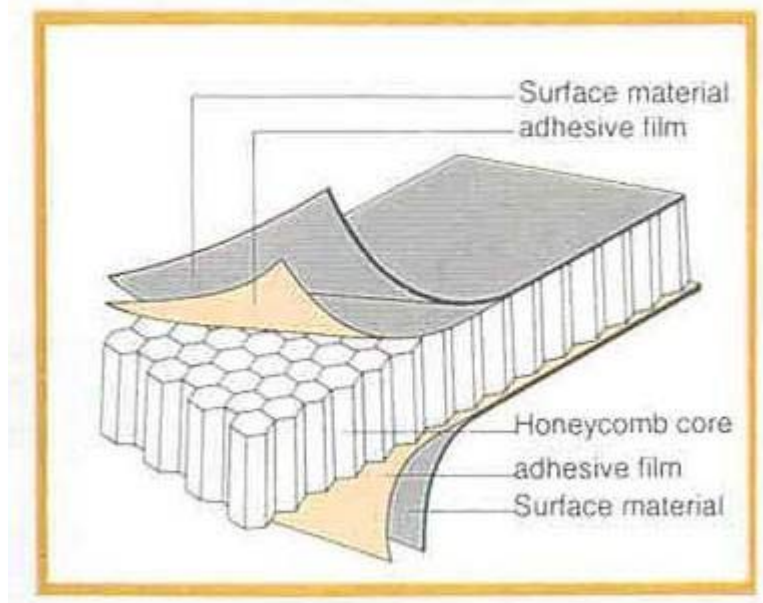


کامپوزیت ها را بهتر بشناسیم... قسمت چهارم: هسته کامپوزیت



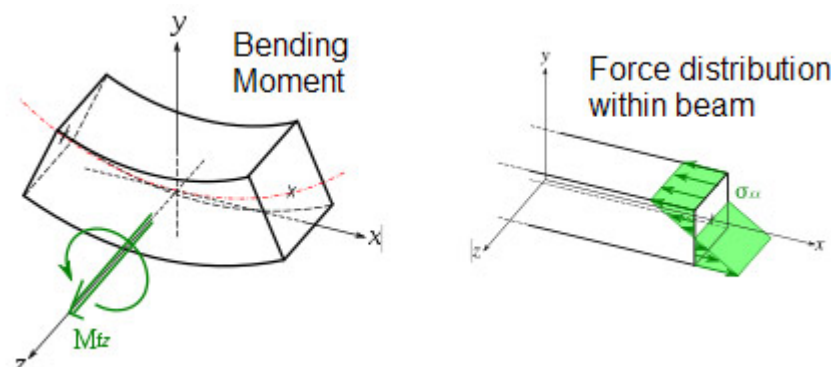
در این قسمت به بررسی هسته کامپوزیت ها مانند هانی کامب (Honey Comb) و دلایل استفاده از آن ها خواهیم پرداخت. سازه های ساندویچی دارای وزنی بسیار کم و در عین حال مقاومتی بسیار زیاد هستند. در سازه های ساندویچی یک پوشش از جنس ماده ای محکم مانند کامپوزیت کربن بر روی یک ساختار شبکه ای از ماده ای با وزن بسیار کم و مقاومتی بسیار کمتر از پوسته قرار میگیرد. این نوع سازه های کامپوزیتی را بیشتر در مواردی که به وزن بسیار کم و مقاومت زیاد نیاز داشته باشیم مثل بال هواپیما می توانید مشاهده کنید.

Structure of Honeycomb Sandwich



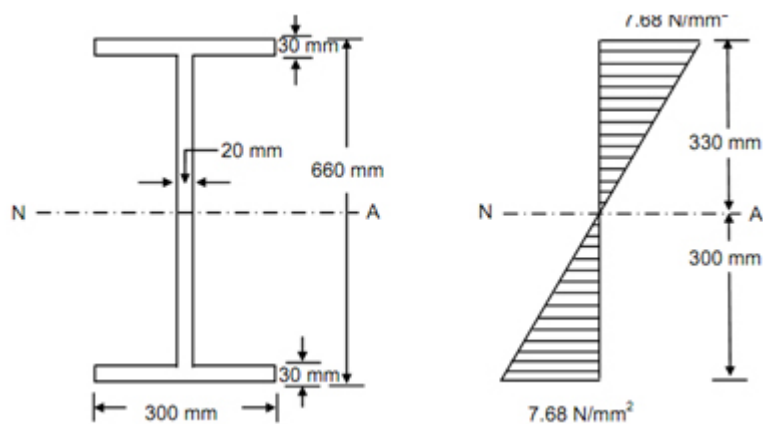
ولی چرا از هانی کامپ و یا هسته های مشابه برای کامپوزیت استفاده می کنیم؟

قطعات زیادی مثل بال هواپیما وجود دارند که همیشه تحت بار خمشی هستند. برای مثال در بال هواپیما یک بار گسترده بر روی آن وجود دارد. برای راحتی کار می توان این بار را به صورت یک بار خالص خمشی یعنی گشتاوری خالص بر روی بال در نظر گرفت. در حالتی که یک تیر فقط تحت خمش باشد بر اساس تئوری تیر تحت بار خمشی خالص، تیر با یک توزیع خطی تنش در جهت ضخامت خود در مقابل بار مقاومت میکند. بیشترین مقدار تنش در سطح بالایی و پایینی تیر به وجود می آید که یکی از آن ها تنش فشاری و دیگری کششی خواهد بود. در مرکز سطح مقطع تیر مقدار تنش صفر خواهد بود (مثلا برای تیر مربعی در وسط مربع و ...) که به این مکان هندسی خط خنثی *neutral axis* گفته می شود. بر روی خط خنثی در طول تیر تنش صفر خواهد بود

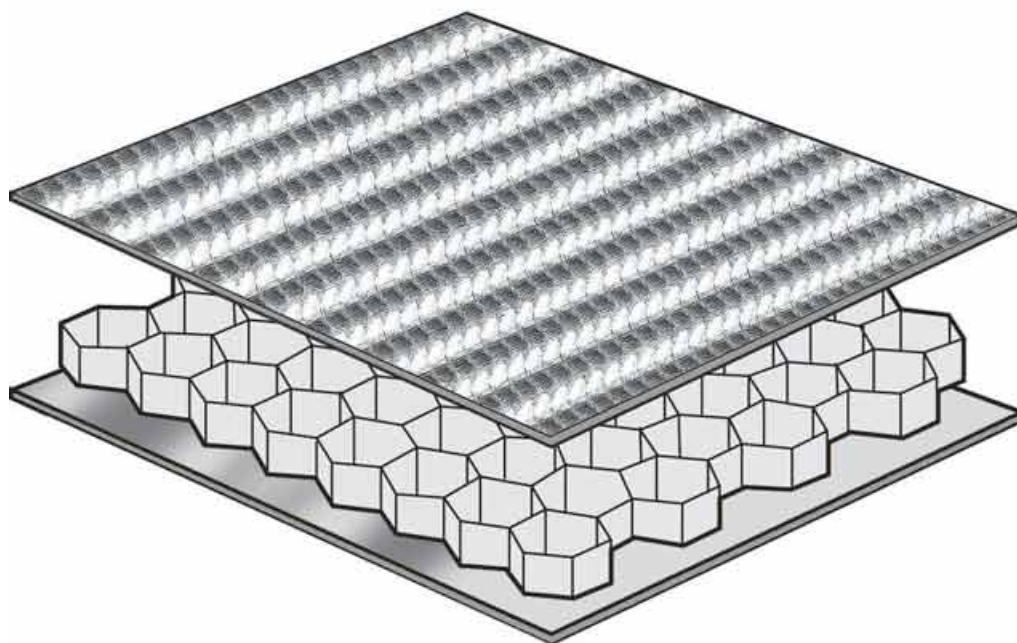


همان طور که مشاهده میکنید هر قدر از محور خنثی دور می شویم در ماده تنش بیشتری ایجاد میشود و اگر در تمام ضخامت تیر به صورت یکسان از ماده استفاده کنیم قسمتی از ماده را بدون استفاده در وسط قرار داده ایم بدون این که بار زیادی را تحمل کند. در اینجا دو کار برای بهبود آن میتوانیم انجام دهیم:

1. مقداری از ماده که در نزدیکی محور خنثی قرار دارد را حذف کنیم و وزن را کم کنیم، که دقیقاً کاری است که در تیر A شکل انجام میشود.



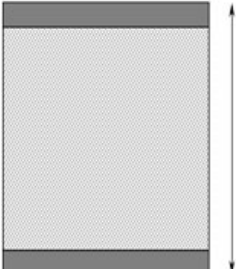
2. در قسمت مرکزی از موادی سبک تر و با مقاومت کمتر استفاده کنیم و در عوض از موادی محکم برای قسمت های بیرونی استفاده کنیم. با این کار در وزن صرف جویی خواهیم کرد. این همان کاری است که در کامپوزیت های با هسته انجام می دهیم



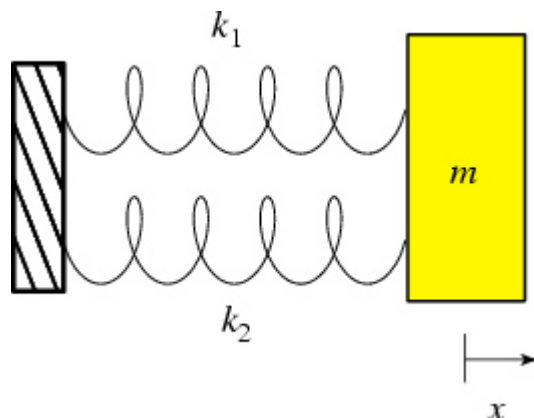
راه حل دوم (استفاده از مواد سبک در مرکز) نسبت به راه حل اول (خالی کردن ماده در نزدیکی محور خنثی) دارای یک مزیت بزرگ است و آن این است که هسته (مثلا هانی کامب) دو قسمت سفت بالایی و پایینی را تا حد ممکن از محور خنثی دور میکند. به مقدار مقاومتی که یک سازه در مقابل بار خمشی از خود نشان میدهد صلبیت خمشی میگویند که برابر است با EI . در این جا E مدول یانگ ماده و I ممان دوم سطح است. هر قدر جرم بیشتری از ماده در فاصله بیشتری از محور خنثی وجود داشته باشد I بیشتر خواهد بود در نتیجه EI نیز بیشتر می شود. این به این معنی خواهد بود که صلبیت خمشی ماده نیز افزایش میابد. به صورت کلی مقاومت خمشی با توان چهارم فاصله از محور خنثی رابطه مستقیم دارد. هسته کامپوزیت ها (مانند هانی کامب) قسمت های سفت تر ماده (E بیشتر) را در فاصله بیشتری از محور خنثی قرار میدهد. که در نتیجه مقدار EI که همان مقاومت خمشی است را افزایش میدهد و در عین حال وزن را نیز کاهش میدهد.

برای این که صلبیت خمشی را بهتر درک کنید فرض کنید میله نازک را خم کنید یا یک میله کلفت تر از همان جنس را، کدام یک سخت تر خواهد بود؟ درست است میله کلفت تر. میله کلفت تر صلبیت خمشی بیشتری دارد.

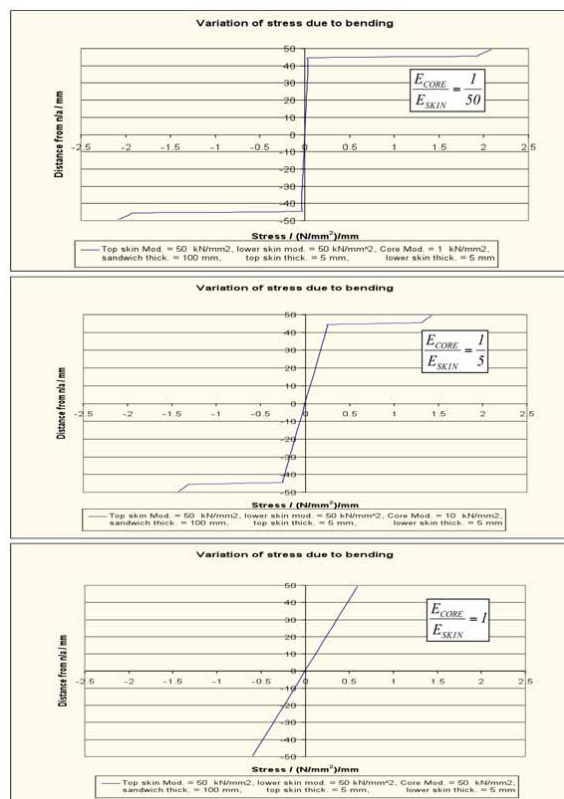
در شکل زیر می توانید افزایش صلبیت خمشی ماده با استفاده از هسته در کامپوزیت ها را مشاهده کنید. هر قدر ضخامت هسته را بیشتر می کنیم سفتی خمشی کل سازه نسبت به وزنش بیشتر می شود

	Stiffness	Weight	EI / w
	2t	1	0.5
	6t	25	11.0
	11t	100	38.0

یکی دیگر از مزیت های هسته هایی مثل هانی کامب این است که تنش ها را در روکش های مقاوم متمرکز میکند. این اتفاق به این دلیل می افتد که وقتی باری بر یک سازه وارد می شود به نسبت سفتی های آن ها بینشان تقسیم میشود. برای مثال اگر به دو فنر موازی باری را وارد کنیم و اگر سفتی فنر 1 دو برابر فنر 2 باشد، در اینجا باری که توسط فنر 1 تحمل میشود دو برابر فنر 2 خواهد بود



همین اتفاق دقیقاً در یک سازه ساندویچی (دارای هسته ای مثل هانی کامب و پوسته های سفت) می افتد. از آن جایی که مدول یانگ E پوسته ها بیشتر از هسته است بیشتر بار توسط پوسته تحمل میشود. این به این معنی است که توزیع تنش دیگر مثل مواد ایزوتروپیک خطی نخواهد بود بلکه در مرز بین مواد شیب تغییرات تنش دچار گسستگی خواهد شد. در نمودار های زیر توزیع تنش با تغییر نسبت سفتی هسته و پوسته را مشاهده میکنید. در حالتی که سفتی پوسته 50 برابر هسته است میبینید که نسبت به حالتی که سفتی پوسته و هسته برابراست، تنش در هر یک از مواد به صورت یکنواخت تری پخش شده است که یعنی از مواد استفاده بهینه تری کرده ایم.



از محدودیت های استفاده از سازه های ساندویچی این است که ناپیوستگی توزیع تنش در سطح تماس دو ماده مختلف باعث ایجاد تنش برشی در سطح تماس و جدا شدن پوسته و هسته میشود به همین دلیل است که برای هسته از سازه های مقاوم در برابر تنش برشی و با سفتی برشی زیاد مثل هانی کامب استفاده میکنند که این تنش ها را جذب کند. علاوه بر این، سازه هایی مثل هانی کامب سرتاسر پوسته را در مقابل ضربه و فشار حفاظت میکنند .

در شکل زیر هانی کامب هایی از جنس الومینیوم، نامکس و ترموپلاستیک را مشاهده میکنید. نامکس (Nomex) یک پلیمر از خانواده ارامید هاست که ضد آتش است و می توان آن را به صورت صفحه ای تولید کرد. هانی کامب ها میتوانند در اشکال مختلفی برش بخورند و استفاده شوند ولی بیشتر به صورت ورقه ای استفاده میشوند. ابعاد صفحات استفاده شده معمولا 4 فوت در 8 فوت و ضخامت آن ها بین 12 اینچ تا 0.125 اینچ متغییر است. اندازه سلول ها نیز میتواند از قطر 1 تا 0.125 اینچ متغییر باشد . شکل سلول های هانی کامب اگر از جنس الومینیوم و یا نامکس باشند بیشتر شش ضلعی و اگر ترموپلاستیک باشند بیشتر گرد است.

{gallery}sakht/10.compositeintro4/imaggal{/gallery}

ساختارهای لانه زنبوری در هواپیما ها، تجهیزات نظامی، حمل و نقل، وسایل ورزشی، تجهیزات مخابراتی و بسیاری صنایع دیگر مورد استفاده قرار میگیرد. هانی کامب باعث میشود که رفتار قطعه در هنگام ضربه قابل پیشبینی باشد و در نتیجه در قطعات مقاوم در برابر ضربه از آن استفاده میشود. از هانی کامب همچنین در اتاق های کامپیوتر و ارتباطی استفاده میشود به این دلیل که جلوی نفوذ امواج و تشعشعات را میگیرد. ساختار پی در پی سلول ها باعث به دام افتادن امواج در داخل آن می شود. برای ساخت هانی کامب ها هم از مواد فلزی و هم غیر فلزی استفاده میشود. در جدول زیر خواص تعدادی از انواع هانی کامب را مشاهده میکنید که البته در ایران یا کم یابند و یا نایاب!

TABLE 2.8

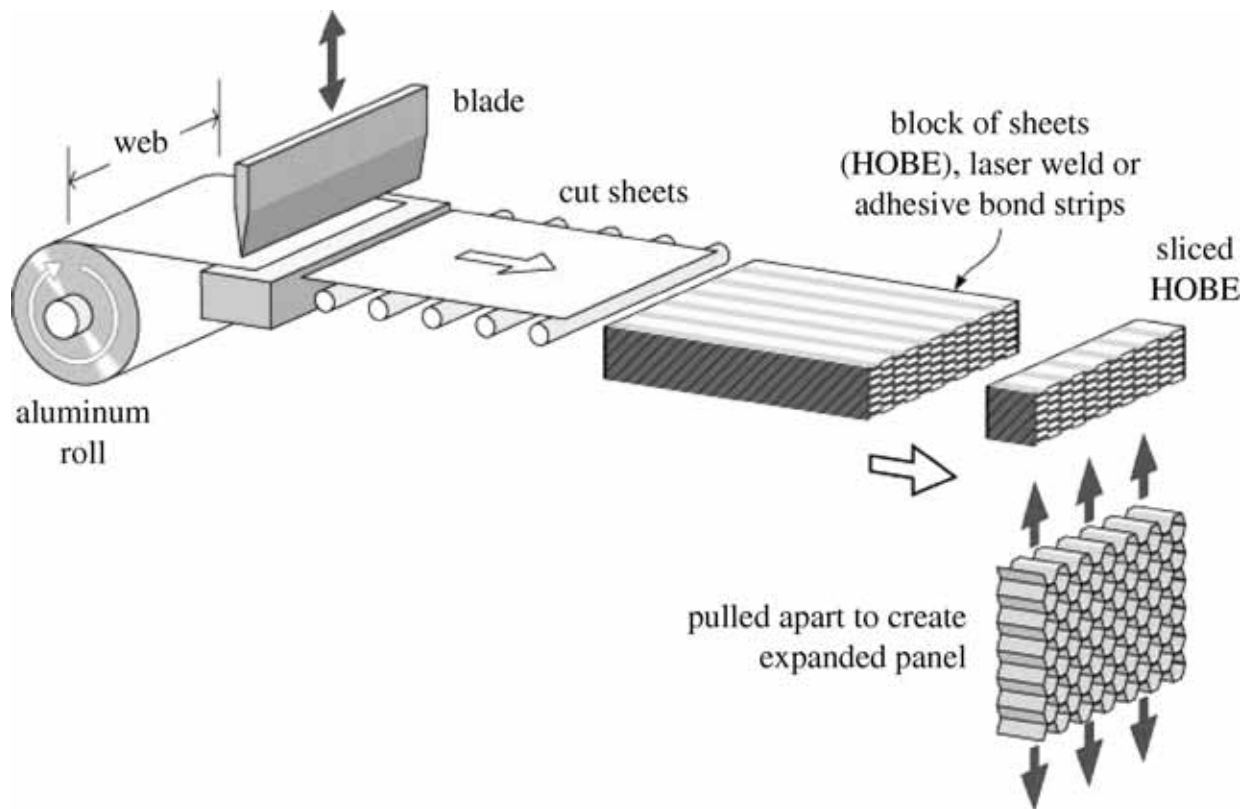
Physical Properties of Some Selected Honeycomb Materials

Material	Cell Diameter (in.)	Density (lb/ft ³)	Max. Service Temp. (°F)	Stabilized Compressive Modulus (ksi)	Stabilized Compressive Strength (psi)
5052 Aluminum	0.125	8.1	350	350	1470
5052 Aluminum	0.125	3.1	350	75	275
3003 Aluminum	0.25	5.2	350	148	625
3003 Aluminum	0.5	2.5	350	40	165
Polycarbonate	0.125	7.9	200	55	695
Polycarbonate	0.25	3.0	200	15	110
Polyetherimide	0.125	5.1	—	32	580
Aramid (Nomex)	0.125	8.0	350	80	1900
Aramid (Nomex)	0.125	4.0	350	28	560
Aramid (Nomex)	0.25	3.1	350	21	285
Glass-reinforced polyimide	0.1875	8.0	500	126	1300
Glass-reinforced phenolic	0.1875	5.5	350	95	940

دو روش برای تولید هانی کامپ وجود دارد:

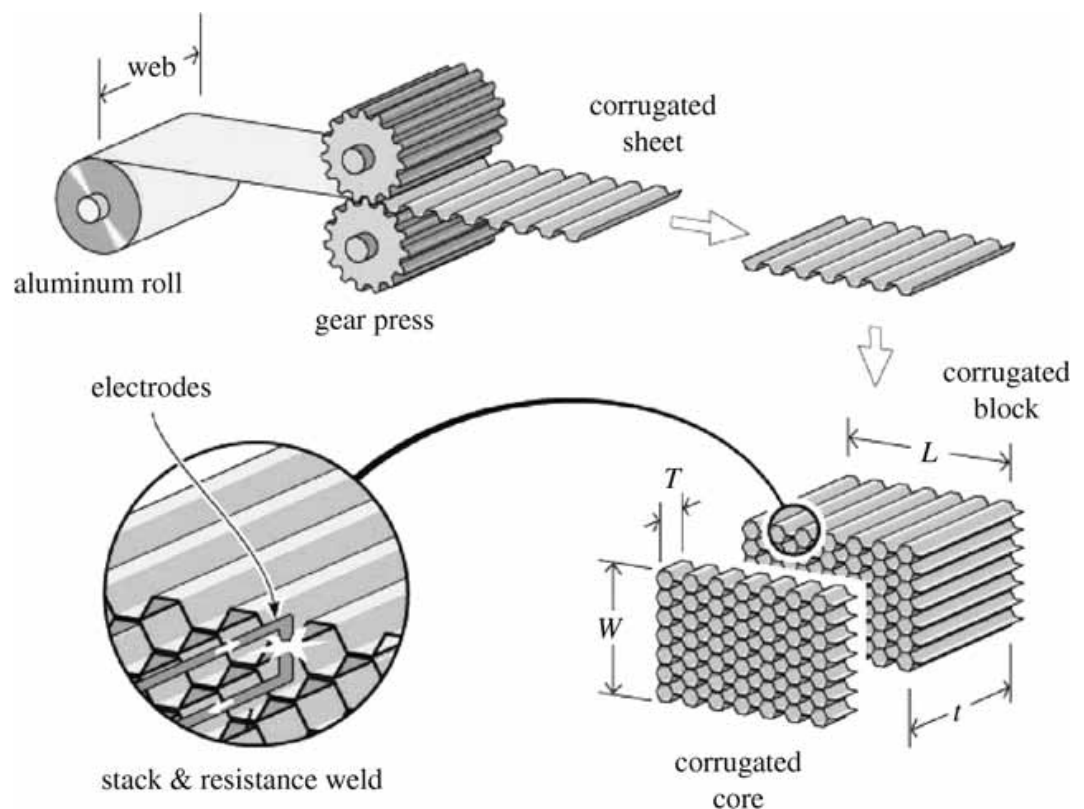
1. expansion

این روش رایج تر است و بیشتر برای تولید هانی کامپ های الومینیومی و یا ارامیدی (نامکس) استفاده میشود. در این روش صفحاتی از ماده را بر روی یکدیگر قرار میدهند تا تشکیل یک مکعب مستطیل بدهد ولی قبل از آن بر روی این صفحات چسب را به صورت خطی و در طول صفحات با فاصله های عرضی مشخص ریخته اند بعد از این که صفحات را روی هم قرار دادند آن ها را در کوره میپزند و صفحات در آن خطوط خاص به هم خواهد چسبید. حال نوبت به این میرسد که صفحات در ابعاد دلخواه برش بخورند. بعد از این مرحله قطعات برش خورده را در جهت ضخامت می کشند تا از هم فاصله گرفته و به شکل شش ضلعی در بیایند.



2. corrugation

در این روش صفحات را از میان غلطک های شکل دهنده عبور میدهند تا شکلی شبیه نصف یک شش ضلعی و یا بسته به نوع سلول ها شکلی دیگر پیدا کند. سپس این صفحات را بر روی هم قرار میدهند و به وسیله چسب و یا روش های خاص جوش کاری به هم میچسبانند. حال بلوک ایجاد شده را در ابعاد و اشکال مورد نظر برش میدهند بدون این که کششی در کار باشد.



به غیر از هانی کامپ مواد دیگری مثل چوب بالسا، تخته چند لایه و هسته های فومی برای استفاده در ساختار های ساندویچی استفاده میشوند. انواع زیادی از ساختار

های مختلف با سلول های باز یا بسته و با حالتی صلب، انعطاف پذیر و یا لاستیکی را میتوان به عنوان هسته استفاده کرد. فوم ها را میتوان از رزین های ترموپلاستیک و یا ترموست با روش های مختلف تولید کرد. در تمامی این روش ها گاز و یا هوا را به داخل رزین میدمند تا چگالی آن را به وسیله ایجاد حباب های گازی باز یا بسته کم کنند. هدف از استفاده از فوم این است که مقاومت خمشی و ضخامت قطعه را افزایش دهد، بدون این که وزن قطعه به همراه آن زیاد شود. در بعضی کاربردها حتی فوم هایی از جنس فلز هم درست میکنند! که در شکل زیر مشاهده میکنید

