıkarılan numunelerin yoğunluk deneyleri Şekil 12.3'de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği gibi cam hacim oranının artmasıyla, yoğunlukta düşüş gözlenmiştir.



Şekil 12.4 Etek kısmı yoğunluk deneyi grafiği

Benzer deneyler, etek kısmındaki numunelere de yapılmıştır ve orta kısma göre, değerler farklı olsa da aynı düşüş gözlenmiştir (Şekil 12.4). Bunun nedeni, kullanılan E-camı yoğunluğunun $2,56 \text{ g/cm}^3$, CaCO_3 yoğunluğunun $2,75 \text{ g/cm}^3$ olmasıdır. Zira cam hacim oranı artarken, kalsit hacim oranının azalması yoğunluğun düşmesinin başlıca nedenini oluşturmaktadır. Düşüş, etek kısmında göreceli olarak daha fazla olmaktadır. Bununda en önemli nedeni 50 mm boyundaki cam fiberlerin gerekli viskoz akışı yakalayamayıp, fiberce fakir bölgelerin oluşmasıdır. Ancak bu söylem yukarıdaki sonuçlara ters gibi gelmesine karşın, fiberlerin temas ettiği kalsit parçacıkları içinde söz konusudur. Zira yeterli akış sağlanamadığından, presleme basıncı ancak plastik matrisin akmasını sağlamıştır.

Diğer taraftan karışımlar kuralının fiber yönü ve dizilimi ile düzeltilmiş eşitliği;

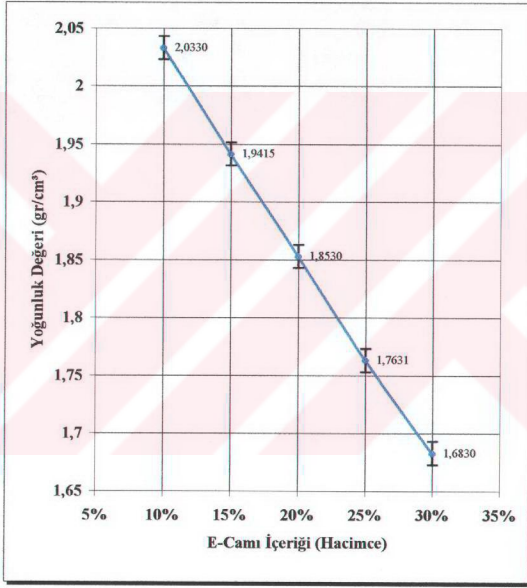
$$\rho_C = \eta_o \cdot \eta_l \cdot \rho_f V_f + \rho_m V_m + \rho_p V_p \quad (12.1)$$

ile teorik yoğunluk hesaplanmıştır (Ünal, 2000). Eşitlikte η_1 : fiber boy faktörü ($\eta_1 \approx 0,99$); η_o : fiber tür faktörü ($\eta_o \approx 3/8$)'dür.

Eşitliğe göre hesaplanan teorik değerler Çizelge 12.5'te verilmiş ve sonuçlar, Şekil 12.5'te grafik olarak gösterilmiştir.

Çizelge 12.5 Teorik yoğunluk hesaplamaları

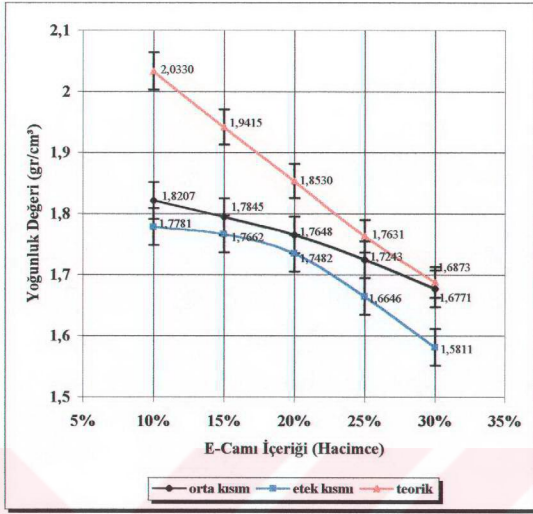
Cam İçeriği (%)	10	15	20	25	30
Yoğunluk	2,0330	1,9415	1,8530	1,7631	1,6730



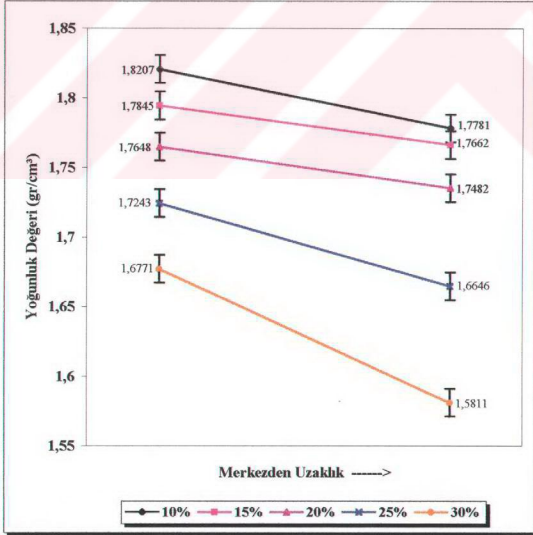
Şekil 12.5 Teorik yoğunluk grafiği

Plakaların orta ve etek kısımlarından çıkarılan numunelerde cam içeriğinin artmasıyla oluşan yoğunluk düşüşü, hesaplanan teorik yoğunluk değerlerinde de görülmektedir.

Yoğunluk değerlerindeki değişimlerin birlikte değerlendirilebilmesi için orta kısım, etek kısmı ve teorik olarak çizilen yoğunluk grafikleri Şekil 12.6'da birlikte gösterilmiştir.



Şekil 12.6 Orta kısım, etek kısmı ve teorik yoğunluk grafiği

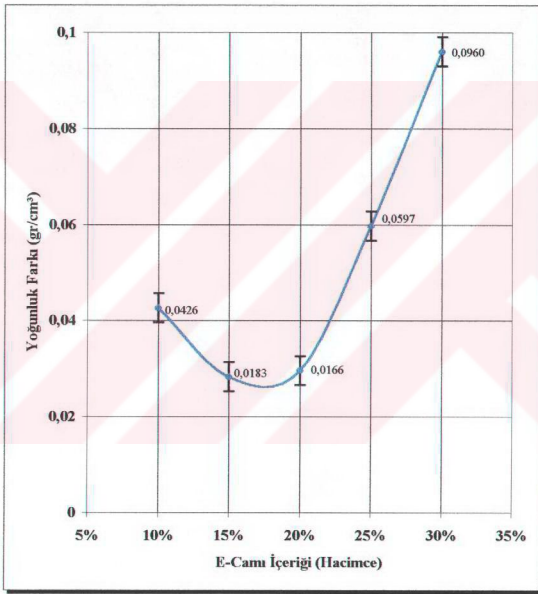


Şekil 12.7 SMC plakaların orta kısımdan uzaklaştıkça yoğunluk değerlerindeki değişim

Orta nokta ve etekten alınan yoğunluk değerleri farkının, cam hacim oranı ile değişimi Şekil 12.8’de gösterilmiştir. Buna göre orta nokta ve etek yoğunluk farkının %15 hacim oranında bir minimum gösterdikten sonra, artan hacim oranı ile arttığı saptanmıştır. Bu da, kalıpta keskin köşeli etekten sonra ~ 50 mm boyundaki cam fiberlerin dönemeyip, göreceli olarak camca az bölgelerin oluşması ile açıklanabilir.

Çizelge 12.6 Orta nokta ve etek arasındaki yoğunluk farkı

Cam İçeriği (%)	10	15	20	25	30
Yoğunluk	0,0426	0,0183	0,0166	0,0597	0,0960

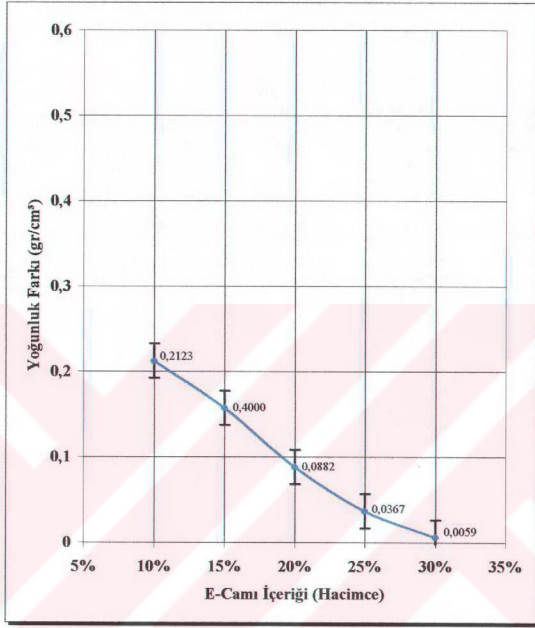


Şekil 12.8 Orta ve etek yoğunlukları farkının cam hacim oranı ile değişimi

Benzer grafik, daha evvel (12.1) eşitliği ile hesaplanmış teorik yoğunluk değerleri ile de çizilmiştir. Eşitliğe göre hesaplanan teorik yoğunluk değerleri ile, orta noktadan alınan değerlerin farkı biçiminde Şekil 12.9’daki grafikte verilmiştir.

Çizelge 12.7 Teorik ve orta nokta arasındaki yoğunluk farkı

Cam İçeriği (%)	10	15	20	25	30
Yoğunluk	0,2123	0,4000	0,882	0,0367	0,0059



Şekil 12.9 Teorik ve orta nokta yoğunlukları farkının cam hacim oranı ile değişimi

12.2 Eğme Dayancı Deneyi (TS 4650-2)

Eğme deneyleri TS 4650-2 standardına göre hazırlanan ve geometrik detayları Çizelge 12.8'de gösterilmiş olan numunelerle yapılmıştır. Deneyde çapraz başlıklar arası ilerleme hızı 0,5 mm/dak seçilmiştir. Numunelerin kırıldığı andaki kuvvet değerleri $F_{\max}$ olarak okunmuş ve eğme dayancı;

$$\sigma_{eğ} = \frac{3}{2} \cdot \frac{F_{\max} \cdot l}{b \cdot h^2} \quad (12.2)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada Şekil 12.2'de gösterildiği gibi, parça boyunca çıkarılan

numuneler L harfi ile, L'ye dik yönde yani enine doğrultuda çıkarılan numuneler T harfi ile simgelenmiştir.

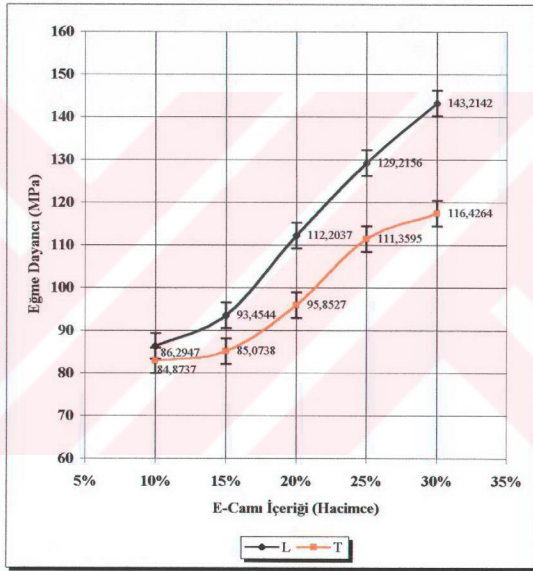
Çizelge 12.8 Eğme deneyi hesaplamaları

Numune Numaraları		Numune Boyutları (mm)			F_{max} (kp)	$M_{eg,max}$ (kp.mm)	W (mm ³)	σ_{eg} (kp/mm ²)	σ_{eg} (MPa)
		l	b	h					
N.1	L1	74,50	10,53	3,64	15,10	207,625	23,2530	8,9290	87,5038
	L2	74,62	9,84	3,63	14,20	192,250	21,6101	9,0351	88,6346
	L3	74,82	10,16	3,74	14,80	203,500	23,6857	8,5917	84,2846
	L4	74,79	9,89	3,71	13,90	191,125	22,6878	8,4241	82,5565
	L5	74,93	9,40	3,73	14,30	196,625	21,7969	9,0208	88,4940
	T1	79,57	10,72	3,56	14,50	199,375	22,6435	8,8050	86,3771
	T2	79,62	11,26	3,62	15,20	209,000	24,5926	8,4985	83,3703
	Let	80,66	10,46	3,93	12,80	176,000	26,9256	6,5365	64,1231
N.2	L1	79,83	10,43	3,31	10,40	143,000	19,0454	7,5084	73,6574
	L2	78,58	9,69	3,29	13,20	181,500	17,4809	10,3828	101,8553
	L3	78,27	10,41	3,27	14,20	192,500	18,5522	10,5444	103,4406
	L4	77,94	10,66	3,22	13,20	181,500	18,4212	9,8528	96,6560
	L5	78,06	9,89	3,51	13,80	189,750	20,3076	9,3438	91,6627
	T1	80,78	10,77	3,42	13,80	189,750	20,9950	9,0377	88,6598
	T2	79,21	10,92	3,22	11,40	156,750	18,8705	8,0366	81,4877
	Let	81,58	10,24	3,85	16,20	222,750	25,2971	8,8054	86,3810
N.3	L1	79,17	10,42	3,18	14,00	192,500	17,5619	10,9612	10,5297
	L2	79,53	9,96	3,08	14,40	198,000	15,7474	12,5735	123,3460
	L3	82,18	10,32	3,09	14,20	195,500	16,4227	11,9043	116,7807
	L4	79,99	11,29	3,08	14,00	192,500	18,8502	10,7842	105,7930
	L5	81,50	9,71	3,27	13,80	189,750	17,3047	10,9652	107,5689
	T1	77,74	10,65	3,29	14,00	192,500	19,2128	10,0194	98,2903
	T2	77,08	10,58	3,41	14,20	195,250	20,5042	9,5224	93,4151
	Let	80,86	9,45	3,66	18,20	250,250	21,0981	11,8613	116,3594
N.4	L1	79,08	10,53	3,26	16,20	222,750	18,6514	11,9428	117,1589
	L2	79,09	9,73	3,28	14,10	193,875	18,5266	10,4647	102,6587
	L3	79,09	9,75	3,28	18,80	258,500	17,4824	14,7863	145,0536
	L4	78,52	10,84	3,32	22,30	306,625	19,9138	15,3961	151,0357
	L5	79,14	8,55	3,41	16,00	220,000	16,5700	13,2770	130,2473
	T1	81,10	10,43	3,26	15,50	213,125	18,4743	11,5363	131,1711
	T2	82,02	9,72	3,22	11,40	156,750	16,7968	9,3321	91,5479
	Let	80,85	10,88	3,86	25,40	349,250	27,0179	12,9266	126,8099
N.5	L1	74,55	9,67	3,92	33,40	459,250	24,7655	18,5439	181,9157
	L2	74,85	10,15	3,83	27,20	374,000	24,8149	15,0716	147,8524
	L3	74,45	9,98	3,98	28,60	393,250	26,3479	14,9253	146,4172
	L4	78,02	11,87	3,88	21,30	292,875	29,7826	9,8338	96,4696
	L5	74,45	9,41	3,77	23,70	325,875	22,2906	14,6194	143,4163
	T1	81,10	11,22	3,63	22,20	305,250	24,6408	12,3880	121,5263
	T2	78,61	10,59	4,04	23,80	327,250	28,8076	11,3598	111,3265
	Let	80,85	10,58	3,86	24,60	338,250	25,4796	13,2753	130,2309

Çizelge 12.9 Eğme deneyi sonuçları

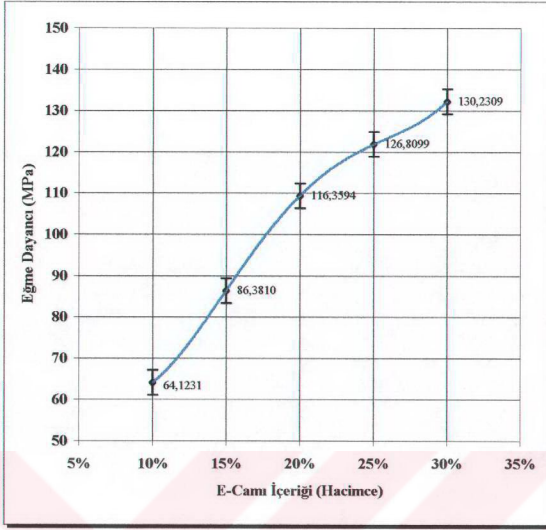
Cam İçeriği (%)	10	15	20	25	30
L	86,2947	93,4544	112,2037	129,2156	143,2142
T	84,8737	85,0738	95,8527	111,3595	116,4264
Let	64,1231	86,3810	116,3594	126,8099	130,2309

Şekil 12.10'da boyuna ve enine doğrultudaki eğme dayancı sonuçları artan cam hacim oranı ile birlikte verilmiştir. Burada cam hacim oranının artması ile eğme dayancının arttığı gözlenmiştir. Enine doğrultudaki artışın, boyuna doğrultudakinden daha az olmasının nedeni, akışın öncelikle kalıbın boyuna ekseninde başlamış olması ile açıklanır.

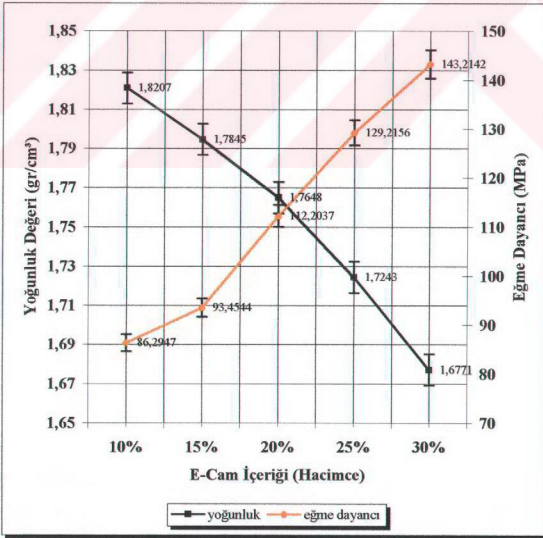


Şekil 12.10 Boyuna (L) ve enine (T) ekseninde eğme dayancıları

Etek kısmındaki eğme deneyi sonuçları da, Şekil 12.11'de gösterilmiştir. Burada da cam hacim oranının artması ile eğme dayancında artış elde edilmiştir. Sonuçların Şekil 12.10'da verilenlerden daha düşük olmasının nedeni, bu bölgedeki cam hacim oranının daha olması ile açıklanabilir.



Şekil 12.11 Etek kısmındaki eğme dayançları

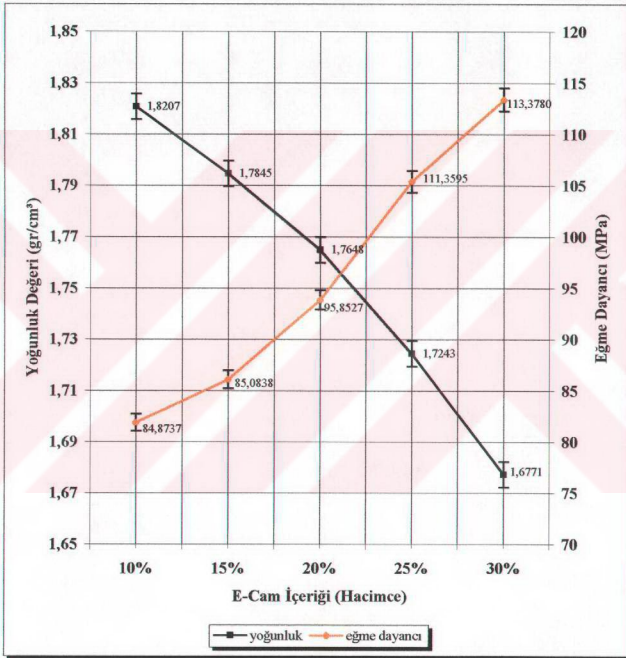


Şekil 12.12 Boyuna ekseninde yoğunluk ve eğme dayanıcı

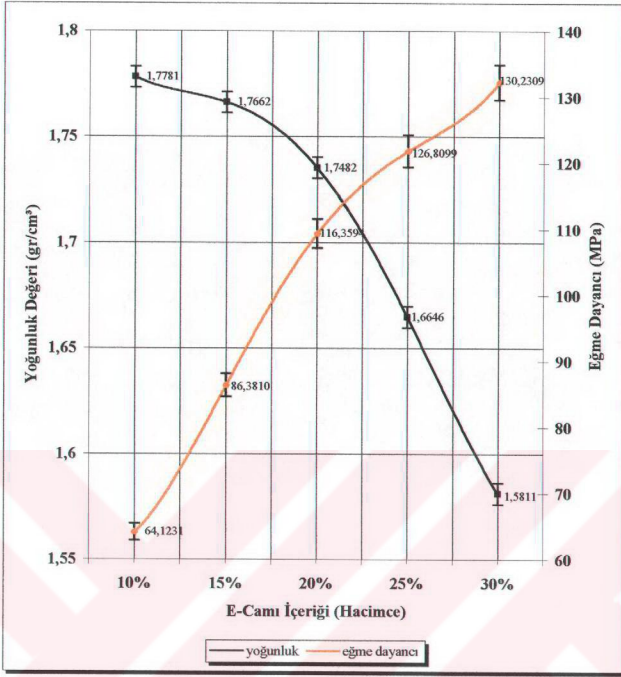
Sonuçların yoğunlukla karşılaştırılmalı olarak gösterilmesi amacıyla yoğunluk ve eğme dayancı eğrileri, cam hacim oranı ile üç eksenli grafikler halinde çizilmiştir.

Hepsinde de, azalan yoğunlukla artan eğme dayancı ilişkisi net olarak gösterilmektedir. L doğrultusundaki sonuçlar Şekil 12.12’de, T doğrultusundaki sonuçlar Şekil 12.13’te ve etek kısmındaki sonuçlar ise Şekil 12.14’te gösterilmiştir.

Sözü edilen eğrilerdeki kesişim noktaları, ~%21-22 cam hacim oranına karşılık gelmiştir.



Şekil 12.13 Enine eksenle yoğunluk ve eğme dayancı



Şekil 12.14 Etek kısmı, yoğunluk ve eğme dayancı

12.3 Darbe Dayancı Deneyi (ASTM D256-90b)

Darbe deneyi ASTM D256-90b standardına göre yapılmıştır. Hazırlanan numunelerin boyutları ile deneyde elde edilen kesme işleri ve darbe dayancı sonuçları Çizelge 12.10'da verilmiştir.

Darbe dayancı;

$$\alpha_{ou} = \frac{W}{b \cdot h} (kj / m^2) \quad (12.3)$$

eşitliğinden, W kırma işinin, kırılan kesit alanına bölünmesi ile bulunmuştur. Deneyler eğme deneyine benzer biçimde L ve T eksenli boyunca yapılmıştır.

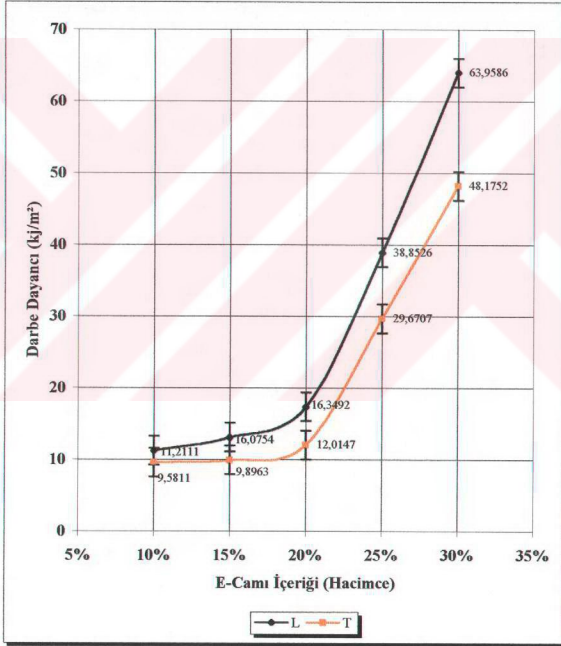
Çizelge 12.10 Darbe deneyi hesaplamaları

Numune Numaraları		Numune Boyutları (mm)			W (kg.cm)	A _k (cm ²)	a _{ou} (kJ/m ²)
		l	b	h			
N.1	L1	74,65	10,32	3,73	5,2	0,384936	13,25207
	L2	74,32	9,79	3,74	3,9	0,366146	10,44911
	L3	74,09	10,03	3,81	2,4	0,382143	6,16104
	L4	80,54	11,58	4,03	3,4	0,466674	7,14717
	L5	80,55	11,36	3,99	8,8	0,453264	19,04585
	T1	80,02	11,28	3,71	4,6	0,418488	10,78310
	T2	81,59	11,45	4,09	4,0	0,468305	8,37915
	Let	81,54	11,58	3,99	7,6	0,462042	16,13619
N.2	L1	79,03	9,41	3,24	6,0	0,304884	19,30571
	L2	78,13	9,86	3,42	6,0	0,337212	17,45489
	L3	78,24	9,36	3,27	5,6	0,306072	17,30769
	L4	78,02	9,95	3,23	3,4	0,321385	10,37821
	L5	78,63	11,64	3,28	6,2	0,381792	15,93067
	T1	78,79	9,97	3,19	2,9	0,318043	8,94502
	T2	81,37	10,25	3,32	3,4	0,340300	9,80135
	Let	80,61	10,89	3,99	7,2	0,434511	16,25552
N.3	L1	80,57	9,96	3,09	5,2	0,307764	16,57504
	L2	80,05	10,75	3,21	5,8	0,345075	16,48859
	L3	82,24	10,98	2,95	4,6	0,323910	13,93165
	L4	79,33	11,36	3,17	6,2	0,360112	16,88975
	L5	80,93	9,89	3,11	5,6	0,307579	17,86078
	T1	76,53	9,59	3,32	3,9	0,318388	12,01648
	T2	77,93	9,24	3,27	3,7	0,301248	12,01299
	Let	81,17	10,65	3,89	7,1	0,414285	16,81234
N.4	L1	80,47	10,24	3,49	19,0	0,357376	52,15515
	L2	81,29	11,41	3,37	12,5	0,384517	31,89066
	L3	77,95	9,39	3,35	13,0	0,314565	40,54170
	L4	78,09	10,18	3,26	10,5	0,331868	31,03795
	L5	79,00	8,69	3,36	11,5	0,291984	38,63739
	T1	78,21	10,11	3,28	10,0	0,331608	29,58312
	T2	79,67	9,87	3,34	10,0	0,329658	29,75812
	Let	79,92	10,68	3,99	16,0	0,426132	37,54705
N.5	L1	75,31	9,74	3,86	21,5	0,375964	56,09979
	L2	74,61	10,28	3,89	29,0	0,399892	71,14171
	L3	80,95	10,88	3,64	23,5	0,396032	58,21121
	L4	82,27	10,55	3,93	28,0	0,414615	66,24941
	L5	74,94	9,84	3,88	26,5	0,381792	68,09074
	T1	74,80	11,01	3,93	25,0	0,432693	56,67991
	T2	74,50	10,84	3,65	16,0	0,395660	36,67042
	Let	80,54	12,94	3,94	23,5	0,509836	45,21748

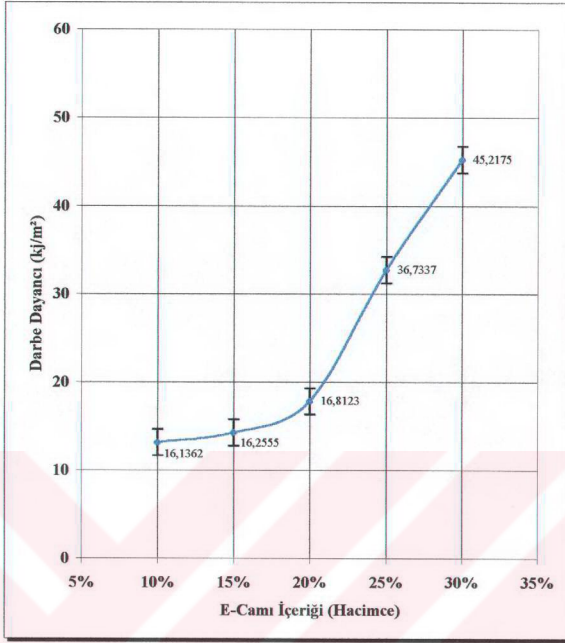
Çizelge 12.11 Darbe deneyi sonuçları

Cam İçeriği (%)	10	15	20	25	30
L	11,2111	16,0754	16,3492	33,9117	63,9586
T	9,5811	9,8963	12,0147	29,6707	48,1752
Let	16,1362	16,2555	16,8123	36,8337	45,2175

Sonuçlar, artan cam hacim oranı ile birlikte Şekil 12.15’ te verilmiştir. Doğal olarak cam hacim oranının artması ile birlikte darbe dayanıcının da arttığı gözlenmiştir. Mukayese amacı ile etek kısmındaki artışta Şekil 12.16’ da verilmiştir. Ancak buradaki artışın Şekil 12.15’ tekinden daha az olması, bu bölgelerde cam miktarının daha az olması ile açıklanabilir.



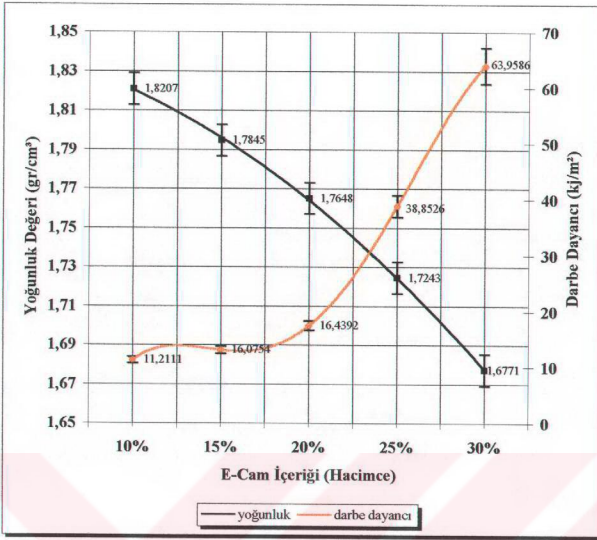
Şekil 12.15 Boyuna (L) ve enine (T) eksende darbe dayanıkları



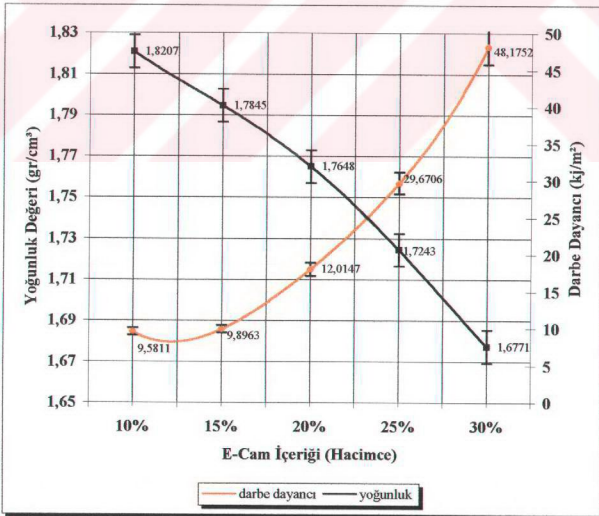
Şekil 12.16 Etek kısmındaki darbe dayançları

Darbe dayanıcı sonuçlarının yoğunlukla birlikte değişiminin karşılaştırmalı olarak incelenmesi, boyuna doğrultudaki (L) numuneler için Şekil 12.17’de enine doğrultudaki (T) numuneler için Şekil 12.18’de ve etek numuneleri için Şekil 12.19’da gösterilmiştir.

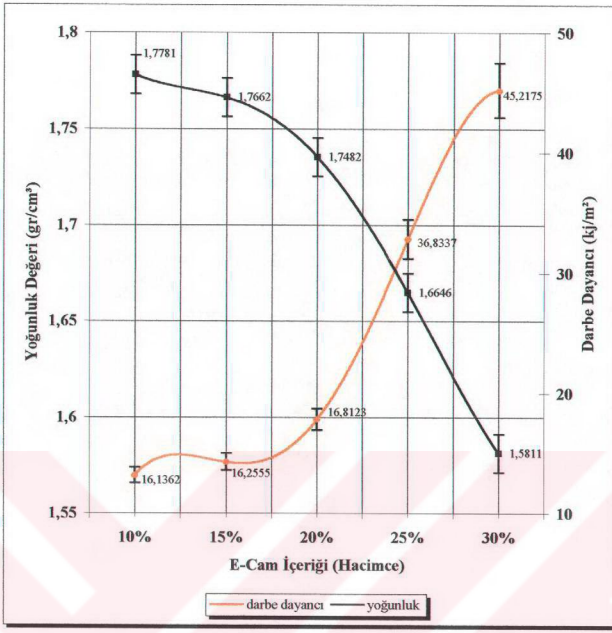
Deneylerin doğal sonucu olarak yoğunluğun azalması ile darbe dayanıcının arttığı gözlenmektedir.



Şekil 12.17 Boyuna ekseninde yoğunluk ve darbe dayanımı



Şekil 12.18 Enine ekseninde yoğunluk ve darbe dayanımı



Şekil 12.19 Etek kısmı, yoğunluk ve darbe dayancı

12.4 Çekme Dayancı Deneyleri (TS 3860)

Çekme deneyleri TS 3860 standardına göre Çizelge 12.12’de boyutları verilen numunelerle yapılmıştır.

Çekme dayancı;

$$R_m = \frac{F_{\max}}{b \cdot h} \quad (12.4)$$

eşitliğine göre deney sırasında okunan maksimum kuvvetin, ilk kesit alanına bölünmesi ile bulunmuştur. Çizelge 12.12’de okunan kuvvet değerleri ve hesaplanan çekme dayançları verilmiştir.

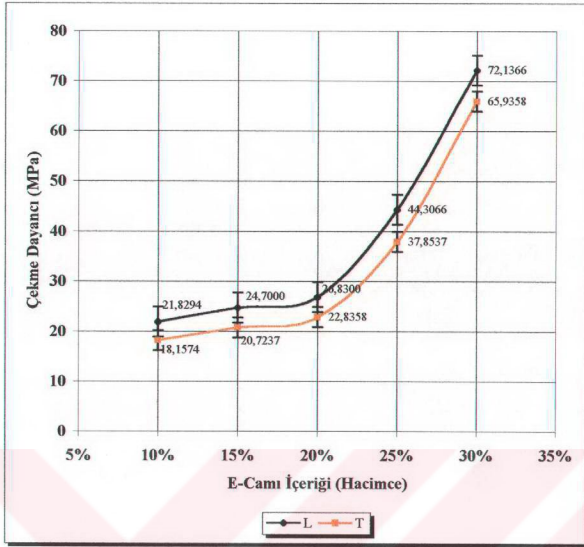
Çizelge 12.12 Çekme deneyi hesaplamaları

Numune Numaraları		Numune Boyutları (mm)		F _{max}		A _k (mm ²)	R _m (MPa)
		b	h	kp	N		
N.1	T1	10,70	4,01	76,5	750,49	42,9070	17,4911
	T2	10,27	3,97	82,1	805,20	40,7719	19,7488
	T3	10,74	3,98	75,1	736,60	42,7452	17,2324
	L	10,82	3,95	95,1	932,97	42,7390	21,8294
	Let	12,03	4,03	93,9	921,40	48,4809	19,0054
N.2	T1	10,65	3,44	109,3	1072,59	36,6360	29,2770
	T2	9,94	3,41	59,8	586,83	33,8954	17,3129
	T3	10,31	3,41	55,8	547,79	35,1571	15,5811
	L	11,27	3,51	99,6	977,08	39,5577	24,7000
	Let	11,10	3,99	92,6	908,28	44,2890	20,5081
N.3	T1	10,58	3,38	82,3	806,91	35,7604	22,5646
	T2	9,77	3,35	77,1	756,28	32,7295	23,1069
	L	10,31	3,14	88,1	864,26	32,3734	26,8300
	Let	10,19	3,75	84,3	826,88	38,2125	21,6390
N.4	T1	9,82	3,52	133,8	1323,32	34,5664	37,9653
	T2	11,20	3,44	157,4	1544,43	38,5280	40,0858
	T3	10,96	4,02	159,5	1564,55	44,0592	35,5101
	L	9,94	3,42	153,5	1506,19	33,9948	44,3066
	Let	12,28	4,07	137,8	1351,74	49,9796	27,0458
N.5	T1	10,91	4,05	337,1	3306,53	44,1855	74,8329
	T2	10,13	4,02	271,7	2665,81	40,7226	65,4626
	T3	12,20	3,35	239,6	2350,51	40,8700	57,5119
	L	10,56	3,96	307,5	3016,58	41,8176	72,1366
	Let	11,98	4,08	163,5	1604,06	48,8784	32,8173

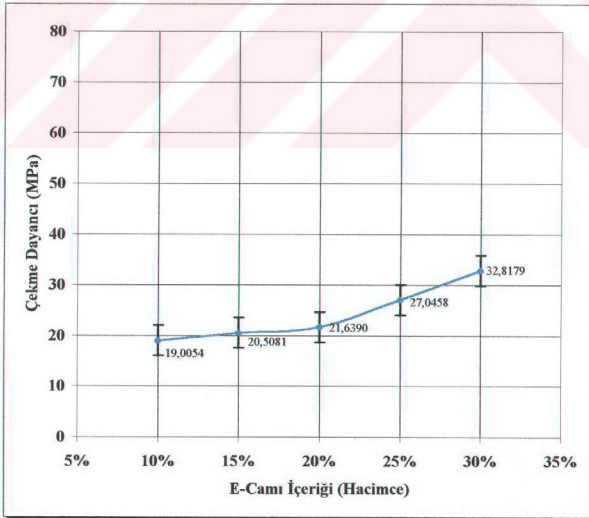
Çizelge 12.13 Çekme deneyi sonuçları

Cam İçeriği (%)	10	15	20	25	30
L	21,8294	24,7000	26,8300	44,3066	72,1366
T	18,1574	20,7237	22,8358	37,8537	65,9358
Let	19,0054	20,5081	21,6390	27,0458	32,8179

Boyuna ve enine doğrultuda elde edilen sonuçlar, birlikte Şekil 12.20'da verilmiştir. Her iki yönde de cam hacim oranının artması ile çekme dayancı da artmıştır. Ancak eğme ve darbe deneylerindeki ilerleme etkisi kendisini göstermiş ve boyuna doğrultudaki darbe dayancı daha yüksek bulunmuştur. Mukayese amacı ile etek kısmındaki değerler ise Şekil 12.21'de verilmiştir. Burada sonuçların hayli düşük çıkmasının nedeni, çekme yönünde yeterli camın bulunmayışından kaynaklanmaktadır.

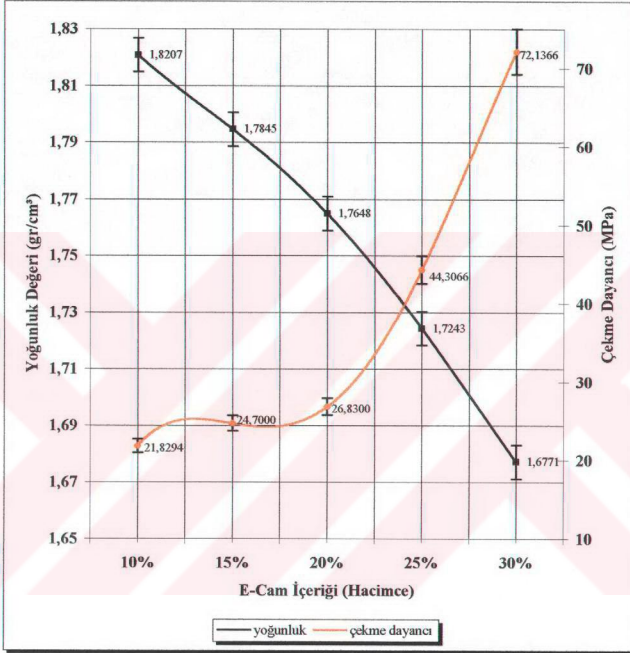


Şekil 12.20 Boyuna (L) ve enine (T) ekseninde çekme dayançları

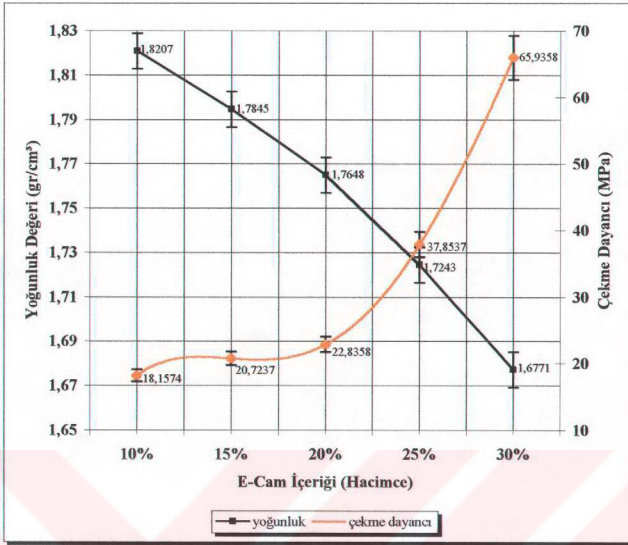


Şekil 12.21 Etek kısmındaki çekme dayançları

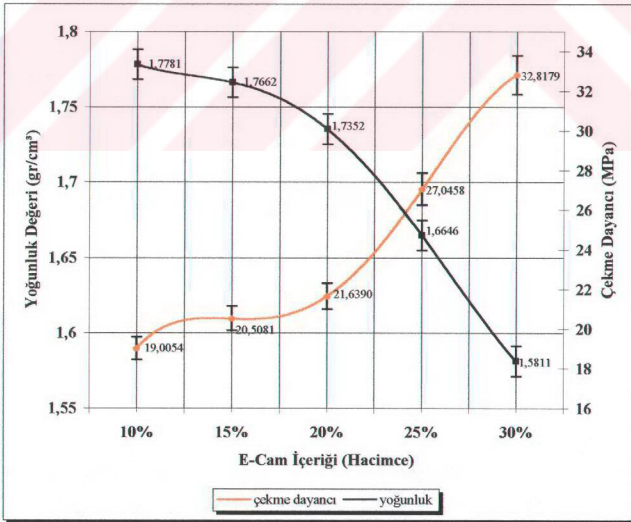
Çekme deneyi sonuçlarının yoğunlukla değişimi karşılaştırmalı olarak boyuna eksen (L) için Şekil 12.22'de, enine eksen (I.) için Şekil 12.23'te ve etek kısmı için Şekil 12.24'te verilmiştir. Deneylerin doğal eğilimi olarak yoğunlukla çekme dayanımının değişimi ters orantılıdır. Her iki eğrinin kesim noktası, ~% 23-25 cam hacim oranına karşılık gelmiştir.



Şekil 12.22 Boyuna eksenle yoğunluk ve çekme dayanımı



Şekil 12.23 Enine ekseninde yoğunluk ve çekme dayanımı

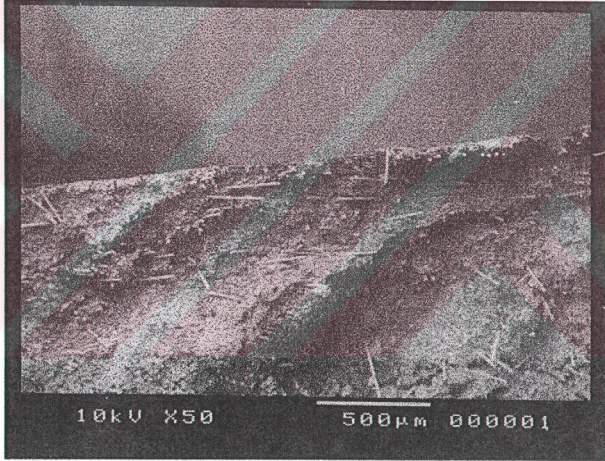


Şekil 12.24 Etek kısmı, yoğunluk ve çekme dayanımı

12.5 Kırık Yüzey Görüntüleri

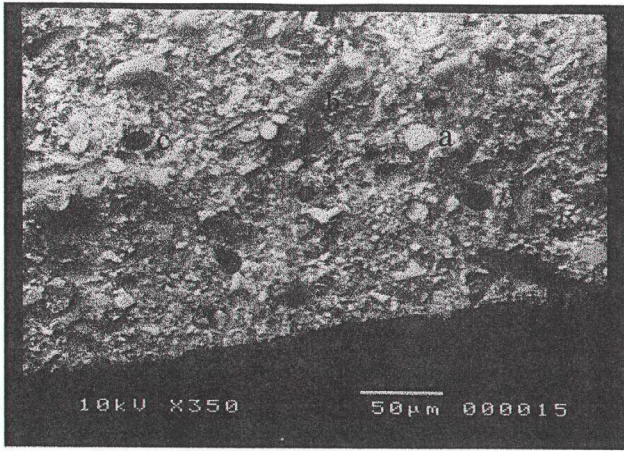
Çalışmada sonuçların görsel olarak kanıtlanması amacı ile bir türün, darbe deneyi sonucu kırılmış yüzeyleri incelenmiştir. % 20 cam hacim oranlı N.3 numuneleri, JEOL 5410LW taramalı elektron mikroskopunda incelenmiştir. Elektron mikroskopunun Low Wacuum olması nedeniyle, kırık yüzeyler iletken bir madde ile kaplanmadan, doğrudan resim almak amacı ile kırık yüzey incelemesi yapılmıştır.

Şekil 12.25'de 50 büyütmedeki kırık yüzey gösterilmiştir. Burada kırılmanın önce reçine + kalsit matris sisteminden başladığı daha sonra yükün cam fiberlere transfer edildiği ve kırılmanın iki aşamada gerçekleştiği gözlenmiştir. Bu da, temel kompozit felsefesine uymaktadır. Fiberler, çok azı dışında ortadan kopmuştur. Geriye kalanlar ise, fiber pull-out (fiberlerin sıyrılarak çıkması) şeklinde az yük taşıyarak sıyrılmıştır.



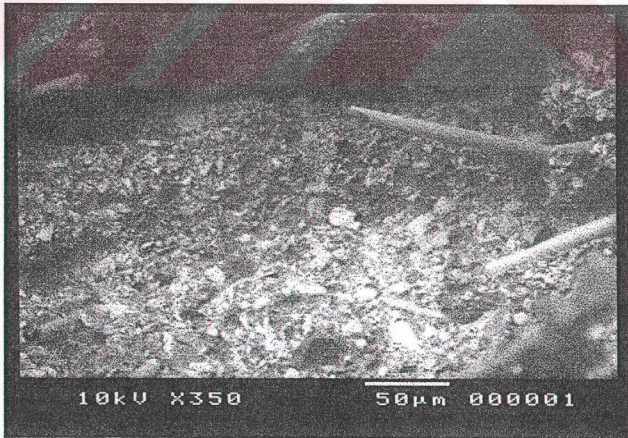
Şekil 12.25 % 20 cam hacim oranlı N.3 numunesinde kırık yüzeyin genel görünümü

Şekil 12.26'da önceki şekle göre daha büyük büyütme (x350) oranı kullanılarak görüntü alınmıştır. Görüntü alınan bölge fiber oranının az olduğu kısımlar olduğundan, fiberlerin kırılması ve sıyrılması net olarak görülmektedir. Ayrıca sıyrılan fiberlerin karşı kırık yüzeyde oluşturdukları boşluklar siyah olarak görülmektedir. Diğer taraftan elek analiz çapı 10 μ m olan kalsit tanecikleri de, beyaz kürecikler şeklinde izlenmektedir.



Şekil 12.26 N.3 numunesinde kırık yüzeyin yüksek büyütmeli kırık yüzey görüntüsü

Fiberlerin yoğun olduğu kısımlardaki fiber dağılımlarının görünüşleri Şekil 12.27’de verilmiştir. 350 büyütmeli bu kırık yüzey resminde kırılan fiberlerin gevrek kırılmış kesitleri ve gelişigüzel dağılımları, görüntülenmiştir. Yapıda, doğal olarak matriste kalsit kürecikleri de izlenmektedir.



Şekil 12.27 N.3 numunesi kırık yüzeyinde, fiber dağılımının görüntüleri

13. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

SMC, üç bileşenli yeni bir kompozit türü olup, özelliklerinin azda olsa noktadan noktaya değiştiği, karmaşık şekilli parçalara uygulandığında ise, kompozisyonunun kesit farklılıklarından etkilendiği bilinmektedir. Bu noktadan hareketle ASTM ve DIN standartlarının öngördüğü 4 mm kalınlığında, deneylere uygun numune elde etmek amacıyla; plakalar adı geçen kalınlıkta ve %10, %15, %20, %25 ve %30 cam hacim oranında hazırlanmıştır. Deneyler cam fiberlerin ilerleyişini ve noktasal yoğunluğunu belirlemek amacı ile farklı yönlerde, farklı mesafelerde ve etek noktalarında ayrı ayrı gruplar halinde yapılmıştır. Tüm deneyler referanslarda verildiği gibi metrik ve uygulamalı yeni standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- a) Parçanın her noktasında cam hacim oranının artmasıyla, yoğunluğun azaldığı gözlenmiştir. Zira bileşenleri oluşturan E-camının yoğunluğu $2,56 \text{ gr/cm}^3$, kalsitin yoğunluğu ise $2,75 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Sonuçların bu şekilde çıkması, uygun yöntemin seçildiği ve doğru kalıplama koşullarının seçildiğinin bir göstergesidir.
- b) Eğme deneyi, üç noktalı eğme deneyi olarak yapılmıştır. Artan cam hacim oranı ile, eğme dayancında artışlar izlenmiştir.
- c) Darbe dayancı deneyleri, çentiksiz Charpy yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Cam hacim oranının artması ile, darbe dayancı artmaktadır.
- d) Çekme deneyi, tek eksenli çekme biçiminde yapılmış olup, bu deneylerde de çekme dayancının cam hacim oranı ile doğru orantılı olarak değiştiği görülmüştür.
- e) Kompozitlerde fiberler mekanik özellikleri arttırmaktadır. Deneyde 50 mm boyunda, 13,9 μm çapında kullanılan E-camı fiberlerinin hacim oranının artması, eğme, darbe ve çekme dayanıklarını arttırmıştır. Sonuçların böyle elde edilmesi, doğru bir seçimle doğru işlemlerin yapıldığının göstergesidir.
- f) Ayrıca kalıplamada, özellikle etek kısımları (sert kıvrımlı kısımlar) etkisini incelenmek istenmiştir. Fiberlerin en son ve zorlukla ulaşacağı kısımlar bu bölgeler olduğundan, özelliklerin en fazla değiştiği kısımlar olarak ilginç sonuçlar elde edilmiştir.
- g) Yoğunluk en fazla etek kısmında azalma göstermiştir.
- h) Sert köşeli kısımlardan 50 mm boyunda fiberlerin akışının güç olacağı düşünüldüğünde; etek kısımlarının daha az cam içereceği dolayısıyla da göreceli olarak daha düşük dayanç

göstereceği açıktır. Deneylerde etek kısmındaki eğme, darbe ve çekme dayançları büyük düşüşler göstermiştir. En fazla düşüş çekme sonuçlarında görölmüştür.

- i) Sonuçları optimize etmek açısından, standart kriterlere gerek vardır. bunun içinde aynı üretici firmanın daha önce Yıldız Teknik Üniversitesi, Metalurji Mühendisliği Bölümünde yaptırdığı araştırmalarda kullanılan doğalgaz standardı GDF HN 62 S 15'in değerleri mukayese kriteri olarak kullanılmıştır. Anılan standarda göre min. yoğunluğun, 1,399 gr/cm³; min. darbe dayancı, 21 kJ/m²; min. eğme dayancının 57 MPa olması istenmektedir. Deneylerin sonucunda, sözü edilen koşulları sağlayan uygun cam hacim oranının % 23 olduğu görölmüştür.
- j) Zaten aynı kompozisyonlu çamurdan üretilen CES 200, CES 300, S 200 doğalgaz servis kutuları, elektrik kofra kutuları, aydınlatma armatürleri, O403 otobüsü klima kutusu, ay sınıfı denizaltı batarya kapakları, Ford ve Tofaş spoilerları hep aynı kriteri sağlamıştır.
- k) Bu tip bir optimizasyon çalışmasında UV dayancı, su absorbsiyonu, alev alma testi gibi diğer deney sonuçlarının da elde edilmesi gerekmektedir. Çalışmanın bu kısmı tez danışmanı hocanın liderliğinde diğer bir çalışma olarak yürütölmektedir.

KAYNAKLAR

- ASTM, D 256-90b, "Standart Test Methods for Impact Resistance of Plastics and Electrical Insulating Materials".
- ASTM, D 792-86, "Standart Test Methods for Specific Gravity (Relative Density) and Density of Plastics by Displacement".
- ASTM, D 2583-87, "Standart Test Method for Indentation Hardness of Rigid Plastics by Means of a Barcol Impressor".
- Brydson, J. A., (1982), Plastics Materials, Butterworth Scientific.
- Cam Elyaf Sanayi A.Ş., (1984), CTP Teknolojisi - Cam Elyafı Takviyeli Reçine Sistemleri, İstanbul.
- Cam Elyaf Sanayi A.Ş., (1996), "Cam Elyaf Bülten", Nisan 1996, S:1, İstanbul.
- Cam Elyaf Sanayi A.Ş., (1997), "Cam Elyaf Bülten", Ağustos 1997, S:5, İstanbul.
- Cam Elyaf Sanayi A.Ş., (1998), "Cam Elyaf Bülten", Temmuz 1998, S:8, İstanbul.
- Cam Elyaf Sanayi A.Ş., (2000), "Cam Elyaf Bülten", Mart 2000, S:10, İstanbul.
- Chan-Park, M. B.ve McGarry, F. J., (1996), "Tough Low Profile Additives in Sheet Moulding Compound", Polymer Composites (USA), V.17 No.4:537-547.
- Colom, R., (1990), "Importance of the Choice of Calcium Carbonate for Sheet Moulding Compound", Composites(France), V.30 No.3:31-35.
- European Alliance for SMC (1998), "SMC/BMC Design for Success", Frankfurt.
- Fujita, A., Furuta, Y., Tanigaki, E., Hasegawa, T., Hamada, H., (1999), "The Influence of Charge Pattern on Bending Properties of SMC Compression Moulding Products", Journal of the Society Materials Science, V.48 No.3:289-294.
- Gadow, R., Speicher, M., (2000), "Microstructural Design for Silicon Infiltrated SMC Carbon Composite Performs", 1839-1846, 10. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, Mayıs 2000, İstanbul.
- Gibson, R. F., (1994), Principles of Composite Material Mechanics, McGraw-Hill Inc.
- Hamid, G. K., (1993), Sheet Moulding Compounds, Science and Technology, Hanser Publications Inc., Cincinnati.
- Jutte, R. B., (1989), "Structural SMC-Material, Process and Performance Review", Plastics in Automotive Applications: an Overview, Society of Automotive Engineers, Pennsylvania, pp.77-90.
- Keimer, U., Bjeković, R., Hermann, A., (1999), "One-Step-Sandwich-SMC", Kunststoffe Plast Europe, Jun.1999, 89(6), 32-34.
- Liduka, S., Yamamura, H., Uruzi, T., Yamaguchi, M., (1996), "Development of Damping SMC and its Application as Material for a Rockerver", New Applications of Plastic Components in Vehicle Design, 26-29 Feb. 1996, Detroit.
- Ma, C-CM. ve Tsai, J-Y., (1988a), "Corrosion Behavior of Sheet Moulding Compounds in Water. I. Glass Fiber Reinforced Unsaturated Polyester Composites", Chin. Journal Material

Science, V.20 No.1:31-40.

Ma, C-CM. ve Tsai, J-Y., (1988b), "Corrosion Behavior of Sheet Moulding Compounds in Water. II. Glass Fiber Reinforced Unsaturated Polyester Composites", Chin. Journal Material Science, V.20 No.1:41-49.

Marrissen, R., Linsen, J., (1999), "Variability of the Flexural Strength of Sheet Moulding Compounds", Composites Science and Technology, 59:2093-2100.

Okay, A. C., (1967), Mineralbilim, İ.Ü. Fen Fakültesi, Acar Matbaası, İstanbul.

Schwartz, M., (1992), Composite Materials Handbook, McGraw- Hill Inc.

Türk Standartları, TS 702, (1969), "Plastikler Su Absorbsiyonu Tayini", Şubat 1969, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Türk Standartları, TS 1177, (1973), "Plastikler Cam Lifle Pekiştirilmiş Plastiklerin Kızdırma Kaybının Tayini", Kasım 1973, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Türk Standartları, TS 1400, (1974), "Plastikler Yük Altında Eğilme Sıcaklığının Tayini", Kasım 1974, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Türk Standartları, TS 3860, (1982), "Plastikler-Cam Lifle Pekiştirilmiş Malzemelerde Çekme Özelliklerinin Tayini", Aralık 1982, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Türk Standartları, TS 4650, ISO 3597-2, (1997), "Plastikler-Cam Elyaf Takviyeli Fitille Takviye Edilmiş Reçine Çubukların Mekanik Özelliklerinin Tayini. Bölüm 2: Eğilme Mukavemetinin Tayini", Şubat 1997, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Ünal, A., Çetindağ, S., Avgadiç, H., Avgadiç, S., (2000), "SMC Yöntemi ile Üretilen Yeni Bir Kompozitin Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması", 1889-1895, 10. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, Mayıs 2000, İstanbul.

Ünal, A., (2000), Kompozit Malzemeler, Yıldız Teknik Üniversitesi, Basılmamış, İstanbul.

Vetrotex (1998), A Saint-Gobain Company, Memento.

www.composite.com.au/compounds/smc.htm.

EKLER

- Ek 1 Monomer Türleri ve Özellikleri
- Ek 2 Sertleştirilmiş Tipik Reçine Özellikleri
- Ek 3 Dolgu Maddeleri ve Özellikleri



Ek 1 Monomer Türleri ve Özellikleri

Monomer Türü	Spesifik Yoğunluk (20°C)	Kaynama Noktası (°C)	Alev Alma Noktası	25°C'de Buhar Bas. (mmHg)	Kırılma İndisi (n ²⁵)	25°C'deki Viskozite (mPas)	Sertleşmede Hacimsel Çekme (%)	Patlayıcılık Sınırı (% hac./hava hac.)	
								En az	En çok
Stiren	0,902	145	31	6	1,5439	0,75	17	1,1	6,1
a-Metil Stiren	0,906	165	58	-	1,5359	0,94	-	-	-
Kloro Stiren	1,094	187	80	1	1,5611	0,70	12	-	-
Vinil Tolien	0,896	167	60	2	1,5393	0,77	12,6	-	-
Divinil Benzen	0,908	195	24	-	1,5748	0,98	-	1,1	6,2
Metil Akrilat	0,952	80	10	-	1,4020	0,50	-	-	-
Metil Metakrilat	0,943	100	10	38	1,4118	0,84	21	2,1	12,5
n-Bütül Akrilat	0,89	145	48	10	-	0,90	-	-	-
Diallil Ftalat	1,13	290	166	1	1,5190	0,90	11,8	-	-
Triallil Siyanürat	-	150	-	-	1,5069	-	-	-	-

Ek 2 Sertleştirilmiş Tipik Reçine Özellikleri

Polyester Reçine Türü	Dökme Reçine Özelliği					Laminat Özelliği			
	Eğilme Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Çekme Modülü (GPa)	Uzama Yüzdesi (%)	Yük Altında Deformasyon Sıcaklığı (°C)	Cam Yüzdesi (%)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Çekme Modülü (GPa)
Ortoftalik	100	65-75	3,2	2,0-4,0	55-110	30	150	90	7
İzoftalik	140	70-85	3,5	3,5	75-130	30	230	120	8
Neopentil Glikol	130	70	3,4	2,4	110	30	170	90	7
İzoftalik/Neopentil Glikol	130	60	3,4	2,5	90-115	30	160	90	7
İzoftalik/HET Asit	85	55	3,2	2,9	70	30	150	90	7
HET Asit	80	40-50	3,2	1,3-4,0	55-80	30	150	85	7
Bisfenol A	130	60-75	3,2	2,5-4,0	120-136	30	170	90	7
Klorlu Parafin	110	50-60	3,4	1,2-4,8	55-80	30	140	90	7
İzoftalik/Klorlu Parafin	90	60	2,0	4,8	50	30	140	100	7

Ek 3 Dolgu Maddeleri ve Özellikleri

Dolgu Maddesi	Özgül Ağırlık	Hacim Yoğunluğu (g/ml)	Sertlik (mol)	Yağ Absorpsiyonu (g/100g)	Genleşme Katsayısı	pH	Genel Görünüm
(Al(OH) ₃)	2,4	0,4-1,3	2,5-3,5	20-40	-	8,5-9,5	Düzensiz
Al ₂ O ₃	3,7-4,0	1,3-1,6	9	10-50	7	3,6	Düzensiz
Al Silikat	2,6	0,6-1,6	-	-	2-20	-	Pul
Bentonit	2,6-2,7	-	-	30-55	-	8,5-10	Pul
Ca Al Silikat	2,65	-	6,0-6,5	-	-	-	-
CaCO ₃							
-Toz	2,7-2,8	0,8-0,9	3,0	5-15	0,5-0,9	9-10	Düzensiz
-Çökelti	2,6-2,7	0,8-0,9	3,0	15-60	0,5-0,9	9-10	Düzensiz
Dolomit	2,8-2,9	1,1-1,3	-	-	-	-	-
Ca Silikat	2,8-2,9	-	4,5-5,5	20-45	-	9-10	İğne Şekli
Ca Sülfat	2,4-2,9	0,6-1,0	2,0-3,5	5-10	-	3-5	Düzensiz
Kaolen	2,5-2,6	-	1-2	25-45	-	4-8	Pul
Cam							
-Katı Kürecik	2,48	1,5	5,8	-	8,5	-	Küresel
-Boş Kürecik	0,15-0,38	-	-	-	-	-	Küresel
Grafit	2,2	-	-	-	0,6-0,4	-	Pul
FeO	3,4-5,1	-	-	-	0,6-0,4	-	Düzensiz
PbO	8,8-9,4	-	-	-	-	-	Düzensiz
Mg Al Silikat	1,8-2,5	0,3-0,6	-	30-50	-	-	Düzensiz
MgCO ₃	1,8-2,8	0,15-0,6	3,0	70-80	-	10,4	Düzensiz
MgO	2,7-3,7	-	-	55-70	-	10,5	Düzensiz
Mika	2,7-3,4	0,3-0,4	2,5-3,0	50-70	18-27	7-8	Pul
Fenolik Kürecik	0,2-0,25	0,1-0,15	-	-	-	-	Küresel
Silika	2,6-2,7	1,0-2,0	7	15-40	0,15-0,3	7-8	Düzensiz

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	03.10.1978	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1992-1995	Üsküdar Ticaret-Meslek Lisesi
Lisans	1996-2000	Yıldız Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi Metalurji Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2000-2002	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Müh. Anabilim Dalı, Malzeme Programı