



Salih Hakan Yetgin

Dumlupınar University, shyetgin@gmail.com, Kütahya-Turkey

Hüseyin Ünal

Sakarya University, unal@sakarya.edu.tr, Sakarya-Turkey

DOI	http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2018.13.1.2A0135	
ORCID ID	---	---
CORRESPONDING AUTHOR	Salih Hakan Yetgin	

**PP VE PP/TALK KOMPOZİTLERİN MEKANİK VE KÖPÜKLENME ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE
ERGİYİK SICAKLIĞI VE ENJEKSİYON BASINCININ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ
ÖZ**

Bu deneysel çalışmada, katkısız polipropilen (PP) termoplastik polimeri ve ağırlıkça %20 oranında talk katkılı polipropilen (PP-T) kompozit malzemesi kullanılmıştır. Köpük ajanı olarak endotermik tip kimyasal köpük ajanı kullanılmıştır. Enjeksiyon basıncı ve ergiyik sıcaklığı gibi üretim parametrelerinin katkısız polipropilen ve talk katkılı polipropilen kompozit köpük malzemelerin ortalama hücre boyutuna, hücre sayısına, köpük tabakası kalınlığına, köpük yoğunluğuna ve mekaniksel özelliklerine olan etkileri incelenmiştir. Elde edilen deney sonuçlarından ergiyik sıcaklığının artması ile hücre çapı artarken, malzeme yoğunluğu, kabuk tabakası kalınlığı, hücre yoğunluğu ve darbe dayanımı azalmıştır. Enjeksiyon basıncının artması ile köpük yoğunluğu, kabuk tabakası kalınlığı, hücre çapı ve darbe dayanımı azalırken, hücre yoğunluğu ise artmıştır.

Anahtar Kelimeler: PP Köpük, Köpük Ajanı, Hücre Morfolojisi, Mekanik Özellikler, Kompozit

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF INJECTION PRESSURE AND MELT TEMPERATURE
ON FOAMABILITY AND MECHANICAL PROPERTIES OF PP AND PP/TALC COMPOSITE
ABSTRACT**

In this study, pure polypropylene (PP) thermoplastic polymer and 20% by weight of talc filled polypropylene (PP-T) composite material are used. Endothermic chemical foaming agents are used as a foaming agent. The injection pressure and melt temperature in the injection foam manufacturing process are just two of several important parameters. The effects of the injection pressure and melt temperatures of the production parameters, such as of average cell size, cell number, the foam layer thickness, foam density and mechanical properties were investigated on neat polypropylene and talc added polypropylene composite foam material. As a result, cell diameter increased with increasing melt temperatures while foam density, skin layer thickness, cell density and impact resistance decreased. By increasing injection pressure, foam density, skin layer thickness, cell diameter and impact resistance decreased while cell density increased.

Keywords: PP Foam, Foaming Agent, Cell Morphology, Mechanical Properties, Composite

How to Cite:

Yılmaz, A., (2018). PP ve PP/Talk Kompozitlerin Mekanik ve Köpüklenme Özellikleri Üzerine Ergiyik Sıcaklığı ve Enjeksiyon Basıncının Etkilerinin İncelenmesi, **Technological Applied Sciences (NWSATAS)**, 13(1):44-56, DOI:10.12739/NWSA.2018.13.1.2A0135.



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Polimer esaslı köpükler, genellikle katı polimer matris ve köpük ajanı tarafından üretilen gazlı faz olmak üzere en az iki faz içerirler. Düşük yoğunluk, üstün dayanım/ağırlık oranı, mükemmel yalıtım kabiliyeti, enerji absorbe etme performansı, üstün darbe dayanımı gibi eşsiz özellikleri nedeniyle polimerik köpüklere olan ilgi ise her geçen gün artmaktadır [1 ve 4]. Fiziksel veya kimyasal köpük ajanları kullanılarak, poliüretan (PU), polistiren (PS), polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinil klorür (PVC) ve polikarbonat (PC) gibi genel amaçlı polimerler batch prosesi, enjeksiyon kalıplama ve döner kalıplama gibi süreksiz prosesler ve ekstrüzyon köpüklenme gibi sürekli prosesler ile üretilmektedir [5]. Bu üretim yöntemleri arasında, enjeksiyonla köpük kalıplama yöntemi ile parçada azalan ağırlık, daha hızlı çevrim zamanı, parça ölçüsü kararlılığı ve yüksek dayanım-ağırlık oranı gibi avantajlar sağlanarak istenilen geometrik ölçülerde parçalar üretilir [6 ve 7]. Ancak, enjeksiyonla köpük malzeme üretiminde, diğer yöntemlerdeki değişkenlere ilave olarak enjeksiyon hızı, geri besleme basıncı ve vida adımı gibi parametrelerde etki etmektedir [8 ve 10].

Ergiyik sıcaklığı, kullanılan köpük ajanı miktarı, vida adımı, enjeksiyon hızı ve enjeksiyon basıncı gibi proses parametrelerindeki değişim enjeksiyonla köpük kalıplama yöntemiyle üretilen polimer esaslı köpüklerin hücre morfolojisini ve mekanik özelliklerini etkiler [11]. Bununla birlikte, genellikle küçük partikül boyutlu ve yüksek ergime noktalı inorganik malzemeler olarak bilinen çekirdekleyici ajanların eklenmesi, köpükteki hücre boyutu ve dağılımını, kabuk tabakası kalınlığını, hücre yoğunluğunu ve köpük malzemenin mekaniksel özelliklerini etkiler [12 ve 13]. Polimer köpük üretiminde en çok tercih edilen çekirdekleyici ajanlar ise talk ve nano-kalsiyum karbonattır [14]. Literatürde bazı araştırmacılar polimer esaslı köpük oluşumuna ve mekanik özelliklere proses şartlarının etkisini incelemişlerdir. Birkaç araştırmacı ise çekirdekleyici ajan miktarının ve özelliğinin köpük malzemenin hücre boyutu ve dağılımı üzerine etkisini araştırmıştır. Guo ve arkadaşları [10] nano boyutlu kil ve maleik anhidrit asit aşılınmış polipropilen (MAH-PP) içeren dallanmış ve lineer PP köpüklerin hücre yapısı ve özelliklerini incelemişlerdir.

Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilen PP ve PP-nano boyutlu kil içeren kompozitlerin köpüklenebilirliğini ve kimyasal köpük ajanı miktarı, vida adımı, geri besleme basıncı, enjeksiyon hızı, ergiyik sıcaklığı, kalıp sıcaklığı ve farklı enjeksiyon metotları gibi enjeksiyon parametrelerinin etkilerini incelemişlerdir. Deneyler sonucunda, geri besleme basıncının artması ile hücre yoğunluğunun azaldığını belirlemişlerdir. Benzer şekilde, köpük ajanı miktarı ve enjeksiyon hızının artırılması ile hücre yoğunluğunun arttığını, hücre boyutunun ise azaldığını tespit etmişlerdir. 16-24mm arasında değişen vida adımı uygulamasının sonucunda, dallanmış PP için ideal vida adımının 16mm, lineer PP için ise 24mm olduğunu belirlemişlerdir. Kalıp sıcaklığının azalması ise köpük yapısının homojenliğini bozmuş ve kabuk tabakası kalınlığının artmasına sebep olmuştur. Ayrıca, enjeksiyon metodunun (enjeksiyon giriş durumu) hücre çekirdeklenmesi ve buna bağlı olarak hücre yapısında önemli etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ahmedi ve Hornsby [15 ve 16]; enjeksiyonla kalıplanmış PP köpük malzemelerde proses parametrelerinden yapının nasıl etkilendiğini geniş bir şekilde araştırmışlardır. Enjeksiyon hızı, kalıp sıcaklığı ve ergiyik sıcaklığının üretilen PP köpük malzeme yapısı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Kalıp içerisindeki polimer eriyiğin yüksek enjeksiyon oranı ile oldukça uniform ve ince hücre yapısına sahip PP köpükler üretilmiştir. Buna karşılık, düşük



enjeksiyon oranı ile üretilen köpükler geniş hücre boyutu ve üniform olmayan hücre yapısı göstermiştir. Yüksek enjeksiyon basıncı ve düşük ergiyik sıcaklığı ile hücre boyutunun düşürülebileceğini göstermişlerdir. En düşük ortalama hücre boyutu yaklaşık 120µm olarak bulunmuştur. Üniform ve daha ince hücresel yapı için, yüksek enjeksiyon oranı ile düşük ergiyik sıcaklığı ve yüksek enjeksiyon basıncı tercih edilebilir. Chien ve arkadaşları [17]; enjeksiyonla köpük kalıplama yöntemi ile PP köpük malzemelerin mekanik özelliklerini ve kalıplama karakteristiklerini araştırmışlardır. Enjeksiyon hızı, ergiyik sıcaklığı, kalıp sıcaklığı ve geri besleme basıncı gibi enjeksiyon parametrelerinin, parça ağırlığı ve mekanik özelliklere (çekme dayanımı, eğme dayanımı ve rijitlik) etkilerini incelemişlerdir. Köpüklenme derecesi üzerine köpük ajanı miktarının ve parça kalınlığının da etkilerini incelemişlerdir.

Yaptıkları çalışmalarda 0.5mm kalınlığındaki çekme numunelerinde yaklaşık olarak %4 ile %9 oranında ağırlıkta azalma elde etmişler, 15mm kalınlığındaki eğme numunelerinde ise yaklaşık olarak %43-50 arasında ağırlıkta azalma tespit etmişlerdir. Bu sonuçlardan parça kalınlığının köpüklenme derecesini belirlemede önemli bir faktör olduğunu da belirtmişlerdir. Artan eriyik sıcaklığı, kalıp sıcaklığı ve enjeksiyon hızı ile parça ağırlığı, çekme dayanımı, eğme dayanımı ve rijitlik azalırken, geri besleme basıncının artması ile artış göstermiştir. Köpük ajanı miktarının %0.8' den %1.6'ya çıkarılmasıyla mekaniksel özelliklerde azalma göstermiştir. Xin ve arkadaşları [18]; kimyasal köpük ajanı kullanarak enjeksiyon köpük kalıplama ile PP/atık kauçuk tozu karışımını kullanarak polimer esaslı köpük malzeme üretmişlerdir. Ergiyik sıcaklığı, enjeksiyon hızı, vida adımı ve köpük ajanı miktarının elde edilen köpüklerin morfolojik ve mekanik özelliklerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, köpük ajanı miktarının hücre boyutu, hücre yoğunluğu ve çekme dayanımı üzerine en önemli parametre olduğunu ve köpük kabuk tabakası kalınlığının artmasıyla çekme dayanımının arttığını belirtmişlerdir.

Lee ve Cha [19]; fiziksel köpük ajanı kullanarak enjeksiyon köpük kalıplama yöntemi ile %20 talk katkılı PP köpük malzeme üretmişler ve kabuk tabakası oluşumuna kalıp sıcaklığı, enjeksiyon akış oranı ve polimer ergiyik sıcaklığının etkilerini incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda, kabuk tabakasının kalınlığını etkileyen kritik faktörün kalıp sıcaklığı olduğunu belirlemişlerdir. Kalıplanmış numunelerin darbe dayanımları ise özellikle yüksek kalıp sıcaklığından etkilenmiştir. Xu ve arkadaşları [20]; köpük ajanı olarak azot gazı ve çekirdekleyici ajan olarak ise talk katkıyı kullanarak YYPE polimerini köpüklenmişlerdir. Talk oranı ağırlık olarak %0.1, %0.5 ve %1.0 oranlarında kullanılmıştır. Talk oranının artması ile köpük yapısının daha homojen olduğu ve hücre yoğunluğunun ise arttığı belirlenmiştir. Naguib [21]; köpük ajanı olarak n-bütan ve çekirdekleyici ajan olarak talk katkıyı kullanmıştır. Dallanmış PP polimerinin köpüklenme işlemini ekstrüzyon yöntemi kullanarak gerçekleştirmiştir. Talk oranı, ağırlık olarak %0.8, 1.6 ve 2.4 olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmada Talk miktarının artmasıyla hücre yoğunluğunun önemli oranda arttığı belirlenmiştir. Yüksek talk içeriğine sahip köpüklerde sistemden gaz kaçaşının daha kolay olduğunu belirlemişlerdir.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu deneysel çalışmada, kimyasal köpük ajanı kullanılarak enjeksiyon köpük kalıplama yöntemi ile polipropilen esaslı köpük malzemeler üretilmiştir. Enjeksiyon basıncı ve ergiyik sıcaklığı gibi proses parametrelerinin, elde edilen köpük malzemenin hücre sayısına,

hücre boyutuna, hücreler arası mesafeye, kabuk tabakası kalınlığına, köpük yoğunluğuna ve darbe dayanımına olan etkileri incelenmiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Bu çalışmada katkısız PP homopolimeri ile %20 talc katkılı PP (PP-T) kompozit malzemeleri kullanılmıştır. Kimyasal köpük ajanı ise 140°C'de bozulan endotermik tip kimyasal köpük ajanı olup polimer matris malzemeye ağırlıkça %1 oranında katılmıştır. Karıştırma işlemi öncesi ve sonrasında numunelere herhangi bir kurutma işlemi yapılmamıştır. PP ve PP-T malzemelerin köpüklendirme işlemleri için geleneksel tip enjeksiyon kalıplama makinesi kullanılmıştır. Tablo 1, deneylerde kullanılan malzemeler ve enjeksiyon proses şartlarını göstermektedir. Diğer parametreler ise, ütüleme basıncı 100bar, enjeksiyon hızı 60mm/s ve soğuma zamanı 10s olacak şekilde sabit tutulmuştur. Üretilen PP ve PP-T esaslı köpük malzemeleri karakterize etmek için hücre yoğunluğu ve hacimsel genleşme oranı kullanılmıştır. Köpük yoğunluğu, ISO 1183 standardına göre belirlenmiştir. Hacimsel genleşme oranı (Φ), köpüksüz polimer yoğunluğunun (ρ_p), ölçülen köpük yoğunluğuna (ρ_f) oranı ile belirlenmiştir. Köpükteki yoğunlukta azalma miktarı (V_f), Eşitlik 1 ile hesaplanmıştır. Köpük malzemelerin ortalama hücre çapı, Nikon Eclipse L150A optik mikroskobu ve buna bağlı olarak çalışan Clemex Vision Lite görüntü analiz programı kullanılarak yapılmıştır. Birim hacimdeki hücre yoğunluğu (N_f), Kumar ve Suh [22] tarafından Eşitlik 2'de verilen formül ile hesaplanır. Eşitlik 2'de verilen "n" optik mikroskopta elde edilen görüntüdeki hücre sayısıdır. A, optik mikroskopta elde edilen görüntünün alanı ve M ise büyütme faktörüdür. Köpüksüz numunenin 1cm^3 'ündeki hücre sayısı (N_0) ise Eşitlik 3 ile hesaplanır.

Tablo 1. Kullanılan malzemeler ve enjeksiyon proses şartları
(Table 1. Used materials and injection process conditions)

	Malzemeler	Kodu	Firma	Proses Parametreleri	
				Ergiyik Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Basıncı, bar
Polipropilen	PP	PP3374E3	Exxon Mobile	160	60
%20 Talk Katkılı PP	PP-T	Vapolen 220 TPP	Vatan Plastic	170	80
Kimyasal Köpük Ajanı	CFA	FA2984PE	Tosaf Co	180	100

Köpükteki yoğunlukta azalma miktarı;

$$V_f = 1 - \frac{\rho_{köpük}}{\rho_{polimer}} \quad (1)$$

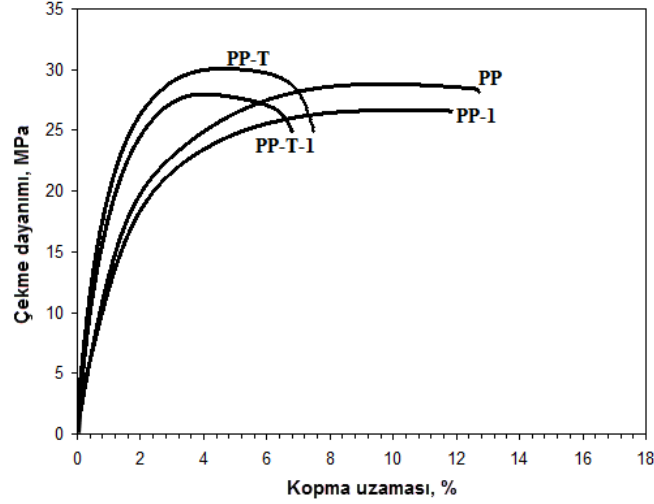
$$N_f = \left(\frac{n \times M^2}{A} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (2)$$

$$N_0 = \left(\frac{N_f}{1 - V_f} \right) \quad (3)$$

Kabuk tabakası kalınlığı ölçümleri, imaj analiz programı yardımıyla mikroyapı fotoğraflarından yararlanılarak bulunmuştur. Enjeksiyonla kalıplanmış PP ve PP-T-EPDM köpüklerin çekme testleri 23°C oda sıcaklığında 50mm/dak. çekme hızında ISO 1926 standardına uygun olarak MIRC 350 tip çekme cihazında gerçekleştirilmiştir. Darbe testleri ise yine oda sıcaklığında TS ISO 179 standardına uygun olarak Zwick B 5113 tip darbe cihazında gerçekleştirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

Şekil 1'de PP, PP-T ve köpük numunelere ait çekme testi sonuçları verilmiştir. Köpüksüz PP polimeri %13 oranında uzama gösterirken, PP polimerine ilave edilen %20talk katkısı ile kompozitin % uzama değeri yaklaşık olarak %7.5 oranında elde edilmiştir. Yani talk katkılı PP, kırılma mekanizmasını sünekten gevrek davranışa doğru dönüştürdüğü gözlenmiştir. %20talk katkılı PP polimeri ise en yüksek çekme dayanımı ve elastiklik modülüne sahiptir. PP ve PP-T polimerlerinin köpüklendirilmesi ile çekme dayanımı, elastiklik modülü ve kopma uzaması değerleri azalmıştır (Tablo 2).

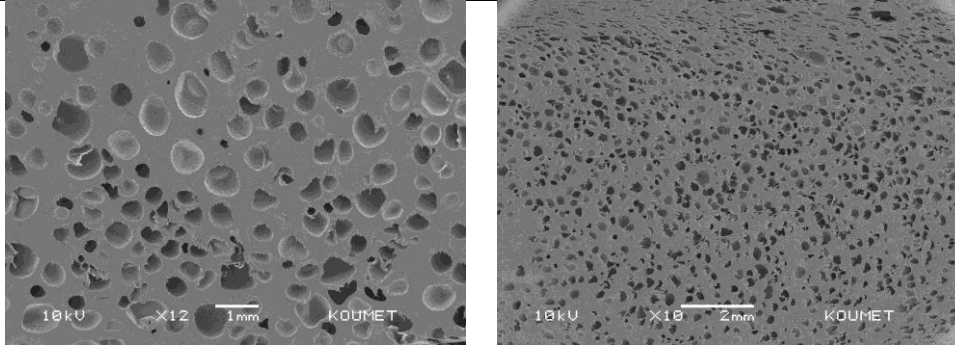


Şekil 1. PP, PP-T ve köpüklerin çekme dayanımı-kopma uzaması grafiği
(Figure 1. Tensile strength-elongation at break chart for PP, PP-T and foams)

Tablo 2. PP, PP-T ve köpüklerin mekaniksel özellikleri
(Table 2. Mechanical properties of PP, PP-T and foams)

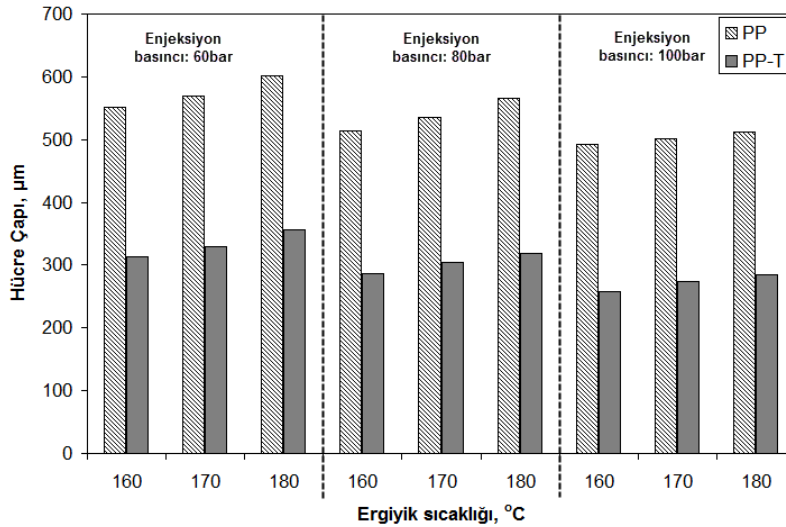
Numune	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastiklik Modülü (MPa)	Kopma Uzaması (%)
PP	27.29	1468	13.04
PP-1	25.87	1379	11.81
PP-T	29.81	3002	7.54
PP-T-1	27.91	2787	6.88

Şekil 2'de PP polimer ve PP-T kompozit köpüğün hücre morfolojisi verilmiştir. Hem PP hem de PP-T köpüklerin hücre yapısı kapalı hücre şeklindedir. PP polimer köpük numunede homojen olmayan hücre boyutu ve dağılımı ile büyük hücre boyutları elde edilmiştir. %20talk katkılı PP kompozit köpük numunesinde ise hücre morfolojisi daha düzenli hale gelmiştir. Hücre boyutu ve dağılımı üniform hale gelmiş ve hücre boyutları azalmıştır. PP polimerine ilave edilen talk minerali ve köpük ajanının bozunması sonucu oluşan katı artıklar çekirdekleyici ajan gibi davranmıştır. Bu durum daha küçük hücre oluşumuna ve polimer ergiyik içerisinde gazın daha iyi çözünmesini sağlar [9]. Buna bağlı olarak artan hücre sayısı ile birlikte sistemdeki gazın hızlı bir şekilde tüketilmesi hücre çapının azalmasında etkili olmuştur.



Şekil 2. Hücre morfolojisi a)PP köpük ve b)PP-T kompozit köpük
(Figure 2. Cell morphology, a)PP foam and b)PP-T composite foam)

Şekil 3'de PP ve PP-T polimer köpüklerin ergiyik sıcaklığı ve enjeksiyon basıncına bağlı olarak elde edilen hücre çapları verilmiştir. Ergiyik sıcaklığının artması hücre çapını artırırken enjeksiyon basıncının artması ile hücre çapı azalmıştır. PP polimer köpük numunesinde ortalama hücre çapı 363-542µm elde edilirken, PP-T polimer köpük numunesinde 175-236µm elde edilmiştir. Ergiyik sıcaklığının 160°C'den 180°C'ye artırılmasıyla PP köpük numunesinde hücre çapı %7.7 artarken PP-T köpük numunesinde ise %11.8 oranında artmıştır. Yüksek ergiyik sıcaklığında, kalıbın dolması için geçen süre daha kısadır. Düşük ergiyik sıcaklığında ise kalıbın yavaş dolması, ergiyik viskozitesinin yüksek olmasına bağlıdır. Düşük ergiyik sıcaklığında, gaz yüklü ergiyikten gazın elde edilmesi daha yavaştır. Ergiyik viskozitesinin yüksek olması ergimiş haldeki polimerin içerisine gazın difüzyonunu yavaşlatacaktır. Artan ergiyik sıcaklığı ile birlikte hücrelerin içerisine gaz difüzyonunun artması nedeniyle hücre boyutu artacaktır [23].



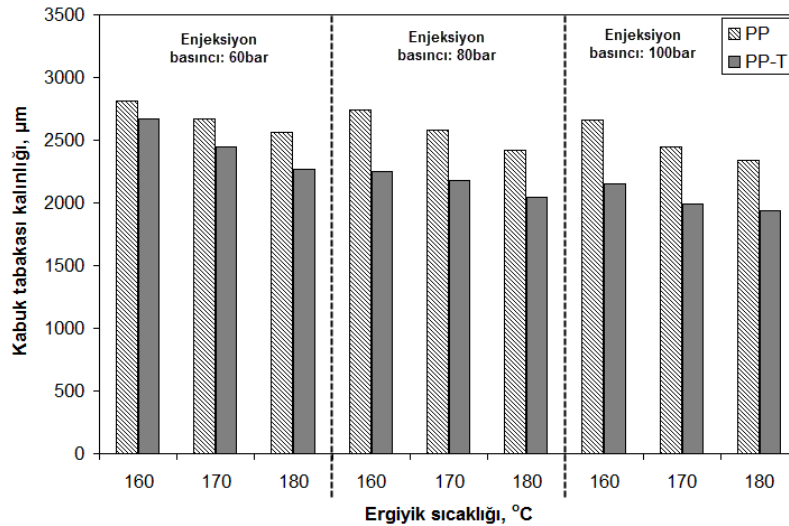
Şekil 3. PP ve PP-T kompozit köpüklerin ergiyik sıcaklığı-hücre çapı değişimi

(Figure 3. Melting temperature-cell diameter change for PP and PP-T composites foams)

Yüksek ergiyik sıcaklığı aynı zamanda hücre büyümesine yardımcı olan polimerin yüzey gerilimini ve ergiyik dayanımını azaltmıştır. Ergiyik dayanımının azalması ise hücre duvarlarının kırılmasına ve sonuçta büyük hücrelerin oluşmasına sebep olmuştur [24]. Benzer

sonuçlar Huang ve arkadaşlarının [25] yaptığı çalışmada da elde edilmiştir. Enjeksiyon basıncının artması hem PP hem de PP-T köpük numunelerinde hücre çapını %10.6 ve %18.1 oranlarında artırmıştır. En düşük hücre çapı, 257 μ m değeri ile 160°C ergiyik sıcaklığı ve 100bar enjeksiyon basıncı kullanılarak üretilen PP-T köpük numunesinde elde edilmiştir.

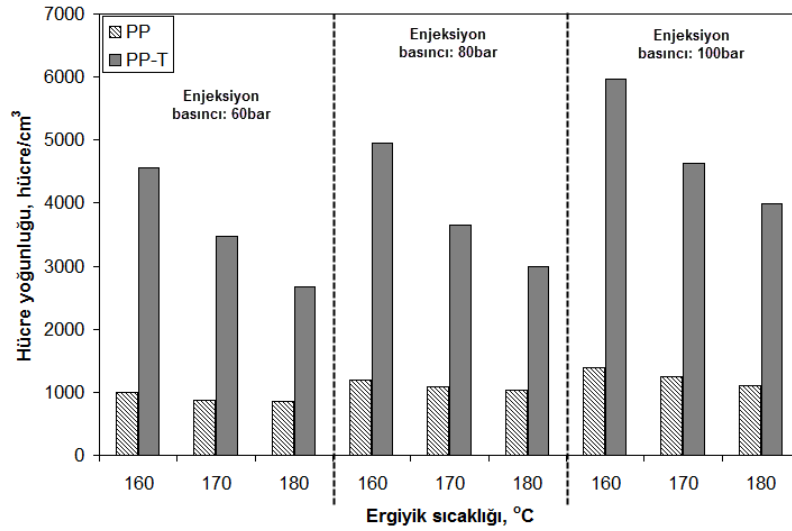
Şekil 4'de ergiyik sıcaklığına bağlı olarak elde edilen kabuk tabakası kalınlıkları verilmiştir. PP polimerine ilave edilen %20 oranındaki talk minerali kabuk tabakası kalınlığının azalmasında önemli bir etkiye sahiptir. Ergiyik sıcaklığı ve enjeksiyon basıncına bağlı olarak PP köpük numunelerinde 2340-2815 μ m arasında değişen kabuk tabakası kalınlıkları, talk mineralinin ilave edilmesi ile ortalama %14.3 oranında azalarak 1950-2670 μ m arasında elde edilmiştir. Enjeksiyon basıncının artması ile kabuk tabakası kalınlığı azalmıştır. PP ve PP-T köpük numunelerinin kabuk tabaka kalınlıkları %10.9 ve %11.3 oranında azalmıştır. Enjeksiyon basıncına bağlı olarak kabuk tabakası kalınlığının azalmasının sebebi birim alanda oluşan hücre sayısı olabilir. Artan enjeksiyon basıncı hücre çekirdeklenmesini artıran basınç azalım oranını artırır ve sonuçta daha küçük kabuk tabakası kalınlığı oluşur [24]. Ergiyik sıcaklığının artması ile hem PP hem de PP-T polimer köpüklerin kabuk tabakası kalınlıkları yaklaşık olarak %7.5 ve %17.5 oranlarında azalmıştır. Artan ergiyik sıcaklığı, ergiyik polimerin kalıp duvarı yakınındaki ve merkezindeki bölgeler arasındaki sıcaklık dağılımının artmasına sebep olur (ergiyik polimerdeki düşük ısı transfer oranı nedeniyle). Ayrıca, kalıp duvarı yakınındaki donmuş tabakanın düşük termal iletkenliği, ısı transferini azaltarak (iç bölge daha geç soğur) daha fazla hücre çekirdeklenmesine ve büyümesine sebep olur ve sonuçta kabuk tabakasının kalınlığı azalır [24].



Şekil 4. PP ve PP-T kompozit köpüklerin ergiyik sıcaklığı-kabuk tabakası kalınlığı değişimi
(Figure 4. Melting temperature-skin layer thickness change for PP and PP-T composites foams)

Şekil 5'de ergiyik sıcaklığına bağlı olarak birim hacimde elde edilen hücre yoğunlukları verilmiştir. Farklı enjeksiyon basınçları ve ergiyik sıcaklıkları kullanılarak elde edilen köpük malzemelerin hücre yoğunlukları 10^3 cell/cm³ civarındadır. PP köpük numunesinde hücre yoğunluğu $8.5 \times 10^2 - 1.3 \times 10^3$ hücre/cm³ aralığında elde edilirken, PP-T

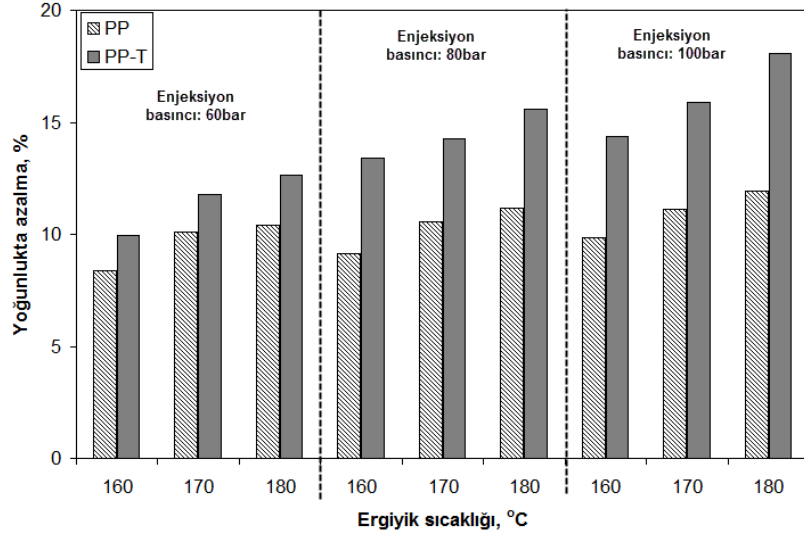
numunesinde $2.6-5.9 \times 10^3$ hücre/cm³ aralığında elde edilmiştir. PP polimer numunesine ilave edilen talk minerali hücre yoğunluğunu %72.7 oranında artırmıştır. Ergiyik sıcaklığının artması hücre yoğunluğunu azaltırken enjeksiyon basıncının artması ise hücre yoğunluğunu artırmıştır. Ergiyik sıcaklığının 160°C'den 180°C'ye çıkmasıyla polimer köpüklerin hücre yoğunlukları %15.8 ve %38.0 oranlarında azalmıştır. Ergiyik sıcaklığının artması köpük ajanının çözünürlüğünü azaltır. Azalan çözünürlük, köpüklenme için gerekli olan gazın miktarını azaltır. Bu yüzden, yüksek sıcaklıklarda polimer ergiyikte daha az gaz absorbe edilir ve daha az çekirdeklenme alanları oluşarak birim hacimdeki hücre yoğunluğu azalır. Daha az sayıda çekirdek, malzemenin nispeten daha geniş bir alanında gelişir ve sonuç olarak daha büyük hücreler oluşur [26]. Aynı zamanda, artan sıcaklık ile birlikte, birleşen hücreler kabarcık çekirdeklenmesindeki artışı engellemiş olabilir. Daha önceden çekirdeklenen büyük hücrelerin büyümeye devam etmesi nedeniyle küçük olan hücrelerin büyümesi engellenmiş olabilir [27]. Artan ergiyik sıcaklığı ile oluşan hücre çaplarının artması hücre yoğunluğunu azaltmıştır. Benzer çalışmalarda da, artan ergiyik sıcaklığı ile hücre boyutu artmış, buna karşılık hücre yoğunluğu azalmıştır [11]. Enjeksiyon basıncının 60bar'dan 100bar'a çıkması ile polimer köpüklerin hücre yoğunluğu %27 oranlarında artmıştır. En yüksek hücre yoğunluğu 100 bar enjeksiyon basıncı ve 160°C ergiyik sıcaklığı kullanılarak üretilen PP-T köpük numunesinde elde edilmiştir. Enjeksiyon basıncına bağlı olarak hücre yoğunluğunun artması basınç azalım oranı ile ilişkili olabilir.



Şekil 5. PP ve PP-T kompozit köpüklerin ergiyik sıcaklığı-hücre yoğunluğu değişimi
(Figure 5. Melting temperature-cell density change for PP and PP-T composites foams)

Şekil 6'da PP ve PP-T köpüklerinin farklı enjeksiyon basınçlarında, ergiyik sıcaklığına bağlı olarak yoğunluklarındaki değişim verilmiştir. Köpüksüz PP ve PP-T polimerlerin yoğunlukları sırasıyla 0.91 ve 1.04g/cm³ bulunmuştur. Polimerlerin köpüklendirilmesi ile yoğunluk önemli oranda azalmıştır. PP köpük numunelerinde 0.78-0.82g/cm³ arasında köpük yoğunluğu elde edilirken PP-T köpük numunelerinde 0.82-0,90g/cm³ arasında elde edilmiştir. Köpük yoğunlukları, PP köpükler için %11.5, PP-T köpükler için %17.3 oranında azalmıştır. Ergiyik sıcaklığı ve enjeksiyon basıncının

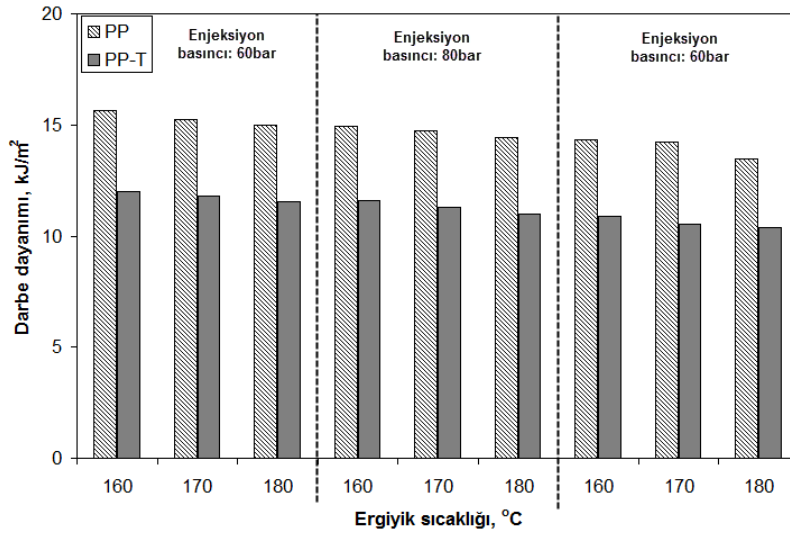
artması ile köpük numunelerin yoğunlukta azalma miktarı artmıştır. Proses şartlarına bağlı olarak birim hacimde oluşan hücre yoğunluğu ve hücre çaplarının yoğunlukta azalma miktarını etkilediği düşünülmektedir. Ergiyik sıcaklığının artması ile yoğunlukta azalma miktarı ortalama %18 oranında artmıştır. Enjeksiyon basıncının artması ise PP ve PP-T köpüklerin yoğunlukta azalma oranını %12.1 ve %28.9 oranlarında artırmıştır. En düşük köpük yoğunluğu 100 bar enjeksiyon basıncı ve 180°C ergiyik sıcaklığı kullanıldığında elde edilmiştir. Bu sonuç, benzer kalıplama şartları altında PP-T polimer köpüğünün PP polimer köpüğüne göre daha avantajlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 6. PP ve PP-T kompozit köpüklerin ergiyik sıcaklığı-yoğunlukta azalma değişimi

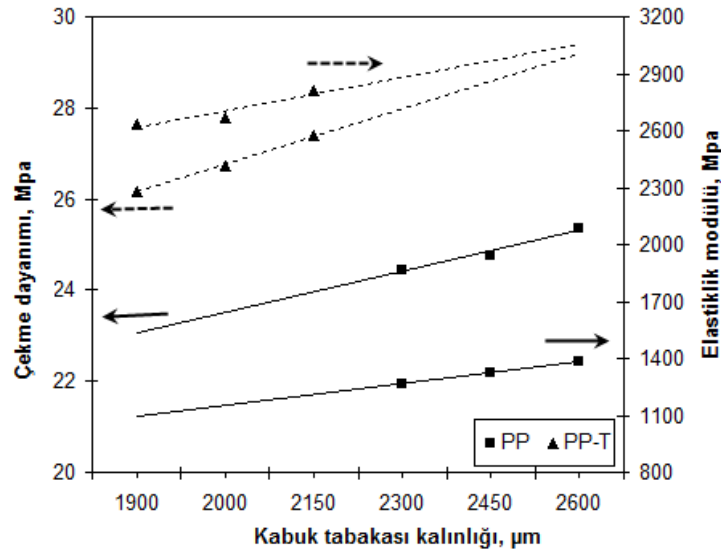
(Figure 6. Melting temperature-reduction of density change for PP and PP-T composites foams)

Şekil 7'de PP ve PP-T polimer köpüklere ait darbe dayanımı sonuçları verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi PP polimer köpüklere göre, PP-T köpüklerin darbe dayanımları %23.5 oranında azalmıştır. PP köpüklerin 13.5-15.0kJ/m² arasında değişen darbe dayanımı, talk mineralinin eklenmesi ile 10.3-12.0kJ/m² arasında elde edilmiştir. Darbe dayanımındaki bu azalma, talk mineralinin, polimerin makromoleküler zincirlerinin hareketini kısıtlaması, polimer deformasyonun sınırlandırılması ve dolayısıyla malzemenin daha gevrek hale gelmesinden kaynaklanmaktadır. Her bir partikül ve bu partiküllerin bir araya toplanması, gerilim alanları oluşturur ve mikroçatlak başlatıcı gibi davranır. Darbe nedeniyle çatlak oluştuğunda, çatlak zayıf arayüzey bölgelerine doğru yayılır. Bu yüzden katkı oranının artması ile darbe dayanımı azalır [28]. Kullanılan enjeksiyon basıncına ve ergiyik sıcaklığına bağlı olarak darbe dayanımlarının farklı oranlarda elde edilmesi, hücre morfolojisi ve kabuk tabakası kalınlığı ile ilişkili olabilir. Numune kırılmalarında, her bir tabaka (kabuk ve çekirdek-iç), köpüklü veya köpüksüz olma özelliklerine bağlı olarak farklı darbe direnci gösterir [29]. Aynı zamanda, uniform dağılmış ve küçük hücreler darbe dayanımının artmasında kritik faktördür [30]. Ergiyik sıcaklığının ve enjeksiyon basıncının artması ile darbe dayanımı azalmıştır.



Şekil 7. PP ve PP-T kompozit köpüklerin ergiyik sıcaklığı-darbe dayanımı değişimi
(Figure 7. Melting temperature-impact strength change for PP and PP-T composites foams)

Şekil 8'de ise kabuk tabakası kalınlığına bağlı olarak çekme dayanımı ve elastiklik modülündeki değişim verilmiştir. Kabuk tabakası kalınlığının artması ile çekme dayanımı ve elastiklik modülü artmıştır. Bu durum köpüklenmemiş bölgenin artmasıyla ilişkilidir. Birim alandaki malzemenin miktarı arttığında, köpüğün çekme özelliklerinin artmasına sebep olur. Köpük yoğunluğundaki artış, yani kabuk tabakası kalınlığının artması rijitlikte artışa sebep olur [31]. Goods ve arkadaşları da [32], köpük yoğunluğunun artması ile elastiklik modülünün arttığını belirtmiştir.



Şekil 8. PP ve PP-T kompozit köpüklerin kabuk tabakası kalınlığı-çekme dayanımı ve elastiklik modülü değişimi
(Figure 8. Skin layer thickness-tensile strength change for PP and PP-T composites foams)



5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Katkısız PP ve %20talk katkılı PP kompozit malzemelerinin enjeksiyonla kalıplama tekniğiyle köpüklendirilmesi sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Ergiyik sıcaklığının artması hücre çapını artırırken enjeksiyon basıncının artması ile hücre çapı azalmıştır.
- Ergiyik sıcaklığı ve enjeksiyon basıncına bağlı olarak PP köpük numunelerinde 2340-2815µm arasında değişen kabuk tabakası kalınlıkları, talk mineralinin ilave edilmesi ile ortalama %14.3 oranında azalarak 1950-2670µm arasında elde edilmiştir. Ergiyik sıcaklığının artması ile hem PP hem de PP-T polimer köpüklerin kabuk tabakası kalınlıkları yaklaşık olarak %7.5 ve %17.5 oranlarında azalmıştır.
- Köpük malzemelerin hücre yoğunlukları 10^3 hücre/cm³ civarındadır. PP köpük numunesinde hücre yoğunluğu $8.5 \times 10^2 - 1.3 \times 10^3$ hücre/cm³ aralığında elde edilirken, PP-T numunesinde $2.6 - 5.9 \times 10^3$ hücre/cm³ aralığında elde edilmiştir.
- Ergiyik sıcaklığının 160°C'den 180°C'ye çıkmasıyla polimer köpüklerin hücre yoğunlukları %15.8 ve %38.0 oranlarında azalmıştır. Enjeksiyon basıncının 60bar'dan 100bar'a çıkması ile polimer köpüklerin hücre yoğunluğu %27 oranlarında artmıştır.
- PP köpüklerin 13.5-15.0kJ/m² arasında değişen darbe dayanımı, talk mineralinin eklenmesi ile 10.3-12.0kJ/m² arasında elde edilmiştir. Ergiyik sıcaklığının ve enjeksiyon basıncının artması ile darbe dayanımı azalmıştır.
- Kabuk tabakası kalınlığının artması ile çekme dayanımı ve elastiklik modülü artmıştır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, Dumlupınar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonunca desteklenen 2014-84 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

NOT (NOTICE)

Bu çalışma 21-23 Eylül 2017 tarihinde Bayburt'ta düzenlenen International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET) Konferansında sözlü bildiri olarak sunulmuş ve yeniden yapılandırılmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Pop-Iliev, R. and Park, C.B., (2002). Melt Compounding Based Rotational Foam Molding Technology for Manufacture of Polypropylene Foams. Journal of Reinforced Plastics and Composites, Volume:21, Number:2, pp:101-120.
2. Wong, C.M., Tsai, S.J., Ying, C.H., and Hung, M.L., (2006). Effect of Low Density Polyethylene on Polystyrene Foam. Journal of Cellular Plastics, Volume:42, pp:153-163.
3. Xu, Z., Xue, P., Zhu, F., and He, J., (2005). Effects of Formulations and Processing Parameters on Foam Morphologies in the Direct Extrusion Foaming of Polypropylene Using a Single-Screw Extruder. Journal of Cellular Plastics, Volume:41, pp:169-185.
4. Stange, J. and Münstedt, H., (2006). Effect of Long-chain Branching on the Foaming of Polypropylene with Azodicarbonamide. Journal of Cellular Plastics, Volume:42, pp:445-467.
5. Xin, Z.X., Zhang, Z.X., Pal, K., Byeon, J.U., Lee, S.H., and Kim, J.K., (2010). Study of Microcellular Injection-Molded



-
- Polypropylene/Waste Ground Rubber Tire Powder Blend. *Materials and Design*, Volume:31, pp:589-593.
6. Rachtanapun, P., Selke, S.E.M., and Matuana, L.M., (2003). Microcellular Foam of Polymer Blends of HDPE/PP and Their Composites with Wood Fiber. *Journal of Applied Polymer Science*, Volume:88, pp:2842-2850.
 7. Guo, M.C., Marie-Claude H., and Pierre J.C., (2007). Cell Structure and Dynamic Properties of Injection Molded Polypropylene Foams, *Polymer Engineering and Science*, pp:1070-1081.
 8. Bledzki, A.K. and Faruk, O., (2006). Injection Moulded Microcellular Wood Fibre-Polypropylene Composites, *Composites: Part A*, Volume:37, pp:1358-1367.
 9. Bledzki, A.K. and Faruk, O., (2005). Effects of the Chemical Foaming Agents, Injection Parameters, and Melt-Flow Index on the Microstructure and Mechanical Properties of Microcellular Injection-Molded Wood-Fiber/Polypropylene Composites, *Journal of Applied Polymer Science*, Volume:97, pp:1090-1096.
 10. Guo, M.C., Heuzey, M.C., and Carreau, P.J., (2007). Cell Structure and Dynamic Properties of Injection Molded Polypropylene Foams, *Polymer Engineering and Science*, pp:1070-1081.
 11. Kharbas, H., Nelson, P., Yuan, M., Gong, S., Turng L.S., and Spindler, R., (2003). Effects of Nano-Fillers and Process Conditions on the Microstructure and Mechanical Properties of Microcellular Injection Molded Polyamide Nanocomposites, *Polymer Composites*, Number:6, pp. 655-671.
 12. Barzegari, M.R. and Rodrigue, D., (2007). The Effect of Density Profile on the Flexural Properties of Structural Foams, *Polymer Engineering & Science*, Volume:47, Number:9, pp:1459-1468.
 13. Zhang, Y., Rodrigue, D., and Ait-Kadi, A., (2003). *J. Appl. Polym. Sci.*, Volume:90, pp:2139.
 14. Zhu, X., (2004). *Advanced Structural Foam Injection Molding Technology: Use of a Very Low BA Content for Fine-Celled HDPE Foams*, Master of Applied Science, University of Toronto.
 15. Ahmedi, A.A. and Hornsby, P.R., (1985). Moulding and Characterization Studies with Polypropylene Structural Foam, Part 1: Structure-Property Interrelationships, *Plastic Rubber Proc. Appl.*, Volume:5, p:35.
 16. Ahmedi, A.A. and Hornsby P.R., (1985). Moulding and Characterization Studies with Polypropylene Structural Foam, Part 2: The Influence of Processing Conditions on Structure and Properties, *Plas. Rubber Proc. Appl.*, Volume:5, pp:51.
 17. Chien, R.D., Chen, S.C., Lee, P.H., and Huang, J.S., (2004). Study on the Molding Characteristics and Mechanical Properties of Injection-Molded Foaming Polypropylene Parts, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, Volume:23, Number:4, pp:429-444.
 18. Xin, Z.X., Zhang, Z.X., Pal, K., Byeon, J.U., Lee, S.H., and Kim, J.K., (2010). Study of Microcellular Injection-Molded Polypropylene/Waste Ground Rubber Tire Powder Blend, *Materials and Design*, Volume:31, pp:589-593.
 19. Lee, J.J. and Cha, S.W., (2005). Influence of Mould Temperature on the Thickness of a Skin Layer and Impact Strength in the Microcellular Injection Moulding Process, *Cellular Polymers*, Volume:24, Number:5, pp:279-297.
 20. Xu, X., Park, C.B., Lee, J.W.S., and Zhu, X., (2008). *Advanced Structural Foam Molding Using a Continuous Polymer/Gas Melt Flow*



-
- Stream, *Journal of Applied Polymer Science*, Volume:109, pp:2855-2861.
21. Naguib, H.E., Park, C.B., and Lee, P.C., (2003). Effect of Talc Content on the Volume Expansion Ratio of Extruded PP Foams, *Journal of Cellular Plastics*, Volume:39, pp:499-511.
 22. Kumar, V. and Suh, N.P., (1990). A Process for Making Microcellular Thermoplastic Parts, *Polymer Engineering Science*, Volume:30, pp:1323-1329.
 23. Villamizar, C.A. and Chang, D.H., (1978). Studies on Structural Foam Processing II. Bubble Dynamics in Foam Injection Molding, *Polymer Engineering and Science*, Volume:18. Number:9, pp:699.
 24. Barzegari, M.R. and Rodrigue, D., (2009). The Effect of Injection Molding Conditions on the Morphology of Polymer Structural Foams, *Polymer Engineering and Science*, pp:949-959.
 25. Han-Xiong, H., Jian-Kang, W., and Xiao-Hui, S., (2008). Improving of Cell Structure of Microcellular Foams Based on Polypropylene/High-density Polyethylene Blends, *Journal of Cellular Plastics*, Volume:44, pp:69.
 26. Zirkel, L., Jakob, M., and Münstedt, H., (2009). Foaming of Thin Films of a Fluorinated Ethylene Propylene Copolymer Using Supercritical Carbon Dioxide, *Jurnal of Supercritical Fluids*, Volume:49, pp:103-110.
 27. Kumar, V. and Weller, J.E., (1993). A Process to Produce Microcellular PVC, *International Polymer Processing*, VIII, pp:73-80.
 28. Mareri, P., Bastide, S., Binda, N., and Crespy, A., (1998). Mechanical Behaviour of Polypropylene Composites Containing Fine Mineral Filler: Effect of Filler Surface Treatment, *Composites Science and Technology*, Volume:58, pp:747-752.
 29. Carlos, T.C., Gonzalez-Nunez, R., and Rodrigue, D., (2008). Effect of Mold Temperature on Morphology and Mechanical Properties of Injection Molded HDPE Structural Foams, *Journal of Cellular Plastics*, Volume:44, pp:223-237.
 30. Xu, J. and Kishbaugh, L., (2003). Simple Modeling of the Mechanical Properties with Part Weight Reduction for Microcellular Foam Plastic, *Journal of Cellular Plastics* Volume:39, pp:29-47.
 31. D'agostino, D., Takacs, E., and Vlachopoulos, J., (2004). Foaming with Polymer Microspheres in Rotational Molding: The Effect of Coupling Agent, *Journal of Cellular Plastics*, Volume:40, pp:61-75.
 32. Goods, S.H., Neuschwanger, C.L., Whinnery, L.L., and Nix, W.D., (1999). Mechanical Properties of a Particle-strengthened Polyurethane Foam, *Journal of Applied Polymer. Science*, Volume:74, pp:2724.