مجله علوم و تکنولوژی پلیمر ، سال هجدهم،
شماره ۳، صفحه ۱۵۷-۱۵۱، ۱۳۸۴
ISSN : 1016-3255

اثر فرایندهای پخت همزمان و جداگانه بر خواص ساختارهای ساندویچی فنولی

The Effect of Co-cure and Counter Cure Methods on the Properties of Phenolic Sandwich Structures

محمدحسین بهشتی[1*]، محمدعلی کدخدایان [2]، مهدی وفائیان[1]

۱ ـ تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، پژوهشکده فرایند، گروه کامپوزیت و چسب
صندوق پستی ۱۴۹۶۵/۱۱۵

۲ ـ بابل، دانشگاه علوم و فنون مازندران، گروه مهندسی شیمی، صندوق پستی ۷۳۴

دریافت: ۸۳/۷/۲۹، پذیرش: ۸۴/۱/۲۷

چکیده

ساختار ساندویچی شامل پوسته هایی نازک، سنگین و مستحکم ولی هسته‌ای سبک و تا حدی ضخیم و نسبتاً ضعیف است که بین آنها اتصالی سخت و محکم برقرار است. این ساختارها کاربرد زیادی در صنایع هوا فضا، ساختمان و خودروسازی دارند زیرا از استحکام و سفتی ویژه زیاد وخواص عایق گرمایی و صوتی خوبی برخوردارند. ازآنجا که رزینهای فنولی ارزان و از نظر گرمایی پایدارند، به عنوان زمینه در پوسته وبه شکل اسفنج در هسته استفاده می شوند. در مورد روش ساخت ساختارهای ساندویچی فنولی اطلاعات اندکی در اختیار است، از این رو در این پژوهش، با استفاده از قالبگیری فشاری مبادرت به ساخت آنها به دو روش فرایند همزمان و جداگانه شده است. در فرایند همزمان، هسته و پوسته‌های کامپوزیتی با هم پخت می شوند ولی در فرایند جداگانه ابتدا هسته‌ای با چگالی و ضخامت مشخص تهیه و سپس با پوسته‌ها پخت خواهد شد. از نظر تجربی اثر نوع فرایند روی خواص خمشی ساختارهای ساندویچی در شرایط بهینه بررسی شد.

واژه‌های کلیدی

**ساختار ساندویچی،
اسفنج فنولی - نیتریل، پوسته،
پخت همزمان و جداگانه،
خواص خمشی**

Key Words

**sandwich structure,
phenolic-nitrile foam, skin,
co and counter cure, flexural properties**

مقدمه

ساختار ساندویچی از سه قسمت اصلی تشکیل شده است: دو پوسته نازک، سخت، با استحکام و سنگین، هسته‌ای ضخیم، سبک و نسبتاً ضعیف در میان دو پوسته و لایه نازکی از چسب که هسته را به پوسته‌ها متصل می‌کند [۱]. مهمترین ویژگیهای این نوع ساختار، استحکام زیاد و سفتی خمشی در واحد وزن، خواص عایق گرمایی و صوتی بسیار خوب و نیز استعداد فراوان برای کاهش وزن سازه‌هاست. هر یک از اجزای این ساختارها به تنهایی نسبتاً ضعیف و منعطفند، اما هنگامی که به شکل ساختار ساندویچی درایند، سازه‌هایی محکم، سفت،

* مسئول مکاتبات، پیام نگار: m.beheshty@ippi.ac.ir

سخت و سبک به وجود خواهند آورد. هدف اصلی از ساخت این نوع آرایش، افزایش استحکام و سفتی صفحه‌ای نازک با حداقل افزایش در وزن آن است. این ساختارها بیشتر در مواردی بکار می روند که نیروی اصلی وارد بر سازه از نوع خمشی است [۲،۳].

هسته را می توان به شکلهای مختلف مثلاً انواع اسفنجها و شبکه های لانه زنبوری و از ترکیبات گوناگون تهیه کرد [۷-۴]. در انتخاب نوع هسته معیارهای متفاوتی دخالت دارند که از آن جمله می توان به شناخت کامل اهداف طراحی مانند وزن مطلوب برای سازه، مشخصات فرایند تولید و جنبه های اقتصادی اشاره کرد [۸].

پوسته ساختار ساندویچی را می توان از هر ماده سفت، محکم و نازکی تهیه کرد. اما کامپوزیتهای پلیمری از بقیه متداولترند. لایه چسب که وظیفه آن محکم نگهداشتن و تثبیت پوسته ها روی هسته است، در انواع مختلفی چون چسبهای فنولی، اپوکسی، یورتان، پلی ایمید، فنولی - نیتریل و غیره موجود است اما گاهی هم از لایه چسب استفاده نشده، عمل اتصال درطول مرحله پخت مواد پوسته و هسته انجام می گیرد [۷،۹].

طی پژوهشی برویر و همکارانش [۱۰] صفحات گرمانرم تقویت شده با پارچه، متشکل از ۱۰ لایه پارچه شیشه ای که به روش پیوسته با ماتریس پلی آمید ۱۲ آغشته می شد تهیه کردند. با گرم کردن سطح پوسته ها و هسته ضخیم ۱۳ mm تا کمی بالاتر از دمای ذوب پلی پروپیلن، عمل اتصال به وسیله صفحه‌ای فلزی با شکل مناسب انجام شد. این پژوهشگران روشهای مختلف گرمادهی را موضوع اصلی پژوهش خود قرار دادند و نتیجه گرفتند که رسانش بهترین روش گرم کردن است.

مطالعه روی ساختارهای ساندویچی با هسته لانه زنبوری گرمانرم برای مدل کردن شرایط گرمادهی و چگونگی انتقال گرما و نیز روش تشکیل بلور در لایه سطحی هسته های به شکل توده و اثر آنها بر خواص کششی و خمشی ساندویچ انجام شده است [۱۱،۱۲].

امروزه ساختارهای ساندویچی به عناوین مختلف مورد استفاده قرار می گیرند. از کوپلیمرهای پلی(اتیلن ترفتالات) و پلی(اتیلن گلیکول) که به کمک گلیسیرین، سوربیتول یا فتالیک انیدرید دارای پیوند عرضی در تهیه ساختارهای ساندویچی هوشمند [۱۳] استفاده شده است. ساختارهای ساندویچی سبک با ویژگی مقاومت بسیار زیاد در برابر آتش تهیه شده اند. با محکم کردن پوسته به روش مکانیکی در دو انتهای ساختار، از جدا شدن کامل آن از هسته هنگام آتش سوزی ساختمانها جلوگیری می شود. در این نوع ساختارها افزایش بیش از حد دما تنها موجب انحنا برداشتن پوسته می شود و عمل تخریب کامل ساختار را به دنبال ندارد. این کار خطرات جانی را هنگام آتش سوزی ساختمانها به حداقل می رساند [۱۴].

پاسارو و همکارانش [۱۵] به دو روش تک و دو مرحله ای ساختارهای ساندویچی با پوسته ای متشکل از الیاف شیشه و ماتریس پلی پروپیلن و هسته پلی پروپیلن تهیه کرده اند. خواص مکانیکی پوسته در نمونه های دو مرحله‌ای بهتر از روش تک مرحله‌ای است و قدرت چسبندگی هسته به پوسته در سازه های تک مرحله ای بیشتر، ولی استحکام خمشی نمونه های دو مرحله ای به مراتب بهتر است.

برای ساخت ساختارهای ساندویچی روشهای متعددی از جمله قالبگیری فشاری، روشهای لایه گذاری تر، لایه گذاری پیش آغشته، لایه گذاری به روش پیوسته، پیوند اجزا با چسب، رشته پیچی و بالاخره روشهای قالبگیری مایع شامل قالبگیری انتقال رزین (RTM)، قالبگیری تزریقی واکنش ساختاری (SRIM) و قالبگیری تزریقی در خلأ (VIM) بکار می رود.

در پژوهشی دیگر کدخدایان و همکارش [۱۶] اثر افزایش ضخامت هسته اسفنجی از جنس فنولی - نیتریل بر رفتار خمشی ساختارهای ساندویچی تهیه شده به روش همزمان و مقایسه نتایج تجربی با معادلات نظری را بررسی کردند. در این پژوهش ساختارهای ساندویچی متشکل از پوسته های کامپوزیتی فنولی - آزبست و هسته اسفنجی از جنس فنولی چقرمه با دو روش پخت همزمان و جداگانه و به کمک قالبگیری فشاری تهیه و با اندازه گیری خواص ابعادی و مکانیکی نمونه ها مزایا و معایب هر روش معلوم شد.

تجربی

مواد

در ساخت هسته از رزین فنولی چقرمه با قابلیت اسفنج شدن، تهیه شده در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران استفاده شد. ویژگیها و چگونگی ساخت آن در مقالاتی دیگر منتشر شده است [۱۹-۱۷]. از پارچه بافته شده الیاف آزبست نوع کریزوتایل با چگالی $2/2\ g/cm^3$ و وزن واحد سطح $1100\ g/cm^2$ و با آرایش(۹۰° و ۰) تهیه شده از بازار داخلی و رزین فنولی نوع رزول مایع با گرانروی ۲-۳ Pa.s در ۲۰°C با نام تجاری IL-۸۰۰ محصول شرکت رزیتان، برای تهیه پوسته ها استفاده شد. پخت این رزین بدون استفاده از کاتالیزور اسیدی و در دماهای بالا انجام شد. لازم به یادآوری است که در پخت دمای محیطی این رزینها معمولاً از کاتالیزور اسیدی استفاده می شود. همچنین، در تهیه پیش آغشته ها از حلال استن برای رقیق سازی استفاده شد.

دستگاهها

در این پژوهش، دما نگاشتهای رزین و آمیزه فنولی به کمک دستگاه DSC مدل PL بدست آمد. ضخامت نمونه ها، به کمک کولیس رقمی با دقت ۰/۰۱ mm اندازه گرفته شد. برای قالبگیری قطعات از پرس ۲۵ ton آزمایشگاهی Daverton با حداکثر دمای ۳۰۰°C و نیز قالبی فلزی استفاده شد که متشکل از دو صفحه صاف و یک قاب بود که مواد درون آن قرار می گرفت.

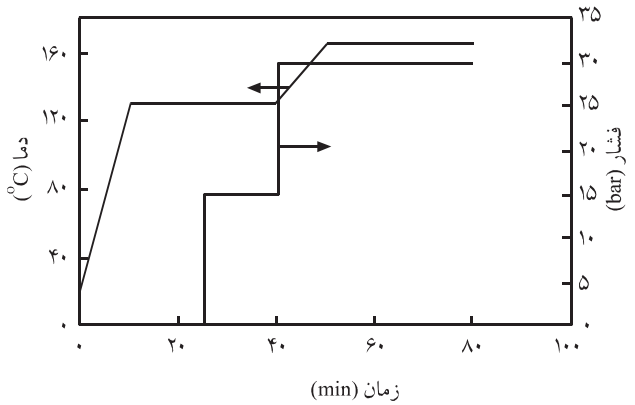
نمونه های آزمایش خمش مطابق استاندارد ASTM C۹۶۵ تهیه و ساختارهای ساندویچی به کمک اره ای با لبه های الماسه بریده شدند و به کمک دستگاه Instron مدل ۶۰۲۵ با حداکثر نیروی ۱۰۰ kN و به روش سه نقطه ای مورد آزمایش قرار گرفتند.

روشها

با آغشته سازی پارچه آزبست به رزین رزول رقیق شده با حلال و پیش پخت آن در دمای ۱۳۰°C به مدت ۱۵ min پیش آغشته های پوسته تهیه شد. نمونه های پوسته، هسته و ساختارهای ساندویچی به روش قالبگیری فشاری مطابق با چرخه پخت نشان داده شده در شکل ۱ پخت شدند. برای اطمینان از کامل شدن واکنشهای پخت، نمونه ها بعد از قالبگیری به مدت ۶۰ min و در دمای ۱۶۰°C در گرمخانه که در آن هوا در جریان بود قرار داده شدند.

روش پخت همزمان

در این روش پوسته های کامپوزیتی و هسته اسفنجی تشکیل دهنده ساختار ساندویچی همزمان و در کنار یکدیگر پخت می شوند. ابتدا پیش آغشته ای داخل قالب قرار داده می شود و روی آن به ترتیب ماده خام اسفنجی و پیش آغشته بعدی قرار می گیرد. مجموعه دو پیش آغشته و اسفنج میان آن دو همزمان پخت می شوند. با توجه به ضخامت پیش



شکل ۱ چرخه پخت نمونه های پوسته، هسته و ساختار ساندویچی.

آغشته ها که در حدود ۲/۲ mm است و با فرض اینکه ضخامت هر پوسته تقریباً ۲ mm باید باشد، ضخامت هسته اسفنجی در حدود ۲ mm براورد شد. در عمل مشاهده شد که این براورد به واقعیت نزدیک است. به این ترتیب مقدار ماده خام اسفنجی پس از توزین، به شکل لایه ای بریده شد و روی پیش آغشته زیرین قرار گرفت تا با قرار گرفتن پیش آغشته روی آنها ضخامت کل از ضخامت قاب بیشتر شود. سپس ورقه های جداکننده و صفحه فلزی قرار داده شد و مجموعه زیر پرس قرار گرفت. برای پخت از چرخه پخت پوسته کامپوزیتی استفاده شد، اما به علت ضخیم تر بودن قطعه ساندویچی و به منظور انتقال گرما در حد مناسب، زمانهای پخت اول و دوم (۱۰ و min ۳۰) به ۲۰ و min ۵۰ افزایش یافتند. پس از پایان چرخه پخت، نمونه ها در داخل گرمخانه که در آن هوا در جریان بود به مدت ۲ h در دمای ۱۶۵°C قرار گرفتند تا از پخت کامل آنها اطمینان حاصل شود. پس از ساخت قطعات، نمونه های آزمون مطابق استاندارد تهیه و آزمون خمش سه نقطه ای روی آنها انجام شد.

روش پخت جداگانه

در این روش هسته اسفنجی با چگالی و ضخامت معین جداگانه تهیه و سپس بین دو پیش آغشته قرار می گیرد. در مرحله پخت تنها پیش آغشته ها پخت می شوند و به این ترتیب اتصال بین هسته و پوسته به وجود می آید.

ابتدا سه هسته اسفنجی با چگالی ۰/۶ g/cm^3 و ابعاد ۱۳۵×۱۱۵×۲ mm^3 تهیه شد. سپس هر هسته اسفنجی بین دو پیش آغشته قرار گرفت و مطابق چرخه پخت پیشنهادی پخت شد و در پایان، پخت بعدی قطعات به مدت ۲ h و در دمای ۱۶۵°C در گرمخانه انجام گرفت. سپس نمونه هایی از آنها تهیه و آزمون خمش سه نقطه ای روی آنها انجام شد.

برای تهیه پوسته های کامپوزیتی با ۲±۵۰ درصد وزنی الیاف به تجربه ثابت شد که باید پیش آغشته هایی با ۶۰-۵۵ درصد وزنی رزین تهیه شود. با اعمال فشار قالب و تکمیل واکنش پخت، پوسته های کامپوزیتی با درصد الیاف دلخواه بدست آمد که البته برای حصول اطمینان کامل، چند نمونه را در کوره در دمای ۶۵۰°C سوزانده، درصد وزنی الیاف آنها معین شد که با مقدار قابل انتظار در توافق بود. بنابراین، تمام ساختارهای ساندویچی مورد استفاده در این پژوهش از پوسته های کامپوزیتی رزول ـ آزبست با ۲±۵۰ درصد وزنی الیاف تهیه شدند. چگالی نظری پوسته کامپوزیتی برابر ۱/۵۵ g/cm^3 بدست آمد که با توجه به وجود حبابهای جزئی غیر قابل اجتناب در پوسته، میزان واقعی باید از این مقدار کمتر باشد. با انجام آزمونهای تعیین چگالی و کسر وزنی الیاف، میزان چگالی تجربی پوسته کامپوزیتی ۱/۵ g/cm^3 معین شد.

جدول ۱ خواص فیزیکی و مکانیکی پوسته و هسته (اعداد داخل پرانتز انحراف معیار مقادیر را نشان می دهند).

اجزا / خواص	پوسته (کامپوزیت آزبست - فنولی)	هسته (اسفنج فنولی چقرمه)
چگالی (g/cm^3)	۱/۵	۰/۶
استحکام کششی (MPa)	۳۶/۸ (۲/۳)	۳/۷ (۰/۱)
مدول کششی (MPa)	۳۹۹۷ (۱۵۵)	۱۱۲ (۷)
حداکثر کرنش کششی (٪)	۱/۰۴ (۰/۰۹)	۷۸/۲۸ (۱/۲۷)
مدول برشی (MPa)	-	۱۵۲/۶ (۱/۸)
استحکام خمشی (MPa)	۸۶/۶ (۴/۸)	-
مدول خمشی (MPa)	۸۳۲۴ (۷۹۸)	-
حداکثر مقدار انحنا (mm)	۱/۷۱۲ (۰/۲۹۶)	-

نتایج و بحث

در بررسی خواص ساختارهای ساندویچی و اثر نوع فرایند ساخت روی آنها شناخت خواص هر یک از اجزا امری ضروریست. بنابراین، نمونه هایی از کامپوزیت فنولی ـ آزبست دارای ۵۰ درصد وزنی الیاف آزبست (پوسته) و فنولی چقرمه اسفنجی (هسته) تهیه و خواص فیزیکی و مکانیکی آنها اندازه گیری شد (جدول ۱).

همان طور که جدول ۱ نشان می دهد استحکام و مدول کششی اسفنج به مراتب کمتر از استحکام و مدول کششی کامپوزیت آزبست ـ فنولی است ولی، انعطاف پذیری آن بیشتر (۷۸ برابر) و وزن آن ۶۰ درصد سبکتر است.

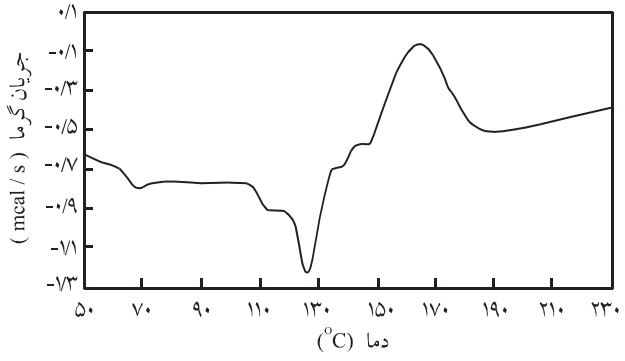
چسبندگی بین لایه ها

چسبندگی بین لایه ای قطعات ساخته شده به شکل کیفی (چشمی) مورد بررسی قرار گرفتند. چسبندگی نمونه های ساخته شده به روش پخت همزمان نسبت به روش جداگانه بیشتر بود، به طوری که در قطعات ساندویچی ساخته شده به روش اول مرز بین لایه ها دقیقاً مشخص نبود و تداخل فاز هسته در لابه لای الیاف پوسته به چشم می خورد. حتی در بعضی از نمونه ها ماده هسته در اثر ذوب و فشار، از لابه لای الیاف بیرون آمده و به سطح پوسته ها رسیده بود که نتیجه آن برقراری اتصالی قوی میان هسته و پوسته ها بود. برای جداکردن پوسته ها از هسته در نمونه های تهیه شده به روش همزمان نیروی زیادی لازم بود به طوری که در بعضی مواقع به جای جدا شدن پوسته از هسته، قطعه ساندویچی می شکست اما هسته از پوسته جدا نمی شد.

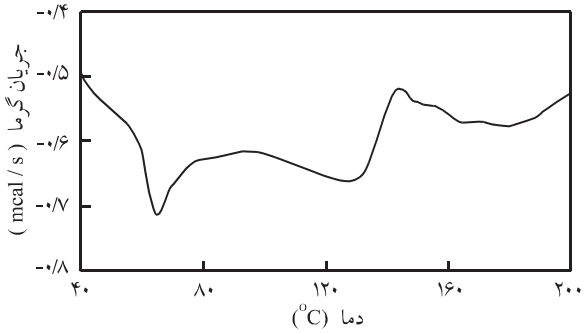
با توجه به نمودارهای DSC رزین رزول و آمیزه اسفنج فنولی چقرمه (شکلهای ۲ و۳) علت چسبندگی قوی میان هسته و پوسته برای نمونه های تهیه شده به روش همزمان بهتر درک خواهد شد. محدوده دمایی ۱۸۰°C - ۱۴۰ در نمودارهای DSC رزین رزول مربوط به واکنش تراکمی گروههای هیدروکسی متیل با موقعیتهای واکنش نداده حلقه فنول و یا واکنش خود تراکمی گروههای هیدروکسی متیل است که پخت رزین و ایجاد پیوندهای عرضی را به همراه دارد. پخت هسته و پوسته در محدوده دمایی ۱۶۰°C-۱۳۵ شروع و تمام می شود. همدما بودن پخت در بخشهای هسته و پوسته سبب خواهد شد بین این دو بخش پیوندهای کووالانسی قوی به وجود آید به طوری که می توان ساختار ساندویچی را سازه ای یک پارچه تلقی کرد. به همین دلیل است که قبل از جدایی پوسته از هسته شکست در توده هسته اتفاق می افتد. در مقابل، چسبندگی بین لایه ای قطعات ساندویچی ساخته شده به روش جداگانه ضعیفتر است، البته با اعمال لایه ای از رزین رزول به دو طرف هسته اسفنجی قبل از قرار دادن آن بین دو پیش آغشته، افزایش در چسبندگی لایه ها چشمگیر بود. با توجه به قدرت چسبندگی بین لایه ها روش پخت همزمان روش مناسبتری تشخیص داده می شود.

خواص خمشی

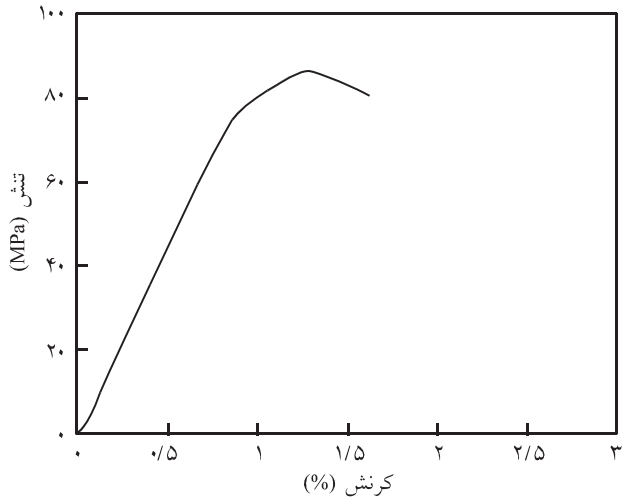
رزین رزول در دما و فشار زیاد پخت می شود به همین دلیل آب حاصل از واکنشهای تراکمی به شکل بخار از سامانه واکنش خارج می شود، بنابراین، افزایش فشار، خروج بخارات آب را تسریع خواهد کرد که در نتیجه آن پخت کاملتر، چگالی پیوندهای عرضی بیشتر و حفره و فضاهای خالی کمتر خواهد شد. بدین ترتیب خواص مکانیکی (خمشی) کامپوزیت بهبود می یابد. همان طور که در جدولهای ۲ و ۳ مشاهده می شود استحکام و مدول خمشی ساختارهای ساخته شده به روش پخت جداگانه بیشتر از روش همزمان است. دلیل آن می تواند پخت یکنواخت تر پوسته ها در روش اول باشد. در روش پخت جداگانه



شکل ۲ دمانگاشت DSC رزین فنولی رزول با سرعت گرمادهی ۱۰°C/min.



شکل ۳ دمانگاشت DSC آمیزه اسفنج فنولی چقرمه با سرعت گرمادهی ۱۰°C/min.



شکل ۴ نمودار تنش - کرنش حاصل از آزمون خمش پوسته کامپوزیتی رزول - آزبست با ۵۰ درصد وزنی الیاف.

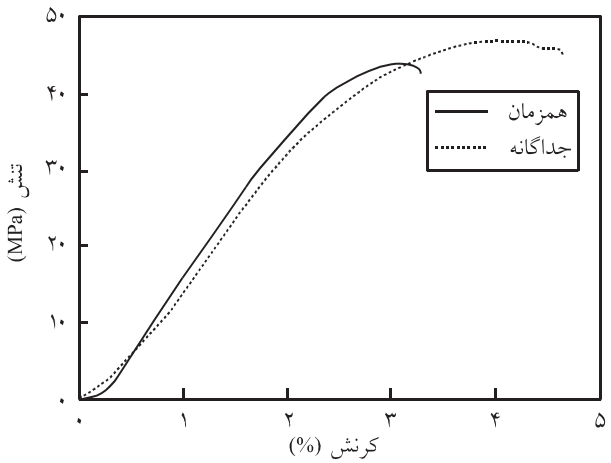
هسته صلب‌تر و فشار اعمال شده به آغشته‌ها بیشتر است و این خود به خروج ماده فرار به وجود آمده در واکنش و کاهش میزان حباب (حفره) در پوسته کامپوزیتی کمک می‌کند. در شکل۴ نمودار تنش - کرنش آزمون خمش برای یکی از نمونه‌های پوسته کامپوزیتی رزول - آزبست با ۵۰ درصد وزنی الیاف نشان داده شده است. مطابق این نمودار، پوسته به مانند جسمی سخت عمل کرده، رفتار آن کشسان خطی است. در شکل ۵ نمودارهای تنش - کرنش نمونه‌های ساندویچی با ضخامت ۶ mm تهیه شده به روشهای همزمان و جداگانه نشان داده شده است. کاملا" مشخص است که روش تهیه نمونه اثر زیادی روی رفتار خمشی

جدول ۲ خواص خمشی ساختارهای ساندویچی پخت شده به روش همزمان.

شماره نمونه	ضخامت تقریبی هسته (mm)	مدول خمشی (MPa)	استحکام کششی (MPa)	حداکثر مقدار خمش (mm)
۱	۱/۸۵	۲۲۵۱	۴۳/۹۷	۱/۰۵۹۰
۲	۱/۸۳	۱۶۵۴	۲۹/۷۳	۰/۹۸۱۷
۳	۱/۸۵	۲۰۹۶	۳۷/۶۰	۰/۹۶۹۴
۴	۱/۹۰	۱۸۰۹	۳۷/۸۵	۱/۴۶۷۰
۵	۱/۹۰	۱۹۴۸	۳۸/۲۰	۱/۳۷۷۰
میانگین	۱/۸۷	۱۹۵۲	۳۷/۴۷	۱/۱۷۰۸
انحراف معیار	۰/۰۳	۲۳۴	۵/۰۷	۰/۲۳۴۰

جدول ۳ خواص خمشی ساختارهای ساندویچی پخت شده به روش جداگانه.

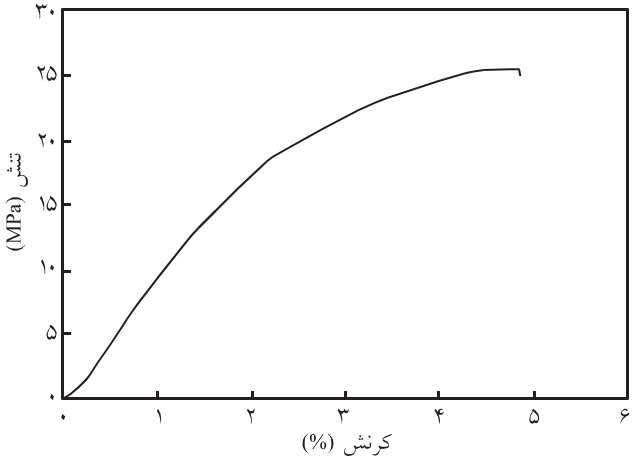
شماره نمونه	ضخامت تقریبی هسته (mm)	مدول خمشی (MPa)	استحکام کششی (MPa)	حداکثر مقدار خمش (mm)
۱	۲/۱۰	۲۴۵۲	۳۷/۳۳	۰/۷۵۰۲
۲	۲/۱۰	۲۱۲۳	۴۶/۹۹	۱/۳۴۵۰
۳	۲/۱۰	۲۰۴۳	۳۹/۵۳	۱/۰۱۰۰
۴	۲/۱۰	۲۰۶۹	۳۴/۵۵	۰/۹۴۷۱
میانگین	۲/۱۰	۲۱۷۲	۳۹/۶	۱/۰۱۳۱
انحراف معیار	-	۱۹۰	۵/۳۳	۰/۲۴۷۴



شکل ۵ نمودار تنش ـ کرنش حاصل از آزمون خمش ساختار ساندویچی ساخته شده به روش همزمان و جداگانه با ضخامت ۶ mm.

بر جای گذاشته است. در نمونه های تهیه شده به روش جداگانه مقدار تنش شکست بیشتر است. با زیاد شدن ضخامت سازه، مقدار استحکام خمشی کاهش می یابد. این موضوع را از مقایسه شکلهای ۵ و ۶ می توان متوجه شد. با زیاد شدن ضخامت هسته رفتار کشسان خطی که در نمونه پوسته و ساختارهای با ضخامت ۶ mm به وضوح دیده می شود به سوی رفتار ویسکوالاستیک خطی پیش می رود که ویژگی ماده سازنده هسته است.

با بررسی سطح زیر نمودار شکلهای ۴ و۵ معلوم شد که میزان انرژی جذب واحد حجم پوسته و نمونه های ساندویچی تقریباً حدود ۱۳۰۰ MPa است. در صورتی که وزن واحد حجم نمونه ها مدنظر قرار گیرد مسلم است که با ساختارهای ساندویچی سبک می توان همان



شکل ۶ نمودار تنش ـ کرنش حاصل از آزمون خمش ساختار ساندویچی ساخته شده به روش همزمان با ضخامت ۱۰ mm.

انرژی جذبی را داشت که با کامپوزیتهای رزول ـ آزبست به دست می آید، با این تفاوت که ساختارهای اخیر سنگین ترند.

بدین ترتیب با توجه به خواص خمشی نمونه ها که از مهمترین ویژگیهای مکانیکی ساختارهای ساندویچی محسوب می شوند، روش پخت جداگانه به روش همزمان ترجیح داده می شود. هرچند که مقایسه خواص خمشی مبنای اصلی برای تعیین روش بهتر است اما عوامل دیگری چون مقدار چسبندگی بین لایه ها، تهیه هسته اسفنجی با چگالی دلخواه، یکنواخت بودن ضخامت لایه ها در سرتاسر قطعه به ویژه در هسته اسفنجی و صاف بودن سطح پوسته ها نیز در انتخاب روش تولید مناسب برای ساختارهای ساندویچی تعیین کننده اند.

دستیابی به چگالی مورد نظر

از آنجا که خواص مکانیکی اسفنج به شدت وابسته به چگالی آن است و با تغییرات اندکی در چگالی، خواص مکانیکی به طور قابل توجهی تغییر می کند، بنابراین، تهیه ساختارهای ساندویچی با چگالی مورد نظر و تکرارپذیری آنها بسیار حائز اهمیت است. در روش پخت جداگانه کنترل و دستیابی به چگالی مورد نظر، دقیقتر و قابل اعتمادتر است، زیرا در این روش هسته اسفنجی به طور مجزا و در یک مرحله جداگانه تهیه می شود و ماده خام کمتر از بین می رود. اما در روش پخت همزمان مشکلاتی مثل خروج ماده خام مذاب از اطراف قطعه، نفوذ مذاب به داخل بافت الیاف و حرکت تا سطح الیاف، عدم کنترل دقیق چگالی را در پی دارند. نتیجه آن که برای امکان دسترسی به چگالی دلخواه که در این پژوهش چگالی $0/6\ g/cm^3$ مد نظر بوده است روش پخت جداگانه به روش همزمان برتری دارد.

یکنواخت بودن ضخامت لایه ها و صافی سطح پوسته ها

در روش همزمان به دلیل وجود بستر نرم و منعطف هسته، فشار وارد بر سطح پوسته ها یکنواخت نیست و سبب می شود پوسته و در نتیجه هسته در نقاط مختلف قطعه ضخامتهای متفاوتی داشته باشند. اما در روش دیگر ضخامت هسته اسفنجی ثابت است و بستر صلبی را برای پیش آغشته ها فراهم می کند که در نتیجه آن فشار و ضخامت لایه ها در سرتاسر سطح پوسته ها یکنواخت خواهد بود (جدولهای ۲ و۳). از سوی دیگرثابت ماندن فشار موجب می شود سطح بیرونی پوسته ها صاف تر شوند بنابراین، روش پخت جداگانه از روش دیگر بهتر است.

نتیجه گیری

از مقایسه خواص فیزیکی و مکانیکی ساختارهای ساندویچی با هسته و

پوسته فنولی که با دو روش همزمان و جداگانه تهیه شده بود معلوم شد که روش جداگانه کاراتر و خواص ساختارهای تهیه شده از آن قابل کنترل‌ترند. در نمونه‌های تهیه شده به روش جداگانه مقدار تنش شکست بیشتر است در ضمن، با افزایش ضخامت سازه استحکام خمشی نیز کاهش می‌یابد. همدما بودن فرایند پخت در بخشهای هسته و پوسته در روش همزمان سبب شد بین این دو بخش پیوندهای کووالانسی قوی به وجود آید به طوری که بتوان ساختار ساندویچی را سازه‌ای یک پارچه تلقی کرد. به همین دلیل قبل از جدایی پوسته از هسته شکست در توده هسته اتفاق افتاد. در مقابل، چسبندگی بین لایه‌ای قطعات ساندویچی ساخته شده به روش جداگانه در مقایسه با روش همزمان ضعیفتر بود، البته با اعمال لایه‌ای از رزین رزول به سطح اسفنج سازه‌های خوبی تهیه شد.

مدول و استحکام خمشی سازه‌های تهیه شده به روش جداگانه بیشتر از روش دیگر بود. این مورد همراه با یکنواخت بودن ضخامت لایه‌ها و صاف بودن سطح پوسته‌ها سبب می‌شود که در تهیه ساختارهای ساندویچی با هسته اسفنجی روش جداگانه مورد نظر باشد.

مراجع

1. Marshall A.C., Core Composite and Sandwich Structures, In: *International Encyclopedia of Composites*, **6**, LEE S.M., (Ed.), VCH, New York, 445-465, 1990.
2. Johnson A.F. and Sims G.D., Mechanical Properties and Design of Sandwich Materials, *Composites*, **17**, 321-328, 1986.
3. Rosato D.V., *Designing with Reinforced Composites: Technology, Performance, Economics,* Hanser, Munich, 240-245, 1997.
4. Richardson T., *Composites, a Design Guide*, Industrial Press, New York, 123-125,1987.
5. SP System *Composites Materials Handbook*, SP System, Isle of Wight, UK, 248-261,1999.
6. Marshall A.C., Core Composite and Sandwich Structures, In: *International Encyclopedia of Composites*, **1**, LEE S.M., (Ed.), VCH, New York, 488-506, 1990.
7. Benning C.J., *Plastic Foams*, **2**, John Wiley, New York, 81-207, 1969.
8. Dohn G. and O'Meara R., How to Select a Core Material, *Reinforced Plast.*, **43**, 22-27, 1999.
9. Skeist I., *Handbook of Adhesives*, 3rd ed., Van Nostrand Reinhold, New York, 316-321, 1977.
10. Breuer U., Ostgate M. and Neitzel M., Manufacturing of all-Thermoplastic Sandwich Systems by a One-step Forming Technique, *Polym. Compos*., **19**, 257-279, 1998.
11. Akremo M. and Astrom B.T., Modling Compression Molding of all Thermoplastic Honeycomb Core Sandwich Components-Part A: Model Development., *Polym. Compos.*, **21**, 245-256, 2000.
12. Kawamoto N., Mori H., Yui N., Nitta K.H. and Terano M., Tensile and Flexural Behavior of Polypropylene Sheets with Different Crystallinities of Surface Layer, *Angew. Makromol. Chem.*, **35**, 201-210, 1997.
13. Chun B.C., Cha S.H., Park C., Chung Y.C., Park M.J. and Cho J.W., Dynamic Mechanical Properties of Sandwich Structured Epoxy Beam Composites Containing Poly (ethylene terephthalate)/Poly (ethylene glycol) Copolymer with Shape Memory Effect, *J. Appl .Polym. Sci.*, **90**, 3141-3149, 2003.
14. Cooke G.M.E., Stability of Lightweight Structural Sandwich Panels Exposed to Fire, *Fire Mater.*, **28**, 299-308, 2004.
15. Passaro A., Corvaglia P., Manni O. and Barone L., Processing-Properties Relationship of Sandwich Panels with Polypropylene Core and Polypropylene Matrix Composite Skins, *Polym. Compos.*, **25**, 307-318, 2004.
16. Kadghodayan M.A. and Beheshty M.H., The Design of Phenolic Resin Sandwich Structures, *Inter. J. Eng. (in Persian),* **13**, 57-67, 2002.
17. Beheshty M.H., Afzali S.K. and Naderi Gh., The Compounding of Phenolic Nitrile Blends: I-Effect of Phenolic Resin, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (in Persian),* **14**, 309-315, 2001.
18. Beheshty M.H., Naderi Gh. and Delbari H., Cure Cycle Optimization of a Phenolic-Nitrile Foam, *Tahghigh, (in Persian),* **12**, 27-33, 2001.
19. Beheshty M.H., Afzali S.K. and Naderi Gh., The Compounding of Phenolic Nitrile Blends: I-Effect of Nitrile Elastomer Type, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (in Persian),* **14**, 317-322, 2001.