

TERMOPLASTİK PARÇA ÜRETİMİNDE MİKROHÜCRESEL KÖPÜK TEKNOLOJİSİNİN KULLANIMI

Sami Sayer

Doç. Dr.,

Ege Üniversitesi,

Ege Meslek Yüksekokulu,

Polimer Teknolojisi Bölümü, Bornova, İzmir

sami.sayer@ege.edu.tr

Arzu Yalçın Melikoğlu*

Ege Üniversitesi,

Fen Bilimleri Enstitüsü, Bornova, İzmir

arzuyalcin@gmail.com

ÖZ

Son yıllarda enjeksiyon kalıplama teknolojisindeki gelişmelerin, termoplastik parça üretiminde kapasite artışını hızlandırdığı ve yenilikçi ürün tasarımına katkı sağladığı görülmektedir. Özellikle enjeksiyon kalıplama teknolojileri arasında mikrohücreli köpük teknolojisi (MuCell), plastik parça kalitesinde iyileşme ve üretim maliyetlerinde sağlamış olduğu avantajların yanı sıra, tasarımda sağlamış olduğu serbestlik sayesinde otomotivden gıdaya, medikalden beyaz eşya sektörlerine kadar farklı alanlarda giderek yaygınlaşan yenilikçi bir üretim teknolojisidir. MuCell enjeksiyon yönteminde, süper kritik fazdaki gazların plastikleşme ünitesindeki eriyik haldeki termoplastik malzeme içine enjekte edilmesi ile gözenek oluşumu başlatılır. Mikrohücreli (1-100µm) boyutlarda oluşan gözeneklerin plastik parça içindeki dağılımı oldukça homojendir. MuCell enjeksiyon prosesi konvensiyonel enjeksiyon prosesi ile karşılaştırıldığında; MuCell teknolojisi ile üretilen plastik parçalarda, çarpılma ve çökme izlerinin tamamen ortadan kalktığı, düşük polimer viskozitesi sayesinde ince duvar kalınlığına sahip plastik parça üretimlerinin sorunsuz bir şekilde gerçekleştiği ve bunun sonucu olarak da parça ağırlığının azaldığı ve çevirim süresinin kısaldığı görülmektedir. Bu çalışmada, MuCell teknolojisinin tanıtımı ve endüstriyel alanda yapılan uygulama ve araştırma örneklerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mikrohücreli köpük teknolojisi, MuCell, termoplastik parça üretimi

THE USE OF MICROCELLULAR FOAMING TECHNOLOGY IN THE PRODUCTION OF THERMOPLASTIC PARTS

ABSTRACT

In recent years it has been seen that developments in injection molding technology has increased in terms of capacity in the production of thermoplastic parts and has contributed to innovative product design. Microcellular foaming technology (MuCell), particularly with regard to injection molding, offers advantages in the quality improvement and production costs of plastic parts. It also offers freedom of design and therefore is an innovative production technology that is starting to be more widely used in various fields including the automotive, food, medical, and white goods sectors. In the MuCell injection method, pore formation is initiated by injecting the gases in the supercritical phase to the molten thermoplastic material in the plasticisation unit. The dispersion of microcellular (1-100 µm) pores in the plastic part is fairly homogenous. When the MuCell injection process is compared with the conventional injection process, it can be seen that, in the plastic parts produced with MuCell technology, there are no distortion and sink marks and due to low polymer viscosity, the production of plastic parts with thin walls can be carried out smoothly and, as a result, the weight of the parts is reduced and the cycle time is shortened. The objective of this study is to present MuCell technology, examine its application in the industrial field, and examine sample researches.

Keywords: Microcellular foaming technology, MuCell, production of thermoplastics part

* İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 03.06.2016

Kabul tarihi : 11.07.2016

Sayer, S., Yalçın Melikoğlu, A. 2016. "Termoplastik Parça Üretiminde Mikrohücreli Köpük Teknolojisinin Kullanımı," Mühendis ve Makina, cilt 57, sayı 678, s. 53-59.

1. GİRİŞ

Fiziksel köpük teknolojisi olan MuCell; Süper Kritik Akışkan (SCF) fazındaki CO₂, N₂ vb. gazların köpürtücü ajan olarak eriyik haldeki polimer içerisine enjekte edilmesi sonucu, plastik parça içerisinde mikrohüresel yapıda gözenek oluşumunun sağlanarak parçanın hafifletilmesi prensibine dayanır. MuCell teknolojisi ile fiziksel köpük oluşumu, Massachusetts Institute of Technology (MIT), Boston ABD’de 1980’li yıllarda yapılan araştırma geliştirme çalışmalarına dayanmaktadır [1, 2]. MuCell teknolojisinin endüstriyel uygulamaları ise ilk olarak Trexel firması tarafından hayata geçirilmiştir. MuCell uygulamaları; 90’lı yılların başında, otomobillerin ön far gövdesi ve hava yastığı kapakları gibi üst segment ürünlerdeki görsel parçaların tasarımında kullanılırken, zaman içinde proses ve ürün maliyetinde sağladığı avantaj nedeniyle kapı kilitleri, klima gövdesi gibi görsel olmayan mekanik parçalarda da kullanım alanı bulmuştur. MuCell uygulamalarına ait standartların geliştirilmesi ve endüstriyel entegrasyon çalışmalarının, hali hazırda IKV Uygulama ve Araştırma Merkezi (Aachen-Almanya) tarafından, sektör temsilcileriyle birlikte yürütüldüğü de bilinmektedir [3-6].

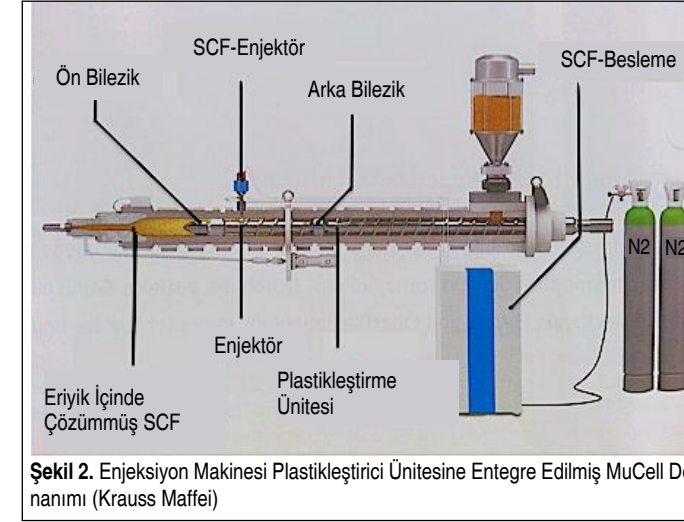
PP, PE, PS, PA vb. termoplastik esaslı malzemelerde gözenek oluşumu, kimyasal reaksiyon veya fiziksel tepkime sonucu gerçekleşmektedir. MuCell’i geleneksel köpük ile hafifletme yöntemlerinden ayıran en önemli özellik, oluşan gözenek yapısının mikro düzeyde, homojen ve kontrol edilebilir olmasıdır. Mikro düzeydeki bu hüresel gözeneklerin plastik parça içerisindeki çapları 1-100 µm olup, 1cm³deki hücre yoğunluğu ise 10⁹-10¹⁵ cm³ arasındadır [2]. MuCell’de parça kesitinde oluşan gözeneklerin çapları küçük ve homojen olmasına rağmen, kimyasal yöntemde oluşan köpüklenmede ise gözenek çaplarının büyük ve gözeneklerin homojen olarak dağılmadığı bildirilmiştir (Şekil 1) [5].

Ayrıca konvansiyonel enjeksiyon prosesinde, termoplastik parçada oluşabilecek çöküntüyü gidermek amacıyla tutma ve ütleme basıncı uygulanırken, MuCell’de köpüklenme kalıp içi basıncın oluşumuna neden olduğundan, tutma ve ütleme basıncına olan gereksinim ortadan kalkmaktadır. Bunun sonucu olarak MuCell, konvansiyonel enjeksiyon yöntemine göre daha küçük kapama kuvvetine sahip enjeksiyon makinalarında üretim imkanı sağlar [5-9].

Termoplastik parça üreticilerinin MuCell teknolojisini mevcut üretim teknolojilerine entegre etmelerinin, maliyet avantajı, hammadde tasarrufu ve seri üretimde hızlı, kaliteli ürün gerçekleştirmeye olanak sağlayacağı, üreticilerin global pazarda rekabet şansını arttıracacağı düşünülmektedir. Bu çalışmada, MuCell teknolojisinin tanıtımı ve endüstrinin farklı alanlarında gerçekleştirilen MuCell teknolojisi ile üretilen termoplastik esaslı ürünlere ait uygulamaların sağlamış olduğu avantajlar tartışılarak, bu konuda ülkemizde de kullanım alanlarının yaratılmasına öncülük etmek amaçlanmıştır.

2. MUCELL PROSESİ

MuCell donanımı, konvansiyonel enjeksiyon makinalarına entegre edilebilmektedir; ancak polimer-gaz karışımının homojen bir şekilde sağlanabilmesi için mevcut enjeksiyon makinalarında karıştırma bölgesinin olması gerekmektedir. Ayrıca otomobil gösterge paneli gibi termoplastik esaslı büyük parçaların üretiminde akümülatöre ihtiyaç vardır. Çünkü akümülatör, parça hacmi yüksek olduğundan enjeksiyonun hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesini, gözeneklerin homojen oluşmasını ve dağılmasını sağlar. MuCell teknolojisinde gerek düşük plastikleştirme kapasitesine, gerekse düşük enjeksiyon basıncına sahip küçük enjeksiyon kalıplama makineleri kullanılmaktadır [3, 11]. Şekil 2’de, enjeksiyon makina üreticilerinden Krauss Maffei tarafından geliştirilmiş olan MuCell donanımı yer almaktadır [11].



2.1 Kullanılan Gazlar

MuCell prosesinde, köpürtücü ajan olarak, genel olarak SCF fazında CO₂ ve N₂ gazları kullanılmaktadır. Sıvı ve gaz arasındaki fiziksel durum olarak tanımlanan SCF’de, gazın eriyik içindeki yayılımı (difüzyon) artarken, eriyik haldeki polimerde oluşan köpüklenme sayesinde viskozite azalmaktadır. Köpüklenme polimer eriyiğinin akışını hızlandırarak kalıp içerisinde almış olduğu yolun artmasını sağlar, çevrim süresini kısaltır ve plastik parça ağırlığını azaltır. CO₂ genel olarak eriyik içerisinde N₂’ye nazaran daha yüksek çözünürlüğe sahiptir. Bu nedenle MuCell prosesinde, polimer eriyiğine N₂’den daha yüksek oranda CO₂ ilave edilmektedir. Tablo 1’de, farklı erime akış hızına sahip polimerlerde CO₂ ve N₂ gazlarının çözünürlükleri yer almaktadır [2].

CO₂ ve N₂’nin eriyik içerisindeki difüzyon katsayıları birbirine yakın olmasına rağmen (Tablo 2) CO₂ aynı konsantrasyonda N₂’ye nazaran daha büyük gözenek çapı oluşumunu sağlar. Ancak N₂, CO₂’ye göre daha fazla itici güç oluşturarak difüzyonu hızlandırır. Bu nedenle, eriyik içerisine bu gazlar birlikte beslenerek çekirdeklenme sağlanabildiği gibi, N₂ köpürtücü ajan olarak tek başına da kullanılabilir [2].

2.2 MuCell Proses Aşamaları

MuCell prosesi, Şekil 3’te görüldüğü gibi, gaz enjeksiyonu,

Tablo 1. Polimer İçerisinde CO₂ ve N₂ Gazlarına ait Tahmini Maksimum Çözünürlük (200 °C ve 276 bar)

Polimer	CO ₂ (%)	N ₂ (%)
PE	14	3
PP	11	4
PS	11	2
PMMA	13	1

Tablo 2. CO₂ ve N₂ için Tahmini Difüzyon Katsayısı (200 °C)

Polimer	CO ₂ (cm ² /s)	N ₂ (cm ² /s)
PS	1,3X10 ⁻⁵	1,5X10 ⁻⁵
PE	2,6X10 ⁻⁶	8,8X10 ⁻⁷
HDPE	2,4X10 ⁻⁵	2,5X10 ⁻⁵
LDPE	1,1X10 ⁻⁴	1,5X10 ⁻⁴
PTFE	7,0X10 ⁻⁶	8,3X10 ⁻⁶
PVC	3,8X10 ⁻⁵	4,3X10 ⁻⁵

çekirdeklenme, hücre büyümesi ve biçimlendirme olmak üzere dört temel aşamadan oluşur [2].

Gaz Enjeksiyonu

SCF gazlar, tek fazlı bir çözelti meydana getirmek üzere enjektörler yardımıyla, belirli bir sıcaklıkta ve basınç altında enjeksiyon makinasının plastikleştirme ünitesine gönderilir.

Çekirdeklenme

Enjeksiyon prosesi sırasında her bir gözeneği oluşturacak olan çekirdeklenme, plastikleştirme ünitesinde gerçekleşir. Plastik parça kesitinde oluşan homojen yapıdaki çok sayıda gözenek, kalıp içindeki basınç düşüşünü ve basıncın kalıp boşluğunda dengeli bir şekilde yayılmasını sağlar.

Hücre Büyümesi

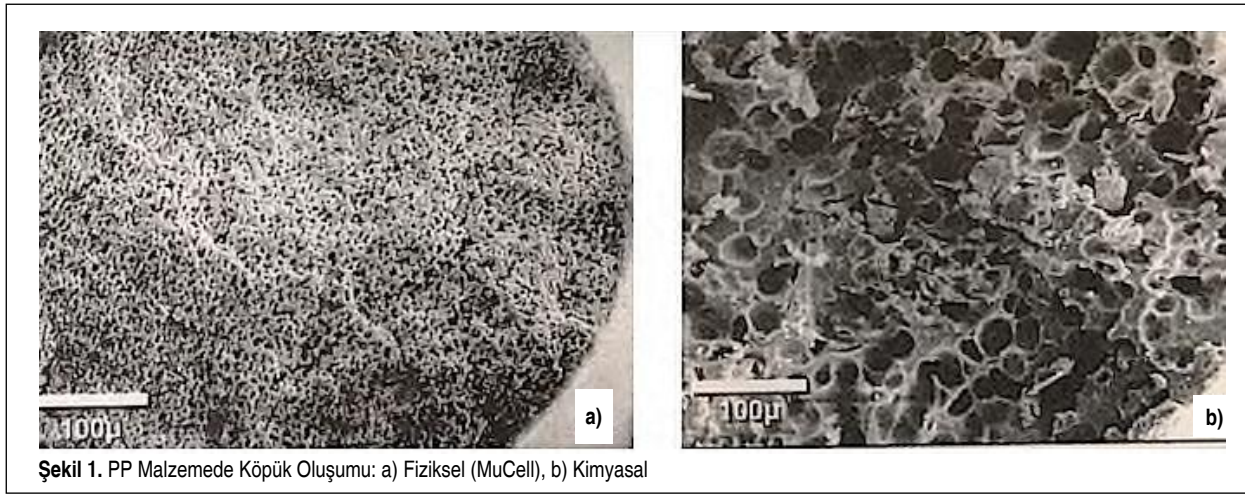
Hücre büyümesi proses sırasında kontrol edilir. MuCell donanımında; basınç, sıcaklık ve zaman parametreleri sensörler vasıtasıyla kontrol edilerek, eriyik içerisine gönderilecek olan gazın zamanlaması ve proses koşullarının belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Isının ve basıncın kontrolünün sağlanmasında MuCell prosesi için özel olarak tasarlanmış, yazılımlarla desteklenmiş PLC kontrollü donanımlar kullanılmaktadır.

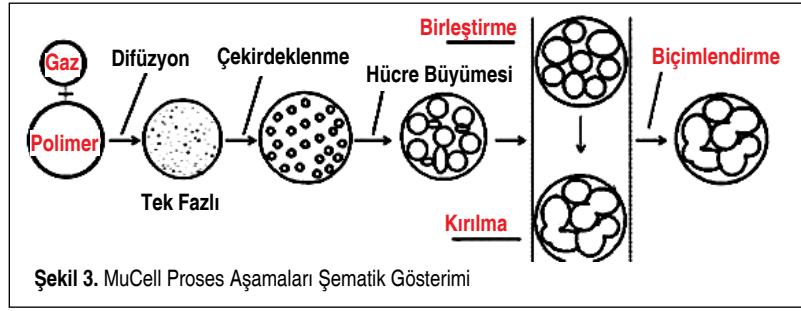
Biçimlendirme

Kalıp boşluğunda gazla zenginleştirilmiş eriyik polimer katılır ve kalıbın şeklini alır. MuCell uygulamalarında, konvansiyonel enjeksiyon sistemi için tasarlanmış kalıplar, herhangi bir modifikasyona gerek duyulmadan kullanılabilir [2,10-15].

2.3 Gaz Enjeksiyonu

N₂ veya CO₂ gazları kritik fazda eriyik içerisine ilave edilerek belirli bir basınç ve sıcaklık değerindeki gaz plastikleştirme ünitesine beslenir. SCF oluşumunda basınç ve sıcaklık değerleri CO₂ için 71 bar ve 31°C üzerinde iken, N₂ gazında ise 34 bar ve sıcaklık değeri ise -147 °C’nin üzerindedir [3].





2.3.1 Tek-Fazlı Gaz/Polimer Çözeltisinin Üretimi

MuCell sürecinin gerçekleştirilebilmesi için plastikleştirme ünitesinde vida boy/çap (L/D) oranının 24-25 aralığında olması tavsiye edilmektedir. Tipik bir MuCell donanımı şu öğelerden oluşur:

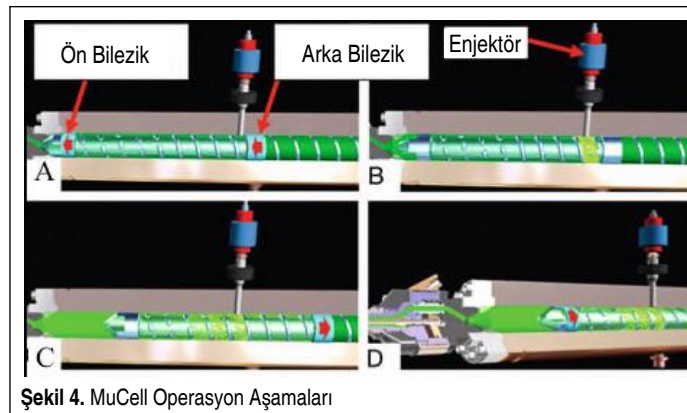
- Plastikleştirme bölgesi (besleme, sıkıştırma, dozajlama)
- Arka bilezik (Gazın yüklü eriyiğin plastikleştirme bölgesine geçmesini ve orada köpüklenmesini engeler.)
- Karıştırma bölgesi (SCF'nın homojenleştirilmesi için kullanılır.)
- Ön bilezik (Eriyik haldeki plastiğin vidaya geri girişini engeller.) (Şekil 4) [3].

Vida kovan arasına enjekte edilen köpürtücü ajan (CO_2 veya N_2), vida üzerindeki karıştırıcılar sayesinde gazın eriyik içinde çözünmesini ve difüzyonunu hızlandırır. Böylece, vidanın uç kısmına doğru gazın eriyik içindeki çözünürlüğü tamamlanmış olur. Vidanın dozajlama ünitesinde basınç yüksek olduğundan gözenek büyümesi engellenir.

Şekil 4'te verilen MuCell prosesine ait operasyon adımları aşağıda açıklanmaktadır.

A- Enjeksiyon sonrasında vida ön pozisyonda bulunmaktadır. Bu aşamada ön ve arka bilezikler kapalı konumda olup, dozajlama işlemi başlar. Vida içerisinde bulunan bileziklerin açılması ile polimerin vida içerisinde öne doğru akışı sağlanır.

B- Plastikleştirme bölgesinde basınç, enjektör basıncına ulaş-



Şekil 4. MuCell Operasyon Aşamaları

tığında, enjektör memesi açılarak eriyik haldeki polimer içerisine gaz enjekte edilir. Bu işlem eriyik basıncının proses basıncına ulaşmasına kadar devam eder.

C- Bir enjeksiyon basıncı için gerekli olan dozajlama miktarına (eriyik polimer-gazlar) ulaşıldığında, karıştırma bölgesi ve dozajlama bölgesi arasında basınç farkı oluşur. Bunun sonucu olarak arka bilezik, tersine oluşacak akışı engelleyecek şekilde ters yönde hareket ederek kapanır.

D- Enjeksiyon süresinin başlaması ile birlikte vida eksenel olarak ileri doğru hareket eder ve vidanın önündeki enjeksiyon basıncı doğrultusunda ön bilezik kapanarak, gaz ile zenginleştirilmiş eriyik kalıp boşluğuna enjekte edilir [3].

3. MUCELL TEKNOLOJİSİNİN AVANTAJI

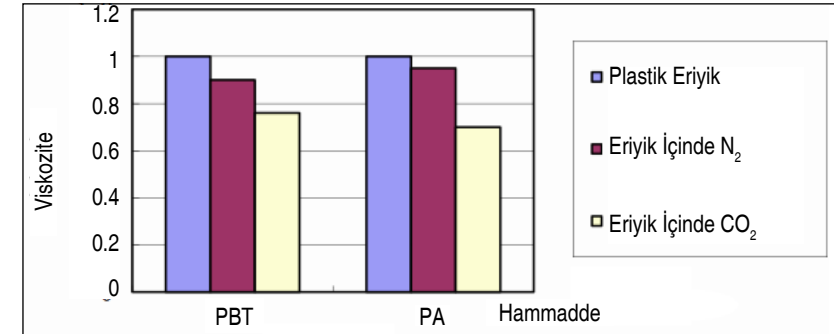
Konvensiyonel enjeksiyon yöntemine göre MuCell teknolojisinin termoplastik parça üretiminde sağladığı avantajlar dört ana başlıkta toplanmıştır:

- 1- Küçük enjeksiyon makine kullanımı ile yatırım ve enerji tüketiminde avantaj
- 2- Çevrim süresi kısa ve ürün kalitesi yüksek
- 3- Parça ağırlığında azalma ve hammadde tasarrufu
- 4- Plastik parça kesitinde dengeli basınç dağılımı ve minimum iç gerilim [1, 2, 9].

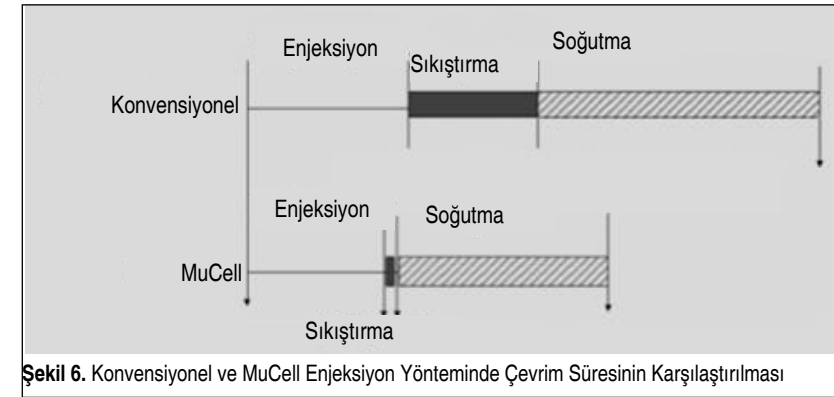
MuCell, geleneksel enjeksiyon makinasına göre termoplastik parça üretiminde çevrim süresini %20-50 oranında azaltır. Çevrim süresinin azalmasına etki eden temel nedenler sırasıyla şunlardır: 1) Gözenek içerisindeki gaz, enjeksiyon prosesinde artı bir basınç oluşturduğundan, konvensiyonel enjeksiyon yöntemindeki tutma ve ütüleme basıncının yerini alır. 2) Endotermik reaksiyon sonucu milyonlarca gözenek oluşur. Bu gözenekler büyüyerek soğutma süresini dolayısıyla çevrim süresini kısaltır. 3) Parça içinde oluşan gözenekler sayesinde parçanın ağırlığı azalır. 4) SCF fazındaki gazlar eriyik viskozitesini düşürerek kalıp boşluğunun daha hızlı ve daha kolay dolmasını sağlar. Bunların sonucu olarak MuCell yöntemi ile çevrim süresi kısalmıştır (Şekil 5) [2].

Çevrim süresinin düşürülmesi işletmelere enerji verimliliği, maliyet avantajı ve üretim kapasitesinde artış sağlamaktadır. Ayrıca Şekil 6'da görüldüğü gibi, MuCell yönteminde sıkıştırmanın çevrim süresi içerisindeki payı konvensiyonel enjeksiyon yöntemine göre oldukça kısadır ve enjeksiyon yöntemine nazaran daha az hammadde kullanıldığı için soğutma süresi de kısalmaktadır [2].

MuCell teknolojisinde süperkritik akışkan, eriyik hammad-



Şekil 5. SCF'deki Gazların Eriyik Viskozitesi Üzerindeki Etkisi

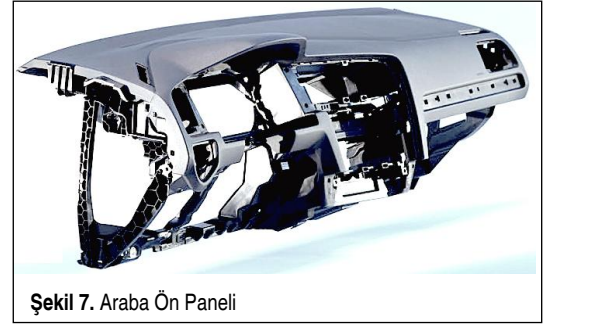


Şekil 6. Konvensiyonel ve MuCell Enjeksiyon Yönteminde Çevrim Süresinin Karşılaştırılması

denin viskozitesini düşürerek kalıbın daha düşük basınç altında doldurulmasını sağlar. Böylelikle, plastik enjeksiyon parametreleri çok fazla değiştirilmeden kalıplar hazırlanarak ince et kalınlığına sahip plastik parçaların üretimine olanak sağlanır [1, 2, 16-19].

4-TERMOPLASTİK PARÇA ÜRETİMİNDE MUCELL UYGULAMALARI

MuCell teknolojisinin plastik parça üretiminde sağladığı avantajlar bu teknolojinin farklı sektörlerde kullanımını giderek yaygınlaştırmaktadır. Şekil 7'de, cam elyaf takviyeli PP (Fibremod GE277A1, Borealis) malzemeden üretilen VW Golf 7 tipi aracın ön paneli MuCell teknolojisi kullanılarak üretilmiştir. Bu parçanın üretiminde Engel firmasının MuCell teknolojisinden faydalanılmıştır. Uygulama sonucu; parçada



Şekil 7. Araba Ön Paneli

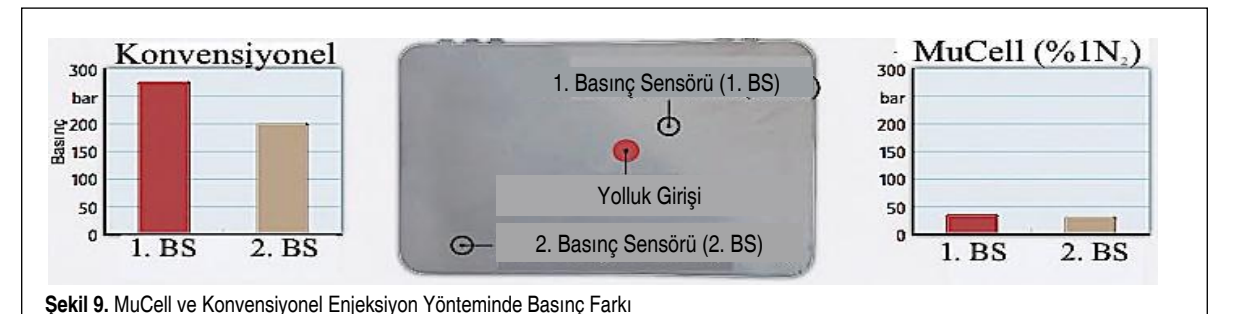


Şekil 8. Orta Konsol

sağlanan hafiflik, çevrim süresinde kısımla, tasarımda esneklik ve ürün kalitesinde sağlanan avantajın dışında, parçanın yapısındaki gözeneklerin motor bölgesinden gelen sesin soğutulmasına da ayrıca katkı sağladığı bildirilmektedir [3].

Mercedes-Benz, C-Klass otomobillerde kullanılan orta konsolu oluşturan görsel ve görsel olmayan parçalar Grammer AG, Amberg firması tarafından MuCell teknolojisi ile geliştirilmiştir (Şekil 8). Konsol grubunu oluşturan parçaların üretiminde PP-T20, PC+ABS, PA6-GF30 vb. farklı termoplastik hammaddeler kullanılmıştır. Bu parçalarda MuCell uygulaması sonucu malzeme ağırlığının azalmasıyla ciddi maliyet avantajı sağlandığı bildirilmiştir [20].

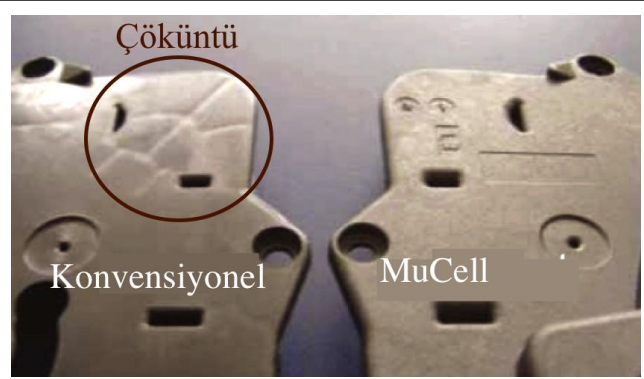
Konvensiyonel enjeksiyon yönteminde parça içerisinde oluşan basınç farkı iç gerilime ve böylelikle çarpımlara neden olarak dizüstü bilgisayar kapağı, televizyon çerçevesi vb.



Şekil 9. MuCell ve Konvensiyonel Enjeksiyon Yönteminde Basınç Farkı



Şekil 10. Çamaşır Makinası Ön Paneli



Şekil 11. Kapı Kilidi Gövdesi



Şekil 12. PA 66 Malzemeden Üretilen Kablo Bağı ve SEM Görüntüsü

düz parçaların üretimini zorlaştırmaktadır. Plastik parçalarda yolluk girişine yakın bölge ve yolluk girişine en uzak nokta parçanın iki zayıf noktasını oluşturmaktadır. Yolluk girişine

yakın olan yerde en son katılma işlemi gerçekleştiğinden, iç gerilim fazla olduğu, yolluk girişinden uzak nokta ise en son dolduğu için “weldingline” olarak tanımlanan birleşim çizgisi hatası oluşmaktadır. Bu hatayı proses sırasında ortadan kaldırmak için enjeksiyon basınçlarının yükseltilmesi gerekmektedir. Bu durumda, yolluk girişine yakın ve yolluk girişine uzak noktalarındaki enjeksiyon basınçlarında büyük farklılıklar oluşur. Şekil 9’da, PP hammaddeden konvensiyonel ve MuCell teknolojisi ile üretilen dizüstü bilgisayar kapaklarının yolluk girişine yakın ve uzak noktalarındaki kaviteasyon basıncı (BS) karşılaştırılmıştır. Konvensiyonel kalıplamada 270 bar mertebesinde olan kalıp içi basınç değerlerinin, MuCell uygulamasında 40 bar seviyesine kadar düştüğü Şekil 9’da görülmektedir [3].

Şekil 10’da, Miele firmasının çamaşır makinası ön panelinin üretiminde MuCell uygulamasına ait bir örnek yer almaktadır. Miele firması daha önce konvensiyonel olarak ürettiği parçayı MuCell teknolojisini kullanarak üretmeye başladıktan sonra, parçada %35’e varan hammadde tasarrufu sağladığını belirtmiştir. Ayrıca bu parçada MuCell’in sağladığı esnek tasarım sayesinde ince et kalınlığında parça üretimi gerçekleştirilmiştir [11].

MuCell teknolojisi termoplastik esaslı, görsel olmayan mekanik parçalarının üretiminde de kullanılmaktadır. Örneğin Şekil 11’de yer alan otomotiv sektöründe kullanılan plastik kapı kilidi gövdesinin üretiminde, konvensiyonel enjeksiyon prosesinde 650 bar olan kalıp içi basınç değerlerinin, MuCell prosesinde 120 bar seviyesine düştüğü bildirilmiştir. Ayrıca bu parçada MuCell prosesine geçişle; kapama kuvvetinde %50’ye varan düşüş, çevrim süresinde %25 azalma ve malzeme kullanımında %10 tasarruf sağlandığı belirtilmektedir [13].

MuCell teknolojisinin, 1,4 mm kalınlığında ve 250 mm uzunluğunda PA-66’den üretilen ince et kalınlığına sahip elektrik kablo bağlarında da kullanıldığı bilinmektedir. Şekil 12’de yer alan bu endüstriyel uygulamada; konvensiyonel enjeksiyon uygulamasına göre parça ağırlığında %10 malzeme tasarrufu, enjeksiyon basıncında ve kapama kuvvetlerinde ise %30’a varan iyileşme gerçekleşmiştir. MuCell sürecine ait SEM görüntüsü incelendiğinde, gözenek dağılımının homojen gözenek boyutunun ise birbirine yakın olduğu görülmektedir (Şekil 12) [5].

5. SONUÇ

MuCell teknolojisinin termoplastik parça üretiminde, tasarımda esneklik, hammadde kullanımında tasarruf, prosesinde verimlilik ve maliyet avantajı nedeniyle gelişmiş ülkelerde son 20 yılda endüstrinin farklı alanlarında uygulama alanı bulunduğu görülmektedir. Ülkemizde, havacılık sanayinden otomotive, ambalaj sanayinden beyaz eşya sektörüne kadar

geniş bir yelpazede kullanım alanı bulunan termoplastik esaslı malzemelerin üretiminde MuCell teknolojisinin kullanımının yaygınlaşmasının, işletmelerin global pazarda rekabet şansını arttıracakı düşünülmektedir. Bu nedenle, üniversite-sanayi işbirliği sağlanarak bilgi paylaşımının gerçekleşmesi, ülkemizde MuCell teknolojisinin tanıtımı, uzman personelin yetiştirilmesi ve endüstriyel uygulamaların yaygınlaşması açısından önemli olacaktır.

KAYNAKÇA

1. Hyde, L. J., Kishbaugh, L. A. 2003. “The Mucell Injection Molding Process: A Strategic Cost Savings Technology for Electronic Connectors,” International Institute of Connector and Interconnection Technology, Inc. (IICIT), Annual Symposium, 18-19 September 2003, Orlando, USA.
2. Guanghong, Hu., Yue, W. 2012. “Microcellular Foam Injection Molding Process,” <http://www.intechopen.com/books/some-critical-issues-for-injection-molding>, son erişim tarihi: 24.05.2016.
3. Endlweber, R., Markut, R., Giessauf, J., Steinbichler, G. 2013. “Das MuCell-Schaumspritzgießen,” *Kunststoffe*, vol. 11, p. 36-40.
4. Suh, N. P. 2003. “Impact of Microcellular Plastics on Industrial Practice and Academic Research,” *Macromol Symposia*, 20 October 2003, Boston, USA.
5. Johannaber, F., Michaeli, W. 2002. *Handbuch Spritzgießen*, Carl Hanser Verlag, München, Wien.
6. Cha, S. V., Yoon, J. D. 2005. “The Relationship of Mold Temperatures and Swirl Marks on the Surface of Microcellular Plastics,” *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, vol. 44, p. 795-803.
7. Wentao, Z., Jian, Y., Jiasong, H. 2009. “Research Progresses in Preparation of Microcellular Polymers by Supercritical Fluid Technique,” *Chinese Polymer Bulletin*, no. 3, p. 1- 10.
8. Kisbaugh, L., Kolshorn, U. 2009. “Implementation of the MuCell Process in Commercial Applications,” http://www.trexel.com/injection-molding_solutions/pdfs/RAPRA_May_2009_Advanced_Microcellular_Applications.pdf, son erişim tarihi: 24.05.2016.
9. Çingir, A. O. 2015. “Baloncuk Kullanımı ile Daha İyi Plastik Enjeksiyon,” <http://www.makinatek.com.tr/arsiv/yazi/>
10. Sun, X., Kharbas, H., Peng, J., Turng, L. S. 2015. “A Novel Method of Producing Lightweight Microcellular Injection Molded Parts with Improved Ductility and Toughness,” *Polymer*, vol. 56, p. 102-110.
11. Bürkle, E., Wobbe, H. 2014. “Die Bessere Alternative zum Kompaktspritzgießen,” *Kunststoffe*, no. 2, p. 44-46.
12. Trexel. “MuCell Microcellular Injection Molding Processing Technology,” <http://www.cpm-toyo.com/Brochure/MuCell.pdf>, son erişim tarihi: 24.05.2016.
13. Pollman. 2014. “Physical Foaming of Thermoplastics at Pollmann International,” http://www.pollmann.at/fileadmin/downloads/fertigung/en/Physikalisches_Schaumen_von_Thermoplasten_Pollmann_engl_2014.pdf, son erişim tarihi: 24.05.2016.
14. Chien, R. D., Chen, H. L., Chen, S. C. 2008. “Using Thermally Insulated Polymer Film for Mold Temperature Control to Improve Surface Quality of Microcellular Injection Molded Parts,” *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 35, p. 991-994.
15. Hayashi, H., Mori, T., Okamoto, M., Yamasaki, S., Hayami, H. 2010. “Polyethylene Ionomer-Based Nano-Composite Foams Prepared by a Batch Process and Mucell Injection Molding,” *Materials Science and Engineering*, vol. 30, p. 62- 70.
16. Chen, S. C., Liao, W. H., Chien R. D. 2012. “Structure and Mechanical Properties of Polystyrene Foams Made Through Microcellular Injection Molding Via Control Mechanisms of Gas Counter Pressure and Mold Temperature,” *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 39, p. 1125-1131.
17. Altstädt, V., Mantey, A. 2010. *Thermoplast-Schaum-Spritzgießen*, Carl Hanser Verlag, München.
18. Kirschling, G. 2009. “Mikroschäume aus Polycarbonat Herstellung-Struktur-Eigenschaften,” *Doctoral Dissertation*, University of Kassel.
19. Habibi-Naini, S. 2004. “Neue Verfahren für das Thermoplastspritzgießen,” *Doctoral Dissertation*, RWTH Aachen.
20. Heitkamp, H. Betsche, M. 2014. “Mehr als nur Schaumblaschen,” *Kunststoffe*, no. 12, p. 25-29.