

ARAŞTIRMA MAKALESİ

PULTRUSION YÖNTEMİ İLE KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ

Ahmet ÜNAL*, Zehra GÜLTEN**

(*) Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya – Metalurji Fakültesi, Metalurji Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

(**) Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Zonguldak

Geliş Tarihi: 01.12.1998

PRODUCTION OF COMPOSITE MATERIAL IN PULTRUSION METHOD

SUMMARY

Today, as a result of economical and/or technological reasons, non-metallic composite materials have very commonly been being used as an alternative to metals.

In this study, pultrusion system, is one of the continuous production method for the production of composite materials, have been introduced.

The common application areas have been determined for thermoset composite materials produced in this system. Theoretical and experimental work, carried out for the cost reduction have been summarized, by the investigating of physical factors such as temperature, pulling speed, required pulling force, etc...

The processability, mechanical and dynamic mechanical properties of pultruded glass fibre-reinforced PMMA/PU IPN composites have been studied. It was found that the PMMA/PU IPN shows excellent processability for pultrusion.

In the result of this study, this paper reports the findings of a research program involving input from 15 pultruder manufacturers who have contributed non-proprietary information for the "best" design for a pultrusion machine.

ÖZET

Günümüzde ekonomik ve/veya teknolojik nedenlerden dolayı metallere alternatif olarak, metal dışı kompozit malzemeler çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, kompozit malzemelerin üretiminde, sürekli üretim metodlarından birisi olan pultrusion sistemi tanıtılmaktadır.

Bu sistemle üretilen termoset kompozit malzemeler için en yaygın kullanım alanları belirtilmiştir. Sıcaklık, çekme hızı ve gerekli çekme gücü gibi fiziksel faktörler incelenerek, maliyetin düşürülmesi için yapılan deneysel ve teorik çalışmalar özetlenmiştir.

Pultrusion yöntemi ile üretilmiş cam fiber takviyeli PMMA/ PU IPN kompozitlerin işlem kabiliyeti, statik ve dinamik mekanik özellikleri incelenmiştir. Pultrusion için mükemmel bir işlem kabiliyetinin olduğu bulunmuştur.

Çalışmanın sonunda, en iyi pultrusion makinası tasarımına ulaşabilmek amacıyla 15 ayrı pultrusion makinası üreticisi ile yapılan görüşmelerden elde edilen sonuçlara yer verilmiştir.

GİRİŞ

Pultrusion (profil çekme) yöntemi; reçine ile ıslatılmış, sürekli fiber veya dokunmuş güçlendirme elemanının ön şekillendirme sonrası ısıtılmalı bir kalıptan geçirilmesi ile rijit profil üretim işlemidir. İşlem, malzeme akışının profilin çekilmesi yolu ile gerçekleştirildiği sürekli bir üretim yöntemidir. Kullanılan elyaf yani fiber sürekli nitelikte olup, termoset reçine matris yaygın olarak tercih edilmektedir. Büyük çoğunluğu cam elyaf kompozitlerin oluşturduğu çekme işleminde dört temel parametre önem taşımaktadır. Elyaf besleme sistemi, reçine emdirme istasyonu, kalıp ve makina başlıca hususlardır. Pultrusion makinası ısı, sıkıştırma, sürekli çekme ve kesme işlemlerini sağlamaktadır (Şekil1).

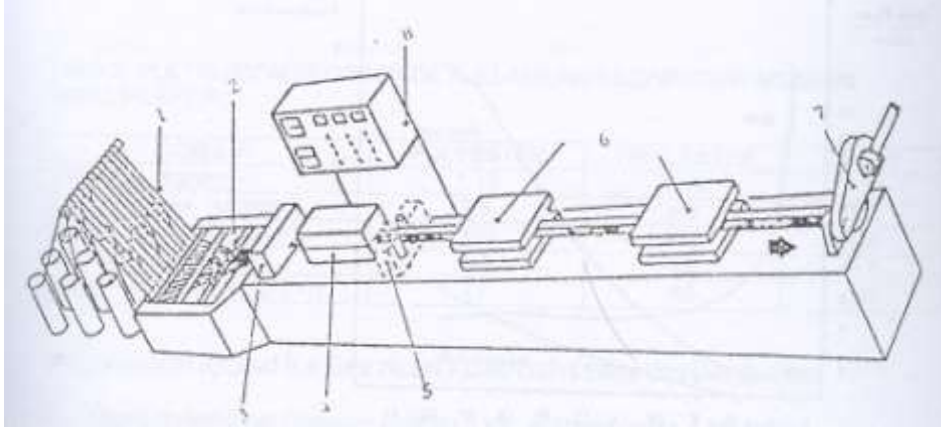
Elyaf yani fiberler bir seri bobinlerden beslenirken kalıp arasına ulaşmadan önce termoset-reçine banyosundan geçmektedir. Kalıptan çıkan daha sonra sıcaklık ortamına giren ön şekillenmiş elyaf burada sıkıştırma ile son şekline ulaştırılır. Bazı hallerde kalıbın kendisi ısıtıldığından, termoset reçinenin ekzotermik reaksiyonunun da etkisi ile kalıptan geçerken son şekline ulaşmış olmaktadır. Soğutma; hava, cebri konveksiyon veya su ile gerçekleştirilmektedir. Balıkçı çubukları, izolator boruları genellikle bu tür çekme işlemi ile üretilmektedir. Profil çekme yönteminin gelecekte alüminyum ekstruzyon sistemi ile daha çok rekabet edeceği tahmin edilmektedir (1).

Profil çekme yönteminde reçine seçimi başlı başına ayrı bir konudur. Reçineler aynı zamanda mukavemeti sağladıkları gibi kalıp ve makina parametrelerinde de etkili olmaktadır. Reçine seçiminden sonra elyaf besleme önem kazanmaktadır. Beslemede seramik, metal ve plastik yönlendiriciler kullanılabilir. Kullanılacak çelik kalıp çok parçalı olabileceği gibi tek parçalı da olabilmektedir. Ancak kalıplarda 30-35 Rc sertliğe ulaşılması arzu edilen bir seviyedir. Kalıp yapılıp parlatıldıktan sonra sert krom kaplanmalıdır. Sert krom kaplamadan kaçınıldığında 60Rc'lik kalıp sertliğine ulaşması arzu edilir.

Cam elyaf, aramid ve karbon elyafın kullanılabildiği bu yöntemde polyeester, vinil ester ve epoksi reçineler kullanılmaktadır (2,3,4).

Bu işlem ilk olarak II. Dünya Savaşı sonrası U.S.A. da geliştirilmiş olup, halen U.S.A.'daki kompozit pazarının yaklaşık %3'ünü teşkil etmektedir. Pultrusion, diğer kompozit üretim yöntemlerine göre daha küçük bir ekipman yatırımı ile gerçekleştirilebilecek basit bir üretim yöntemi gibi görünse de işlemin etkin olarak kontrolü zordur. Bu nedenle bugün İngiltere'de bile ticari olarak üretim yapan ancak birkaç firma vardır.

Bu yöntemle hemen hemen sonsuz uzunlukta üretilebilen kompozit profiller, hafif ve yüksek mukavemet gerektiren yapı malzemelerinin gerekli olduğu pek çok mühendislik uygulamasında kullanılmaktadır. Ürünlerin mekanik özellikleri seçilen güçlendirme sistemine bağlı olarak çok geniş bir aralıkta değişir. Ürünler; havacılık, elektrik, mekanik elemanlar/yapılar, spor, ziraat gibi geniş bir kullanım alanı bulur.



1. Fiber makaraları
2. Reçine banyosu
3. Ön şekillendirme kalıbı
4. Isıtmalı kalıp
5. Profil kontrol kalıbı
6. Çekme ünitesi
7. Testere
8. Kontrol ünitesi

Şekil 1. Pultrusion makinası (5).

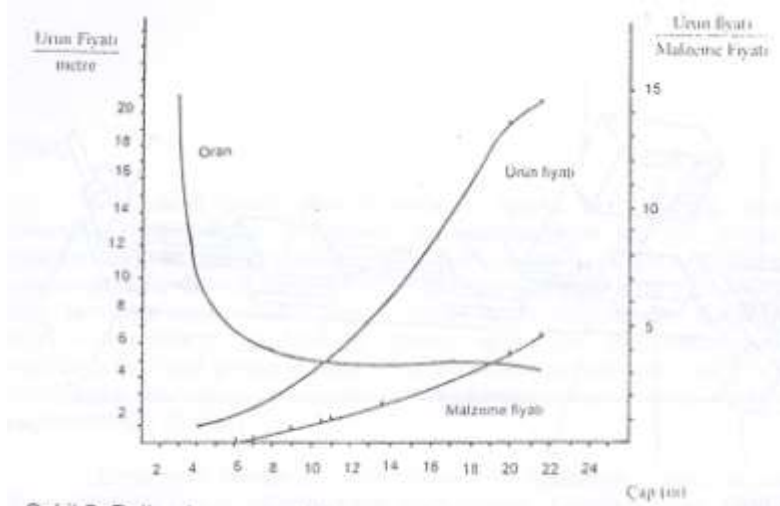
AMAÇ

Genel olarak bir ürünün pazar büyüklüğüne etki eden iki temel faktör vardır, fiyat ve kalite. Pultrusion işlemi ile üretilen ürünlerin maliyet analizine bakıldığında, işlem maliyetinin ürün boyutlarına bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Örneğin dairesel kesitli bir çubukta, çap değişimine bağlı olarak fiyatların değişimi Şekil (2) de verilmiştir. Ürün fiyatının, malzeme fiyatına oranı görüleceği gibi çapın küçülmesiyle 14 kat'a kadar çıkmaktadır.

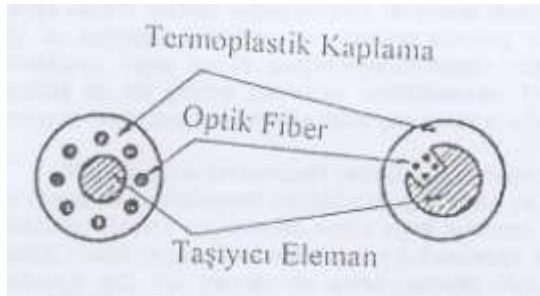
Pultrusion işlemi ile üretilen ürünler için önemli potansiyel pazarlardan birisi de fiber optik kabloların taşıyıcı elemanlarıdır. Bunlar nispeten küçük çaplı ($\Phi < 10\text{mm}$), fiber optik kabloları muhafaza eden ve taşıma görevi yapan rijit çubuklardır (Şekil 3). Bu taşıyıcı elemanlar, düzgün ve doğrusal boyutlara sahip olmalı, ısı iletkenliği düşük ve 80°C 'a kadar iyi bir elektriksel izolasyon özelliğine sahip olmalıdır.

Fiber optik kablo taşıyıcı elemanlarının pultrusion yöntemi ile üretiminde üretim maliyetlerini, ki ağırlığını işlem maliyeti oluşturmaktadır, düşürmek için üretim hızını /çekme hızını arttırmak gereklidir. Çekme hızının artırılması ise sistemdeki mevcut çekme gücü kapasitesi ile sınırlıdır.

Eğer bir şekilde bu çekme gücü ihtiyacı azaltılabilirse, üretim hızlarını arttırmak mümkün olabilir. Temel olarak çekme gücü ihtiyacı kalıpta oluşur: Bunlar kalıp girişinde reçine ile ıslatılmış fiber demetinin sıkışması (bulk compaction), termal genleşme sonucu reçinenin geri akışından oluşan viskos kayma ve reaksiyon sonucu rijit hale gelen profil ile kalıp duvarları arasında oluşan sürtünme dirençleridir.



Şekil 2. Pultrusion prosesinde çubuk çapına göre maliyetlerin değişimi (5).



Şekil 3. Fiber optik elemanlar (5).

PULTRUSİON SİSTEM PARAMETRELERİ

- Reçine sistemi: Reçine tipi, kataliz, hızlandırıcı, yavaşlatıcı, geciktirici, kalıp ayırıcı, çekinti ve viskozite kontrol elemanları.
- Güçlendirme sistemi: Fiber tipi (sürekli), hacimsel fiber oranı, fiber çapı, fiber ipçik yapısı, örgü şekli vs.
- Dolgu tipi: Özgül ısı kapasitesi, parçacık şekil ve boyutları.
- Kalıplama sistemi: kalıp boyu, profil, maça, ısıtma sistemi, sıcaklık ölçme ve kontrol sistemi.
- Üretim ekipmanı: Islatma sistemi, reçine sıyırma, fiber gaydı, kesme, çekici.

Tablo 1. PULTRUSİON PROSESİNDE YAYGIN OLARAK KULLANILAN FİBERLERİN TİPİK ÖZELLİKLERİ (5).

ÖZELLİK	E-CAMI	S-CAMI	KEVLAR	KARBON
Yoğunluk (kg/dm ³)	2.6	2.49	1.47	1.72
Çekme Mukav. (kg/mm ²)	351	467	302	193
Elastis. Modülü (kg/mm ²)	7400	8867	13367	38693
Kopma uzaması (%)	4.8	5.4	2.3	0.5

Tablo 2. PULTRUSİON PROSESİNDE KULLANILAN REÇİNELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ (5).

ÖZELLİK	POLYESTER	VİNYLESTER	EPOXY
Yoğunluk (kg/dm ³)	1.13	1.12	1.28
Çekme Mukav. (kg/mm ²)	7.8	8.3	7.7
Elastis. Modülü (kg/mm ²)	326	316	336
Kopma uzaması (%)	4.2	4.5	6.3
Deformasyon sıcaklığı (°C)	77	99	166

PULTRUSİON İŞLEMİ İLE ÜRETİLEN KOMPOZİTLERİN ÜSTÜNLÜKLERİ

- Özgül mukavemet (yaklaşık çelikten 5 kat, alüminyumdan 4 kat fazla).
- Özgül modül (çelik veya alüminyum ile yaklaşık aynı).
- Korozyon dayanımı.
- Yüksek fatik (yorulma) dayanım limiti.
- Yüksek creep (sürünme) dayanımı.
- Hybrid (karma) malzeme özelliği (farklı tip fiberlerin aynı yapıda olması).
- İşlenebilirlik (uygun takımlar ile).
- Elektrik izolasyonu (örn. Cam fiber için 11.5 mV/m).
- Düşük ısı iletkenliği (yaklaşık alüminyumun 1/250'si, çeliğin 1/60'ıdır).
- Elektromanyetik geçirgenlik.
- Elektrostatik olmama özelliği.
- Darbe enerjisi sönmeme.
- Uzun ömür.
- Makul ölçülerde boya katılabilir.
- Organizmalardan etkilenmeme.

SAKINCALI YANLARI

- Boyuna ve enine doğrultulardaki mekanik özelliklerde önemli farklar (anisotropy) vardır. Kullanılan güçlendirme elemanının doku yapısına bağlı olarak azaltılabilir.
- Kesitte aşırı kalınlık değişimi olduğunda imalat zorluğu.
- Küçük ve karmaşık yapıdaki profillerin hassas ölçülerde üretimi zordur.
- Termoset matrislerin kırılma tokluğu düşüktür.
- Yüksek gerilmede gevrek kırılma.
- Hava şartlarından etkilenme (cam fiber- polyester matris).
- Yanabilme özelliği.
- Montaj bağlama zorlukları (Genellikle ilave mekanik parçalar kullanılır) (5).

İŞLEMİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Şekil 4'den görüleceği gibi çekme gücü ihtiyacı kuru fiber demetinin kalıptan geçirilmesinde çekme hızına bağlı değildir, buna karşın reçine emdirilmiş fiber demetinde ise gerekli çekme gücü yaklaşık olarak çekme hızı ile lineer olarak artmaktadır.

Isı transferinin ve reaksiyon ısısının (ekzotermik) gerekli çekme gücü oluşumuna etkileri basitçe prosesin ısı kontrollu kalıp içindeki gelişimi incelendiğinde anlaşılabilir.

Pultrusion prosesinde çekme kuvveti ihtiyacı aşağıdaki kaynaklar ile oluşmaktadır. Şekil 1 göz önüne alındığında;

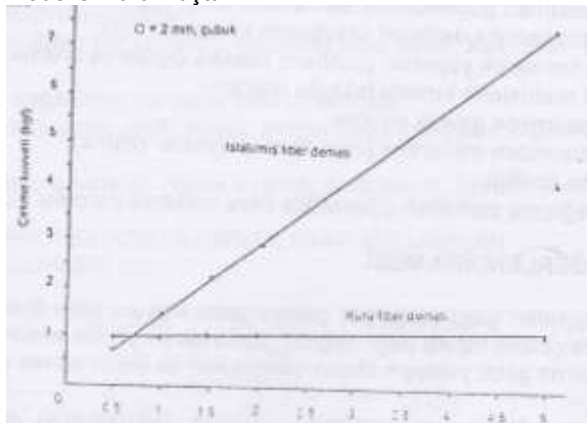
a. Kalıp öncesi

- 1- Sürtünme: Makara ve kılavuzlarda.
- 2- Viskoz sürtünme: Reçine banyosunda.
- 3- Sıkıştırma: Reçine sıyırıcı, ön şekillendirme kalıbı.

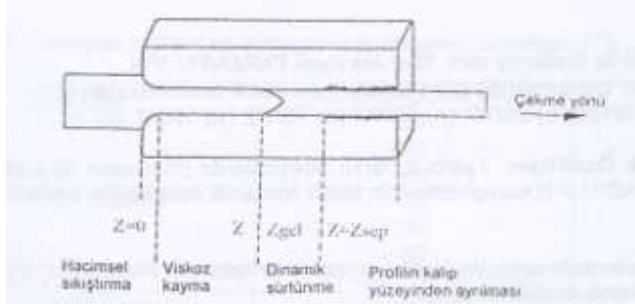
b. Kalıp üzerinde (Şekil 5)

- 1- Hacimsel sıkıştırma (bulk compaction): Bu kuvvetler, kalıp girişinde oldukça kabarık durumdaki reçine ve fiber kompozisyonunun sıkışarak yoğunlaşması nedeni ile oluşur. Reçine viskozitesine, fiber/reçine oranına, girişteki kesit değişim oranına, kalıp giriş açısına ve çekme hızına (şekil 4) bağlıdır.,
- 2- Viskoz kayma (viscous shear): Bu kuvvetler reçinenin, pelteleşme öncesinde ve sürecinde termal genişmesi sonucunda kalıp içinde geriye doğru akışı nedeniyle oluşur. Malzeme kalıp içinde ilerlerken, kalıp tarafından ısıtılması nedeniyle reçine viskozitesi önce düşer ve reaksiyonun başlamasıyla birlikte viskozite de artar, reaksiyonun tamamlanmasıyla da katı hale dönüşür.
- 3- Dinamik sürtünme (dynamic friction): Bu kuvvetler reçinenin pelteleşmesiyle başlar, profilin öncelikle kalıp ile temasta olan dış yüzeylerinde reaksiyonun tamamlanması ve iç bölgelerde devam eden reaksiyon neticesinde oluşan ısının da etkisiyle radyal yönde (kalıp yüzeylerine dik) termal genişme oluşur. Bu iç basınç nedeniyle katı yüzeyler arasında sürtünme direnci oluşur. Reaksiyonun ilerlemesi ile ortaya çıkan büzülme iç basıncı azaltarak, sürtünme dirençlerini azaltır. Bu durum bir maça kullanılması durumunda (örn. boru üretimi) geçerli değildir.
- 4- Kalıp yüzeyine yapışma: Bu kuvvetler reçinenin yapısına bağlı olarak ortaya çıkarlar ve genellikle kalıp ayırıcılar kullanılarak bu dirençler azaltılır veya yok edilir (5).

Genel olarak kalıp öncesi oluşan dirençler, kalıpta oluşanlar ile mukayese edildiğinde çok düşük olduğundan ihmal edilebilirler. Kalıp üzerinde, hacimsel sıkıştırma, viskoz kayma ve dinamik sürtünme nedeniyle oluşan dirençlerin hesabı için çeşitli modeller kurulmuştur.



Şekil 4. Çekme direncinin çekme hızı ile değişimi (5).



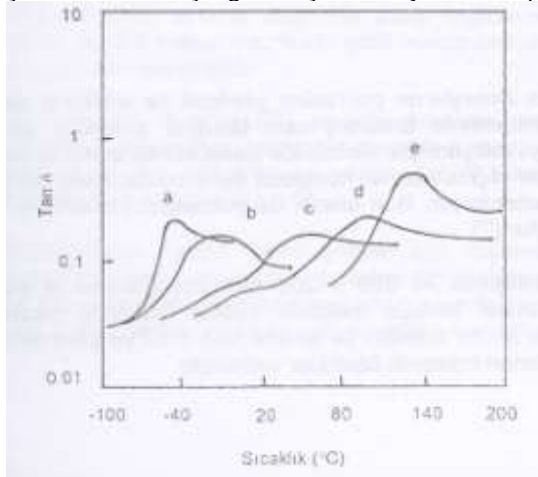
Şekil 5. Prosesin kalıp içinde gelişimi, direnç oluşum bölgeleri (5).

DENEYSEL ÇALIŞMA ÖRNEK 1.

Örnek olarak gösterilecek olan bu çalışmada, pultrusion işlemi için uygun bir poli (metilmetakralat) (PMMA)/poliüretan (PU) tam nüfuz eden polimer ağı (IPN) reçine sistemi geliştirilmiştir. IPN prepolimeri; MMA prepolimeri ve PU prepolimerinin karışımından hazırlanmıştır.

Cam fiber takviyeli PMMA/PU IPN kompozitlerin mekanik özelliklerinin araştırılması için, kompozitler 170°C, 40 cm/dak çekme hızında imal edilmiştir. 90 dakika boyunca 120°C 2. pişirme (postcure) sıcaklığı ve fiber hacimsel yüzdesi %57 olarak tutulmuştur. Dinamik mekanik özellikleri, eğme dayanımı ve modülü, Çentik Darbe dayanımı ve shore sertliği ölçülmüştür.

Dinamik Mekanik Özellikler: Pultrusion yöntemi ile üretilmiş cam fiber-takviyeli PMMA / PU IPN kompozitler için belirtilen sıcaklık aralığında dinamik mekanik özellikleri ($\tan \delta$): farklı IPN bileşimleri ve ayrı ayrı polimer bileşenleri için Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekilden, her bir kompozisyon için geniş bir tepe noktası görülmektedir. Sadece uygun polimerler; ayrı bileşenlerin cam geçiş sıcaklığı arasındaki orta derecedeki sıcaklıklarda geniş geçişli IPN üretebilirler. Bu; PU ve PMMA arasında iyi bir uyumluluk olduğunu göstermektedir. Ayrıca aşıkardır ki, IPN kompozitlerinin tepe noktaları, PMMA içeriği artarken daha yüksek sıcaklığa doğru kaymaktadır. Bu eğrilerin yüksek sıcaklıklarda artması PMMA sert parçalarının varlığı ile açıklanabilir ve PMMA; PU matrisi içerisinde çözünür. PMMA içeriği arttıkça daha rijit IPN kompozitleri oluşmaktadır.



Şekil 6. Pultrusion işlemi ile üretilmiş cam fiber-takviyeli PMMA/PU IPN kompozisyonları için sıcaklığa göre dinamik mekanik özellikler (tan δ) (% ağırlık): (a) 0/100;(b) 25/75; (c) 50/50; (d) 75/25; (e) 100/0 (6)

Statik Mekanik Özellikler: Tablo 3; farklı bileşimlerde pultrusion ile üretilmiş cam fiber takviyeli PMMA/PU IPN kompozitlerinin statik mekanik özelliklerini vermektedir.

Tablo 3. Farklı bileşimlerde pultrusion ile üretilmiş cam fiber-takviyeli PMMA/PU IPN kompozitlerin statik mekanik özellikleri (6).

PMMA / PU IPN (AĞIRLIK/AĞIRLIK) KOMPOZİTLERİ					
ÖZELLİK	0/100	25/75	50/50	75/25	100/0
Eğme Dayanımı (M Pa)	100.5	115.6	178.9	224.4	320.1
Eğme Modülü (G Pa)	12.14	15.23	18.06	32.34	34.42
Sertlik (Shore D)	53.9	55.8	59.0	69.2	82.1
Çentik Darbe Dayanımı (Jm ⁻¹) (-50°C'de)	3300	3123	2548	2151	1525

Eğme dayanımı, eğme modülü ve PMMA / PU IPN kompozitlerinin sertliği; PMMA içeriği artarken artmaktadır. Çentik darbe dayanımı özelliği PMMA / PU IPN sistemleri için -50°C'de verilmiştir. PMMA içeriği azalırken çentik darbe dayanımı artmaktadır. PU; PMMA matrisi içerisinde çözülebilir ve tam olarak nüfuziyetinin (interpenetrasyon) etkisi PMMA / PU IPN kompozitlerinin matrisini katılaştıracaktır. Yüksek hızda katılaştırma yapılırken matrisin haddeden çekilebilme özelliği önemli rol oynamaktadır.

Viskozite çalışmasından reçine tankında optimum işlem sıcaklığı 50°C olarak belirlenmiştir. Fiber reçine banyosu ve sonraki pultrusion işlemin de yeterli zaman sağlamak için reçinenin (polimerin) muhafaza (pot) ömrünün 40-60°C arasında 12 saat gibi uzun bir süre olduğu gösterilmiştir. 160°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda polimerin yüksek bir şekilde reaktif olduğu bulunmuştur.

Yukarıdaki çalışmalardan PMMA / PU IPN polimerinin pultrusion işlemine uygun olduğu sonucu bulunmuştur (6).

ÖRNEK 2:

Bu çalışmada yapılan deneylerde pultrusion yöntemi ile üretilmiş parçaları, mukayese amacıyla diğer yöntemlerle üretilmiş cam takviyeli polyester parçaların mekanik özellikleri elde edilmeye çalışılmıştır. Öncelikle klasik olarak üretilmiş cam keçe ve cam dokuma fiberli polyester reçine matrisli kompozit denenmiştir. Daha sonra SMC tekniğiyle üretilmiş plakalar denenmiştir. Son olarak da pultrusion yöntemiyle üretilen çubuklar deney tabii tutulmuştur (7).

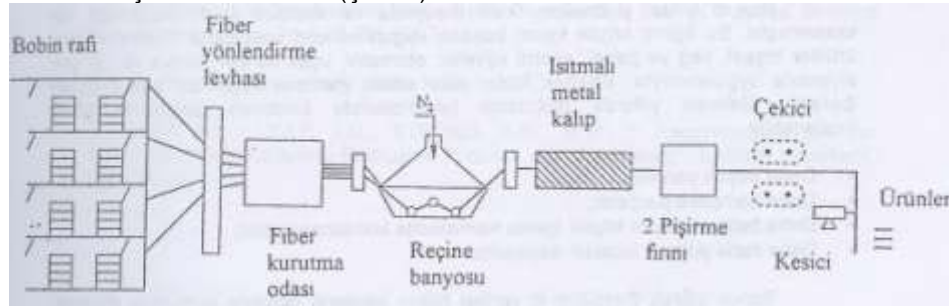
Plakalar 10 mm kalınlığında ve 300 × 300 mm boyutlarında el yatırması yöntemiyle üretilmiştir. Numuneler burada mekanik kesme işlemiyle çıkarılmıştır. Aşağıdaki tabloda numunelerin hacim oranları ile birlikte ISO 3167'ye göre elde edilen çekme numunelerinden hesaplanan mekanik özellikler verilmiştir.

Tablo 4. Deneyde kullanılan numunelerin mekanik özellikleri (7).

MALZEME	HACİM ORANI (% Vf)	Rm (MPa)
CTP Keçe	20	80
	25	92
	30	101
CTP Dokuma	20	145
	30	157
	40	180
SMC	% 30 Cam, % 15 Kalsit	175
Pultrusion	% 75	430

PULTRUSION MAKİNASI İÇİN TAVSİYELER

Aşağıda en iyi pultrusion makinası tasarımına ulaşabilmek amacıyla üniversite elemanlarının 15 ayrı pultrusion makinası üreticisiyle yaptıkları görüşmelerden elde edilen sonuçlar belirtilmektedir (Şekil 7)



Şekil 7. Pultrusion makinasının akış şeması (6).

1. Bobin Rafı: Yatay veya dikey pozisyonda besleme yapabilecek şekilde olmalıdır. Aşınmaya dirençli malzemelerden yapılmalı, uygun açılarda besleme yapılabilir.
2. Yönlendirme Levhası: Kolaylıkla değiştirilebilir olmalı ki farklı şekillerde besleme yapabilsin. Yüksek aşınma direncine sahip malzemelerden yapılmalıdır (verilen cevapların % 63'ü polietilen, %31'i çelik malzeme kullandıklarını göstermektedir). Yerine kolay yerleştirilmelidir.
3. Reçine Banyosu: Ayarlanabilir sıcaklık kontrolü vardır. Reçinenin sıcaklık ve viskozitesini ayarlayabilen computer monitör sistemine sahiptir. Değişik hızlarda manyetik karıştırma mekanizması vardır. Zehirli buharlar için buhar filtre sistemi vardır. Tamamen kapalı sistemdir.
4. Ön Şekillendirme Kalıbı: Farklı şekiller için kullanılacak nitelikte olmalıdır. İpliklerin sürtünmeden dolayı çitileşmesine izin vermeyecek şekilde düzgün yuvarlak yüzeye sahip olmalıdır (keskin köşeli yüzeye sahip olmamalıdır). Verilen cevaplara göre, kalıp malzemesi olarak en çok polietilen ve çelik kullanılmaktadır.

5. 2. Pişirme Fırını: 1. Isıtmalı kalıp sonrası pekiştirme fırınıdır. Genellikle fırın sıcaklığı 300°C civarındadır. Görüşme yapılan firmaların sadece % 15'i tarafından kullanılmaktadır.
6. Çekme Mekanizması: Değişik çekme hızlarında ve çekme yüklerinde yapılır. Direkt elektrikli açma kapama düğmesi ve çekme hızını ayarlama düğmesi vardır.
7. Kesme Sistemi: Otomatik veya elle hız kontrollü elmas kesme bıçağı ve toz için vakum sistemi vardır.
8. Tezgah: Yapı çeliğinden, eklenebilir özellikte olmalıdır.
9. Monitör sistemi: Reçine banyosunda sıcaklığı, reçine viskozitesini, çekme yüklerini ve basınçlarını izleyebilmek ve değiştirebilmek mümkündür (8).

SONUÇ

Son 5 yılda, pultrusion ticari medyada ve endüstri konferanslarında ilgi kazanmıştır. Bu ilginin büyük kısmı başarılı uygulamaların sonucudur. Pultrusion edilmiş ürünler inşaat, yağ ve petrol, sportif eşyalar, otomotiv, uçak sanayi, kimya vb. bir çok piyasada uygulanmıştır. Bugüne kadar elde edilen yalnızca küçük bir başlangıçtan ibarettir. Gelecek yıllarda pultrusion teknolojisinde beklenen gelişmeler şöyle sıralanabilir.

- Daha büyük parçalar,
- Daha komplike parçalar,
- Daha fazla metal ve köpük içeren hammadde kombinasyonları,
- Daha fazla yüksek sıcaklık dayanımı.

Sonuç olarak diyebiliriz ki verilen bütün bilgilerin ışığında pultrusion yöntemi diğer yöntemlere karşı üstünlüğünü ve gelişimini artan oranla sürdürecektir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamda bana yardımcı olan Sayın hocam Doç Dr Ahmet ÜNAL'a ve yayın taraması konusunda bize yol gösteren Sayın hocam Prof. Dr. Nihat KINIKOĞLU'na teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

1. ŞİMŞEK M., "Kompozit Malzeme Üretiminde Pultrusion (Çekme) Yöntemi", Ders Notları, M.Ü., 1992
2. CASTRO J.M., TOMLINSON G., "Predicting Molding Forces in SMC Compression Molding", Polymer Engineering and Science, 30,24,1568-1573, 1990

3. TWU J.T., HILL R.R., WANG T.J., et.al., "Numerical Simulation of Non-Isothermal SMC (Sheet Molding Compound) Molding", Polymer Composites, 14, 6, 503-514, 1993
4. TWU J.T., LEE L.T., CHEEN S.C., "Simulation-Based Design of Sheet Molding Compound (SMC) Compression Molding", Polymer Composites, 15, 5 , 313-326, 1994
5. ATALAY Ö., "Termoset Kompozit Malzeme Üretim Metodlarından Birisi Olan Pultrusion Prosesinin İncelenmesi", 7. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, Ankara, Mayıs, 1993, 1129-1140.
6. CHEN C.H., MA C.C.M., "Pultruded Fibre-Reinforced PMMA/ PU IPN Composites: Processability and Mechanical Properties", Composites- Part A: Applied Science and Manufacturing, 28,1,65-72, 1997
7. Ünal A., "Pultrasyon Tekniği", Ders Notları, YTÜ, 1997
8. STEINER R.L., COLE J.D., STRONG A.B., et.al., " Recommendations for Composite Manufacturing Pultrusion Process and Equipment", SAMPE Quarterly, 24,1,38-44, 1992

Makale Kaynağı : [Sigma Dergisi](#)