

یازدهمین کنگره ملی سراسری
فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران
11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senacnf.ir

بسته بندی: مروری بر پلاستیک های اسفنجی و کاربردهای آن

محمد امین میری^۱

^۱ گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل ma.miri@uoz.ac.ir

چکیده

پلاستیک های اسفنجی، که با نام پلاستیک های سلولی یا فوم های پلاستیکی نیز شناخته می شوند، از هنگامی اهمیت یافته اند که انسان های اولیه استفاده از چوب، یعنی شکلی سلولی از پلی مر سلولز، را آغاز کردند. پلاستیک های اسفنجی را می توان به روش های مختلف تهیه کرد. که در این مقاله به آنها اشاره شده است. فوم های پلاستیکی هنگامی که در معرض رطوبت قرار می گیرند، به ویژه زمانی که در معرض ترکیبی از شیب دما و رطوبت باشند، بهتر از سایر مواد عایق حرارتی عمل می کنند. خواص یک پلاستیک اسفنجی به ترکیب و شکل هندسی آن بستگی دارد که به این ها معمولاً متغیرهای ساختاری اطلاق می شود. به علاوه، خواص این پلاستیک ها تحت تأثیر ساختار اسفنجی و خواص پلی مر مادر است. پلاستیک ها و پلی مرهای سلولی توسط فرآیندهایی تهیه شده اند که شامل روش های متعدد آغازش، بزرگ شدن، و پایدارسازی سلول است. در این مقاله به مرور ویژگی ها، تولید و کاربردهای پلاستیک های اسفنجی پرداخته شده است.

واژه های کلیدی

پلاستیک های اسفنجی، بسته بندی، صنایع غذایی

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

مقدمه

پلاستیک‌های اسفنجی، که با نام پلاستیک‌های سلولی یا فوم‌های پلاستیکی نیز شناخته می‌شوند، از هنگامی اهمیت یافته‌اند که انسان‌های اولیه استفاده از چوب، یعنی شکلی سلولی از پلی‌مر سلولز، را آغاز کردند. سلولز فراوان‌ترین ماده در میان تمام ترکیبات آلی طبیعی است که تقریباً یک سوم کل مواد گیاهی در دنیا را تشکیل می‌دهد. نسبت بالای استحکام به وزن در چوب، خواص عایقی خوب در چوب‌پنبه و بالسا^۱، و خواص ضربه‌گیری و حمایتی چوب‌پنبه و کاه، امروز منجر به گسترش دامنه پهنای مصرف پلی‌مرهای سلولی مصنوعی شده است. از دهه ۱۹۴۰ پلی‌مرهای سلولی به شکل تجاری در طیف مختلفی از کاربردها مورد قبول واقع شده‌اند. مصرف کل پلاستیک‌های اسفنجی در آمریکا در سال ۱۹۹۳ از حدود $۱۰^۶ \times ۲/۱$ تن فراتر رفت. پیش‌بینی می‌شود که این مقدار در سال ۱۹۸۸ تقریباً به $۱۰^۶ \times ۲/۹$ تن متریک افزایش یابد [۱].

نام‌شناسی

پلاستیک سلولی به عنوان پلاستیکی تعریف می‌شود که به دلیل حضور تعداد بیشماری سلول که در سراسر توده آن آرایش یافته‌اند، چگالی ظاهری آن به طور معنی‌داری کاهش یافته است [۲]. در این مقاله، اصطلاحات پلی‌مر سلولی، پلاستیک اسفنجی، پلاستیک انبساطی یا پفی و فوم پلاستیکی، به عنوان بدل یکدیگر، برای نشان دادن تمام سیستم‌های دو فازی گاز-جامد به کار می‌روند که در آن‌ها فاز جامد، به هم پیوسته و مرکب از یک پلی‌مر مصنوعی یا لاستیک است.

تئوری فرآیند انبساط

پلاستیک‌های اسفنجی را می‌توان به روش‌های مختلف تهیه کرد. رایج‌ترین روش که فرآیند انتشار نام دارد، عبارتست از انتشار یک فاز گازی درون فاز پلی‌مری مایع و حفظ حالت حاصل‌شده. سایر روش‌های تولید پلاستیک‌های سلولی شامل کلوخه‌سازی ذرات کوچک انتشار یافته و یا انتشار ذرات کوچک سلولی در پلاستیک می‌باشد. فرآیندهای اخیر، تکنیک‌هایی نسبتاً آسان و دارای اهمیت تجاری کمتر هستند.

از آنجا که فرآیند انبساط اساس پلاستیک‌های اسفنجی است، تحقیقات گسترده‌ای پیرامون این موضوع انجام شده است [۳-۶]. به طور کلی، فرآیند انبساط دربرگیرنده سه مرحله است: ایجاد ناپیوستگی‌های کوچک یا سلول‌هایی در یک فاز مایع یا پلاستیک، بزرگ شدن این سلول‌ها تا حجم دلخواه، و تثبیت ساختار سلولی حاصله با روش‌های فیزیکی یا شیمیایی.

ایجاد حباب: ایجاد حباب درون یک مایع یا محلول پلی‌مری به طور عمومی هسته‌زایی گفته می‌شود، هرچند این اصطلاح در حقیقت تنها به آن دسته از حباب‌ها اشاره دارد که از مایع یا محلول پلی‌مری فوق‌اشباع، در حضور یک جایگاه آغازگر مثل یک بی‌نظمی سطحی جدا می‌شوند. این فرآیند چندین منشأ دارد: (الف) گازهای محلولی که در حالت معمولی در مایع یا محلول پلی‌مری وجود دارند و با افزایش دما، شرایط فوق‌اشباع به آن‌ها تحمیل می‌شود؛ (ب) مایعات دارای نقطه جوش کم که به عنوان مواد پفزا وارد سیستم می‌شوند و با افزایش دما و کاهش فشار تبدیل به فاز گاز می‌شوند؛ (ج) گازهای تولیدشده توسط مواد پفزا، مثل گازهای تولید شده با واکنش

¹ - Balsa

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

آب-ایزوسیانات که برای تولید CO₂ در اسفنج‌های پلی‌یورتان به کار می‌رود؛ و (د) مواد شیمیایی پفزا که با تجزیه حرارتی تولید گاز می‌کنند.

هسته‌سازی حبابی تحت تأثیر عوامل متعددی قرار می‌گیرد. از نظر فیزیکی، اثرات دما، فشار، و در برخی موارد رطوبت، به خوبی مشهود است. دیگر پارامترهای مهم عبارتند از: صافی و نرمی سطح سوپسترا، ویژگی‌های سطحی ذرات پرکننده، حضور و غلظت سورفاکتانت‌ها یا هسته‌سازهای خاص، اندازه و مقدار حباب‌های مایع در فاز دوم، و سرعت تولید گاز. در بسیاری موارد، حباب‌های گاز و سایر آلاینده‌ها از قبل در مایع یا محلول پلی‌مری وجود دارند و به عنوان جایگاه‌هایی برای انتشار گاز به درون آن‌ها عمل می‌کنند. تعداد و اندازه این حباب‌های گاز می‌تواند عامل مهم دیگری در ایجاد حباب باشد.

رشد حباب: حباب اولیه در حالت ایده‌آل، کره‌ای است که در اثر برهم‌کنش اختلاف فشار (ΔP) بین محیط داخل و خارج سلول با کشش سطحی در فصل مشترک سلول‌ها، بزرگ می‌شود (γ). به طوری که معادله ۱ نشان می‌دهد، شعاع حباب (r) در حالت تعادل به این عوامل بستگی دارد:

$$\Delta P = \frac{2\gamma}{r}$$

در یک کشش سطحی ثابت، اختلاف فشار برای حباب کوچکتر، بیشتر است. بدین ترتیب، حباب‌های کوچکتر تمایل دارند که با رشد سریع‌تر، شکستن دیواره جداکننده سلول‌ها، یا با انتشار ماده پفزا از سلول‌های کوچک به سلول‌های بزرگ، این فشارها را یکسان کنند، که این در معادله ۲ نشان داده می‌شود:

$$\Delta P_{1,2} = 2\gamma \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

که در آن $\Delta P_{1,2}$ اختلاف فشار بین سلول‌های دارای شعاع r_1 و r_2 است. بنابراین سرعت رشد سلول به طبیعت ویسکوالاستیک فاز پلی‌مر، فشار ماده پفزا، فشار خارجی وارد بر اسفنج، اندازه سلول، و نرخ نفوذ عامل پفزا درون فاز پلی‌مر دارد.

پایدارسازی حباب: پایداری حباب در حین رشد، تابعی از نوع و غلظت سورفاکتانت، سرعت رشد حباب، ویسکوزیته بستر سیال، تغییرات اختلاف فشار، و حضور مواد جداکننده سلول‌ها نظیر ذرات جامد، مایعات یا گازها، می‌باشد. در حالی که دیواره‌های سلولی با فشار در قالب چندوجهی درآمده‌اند، برآیندی به صورت نازک شدن دیواره‌ها رخ می‌دهد، و مایع از جوجه دیواره‌ای سلول‌ها به درون مرزهای مشترک سلولی زهکش می‌شود و گرده‌ها/تیغه‌ها یا پایه‌ها/ستون‌هایی تشکیل می‌دهند که معمولاً مقطع عرضی آن‌ها مثلثی شکل است. این نازک شدن دیواره سلولی می‌تواند تا جایی ادامه پیدا کند که دیواره متلاشی و سلول باز شود. این ویژگی مهمی برای اغلب فوم‌های پلاستیکی است و بر خصوصیات نظیر ضریب هدایت حرارتی، جذب رطوبت، قابلیت عبوردهی هوا، و تحمل بار تأثیر دارد. پایدارسازی نهایی در نتیجه ادامه واکنش شیمیایی تا جایی که ژل شدن کامل رخ دهد یا به خاطر اثر فیزیکی خنک شدن در دمای کمتر از نقطه گذار مرتبه دوم با هدف جلوگیری از سیالیت پلی‌مر، رخ می‌دهد. با نزدیک شدن به انجماد نهایی، حباب‌هایی که قبلاً شکل گرفته‌اند ممکن است با جریان یافتن سیستم یا نیروی ثقل از شکل طبیعی خارج شوند که به این نحو، ناهمسانگردی در ساختار سلولی

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

ایجاد می شود. این امر را باید در ارزیابی خواص فیزیکی فومهای پلاستیکی، با تهیه کردن نمونه های دارای جهت یافتگی در جهات خاص برای جریان عملیات، در نظر داشت.

خصوصیات

داده های جدول ۱ دامنه وسیعی از خواص پلاستیک های اسفنجی سخت را نشان می دهد [۷]؛ بهتر است که سازنده در مورد خواص یک محصول خاص به این جدول مراجعه کند. خواص برخی انواع تجاری پلاستیک های اسفنجی انعطاف پذیر در جدول ۲ آمده است [۷]. این مقادیر به چندین متغیر ساختاری بستگی دارند و باید تنها به عنوان رهنمودهای کلی مورد استفاده قرار گیرند. خواص یک پلاستیک اسفنجی به ترکیب و شکل هندسی آن بستگی دارد که به این ها معمولاً متغیرهای ساختاری اطلاق می شود. به علاوه، خواص این پلاستیک ها تحت تأثیر ساختار اسفنجی و خواص پلی مر مادر است. شرح فاز پلی مری باید افزودنی های موجود را دربرداشته باشد.

سلول ها: شناخت کامل ساختار سلولی یک پلی مر خاص، مستلزم دانستن اندازه، شکل و موقعیت هر سلول است. از آنجا که این کار غیر عملی است، از تقریب ها استفاده می شود. اندازه سلول با تعیین قطر سلول و معیاری از متوسط حجم سلول مشخص می شود. خواص مکانیکی، اپتیکی، و حرارتی اسفنج به اندازه سلول بستگی دارد.

شکل هندسی: شکل سلول غالباً تابع چگالی نهایی اسفنج و نیروهای خارجی اعمال شده روی ساختار سلولی تا پیش از پایداری سازی آن در وضعیت انبساط یافته می باشد. در حضور نیروهای خارجی، ممکن است که سلول ها کشیده یا تخت شوند. جهت گیری سلولی می تواند روی بسیاری از ویژگی ها اثر بگذارد.

فراکسیون سلول های باز^۲: یکی از ویژگی های مهم ساختار سلولی مقدار ارتباط با سایر سلول هاست. این ویژگی با عنوان فراکسیون سلول های باز شناخته می شود.

ترکیب گاز: در اسفنج های دارای ساختار سلولی بسته، فاز گاز موجود در سلول ها می تواند دربردارنده ماده پفزا (اصطلاحاً عامل پفزای در بند)، هوا، یا سایر گازهای تولید شده حین کفزایی باشد. ضریب هدایت حرارتی و الکتریکی می تواند شدیداً تحت تأثیر ترکیب گازی سلول قرار بگیرد.

خواص مکانیکی: فوم های سخت از نظر خواص مکانیکی با فوم های انعطاف پذیر تفاوت دارند. بنابراین همچون خواص کاربردی آن ها، آزمون های مورد استفاده برای تشخیص آن ها متفاوت است. در دو دهه اخیر، گروه جداگانه ای از پلی مرهای سلولی سخت و پرچگال، موسوم به فوم های ساختاری (چگالی بیشتر از ۰/۳ گرم بر سانتی متر مکعب) اهمیتی تجاری به دست آورده اند. متغیرهای ساختاری که بر استحکام فشاری و مدول یک فوم پلاستیکی سخت اثر می گذارند، به ترتیب کاهش اهمیت عبارتند از: ترکیب فاز پلاستیکی، چگالی، ساختار سلولی، و وضعیت پلاستیکی. اثر ترکیب گاز کمترین اهمیت را دارد و در بعضی موارد تأثیر اندکی روی فشار گاز دارند.

² - Fraction open cells

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

فومهای ساختاری یا فومهای دارای پوسته یکپارچه معمولاً به شکل افلام سرهم‌بندی شده در فرآیندهای قالب‌گیری تزریقی یا اکستروژن تولید می‌شوند. این پلاستیک‌ها چگالی‌هایی نسبتاً بالا دارند و برخلاف ساختار دوازده‌وجهی پنج‌ضلعی در فومهای پلاستیکی کم‌چگال، ساختار سلولی این‌ها عمدتاً متشکل از حفره است. از آنجا که فومهای ساختاری عموماً ساختار سلولی یکنواختی ندارند، تغییرات چشمگیری از نظر خواص مربوط به هندسه جسم دارند.

در فومهای انعطاف‌پذیر، که برای ضربه‌گیرهای حمایتی، بسته‌بندی، و پوشش لباس به کار می‌روند، خواص مکانیکی متفاوت در مقایسه با فومهای سخت بیشتر مورد تأکید هستند. طبیعت فشرده فومهای انعطاف‌پذیر، چه در انواع ایستا و چه در انواع پویا، مهم‌ترین ویژگی مکانیکی آن‌هاست. سایر خصوصیات مهم، استحکام کششی و ازدیاد طول، استحکام برشی، و مانایی فشار می‌باشند.

خواص حرارتی: ضریب هدایت گرمایی در پلی‌مرهای سلولی به طور کامل در مواد و فومهای پلاستیکی مورد مطالعه قرار گرفته است [۸]. انتقال گرما می‌تواند به صورت زیر به مؤلفه‌های سازنده خود تفکیک شود:

$$k = k_s + k_g + k_r + k_c$$

که در آن k ضریب کل هدایت گرمایی، و k_s ، k_g ، k_r و k_c به ترتیب نماینده هدایت جامد، هدایت گازها، تابش و همرفت می‌باشند. به عنوان یک تقریب اولیه، هدایت گرمایی فومهای کم‌چگال از طریق فازهای جامد و گاز را می‌توان به صورت حاصلضرب ضریب هدایت گرمایی هر فاز در کسر حجمی آن بیان نمود. در اغلب پلی‌مرهای سلولی، هدایت از طریق فاز جامد اساساً از روی چگالی و ترکیب فاز پلی‌مر تعیین می‌شود. اگرچه ضریب هدایت از طریق گازها بسیار کمتر از ضریب هدایت از طریق جامدات است، مقدار گرمای انتقال یافته از طریق فاز جامد در یک فوم، به دلیل حجم بالای فاز گاز، معمولاً بزرگ‌ترین مؤلفه کل انتقال گرما است. علی‌القاعده در سلول‌هایی با قطر کمتر از ۴ mm نمی‌توان همرفت را اندازه گرفت [۸]. از آنجا که اغلب پلی‌مرهای سلولی قطر سلول کمتر از ۴ mm دارند، می‌توان از همرفت چشم‌پوشی کرد. انتقال تابشی حرارت در پلی‌مرهای سلولی نیز مطالعه شده است [۸]. افزایش انتقال تابشی حرارت موجب افزایش k در چگالی‌های کم می‌شود؛ در چگالی‌های زیاد، افزایش k با افزایش نسبت k_s رخ می‌دهد.

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی
انواع تجاری پلاستیک‌های
سفت اسفنجی

ویژگی	آزمون AST M	استات سلولز	اپوک سی	فنولیک	قطعه اکسترود شده		پلی استیرن		PVC	پلی یورتان			
					قطعه منبسط شده	ورق اکسترود شده	پلی اتر	ایزوسیانات بان		لامپ اوره			
چگالی ^a (kg/m ³)		۱۲۸	۴۸	۶۴	۳۵	۵۳	۱۶	۸۰	۳۲	۶۴	۳۲	۳۲	۱۹
خواص مکانیکی، استحکام فشاری در kPa ^b (/۱۰)	D16 21	۸۶۲	۱۳۸	۱۳۸	۶۲۰	۸۶۲	-۱۲۴	-۲۷۶	-۸۹۶	۲۹۰	۴۶۹	۳۴۵	۱۰۳
استحکام کشش ^b (kPa)	D16 23	۱۱۷۲	-	۱۳۸	۳۷۹	۵۱۷	-۱۹۳	-۳۷۹	-۱۱۸۶	۳۴۵۰	۴۱۳۷	۳۴۵۰	۳۴۵۰
استحکام خمشی ^b (kPa)	D79 0	۱۱۰۴	-	۱۳۸	۴۴۸	۱۱۳۸	-۲۴۱	-۵۱۷	-۲۴۱	۳۷۹	۱۹۳	۳۷۹	۱۹۳
استحکام	C273	۹۶۵	۲۰۷	۲۴۱	۲۴۱	۲۴۱	۲۴۱	۲۴۱	۲۴۱	۲۴۱	۲۴۱	۲۴۱	۲۴۱

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senacnf.ir

		۴۱۳	۱۳۸									-			برشی b (kPa)		
		-۳۱	-۴/۱	۳۵	۱۳/۱					-۱۴	۱۰/۳		۳/۹	-۹۰	D16	مدول تراکمی	
		۱۰/۳	۲/۰							۳/۴				۳۸	21	b (MPa)	
		۱۰/۳	-۶/۲	۳۶	۱۰/۳					-۲۶	۴۱			۳۸	D79	مدول خمشی	
		۵/۵-	۵/۵							۹/۰					0	b (MPa)	
	۱/۷	۱۰/۳	-۱/۴	۲۱	۶/۲					-۱۱/۰	۱۰/۳		-۴/۸		C273	مدول برشی	
		۳/۴-	۱/۲							۷/۶			۲/۸			b (MPa)	
۰/۰۲۶	۱/۰۱۹	۱/۰۵۴	۱/۰۳۰	۱/۰۲۵		۰/۰۲۳	۰/۰۳۵	۱/۰۳۵	۰/۰۳۵	۱/۰۳۵	۰/۰۳۷	۱/۰۳۰	۱/۰۲۹	۰/۱۶	۱/۰۴۶	C177	خواص
.	.		-۰	-۰		.	.	.	.	.	.	.	.	.	-۰		حرارتی،
		۱/۰۲۲	۱/۰۱۶												۱/۰۴۵		ضریب هدایت
		.	.												.		گرمایی [W/(m.K)]
۱/۰۳۰												۱/۰۳۲	۱/۰۲۲				
.												.	.				
		۷/۲	۷/۲	۷/۲						-۷/۲	-۷/۲	۶/۳	۶/۳	۰/۹	۱/۵	D69	ضریب انبساط
				-						۵/۴	۵/۴					6	خطی
				۵/۴													(10 ⁻⁵ /°C)
۱۴۹	۱۴۹	-۱۴۹	-۱۲۱			۸۰	-۸۰	-۸۰	-۸۰	۷۴-۸۰	۷۴	۱۳۲	-۲۶۰	۱۷۷			حداکثر دمای
		۱۲۱	۹۳				۷۷	۷۴	۷۴				۲۰۵				کارکرد (°C)

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

منبع: Suh & Webb
^a برای تبدیل kg/m^3 به lb/ft^3 مقدار را در ۰/۰۶۲۴ ضرب کنید.
^b برای تبدیل kPa به psi مقدار را در ۰/۱۴۵ ضرب کنید.
^c برای تبدیل $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ به $\text{Btu}/(\text{lb}\cdot^\circ\text{F})$ مقدار را بر ۴/۱۸۴ تقسیم کنید.

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی انواع تجاری پلاستیک‌های انعطاف‌پذیر اسفنجی

سیلیکون				پلی یورتان		پلی پروپیلن		پلی اتیلن			لاتکس		SBR	لاستیک طبیعی	آزمون	ویژگی
ورق	مایع	پلی وینیل کلراید	نوع دارای ارتجاع پذیر ی زیاد	ضربه گیر ی استاندارد	ورق	تغییر یاف ته	ورق	ورق اکسترو	قطعه اکسترو	د شده	د شده	لاستیک طبیعی	منبس ط شده	منبس ط شده	ASTM	
۱۶۰	۲۷۲	۱۱۲	۵۶	۴۰	۲۴	۱۰	۶۴-۹۶	۲۶-۲۸	۴۳	۳۵	۱۳۰	۸۰	۷۲۲	۳۲۰	۵۶	چگالی ^a (kg/m^3)
باز	باز	بسته	بسته	باز	باز	بسته	بسته	بسته	بسته	بسته	باز	باز	بسته	بسته	بسته	ساختار سلولی استحکام فشاری D3357 4 (kPa در ۰/۲۵)

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوری‌های نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

																^b (kPa)
																D3575
				۱۰۳	۱۱۸			۳۴۴	۴۱	۱۳۸	۱۰	۵۵۱	۲۰۶			D3357
در ۳۶	۲۴	۳														استحکام کشش
%۲۰		۱۰														4
																^b (kPa)
۳۱۰	۲۲۷			۱۶۰	۲۰۵	-۲۷۵	۱۳۸۰	-۴۸۰	۲۷۶	۶۰	۳۱					D3357
						۱۳۸		۲۷۶								افزایش طول
																4
																(%)
				۶۲	۴۰		۷۵		۵۰		۷۳					D3574
																ارتجاع پذیری
																(%)
				۲/۴	۴/۴				۲۶	۱۰/۵						D3574
																استحکام برشی
																(N/m) × 10 ²
																[
۲۶۰	۳۵۰					۱۲۱	۱۳۵	۷۹-۹۳	۸۲	۸۲		۷۰	۷۰	۷۰		حد اکثر دمای
																کارکرد
																(°C)
۱۰۸۶	۱۰۷۸	۱۰۴۰	۱۰۳			۱۰۳۹	۰/۰۳۹	۰/۰۴۰	۰/۰۴۹	۰/۰۵۳	۱۰۵۰	۰/۰۳۰	۱۰۴۳	۱۰۳۶		C177
																ضریب هدایت
																گرمایی
								۰/۰۳۶	۰/۰۴۰							[W/(m.K)]

منبع: Suh & Webb

^a برای تبدیل kg/m^3 به lb/ft^3 ، مقدار را در $۰/۰۶۲۴$ ضرب کنید.

^b برای تبدیل kPa به psi ، مقدار را در $۰/۱۴۵$ ضرب کنید.

^c برای تبدیل kJ/(kg.K) به Btu/(lb.°F) مقدار را بر $۴/۱۸۴$ تقسیم کنید.

یازدهمین کنگره ملی سراسری
فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senacnf.ir

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

ضریب هدایت گرمایی اکثر مواد با دما کاهش می‌یابد. زمانی که ساختار فوم و ترکیب گاز تحت تأثیر دما قرار نمی‌گیرند، مقدار k مواد سلولی با کاهش دما، کم می‌شود. در جریان فرسایش تحت شرایط محیطی، در صورتی که فرسایش بر ترکیب گاز اثر بگذارد، ضریب هدایت گرمایی یک پلی‌مر سلولی می‌تواند تغییر کند. این در شرایطی رخ می‌دهد که اکسیژن یا نیتروژن به درون اسفنج‌های سلولی که ابتدائاً در سلول‌های خود عامل پف‌زای فلوروکربنی عایق دارند، انتشار یابد [۸]. ضریب هدایت گرمایی پلاستیک‌های اسفنجی با ضخامت تغییر می‌کند [۹]. این مسئله به اثرات مرزی سهم تابش در انتقال گرما نسبت داده شده است. گرمای ویژه یک پلی‌مر سلولی، مجموع گرماهای ویژه هر یک از مؤلفه‌های آن می‌باشد. سهم گاز اغلب کوچک است و می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد.

به دلیل اینکه حالت پلی‌مر، طبیعت مایع ابرسرد دارد، در دماهای محیطی ضرایب انبساط حرارتی خطی در پلی‌مرها بالاتر از مقادیر متناظر در مواد سخت‌تر است. این ضریب بزرگ به طور مستقیم به وضعیت سلولی تعمیم داده می‌شود. تغییر این ویژگی با چگالی و دما در مورد کل فوم‌ها گزارش شده است [۱۰].

مقاومت به رطوبت: فوم‌های پلاستیکی هنگامی که در معرض رطوبت قرار می‌گیرند، به ویژه زمانی که در معرض ترکیبی از شیب دما و رطوبت باشند، بهتر از سایر مواد عایق حرارتی عمل می‌کنند.

جذب رطوبت و مقاومت به انجماد-ذوب در عایق‌های مختلف، و اثر رطوبت روی کارکرد حرارتی نشان می‌دهند که در کاربردهای سقف‌سازی با پوشش‌های محافظ، ترتیب میزان مقاومت در برابر جذب رطوبت عبارتست از: پلی‌استیرن گاما پلی‌یورتان اکستروود شده < پلی‌استیرن قالب‌گیری شده [۱۱]. مقادیر جذب آب برای عایق‌هایی که ۵ سال در حال استفاده بودند به این شکل بود: برای پلی‌استیرن اکستروود شده ۰/۲ درصد حجمی؛ برای پلی‌یورتان بدون پوسته ۵ درصد حجمی، و برای پلی‌استیرن قالب‌گیری شده ۳۰-۸ درصد حجمی. این مقادیر با افزایش ۲۶۵-۵ درصدی k مطابقت پیدا می‌کند. برای کاربردهای زیر سطح زمین، پلی‌استیرن اکستروود شده از نظر مقاومت به رطوبت و حرارت، بهتر از پلی‌استیرن یا پلی‌یورتان قالب‌گیری شده و بدون پوسته است.

خواص الکتریکی: عایق‌سازی الکتریکی از مزیت چقرمگی و مقاومت رطوبتی پلی‌مرها در کنار ضریب دی‌الکتریک و ضریب تلفات عایقی کمتر فوم‌ها بهره می‌برد. علاوه بر این، به دلیل کاهش ضریب تلفات عایقی و صلبیت، از پلاستیک‌های فوم برای ساخت کلاهک‌های رادار استفاده می‌شود.

فرسایش محیطی^۳: واکنش مواد سلولی به نور و اکسیژن تقریباً به طور کامل تحت تأثیر ترکیب و وضعیت فاز پلی‌مر است. انبساط سلول موجب افزایش مساحت سطح می‌شود؛ به همین نسبت، واکنش‌های فوم با بخارات و مایعات سریع‌تر از دیگر پلی‌مرهای جامد است. تمام پلی‌مرهای سلولی در نتیجه تأثیر ترکیبی نور یا حرارت با اکسیژن رو به زوال می‌روند؛ این حالت را می‌توان با استفاده از افزودنی‌هایی تخفیف داد.

سایر خصوصیات: پلی‌مرهای سلولی به خودی خود موادی ضعیف برای کاهش انتقال صوت هستند. با این حال، این مواد در جذب امواج صوتی با فرکانس‌های خاصی مؤثر هستند. مخصوصاً موادی که در سطح خود دارای سلول‌های باز هستند، برای این منظور مفیدند. وجود سلول‌های باز در فوم یا اسفنج، اجازه نفوذ گازها و بخارات را از طریق انتشار و همرفت به درون سلول می‌دهد، و در نتیجه نرخ تراوایی

³ - Environmental aging

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

بالایی به دست می‌آید. در فوم‌های دارای سلول بسته، نفوذ گازها یا بخارات تابع ترکیب فاز پلی‌مر، ترکیب گاز، چگالی، و ساختار سلولی می‌باشد. ثابت شده است که نفوذ نور مرئی درون پلی‌استیرن اسفنجی تقریباً تابع قانون جذب نور Beer-Lambert است [۱۰]. مقاومت به پوسیدگی، کپک و قارچ‌ها به جذب رطوبت بستگی دارد. از این رو، اسفنج‌های دارای سلول باز، در مقایسه با اسفنج‌های دارای سلول بسته، رشد بیشتر این عوامل را تحریک می‌کنند.

فرآیند تولید

پلاستیک‌ها و پلی‌مرهای سلولی توسط فرآیندهایی تهیه شده‌اند که متضمن روش‌های متعدد آغازش، بزرگ شدن، و پایدارسازی سلول است. به نظر می‌رسد که راحت‌ترین روش برای طبقه‌بندی این روش‌ها، روش مبتنی بر رشد و پایدارسازی سلول‌هاست. طبق معادله ۱، بزرگ شدن سلول به اختلاف فشار بین درون سلول و محیط پیرامون بستگی دارد. چنین اختلاف فشاری ممکن است در اثر کاهش فشار خارجی، یعنی وافشارش^۴؛ یا کاهش فشار درون سلول‌ها، یعنی ایجاد فشار، تولید شود. سایر روش‌های به وجود آوردن ساختار سلولی عبارتند از: پراکنده کردن گاز یا جامد در وضعیت سیال و تثبیت این وضعیت سلولی، یا کلوخه‌سازی ذرات پلی‌مر در ساختاری که دربردارنده یک فاز گازی باشد (رجوع کنید به جدول ۳).

جدول ۳- تولید پلی‌مرهای سلولی

پلی‌مر	اکستروز	فرمولاسیو	افشاند	فوم	قالب‌گیر	قالب‌گیر	کلوخه‌ساز	عصاره‌گیر
	ن	ن	ن	اسفنج	ی	ی	ی	ی
استات سلولز	×							×
رزین اپوکسی		×	×	×				
رزین فنولیک		×						
پلی‌اتیلن	×	×			×	×	×	×
پلی‌استیرن	×	×				×	×	×
سیلیکون‌ها		×						
رزین اوره					×			
فرمالدئید								
پلی‌مرهای یورتان		×	×	×		×		
لاتکس کائوچو				×				
کائوچو (لاستیک)	×	×			×			

⁴ - Decompression

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

								طبیعی
			×		×	×		الاستومرهای
								مصنوعی
	×		×	×	×	×		پلی وینیل کلراید
		×						ابونیت
		×						پلی تترافلورواتیل
								ن

ترکیبات اسفنج‌شدنی که در آن‌ها فشار درون سلول‌ها نسبت به فشار پیرامونی افزایش یافته است، فرمولاسیون‌های پفکی نامیده می‌شوند. از فرآیندهای شیمیایی و نیز فیزیکی برای پایدارسازی فوم‌های پلاستیکی در فرمولاسیون‌های پفکی استفاده می‌شود. برای گروهی از پلاستیک‌های سلولی که با فرآیندهای وافشارش تولید می‌شوند، هیچ نام بخصوصی وجود ندارد. عملیات مورد استفاده شامل اکستروژن، قالب‌گیری تزریقی، و قالب‌گیری پرسی می‌باشند. روش‌های فیزیکی یا شیمیایی را می‌توان برای پایدارسازی این فرآورده‌ها به کار برد.

فرمولاسیون‌های پفکی

پایدارسازی فیزیکی. پلی‌استیرن سلولی، پلی‌وینیل کلراید (PVC)، پلی‌اتیلن، و کوپلی‌مرهای استایرن و آکریلونیتریل را می‌توان با این فرآیند ساخت.

پایدارسازی شیمیایی. این روش به طور موفقیت‌آمیزی برای تعداد بیشتری ماده در مقایسه با فرآیند تثبیت فیزیکی به کار برده شده است. به دلیل واکنش‌های پخت سریع اما قابل کنترل، روش شیمیایی معمولاً بیشتر برای پلی‌مرهای تراکمی مناسب است تا برای پلی‌مرهای وینیلی. پایدارسازی شیمیایی را می‌توان برای تشکیل فوم از رزین‌های پلی‌یورتان، پلی‌ایزوسیانات، فنولی، اپوکسی، و سیلیکونی استفاده کرد.

فرآیندهای انبساط وافشارشی^۵

پایدارسازی فیزیکی. پلی‌استیرن سلولی، استات سلولز، پلی‌اولفین‌ها و پلی‌وینیل کلراید را می‌توان با این فرآیند تولید کرد.

پایدارسازی شیمیایی. کائوچوی سلولی و ابونیت توسط فرآیندهای پایدارسازی شیمیایی ساخته می‌شوند.

انتشار. در تکنیک‌های متعددی برای تولید پلی‌مرهای سلولی، سلول‌هایی گازی با استفاده از انتشار یک گاز یا جامد در فاز پلی‌مر و سپس در صورت لزوم، پایدارسازی و تیمار ماده انتشار یافته به وجود می‌آیند. در کف‌زایی، مقداری گاز به صورت مکانیکی در فاز سیال پلی‌مری انتشار می‌یابد و تثبیت می‌شود. کائوچوی اسفنجی لاتکس، نخستین پلی‌مر

جدول ۴- بازار پلی‌مر سلولی در ایالات متحده (میلیون پوند)

اسفنج	۱۹۹۰	۱۹۹۲	۱۹۹۳	۱۹۹۸	رشد سالانه
-------	------	------	------	------	------------

⁵ - Decompression expansion processes

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

۱۹۹۳-۱۹۹۸					
۴/۳	۳۵۰۹	۲۸۴۸	۲۷۵۲	۲۶۸۱	پلی یورتان
۲/۸	۱۶۲۴	۱۴۱۶	۱۳۶۶	۱۴۱۷	پلی استیرن
۲/۵	۳۹۵	۳۵۰	۳۴۰	۳۲۰	PVC
۴/۲	۱۳۵	۱۱۰	۱۰۵	۱۰۰	پلی اولفین ها
۲/۷	۸۰	۷۰	۶۷	۶۲	سایر
۳/۷	۵۷۴۳	۴۷۹۴	۴۶۳۰	۴۵۸۰	کل

سلولی تولیدشده با روش کفزایی بود. در روشی دیگر، ذرات جامد در یک فاز سیال پلی مری انتشار می یابند و محلول انتشار یافته حاصل تثبیت می شود، و فاز جامد حل یا آبشویی می شود، در نتیجه پلی مر سلولی بر جای می ماند. پلی مرهای سلولی، موسوم به اسفنج های مصنوعی، با انتشار یک فاز جامد سلولی پیشتر آماده شده در پلی مر سیال و تثبیت انتشار ساخته می شوند.

کاربردها

نگرانی در مورد حفظ انرژی و ایمنی موجب رشد کاربرد عایق ها و بالشتک های ضربه گیر در حمل و نقل شده است. همچنین از یک اقتصاد سالم انتظار می رود که تقاضا برای استفاده از ضربه گیرها در میلمان، سرویس خواب، و کف پوش ها و نیز برای بسته بندی در آن افزایش یابد. اسفنج های ساختمانی به طور گسترده به عنوان جایگزین چوب، فلز یا پلاستیک های غیر اسفنجی مورد استفاده واقع می شوند. جدول ۴ تقاضا برای پلاستیک های اسفنجی را در ایالات متحده آمریکا نشان می دهد.

ضربه گیری. خواص مهم پلی مرهای سلولی در کاربردهای ضربه گیری عبارتند از: رفتار تراکمی-خمشی، حالت ارتجاعی، مانایی فشار، استحکام کششی و ازدیاد طول، و فرسایش مکانیکی و محیطی. طیف گسترده رفتارهای تراکمی یک اسفنج انعطاف پذیر، یکی از مزایای پلی مرهای سلولی است، زیرا تقریباً اقتضائات هر نوع کاربرد ضربه گیر را می توان با تغییر ماهیت شیمیایی یا ساختمان فیزیکی اسفنج برآورده ساخت. یورتان های انعطاف پذیر، وینیل ها، کائوچوی اسفنجی لاتکس، و اولفین ها برای ساخت ضربه گیرهای پلاستیک اسفنجی برای بالشتک گذاری در اتومبیل ها، صندلی ها، میلمان، کف پوش، تشک خواب، و بالش مورد استفاده قرار می گیرند.

عایق حرارتی. عایق کاری حرارتی بزرگترین کاربرد مواد سخت است و دلیل آن ضریب هدایت گرمایی، سهولت استفاده، هزینه، جذب رطوبت، و تراوایی/رسانایی به مواد عبوری در این مواد است. فوم های پلاستیکی که حاوی یک ماده پفزای در بند باشند، ضریب هدایت گرمایی بسیار کمتری نسبت به سایر مواد عایق کننده دارند. اسفنج های پلی یورتان دارای ضریب هدایت گرمایی پایین در یخچال ها و فریزرها استفاده می شوند. اسفنج پلی استیرن در جایی رایج است که هزینه و مقاومت به رطوبت مهم باشند، و اسفنج های پلی یورتان در کاربردهای افشانه ای به کار می روند.

فوم پلی استیرن اکستروژده در ساختمان های مسکونی به عنوان روکش چوب ها، دوره کاری، و عایق پی ساختمان یافت می شود. هم فوم های پلی استیرن ی و هم فوم های پلی یورتانی برای عایق های سقفی بسیار مناسب هستند.

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

بسته بندی. تمامی پلی مرهای سلولی، از انواع سخت گرفته تا انواع انعطاف پذیر، به خاطر هزینه کم، سهولت استفاده یا ساخت، حساسیت به رطوبت، ضریب هدایت گرمایی، تأثیر روی مصرف کننده، و خواص مکانیکی، به ویژه خواص تراکمی، برای بسته بندی استفاده می شوند.

ورق اسفنجی پلی استیرنی اکستروژن شده. یک ورق اسفنجی پلی استیرن از ترکیب یک رزین پلی استیرن، عوامل کفزا، عوامل هسته ساز و رنگدانه ها طی یک فرآیند اکستروژن ساخته می شود [۱۲، ۱۳]. ورق فوم پلی استیرن ی به شکل های متعددی مصرف می شود و مشخصه معمول آن، استحکام آن و چگالی کم (عموماً ۲-۱۲ پوند بر فوت مکعب یا ۱۹۰-۳۲ کیلوگرم بر متر مکعب) می باشد. فرآورده های ورقه ای معمولاً ۰/۱۵-۰/۱۵ اینچ ضخامت دارند.

کاربردهای اصلی ورق های اسفنجی، استفاده های یکبار مصرف نظیر لیوان ها و بسته های صدفی شکل پیش ساخته^۶، بشقاب ها، کاسه ها، جعبه های/شانه های تخم مرغ، و سینی های گوشت قرمز و گوشت مرغ می باشند. اخیراً رشدی در عرضه و تقاضای مصارف ورق اسفنجی پلی استیرن برای پانل های هنری^۷، جعبه های عایق بندی شده، و بسته بندی بطری ها رخ داده است. در مورد کاربردهایی که نیازمند سختی یا مدول بیشتر هستند، فیلم های یا کاغذ را باید با فوم لامینه داد. ورق فوم را می توان با برش قالبی و شکاف دهی، و همچنین با شکل دهی حرارتی برای ایجاد شکل و خمش در فوم، ساخت و پرداخت کرد.

به طور معمول، در پردازش ورق اسفنجی از یک حدیله حلقوی در تولید ورق های نازک استفاده می شود. سیستم های تک مارپیچ، مارپیچ دوقلو، تک مارپیچ با سیلندر طویل، و اکستروژر دو پشته را می توان به کار گرفت که نوع آخر از بقیه متداول تر است.

بیدبورد پلی استیرنی پفکی^۸. بیدبورد پلی استیرنی پفکی (EPS) با مهره های پلی استیرن قابل انبساط تولید می شود. این مهره ها طی پلی مریزاسیون سوسپانسیون با پنتان ۵-۸ درصد و گاهی با بازدارنده های اشتعال آغشته می شوند. سازندگان، مهره ها را با بخار یا خلأ پیش انبساط می دهند. آنگاه مهره ها به درون قالب های بلوکی گرم شده با بخار ریخته می شوند و در آنجا انبساط و گداز آمیختگی ادامه می یابد. بلوک های قالب گیری شده پس از پخت، برش زده می شوند. چگالی این بلوک ها در دامنه ۱۳ تا ۴۸ کیلوگرم بر متر مکعب بوده، چگالی های ۲۴ کیلوگرم بر متر مکعب بیشتر برای بسته بندی بالشتکی و چگالی های ۱۶ کیلوگرم بر متر مکعب برای عایق کاری متداولند. فرآورده های حاصل از قالب گیری مهره های پلی استیرن پفکی، عمده ترین بخش بازار لیوان های نوشیدنی را به خود اختصاص می دهند و در مواد بسته بندی، پانل های عایق، و صندوق های یخدان استفاده می شوند.

بسته بندی با بالشتک های انباشته آزاد پلی استیرنی اکستروژن شده^۹. ذرات بسته بندی بالشتکی به صورت انباشت آزاد^{۱۰} در موارد بسته بندی پرکننده فضاهای باز به کار برده می شوند. ذرات اسفنجی، حمایت و ضربه گیری را برای کالاهای سبک وزن و غالباً شکننده فراهم می کنند. این ذرات اسفنجی معمولاً ارتجاع پذیرند و چگالی کمی دارند (چگالی ظاهری کمتر از ۰/۳۰ پوند بر فوت مکعب یا ۴/۸ کیلوگرم بر متر مکعب) و می توانند چندین بار مورد استفاده قرار بگیرند. ذرات بالشتکی انباشت آزاد از جنس پلی استیرن را می توان بازیافت کرد. رشد این بازار تحت تأثیر ابداع فرآورده های اکستروژنی بر پایه نشاسته قرار گرفته است.

6 - Clam shells

7 - art boards

8 - Expanded Polystyrene Beadboard

9 - Extruded Polystyrene Loose-Fill Packaging

10 - Loose -fill packaging

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

مهره‌های پلی‌استیرنی پفکی مورد استفاده برای بسته‌بندی انباشت آزاد از طریق فرآیند اکستروژن تولید می‌شوند. پلی‌استیرن بکر و بازیافتی همراه با مواد هسته‌ساز و افزودنی‌ها به اکسترودر خوراند می‌شوند و مواد کفزا معمولاً در پایین دست (در مراحل بعدی) وارد فرآیند اکستروژن می‌شوند. مواد پفزای مورد استفاده از کلروفلوروکربن‌ها (CFCs) به هیدروکلروفلوروکربن‌ها (HCFCs) و سپس به هیدروکربن‌ها یا مخلوط هیدروکربن با دی‌اکسید کربن ارتقا یافته‌اند. در برخی از فرآیندهای اکستروژن می‌توان از مهره‌های پفکی به عنوان ماده خام (همراه با عامل پفزای پنتان یا ایزوپنتان) استفاده کرد.

ذرات انباشت آزاد از طریق فرایند اسفنج-در-حدیده^{۱۱} یا فرایند مهره پفکی تولید می‌شوند. در فرآیند اسفنج-در-حدیده، به ژل مذاب اجازه داده می‌شود که تا چگالی حدود ۲-۱ پوند بر فوت مکعب اسفنجی شود. سپس این اسفنج در سطح قالب یا در پایین دست و پس از قدری خنک شدن برش می‌خورد. کاهش چگالی بعدی توسط تیمار بخار انجام می‌شود که پس از آن رسیدن^{۱۲} رخ می‌دهد. اسفنج ممکن است تا ۳-۲ بار بخار ببیند و رسیده شود تا چگالی آن به ۰/۲۵ پوند بر فوت مکعب برسد.

فرایند مهره‌های پفکی یک ذره غیراسفنجی تولید می‌کند که عامل پفزا را درون مهره جای داده است. مهره‌های پفکی در یک سایت مرکزی اکستروژن تولید و سپس به محل انبساط‌دهنده‌ها منتقل می‌شوند. به دلیل طبیعت سبک فرآورده نهایی، تجهیزات انبساط‌دهی واقع در محل مورد نیاز هستند. نظیر آنچه در مورد فرایند فوم در حدیده انجام شد، مهره‌های پفکی در معرض بخار قرار می‌گیرند، اما نیازمند یک مرحله انبساطی بیشتر هستند.

تخته و ورق اسفنجی پلی‌اولفین. اسفنج‌های پلی‌اولفین، فوم‌هایی با سلول بسته هستند که چقرمه، انعطاف‌پذیر و ارتجاع‌پذیر هستند و در مصارفی نظیر ضربه‌گیری، شناورسازی، لفافه‌بندی مبلمان، ورزش‌های آبی، حفاظت سطوح، و بسیاری کاربردهای دیگر استفاده می‌شوند. خصوصیات جذب انرژی در اسفنج‌های پلی‌اولفین، آن‌ها را به گزینه‌هایی عالی برای کار در مصارف ضربه‌گیری مبدل کرده است. اسفنج‌های پلی‌اتیلنی و پلی‌پروپیلنی محصولاتی با چگالی کم (عموماً کمتر از ۱۰ پوند بر فوت مکعب ای ۱۶۰ کیلوگرم بر متر مکعب) هستند که توسط فرآیند اکستروژن تولید می‌شوند. این اسفنج‌ها به اشکال متعددی مثل تخته یا قطعه الوار شکل، ورق، صفحات مدور، و رشته‌های چندلا تولید می‌شوند و می‌توانند با فرمول‌های دارای اتصالات عرضی یا بدون اتصالات عرضی ساخته شوند.

اسفنج‌های پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن معمولاً از ترکیبی از رزین‌های بکر و بازیافتی، مواد پفزا، مواد هسته‌ساز، و افزودنی‌های دیگری همچون مواد رنگی، مواد ضد الکتریسیته ساکن و بازدارنده‌های اشتعال ساخته می‌شوند. هم پلی‌اتیلن و هم پلی‌پروپیلن را می‌توان به فرآورده‌های نوع ورقه‌ای با ضخامت معمول ۰/۶۲۵-۰/۰۶ اینچ (۱۵-۲ میلی‌متر) و عرض تا ۷۲ اینچ (۱۸۰۰ میلی‌متر) تبدیل کرد. به دلیل پایین بودن استحکام ذوب که ویژگی بارز پلی‌پروپیلن است، تنها از پلی‌اتیلن در ساخت فوم‌های دارای مقاطع عرضی بزرگ به ضخامت ۴-۲ اینچ (۱۰۰-۵۰ میلی‌متر) و عرض ۴۸-۲۴ اینچ (۱۲۰۰-۶۰۰ میلی‌متر) استفاده می‌شود. تخته‌های فوم اغلب به شکل‌های خاصی ساخته می‌شوند تا اقتضانات بسته‌بندی لوازم الکترونیکی نظیر رایانه‌ها و نمایشگرهای آن‌ها، و نیازهای حمل و نقلی مورد استفاده در ورزش‌های آبی مثل تخته‌های اسکی بومی، یا نیازهای تفکیک قطعات در وسایل صنعتی چندمنظوره را برآورده کنند.

فوم‌های ورقه‌ای از جنس پلی‌اولفین بدون اتصالات عرضی را می‌توان در خطوط اکستروژن تک‌مارپیچ، دو مارپیچ و مارپیچ دوقلو ساخت که برای اختلاط با مقادیر زیاد ماده کفزا و سپس اکسترودر کردن ژل فوق اشباع از طریق یک حدیله حلقوی، در دمای مناسبی که معمولاً بسیار نزدیک به نقطه ذوب کریستالی است، طراحی گردیده است. شکل ۱ نشان‌دهنده رابطه تئوریک بین مقدار ماده پفزا و

¹¹ - Foam-at-the-die process

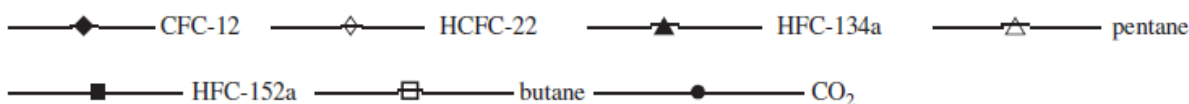
¹² - Aging

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

چگالی مورد انتظار برای فیلم می باشد. برای تولید فیلمی با چگالی تقریبی ۲ پوند بر فوت مکعب (۳۲ کیلوگرم بر متر مکعب) سیستم اکستروژن، بسته به نوع ماده پفزای انتخابی، باید بتواند ۱۶-۶ پوند ماده پفزا را با هر ۱۰۰ پوند رزین مخلوط کند. فشار ژل در حدیده نیز بسیار حائز اهمیت است. اگر فشار نیز بسیار کم باشد، آنگاه ماده کفزا شروع به خروج از محصول خواهد کرد و اجازه خواهد داد که ژل مذاب قبل از خروج از لبه های حدیده، شروع به کفزایی و اسفنجی شدن کند. در صورتی که این امر رخ دهد، در هم ریختگی شدید سطح پوسته رخ خواهد داد و اسفنجی با کیفیت بد تولید خواهد شد. مواد پفزا به درون ژل رزینی مذاب در پایین دست قیف تغذیه تزریق می شوند. مکان دقیق تزریق مزبور به نوع تجهیزات مورد استفاده بستگی خواهد داشت. برای اکستروژن کردن فرآورده های ورقه ای که بسیار پهن و بسیار نازک هستند، یک حدیده حلقوی و مرغک شکل دهی به کار برده می شود. اندازه مناسب مرغک شکل دهی به لوله اکستروژن شده اجازه می دهد تا هم به طور شعاعی و هم همزمان در پایین دست کشیده شود، و مرغک راهکاری برای خنک کردن سطح داخلی لوله اسفنجی فراهم می سازد. سپس لوله خنک شده در یک یا دو محل شکاف داده می شود و در ادامه به صورت رول پیچیده می شوند. اکستروژن تخته^{۱۳} معمولاً از طریق یک حدیده چهارگوشه تر به سوی یک تسمه نقاله یا ابزار دیگری برای دور کردن فوم از حدیده صورت می گیرد. اکستروژن تخته، به خاطر دهانه بزرگتر حدیده و نیاز به فشار کافی برای جلوگیری از پیش کفزایی، معمولاً سرعت بیشتری نسبت به اکستروژن ورق دارد.



شکل ۱- اثر غلظت ماده پفزا روی چگالی اسفنج فرضی.

در ساخت اسفنج پلی اولفین معمولاً از مواد فیزیکی استفاده می شود که موادی هستند که در دمای کفزایی (معمولاً در دمای ذوب رزین) به صورت گاز هستند. مواد پفزای شیمیایی به ندرت در مصارف بدون اتصالات عرضی استفاده می شوند. در حال حاضر، مواد کفزایی که برای اکستروژن اسفنج پلی اولفینی استفاده می شوند، معمولاً هیدروکربن ها [۱۴] یا آمیخته ای از هیدروکربن و دی اکسید کربن هستند. تا قبل از توافقنامه های پروتکل مونترال، CFC-114 اصلی ترین ماده کفزای مورد استفاده در اسفنج های پلی اولفین بود. CFC-114 به دلیل میزان حلالیت و تراوایی اش یک ماده کفزای بسیار فوق العاده است. نقطه قوت دیگر آن ویژگی غیرقابل اشتعال بودنش است. پس از سال ۱۹۹۱ با توافقنامه مونترال، کاربرد CFCs در مصارف غیرعایق ممنوع شد. فهرست جایگزین های CFC-114 برای مواد کفزا طولانی نبود. هیدروکربن ها (پروپان، بوتان و ایزوبوتان)، HCFCs (22, 142b)، HFCs (134a, 152a)، و دی اکسید کربن در نظر گرفته شدند. اغلب گزینه های جایگزین متضمن افزایش اشتعال پذیری و افزایش هزینه برای عملیات تولید بودند. کاربرد دی اکسید کربن از نظر هزینه، اشتعال پذیری و ایمنی زیست محیطی جالب است، اما کیفیت پردازش، جایگزینی کامل را دشوار می کند. به خاطر فشار زیاد بخار در این گاز فیزیکی، حفظ خواص مناسب محلول رزین و ماده پفزا در حدیده بسیار سخت است. قانون هوای پاک در سال ۱۹۹۰ (CAA) از زمان تصویب منجر به کاهش بیشتر جایگزین های ماده پفزا شده است. قانون CAA مصرف HCFCs را منع کرده است و تنها هیدروکربن ها و آمیخته های آن ها، HFCs [۱۵] و دی اکسید کربن یا آمیخته های مربوطه را آزاد گذاشته است.

13 - Plank extrusion

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

اسفنج‌های دارای اتصالات عرضی، ثابت حرارتی بالاتر، انعطاف‌پذیری بیشتر، اندازه سلول کوچک‌تر، و شکل‌دهی حرارتی بهتری در مقایسه با اسفنج‌های بدون اتصالات عرضی نشان می‌دهند. اتصالات عرضی رزین اولفین به صورت ایجاد اتصال عرضی با مواد شیمیایی (از قبیل دی‌کومیل پراکسید یا سیلان‌ها) یا اتصال عرضی با تابش اشعه X یا قرارگیری در معرض پرتوهای الکترونی انجام می‌شود [۷]. به طور معمول، رزین پلی‌اتیلن، افزودنی‌ها، مواد ایجادکننده اتصال عرضی، و مواد شیمیایی پفزا (نظیر آزودی‌کربن‌آمید) در دماهای زیر دمای برانگیختگی (فعال‌سازی) مواد پفزا با هم مخلوط می‌شوند، و سپس، پیش از آنکه به صورت یک فرآورده اسفنجی انبساط یابند، به صورت یک ورق تخت که می‌تواند رول شود یا به شکل پروفیل‌های دیگر اکستروود می‌شوند. اتصال عرضی قبل از مرحله انبساط اسفنج رخ می‌دهد. انبساط توسط قرارگیری ورق دارای اتصال عرضی در معرض هوای داغ (حدود ۲۰۰ °C) انجام می‌شود. به طور کلی، در تولید محصولات ضخیم از ایجاد اتصال عرضی به صورت شیمیایی استفاده می‌شود، در حالی که برای اسفنج‌های نازک‌تر برای ایجاد اتصال عرضی از شیوه تابشی بهره گرفته می‌شود.

ضرایب سلامتی و ایمنی

اشتعال‌پذیری. فوم‌های پلاستیکی موادی آلی و بنابراین قابل احتراق هستند. جابجایی، حمل و نقل، و مصرف تمامی فوم‌های پلاستیکی بایستی بر اساس توصیه‌های سازندگان و قوانین محلی و ملی صورت بگیرد.

در واقع، همه فوم‌های پلاستیکی با گازهای خنثی، مواد شیمیایی پفزایی که گاز خنثی آزاد می‌کنند، هیدروکربن‌های دارای سه تا پنج اتم کربن، هیدروکربن‌های کلره و هیدروکلروفلوروکربن‌هایی مثل HCFC-22، HCFC-141b، و HCFC-142b دمیده می‌شوند.

گسیلش‌های اتمسفری. برخی مواد آلی به صورت فوتوشیمیایی تولید مه‌دود می‌کنند. باید در ترویج مواد پفزای پذیرفته شده از دید زیست‌محیطی، برهم‌کنش با کل محیط را مد نظر قرار داد. فرآورده‌های احتراق فوم‌های پلاستیکی معمولاً مونوکسید کربن و دی‌اکسید کربن، همراه با مقادیر کمتری از مواد دیگر می‌باشند.

حضور افزودنی‌ها یا مونومرهای واکنش‌نیافته در بعضی فوم‌های پلاستیکی می‌تواند کاربرد آن‌ها را در جایی که انتظار تماس با مواد غذایی یا انسان وجود دارد، محدود سازد. باید تابع توصیه‌های سازندگان و قوانین موجود بود.

نتیجه‌گیری

پلاستیک اسفنجی به عنوان پلاستیکی تعریف می‌شود که به دلیل حضور تعداد بیشماری سلول که در سراسر توده آن آرایش یافته‌اند، چگالی ظاهری آن به طور معنی‌داری کاهش یافته است. خواص برخی انواع تجاری پلاستیک‌های اسفنجی انعطاف‌پذیر در این مقاله ذکر شده است. خواص یک پلاستیک اسفنجی به ترکیب و شکل هندسی آن بستگی دارد. پلاستیک‌های اسفنجی را می‌توان به روش‌های مختلف تهیه کرد. رایج‌ترین روش که فرآیند انتشار نام دارد، عبارتست از انتشار یک فاز گازی درون فاز پلی‌مری مایع و حفظ حالت حاصل شده است. نگرانی در مورد حفظ انرژی و ایمنی موجب رشد کاربرد عایق‌ها و بالشتک‌های ضربه‌گیر در حمل و نقل شده است. همچنین از یک اقتصاد سالم انتظار می‌رود که تقاضا برای استفاده از ضربه‌گیرها در مبلمان، سرویس خواب، و کف‌پوش‌ها و نیز برای بسته‌بندی در آن افزایش یابد.

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

منابع

1. H. Kibbel, P-120R, Polymeric Foams, A Huge Sub-Industry, Business Communications Company, Inc., Norwalk, CT, 1994.
2. ASTM D883-80C, Definitions of Terms Relating to Plastics, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, 1982.
3. K. C. Frisch and J. H. Saunders, Plastic Foams, Vol. 1, Parts 1 and 2, Marcel Dekker, New York, 1972 and 1973.
4. C. J. Benning, Plastic Foams, Vol. 1 and 2, Wiley-Interscience, New York, 1969.
5. N. C. Hilyard and co-worker, Mechanics of Cellular Plastics, Macmillan, New York, 1982.
6. D. Klempner and K. C. Frisch, Handbook of Polymeric Foams and Foam Technology, Hanser Publishers, New York, 1991.
7. K. W. Suh and D. D. Webb, Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, Vol. 3, 2nd edition, Wiley, New York, 1985, pp. 1–59.
8. R. E. Skochdopole, Chem. Eng. Prog. 57(10), 55 (1961).
9. B. Y. Lao and R. E. Skochdopole, paper presented at 4th SPI International Cellular Plastics Conference, Montreal, Canada, SPI, New York, Nov. 1976.
10. J. D. Griffin and R. E. Skochdopole, "Plastic Foams," in E. Baer, ed., Engineering Design for Plastics, Reinhold, New York, 1964.
11. F. J. Dechow and K. A. Epstein, ASTM STP 660, Thermal Transmission Measurements of Insulation, ASTM, Philadelphia, PA, 1978, p. 234.
12. U.S. Pat. 5,250,577 (Oct. 5, 1993), G. C. Welsh (to The Dow Chemical Company).
13. U.S. Pat. 5,364,696 (Nov. 15, 1994), P. A. Wagner (to The Dow Chemical Company).
14. U.S. Pat. 4,640,933 (Feb. 3, 1987), C. P. Park (to The Dow Chemical Company).
15. U.S. Pat. 5,411,684 (May 2, 1995), M. H. Tusim and C. P. Park (to The Dow Chemical Company).