کاربرد کامپوزیت های لایه ای در صنایع هوا فضای سازمان فضایی آمریکا

تولید کامپوزیت هایی با ساختار لایه ای در صنعت هوافضا، به طراحی دقیق و استفاده ی مناسب از تمام ظرفیت های علم مهندسی نیاز دارد. زمانی که مشخصه های ماده ی نهایی در شرف حصول می باشند، باید فاکتورهای دیگر نظیر طراحی و تولید و گسترش زیر مجموعه ها و چگونگی توصیف ماده ی نهایی را بالاجماع مد نظر قرار داد. به این دلیل که مواد کامپوزیتی معمولاً در زمره ی نیازهای اسمبلی قطعات ساختاری قرار می گیرند، در فرآیند رسیدن به پیکربندی با خواص فیزیکی – مکانیکی بهینه (optimum)، لزوم افزایش شدت کنترل روی فرآیند ساخت این قطعات احساس می شود.

چسبیدن صحیح قطعات و اجزا به یکدیگر به منظور تثبیت فرآیندهای مربوط به طراحی از یك طرف و از طرف دیگر تولید و آزمایش کامپوزیت های ساختاری مورد استفاده در صنایع هوافضا، منجر به کاهش میزان سقوط و حفظ تمامیت مکانیکی قطعه می گردد. یك طراحی موفق کامپوزیتی، موجب انعطاف پذیری طرح، افزایش نسبت استحکام به وزن، پایداری ابعادی اعمال بار حرارتی، سبکی وزن، سهولت ساخت و نصب، پایداری بیشتر در برابر خوردگی، مقاومت در برابر پیچش و در نهایت استحکام شکست بالا و سادگی محصول می گردد. (به طوری که با سازه های فلزی با ابعاد مشابه قابل قیاس است)

برنامه های تضمین کننده ی کاربری:

از جمله برنامه های تحقیقاتی NASA که به صورت مرتبط با مباحث کامپوزیتی و پروژه های بهینه سازی محصول انجام می گردد، می توان به موارد زیر اشاره کرد:

? برنامه ی تحقیقاتی روی تانك های کامپوزیتی تعبیه شده روی قسمت خارجی شاتل های فضایی

? تحقیقات روی موتورهای دارای لیف پیچشی، تعبیه شده در راکت ها

? تحقیقات روی سهولت کاربرد فیزیك نجومی اشعه ی X (AXAF)

? تلسکوپ خورشیدی اشعه X (SXT)

? مواد به کار رفته در قطعات ایستگاه فضایی

? ثبت کننده ی اشعه X خورشیدی (SXI)

مراحل پیاده سازی طرحها:

تست طراحی:

مهم ترین مفهوم در فرآیند ساخت اجزای کامپوزیت های لایه ای، در نظر گرفتن جنبه های مختلف طراحی مانند ترکیب درصد مواد، آرایش یافتگی لیف و روش های مرسوم ساخت می باشد. در شروع آنالیز طراحی، در نظر گرفتن اسمبلی ساختمان مواد، فرمولاسیون و پیکر بندی و ملاحظات زیست محیطی از موارد اساسی به شمار می روند. به علاوه در فرآیند ساخت قطعات دیگر، توسعه ی کامپوزیت ها به شبیه سازی مواردی مانند پیکربندی، محیط کاربری، شکل دهی، کیفیت، ایمنی، قابلیت اطمینان، عدم تخریب و مشخصه های ساختاری احتیاج دارد. خواص فیزیکی کامپوزیت ها با ساختار لایه ای، به اثرات تخریبی روی محیط زیست بستگی دارد. بنابراین در زمینه طراحی، باید فراتر از معیارهای ساختاری مرسوم و استاندارد کارکردهای محیطی (Prelaunch, launch, transportation) عمل کرد.

شرکت ابرسازه های عماد

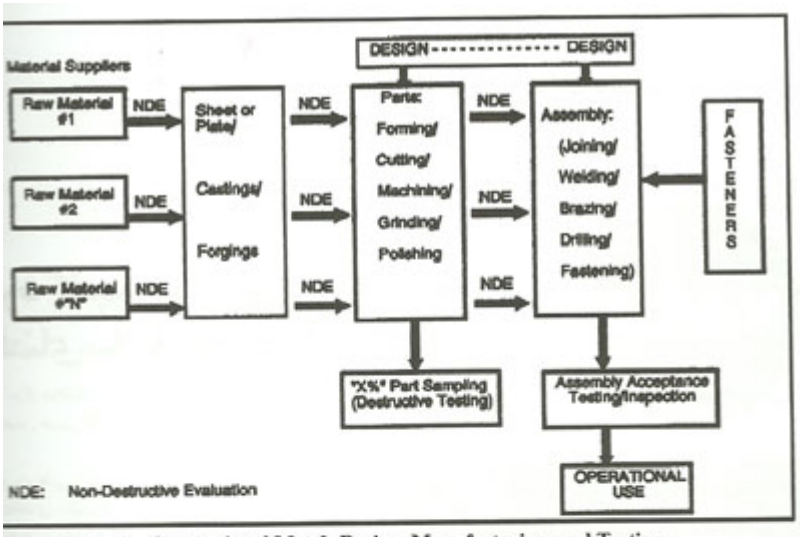

Figure 1. Conventional Metals Design, Manufacturing, and Testing

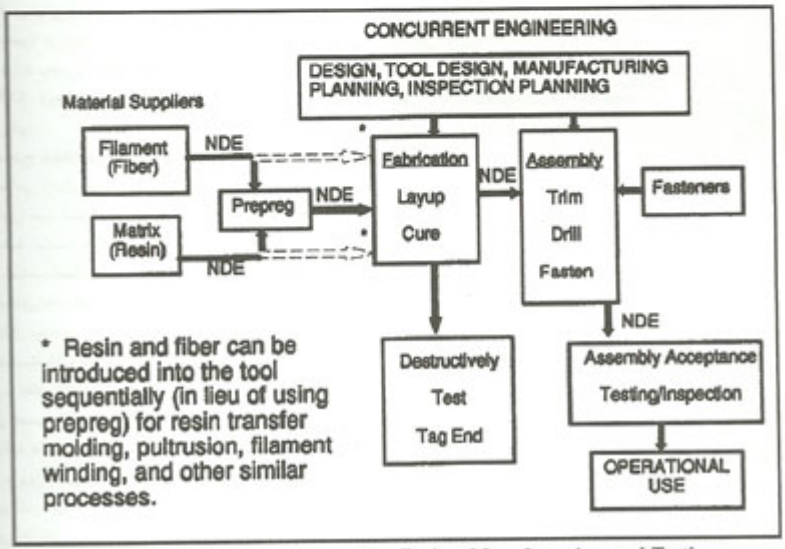

Figure 2. Structural Laminate Composites Design, Manufacturing, and Testing

ترکیب درصد ماتریس با binder، درصد لیف و روش های مشخص ساخت، تاثیر عمیقی روی مقبولیت یك سازه ی پیچیده بر جای می گذارند. به این دلیل که خواص ساختمانی مواد شدیداً به فرآیند ساخت قطعات و شکل دهی بستگی دارد، باید به صورت همزمان به دو بحث طراحی قطعات و پیکربندی اشکال، توجه خاصی نشان داد. فرآیندهای اساسی در پروسه ی طراحی، ساخت و آزمایش قطعات فلزی در شکل ۱ نشان داده شده است.

به طور همزمان، چرخه ی مربوط به کامپوزیت های لایه ای را نیز در شکل ۲ مشاهده می کنید.

شکل ۲ دو نکته ی مهم را نشان می دهد:

۱- طراحی قطعات و اجزاء به صورت جز به جز

۲- فرآیند تولید و ساخت که شامل تولید هم زمان کامپوزیت و پیکربندی ساختمان است.

در مورد کامپوزیتهای فضایی، مواد باید با ضریب دقت بالایی تولید شوند. برای کامپوزیت های لایه ای معمولاً از ضریب ایمنی (safety factor) معادل ۱,۵ استفاده می شود. معمولاً ضریب ایمنی ۲ برای مواد به کار رفته در چفت ها و بست ها استفاده می شود. استحکام ساختمانی در طراحی نهایی به استحکام لیف، ماتریس یا رزین و آرایش یافتگی لیف (که باید هم جهت با اعمال load باشد) بستگی دارد. استحکام قطعه بر پایه ی بر هم کنش لیف و ماتریس در یك فرآیند، به ضخامت لایه و درصد حجمی لیف بستگی دارد.انواع

استحکام کششی لیف، بازه ای در حدود ۲۰۰۰۰۰ psi الی ۸۰۰۰۰۰ psi را در بر می گیرند و این در حالی است که محدوده ی استحکامات کششی ماتریس (به تنهایی) از ۲۰۰۰ psi الی ۵۰۰۰ Psi تغییر می کند. وقتی این دو عنصر (ماتریس و لیف) در قالب مجموعه ای مانند کامپوزیت گرافیت – اپوکسی لایه ای در کنار یکدیگر قرار می گیرند، استحکام کششی مجموعه به ۹۸ درصد استحکام لیف تك جهته افزایش می یابد.

طراحی قطعه باید شامل ارزیابی قسمت های کوپن (coupon) مانند و تست نمونه های اولیه به منظور دستیابی به اطمینان لازم را از صحت پیکربندی قطعه و برهم کنش های مجاز در قطعه ی نهایی باشد.

اخیراً الگوریتم های ساختمانی با بهره گیری از متودهای آلمان محدود (finite element) در فرآیندهای طراحی استفاده می شوند، که البته نتایج حاصل از این روش ها با نتایج حاصل از تست قطعات اولیه مطابقت کامل دارد. مواد کامپوزیتی گرافیت- اپوکسی در رفتار تنش – کرنش خود، کمتر از ۲ درصد کشش را از خود نشان می دهند. علاوه بر این، عدم بروز رفتار معمول الاستیکی فلزات، در آن ها مشهود است.

در حالی که فلزات معمولاً به دو خصوصیت در طراحی (مدول و نسبت پواسون) احتیاج دارند، طراحی کامپوزیت ها به حداقل ۵ بعد جهتی از این خصوصیات نیاز دارد. گاهی به طراحی مشخصه های انبساط حرارتی نیز نیاز است به نحوی که ممکن است در مواردی مانند طراحی optical benches به انبساط حرارتی صفر برسیم. رزینی که در ساخت مواد کامپوزیتی به کار می رود تا ۵ درصد وزنی آب را جذب می کند. این جذب آب روی پایداری ابعادی کامپوزیت ها تاثیرگذار است. از طرفی تابش فرابنفش و اکسیژن اتمی موجود در فضا، اثرات aging را افزایش می دهد و بدین ترتیب به افزایش زمان سرویس در کامپوزیت بدون پوشش، کمك می کند. تکرارپذیری و استفاده از جمیع فرآیندها، یك قطعه ی کامپوزیتی موفق را تضمین می کند.

روش های تولید:

از دو روش می توان استفاده کرد : ۱- می توان ماتریس ها و الیاف در کامپوزیت های لایه ای را به صورت مداوم و پی در پی در قالب قرار داد و یا این که ۲- لیف را می توان از قبل با ماتریس آغشته کرد. در کامپوزیت های لایه ای مورد استفاده در صنایع هوا فضا، از متود دوم استفاده می شود. دستیابی به روش های بهتر در فرآیند سیالیت، یك نکته حیاتی در تولید کامپوزیت های مدرن می باشد.

از جمله فاکتورهای بحرانی و تاثیرگذار در lay up دستی یا اتوماسیونی، می توان به آرایش یافتگی لیف و ترتیب قرار گرفتن لایه ها اشاره کرد. دمای پخت، فشار و نرخ سرعت صعود و نزول مشخصه ها به واسطه ی اثرات محسوسی که در مواردی مانند درجه شبکه ای شدن پلیمرها (در ماتریس)، آمیزش ماتریس با لیف، میزان تخلخل، فواصل قرار دادن الیاف، استحکام نهایی و بی نقص بودن آن، بر جای می گذارند، از دیگر عوامل بحرانی و تاثیر گذار در lay up به شمار می روند. در این میان توجه به طول عمر مواد از پیش آغشته شده نیز از اهمیت بسزایی برخوردار است، زیرا خصوصیات قابل قبول را تنها می توان در دمای اتاق و در بازه ی ۱۰ روز الی ۱ ماه، یا در دماهای پایین تر (cold storage) و در بازه ی ۶ ماه الی ۲ سال، تضمین کرد. بنابراین زمان در فرآیند آغشته سازی نقش غیر قابل انکاری بر عهده دارد. در نظر داشته باشید که محیط تولیدی (رطوبت، دما، پاکیزگی) و فرآیند تولید باید قابل کنترل باشند. اتوماسیون استفاده شده در متدهای کنترل فرآیند ستاتیکی کامپوزیت ها، از جمله موارد مهم و پیشرفته در صنایع کامپوزیتی است و صنعت هوافضا متاثر از پیشرفت روز افزون آن می باشد.

تست و ارزیابی کارآمدی آزمایشات:

در طول فاز اولیه ی تولید، جمع بندی به منظور رسیدن به فرآیند موثر تولید در کامپوزیت های لایه ای فضایی، به تست های کامل بازرسی، عدم تخریب و کوپن (coupon) نیازمند است. هنگامی که رکوردهای بازرسی ها روی قطعات مجزا به عمل آمده است. البته نتایج تولید نیز وجود دارد این مشکل را تایید می کند. در کنار این نتایج، مهندسین مواد و فرآیند و فروشندگان قطعات نیز قادر به تشخیص این مشکلات می باشند.

در ابتدا، در فرآیند تولید، باید الیاف را به منظور ارزیابی استحکام کششی، سرعت کرنش، مدول الاستیسیته، چگالی، قطر، سختی و مورفولوژی آزمایش کرد. رئولوژی ماتریس و کارایی مکانیکی را باید در تست های شیمیایی و فیزیکی مشخص کرد. برای مشخص شدن مقدار رزین، سرعت سیالیت، مقدار مواد فرار، ضخامت، امکان بقای لایه ی پوششی و مدت زمان ژل شدن، مواد از پیش آغشته شده آزمایش می شوند. در مورد مواد از پیش آغشته شده باید به مواردی مانند تعداد و نحوه ی قرار گرفتن لیف ها نسبت به هم، قابلیت صفحه ای شدن و تست آشکارسازی دما توجه شود. تولید کوپن ها (قطعات کوچك نمونه برداری) به منظور استفاده در تست تخریب (اعم از گرمایی، شیمیایی و ساختمانی) صورت می گیرد. در جایی که باید انبساط ممکن در قطعات را نیز در نظر بگیریم لزوم انجام تست هایی احساس می شود که نشان دهند آیا ماده با استانداردهای حرارتی، شیمیایی و قدرتی سازگاری دارد یا خیر.

کامپوزیت های پخت شده را باید برای رسیدن به استحکام فشاری طولی، استحکام خمشی طولی و عرضی، استحکام کششی طولی و عرضی، آشکار شدن نتایج تست ضربه و تست فشار پس از ضربه، مورد آزمایش قرار داد. از جمله روش های استفاده شده در تست های عدم تخریب و برای تشخیص حضور یا عدم حضور حفرات (voids)، لایه لایه شدگی (delamination) و تشخیص نواحی کم چگال، می توان به متودهای رادیو گرافی، تکنیك های فراصوت، ترموگرافی، جریان سنجی eddy و انتشار آکوستیك اشاره کرد.

Fourier Transform Infra Red Spectroscopy (FTIR) آنالیز عدم وجود ماده ی فرار (NVR)، X-ray florescence (XRF) و Ellipsometry از جمله تست های عدم تخریب مورد استفاده در فرآیند تایید اتصال کامپوزیت ها به ساختارهای فلزی مجاور می باشند.

ارزیابی عدم تخریب از تکنیك های مهم بازرسی در فرآیند شناسایی نقص ها می باشد و جالب اینجاست که بدون تخریب ماده انجام می گیرد. انواع تست های عدم تخریب در جدول ۱ نمایش داده شده است. ضوابط مربوط به نحوه ی رد شدن یا پذیرش یك قطعه را همواره باید در حین تولید و تست، مد نظر قرار داد. (جدول ۱).

Table 1. NDE Techniques for Detecting Defects in Composite Materials

Defect / Composite Method	X-Ray	Ultra-sonics	Computer Tomography	Alcohol Wipe	Thermo-graphy	Eddy Current	Dye Penetrant
Delaminations	X	X	X	X	X		
Density Variations	X		X				
Resin Rich/ Resin Poor	X		X				
Voids	X	X	X				
Crazing (Microcracks)		X		X			X
Wrinkles		X				X	
Conductive Materials						X	

استدلال های تکنیکی:

معمولاً در کامپوزیت های لایه ای مورد استفاده در تانك خارجی شاتل های فضایی، الیاف پیچیده شده در غلاف موجود در راکت شاتل، تجهیزات اشعه X مورد استفاده در فیزیك نجومی، قطعات ایستگاه فضایی و دیگر تحقیقات مرتبط با صنایع کامپوزیتی، از ترکیب graphite/epoxies، glass/phenolice، graphite/phenolice و یا graphite/bismalemides استفاده می شود. ضمناً هر دو فرم نواری یا بافته شده را می توان به عنوان عامل تقویت کننده مورد استفاده قرار داد.

تحقیقات و عملیات در MSFC (نام پروژه قبلی ناسا روی کامپوزیت های استفاده شده در نازل ها، که قابلیت استفاده ی مجدد در موتورهای راکد دارند)، شامل مواردی مانند نحوه ی پیچش لیف، Pultrusion، قرار دادن لیف در مکان مناسب و لایه گذاری اتوماتیکی نواری می شوند.

در نهایت، نقص در ارتقاء و پذیرش فرآیندهای طراحی، تولید و تست کامپوزیت های لایه ای، منجر به افزایش سرعت مردود سازی قطعات می گردد. این مردود سازی تحت تاثیر شرایط خاصی مثل رسیدن به استحکام غیر قابل قبول، لایه لایه شدگی، تخلخل بیش از اندازه، نقش سطوح، ابعاد نامناسب و خواص فیزیکی – شیمیایی – حرارتی نامناسب اتفاق می افتد. لازم به ذکر است که مورد آخر (ایجاد خواص فیزیکی-شیمیایی – حرارتی نامناسب) توسط آزمایش عدم تخریب یا آزمایش تخریب کوپن مشخص می گردد. ازدیاد نرخ مردود شدن روی اسمبلی قطعات، آزمایشات و فرآیندهای وارسی اثر تاخیری دارد و تاثیر نهایی آن در برنامه ی پرتاب یك شاتل، بسیار مشهود است.

افزایش قیمت قطعات کامپوزیتی را نیز می توان متاثر از همین افزایش مردود سازی قطعات دانست.

منابع: مرکز هوا فضای مارشال (ایالات متحده)
نشریه P.E.T
سه شنبه ۱۸ اسفند ۱۳۸۸

شرکت ابرسازه های عماد