

ساخت و تست نمونه آزمایشگاهی لانه زنبوری آلومینیومی برای سازه‌های مرکب ساندویچی

علی مردان شاهی^۱، مجید مختاری^۲

^۱ دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه علم و صنعت، Alimardan72@gmail.com

^۲ تهران، بلوار میرداماد، ساختمان مرکزی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، مرکز تحقیقاتی شهید قندی، m.m1988@yahoo.com

چکیده

هسته‌های لانه زنبوری نقش بسیار مهمی در استحکام و خواص مکانیکی سازه‌های ساندویچی مرکب دارند. با توجه به نیاز روز افزون کشورهای پیشرفته و در حال توسعه به سازه‌های ساندویچی مرکب، استفاده از هسته‌های متنوع نیز به‌طور فزاینده‌ای رو به افزایش است. هسته‌هایی که به‌طور صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند از مواد بسیار متنوعی مانند: ورق‌های نازک آلومینیوم آلیاژی، ورق‌های آرامیدی، فایبر گلاس، فوم‌ها و مانند آن تولید می‌شوند که با فرایندهای متنوعی به لانه زنبوری و هسته‌های توپر تبدیل می‌شوند. در این تحقیق با توجه به محدودیت‌های موجود در ایران، برای رفع نیازهای داخلی صنایع کشور، به بررسی روش‌های مناسب برای ساخت لانه زنبوری‌های آلومینیومی با اندازه سلول پرکاربرد، ساخت و بررسی نتایج تست نمونه ساخته شده، پرداخته شده است. نتایج تست صورت گرفته با نتایج تست‌های استخراج شده برای نمونه‌هایی با ابعاد سلول مشابه از شرکت معتبر هگزسل^۱ مقایسه شده است.

واژه‌های کلیدی

ساخت لانه زنبوری، لانه زنبوری آلومینیومی، ورق ساندویچی، تست ورق ساندویچی

مقدمه

سازه‌های ساندویچی با دارا بودن خواص ویژه مانند: نسبت استحکام به وزن و مدول خمشی بالا، در صنایع مختلفی مانند صنایع خودرویی، هوایی، فضایی، ساختمانی، مخابراتی و مانند آن کاربرد فراوانی پیدا کرده‌اند [۱-۵].

هسته‌ها در سازه‌های ساندویچی در حکم جان تیر عمل می‌کنند و با افزایش مدول خمشی، استحکام خمشی سازه را چندین برابر افزایش می‌دهند [۶]. هسته‌های سازه‌های ساندویچی در یک دسته بندی کلی به هسته‌های توپر و هسته‌های توخالی دسته بندی می‌شوند. هسته‌های فومی و چوبی از هسته‌های توپر محسوب می‌شوند و لانه زنبوری‌ها از جمله هسته‌هایی هستند در دسته هسته‌های توخالی می‌گنجد [۵].

مواد متنوع، شکل‌های هندسی مختلف و ابعاد و اندازه‌های مختلف سلول‌ها و ورق‌های مورد استفاده برای ساخت، از پارامترهایی هستند که با توجه به شرایط عملکردی و سرویس، شرایط محیطی، خواص

مکانیکی و کاربری سازه‌های ساندویچی انتخاب و طراحی می‌شوند [۷].

ساخت لانه زنبوری‌ها با استفاده از فرایند جوشکاری، استفاده از روش‌های انبساطی، استفاده از سنبه ماتریس‌های مناسب و روش کنگره‌ای کردن از روش‌های اصلی ساخت لانه زنبوری‌ها محسوب می‌شوند [۸].

در این تحقیق به بررسی روش‌های مناسب برای ساخت لانه زنبوری‌های آلومینیومی با ابعاد سلول کوچک، ساخت و بررسی نتایج تست سازه‌های لانه زنبوری ساخته شده، پرداخته شده است. نتایج تست صورت گرفته با نتایج تست‌های استخراج شده برای نمونه‌هایی با ابعاد سلول مشابه از شرکت معتبر هگزسل مقایسه شده است.

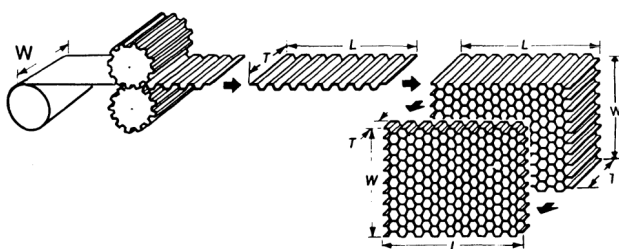
با توجه به نیاز روز افزون صنایع مختلف و عدم تولید مستقیم و با کیفیت لانه زنبوری‌ها در کشور، ساخت و تست این نمونه به‌عنوان یکی از اولین نمونه‌های تحقیقاتی ساخته شده، می‌تواند راهگشای محققان و صنعتگران در این عرصه باشد.

بررسی فرایندهای ساخت

برای ساخت سازه‌های ساندویچی، روش‌های مختلفی وجود دارد که در این قسمت به‌عنوان طراحی مفهومی سازه‌ی هسته، به بیان روش‌های مختلف ساخت لانه زنبوری‌های آلومینیومی و انتخاب روش ساخت مناسب، پرداخته شده است.

برای ساخت لانه زنبوری‌های آلومینیومی استفاده از روش‌های زیر قابل بیان است:

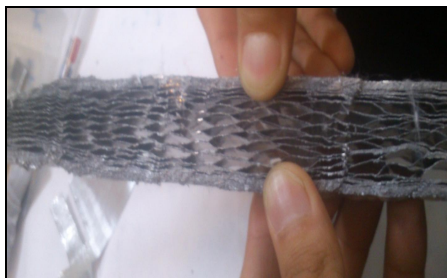
- ۱- جوشکاری مقاومتی، غیرذوبی و گداخت دمایی
- ۲- استفاده از سنبه ماتریس‌ها برای کنگره‌دار کردن فویل‌های آلومینیومی (مطابق شکل ۱)
- ۳- استفاده از چسب کاری خطی (مطابق شکل ۲)



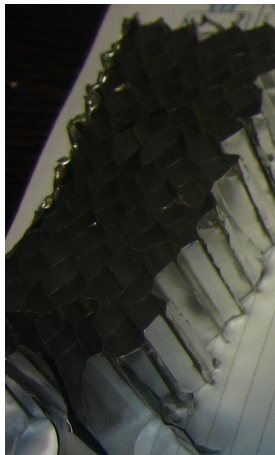
شکل ۱: نمایی از فرایند ساخت لانه زنبوری با استفاده از سنبه ماتریس [۵]

^۱ Hexcel

(الف)



(ب)



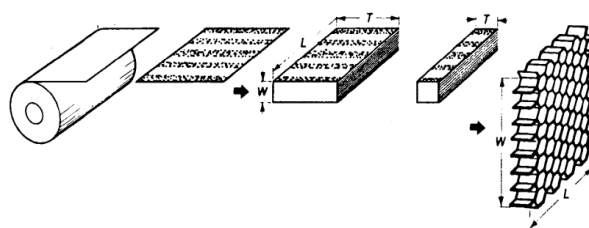
(ج)

شکل ۴: نمایی از نمونه‌ی لانه زنبوری ساخته شده. (الف) بعد از فرایند پرسکاری و چسبکاری، (ب) بازکردن لایه‌های چسبیده شده، (ج) نمای باز شده و آماده شده از لانه زنبوری

همان گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، ابعاد سلول یکنواخت و کیفیت ساخت مناسب از ویژگی‌های ظاهری نمونه‌ی ساخته شده است.

تعیین حجم چسب، تعداد خطوط چسب و روند اعمال آن در شکل ۵ نشان داده شده است.

برای انجام تست‌های مکانیکی کاربردی، لانه زنبوری در قالب یک ساندویچ پنل، تست و ارزیابی شده است. از این رو، برای لانه زنبوری ساخته شده، رویه‌های آلومینیومی (سری ۳۰۰۰) با ضخامت ۱ میلی‌متر در نظر گرفته شده است که با چسب اپوکسی به لانه زنبوری‌ها چسبانده شده است.



شکل ۲: نمایی از ساخت لانه زنبوری با استفاده از روش چسبکاری و برش در ابعاد مناسب [۵]

با توجه به ویژگی‌های هر یک از روش‌های ساخت، استفاده از روش چسبکاری به علت سهولت در اجرای کار، قابلیت تجاری بودن، مشابهت روش ساخت با روش ساخت نمونه‌ی مرجع انتخاب شده و در دسترس بودن بخش عمده‌ی مواد اولیه، برای ساخت نمونه مهندسی لانه زنبوری آلومینیومی انتخاب شد.

ساخت نمونه مهندسی

با انتخاب شدن روش مناسب برای ساخت نمونه مهندسی و ارزیابی بازر و امکانات موجود و از آن جایی که هدف نهایی این کار مقایسه‌ی تست‌های مکانیکی نمونه‌ی ساخته شده با یک نمونه‌ی بین المللی در بازار است، ابعاد و اندازه‌های نمونه، مشابه نمونه‌ی تجاری لانه زنبوری آلومینیومی شرکت هگزسل و با اندازه سلول ۵ میلی‌متر و ارتفاع ۱۰ میلی‌متر و با کد اختصاری 10-5-8011-HC انتخاب شد. برای ساخت لانه زنبوری نمونه، از فویل آلومینیومی سری ۸۰۰۰ مشابه شکل ۳ استفاده شد و برای فرایند چسبکاری از چسب اپوکسی دو جزئی با نسبت ترکیب ۱:۱۰۰:۳۸ استفاده شد.



شکل ۳: نمایی از فویل آلومینیومی انتخاب شده برای ساخت نمونه مهندسی (آلومینیوم سری ۸۰۰۰)

فرایند ساخت نمونه لانه زنبوری، بریدن و سایز کردن فویل‌های لانه زنبوری و آماده سازی سطحی بر اساس استانداردهای ASTM (-C272- C271- C363-F1645) بوده است.



Aluminum Foil for Honeycomb					
Alloy	Temper	Thickness (mm)	Width (mm)	Tensile Strength (Mpa)	Elongation
8011	O	0.040-0.075	200-1200	≥85	8.0-20.0%
	H24			100.0-125.0	7.0-14.0%
				125-160	≥13.0%
3003	H19			200-220	≥1.0%
	H24			130-160	7.0-14.0%

شمایی از مقایسه بین نتایج تست خمشی و نمونه‌های استاندارد موجود در بازار، در جدول ۱ نشان داده شده است.

نتیجه گیری و جمع بندی

با ساخت نمونه‌ی مهندسی لانه زنبوری و ساندویچ پنل اولیه، چالش‌های پیش رو برای ساخت صنعتی لانه زنبوری‌های آلومینیومی به‌طور کامل مشخص شد و راهکارهای عملی برای آن ارائه شد که از آن جمله می‌توان به فرایند چسب‌کاری، نوع چسبی که باید برای ساخت استفاده شود، عملیات سطحی مناسب و ارزیابی نهایی از میزان کیفیت کار که با تست‌های مکانیکی قابل ارزیابی است، از جمله‌ی دست‌اوردهای این پژوهش به حساب می‌آیند.

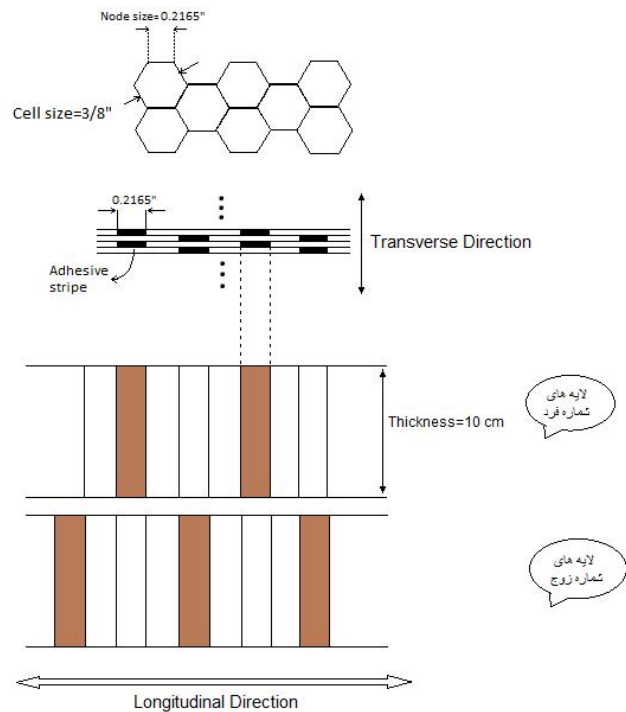
با مقایسه‌ی اولیه‌ی صورت گرفته بین نمونه‌ی ساخته شده و نمونه‌هایی که به صورت تجاری در بازار هستند، مشخص شد که از نظر کیفیت سلول‌های لانه زنبوری، چسب استفاده شده و سرعت عمل تولید، نمونه‌ی تولید شده قابل رقابت با محصولات تجاری است.

تشکر و قدر دانی

بدین وسیله از حمایت‌های صورت گرفته توسط مرز تحقیقاتی شهید قندی، برای اجرای این پروژه تحقیقاتی کمال تقدیر و تشکر را داریم.

مراجع

- [1] *Honeycomb structure*. www.wikipedia.com, 2014.
- [2] *Space engineering (Adhesive bonding handbook)*. ECSS (European cooperation for space standardization), 2011.
- [3] Bogolyubov, A.G. Bratukhin and v.s. *Composite Manufacturing*. Chapman & Hall, First edition 1995.
- [4] <http://www.hexcel.com/resources/technology-manuals>, 2014
- [5] Tom Bitzer, *Honeycomb Technology: Materials, Design, Manufacturing, Applications and Testing*, Chapman & Hall, 1977
- [6] plascore. plascore, 8 2014. <http://www.plascore.com/honeycomb-cores-aluminum.php>.
- [7] <http://www.astm.org/Standards/E1555.htm>.
- [8] *Handbook of Composites*, G. Lubin, Society of Plastics Engineers, 1982.



شکل ۵: نمایی از ابعاد و اندازه‌های انتخاب شده برای اعمال خطوط چسب

تست و مقایسه نمونه ساندویچی مشابه

صفحات ساندویچی به علت افزایش مدول خمشی و استحکام سازه‌ای به عنوان جایگزینی مناسب برای کامپوزیت‌های سازه‌ای متداول، استفاده می‌شوند. از این رو تست نمونه‌های تولید شده به صورت ساندویچ پنل‌هایی که تحت خمش سه محوره قرار دارند بررسی میزان کارایی لانه زنبوری ساخته شده را به خوبی می‌توانند نشان دهند. برای تعیین خواص مکانیکی هسته‌های لانه زنبوری و پنل‌های ساندویچی می‌توان از روش‌های تست استاندارد ASTM [۷] استفاده کرد. روند انتخاب شده برای تست نمونه به صورت شماتیک در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶: نمایی شماتیک از تست خمش پیشنهادی برای ساندویچ پنل ساخته شده از لانه زنبوری‌های نمونه

جدول ۱: شمایی از نتایج مقایسه شده بین مدل نمونه و [۸ و ۱]

