



جمهوری اسلامی ایران

وزارت نیرو
دبیر خانه تحقیقات برق

عنوان پروژه

امکان: سنجش تغیر جنس بدنه دیفیوزرهای برج خنک کننده نیروگاه رامین
اهواز از فولاد به ماده مرکب

کمیته مرکزی تحقیقات
شرکت برق منطقه ای خوزستان

مسئول پروژه:
دانشگاه علم و صنعت ایران

مجری طرح:
دکتر غلامعلی عاطفی

تاریخ تهیه:
سال ۸۳

| | |
|----|--|
| ۱ | ۱-۱- مقدمه |
| ۲ | ۱-۲- انتخاب پلاستیک ها در کاربردهای کامپوزیتی |
| ۹ | ۱-۳- رزین های اپوکسی و پلی استر |
| ۹ | ۱-۳-۱- رزین های پلی استر غیر اشباع |
| ۱۱ | ۱-۳-۲- پخت رزین های پلی استر غیر اشباع |
| ۱۱ | ۱-۳-۳- کاربردها رزین های پلی استر |
| ۱۲ | ۱-۴- رزین های اپوکسی |
| ۱۳ | ۱-۴-۱- انواع رزین های اپوکسی |
| ۱۴ | ۱-۴-۲- پخت رزین های اپوکسی: |
| ۱۶ | ۱-۵- تست های استاتیکی مواد کامپوزیت |
| ۱۶ | ۱-۵-۱- مقدمه |
| ۱۸ | ۱-۶- خواص قابل تعیین مواد مرکب |
| ۱۸ | ۱-۶-۱- ثوابت الاستیک |
| ۱۹ | ۱-۶-۲- روابط بین ثوابت الاستیک |
| ۲۰ | ۱-۶-۳- استحکام |
| ۲۰ | ۱-۶-۴- اثرات دما و زمان |
| ۲۰ | ۱-۷- ساخت نمونه ها |
| ۲۰ | ۱-۷-۱- اثر مقیاس و تمرکز تنش |
| ۲۱ | ۱-۷-۲- گزارش تست |
| ۲۲ | ۱-۷-۳- تست کشش مواد کامپوزیت |
| ۲۳ | ۱-۷-۴- منحنی تنش - کرنش |
| ۲۳ | ۱-۷-۵- مقادیر قابل اندازه گیری |
| ۲۴ | ۱-۸- طریقه های شکست |
| ۲۵ | ۱-۹- رفتار خستگی کامپوزیت شیشه / اپوکسی |
| ۲۵ | ۱-۹-۱- اثر کسر حجمی روی رفتار خستگی کششی کامپوزیت UD Glass / Epoxy |
| ۲۶ | ۱-۹-۲- انتخاب زمینه برای ساختارهای تحت بارگذاری خستگی |
| ۲۷ | ۱-۹-۳- تخمین عمر لامینیت های شیشه / اپوکسی |
| ۲۸ | ۲- تهیه مدل یا مدل‌های مناسب جهت ساخت و بررسی موانع مختلف طراحی |

| | |
|----|--|
| ۲۸ | |
| ۲۹ | ۲-۲- مقایسه دو طرح پیشنهادی |
| ۳۰ | ۲-۳- اتصالات در سازه های ساخته شده از مواد مرکب |
| ۳۴ | ۲-۴- اتصالات چسبی و مکانیکی و مزایا و معایب آن |
| ۳۶ | ۲-۵- انواع تخریب در اتصالات مکانیک |
| ۳۷ | ۲-۶- تخریب کششی |
| ۴۰ | ۲-۷- تخریب لهیدگی |
| ۴۳ | ۲-۸- تخریب برشی |
| ۴۴ | ۲-۹- استحکام اتصالات مکانیکی |
| ۴۵ | ۲-۱۰- انتخاب نوع اتصال دهنده مکانیکی |
| ۴۷ | ۳- تهیه قالب جهت ساخت مواد کامپوزیتی |
| ۴۸ | ۳-۲- روشهای ساخت در کامپوزیت ها |
| ۴۸ | ۳-۳- روش های قالب باز |
| ۵۴ | ۳-۴- روشهای قالب بسته |
| ۷۰ | ۴- مقایسه دو طرح ارایه شده از دیدگاه استحکامی |
| ۷۰ | ۴-۱- نتایج آنالیز تنشها در مدل فول کامپوزیتی |
| ۷۴ | ۴-۲- نتایج آنالیز تنشها در مدل روکش کامپوزیتی |
| ۷۷ | ۵- مقایسه و انتخاب انواع مواد کامپوزیتی از لحاظ اقتصادی و خواص مکانیکی |
| ۷۹ | ۶- ارائه طرح نهایی |

فصل اول

ویژگیهای انتخاب ماده مرکب در

سازه کامپوزیتی برج خنک کننده

۱-۱- مقدمه

در این قسمت در مورد انتخاب پلاستیک ها در کاربردهای کامپوزیتی و نکات اساسی که در گزینش اجزای کامپوزیتها باید مدنظر قرار گیرند و نیز ویژگیهای دمایی ، مقاومت شیمیایی و ویژگی مکانیکی برخی از پلاستیک های مورد استفاده در کامپوزیت مورد ارزیابی قرار می گیرند.

پیش از بررسی خواص و ویژگیهای انواع رزین ها با در نظر گرفتن نکات گزینش ماده کامپوزیتی دو نوع رزین مناسب که در بازار جهانی و کشور کاربرد زیادی دارند، یعنی رزین های پلی استر غیر اشباع و رزین های اپوکسی انتخاب شده و مورد ارزیابی قرار می گیرند.

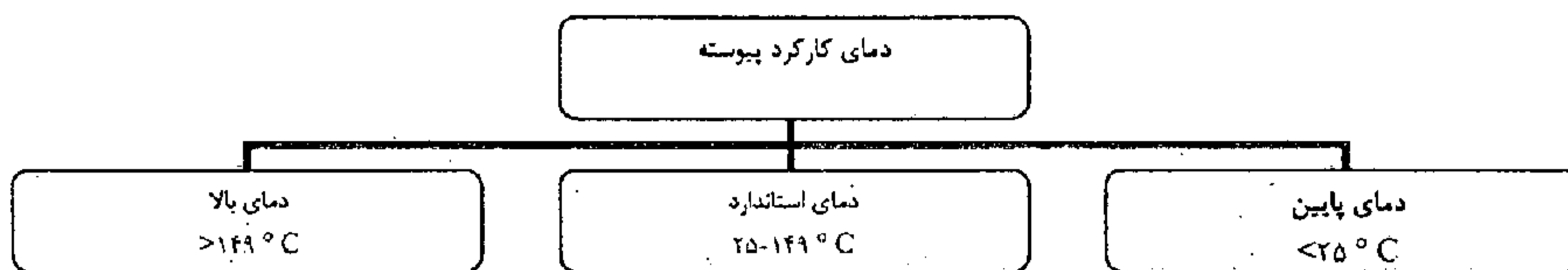
۲-۲- انتخاب پلاستیک ها در کاربردهای کامپوزیتی

برگزیدن یک پلاستیک برای کاربردهای مهندسی کامپوزیت، کار دشواری است چون امروزه بیش از ۱۵۰۰ ماده پلاستیکی شناخته شده است. کامپوزیت ها انواع گوناگون دارند و هر کدام از گونه‌ها بسیاری از مواد را دربرمی گیرد. گزینش نهایی با توجه به ویژگیهای خاص هر یک از اعضا صورت می پذیرد. در این گزینش، طراح باید به اطلاعاتی که تولید کننده در اختیارش قرار می دهد اتکا کند. افزون بر این، خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی انواع پلاستیک های گرما سخت و گرما نرم در کتابهای مرجع آورده شده است.

در مرحله اول، طراح به خواص عمومی پلاستیک نیازمند است تا او را در انتخابش یاری کند. برخی از این اطلاعات در جدولهای ۱و۲و۳ آورده شده است. برای برگزیدن اجزای یک ماده کامپوزیتی، باید انواع زمینه ها (رزین ها، فلزات و سرامیک ها) و تقویت کننده ها به دقت بررسی شوند. در بررسی این اجزا، سازگاری آنها با هم و شرایط کاری و محیطی باید مورد توجه قرار گیرند. نکات اساسی که در گزینش اجزای کامپوزیتها باید مدنظر قرار گیرند بصورت زیر می باشند:

۱. زمینه و تقویت کننده باید به یکدیگر متصل شوند.
۲. ضریب انبساط حرارتی زمینه و تقویت کننده بسیار نزدیک به هم باشد تا از ایجاد تنش های حرارتی شدید که سبب جدایش زمینه و تقویت کننده می شوند، جلوگیری شود.
۳. زمینه و تقویت کننده با وجود اتصال، نباید با هم ایجاد واکنش کنند تا یکپارچگی هر یک حفظ شود.
۴. در کامپوزیت های زمینه فلزی، امکان ایجاد پیل گالوانیکی در نظر گرفته شود. (پیل گالوانیکی از دو فلز در یک محلول الکترولیت تشکیل شده است که انرژی شیمیایی را به انرژی الکتریکی تبدیل می کند).

جدول ۱-۱: ویژگیهای دمایی برخی از پلاستیک ها

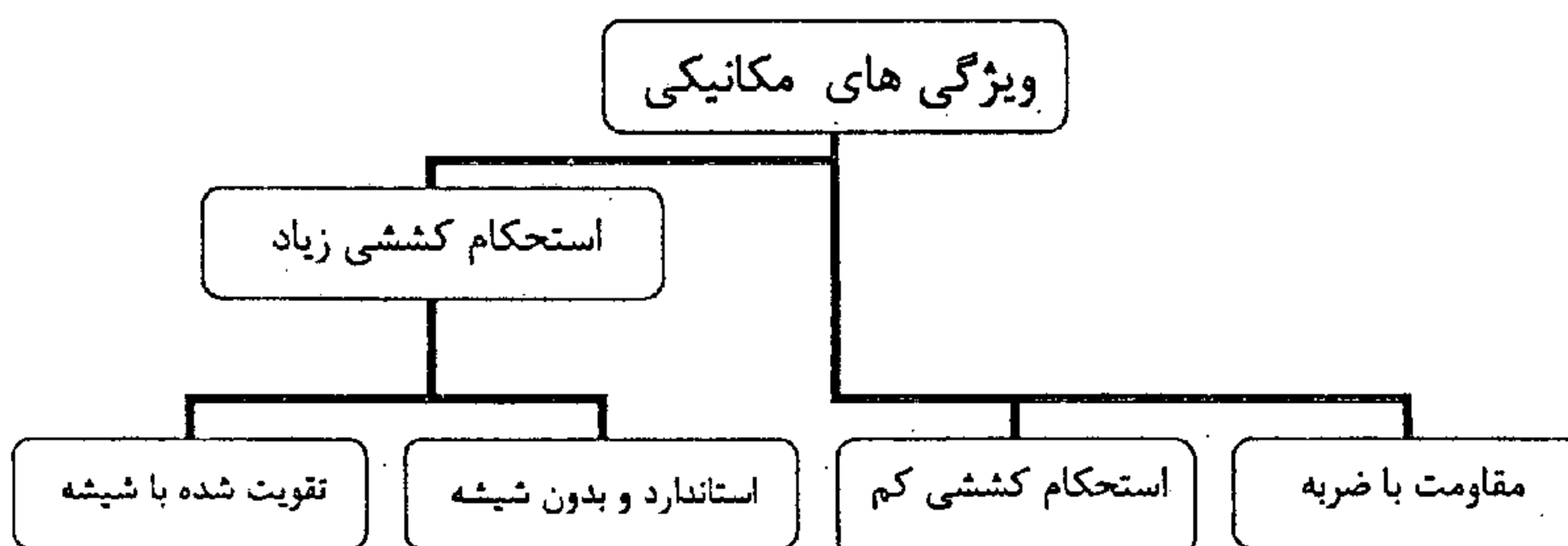


| °C | | °C | | °C | |
|---------|----------------------|--------|-----------------------|------|----------------------|
| ۲۶۰-۴۲۶ | پلی میدها | ۹۶-۱۲۱ | پلی پروپیلن | -۵۱ | پلی اتیلن کلرینه شده |
| ۲۰۴-۳۱۵ | سیلیکون ها | ۸۷-۱۲۱ | پلی اورتان | -۵۳ | پلی اورتان |
| ۱۴۹-۲۸۷ | فلوئوروپلاستیک ها | ۶۵-۱۱۰ | وینیل ها | -۶۷ | فلوئوروسیلیکون |
| ۲۷۱-۲۸۵ | پلی آمید - ایמיד | ۱۰۷ | پلی بوتیلن | -۱۸۴ | فلوئوروپلاستیک ها |
| ۸۰-۲۶۰ | اپوکسی | ۹۰-۱۰۴ | استال ها | | |
| ۲۶۰ | پلی فنیل سولفید | ۷۱-۱۰۴ | SAN و ABS | | |
| ۱۴۹-۲۳۲ | آلیل ها | ۵۱-۹۶ | پلی استرن | | |
| ۱۰۰-۲۳۲ | فنولیک ها | ۸۷-۹۳ | آلیاژهای پلی کربنات | | |
| ۲۳۲ | پلی اترسولفون ها | ۶۰-۹۳ | آکرلیک ها | | |
| ۱۷۱-۲۳۲ | پلی سولفون ها | ۴۹-۹۳ | سلولوزیک ها | | |
| ۱۴۹-۲۳۲ | ملامین ها | ۴۹-۸۲ | پلی اتیلن و کوپلیمرها | | |
| ۶۵-۲۳۲ | پلی استر گرماسخت | | | | |
| ۹۳-۱۷۶ | اوره ها | | | | |
| ۲۳۲ | آکرلیت رابر | | | | |
| ۲۳۲ | فلوئوروسیلیکون ها | | | | |
| ۱۳۵-۱۹۰ | نایلون ها | | | | |
| ۱۵۴-۱۶۰ | پلی استر گرمانرم | | | | |
| ۱۲۱-۱۶۰ | پلی آریل اتر | | | | |
| ۱۲۱-۱۶۰ | پلی متیل پنتن | | | | |
| ۸۲-۱۵۵ | پلی کربنات | | | | |
| ۱۲۱-۱۴۹ | آلکیده ها | | | | |
| ۱۴۹ | پلی اتیلن کلرینه شده | | | | |

جدول ۱-۲: مقاومت شیمیایی برخی از پلاستیک های مورد استفاده در کامپوزیت

| مقاومت شیمیایی | | |
|---------------------|---------------------|-------------------|
| عالی | خوب | ضعیف |
| فلوئورو پلاستیک ها | پلی استر ها | استیرینک ها |
| پلی مید ها | (گرم نرم و گرم سخت) | سلولزیک ها |
| پلی الفین ها | سیلیکون ها | پلی کربنات |
| استال ها | فنولیک ها | فلوئوروپلاستیک ها |
| پلی ینیلین سولفورید | پلی سولفون ها | |
| آلیل ها | نایلون ها | |
| اپوکسی ها | وینیل ها | |
| یونومرها | پلی اوراتان ها | |
| پلی آمید-ایمید | آکرلیک ها | |
| | آلکید ها | |
| | استرین-آکریلونیتیل | |
| | آمینو پلاستیک ها | |
| | پلی آریل اتر | |
| | پلی آریل سولفون | |

جدول ۱-۳: ویژگی مکانیکی برخی از پلاستیک های مورد استفاده در کامپوزیت



| | | | |
|----------------------------|----------------------------|--|--|
| پلی بوتیلن ها | الاستومرهای گرمانرم | پلی استرهای گرما سخت | پلی استر گرما سخت |
| الاستومرهای گرمانرم | پلی متیل پنتین | آلکید | آلکید |
| فلوئوروپلاستیک | فوران | وینیل استر | وینیل استر |
| نایلون ها | سیلیکون | نایلون (شامل آروماتیک ها) | نایلون (شامل آروماتیک) |
| سلولزیک ها | پلی اتیلن و کوپلیمرها | پلی استرهای گرما نرم شامل (آروماتیک) | پلی استرهای گرما نرم شامل (آروماتیک) |
| پلی اتیلن و کوپلیمرها | سلولزیک ها | پلی آمید-ایمیدها | پلی کربنات ها و آلیاژها |
| پلی اوراتان | پلی اوراتان | پلی استرهای گرم نرم (شامل آروماتیک) | پلی سولفن ها |
| پلی وینیل الکل و کوپلیمرها | پلی وینیل الکل و کوپلیمرها | پلی سولفن ها | پلی استیرن و کوپلیمرها (به جز اکریلو بوتادین استیرن) |
| اپوکسی | فلئوروپلاستیک و کوپلیمرها | پلی استیرن و کوپلیمرها (بجز اکریلو بوتادین استیرن) | اپوکسی |
| پلی استرهای گرما ساخت | پلی پروپیلن | اپوکسی | پلی فنیلن سولفید |
| آلکیدها | فنولیک | پلی فنیلن سولفید | اکریلو بوتادین استیرن |
| وینیل استرها | اکریلو بوتادین | فنولیک | پلی استال |

| | | | |
|-------------|-------------------------------|---------------------|------------------------------|
| | | استیرن | |
| فنولیک | اوره ها | اپوکسی | پلی پروپیلن |
| پلی ایمیدها | پلی وینیل الکل و کوپلیمرها | پلی استرهای گرمانرم | پلی کربنات |
| ملامین | | آلکید | ملامین ها |
| | | وینیل استر | فنولیک |
| | | پلی ایمید | پلی ایمید |
| | | پلی آمید-ایمیدها | آلیل ها |
| | | | اکریلیک ها |
| | | | اکریلو بوتادین استیرن |
| | | | پلی آریل اتر |
| | | | سیلیکون تقویت شده با شیشه |
| | | | کوپلیمر های استیرن |

از عوامل مهم در گزینش ماده، ویژگی‌های نهایی مورد انتظار از کامپوزیت است. این ویژگی

مواد کامپوزیت را که جزو انتخاب اولیه محسوب می‌شدند را حذف می‌کند و تا بتوان بر گونه مناسبی از مواد مورد نظر تمرکز کرد. در کامپوزیت‌های زمینه پلیمری، رزین زمینه تنها استحکام برشی بین لایه‌ای را تامین می‌کند و اتصال ضعیفی محسوب می‌شود. در اغلب موارد، زمینه الیاف را نگاه می‌دارد و آن‌ها را در جهت مناسب حفظ می‌کند. با این وجود رزین‌ها جزو مهمی از کامپوزیت‌ها هستند که باید با درایت برگزیده شوند؛ چرا که بدون آن‌ها یا در صورت گزینش نادرست، کامپوزیتی وجود نداشته یا کامپوزیت به دست آمده قابلیت‌های ضعیفی خواهد داشت. هم چنین گزینش نادرست زمینه می‌تواند به مشکلاتی در فرآیند ساخت منجر شود. با وجود این که استفاده از گرمانرم‌ها (Thermoplast) به عنوان زمینه، روندی رو به رشد دارد اما به علت پایداری ابعاد و کاربردهای دمابالا، اغلب زمینه‌ها گرماسخت هستند. گرماسخت‌های پلی‌استری در کاربردهای معمول تجاری به طور گسترده‌ای استفاده می‌شوند اما در کاربردهای بسیار مهم و حیاتی، رزین‌های گرماسخت اپوکسی به کار می‌روند. افزون بر لزوم سازگاری زمینه و الیاف، نکات

دیگری نیز در انتخاب زمینه باید مورد توجه قرار گیرند. نکات قابل توجه در گزینش پلاستیک‌ها و برخی از نکاتی که در گزینش زمینه‌ها باید مورد توجه قرار گیرند عبارتند از:

۱- عدم ایجاد محصولات جانبی

واکنش زمینه و عامل گیرش در هنگام پخت، نباید هیچ گونه محصول جانبی ایجاد کند؛ - که وجود محصولات جانبی ممکن است مایه ایجاد عیوبی در کامپوزیت شود.

۲- تکمیل عملیات گیرش

ترکیب رزین و عامل گیرش باید به گونه ای باشد که در محصول نهایی گیرش کامل ایجاد شود. اگر گیرش رزین کامل نباشد، ممکن است هنگام به کارگیری کامپوزیت حوادثی ایجاد شود.

۳- انطباق فرآیند تولید با امکانات موجود

فرآیندهای لایه گذاری گوناگونی وجود دارد که میتوان روش تولید را از بین آنها برگزید. زمینه برگزیده باید با امکانات موجود و فرآیند ساخت کامپوزیت، سازگار باشد به طور مثال ممکن است که مهندس طراح، یک طرح فنی را مد نظر داشته باشد و مهندس ساخت نیز بهترین تجهیزات را برای ساخت فراهم کند ولی اگر زمینه برگزیده شده برای پیش آغشته سازی الیاف، چسبندگی مناسبی نداشته باشد و روی ابزار بریزد، پی آمد بسیار بدی را در مرحله ساخت به وجود خواهد آورد.

۴- دمای گذار شیشه‌ای (T_g)

T_g یک معیار مهم در گزینش زمینه برای کاربردهای دما بالاست. گزینش رزینی که T_g آن خیلی بالاتر از دمای کارکرد آن است (با وجود این که ایمنی بیشتری را تامین می کند) مناسب نیست چون مایه افزایش دما و زمان پخت می شود. دماهای بالا، باعث ایجاد تنش و کرنش هایی می شوند که هنگام سرد کردن، ترک های مویینی در زمینه های ترد ایجاد می کنند. چنین ترک هایی مایه تضعیف استحکام کامپوزیت و متغیر شدن استحکام می شوند. بنابراین بهتر است گزینش مواد با توجه به دمای حقیقی کاربرد انجام شود.

۵-تأثیرات رطوبتی

نفوذپذیری و جذب رطوبت زمینه، باید به عنوان معیار مهمی در برگزیدن زمینه مناسب مورد توجه قرار گیرد. رطوبت جذب شده تمایل به تجمع در فصل مشترک الیاف و زمینه دارد. هنگام گرم شدن کامپوزیت، بخار آب مایه ایجاد تنش فشاری و در نتیجه جدایش در فصل مشترک الیاف و زمینه می شود. به منظور کاهش میزان جذب رطوبت، ساختار مولکولی زمینه باید بیشتر شبه هیدروکربنی و کمتر قطبی باشد. با این وجود حفظ تعادل الزامی است. چون مولکول های شبه هیدروکربنی قابلیت کمتری برای اتصال به الیاف دارند که این امر می تواند به کاهش استحکام کامپوزیت منجر شود.

۶-چقرمگی ضربه

یکی از ویژگی هایی که یک زمینه را برای کاربردهای دما بالا مناسب می سازد ، بالا بودن تعداد پیوندهای عرضی در ساختار آن است که باعث تردی زمینه می شود. در چنین مواردی نرمی زمینه از الیاف کم تر است. این امر منجر به تضعیف زمینه و در نتیجه کاهش چقرمگی کامپوزیت می شود. نتایج موجود نشان می دهند که چقرمگی ضربه کامپوزیت ها در حدود 20 J/m است. برای دستیابی به مقادیر بالاتر، باید انرژی شکست زمینه افزایش یابد تا چقرمگی کامپوزیت بهبود یابد. بنابراین چقرمگی ضربه زمینه نیز به عنوان معیاری برای گزینش زمینه مناسب در نظر گرفته می شود.

۷- اثرات بلند مدت

شرایط و مدت انبار کردن زمینه ، ویژگی های بلند مدت کامپوزیت را تعیین می کنند. اطلاعات ارائه شده توسط تولیدکننده مانند مقاومت گرمایی، خستگی، خزش، مقاومت به سایش، شوک پذیری حرارتی، ویژگی های الکتریکی، مقاومت در برابر حلال ها و مواد شیمیایی خورنده، مقاومت در برابر کرنش و مقاوم در برابر پرتوهای فرابنفش در گزینش زمینه باید در نظر گرفته شوند.

۸- عمر نگه داری

در نهایت دانستن تاثیر مدت نگه داری مواد بر ویژگی های آنها دارای اهمیت است. در اثر انباشت کردن، ویژگی های الیاف پیش آغشته و یا فرایند پخت ممکن است تغییر کند. برای شناخت این، آزمایش های فیزیکی و شیمیایی ویژه ای وجود دارد.

۹- قیمت ماده کامپوزیتی

یکی از مهمترین پارامترهای گزینش ماده کامپوزیتی، قیمت تمام شده طرح فنی ساخته شده می باشد. اکنون به بررسی خواص دو دسته از مواد مرکب که در این پروژه استفاده می شوند، می پردازیم.

۳-۱- رزین های اپوکسی و پلی استر

پس از بررسی خواص و ویژگیهای انواع رزین ها و با در نظر گرفتن نکات گزینش ماده کامپوزیتی دو نوع رزین مناسب که در بازار جهانی و کشور کاربرد زیادی دارند؛ یعنی رزین های پلی استر غیر اشباع و رزین های اپوکسی انتخاب شده مورد ارزیابی قرار می گیرند.

۱-۳-۱- رزین های پلی استر غیر اشباع:

پلی استرهای غیر اشباع (UP) محصولات تراکمی خطی بر پایه اکسیدها، دیالها و اسیدها / انیدریدهای اشباع و غیر اشباع هستند. این رزینها عموماً الیگومرهای زرد کم رنگ با درجه پلیمریزاسیون پایین هستند. غیر اشباع بودن زنجیره اصلی، مکانهایی را برای واکنشها با منومرهای وینیلی فراهم می کند. این واکنشها با استفاده از آغازگرهای رادیکال آزاد انجام شده و یک شبکه سه بعدی تشکیل می دهند. محلول پلی استرهای غیر اشباع و منومرهای وینیلی (رقیق کننده های واکنشی) به عنوان رزین های پلی استر غیر اشباع (رزین های UPE) شناخته می شوند. بنابراین پلی استرهای غیر اشباع رقیق نشده به عنوان رزین های UP و رزین های دارای رقیق کننده واکنشی با نام رزین های UPE شناخته می شوند.

رزین‌های پلی‌استر به علت ارزانی و چند کاربردی بودن در تمام جهان به طور گسترده‌ای به کار گرفته می‌شوند. کاربرد تجاری این رزین‌ها از سال ۱۹۴۱ آغاز شده است. رزین‌های UPE برای نخستین بار در سال ۱۹۴۶ وارد بازار شدند و در آغاز قرن ۲۱، پر کاربردترین گرما سخت (ترموست) در کامپوزیت‌های پلیمری هستند. این رزین‌ها را می‌توان در بازه‌ی دمایی گسترده‌ای فراوری کرد. رزین‌ها UPE تقویت شده با الیاف شیشه به طور گسترده در صنایع ساختمانی، حمل و نقل، الکترونیک، لوازم خانگی و بهداشتی و صنایع الکتریکی به کار می‌روند. بیشترین کاربرد این مواد در صنعت ساختمان و به دنبال آن صنعت حمل و نقل است. امکان پخت در دمای محیط و تحت فشار اتمسفر (شرایط محیطی) این مواد را چند کاربردی و برای ساخت سازه‌های بزرگی همچون بدنه قایق، بدنه خودرو، رادوم هواپیما، مخزن ذخیره و غیره مناسب ساخته است. تنها در سال ۱۹۹۷، حدود ۲/۱ میلیون تن رزین UPE برای کاربردهای سازه‌ای، به کار رفته است.

یکی از مشکلات عمده این رزین‌ها، آنها (بیش از ۷ درصد) هنگام واکنش پخت است. این انقباض منجر به نمایان شدن الیاف شیشه و کاهش کیفیت سطحی می‌شود. با گزینش اسیدها انیدریدها و گلیکول‌های غیر اشباع و رقیق کننده واکنشی، می‌توان طبیعت شبکه نهایی را به طور قابل توجهی تغییر داد، تا برای شرایط کاربردی گوناگون مناسب شود. افزودن گرمانرم‌ها در ترکیب، می‌تواند انقباض ناشی از پلیمریزاسیون و انقباض حرارتی رزین UPE را جبران نموده و به سیستم‌های رزینی کم انقباض یا بدون انقباض منجر شود.

۲-۳-۱- پخت رزین های پلی استر غیر اشباع :

واکنش پخت رزین های پلی استر غیر اشباع (UPE)، یک پلیوریزاسیون ایجاد کننده پیوندهای عرضی بین رقیق کننده واکنشی (همانند منومر استرین) و رزین UP است. مولکول های پلی استر پیوندهای عرضی را ایجاد می کنند و ابستیرن به عنوان عامل ارتباط بین مولکولهای پلی استر کناری عمل می کند. وابسته به دما و دیگر شرایط شکل دهی، بعضی از ذرات پس از پخت نیز، واکنش نکرده باقی می ماندند.

این اجزا به شکل منومر باقی مانده و پلیمرهای قابل حلی که در ساختار شبکه شرکت نمی کنند، به جا می ماندند. بسته به دمای پخت، گستره وسیعی از پراکسیدها، آزو (azo) و ترکیبات آزینی را می توان به عنوان آغازگر به کار برد. برای پخت در دمای اتاق، از پر اکسید متیل اتیل کیتون (MEKP) و برای پخت در دمای متوسط (حدود ۶۰ تا ۹۰ درجه سانتی گراد)، از پر اکسید بنزول استفاده می شود. برای پرس گرم یا پخت در کوره (حدود ۱۳۰ - ۱۵۰ C°) دی t-بوتیل پر اکسید یا t-بوتیل پربنزنونات به کار می رود.

۳-۳-۱- کاربردها رزین های پلی استر :

رزین های پلی استر، به شکل رزین خالص و هم به صورت ترکیب شده با پرکننده، کاربرد بسلیاری دارند. کاربردها اصلی این مواد در صنعت ساختمان (به صورت تقویت نشده)، صنعت خودرو و براق کردن مبلمان و چوب های صنعتی است. بعضی از محصولات مهم رزین UPE عبارتند از:

محصولات ریخته گری هم چون دکمه های صدفی، دسته چاقو، چتر و قاب تجهیزات الکترونیکی، ترکیبات پلی استر برای ساخت لوازم درون حمام به کار گرفته می شوند. کاشی های کف با استفاده از مخلوط رزین UP و موادی همچون آهک، سیلیس و رس ساخته میشوند. کاربردهای رزین های UP در حمام و نقل، لوازم خانگی و ساختمان سازی و صنایع تاسیسات و تبرید به گسترش روش های SMC و BMC (تقویت شده با الیاف شیشه) بستگی دارد.

۴-۱-رزین های اپوکسی:

رزین های اپوکسی پلیمرهایی با وزن مولکولی کم هستند که می توان آن ها را در شرایط متنوعی فراوری نمود. دو مزیت مهم این رزین ها، نسبت به رزین های پلی استر غیر اشباع این است که:

۱. می توان این رزین ها را به طور ناقص پخت و در همان حال نگه داری کرد.

۲. این رزین ها، انقباض کمی در هنگام پخت از خود نشان می دهند.

با این وجود، گرانبوی و بهای رزین های اپوکسی امروزی، از رزین های پلی استر بیشتر است. رزین های اپوکسی پخت شده، در محیط های شیمیایی و خورنده مقاومت بهتری از خود نشان می دهند، ویژگی های الکتریکی آن ها نیز مناسب است. تقریباً ۴۵ درصد رزینها اپوکسی تولید شده، در پوشش های محافظ به کار می روند و بقیه آنها در کاربردهای سازه ای مانند چند لایه ها و کامپوزیت ها، ابزار سازی، قالب سازی، ریخته گری، ساختمان، چسب ها و جز آن مصرف می شوند.

امروز بازه گسترده ای از رزین های اپوکسی، از رزین های سفت و چقرمه ی دما پایین (برای کاربرد در صنعت ساختمان) تا رزین های ترد (برای کاربردهای هوفضایی) تولید می شوند. کاربردهای گسترده رزین های اپوکسی، در درجه اول مرهون وجود رزین هایی با ساختار و وزن مولکولی متفاوت است که محصولات گوناگونی از مایعات با گرانروی کم تا جامداتی با نقطه ذوب پایین ایجاد می کند. سهولت فراوری، ویژگی های ذوب خوب، چسبندگی عالی به بسیاری از مواد، انقباض پخت کم، ویژگی های مکانیکی عالی پس از پخت و ویژگی های حرارتی و مقاومت رطوبتی و شیمیایی خوب رزین های اپوکسی، آنها را به عنوان گزینه ای مهم در ساخت کامپوزیت های تقویت شده با الیاف مطرح کرده است. به همین علت نیز، این رزین ها همواره به عنوان یکی از موضوعات مهم مطالعات علمی مورد بحث و بررسی قرار گرفته اند.

۱-۴-۱- انواع رزین‌های اپوکسی:

محدوده گسترده‌ای از مواد را می‌توان برای تولید رزین‌های اپوکسی به کار گرفته و رزین‌های گوناگونی با ویژگی‌های کار آمد و قابل کنترل تهیه کرد. این رزین‌ها معمولاً از واکنش آمین یا فنیل پلی فانکشنال با اپی کلروهیدرین در حضور یک باز قوی ساخته می‌شوند. دمای انتقال به حالت شیشه‌ای برای رزین پخت شده نسبتاً کم (کم‌تر از ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد) است. این مسأله استفاده از این رزین‌ها را در کارایی‌هایی بالا، محدود می‌کند. با ایجاد حلقه‌های سخت و گرماپایدار در شاخه اصلی زنجیره یا افزایش چگالی پیوندهای عرضی می‌توان به T بالاتر دست یافت و ویژگی‌های حرارتی و مکانیکی را بهبود داد. تاکنون، چندین گزارش در مورد بهبود مقاومت پلیمرهای اپوکسی در برابر شعله و حرارت برای گسترش کاربرد آن‌ها در صنایع الکترونیک و هوافضا، ارائه شده است. رزین اپوکسی مقاوم به شعله در بر گیرنده مواد دیرسوز کننده‌ای چون تری هیدرات اکسید آلومینیم، ترکیبات هالوژنه (معمولاً در ترکیبات با اسید آنتیموان)، فسفر، فسفر-نیترژن و ترکیبات فسفر-هالوژن است. رزین‌های پایه تتراهالوبیس فنل A در مواردی به کار برده شده است که کند کردن اشتعال پذیری مدنظر است. ثابت شده است که ترکیبات برم دار به لحاظ تجاری، با استقبال بیشتری مواجه شده‌اند آمین‌های گلسیدیل کارپذیری بیشتری دارند و اساس رزین‌های زمینه در کامپوزیت‌های پشرفته‌ی تقویت شده با الیاف هستند. این رزین‌ها، با پیوندهای عرضی فراوان، حساسیت کمتری به رطوبت دارند و بنابراین به دیگر رزین‌ها ترجیح داده می‌شوند. با این وجود چگالی بالای پیوندهای عرضی، سبب ایجاد یک شبکه ساختاری ترد با مقاومت ضعیف در برابر ریز ترک‌ها می‌شود. برای غلبه بر چنین مشکلی ترکیباتی به کار می‌روند که چقرمگی ساختار را بهبود می‌بخشد. تغییرات گرانی در هنگام پخت را می‌توان با گزینش درست عوامل پخت و رقیق کننده‌های واکنشی و یا اصلاح کننده‌های گرمانرم، کنترل کرد. رزین‌های اپوکسی در اواخر دهه ۱۹۵۰ تجاری شدند این رزین‌ها، مقاومت شیمیایی بهتر و دمای اعوجاج حرارتی مناسب تری دارند. رزین‌های اپوکسی مشتق شده از کروزل - O در دهه ۱۹۶۰ گسترش یافتند.

۲-۴-۱- پخت رزین‌های اپوکسی:

پخت رزین‌های اپوکسی، فرایندی است که در آن، رزین از مایعی با وزن مولکولی کم به یک جامد دارای شبکه‌ای با پیوندهای عرضی زیاد، تغییر می‌یابد. با پیشروی فرایند پخت در این رزین‌ها به علت تشکیل پیوندهای عرضی در زنجیره‌های مولکولی و ایجاد شبکه‌ای با وزن مولکولی زیاد تحرک مولکول‌ها کاهش می‌یابد. تغییر ناگهانی و برگشت ناپذیر از یک مایع گران روان به ژل الاستیک نقطه ژل شدن نام دارد. ژل شدن زمانی رخ می‌دهد که ۵۵-۸۰ درصد تغییر انجام شده باشد. پس از گذر از نقطه ژل شدن، واکنش به سوی تشکیل یک شبکه نامحدود پیش می‌رود که با افزایش چگالی پیوندهای عرضی و رسیدن به ویژگی‌های فیزیکی نهایی همراه است.

شیشه‌ای شدن زنجیره‌های در حال رشد یا شبکه، زمانی رخ می‌دهد که دمای انتقال به حالت شیشه‌ای در شبکه به دمای پخت نزدیک شود. شیشه‌ای شدن یک فرایند برگشت پذیر است و ممکن است در هر مرحله‌ای از پخت رخ دهد. فرایند پخت ممکن است با بلورین شدن یا شیشه‌زدایی از باقیمانده‌ی رزین اپوکسی پخت شده ادامه یابد. واکنش آمین و حلقه‌ی اکسیدان به شدت گرمازا است.

زمان پخت به نوع و مقدار عامل پخت وابسته است. به طور مثال، زمان پخت رزین DGEBA با عامل سخت کننده TETA یا DETA در دمای محیط یک ساعت است در حالی که با عامل سخت کننده m- فنیل دی آمین، شش ساعت است.

استفاده از عامل DICY بارزین‌های اپوکسی جامد یا مایع زمان پختی در حدود ۶ ماه را نتیجه می‌دهد. DICY به عنوان عامل پخت نهان رزین‌های اپوکسی به شمار می‌رود. این رفتار، به عدم حلالیت این عمل در دمای اتاق مربوط است.

۲-۴-۱- کاربردها رزین های اپوکسی :

رزین های اپوکسی پخت شده کاربردهای بسیار متنوعی دارند که از آن جمله می توان به چسب ها، کامپوزیت ها، پوشش های کامپوزیتی و جزء آن می توان اشاره کرد. دمای پخت بهینه و پایداری حرارتی رزین اپوکسی به نوع عامل پخت بستگی دارد.

رزین های اپوکسی انیدریدی ویژگی های الکتریکی، شیمیایی و مکانیکی بسیار خوبی داشته و در صنعت الکترونیک به کار گرفته می شوند. اپوکسی ها در صنعت ساختمان نیز مورد استفاده قرار می گیرند. این رزین ها به عنوان پرکننده ترک ها در سازه های بتنی به کار می روند. در صنعت ساختمان می توان با استفاده از تیول هایی که آهنگ پخت بالاتری دارند به پخت رزین های اپوکسی در دمای کم، برای کاربرد در اتصالات و پوشش ها دست یافت. پیش آغشته های پایه اپوکسی در بخش های گوناگونی از هواپیما مانند سکان هواپیما، ترازگرها، بالابرها، نوک های بال، درهای ارابه فرود، رادوم، شهرها و چیلرها و صنایع نیروگاهی به کار می روند. کامپوزیت ها ۳ تا ۹ درصد کل وزن هواپیماهای تجاری چون بویینگ ۷۶۷ و بویینگ ۷۷۷ را تشکیل می دهند. صنعت کامپوزیت ۲۸ درصد رزین های تولید شده را مصرف می کند. در کنار این کاربردها، صنعت پوشش نیز یکی دیگر از مصرف کنندگان اصلی رزین های اپوکسی است. اصولاً پس از انتخاب هر ماده مرکب و ساخت قطعه کامپوزیتی، می بایست قطعه نمونه ای ساخت و آن را تحت آزمایشهای استاتیکی قرار داد.

از طرف دیگر آگاهی از رفتار خستگی ماده مرکب انتخابی جهت عملکرد بهینه آن در مراحل اجرایی ضروری است. اکنون به بررسی خستگی در این مواد و آزمایشهای استاتیکی مواد کامپوزیت می پردازیم.

۱-۵- آزمایش های استاتیکی مواد کامپوزیت

۱-۵-۱- مقدمه

برای ساخت سازه های کامپوزیتی نیاز است که قبل از طراحی و ساخت با استفاده از آزمایشات استاندارد براساس استاندارد ASTM خواص مکانیکی مورد نظر را بدست آورد. در نظر است تا در ساخت دیفیوزر برج خنک کننده نیروگاه رامین اهواز از کامپوزیت های الیاف شیشه استفاده شده است، به آزمایشات مهمی که برای بدست آوردن خواص مکانیکی کامپوزیتها انجام می شود، اشاره خواهیم داشت.

ایده تقویت یک رزین ضعیف با الیاف، امتیازات ساختاری و صنعتی زیادی دارد که به نحو ساده ای ما را به سمت تولید مواد مهندسی با استحکام بالاتر هدایت میکند. تولید کامپوزیت های پلیمری در شاخه های زیادی از صنعت رشد کرده است و نسبت آنها در تولید مواد مصنوعی به طور مداوم در حال افزایش است.

اولین کامپوزیت های پلیمری تقویت شده با الیاف، کامپوزیت های الیاف شیشه هستند. مزایای ساختار کامپوزیت های تقویت شده با الیاف شیشه به خوبی شناخته شده اند، که به طور نمونه می توان استحکام بالا در جهت تقویت کننده را نام برد. تعدادی از مقادیر پارامترها برای کامپوزیت های الیافی با چیدمان های مختلف در جدول (۴) آورده شده است.

جدول ۱-۴ - نسبت های نمونه ای مشخص کننده استحکام برشی بین لایه ای و کشش عرضی و مقاومت فشاری

کامپوزیت ها (T) یعنی کشش

| PARAMETERS ANISOTROPY | FUBERGLASS COMPOSITE | | CARBON COMPOSITE | | BORON COMPOSITE 0° | ORGANIC COMPOSITE 0° |
|---------------------------------|-------------------------|-------|---------------------|-------|-----------------------|-------------------------|
| | C | | C | | | |
| E_X / G_{XZ} | ۲۰-۲۵ | ۱۰-۲۰ | ۴۰-۸۰ | ۲۰-۴ | ۲۰-۶۰ | ۲۵-۴۰ |
| σ_{XZ}^M / t_M | ۲۰-۴۰ | ۱۰-۱۵ | ۲۰-۴۰ | ۵-۱۵ | ۲۰-۵۰ | ۱۰ |
| E_A / E_Z | ۵-۸ | ۳ | ۲۰-۳۰ | ۱۵ | ۸-۱۲ | ۱۲-۱۸ |
| $\sigma_X^{IM} / \sigma_Z^{IM}$ | ۲۴ | _____ | ۲۵-۵۰ | ۲۰ | ۱۵-۳۰ | ۵۰ |
| $\sigma_X^{IM} / \sigma_Z^{CM}$ | ۶-۱۰ | _____ | ۶-۱۰ | _____ | ۱۰ | ۱۵-۲۰ |

معادلات ساختاری مواد مرکب تحت بارهای موازی با جهت الیاف با دقت بالایی از قانون هوک تبعیت می کنند. اگر بار اعمال شده تحت زاویه ای با جهت الیاف یا عمود بر جهت الیاف باشد، منحنی تنش کرنش به طور اساسی غیر خطی خواهد بود. در کامپوزیت های الیافی، بیشتر مقادیر قابل اندازه گیری ثابت نبوده و از شرایط آزمایش تبعیت می کنند. به این دلیل در آزمایش های مکانیکی کامپوزیت های الیافی معیارهای زیر باید مد نظر قرار گیرد:

۱- انتخاب شکل و اندازه نمونه

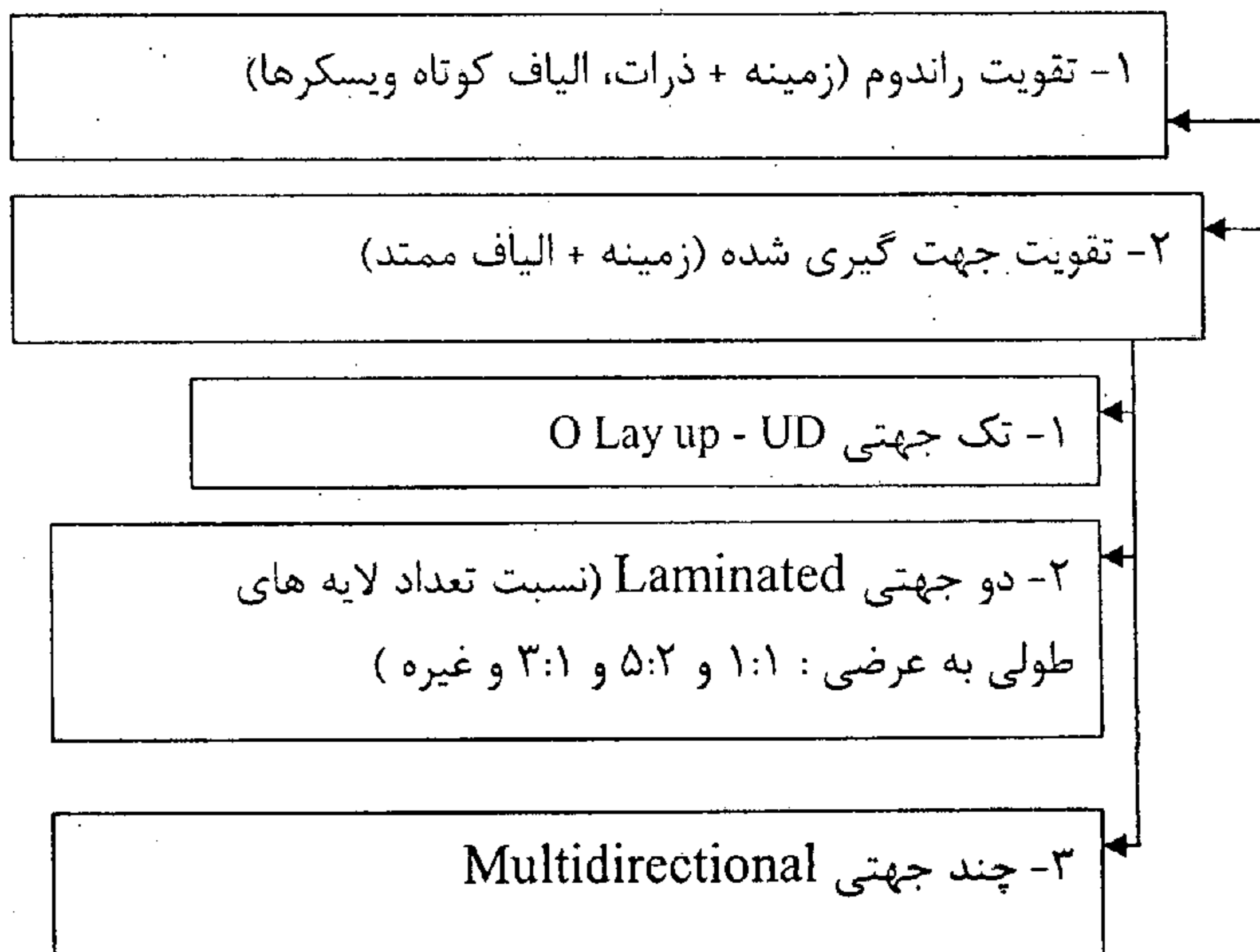
۲- آماده سازی نمونه برای آزمایش

۳- انتخاب دستگاه آزمایش برای اندازه گیری نیروها و تغییر شکل ها

۴- تعیین محدودیت هایی که شرایط آزمایش در آن می تواند تغییر کند (نرخ بارگذاری هندسه

نمونه، نادرستی نتایج، تعداد نمونه های مورد استفاده، بررسی و آنالیز نتایج آزمایش و ...).

۱۳- زبیت ها



۱-۶- خواص قابل تعیین مواد مرکب

۱-۶-۱ - ثوابت الاستیک

به طور عمومی قابلیت تغییر شکل یک بدنه الاستیک غیرایزوتروپ با ۲۱ ثابت الاستیک شناسایی می شود که ۱۸ ثابت آن مستقل هستند. آزمایش و اندازه گیری همه ۱۸ عدد مستلزم صرف زمان زیادی است. با توجه به اینکه کامپوزیت های الیافی متقارن هستند می توان این تعداد را کاهش داد. یک بدنه غیرایزوتروپ، وقتی که ۳ صفحه قائم متقارن الاستیک بر هر نقطه آن عبور کند، ارتوتروپ است. در این مورد قابلیت تغییر شکل بدنه با ۱۲ ثابت الاستیک شناخته می شود که ۹ عدد از آنها مستقل هستند. سه مدول الاستیسیته E_x, E_y, E_z سه مدول برشی G_{yz}, G_{xz}, G_{xy} و سه نسبت پواسون V_{yz}, V_{xz}, V_{xy} ارتباط بین این ثوابت :

$$E_x V_{xy} = E_y V_{yx}$$

$$E_x V_{xz} = E_z V_{zx}$$

$$E_y V_{yz} = E_z V_{zy}$$

اگر بدنه مورد نظر صفحه باشد، آنگاه این بدنه ارتوتروپ با ۴ ثابت الاستیک قابل شناسایی است که

این ثوابت عبارتند از مدول الاستیک E_x, E_y و مدول برشی G_{xy} و نسبت پواسون V_{xy} .

مدول الاستیک در زاویه 45° نسبت به محورهای XY : E_{45° در یک بدنه آنیزوتروپ را ایزوتروپ عرضی گویند، اگر یک تقارن الاستیک در هر نقطه بدنه وجود داشته باشد. در این مورد ۵ ثابت

الاستیک وجود دارد: مدول الاستیک E_x, E_y ، مدول برشی G_{xy} و نسبت پواسون V_{xz}, V_{xy} .

$$E_x = E_y, \quad G_{xz} = G_{yz}, \quad G_{xy} = \frac{E_x}{2(1 + V_{xz})}$$

$$E_x V_{xz} = E_z V_{zx}, \quad V_{yz} = V_{xy}, \quad V_{zy} = V_{zx}, \quad V_{yz} = V_{xz}$$

مواد کامپوزیت تک جهتی نمونه ای از مواد ایزوتروپ عرضی هستند.

۲-۶-۱- روابط بین ثوابت الاستیک

جهت کنترل نمودن نتایج آزمایش،

$$(i, j = 1, 2, 3, \dots, 6), \quad E_i V_{ij} = E_j V_{ji}$$

تمام مدول های الاستیک و برشی مثبت هستند. تمام ثوابت سفتی نیز مثبت هستند.

$$0 \leq V_{ij} V_{ji} \leq 1 \quad (i, j = 3, 2, 1, \dots, 6)$$

در تمام مواد آنیزوتروپ باید رابطه زیر صدق کند.

$$V_{32} V_{21} V_{13} = V_{23} V_{12} V_{31} \sqrt{\frac{1}{2}(1 - V_{12} V_{21} - V_{13} V_{31} - V_{23} V_{32})} < \frac{1}{2}$$

$$\frac{1}{E_x} + \frac{1}{E_y} + \frac{1}{E_z} - \frac{2V_{xy}}{E_x} - \frac{2V_{yz}}{E_y} - \frac{2V_{zx}}{E_z} \geq 0$$

نسبت پواسون یک ماده ایزوتروپ را می توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$V_0 = \frac{\frac{V_{xy}}{E_x} + \frac{V_{yz}}{E_y} + \frac{V_{zx}}{E_z}}{\frac{1}{E_x} + \frac{1}{E_y} + \frac{1}{E_z}} \leq 0.5$$

۳-۶-۱- استحکام

همانند ثوابت الاستیک، استحکام مواد آنیزوتروپ به جهت اعمال بار بستگی دارد.

استحکام عمودی : σ_2''

استحکام طولی : σ_2''

استحکام عرضی : σ_3''

$$\sigma_1''' \neq \sigma_1''', \quad ctc. \quad : \tau_1''^{(-)} \neq \tau_1''^{(+)}, ctc.$$

۴-۶-۱- اثرات دما و زمان

وابستگی خواص مکانیکی مواد PMC الیافی به دما و زمان با خواص تغییر شکل ساختارهای پلیمری تعیین می شود. در نتیجه تغییرات دما و زمان در یک محدوده کم، که به طور تجربی روی خواص فلزات تأثیری ندارد، می تواند روی خواص مکانیکی کامپوزیت های الیافی تأثیر گذار باشد. خواصی که با الیاف تقویت کننده تعیین می شود کمتر به دما و زمان بستگی دارند.

۷-۱- ساخت نمونه ها

انتخاب شکل نمونه و روش ساخت آن به تمام شرایط ساخت و فرآیندهای مواد نیاز دارد. به طور کلی دو روش ساخت متفاوت برای کامپوزیت های الیافی جهت دار وجود دارد که عبارتند از:

۱- لایه چینی با پرس

۲- پیچش رشته ای تر یا خشک برای Filament

۱-۷-۱- اثر مقیاس و تمرکز تنش

نتایج آزمایشات محققین نشان می دهد که شیارها، کاهش قابل ملاحظه ای در استحکام کامپوزیت الیاف کربنی و شیشه ایجاد می کنند.

۲-۷-۱- گزارش آزمایش

یک گزارش انجام آزمایش شامل اطلاعات زیر است که برای تمام انواع بارگذاری و بصورت

استاندارد به کار رود:

۱. شناسایی کامل مواد آزمایش شده از قبیل نوع آن (درصد اجزاء تقویت کننده، ساخت، ...)

تاریخچه (نوع بارگذاری اولیه، زمان نگهداری و ذخیره سازی تحت شرایط محیطی دیگر) شکل و ابعاد

نمونه (صفحه ای، میله ای، لوله ای)

۲. روش ساخت نمونه ها

۳. شکل و ابعاد نمونه ها

۴. شرایط نگهداری نمونه ها

۵. تعداد نمونه ها

۶. دما و رطوبت مربوطه در اتاق نمونه ها

۷. روش نگهداری نمونه

۸. دستگاه آزمایش

۹. شرایط بارگذاری (اعمال بار، نرخ تغییر شکل، تغییر در شرایط بارگذاری در زمان)

۱۰. فرمول های محاسباتی

۱۱. مقادیر اندازه گیری شده در آزمایش

۱۲. مقادیر محاسبه شده

۱۳. تخمین پراکندگی داده ها

۱۴. نتایج حذف شده و بررسی آنها

۱۵. داده های آزمایش

۱۶. نام و امضای اپراتور و پروسسور داده ها.

۳-۷-۱- آزمایش کشش مواد کامپوزیت

کشش تک جهتی معمول ترین آزمایش جهت مطالعه مکانیکی کامپوزیت ها است. انواع آزمایش مواد کامپوزیت الیافی در استانداردهای مختلف عبارتند از : DIN , GOST ۲۵۶۰ I , ASTM D ۳۰۳۹ , BS ۲۷۸۲ , ۵۳۳۹۲ :

علی رغم روش کار آسان، آزمایش کشش به علت ساختار و خواص کامپوزیت های پلیمری الیافی مشکلاتی دارد. مشکل عمده آزمایش کشش کامپوزیت های الیافی ایجاد و گسترش حالت تنش یکنواخت در طول تمام دهانه (Gage Length) است.

خطاهای متعددی در تعیین استحکام وجود دارند که از محاسبات دستگاه مورد استفاده در فرآیند نشأت می گیرد ، در این صورت نتایج آزمایش مطابق با نوع شکست در حین آزمایش نیست. فرمول محاسبه استحکام کششی برابر با ماکزیمم بار اعمال شده تقسیم بر سطح مقطع بخش Gage فرض می شود. در عمل، اغلب نمونه ها با جدایش لایه ای طولی (یعنی پوسته شدن تعدادی از لایه ها)، برش و یا شکست خارج از طول Gage در گیره های دستگاه آزمایش می شکنند. خطاهایی نیز در کشش تحت زاویه با تقویت کننده اتفاق می افتد. این خطاها باید با انتخاب صحیح اندازه نمونه و با نگهداری صحیح حذف شوند. نگهداری صحیح خصوصاً در نمونه های تک جهتی مهم است.

۴-۷-۱- منحنی تنش - کرنش

به طور آزمایشی مشخص شده است که منحنی تنش - کرنش کامپوزیت های زمینه پلیمری الیافی تحت کشش به مواد تقویت کننده وچیدمان آن، واکنش تقویت کننده با مواد و جهت بار نسبت به محور اصلی تقارن الاستیک و شرایط محیطی بستگی دارد. در کامپوزیت های الیاف شیشه تک جهتی، منحنی تنش - کرنش به طور تجربی تا شکست مواد، خطی است:

حالت شکست (Knees) در منحنی تنش - کرنش دلایل متعددی دارد. به طور عمومی پدیده شکست جزئی مواد دلیل اصلی آن است.

در موادی که از ویسکرها در آن استفاده شده باشد، منحنی تنش - کرنش تا مرحله شکست خطی است. غیر خطی بودن منحنی تنش - کرنش می تواند به علت خطاهای آزمایش نظیر شل بودن تجهیزات دستگاه و یا جهت بارگذاری باشد. نسبت پواسون در کامپوزیت های پلیمری تحت کشش مقدار ثابتی نبوده و تا حدودی با افزایش بار کاهش می یابد.

۵-۷-۱- مقادیر قابل اندازه گیری

در کشش کامپوزیت های پلیمری خصوصیات استحکام کششی محوری σ_x^u ، مدول الاستیک E_x' و نسبت های پواسون ν_{yz}' ، ν_{zx}' تعیین می شود. اگر شرایط Gage Section گفته شده رعایت شود، تنش در جهت طولی نمونه عبارت است از:

$$\sigma_x' = F' / A$$

در جایی که F' بار و A سطح مقطع نمونه در طول gage قبل از انجام آزمایش است.

تنش در مقطع شکست نمونه عبارتست از:

$$\sigma_x^u = F^u / A$$

$$\varepsilon_x' = \Delta L / L$$

کرنش طول نمونه عبارتست از:

$$E_x' = \sigma_x' / \varepsilon_x' = (\Delta F' / A) \times (L / \Delta L) = (\Delta F' / A) \times (1 / \varepsilon_x')$$

مدول الاستیک طولی:

که در آن $\Delta F'$ اندازه تدریجی بار است.

مدول الاستیک طولی را می توان به طور مستقیم از روی منحنی تنش - کرنش محاسبه نمود. و در صورت غیرخطی بودن منحنی یادشده تانژانت یا سکانت مسوی به منحنی قابل محاسبه است. اگر منحنی قسمت های خطی نداشته باشد. فقط تعیین تانژانت یا سکانت مدول الاستیک قابل محاسبه است.

$$U'_{yx} = -\epsilon'_y / \epsilon'_x \quad ; \quad U'_{zx} = -\epsilon'_z / \epsilon'_x$$

ضریب پواسون :

$$U = -\epsilon'_T / \epsilon'_L$$

که ϵ'_L کرنش طولی و ϵ'_T کرنش عرضی است.

۸-۱- طریقه های شکست (Failure Modes)

طریقه های ماکروسکوپی شکست کامپوزیت های پلیمری تحت کشش توسط نوع چیدمان تقویت کننده، تعیین می شود. به عنوان یک اصل، کامپوزیت های تک جهتی (UD) که در جهت تقویت کننده بارگذاری شده باشند، با شکست الیاف تقویت کننده، می شکنند. در کامپوزیت های کم الیاف، شکست زمینه پلیمری مقدم خواهد بود، در نتیجه ترک ها در جهت عمود بر جهت اعمال بار خارجی رشد می کند.

در کامپوزیت های پرالیاف، مقطع کوچکی از مقطع شکست عمود بر جهت بار وارده بوده اما این مناطق با ترک های بلندی به هم متصل می شوند که موازی با تنش های کششی بوده و با برش یا جدایش لایه ای در نتیجه شکست جزیی الیاف تقویت کننده یا عیوب تکنولوژی (حفرات) به هم متصل می شوند این پدیده می تواند با Pull out جزیی الیاف از زمینه پلیمری همراه شود.

در مورد بارگذاری کامپوزیت های تک جهتی تحت زاویه ای منطبق بر جهت الیاف، طریقه شکست به طور زیادی به این زاویه بستگی دارد. در زاویه های کم، شکست ماده با برش و ترک خوردن زمینه پلیمری در جهت تقویت کننده آغاز می شود. با افزایش زاویه، تنش های کششی اثر بیشتری دارند.

۹-۱- رفتار خستگی کامپوزیت شیشه / اپوکسی

رفتار خستگی مواد کامپوزیتی اغلب به فصل مشترک الیاف - زمینه مربوط می شود. می دانیم که شکست الیاف و زمینه می تواند در پرتنش ترین سطح نمونه در اولین بارگذاری اتفاق افتد. اصولاً سه مکانیزم عمده شکست در مواد کامپوزیت شناسایی شده است:

۱- شکست الیاف (۱۰ تا ۲۰ میکرومتر طول)،

۲- ترک خوردن زمینه (زیر یک میلیمتر طول)

۳- جدا شدن موازی الیاف تقویت کننده (یک یا دو میلیمتر)

بعد از این مرحله، دو امکان توسعه وجود دارد که عبارت از تکثیر شکست یا رشد ترک موضعی می باشد. در خمش یک سازه می دانیم که راه های ترک خوردن فصل مشترک ها می توانند افزایش زیادی را در عمر و استحکام خستگی ایجاد کنند. با افزایش دما نرخ شکست خستگی گاهی می یابد. بر طبق نرخ کرنش و شرایط دمایی، رفتارهای ویسکوالاستیک زمینه و فصل مشترک ها در حین تست خستگی خمشی اصلاح می شود. رشد ترک های موضعی در زمینه باعث افزایش اثرات محیطی (جذب رطوبت) می شود، که روی هر دوی الیاف (Delayed Fracture) و زمینه (Plastisization) تأثیر می گذارد. در اینجا نقش فصل مشترک به عنوان محافظ شیمیایی الیاف خیلی مهم تر می شود. شکل زیر اثر نرخ بارگذاری و دما بر خمش کامپوزیت شیشه/اپوکسی در یک آزمایش استاتیک را نشان می دهد.

شکل (۱) اثرات نرخ بارگذاری و دما روی تست استاتیک خمش کامپوزیت UD Glass / Epoxy

۱-۹-۱- اثر کسر حجمی بر رفتار خستگی کششی کامپوزیت UD Glass / Epoxy

نحوه توزیع رزین الیاف در عمر خستگی کامپوزیت ها بسیار مؤثر است. با افزایش مناطق غنی از رزین و گسترش این مناطق عمر خستگی کامپوزیت ها کاهش می یابد. زیرا این مناطق منطقه های های جوانه زنی ترک و اشاعه ترک خستگی خواهند بود. با کاهش درصد حجمی الیاف، مناطق غنی از رزین افزایش می یابند. بطور مثال از منحنی S - N برای دو نمونه ۶۹٪ و ۴۷٪ حجمی الیاف شیشه می توان گفت که با افزایش درصد حجمی الیاف، عمر خستگی کامپوزیت کاهش می یابد. مکانیزم های عمده خستگی کامپوزیت ها شامل موارد زیر است:

الف- شکست الیاف

ب- جدایش فصل مشترک

ج- ترک خوردن زمینه

در ساده ترین بیان، کامپوزیت های با کسر حجمی بالای الیاف، شکافت طولی زمینه (Longitudinal Matrix Splitting) و در کامپوزیت های با کسر حجمی پائین الیاف جدایش لایه ای (Delamination) را خواهیم داشت. در نمونه های با کسر حجمی بالای الیاف که در اثر شکافت طولی زمینه می شکنند سطح شکست نمایان خواهد بود.

۱-۹-۲- انتخاب زمینه برای ساختارهای تحت بارگذاری خستگی

کامپوزیت های با الیاف ممتد، با جهت گیری مناسب و مقدار الیاف بالا، که استحکامی بالاتر از ۶۰۰ Mpa دارند، برای خیلی از کاربردهای مهندسی ایده آل می باشند. دانسته ها در فرایند تحلیل خستگی در لامینیت های چند جهتی، یا روی اثر سوراخ ها و شیارها، این است که شکست مواد مرکب با میکرو ترک ها و جدایش لایه ای در زمینه آغاز می شود. این موضوع نشان می دهد که زمینه باید دارای کیفیت مناسبی باشد. از آنجاییکه خواص زمینه در خواص کامپوزیت منعکس نمی شود، بنابراین رزین های پلی استر ارزان تر نسبت به رزین های با کیفیت بالاتر تنها از این نظر برتری دارند.

پس از مطالعات زیاد، نشان داده شده است که خواص زمینه سهم مهمی در کارایی خستگی کششی نمونه های ساده GRP ندارد. رفتار خستگی فشاری موارد GRP در کمترین حالت به خوبی رفتار کششی آنها است. مشاهده می شود که GRP به طور یکنواخت تحت بارهای سیکلی دچار شکست می شوند. در اثر وجود سوراخ در قطعه، شکست ناگهانی وجود نداشته و کیفیت رزین اثر عمده ای روی نرخ شکست ندارد.

۳-۹-۱- تخمین عمر لامینیت های شیشه / اپوکسی

سیکل باقیمانده تا شکست ماده کامپوزیت را می توان در لایه ها به صورت زیر محاسبه نمود :

X_1 : استحکام کششی لایه های 0°

$$N = 10 \left\{ \left[\frac{X_1^{\sigma_{11}-1}}{8} \right]^{1/p} \right\}$$

σ_{11} : تنش جهت الیاف لایه های 0° , A, B, P به صورت تجربی محاسبه می شوند.

$$\sigma_{11} : S_a \quad X_1 : S_u \quad \text{و} \quad F_a = \frac{S_a}{S_u} = A + B(\text{Log}N)^p$$

فصل دوم

تهیه مدل یا مدل‌های مناسب جهت ساخت و

بررسی موانع مختلف طراحی

۲- تهیه مدل یا مدل‌های مناسب جهت ساخت و بررسی موانع مختلف طراحی

۱-۲- مقدمه

هدف از انجام پروژه ارائه مدل کامپوزیتی جهت جلوگیری از خوردگی دیفیوژن‌های برج خنک کننده نیروگاه رامین اهواز است، جهت رسیدن به این هدف دو مدل زیر پیشنهاد می‌گردد.

۱- ارائه مدل فلزی که با روکش از جنس ماده مرکب پوشیده شده است. در این مدل از مواد مرکبی که نسبت به دما و رطوبت مقاوم هستند، استفاده شده است.

۲- ارائه مدل دوم که کاملاً از ماده کامپوزیتی تشکیل شده است.

۲-۲- مقایسه دو طرح پیشنهادی

باتوجه به مدل‌های ارائه شده که شامل مدل روکش کامپوزیتی و مدل کاملاً کامپوزیتی است در این بخش به مقایسه هریک از مدل‌ها و بررسی موانع تکنیکی و اقتصادی طرح؛ و مقایسه مزایا و معایب آن می‌پردازیم.

مطابق این طرح در مدل روکش کامپوزیتی، مدل اصلی فولادی از لحاظ ابعاد و خصوصیات هیچگونه تغییری نمی‌کند ولی در مدل کاملاً کامپوزیتی تمامی ساختار برج تغییر نموده و از جنس ماده مرکب ساخته خواهد شد. در این حالت هر یک از مدل‌ها را بصورت زیر باهم مقایسه می‌کنیم.

الف- به منظور اعمال روکش کامپوزیتی بر روی مدل فلزی باید مراحل ذیل به ترتیب انجام گیرد:

۱. سند بلاست نمودن کلیه سطوحی که باید عایق کاری شوند.

۲. شستشوی کامل سطوح با استفاده از تینر فوری

۳. زدن پرایمر به سطوح

۴. پر کردن محل‌های خوردگی با استفاده از رزین

۵. اعمال رزین به سطح و سپس اعمال لایه اول

۶. اعمال رزین به سطح (سری دوم) و اعمال لایه دوم

۷. اعمال رزین به سطح لایه دوم (سری سوم و نهایی)

در این مرحله نیاز به ساخت قالب نبوده و از خود قطعات فلزی به عنوان قالب استفاده خواهد شد.

در مدل روکش کامپوزیتی ابتدا می بایست سطح دیفیوزر با استفاده از روش سند بلاست از وجود هرگونه زنگ زدگی و آلودگی پاک گشته و کاملاً صیقلی شود. این امر در محل اتصال و جوشها از اهمیت بیشتری برخوردار است. سند بلاست سطح فولادی دیفیوزر از بیرون و درون آن صورت می پذیرد. عمل پرداخت سطح دیفیوزر از بیرون مشکل عملی خاصی را به همراه ندارد اما سند بلاست سطوح داخلی برج به علت ایجاد آلودگی های ناشی از عملیات پرداخت سطحی و امکان ایجاد آلودگی در قسمتهای داخلی مشکلاتی را به همراه خواهد داشت که لزوم ایجاد موانعی جهت جلوگیری از ورود این آلودگیها به داخل قسمتهای داخلی برج خنک کننده بوسیله ایزوله نمودن محیط در این حالت ضروری به نظر می رسد.

محدوده سند بلاست سطح داخلی دیفیوزر برج از حدود ۳۰ سانتیمتر بالاتر و پایین تر از دیفیوزر میبایست صورت پذیرد. در مدل فول کامپوزیت این هزینه وجود نخواهد داشت.

ب- انواع اتصالات دومدل ارائه شده و آب بندی آنها

برای رسیدن به این هدف نخست به بررسی انواع اتصالات موجود در مواد مرکب می پردازیم.

۳-۲- اتصالات در سازه های ساخته شده از مواد مرکب

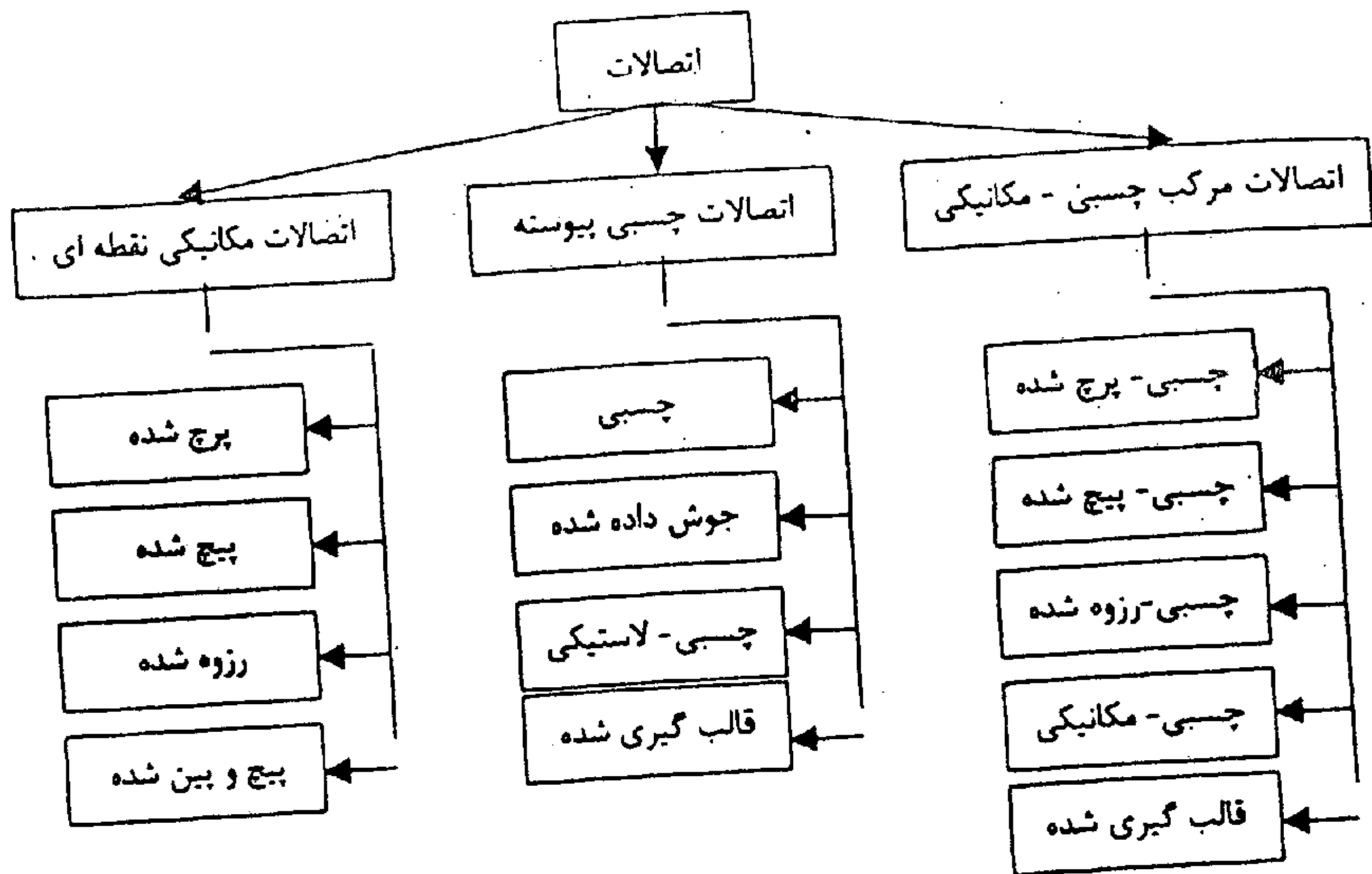
اغلب سازه ها از اتصال چند عضو برای انتقال یا تحمل بار ساخته می شوند. اتصالات معمولاً از نقاط مهم و بحرانی در سازه ها می باشند. اتصالات موجود در طرح کامپوزیتی برج خنک کننده نیروگاه رامین به سه دسته تقسیم می شوند:

۱- اتصالات چسبی، در این نوع از اتصال؛ بار وارده از طریق سطوح تماس در بین لایه ها و بصورت برشی انتقال می یابد.

۲- اتصال مکانیکی، در اتصال مکانیکی بار وارده از طریق تماس با اتصال بصورت فشاری و برشی انتقال می یابد.

۳- اتصال مرکب یا چسبی مکانیکی، بر حسب خصوصیات فنی و طراحی؛ اتصالات موجود در سازه های مواد مرکب را می توان بصورت زیر طبقه بندی کرد.

در هر یک از طرحهای روکش کامپوزیتی و مدل فول کامپوزیت از انواع این اتصالات استفاده شده است. که در این قسمت به بررسی مزایا و و معایب آنها خواهیم پرداخت. اتصالات موجود در سازه های مواد مرکب را می توان بصورت زیر طبقه بندی کرد.



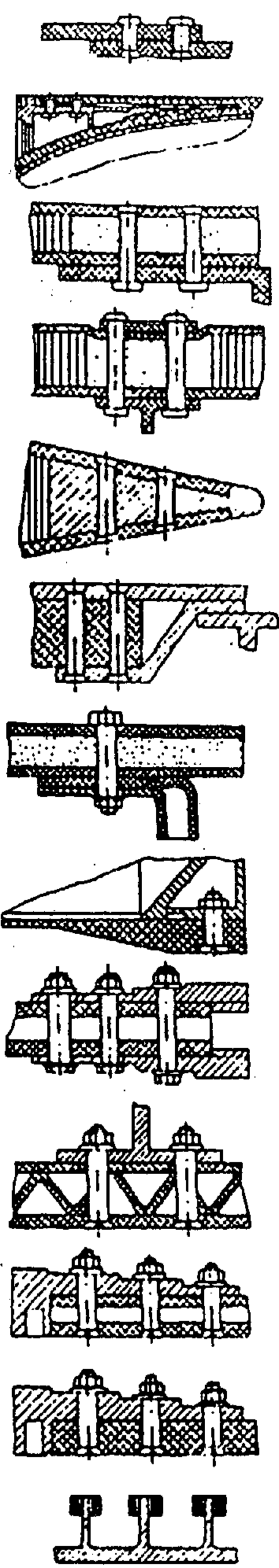
شکل (۲) طبقه بندی اتصالات بر حسب خصوصیات فنی و طراحی

جدول (۴) بطور شماتیک انواع اتصالات مکانیکی ؛ چسبی و ترکیب چسبی مکانیکی را همراه با خصوصیات فنی و سازه ای آنها نشان می دهد.

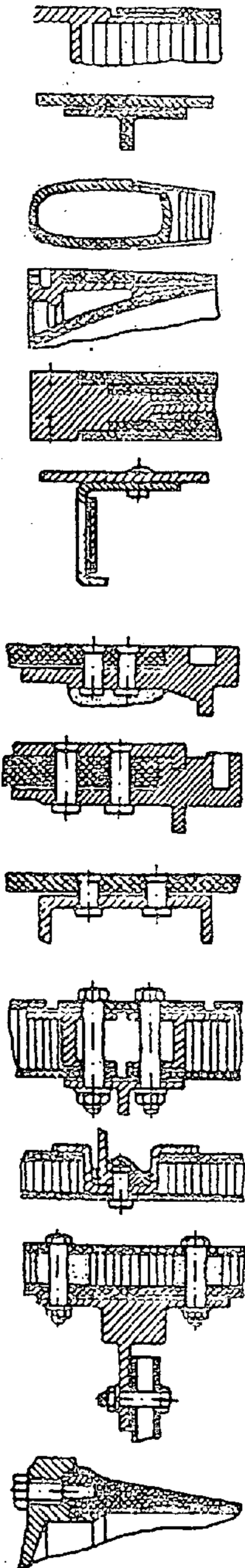
| طرح اتصالات | خصوصیات سازه ای و فنی |
|-------------|--|
| | 27. Flanged pin-bolted joint with a stop |
| | 28. Standard design of composite-material flanged bolted joint with metal |
| | 29. Flanged bolted joint with an intermediate frame; the joint is reinforced by fibre-glass circular layers with further machining |
| | 30. Pin-studded joint with an intermediate frame; the joint is reinforced by fibre-glass circular layers |

Joint design

Structural and technological characteristics



1. Standard composite-material one-shear joint
2. Frame joint with composite-material shell
3. Three-ply carbon-filled plastic panel joint with a spar
4. Joint of two honeycomb-filled panels with each other and the rib
5. Joint of wedge-shaped double-sided countersunk joint stacks
6. Joint of fairing with the frame through double-sided countersunk riveting
7. Comb-joint assembly with a three-ply carbon-filled plastic panel
8. Comb-joint assembly with a three-ply carbon-filled plastic panel
9. Bracket joint with a three-layer panel with triangular filler
10. Composite-material blade joint with an attachment
11. Composite-material cylindrical-shell joint with a metal frame
12. Three-ply skin joint with a rib and a spar
13. Local hardening of metal structures to increase their rigidity in predetermined directions



14. Stepped joint of three-ply composite-material panels with metal
15. Joint of stringer with skin
16. Joint of aft section with helicopter rotor spar
17. Adhesive joint of a frame with a composite-material shell.
18. Stepped lap joint of composite-material main skin with metal
19. Strengthening of EH-54 helicopter tail boom aluminium structure with boron plastic for improvement of dynamical characteristics
20. Adhesive-riveted joint of a frame with composite-material skin and its outer sealing
21. Adhesive-riveted joint of a profiled section and composite-material skin with a cover plate
22. Adhesive-riveted joint of a profiled section with a composite-material skin
23. Three-ply composite-material jointing by metal inserts, cover plate and a supporting member
24. Joint of three-ply stepped-edge panel with intermediate support
25. Joint of three carbon-filled plastic panels with a spar
26. Flanged joint with jointing-ring winding

۲-۴- اتصالات چسبی و مکانیکی و مزایا و معایب آن

از آنجایی که مواد مرکب زرد نه‌های ترموست ساخته می‌شوند، نمی‌توان آنها را با روشهای جوشکاری مشابه با ترمو پلاستیک‌ها و فلزات به یکدیگر متصل کرد. بنابراین باید از اتصالات مکانیکی یا چسبی استفاده کرد. هر یک از این اتصالات دارای خصوصیات بسیار متفاوت در کارکرد و هم در نحوه تولید می‌باشد. در سازه‌های مرکب هر جا که امکان داشته باشد، اتصالات چسبی به مکانیکی ترجیح داده می‌شود؛ ولی وقتی استحکام مورد نیاز از مقدار مقابل دسترسی بوسیله اتصالات چسبی فراتر می‌رود، به ناچار باید از اتصالات مکانیکی استفاده نمود.

اتصالات مکانیکی بعلاظرفیت کرنش پایین و غیر همگن بودن نیاز به طراحی دقیق دارند. هر یک از اتصالات مکانیکی و چسبی مزایا و معایبی دارند که در زیر بطور خلاصه به آنها اشاره می‌شود.

۲-۴-۱- محاسن اتصالات چسبی

- ۱- عدم وجود تمرکز تنش بالا در محل اتصال
- ۲- تحمل مناسب قطعه در برابر خستگی
- ۳- در این اتصالات مشکل سایش وجود ندارد
- ۴- این اتصالات در برابر خوردگی مقاومت بسیار خوبی دارند.
- ۵- نسبتاً سبک هستند
- ۶- ایجاد سطحی صاف نموده و از نقطه نظر شکل آئرو دینامیکی مناسب هستند.
- ۷- احتیاج به فرایند سوراخ کاری که باعث تضعیف قطعه می‌شوند ندارند

۲-۴-۲- معایب اتصالات چسبی

- ۱- بازرسی اتصالات چسبی مشکل است
- ۲- محدودیت ضخامت در آنها وجود دارد
- ۳- در مقابل عوامل حیاطی حساسند و احتیاج به کنترل شدید دارند
- ۴- قابل باز و بسته کردن نیستند

۵- تنشهای پسماند در آنها بوجود می آید

۶- نیاز به عملیات پرداخت سطحی زیادی برای آماده طوح دارند

۳-۴-۲- محاسن اتصالات مکانیکی

۱- عدم وجود محدودیت برای ضخامت اتصالات

۲- سادگی متصل شدن قطعات

۳- امکان بازرسی قطعه بصورت ساده

۴- عدم وجود حساسیت نسبت به عوامل محیطی

۵- عدم ایجاد تنش پسماند

۶- باز و بسته کردن اتصالات بدون صدمه زدن به قطعات دیگر

۷- عدم نیاز به آماده سازی سطوح قبل از اتصال

۴-۴-۲- معایب اتصالات مکانیکی

۱- ایجاد تمرکز تنش زیاد

۲- نامقاوم بودن اتصالات در برابر خستگی

۳- عدم وجود مقاومت مناسب در برابر سایش

۴- عدم وجود مقاومت مناسب در برابر خوردگی

۵- افزایش وزن و حجم ماده

بنابراین در اتصالات موجود در برجهای خنک کننده نیروگاه رامین به علت گستردگی اثر

پارامترهای تاثیر گذارنده از اتصالات ترکیبی استفاده می نماییم.

نکات مهمی در مورد تخریب اتصالات صفحات کامپوزیتی برج خنک کننده وجود دارد که در زیر به آن

اشاره می کنیم:

۵-۲- انواع تخریب در اتصالات مکانیکی

تخریب یک سازه کامپوزیتی با توجه به اندازه و نسبت‌های اتصالات (نظیر قطر پیچ، عرض لایه^۱ فاصله از لبه و ضخامت) ممکن است، در یک مود مشخص رخ دهد. این مودها به مودهای اصلی تخریب معروف هستند. اگر تخریب به صورت ترکیبی از مودهای اصلی باشد به آن مود تخریب پیچیده می‌گویند. انواع تخریب در یک سازه کامپوزیتی عبارتست از:

۱- تخریب کششی مقطع خالص^۲

۲- تخریب لهیدگی^۳

۳- تخریب برشی^۴

علاوه بر سه شکل اصلی تخریب فوق‌الذکر، تخریب‌هایی با مود پیچیده نیز رخ می‌دهند که عبارتند از:

۱- تخریب Cleavage-Tension که بطور عمده شامل ترکیب کشش و برش است.

۲- فرورفتگی سر پیچ در چند لایه^۵ (مشکل سوراخ‌های با خزینۀ عمیق).

۳- تخریب پیچ در اثر تخریب لهیدگی.

کلیه مودهای تخریب اشاره شده در فوق در شکل (۳) نشان داده شده‌اند. به طور کلی می‌توان گفت که وقوع تخریب در یک مود خاص نتیجه هندسه آن اتصال است. به عنوان مثال علت تخریب Cleavage مربوط به فاصله کم سوراخ از لبه و مقدار کم لایه‌های عرضی (90°) است و علت فرورفتگی سر پیچ در چند لایه نیز به علت نسبت ضخامت به قطر کم (سوراخ) است. در مورد سه مود اصلی تخریب؛ وقوع تخریب در یک مود مشخص بستگی زیادی به هندسه اتصال دارد که در ادامه به تفصیل مورد بحث قرار خواهند

^۱ Laminate

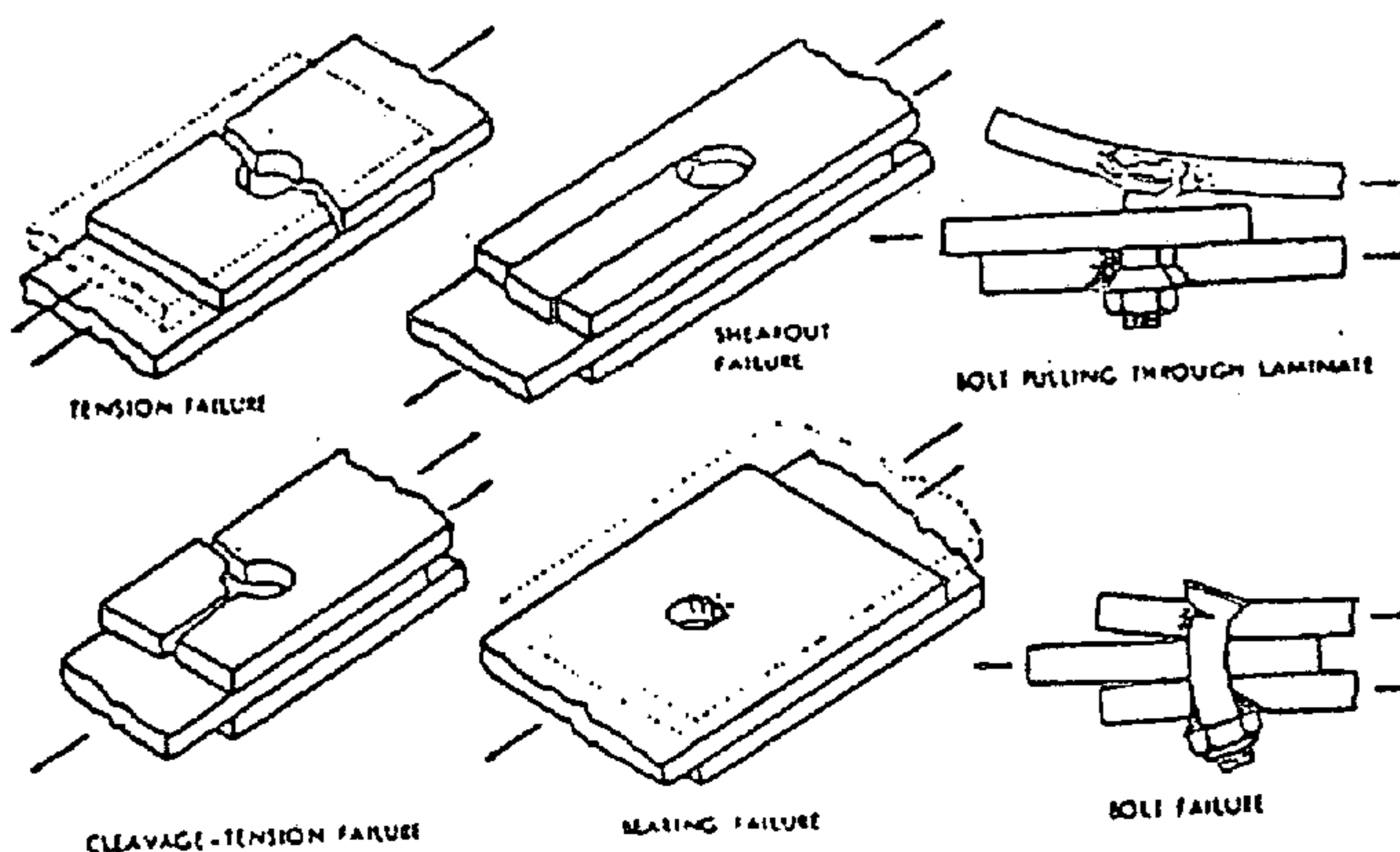
^۲ Tension Failure of the net section

^۳ Bearing Failure

^۴ Shear out Failure

^۵ Bolt-head pull-through the Laminate

گرفت. در طرح مورد نظر با توجه به اینکه فاصله اتصال براعم بر -- رن و کامپوزیتی) از یکدیگر و همچنین فاصله ازاد آنها بالا بوده و همچنین مقدار تنش نیز در محل‌های مورد نظر کم میباشد. می توان به جرات گفت که این مکانها دارای ضریب اطمینان مناسبی میباشد.



شکل (۳): نمایش شماتیک موده‌های اصلی شکست در اتصالات مکانیکی مواد مرکب

۲-۶- تخریب کششی

همان طور که قبلاً اشاره شد وقوع هر مود تخریب نتیجه هندسه اتصال است. تخریب کششی مقطع خالص به طور عمده زمانی رخ می دهد که قطر پیچ بخش اعظمی از عرض قطعه را اشغال کرده باشد. برای مثال اگر در ماده مرکب گرافیت/ اپوکسی^۱ قطر پیچ حدود $\frac{1}{4}$ عرض قطعه یا بیشتر باشد تخریب کششی بوقوع خواهد پیوست. در حالی که در ماده شیشه / اپوکسی که در برج خنک کننده بکار می رود؛ اگر قطر پیچ از $\frac{1}{2}$ عرض قطعه بیشتر باشد تخریب کششی بوقوع خواهد پیوست. در ادامه نکات و محاسبات مربوط به تخریب کششی توضیح داده می شود.

در یک اتصال ییجی دو لبه ساده که تحت بار دلخواه P قرار گرفته است، ماکزیمم تنش کششی

(σ_{max}) در لبه های سوراخ بارگذاری شده به صورت زیر داده می شود.

$$\sigma_{max} = \frac{K_{tc}P}{t(w-d)} \quad (1)$$

که در آن K_{tc} ضریب تمرکز تنش مؤثر^۱، t ضخامت قطعه، w عرض قطعه و d قطر سوراخ می باشد. بنابراین بازده استحکام اتصال^۲ که به صورت نسبت ظرفیت تحمل بار اتصال (P) به ظرفیت

تحمل بار قطعه بدون سوراخ، تعریف می شود بصورت زیر نمایش داده می شود:

$$\frac{\sigma_u}{\sigma_{tu}} = \frac{\sigma_u}{\sigma_{tu}Wt} = \frac{1-dw}{K_{tc}} \quad (2)$$

که در آن σ_u ، تنش کششی مجاز دوردست و σ_{tu} استحکام کششی مجاز ماده است. برای فلزات تحت تنشهای بالا، ضریب تمرکز تنش مؤثر $K_{tc} \approx 1$ می باشد، زیرا تسلیم شدن ماده تحت تنش های بالا باعث کاهش تمرکز تنش الاستیک خواهد شد و در نتیجه استحکام ماده در مقابل تخریب فقط به سطح مقطع خالص تحت کشش بستگی خواهد داشت. در حالی که برای یک ماده ترد (یا برای یک فلز تحت تنشهای کمتر از تنش تسلیم، $K_{tc} = K_{te}$ است که K_{te} ضریب تمرکز تنش الاستیک کششی^۳ در تنش کششی خالص می باشد. برای یک ماده مرکب K_{tc} مقداری بین دو حد فوق (۱ و K_{te}) خواهد بود.

Hart smith براساس کارهای تجربی انجام شده روی یک عضو اتصال ایزوتروپیک الاستیک (که فاصله

از لبه e آن زیاد است) رابطه تجربی زیر را برای تمرکز تنش الاستیک استفاده می کند:

$$K_{tc} = \frac{w}{d} + 1 - 1/5 \frac{wd - 1}{wd + 1} \quad (3)$$

^۱Glass/Epoxy

^۲ Effective Stress Concentration Factor

^۳ Elastic isotropic Tensile stress concentration Factor^r

بنابراین برای $K_{te} = 10, \frac{d}{w} = 0.1$ خواهد بود، در حالی که برای $K_{te} = 3.3, \frac{d}{w} = 0.33$ خواهد بود که

نشان دهنده حساسیت تمرکز تنش در مکانهای نزدیک سوراخ می باشد. با توجه به شکل (۴) مشاهده می شود که برای نسبت $\frac{d}{w} = 0.4$ تنش ماکزیمم در اتصال در حدود ۲۰٪ استحکام کششی نامی

قطعه است. Hart smith همچنین رابطه زیر را بین K_{te} و K_{tc} ارائه می دهد:

$$K_{tc} - 1 = C(K_{te} - 1) \quad (۴)$$

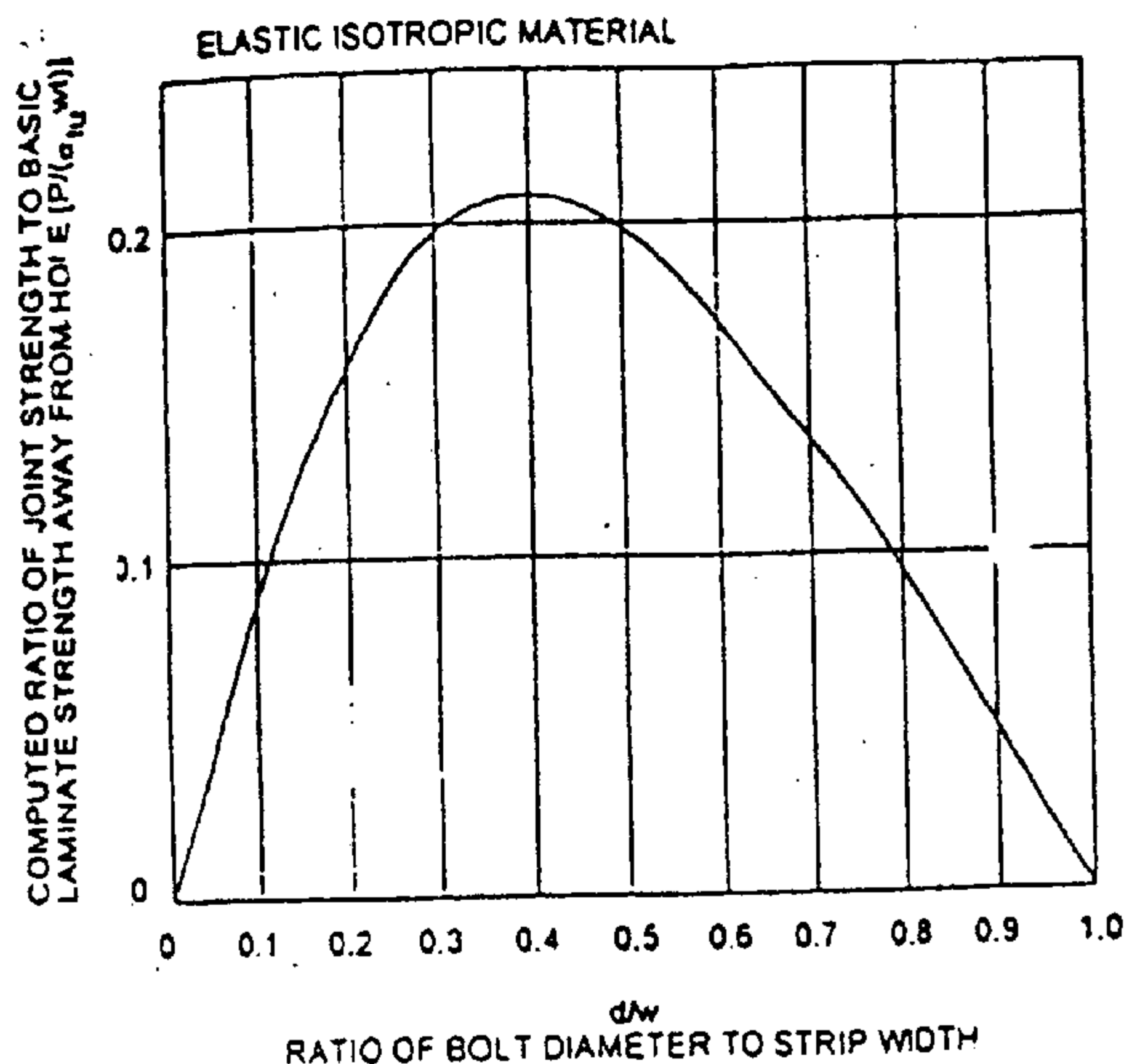
ضریب C در رابطه فوق به چند لایه، شرایط محیطی و هندسه اتصال بستگی دارد. مقدار $C=0$ عدم

تمرکز را نشان می دهد و $C=1$ معرف یک ماده ترد است. برای مواد مرکب، C به نظم و نحوه قرار

گرفتن الیاف و اندازه سوراخها و احتمالاً به دما و میزان رطوبت چند لایه بستگی دارد. برای اولین ماده

مرکب شبه ایزوتروپیک، مقدار C برای یک سوراخ استاندارد ۶/۳۵ میلیمتری حدود ۰/۲۵ بوده و برای

مواد مرکب به شدت غیر ایزوتروپیک مقدار C تا حدود ۰/۵ نیز متغیر خواهد بود.



شکل (۴): نمودار نسبت استحکام اتصال به استحکام اولیه چندلایه بر حسب $\frac{d}{w}$ برای یک ماده ایزوتروپیک الاستیک [۳]

در شکل فوق فرض شده است مود تخریب کششی است. برای نشان دادن تأثیر دما روی C، نتایج آزمایشات انجام شده روی چند لایه گرافیت / اپوکسی با چیدمان $[0/45]_2$ در جدول (۵) آمده است. این جدول نشان می دهد که ماده مرکب چند لایه در دمای 180°C دارای حساسیت بیشتری نسبت به سوراخ است.

جدول (۵): نتایج آزمایشات کششی روی سوراخهای بارگذاری شده

در چند لایه های پارچه ای گرافیت / اپوکسی با چیدمان $[0/45]_2$

| (°C) Temperature | K_{tc} | C |
|------------------|----------|------|
| ۲۴ | ۱,۳۶ | ۰,۱۸ |
| ۱۲۰ | ۱,۳۳ | ۰,۱۸ |
| ۱۸۰ | ۱,۷۱ | ۰,۳۶ |

$K_{te} = 3$, Bolt size = ۴,۷۶ mm, $d/w = ۰,۳۷۵$, and computed

۲-۷- تخریب لهیدگی

در بخش قبل گفته شده که اگر قطر پیچ بخش اعظمی از عرض قطعه را اشغال کرده باشد، تخریب کششی اتفاق خواهد افتاد. تخریب لهیدگی در نقطه مقابل تخریب کششی قرار دارد، به این معنا که اگر قطر پیچ بخشی کوچکی از عرض قطعه را اشغال کرده باشد، تخریب لهیدگی اتفاق خواهد افتاد. حال به برخی از محاسبات مربوط به لهیدگی بطور مختصر اشاره می شود.

ظرفیت لهیدگی P یک اتصال؛ به طور کلی براساس استحکام لهیدگی نامی σ_{bgu} به صورت زیر ارائه

می شود:

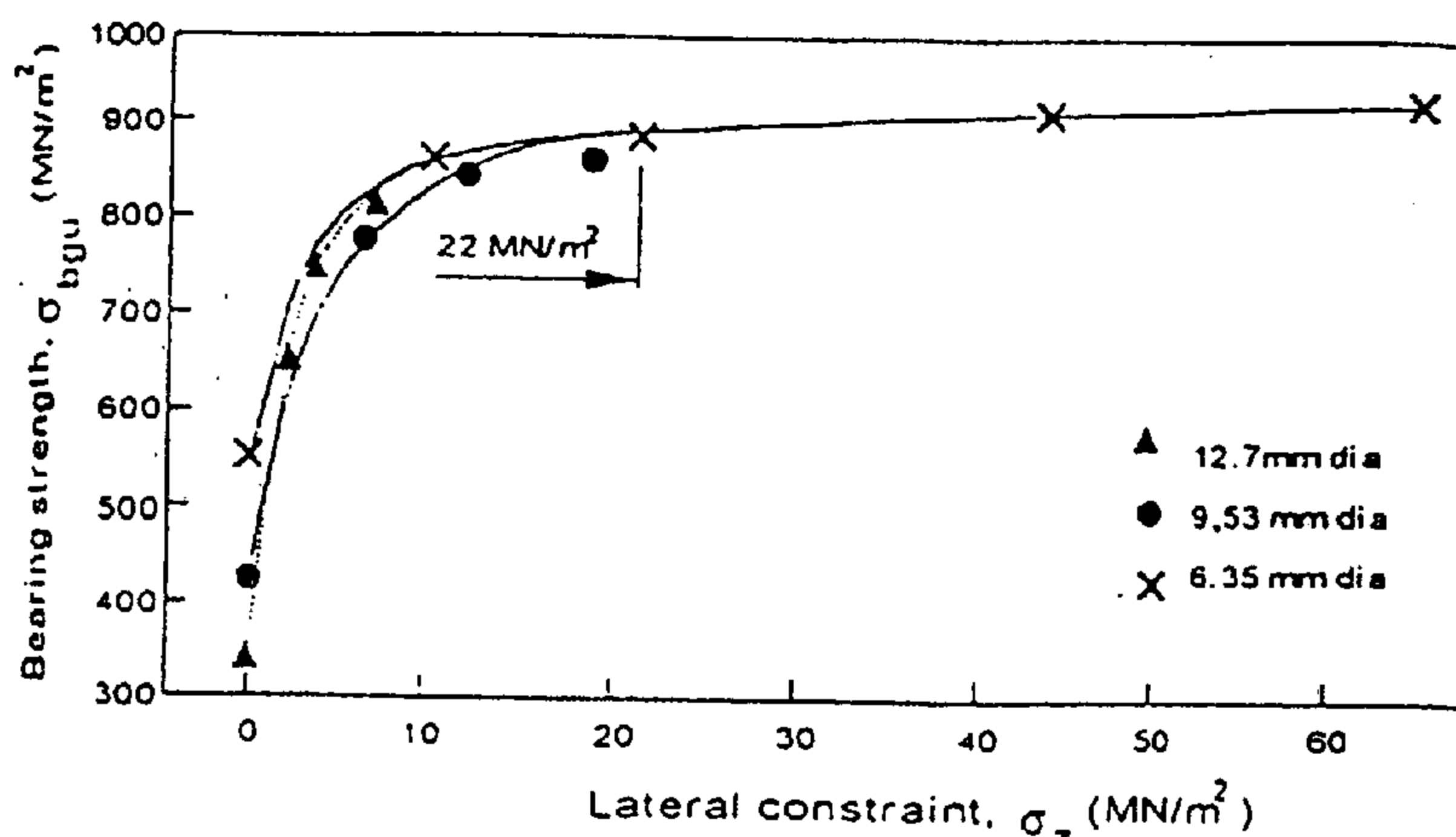
$$P = \sigma_{bgu} dt \quad (۵)$$

Highly anisotropic

بنابراین بازده اتصال برای تخریب لهیدگی به صورت زیر خواهد بود:

$$\frac{P}{\sigma_{bgu} wt} = \frac{d}{w} \quad (6)$$

در مواد مرکب گرافیت / اپوکسی، تخریب لهیدگی بر اثر کماتش موضعی و پیچ خوردگی الیاف و در نتیجه له شدن ماتریس رخ می دهد، بنابراین استحکام لهیدگی σ_{bgu} و ظرفیت تحمل بار P به مقدار زیادی به میزان قید اعمال شده وابسته است. تنش بستن σ_z روی استحکام لهیدگی نهایی σ_{bgu} تاثیر می گذارد. آزمایشات نشان می دهند که اگر پین بوسیله σ_z تا 20 Mpa بارگذاری شود بار لهیدگی را می توان از 60٪ تا 70٪ افزایش داد. بالاتر از فشار 20 Mpa فقط مقدار کمی افزایش در بار لهیدگی قابل دستیابی است. مقدار معمول برای σ_{bgu} بهینه حدود 1000 Mpa می باشد.

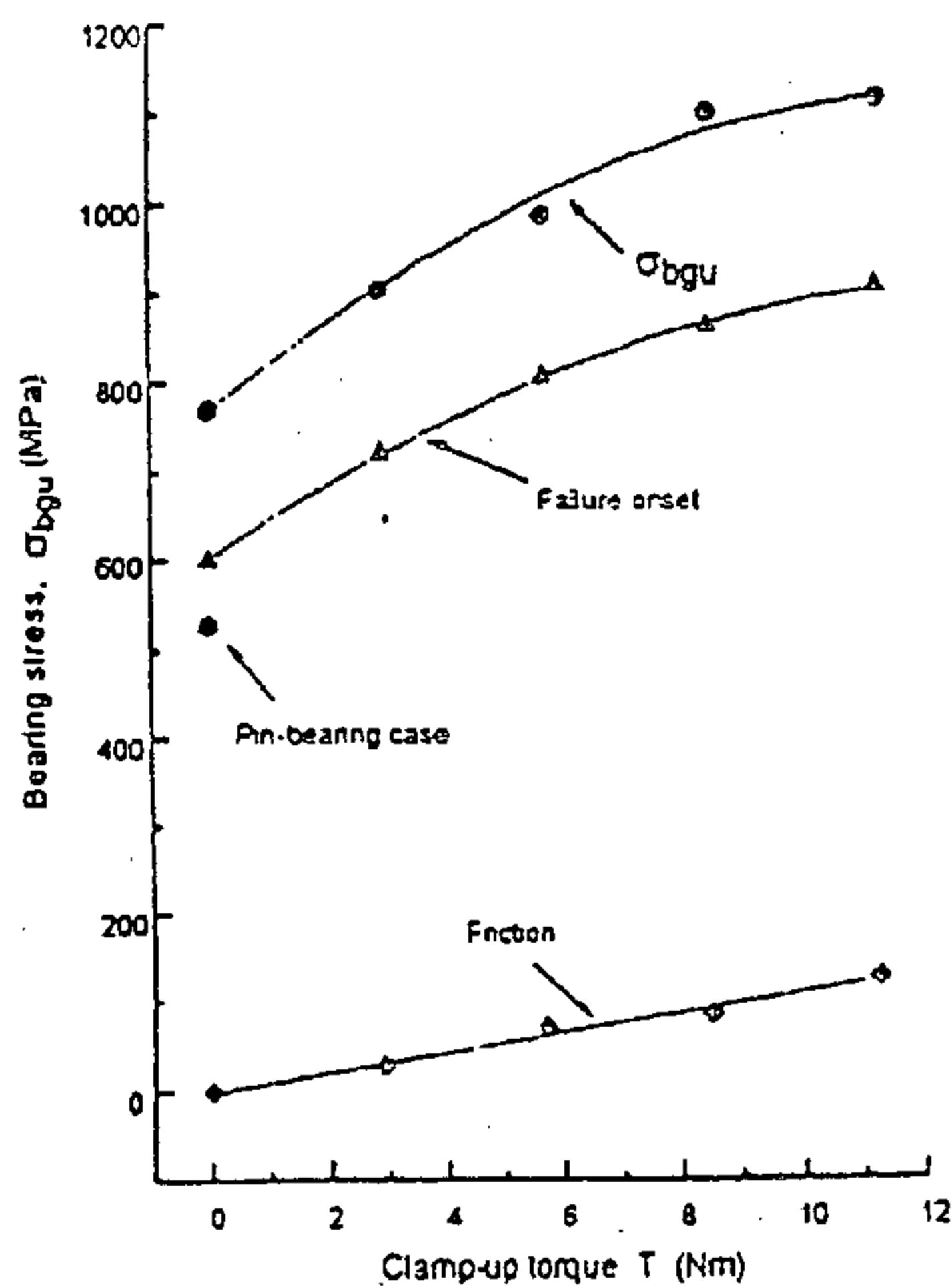


شکل (5): نمودار استحکام لهیدگی بر حسب فشار بستن برای یک چند لایه 12 لایه ای 0° و $\pm 45^\circ$ با اندازه سوراخهای متفاوت

فشار بستن σ_z در شکل (6) از رابطه زیر تقریب زده شده است:

$$\sigma_z = 1/658 \frac{T}{d^3} \quad (7)$$

رابطه فوق براساس سطح بستن با یک واشر استاندارد که قطرش حدود $2/2d$ است و فرض مقدار 0.12 برای ضریب سفتی گشتاور^۱ بدست آمده است. باید توجه داشت که مقداری از بار در اتصالات توسط اصطکاک بین عضو اتصال دهنده یا واشر و عضو اتصال داده شده انتقال می یابد. آزمایشات نشان می دهند که اصطکاک نقش مهمی در استحکام لهیدگی دارد.



شکل (۶): نمودار استحکام استاتیکی بر حسب گشتاور برای اتصال تک سوراخه با پیچ یا پین $6/35\text{mm}$ دیده شد که مقدار بستن نقش مهمی را در استحکام لهیدگی مواد مرکب دارد و باقی ماندن فشار بستن تحت شرایط کارکرد بسیار مهم می باشد. برای یک ماده مرکب چند لایه استحکام لهیدگی در ابتدا با افزایش نسبت لایه های 0° افزایش می یابد، زیرا در این حالت لایه های مناسب ترین و مؤثرترین شکل خود را برای تحمل بار لهیدگی دارند. اما اگر نسبت لایه های 0° از 60% تجاوز کند

^۱TORQUE Stiffness coefficient

تخریب بوسیله شکافته شدن Splitting استحکام عرضی Transverse strength

برای جلوگیری از تخریب برشی حتی در فواصل زیاد از لبه (e) در این حالت کافی نیست. بنابراین مشاهده می‌شود که علاوه بر اصطکاک و فشار بستن، چیدمان چند لایه نیز نقش مؤثری در استحکام لهیدگی دارد. برای مثال استحکام لهیدگی بهینه برای ماده مرکب یک یا چند لایه ای [0/±45] یا ماده ای مرکب با ۵۰٪ لایه ۰° و ۵۰٪ لایه ۴۵° بدست می‌آید. اگر توالی چیدمان دارای همگنی بیشتری باشد (توزیع لایه های ۰° و ۴۵°)، استحکام لهیدگی رشد خواهد کرد. در حالی که استحکام فشاری ماده مرکب در دمای بالا مخصوصاً در شرایط گرم و مرطوب کاهش قابل ملاحظه ای را خواهد داشت. این افت استحکام را می‌توان بوسیله قرار دادن قیدهای موضعی در بستن پیچ کاهش داد. نرم کاری ماتریس نیز می‌تواند بارهای زیادی موضعی را به علت تماس بهتر بین سوارخ و پیچ کاهش دهد.

۸-۲- تخریب برشی

تخریب برشی به عنوان یک حالت خاص تخریب لهیدگی در نظر گرفته می‌شود. تخریب برشی غالباً در نتیجه یک تخریب لهیدگی همراه با فاصله کم از لبه اتفاق می‌افتد. برای قطعات فلزی متصل شده به یکدیگر، ظرفیت تحمل بار در برش معمولاً با رابطه ساده زیر تخمین زده می‌شود.

$$P = \tau_{II} et \quad (۸)$$

که در آن τ_{II} استحکام مجاز ماده در برش و e فاصله مرکز سوارخ تا لبه قطعه در جهت اعمال بار و t ضخامت قطعه است. نتایج تجربی نشان می‌دهد. این رابطه در مواد مرکب مخصوصاً گرافیت / اپوکسی با داشتن ۵۰٪ لایه های ۰°±۴۵° برقرار است. برای افزایش استحکام برشی بالاتر از استحکام

کششی یا لهیدگی برای مواد مرکب چند لایه ای که دارای درصد کافی از لایه های $\pm 45^\circ$ می باشد، حداقل نسبتی در حدود $\frac{w}{e} \approx 4$ لازم است. (w عرض قطعه است).

تمرکز تنش قابل ملاحظه ای در مواد مرکب چند لایه ای، که شامل درصد زیادی از لایه های 0° است؛ اتفاق می افتد، زیرا τ_{II} مشاهده شده کمتر از مقدار اندازه گیری شده توسط آزمایشهای برش است. در واقع تحت این شرایط، تخریب بوسیله برش اتفاق نمی افتد، بلکه بوسیله شکافته شدن چند لایه تخریب شکل می گیرد و در نتیجه مقدار فاصله e در استحکام ماده بی تاثیر است. البته قابل ذکر است که در برج مورد نظر تنش از استحکام ماده پایین تر است.

۹-۲- استحکام اتصالات مکانیکی

توصیف استحکام و سختی ماده مرکب به علت وابستگی آن به پارامترهای مختلف بسیار پیچیده است. رفتاری که اتصالات مواد مرکب در تحمل بار از خود نشان می دهند، به مراتب دارای پیچیدگی های بیشتری است، زیرا در این حالت پارامترهای مربوط به نوع و هندسه اتصال نیز باید مورد توجه قرار گیرند. از آنجا که روش های تحلیلی در اکثر موارد؛ ناتوان از حل مسائل مربوط به اتصالات مکانیکی است، لذا اکثر اطلاعات و یافته ها در مورد اتصالات مکانیکی براساس تجزیه و آزمایش است.

لازم به ذکر است که استحکام متداول ترین اتصالات فلزی (پرچ، پیچ و ...) بطور قابل ملاحظه ای از استحکام انواع اتصالات مشابه در مواد مرکب بیشتر است. برای مثال می توان به این موضوع اشاره کرد که نسبت های استحکام کششی و استحکام لهیدگی و استحکام برشی برای فلزات ۱۱:۱،۳:۰،۷ است در حالی که نسبت های مشابه برای مواد مرکب ۱:۰،۴:۰،۱۵ است.

پارامترهای مؤثر بر استحکام اتصال مکانیکی در ماده مرکب به دو دسته تقسیم می شوند:

الف - پارامترهای ماده:

که شامل شکل و نوع الیاف (تک جهته ، بافته شده و ...) ، نوع زرین ، جهت الیافت ، توالی چیدمان (Staking sequence) چند لایه، نسبت حجمی الیاف و عملیات سطحی روی الیاف می باشد

ب- پارامترهای طراحی :

شامل نوع اتصال (تک لبه، دو لبه و ...) جهت بار ، نرخ بارگذاری بار دینامیکی یا استاتیکی و معیار تخریب می باشد.

واضح است که با توجه به تعداد زیاد متغیرها، توصیف کامل رفتار یک اتصال مکانیکی غیر ممکن است، لذا ترجیحاً روشی برای تعیین رفتار تعداد محدودی از اتصالات ساده و پایه ای همراه با تعداد محدودی از مواد در نظر گرفته می شود. و براساس نتایج بدست آمده در این مرحله سعی می شود که رفتار سایر اتصالات و مواد تحت تأثیر پارامترهای مهم پیش بینی شود.

۱۰-۲- انتخاب نوع اتصال دهنده مکانیکی

در هنگام استفاده از اتصال مکانیکی در سازه های مواد مرکب نیاز به اتصال دهنده های مناسب و مخصوص می باشد که در طی مرحله طراحی اتصال با توجه به نوع خصوصیات اتصال و انتظار از اتصال مورد نظر انتخاب می شوند. در انتخاب اتصال دهنده مکانیکی نکاتی را باید در نظر گرفت که برخی از آنها عبارت از سازگاری اتصال دهنده با خوردگی و عوامل محیطی و جنس اتصال دهنده و استحکام آن، شکل سر، نیروی بستن، انطباق تداخلی و حفاظت در مقابل رعد و برق. و سایر پارامترهای مربوطه می باشد.

فصل سوم

روشهای ساخت کامپوزیت ها

۳- تهیه قالب جهت ساخت مواد کامپوزیتی

۳-۱- مقدمه

در این حالت متخصصان فنی برای ساخت قطعات برج خنک کننده؛ ابتدا قالبهای قطعات برج خنک کننده را می سازند و سپس به ساخت قطعات کامپوزیتی برج اقدام می کنند. در مدل روکش کامپوزیتی برج خنک کننده نیروگاه رامین اهواز نیاز به ساخت قالب جهت ساخت صفحات دیفیوزر نیروگاه نمی باشد. اما در مدل کاملاً کامپوزیتی نیاز به ساخت قالبهای قسمتهای مختلف برج خنک کننده اعم از دیفیوزر و گلوگاه برج خنک کننده، نازل برج و بخش فوقانی آن است. در مراحل ساخت برج خنک کننده با استفاده از مدل فول کامپوزیت برای افزایش مقاومت و استحکام برج خنک کننده از قطعات نگهدارنده جهت افزایش مقاومت برج استفاده می شود که این امر نیز در مدل روکش کامپوزیتی وجود ندارد. روشهای متعددی برای ساخت کامپوزیتهای وجود دارد که در این بخش به آن اشاره می کنیم.

۲-۳- روشهای ساخت در کامپوزیت ها

روش های فراوانی جهت ترکیب و طراحی بهینه، شامل فاکتورهای بازده محصول و پارامترهای اقتصادی جهت ساخت کامپوزیتهای پلیمری با استفاده از الیاف کربن، بورن و شیشه وجود دارند که در برج های نیروگاه رامین نیز از این الیاف استفاده می شود. هر روش موارد کاربرد خاص خود و نیز میزان ترکیب بخصوصی از الیاف شیشه، آرامید، کربن، بورن و رزین را دارد. فرایندهای پایه و اصلی تولید کامپوزیت به دو دسته کلی قابل تقسیم می باشند:

۱- روش های قالب باز

۲- روش های قالب بسته

۳-۳- روش های قالب باز

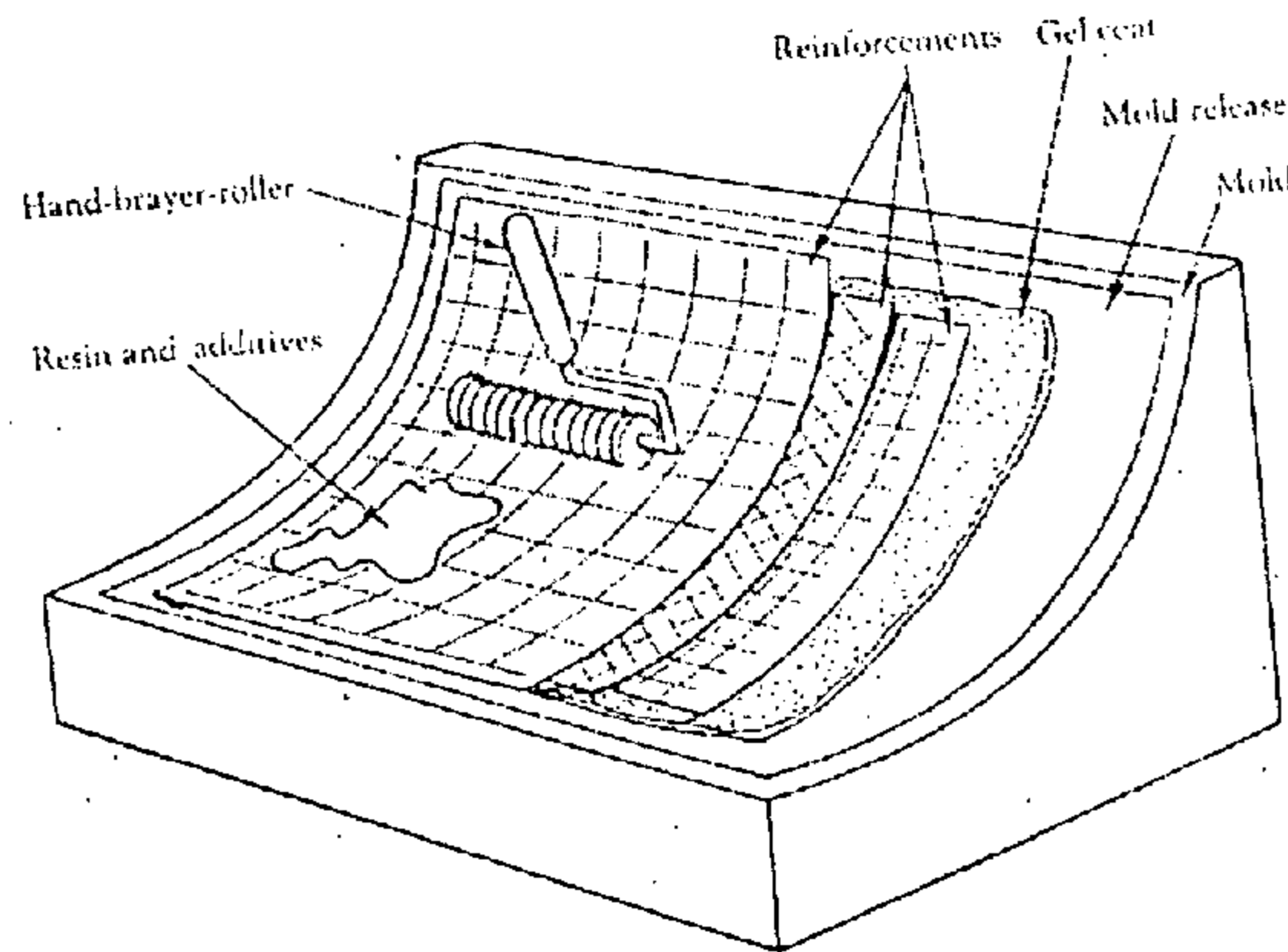
این روش ها شامل قالب یک جهته (قسمت نر یا ماده) می باشد و در مواردی که نیاز به فشار خیلی کم است و یا نیاز به فشار نمی باشد، از این فرایندها استفاده می شود. نکته اصلی و بارز در این روش ها این است که تنها یک سطح قطعه تولید شده دارای کیفیت سطحی مطلوب می باشد. در این روش ها قطعات با فرم پیچیده و یا قطعات بزرگ قابل تولید هستند.

۱-۳-۳- چیدمانی دستی^۱

روش Hand Lay-up یا قالب گیری تماسی، یکی از مناسبترین و ساده ترین روش تولید قطعات کامپوزیتی با استفاده از الیاف شیشه و رزین می باشد که می توان در تولید قطعات دیفیوزر نیروگاه رامین اهواز از آن استفاده کرد. در این روش الیاف شیشه و رزین در داخل یا روی قالب قرار می گیرند و حباب و هوای جمع شده توسط سیستم غلطک^۲ تخلیه می شود. لایه های مختلف رزین و الیاف بر روی یکدیگر قرار می گیرند تا ضخامت های مطلوب ایجاد شود. در صورتی که کیفیت سطحی بالا مورد نظر باشد در قالب مورد نظر قبل از شروع چیدمانی از Gel Coat استفاده می شود. رزین های مورد استفاده

۱- Hand lay-up ۲- Roller

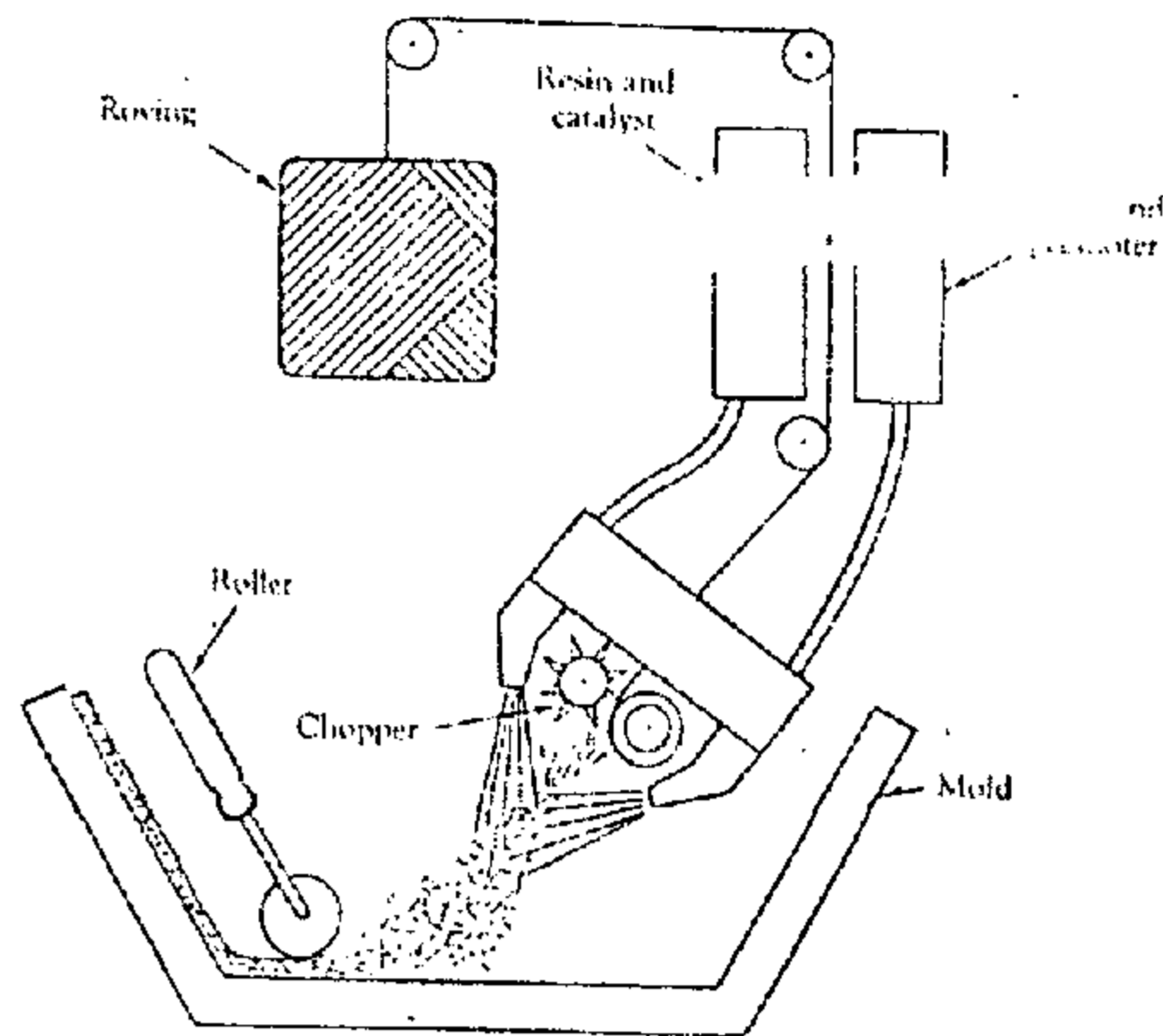
در این روش معمولاً از جنس اپوکسی و پلی استر هستند. در شکل (۷) این روش به صورت شماتیک نمایش داده شده است.



شکل (۷) چیدمانی دستی

۲-۳-۳- چیدمانی بوسیله اسپری^۲

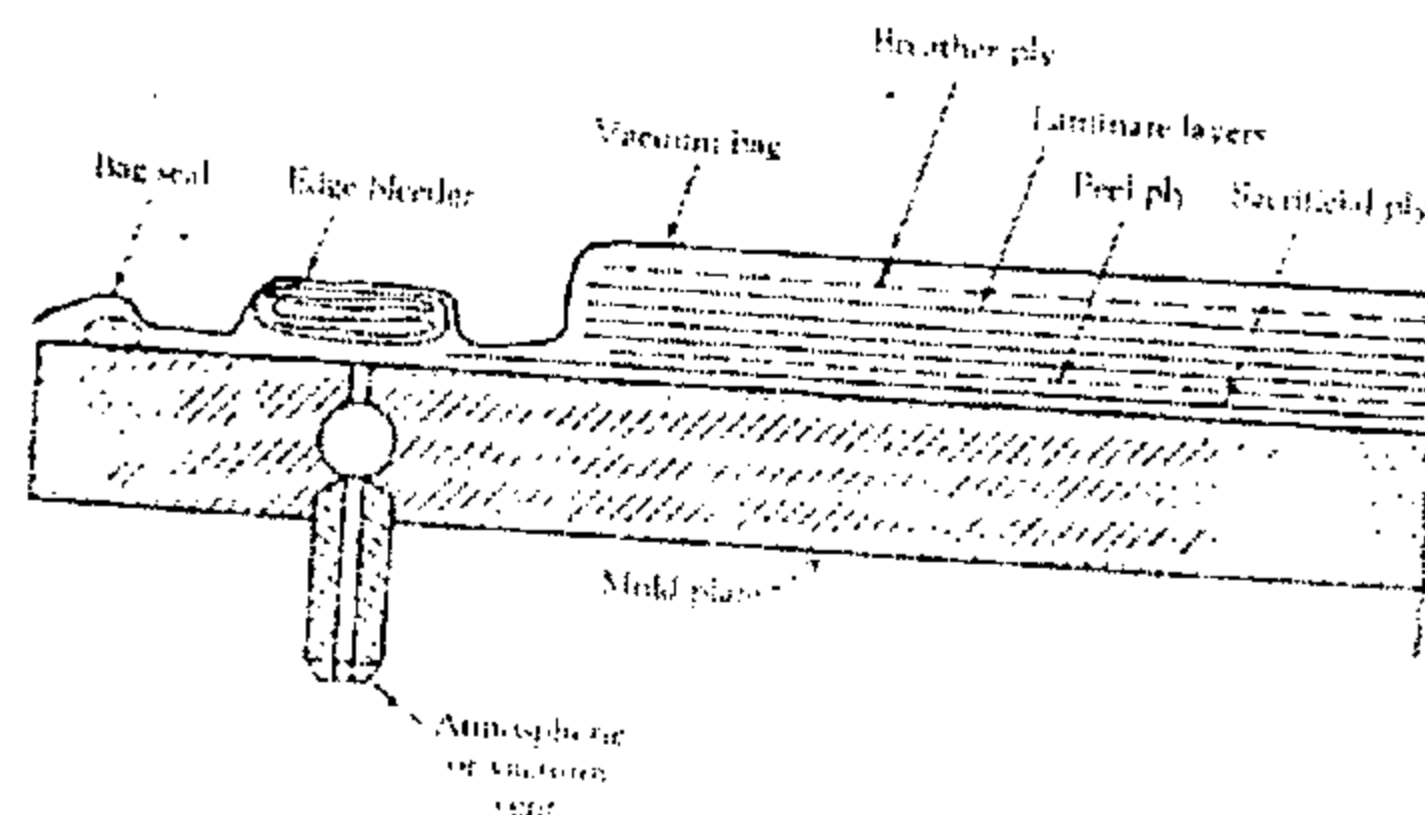
روش دیگر ساخت قطعات کامپوزیت برج خنک کننده که در این بخش بیان می گردد روش تولید قطعات کامپوزیتی به روش چیدمانی بوسیله اسپری است. در این روش الیاف شیشه و رزین به طور همزمان از طریق یک سیستم مخصوص اسپری بر روی سطح قالب پاشیده می شوند. بعد از پاشیدن مخلوط بر روی قالب توسط یک غلطک دستی حباب‌های موجود از بین می‌روند. رزین مورد استفاده معمولاً از جنس اپوکسی و یا پلی استر هستند. در شکل (۸) این روش به صورت شماتیک نمایش داده شده است.



شکل (۸) چیدمانی بوسیله اسپری

۳-۳-۳- قالب‌گیری به روش محفظه خلاء^۲

این روش در واقع همان روش چیدمانی دستی اصلاح شده می‌باشد که جهت تولید یک محدوده وسیعی از قطعات صنعتی وسازه‌های کامپوزیتی تاسیسات برودتی و برجهای خنک کننده و صفحات کامپوزیتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این فرایند مناسب برای حالتی است که استفاده از فشارهای بالا در قالب‌گیری ممکن نیست. در این فرایند سیستم خلاء جهت حذف حباب و خارج کردن هواهای اضافی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مراحل مهم در این روش عبارتند از: چیدن لایه‌ها، آماده سازی سیستم جذب رزین اضافی از سیستم (bleeder)، عبور گازها از طریق Breather و عایق بندی (bagging). در شکل (۹) این روش به صورت شماتیک نمایش داده شده است.

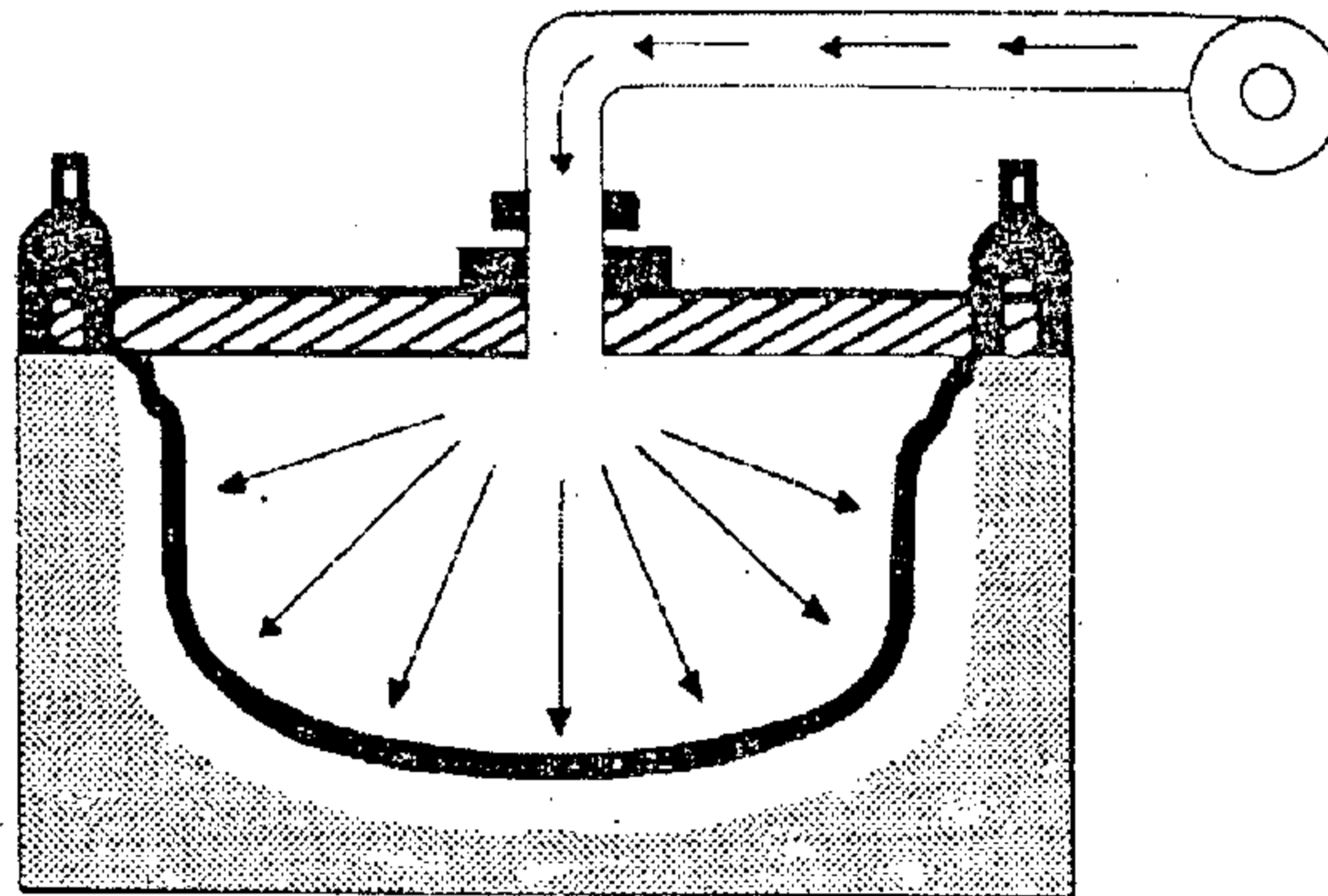


شکل (۹) روش محفظه خلا

۳-۳-۴- قالب‌گیری به روش محفظه فشار^۴

- ۱- Vacuum bag-molding
- ۱- Pressure bag-molding

در این روش از یک محفظه لاستیکی قابل انعطاف استفاده شده و از آن جهت اعمال فشار بر روی لایه‌های اتمسفر به رزین جهت تخته‌ها و نوارها و نیز تخلیه رزین اضافه از سیستم استفاده می‌شود. این روش مناسب برای قطعات صنعتی و صنایع هوا فضا با اشکال پیچیده و سه بعدی می‌باشد. از فشار ایجاد شده بر روی سیستم در فرآیند پخت نیز می‌توان استفاده کرد. در شکل (۱۰) این روش به صورت شماتیک نمایش داده شده است.



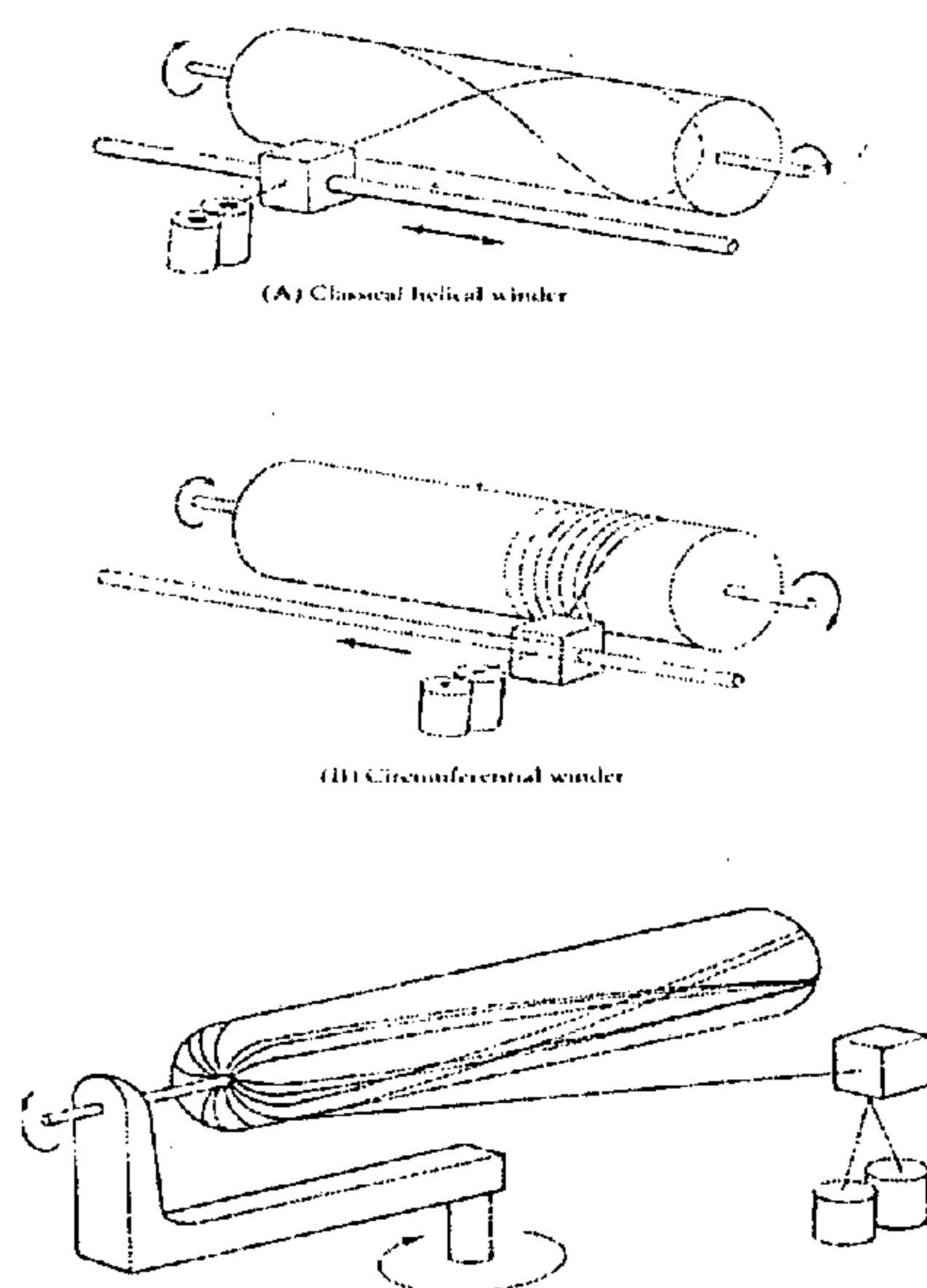
شکل (۱۰) روش محفظه فشار

۵-۳-۳- روش Auto clave

این روش شبیه فرایند Vacuum-bag بوده و در واقع اصلاح شده فرایند Pressure-bag می‌باشد. در این روش لایه‌ها تحت فشار بالاتری قرار می‌گیرند و قطعات با چگالی بالاتر با استفاده از این روش تولید می‌شوند. فرایند پخت در این روش در داخل کوره با استفاده از فشار و حرارت به صورت همزمان صورت می‌گیرد. قطعات تولید شده با استفاده از این فرایند از نظر ضخامت مطلوب و کیفیت سطحی نسبت به روش Vacuum-bag برتری دارند.

۳-۳-۶- پیچش الیاف^۵

در این روش الیاف حول یک سنبه دوار پیچیده می‌شوند. الیاف مورد استفاده می‌توانند قبل از پیچیده شدن حول محور از یک محفظه آغشته به رزین عبور کنند. بسته به نیاز می‌توان از الگوهای متفاوتی جهت پیچش الیاف استفاده کرد. فشردگی لایه‌ها توسط میزان کشش اعمال شده به الیاف قابل کنترل می‌باشد. از این روش بیشتر برای تولید اجسام دوار استفاده می‌شود. در شکل (۱۱) این روش به صورت شماتیک نمایش داده شده است.



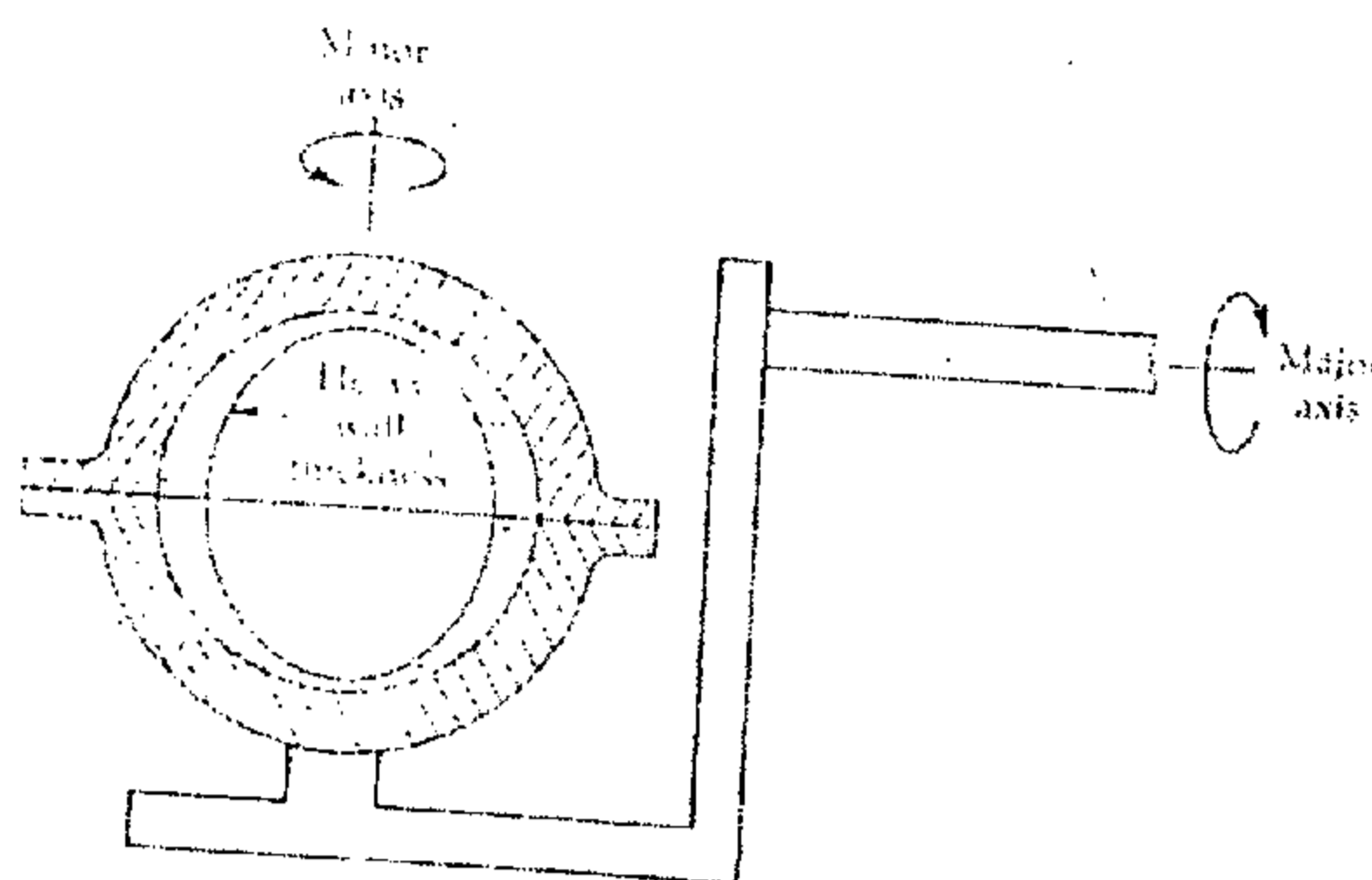
شکل (۱۱) روش پیچش الیاف

۳-۳-۷- ریخته‌گری گریز از مرکز^۶

اجسام دوار مثل لوله می‌توانند توسط این روش تولید شوند که در آن الیاف سوزنی آغشته به رزین در داخل یک محفظه توخالی قرار می‌گیرند. سپس محفظه شامل الیاف سوزنی آغشته به رزین شروع به دوران می‌نمایند و مخلوط را به جداره محفظه فشار می‌دهد و بعد از انجام فرایند پخت قطعه مورد نظر تولید می‌گردد. [۴]. در شکل (۱۲) این روش به صورت شماتیک نمایش داده شده است.

۱- Filament winding

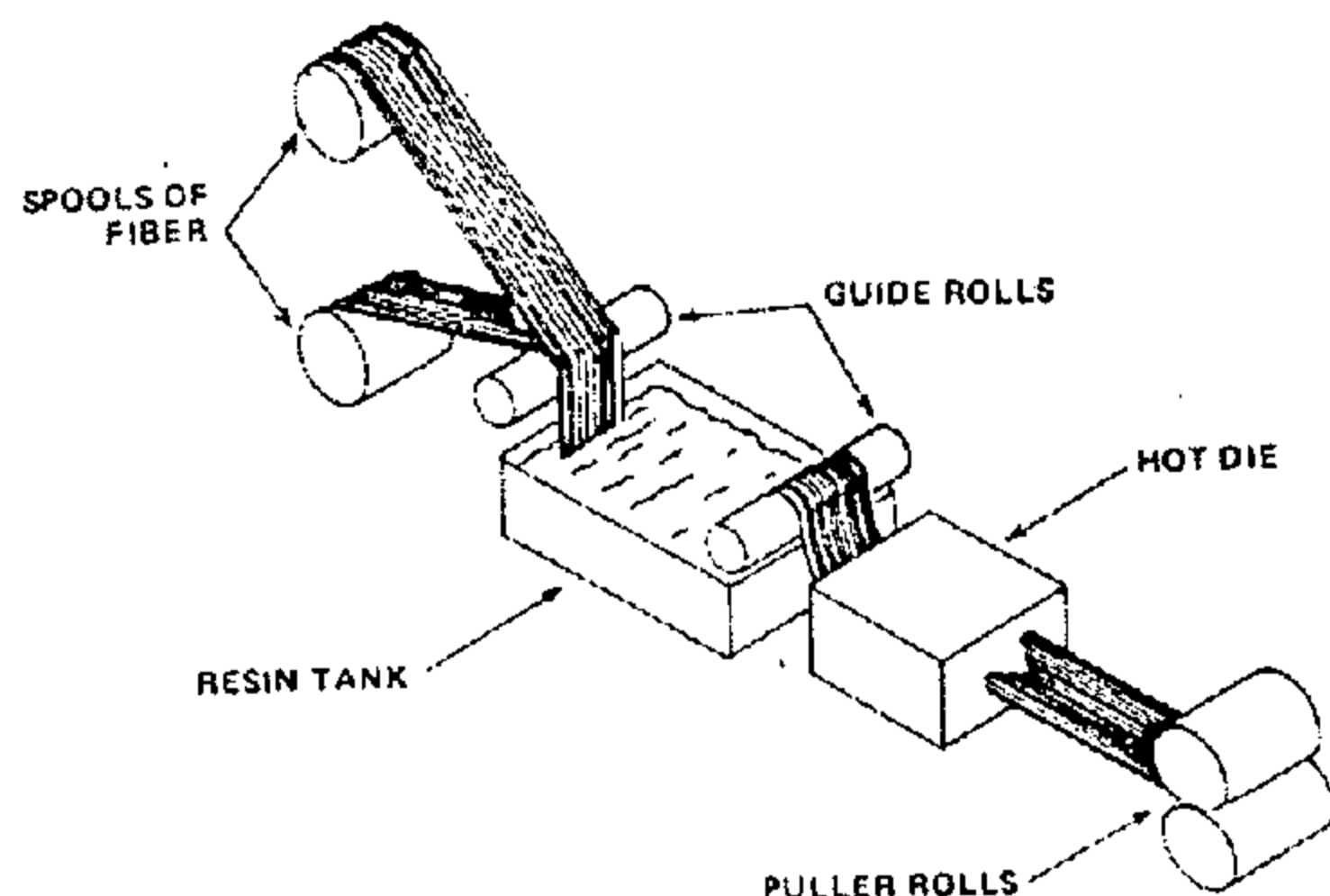
۲- Centrifugal casting



شکل (۱۲) روش ریخته‌گری گریز از مرکز

۳-۳-۸- پالتروژن (Pultrusion)

این روش شبیه روش Extrusion مورد استفاده در فلزات می‌باشد. در این روش قطعات سازه‌ای با سطح مقطع یکسان تولید می‌شوند. قطعات با شکل مقطع U شکل، Z شکل و مسطح با طول تقریبی ۴۰ Ft می‌توانند با این روش تولید شوند. در این روش الیاف پیوسته توسط حمام رزین آغشته می‌شوند و با استفاده از قالب به شکل مورد نظر کشیده شده و سپس فرایند پخت بر روی آن انجام گشته و قطعه مورد نظر تولید می‌گردد. بزرگترین محدودیت موجود در این روش همانند فرایند اکستروژن این است که سطح مقطع جسم تولید شده می‌بایست ثابت باشد. [۲]. در شکل (۱۳) این روش به صورت شماتیک نمایش داده شده است.



شکل (۱۳) روش پالتروژن

۳-۴- روشهای قالب بسته

این روش‌ها شامل قالب‌های دو نیمه یا سه نیمه نیز می‌باشند که معمولاً جنس آنها از فلز می‌باشد. مشخصه‌های ویژه قطعات تولید شده یا استفاده از این روش‌ها عبارتند از کیفیت سطحی بالا، هر دو طرف قطعه دارای سطح صیقلی و با کیفیت می‌باشند (برخلاف روش‌های قالب باز). کیفیت محصولات تولید شده از یک قطعه تا قطعه بعدی کاملاً یکسان و یکنواخت است. [۴]

این روش‌ها معمولاً به دو گروه عمده ذیل تقسیم می‌شوند:

۱- قالب‌گیری با استفاده از قالب‌های تطبیقی^۱

۲- قالب‌گیری مایع^۲

هریک از این دو گروه شامل زیر گروه‌های مختلفی می‌باشند که عبارتند از:

الف- قالب‌گیری با استفاده از قالب‌های تطبیقی شامل:

Preform molding -

Compression molding -

ب- قالب‌گیری مایعی شامل:

Resin Transfer Molding (RTM)

Resin Injection Molding (RIM)

۳-۴-۱- قالب‌گیری مایع

به طوری که ذکر شد این فرایند خود شامل دو زیر گروه عمده یعنی RTM و RIM می‌باشد. در

ذیل به طور خلاصه مزایای روش قالب‌گیری مایعی لیست شده‌اند:

- هزینه پایین تجهیزات مورد نیاز (نسبت به روش قالب‌گیری تحت فشار)

- کیفیت سطحی مطلوب

- قابلیت انعطاف در انتخاب ابزار - استفاده از ابزار آلات ارزان قیمت برای تولید نمونه و استفاده از ابزار

آلات دقیق و گران قیمت تر جهت تولید انبوه

^۱- Matched-die molding

^۲- Liquid molding

- قطعات بزرگ و پیچیده قابل تولید هستند

- قابلیت قرار دادن قطعات محسوس رزین در Inserts , Cores , Ribs در داخل قالب

وجود دارد

- پیوستگی قطعات تولید شده - در این روش چندین قطعه را می توان با یک قطعه پیوسته که

به روش قالب گیری مایعی تولید شده جایگزین نمود

- محدوده نسبتاً وسیعی از رزین های موجود در بازار قابل استفاده توسط این روش می باشند

- طیف وسیعی از الیاف با جنس های مختلف، شکل ها و اندازه های متفاوت جهت تقویت قابل

استفاده می باشد.

- امتداد الیاف در محصول تولید شده قابل کنترل است.

- حجم الیاف موجود در نمونه تولید شده قابل پیشگویی و قابل کنترل می باشد.

همچنین موانع موجود بر سر راه رشد و فراگیر شدن روش قالب گیری مایعی عبارتند از :

الف - مسائل اقتصادی :

- استفاده از perform

- زمان مورد نیاز فرایند

- هزینه قالب

ب - مسائل مربوط به بهینه سازی فرایند :

- کنترل همزمان فرایند پر شدن قالب و پخت (پلیمریزاسیون)

- فیدبک سیستم کنترل

ج - مسائل مربوط به بازیافت:

- نرخ مواد دور ریز

- قطعات مشکل دار

- عمر قطعات

۲-۴-۳- روش [RTM] – Resin Transfer Molding

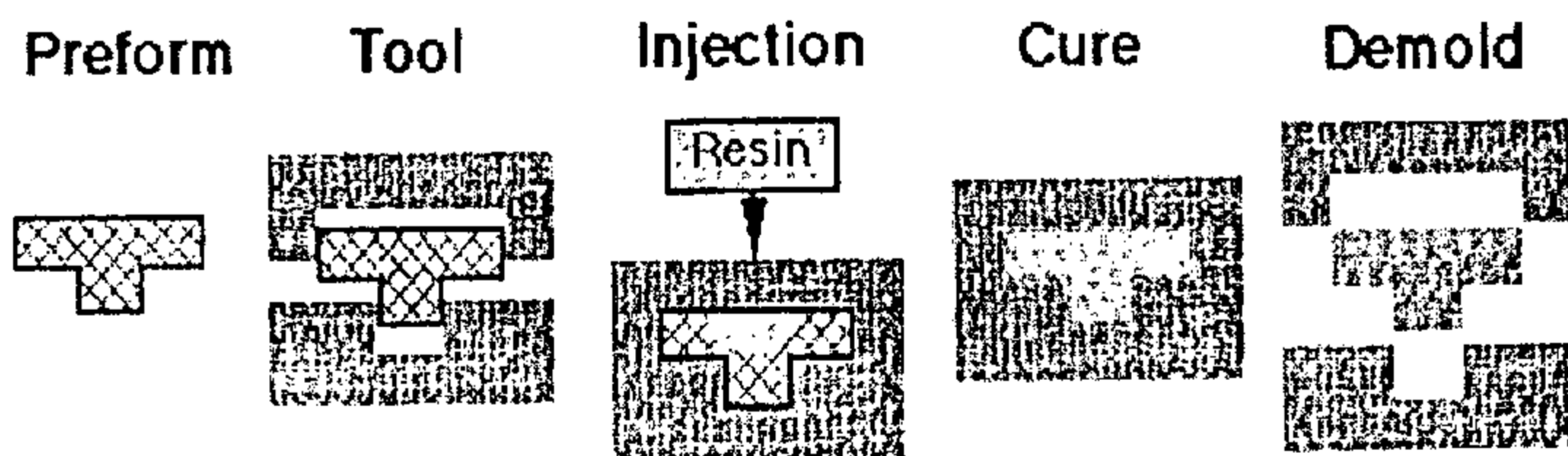
مهمترین ویژگی RTM استفاده از فشارهای پایین در قالب می‌باشد. در این روش رزین‌های پلی‌استر و یا اپوکسی در داخل یک قالب بسته (جنس قالب معمولاً از پلاستیک تقویت شده می‌باشد) پمپ می‌شود. قالب قبل از پمپ رزین شامل الیاف تقویت کننده به شکل‌های مختلف شامل الیاف پیوسته، الیاف سوزنی، Preform و ... می‌باشد. در حین تزریق قالب کاملاً بسته بوده و رزین داخل آن پمپ می‌گردد.

بعد از پمپ رزین، هوا از جداره‌ها و لبه‌های قالب خارج شده و رزین جای آن را می‌گیرد. فشار پمپ را تا آنجا که ممکن است می‌بایست در حد پایین نگه داشته تا بتوان از قطعات و ابزار آلات ارزان قیمت بدون ایجاد تخریب در آنها استفاده کرد.

گرمای اعمال شده به قالب در حین تزریق مکانیزم پلیمریزاسیون را فعال کرده و باعث سخت شدن رزین می‌شود که به این فرایند اصطلاحاً فرایند پخت گفته می‌شود. مرحله پخت رزین در حین پمپ و بعد از تکمیل شدن فرایند تزریق، صورت می‌پذیرد. [۴]

در نگاه اول، این روش در سه مرحله ساده خلاصه می‌شود: اول قرار دادن الیاف تقویت کننده در قالب، دوم پمپ رزین و مرحله سوم پخت. اما در عمل فرایند بسیار پیچیده‌ای رخ می‌دهد چرا که تمام مراحل فوق با یکدیگر کوپل شده‌اند و عملکرد هر یک از مراحل بر روی مراحل بعدی و در نهایت کیفیت محصول تولید شده اثر گذار می‌باشد. [۴]

در شکل (۱۴) مراحل مختلف فرایند RTM نمایش داده شده است



شکل (۱۴) مراحل مختلف فرایند RTM

رشد و پیشرفت این پروسه در آینده وابسته به قیمت ابزار آلات آن می‌باشد. در حال حاضر عمر

قالب‌های RTM در حدود ۳۰۰۰ قطعه در سال می‌باشد که بسته به ابزار قالب‌های فلزی تطبیقی

و در حدود ۱۰۰۰۰ قطعه در سال می‌باشد. بنابراین قیمت ابزار آلات تمام شده برای هر قطعه RTM

در تولید انبوه بالاتر است. استفاده از قالب‌هایی که با استفاده از نیکل پوشش داده شده‌اند^۲، می‌تواند

پارامتر مهمی باشد چرا که با استفاده از این روش عمر قالب تا ۱۰ برابر افزایش می‌یابد.

روش RTM همچنین در بسیاری از صنایع دریایی کاربرد دارد که در واقع بدلیل مقاومت بالای

خوردگی قطعات تولید شده به کمک این روش می‌باشد. از سایر موارد کاربرد RTM می‌توان به مخازن

آب، قاب مانیتور و سایر لوازم خانگی، وان حمام، ریب در بال هواپیما، پوشش روی درها، بدنه اتومبیل و

کاپوت جلو، گل‌گیر خودرو، سقف خودرو ... اشاره کرد. [۴] در جدول (۶) مقایسه‌ای میان روش

دستی Hand Lay up و روش قالب‌گیری تحت فشار با روش RTM صورت گرفته است.

جدول (۶) مقایسه مزیت روشهای مختلف

| RTM در مقایسه با Lay-up | RTM در مقایسه با ComperSSION Molding |
|---|---|
| - هر دو طرف قطعه تولید شده صیقلی شده است | - هزینه پایین قالب و تجهیزات جانبی |
| - ضخامت‌های خیلی بالا قابل ایجاد هستند | - استفاده از تقویت کننده‌ها ریب‌ها و inserts ممکن می‌باشد |
| - اتلاف رزین حداقل می‌باشد | - زمان تولید کمتر |
| - بازده بیشتر (صرفه‌جویی در هزینه مواد و کارگر) | |

۳-۴-۳- مزایا و معایب روش RTM :

مزایای روش RTM عبارتند از :

- قطعات خیلی بزرگ و با اشکال پیچیده از طریق این روش می‌توانند بسیار کارآمد و ارزان قیمت تولید شوند.

- زمان تولید خیلی کمتر از روش Lay-up دستی می‌باشد.

- فشار مورد استفاده در این روش خیلی کمتر از فشار مورد استفاده در روش ComperSSION Molding است.

- کیفیت قطعات تولید شده خیلی بالاتر از روش Lay-up دستی است.

- استفاده از inserts و تقویت‌های خاص به راحتی ممکن می‌باشد.

- سطح مهارت مورد نیاز جهت اپراتور پایین می‌باشد.

- محدوده وسیعی از مواد قالب‌گیری در این روش می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

- قطعات تولید شده از نظر یکسان بودن ابعاد و اندازه و کیفیت تولید در رده بالاتری نسبت

به روش Lay-up دستی می‌باشند.

- اپراتور در معرض بخارات سمی حاصل از واکنش‌های شیمیایی رزین قرار ندارد.

معایب روش RTM عبارتند از :

- طراحی قالب یک پارامتر مهم و بحرانی می‌باشد و نیاز به سطح مهارت بالایی دارد.

- خواص حاصله شبیه خواص حاصل از روش قالب‌گیری تحت فشار می‌باشد. اما به خوبی

خواص روش‌های پالترورژن نمی‌باشد.

- کنترل توزیع یکنواخت رزین بسیار مشکل است. لبه‌ها و نقاط فیلت‌دار در معرض اشباع

شدن رزین هستند.

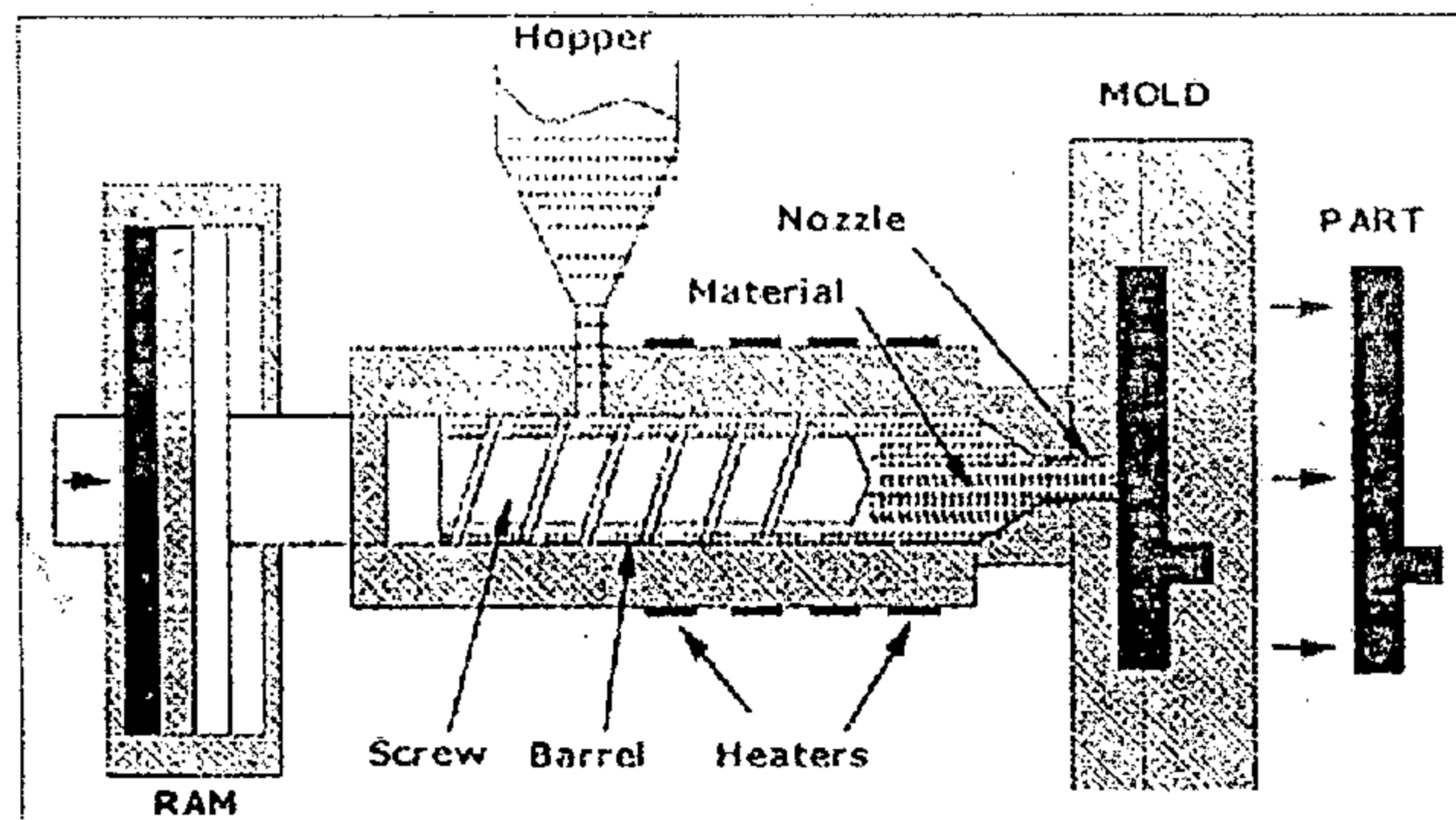
- در پاره‌ای از موارد جابجایی تقویت‌کننده‌های موجود در قالب در حین تزریق یک مشکل

اساسی می‌باشد. [۲]

۴-۴-۳- روش [RIM] – Resin Injection Molding

این روش یکی از معمول‌ترین روش‌های به کارگیری رزین‌های ترموپلاستیک برای ساخت قطعات کامپوزیتی است. در روش قالب‌گیری به روش تزریق رزین (RIM) از یک قالب تک یا چند حفره‌ای جهت تولید قطعات پیچیده در مقیاس‌های تولید خیلی بالا استفاده می‌شود. [۳]

شکل (۱۵) به صورت شماتیک فرایند RIM را به تصویر کشیده است



شکل (۱۵) روش RIM

در این روش پلیمر گرم و مذاب به داخل یک قالب سرد تزریق می‌گردد. از یک پیچ حلزونی جهت تزریق پلیمر داخل قالب استفاده می‌شود. بعد از اینکه قطعه سرد و به صورت جامد در آمد قالب باز شده و قطعه تولید شده از داخل قالب خارج می‌گردد. در حین فرایند تزریق رزین هیچ گونه واکنش شیمیایی صورت نمی‌گیرد. این روش در صنایع گوناگونی از جمله صنعت اتومبیل، لوازم خانگی، کامپیوتر، ارتباطات و تجهیزات صنعتی کاربرد دارد. مثال‌های قطعات تولید شده با استفاده از این روش در صنعت اتومبیل‌سازی عبارتند از: پانل‌های خودرو، محفظه بالای رادیاتور، پانل‌های خارجی درها، محفظه لامپها، مسیر سوخت و ...

الیاف سوزنی شیشه‌ای به عنوان معمول‌ترین ماده جهت تقویت رزین در این فرایند مورد استفاده قرار می‌گیرند. [۵]

۵-۴-۳- قالب‌گیری تطبیقی

به طور کلی قالب‌گیری با استفاده از قالب‌های تطبیقی به دو دسته عمده تقسیم بندی می‌شود که عبارتند از:

- قالب‌گیری شکل از پیش بافته شده^۲

- قالب‌گیری تحت فشار^۲

هر دو دسته فوق از تجهیزات قالب‌گیری در فشارهای بالا استفاده می‌نمایند و تنها تفاوت آنها در فرم ماده‌ای است که در داخل قالب قرار می‌گیرد تا شکل قطعه نهایی را به خود بگیرد. عمدتاً موادی که در این گونه قالب‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از: الیاف شیشه و رزین‌های پلی‌استر یا اپوکسی.

بدلیل اینکه معمولاً از الیاف سوزنی با طول کوتاه در این نوع قالب‌گیری استفاده می‌شود بنابراین از این قطعات نمی‌توان در محل‌های که در معرض بارهای فوق‌العاده زیاد قرار دارند استفاده نمود. تجهیزات مورد استفاده عبارت است از پرس هیدرولیکی و قالب‌های دوتکه به صورت نر و ماده که به یکدیگر منطبق می‌گردند. جنس قالب‌های مورد استفاده معمولاً فلزی می‌باشد که با دقت خیلی بالا پولیش شده و همچنین سخت‌کاری شده‌اند. فشار ایجاد شده در قالب توسط پرس ممکن است تا صدها تن برسد که از چنین فشاری جهت تولید قطعات با کیفیت بالا و یکنواخت استفاده می‌شود.

۶-۴-۳- قالب‌گیری شکل از پیش بافته شده

در این روش الیاف تقویت کننده به صورت خشک و تقریباً به شکل قطعه نهایی بافته شده و در داخل یک سمت قالبی که هنوز بسته نشده قرار داده می‌شوند. سپس الیاف از پیش بافته شده توسط رزین آغشته شده و قالب بسته می‌شود. رزین و الیاف تحت حرارت و فشار قرار گرفته و فرایند پخت صورت می‌گیرد. در طول فرایند، رزین لابه‌لای الیاف بافته شده حرکت کرده و همه جای آنرا آغشته ساخته و همزمان سخت نیز می‌گردد. بعد از انجام پروسه قطعه از داخل قالب خارج می‌گردد.

بدلیل میزان بالای فشار قابل اعمال در این روش نسبت حجمی الیاف به رزین به روش چیدمانی دستی می‌تواند بیشتر باشد که حاصل آن ایجاد قطعات با استحکام بالاتر خواهد بود. زمان

۱- Preform molding ۲- Compression molding

پخت قطعه در داخل قالب به پارامترهای فرروانی بستگی دارد که از آن جمله می‌توان به درجه حرارت، جنس رزین، شکل قطعه و پیچیدگی آن و بازده حرارتی قالب اشاره نمود. معمولاً این زمان بین ۲ تا ۲۰ دقیقه متغیر می‌باشد. بنابراین این روش مناسب جهت نرخ تولید بالا می‌باشد. [۲]

۷-۴-۳- قالب‌گیری تحت فشار

واژه قالب‌گیری تحت فشار، در بر گیرنده چند تکنولوژی مختلف می‌باشد. مخلوط قالب‌گیری ورقی^۴، مخلوط قالب‌گیری سازه‌ای^۱ و مواد ترموپلاستیک می‌توانند توسط تجهیزات قالب‌گیری تحت فشار مورد استفاده قرار گیرند.

ویژگی مشترک بین روشهای مختلف قالب‌گیری تحت فشار به طوری که قبلاً هم ذکر شد، این است که مخلوط از پیش تهیه شده که اصطلاحاً به آن Charge گفته می‌شود در داخل قالب قرار گرفته و تحت فشار قرار می‌گیرد. به طور همزمان فرایند پخت نیز صورت می‌گیرد. پروسه قالب‌گیری تحت فشار از نظر تکنولوژی کاملاً پیشرفته می‌باشد و یک روش تطابق پذیر جهت بکارگیری الیاف پیوسته و سوزنی در داخل یک سازه کامپوزیتی است. این فرایند خیلی سریعتر و پیچیده‌تر از فرایند پرهزینه (از دیدگاه نیروی انسانی) چیدمانی دستی و یا قالب‌گیری مایعی می‌باشد. بسته به شکل قطعه و الگوی Charge مورد استفاده، ممکن است نواحی وجود داشته باشند که رزین مجبور به حرکت در آن راستا شود که در این صورت امتداد الیاف در آن ناحیه به سمت جریان حرکت رزین خواهد بود. در

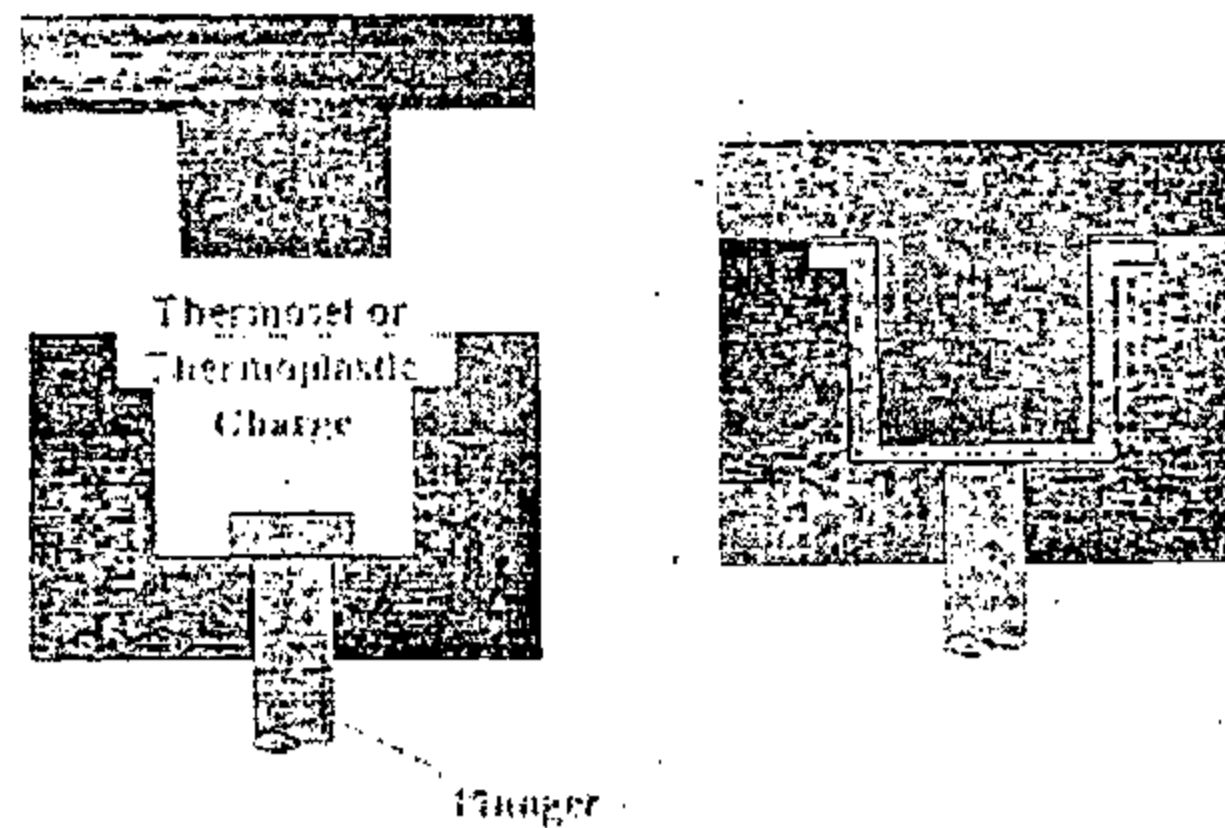
مخلوط قالب‌گیری صفحه‌ای شامل الیاف سوزنی^۵ و در مواد ترموپلاستیک با الیاف بلند مناسب‌ترین الگوی جهت^۲، الگوی تصادفی^۳ می‌باشد. در صورتی که الیاف با امتداد خاص و جهت‌دار مورد نظر باشند الگوی جریان رزین می‌تواند به نحوی مطلوب توسعه داده شود. فرایند قالب‌گیری تحت فشار به صورت

۱- Sheet Molding Compound ۲-Structural molding compound

۳- Random ۴-Orientation ۵-Chopped fiber

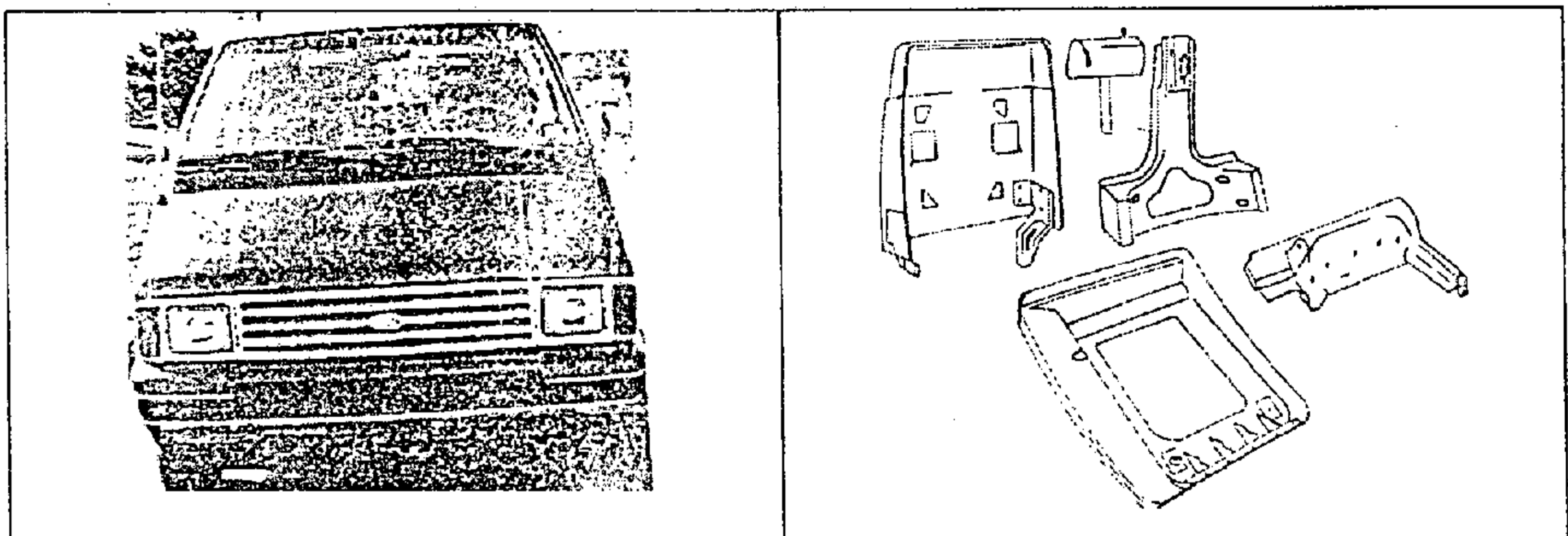
عام فرایند SMC نامیده می‌شود. منشاء این نامگذاری در واقع ماده مورد استفاده در فرایند یعنی مخلوط قالب‌گیری ورقی بوده است. اجزاء پروسه قالب‌گیری تحت فشار (۱۶) نمایش داده شده است.

Compression Molding Process



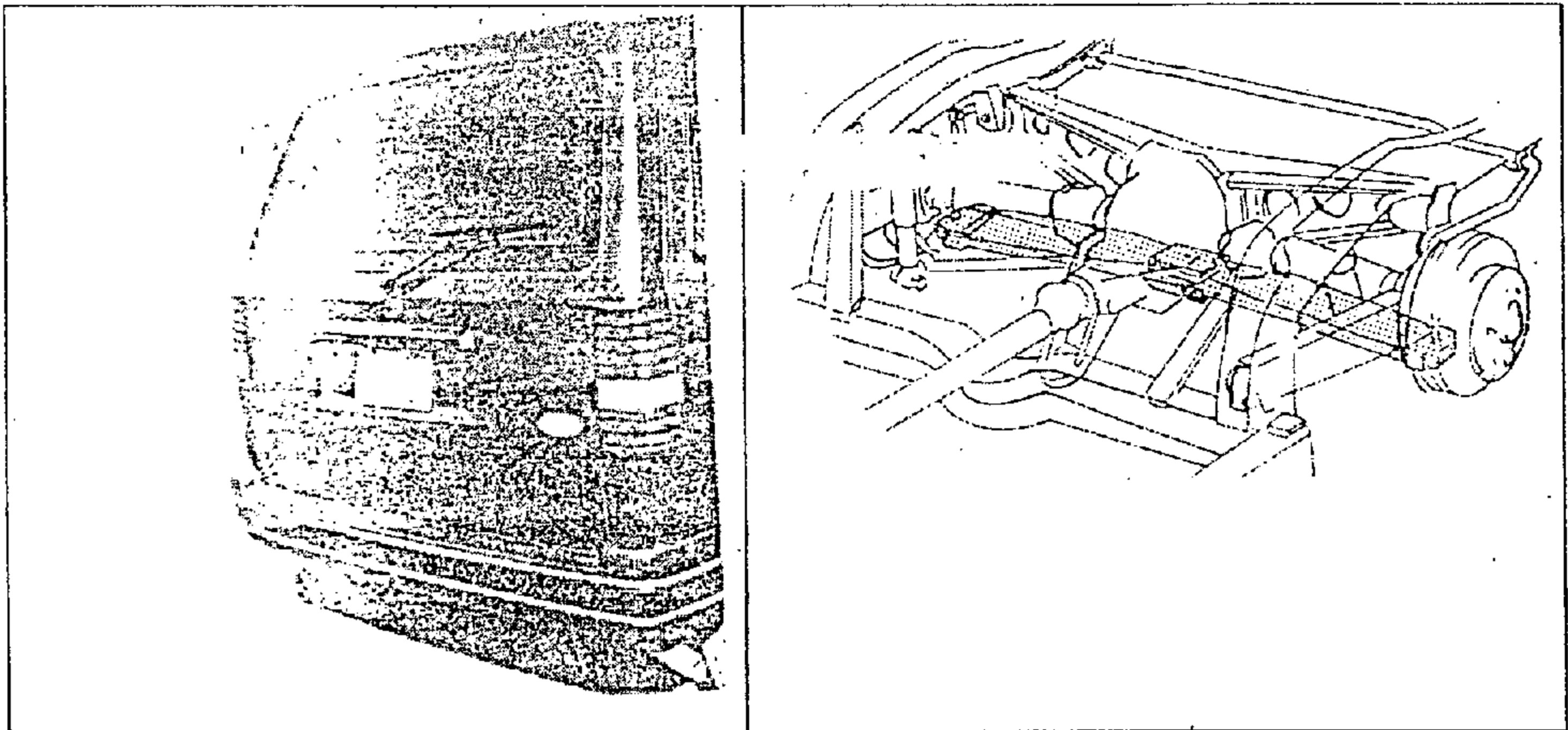
شکل (۱۶) روش قالب‌گیری تحت فشار

بزرگترین به کار گیرنده این تکنولوژی صنعت اتومبیل‌سازی می‌باشد. پانل‌های جلو عقب، جلو پنجره، درپوش موتور، در صندوق عقب، سقف، ضربه‌گیرها، اسپویلر و... از موارد کاربرد این تکنولوژی در صنعت اتومبیل می‌باشند. در شکل‌های (۱۷) الی (۲۰) نمونه‌های از قطعات تولید شده توسط روش قالب‌گیری تحت فشار نمایش داده شده است.



شکل (۱۸) درپوش موتور کامپوزیتی

شکل (۱۷) صندلی کامپوزیتی



شکل (۲۰) در عقب کامپوزیتی

شکل (۱۹) فنر شمش کامپوزیتی

به عنوان نمونه یک سیکل از پروسه قالب‌گیری تحت فشار شامل قرار دادن چند ورقه SMC روی هم برای رسیدن به ضخامت ۱۳ mm شامل الیاف سوزنی آغشته به رزین ترموست، در داخل یک قالب گرم (حدوداً $150^{\circ}C$) می‌باشد. سپس قالب تحت فشار بین ۷ الی ۱۴ MPa بسته می‌شود، فرایند پخت حدوداً بین ۱ الی ۳ دقیقه زمان نیاز دارد. معمولاً بین ۳۰ تا ۸۰ درصد سطح قالب توسط Charge پوشانده شده و جریان مواد بعد از بسته شدن قالب باعث پر شدن حفره‌های قالب می‌شود.

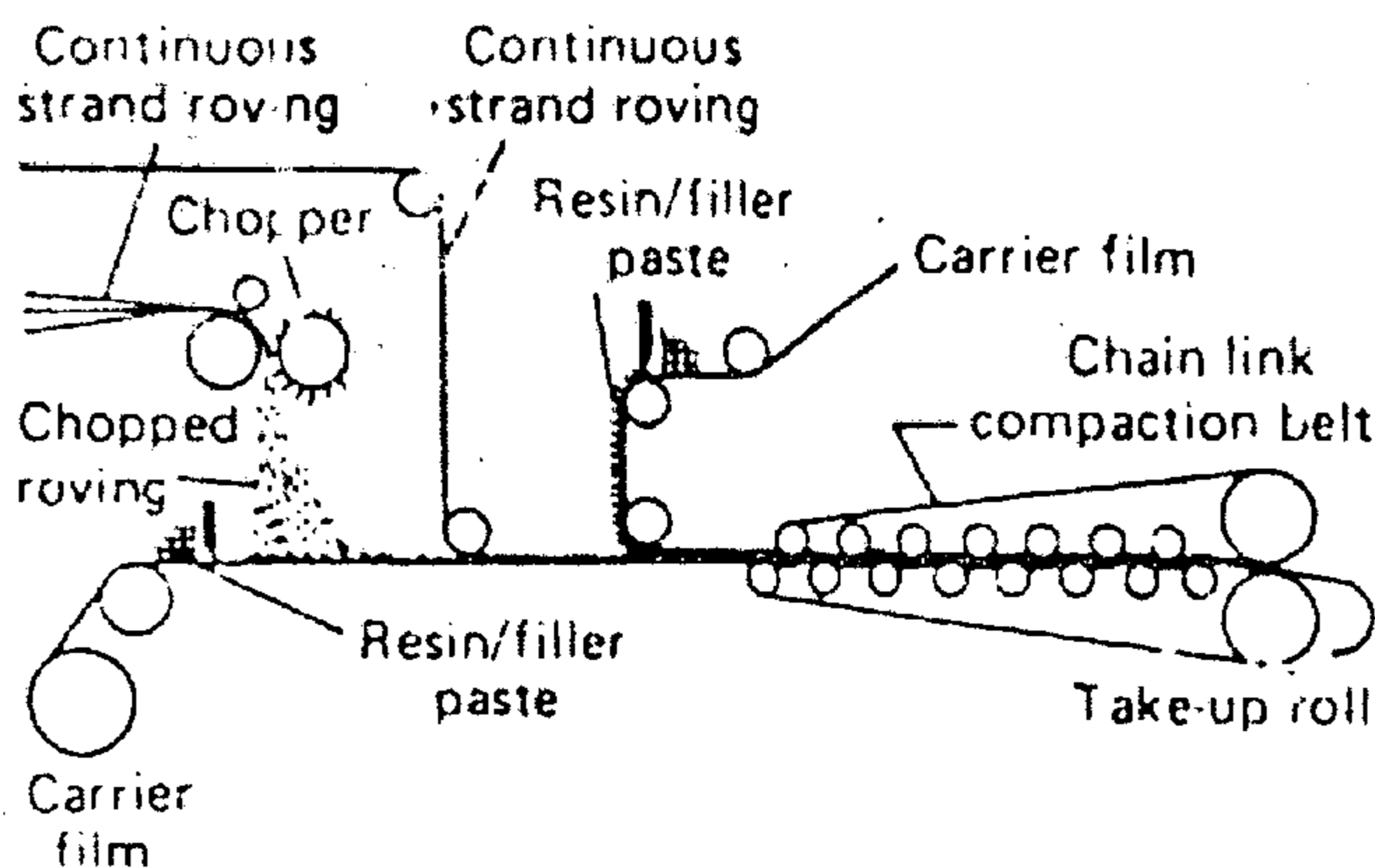
۸-۴-۳- مواد مورد استفاده برای ساخت SMC

قابلیت انعطاف بالایی در به کارگیری انواع الیاف در مواد مورد استفاده در قالب‌گیری تحت فشار وجود دارد. الیاف پیوسته یا سوزنی شیشه به صورت جهت دار و یا با الگوی تصادفی قابل استفاده هستند. همچنین الیاف کربن و یا آرامید نیز ممکن است استفاده شوند. SMC ها می‌توانند با فرایندهای متفاوت و ترکیبات متفاوت ساخته شوند. مخلوط قالب‌گیری با الیاف تک جهته پیوسته^۶ مورد استفاده در اجزاء سازه‌ای معمولاً شامل ۴۰ تا ۶۰ درصد وزنی الیاف شیشه‌ای می‌باشد. معمولاً از پرکننده‌ها^۲ به منظور کاهش قیمت محصول تمام شده و نیز کاهش ضریب انبساط حرارتی محصول استفاده می‌شود.


۱- Continuous, unidirectional molding compound ۲- Fillers

ساختار ملکولی و شیمیایی رزین تاثیر بسزایی در استحکام و خواص مکانیکی کامپوزیت ساخته شده دارد. با این که رزین تنها ۱۶ الی ۲۵ درصد وزنی قطعه ساخته شده با استفاده از SMC را دارد ولی عملاً کنترل جریان پذیری و قابلیت فرم پذیری SMC را برعهده دارد. همچنین استحکام و مقاومت در برابر خوردگی می بایست از طریق رزین بهینه گردد. اغلب رزین های با ویسکوزیته پایین و اسید بالا که قابلیت آغشته سازی الیاف را به خوبی دارا می باشند مطلوب هستند. به عنوان مثال از اکسید منیزیم به منظور افزایش غلظت رزین استفاده می شود.

این واکنش بین ۱ تا ۵ روز زمان نیاز دارد. هرچند که از رزین های اپوکسی در SMC های مورد استفاده در صنایع هوا فضا و تبرید استفاده می شود، رزین های پلی استر و وینیل استر در صنایع اتومبیل و نیروگاهها کاربرد دارند که البته دلیل این امر زمان پخت سریعتر و قیمت پایین تر آنها می باشد. در اغلب موارد از مواد واکنش پذیر بالا در رزین های پلی استر، مثل E980 استفاده می شود و در صورت نیاز به مواد پرکننده از سنگ آهک استفاده می شود. برای ایجاد یک ورق از SMC الیاف و رزین بر روی یک ورقه بسیار نازک از جنس نایلون و یا نایلون / پلی اتیلن توزیع می شوند. در شکل (۲۱) پروسه تولید SMC به صورت ساده نمایش داده شده است.



شکل (۲۱) خط تولید SMC

در ابتدا رزینی که ممکن است شامل افزودنی‌هایی از قبیل کاتالیزور، مواد پرکننده، MRA^۱ و اکسید منیزیم باشد به صورت  روی فیلم پلی‌اتیلن توزیع می‌شود. سپس الیاف به صورت تصادفی یا پیوسته با الگوی موردنظر به ترکیب قبلی اضافه می‌شوند. در مرحله بعدی مجدداً یک فیلم نازک آغشته به رزین به این مجموعه اضافه شده و سپس کل ترکیب ساندویچی شکل از میان یک سری رولر به منظور فشردن و مخلوط کردن ترکیب عبور داده می‌شود. در این مرحله SMC تکمیل شده به منظور حمل به انبار و نگهداری ترکیب به صورت توپی در آمده و به انبار منتقل می‌شود.

ترکیب حاصله به منظور انجام واکنش‌های شیمیایی لازم و اصطلاحاً رسیدن^۲ باید تا مدت ۵ روز بایست باقی بماند. SMC باید حدوداً در یک پریود زمانی کوتاه مورد استفاده قرار گیرد چرا که این ترکیب به صورت پیوسته در معرض واکنش‌های شیمیایی قرار دارد. این واکنش‌ها بر روی قابلیت قالب‌گیری و فرم‌پذیری آن تاثیرگذار خواهند بود، هر چند که یک ترکیب خوب SMC تا هفته‌ها قابل استفاده می‌باشد. نرخ تولید برای یک ورقه شامل ۳۰ درصد الیاف شیشه چیزی در حدود ۱۲ m/min است. روند بهینه سازی مواد مورد استفاده، محرکی است جهت توسعه مواد جدیدتر و نیز تکنیک‌های جدیدتر جهت تولید قطعات با استفاده از این مواد.

SMC حداقل دارای ده روش متفاوت می‌باشد از جمله عبارتند از :

LMC , UMC , TMC , HMC , XMC , SMC-C/R , SMC-C , SMC-R

۹-۴-۳- مزایای روش قالب‌گیری تحت فشار

روش SMC دارای مزایای متعددی نسبت به روش‌های چیدمانی دستی و چیدمانی با اسپری می‌باشد. استفاده از مخلوط رزین مایعی که از پیش ایجاد شده است، کاتالیست‌ها و شیشه باعث کنترل کیفیت بهتر بر روی مواردی از قبیل درصد ترکیب، نحوه توزیع در مخلوط و وضعیت شیمیایی مخلوط قبل از عملیات فرم‌دهی می‌شود. اصولاً استفاده از قالب‌های تطبیقی باعث کنترل و پایداری بهتر ابعادی نسبت به روش‌های قالب باز می‌گردد. استفاده از فشارهای بالا باعث افزایش قیمت در ابزار آلات مورد

۱- Mold Release Agent ۲- Aging

استفاده نسبت به روشهایی از قبیل چیدمان دستی می‌گردد. در حالیکه هزینه ابزار در این روش نسبت به قالب‌گیری کوبشی^۱ کمتر است.

استفاده از فشارهای بالا در پروسه قالب‌گیری تحت فشار باعث کاهش مواردی از قبیل بادکردن قطعه جدایش قطعه و انجام عملیات ثانویه جهت رنگ کاری نسبت به روشهایی که از فشارهای کمتر برای فرم دهی استفاده می‌کنند، می‌گردد.

کمتر بودن میزان جریان مواد در روش قالب‌گیری تحت فشار باعث کاهش تنش و سایش در ابزار نسبت به روش قالب‌گیری تزریقی می‌گردد. تهویه قالب به صورت اجباری و خود به خود تمایل به یکنواخت بودن دارد. بنابراین پایداری ابعادی قطعات تولید شده با این روش بهتر از قطعات تولید شده با روش‌های تزریقی و یا چیدمانی دستی می‌باشد. همچنین از دیگر مزایای روش SMC می‌توان موارد زیر را برشمرد:

- زمان کوتاه تولید (عموماً بین ۱ تا ۴ دقیقه)

- نرخ تولید بالا

- کیفیت سطحی بالا (کلاس A)

۱۰-۴-۳- معایب روش قالب‌گیری تحت فشار

برخی از معایب به صورت ذاتی در مواد SMC و فرایند قالب‌گیری تحت فشار وجود دارند که می‌بایست به درستی درک گردند. به عنوان مثال سرمایه بسیار زیاد مورد نیاز جهت تولید ورق SMC و قالب‌گیری آن و یا هزینه SMC تولید شده به دلیل عملیات انسانی مورد نیاز و یا هزینه نگهداری آن به شدت بالاست. SMC تولید شده می‌بایست بدقت مورد نگهداری قرار گیرد تا از گزند افت‌های خواص ناشی از حرارت و رطوبت در امان بماند. ترک خوردن و تاب‌دار بودن قطعه نهایی تولید شده می‌تواند بدلیل استفاده از SMC تنزل خواص یافته باشد. همچنین خطوط تولید SMC می‌بایست به شدت در برابر بخارات سمی که در حین فرایند ایجاد می‌شوند، محافظت گردند.

در طول فرایند قالب‌گیری تحت فشار بسیاری از عوامل تابع جریان مواد در قالب می‌باشند. روش‌های عددی اجزاء محدود نوید دهنده توانایی در پی‌ریزی جریان مواد در داخل قالب جهت ساخت کامپوزیت‌ها می‌باشند. اما در عمل تا چند سال آینده به نظر نمی‌رسد این روش‌ها کارآمد باشند. از مسائل مورد بحث دیگر می‌توان به وضعیت تنش‌های پس‌ماند، تابیدگی جسم، خطوط جوش و اتصال قطعات، جهت‌گیری الیاف در حین جریان مواد، شکستگی الیاف، تورق و جدایش اتصال بین رزین و الیاف اشاره نمود. برای به حداقل رساندن این مشکلات می‌بایست همزمان تغییرات و بهینه‌سازی‌هایی را در پارامترهای فشار، دما و... و یا تغییر در ساختار شیمیایی SMC اعمال کرد. وجود چنین محدوده وسیعی از متغیرها باعث پیچیدگی و در نهایت افزایش هزینه‌ها در این فرایند می‌شود. در پایان برای ساخت قطعات کامپوزیتی می‌توان از هر یک از روش‌های فوق برای تهیه صفحات کامپوزیت یا روکش کامپوزیتی استفاده نمود

- [۱] Kalpakjian, S., "Manufacturing processes for engineering materials", third edition, Addison Wesley, pp. ۶۴۶-۶۷۲, ۱۹۹۷
- [۲] Strong, A.B., "Fundamentals of composites manufacturing", Society of manufacturing engineers, pp. ۱۳۱-۱۳۶, ۱۹۸۹
- [۳] Niu, M.C.Y., "Composite air frame structure", Conmilit press Ltd., pp. ۱۷۶-۲۵۵, ۱۹۹۲
- [۴] Schwartz, M.M., "Composite material handbook", McGraw Hill, pp. ۴-۱۰۱ - ۴-۱۱۵, ۱۹۸۴
- [۵] Richardson, T., "Composites a design guide", Industrial press Inc., pp. ۱۵۳-۱۸۵, ۱۹۸۷ [۶]
Johnson, C.F., "Compression molding", Engineered materials handbook. Vol, ۱, pp. ۵۵۹-۵۶۳
- [۷] Corscadden, S.P., "Polyester moulding compounds with novel initial fiber orientation for use in injection moulding", Composite manufacturing, Vol, ۱, No, ۳, Sep., ۱۹۹۰, Butterworth Heinemann Ltd.

فصل چهارم

مقایسه دو طرح آرایه شده از دیدگاه استحکامی

۴- مقایسه دو طرح ارایه شده از دیدگاه استحکامی :

در این حالت نتایج بارگذاریهای مرده (وزن) و دینامیکی شامل باد و زلزله در دو طرح پیشنهادی که شامل مدل کامپوزیتی کامل و مدل روکش کامپوزیتی می باشند، تحت مقایسه قرار گرفتند که نتایج حاصله از آن بصورت زیر خواهد بود .

الف - طرح کامپوزیتی کامل :

در سازه‌های کامپوزیتی باتوجه به اینکه وزن سازه کامپوزیتی نسبت به فلز کمتر است مقادیر تنشهای ناشی از وزن بسیار کم بوده و در مقایسه با استحکام سازه کامپوزیتی قابل چشم پوشی است .
درعین حال کم بودن جرم سازه کامپوزیتی باعث کاهش نیروی اینرسی ناشی از شتاب زلزله در معادله $m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F$ می شود و موجب می شود که تنشهای ناشی از زلزله نیز در سازه های کامپوزیتی به مراتب کمتر از سازه های فلزی باشد . این موضوع یک نقطه قوت در برج کاملاً کامپوزیتی به شمار می رود. یکی از نقایص مدل کاملاً کامپوزیتی عدم مقاومت مناسب در برابر نیروهای باد می باشد. زیرا نیروهای باد تنها به شکل هندسی سازه بستگی دارد و باتوجه به اینکه تفاوت چندانی در شکل برج کامپوزیتی و فلزی وجود ندارد.

کم بودن مدول یانگ (سفتی EY و EX ...) در سازه کامپوزیتی باعث می شود سازه تغییر فرم زیادی نسبت به سازه فلزی داشته باشد. از این جهت برای کاهش تغییر فرم سازه به خصوص در قسمت بالای برج که بدنه برج بسیار نزدیک به نوک پره های پروانه قرار دارد ، نیاز به تقویت کننده های عمودی و افقی می باشد که با قراردادن ۷۳ تقویت کننده عمودی و ۳ یا ۴ تقویت کننده افقی این معضل تقریباً مرتفع می گردد. در مجموع از دیدگاه مقادیر تنش سازه کامپوزیتی مقاومت مناسبی داشته و (در کل سازه و اتصالات) می باشد.

ب- طرح روکش کامپوزیتی :

در این طرح بدون آنکه سازه فلزی تغییر کند، صرفاً روی سازه بتنی بر روی آن جهت مقاومت در برابر خوردگی کشیده می شود. در این طرح که در آن بخش فلزی بیشترین سهم تحمل بار خارجی را بر عهده دارد، نتایج حاصل از بارگذاری وزن و باد و زلزله مورد بررسی قرار گرفته است. مقدار تنش ناشی از وزن مطابق پیش بینی اولیه کم بوده و کمتر از 10 MPa می باشد. این مقدار تنش در پایین برج بیشتر از بالای آن است. همچنین تنش های ناشی از باد نیز در این سازه نسبت به استحکام عمومی آن کم بوده و در حدود 6 MPa می باشد. ماکزیمم تغییر فرم حاصل در حدود 1 mm است. برج خنک کننده ای که با روکش کامپوزیتی پوشش داده شده است، در بارگذاری دینامیکی زلزله به واسطه جرم بالای آن دارای تحمل کمتری نسبت به سازه کامپوزیتی می باشد. به طور کلی در اثر بارگذاری ناشی از زلزله، ماکزیمم تنش کمتر از 60 Mpa در کمر برج در محل اتصال دو طبقه کنار هم بوجود می آید. نکته قابل ذکر این است که برای پیش بینی مناسب اثرات زلزله بر روی برج، آنالیز تحمل تنش برج در برابر زلزله می بایست در بدنه بتنی زیرسازه فلزی نیز انجام گیرد، زیرا مقاومت برشی بتن ناچیز است.

از بررسی نتایج تحلیل میتوان نتیجه گرفت که هر یک از دو طرح پیشنهادی از دیدگاه استحکامی قابل اجرا می باشد. نقطه ضعف سازه کامپوزیتی در نیروی باد و نقطه ضعف سازه فلزی در نیروی زلزله می باشد. نتایج زیر از تحلیل عددی حاصل شده است.

۴-۱- نتایج آنالیز تنشها در مدل کاملاً کامپوزیتی

۴-۱-۱- نتایج حاصل از تحلیل وزن مدل کاملاً کامپوزیتی

| ماکزیمم تغییر مکان عمودی بر حسب میلی متر | ۰/۸ میلی متر |
|--|-----------------------------|
| تنش اصلی اول ایجاد شده در برج | $5/9 \text{ MPa}$ |
| تنش اصلی دوم ایجاد شده در برج | 414 kpa |
| تنش اصلی سوم ایجاد شده در برج | $10e-5 \times 6 \text{ pa}$ |

۴-۱-۲- نتایج حاصل از تحلیل باد و وزن مدل کاملاً کامپوزیتی

| مقادیر تنش | انواع تنش ایجاد شده |
|------------|-------------------------------|
| Mpa ۷/۱ | تنش اصلی اول ایجاد شده در برج |
| Mpa ۱/۷ | تنش اصلی دوم ایجاد شده در برج |
| Mpa ۰/۶ | تنش اصلی سوم ایجاد شده در برج |
| Mpa ۰/۱۴ | تنش برشی در لایه ۱ |
| Mpa ۰/۱۳۷ | تنش برشی در لایه ۱۰ |
| Mpa ۷/۱ | تنش اصلی اول در لایه ۱۰ |
| Mpa ۷/۱۲ | تنش اصلی اول در لایه ۹ |
| Mpa ۷/۲ | تنش اصلی اول در لایه ۱۰ |

۴-۱-۳- نتایج حاصل از تحلیل اثرات زلزله در مدل کاملاً کامپوزیت

| مقدار تنش Mpa | انواع تنشهای بوجود آمده در مدل کاملاً کامپوزیت |
|---------------|--|
| ۶,۶ | تنش اصلی اول ایجاد شده در برج |
| ۵,۲ | تنش اصلی دوم ایجاد شده در برج |
| ۷,۱ | تنش اصلی سوم ایجاد شده در برج |
| ۵,۷ | تنش اصلی اول در لایه شماره ۱ |
| ۵,۲ | تنش اصلی اول در لایه شماره ۲ |
| ۵,۰۲ | تنش اصلی اول در لایه شماره ۳ |
| ۴,۹ | تنش اصلی اول در لایه شماره ۴ |
| ۵,۷ | تنش اصلی اول در لایه شماره ۵ |
| ۵,۷ | تنش اصلی اول در لایه شماره ۶ |
| ۵,۱ | تنش اصلی اول در لایه شماره ۷ |

| | |
|-----|-------------------------------|
| ۵,۲ | تنش اصلی اول در لایه شماره ۸ |
| ۵,۷ | تنش اصلی اول در لایه شماره ۹ |
| ۶,۷ | تنش اصلی اول در لایه شماره ۱۰ |

بارگذاری در جهات اصلی می باشد که منطبق بر جهت ایاف است.

| | |
|----------|--------------------------|
| ۵ mm | جابجایی برج در جهت شعاعی |
| ۶/۵ mm | جابجایی برج در جهت محوری |
| ۵/۵۱ Mpa | تنش فون مایرز |
| ۰/۱۵ Mpa | تنش برشی در لایه ۱ |
| ۰/۱۳ Mpa | تنش برشی در لایه ۱۰ |

تحلیل تنشهای ناشی از زلزله در طرح برج کاملاً کامپوزیتی نشان می دهد که تنش ماکزیمم در

کمر برج و در حدود (۷Mpa) می باشد.

۴-۱-۴- ارائه نتایج ناشی از تحلیل ارتعاشاتی برج خنک کننده کامپوزیتی

فرکانسهای طبیعی سازه در حالت کاملاً کامپوزیتی در جدول زیر آورده شده است.

| | |
|-----------|--------------|
| ۱۰/۷۱ Hz | فرکانس اول |
| ۱۵/۰۳ Hz | فرکانس دوم |
| ۲۲/۹۱۳ Hz | فرکانس سوم |
| ۳۱/۳۲ Hz | فرکانس چهارم |
| ۵۳/۶ Hz | فرکانس پنجم |

۵-۱-۴- نتیجه گیری آنالیز فرکانس طبیعی سازه در حالت کاملاً کامپوزیتی :

با توجه به اینکه در سازه کامپوزیتی چگالی و مدول الاستیک متفاوتی نسبت به سازه فلزی داراست فرکانس طبیعی و حتی شکل مودهای اولیه آن نیز می تواند تغییر کنند. این فرکانس می تواند کمتر از فرکانس طبیعی نمونه فلزی باشد. نکته قابل ذکر این است که تقویت کننده های عمودی و سه تقویت کننده افقی در برج خنک کن مورد نظر می تواند سختی ماده و در نتیجه فرکانس طبیعی برج را افزایش دهد. برای تحلیل سازه کامپوزیتی مشابه سازه فلزی از آنالیز مودال با تقارن سیکلی استفاده شده است تا بتوان تحلیل دقیق تری از فرکانس های اولیه و شکل مودها بدست آورد. با توجه به آنکه سرعت دورانی روتور در حدود ۱,۵ rps می باشد و با لحاظ ۴ پره ، فرکانس تحریک به ۶ تا ۷ می رسد ، نتایج محاسبات نشان می دهد که اولین فرکانس طبیعی تحریک در حدود ۱۱HZ بوده و از محدوده تحریک بالاتر است ، در صورت استفاده از تقویت کننده ها خطری در تحریک سازه وجود نخواهد داشت.

۴-۲- نتایج آنالیز تنشها در مدل روکش کامپوزیتی

۴-۲-۱- محاسبه تنشهای ناشی از باد وارده برجداره های برج خنک کننده

نتایج حاکی از تأثیر کم جریان باد بر روی برج می باشد. و حداکثر جابجایی در نوک برج و در حدود

(1mm) بواسطه جریان باد (30m/s) (108km/h) ایجاد شده است. همچنین بیشترین تنش در کمر برج

و کمتر از 6Mpa می باشد.

| | | |
|---------------------|-----------------|----------------------|
| در نقاط انتهایی برج | 0.001m | ماکزیمم جابجایی سازه |
|---------------------|-----------------|----------------------|

مقادیر ماکزیمم تنش در جدول زیر آورده شده است:

| | |
|------------------|----------------------------|
| 4.29Mpa | تنش اصلی اول |
| 3.16Mpa | تنش اصلی دوم |
| 5.56Mpa | تنش اصلی سوم |
| 4.28Mpa | تنش در جهت وزش |
| 0.94Mpa | تنش در جهت عمود بر وزش باد |
| 5.51Mpa | تنش فون مایزر |

۴-۲-۲- نتایج تحلیل بار وزن در حالت طرح روکش کامپوزیتی

نتایج نشان می دهند که تنش های ناشی از بار وزنی نیز کم بوده و کمتر از 8Mpa می باشند که در

مقایسه با مقاومت سازه بسیار کم می باشند.

| Mpa | نوع تنش |
|--------|---|
| 2.2 | تنش های محوری ایجاد شده ناشی از بارگذاری وزن برج |
| 7.67 | تنش ون مایزر ایجاد شده ناشی از بارگذاری وزن برج |
| 0.27 | تنش ایجاد شده ناشی از وزن در محل پیچهای اتصال صفحات دیفیوزر |
| 0.85 | تنشهای ون مایزر ایجاد شده ناشی از وزن در محل پیچهای اتصال صفحات دیفیوزر |

۴-۲-۳- تحلیل تنشهای ناشی از زلزله در طرح روکش کامپوزیتی

در این بارگذاری نیز بیشترین تنش در ناحیه کمر برج اتفاق می افتد و در نتیجه در طراحی می بایست ضخامت ورق در این قسمت را افزایش داد و یا ورقهایی در ناحیه مورد نظر از داخل به بدنه برج جوش داده شود. تنش ماکزیمم در کمر برج و در حدود (۵۲Mpa) می باشد.

| نوع تنش | ماکزیمم | مینیمم |
|----------------------|----------------------|----------------------|
| تنش برشی τ_{xy} | ماکزیمم تنش ۳۷۵ Mpa | مینیمم تنش ۳۲/۲ Mpa- |
| تنش ون مایرز | ماکزیمم تنش ۵۲/۳ Mpa | مینیمم تنش ۴۵ Mpa- |
| تنش برشی τ_{yz} | ماکزیمم تنش ۲۶/۷ Mpa | مینیمم تنش ۲۶/۷ Mpa- |
| تنش در راستای X | ماکزیمم تنش ۴۲/۷ Mpa | مینیمم تنش ۴۲/۷ Mpa- |

۴-۲-۴ - ارائه نتایج تحلیل ارتعاشاتی در حالت طرح روکش کامپوزیتی

فرکانسهای طبیعی سازه در حالت طرح روکش کامپوزیتی در جدول زیر آورده شده است.

| | |
|--------------|-----------|
| فرکانس اول | ۱۰/۷۱ Hz |
| فرکانس دوم | ۱۵/۰۳ Hz |
| فرکانس سوم | ۲۲/۹۱۳ Hz |
| فرکانس چهارم | ۳۱/۳۲ Hz |
| فرکانس پنجم | ۵۳/۶ Hz |

فصل پنجم

بررسی طرح از نظر قیمت

مقایسه طرح های موجود

۵- مقایسه و انتخاب انواع مواد کامپوزیتی از لحاظ اقتصادی و خواص مکانیکی

مطابق آنچه با استفاده از اطلاعات شرکتهای تولید کننده و وارد کننده کامپوزیتی بدست آمد، مشخص شد که مواد کامپوزیتی موجود در بازار با داشتن مشخصات و خواص ضد حرارت و رطوبت به شرح زیر می باشد:

۱- رزین پلی استر با کاربرد های عمومی

این رزینها دارای انواع مختلفی و متنوعی می باشند. هزینه هر کیلو رزین پلی استر با کاربرد های عمومی بین ۲ تا ۵ هزار تومان می باشد.

۲- رزین اپوکسی با کاربرد های عمومی

این رزینها در بازار دارای انواع مختلف و متنوعی است که به عنوان مثال ؛ هزینه هر کیلو رزین اپوکسی با کاربرد های عمومی بین ۷ تا ۱۳ هزار تومان و هزینه هر کیلو گرم اپوکسی آلمانی بین ۲۵-۳۵ هزار تومان است.

۳- الیاف شیشه ریز بافت دو جهته

هر کیلو گرم الیاف شیشه ریز بافت دو جهته بین ۲ تا ۱۰ هزار تومان است .

۴- هر کیلو گرم الیاف شیشه ریز بافت تک جهته

هر کیلو گرم الیاف شیشه ریز بافت تک جهته بین ۱۰ تا ۴۰ هزار تومان است.

۵- الیاف شیشه Mat

هزینه هر کیلو الیاف شیشه Mat بین ۲ تا ۳ هزار تومان می باشد

۶- الیاف کربن و کولار

هزینه هر کیلو گرم الیاف کربن و کولار حدوداً " ۳۰ برابر الیاف شیشه است.

با مد نظر قرار دادن تنوع الیاف و رزین و در نظر گرفتن خواص مکانیکی و حرارتی و رطوبتی، و نیز در نظر گرفتن هزینه اقتصادی طرح، از الیاف شیشه و رزین پلی استر در این طرح استفاده می شود. عموماً از الیاف شیشه/پلی استر در اکثر پروژه های صنعتی از قبیل چیلرها و برجهای خنک کننده استفاده می شود. از آنجاییکه در انتخاب رزین پلی استر نیز گزینه های متعددی وجود دارد، انتخاب رزین بر اساس پارامترهای حداکثر دمای کارکرد، حداقل درصد جذب رطوبت، مقاومت مکانیکی مناسب و هزینه اقتصادی و.. صورت می گیرد. با توجه به جدول ضمیمه و مشاوره با تولیدکنندگان، رزین پلی استر مقاوم به رطوبت و دما ساخت کارخانه اشلند انتخاب شده است.

برای انتخاب الیاف شیشه مناسب مشخصه هایی از قبیل استحکام مکانیکی، درصد جذب رطوبت و هزینه در نظر گرفته شده است. از میان الیاف موجود، الیاف دوجهته و Mat شیشه و از رده متوسط با حداقل مقاومت ۲۰۰ کیلو پاسکال برای این پروژه انتخاب می شود.

در مرحله ساخت بین هر سه لایه الیاف دوجهته از یک لایه الیاف Mat استفاده می شود. بر اساس نوع رزین و الیاف انتخاب شده هزینه تقریبی هر کیلوگرم ماده مرکب با در نظر گرفتن افزودنیهای دیگر ۳۵۰۰۰ تومان برآورد می شود. با توجه به شکل دیفیوزرهای برج خنک کن برای ساخت قالب قطعات کامپوزیتی می توان بسته به تعداد دفعات استفاده، از یک قالب فلزی یا کامپوزیتی استفاده کرد که معمولاً استفاده از قالبهای کامپوزیتی مقرون به صرفه است. هزینه هر کیلوگرم کامپوزیت ساخت قالب حدوداً ۳۵۰۰۰ تومان برآورد می شود.

۵-۲- برآورد هزینه مدل‌های روکش کامپوزیتی

جدول ۵-۲-۱- برآورد هزینه روکش کامپوزیتی glass/polyst دیفیوزر برج خنک کننده نیروگاه رامین اهواز

برای ماده مرکب از جنس پلی استر/شیشه معمولی (کیلویی ۱۰۵۰۰ تومان)

| نام قطعه | تعداد | جنس قطعه | مساحت قطعه (متر مربع) | وزن قطعه (ton) | قیمت کل (میلیون تومان) |
|---|-------|----------------|--------------------------|-------------------|---------------------------|
| صفحه ۲۲۴ | ۴۷ | Steel | ۴۷×۳/۴۲۸ | | فولاد موجود |
| صفحه ۲۲۵ | ۸ | Steel | ۸×۳/۴۲۸ | | فولاد موجود |
| صفحه ۲۲۶ | ۸ | Steel | ۸×۳/۴۲۸ | | فولاد موجود |
| صفحه ۲۲ | ۱ | Steel | ۸×۳/۴۲۸ | | فولاد موجود |
| صفحه ۲۱ | ۸ | Steel | ۸×۳/۴۲۸ | | فولاد موجود |
| صفحه ۲۳ | ۱ | Steel | ۸×۳/۴۲۸ | | فولاد موجود |
| صفحات نگهدارنده بالا | ۷۴ | Steel | ۷۴×۰/۱۰۶۹ | | فولاد موجود |
| صفحات نگهدارنده پایین | ۷۴ | Steel | ۷۴×۰/۱۱۲۷ | | فولاد موجود |
| صفحات نگهدارنده کناری | ۷۳ | Steel | ۷۳×۰/۱۵۰۶۸ | | فولاد موجود |
| محاسبه وزن کل سطح دیفیوزر برای فولاد | | | ۳۰۵/۶۸ | | |
| | | | ۳۰۵/۶۸ × ۱/۳ | ۲۴/۸ | |
| صفحه ۲۲۴ | ۴۷ | Glass/Polyster | ۴۷×۳/۴۲۸ | | |
| صفحه ۲۲۵ | ۸ | Glass/Polyster | ۸×۳/۴۲۸ | | |
| صفحه ۲۲۶ | ۸ | Glass/Polyster | ۸×۳/۴۲۸ | | |
| صفحه ۲۲ | ۱ | Glass/Polyster | ۸×۳/۴۲۸ | | |
| صفحه ۲۱ | ۸ | Glass/Polyster | ۸×۳/۴۲۸ | | |
| صفحه ۲۳ | ۱ | Glass/Polyster | ۸×۳/۴۲۸ | | |
| صفحات نگهدارنده بالا | ۷۴ | Glass/Polyster | ۷۴×۰/۱۰۶۹ | | |
| صفحات نگهدارنده پایین | ۷۴ | Glass/Polyster | ۷۴×۰/۱۱۲۷ | | |
| صفحات نگهدارنده کناری | ۷۳ | Glass/Polyster | ۷۳×۰/۱۵۰۶۸ | | |
| محاسبه وزن کل سطح دیفیوزر برای کامپوزیت | | | ۳۹۷/۴ | ۱/۱۴۴۵ | ۱۲ |

قیمت بر اساس رزین Glass/Polyster کیلویی ۱۰,۵ هزار تومان

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|-----------------|
| هزینه مونتاژ و آب بندی | | | | | ۸-۱۰ |
| هزینه اتصالات | | | | | ۵-۳ |
| هزینه سند بلاست کردن سطوح | | | | | ۱۰-۸ |
| هزینه پیش بینی نشده (حمل و نقل و اتصالات و.....) | | | | | به عهده کارفرما |
| قیمت کل | | | | | ۳۷-۳۱ |

جدول ۲-۲-۵- برآورد هزینه روکش کامپوزیتی glass/polystere دیفیوزر برج خنک کننده نیروگاه رامین اهواز

برای ماده مرکب از جنس اپوکسی معمولی / الیاف شیشه معمولی (کیلویی ۱۳۰۰۰ تومان)

| نام قطعه | تعداد | جنس قطعه | مساحت قطعه (متر مربع) | وزن قطعه (ton) | قیمت کل (میلیون تومان) |
|---|-------|-------------|--------------------------|-------------------|---------------------------|
| صفحه ۲۲۴ | ۴۷ | Steel | ۴۷×۳/۴۲۸ | | فولاد موجود |
| صفحه ۲۲۵ | ۸ | Steel | ۸×۳/۴۲۸ | | فولاد موجود |
| صفحه ۲۲۶ | ۸ | Steel | ۸×۳/۴۲۸ | | فولاد موجود |
| صفحه ۲۲ | ۱ | Steel | ۸×۳/۴۲۸ | | فولاد موجود |
| صفحه ۲۱ | ۸ | Steel | ۸×۳/۴۲۸ | | فولاد موجود |
| صفحه ۲۳ | ۱ | Steel | ۸×۳/۴۲۸ | | فولاد موجود |
| صفحات نگهدارنده بالا | ۷۴ | Steel | ۷۴×۰.۰۶۹ | | فولاد موجود |
| صفحات نگهدارنده پایین | ۷۴ | Steel | ۷۴×۰.۱۲۷ | | فولاد موجود |
| صفحات نگهدارنده کناری | ۷۳ | Steel | ۷۳×۰.۱۵۰۶۸ | | فولاد موجود |
| محاسبه وزن کل سطح دیفیوزر برای فولاد | | | ۳۰۵/۶۸ | | |
| | | | ۳۰۵/۶۸ × ۱/۳ | ۲۴/۸ | |
| صفحه ۲۲۴ | ۴۷ | Glass/Epoxy | ۴۷×۳/۴۲۸ | | |
| صفحه ۲۲۵ | ۸ | Glass/Epoxy | ۸×۳/۴۲۸ | | |
| صفحه ۲۲۶ | ۸ | Glass/Epoxy | ۸×۳/۴۲۸ | | |
| صفحه ۲۲ | ۱ | Glass/Epoxy | ۸×۳/۴۲۸ | | |
| صفحه ۲۱ | ۸ | Glass/Epoxy | ۸×۳,۴۲۸ | | |
| صفحه ۲۳ | ۱ | Glass/Epoxy | ۸×۳/۴۲۸ | | |
| صفحات نگهدارنده بالا | ۷۴ | Glass/Epoxy | ۷۴×۰.۰۶۹ | | |
| صفحات نگهدارنده پایین | ۷۴ | Glass/Epoxy | ۷۴×۰.۱۲۷ | | |
| صفحات نگهدارنده کناری | ۷۳ | Glass/Epoxy | ۷۳×۰.۱۵۰۶۸ | | |
| محاسبه وزن کل سطح دیفیوزر برای کامپوزیت | | | ۳۹۷/۴ | ۱/۱۴۴۵ | ۱۵ |

قیمت بر اساس رزین Glass/Polyster کیلویی ۱۳ هزار تومان

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|-----------------|
| هزینه مونتاز و آب بندی | | | | | ۸-۱۰ |
| هزینه اتصالات | | | | | ۵-۳ |
| هزینه سند بلاست کردن سطوح | | | | | ۱۰-۸ |
| هزینه پیش بینی نشده (حمل و نقل و اتصالات و.....) | | | | | به عهده کارفرما |
| قیمت کل | | | | | ۴۰-۳۴ |

جدول ۳-۲-۵- برآورد هزینه روکش کامپوزیتی Glass/Epoxy دیفیوزر برج خنک کننده نیروگاه رامین اهواز

برای ماده مرکب از جنس اپوکسی آلمانی / الیاف شیشه آلمانی (کیلویی ۴۰۰۰۰ تومان)

| نام قطعه | تعداد | جنس قطعه | مساحت قطعه (متر مربع) | وزن قطعه (ton) | قیمت کل (میلیون تومان) |
|---|-------|--------------|--------------------------|-------------------|---------------------------|
| صفحه ۲۲۴ | ۴۷ | Steel | ۴۷×۳/۴۲۸ | | فولاد موجود |
| صفحه ۲۲۵ | ۸ | Steel | ۸×۳/۴۲۸ | | فولاد موجود |
| صفحه ۲۲۶ | ۸ | Steel | ۸×۳/۴۲۸ | | فولاد موجود |
| صفحه ۲۲ | ۱ | Steel | ۸×۳/۴۲۸ | | فولاد موجود |
| صفحه ۲۱ | ۸ | Steel | ۸×۳/۴۲۸ | | فولاد موجود |
| صفحه ۲۳ | ۱ | Steel | ۸×۳/۴۲۸ | | فولاد موجود |
| صفحات نگهدارنده بالا | ۷۴ | Steel | ۷۴×۰/۰۶۹ | | فولاد موجود |
| صفحات نگهدارنده پایین | ۷۴ | Steel | ۷۴×۰/۱۲۷ | | فولاد موجود |
| صفحات نگهدارنده کناری | ۷۳ | Steel | ۷۳×۰/۱۵۰۶۸ | | فولاد موجود |
| محاسبه وزن کل سطح دیفیوزر برای فولاد | | | ۳۰۵/۶۸ | | |
| | | ۳۰۵/۶۸ × ۱/۳ | ۳۹۷/۴ | ۲۴/۸ | |
| صفحه ۲۲۴ | ۴۷ | Glass/Epoxy | ۴۷×۳/۴۲۸ | | |
| صفحه ۲۲۵ | ۸ | Glass/Epoxy | ۸×۳/۴۲۸ | | |
| صفحه ۲۲۶ | ۸ | Glass/Epoxy | ۸×۳/۴۲۸ | | |
| صفحه ۲۲ | ۱ | Glass/Epoxy | ۸×۳/۴۲۸ | | |
| صفحه ۲۱ | ۸ | Glass/Epoxy | ۸×۳/۴۲۸ | | |
| صفحه ۲۳ | ۱ | Glass/Epoxy | ۸×۳/۴۲۸ | | |
| صفحات نگهدارنده بالا | ۷۴ | Glass/Epoxy | ۷۴×۰/۰۶۹ | | |
| صفحات نگهدارنده پایین | ۷۴ | Glass/Epoxy | ۷۴×۰/۱۲۷ | | |
| صفحات نگهدارنده کناری | ۷۳ | Glass/Epoxy | ۷۳×۰/۱۵۰۶۸ | | |
| محاسبه وزن کل سطح دیفیوزر برای کامپوزیت | | | ۳۹۷/۴ | ۱/۱۴۴۵ | ۴۵,۸ |

| قیمت بر اساس رزین Glass/Polyster کیلویی ۴۰ هزار تومان | | | | | |
|---|--|--|--|--|-----------------|
| هزینه مونتاژ و آب بندی | | | | | ۸-۱۰ |
| هزینه اتصالات | | | | | ۵-۳ |
| هزینه سند بلاست کردن سطوح | | | | | ۱۰-۸ |
| هزینه پیش بینی نشده (حمل و نقل و اتصالات و.....) | | | | | به عهده کارفرما |
| قیمت کل | | | | | ۵۸-۷۱ |

۳-۵- برآورد هزینه مدل‌های کاملاً کامپوزیتی

جدول ۱-۳-۵- برآورد هزینه مدل کامل کامپوزیتی glass/polystere دودکش برج خنک کننده نیروگاه رامین اهواز

برای ماده مرکب از جنس پلی استر/شیشه معمولی (کیلویی ۱۰۰۰۰ تومان)

| نام قطعه | تعداد | جنس قطعه | مساحت قطعه (متر مربع) | وزن قطعه (ton) | قیمت کل (میلیون تومان) |
|---|-------|----------------|--------------------------|-------------------|---------------------------|
| صفحه ۲۲۴ | ۴۷ | Glass/Polyster | ۴۷×۳/۴۲۸ | | |
| صفحه ۲۲۵ | ۸ | Glass/Polyster | ۸×۳/۴۲۸ | | |
| صفحه ۲۲۶ | ۸ | Glass/Polyster | ۸×۳/۴۲۸ | | |
| صفحه ۲۲ | ۱ | Glass/Polyster | ۸×۳/۴۲۸ | | |
| صفحه ۲۱ | ۸ | Glass/Polyster | ۸×۳/۴۲۸ | | |
| صفحه ۲۳ | ۱ | Glass/Polyster | ۸×۳/۴۲۸ | | |
| صفحات نگهدارنده بالا | ۷۴ | Glass/Polyster | ۷۴×۰/۱۰۶۹ | | |
| صفحات نگهدارنده پایین | ۷۴ | Glass/Polyster | ۷۴×۰/۱۱۲۷ | | |
| صفحات نگهدارنده کناری | ۷۳ | Glass/Polyster | ۷۳×۰/۱۵۰۶۸ | | |
| محا سبه وزن کل سطح دیفیوزر برای کامپوزیت Glass/Polyster | | | ۲۰۵/۶۸ | ۴/۴۰۱۹ | |
| | | ۴/۴۰۱۹ × ۱/۳ | ۳۹۷/۴ | ۵/۷۲۲ | ۵۷/۲۲ |
| مساحت کل قسمت بالای دیفیوزر | | | ۴۰/۱۵ | ۵/۷۸ | |
| در نظر گرفتن ضریب اطمینان برای خطای محاسباتی معادل ۱.۳ | | | ۴/۴۰۱۹ × ۱/۳ | ۷/۵۱۶ | ۷۵/۱۶ |
| هزینه قالب صفحات دیفیوزر | | | | | ۸ |
| هزینه قالب گاوگاه دود کش | | | | | ۴ |
| هزینه قالب قسمت پایینی نازل | | | | | ۲ |
| هزینه قالب قسمت بالایی نازل | | | | | ۲ |
| هزینه مونتاژ و آب بندی | | | | | ۸-۶ |
| هزینه اتصالات | | | | | ۸-۶ |
| هزینه پیش بینی نشده (حمل و نقل و اتصالات و...) | | | | | به عهده کارفرما |
| قیمت کل | | | | | ۱۶۲-۱۶۰ |

جدول ۲-۳-۵- برآورد هزینه مدل کامل کامپوزیتی glass/polystere دودکش برج خنک کننده نیروگاه رامین اهواز

برای ماده مرکب از جنس فیبر الیاف شیشه معمولی (کیلویی ۱۳۰۰۰ تومان)

| نام قطعه | تعداد | جنس قطعه | مساحت قطعه (متر مربع) | وزن قطعه (ton) | قیمت کل (میلیون تومان) |
|--|-------|---------------------|--------------------------|-------------------|---------------------------|
| صفحه ۲۲۴ | ۴۷ | Glass/Polyster | | | |
| صفحه ۲۲۵ | ۸ | Glass/Polyster | | | |
| صفحه ۲۲۶ | ۸ | Glass/Polyster | | | |
| صفحه ۲۲ | ۱ | Glass/Polyster | | | |
| صفحه ۲۱ | ۸ | Glass/Polyster | | | |
| صفحه ۲۳ | ۱ | Glass/Polyster | | | |
| صفحات نگهدارنده بالا | ۷۴ | Glass/Polyster | | | |
| صفحات نگهدارنده پایین | ۷۴ | Glass/Polyster | | | |
| صفحات نگهدارنده کناری | ۷۳ | Glass/Polyster | | | |
| محاسبه وزن کل سطح دیفیوزر برای کامپوزیت Glass/Polyster | | | ۳۰۵/۶۸ | ۴/۴۰۱۹ | |
| | | $۴/۴۰۱۹ \times ۱/۳$ | ۳۹۷/۴ | ۵/۷۲۲ | ۷۴/۳۸ |
| مساحت کل قسمت بالایی دیفیوزر | | | ۴۰۱/۵ | ۵/۷۸ | |
| در نظر گرفتن ضریب اطمینان برای خطای محاسباتی معادل ۱,۳ | | | $۴/۴۰۱۹ \times ۱/۳$ | ۷/۵۱۶ | ۹۷/۷ |
| هزینه قالب صفحات دیفیوزر | | | | | ۸ |
| هزینه قالب گاوگاه دودکش | | | | | ۴ |
| هزینه قالب قسمت پایینی نازل | | | | | ۲ |
| هزینه قالب قسمت بالایی نازل | | | | | ۲ |
| هزینه مونتاژ و آب بندی | | | | | ۸-۶ |
| هزینه اتصالات | | | | | ۸-۶ |
| هزینه پیش بینی نشده (حمل و نقل و اتصالات و...) | | | | | به عهده کارفرما |
| قیمت کل | | | | | ۲۰۲ |

جدول ۳-۳-۵- برآورد هزینه مدل کامل کامپوزیت glass/polyster دودکش برج خنک کننده نیروگاه رامین اهواز

برای ماده مرکب از جنس اپوکسی آلمانی/الیاف شیشه آلمانی (کیلویی ۰۰۰ آتومار)

| نام قطعه | تعداد | جنس قطعه | مساحت قطعه (متر مربع) | وزن قطعه (ton) | قیمت کل (میلیون تومان) |
|--|-------|----------------|--------------------------|-------------------|---------------------------|
| صفحه ۲۲۴ | ۴۷ | Glass/Polyster | | | |
| صفحه ۲۲۵ | ۸ | Glass/Polyster | | | |
| صفحه ۲۲۶ | ۸ | Glass/Polyster | | | |
| صفحه ۲۲ | ۱ | Glass/Polyster | | | |
| صفحه ۲۱ | ۸ | Glass/Polyster | | | |
| صفحه ۲۳ | ۱ | Glass/Polyster | | | |
| صفحات نگهدارنده بالا | ۷۴ | Glass/Polyster | | | |
| صفحات نگهدارنده پایین | ۷۴ | Glass/Polyster | | | |
| صفحات نگهدارنده کناری | ۷۲ | Glass/Polyster | | | |
| محاسبه وزن کل سطح دیفیوزر برای کامپوزیت Glass/Polyster | | | ۳۹۷/۴ | ۱/۱۴۴۵ | ۴۵/۸ |
| مساحت کل قسمت بالای دیفیوزر | | | ۴۰۱/۵ | ۵/۷۸ | |
| در نظر گرفتن ضریب اطمینان برای خطای محاسباتی معادل ۱.۳ | | | ۴/۴۰۱۹ x ۱/۳ | ۷/۵۱۶ | ۳۰۱/۶ |
| هزینه قالب صفحات دیفیوزر | | | | | ۸ |
| هزینه قالب گاوگاه دود کش | | | | | ۴ |
| هزینه قالب قسمت پایینی نازل | | | | | ۲ |
| هزینه قالب قسمت بالایی نازل | | | | | ۲ |
| هزینه مونتاژ و آب بندی | | | | | ۸-۶ |
| هزینه اتصالات | | | | | ۸-۶ |
| هزینه پیش بینی نشده (حمل و نقل و اتصالات و...) | | | | | به عهده کارفرما |
| قیمت کل | | | | | ۳۸۰ - ۳۷۵ |

فصل ششم

ارائه طرح نهایی

۱-۶- مدل روکش کامپوزیتی و هزینه آن

جدول ۲- برآورد هزینه مدل کامل کامپوزیتی glass/polystere دودکش برج خنک کننده نیروگاه رامین اهواز

برای ماده مرکب از جنس پلی استر/شیشه معمولی (کیلویی ۱۰۰۰۰ تومان)

| نام قطعه | تعداد | جنس قطعه | مساحت قطعه (متر مربع) | وزن قطعه (ton) | قیمت کل (میلیون تومان) |
|---|-------|----------------|--------------------------|-------------------|---------------------------|
| صفحه ۲۲۴ | ۴۷ | Glass/Polyster | ۴۷×۳/۴۲۸ | | |
| صفحه ۲۲۵ | ۸ | Glass/Polyster | ۸×۳/۴۲۸ | | |
| صفحه ۲۲۶ | ۸ | Glass/Polyster | ۸×۳/۴۲۸ | | |
| صفحه ۲۲ | ۱ | Glass/Polyster | ۸×۳/۴۲۸ | | |
| صفحه ۲۱ | ۸ | Glass/Polyster | ۸×۳/۴۲۸ | | |
| صفحه ۲۳ | ۱ | Glass/Polyster | ۸×۳/۴۲۸ | | |
| صفحات نگهدارنده بالا | ۷۴ | Glass/Polyster | ۷۴×۰/۰۶۹ | | |
| صفحات نگهدارنده پایین | ۷۴ | Glass/Polyster | ۷۴×۰/۱۲۷ | | |
| صفحات نگهدارنده کناری | ۷۳ | Glass/Polyster | ۷۳×۰/۱۵۰۶۸ | | |
| محا سبه وزن کل سطح دیفیوزر برای کامپوزیت Glass/Polyster | | | ۳۰۵/۶۸ | ۴/۴۰۱۹ | |
| | | ۴/۴۰۱۹ × ۱/۳ | ۳۹۷/۴ | ۵/۷۲۲ | ۵۷/۲۲ |
| مساحت کل قسمت بالای دیفیوزر | | | ۴۰۱/۵ | ۵/۷۸ | |
| ضریب اطمینان برای خطای محاسباتی معادل ۱,۳ | | | ۴/۴۰۱۹ × ۱/۳ | ۷/۵۱۶ | ۷۵/۱۶ |
| هزینه قالب صفحات دیفیوزر | | | | | ۸ |
| هزینه قالب گاوگاه دود کش | | | | | ۴ |
| هزینه قالب قسمت پایینی نازل | | | | | ۲ |
| هزینه قالب قسمت بالایی نازل | | | | | ۲ |
| هزینه مونتاژ و آب بندی | | | | | ۸-۶ |
| هزینه اتصالات | | | | | ۸-۶ |
| هزینه پیش بینی نشده (حمل و نقل و اتصالات و...) | | | | | به عهده کارفرما |
| قیمت کل | | | | | ۱۶۲-۱۶۰ |

۲-۶- برآورد هزینه مدل‌های روکش کامپوزیتی

جدول ۲- برآورد هزینه روکش کامپوزیتی - glass/polyster دیفیوزر برج خنک کننده نیروگاه رامین اهواز

برای ماده مرکب از جنس پلی استر/شیشه معمولی (کیلویی ۱۰۵۰۰ تومان)

| نام قطعه | تعداد | جنس قطعه | مساحت قطعه (متر مربع) | وزن قطعه (ton) | قیمت کل (میلیون تومان) |
|---|-------|---------------------|--------------------------|-------------------|---------------------------|
| صفحه ۲۲۴ | ۴۷ | Steel | ۴۷×۳/۴۲۸ | | فولاد موجود |
| صفحه ۲۲۵ | ۸ | Steel | ۸×۳/۴۲۸ | | فولاد موجود |
| صفحه ۲۲۶ | ۸ | Steel | ۸×۳/۴۲۸ | | فولاد موجود |
| صفحه ۲۲ | ۱ | Steel | ۸×۳/۴۲۸ | | فولاد موجود |
| صفحه ۲۱ | ۸ | Steel | ۸×۳/۴۲۸ | | فولاد موجود |
| صفحه ۲۳ | ۱ | Steel | ۸×۳/۴۲۸ | | فولاد موجود |
| صفحات نگهدارنده بالا | ۷۴ | Steel | ۷۴×۰/۱۰۶۹ | | فولاد موجود |
| صفحات نگهدارنده پایین | ۷۴ | Steel | ۷۴×۰/۱۱۲۷ | | فولاد موجود |
| صفحات نگهدارنده کناری | ۷۳ | Steel | ۷۳×۰/۱۵۰۶۸ | | فولاد موجود |
| محاسبه وزن کل سطح دیفیوزر برای فولاد | | | ۳۰۵/۶۸ | | |
| | | $۳۰۵/۶۸ \times ۱/۳$ | ۳۹۷,۴ | ۲۴/۸ | |
| صفحه ۲۲۴ | ۴۷ | Glass/Polyster | ۴۷×۳/۴۲۸ | | |
| صفحه ۲۲۵ | ۸ | Glass/Polyster | ۸×۳/۴۲۸ | | |
| صفحه ۲۲۶ | ۸ | Glass/Polyster | ۸×۳/۴۲۸ | | |
| صفحه ۲۲ | ۱ | Glass/Polyster | ۸×۳/۴۲۸ | | |
| صفحه ۲۱ | ۸ | Glass/Polyster | ۸×۳/۴۲۸ | | |
| صفحه ۲۳ | ۱ | Glass/Polyster | ۸×۳/۴۲۸ | | |
| صفحات نگهدارنده بالا | ۷۴ | Glass/Polyster | ۷۴×۰/۱۰۶۹ | | |
| صفحات نگهدارنده پایین | ۷۴ | Glass/Polyster | ۷۴×۰/۱۱۲۷ | | |
| صفحات نگهدارنده کناری | ۷۳ | Glass/Polyster | ۷۳×۰/۱۵۰۶۸ | | |
| محاسبه وزن کل سطح دیفیوزر برای کامپوزیت | | | ۳۹۷/۴ | ۱/۱۴۴۵ | ۱۲ |

قیمت بر اساس رزین Glass/Polyster کیلویی ۱۰۵۰۰ تومان

| | | | | | |
|---|--|--|--|--|-----------------|
| هزینه مونتاژ و آب بندی | | | | | ۸-۱۰ |
| هزینه اتصالات | | | | | ۵-۳ |
| هزینه سند بلاست کردن سطوح | | | | | ۱۰-۸ |
| هزینه پیش بینی نشده (حمل و نقل و اتصالات و....) | | | | | به عهده کارفرما |
| قیمت کل | | | | | ۳۷-۳۱ |

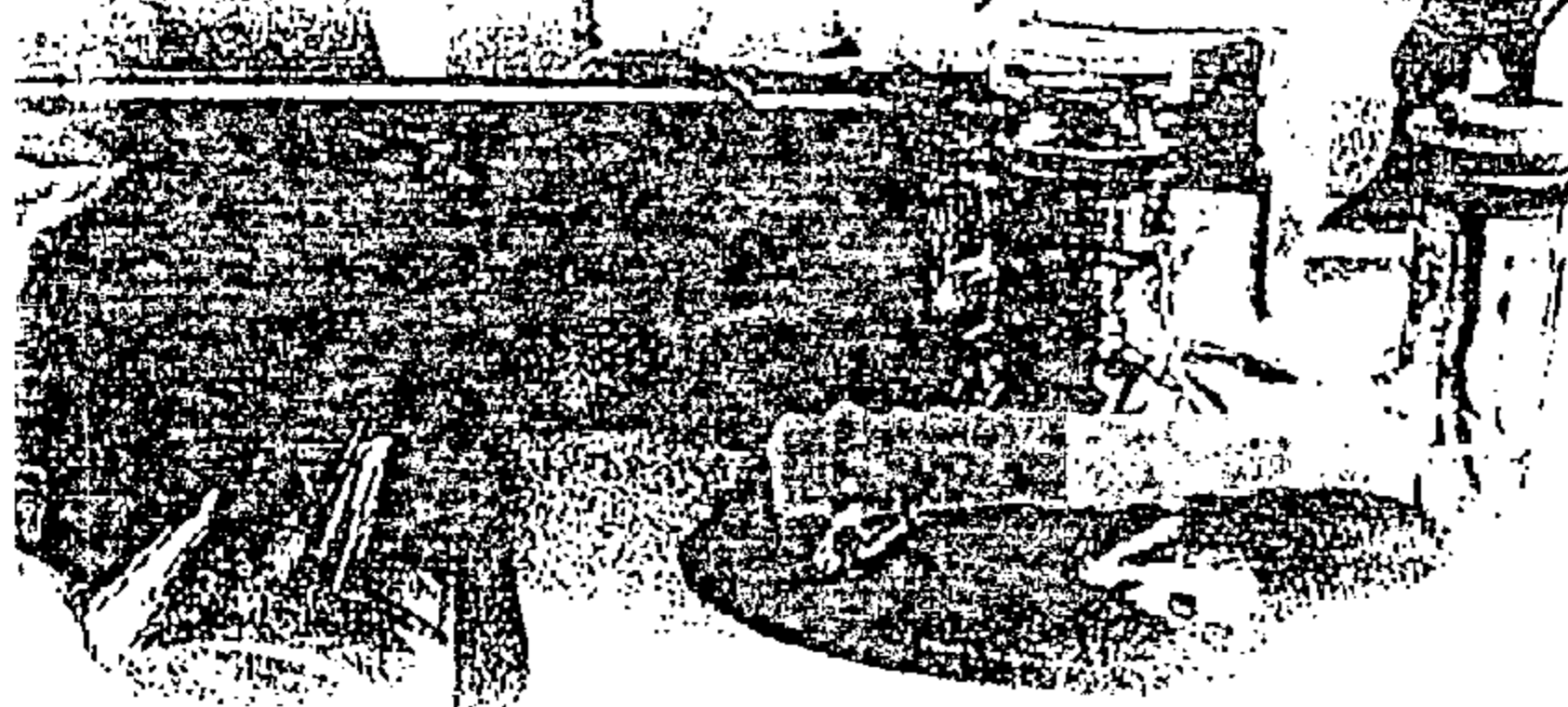
قیمت بر اساس رزین Glass/Polyster کیلویی ۱۰,۵ هزار تومان

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|-----------------|
| هزینه مونتاژ و آب بندی | | | | | ۸-۱۰ |
| هزینه اتصالات | | | | | ۵-۳ |
| هزینه سند بلاست کردن سطوح | | | | | ۱۰-۸ |
| هزینه پیش بینی نشده (حمل و نقل و اتصالات و...) | | | | | به عهده کارفرما |
| قیمت کل | | | | | ۳۷-۳۱ |

لیست برخی از تولید و توزیع
کنندگان مواد مرکب در
کشور

اطلاعات فنی شرکت وشم

VASHM



اطلاعات فنی

رزین پلی استر غیر اشباع GRP 196

نگارش: دو

صفحه: ۱ از ۲

دبج یک

خواص و کاربرد

رزین پلی استر غیر اشباع GRP 196 بر پایه ارتوفتالیک انیدرید می باشد که در مخلوط با استایرین منومر به نسبت ۶۱ تا ۶۵ درصد وزنی عرضه می شود. این رزین دارای خواص مکانیکی عالی بوده و مناسب برای صنایع فایبر گلاس و قالب گیری های تقویت شده است. ویسکوزیته، فعالیت متوسط گیرایی از شاخص های این رزین می باشد که کاربرد آن را در صنایع فایبر گلاس مناسب می سازد و موجب نفوذ پذیری عالی در میان الیاف می شود.

خواص فیزیکی رزین مایع

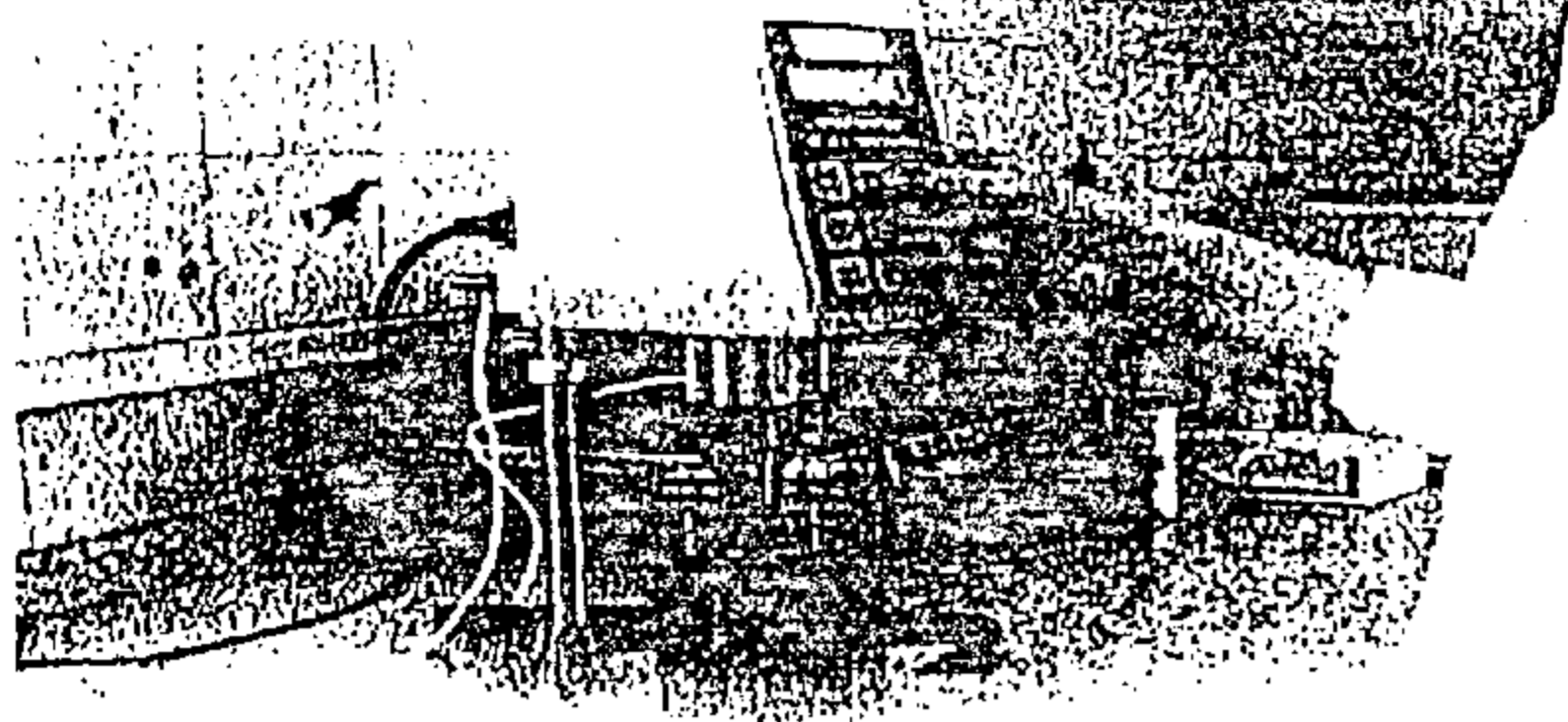
| | | |
|--------------------|-----------|----------------------------------|
| Sec | ۷۷-۸۵ | ۱- ویسکوزیته با فرود کاپ شماره ۴ |
| % | ۳۵-۳۹ | ۲- مقدار استایرین منومر |
| mgKOH/gr | ۳۵-۴۰ | ۳- درجه اسیدی |
| gr/cm ³ | ۱/۰۸-۱/۱۳ | ۴- وزن مخصوص |
| ماه | ۶ | ۵- عمر مفید انبارداری |

(در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد به دور از نور مستقیم آفتاب)

مشخصات رزین سخت شده (بدون فیلر و فایبر گلاس)

برای انجام آزمون های زیر ابتدا رزین با محلول کبالت ۱۰٪ (معادل ۰/۱۰۵ وزنی رزین) و MEKP ۵۰٪ (معادل ۰/۱۰۵ وزنی رزین) کیور شده و پس از ۹۶ ساعت قطعه مورد آزمایش قرار می گیرد.

| | | | |
|-----------|---------|------------|--|
| ISO 868 | SHORE D | ۷۵-۹۵ | ۱- سختی |
| — | BARCOL | ۳۵-۵۵ | ۲- سختی |
| ISO 527-1 | MPa | ۵۰ Min | ۳- استحکام کششی |
| ISO 527-1 | % | ۲/۵-۴ | ازدباده طول در نقطه شکست |
| ISO 75-1 | °C | ۶۳-۷۳ | ۴- درجه حرارت تغییر شکل خمشی تحت بار (HDT) |
| — | % | حداکثر ۲/۱ | ۵- جمع شدگی طولی |
| — | % | حداکثر ۰/۳ | ۶- جذب آب (۲۴ ساعت در آب در دمای محیط) |



اطلاعات فنی

رزین پلی استر غیر اشباع پل یشم GRP 600

نگارش: یک

صفحه: ۲ از ۲

ویژگی گیرایی (مرحله کیورینگ)

جهت کاربرد آسان، در فصول مختلف و شرایط آب و هوایی گوناگون این رزین در دو نوع ویژگی گیرایی (نوع A و B) عرضه می شود.

آزمون ها در دمای ۲۵°C، با ۱/۱۰۵ وزنی رزین کبالت ۱۰٪ و ۱/۱۰۵ وزنی رزین MEKP ۵۰٪ انجام می شود. آزمون های CURING TIME, POT LIFE و ماکزیموم دما بر اساس استاندارد DIN 16945 بند 6.2.2.2 و آزمون GEL TIME بر اساس همین استاندارد بند 6.3.1.1 و با دستگاه GELNORM نوع GEL TIMER-TC انجام شده است.

| | نوع B | نوع A | |
|----|-------------|--------|------------------------------|
| ۱- | ۱۵-۲۳ دقیقه | ۲۳-۳۰ | زمان شروع رشد دما (POT LIFE) |
| ۲- | ۴۰-۵۰ دقیقه | ۴۵-۵۷ | زمان سخت شدن (CURING TIME) |
| ۳- | ۸۰-۱۰۰ °C | ۸۰-۱۰۵ | ماکزیموم دما |
| ۴- | ۲۲-۳۲ دقیقه | ۳۱-۴۱ | زمان ژل شدن (GEL TIME) |

نحوه اعمال

مقادیر مجاز و مورد نیاز شتاب دهنده (کبالت نفتات) و کاتالیست (پراکساید) بستگی به دمای محیط و رفتار شیمیایی رزین دارد که با افزایش یا کاهش دو عامل ذکر شده، مقدار این مواد تغییر می کند. لذا توصیه می شود. در صورتی که به POT LIFE کوتاه احتیاج دارید از ۱/۱۰۱ وزنی رزین کبالت و ۲٪ پراکساید استفاده کنید در غیر این صورت از ۱/۱۰۵ کبالت و ۱/۱۰۵ پراکساید استفاده نمایید.

لازم به ذکر است که ابتدا باید شتاب دهنده (کبالت) را با رزین کاملاً مخلوط کرده و سپس کاتالیست مورد نیاز به آن اضافه شود.

هرگز کاتالیست و شتاب دهنده با یکدیگر مخلوط نشود، زیرا موجب واکنش سریع و انفجار خواهد شد.

نگهداری در انبار

رزین GRP 600 را به مدت ۶ ماه در انبار بدون نور مستقیم آفتاب، در دمای ۲۵°C می توان نگهداری کرد. واضح است هر گونه تغییر در عوامل ذکر شده عمر انبارداری رزین پلی استر را تغییر خواهد داد.

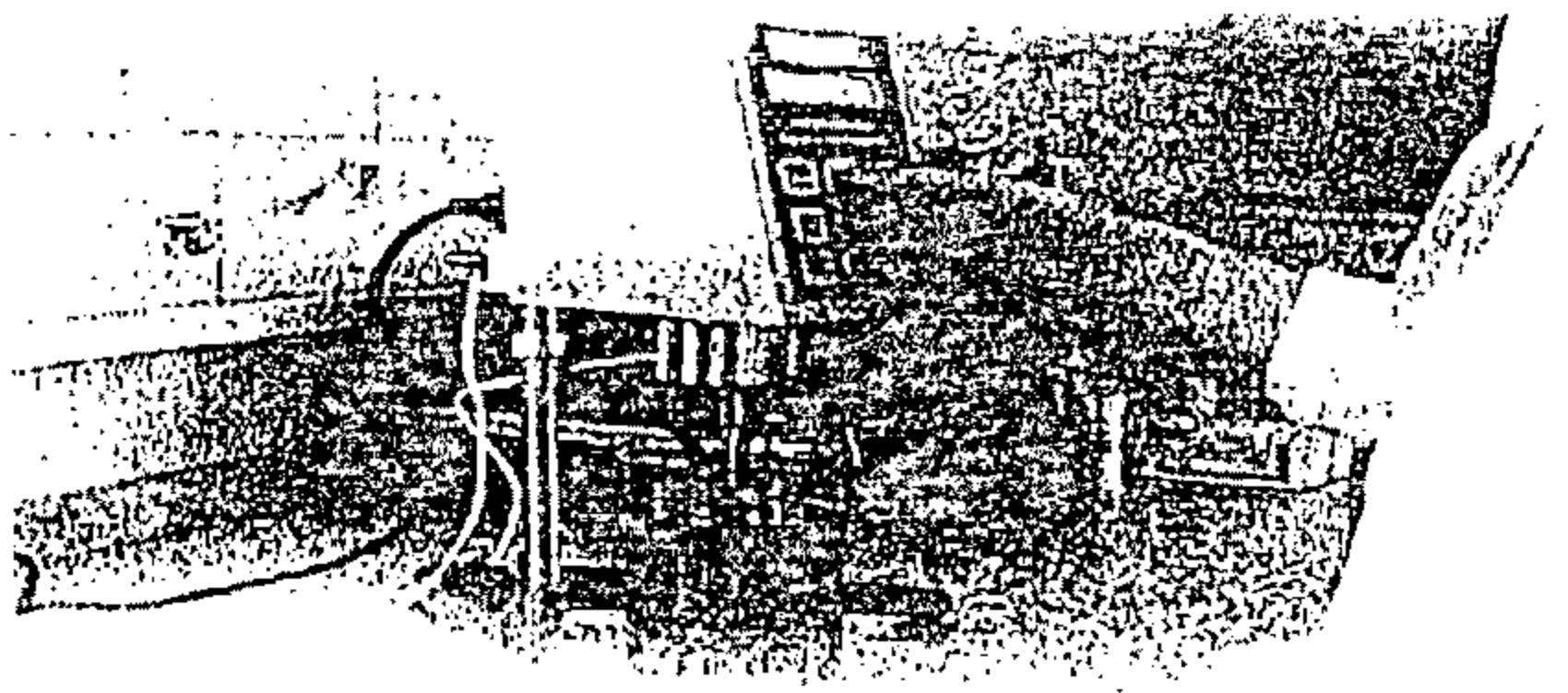
بسته بندی

رزین GRP 600 در بشکه های آهنی به وزن ۲۰۰ کیلوگرم بسته بندی می شود.

RWTUV



4100 10403



اطلاعات فنی

رزین پلی استر غیر اشباع پل یشم GRP 600

نگارش: یک

صفحه: ۱ از ۲

درجه دو درجه ۲

خواص و کاربرد

رزین پلی استر غیر اشباع GRP 600 بر پایه ازتوفتالیک انیدرید می باشد که در مخلوط با استایرین منومر به نسبت ۶۱ تا ۶۵ درصد وزنی عرضه می شود. این رزین دارای خواص مکانیکی مناسبی بوده و در صنایع فایبر گلاس و قالب گیری های تقویت شده به عنوان یک رزین عمومی به کار می رود. ویسکوزیته (گرانروانی) و فعالیت متوسط گیرایی از شاخص های این رزین می باشد که کاربرد آن را در صنایع فایبر گلاس مناسب می سازد و موجب نفوذ پذیری بهتر در بان الیاف می شود.

خواص فیزیکی رزین مایع

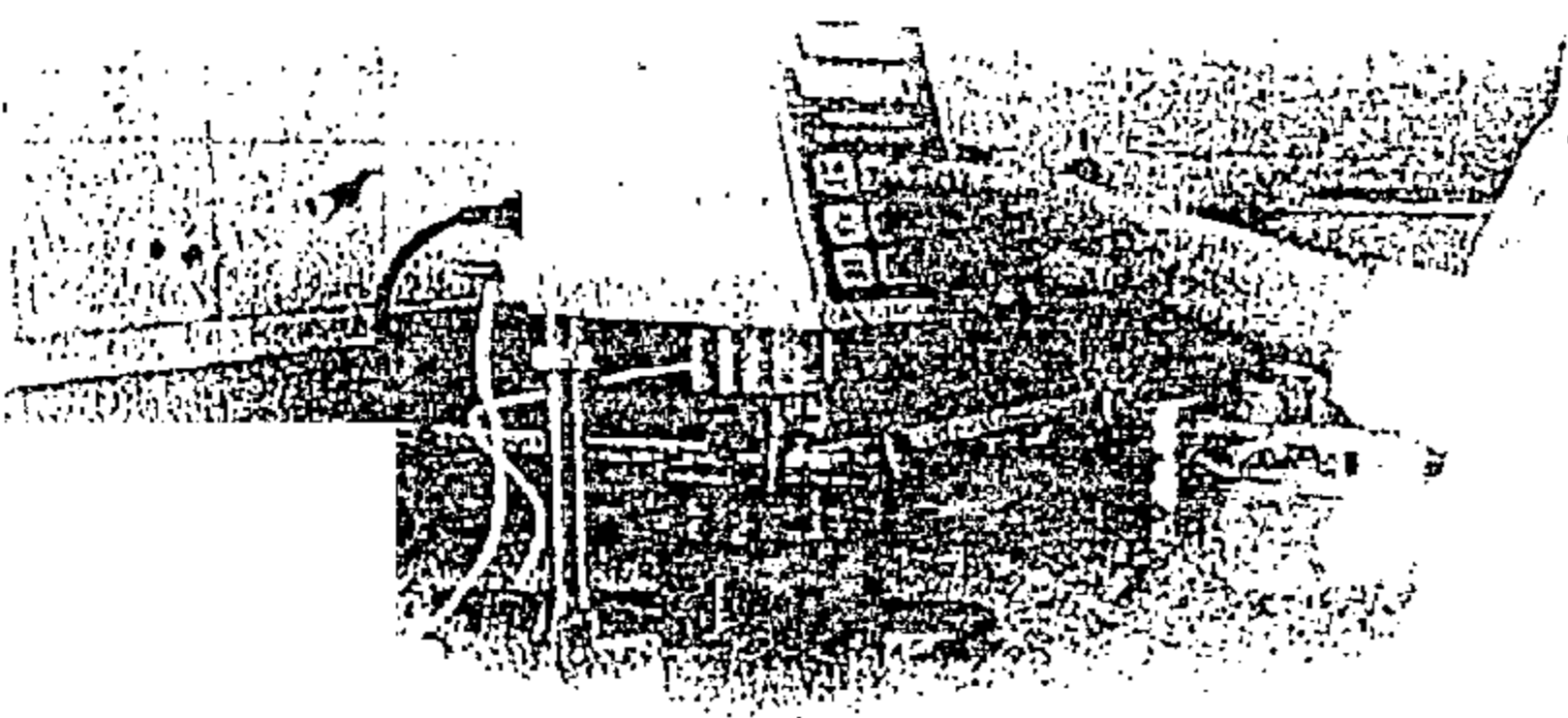
| | | |
|--------------------|-----------|--------------------------------|
| Sec | ۷۷-۸۵ | ۱- ویسکوزیته با فوردها شماره ۴ |
| % | ۳۵-۳۹ | ۲- مقدار استایرین منومر |
| mgKOH/gr | ۳۵-۴۰ | ۳- عدد اسیدی |
| gr/cm ³ | ۱/۰۸-۱/۱۳ | ۴- وزن مخصوص |
| ماه | ۶ | ۵- عمر مفید انبارداری |

(در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد به دور از نور مستقیم آفتاب)

مشخصات رزین سخت شده (بدون فیلر و فایبر گلاس)

برای انجام آزمون های زیر ابتدا رزین یا محلول کبالت ۱۰٪ (معادل ۰/۱۰۵٪ وزنی رزین) و MEKP ۵۰٪ (معادل ۱/۱۵٪ وزنی رزین) کیور شده و پس از ۹۶ ساعت قطعه مورد آزمایش قرار می گیرد.

| | | | |
|-----------|---------|------------|--|
| ISO 868 | SHORE D | ۷۵-۹۵ | ۱- سختی |
| - | BARCOL | ۳۸-۴۵ | ۲- سختی |
| ISO 527-1 | MPa | ۳۵ Min | ۳- استحکام کششی |
| ISO 527-1 | % | ۲-۳/۵ | ازدیاد طول در نقطه شکست |
| ISO 75-1 | °C | ۶۰-۷۵ | ۴- درجه حرارت تغییر شکل خمشی تحت بار (HDT) |
| % | | حداکثر ۲/۱ | ۵- جمع شدگی طولی |
| % | | حداکثر ۰/۳ | ۶- جذب آب (۲۴ ساعت در آب در دمای محیط) |



اطلاعات فنی

رزین پلی استر غیر انبساط پلی یشم GRP 600

نگارش: یک

صفحه: ۲ از ۲

ویژگی گیرایی (مرحله کیورینگ)

جهت کاربرد آسان، در فصول مختلف و شرایط آب و هوایی گوناگون این رزین در دو نوع ویژگی گیرایی (نوع A و B) عرضه می شود.

آزمون ها در دمای ۲۵°C، با ۰/۰۵٪ وزنی رزین کبات ۱۰٪ و ۱/۵٪ وزنی رزین MEKP ۵۰٪ انجام می شود. آزمون های CURING TIME, POT LIFE و ماکزیموم دما بر اساس استاندارد DIN 16945 بند 6.2.2.2 و آزمون GEL TIME بر اساس همین استاندارد بند 6.3.1.1 و با دستگاه GELNORM نوع GEL TIMER-TC انجام شده است.

| | نوع B | نوع A | |
|---------------------------------|-------------|--------|--|
| ۱- زمان شروع رشد دما (POT LIFE) | ۱۵-۲۳ دقیقه | ۲۳-۳۰ | |
| ۲- زمان سخت شدن (CURING TIME) | ۴۰-۵۰ دقیقه | ۴۵-۵۷ | |
| ۳- ماکزیموم دما | ۸۰-۱۰۰ °C | ۸۰-۱۰۵ | |
| ۴- زمان ژل شدن (GEL TIME) | ۲۲-۳۲ دقیقه | ۳۱-۴۱ | |

نحوه اعمال

مقادیر مجاز و مورد نیاز شتاب دهنده (کبات نفتات) و کاتالیست (پراکساید) بستگی به دمای محیط و رفتار شیمیایی رزین دارد که با افزایش یا کاهش دو عامل ذکر شده، مقدار این مواد تغییر می کند. لذا توصیه می شود. در صورتی که به POT LIFE کوتاه احتیاج دارید از ۰/۱٪ وزنی رزین کبات و ۲٪ پراکساید استفاده کنید در غیر این صورت از ۰/۰۵٪ کبات و ۱/۵٪ پراکساید استفاده نمایید.

لازم به ذکر است که ابتدا باید شتاب دهنده (کبات) را با رزین کاملاً مخلوط کرده و سپس کاتالیست مورد نیاز به آن اضافه شود.

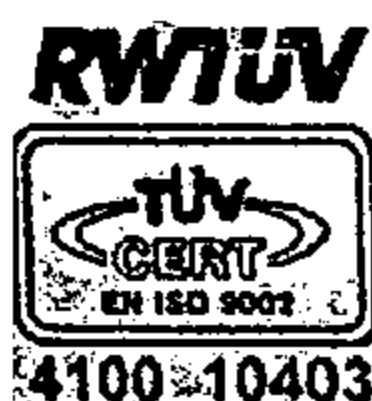
هرگز کاتالیست و شتاب دهنده با یکدیگر مخلوط نشود، زیرا موجب واکنش سریع و انفجار خواهد شد.

نگهداری در انبار

رزین GRP 600 را به مدت ۶ ماه در انبار بدون نور مستقیم آفتاب، در دمای ۲۵°C می توان نگهداری کرد. واضح است هر گونه تغییر در عوامل ذکر شده عمر انبارداری رزین پلی استر را تغییر خواهد داد.

بسته بندی

رزین GRP 600 در بشکه های آهنی به وزن ۲۰۰ کیلوگرم بسته بندی می شود.



اطلاعات فنی

شرکت مهندسی مکرر

محصولات شرکت مواد مهندسی مکرر

| شرح کاربری | نام محصول | تیب کاربری |
|--|-----------|--------------------------|
| جهت روکش صغنی کف کازخانجات و مشور کلی سطوحی که در معرض نیروهای سایشی فشاری و ضربه زیاد قرار دارند دارای مقاومت شیمیایی مطلوب نوع رنگ و کاملاً بهداشتی | FL-101 | روکش های اپوکسی (FL-100) |
| این محصول مانند FL-101 می باشد به علاوه مقاومت شیمیایی بالاتر * - رنگ طوسی | FL-102 | |
| جهت روکش سالن هایی که عدم وجود الکتریسیته ساکن در محیط حائز اهمیت می باشد مانند اطاق های عمل بیمارستان ، کامپیوتر ، کنترل ، سالن های موتورال قطعات الکترونیکی ، صنایع نظامی ، صنایع گاز ، انبارهای مواد قابل اشتعال و انفجار ، اطاق های تمیز و ... | FL-103 | |
| برای تقویت لایه میانی کفپوش به شکل گررت و لمینیت و استفاده به عنوان پرایمر بدون حلال با قابلیت فیشر خوری بالا | FL-104 | |
| برای تقویت لایه میانی کفپوش به شکل گررت و لمینیت و استفاده به عنوان پرایمر بدون حلال با قابلیت استحکام فشاری بسیار بالا | FL-105 | |
| برای پوشش سطوحی که در معرض ارتعاش یا انبساط و انقباض قرار دارند و نیاز به پوشش انعطاف پذیر می باشد مانند درزهای انبساط ، سطوح در معرض دستگاه های برس سنگین و ... | FL-106 | |
| مخصوص پر کردن درزهای انبساط در کف و دیواره | FL-107 | |
| اولین لایه جهت پوشش با قابلیت نفوذ بالا در سطوح بتونی و فلزی به عنوان پرایمر | FL-108 | |
| اولین لایه جهت کفپوش آنتی استاتیک با قابلیت انتقال الکتریسیته بسیار بال پرایمر آنتی استاتیک | FL-109 | |
| پوشش بی رنگ و دارای مقاومت سایشی بسیار بالا جهت اجرای لایه نهایی کفپوش | FL-111 | |
| جهت اجرا در محیط های مرطوب و حتی جریان های آب دارای ویژگی واکنش در آب جهت آبیندی | FL-112 | |
| این محصول با مقاومت شیمیایی بالا * نسبت به انواع مواد شیمیایی مناسب جهت پوشش مخازن و سطوحی است که در مجاورت مواد خورنده می باشند که بعنوان لایه نهایی بصورت لایه ای و غلظتی اجرا می شود | CO-201 | |
| این محصول با مقاومت شیمیایی متوسط * و ویسکوزیته پائین جهت پوشش مخازن و سطوحی که در مجاورت مواد شیمیایی خورنده متوسط می باشند ، استفاده می شود سهولت استفاده و قابلیت نفوذ بالای آن از مزایای این پوشش است. | CO-202 | |
| انسجام مولکولی این پوشش باعث می شود تا حداقل نفوذ مایعات خورنده را دارا باشد مقاومت متوسط نسبت به مواد شیمیایی * قابلیت اجرای آسان و زیبایی از دیگر مزایای این پوشش است | CO-203 | |
| پوشش مناسب جهت مخازن مواد خورنده متوسط * به عنوان لایه میانی و تقویت کننده | CO-204 | |
| پوشش مناسب جهت مخازن مواد خورنده ضعیف * به عنوان لایه میانی و تقویت کننده | CO-205 | |
| پوشش مناسب جهت مخازن مواد خورنده قوی * با خواص مکانیکی بالا بعنوان لایه میانی و تقویت کننده | CO-206 | |
| پوشش مناسب جهت مخازن مواد خورنده متوسط * با خواص مکانیکی بالا بعنوان لایه میانی و تقویت کننده | CO-207 | |
| جهت پر کردن درزهای انبساط مخازن و پوشش الاستیک با مقاومت در مقابل جذب و عبور آب | CO-208 | |
| پوشش آنتیستیک جهت آب بندی سطوح عمیق و شیب | CO-209 | |
| پوشش با مقاومت شیمیایی بسیار خوب در مقابل مواد قلیاتی * و مقاومت مکانیکی متوسط | CO-210 | |
| ملات ضداسید جهت جسدان کاشی ضداسید و پر کردن درزهای کاشی | CO-211 | |
| پوشش فوق العاده مقاوم در مقابل مواد اسیدی بسیار خورنده * و پر کردن درزهای کاشی ضد اسید | CO-221 | |
| پوشش با مقاومت مکانیکی و شیمیایی بسیار خوب ، تحمل دمای بالا قابل استفاده در تمام لایه ها | CO-230 | |
| برای پر کردن ترک ریج | CO-240 | |
| این چسب دارای چسبندگی بسیار بالا و مقاومت شیمیایی مطلوب می باشد | AD-301 | چسب های اپوکسی (AD-300) |
| چسبی با سرعت خشک شدن بالا (حدود سی دقیقه) | AD-302 | |
| قابلیت تکسوتروپی بالا و مقاومت شیمیایی و حرارتی بسیار خوب * از مزایای این چسب است. | AD-303 | |
| جهت اتصال سطوح در معرض نم و جریان آب | AD-304 | |
| جهت جسدان قطعات پلی اتیلنی و پلی پروپیلنی با استفاده از محلول GE-32 | AD-306 | |
| چسب تکسوتروپ : مقاومت شیمیایی * | AD-307 | |
| چسب مخصوص جسدان بازتاب های سطح ناده | AD-308 | |
| چسب اپوکسی روان با مقاومت شیمیایی بسیار بالا | AD-309 | |
| چسب اپوکسی روان با مقاومت مکانیکی بالا | AD-310 | |

• به جدول مقاومت شیمیایی (Chemical Chart) مراجعه شود.



| شرح کاربری | نام محصول | تیب کاربری |
|--|-----------|----------------------------------|
| این رزین با مقاومت الکتریکی و استحکام مکانیکی بالا به عنوان اولین انتخاب برای دهن سیم پیچ ها و پوشش های عایق انتخاب می گردد. | EI-401 | رزین عایق های اپوکسی (EI-400) |
| ویسکوزیته بسیار پایین این محصول باعث می شود تا بهترین نمود در قطعات و خصوصاً سیم پیچ های ظریف را دهن باشد. | EI-402 | |
| هر میلیمتر این محصول دارای ۲۰ کیلوولت مقاومت الکتریکی می باشد. قابلیت جذب شوک حرارتی و الکتریکی را تماماً داراست. و می توان آنرا در حجم زیاد استفاده کرد. جهت اتصال مفاصل مخابراتی به عنوان رزین 2A مشهور است. | EI-403 | |
| عایق بسیار بالا و سرعت خشک شدن زیاد این محصول از بردستی های آن است. | EI-404 | |
| عایق با سرعت خشک شدن بسیار سریع این محصول جهت اتصال مفاصل مخابراتی بعنوان رزین SA (رزین سریع خشک) مشهور است. | EI-405 | |
| عایق نرم با قابلیت جدایش جهت قابل دسترس کردن قطعات. انعطاف پذیری این محصول باعث می شود به توان آنرا در اتصال قطعات با جابجایی و ارتعاش نیز استفاده نمود. (زل عایق) | EI-406 | |
| پوشش ارزان با تنوع رنگ. استحکام و دی الکتریک بالا جهت غیر قابل دسترس کردن قطعات | EI-407 | |
| عایق مناسب با قابلیت شیمیایی و حرارتی بالا* | EI-408 | |
| رزین انبدریدی کوره ای با استحکام دی الکتریک و تحمل حرارتی بالا | EI-409 | |
| عایق مناسب با قابلیت شیمیایی و حرارتی بالا | EI-410 | |
| عایق الکتریکی به همراه چسبندگی بالا و استحکام حرارتی مناسب | EI-411 | |
| رزین قالبگیری برای ساخت قالب، تولید قطعه و مدل سازی | ML-501 | رزین قالبگیری (ML-500) |
| زل کت اپوکسی با مقاومت به سایش بسیار بالا جهت لایه اول در قالبگیری | ML-502 | |
| رزین با استحکام بالا جهت پشت ریز قالب و لایه گذاری | ML-503 | |
| رزین با ویسکوزیته پایین و فیلتر خوری بالا جهت استفاده پشت ریز قالب و لایه گذاری | ML-504 | |
| رزین ارزان جهت استفاده به عنوان پشت ریز | ML-505 | |
| رزین با ویسکوزیته کم و چسبندگی بالا جهت استفاده در قکت های کامپوزیتی | ML-506 | |
| هاردنر پلی آمینی با سرعت واکنش بالا | HA-11 | هاردنر اپوکسی (HA-*) |
| هاردنر پلی آمینی با سرعت واکنش متوسط | HA-12 | |
| هاردنر پلی آمینی تغییر شکل یافته | HA-13 | |
| هاردنر پلی آمید و آمین | HA-14 | |
| هاردنر آروماتیک تغییر شکل یافته | HA-15 | |
| هاردنر پلی آمیدی | HA-16 | |
| هاردنر پلی آمینی کوره ای | HA-17 | |
| هاردنر انبدریدی کوره ای | HA-18 | |
| هاردنر برابر آنتی استاتیک | HA-19 | |
| هاردنر سولفونیک اسید تغییر شکل یافته | HA-20 | |
| هاردنر پلی آمیدی تغییر شکل یافته | HA-21 | |
| نیمر اپوکسی جهت بستنوی وسایل | GE-31 | محصولات عمومی (GE-*) |
| محلول آماده سازی سطحی برای مواد پلی اتیلنی و پلی پروپیلنی قبل از چسباندن | GE-32 | |
| نیمر مخصوص | GE-33 | |
| شباب دهنده | GE-34 | |

به جدول مقاومت شیمیایی (Chemical Chart) مراجعه شود.



(روکش اپوکسی FL-101)

(هاردنر اپوکسی HA-13)

روکش اپوکسی FL-101 و هاردنر اپوکسی HA-13 از سری محصولات شرکت مواد مهندسی مکرر بوده که بر پایه رزین اپوکسی بیفنول A (Epoxy Bisphenol A) و هاردنر پلی آمینی تغییر شکل یافته (Modified Polyamine Hardener) تولید و ارائه می گردد. در این محصول از هیچگونه از حلال ها و رقیق کننده های غیرواکنش گرا (Non Reactive Dilluents) استفاده نگردیده و همین امر موجب می گردد که ساختار پلیمری محصول پس از واکنش بصورت ثابت و پایدار باقی بماند. با توجه به خصوصیات برجسته مکانیکی، شیمیایی، حرارتی و الکتریکی این محصول، بهترین انتخاب برای پوشش سطوح صنعتی بوده و علاوه بر آن با توجه به امکان اجرای روکش بصورت یکپارچه و بدون درز و همچنین خصوصیات ضد میکروبی آن، می تواند بعنوان مناسب ترین پوشش بهداشتی مورد استفاده قرار گیرد. (یادآور می شود که این محصول در گذشته با نام روکش اپوکسی مکرر عرضه می گردید).

موارد مصرف

- روکش سطوح صنعتی که در معرض نیروهای مکانیکی مانند فشار، ضربه و سایش قرار دارند.
 - روکش سطوح صنعتی که در معرض نفوذ آب و همچنین انتقال آلودگی های ناشی از نفوذ آب می باشند.
 - روکش سطوح صنعتی که عدم وجود گرد و غبار در سطح بسیار حائز اهمیت می باشد.
 - روکش سطوح صنعتی که در معرض خوردگی و آسیب ناشی از اسیدها، قلیاها، الکل ها، روغن ها، نمک ها، حلال ها، مشتقات نفتی می باشند.
 - روکش سطوح بهداشتی که عدم وجود درز و خلل و فرج و امکان گندزدائی و ضدعفونی کردن صددرصد سطوح بسیار حائز اهمیت می باشد.
 - روکش سطوح صنعتی که در مجاورت جریانهای الکتریکی قرار داشته و عایق بودن سطح حائز اهمیت می باشند.
- باتوجه به موارد فوق کلیه سطوح صنعتی شامل: کارخانجات صنعتی، صنایع خودرویی و قطعه سازی، صنایع شیمیایی، صنایع غذایی، کارخانجات شیر و لبنیات، کارخانجات بسته بندی، صنایع داروسازی، صنایع پتروشیمی، پالایشگاه ها، نیروگاه ها، انبارهای صنعتی، صنایع هواپیمایی و نظامی، انبارهای نگهداری مواد غذایی، کشتارگاه ها، مرغداری ها، گاوآورداری ها، سردخانه ها، اتاق های تمیز (Clean Rooms)، صنایع خون، بیمارستان ها، محیط های نگهداری اجزاء بدن و اتاق های استریل نیازمند به کاربری این محصول می باشند.

خواص فیزیکی و ظاهری

| شکل ظاهری: | مابع |
|-------------------|--|
| رنگ: | روکش اپوکسی FL-101 : در رنگهای مختلف صنعتی |
| | هاردنر اپوکسی HA-13 : قرمز روشن |
| | ترکیبی محصول : در رنگهای مختلف صنعتی |
| ویسکوزیته (25°C): | روکش اپوکسی FL-101 : 1450 Centipoise |
| | هاردنر اپوکسی HA-13 : 2200 Centipoise |
| | ترکیبی محصول : 1080 Centipoise |



وزن مخصوص (دانشیه):
 روکش اپوکسی FL-101 : 1.54 gr/cm³
 هاردنر اپوکسی HA-13 : 1.13 gr/cm³
 ترکیبی محلول : 1.47 gr/cm³

نسبت ترکیب وزنی:
 روکش اپوکسی FL-101 : ۱۰۰ واحد
 هاردنر اپوکسی HA-13 : ۱۵ واحد

نسبت ترکیب حجمی:
 روکش اپوکسی FL-101 : ۱۰۰ واحد
 هاردنر اپوکسی HA-13 : ۲۰/۴ واحد

زمان ترکیب دو جزء: ۲ دقیقه

| حجم زیاد 50cm ³ قطر = 50mm ضخامت = 26mm | حجم کم 6cm ³ قطر = 50mm ضخامت = 3mm | دمای کار | |
|---|---|----------|--|
| ۳۵ دقیقه | ۶۰ دقیقه | 25°C | عمر مصرف (Pot life) |
| ۴۰ دقیقه | ۷۵ دقیقه | 25°C | زمان ژل شدن (Gel Time) |
| ۵۰ دقیقه | ۱۰۰ دقیقه | 25°C | زمان خشک شدن (Curing Time) |
| ۷ روز | ۷ روز | 25°C | زمان خشک شدن نهایی تا رسیدن به بالاترین مقاومت و استحکام |

حداقل دمای پخت: ۱۰°C

حداکثر دمای پخت: ۴۰°C

عمر نگهداری در انبار Shelf life (در دمای ۲۵°C): یک سال

خصوصیات مکانیکی

| استاندارد | واحد | مقدار | |
|------------|---------------------|-------|---|
| ASTM D695M | Kgf/cm ² | 742 | مقاومت فشاری |
| ASTM D695M | Kgf/cm ² | 9486 | مدول فشاری |
| ASTM D790M | Kgf/cm ² | 654 | مقاومت خمشی |
| ASTM D790M | Kgf/cm ² | 50353 | مدول خمشی |
| ASTM D638M | Kgf/cm ² | 328 | استحکام کششی |
| ASTM D638M | Kgf/cm ² | 39970 | مدول کششی |
| ASTM D2240 | Shore D | 84 | سختی |
| ASTM D256 | KJ/m ² | 2.704 | مقاومت ضربه ای |
| ASTMDI002 | Kg/cm ² | 593 | مقاومت چسبندگی (در مقابل نیروی برشی) |



خواص الکتریکی و حرارتی

| استاندارد | واحد | مقدار | |
|-----------|--------------------|-----------------------|------------------------------------|
| ASTM D257 | Ohm.cm | 5.0×10^{14} | مقاومت الکتریکی حجمی |
| ASTM D257 | Ohm | 9.8×10^{13} | مقاومت الکتریکی سطحی |
| ASTM D150 | - | 4.6 | ثابت دی الکتریک |
| ASTM D648 | °C | 50 | مقاومت حرارتی تا نقطه نرمی (H.D.T) |
| | °C | 80 | مقاومت حرارتی عملی |
| ASTM D864 | (°C) ⁻¹ | 6.57×10^{-5} | ضریب انبساط طولی |

خصوصیات شیمیایی

مطابق با استاندارد ASTM D543

| مقاومت محصول | نوع ماده شیمیایی | مقاومت محصول | نوع ماده شیمیایی |
|--------------|----------------------|--------------|------------------|
| نسبتاً خوب | آب اکیزنه | نسبتاً خوب | اسیداستیک ۲۰٪ |
| عالی | هیدروکسید کلسیم ۵۰٪ | خوب | اسیدسولفوریک ۳۰٪ |
| عالی | هیدروکسید پتاسیم ۲۰٪ | خوب | اسیدکلریدریک ۳۷٪ |
| عالی | هیدروکسید سدیم ۲۰٪ | خوب | اسیدنیتریک ۲۰٪ |
| عالی | روغن موتور | عالی | اسیدسیتریک ۱۰٪ |
| خوب | متانل | خوب | اسیدفونیک ۲۰٪ |
| عالی | بنزین | خوب | اسیدلاکتیک ۱۰٪ |
| عالی | تولون | عالی | سولفات سدیم ۱۵٪ |

شرایط تست: دمای ۲۵°C و رطوبت ۵۰٪ غوطه‌وری در محلول شیمیایی به مدت یک ماه

نکات فنی و ایمنی

- ۱- قبل از اختلاط روکش و هاردنر روکش را به مدت ۲ دقیقه میکس نمایید.
- ۲- بعد از استفاده از مواد، درب مواد باقیمانده را محکم ببندید.
- ۳- قبل از استفاده از مواد در سطح مطمئن باشید که هیچگونه گرد و غبار و نم و رطوبت در سطح وجود ندارد.
- ۴- پس از استفاده از مواد، ظرف و ابزار خود را با تینر اپوکسی GE-31 کاملاً شستشو دهید.
- ۵- در هنگام استفاده از مواد، از دستکش صنعتی و ماسک استفاده نمایید.
- ۶- در موقع کار با مواد، از کشیدن سیگار خودداری نمایید.
- ۷- در صورت سرد بودن مواد که منجر به افزایش غلظت می‌شود، از حرارت غیر مستقیم استفاده نمایید.
- ۸- قبل از استفاده از مواد، سطح را از هرگونه چربی و آلودگی تمیز نمایید.
- ۹- در صورتیکه مواد ترکیبی مورد نیاز کمتر از ۲۰۰ گرم است، حتماً از ترازوی دقیق با دقت حداقل ۰/۱ گرم استفاده کنید.

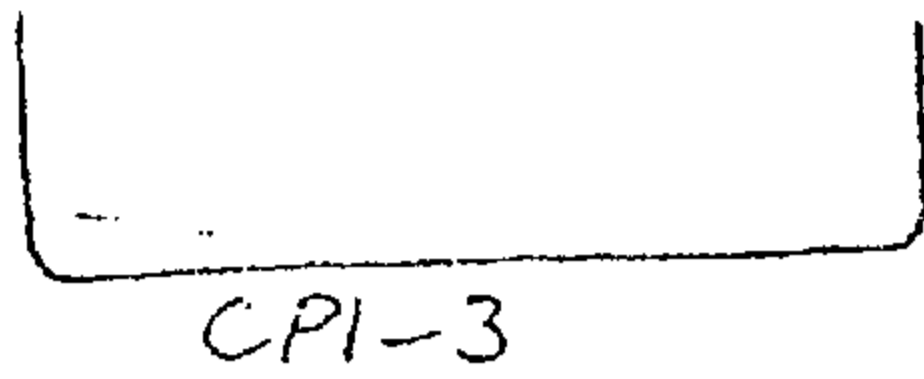


بسته بندی

این محصول در بسته بندی های یک کیلوگرمی، ۱۱/۵ کیلوگرمی و ۶۹ کیلوگرمی قابل عرضه می باشد.

تائیدیه فنی

کلیه مشخصات فیزیکی، مکانیکی، الکتریکی، حرارتی و شیمیایی ارائه شده در این بروشور با همکاری پژوهشگاه صنعت نفت اندازه گیری و تهیه گردیده است.



(روکش اپوکسی FL-102)

(هاردنر اپوکسی HA-12)

روکش اپوکسی FL-102 و هاردنر اپوکسی HA-12 از سری محصولات شرکت مواد مهندسی مکرر بوده که بر پایه رزین اپوکسی بیسفنول A (Epoxy Bisphenol A) و هاردنر پلی آمینی (Polyamine Hardener) تولید و ارائه می گردد. در ساختار این محصول از هیچگونه حلال و رقیق کننده های غیرواکنشگر (Non Reactive Dilluents) استفاده نگردیده و همین امر موجب می گردد که ساختار پلیمری محصول پس از واکنش بصورت ثابت باقی بماند و خصوصیات شیمیایی آن دچار کاهش خواص نگردد. مقاومت شیمیایی مناسب به همراه مقاومت مکانیکی و چسبندگی سطحی خوب این محصول موجب می گردد که از آن بتوان در کلیه سطوحی که در مجاورت مواد شیمیایی متوسط (اسیدها و قلیاها متوسط) قرار دارند، به راحتی استفاده نمود. همچنین با توجه به خصوصیات بهداشتی بودن این محصول، امکان بکارگیری آن در سطوحی که علاوه بر مقاومت شیمیایی بهداشتی بودن پوشش نیز حائز اهمیت می باشد، وجود دارد. (یادآور می شود که این محصول در گذشته با نام روکش اپوکسی ضداسید مکرر عرضه می گردید).

موارد مصرف

- روکش سطوح صنعتی که در مجاورت اسیدها و قلیاها متوسط قرار دارند.
 - روکش سطوح صنعتی که در مجاورت الکل ها، حلال ها و نمک ها قرار دارند.
 - روکش سطوح صنعتی که در مجاورت نفت و مشتقات آن قرار دارند.
 - روکش سطوح صنعتی که مقاومت های مکانیکی و شیمیایی و بهداشتی توأم مورد نیاز می باشد.
- باتوجه به موارد فوق کلیه سطوح صنعتی شامل: کارخانجات صنعتی، صنایع شیمیایی، صنایع پتروشیمی، پالایشگاه ها، نیروگاه ها، صنایع غذایی، کارخانجات شیر و لبنیات، صنایع داروسازی، کشتارگاه ها، مرغداری ها و ... نیازمند به کارگیری این پوشش می باشند.

خواص فیزیکی و ظاهری

| شکل ظاهری: | مابع |
|----------------------|---|
| رنگ: | روکش اپوکسی FL-102 : طوسی |
| | هاردنر اپوکسی HA-12 : زرد روشن |
| | ترکیبی محصول : طوسی |
| ویسکوزیته (25°C): | روکش اپوکسی FL-102 : 1580 Centipoise |
| | هاردنر اپوکسی HA-12 : 450 Centipoise |
| | ترکیبی محصول : 1050 Centipoise |
| وزن مخصوص (دانسیته): | روکش اپوکسی FL-102 : 1.50 gr/cm ³ |
| | هاردنر اپوکسی HA-12 : 1.09 gr/cm ³ |
| | ترکیبی محصول : 1.44 gr/cm ³ |
| نسبت ترکیب وزنی: | روکش اپوکسی FL-102 : ۱۰۰ واحد |
| | هاردنر اپوکسی HA-12 : ۱۰ واحد |



نسبت ترکیب حجمی: دوگش فیوکی FL-102 : ۱۰۰ واحد
هاردنر اپوکی HA-12 : ۱۲/۸ واحد
زمان ترکیب دوجزه: ۲ دقیقه

| حجم زیاد 50cm ³ قطر = 50mm ضخامت = 26mm | حجم کم 6cm ³ قطر = 50mm ضخامت = 3mm | دمای کار | |
|---|---|----------|--|
| ۱/۵ ساعت | ۳ ساعت | 25°C | عمر مصرف (Pot life) |
| ۱۰۵ دقیقه | ۲۰۰ دقیقه | 25°C | زمان ژل شدن (Gel Time) |
| ۲ ساعت | ۵ ساعت | 25°C | زمان خشک شدن (Curing Time) |
| ۷ روز | ۷ روز | 25°C | زمان خشک شدن نهایی تا رسیدن به بالاترین مقاومت و استحکام |

حداقل دمای پخت: ۱۰°C
حداکثر دمای پخت: ۴۰°C
عمر نگهداری در انبار Shelf life (در دمای ۲۵°C): یک سال

خصوصیات مکانیکی

| استاندارد | واحد | مقدار | |
|------------|---------------------|-------|---|
| ASTM D695M | Kgf/cm ² | 1100 | مقاومت فشاری |
| ASTM D695M | Kgf/cm ² | 7091 | مدول فشاری |
| ASTM D790M | Kgf/cm ² | 664 | مقاومت خمشی |
| ASTM D790M | Kgf/cm ² | 34607 | مدول خمشی |
| ASTM D638M | Kgf/cm ² | 509 | استحکام کششی |
| ASTM D638M | Kgf/cm ² | 29830 | مدول کششی |
| ASTM D2240 | Shore D | 85 | سختی |
| ASTM D256 | KJ/m ² | 3.419 | مقاومت ضربه‌ای |
| ASTM D1002 | Kg/cm ² | 755 | مقاومت چسبندگی (در مقابل نیروی برشی) |

خواص الکتریکی و حرارتی

| استاندارد | واحد | مقدار | |
|-----------|--------------------|----------------------|------------------------------------|
| ASTM D257 | Ohm.cm | 9.3×10 ¹⁴ | مقاومت الکتریکی حجمی |
| ASTM D257 | Ohm | 5.5×10 ¹² | مقاومت الکتریکی سطحی |
| ASTM D150 | - | 5.5 | ثابت دی الکتریک |
| ASTM D648 | °C | 50 | مقاومت حرارتی تا نقطه نرمی (H.D.T) |
| | °C | 80 | مقاومت حرارتی عملی |
| ASTM D864 | (°C) ⁻¹ | 6.6×10 ⁻⁵ | ضریب انبساط طولی |



خصوصیات شیمیایی

مطابق با استاندارد ASTM D543

| مقاومت محصول | نوع ماده شیمیایی | مقاومت محصول | نوع ماده شیمیایی |
|--------------|----------------------|--------------|-------------------|
| عالی | هیدروکسید کلسیم ٪۵۰ | نامناسب | اسید استیک ٪۲۰ |
| نسبتاً خوب | آب اکسیژنه | عالی | اسید سولفوریک ٪۲۰ |
| عالی | هیدروکسید سدیم ٪۲۰ | خوب | اسید سولفوریک ٪۵۰ |
| عالی | هیدروکسید سدیم ٪۵۰ | خوب | اسید سولفوریک ٪۷۰ |
| عالی | هیدروکسید پتاسیم ٪۲۰ | خوب | اسید کلریدریک ٪۳۷ |
| عالی | روغن موتور | خوب | اسید نیتریک ٪۲۰ |
| نامناسب | متانل | عالی | اسید سیتریک ٪۱۰ |
| عالی | بنزین | خوب | اسید فسفریک ٪۲۰ |
| نامناسب | تولوئن | خوب | اسید لاکتیک ٪۱۰ |
| | | عالی | سولفات سدیم ٪۱۵ |

شرایط تست: دمای 25°C و رطوبت 50٪، غوطه‌وری در محلول شیمیایی به مدت یک ماه

نکات فنی و ایمنی

- ۱- قبل از استفاده از مواد آنرا کاملاً میکس نمایید.
- ۲- قبل از استفاده از مواد در سطح، مطمئن باشید که هیچگونه گرد و غبار و نم و رطوبت در سطح وجود ندارد.
- ۳- قبل از استفاده از مواد، سطح را از هرگونه چربی و آلودگی تمیز نمایید.
- ۴- بعد از استفاده از مواد، درب مواد باقیمانده را محکم ببندید.
- ۵- در هنگام استفاده از مواد، از دستکش صنعتی و ماسک استفاده نمایید.
- ۶- پس از استفاده از مواد، ظرف و ابزار خود را با تینر اپوکسی GE-31 کاملاً شستشو دهید.
- ۷- در مقادیر کمتر از ۲۰۰ گرم حتماً از ترازوی دقیق با دقت حداقل ۰/۱ گرم استفاده کنید.

بسته‌بندی

این محصول در بسته‌بندی‌های یک کیلوگرمی، ۱۱ کیلوگرمی و ۵۵ کیلوگرمی قابل عرضه می‌باشد.

تأییدیه فنی

کلیه مشخصات فیزیکی، مکانیکی، الکتریکی، حرارتی و شیمیایی ارائه شده در این بروشور با همکاری پژوهشگاه صنعت نفت اندازه‌گیری و تهیه گردیده است.



(روکش اپوکسی FL-103)

(هاردنر اپوکسی HA-13)

روکش اپوکسی FL-103 و هاردنر اپوکسی HA-13 از سری محصولات شرکت مواد مهندسی مکرر بوده که بر پایه رزین اپوکسی، بیسفنول A (Epoxy Bisphenol A) و هاردنر پلی آمینی تنبیر شکل یافته (Modified Polyamine Hardener) تولید و ارائه می گردد. در ساختار این محصول از نوعی عامل شیمیایی آلی (Organic Chemical Agent) استفاده گردیده که موجب هدایت الکتریسیته ساکن از سطح روکش به منابع تخلیه الکتریسیته ساکن (چاه ارت) می گردد و با توجه به خصوصیات مکانیکی برجسته و قابلیت هدایت جریان الکتریسیته ساکن، امکان به کارگیری محصول را در پوشش کلیه سطوحی که هدایت الکتریسیته ساکن در آن بسیار حائز اهمیت می باشد، میسر می سازد. مقاومت حرارتی، شیمیایی و مکانیکی مطلوب این محصول، از دیگر خصوصیات برجسته آن می باشد. در ساختار این محصول از هیچگونه حلال و رقیق کننده غیر واکنشگر استفاده نگردیده و همین امر موجب می گردد که کیفیت محصول در درازمدت ثابت باقی بماند. (یادآور می گردد که در گذشته این محصول با نام روکش آنتی استاتیک عرضه می گردید).

موارد مصرف

روکش کلیه سطوحی که هدایت الکتریسیته ساکن و جریان های الکتریکی از سطح بسیار حائز اهمیت می باشد. شامل: روکش کف اتاق های عمل و ریکاوری بیمارستان ها، اتاق های کامپیوتر، اتاق های تمیز (Clean Room)، کارخانجات صنایع نظامی، کارخانجاتی که با مواد قابل احتراق سرو کار دارند، آزمایشگاه های الکترونیک و اندازه گیری دقیق و ...

خواص فیزیکی و ظاهری

| شکل ظاهری: | مایع غلیظ |
|----------------------|---|
| رنگ: | روکش اپوکسی FL-103 : در رنگهای مختلف صنعتی هاردنر اپوکسی HA-13 : قرمز روشن ترکیبی محصول : در رنگهای مختلف صنعتی |
| ویسکوزیته (25°C): | روکش اپوکسی FL-103 : 1680 Centipoise هاردنر اپوکسی HA-13 : 2200 Centipoise ترکیبی محصول : 1255 Centipoise |
| وزن مخصوص (دانسیته): | رزین اپوکسی FL-103 : 1.60 gr/cm ³ هاردنر اپوکسی HA-13 : 1.13 gr/cm ³ ترکیبی محصول : 1.50 gr/cm ³ |
| نسبت ترکیب وزنی: | رزین اپوکسی FL-103 : ۱۰۰ واحد هاردنر اپوکسی HA-13 : ۱۵ واحد |
| نسبت ترکیب حجمی: | رزین اپوکسی FL-103 : ۱۰۰ واحد هاردنر اپوکسی HA-13 : ۲۱ واحد |
| زمان ترکیب دوجزء: | ۳ دقیقه |



| حجم زیاد 50cm ³ قطر = 50mm ضخامت = 26mm | حجم کم 6cm ³ قطر = 50mm ضخامت = 3mm | دمای کار | |
|---|---|----------|--|
| ۲۵ دقیقه | ۵۰ دقیقه | 25°C | عمر مصرف (Pot life) |
| ۳۰ دقیقه | ۶۰ دقیقه | 25°C | زمان ژل شدن (Gel Time) |
| ۹۵ دقیقه | ۱۲۵ دقیقه | 25°C | زمان خشک شدن (Curing Time) |
| ۷ روز | ۷ روز | 25°C | زمان خشک شدن نهایی تا رسیدن به بالاترین مقاومت و استحکام |

حداقل دمای پخت: ۱۰°C

حداکثر دمای پخت: ۴۰°C

عمر نگهداری در انبار Shelf life (در دمای ۲۵°C): یک سال

خصوصیات مکانیکی

| استاندارد | واحد | مقدار | |
|------------|---------------------|-------|---|
| ASTM D695M | Kgf/cm ² | 614 | مقاومت فشاری |
| ASTM D695M | Kgf/cm ² | 12542 | مدول فشاری |
| ASTM D790M | Kgf/cm ² | 414 | مقاومت خمشی |
| ASTM D790M | Kgf/cm ² | 49323 | مدول خمشی |
| ASTM D638M | Kgf/cm ² | 258 | استحکام کششی |
| ASTM D638M | Kgf/cm ² | 36020 | مدول کششی |
| ASTM D2240 | Shore D | 85 | سختی |
| ASTM D256 | KJ/m ² | 2.608 | مقاومت ضربه‌ای |
| ASTM D1002 | Kg/cm ² | 619 | مقاومت چسبندگی (در مقابل نیروی برشی) |

خواص الکتریکی و حرارتی

| استاندارد | واحد | مقدار | |
|-----------|--------|-----------------------------------|------------------------------------|
| ISO2882 | Ohm.cm | 3×10 ⁸ | مقاومت الکتریکی حجمی |
| ISO2882 | Ohm | 10 ⁷ -10 ¹⁰ | مقاومت الکتریکی سطحی |
| ASTM D150 | - | - | ثابت دی الکتریک |
| ASTM D648 | °C | 50 | مقاومت حرارتی تا نقطه نرمی (H.D.T) |
| | °C | 70 | مقاومت حرارتی عملی |



خصوصیات شیمیایی

مطابق با استاندارد ASTM D543

| نوع ماده شیمیایی | مقاومت محصول | نوع ماده شیمیایی | مقاومت محصول |
|------------------|--------------|----------------------|--------------|
| اسیداستیک ۲۰٪ | خوب | آب اکسیژنه | نسبتاً خوب |
| اسیدسولفوریک ۳۰٪ | عالی | هیدروکسید کلسیم ۵۰٪ | عالی |
| اسیدکلریدریک ۳۷٪ | خوب | هیدروکسید پتاسیم ۲۰٪ | عالی |
| اسیدنیتریک ۲۰٪ | خوب | روغن موتور | عالی |
| اسیدسنتریک ۱۰٪ | عالی | متانل | نسبتاً خوب |
| اسیدفتریک ۲۰٪ | عالی | بنزین | عالی |
| اسیدلاکتیک ۱۰٪ | عالی | تولون | عالی |
| سولفات سدیم ۱۵٪ | عالی | | |

شرایط تست: دمای ۲۵°C و رطوبت ۵۰٪. غوطه‌وری در محلول شیمیایی به مدت یک ماه

سی و ایمنی

- ۱- بعد از استفاده از مواد، درب مواد باقیمانده را محکم ببندید.
- ۲- قبل از استفاده از مواد در سطح مطمئن باشید که هیچگونه گرد و غبار و نم و رطوبت در سطح وجود ندارد.
- ۳- قبل از استفاده از مواد، سطح را از هرگونه چربی و آلودگی تمیز نمایید.
- ۴- در هنگام استفاده از مواد، از دستکش صنعتی و ماسک استفاده نمایید.
- ۵- پس از استفاده از مواد، ظرف و ابزار خود را با تبیر اپوکسی GE-31 کاملاً شستو دهید.
- ۶- در مقادیر کم، حتماً از ترازوی دقیق با دقت حداقل ۰/۱ گرم استفاده کنید.

بسته‌بندی

این محصول در بسته‌بندی های یک کیلوگرمی، ۱۱/۵ کیلوگرمی و ۵۷/۵ کیلوگرمی قابل عرضه می‌باشد.

تائیدیه فنی

کلیه مشخصات فیزیکی، مکانیکی، الکتریکی، حرارتی و شیمیایی ارائه شده در این بروشور با همکاری پژوهشگاه صنعت نفت اندازه‌گیری و تهیه گردیده است.



(روکش اپوکسی FL-104)

(هاردنر اپوکسی HA-12)

روکش اپوکسی FL-104 و هاردنر اپوکسی HA-12 از سری محصولات شرکت مواد مهندسی مکرر بوده که برپایه رزین اپوکسی بیسفنول A (Epoxy Bisphenol A) و هاردنر پلی آمینی (Polyamine Hardener) تولید و ارائه می گردد. در ساختار این روکش از نوعی رقیق کننده واکنشگرا (Reactive Dilluent) استفاده گردیده که علاوه بر کاهش ویسکوزیته محصول، موجب افزایش خصوصیات ضربه پذیری و انعطاف پذیری محصول گردیده و همین امر موجب می گردد که از روکش اپوکسی FL-104 به عنوان پرایمر بدون جلال در لایه اول کفپوش های صنعتی و همچنین به عنوان رزین مناسب جهت ترکیب با افزودنی های مغدنی در لایه های میانی کفپوش ها بتوان استفاده کرد. چسبندگی بالا و قدرت نفوذ مناسب این محصول امکان به کارگیری آن به همراه لایه های شیشه در روکش های کامپوزیتی را فراهم می سازد.

موارد مصرف

- بعنوان پرایمر بدون جلال در لایه اول کفپوش های صنعتی
- بعنوان رزین مناسب جهت ساخت گروت های اپوکسی در لایه های میانی کفپوش
- جهت اجرای لایه های تقویتی به همراه الیاف شیشه در لایه های میانی کفپوش
- جهت ساخت بتونه های اپوکسی جهت ترمیم کف سطوح صنعتی قبل از روکش نهایی
- بعنوان لایه گردگیر در سطوح صنعتی و بهداشتی

خواص فیزیکی و ظاهری

| شکل ظاهری: | مایع | رنگ: |
|----------------------|---|------|
| | روکش اپوکسی FL-104 : زرد روشن | |
| | هاردنر اپوکسی HA-12 : زرد روشن | |
| | ترکیبی محصول : زرد روشن | |
| ویسکوزیته (25°C): | پوشش اپوکسی FL-104 : 1200 Centipoise | |
| | هاردنر اپوکسی HA-12 : 450 Centipoise | |
| | ترکیبی محصول : 850 Centipoise | |
| وزن مخصوص (دانسیته): | پوشش اپوکسی FL-104 : 1.13 gr/cm ³ | |
| | هاردنر اپوکسی HA-12 : 1.09 gr/cm ³ | |
| | ترکیبی محصول : 1.11 gr/cm ³ | |
| نسبت ترکیب وزنی: | روکش اپوکسی FL-104 : ۱۰۰ واحد | |
| | هاردنر اپوکسی HA-12 : ۱۰ واحد | |



نسبت ترکیب حجمی: پوشش اپوکسی FL-104 : ۱۰۰ واحد
 هاردنر اپوکسی HA-12 : ۱۰/۴ واحد
 زمان ترکیب دو جزه: ۳ دقیقه

| حجم کم 6cm ³ قطر = 50mm ضخامت = 3mm | حجم زیاد 50cm ³ قطر = 50mm ضخامت = 26mm | دمای کار | |
|---|---|----------|--|
| ۲۵۰ دقیقه | ۱۸۰ دقیقه | 25° C | عمر مصرف (Pot life) |
| ۲۸۰ دقیقه | ۲۰۵ دقیقه | 25°C | زمان ژل شدن (Gel Time) |
| ۴۱۵ دقیقه | ۲۷۰ دقیقه | 25°C | زمان خشک شدن (Curing Time) |
| ۷ روز | ۷ روز | 25°C | زمان خشک شدن نهایی تا رسیدن به بالاترین مقاومت و استحکام |

حداقل دمای پخت: ۱۰°C

حداکثر دمای پخت: ۸۰°C

عمر نگهداری در انبار Shelf life (در دمای ۲۵°C): یک سال

خصوصیات مکانیکی

| استاندارد | واحد | مقدار | |
|------------|---------------------|-------|---|
| ASTM D695M | Kgf/cm ² | 386 | مقاومت فشاری |
| ASTM D695M | Kgf/cm ² | 5814 | مدول فشاری |
| ASTM D790M | Kgf/cm ² | 503 | مقاومت خمشی |
| ASTM D790M | Kgf/cm ² | 15880 | مدول خمشی |
| ASTM D638M | Kgf/cm ² | 337 | استحکام کششی |
| ASTM D638M | Kgf/cm ² | 14070 | مدول کششی |
| ASTM D2240 | Shore D | 73 | سختی |
| ASTM D256 | KJ/m ² | 5.899 | مقاومت ضربه‌ای |
| ASTM D1002 | Kg/cm ² | 619 | مقاومت چسبندگی (در مقابل نیروی برشی) |

خواص الکتریکی و حرارتی

| استاندارد | واحد | مقدار | |
|-----------|--------------------|----------------------|------------------------------------|
| ASTM D257 | Ohm.cm | 6.1×10^{15} | مقاومت الکتریکی حجمی |
| ASTM D257 | Ohm | 2.4×10^{11} | مقاومت الکتریکی سطحی |
| ASTM D150 | - | 6.5 | ثابت دی الکتریک |
| ASTM D648 | °C | 61 | مقاومت حرارتی تا نقطه نرمی (H.D.T) |
| - | °C | 80 | مقاومت حرارتی عملی |
| ASTM D864 | (°C) ⁻¹ | 10×10^{-5} | ضریب انبساط طولی |

خصوصیات شیمیایی



مطابق با استاندارد ASTM D543

| نوع ماده شیمیایی | مقاومت محصول | نوع ماده شیمیایی | مقاومت محصول |
|-------------------|--------------|---------------------|--------------|
| اسید سولفوریک ۲۰٪ | خوب | هیدروکسید کلسیم ۵۰٪ | خوب |
| اسید کلریدریک ۳۷٪ | نسبتاً خوب | روغن موتور | عالی |
| اسید نیتریک ۲۰٪ | خوب | متانل | نامناسب |
| اسید سیتریک ۱۰٪ | خوب | بنزین | عالی |
| سولفات سدیم ۱۵٪ | خوب | تولون | نامناسب |
| آب اکسیژنه | نسبتاً خوب | | |

شرایط تست: دمای ۲۵°C، رطوبت ۵۰٪، غوطه‌وری در محلول شیمیایی به مدت یک ماه

نکات فنی و ایمنی

- ۱- بعد از استفاده از مواد، درب مواد باقیمانده را محکم ببندید.
- ۲- قبل از استفاده از مواد در سطح مطمئن باشید که هیچگونه گرد و غبار و نم و رطوبت در سطح وجود ندارد.
- ۳- در هنگام استفاده از مواد، از دستکش صنعتی و ماسک استفاده نمایید.
- ۴- پس از استفاده از مواد، ظرف و ابزار خود را با تینر اپوکسی GE-31 کاملاً شستشو دهید.
- ۵- در موقع کار با مواد، از کشیدن سیگار خودداری نمایید.
- ۶- در صورت سرد بودن مواد که منجر به افزایش غلظت می‌شود، از حرارت غیرمستقیم استفاده نمایید.
- ۷- قبل از استفاده از مواد، سطح را از هرگونه چربی و آلودگی تمیز نمایید.
- ۸- در صورتی که مواد ترکیبی مورد نیاز کمتر از ۲۰۰ گرم است، حتماً از ترازوی دقیق با دقت حداقل ۰/۱ گرم استفاده کنید.

بسته‌بندی

این محصول در بسته‌بندی های یک کیلوگرمی، ۱۱ کیلوگرمی و ۲۳ کیلوگرمی قابل عرضه می‌باشد.

تأییدیه فنی

کلیه مشخصات فیزیکی، مکانیکی، الکتریکی، حرارتی و شیمیایی ارائه شده در این بروشور با همکاری پژوهشگاه صنعت نفت اندازه‌گیری و تهیه گردیده است.



(روکش اپوکسی FL-105)

(هاردنر اپوکسی HA-11)

روکش اپوکسی FL-105 و هاردنر اپوکسی HA-11 از سری محصولات شرکت مواد مهندسی مکرر بوده که بر پایه رزین اپوکسی بیسفنول F (Epoxy Bisphenol F) و هاردنر پلی آمینی (Polyamine Hardener) تولید و ارائه می گردد. در ساختار این روکش از نوعی آلیفاتیک اپوکسی (Epoxy Aliphatic) استفاده گردیده که موجب افزایش خواص چقرمگی و Flexibility محصول می گردد. با توجه به پائین بودن ویسکوزیته محصول امکان به کارگیری آن در کنار الیاف های تقویت کننده (شیشه، کربن و ...) و همچنین پودرهای معدنی (سلیس و ...) وجود دارد. مقاومت مکانیکی بالا، چسبندگی فوق العاده و خواص انعطاف پذیری خوب این محصول، آن را به عنوان روکشی برجسته از سایر محصولات متمایز می نماید. (دز گذشته این محصول با نام رزین اپوکسی ۸۰۶۰ عرضه می گردید).

موارد مصرف

- بعنوان پرایمر بدون حلال در لایه اول کفپوش های صنعتی.
- بعنوان رزین مناسب جهت ساخت گروت های اپوکسی در لایه های میانی کفپوش.
- جهت اجرای لایه های تقویتی به همراه الیاف شیشه در لایه های میانی کفپوش.
- جهت ساخت بتونه اپوکسی جهت ترمیم کف سطوح صنعتی قبل از روکش نهایی.
- بعنوان لایه گردگیر در سطوح صنعتی و بهداشتی.

خواص فیزیکی و ظاهری

| شکل ظاهری: | مابع | رنگ: |
|----------------------|---|------|
| | روکش اپوکسی FL-105 : زرد روشن | |
| | هاردنر اپوکسی HA-11 : بی رنگ (شفاف) | |
| | ترکیبی محصول : زرد روشن | |
| ویسکوزیته (25°C): | روکش اپوکسی FL-105 : 1950 Centipoise | |
| | هاردنر اپوکسی HA-11 : 31 Centipoise | |
| | ترکیبی محصول : 1450 Centipoise | |
| وزن مخصوص (دانسیته): | رزین اپوکسی FL-105 : 1.13 gr/cm ³ | |
| | هاردنر اپوکسی HA-11 : 1.07 gr/cm ³ | |
| | ترکیبی محصول : 1.11 gr/cm ³ | |
| نسبت ترکیب وزنی: | رزین اپوکسی FL-105 : ۱۰۰ واحد | |
| | هاردنر اپوکسی HA-11 : ۱۵ واحد | |
| نسبت ترکیب حجمی: | رزین اپوکسی FL-105 : ۱۰۰ واحد | |
| | هاردنر اپوکسی HA-11 : ۱۵ واحد | |
| زمان ترکیب دو جزء: | ۲ دقیقه | |



| حجم زیاد 50cm ³ قطر = 50mm ضخامت = 26mm | حجم کم 6cm ³ قطر = 50mm ضخامت = 3mm | دمای کار | |
|---|---|----------|--|
| ۲۰ دقیقه | ۵۰ دقیقه | 25°C | عمر مصرف (Pot life) |
| ۲۴ دقیقه | ۶۰ دقیقه | 25°C | زمان ژل شدن (Gel Time) |
| ۲۵ دقیقه | ۹۰ دقیقه | 25°C | زمان خشک شدن (Curing Time) |
| ۷ روز | ۷ روز | 25°C | زمان خشک شدن نهایی تا رسیدن به بالاترین مقاومت و استحکام |

حداقل دمای پخت: ۱۰°C

حداکثر دمای پخت: ۸۰°C

عمر نگهداری در انبار Shelf life (در دمای ۲۵°C): یک سال

خصوصیات مکانیکی

| استاندارد | واحد | مقدار | |
|------------|---------------------|-------|---|
| ASTM D695M | Kgf/cm ² | 974 | مقاومت فشاری |
| ASTM D695M | Kgf/cm ² | 9371 | مدول فشاری |
| ASTM D790M | Kgf/cm ² | 960 | مقاومت خمشی |
| ASTM D790M | Kgf/cm ² | 36454 | مدول خمشی |
| ASTM D638M | Kgf/cm ² | 761 | استحکام کششی |
| ASTM D638M | Kgf/cm ² | 27890 | مدول کششی |
| ASTM D2240 | Shore D | 82 | سختی |
| ASTM D256 | KJ/m ² | 7.850 | مقاومت ضربه‌ای |
| ASTM D1002 | Kg/cm ² | 548 | مقاومت چسبندگی (در مقابل نیروی برشی) |

خواص الکتریکی و حرارتی

| استاندارد | واحد | مقدار | |
|-----------|--------------------|----------------------|------------------------------------|
| ASTM D257 | Ohm.cm | 1.8×10^{15} | مقاومت الکتریکی حجمی |
| ASTM D257 | Ohm | 9.5×10^{12} | مقاومت الکتریکی سطحی |
| ASTM D150 | - | 6 | ثابت دی الکتریک |
| ASTM D648 | °C | 63 | مقاومت حرارتی تا نقطه نرمی (H.D.T) |
| | °C | 80 | مقاومت حرارتی عملی |
| ASTM D864 | (°C) ⁻¹ | 6.2×10^{-3} | ضریب انبساط طولی |



خصوصیات شیمیایی

مطابق با استاندارد ASTM D543

| نوع ماده شیمیایی | مقاومت محصول | نوع ماده شیمیایی | مقاومت محصول |
|--------------------|--------------|----------------------|--------------|
| اسیدسولفوریک ۳۰٪ | خوب | اسیدلاکتیک ۱۰٪ | نسبتاً خوب |
| اسیدسولفوریک ۵۰٪ | خوب | سولفات سدیم ۱۵٪ | عالی |
| اسیدسولفوریک ۷۰٪ | خوب | آب اکسیژنه | نامناسب |
| اسیداستیک ۲۰٪ | نامناسب | هیدروکسید کلیم ۵۰٪ | عالی |
| اسیدفسفریک ۲۰٪ | نسبتاً خوب | هیدروکسید بتاسیم ۲۰٪ | عالی |
| هیدروکسید سدیم ۲۰٪ | عالی | روغن موتور | عالی |
| هیدروکسید سدیم ۵۰٪ | عالی | متانل | نامناسب |
| اسیدکلریدریک ۲۷٪ | نسبتاً خوب | بنزین | عالی |
| اسیدنیتریک ۲۰٪ | خوب | تولینن | خوب |
| اسیدسیریک ۱۰٪ | خوب | | |

شرایط تست: دمای 25°C و رطوبت 50٪ غوطه‌وری در محلول شیمیایی به مدت یک ماه

نکات فنی و ایمنی

- ۱- بعد از استفاده از مواد، درب مواد باقیمانده را محکم ببندید.
- ۲- قبل از استفاده از مواد در سطح مطمئن باشید که هیچگونه گرد و غبار و نم و رطوبت در سطح وجود ندارد.
- ۳- قبل از استفاده از مواد، سطح را از هرگونه چربی و آلودگی تمیز نمایید.
- ۴- پس از استفاده از مواد، ظرف و ابزار خود را با تینر اپوکسی GE-31 کاملاً شستو دهید.
- ۵- در هنگام استفاده از مواد، از دستکش صنعتی و ماسک استفاده نمایید.
- ۶- در مقادیر کم، حتماً از ترازوی دقیق با دقت حداقل ۰/۱ گرم استفاده کنید.

بسته بندی

این محصول در بسته‌بندی‌های یک کیلوگرمی، ۱۱/۵ کیلوگرمی و ۲۴/۵ کیلوگرمی قابل عرضه می‌باشد.

تأییدیه فنی

کلیه مشخصات فیزیکی، مکانیکی، الکتریکی، حرارتی و شیمیایی ارائه شده در این بروشور با همکاری پژوهشگاه صنعت نفت اندازه‌گیری و تهیه گردیده است.