

Morphology and Properties of Closed Cell Rubber Foams

Polymerization
Quarterly, 2015
Volume 5, Number 4
Pages 76-83
ISSN: 2252-0449

Ali Vahidifar^{1,2}, Saied Nouri Khorasani^{1*}, Hossein Ali Khonakdar³,
Elnaz Esmizadeh^{2,3}, and Rasoul Esmaeili Neisiani¹

1. Isfahan University of Technology, Postal code: 8415683111, Isfahan, Iran
2. University of Bonab, Postal code: 5551761167, Bonab, Iran
3. Iran Polymer and Petrochemical Institute, P.O. Box: 14975-112, Tehran, Iran

Received: 3 February 2015, Accepted: 11 April 2015

Abstract

The parameters related to closed cell rubber foams prepared from solid rubbers are studied. It is revealed that two sets of parameters including (a) processing parameters such as pre-cure temperature and time and foaming temperature, pressure and time, (b) formulation parameters such as rubber, curing agent, fillers, foaming agent and their content which control the properties of these foams and thus affect their morphology and microstructure. The hardness and modulus of the foam depend on the expansion of foam cells inversely. In other words, a decrease in cell size leads to an increase in modulus, hardness, foam density and cellular thickness. The increase in pre-curing temperature, pre-curing time, foaming pressure and the content of filler and curing agent increase the foam density while they have an inverse effect on the cellular size. In addition, an increase in foaming agent content and foaming temperature decreases the density of the foam while increases the cell size. It is observed that increasing the cure rate of rubber foams significantly increases the modulus of the foams which is the direct result of increased density and decreased cell size.

Keywords

rubber,
rubber foam,
chemical blowing agent,
closed cell foam,
grade

(*) To whom correspondence should be addressed.
E-mail: saied@cc.iut.ac.ir

عوامل موثر بر شکل‌شناصی و خواص اسفنج‌های لاستیکی سلول‌بسته

علی وحیدی فر^۱، سعید نوری خراسانی^{۱*}، حسین علی خنکدار^۲، الناز اسمی‌زاده^۳، رسول اسمعیلی نیسیانی^۱

۱- اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، کد پستی ۸۴۱۵۶۸۳۱۱۱

۲- بناب، دانشگاه بناب، کد پستی ۵۵۵۱۷۶۱۱۶۷

۳- تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، صندوق پستی ۱۴۹۶۵-۱۱۵

دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۱۴، پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۲۲

بسپارش
فصلنامه علمی- ترویجی
سال پنجم، شماره ۴،
صفحه ۱۳۹۴، ۷۶-۸۳
ISSN: 2252-0449

چکیده

در این مقاله، پارامترهای موثر بر تولید اسفنج لاستیکی سلول‌بسته تولید شده از لاستیک جامد بررسی شده است. مطالعات نشان داد، پارامترهای فراورش مانند دما و زمان پیش‌پخت، زمان و فشار اسفنج شدن و پارامترهای طراحی فرمول بندی نظری نوع لاستیک، نوع و درصد عامل پخت، تقویت کننده، پفدهنده روی ریزساختار و در نتیجه خواص اسفنج موثرند. در اسفنجها، پدیده انبساط سلول‌های اسفنج در تقابل با مدول و سختی لاستیک است. در میان پارامترهای یاد شده، پارامترهایی مانند افزایش دما و زمان پیش‌پخت و فشار اسفنج شدن، مقدار دوده، سامانه پخت با سرعت بیشتر، که باعث افزایش مدول و سختی آمیزه می‌شوند، اندازه سلول‌ها را کاهش، ضخامت دیواره سلول را افزایش و چگالی را بیشتر می‌کنند و در نهایت خواص فیزیکی مکانیکی را بهبود می‌بخشند. از سوی دیگر، پارامترهایی مانند مقدار پفدهنده، کاهش فشار اسفنج شدن که به انبساط سلولی کمک می‌کنند، باعث کاهش چگالی و افزایش اندازه سلول، کاهش ضخامت دیواره‌های سلول و تضعیف خواص می‌شود.



علی وحیدی فر



سعید نوری خراسانی



حسین علی خنکدار



الناز اسمی‌زاده



رسول اسمعیلی نیسیانی

وازگان کلیدی

لاستیک، اسفنج لاستیکی، عامل پفزایش شیمیایی، اسفنج سلول‌بسته، نوع

* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار:

saiied@cc.iut.ac.ir

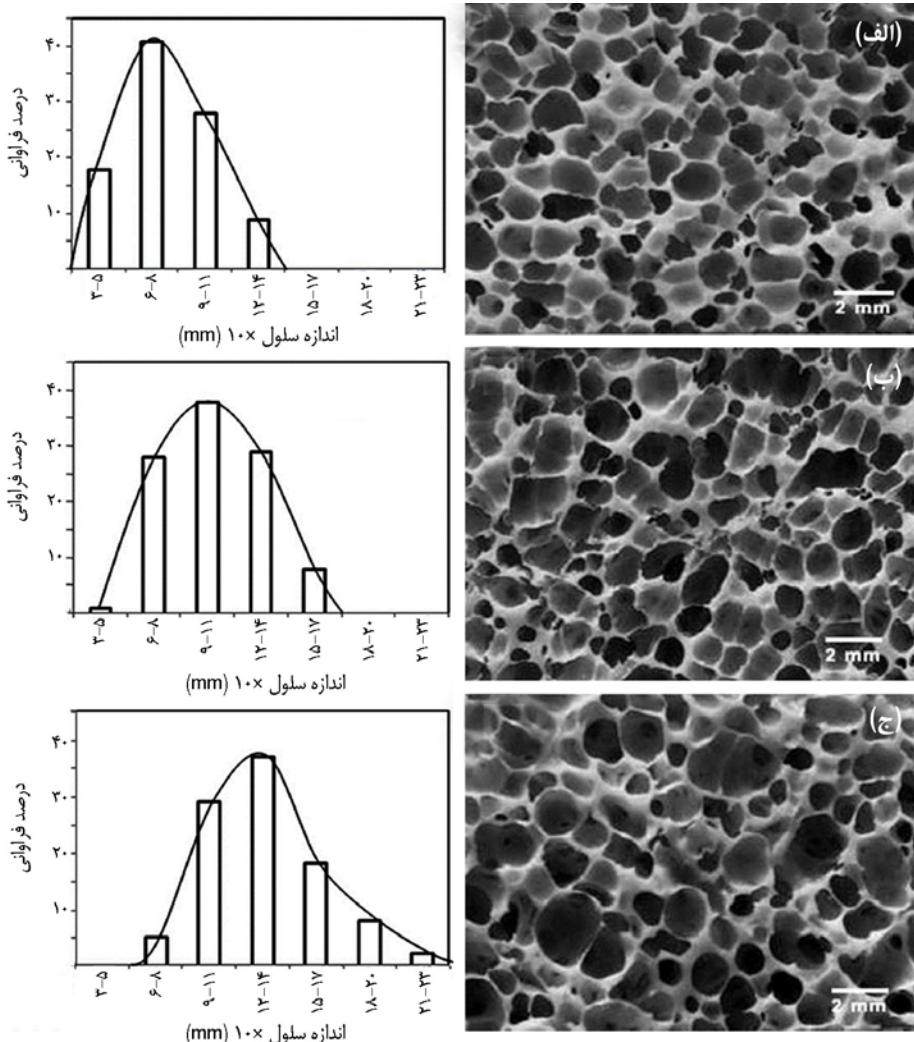
مقدمه

دماهی پخت زیاد باعث افزایش گاز تولیدی و ایجاد گاز با فشار بیشتر می‌شود. این کار موجب کشیده‌تر شدن دیواره سلول‌ها و افزایش اندازه آن‌ها شده و در نهایت مقدار انساط بیشتر و تولید اسفنج با چگالی کمتر می‌شود. همچنین، افزایش دماهی پخت باعث کاهش ضخامت جداره سلول‌ها و تغییر شکل آن‌ها از شکل کروی می‌شود [۱-۴]. از سوی دیگر، با افزایش حجم و فشار گاز تولیدی، نفوذ گاز و ازدیاد حجم آزاد بین زنجیرها بیشتر شده و باعث شکسته شدن اتصالات عرضی می‌شود که پیشتر تشکیل شده‌اند. از این رو، چگالی اتصالات عرضی اسفنج (مقدار پخت نهایی) با افزایش دماهی پخت، کاهش می‌یابد [۳-۵]. Najib و همکاران اسفنج‌های لاستیک طبیعی را با دماهی پخت و اسفنج شدن نهایی، 140°C و 150°C و 160°C تولید کردند [۱]. همان طور که در شکل ۱ دیده می‌شود، با افزایش دماهی اسفنج شدن، اندازه سلول‌ها بزرگ‌تر و پخش آنها گسترده‌تر

فرایند تولید اسفنج لاستیکی از لاستیک جامد، در سه مرحله زیر انجام می‌شود:

- الف - آمیزه‌سازی،**
- ب - پیش‌پخت: در این مرحله اول مقدار کمی از پخت انجام می‌شود و اسفنج تشکیل نمی‌شود.**
- ج - پخت و اسفنج شدن: در این مرحله دما زیاد است و هم‌زمان با آزاد شدن گاز، فرایند پخت نیز تکمیل می‌شود.**

برای تولید اسفنج با تخلخل و خواص مشخص، باید پارامترهای فراورش (دما و زمان پیش‌پخت و نیز دما، زمان و فشار پخت و اسفنج شدن) و پارامترهای طراحی فرمول‌بندی (نوع لاستیک، نوع و درصد پف‌دهنده، عامل پخت، دوده و نانوذرات) بررسی شوند. در این مقاله، پارامترهای موثر بر ساختار و خواص اسفنج‌های لاستیکی سلول‌بسته بحث می‌شود.



شکل ۱- شکل‌شناسی و پخش اندازه سلول‌ها در اسفنج NR در دماهای: (الف) 140°C ، (ب) 150°C و (ج) 160°C .

پارگی، سختی، مدول و استحکام کششی با افزایش فشار اسفنج شدن افزایش یافته است که به دلیل کاهش اندازه سلول‌ها و افزایش چگالی در اثر افزایش فشار اسفنج شدن است.

اثر دوده

مطالعات نشان می‌دهد، دوده باعث افزایش سرعت و مقدار پخت و مدول اسفنج شده است. بنابراین، مقاومت در برابر انبساط سلول‌ها افزایش یافته است. در نهایت، همان طور که در شکل ۲ دیده می‌شود، با افزایش دوده، دیواره سلول‌ها ضخیم‌تر، چگالی اسفنج بیشتر، مقدار انبساط (بازده اسفنج شدن) کمتر، تعداد سلول‌ها بیشتر، اندازه سلول‌ها کوچک‌تر تکرار شده است [۷، ۱۰، ۱۱]. مطالعه خواص مکانیکی نشان داد، با افزایش مقدار دوده، مقدار حداکثر کشش در نقطه پارگی کاهش، استحکام کششی، مقاومت پارگی و سختی نمونه‌های اسفنج شده افزایش یافته است [۲، ۷]. نتایج پخت نشان داد، با افزایش مقدار دوده، مقدار پخت (چگالی اتصالات عرضی) افزایش، زمان برشتگی کاهش، گرانزوی و مقدار گشتاور ابتدایی پیش از پخت افزایش و سرعت پخت نیز افزایش ناچیزی یافته است [۷].

و همکاران [۱۲] اثر دوده را روی خواص اسفنج EPDM و Bashir Zhang و همکاران [۱۳] روی اسفنج‌های لاستیک پلی‌اتیلن کلردار شده (CPE) بررسی کردند و به نتایج مشابهی رسیدند.

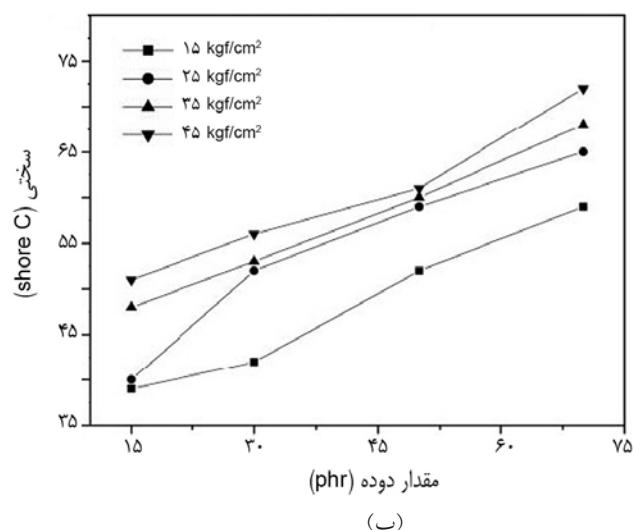
اثر نوع لاستیک

در سال ۲۰۰۸، Ariff و همکاران، اثر دمای پخت و نوع لاستیک طبیعی شامل SMR-10 و SMR-L و یک لاستیک طبیعی اصلاح

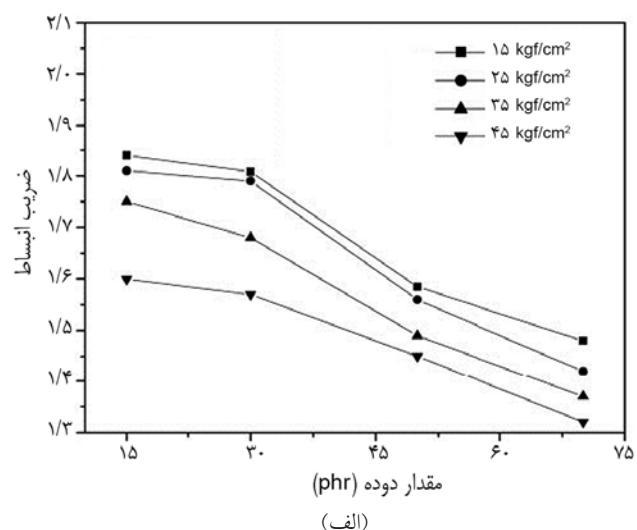
شده است. مطالعات Kim و همکاران [۶]، Lee و همکاران [۷] روی خواص اسفنج‌های لاستیک طبیعی نشان داد، افزایش دمای پخت موجب کاهش زمان برشتگی، افزایش سرعت پخت، کاهش حداقل گشتاور (به دلیل کاهش مقدار گرانزوی) و کاهش حداکثر گشتاور (به سبب کاهش چگالی و شکست اتصالات عرضی) شده است. همچنین، مطالعه اثر دمای اسفنج شدن روی خواص مکانیکی اسفنج NR نشان داد، افزایش دمای پخت به دلیل کاهش چگالی اسفنج، افزایش اندازه سلول‌ها و کاهش چگالی اتصالات عرضی، باعث کاهش ازدیاد طول نهایی، مقاومت کششی، مقاومت پارگی و سختی اسفنج شده است [۶، ۷]. آزمون دینامیکی مکانیکی در سایر مطالعات بررسی شد. نتایج نشان داد، نمونه اسفنج شده در دمای پخت بیشتر، به دلیل اینکه چگالی و مقدار پخت کمتر و حباب‌های بزرگتری دارد، دارای مدول کمتر و اتلاف ($\delta \tan$) بهتری است. همچنین با افزایش دمای پخت، نفوذ گاز بین زنجیرها بیشتر شده و باعث افزایش حجم آزاد میان آن‌ها و در نتیجه کاهش دمای انتقال شیشه‌ای می‌شود [۸]. نتایج مشابهی در مطالعه Zakaria و همکاران [۹] برای اسفنج‌های EPDM و در مطالعه Ariff و همکاران برای اسفنج لاستیک طبیعی به دست آمد [۴].

فشار اسفنج شدن

Kim در سال ۲۰۰۶ اثر فشار اسفنج شدن و مقدار دوده را بر اسفنج تشکیل شده از لاستیک طبیعی بررسی کرد. همان طور که در شکل ۲ دیده می‌شود، با افزایش فشار اسفنج شدن چگالی اسفنج افزایش، ضریب انبساط و بازده اسفنج شدن کاهش یافته است [۲]. مطالعه خواص مکانیکی نشان داد، حداکثر کشش در نقطه پارگی، مقاومت

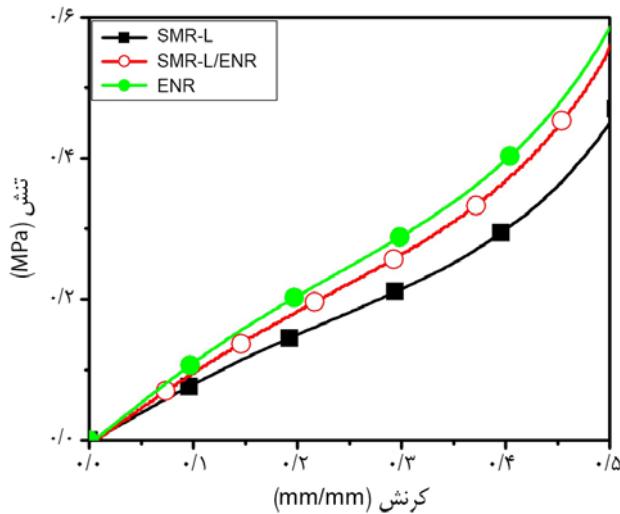


(ب)



(الف)

شکل ۲- رابطه مقدار دوده و فشار اسفنج شدن با: (الف) ضریب انبساط اسفنج و (ب) سختی در اسفنج NR.

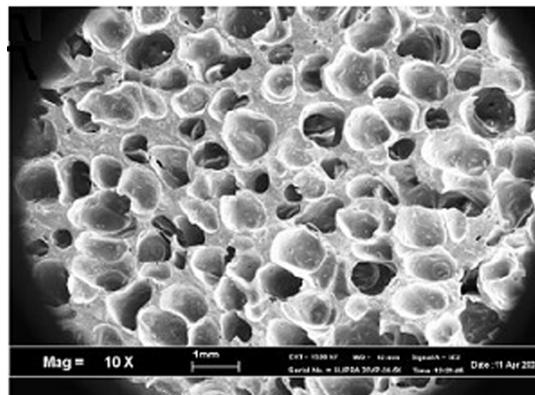


شکل ۴- اثر نوع لاستیک بر رفتار فشاری.

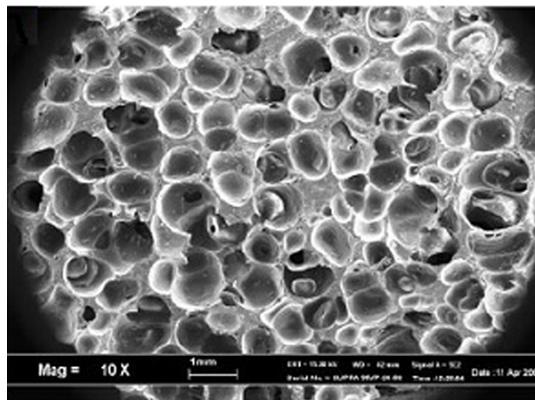
اپوکسی در زنجیر اصلی قرار گرفته و باعث شده است، بیشینه گشتاور (مقدار پخت بیشتر) و سرعت پخت بیشتر و افزایش گشتاور سریع‌تر شود. از این‌رو، انبساط و رشد سلول‌ها سخت می‌شود. به همین دلیل، ضخامت سلول افزایش، اندازه سلول کاهش، چگالی افزایش و خواص مکانیکی اسفنج بهتر شده است. خواص فشاری اسفنج (Riftar تنش-کرنش فشاری) در این مقاله مطالعه شده است. رفتار تنش-کرنش فشاری اسفنج‌ها نشان داد (شکل ۴) تا حدود کرنش فشاری ۲۰٪، رفتار اسفنج‌ها کشسان (خطی) و کاملاً برگشت‌پذیر است. در ناحیه کرنش حدود ۲۰٪ تا ۵۰٪، دیواره سلولی و لبه‌های سلول تخریب شده است (این پدیده نرم شدن القایی اسفنج لاستیکی نامیده می‌شود). به همین دلیل، تغییر شکل برگشت‌پذیر نیست و رفتار مسطح مشاهده می‌شود. در کرنش فشاری بیشتر از ۵۰٪، به دلیل اینکه سلول‌ها از بین رفته و دیواره سلول‌ها به یکدیگر چسبیده‌اند، تنش لازم برای افزایش کرنش به سرعت بیشتر می‌شود [۱۴]. نتایج نشان داد، رفتار تنش-کرنش به دو ناحیه خطی (کشسانی) و غیرخطی (خمیده) تقسیم می‌شود [۱۵، ۱۶].

اثر پف‌دهنده

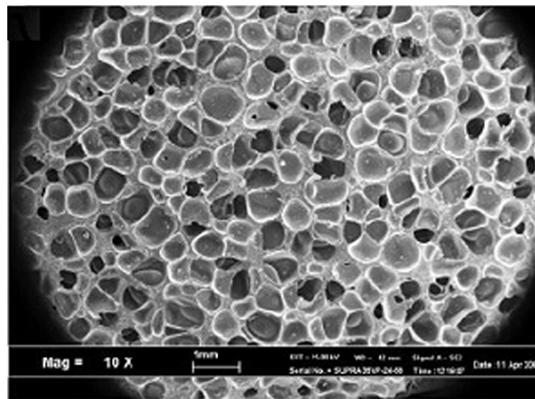
Najib و همکاران در سال ۲۰۰۹ اثر سدیم بی‌کربنات به عنوان عامل شیمیایی پف‌دهنده را در لاستیک طبیعی در درصدهای ۴، ۸ و ۱۰ و ۱۲ phr بررسی کردند [۱۷]. همان‌طور که در شکل ۵ دیده می‌شود، افزایش غلظت سدیم بی‌کربنات باعث افزایش تعداد سلول‌ها، کوچکتر شدن آنها و در نهایت همگن‌تر شدن ساختار



(الف)



(ب)

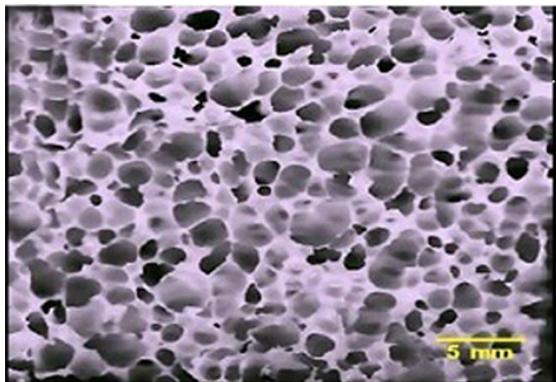


(ج)

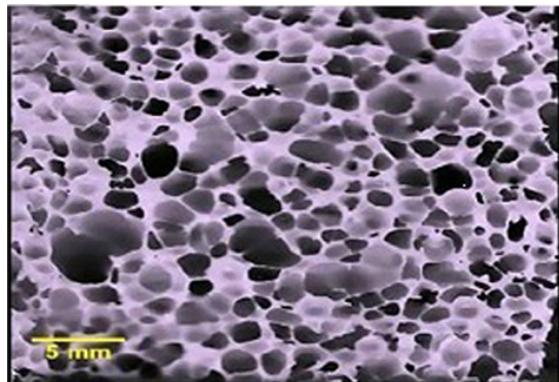
شکل ۳- اثر نوع لاستیک روی شکل‌شناختی اسفنج: (الف) SMR-L، (ب) SMR-10 و (ج) ENR-25 [۴].

شده شیمیایی با اپوکسی (ENR-25) را روی خواص اسفنج لاستیک طبیعی بررسی کردند [۴].

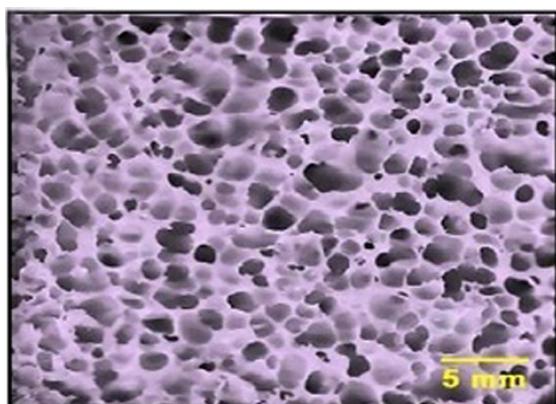
شکل ۳ اثر نوع لاستیک را در دمای اسفنج شدن ۱۵۰°C نشان می‌دهد [۴]. دو نوع SMR-10 و SMR-L تفاوت چندانی در اندازه سلول‌ها و مقدار پخت شدن ندارند. زیرا این دو نوع SMR ساختار شیمیایی کاملاً یکسانی دارند، فقط ناخالصی معدنی یکی ۰/۷۵٪ و دیگری ۰/۵٪ است. در حالی که در نمونه اصلاح شده ENR،



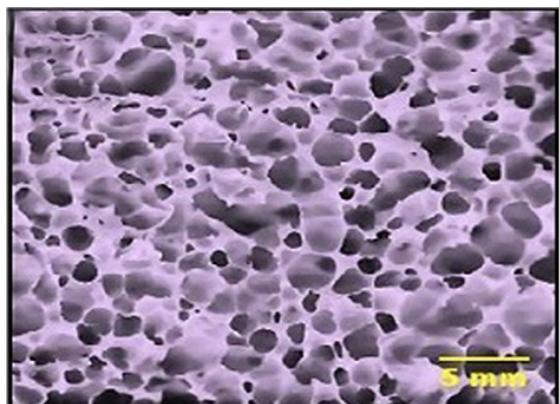
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۵- اثر پفدهنده بر ساختار اسفنج لاستیک طبیعی: (الف) ۴ phr، (ب) ۸ phr، (ج) ۱۰ phr و (د) ۱۲ phr [۱۵].

بی کربنات گرمگیر است. با افزایش مقدار پفدهنده، مقدار گرمای جذب شده بیشتر شده و مقدار اتصالات عرضی کاهش می‌باید. همچنین، افزایش مقدار پفدهنده، گاز تولیدی و مقدار انبساط را افزایش می‌دهد و باعث می‌شود، اتصالات عرضی که به طور همزمان تشکیل می‌شوند (یا پیشتر تشکیل شده‌اند) پاره شوند [۱۷، ۱۸].

افزایش سدیم بی‌کربنات باعث کاهش چگالی و افزایش هوای محبوس شده که باعث اتلاف و جذب زیاد انرژی است، می‌شود. هرچه گاز بیشتری در اسفنج باشد، اسفنج نرم‌تر می‌شود. دلیل جذب انرژی بیشتر اسفنج با چگالی کمتر این است که این اسفنج‌ها دارای تغییر شکل، خمی و کمانش بیشتر دیواره سلولی هستند [۱۹]. در سال ۲۰۰۶ Wang و همکاران اثر درصد پفدهنده و مقدار پیش‌پخت را روی شکل‌شناختی نهایی و خواص نهایی اسفنج لاستیک EPDM بررسی کردند [۲۰]. نتایج نشان داد، در غلظت پفدهنده تا ۳ phr، مقدار گاز آزاد شده بسیار کم است و فرایند رشد هسته‌های سلول، به دلیل همین حجم کم گاز، رخ نداده است. بدین علت، بهبود چشم‌گیری در اسفنج شدن نمونه‌ها مشاهده نشد.

اسفنج شده است. از آنجا که تجزیه سدیم بی‌کربنات یک مرحله‌ای است، با توجه به پخش یکنواخت آن در ماتریس لاستیکی، سلول‌ها به طور همزمان هسته‌زایی کرده و به شکل همان‌دازه و یکنواخت رشد می‌کنند. همین عامل، باعث افزایش تعداد سلول‌ها و کاهش اندازه آنها شده است.

نتایج آزمون پخت (جدول ۱) نشان داد، افزودن پفدهنده گرامروی نمونه پخت نشده (حداقل گشتاور) را تغییر نداده، ولی حداقل گشتاور (نمونه پخت شده) را کاهش داده است. حداقل گشتاور نمایانگر مقدار سختی، پخت و مقدار تنفس برشی نمونه پخت شده است. افزایش درصد پفدهنده، باعث افزایش مقدار کربن دی‌اکسید و تعداد ریز‌حفره‌ها شده است. این حفره‌ها باعث کاهش مقدار مقاومت برشی و در نهایت کاهش مقدار گشتاور بیشینه شده‌اند [۹]. از سوی دیگر، چگالی اتصالات عرضی با چند سازوکار با افزایش مقدار پفدهنده کاهش یافته است. افزایش غلظت پفدهنده، باعث افزایش مقدار گاز تولیدی و تعداد سلول‌ها و کاهش ضخامت جداره سلولی شده و در نهایت باعث کاهش مقدار چگالی اتصالات عرضی شده است. از سوی دیگر، تجزیه سدیم

بهبود شکل شناسی و پخش منظم سلول ها در ماتریس شده است.

نتیجه گیری

پارامترهای فرایندی مانند دما و زمان پیش پخت، دما و زمان فوم شدن، فشار فوم شدن و پارامترهای طراحی فرمولاسیون مانند نوع و گرید لاستیک، نوع و درصد عامل پخت، نوع و درصد تقویت کننده، نوع و درصد عامل فوم زا تعیین کننده ریز ساختار فوم و در نهایت تعیین کننده خواص فوم موثر هستند. در بین پارامترهای بالا، پارامترهایی مانند افزایش دمای پیش پخت، افزایش زمان پیش پخت، افزایش فشار فوم شدن، مقدار دوده، سیستم پخت با سرعت بالاتر که باعث افزایش مدول و سختی آمیزه می شوند اندازه سلول ها را کاهش، ضخامت دیواره سلولی را افزایش و چگالی را بیشتر می کنند و در نهایت خواص فیزیکی مکانیکی را بهبود می بخشدند. از طرف دیگر، پارامترهایی مانند میزان عامل فوم زا، کاهش فشار فوم شدن باعث کاهش دانسیته و افزایش اندازه سلولی، کاهش ضخامت دیواره های سلولی و کاهش خواص می شود.

با افزایش مقدار پف دهنده تا phr ۶، تعداد و اندازه سلول ها افزایش یافته است. در phr ۱۲ از پف دهنده، چون مقدار گاز آزاد شده و فشار ناشی از آن بسیار زیاد شده، باعث شکست دیواره سلول شده است. همین موضوع، باعث خروج گاز به محیط شده و چگالی سلول افزایش یافته است.

Mahmoud و همکاران اثر عامل پخت (ADC ۰۰ phr) تا (۱۶/۵ phr) روی اسفنج لاستیکی NBR و EPDM را بررسی کردند [۲۱، ۲۲]. نتایج نشان داد، با افزایش درصد پف دهنده، چگالی هر دو نوع اسفنج لاستیکی NBR و EPDM کم شده است. با افزایش مقدار پف دهنده برای هر دو اسفنج، مدول فشاری و کششی، استحکام کششی و حداکثر کشش در نقطه پارگی کاهش یافته است. Yamsaensung و همکاران [۲۲] برای تولید اسفنج EPDM از دو نوع پف دهنده ۴-۴' - اکسی بیس (بنزن سولفونیل هیدرازین)، OBSH، اصلاح نشده و اصلاح شده با عامل اتیلن پروپیلن (EPR-*b*-OBSH) استفاده کردند. مشاهده شد، با افزودن مقدار پف دهنده، مقدار تخلخل افزایش یافته است. در درصد برابر اسفنج اصلاح شده با عامل EPR-*b*-OBSH دارای تخلخل بیشتری است. وجود عامل اصلاح کننده EPR در پف دهنده، باعث بهبود پخش و سازگاری آن در ماتریس EPDM و در نهایت

مراجع

- Najib N.N., Ariff Z.M., Bakar A.A., and Sipaut C.S., Correlation between the Acoustic and Dynamic Mechanical Properties of Natural Rubber Foam: Effect of Foaming Temperature, *Mater. Design*, **32**, 505-511, 2011.
- Kim J.H., Choi K.C., and Yoon J.M., The Foaming Characteristics and Physical Properties of Natural Rubber Foams: Effects of Carbon Black Content and Foaming Pressure, *J. Indust. Eng. Chem.*, **12**, 795-801, 2006.
- Sombatsompop N. and Lertkamolsin P., Effects of Chemical Blowing Agents on Swelling Properties of Expanded Elastomers, *J. Elastomers Plast.*, **32**, 311-328, 2000.
- Ariff Z., Zakaria Z., Tay L., and Lee S., Effect of Foaming Temperature and Rubber Grades on Properties of Natural Rubber Foams, *J. Appl. Polym. Sci.*, **107**, 2531-2538, 2008.
- Klempner D., Sendijarevic V., and Aseeva R.M., *Handbook of Polymeric Foams and Foam Technology*, Hanser Verlag, Munich, 2004.
- Kim J., Koh J., Choi K., Yoon J., and Kim S., Effects of Foaming Temperature and Carbon Black Content on the Cure Characteristics and Mechanical Properties of Natural Rubber Foams, *J. Indust. Eng. Chem.*, **13**, 198-212, 2007.
- Lee E.K. and Choi S.Y., Preparation and Characterization of Natural Rubber Foams: Effects of Foaming Temperature and Carbon Black Content, *Korean J. Chem. Eng.*, **24**, 1070-1075, 2007.
- Mahapatra S. and Tripathy D., Dynamic Mechanical Properties of Conductive Carbon Black-reinforced Closed Cell Microcellular Oil-extended EPDM Rubber Vulcanizates: Effect of Blowing Agent, Temperature, Frequency, and Strain, *J. Appl. Polym. Sci.*, **102**, 1600-1608, 2006.
- Zakaria Z., Ariff Z.M., Hwa T.L., and Sipaut C.S., Effect of Foaming Temperature on Morphology and Compressive Properties of Ethylene Propylene Diena Monomer Rubber (EPDM) Foam, *Malaysian Polym. J.*, **2**, 22-30, 2007.
- Xin Z.X., Zhang Z.X., Pal K., Byeon J.U., Lee S.H., and Kim J.K., Study of Microcellular Injection-molded Polypropylene/

- waste Ground Rubber Tire Powder Blend, *Mater. Design*, **31**, 589-593, 2010.
11. Nakason C., Kaesaman A., and Eardrod K., Cure and Mechanical Properties of Natural Rubber-poly(methyl methacrylate)-cassava Starch Compounds, *Mater. Lett.*, **59**, 4020-4025, 2005.
 12. Bashir M.A. Iqbal N., Shahid M., and Ahmed R., Structural, Viscoelastic, and Vulcanization Study of Sponge Ethylene-propylene-diene Monomer Composites with Various Carbon Black Loadings, *J. Appl. Polym. Sci.*, **131**, 1-7, 2014.
 13. Zhang B.S., Lv X.F., Zhang Z.X., Liu Y., Kim J.K., and Xin Z.X., Effect of Carbon Black Content on Microcellular Structure and Physical Properties of Chlorinated Polyethylene Rubber Foams, *Mater. Design*, **31**, 3106-3110, 2010.
 14. Gibson L.J., Biomechanics of Cellular Solids, *J. Biomech.*, **38**, 377-399, 2005.
 15. Gibson L.J. and Ashby M.F., *Cellular Solids: Structure and Properties*, Cambridge University, Cambridge, 1999.
 16. Lawindy A.M.Y.E., El-Kade K.M.A., Mahmoud W.E., and Hassan H.H., Physical Studies of Foamed Reinforced Rubber Composites Part I. Mechanical Properties of Foamed Ethylene-propylene-diene Terpolymer and Nitrile-Butadiene Rubber Composites, *Polym. Internat.*, **51**, 601-606, 2002.
 17. Najib N., Ariff Z., Manan N., Bakar A., and Sipaut C., Effect of Blowing Agent Concentration on Cell Morphology and Impact Properties of Natural Rubber Foam, *J. Phys. Sci.*, **20**, 13-25, 2009.
 18. Strauss W. and D'Souza N.A., Supercritical CO₂ Processed Polystyrene Nanocomposite Foams, *J. Cellular Plast.*, **40**, 229-241, 2004.
 19. Wang B., Peng Z., Zhang Y., and Zhang Y., Compressive Response and Energy Absorption of Foam EPDM, *J. Appl. Polym. Sci.*, **105**, 3462-3469, 2007.
 20. Wang B., Peng Z., Zhang Y., and Zhang Y., Rheological Properties and Foam Processibility of Precured EPDM, *J. Appl. Polym. Sci.*, **101**, 3387-3394, 2006.
 21. Mahmoud W., El-Eraki M., El-Lawindy A., and Hassan H., A Novel Application of ADC/K-foaming Agent-loaded NBR Rubber Composites as Pressure Sensor, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **39**, 541-546, 2006.
 22. Yamsaengsung W. and Sombatsompop N., Effect of Chemical Blowing Agent on Cell Structure and Mechanical Properties of EPDM Foam, and Peel Strength and Thermal Conductivity of Wood/NR Composite-EPDM Foam Laminates, *Compos. Part B: Eng.*, **40**, 594-600, 2009.

