به نام خدا

تهیه و تنظیم : آرمین رضائی

۸۸۱۸۳۲۰۲۰

کامپوزیت های زمینه پلیمری

استاد راهنما : آقای مهندس احمدی

پاییز۱۳۹۰

www.prozhe.com

چکیده

کامپوزیت های زمینه پلیمری از رایج ترین دسته کامپوزیت ها هستند که شامل زمینه ای از جنس پلیمر(رزین) که با فاز توزیع شده ی تقویت کننده متصل شده است. مواد پلیمری مانند اپوکسی و پلی استرها در مقایسه با فلزات خواص مکانیکی خیلی بالا ندارند. به عنوان مثال استحکام کششی قوی ترین پلیمرها ، رزین اپوکسی ۱۴۰ مگا پاسکال است و علاوه بر استحکام کم ، مقاومت به ضربه این پلیمرها نیز کم است.

در کامپوزیت های زمینه پلیمری الیاف تقویت کننده باید خواص مکانیکی از جمله استحکام کششی بسیار بالایی نسبت به زمینه پلیمری داشته باشند.با افزایش تقویت کننده به زمینه پلیمری استحکام کششی و مدول کشسانی کامپوزیت افزایش می یابد.در موقع اعمال بار قسمت اعظم نیرو توسط الیاف تحمل می شود و زمینه پلیمری در واقع ضمن حفاظت الیاف از صدمات فیزیکی و شیمیایی، کار انتقال نیرو به الیاف را انجام می دهد.در ضمن زمینه الیاف را مانند یک چسب کنار هم نگه می دارد و البته گسترش ترک را محدود می کند.

روش های مختلفی برای ساخت کامپوزیت ها وجود دارد که در کل به روش قالب گیری بسته و باز صورت میگیرد که ساده ترین روش نیز ، فرآیند قالب گیری باز است که برای تولید قطعات بزرگ استفاده می شود.پالتروژن یکی از اقتصادی ترین روش های تولید پروفیل های کامپوزیتی مورد استفاده در صنایع ساختمان است که برای تولید قطعات سبک و مقاوم در برابر خوردگی استفاده می شود.امروزه کامپوزیتهای زمینه پلیمری کاربرد های فراوانی دارند که از جمله آنها می توان به قطعات به کار رفته در صنعت هوا و فضا، لوله های انتقال گاز ، تابلو برق های کامپوزیتی و ... اشاره کرد.

www.prozhe.com

فهرست مطالب

فصل اول-معرفی مواد کامپوزیتی ۷

۱-۱) مقدمه ۷

۱-۲)تعریف کامپوزیت ۸

۱-۳)اجزای یک ماده کامپوزیتی ۹

۱-۴)زمینه ۹

۱-۴-۱)ترموپلاستیک ها ۱۰

۱-۴-۲)ترموست ها ۱۱

۱-۴-۳)الاستومرها ۱۲

۱-۴-۴) پلیمرهای مورداستفاده به عنوان زمیته در کامپوزیت های زمینه پلیمری ۱۳

۱-۵)تقویت کننده ها ۱۶

۱-۵-۱)تقویت کننده فایبرگلاس هاGFPR ۱۸

۱-۵-۱)تقویت کننده الیاف کربنCFRP ۲۰

۱-۵-۳)تقویت کننده آرامید ۲۱

۱-۶)فصل مشترک ۲۲

فصل دوم-فرآیندهای ساخت کامپوزیت های زمینه پلیمری ۲۳

۲-۱)مقدمه ۲۳

۲-۲)فرآیند قالب گیری باز ۲۳

۲-۲-۱)لایه گذاری دستی ۲۳

۲-۲-۲)پاشش رزین ۲۵

۲-۲-۳)رشته پیچی ۲۷

۲-۳)فرآیند قالب گیری بسته ۲۹

۲-۳-۱)قالب گیری فشاری ۲۹

www.prozhe.com

۲-۳-۲)قالب گیری ورقه ایSMC..... ۳۰
۲-۳-۳)ترکیبات قالب گیری BMC,DMC..... ۳۱
۲-۳-۴)قالب گیری تزریقی..... ۳۲
۲-۳-۵)قالب گیری انتقالی..... ۳۲
۲-۳-۶)پالتروژن..... ۳۵
۲-۴)مقایسه روش های شکل دهی ۳۸
فصل سوم-خواص کامپوزیت های زمینه پلیمری..... ۴۰
۳-۱) مقدمه و کلیات..... ۴۰
۳-۲)چگالی..... ۴۴
۳-۳)ضریب انبساط حرارتی در جهت طولی..... ۴۴
۳-۴)ضریب انبساط حرارتی در جهت عرضی..... ۴۵
۳-۵)استحکام کششی..... ۴۵
نتیجه گیری..... ۵۰
پیوست..... ۵۱
واژه نامه..... ۵۹
منابع..... ۶۱

www.prozhe.com

فهرست شکل ها

شکل-۱.....انواع کامپوزیت ها

شکل-۲.....انواع پلیمرها

شکل-۳.....انواع الیاف

شکل-۴.....مراحل تولید الیاف شیشه به روش کشش مذاب

شکل-۵.....مراحل روش لایه گذاری دستی

شکل-۶.....مراحل روش پاشش رزین

شکل-۷.....مراحل روش رشته پیچی

شکل-۸.....روش RTM

شکل-۹.....مراحل روش پالتروژن

شکل-۱۰.....تغییرطول و باز شدن زنجیره های پلیمری در اثر اعمال نیرو

شکل-۱۱.....باراعمالی کششی به کامپوزیت

شکل-۱۲.....باراعمالی فشاری به کامپوزیت

شکل-۱۳.....باراعمالی برشی به کامپوزیت

شکل-۱۴.....باراعمالی خمشی به کامپوزیت

شکل-۱۵.....استحکام کششی مواد ساختمانی معمولی و کامپوزیت ها

شکل-۱۶.....مدول کشسانی مواد ساختمانی معمولی و کامپپوزیت ها

شکل-۱۷.....استحکام کششی ویژه مواد ساختمانی معمولی و کامپوزیت ها

شکل-۱۸.....مدول کشسانی ویژه مواد ساختمانی معمولی و کامپوزیت ها

www.prozhe.com

فهرست جداول

جدول-۱.....مقایسه پلیمرهای گرمانرم

جدول-۲.....مقایسه پلیمرهای گرماسخت

جدول-۳.....ترکیب شیمیایی چندنوع الیاف شیشه ای

جدول-۴.....مقایسه فاکتورهای هزینه ای در فرآیند های مختلف

جدول-۵.....مقایسه مواد مورد استفاده در فرآیندهای مختلف

جدول-۶.....مزایا و معایب فرآیندهای مختلف شکل دهی

www.prozhe.com

فصل اول-معرفی مواد کامپوزیتی

۱-۱) مقدمه

بیش از سی سال است که مواد کامپوزیتی ، پلاستیک ها و سرامیک ها به عنوان مواد برتر شناخته شده اند. حجم کاربرد مواد کامپوزیت به طور پیوسته رشد پیدا کرده و در بازار های جدید نفوذ و تسخیر زیادی داشته اند. بسیاری از نیازهای صنعتی مانند صنایع فضایی، راکتورسازی، الکترونیکی، ساختمان سازی، حمل و نقل و . . . نمی توانند با استفاده از مواد معمولی برآورده شود و نیاز به تغییر گسترده ی خواص دارد. از طرف دیگر در کاربردهای مهندسی اغلب تلفیق خواص، مورد نیاز است. به عنوان مثال در صنایع هوافضا، کاربردهای زیرآبی، حمل و نقل و . . . امکان استفاده از یک نوع ماده که همه ی خواص موردنظر را فراهم نماید وجود ندارد. در این صنایع به موادی نیاز است که ضمن داشتن استحکام بالا ، سبک باشد، مقاومت سایشی و مقاومت به ضربه ی خوبی داشته باشند. بنابراین استفاده از کامپوزیت ها تنها راه حل مشکل است. یکی از رایج ترین و عمومی ترین نوع کامپوزیت ها، کامپوزیت های زمینه پلیمری است و به نام PMC خوانده می شوند.این کامپوزیت ها بیش از ٪۹۵ مصرف جهانی را به خود اختصاص داده اند. کامپوزیت های زمینه پلیمری شامل زمینه از جنس پلیمر (رزین) که به فاز توزیع شده ی تقویت کننده متصل شده است. پلیمرها دسته ای از مواد مهندسی هستند که از دهه ی ۴۰ قرن حاضر به بعد مورد توجه قرار گرفته اند. پلیمرها ماکرومولکول های بسیار بزرگی هستند که از اتصال کووالانسی واحدهای تکرار شونده ی کوچکتری ایجاد می شوند. در واقع پلیمر از تکرار مونومرها که واحد های اصلی تشکیل دهنده استخوان بندی اصلی آنها هستند، تحت شرائط پلیمریزاسیون تشکیل می شوند. پلیمر در کامپوزیت ها می تواند هم به عنوان زمینه و هم به عنوان فاز دوم یا تقویت کننده مطرح باشد.کامپوزیت های زمینه پلیمری دارای مزیت های زیادی نظیر سبکی، ارزانی و انعطاف پذیری هستند ولی معایب آنها دمای پایین کارکرد، حساسیت به نور، تجزیه شدن در برابر رطوبت و . . . می باشد.

www.prozhe.com

۱-۲)تعریف کامپوزیت

یک ماده کامپوزیت، مخلوط فیزیکی در مقیاس ماکروسکوپی است که از دو یا چند ماده مختلف به دست آمده است. این مواد خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خود را حفظ کرده ولی در مجموع، مخلوط خواص بهتری از هر یک از اجزا تشکیل دهنده ی خود را دارا می باشد.به طور کلی یک ماده ی کامپوزیت ترکیبی است از تقویت کننده (الیاف ، ذرات ، ورق پوسته ای و یا پر کننده ها) که در زمینه (پلیمر ، فلز و یا سرامیک)فرو رفته باشد. زمینه تقویت کننده را نگه می دارد تا فرم مورد نیازتشکیل شود، در حالیکه تقویت کننده، خواص مکانیکی کلی زمینه را بهبود می بخشد. اگر طراحی مناسب باشد، ماده ی ترکیبی جدید خواص بهتری را از ماده ی ترکیب شده ی قبلی نشان می دهد.

طبق تعریف جارتیز کامپوزیت ها مواد چند منظوره ای هستند که خصوصیاتی را که مواد در حالت ترکیب نشده ندارند را فراهم می کنند. آنها ساختارهایی به هم چسبیده اند و به وسیله ی ترکیب فیزیکی دو یا چند ماده ی همسان به دست آمده اند که در ترکیب و خصوصیات و در بعضی مواقع در شکل متفاوت می باشند.

طبق نظر Kelly اهمیت آن بسیار واضح است که کامپوزیت ها نباید به طور ساده ترکیبی از دو ماده انگاشته شوند. در مفهوم کلی تر،ترکیب، خصوصیات برتر آنها را دارد

Berghezan تعریف می کند که : کامپوزیت ها ترکیبی از مواد هستند که با آلیاژها متفاوتند. به خاطر اینکه اجزای تشکیل دهنده، خصوصیتشان را حفظ می کنند اما به طور پیوسته در ترکیب کامپوزیت می باشند تا فقط مزایای خواص آنها را بگیرند نه از کاستی و کمبودشان.

Van Suchetclan توضیح می دهد: که مواد کامپوزیتی همچون مواد ناهمگنی که شامل دو یا چند فاز جامد میباشند، در تماس با همدیگر در مقیاس ماکروسکوپی هستند. آنها همچنین می توانند مواد همجنس در یک مقیاس ماکروسکوپی که هر بخش از آن خصوصیت فیزیکی مشابهی را خواهد داشت، برسند.

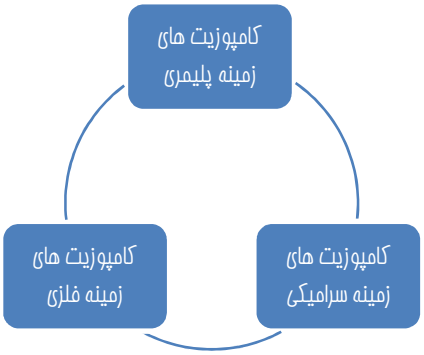
www.prozhe.com

۱-۳) اجزای یک ماده کامپوزیتی

اساسی ترین شکل یک ماده کامپوزیتی، شکلی است که در آن دو جز ترکیب شده اند و ماده ای را با خواصی که متفاوت از خصوصیات اجزای آن است تولید کرده اند. اغلب کامپوزیت ها شامل یک ماده حجمی (bulk) است به نام زمینه و یک تقویت کننده با انواع مختلف که برای افزایش سفتی و استحکام زمینه اضافه شده است.این تقویت کننده معمولا به شکل الیاف است.

۱-۴) زمینه

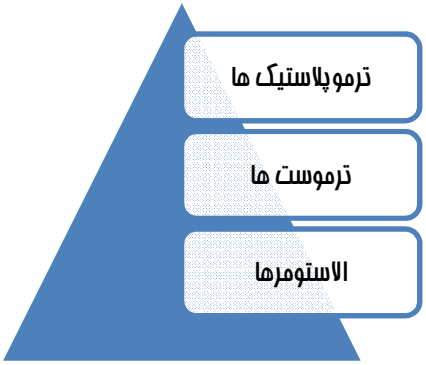
خیلی از مواد هنگامی که به صورت الیاف هستند استحکام خیلی خوبی را نشان می دهند، اما برای رسیدن به این خواص، الیاف باید به یک زمینه خوب پیوند زده شوند. زمینه الیاف را از هم جدا میکند تا از ساییدگی و تشکیل عیوب سطحی جدید جلوگیری نماید و مانند پلی، الیاف را در محلی نگه دارد. یک زمینه خوب باید توانایی تغییر شکل تحت بار به کار رفته را دارا باشد و نیرو را به الیاف انتقال دهد و تمرکز تنش را توزیع نماید، الیاف را از صدمات محافظت نماید و از اشاعه ترک در کامپوزیت جلوگیری کند. مطالعه ی طبیعی نیروهای پیوندی نشان می دهد که به محض اولین بارگذاری، تمایلی به چسبندگی بین تقویت کننده و زمینه که می خواهد شکسته شود، وجود دارد.این نیروهای چسبندگی برای جلوگیری از جذایش دو فاز (pull out) ضروری است.این نیروهای پیوندی باید به حد کافی بزرگ باشد تا از این رویداد جلوگیری کند همچنین نیروهای پیوندی نقش مهمی در انتقال بار دارد. زمینه معمولا حدود درجه حرارت کار را مشخص میکند.عمومی ترین کامپوزیت های ساخته شده را بر اساس نوع زمینه می توان به سه گروه اصلی تقسیم نمود.



شکل-۱

www.prozhe.com

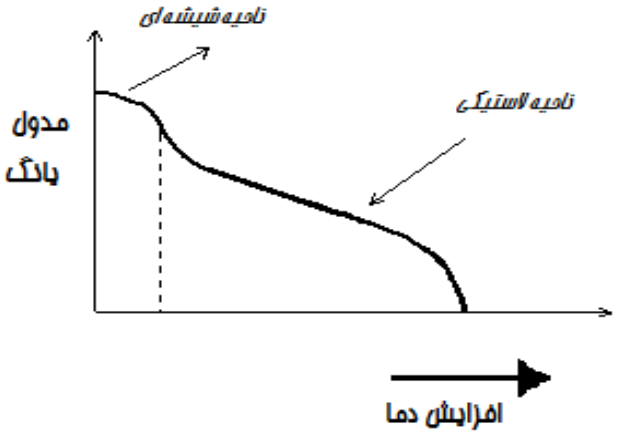
پلیمرها به انواع مختلفی تقسیم می شوند که این تقسیم بندی می تواند برحسب نوع سنتز، نوع ترکیب شیمیایی و نوع ساختار مولکولی باشد. مهمترین طبقه بندی پلیمرها به صورت زیر است :



شکل-۲

۱-۴-۱) ترموپلاستیک ها

ترموپلاستیک ها یا پلیمر های نرم شونده در برابر حرارت از جمله مواد پلاستیکی هستند که مولکول های آنها با اندازه های مختلف در کنار یکدیگر قرار گرفته است و پیوند بین زنجیره های مجاور در آنها از نوع پیوند بسیار ضعیف واندروالس است. در نتیجه این پیوندهای ضعیف ثانویه، خواص مکانیکی این نوع پلاستیک ها در حد پایین می باشد.ترموپلاستیک ها به دلیل اینکه از مولکول هایی با اندازه های متفاوت تشکیل شده اند دارای نقطه ذوب مشخصی نیستند. آنها در درجه حرارت های معمولی محیط، جامد بوده و با افزایش دما نرم و کل پذیر می گردند. در حقیقت با افزایش دما زنجیره ها از هم جدا شده و با سهولت بیشتری روی یکدیگر می لغزند. همچنین افزایش بیشتر دما منجر به ذوب زنجیره های پلیمری می شود. نمودار ۱ تغییرات مدول یانگ پلیمرهای ترموپلاستیک را با افزایش دما نشان میدهد.



نمودار-۱

www.prozhe.com

همانطور که می بینیم در دمای کم مدول یانگ پلیمرها بالا بوده ولی با افزایش دما پلیمر از حالت صلب خارج میشود و به سمت کاهش ویسکوزیته حرکت میکند تا در نهایت در نقطه ذوب خود حالت ویسکوز می یابد. مزایای پلیمرهای ترموپلاستیک شکل دادن ساده ی آنهاست و معایب آنها خواص مکانیکی پایین و کاهش خواص مکانیکی با افزایش دما است. معمولا از ترموپلاستیک ها در ساخت قطعات کامپوزیت کمتر استفاده می شود. پلی اتیلن، پلی وینیل کلراید(PVC)، پلی استرها و پلی آمیدها از این دسته ها هستند. درصد ازدیاد طول پلیمرهای ترموپلاستیک و چگالی آنها نکته قابل توجهی است. معمولا چگالی ترموپلاستیک ها بین $\frac{g}{cm^3}$ ۰/۹۲-۱/۳۹ می باشد و درصد ازدیاد طول این دسته از پلیمرها از ۱۵ تا ۸۰۰ درصد متغیر است. از دیگر اعضای این خانواده میتوان از پلی پروپلین، پلی آکریلونیتریل، پلی متیل متاکریلات، پلی اکسی متیل و پلی کربنات نام برد.

جدول-۱ مقایسه ی پلیمرهای گرمانرم

نوع رزین	اجرا	فرآیند ساخت	هزینه
• PP	LOW	EASY	LOW
• PAs(nylon)	↓	↓	↓
• Polyester			
• PPS			
• Polysulfones			
• Polyimide			
• Polyketones	HIGH	DIFFICULF	HIGH

۱-۴-۲)ترموست ها

در این دسته از پلیمرها زنجیره های مولکولی توسط پیوند های عرضی به هم متصل هستند و یک شبکه سه بعدی پدید می آورند. شبکه سه بعدی توسط اتصال یک عامل از زنجیره ها که از نقاط مختلف به هم متصل هستند پدید می آید. چنین پیوندهایی در اثر انجام عملیات پخت یا گیرش(curing)حاصل می شوند. عملیات پخت یا سخت شدن یک واکنش شیمیایی است که در اثر انجام آن پیوندهای عرضی ایجاد شده و سبب تردی و شکننده شدن ماده می شوند و چقرمگی پلیمر از بین می رود. به عنوان مثال میتوان از چسب دوقلو نام برد. یکی از اجزا سازنده این دسته از چسب ها ماده ای تحت عنوان سخت کننده (hardner) می باشد که باعث پدید آمدن گیرش می شود. واکنش گیرش همانطور

www.prozhe.com

که گفته شد ماهیت شیمیایی دارد بنابراین عوامل موثر بر تسریع سرعت واکنش هایی شیمیایی بر این پدیده موثر است. عواملی مانند دما، غلظت ، کاتالیزور و فشار بر پدیده ی گیرش تاثیر دارند. هنگام استفاده از پلیمرهای ترموست باید به این نکته توجه داشت که این پلیمرها را پس از انجام فرایند گیرش نمی توان کامپوزیت کرد و عملیات کامپوزیت سازی باید قبل از گیرش انجام شود. البته روش دیگری نیز وجود دارد و آن گیرش نیمه تمام است. در این حالت گیرش به صورت ناقص انجام می شود و پس از عملیات کامپوزیت سازی گیرش را تکمیل می نمایند.

در مقایسه بین پلیمرهای ترموست و ترموپلاستیک می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱-واکنش گیرش برگشت ناپذیر است.

۲-کامپوزیت هایی که از پلیمرهای ترموست پدید می آیند در چرخه ی طبیعت بازیافت نمی شوند.

۳-پلیمرهای ترموست در اثر افزایش دما تجزیه می شوند و ذوب نمی گردند.

جدول-۲ مقایسه پلیمرهای گرما سخت

نوع رزین	اجرا	فرآیند ساخت	هزینه
• **Polyester**	**LOW**	**EASY**	**LOW**
• **Vinyl Ester**	↓	↓	↓
• **Pollyurethane**(PUR)			
• **Epoxy**			
• **Bismaleimide**(BMI)			
• **Phenolic**			
• **Polyimide**(PI)	**HIGH**	**DIFFICULT**	**HIGH**

۱-۴-۳) الاستومرها

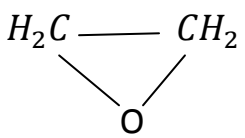
این دسته از پلیمرها واسط بین ترموست ها و ترموپلاستیک ها هستند و در آنها تعداد پیوندهای عرضی ایجاد شده کم است. از این رو تحت تاثیر تنش و درجه حرارت معمولی محیط خاصیت کشسان پیدا می کنند و به همین دلیل به آنها الاستومر می گویند. این مواد با افزایش دما از حالت کشسان به حالت پلاستیک تغییر وضعیت می دهند.

www.prozhe.com

۱-۴-۴)پلیمرهای مورد استفاده به عنوان زمینه در کامپوزیت های زمینه پلیمری

الف)پلی استر: یک رزین ترموست است که از واکنش پلیمریزاسیون مابین یک الکل دو یا چند عاملی با یک کربوکسیلیک اسید دو یا چند عاملی ایجاد می شود. استحکام مکانیکی . مقاومت شیمیایی این پلیمر به عامل پخت کننده وابسته بوده و سرعت پخت آن با کاتالیزور قابل کنترل است. دما نیز نقش تعیین کننده ای بر سرعت و زمان پخت دارد.کارایی اغلب پلی استرها در دمای ۷۰-۸۰°C است. البته برخی از آنها دمای ۲۵۰°Cرا نیز تحمل میکنند.ولی مداومت حضور در این دما و دماهای بالاتر موجب افت خواص می شود. اشکال عمده پلی استر ها آن است که در خلال انجام واکنش پخت بین ۸-۴ درصد انقباض و افزایش مقاومت شیمیایی، به این دسته از پلیمرها یک جز معدنی افزوده می شود. عمدتا در کامپوزیت های زمینه پلیمری تقویت شده با الیاف شیشه از رزین پلی استر استفاده می کنند.در مورد کاربرد الیاف شیشه به همراه رزین پلی استر باید از ژل کوت مناسب استفاده کرد تا از نفوذ رطوبت به فصل مشترک الیاف و رزین جلوگیری کرد.

ب)اپوکسی : منشا به دست آمدن آن از رزین اپوکسید است.



در اثر پلیمریزاسیون این مونومر، حلقه باز شده و با واکنش با مونومرهای دیگر به یک زنجیر تبدیل می شود. این ماده در اثر پخت ٪ ۳-۲ انقباض نشان می دهد و محصول جانبی حاصل از پخت آب یا مواد فرار نیست و از این جهت از پلی استر بهتر است. دمای پخت اپوکسی ها ۵-۱۸۰°C است و برخی از آنها دمای ۱۵۰-۲۵۰°C را نیز می توانند تحمل کنند. از آنجا که واکنش پخت آنها در دمای کم و فشار پایین میسر است لذا فرآیند تولید ساده ای دارند. کامپوزیت هایی که زمینه آنها اپوکسی است دارای چگالی کم و خواص مطلوبی برای صنایع هوا فضا هستند و بسیاری از کامپوزیت های کربن دارای چنین زمینه ای هستند.چند لایه های رزین اپوکسی از اهمیت فوق العاده ای در صنایع هواپیما سازی برخوردارند.بسیاری از قطعات ساختاری از جنس الیاف کربن و رزین اپوکسی جایگزین آلیاژهای فلزی شده اند و نتایج مطلوبی را نیز داشته اند. همچنین از این رزین به همراه الیاف آرامید در ساخت موتور راکت و کپسول های تحت فشار به

www.prozhe.com

روش رشته پیچی استفاده می شود. علاوه بر آن رزین های اپوکسی به طور وسیعی به همراه الیاف و ساختارهای لانه زنبوری برای ساخت ملخ های هلی کوپتر استفاده می شود.

ج)فنولیک: این ماده از واکنش بین یک فنول و آلدئید به دست می آید. مکانیزم واکنش بین فنول و فرم آلدئید هنوز به طور کامل شناخته شده نیست با این وجود این مشخص است که واکنش شروع توسط فعال شدن حلقه های بنزنی با گروه های هیدروکسیل صورت میگیرد.حلقه های فنول دارای سه رادیکال آزاد هستند بنابراین امکان ایجاد اتصال عرضی وجود دارد. این رزین ها معمولا کدر هستند و رنگ آنها از کهربایی کم رنگ و قهوه ای تا سیاه تغییر می کند.این رنگ تیره ی آنها کاربردشان را محدود می کند. این رزین ها جز رزین های با کاربرد عمومی محسوب می شوند و در اشکال پولک، فیلم مایع و پودر موجود هستند.این رزین ها دومین رتبه را در بین رزین های گرما سخت پرمصرف دارند.رزین های فنولیک به دلیل تفاوت های فیزیکی و شیمیایی اجزا ، خواص متنوعی را در بر می گیرند. کاربردهای مرسوم از این مواد عبارتند از سازه های عایق برای ولتاژهای بالا ، چرخ دنده ها، ....همچنین از فنولیک ها به عنوان چسب پوشش و لایه برای قطعات قالب گیری استفاده می شود.

د)آمین:دسته ی دیگری از رزین ها آمین ها هستند که از مونومرهای اوره و فرمالدئید به دست می آیند. با اتصال فرمالدئید در زنجیره اتصال عرضی پدید می آید.

ه)پلی آمیدها:پلی آمید ها که کولار یکی از آنهاست پودری شکل هستند. به منظور مصرف در کامپوزیت ها ابتدا در یک حلال حل می شوند و سپس از آنها قطعه ساخته می شود و در ادامه حلال را خارج می کنند. کولار می تواند تا حدود ۴۰۰°C را تحمل نماید و علت آن وجود زنجیره های آروماتیک در استخوان بندی اصلی زنجیره های آن میباشد.

و)پلی اتراترکتون: کامپوزیت های گرما سخت –تقویت شده با الیاف معمول-استحکام و سفتی بالایی از خود نشان میدهند ولی رفتار شکننده ای دارند. این رزین ها امکان جذب مقادیر بالایی انرژی بدون تخریب و صدمه و کاهش استحکام را ندارند. حتی ضربه های با سرعت پایین می تواند کاهش شدیدی در استحکام فشاری این مواد ایجاد نماید. اخیرا کامپوزیت های با زمینه ی گرما نرم توسعه یافته اند.شناخته شده ترین آنها کامپوزیت الیاف کربن و رزین پلی اتراترکتون می باشد. پلی اتراترکتون یک پلیمر حلقوی است و در دمای اتاق و سرعت پایین کرنش قادر به تغییر شکل

www.prozhe.com

پلاستیک و رسیدن به کرنش شکست تا ٪ ۱۰۰ می باشد. کامپوزیت های بر پایه پلی اتراترکتون با فرآیند قالبگیری فشاری ساخته می شوند.محصولات نهایی کیفیت بسیار خوبی دارند و دارای حداقل حباب و سطح نهایی بسیار خوب هستند.

ز)رزین وینیل استر: این رزین ها محصول واکنش رزین های اپوکسی با اسید های غیر اشباع اتیلنی می باشند به جز حالات خاص،معمولا رزین های مینیل استر دارای انتهای غیر اشباع می باشند.این انتها می تواند واکنش شبکه ای شدن را انجام دهد و نیز می تواند پلیمریزاسیون زنجیره های وینیل استر را انجام دهد. آنها را به تنهایی با واکنش رادیکال آزاد پخت نمود و یا در مونومری مانند استایرن حل نمود و رزین مایع به دست آورد. در این صورت وینیل استر را می توان مانند رزین پلی استر استفاده نمود.رزین های وینیل استر خواص چقرمگی و مقاومت شیمیایی بسیار بهتری نسبت به رزین های پلی استر دارند.زنجیر اصلی اپوکسی سازنده وینیل استر موجب پیدایش چقرمگی و ازدیاد طول کششی بالاتر می شود.جرم مولکولی رزین های وینیل استر به انتخاب نوع اپوکسی به کار رفته بستگی دارد. به این دلیل استحکام کششی، ازدیاد طول،نقطه نرمی، و واکنش پذیری رزین نهایی توسط جرم مولکولی و ساختار اولیه تعیین می شود.

۱-۵) تقویت کننده ها

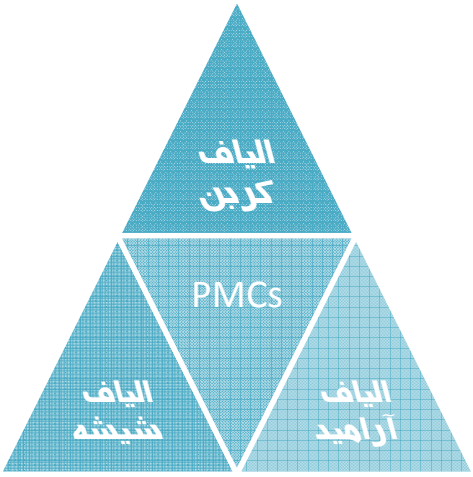
تقویت کننده های کامپوزیت های زمینه پلیمری به سه دسته تقسیم می شوند:

۱-پلیمرهای تقویت شده با الیاف شیشه(GFRP)

۲-پلیمرهای تقویت شده با با الیاف کربن(CFRP)

۳-پلیمرهای تقویت شده با الیاف آرامید

www.prozhe.com



شکل-۳

۱-۵-۱)تقویت کننده های فایبرگلاس GFRP

فایبرگلاس یک نام معمولی از کامپوزیت های زمینه پلیمری است که توسط الیاف ریز شیشه تقویت شده است. الیاف شیشه به دو شکل فاز پیوسته و ناپیوسته در زمینه این نوع کامپوزیت ها استفاده میشود. به طور کلی ٪۹۰ کامپوزیتهای زمینه پلیمری با الیاف شیشه تقویت می شوند. شیشه به طور وسیعی به عنوان الیاف تقویت کننده به علت ایجاد خواص زیر در این نوع کامپوزیت ها استفاده می شود.

- دسترسی آسان و سریع و مواد ارزان
- تکنولوژی ساده و ارزان تهیه الیاف پیوسته از شیشه مذاب
- مقاومت به خوردگی بالا
- استحکام کششی بالا در حدود ۴۱۰۰مگا پاسکال
- از نظر شیمیایی بی اثر در پلاستیک ها

انواع شیشه های مورد استفاده در فایبر گلاس عبارتند از:

E- glass عمومی ترین و ارزان ترین الیاف شیشه است (حرف E به معنای الکتریکی و یک عایق عالی است).مدول یانگ نسبتا بالایی دارند.

S- glass قوی تر از الیاف E- glass است. (حرف S به معنای استحکام است). S- glass ها در کاربرد های نظامی و هوافضا استفاده می شوند. S+R- glass قویترین و گرانترین الیاف شیشه با قطر کم (نصف الیاف E- glass) است.

www.prozhe.com

C- glass این الیاف شیشه مقاوم به خوردگی و فعل و انفعالات شیمیایی است و در ساخت تانک های ذخیره سازی و دیگر تجهیزات مقاوم به فعل و انفعالات شیمیایی به کار می رود.

جدول-۳ ترکیب شیمیایی چند نوع الیاف شسیشه ای بر حسب درصد وزنی

ترکیبات	شیشه نوعE	شیشه نوعC	شیشه نوعS
SiO_2	۵۵/۲	۶۵	۶۵
Al_2O_3	۸	۴	۲۵
CaO	۱۸/۷	۱۴	-
MgO	۴۶	۳	۱۰
Na_2O	۰/۳	۸/۵	۰/۳
K_2O	۰/۲	-	-
B_2O_3	۷/۳	۵	-

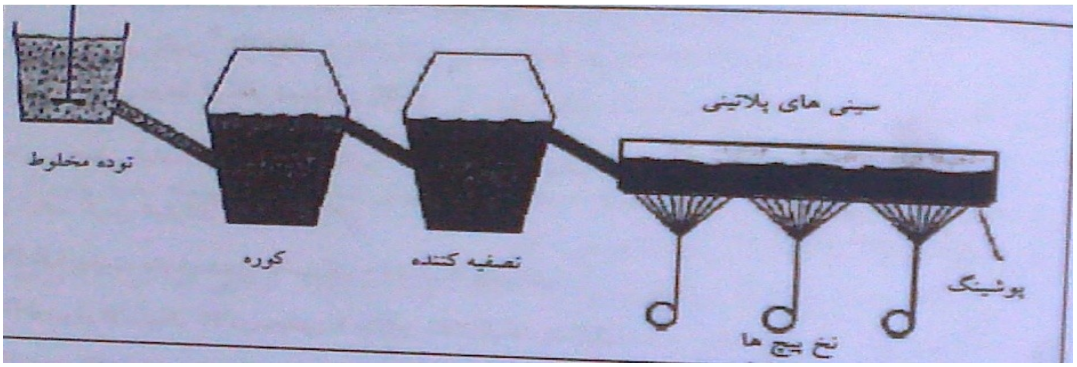
روش های تهیه الیاف شیشه

۱- روش کشش مذاب

۲- روش سل-ژل

روش کشش از مذاب مهمترین روش برای تهیه الیاف شیشه است. در تهیه الیاف شیشه نکته مهم آن است که تنش اعمالی به الیاف، متناسب با سرعت کرنش در ویسکوزیته مذاب است. شکل زیر روش تهیه الیاف شیشه ای را از مذاب شیشه نشان می دهد.ابتدا مواد اولیه که بیشتر از ماسه سیلیس است و قسمت اصلی هرنوع الیاف شیشه را تشکیل میدهد، آماده سازی شده و با یکدیگر مخلوط می شوند. به این توده batch گفته می شود. سپس آن را در کوره به شکل شیشه در می آورند. شیشه مذاب روی سینی های پلاتینی مقاوم به حرارت جریان پیدا می کنند. در این سینی ها هزاران روزنه وجود دارد که بوشینگ نامیده می شود جریان شیشه مذاب از درون بوشینگ ها بیرون کشیده می شود و تا قطرمعین نازک می شوند سپس توسط آب یا هوا خنک می شوند تا الیاف تشکیل شوند. الیاف مو مانند با یک مخلوط شیمیایی مایع که sizing نامیده می شوند پوشش داده می شوند. پوشش دادن به منظور محفوظ ماندن الیاف از سایش به یکدیگر در طی فرآیند ساخت و حصول اطمینان از چسبندگی الیاف به رزین انجام میگیرد.

www.prozhe.com



شکل-۴

دسته ای از الیاف شیشه ای که کاربرد زیادی هم دارند الیاف شیشه ای با سیلیس بالا هستندو این الیاف را با اسیدشویی تولید میکنند. الیلف شیشه ای به دست آمده را در اسید داغ قرار می دهند که در اثر آن ترکیب درصد وزنی SiO_2 آنها تا ٪۹۵ افزایش می یابد. الیاف کوارتز به دست آمده از این روش بسیار گرانتر از الیاف شیشه هستند و پایداری حرارتی خوبی را از خود نشان می دهند و تا دمای ۱۶۰۰°C را می توانند تحمل کنند. ضریب انبساط حرارتی این دسته از الیاف کم است و بنابراین بسیار شوک پذیر هستند. در بهترین حالت اختلاف دمای ۱۱۰۰°C را می توانند تحمل کنند مزیت دیگر الیاف کوارتز آن است که استحکام خود را در دمای بالا بهتر حفظ میکنند و میزان طویل شوندگی و افزایش طول آنها حدود یک درصد است و از خود حد تسلیم نشان می دهند. الیاف در برابر خوردگی اسیدها مقاوم است ولی با مواد قلیایی واکنش میدهند. در برابر رطوبت مقاوم بوده و عایق الکتریکی هستند.

معمولی ترین ماده زمینه برای ساخت فایبرگلاس گرماسخت ها مثل پلی استر غیراشباع و اپوکسی و گرمانرم ها مثل پلی آمید ویلی کربنات و پلی استیرن و پلی وینیل کلراید هستند. مواد فایبرگلاس معمولا ساختار لایه ای با الیاف تقویت کننده شیشه با جهات مختلف دارند. جهات مختلف الیاف شیشه خواص ایزوتروپی در صفحات موازی با لایه ها ایجاد میکنند. غلظت الیاف شیشه در فایبرگلاس معمولا حدود ۴۰ تا ۷۰ درصد است. کامپوزیت زمینه پلیمری تقویت شده با الیاف شیشه توسط فرآیندهای قالب گیری باز، قالب گیری بسته و روش پالتروژن تولید می شوند.

۱-۵-۲) تقویت کننده الیاف کربن CFRP

کامپوزیت های زمینه پلیمری که با الیاف کربن تقویت شده اند CFRP نام دارند. الیاف کربن یکی از قوی ترین الیاف هستند، شامل کربن های غیر گرافیتی (حدود٪۹۰) که به وسیله کربونیزاسیون الیاف طبیعی یا مصنوعی پلیمری در

www.prozhe.com

دمای بالاتر از ۲۷۰۰°C و یا از تاب خوردن مواد آلی مانند قیر و رزین به وجود می آیند. اگر عمل کربونیزاسیون به صورت کامل انجام شود به مدول یانگی در حدود ۵ برابر فولاد دست می یابیم. فاز تقویت کننده ی الیاف پیوسته و ناپیوسته کربن با قطر ۰/۰۰۰۴ است. الیاف کربن خیلی گران هستند.این الیاف محدوده وسیعی ار خواص را ایجاد میکنند بنابراین به مهندسین اجازه می دهند که کامپوزیت های بهتری را طراحی کنند. وقتی الیاف کربن در یک زمینه پلیمری به عنوان تقویت کننده استفاده می شوند خواص زیر را ایجاد می کنند:

- مدول کشسانی بالا در حد فولاد
- استحکام کششی بالا حدود ۷ گیگا پاسکال
- چگالی پایین $۱۸۰۰\frac{\mathrm{kg}}{m^3}$
- خنثی بودن از نظر شیمیایی بالا

از معایب اصلی الیاف کربن این است که این الیاف شکننده هستند

انواع الیاف کربن عبارتند از :

۱- نوع UHM: الیاف با مدول بسیار بسیار بالا E_M>۴۵۰GPa

۲- نوع HM: الیاف با مدول بالا ۳۵۰<E_{M}<۴۵۰GPa

۳- نوع IM: الیاف با مدول متوسط ۲۰۰<E_{M}<۳۵۰GPa

۴- نوع HT: الیاف با مدول کم و استحکام بالا ۱۰۰>E_{M} و σ>۳Gpa

همچنین الیاف کربن بر پایه مواد ساخته شده و روش ساخت به دسته های زیر تقسیم می شوند:

۱- الیاف کربن بر پایه PAN

۲- الیاف کربن برپایه قیر

۳- الیاف کربن بر پایه قیرمزوفاز

۴- الیاف کربن بر پایه ریون(Rayon)

www.prozhe.com

۵- الیاف کربن بر پایه رشد فاز گازی

ساده ترین روش تهیه الیاف کربنی، پیرولیز الیاف آلی نظیر ریون با فرمول n($C_n H_{10} O_5$)، پلی اکریلونیتریل(PAN) با فرمولx[$-CH_2 = CH - C = N$] و الیاف قیر و قطران می باشد. در طی عملیات پیرولیز، ماده اولیه ذوب و یا حداقل نرم شده و ساختار جدید در حین عملیات حرارتی شکل می گیرد.

الیاف کربن پایه PAN عمومی ترین نوع الیاف کربن هستند که به وسیله ی تبدیل پلی اکریل نیترات(PAN) طی مراحل زیر تولید می شوند.

- کشیدن رشته هایی از PAN و اکسیداسیون گرمایی آنها در ۲۰۰°C در این حالت، رشته ها در حالت کشش نگه داشته می شوند.
- کربونیزاسیون در اتمسفر نیتروژن در درجه حرارت حدود ۲۲۰۰°C برای چند ساعت. در طول این مرحله عناصر غیر کربن (H,N,O) در نتیجه ی غنی شدن الیاف با کربن فرار می شوند.
- گرافیته شدن در درجه حرارت ۲۵۰۰°C.

دسته دیگر الیاف، الیاف کربن با پایه قیر و قطران است.(Pitch)

- رشته ها از زغال سنگ یا قیر تاب داده می شوند.
- الیاف در ۳۱۵°C عمل آورده می شوند.
- در اتمسفر نیتروژن در درجه حرارت ۱۲۰۰°Cکربونیزه می شوند.

عمومی ترین ماده زمینه برای ساخت پلیمر با تقویت کننده الیاف کربن، از گرماسخت ها، پلی استر و از گرمانرم ها، نایلون(پلی آمید) هستند. پلیمرهای تقویت شده با الیاف کربن معمولا ساختمان لایه ای دارند که تقویت کننده در دو جهت عمود فراهم کرده اند.CFRPها توسط فرآیند قالب گیری باز و قالب گیری بسته و روش پالتروژن تولید می شوند.

خواص کامپوزیت های پلیمری تقویت شده با الیاف کربن:

وزن سبک-نسبت استحکام به وزن بالا-نسبت مدول کشسانی به وزن خیلی بالا- استحکام خستگی بالا – مقاومت به خوردگی خوب- ضریب انبساط گرمایی خیلی پایین- مقاومت به ضربه پایین- هدایت الکتریکی پایین-

www.prozhe.com

الیاف کربنی استحکام و مدول یانگ خود را در محیط خنثی در دمای بالا حفظ می کنند. در حضور اکسیژن دردمای ۴۵۰ درجه سانتی گراد استحکام الیاف کربنی از دست می رود. الیاف کربنی عیوب دیگری از جمله : واکنش با فلزات و تشکیل فازهای کاربیدی ترد و شکننده ،نداشتن کارایی در محیط اسیدی، قیمت بالا ، دارند.

۱-۵-۳)آرامید

دو نام تجاری الیاف آرامید، کولار(Kevlar) و نومکس(Nomex) است. این الیاف ابتدا به عنوان جایگزین فولاد در لاستیک توسعه یافتند و بعد کاربرد های دیگری پیدا کردند.این الیاف نسبت استحکام به وزن خیلی بالا نشان میدهند.مدول کششی در آنها خیلی بزرگتر از مدول فشاری آنهاست. مقاومت به ضربه آنها در نتیجه ی بالا بودن مدول کششی خیلی زیاد است.

خواص آرامیدها:

استحکام کششی بالا-مدول کشسانی بالا – درصد ازدیا طول خیلی پایین تا نقطه شکست-وزن کم-ضریب انبساط گرمایی خیلی کم- چقرمگی شکست بالا(مقاومت به ضربه عالی)-مقاومت برشی بالا-مقاوم به شعله

معایب آرامید:

توانایی جذب رطوبت- مشکلات برش-استحکام فشاری پایین

آرامید ۲۹: استحکام بالا(۳۶۰۰مگا پاسکال)، چگالی پایین($۱۴۴۰\frac{\mathrm{Kg}}{m^3}$)

آرامید ۴۹: مدول فوق العاده بالا(۱۸۶GPa)، استحکام بالا (۳۴۰۰MPa)، چگالی پایین($۱۴۷۰\frac{\mathrm{Kg}}{m^3}$) الیاف کریستالی آن در صنعت هواپیما استفاده می شود. ساختار تکراری منظم، شکل کشیده و صاف زنجیره ها باعث بالا رفتن کریستالینتی تا ۸۰ درصد می شود. در این حالت محور زنجیره های پلیمری با الیاف کربن یکی می شود.

آرامید الیاف کربن را حمایت می کند و خواص آنها را بهبود می بخشد الیاف ترکیبی (آرامید + الیاف کربن) استحکام کششی خیلی بالا با مقاومت به سایش و ضربه را به هم پیوند میدهد. عمومی ترین ماده زمینه برای ساخت پلیمرهای

www.prozhe.com

تقویت شده با آرامید، ترموست ها مانند اپوکسی و وینیل استروفنولیک هستند. پلیمرهای تقویت شده با الیاف آرامید توسط پروسه های قالب گیری باز، بسته و پالتروژن انجام می گیرد.

می توان الیاف آرامید را به همراه الیاف شیشه و کربن در ساخت کامپوزیت های هیبرید به کار برد و از خواص انحصاری هر دو نوع الیاف بهره برد. با به کار بردن ترکیبی از الیاف در یک کامپوزیت می توان به نتایج مطلوب از نظر خواص و مسایل اقتصادی دست یافت که این نوع کامپوزیت ها را هیبرید می نامند.

۱-۶) فصل مشترک:

فصل مشترک، یک سطح محدود یا منطقه ای است که در آن یک ناپیوستگی اتفاق می افتد. خواه این ناپیوستگی فیزیکی، مکانیکی، شیمیایی و . . . باشد. جهت به دست آوردن خصوصیات مطلوب در یک کامپوزیت، بار اعمال شده از زمینه به الیاف از طریق فصل مشترک باید انتقال پیدا کند. این بدین معنی است که فصل مشترک باید بزرگ باشد و پیوستگی قوی بین الیاف و زمینه وجود داشته باشد و شکست در فصل مشترک نامطلوب است.

سه نوع فصل مشترک میان دو فاز وجود دارد:

۱-پیوند مستقیم با لایه میانی(در این حالت پیوستگی مرطوب کردن توسط باند کووالانس یا نیروی واندروالس فراهم شده است)

۲-لایه میانی به شکل محلول جامد از اجزای زمینه و تقویت کننده است.

۳-لایه میانی به شکل فاز سوم باعث چسبندگی میان دو فاز است.(فاز چسبی)

www.prozhe.com

فصل ۲. فرآیندهای ساخت کامپوزیت های زمینه پلیمری

۲-۱) مقدمه

روش های تولید PMCs به عواملی مانند جنس زمینه و فاز دوم، هندسه و شکل قطعات، دمای کارکرد، نحوه ی کاربرد و... بستگی دارد. امروزه کامپوزیت های زمینه پلیمری به روش های مختلفی ساخته می شود ولی عمده این فرآیندها در دو دسته مهم زیر تقسیم بندی می شود:

۱-فرآیند قالب گیری باز

۲-فرآیند قالب گیری بسته

فرآیند قالب گیری باز ساده ترین روش ساخت کامپوزیت های زمینه پلیمری است. این فرایند معمولا برای ساخت قطعات بزرگ استفاده می شود. فرآیند قالب گیری بسته وقتی استفاده می شود که تولید قطعات یکسان با سطوح صاف مورد نیاز است.

۲-۲) فرآیند قالب گیری باز

فرآیندهای قالب گیری باز انواع و شکل های مختلفی دارد که در ادامه به توضیح و بررسی آنها می پردازیم.انواع فرآیندهای قالب گیری باز عبارتند از :

۱-لایه گذاری دستی (Land Lay Up)

۲-پاشش رزین (Spray Up)

۳-رشته پیچی (Filament Winding)

۲-۲-۱) لایه گذاری دستی

در این روش ابتدا رهاساز روی سطح قالب اسپری می شود تا جدا کردن قطعه ساخته شده به سهولت انجام گیرد. سپس ژل کوت روی آن اعمال می شود تا سطح قطعه از نظر کیفیت و ظاهر سطح مطلوبی باشد. آنگاه الیاف رو یا درون قالب قرار می گیرند و رزین با دست روی آن ریخته شده، توسط قلم و یا غلطک آغشته سازی کامل می شود. همچنین این امکان وجود دارد که الیاف ابتدا به رزین آغشته شود و بعد لایه گذاری انجام گیرد. حباب های هوا گیر کرده در قطعه با حرکت قلم یا غلطک و فشار دادن الیاف خارج می شوند. لایه گذاری و آغشته سازی تا رسیدن به ضخامت مورد نظر ادامه

www.prozhe.com

می یابد. قطعه معمولا در فشار و دمای محیط پخت می شود. با کاتالیزور و شتاب دهنده زمان پخت را می توان تنظیم نمود.بیشترین رزین های مورد استفاده، پلی استر و اپوکسی می باشند. پلی استر به دلیل قیمت ارزان، در دسترس بودن و سهولت کار،رزین مطلوبی محسوب می شود.همچنین پلی استر به راحتی با رهاسازی استاندارد، از قالب جدا می شود. به منظور کاهش جمع شدگی قطعه که منجر به تابیدگی و موج دار شدن سطح می شود، از فیلر هایی مانند تالک و کربنات کلسیم استفاده می شود.اپوکسی ها گران قیمتند ولی خواص بهتری دارند. رهاسازی قالب برای فرمولاسیون ضروری است ودر غیر این صورت قطعه به قالب می چسبد و منجر به مشکلات جدا کردن قطعه از قالب، تابیدگی ، صدمه به قطعه و حتی قالب می شود. در فرمولاسیون هر دو رزین می تواند افزودنی های ضد شعله یا خود خاموش کن را وارد کرد. اپوکسی بیشتر به خاطر پایداری ابعادی و استحکام بالا استفاده می شود در حالیکه پلی استر در حجم های بالا و در کاربرد های معمولی استفاده می شود.

الیاف شیشه متداولترین تقویت کننده در کامپوزیت های ساخته شده به روش لایه گذاری دستی می باشند. این الیاف از رشته های نازکی که با سیلان اصلاح سطح شده اند، تشکیل شده اند. سیلان چسبندگی رزین به الیاف را بهبود می بخشد.در این فرآیند انواع الیاف از قبیل پارچه، نمد، الیاف کوتاه و رشته ای استفاده می شود و شکل الیاف خیلی نقش بحرانی در این فرآیند ندارد. ولی البته ولی البته الیاف نمد و پارچه بیشتر استفاده می شود.

روش لایه گذاری دستی هنوز وابسته به مهارت کارگر می باشد. این فرآیند در ساخت کشتی با موفقیت به کار گرفته می شود.سایر قطعات ساخته شده به این روش، گنبدها، کانال های آب، استخر، تانکر، میز و صندلی، تجهیزات محیط های خورنده، قطعات خودرو، اتاقک و خانه های پیش ساخته، صفحات صاف و موجدار، نمونه سازی و قالب های کامپوزیتی است.

یک فرآیند ساده لایه گذاری دستی، روی یک قالب نر یا داخل یک قالب ماده امکان پذیر است. انتخاب قالب بستگی به این دارد که کدام طرف قطعه از نظر ظاهری دارای اهمیت است. اگر سطح بیرونی مهم باشد از قالب ماده و اگر سطح داخلی اهمیت داشته باشد از قالب نر استفاده می کنیم و اگر کیفیت بالای سطح مورد نظر باشد ، یک لایه از رزین دارای کاتالیزور روی قالب اسپری می شود و اجازه می یابد تا نیم پخت شود. این لایه رزینی ژل کوت نامیده می شود و یک لایه محافظ غیر قابل نفوذ روی الیاف تشکیل می دهد. رزین های ژل کوت برای این کار فرموله می شوند تا منعطف بوده ، و در برابر تاول و تخریب مقاوم باشند. سطح دیگر کامپوزیت معمولا زبر می باشد ولی با به کارگیری یک سفلون یا فیلمی از

www.prozhe.com

جنس پلی وینیل الکل یا مواد مشابه، کمی با کیفیت تر می شود. مواد زیادی برای ساخت قالب از جمله چوب، پلی استر، اپوکسی، لاستیک و فولاد استفاده می شود. روش پیش آغشته می تواند به عنوان ادامه روش لایه گذاری دستی در نظر گرفته شود. در این فرآیند الیاف با رزین فرمول شده، آغشته می شود. تقویت کننده معمولا به صورت نوارهای تک جهته از الیاف یا پارچه بافته شده می باشد و به منظور سهولت حمل و نقل و انبار ، نیم پخت می شوند.پیش آغشته نیم پخت، چرم مانند است و کمی چسبنده ، بنابراین لایه ها روی شکل های پیچیده سر نمی خورند و می توانند شکل برجستگی های قالب را به خود بگیرند. در نتیجه شکل های پیچیده به دقت قابل قالب گیری می باشد. از آنجا که فرمولاسیون رزین پیش آغشته دارای شروع کننده می باشد، دارای تاریخ مصرف می باشد و بیش از چند روز یا هفته نمی توان آنها را در دمای اتاق نگهداری کرد به همین دلیل آنها را در فریزر نگهداری می کنند تا تاریخ مصرف آنها به یک سال یا بیشتر برسد. معمولا پیش آغشته ها با تجهیزات ساخت مخصوص ساخته می شوند تا درشد رزین و الیاف کنترل شود. آغشته سازی کامل الیاف با رزین مشکل نواحی آکنده از رزین و عاری از آن را حل میکند. در نتیجه همگونی بهتری نسبت به لایه گذاری دستی حاصل می شود. بنابراین از پیش آغشته در جاهایی استفاده می شود کارایی قطعه حساس باشد

شکل-۵

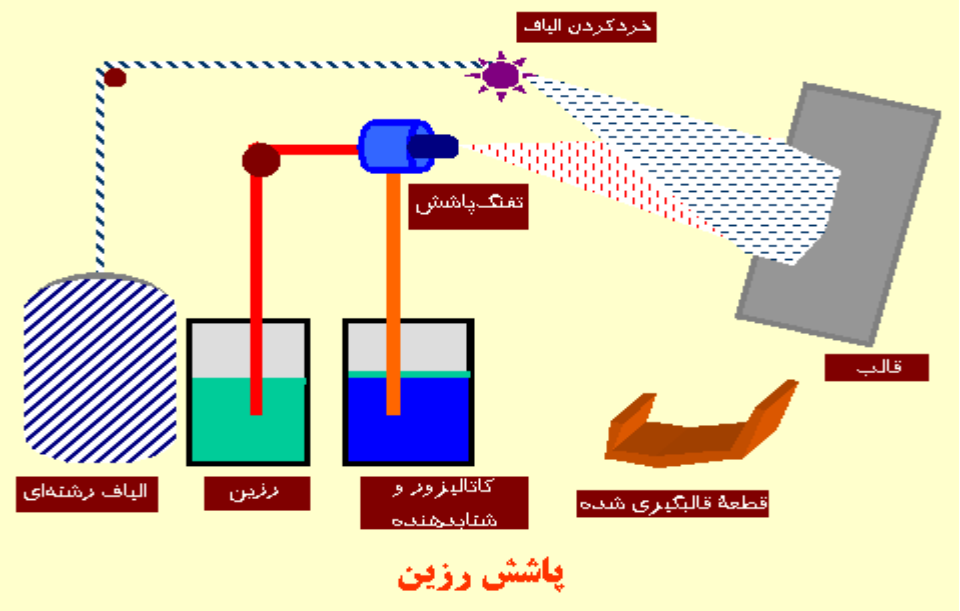
۲-۲-۲) پاشش رزین

در تلاش برای اتوماسیون فرآیند دستی، روش های مختلف پاشش رزین ابداع شده اند. این روش ها با کاربرد رشته های ارزانتر، کاهش زمان اعمال رزین و آغشته سازی الیاف و با به حداقل رساندن مواد، قیمت کلی کامپوزیت حاصل را کاهش می دهند. در فرآیند پاشش رزین، الیاف و رزین به طور همزمان رو یا درون یک قالب پاشیده می شوند. الیاف رشته ای به یک خرد کن وارد شده و بعد داخل جریان رزین همراه کاتالیست قرار می گیرند.رزین و کاتالیست ممکن است در یک تفنگ پاشش و یا از دو تفنگ پاشش وارد شوند و در هر حال به قالب می رسند و باهم مخلوط می شوند. سیستم پاشش

www.prozhe.com

ممکن است با هوا باشد. به منظور سهولت کار با دستگاه، معمولا تفنگ پاشش به یک میله ی متحرک آویزان است. پس از پاشش رزین و الیاف و نشستن آنها روی قالب، از الیاف آغشته به رزین ، حباب های هوا توسط غلطک کاری خارج میشوند و الیاف کاملا خوابانده می شوند و سطح صاف می شود.لایه های بعدی رزین و الیاف را نیز می توان تا رسیدن به ضخامت مطلوب اعمال نمود. سپس قطعه را در فشار و دمای محیط پخت می کنند، هرچند می توان با اعمال حرارت ، پخت را سریع کرد. رزین های مورد استفاده در این فرآیند معمولا پلی استر و اپوکسی هستند. با پاشش ژل کوت روی قالب، میتوان یک سطح نهایی عالی ایجاد کرد .طی فرآیند پاشش رزین، به منظور افزایش مقاومت در یک جهت یا محل خاص می توان الیاف پارچه ای را به آن اضافه نمود.

فرآین پاشش رزین برای حجم تولید کم تا متوسط ایده آل است. به خصوص برای ساخت قطعات بزرگ بسیار مناسب است. علاوه بر این، انتخاب لایه گذاری دستی یا پاشش رزین بستگی به خواص مکانیکی و محدودیت های فرآیند دارد. خواص مکانیکی لایه گذاری دستی، به دلیل پیوسته بودن الیاف بالاتر است. مزایای هردو روش بسیار شبیه هم است. فرآیند پاشش رزین هنوز برای تولید وان حمام، اتاقک دوش، قطعات اتومبیل های تفریحی، اتاق و سقف کامیون، صفحات بزرگ، اتاقک نگهبانی، خانه پیش ساخته، اثاثیه منزل و قطعات معماری استفاده می شود.



شکل-۶

www.prozhe.com

۲-۲-۳) رشته پیچی

یک روش ساده و کارا برای تولید قطعات مدور مانند لوله و ظروف استوانه ای در اندازه های مختلف می باشد. قطعات با قطر ۶ میلی متر تا ۲۵ میلی متر در این فرآیند متداول می باشد. در این فرآیند الیاف رشته ای یا نوار های پیوسته ی الیاف با شرایط کنترل شده روی یک مغزی پیچیده می شوند. لایه ها با یک طرح یکسان ویا متفاوت پیچیده می شوند. به هنگام پیچش الیاف، کشش الیاف بین لایه های پخت نشده کامپوزیت فشار ایجاد می کند. این فشار بر فشردگی الیاف و درصد حباب هوا در قطعه (که کنترل کننده ی استحکام و سفتی قطعه می باشد) موثر است. رزین ممکن است قبل، به هنگام و یا بعد از پیچش روی الیاف اعمال شود. در نهایت رزین در دمای محیط و یا دمای بالاتر و بدون اعمال فشار پخته شده، مغزی از درون آن بیرون کشیده می شود. عملیات تکمیلی مانند ماشین کاری و سنباده زنی معمولا احتیاج نیست.

چرخه تولید کامپوزیت های رشته پیچی شده را می توان به مراحل ذیل تقسیم نمود:

-پیچش قطعه روی مغزی

-حرارت دهی و پخت رزین

-سرد کردن قطعه

-بیرون کشیدن قطعه از مغزی

در ابتدا فقط از الیاف شیشه به عنوان تقویت کننده در این فرآیند استفاده میشود ولی امروزه برای قطعات با استحکام بالا از الیاف کربن و برای قطعات چقرمه و سبک از الیاف آرامید استفاده می شود. این الیاف به شکل های فلامنت، رشته ای، پارچه و نوارهای بافته و نبافته می توانند استفاده شوند. پلی استرها و وینیل استرها به دلیل قیمت پایین، خواص مکانیکی و شیمیایی ،بسیار مورد استفاده قرار میگیرند. در برخی قطعات نظامی و هوا فضا از رزین اپوکسی استفاده می شود. سیلیکونها، فنولیک هاو پلی آمیدها محدود به کاربرد ویژه ی الکتریکی با دمای بالا می باشند. انتخاب یک رزین خاص در یک سیستم مشخص بستگی به شرائط فرآیند، الزامات پخت و خواص مکانیکی مورد نظر دارد. ویسکوزیته و تاریخ مصرف سیستم ها مخلوط با کاتالیست از نظر فرآیندی دارای اهمیت فراوانی است برای رطوبت کنندگی الیاف و خروج هوای محبوس، ویسکوزیته ی پایین رزین الزامی است. اگرچه رزین های گرما سخت در فرآیند رشته پیچی متداول هستند، ولی تحقیق و توسعه در به کارگیری زمینه ی گرما نرم نیز در فرآیند پیشرفت های خوبی داشه است و قطعات حاصل خواص ممتازی از خود نشان داده اند. عمده ترین عوامل موثر بر خواص قطعات تهیه شده به روش پیچی عبارت است از:

www.prozhe.com

-درصد رزین و توزیع آن

-کشش به هنگام پیچش الیاف

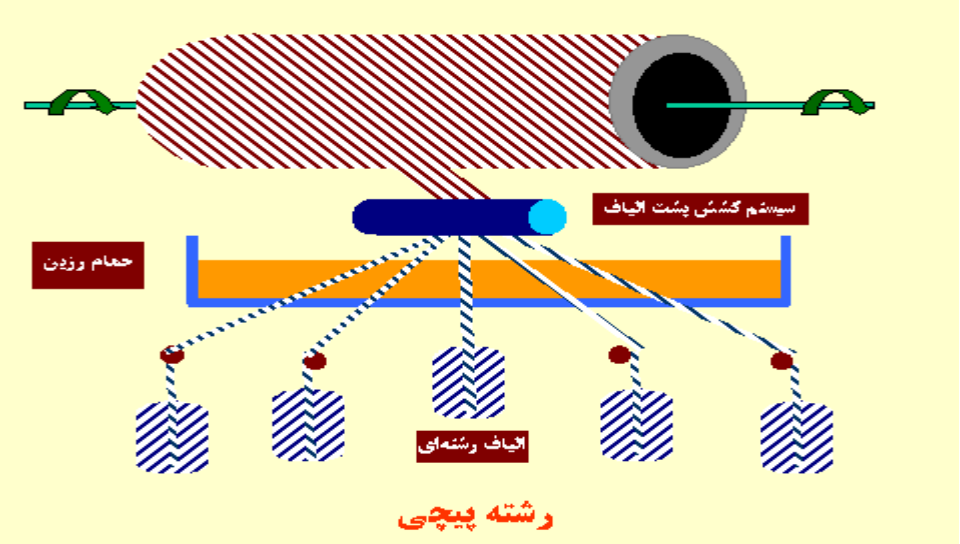
-شرائط الیاف آغشته شده

-پهنای نوار الیاف مورد استفاده

-آرایش الیاف و سیکل پخت

جدا کردن تاثیر هرکدام از عوامل فوق دشوار است و به هم مربوط می باشند. از جمله نقایص یا ضعف هایی که در قطعه به چشم می خورد مانند حباب هوا، نقاط خشک، نقاط آکنده از رزین، شکست زود هنگام، نواحی شکست موضعی،پخت ناقص یا ناهمگون است.درصد رزین یا توزیع آن برای کنترل وزن و ضخامت آهمیت فراوانی دارد. از نظر استحکام تغییرات مفرط درصد رزین، موجب ناهمگونی توزیع تنش و شروع شکست می شود. درصد رزین به کشش هنگام پیچش بسیار وابسته است. جریان رزین حاصل از فشار الیاف، جهت خارج کردن حباب های هوا و سایر مواد فرار سودمند است. ولی کشش به هنگام پیچش یک متغیر حساس در کنترل و کاهش مقدار حباب هاست. حبابهای اضافی موجب کاهش استحکام برشی بین لایه ای و افت استحکام فشاری و مقاومت در برابر خمش و شکم دادن می شود. دما ، رطوبت، شرائط آب و هوایی، پیری و سایر شرائط محیطی بر خواص کامپوزیت های رشته پیچی شده تاثیر می گذارند. تاثیر این عوامل همانند تاثیر بر قطعات کامپوزیتی تهیه شده با سایر روش ها است. پایین بودن درصد رزین در کامپوزیت های رشته پیچی شده، موجب می شود که آنها برای نفوذ رطوبت و تخریب در محیط های شدیدا مرطوب مستعدتر شوند.

عمده تلاش ها در راستای به کارگیری این تکنولوژی در ساخت بدنه ی موتور راکت هاف مخازن تحت فشار، لوله های شلیک موشک و ملخ هلی کوپتر بوده است.در آنجا نسبت استحکام به چگالی بیشترین اهمیت را داراست. از سوی دیگر در بخش تجاری نگاه ها به سوی کاهش قیمت تولید و استحکام متوسط می باشد. سیستم الیاف شیشه-رزین پلی استر به همراه تجهیزات ساده ی پیچش ، به جهت سرعت بالای تولید و قیمت پایین با موفقیت به کار گرفته شده اند.



شکل-۴

www.prozhe.com

۲-۳) فرآیند قالب گیری بسته

فرآیند قالب گیری بسته برای ساخت کامپوزیت های زمینه پلیمری با تقویت کننده فایبرگلاس، الیاف کربن و آرامید وقتی تولید قطعات یکسان با سطوح صاف مورد نیاز است استفاده می شوند. انواع قالب گیری بسته عبارتند از:

۱-قالب گیری فشاری(molding compound)

۲-روش SMC

۳-قالب گیری تزریقی(Injection molding)

۴-قالب گیری RTM

۵-قالب گیری انتقالی

۶-پالتروژن

۲-۳-۱)قالب گیری فشاری

فرآیند قالب گیری فشاری یک قالب گیری بسته است که در آن آمیزه(Charge) قالب گیری در یک قالب از پیش گرم شده،شکل حفره های قالب را به خود می گیرد و در قالب تحت فشار و گرما پخته می شود(اتصال عرضی).در این روش از یک قالب دو تکه با فشار هیدرواستاتیکی استفاده می شود.مراحل روش قالب گیری فشاری:

- آمیزه ی پلیمری(عموما رزین گرماسخت)که با الیاف تقویت کننده و با عامل سخت کننده و عامل ضد چسبندگی مخلوط شده است، وزن می گردد و در نیمه ثابت فک پایینی قالب قرار می گیرد. آمیزه به شکل پودر، گندله، توده هایی شبیه یتونه یا ورق شکل می تواند باشد. آمیزه فبل از گذاشتن در قالب پیش گرم می شود. پلیمر پیش گرم شده نرم تر می شود و زمان سیکل قالب گیری را کوتاه می کند.
- قسمت بالای قالب(فک متحرک)به سرعت پایین آورده می شود تا در تماس با سطح مواد قرار گیرد سپس سرعت کم می شود و قالب به آرامی به طور کامل بسته می شود و نیروی آن تمامی حفره های قالب را پر می کند. سرعت بسته شدن قالب مهم است زیرا سرعت بالا، باعث به دام افتادن هوا در قطعه و سرعت پایین، منجر به پخت رزین و احتمال پر نشدن قالب می شود. قالب به سیستم پخت مجهز شده است و اگر رزین گرماسخت مورد استفاده قرار گیرد پخت رزین(اتصال عرضی زمینه)را فراهم می کند.
- در مرحله سوم بعد از پخن رزین، قالب باز شده و قطعه پخته شده توسط پین خارج کننده بیرون می آید.

www.prozhe.com

زمان سیکل قالب گیری فشاری حدود ۱ تا ۶ دقیقه است.این روش برای ساخت قطعات صاف و یا با انحنای متوسط استفاده می شود. انواع قالب گیری فشاری که به آمیزه های قالب گیری ساخته شده اند عبارتند از:

۱-آمیزه های SMC(Sheet Molding Compound)

۲-آمیزه های DMC(Dough Molding Compound)

۳-آمیزه های BMC(Bulk Molding Compound)

۲-۳-۲)قالب گیری ورقه ای SMC

این آمیزه ورقه ای چرم مانند با ضخامت ۵-۳ میلی متر از مواد است که بین دو فیلم نازک از پلی اتیلن عرضه می گردد(این فیلم ها قبل از قالب گیری آمیزه برداشته می شوند). ماده مورد استفاده در این آمیزه مخلوطی از الیاف شیشه بریده شده و خمیری از پلی استر اشباع می باشد. تولید SMC با تهیه محلول آبکی از مواد در یک دستگاه مخلوط ساز با سرعت بالا آغاز می گردد. همه ی اجزا به استثنا تغلیظ کننده به مدت ۱۵ دقیقه با هم مخلوط می شوند. در طی این مدت دمای مخلوط تا حدود ۳۰°Cبالا می رود. در این مرحله ویسکوزیته ی مخلوط حدود ۳۰-۲۰ پوآز می باشد. پس از اینکه عمل مخلوط سازی به اتمام رسید ماده تغلیظ کننده اضافه گردیده و به سرعت طی مدت زمان حدود ۵ دقیقه با بقیه اجزا مخلوط می گردد. در این مرحله خمیر آماده است و جهت تلفیق با الیاف به ماشین SMC منتقل می گردد.

در اینجا خمیر تهیه شده با ضخامت معین بر روی یک فیلم معین پلی اتیلنی(با پهنای یک متر و ضخامت ۱۵-۲۰میلی متر) که از رول فیلم بر بستر متحرک دستگاه باز می شود، ریخته می شود. سرحت حرکت این فیلم بین $\frac{m}{\min}$ ۵-۹ است. این فیلم از زیر دستگاه برش الیاف عبور میکند و الیاف بلند به طول های ۲۵ میلی متر بریده شده و با سرعتی که درصد حجمی مورد نظر را فراهم سازد روی فیلم آغشته به خمیر به صورت تصادفی می نشیند. این فیلم به همراه فیلم دیگر که فقط خمیر روی آن ریخته شده و فاقد الیاف است با هم ساندویچ شده و از یک سری غلطک عبور می کنند. این غلطک ها باعث آغشتگی الیاف به رزین، خروج هوا از آمیزه و همچنین تنظیم ضخامت ورق و در نتیجه تنظیم ترکیب درصد الیاف

www.prozhe.com

می شود. در انتها ساندویچ تهیه شده بر روی یک غلطک به صورت رول جمع آوری می گردد و در یک فیلم نایلون با سلوفن پیچیده شده تا از فرار مونومر جلوگیری شود. این رول سپس به محیطهای کنترل شده از لحاظ دمایی منتقل شده تا مرحله تغلیظ شدن در آن انجام شود. در مرحله تغلیظ اجازه داده می شود تا ویسکوزیته ترکیب به حدی برسد که ورق SMC به راحتی قابل جابه جایی، برش و قالب گیری باشد.

وجود پر کننده باعث بهبود کیفیت سطح قطعه شده و تغییرات ابعادی (انقباض) قطعه را که ناشی از پخت رزین است کاهش می دهد.همچنین تاثیر عمده ای در کاهش قیمت تمام شده محصول دارد. درصد وزنی پرکننده در آمیزه بستگی به نوع پرکننده ، خواص رئولوژیک رزین و درصد الیاف دارد. به طور کلی میزان پرکننده باید در حدی باشد که مرطوب شدگی مناسب سطح الیاف با رزین را مانع نشده و جریان رزین را در قالب دچار اشکال نکند.

۲-۳-۳) ترکیبات قالب گیری BMC,DMC

DMC مخلوطی است از الیاف شیشه بریده شده و خمیری از رزین پلی استر غیر اشباع که با افزودنی های مختلف پر شده است. تولید DMC معمولا در درجه حرارت اتاق انجام می شود. هرچند امکان گرم کردن یا سرد کردن مخلوط از طریق گردش روغن در ژاکت مخلوط ساز وجود دارد. در فرآیند تولید ابتدا مواد پودری وزن گردیده و به مدت ۱ دقیقه با هم مخلوط می شوند. رزین و دیگر مواد افزودنی اضافه شده و مخلوط سازی به مدت ۳۰-۱۵ دقیقه ادامه می یابد. در این مدت می توان مخلوط سازی را به منظور پاک سازی دیواره ظرف متوقف کرد. پس از هموژن شدن مخلوط الیاف تقویت کننده به تدریج اضافه شده و با مخلوط آبکی رزین مخلوط می شوند. این عمل حدود ۱۰ دقیقه به طول می انجامد و هدف آن صرفا توزیع مناسب الیاف در سراسر رزین است. برای مخلوط سازهای با تیغه ی Z یا زیگما فاصله بین تیغه و دیواره ظرف در محدوده ۳تا۱۲میلی متر است. هرچه این فاصله کمتر باشد عمل مخلوط سازی بهتر انجام می گیرد اما احتمال آسیب رساندن به الیاف بیشتر می شود. نهایتا ترکیب حاصله در فیلم هایی که مانع از تبخیر مواد فرار می شوند، بسته بندی گردیده و یا به صورت رشته اکسترود شده در بشکه های خاص نگهداری میشوند.BMC عموما به ترکیبی اطلاق می گردد که بر پایه رزین ایزوفتالیک است و همچنین عمل تغلیظ سازی در آن به وسیله ی MgO صورت می گیرد. عمل تغلیظ سازی می تواند میزان پرکننده را تا ۱۰۰phr تقلیل دهد و لذا امکان افزایش میزان تقویت کننده را فراهم سازد. کاهش میزان پرکننده در BMC سطح ظاهری بهتری را نسبت به DMC برای آن فراهم می سازد.

www.prozhe.com

۲-۳-۴)قالب گیری تزریقی

قالب گیری تزریقی یک فرآیند قالب گیری بسته است که در آن پلیمر ذوب شده(عموما گرما نرم ها)، با الیاف تقویت کننده خیلی کوتاه (۱۰تا۴۰درصد) مخلوط شده و سپس به داخل قالب با فشار بالا از میان یک راهگاه رانده می شود. مخلوط الیاف پلیمر به شکل گندله، از قیف به شکل ناودانی به ماشین قالب گیری تغذیه می شود. سپس مواد توسط تغذیه کننده پیچی(Feeding Screw) به جلو رانده شده و وارد یک قالب دو تکه می شوند و حفره های قالب را پر میکنند. سیستم تغذیه شامل راهگاه و جلوبرنده است. حرکت ماشین قالب گیری تزریقی به صورت رفت و برگشتی است به دلیل اینکه ماشین در مراحل سیکل قالب گیری نه فقط می چرخد بلکه به سمت جلو نیز حرکت می کند. در مرحله پر کردن وقتی مخلوط پلیمر-الیاف به داخل قالب تزریق می شود مانند یک سمبه عمل می کند وسپس در مرحله قالب گیری به سمت عقب جمع می شود. عناصر گرم کننده(هیترها)روی استوانه Barrel قرار دارند و پلیمر را نرم و ذوب میکنند. قالب به سیستم خنک کننده مجهز شده و سرد کردن و انجماد مواد را کنترل می کند.مواد تا زمانی که انجماد حاصل نماید داخل قالب نگه داشته می شوند سپس قالب باز می شود و قطعه توسط پین خارج کننده ا قالب بیرون می آید. اساسا فرایند قالب گیری تزریقی برای زمینه ای گرما نرم استفاده می شود ولی زمینه های گرما سخت نیز ممکن است استفاده شوند. در این حالت عمل پختن (اتصال عرضی) در مدت گرما دادن و ذوب مواد در استوانه گرم شده انجام می شود.

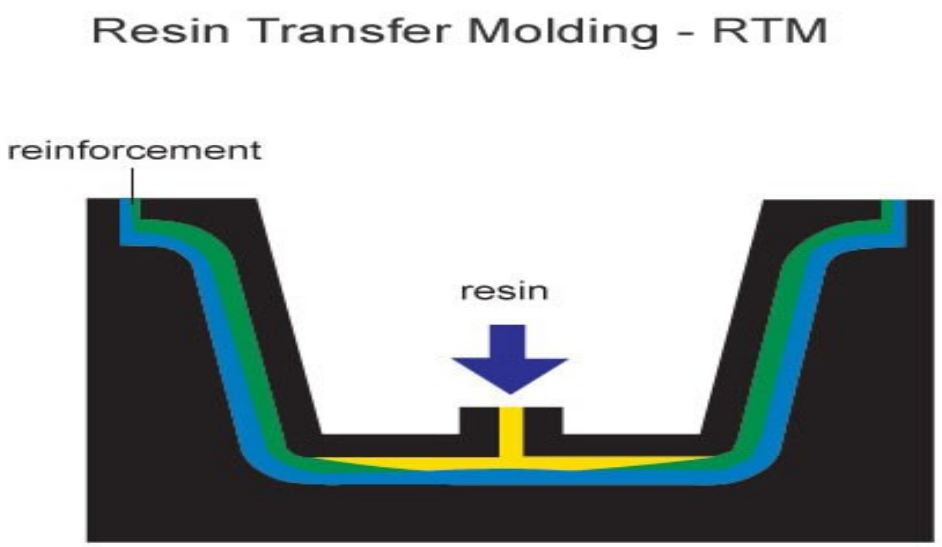
در روش قالب گیری تزریقی با اینکه حجم تولید بالاست ولی با دقت زیاد، شکل قطعات ساخته شده کنترل می شود. این روش برای تولید قطعات یکسان با حجم بالا، اقتصادی است. یک از معایب این روش این است که طو ل محدوده الیاف ، اثر تقویت کنندگی را کاهش می دهد.

۲-۳-۵) قالب گیری انتقالی

در این فرآیند مقداری از پلیمر وزن شده و در یک محفظه جدا(ظرف انتقال) پیش گرم می شود. سپس با الیاف تقویت کننده به داخل قالب از پیش گرم شده رانده می شود و پلیمر شکل قالب را به خود می گیرد.این روش برای کامپوزیت های پلیمری با زمینه گرماسخت استفاده می شود ولی تعدادی قطعات گرمانرم نیز به این روش تولید می شوند. در این

www.prozhe.com

روش ، از یک قالب دو تکه استفاده می شود و یک صفحه سومی که با سمبه(plunger) ، مانند پرس هیدرولیکی عمل می کند. در این روش، هردوروش قالب گیری فشاری و پرس هیدرولیکی با هم تلفیق شده اند. مشابه مواد قالب گیری گرماسخت ها و قالب گیری تزریقی ، سمبه قالب را از طریق راهگاه پر می کند.



شکل-۸

فرآیند قالب گیری انتقال شامل مراحل زیر است:

۱-قالب با الیاف تقویت کننده از قبل شکل داده شده پر می شود.

۲-مقداری پلیمر وزن شده با افزودنی ها و پرکننده ها داخل ظرف انتقال قرار می گیرد.آمیزه ممکن است به اشکال پودر، گندله ، توده هایی شبیه خمیر یا بتونه، یا ورقه هایی از پیش شکل داده شده، باشد. آمیزه در ظرف انتقال تا وقتی که پلیمر نرم شود گرم می شود.

۳-سمبه با سرعت به سمت پایین رانده می شود و آمیزه پلیمری را پرس می کند و آن را از طریق راهگاه به داخل حفره قالب می راند. قالب با سیستم گرمایی مجهز شده و پخت(اتصال عرضی) پلیمر را فراهم می کند.(اگر از رزین گرماسخت استفاده شود.)

www.prozhe.com

۴-قالب باز می شود و قطعه توسط پین خارج کننده بیرون رانده می شود. اگر رزین گرما سخت قالب گیری شود قالب در حال گرم باز می شود و گرما سخت های پخته شده ، شکل و ابعاد خود را حتی در حالت گرم حفظ می کنند. اگر گرمانرم، قالب گیری شود، قالب و قطعه قالب گیری شده قبل از باز شدن سرد می شود.

۵-تکه های باقی مانده در ته ظرف و راهگاه و کانال ها برداشته می شوند. تکه های پلیمری گرماسخت قابل بازیافت نیستند.

زمان سیکل قالب گیری انتقالی کوتاهتر از قالب گیری فشرده است و بلندتر از سیکل قالب گیری تزریقی است.

مزایای این فرآیند به صورت ذیل خلاصه می شود:

-امکان ساخت قالب ها و قطعات با تلورانس ابعادب دقیق

-کیفیت مناسب دو روی قطعه

-امکان چینش دلخواه الیاف

-امکان تعبیه الحاقات فلزی و غیره درون قالب

-پایین بودن نسبی قیمت تجهیزات

-پایین بودن فشار تزریق

-کم کردن انتشار مواد فرار

-کاهش اتلاف مواد

-قابلیت ساخت قطعات پیچیده و توخالی

-امکان اتوماسیون و بالا بردن سرعت تولید

- کاهش حباب در قطعه

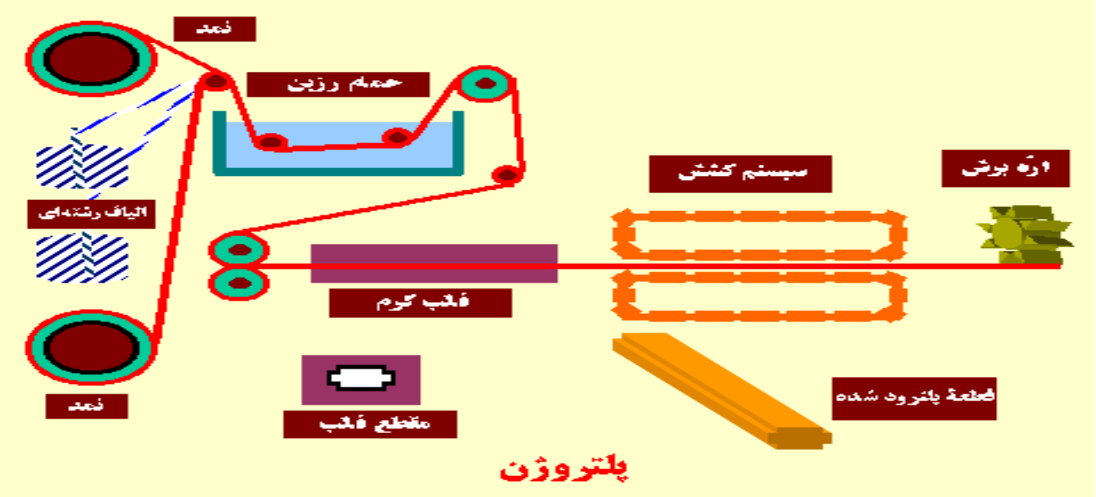
-امکان ساخت قطعات با ضخامت یک دهم تا نود میلی متر.

از سوی دیگر RTM دارای معایبی نیز هست. طراحی قالب حساس است و نیاز به مهارت دارد.درگاه نامناسب تزریق و خروجی می تواند منجر به ایجاد نقص در قطعه شود. کنترل آغشته سازی و شکل جریان مشکل است و در گوشه ها و لبه ها نقاط آکنده از رزین به وجود می آید.

www.prozhe.com

۲-۳-۶) پالتروژن

پالتروژن فرآیند پیوسته ای برای تولید انواع پروفیل های کامپوزیتی است.در این فرآیند، الیاف تقویت کننده را از یک حمام عبور می دهند تا به رزین آغشته شود. سپس الیاف آغشته شده را وارد یک قالب گرم می کنند و نمونه ی پخت شده را توسط یک دستگاه کشش بیرون می کشند. بعد از این مرحله امکان برش محصول در اندازه های دلخواه وجود دارد. این فرآیند تا حدودی مشابه فرآیند اکستروژن پلاستیک ها و تولید پروفیل های پلاستیکی است.



شکل-۹

از مزایای این روش که یکی از باصرفه ترین روش های تولید کامپوزیتهاست، این است که درصد الیاف در آن بالاست و چون الیاف به صورت طولی آرایش می یابند. محصول دارای استحکام کششی و فشاری بسیار بالایی است. همچنین سطح محصول نهایی کاملا صاف است و نیازی به فرآیندهای تکمیلی ندارد:

- ورود الیاف: ورود الیاف تقویت کننده به شکلی است که به طور پیوسته فرآیند انجام میگیرد. سبد الیاف پیوسته، اولین قسمت خط فرآیند می باشد. حرکت الیاف قبل از ناحیه آغشته سازی می بایست کنترل شود تا از هرگونه پیچش و گره وآسیب محفوظ بماند.اینکار می تواند توسط راهنماهای فلزی،سرامیکی انجام شود.صفحات راهنما الیاف را به شکل دسته جمع می کنند تا وارد حمام آغشته سازی شود.
- حمام غشته سازی: آغشته سازی الیاف تقویت کننده از اصول فرآیند پالتروژن می باشد. غوطه وری در حمام یک راه برای این کار است. در این روش الیاف از رو و زیر میله های آغشته سازی عبور داده می شوند تا از هم باز و به

www.prozhe.com

رزین آغشته شوند.معمولا در ساخت پروفیل های پیچیده ، بعد از حمام و قبل از قالب ، از صفحاتی برای شکل دادن به الیاف آغشته به رزین، استفاده می کنند. پوشش این صفحات باید از جنسی مناسب باشد تا از وارد ساختن هرگونه تنش به الیاف آغشته ی ضعیف شده، جلوگیری به عمل آید.معمولا این قطعات از جنس تفلون، پلی اتیلن با جرم مولکولی بسیار بالا، فولاد با پوشش کروم و یا آلیاژهای مناسب فولادی می باشند.

- قالب: قالب پالتروژن، قلب این فرآیند محسوب می شود. چرا که دما، کنترل کننده ی سرعت واکنش پخت، محل پخت رزین در قالب و شدت گرمای حاصل از پخت رزین می باشد. قطعه ای که کامل پخت نشده باشد. خواص فیزیکی ومکانیکی ضعیفی از خود نشان می دهد. همچنین اگر گرمای اضافی در قالب وجود داشته باشد، نقص و ترک حرارتی موجب افت خواص الکتریکی، شیمیایی و مکانیکی قطعه می شود.
- گیره و کشش: حداقل ۳ متر فاصله بین خروجی قالب و محل کشش می بایست تعبیه شود تا قطعه فرصت سرد شدن پیدا کند و در برابر فشار گیره ی کشش تغییر شکل ندهد. سه روش برای کشش مرسوم است.۱-کشش رفت و برگشتی متناوب۲-کشش رفت و برگشتی پیوسته۳-کشش توسط سیستم تسمه نقاله ای
- برش:هرخط پیوسته پالتروزن احتیاج به یک سیستم پالتروژن دارد تا طول های مناسب از قطعه تحویل شود. هر دو روش برش خشک و تر مورد استفاده می باشند. ولی در هر حال تیغه ی برش باید الماسه باشد. در صورتیکه سرعت خط بالا باشد، تیغه برش همراه پروفیل حرکت می کند.

با توجه به خواص مورد نظر می توان از الیاف و رزین های مختلفی استفاده نمود. الیاف تامین کننده ی خواصی چون استحکام کشش و ضربه، سفتی و مانند آن می باشند ولی رزین تکمیل کننده خواص فیزیکی مانند آتشگیری، مقاومت در برابر شرائط جوی، هدایت حرارتی و مقاومت شیمیایی می باشند. برای بهبود خواص نیز از انواع افزودنی ها استفاده می شود.

الیاف:در انتخاب الیاف سه ویژگی مورد بررسی قرار می گیرد:نوع الیاف،شکل آنها و آرایش یافتگی آنها. الیاف شیشه مرسوم ترین نوع الیاف مورد استفاده می باشند.الیاف شیشه نوع الکتریکی(E-glass) استحکام کششی حدود ۳۴۵۰مگاپاسکال و مدول کششی ۷۰گیگاپاسکال و ازدیاد طول ۳تا۴درصد دارند و با قطر و وزن مختلف در دسترس میباشند.

www.prozhe.com

زمینه پلیمری: در فرایند پالتروژن زمینه های پلیمری مورد استفاده پلی استر فوق اشباع ، وینیل استر ، اپوکسی و کمتر سایر رزین ها مانند فنولیک و ... و گاهی گرما سخت ها استفاده می شود. خواص الکتریکی رزین پلی استر ، قطعات آن را متناسب برای کاربرد های ولتاژ بالا ساخته است. رزین وینیل استر نسبت به پلی استر دارای مقاومت خورندگی ،خواص مکانیکی و حرارتی بهتری می باشد ولی حدود ۷۵ درصد گرانتر است. رزین اپوکسی برای استفاده در دماهای بالا مناسب است ضمن آنکه خواص مکانیکی آن عالی است.

مواد افزودنی:

فیلر:در فرآیند پالتروژن پر کردن قالب اهمیت فراوان دارد. برای این منظور از پرکننده ها استفاده می کنند. بعد از رزین و الیاف سومین بخش رزین را تشکیل می دهد. از معمول ترین فیلرها کربنات کلسیم،سیلیکات آلومینیوم و هیدروکسیدآلومینیوم را می توان نام برد.با توجه به ویسکوزیته ی فرمولاسیون تا ۵۰ درصد وزنی فیلر استفاده می شود.

به منظور جدا شدن قطعه از قالب می بایست از یک عامل جداساز نیز استفاده شود. این عامل نباید کاملا سازگار با رزین باشد و همچنین سازگاری آن به جذب نباشد که به سطح قطعه مهاجرت کند. همچنین باید قبل از پخت رزین مذاب شده باشد.

مزایای پالتروژن:

- تولید بالا
- کنترل آسان پارامترهای فرآیند
- کیفیت عالی سطوح محصولات
- دقیق بودن ابعاد محصولات
- توزیع یکنواخت و غلظت بالای الیاف

معایب پالتروژن:همانگونه که ذکر شد در این روش از یک قالب با مقطع خروجی ثابت استفاده می شود و امکان تولید قطعاتی با مقاطع متفاوت وجود ندارد. پایین بودن مقاومت برشی محصولات تولیدی از دیگر نقاط ضعف محصولات تولید شده با این روش محسوب می شوند. همچنین این محصولات در مقابل سوراخکاری ضعیف هستند.

www.prozhe.com

۲-۴)مقایسه روش های شکل دهی

در جداول ذیل مزایا و معلیب،قیمت و مواد مورد مصرف در فرآیند های مختلف با هم مقایسه شده است.

جدول-۴ مقایسه فاکتورهای هزینه ای در فرآیند های مختلف

روش	هزینه تولید	هزینه مواد	هزینه ابزار	هزینه تجهیزات
لایه گذاری دستی	بالا	متوسط	پایین	بسیار پایین
پاشش رزین	پایین	پایین	پایین	متوسط
رشته پیچی	پایین	پایین	متوسط	متوسط تا بالا
SMC,BMC	بسیار پایین	پایین	بسیاربالا	بسیار بالا
RTM	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط
پالتروژن	پایین	متوسط	بالا	بالا

جدول-۵ . مقایسه مواد مورد استفاده در فرآیندهای شکل دهی مختلف

روش	شکل الیاف	رزینهای متداول	فیلر	مغزی
لایه گذاری دستی	اکثراشکال	پلی استر.فنولیک.اپوکسی	تا۱۰٪حجمی	فوم. سازه های لانه زنبوری
پاشش رزین	Rovingخرد شده	پلی استر.وینیل استر	معمول نیست	فوم.بالسا
رشته پیچی	Roving	پلی استر.وینیل استر.اپوکسی	میتوان استفاده کرد	فوم.بالسا
SMC , BMC	Rovingخرد شده	پلی استر.وینیل استر.اپوکسی	تا۴۰٪	-
RTM	انواع مختلف	پلی استر.فنولیک.اپوکسی	معمول نیست	فوم.بالسا
پالتروژن	تمام اشکال	پلی استر.وینیل استر.اپوکسی	تا۲۵٪وزنی	-

www.prozhe.com

جدول-۶. مزایا و معایب فرآیندهای مختلف شکل دهی کامپوزیت های زمینه پلیمری

روش شکل دهی	مزایا	معایب
لایه گذاری دستی	**سرمایه گذاری اندک** **امکان اتصال قطعات چندتکه بعد از ساخت** **عدم وجود محدودیت ساخت**	**وابستگی به مهارت کارگر** **سرعت کم تولید** **ضعف درکنترل وزن و ضخامت** **کیفیت سطح فقط دریک طرف قطعه** **بازبودن قالب و آلودگی محیط**
پاشش رزین	**ارزانی مواد-سرعت بالای تولید** **ارزانی تجهیزات-امکان تولید قطعات بزرگ**	**وابستگی زیاد به مهارت کارگر-کنترل ضعیف ضخامت** **کیفیت سطح فقط در یک طرف** **امکان کاربرد الیاف با آرایش اتفاقی**
رشته پیچی	**خواص مکانیکی عالی-سرعت بالای تولید** **کنترل خوب آرایش الیاف-کنترل خوب ضخامت** **کنترل خوب درصد الیاف-سطح داخلی خوب**	**قالب باز-محدودیت در شکل قالب تولیدی** **محدودیت عملی در طرح پیچش**
BMC,SMC	**سرعت بالای تولید-امکان ساخت طرح پیچیده** **تلورانس مناسب-قالب بسته-کیفیت سطح مناسب در دوطرف-دقت ابعادی**	**گرانی تجهیزات** **درصد الیاف نسبتا پایین**
RTM	**محدوده وسیع شکل دهی-امکان ساخت سازه های ساندویچی-قالب بسته-خواص مکانیکی بالا**	**گرانی تجهیزات**
پالتروژن	**سرعت بالای تولید-تلورانس پایین ابعادی** **پیوستگی در فرآیند**	**سرمایه گذاری اولیه سنگین-محدودیت در اندازه وشکل** **محدودیت در خواص عرضی**

www.prozhe.com

فصل ۳-خواص کامپوزیت های زمینه پلیمری

۳-۱)کلیات

خواص کامپوزیت ها به طور حتم مربوط به خصوصیات مواد سازنده ی و همچنین توزیع و فعل و انفعال بین آنهاست. خواص کامپوزیت ها ممکن است بخشی از مجموع خصوصیات سازنده شان باشد یا سازنده ها در یک روش متقابل واکنش دهند که نتیجه آن بهبود خواص کامپوزیت باشد.جدا از خصوصیت مواد سازنده کامپوزیت، هندسه تقویت کننده در خواص کامپوزیت ها تا حدی تاثیر می گذارد. توزیع غلظت و نحوه ی جهت یابی تقویت کننده نیز خواص کامپوزیت را تغییر میدهند. شکل فاز های ناپیوسته که ممکن است کروی، استوانه ای ، چهارگوش ، منشوری یا مسطح باشد و اندازه و مقدار توزیع انها نوع بافت کامپوزیت را کنترل می کند. همچنین مقدار جزیی فصل مشترک که نقش مهمی در تعیین حد فعل و انفعال بین تقویت کننده و زمینه دارد، در خواص کامپوزیت ها موثر است.گاهی اوقات کامپوزیت ها دارای ویژگی های منحصر به فردی هستند که این ویژگی ها در هیچ یک از اجزای سازنده وجود ندارد.

پارامترهای مهم دیگری بر خصوصیات کامپوزیت ها تاثیر گذار هستند، مانند رفتار منحنی تنش، کرنش تقویت کننده و زمینه و درصد حجمی آنها و جهت تنش و یا بار اعمالی . جهت تقویت کننده نیز بر ایزوتروپی سیستم موثر است.

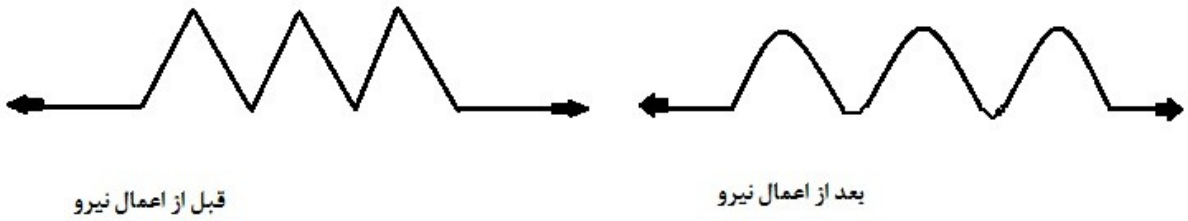
مواد کامپوزیتی یا **ایزوتروپ** یا **آنزوتروپ** که توسط ساختار کامپوزیت ها تعیین می شود. مواد ایزوتروپ موادی هستند که خواص آنها بستگی به جهت مورد اندازه گیری ندارد و مواد آنزوتروپ موادی هستند که خواص آنها در طول یک محور به خصوص و یا موازی یک محور به خصوص، از خواص اندازه گیری شده در دیگر جهت ها متفاوت است. بر طبق قانون مخلوط ها و با استفاده از روابط ریاضی خواص مواد کامپوزیتی تعریف می شود.

ویژگی کامپوزیت=ویژگی جز۱×جزحجمی جز ۱+ویژگی جز۲×جزحجمی جز۲+...

در پلیمرهای ترموپلاستیک هردونوع تغییر شکل کشسان و دائم رخ می دهد. البته باید توجه داشت سازوکار چنین تغیر شکل هایی با ساز و کار تغییر شکل فلزات و سرامیک ها متفاوت است.معمولا تغییر شکل پلیمرها نسبت به سرامیک ها و

www.prozhe.com

فلزات بیشتر است و به شدت وابسته به زمان می باشد. در اثر اعمال نیروی کششی زنجیره های پلیمری تحت تاثیر ساز و کار زیر تغییر طول می دهند.



شکل-۷.تغییر طول و باز شدن زنجیره های پلیمری در اثر اعمال نیرو

نیروی حاصل از گره خوردگی زنجیره های پلیمری یکی از دلایل افزایش استحکام در پلیمرهاست که این حالت گره خوردگی پس از اعمال نیروی کششی باز می شود و منجر به کاهش استحکام مکانیکی می گردد. نیروی کششی موجب لغزش،چرخش و از هم باز شدن زنجیره ها و در نهایت منجر به افزایش طول می شود.البته با حذف نیرو و گذشت زمان ویژگی های از بین می روند و زنجیره هابه حالت ابتدایی خود برمیگردند. در چنین حالتی گفته می شود که پلیمر از خود رفتار ویسکوالاستیک نشان داده است.

حالت ویسکوالاستیک قابلیت تغییر شکل در زنجیره ها در اثر اعمال تنش و حذف تغییر شکل پس از تنش می باشد. از جمله عوامل موثر بر ویژگی ویسکوالاستیک مواد، سرعت کرنش است.در صورتی که نیروی کششی به سرعت اعمال شود، ماده ترموپلاستیک از خود رفتار ترد نشان خواهد داد.اما در صورتی که نیرو به آهستگی اعمال شود زنجیره ها روی هم می لغزند و رفتار ویسکوالاستیک دیده می شود. در واقع می توان گفت که رفتار ویسکوالاستیک وابستگی تغییر شکل کشسان و دائم را به زمان نشان می دهد.

علاوه بر سرعت کرنش ، دما نیز در رفتار ویسکوالاستیک موثر است. در صورتی که اعمال تنش کششی در دماهای پایین صورت بگیرد، پلیمر از خود رفتار ترد نشان می دهد. با افزایش دما رفتار ویسکوالاستیک تشدید می شود.

www.prozhe.com

لازم به ذکر است که ویسکوزیته یا گرانروی تغییرات سرعت زنجیره ها در اثر اعمال تنش بر شئی است و با رابطه زیر نشان داده می شود:

$$\eta = \frac{\tau}{dv/dx}$$

در این رابطهηگرانروی، τ تنش برشی، v سرعت حرکت زنجیره ها و x جابه جایی صورت گرفته به واسطه حرکت زنجیره هاست. $\frac{dv}{\mathrm{dx}}$ تغییرات سرعت زنجیره ها در اثر اعمال تنش برشی است. از سوی دیگر وابستگی گرانروی به دما از نوع نمایی است و با رابطه زیر نشان داده می شود:

$$\eta \propto \frac{Q}{e^{RT}}$$

در این رابطه Q انرژی اعمال شده، R ثابت گازها و T دما بر حسب کلوین است. همانطور که ملاحظه می گردد با افزایش دما گرانروی کاهش می یابد. به عبارت دیگر می توان گفت با افزایش دما تغییر شکل پلیمر در تنش های کمتری صورت می گیرد.

با افزایش تنش کششی، پلیمر دچار تغییر شکل دائم می شود. فرآیند تغییر شکل دائم در فلزات و پلیمرها با یکدیگر متفاوت است. تغییر شکل دائم در فلزات به دلیل حرکت نابه جایی هاست در حالی که منشا تغییر شکل دائم در پلیمرها لغزش زنجیره ها و کشیده شدن زنجیره ها می باشد. در پلیمرها پس از نقطه تسلیم، تنش لازم برای ازدیادطول کم میشود و مجددا افزایش می یابد تا به مرز نقطه شکست جسم برسد. علت کاهش تنش پس از رسیدن به نقطه تسلیم ایجاد پدیده گلویی شدن است. با افزایش تنش ، زنجیره ها باز می شوند و حالت صاف به خود می گیرند. صاف شدن زنجیره ها باعث ایجاد اتصال واندروالس می شود و نیروی بیشتری برای افزایش کرنش لازم است.

مسئله دیگری که در پلیمرها مورد بررسی قرار می گیرند پدیده خزش است. معمولا مقاومت خزشی پلیمرها کم است و زنجیره های پلیمری به سرعت تغییر شکل می دهند و دچار کرنش می شوند. در پلیمرها بر خلاف سرامیک ها و فلزات، کرنش با گذشت زمان افزایش می یابد. مرحله مهم خزش که مرحله پایداری است در پلیمرها وجود ندارد. در پلیمرها با افزایش دما سرعت خزش افزایش می یابد زیرا با افزایش دما گرانروی کاهش می یابد.

www.prozhe.com

در پلیمرها برخلاف سرامیک ها و فلزات وقتی ماده تحت تاثیر تنش معینی دچار کرنش می شود،با ثابت ماندن تنش میزان کرنش ثابت نمی ماند. در حقیقت در اثر سیلان زنجیره ها، با گذشت زمان تنش ذخیره شده در زنجیره ها کاهش می یابد. از این رو برای آنکه کرنش ثابت باقی بماند بایستی تنش کاهش یابد. چنین رفتاری به دلیل رفتار ویسکوالاستیک پلیمرهاست و به استهلاک تنش موسوم است. زمان استهلاک تنش در پلیمرها متفاوت است و تحت تاثیر دمایی است که پلیمر در آن دما قرار دارد.

ویژگی دیگری که در پلیمرها مورد بررسی قرار می گیرد مقاومت به ضربه است. در واقع مقاومت به ضربه تحت تاثیر رفتار ویسکوالاستیک پلیمرهاست. اگر سرعت کرنش زیاد باشد و زنجیره های پلیمری زمان کافی برای لغزش و چرخش نداشته باشند، پلیمر از خود رفتار ترد نشان می دهد. معمولا در کامپوزیت های پلیمری دمایی وجود دارد که در درجه حرارت های پایین تر از آن دما پلیمر از خود رفتار ترد نشان می دهند و در درجه حرارت های بالاتر از آن دما رفتار ترد دیده نمی شود.

پلیمرهای بلورین در هنگام اعمال تنش کششی رفتار دیگری از خود نشان می دهند. از آنجا که پلیمرهای بلورین به طور کامل بلورین نیستند و توسط قسمت های آمورف، هم اتصال یافته اند، تحت تاثیر تنش کششی، قسمت های بلورین از ناحیه آمورف تغییر شکل می یابند و در یک راستا قرار می گیرند، ضمن آنکه با افزایش تنش از قسمت آمورف دچار شکست می شوند.

رطوبت و تابش نیز ویژگی های کامپوزیت های زمینه پلیمری را تحت تاثیر قرار می دهند.این تاثیرات در حضور افزایش دما بیشتر مشهود است. در صورتی که زمینه های پلیمری توسط الیاف شیشه تقویت شده باشند، رطوبت بر الیاف شیشه نیز موثر واقع خواهد شد و اثر تخریبی رطوبت بیشتر می گردد. معمولا رطوبت سبب کاهش T_g پلیمرها می شود.

در صورتی که زمینه های پلیمری توسط ذرات تقویت شده باشند ویژگی های دیگری نسبت به پلیمرهای تقویت شده با الیاف به دست می آید. ذرات برای افزایش مدول یانگ، مقاومت خزشی و یا ایجاد ویژگی های مغناطیس و در برخی مواقع به منظور زیبایی به زمینه افزوده می شوند. حضور ذرات باعث افزایش سختی و استحکام می شود. همچنین مقاومت سایشی و حرارتی پلیمر را نیز افزایش می دهد.

www.prozhe.com

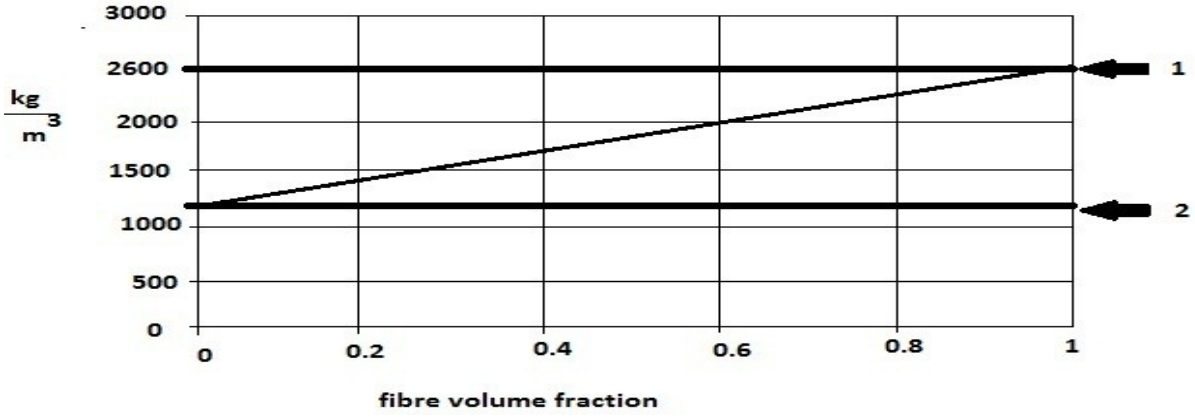
۳-۲)چگالی

در یک کامپوزیت طبق قانون مخلوط ها چگالی کامپوزیت برابر است با:

چگالی کامپوزیت(ρ_c)-چگالی زمینه(ρ_m)-چگالی تقویت کننده(ρ_f)

کسر حجمی زمینه(V_m)-کسر حجمی تقویت کننده(V_f)

مثال:در کامپوزیت اپوکسی/شیشه ، وقتی کسر حجمی الیاف به یک می رسد چگالی کامپوزیت مساوی چگالی الیاف خواهد بود.



نمودار-۲. قانون مخلوط های چگالی کامپوزیت اپوکسی/ شیشه(ρ_f=۱وρ_m=۲)

۳-۳)ضریب انبساط حرارتی در جهت طولی

برای محاسبه این کمیت در کامپوزیت های زمینه پلیمری از رابطه زیر استفاده می شود:

a_f= ضریب انبساط حرارتی طولی کامپوزیت

a_m= ضریب انبساط حرارتی زمینه

a_f= ضریب انبساط حرارتی الیاف

www.prozhe.com

E_f= مدول کشسانی تقویت کننده

E_m= مدول کشسانی زمینه

۳-۴) ضریب انبساط حرارتی در جهت عرضی(عمود بر الیاف)

a_{ct}= ضریب انبساط حرارتی عرضی کامپوزیت

p_m= نسبت پواسون (نسبت کرنش جانبی به کرنش طولی در جهت نیروی اعمالی)

۳-۵)استحکام کششی

استحکام کششی کامپوزیت با الیاف بلند در جهت طولی:

σ_c = استحکام کششی کامپوزیت

σ_m= استحکام کششی زمینه

σ_f= استحکام کششی تقویت کننده

استحکام کششی کامپوزیت با الیاف کوتاه در جهت طولی:

(طول الیاف کمتر از مقدار بحرانی $L_c = \frac{\sigma_f \times d}{\tau_c}$)

قطر الیاف = d

استحکام برشی پیوند میان زمینه و تقویت کننده = τ_c

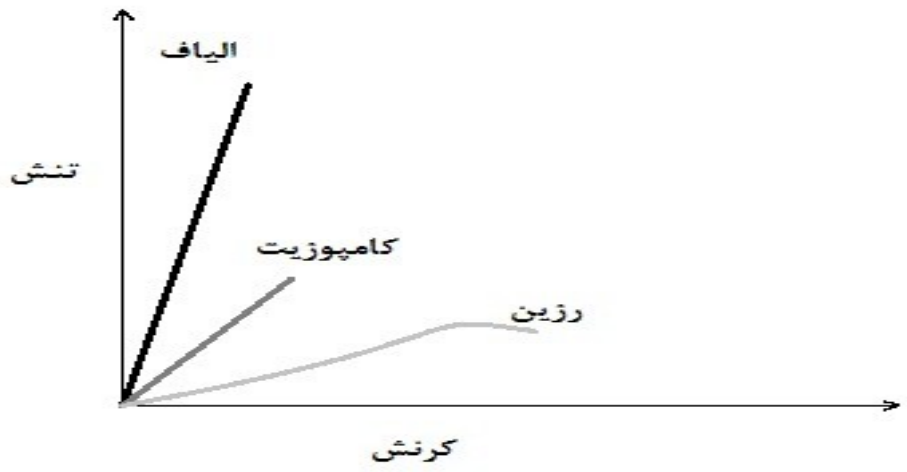
طول الیاف = L

www.prozhe.com

استحکام کششی کامپوزیت با الیاف کوتاه در جهت طولی(طول الیاف بیشتر از مقدار بحرانی L_c)

افزایش تقویت کننده به زمینه پلیمری باعث ایجاد خواص زیر در کامپوزیت PMC می شود:

- استحکام کششی بالا
- سفتی بالا
- چقرمگی شکست بالا
- مقاومت سایشی خوب
- مقاومت خوردگی خوب
- قیمت پایین



نمودار-۳. اثر افزایش تقویت کننده روی مدول کشسانی رزین

معایب اصلی کامپوزیت های زمینه پلیمری: ۱-مقاومت گرمایی پایین ۲-ضریب انبساط گرمایی بالا

در حالت کلی خواص کامپوزیت های زمینه پلیمری توسط پارامترهای زیر تعیین می شود:

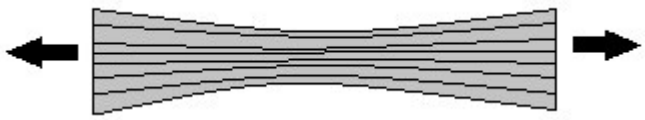
۱-خواص الیاف ۲-خواص رزین ۳-نسبت الیاف به رزین(درصد حجمی الیاف) ۴-هندسه و جهت الیاف در کامپوزیت

www.prozhe.com

نسبت الیاف به رزین بستگی به فرآیند ساخت کامپوزیت دارد و همچنین به نوع رزین مورد استفاده و شکل الیاف وابسته است. به طور معمول چون خواص مکانیکی الیاف خیلی بالاتر از رزین هاست بنابراین استفاده از درصد حجمی بالاتر الیاف، کامپوزیتی با خواص مکانیکی بهتر به وجود می آورد. در عمل محدودیت هایی وجود دارد: الیاف باید به طور کامل رزین را برای اینکه موثر باشند پوشش دهند از طرفی یک اپتیمم لایی برای الیاف با مقطع عرضی دایره ای وجود دارد به علاوه فرآیند ساخت مورد استفاده در اتصال الیاف به رزین منجر به مقادیر متنوعی از نقص ها خواهد شد. به طور نمونه در فرآیند لایه گذاری دستی که در صنعت کشتی سازی استفاده می شود درصد حجمی الیاف حدود ۳۰ تا ۴۰٪ است در صورتی که در فرآیندهای دقیق مورد استفاده در صنعت هوا-فضا درصد حجمی الیاف به ۷۰٪ در یک پروسه موفق میرسد.

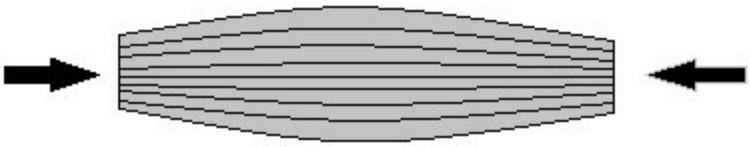
هندسه الیاف در کامپوزیت نیز مهم است زیرا ترجیحا الیاف بالاترین خواص مکانیکی را در طول الیاف نسبت به مقطع عرضی دارند که منجر به خواص آنزوتروپی کامپوزیت ها خواهد شد. خواص مکانیکی کامپوزیت ها در جهات مختلف ، متفاوت است و این خاصیت نشان می دهد که در مرحله طراحی کامپوزیتها، بزرگی و جهت بار اعمالی خیلی مهم است. وقتی کامپوزیت تحت تاثیر بارهای اعمالی کشش، فشار، برش و خمش قرار می گیرد رزین و الیاف هر کدام نقش خود را ایفا می کنند.

وقتی کامپوزیت تحت کشش قرار می گیرد مسئولیت بارهای کششی خیلی وابسته به خواص استحکام و سفتی الیاف تقویت کننده است زیرا این خواص در تقویت کننده به مراتب بالاتر از سیستم رزین است.



شکل-۱۱. بار اعمالی کششی به کامپوزیت

وقتی کامپوزیت تحت بار فشاری قرار می گیرد، پیوستگی و خواص سفتی سیستم رزین بسیار موثر است و این رزین است که باعث می شود الیاف مانند ستون های راست و منظم باقی بماند و از خم شدن جلوگیری کند.



شکل-۱۲.بار اعمالی فشاری به کامپوزیت

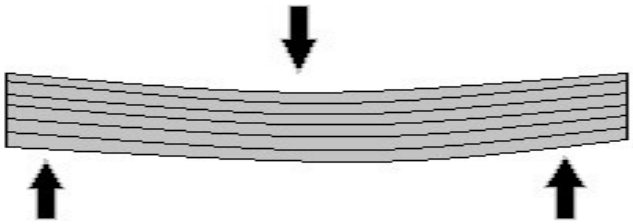
وقتی کامپوزیت تحت برش قرار می گیرد ، بار اعمالی سعی می کند لایه های مجاور الیاف را روی یکدیگر بلغزاند تحت بارهای برشی رزین نقش مهمی دارد و تنش ها را به کامپوزیت انتقال می دهد. در تحت برش، باید یک کامپوزیت نه فقط

www.prozhe.com

خواص مکانیکی خوب، بلکه پیوستگی زیاد به الیاف تقویت کننده نیز داشته باشد. استحکام برشی لایه داخلی از یک کامپوزیت اغلب براین خواص در یک کامپوزیت لایه ای دلالت می کند.

شکل-۱۳.بار اعمال برشی به کامپوزیت

بارهای خمشی از برآیند بارهای کششی ،برشی و فشاری به وجود می آیند. صفحه بالایی تحت فشار و صفحه پایینی تحت کشش است و قسمت وسط قطعه کامپوزیتی تحت برش قرار دارد.



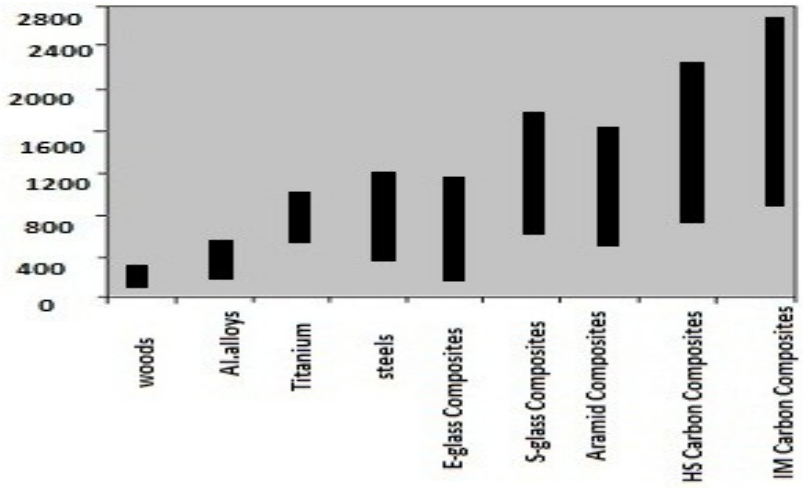
شکل-۱۴.بار اعمالی خمشی به کامپوزیت

با توجه به پارامترهای موثر در خواص کامپوزیت ها، آنها محدوده وسیعی از خواص را می توانند داشته باشند و به آن خواص برسند. حتی وقتی فقط از یک نوع الیاف استفاده می شود درصد الیاف مورد استفاده ،جهت و هندسه الیاف خواص متفاوتی را ایجاد می کنند بنابراین محدوده وسیعی از خواص برای کامپوزیت ها قابل دسترسی است. پایین ترین خواص با ساده ترین فرآیند ساخت و ماده ارزان به عنوان مثال فرآیند اسپری و الیاف شیشه، و بالاترین خواص با فرآیند ساخت عالی به عنوان مثال قالب گیری اتوکلاو با الیاف شیشه همجهت، به دست می آید.

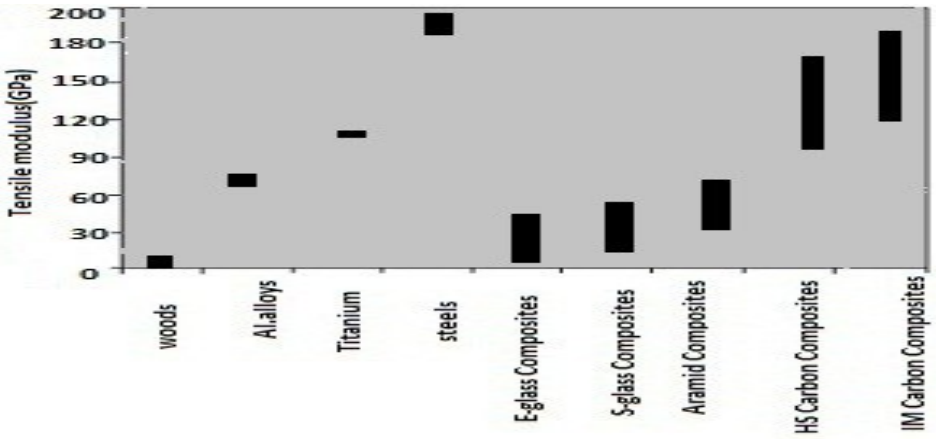
در شکل ۱۵ و ۱۶ محدوده ای از خواص مختلف مواد ساختمانی معمولی و کامپوزیت ها را نشان می دهد این خواص در صورتی در بهترین حالت هستند که بالاترین استحکام و سفتی را به چگالی پایین پیوند دهند.

نسبت استحکام و سفتی به وزن را در کامپوزیت ها خواص ویژه گویند. در صورتی که این نسبت بالا باشد کامپوزیت را در خیلی از کابرد ها مخصوصا در کاربرد هایی مانند اتومبیل ها،کشتی ها و هواپیماها به دلیل سبک شدن وزن آنها ایده آل می سازد. شکل ۱۷ و ۱۸ استحکام و مدول مخصوص مواد را نشان می دهد.

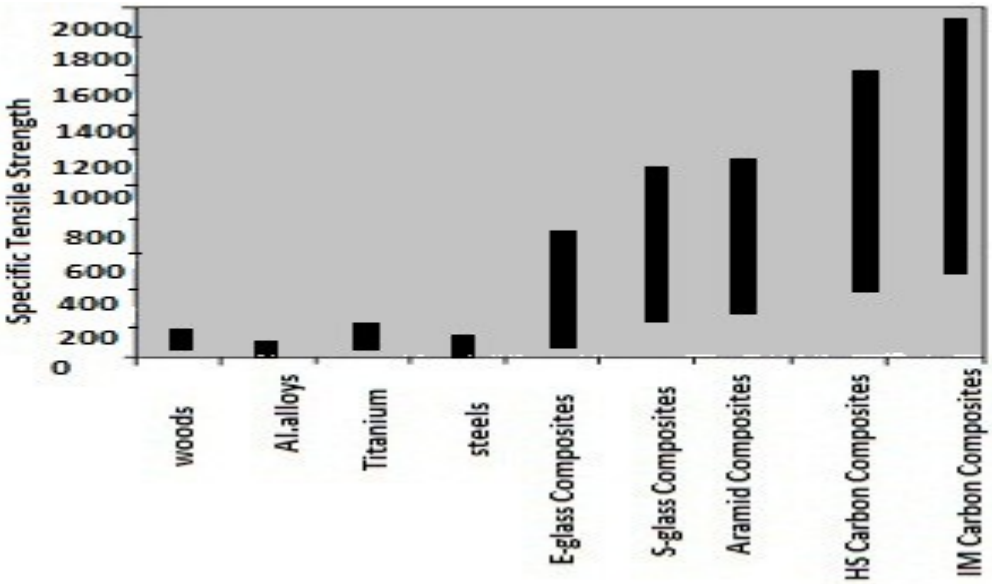
www.prozhe.com



شکل-۱۵.استحکام کششی مواد ساختمانی معمولی و کامپوزیت ها

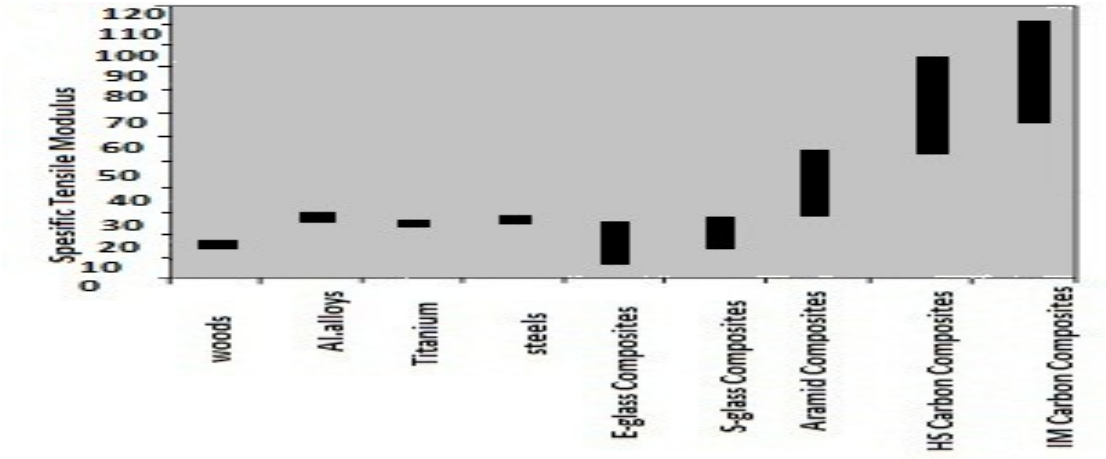


شکل-۱۶. مدول کشسانی مواد ساختمانی معمولی و کامپوزیت ها



شکل-۱۷.استحکام کششی ویژه مواد ساختمانی معمولی و کامپوزیت ها

www.prozhe.com



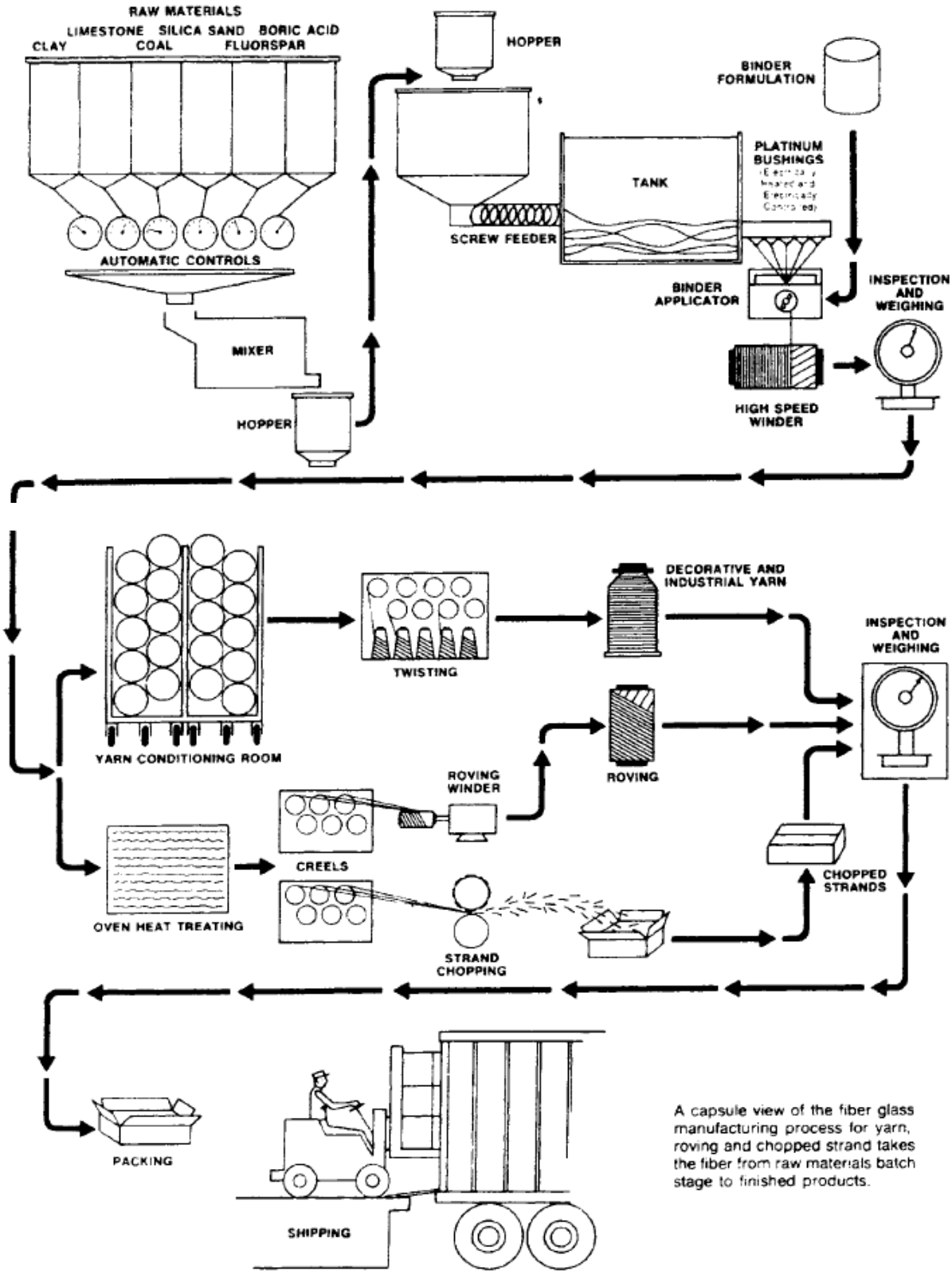
شکل-۱۹.مدول کشسانی ویژه مواد ساختمانی معمولی و کامپوزیت ها

نتیجه گیری:

کامپوزیتهای زمینه پلیمری به خاطر قیمت پایین که نسبت به دیگر کامپوزیت ها دارند بیشتر استفاده می شوند.این کامپوزیتها وزن بسیار کمی دارند اما در مقابل استحکام کششی بالا، چقرمگی شکست بالا،سفتی بالا، مقاومت سایشی خو و مقاومت به خوردگی خوب آنها باعث شده است که در مصارف گوناگون از آنها استفاده شود. مشکل اصلی آنها مقاومت گرمایی پایین است که باعث شده است در بسیاری از جاها محدودیت استفاده داشته باشیم.

www.prozhe.com

پیوست:



A capsule view of the fiber glass manufacturing process for yarn, roving and chopped strand takes the fiber from raw materials batch stage to finished products.

www.prozhe.com

Table 6.8 Interlaminar fracture toughness of thermoplastic composites

Material	*Trade name*	*Fracture toughness* G_{Ic} ($kJ\ m^{-2}$)
CF/Amorph. PA	AS-4/J-2	1.3
CF/PPS	AS-4/Ryton	0.9
CF/PEEK	AS-4/Victrex PEEK	2.1
CF/PEEK	IM7/Victrex PEEK	2.5
CF/PSU	AS-4/Udel P1700	1.2
CF/PAI	T650/Torlon AIX-159	1.3
CF/PEI	T300/Ultem 1000	0.9
CF/TPI	AS-4/Avimid K-III	1.8
CF/TPI	AS-4/LaRC-TPI	0.8
CF/EP	AS-4/3501-6 (thermoset)	0.2
CF/EP	IM7/8551-7 (thermoset)	0.5

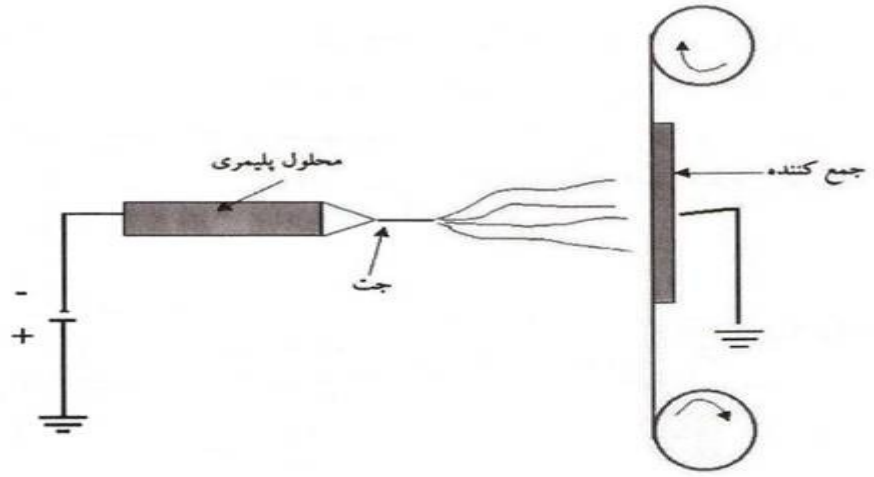


Table 6.4 Characteristic temperatures for thermoplastic resins with $T_g < 90°C$

Polymer type	*Chemical name*	*Structure*	T_g (°C)	T_m (°C)	*Processing temp. (°C)*
Polyolefin	Polypropylene (PP)	Crystalline	–10	165	200–240
Polyamides	Polyamide 6,6 (PA6,6)	Crystalline	55	265	270–320
	Polyamide 12 (PA12)	Crystalline	35	180	220–260
Polyesters	Polyethylene terephthalate (PET)	Crystalline	70	265	280–310
	Polybutylene terephthalate (PBT)	Crystalline	20	240	260–290

www.prozhe.com

Table 6.10 Compression strength after impact of thermoplastic composites

Material	*Trade name*	*Compression strength after impact (impact energy)*		
		(28 J) σ *(MPa)*	*(42 J)* σ *(MPa)*	*(57 J)* σ *(MPa)*
CF/PPS	AS-4/Ryton	221	179	–
CF/PEEK	AS-4/Victrex PEEK	331	310	290
CF/PAI	C-3000/Torlon C	365	345	317
CF/EP	AS-4/3501-6 (thermoset)	179	145	131
CF/EP	AS-4/8551-7 (thermoset)	–	303	–

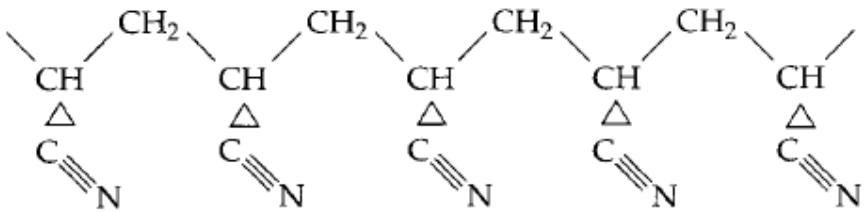


Fig. 9.2 Structure of the ideal PAN molecule (Riggs, 1976).

Table 6.13 Chemical resistance of thermoplastics

Material	*Structure*	*Hydraulic fluid*	*Chlorinated hydro-carbons*	*Ketones*	*Esters*	*H_2O abs. (%)*
PA6,6	Crystalline	–	0	0	0	8
PEEK	Crystalline	0	0	0	0	0.5
PPS	Crystalline	0	0	0	0	0.5
PEI	Amorphous	0	D	A	A	1.2
PSU	Amorphous	A	D	A	A	0.9
PAI	Amorphous	0	0	0	0	2–4
PES	Amorphous	A	D	A	A	0.3
Am. PA	Amorphous	A	A	A	-	5
PC	Amorphous	–	D	A	A	–

0 = no effect, A = is absorbed, D = is dissolved

www.prozhe.com

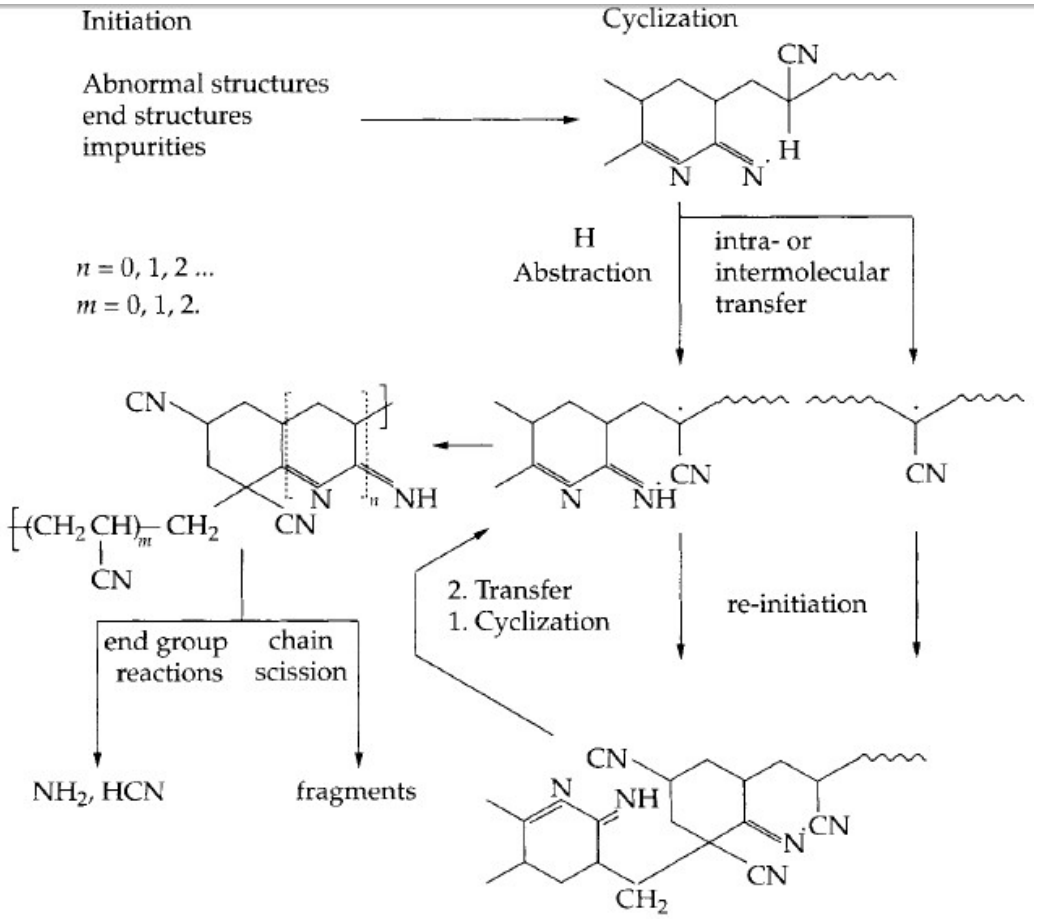


Fig. 9.3 Release of HCN and NH_3 during cyclization of PAN fiber (Grassia and McGuchan, 197

Table 6.9 Compressive properties of unidirectional thermoplastic composites

Material	*Trade name*	*Compression strength (MPa)*	*Modulus (MPa)*
CF/PA6.6	G30-500/Ultramid	700	110
CF/Amorph. PA	AS-4/J-2	1100	–
CF/PPS	AS-4/Ryton	940	130
CF/PAS	AS-4/PAS-2	900	120
CF/PEEK	AS-4/Victrex PEEK	1100	120
CF/PEEK	IM7/Victrex PEEK	1140	–
CF/PEKEKK	AS-4/Ultrapek	1310	127
CF/PSU	AS-4/Udel P1700	1040	–
CF/PAI	C-3000/Torlon C	1380	–
CF/TPI	AS-4/Avimid K-III	1000	110
CF/EP	AS-4/3501-6 (thermoset)	1720	140
CF/EP	HTA/6376C (thermoset)	1720	130

www.prozhe.com

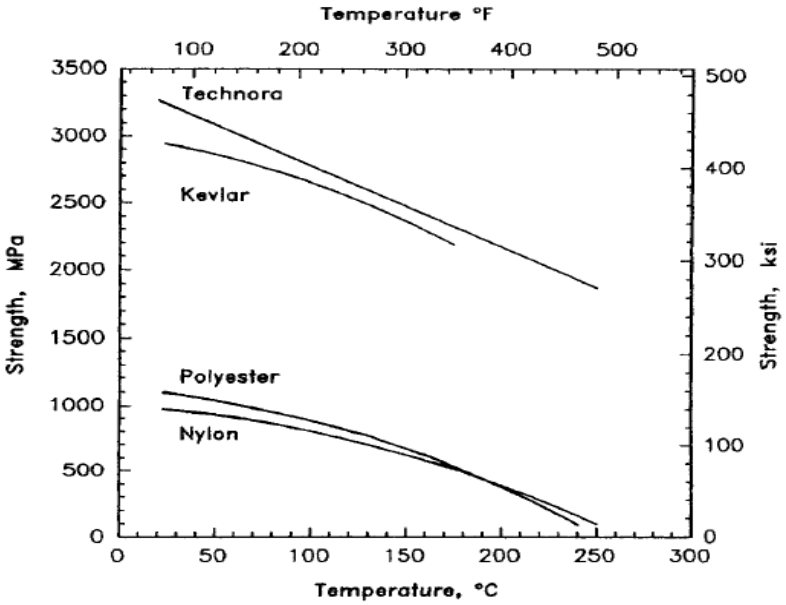


Fig. 10.6 Tensile strength as a function of temperature for two para-aramid fibers and for two polymer fibers and steel (DuPont, 1993h; Teijin, 1989).

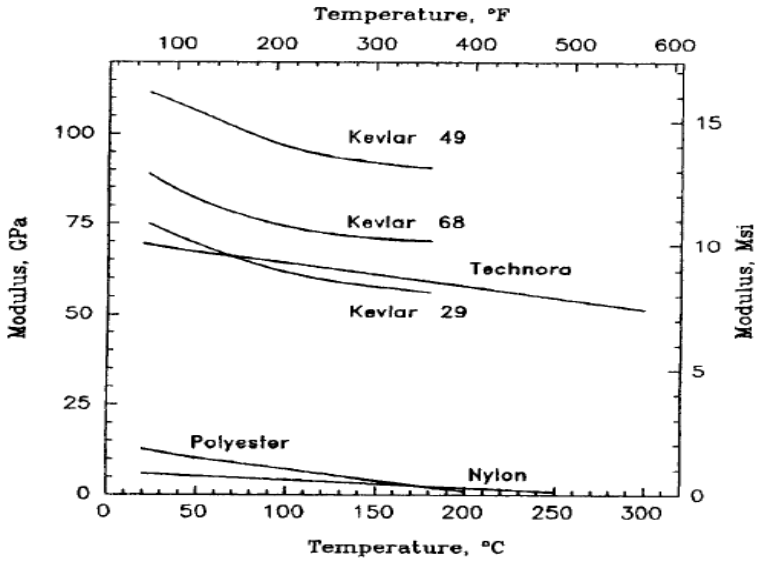


Fig. 10.5 Modulus as a function of temperature for several para-aramid fibers (DuPont, 1992a; Teijin, 1989).

www.prozhe.com

Table 6.7 Transverse tensile properties of thermoplastic composites

Material		*Transverse modulus* E_T *(GPa)*	*Transverse strength* σ_T *(MPa)*
GF/PP	Plytron ($V_f \approx 0.35$)	4	11
GF/PA6,6	E-glass/Ultramid	8.6	48
CF/PA6,6	G30-500/Ultramid	7.2	72
CF/Am. PA	AS-4/J-2	9	35
CF/PPS	AS-4/Ryton	7.6	72
CF/PAS	T 650-42/Radel 8320	8.4	61
CF/PAS	AS-4/PAS-2	8.3	32
CF/PSU	AS-4/Udel P1700	7	59
K49/PEKK	Kevlar/PEKK LDF™	6.2	21
CF/PEKEKK	G30-500/Ultrapek	10.3	90
CF/PEEK	AS-4/PEEK (ICI)	8.9	80
CF/PAI	T650-42/PAI-696	7.6	67
CF/TPI	AS-4/K-III	9	41
CF/TPI	G30-500/'NewTPI'	8.3	59
CF/TPI	AS-4/LaRC-TPI	-	33
CF/EP	AS-4/3501 (thermoset)	9	52
CF/EP	HTA/6376C (thermoset)	9.9	75

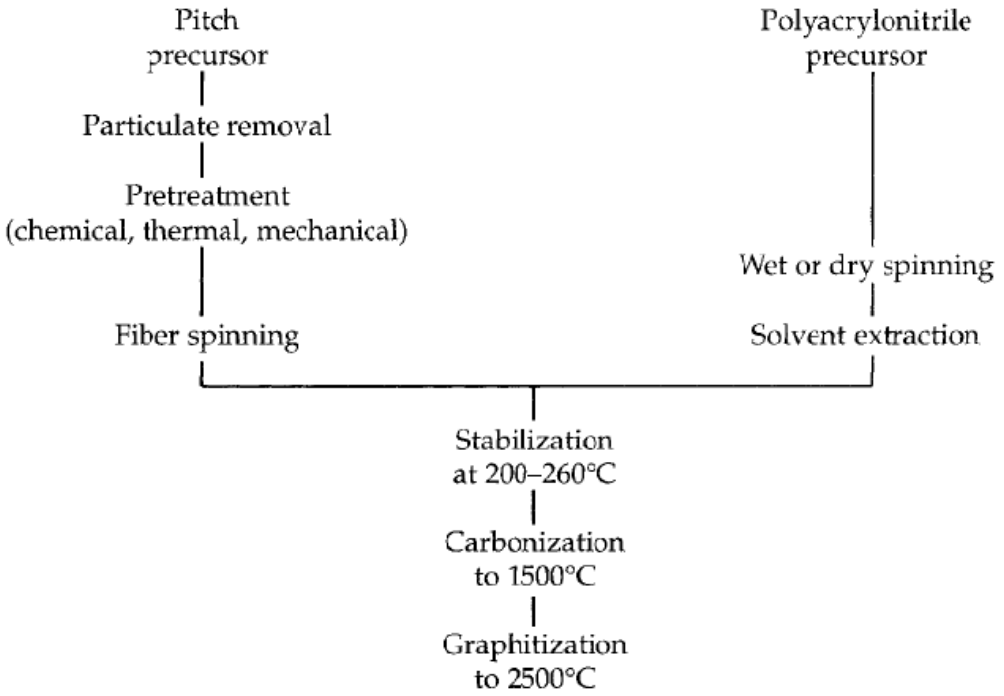
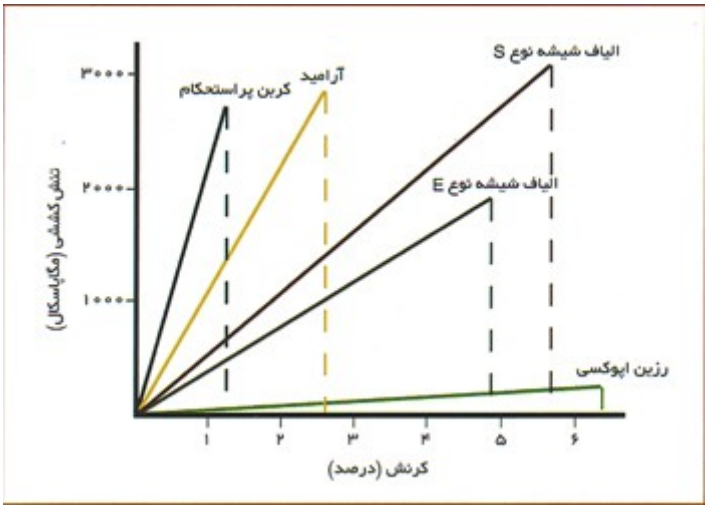


Fig. 9.1 Schematic illustration of process to produce carbon fibers from polyacrylonitrile and pitch.

www.prozhe.com



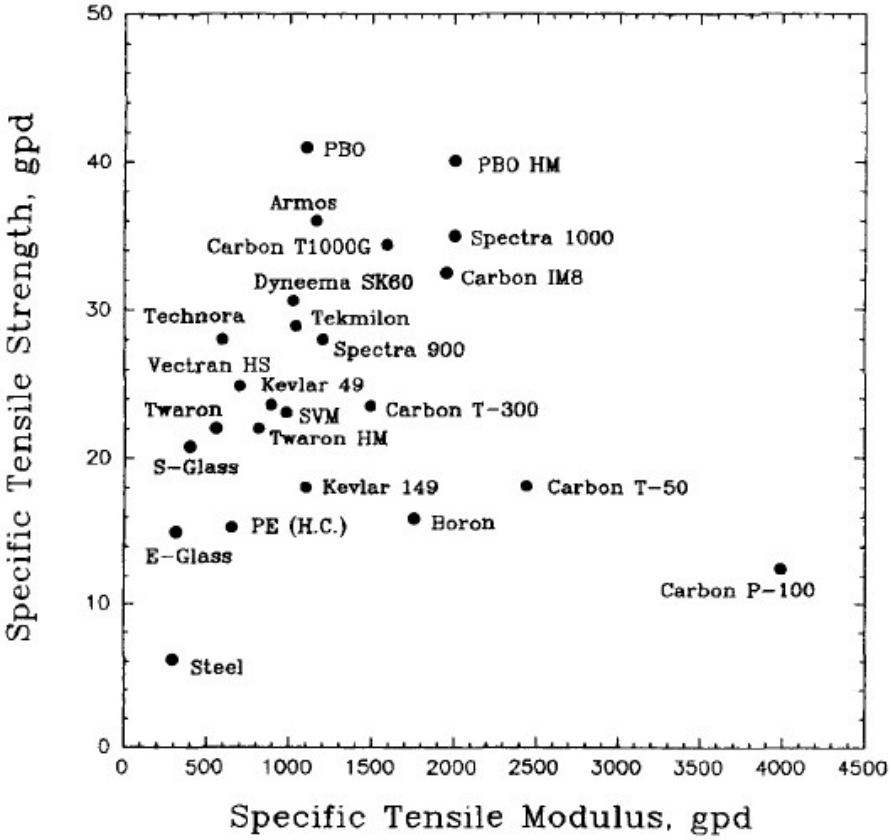
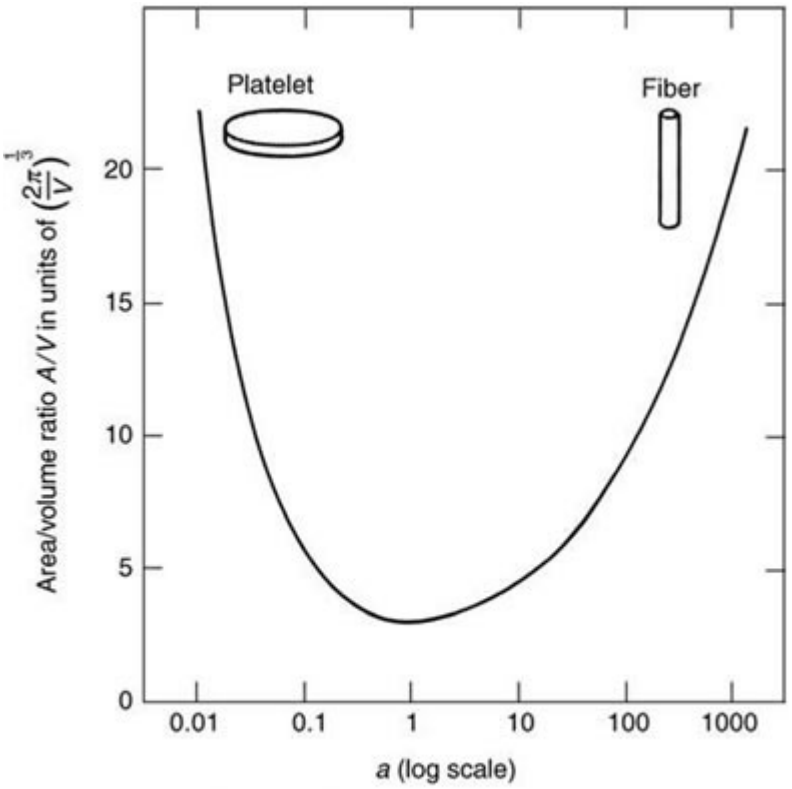


Fig. 10.4 Specific tensile strength against specific tensile stiffness for various reinforcing fibers.

www.prozhe.com



شکل ۵- نسبت سطح به حجم ومیانگنش زمینه - ذرات

Table 6.5 Characteristic temperatures for thermoplastic resins with $T_g \geq 90°C$

Polymer type	*Chemical name*	*Trade name and supplier*	*Structure*	T_g (°C)	T_m (°C)	*Processing temp. (°C)*
Polyester	Polycarbonate (PC)	Lexan, GE Makrolon, Bayer	Amorphous	150	none	280–330
Polyarylene ether or sulfide	Polyphenylene sulfide (PPS)	Ryton, Phillips	Crystalline	90	280	300–340
	Polyarylene sulfide	PAS-2, Phillips	Amorphous	215	none	330
	PEEK	Victrex PEEK, ICI	Crystalline	143	343	380–400
	PEEKK	Hostatec, Hoechst	Crystalline	165	365	390-415
	PEKK	Declar, DuPont	Crystalline	155	340	380–400
	PEKEKK	Ultrapek, BASF	Crystalline	175	375	400–420
	Polyketone	Victrex HTX, ICI	Crystalline	205	385	420–430
Poly-sulfones	Polysulphone (PSU)	Udel P1700, Amoco	Amorphous	190	none	300-350
	Polyether-sulfone (PES)	Victrex 4100G, ICI Ultrason E, BASF	Amorphous	220	none	300-320
Polyamide-imides	Polyamide-imide (PAI)	Torlon C, Amoco	Amorphous	275	none	350–400
		Torlon AIX-159 Amoco	Amorphous	290	none	350–400
Polyimides	Polyetherimide (PEI)	Ultem, GE	Amorphous	217	none	335–420
	Polyimide (TPI)	Avimid KIII, Du Pont	Amorphous	250	none	340-360
	Polyimide (TPI)	Aurum, Mitsui Toatsu	Crystalline	260	390	400–420

www.prozhe.com

واژه نامه

توده مخلوط(batch)

استوانه(barrel)

آمیزه(charge)

قالب گیری فشاری(Compression molding)

خزش(Creep)

ضریب انبساط حرارتی(Coefficient of termal expansion)

چگالی(Density)

مدول کشسانی(Elastic modulus)

اپوکسی(epoxy)

الیاف(Fiber)

رشته پیچی(Filament winding)

قالب گیری تزریقی(Injection molding)

زمینه(matrix)

قالب گیری فشاری(molding compound)

نام تجاری الیاف آرامید(Nomex)

پلی اتراترکتون(peek)

فنولیک(phenolic)

قیر(pitch)

سمبه(plunger)

تقویت کننده(Reinforced)

www.prozhe.com

عامل جداساز(release agent)

پاشش رزین(spray up)

گرمانرم(thermoplastic)

گرماسخت(Thermoset)

چقرمگی(Toughness)

www.prozhe.com

منابع

۱-آشنایی با کامپوزیت های زمینه فلزی،پلیمری،سرامیکی و فرآیندهای ساخت

تالیف ن-سلطانی عضو هیئت علمی دانشکده شریعتی

۲-کاربرد کامپوزیت ها در مهندسی پزشکی

تالیف دکتر فتح الله مضطرزاده(استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر)

مهندس محمد ربیعی(عضوهیئت علمی پژوهشکده صنایع رنگ ایران)

مهندس ژامک نور محمدی

3-hand book of composites (second edition edited by S.T.Peters)

4-www.gigapedia.com

5-www.ircomas.org انجمن کامپوزیت ایران

www.prozhe.com